

令和3年度林野庁補助事業

木材産業・木造建築活性化対策事業

CLT・LVL等を活用した建築物低コスト化・検証等

CLTの特性を活かす平版構成の普及に向けての開発

令和4年3月

木構造振興株式会社

はじめに

2016年に建築基準法において、木質系厚板面材として CLT パネル工法の整備がされたが、それまでには、並行して CLT を用いたさまざまな構造形式の提案がされてきた。CLT を壁、床・屋根として用いる壁式工法だけでなく、日本の在来工法である柱梁の軸組工法に CLT を耐力壁あるいは床・屋根として用いる工法、CLT を壁柱として用いる工法、CLT を大断面梁として用いる工法、CLT を圧縮材として用いる張弦梁、トラス構造、折版構造の床・屋根工法などが実現されてきた。こうした工法の実現においては、常に経済性が課題になっている。

CLT 建築のコストを考える場合には、部材の材料費、加工費、運搬費、施工費までトータルに考える必要がある。材料費については、製造サイドの努力に頼る部分が多いが、加工費、運搬費、施工費は、製造、設計、施工らで連携して考えていく必要がある。そのためには、ある程度実現する建物の用途、規模を絞って、日本での建築環境に応じて、それぞれの立場から検討していく必要がある。

本事業では、3m×12mの CLT のマザーボードを前提として、幅 2.4m 程度の部材運搬に制限される日本での道路輸送事情、海外に比べてヤング係数の低いスギ CLT とやや高いヒノキ CLT を前提として、木造＝軸組工法という開放的な木造建築を活用してきた日本の文化を前提にした軸組工法に適用可能な標準的なフラットな床、屋根システム、面材による大空間システムとして折版構造の普及に向けた構造設計者への基礎情報の整備を目指している。

輸送の限界サイズを前提に、現場接合での大型パネル化と施工効率向上、小パネルによる折版構造での薄板パネルによる合理的な大スパンの実現といった構造計画においては、面材パネルの面外方向の曲げ、せん断性能と面材パネル同士の幅方向、あるいは角度をもった接合の特性を把握することが重要である。基礎的な情報を提供することにより、プロジェクト初期の計画段階において、部材寸法の概要をとらえやすくするとともにプロジェクトの実現可能性、改良の方向性を検討しやすくなり CLT を用いた建築の実現可能性が高まることになる。

本事業では、従来の木質構造研究者だけでなく、材料特性を活かした木造建築の構造設計を担ってきた構造設計者も事業に参加することにより、実務者が望む、実務者が活用しやすいデータの収集を試みている。また、CLT 製造者、加工者と連携することにより、既に CLT 工場で整備されている加工機器の能力に応じた合理的な加工形状も検討をすることができる。

今後、本事業の成果が、CLT の需要拡大と共に魅力的な木造建築の実現に役立つことを期待している。

委員名簿

主査 腰原幹雄（東京大学生産技術研究所 教授）

委員 金箱温春（金箱構造設計事務所 代表取締役）

萩生田秀之（KAP 一級建築士事務所 代表取締役）

田中 圭（大分大学理工学部 准教授）

玉置教司（愛媛県農林水産部林業研究センター 主任研究員）

光井周平（広島工業大学環境学部 講師）

森 拓郎（広島大学大学院工学研究科 准教授）

松本直之（東京大学生産技術研究所 助教）

オブザーバー

荒木康弘（国土交通省 国土技術政策総合研究所 主任研究員）

事務局 原田浩司（木構造振興 客員研究員）

令和3年度林野庁補助事業
木材産業・木造建築活性化対策事業

CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等

CLTの特性を活かす平版構成の普及に向けての開発

*はじめに

*委員名簿

報告書 目次

| | | |
|-------|-----------------|----|
| 第1章 | 本事業の概要 | |
| 1.1 | 本事業の目的 | 1 |
| 1.2 | 本事業の実施により期待する成果 | 2 |
| 1.2.1 | CLTスラブの実用化 | 2 |
| 1.2.2 | 魅力ある折版屋根の実用化 | 3 |
| 1.3 | 今年度の実施内容 | 4 |
| 第2章 | 床の載荷試験準備 | |
| 2.1 | CLTの構成 | 5 |
| 2.2 | CLTの配置計画 | 6 |
| 2.3 | 接合方法の選択 | 9 |
| 2.4 | 試験治具 | 12 |
| 2.5 | 実験の手順 | 14 |
| 2.6 | CLTの曲げ性能の計測 | 16 |
| 第3章 | 接合部の要素試験 | |
| 3.1 | GIR接合 | 17 |
| 3.1.1 | 試験概要 | 17 |
| 3.1.2 | 試験方法 | 18 |
| 3.1.3 | 試験結果 | 19 |
| 3.2 | 鋼板添え板ビス接合 | 20 |
| 3.2.1 | 試験概要 | 20 |
| 3.2.2 | 試験方法 | 20 |
| 3.2.3 | 試験結果 | 21 |

| | | |
|-------|---|----|
| 第 4 章 | 実大床の静的試験 | |
| 4.1 | GIR 接合 | 23 |
| 4.1.1 | 試験概要 | 23 |
| 4.1.2 | 試験方法 | 24 |
| 4.1.3 | 試験結果 | 27 |
| 4.2 | 鋼板添え板ビス接合 | 31 |
| 4.2.1 | 試験概要 | 31 |
| 4.2.2 | 試験方法 | 33 |
| 4.2.3 | 試験結果 | 33 |
| 4.3 | 比較（考察） | 38 |
| 4.3.1 | 配置パターンによる中央たわみの変化 | 38 |
| 4.3.2 | 支持方法による中央たわみの分布 | 41 |
| 4.3.3 | 実験値と推定値の比較 | 44 |
| 第 5 章 | 構造解析 | |
| 5.1 | CLT の層構成、辺長比ならびに支持条件 が床スラブのたわみに及ぼす影響 | 45 |
| 5.2 | 接合部を有する CLT 床スラブのたわみ特 性 | 48 |
| 5.3 | 実大床の静的載荷試験の数値解析 | 54 |
| 5.4 | 2×2 スパンの床の数値シミュレーション | 63 |
| 5.5 | まとめ | 64 |
| 第 6 章 | 実大床の動的試験 | |
| 6.1 | 実験の目的・概要 | 65 |
| 6.2 | 計測方法 | 65 |
| 6.2.1 | 常時微動計測 | 65 |
| 6.2.2 | 共振点探査 | 66 |
| 6.2.3 | 共振起震 | 66 |
| 6.2.4 | 自由振動 | 66 |
| 6.2.5 | 衝撃加振 | 66 |
| 6.2.6 | 測定野鳥・計測計画 | 66 |
| 6.3 | データ分析方法の概要 | 89 |
| 6.3.1 | フーリエスペクトル | 89 |
| 6.3.2 | 伝達関数 | 89 |
| 6.3.3 | 振動モードの同定 | 89 |
| 6.3.4 | 減衰性能の評価 | 89 |
| 6.3.5 | 1/3 オクターブバンド分析法 | 89 |
| 6.4 | 実験結果 | 91 |
| 6.4.1 | 概要 | 91 |

| | | |
|-------|-----------------------------|-----|
| 6.4.2 | 実験結果 | 92 |
| 6.5 | 考察・計測結果のまとめ | 277 |
| 6.5.1 | 卓越振動数の比較 | 278 |
| 6.5.2 | 各支持条件における振動モードの種類と 振幅の比較 | 280 |
| 6.5.3 | 減衰性能の比較 | 281 |
| 6.5.4 | 1/3 オクターブ分析結果の比較 | 282 |
| 6.6 | まとめ | 284 |
| 第7章 | CLT による平板床・屋根の実用化に向けて | |
| 7.1 | コストの検討 | 285 |
| 7.1.1 | GIR 接合 | 285 |
| 7.1.2 | 鋼板添え板ビス接合 | 287 |
| 7.1.3 | コスト比較 | 289 |
| 7.2 | 接合部のクリープ試験 | 290 |
| 7.2.1 | 接合部クリープ試験の目的 | 290 |
| 7.2.2 | 試験概要 | 290 |
| 7.2.3 | 実験結果(2022年2月28日までのデータ) | 294 |
| 7.3 | 非対称構成の CLT の経年変化 | 298 |
| 7.3.1 | 実験の目的 | 298 |
| 7.3.2 | 試験体概要 | 298 |
| 7.3.3 | 試験の結果 | 299 |
| 第8章 | 折版構造の実用化に向けて | |
| 8.1 | 要素モデルの選択 | 303 |
| 8.2 | 接合方法 | 304 |
| 8.3 | 加工図 | 308 |
| 8.4 | モックアップ試験施工概要 | 311 |
| 8.5 | 実用化に向けての課題整理 | 312 |
| 第9章 | まとめ | |
| 9.1 | 実施内容 | 319 |
| 9.2 | CLT スラブの実用化 | 320 |
| 9.2.1 | 実施内容 | 320 |
| 9.2.2 | 静的試験の結果と解析値との整合性、および今後の課題 | 320 |
| 9.2.3 | 床振動に関する考察 | 320 |
| 9.2.4 | 経年変化 | 320 |
| 9.2.5 | コスト比較 | 320 |

| | | | |
|-------|--------------|------------|-----|
| 9.3 | 魅力ある折版屋根の実用化 | ・・・・・・・・・・ | 321 |
| 9.3.1 | 実施内容 | ・・・・・・・・・・ | 321 |
| 9.3.2 | 期待する効果 | ・・・・・・・・・・ | 322 |
| 9.3.3 | 今後の課題 | ・・・・・・・・・・ | 323 |

第1章 本事業の概要

1.1 本事業の目的

CLT は、2 方向にラミナが配向（図 1.1 参照）されるため、双方向に対し曲げ・引張・圧縮抵抗を有する木質材料である。この特徴を屋根や床に巧く活かせれば、強度性能上有意な状況が作れると期待される。加えて、大きな平版の利用は、使用する部材数が少なくなるとともに、垂木や母屋を省略でき、CLT 表面を仕上げにすれば、内装工事も削減できるため、工期短縮と建設コストの削減効果が見込める。しかし国内では運搬上の問題から、CLT の幅寸法は制限を受け、現時点では、双方向性という CLT が本来有している利点を、実際の建物では活かされていない状況にある。

また双方向性を有する面材の実用化により、これまでの木造では表現できなかった、折版構造等によるデザイン的に魅力ある空間（写真 1.1 参照）が造れるようになるが、複数の CLT を幅方向に接合する技術は手付かずであり、加工技術との連携も図られていない状況にある。

そこで本事業では、CLT の短辺方向の接合に着目し、設計・施工の両面を見据えた汎用性の高い手法の確立に向け、技術的課題の解決と設計者が活用できる情報の整理を行い、屋根・床への CLT 利用促進を目的に実施する。

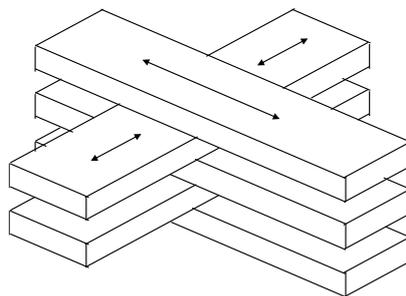


図 1.1 CLT のラミナの配向



写真 1.1 折版構造による屋根の事例（鉄筋コンクリート造）

海のギャラリー（高知県土佐清水市）

1.2 本事業の実施により期待する効果

1.2.1 CLT スラブの実用化

CLT の床・屋根への利用にあたり、特別な許可がなければ、道路法では幅 2.5m、道路交通法では車体の幅（表 1.1 参照）で制限を受ける。そのため図 1.2 の左図に示すように、ワンウェイの形式で利用されており、CLT の双方向性という特徴が活かされていない状況にある。

昨年度の CLT の接合実験（令和 2 年林野庁補助事業の内、木材産業・木造建築活性化対策「CLT 等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」 CLT の特性を活かす平版構成の普及に向けての開発）の結果から、曲げ剛性の接合効率（接合部の剛性／材料の剛性）は、5 割から 7 割は確保できることが確認されており、CLT の短辺方向を効率よく接合すれば、CLT の特徴である双方向性を引き出すことが可能になる。

表 1.1 大型トラックの荷台寸法

| 種類 | 幅 (m) | 長さ (m) |
|---------|-------|--------|
| 標準ボディ | 2.3 | 11.9 |
| ロングボディ | 2.3 | 12.0 |
| ショートボディ | 2.41 | 10.01 |
| ワイドボディ | 2.495 | 11.98 |

参考資料：<https://driversjob.jp/contents/trucks/largetrucks/k08000>

2021.12

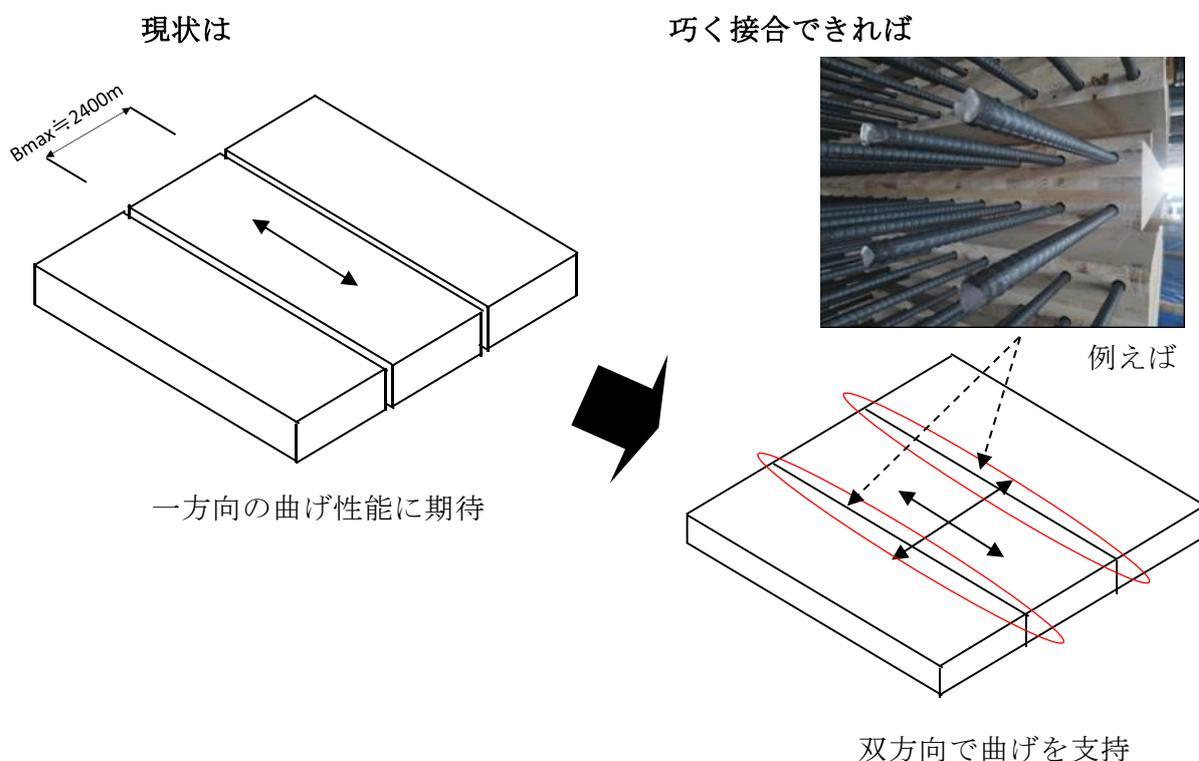


図 1.2 CLT の短辺方向の連結により期待する効果

表 1.2 に屋根、表 1.3 に床の、5 層 5 プライのスパン表（「CLT 建築物のガイドブック」（愛媛県 CLT 普及協会）参照）を示す。計画上、用途が共同住宅であれば、少なくとも 4m グリッド、事務所であれば 6m グリッド程度の無柱空間が望まれるが、これらの表から、屋根で 6m、床で 4m のスパンを確保するには、7 プライで厚みが 210mm の CLT の採用が必要になる。しかし単位面積（m²）あたりの材積が 5 プライ、厚み 150mm の CLT と比較すると 7/5 倍になるため、仮に単位材積（m³）単価が一律であるならば、価格もこれに比例して高くなり、CLT の利用が見送られる大きな要因になっている。本事業の成果により、7 プライ（210mm）を例えば 6 プライの CLT への切り替えが可能になれば、コスト削減効果が期待される。

表 1.2 屋根のスパン表

| 屋根荷重 (N/m ²) | CLTの規格 | 厚さ (mm) | 最大スパン (m) |
|--------------------------|----------|---------|-----------|
| 500 | S 60-5-5 | 150 | 5.3 |
| | S 90-5-5 | 150 | 5.9 |
| 1000 | S 60-5-5 | 150 | 4.8 |
| | S 90-5-5 | 150 | 5.4 |

表 1.3 床のスパン表

| 用途 | CLTの規格 | 厚さ (mm) | 最大スパン (m) |
|-----|----------|---------|-----------|
| 住宅 | S 60-5-5 | 150 | 3.5 |
| | S 90-5-5 | 150 | 4.0 |
| 事務所 | S 60-5-5 | 150 | 3.1 |
| | S 90-5-5 | 150 | 3.6 |

「CLT 建築物のガイドブック」（愛媛県 CLT 普及協会）参照

また床の振動障害は、利用者の心理的な不安を伴うもので避けなければならない。床の振動性能に影響する振動数は、下記の式で計算されるが、曲げ剛性（EI）を高めることによって、振動数は増加する。本事業での成果により、CLT の強軸方向だけではなく、弱軸方向の曲げ剛性も含めて振動障害抑制効果が見込めるならば、同じ構成・厚さの CLT を利用しても、より快適な居住環境を提供することができると共に、床の重量衝撃音に対しても、曲げ性能（EI）を高めることにより、遮音効果が向上すると期待される。

$$n = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{w}}$$

ここで n：振動数 L：スパン EI：曲げ剛性
g：重力加速度 w：荷重（自重）

1.2.2 魅力ある折版屋根の実用化

これまでの木質構造は、構造用製材や構造用集成材のような軸部材で構成する工法が主体であったが、CLT のような大きな面部材を活用することにより、写真 1.2 のようなデザイン性の高い建物を造ることができる。複数の CLT 間の圧縮力やせん断力の伝達方法に対する、加工技術、現場での作業やコスト面まで踏まえた、汎用性のある接合方法の提案ができれば、写真 1.1 のような形状の屋根や図 1.3 のような構成の屋根を具現化することができる。

CLT の屋根への利用は、30 分以上の耐火性能を付加させれば、高層建築物を含めた、すべての建物が対象になる。汎用性のある CLT 継手の接合法が確立できたならば、CLT が有する施工効率の高さや、PC 版よりも比重が軽い等の利点が発揮され、CLT 利用拡大につながるものと期待される。



写真 1.2 CLT を使用したデザイン性の高い屋根を有する事務所ビル

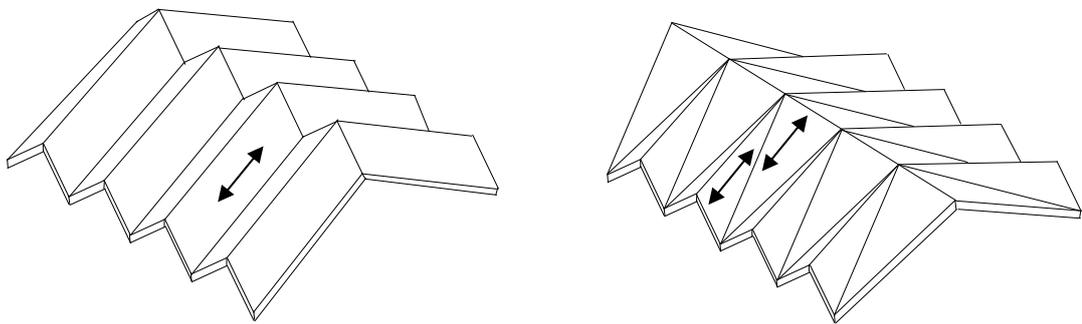


図 1.3 折版構造の屋根

1.3 今年度の実施内容

床および屋根への CLT 利用拡大に向け、「1.2.1 CLT スラブの実用化」、および「1.2.2 魅力ある折版屋根の実用化」に向け、今年度は表 1.4 の内容を実施する。

表 1.4 今年度の実施内容

| 分類 | 実施内容 |
|-----------------|---------------|
| A, CLT スラブの実用化 | 実大床の静的曲げ性能試験 |
| | 実大床の動的性能試験 |
| | 接合部の曲げ試験 |
| | 床の FEM 解析 |
| | 接合部のクリープ試験 |
| | 偶数層 CLT の暴露試験 |
| B, 魅力ある折版屋根の実用化 | 実大寸法での加工・組み立て |

第2章 床の載荷試験準備

この章では床の静的載荷試験、振動試験の実施にあたり、事務所または物品販売店を想定して、実用性のあるモジュールの設定と、CLTの構成および接合方法の選定を行う。

2.1 CLTの構成

図 2.1 に CLT の強軸側の対辺を単純支持した場合のスパンとたわみの関係性を、図 2.2 に CLT の弱軸側の対辺を単純支持した場合のスパンとたわみの関係性を示す（令和 2 年度林野庁補助事業 「木材産業・木造建築活性化対策の内」、「CLT 等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」の内、「CLT の特性を活かす平版構成の普及に向けての開発」報告書 pp114 より）。奇数層構成だと弱軸側は、強軸側と比較すると曲げ剛性が低下するため、例えば、S90-5-7 を用いた場合、事務所であれば 3.0m、店舗であれば 2.8m 程度までしか利用できないことが分かる。S90-6-6 は S90-7-7 とほぼ同様の性能が得られ、一方向のみ支持される場合においても偶数層構成の有効性が発揮できる。

本事業では CLT の双方向性という特徴をうまく引き出すことを目的としていることから、強軸方向、弱軸方向の双方の曲げ剛性が期待できる、偶数層構成となる S90-6-6 を選択し、実験計画を立てることにした。

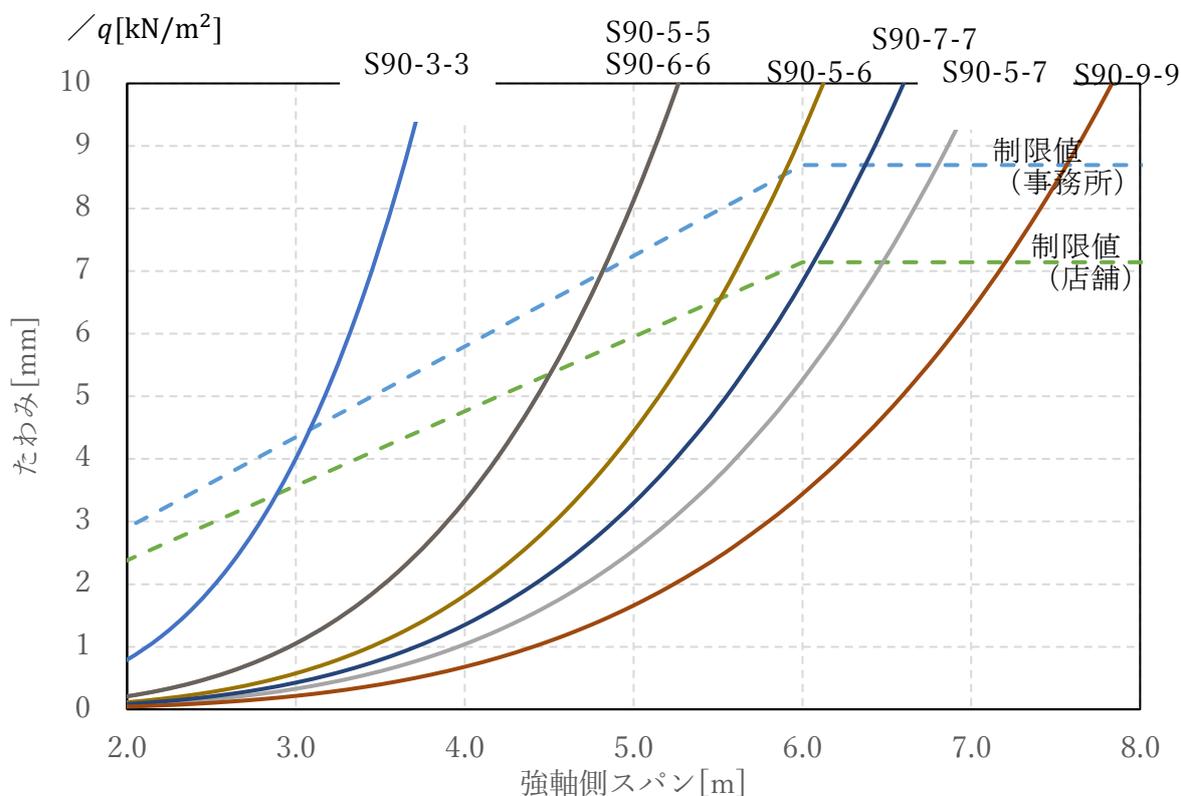


図 2.1 強軸側二辺単純支持の場合のスパンとたわみの関係

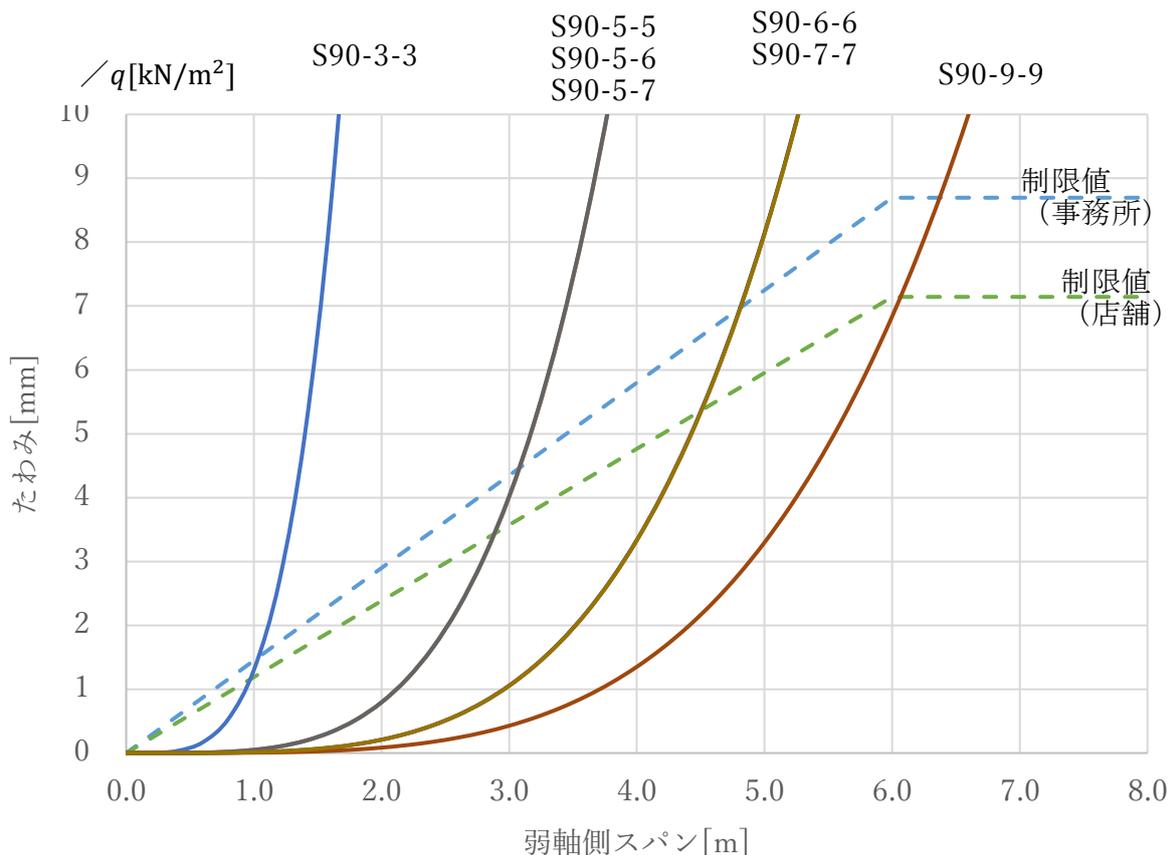


図 2.2 弱軸側二辺単純支持の場合のスパンとたわみの関係

2.2 CLT の配置計画

事務所、店舗の設計においては、少なくとも 6m 角程度の空間が必要と考えられる。しかし店舗を対象に、弱軸側のスパン b を幅 2.4m の CLT を 2 枚使った 4.8m として、弱軸側の中央を継手に、曲げ剛性の接合効率を 0.5 と仮定したモデルとしたときの、強軸側スパン a とたわみとの関係性を図 2.3 に示すグラフ（令和 2 年度林野庁補助事業 「木材産業・木造建築活性化対策の内」、「CLT 等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」の内、「CLT の特性を活かす平版構成の普及に向けての開発」報告書 pp118 より）から、強軸側のスパン a を 6.0m とした場合、S90-9-9、S90-5-7 であればたわみ制限をクリアできるが、S90-6-6 の場合、 a の許容値は 4.2m 程度となってしまう。そこで CLT は長さ 12m まで製造可能であること踏まえ、長辺方向は連続梁とし、短辺方向についても隣接する CLT を順次接合するかたちで連続梁として、床の剛性を高めることにした。

CLT の幅は、CLT を運搬する車両幅を鑑み 2.4m、短辺方向の CLT の配列は、6m の 2 区間を、 $0.6m + 2.4m + 2.4m + 2.4m + 2.4m + 1.8m = 12m$ の繰り返しで構成することを想定する（図 2.4 参照）。出だしを 0.6m としているのは、最長 1.8m のキャンチレバーを設けることを配慮している。

図 2.5 に、軸組工法を想定した場合の、構造部材のアイソメ図を示す。

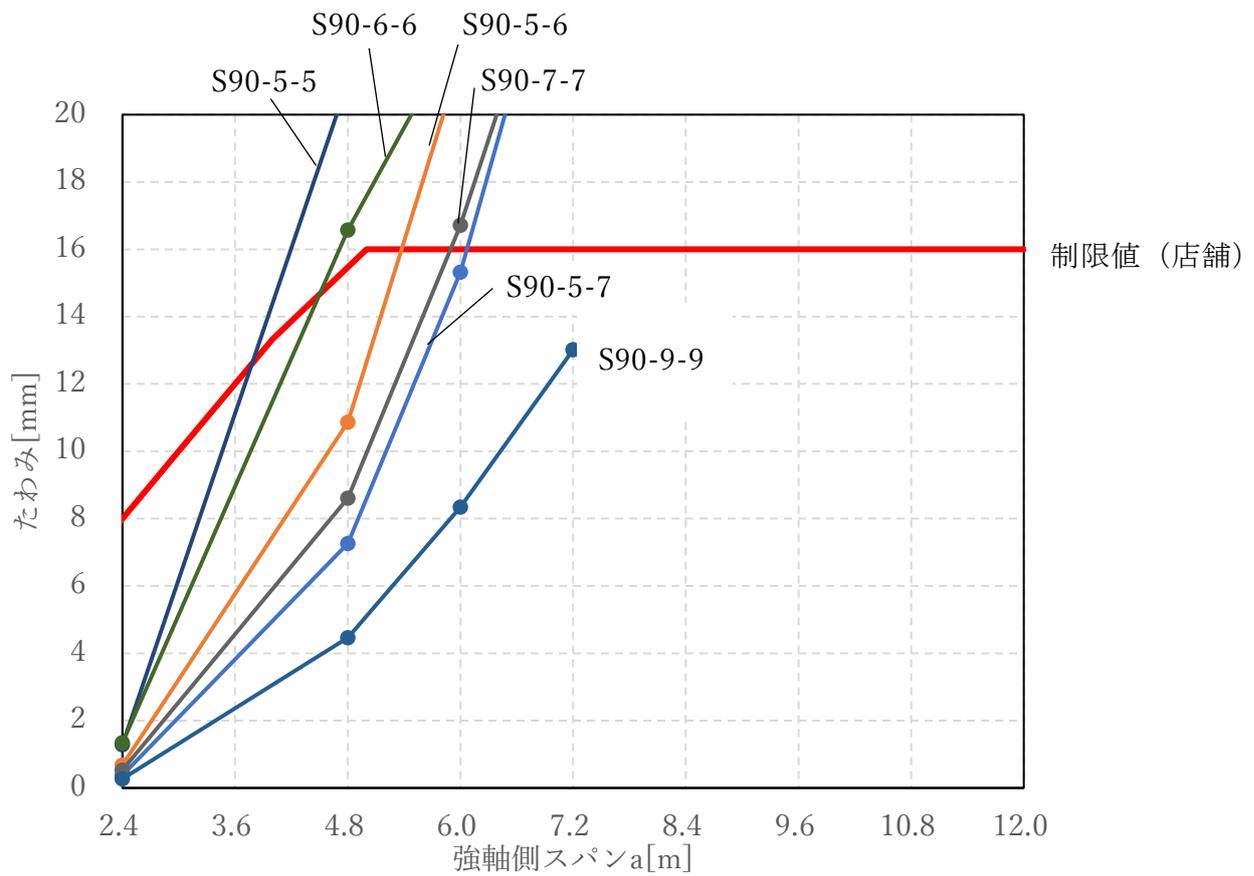


図 2.3 継手を考慮した強軸側スパン a とたわみ
($b=4.8\text{m}$ 、 $q=2800\text{ N/m}^2$ の場合)

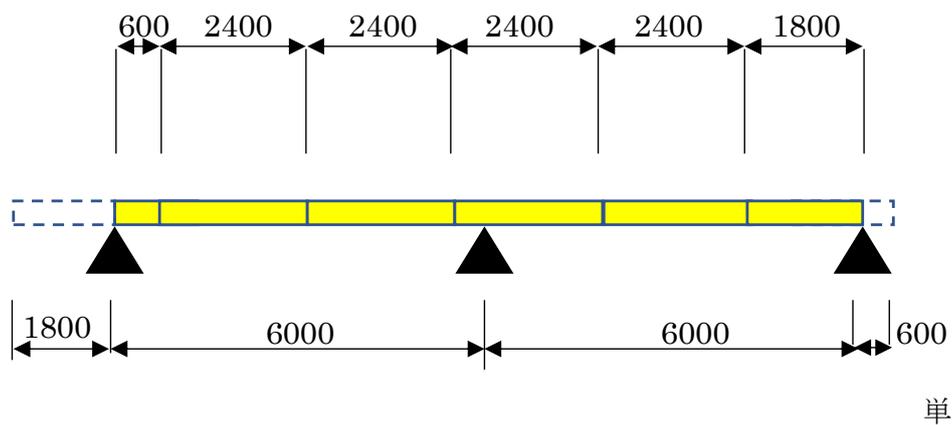


図 2.4 CLT の配置計画

実験は愛媛県農林水産部林業研究センターにて実施、試験場の広さを鑑み、長辺方向はスパンの 1/4 の長さを跳ねだした図 2.6 のかたちで支持をし、短辺方向には図 2.7 に示す 2 種類の配置で試験体を組むことにした。

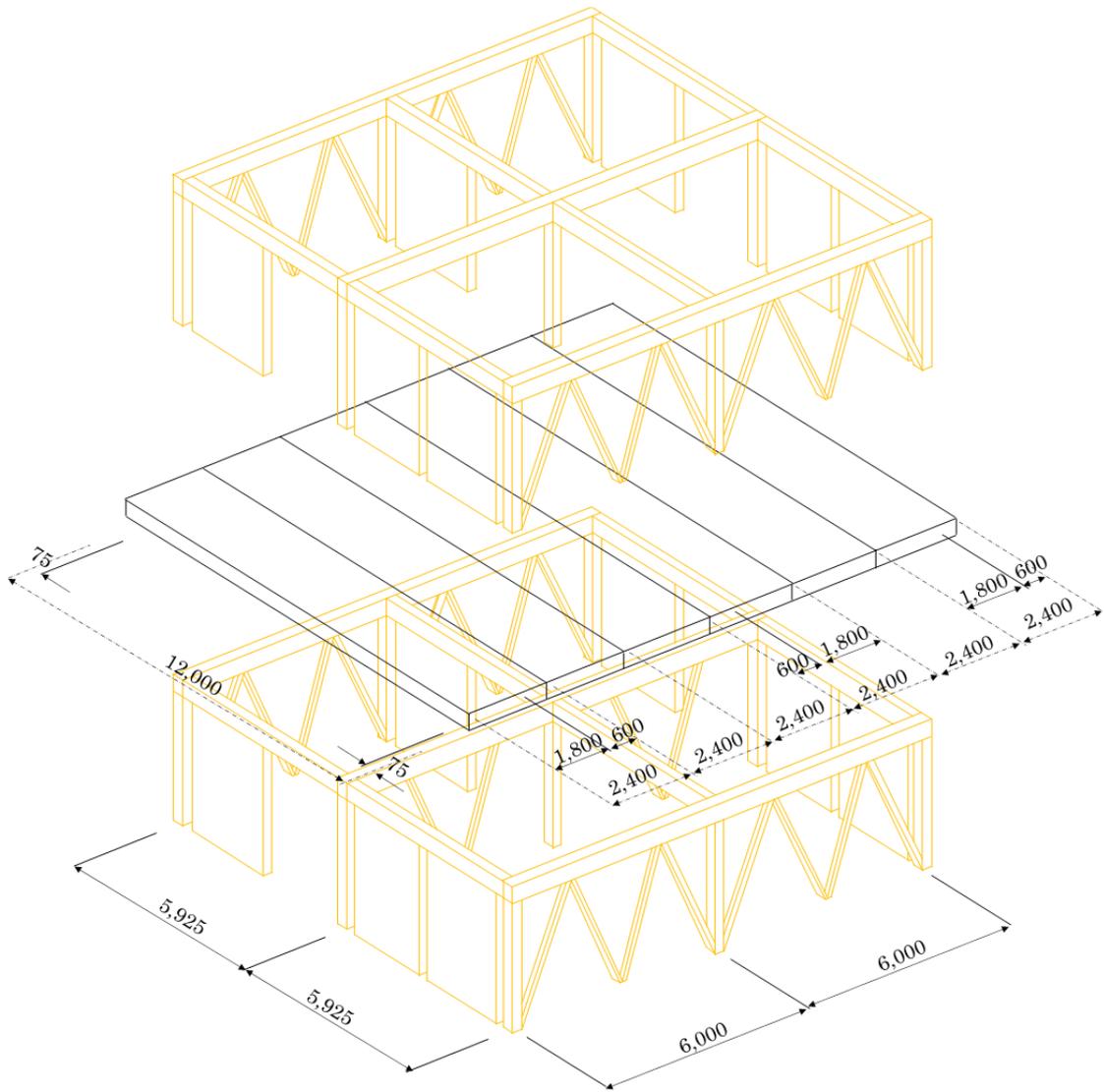


図 2.5 構造部材のアイソメ図（軸組工法）

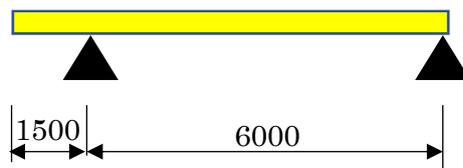


図 2.6 実験の CLT の配置（長辺方向）

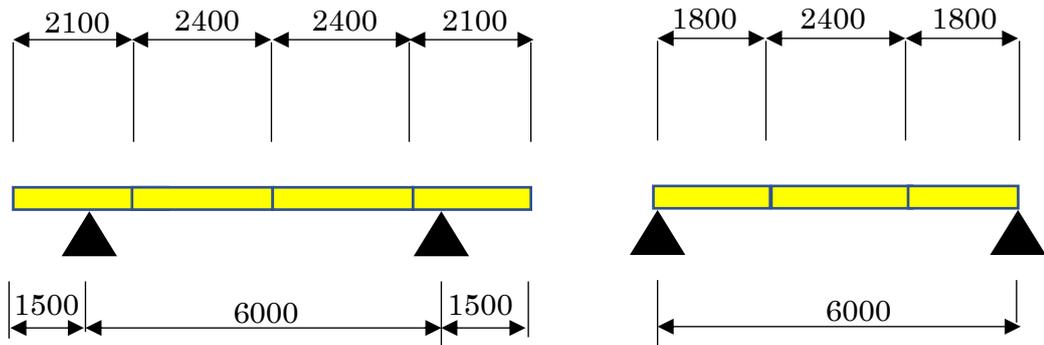


図 2.7 実験の CLT の配置（短辺方向）

2.3 接合方法の選択

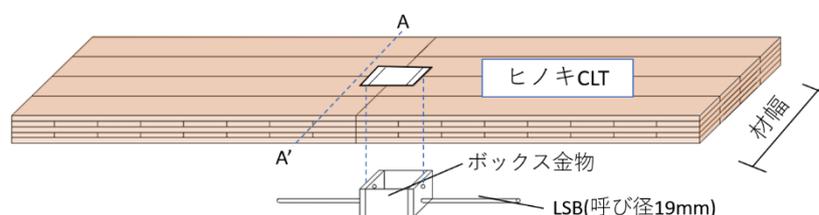
令和2年度は、表2.1に示す接合方法に対し、接合具の引張またはせん断試験、および支間の中心に継手を設けた4点載荷の曲げ試験を実施している。

表2.1 令和2年度に実施した接合部の種類と試験内容

| 種類 | 接合方法 | 接合具 | 実験の種類 |
|------|---------|--------|------------|
| 引張系 | LSB接合 | LSB | 引張試験+曲げ試験 |
| | GIR接合 | 全ねじボルト | 引張試験+曲げ試験 |
| せん断系 | 鋼板添え板接合 | パネリード鋼 | せん断試験+曲げ試験 |
| | 鋼板挿入接合 | パネリード穿 | せん断試験+曲げ試験 |

まずLSB接合は、乾式工法であり、また工場ではLSBを挿入して材料の搬入が可能であるが、図2.8に示すように、ボックス金物の取り付けが必要である。すると上下方向に貫通穴ができてしまうため、遮音性能を求められる床については、空気伝播により遮音性能が損なわれる可能性がある。一方、GIR接合は基本的にはCLTの木口に隙間がない状態で施工を行うことができる。よって引張系の接合方法として、GIR接合で実験を実施することにした。

GIRの曲げ試験の結果を表2.2に示す。表2.2の接合効率は、幅480mmの実験に基づいた初期剛性の接合効率を示している。



参考資料：令和2年度林野庁補助事業 「木材産業・木造建築活性化対策の内」、「CLT等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等」の内、「CLTの特性を活かす平版構成の普及に向けての開発」報告書 pp28より)

図2.8 LSB接合の施工方法

表2.2 曲げモーメントに対する接合効率（接合部の初期剛性/母材の初期剛性）

| 樹種 | CLTの構成 | 接合具 | | | 接合効率 |
|-----|----------|-----|--------|------------|------|
| | | 径 | 埋め込み長さ | 挿入するラミナの方向 | |
| | | mm | mm | | % |
| ヒノキ | S 90-5-5 | 20 | 250 | 弱軸方向 | 40 |
| | S 90-6-6 | 20 | 250 | 強軸方向 | 53 |

次に鋼板添え板方式に使った接合具であるパネリード鋼（PK8-90）は、容易に打ち込むことができるが、鋼板挿入方式に使ったパネリード穿（8φ）は、鋼板を打ち抜く作業（写真 2.1 参照）が必要で昨年度、試験体作成の折、接合具を 1 試験体に対し 30 本～40 本打ち込みにあたり、約 30 分の時間を要している。さらにこの時は上から接合具を打ちこむことができたので体重をかけて打ちこむことができたが、床や屋根の施工を考えると、下からの打ち込みが必要になるため、体験からそのような作業は困難であると考えられる。地組をして吊り上げる方法もあるが、地組の際は、作業ステージを平らな状況に保つことが必要であり、また床・屋根の面積や形状が異なると、地組してからのつり上げには人件費がかかる。接合してからのつり上げになると、接合部に力がかからないように、また風の影響も考慮する必要がある。このような作業効率等の状況を踏まえ、せん断系の接合方法として、接合金物が表面上に現れるが、鋼板添え板方式を採用することにした。

鋼板添え板方式の曲げ試験の結果を表 2.3 に示す。表 2.3 の接合効率とは、試験体の CLT の幅は 480mm、表層が強軸となる 5 層 5 プライでは接合具が試験体の片側に 16 本、表層を弱軸とした 6 層 6 プライでは接合具が試験体の片側に 20 本、打ち込んだ場合の初期剛性の接合効率を示している。



写真 2.1 鋼板挿入式木ビスの打ち込み状況

表 2.3 曲げモーメントに対する接合効率（接合部の初期剛性／母材の初期剛性）

| 樹種 | CLT の構成 | 接合具 | | | 接合効率 |
|-----|------------|-----|------------|-------------------|------|
| | | 径 | 埋め込み 長さ | 表層の ラミナの 方向 | |
| | | mm | mm | | % |
| ヒノキ | S 90-5-5 | 8 | 90 | 強軸方向 | 74 |
| | S 90-6-6 | 8 | 90 | 弱軸方向 | 48 |

試験体に使用する CLT は ラミナ幅 122mm で統一して造られることとなった。そこで GIR 接合、鋼板添え板接合双方とも、ラミナ 4 枚分の 488mm を 1 つのユニットと考えて、接合具の配置を行っている。図 2.9 に GIR 接合、図 2.10 に鋼板添え板接合の接合具の配置図を示す。

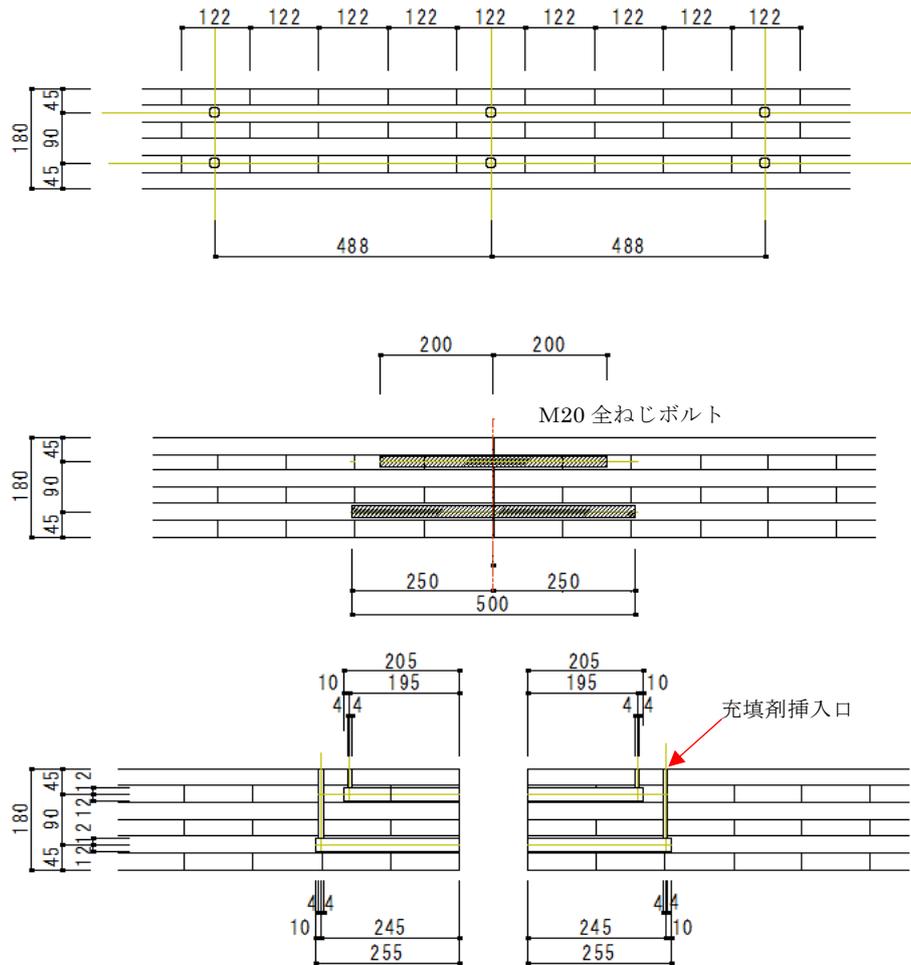


図 2.9 GIR の接合具配置図

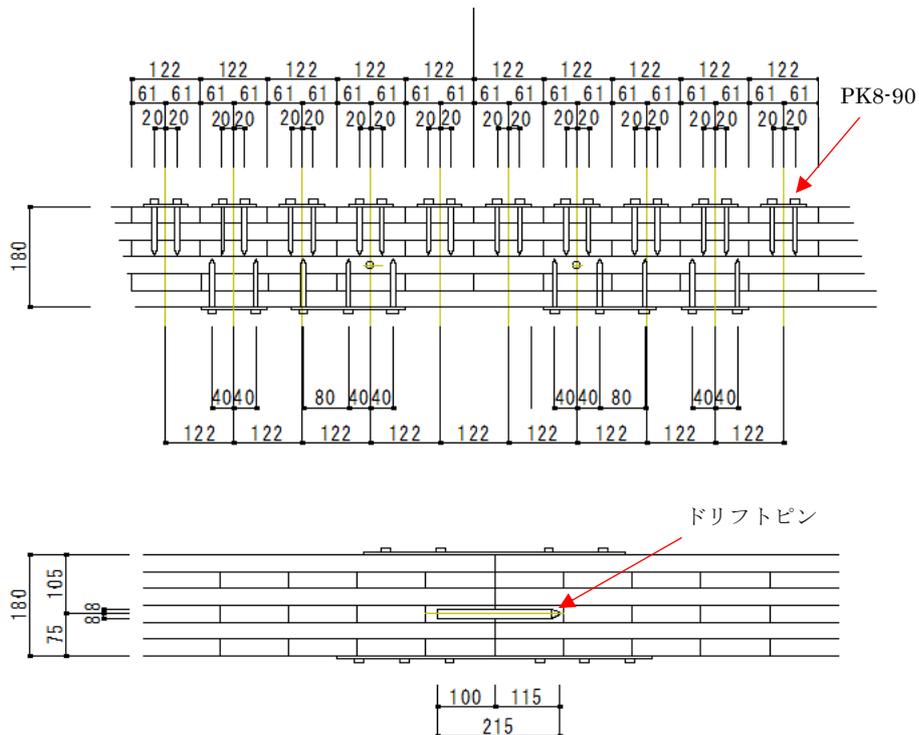


図 2.10 鋼板添え板接合の接合具配置図

2.4 試験治具

図 2.11 の緑線内を、試験場内の実験エリアとし、試験体の最大寸法は CLT の長辺方向が 7.6m、短辺方向が 9.0m とした。試験治具を図 2.12 に示す。

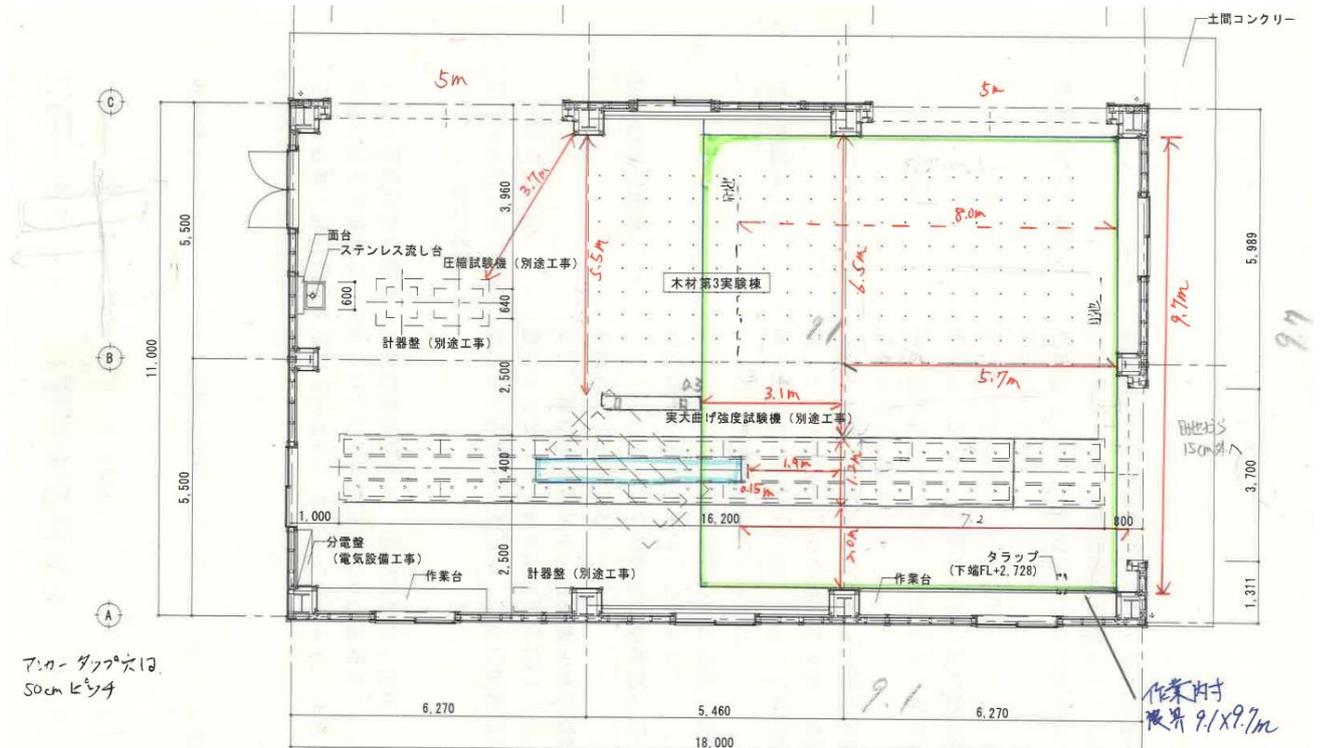


図 2.11 床の載荷試験の実験エリア

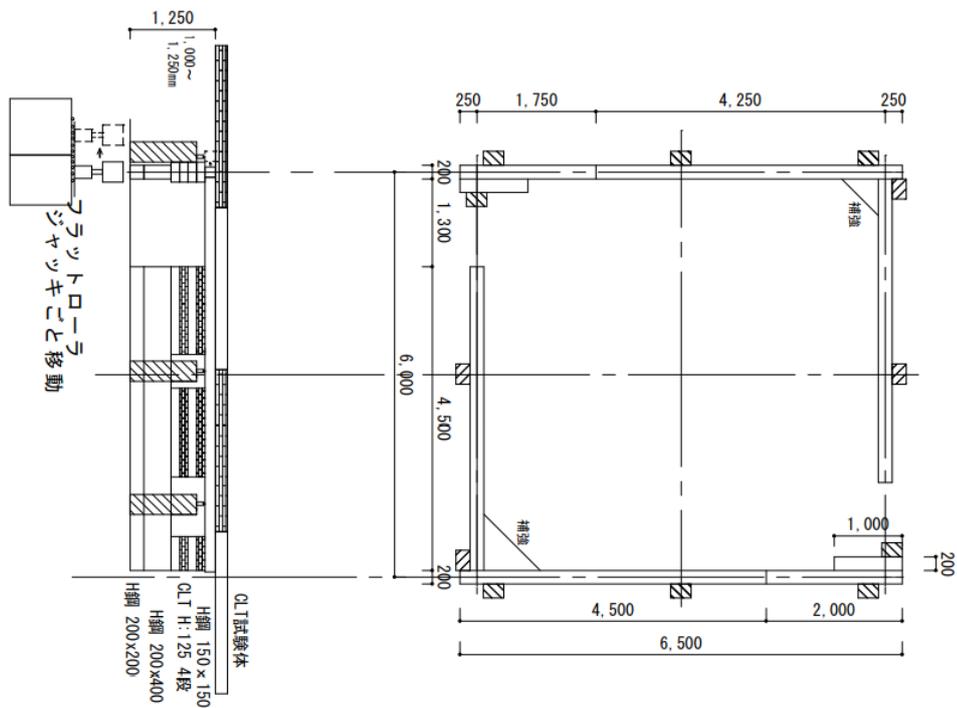


図 2.12 試験治具

山留鋼材を利用して高さ約 1.2mの架台を組み、試験体の下に変位計等を設置する空間を設けた（図 2.12、写真 2.2 参照）。治具は、辺支持用に 10kg レールを使用（写真 2.3、写真 2.4 参照）、点支持用には径 76.2mm の鋼球（写真 2.5 参照）を使用した。



写真 2.2 架台

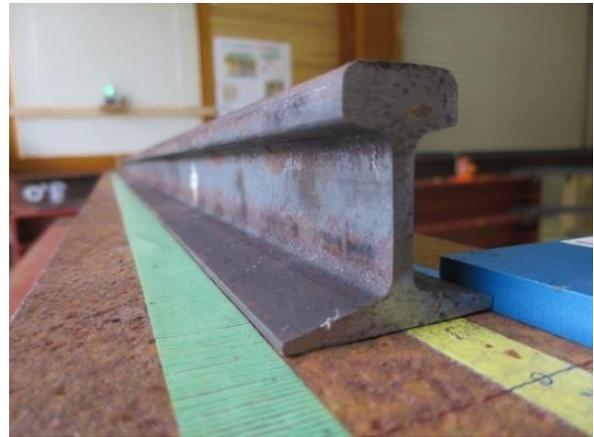
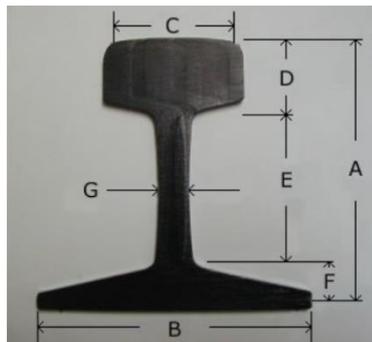


写真 2.3 支持用レール



A=66.67
 B=66.67
 C=34.13
 D=18.26
 E=37.30
 F=11.11
 G=6.35 (mm)

写真 2.4 支持用レール



写真 2.5 支持用鋼球

また静的載荷試験の積載は、折り畳み式の 20kg のウォータータンク（写真 2.6、写真 2.7）を用意した。



写真 2.6 ウォータータンクの計量



写真 2.7 静的載荷試験風景

2.5 実験の手順

実験は GIR 接合、鋼板添え板接合とも、図 2.7 の 2 種の CLT の配置で、図 2.7 の左図の配置では、4 辺支持、2 辺支持（長軸方向）、2 辺支持（弱軸方向）、4 点支持で実験を行い、図 2.7 の右図は 4 辺支持、2 辺支持（長軸方向）、2 辺支持（弱軸方向）で実験を行う。作業手順を図 2.13 に示す。

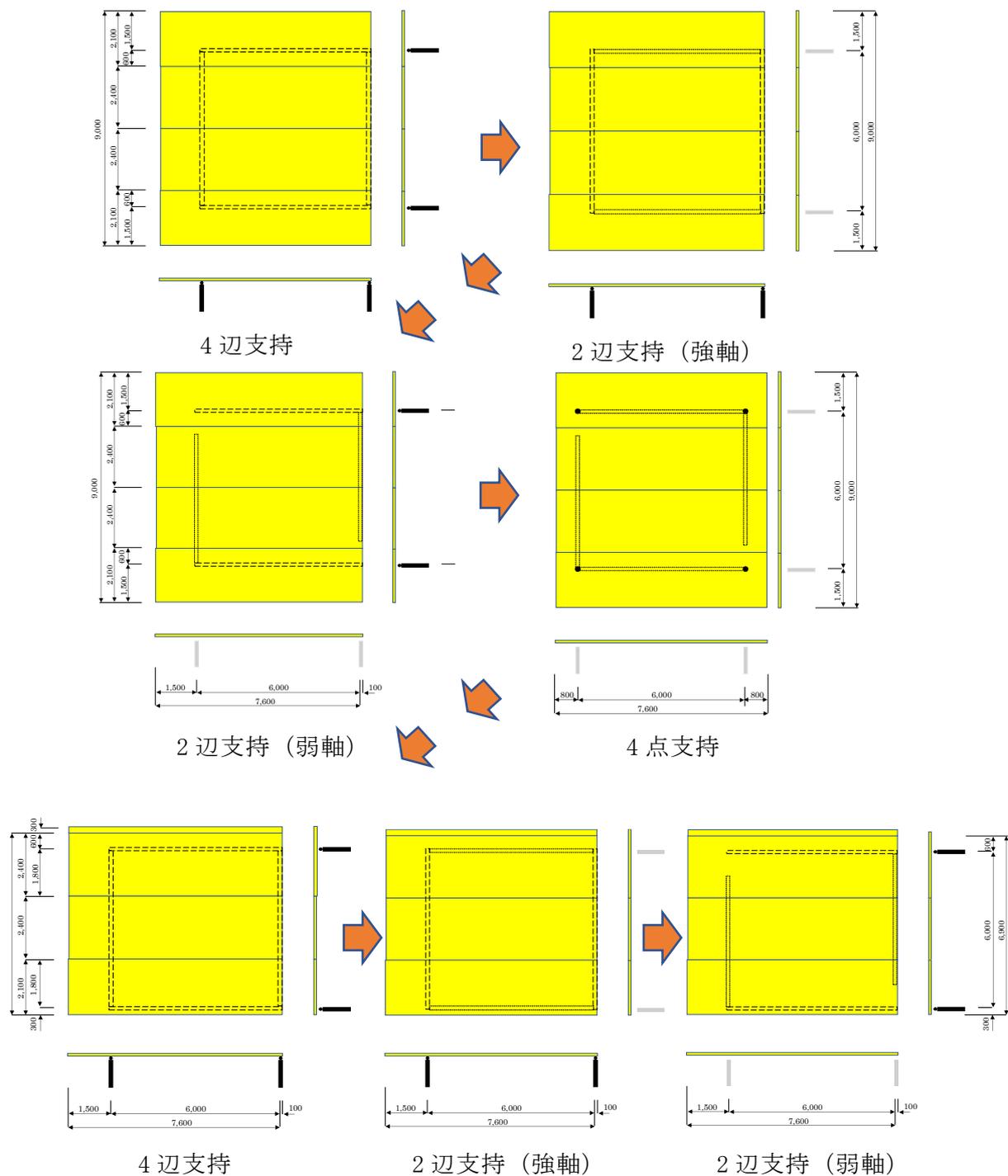


図 2.13 実験の手順

支持条件の変更は、油圧ジャッキを使用して試験体全体を盛替え、レールまたは鋼球の据え付け、撤去を行った。写真 2.8 は、支持の盛替え状況である。

実験スケジュールを表 2.4 に示す。



写真 2.8 試験体支持条件の盛替え風景

表 2.4 実験のスケジュール

| 月 | 日 | サイプレス・スナダヤ | 愛媛県農林水産部林業研究センター | |
|-----|-----|------------|-----------------------------------|-----------------|
| 8月 | 30月 | CLT穴あけ加工 | | |
| | 31火 | 荷積み | | |
| 9月 | 1水 | | CLT搬入 | |
| | 2木 | | CLT搬入・ヤング係数計測、 敷鋼板打ち、墨付け、GIR施工 | |
| | 3金 | | | 接着剤充填 |
| | 10金 | | 振動試験予備試験 | |
| | 11土 | | | |
| | 12日 | | | |
| | 13月 | | 床載荷試験・CLT4枚仕様 | 4辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 14火 | | | 2辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 15水 | | | 4点支持、試験体盛替え |
| | 16木 | | 床載荷試験・CLT3枚仕様 | 4辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 17金 | | | 2辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 18土 | | | |
| | 19日 | | | |
| | 20月 | | | |
| | 21火 | | 試験体解体・移動、CLT搬入、CLTヤング係数計測 | |
| | 22水 | | CLT組み立て | |
| | 23木 | | | |
| | 24金 | | 接合金物取付 | |
| | 25土 | | | |
| | 26日 | | | |
| | 27月 | | 床載荷試験・CLT4枚仕様 | 4辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 28火 | | | 2辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 29水 | | | 4点支持、試験体盛替え |
| | 30木 | | 床載荷試験・CLT3枚仕様 | 4辺支持（振動試験・載荷試験） |
| 10月 | 1金 | | | 2辺支持（振動試験・載荷試験） |
| | 2土 | | 片付け | |

2.6 CLT の曲げ性能の計測

試験体搬入時に、CLT の中央に錘を載せ、CLT 個々の曲げ剛性を計測した。測定条件とパネルの関係を図 2.14 に、測定の様子を写真 2.9 に、測定の結果を表 2.5 に示す。測定条件は、載荷試験の架台を支点としたスパン 6m の中央集中載荷方式とした。載荷用の錘には鋼材製の治具を使用し、初期荷重約 260kg と最終荷重約 520kg によるスパン中央のたわみの変化量を、変位計を用いて測定し、曲げ剛性を算出した。

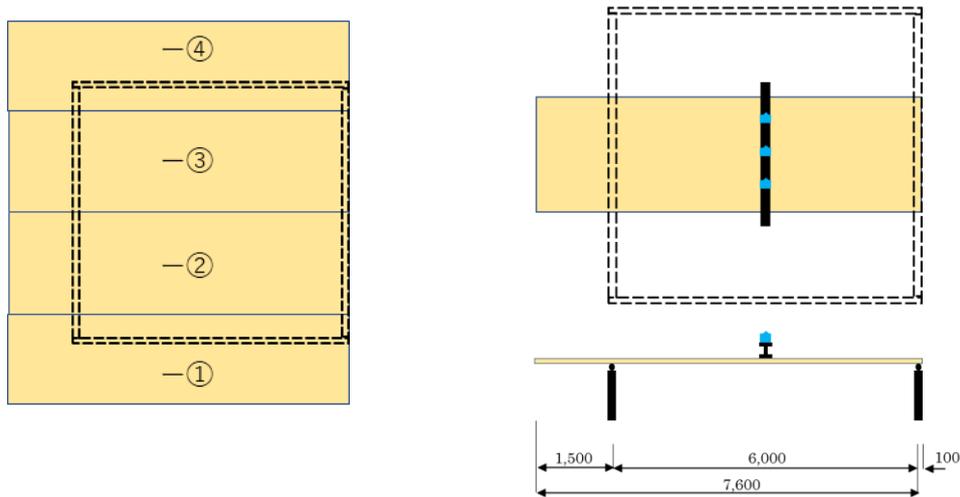


図 2.14 パネルの位置（左）と測定条件（右）

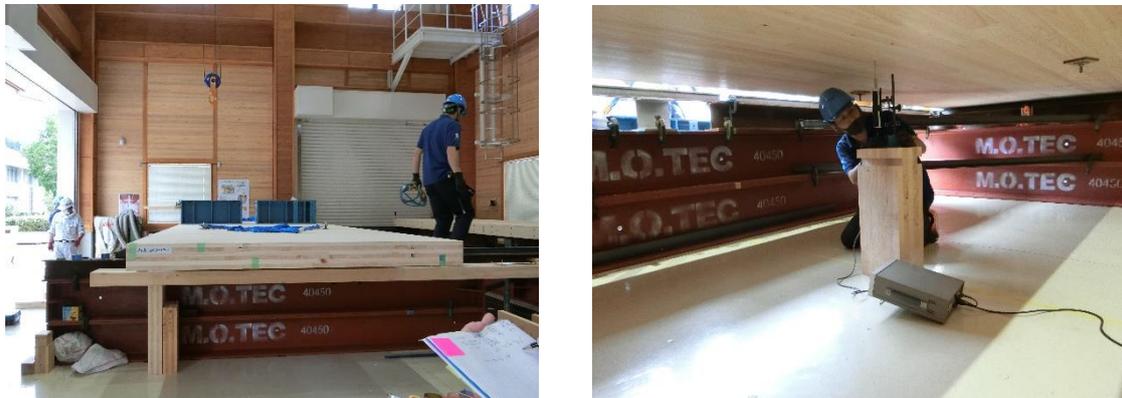


写真 2.9 測定状況（左：載荷状況、右：たわみ測定状況）

表 2.5 曲げ剛性の測定結果

| 番号 | 表層の ラミナ の方向 | 寸法 (mm) | | | GIR接合 | | 鋼板添え板接合 | |
|----|-------------------|---------|----------|----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | | 幅 mm | 長さ mm | 厚さ mm | 曲げ剛性 EI N・mm | 曲げヤング係数 kN/mm ² | 曲げ剛性 EI N・mm | 曲げヤング係数 kN/mm ² |
| ① | 上：弱軸方向 下：強軸方向 | 2,100 | 7,600 | 180 | 6.13×10^{12} | 6.00 | 4.59×10^{12} | 4.49 |
| ② | | 2,400 | | | 7.16×10^{12} | 6.14 | 7.16×10^{12} | 6.14 |
| ③ | | 2,400 | | | 6.19×10^{12} | 5.31 | 7.26×10^{12} | 6.22 |
| ④ | | 2,100 | | | 7.16×10^{12} | 7.02 | 5.12×10^{12} | 5.02 |
| 平均 | | | | | 6.66×10^{12} | 6.12 | 6.03×10^{12} | 5.47 |

第3章 接合部の要素試験

3.1 GIR 接合

3.1.1 試験概要

試験体リストを表 3.1、試験体形状及び寸法を図 3.1 に示す。試験体の母材はヒノキ S90-6-6 の CLT であり、厚さは 180mm、弱軸長さ 728mm、強軸長さ 4200mm である。接合金物には全ねじボルト M20（強度規格：4.8）を使用し、6 層 6 プライの上端から 2 層目に繊維直交方向、5 層目に繊維平行方向となるように埋め込み、埋め込み長さは 2 層目で 400mm、5 層目で 500mm とした。また、GIR の先穴は、φ24mm とした。充填用接着剤は 2 液反応強化型エポキシ樹脂系接着剤（オーシカダイン：TE-243L2）を用い、充填後の養生期間は 7 日間以上とした。また、接着剤の漏れ出しによる接合面の接着を防ぐために、接合面には隙間テープを貼っている。

表 3.1 試験体リスト

| 試験体名 | 全ねじボルトの仕様 | | CLTの仕様 | | | | | 数量 |
|------------|----------------|------------------------------------|--------|----------|--------|-------|--------|------|
| | 径 | 埋め込み長さ | 樹種 | 規格 | 厚さ(mm) | 幅(mm) | 長さ(mm) | 試験体数 |
| B-GIR-6ply | 径20mm (M20) | 上 L=400 (2層) 下 L=500 (5層) | ヒノキ | S-90-6-6 | 180 | 728 | 4200 | 6 |

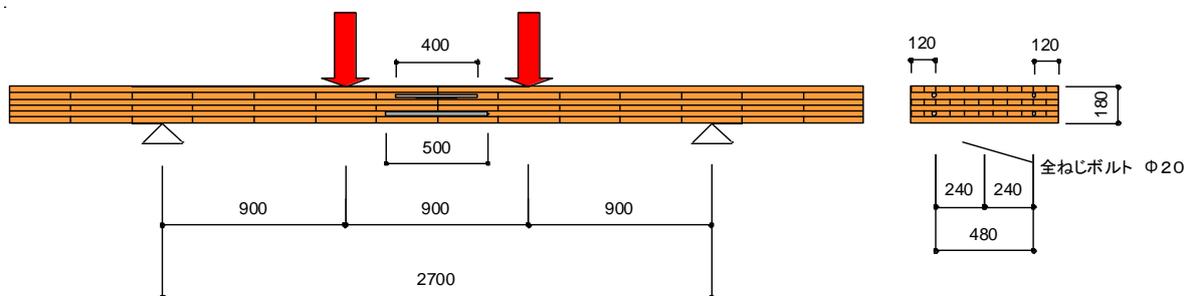


図 3.1 試験体形状及び寸法

3.1.2 試験方法

試験に用いた加力装置を図 3.2 に示す。载荷には 2000kN 万能試験機（島津製作所:UH-2000kNC）を使用し、3 等分 4 点曲げ試験を行った。また、ラミナの繊維方向と繊維直交方向の性能を比較するため、試験体裏面で初期剛性を測定し、表面で最大耐力を測定した。試験の加力速度は試験体が破壊するまでの時間が 1 分以上になるように設定した。試験体の変形は、支点間中央の両側面に設置した変位計により中央たわみを測定した。

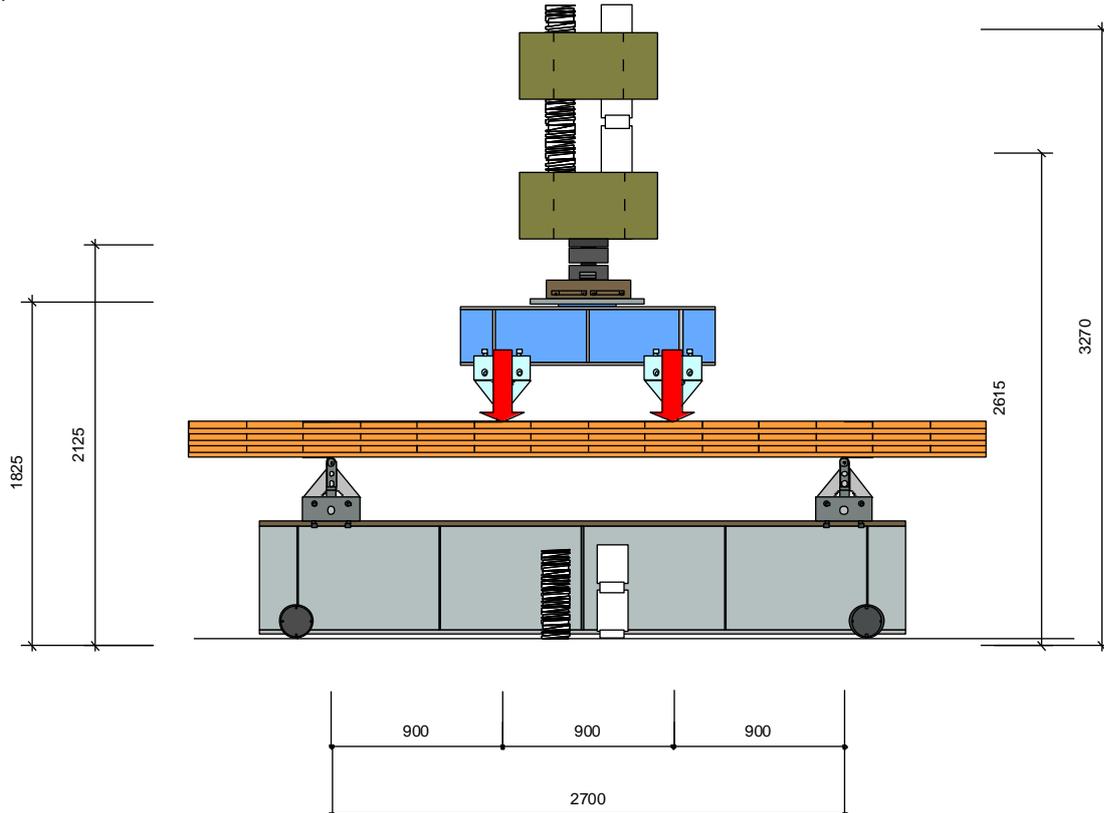


図 3.2 加力装置

3.1.3 試験結果

(1) 破壊性状

実験の破壊性状を写真 3.1 に示す。全ての試験体において接合金物と接着剤層周囲の母材が一緒になって引き抜ける引き抜けせん断破壊が起こった。また、5 体の試験体で 2 層目弱軸層の破壊が見られた。

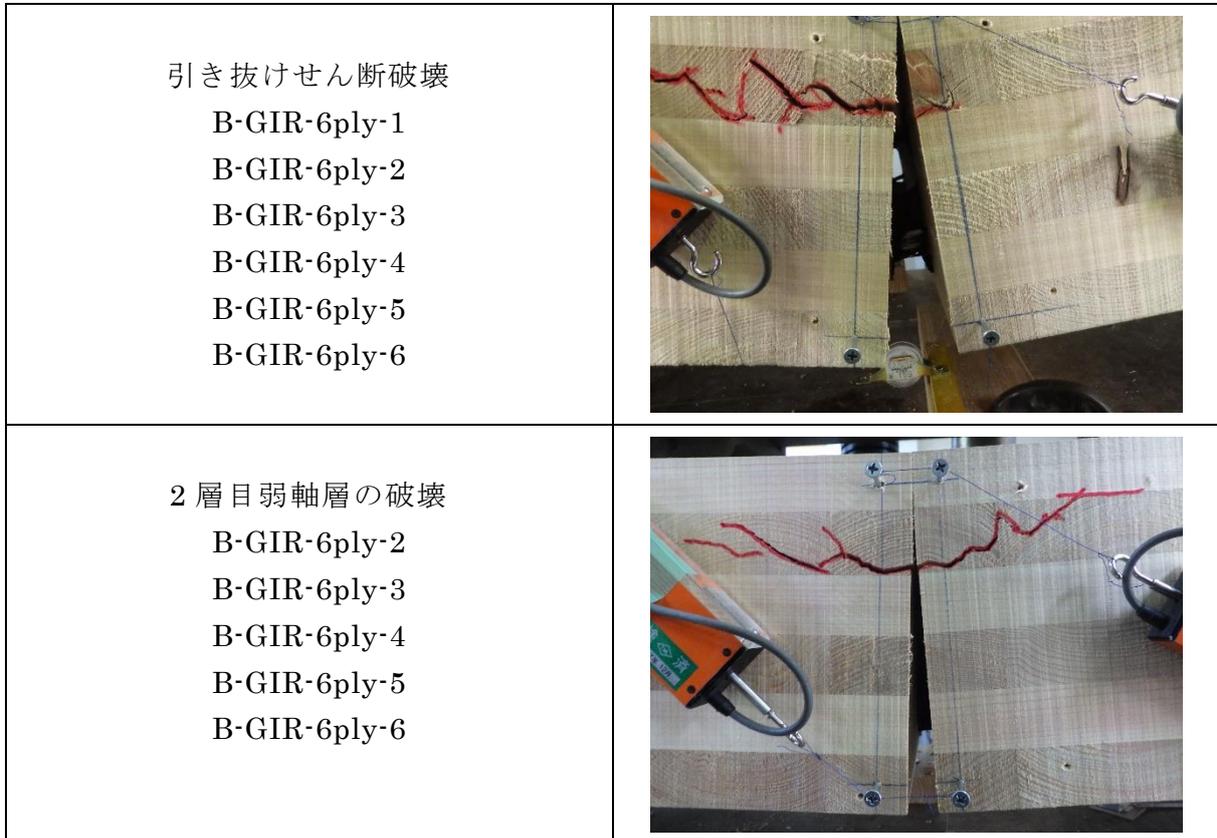


写真 3.1 破壊性状

(2) 荷重変形関係

荷重—中央たわみの関係を図 3.3 に示す。

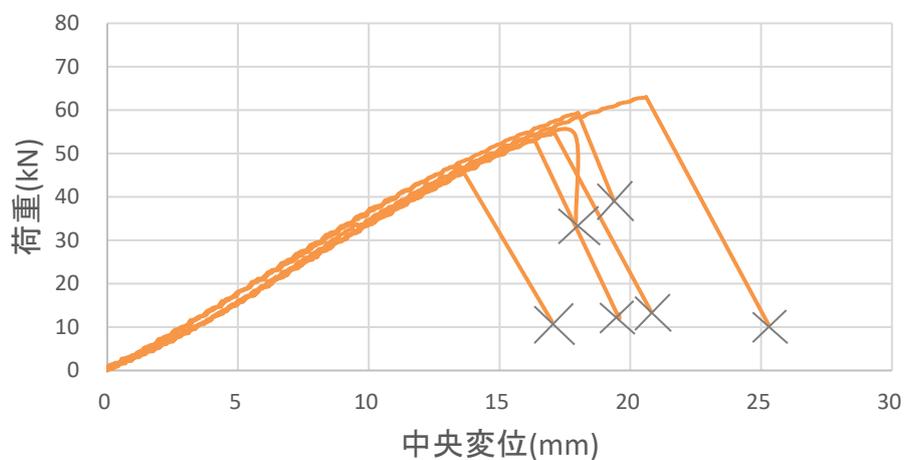


図 3.3 荷重—中央たわみ曲線

3.2 鋼板添え板ビス接合

3.2.1 試験概要

試験体リストを表 3.2、試験体形状及び寸法を図 3.4 に示す。試験体の母材はヒノキ S90-6-6 の CLT であり、厚さは 180mm、弱軸長さ 488mm、強軸長さ 4200mm である。接合金物には構造用ビス（シネジック：パネリード鋼 PK8-90）と鋼板（強度規格：SS400）を使用し、試験体上面は上面仕様の鋼板を 4 枚、下面は下面仕様の鋼板をそれぞれ 1 枚設置した。また、せん断力を負担させるために、6 層 6 プライの上端から 4 層目に $\phi 16\text{mm}$ 、長さ 100mm のドリフトピンを 1 本挿入した。

表 3.2 試験体リスト

| 試験体名 | 構造用ビスの仕様(PK8-90) | | 鋼板の仕様 | | | CLTの仕様 | | | | | 数量 |
|-----------|-----------------------------|---|--------|--|------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|------|
| | 長さ(mm) | 本数 | 厚さ(mm) | サイズ(mm) | 枚数 | 樹種 | 規格 | 厚さ(mm) | 幅(mm) | 長さ(mm) | 試験体数 |
| B-ST-6ply | 外径 8 ビス長さ 90 ネジ部長さ 72 | 上面仕様 8本/枚 計32本 下面仕様 12/枚と18/枚 計30本 | 4.5 | 上面仕様 80×464 下面仕様 120×565 200×565 | 上面仕様 180枚 下面仕様 各45枚 | ヒノキ | S90-6-6 | 180 | 488 | 4200 | 6 |

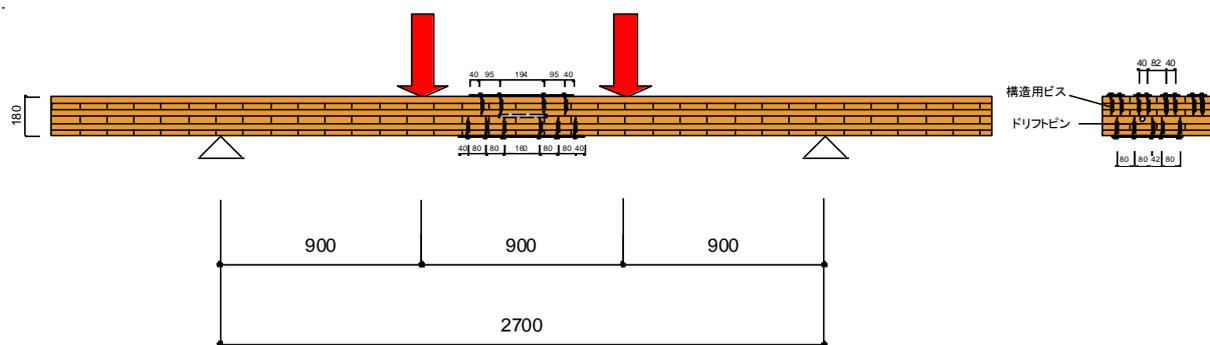


図 3.4 試験体形状及び寸法

3.2.2 試験方法

試験方法は GIR 接合の試験体と同様とした（3.1.2 試験方法参照）。

3.2.3 試験結果

(1) 破壊性状

実験の破壊性状を写真 3.2 に示す。2 体の試験体で、最外層接着部の破壊が見られた。また、4 体の試験体で最外層弱軸層の破壊が見られた。

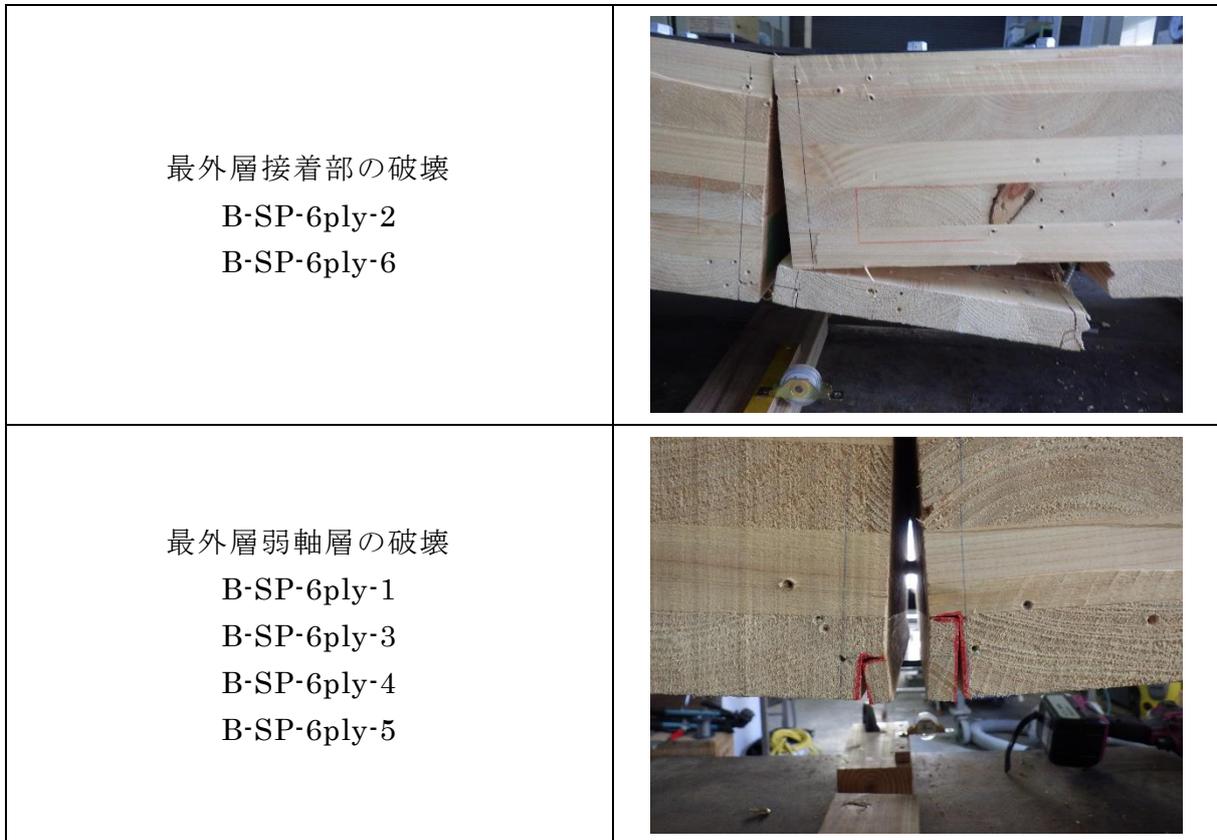


写真 3.2 破壊性状

(2) 荷重変形関係

荷重—中央たわみの関係を図 3.5 に示す。

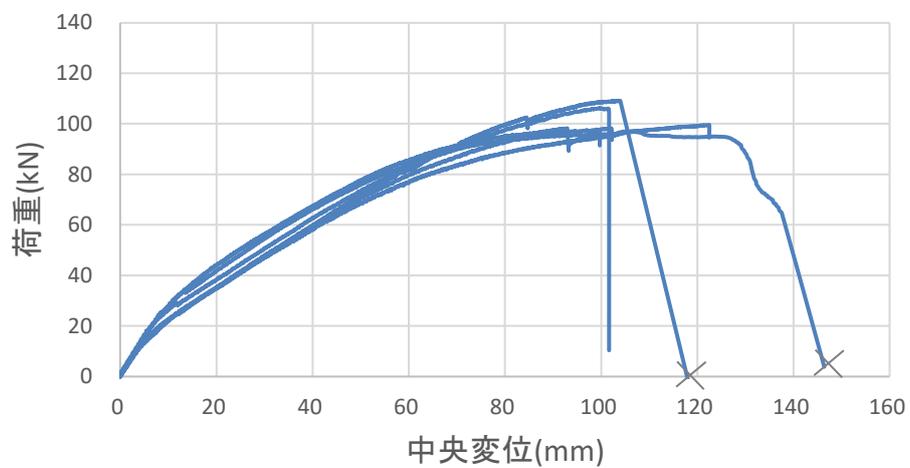


図 3.5 荷重—中央たわみ曲線

(3) 初期剛性、最大耐力

初期剛性および最大耐力を、表 3.3 にまとめる。

表 3.3 初期剛性および最大耐力

| 試験体名 | No. | 初期剛性(kN/mm) | 最大耐力(kN) | |
|----------------|-----|-------------|----------|--------|
| 21B-SP-6Ply-J | 1 | 2.10 | 98.27 | 101.45 |
| | 2 | 1.49 | 109.19 | |
| | 3 | 1.46 | 99.65 | |
| | 4 | 1.52 | 98.26 | |
| | 5 | 1.64 | 106.22 | |
| | 6 | 1.91 | 97.11 | |
| 21B-GIR-6Ply-J | 1 | 1.88 | 54.24 | 55.42 |
| | 2 | 1.68 | 55.02 | |
| | 3 | 1.80 | 59.44 | |
| | 4 | 1.68 | 63.08 | |
| | 5 | 1.77 | 47.72 | |
| | 6 | 1.62 | 53.02 | |

第4章 実大床の静的試験

この章では、CLT パネルの接合に GIR 接合及び鋼板添え板ビス接合（以下、ビス接合）を用いた実大 CLT 平面スラブの静的載荷試験を行ったので報告する。

4.1 GIR 接合

4.1.1 試験概要

試験体リストを表 4.1、試験体形状および寸法を図 4.1、接合部の詳細を図 4.2 に示す。

試験体の母材は、ヒノキ CLT (S90-6-6) であり、幅 2100mm の CLT を 2 枚、幅 2400mm の CLT を 2 枚接合し、7600mm×9000mm の水平構面を構成した。GIR 接合の接合金物には全ねじボルト（強度規格：4.8, M20）を使用し、接合金物の先穴径は、φ24mm とした。GIR 接合では、ボルトを 6 層 6 プライの上端から 2 層目に繊維直交方向、5 層目に繊維平行方向となるように埋め込み、その埋め込み長さは 2 層目で 400mm、5 層目で 500mm とし、それぞれ長手方向に 488mm ピッチとした。充填用接着剤は 2 液反応強化型エポキシ樹脂系接着剤（オーシカダイン：TE-243L2）を用い、充填後の養生期間は 7 日間以上とした。また、接着剤の漏れ出しによる接合面の接着を防ぐために、接合面には隙間テープを貼っている。

表 4.1 試験体リスト

| 接合方法 | CLTの枚数 | 支持方法 | 全ねじボルトの仕様 | | | CLTの仕様 | | | | |
|------|--------|----------|----------------|----------------------------|--------------------|--------|----------|--------|---------------------|--------|
| | | | 径 | 埋め込み長さ(mm) | 本数 | 樹種 | 規格 | 厚さ(mm) | 幅(mm) | 長さ(mm) |
| GIR | 4枚 | 4辺支持 | 径20mm (M20) | 上 L=400(2層) 下 L=500(5層) | 48本(2層) 48本(5層) | ヒノキ | S-90-6-6 | 180 | 2100 または 2400 | 7600 |
| | | 2辺支持(長手) | | | | | | | | |
| | | 2辺支持(短手) | | | | | | | | |
| | | 4点支持 | | | | | | | | |
| | 3枚 | 4辺支持 | | | 32本(2層) 32本(5層) | | | | | 6900 |
| | | 2辺支持(長手) | | | | | | | | |
| | | 2辺支持(短手) | | | | | | | | |

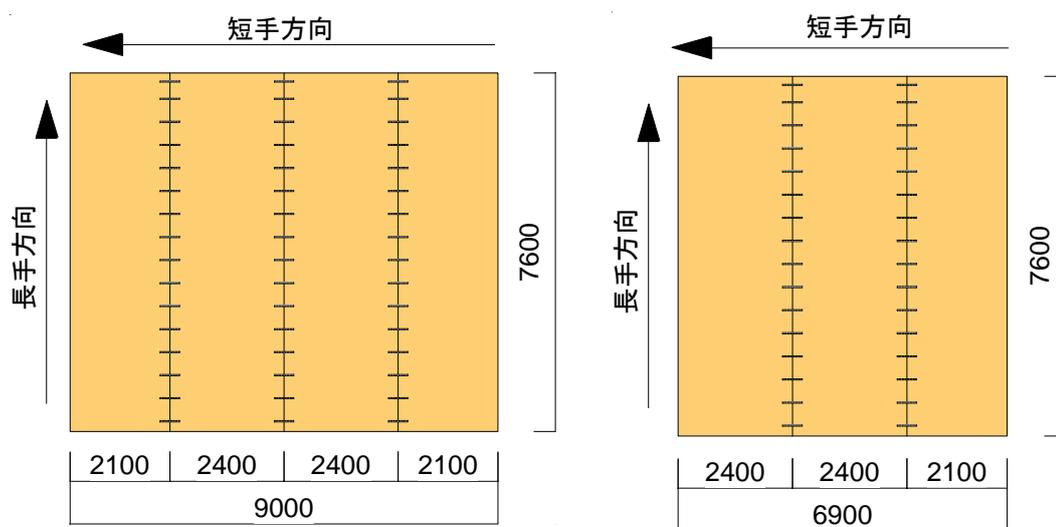


図 4.1 GIR 試験体形状

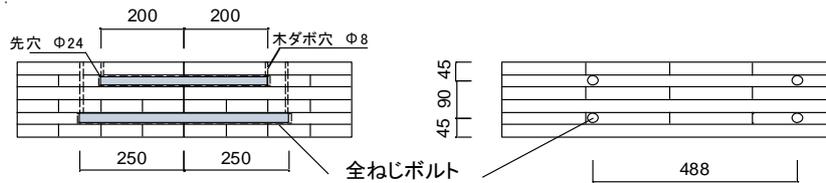


図 4.2 GIR 接合部詳細

4.1.2 試験方法

図 4.3、図 4.4 に変位計位置、図 4.5、図 4.6 に荷重パターンを示す。試験体の支持方法は試験体ごとに架台レールの組み換えを行い、4 辺支持、2 辺支持（長手）、2 辺支持（短手）とした。架台内部のたわみ、架台の沈み込み、跳ねだし部分の先端たわみは地面からの絶対変位とし、変位の計測はストレインゲージ式変位計（東京測器研究所：CDP-50,CDP-25,SDP-50）を用いて測定した。荷重にはウォータータンク（容量 20L）を質量 20kg に調整して使用し、荷重荷重は CLT の枚数が 4 枚の試験体は 800N/m^2 、CLT の枚数が 3 枚の試験体は 700N/m^2 とした。CLT の枚数が 4 枚の試験体の荷重および除荷は図 4.5 に示す順番で行い、計 42 パターン計測した。また、CLT の枚数が 3 枚の試験体の荷重および除荷は図 4.6 に示す順番で行い、計 30 パターン計測した。

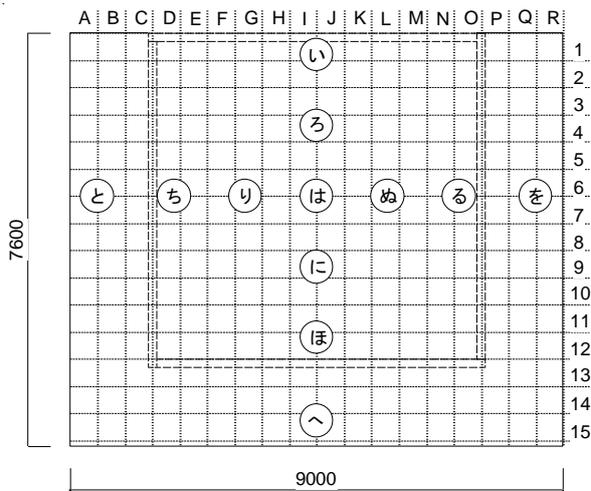


図 4.3 変位計位置 (い～を) (mm)

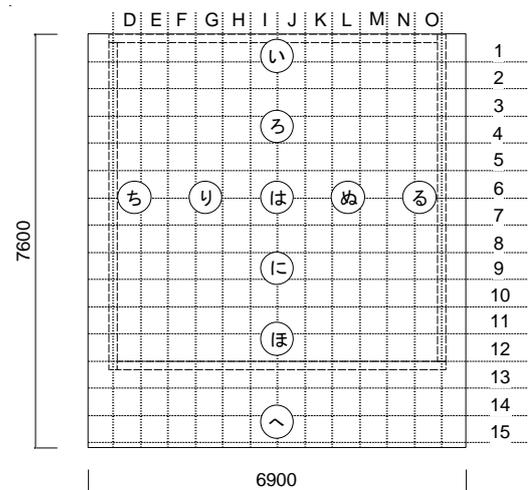
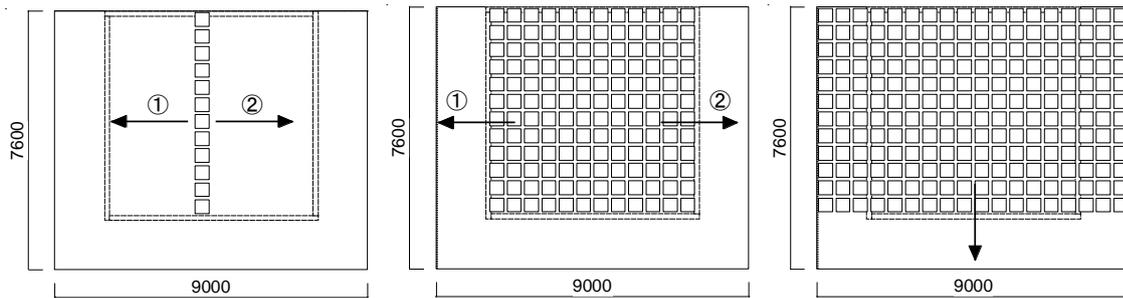


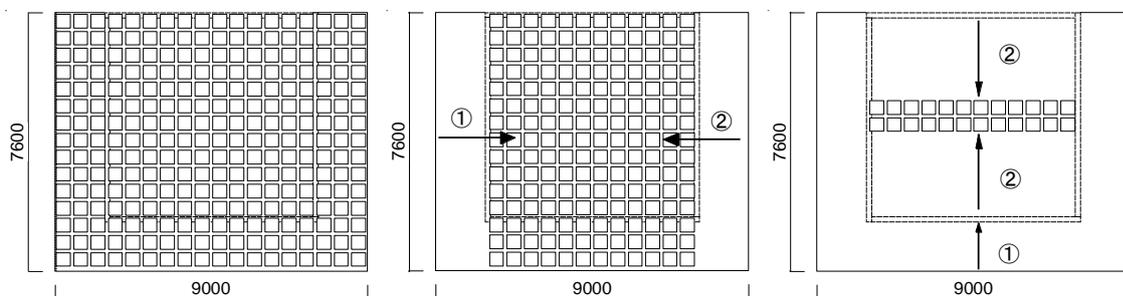
図 4.4 変位計位置 (い～る) (mm)



パターン 1~12
I-D、J-O 列の順で
1~12 行まで載荷
(架台内部載荷)

パターン 13~18
C~A、P~R 列の順で
1~12 行まで載荷

パターン 19~21
13~15 行の順で
A~R 列まで載荷



パターン 21
全面載荷終了時

パターン 22~27
A~C、R~P 列を
交互に除荷

パターン 28~42
15~13 列の順で除荷
12→1→11→2…行の
順で交互に除荷

図 4.5 載荷パターン(4 枚)

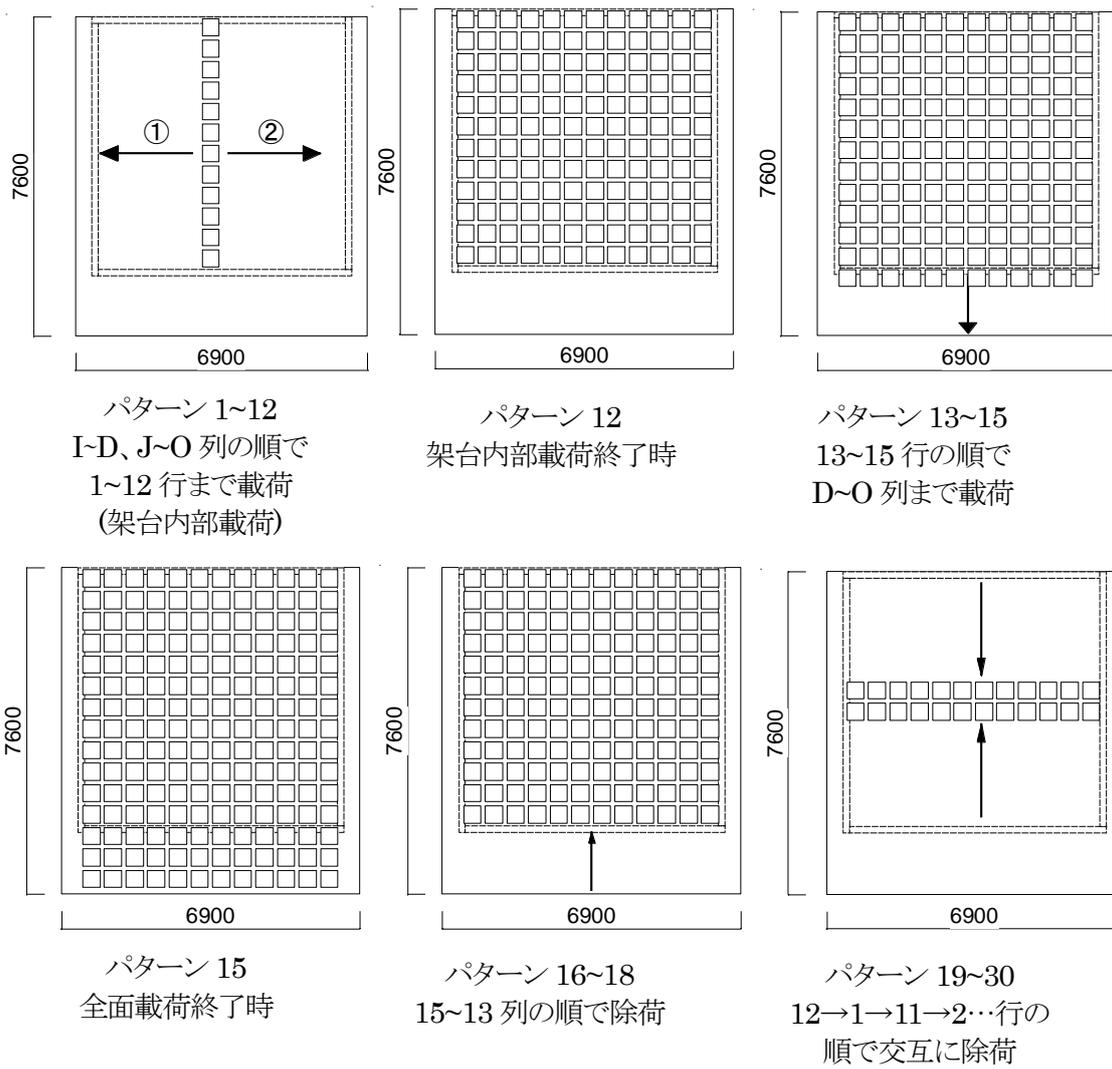


図 4.6 載荷パターン (3 枚)

4.1.3 試験結果

本節では、試験結果を支持方法、CLTの枚数を同じ条件とした試験体ごとに示す。

【CLTの枚数：4枚 支持方法：4辺支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図4.7に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4辺支持の場合、架台内部载荷終了時（パターン12）で最大たわみとなった。架台内部载荷時の中央たわみは2.53mm、全面载荷時（パターン21）の中央たわみは1.62mmとなった。

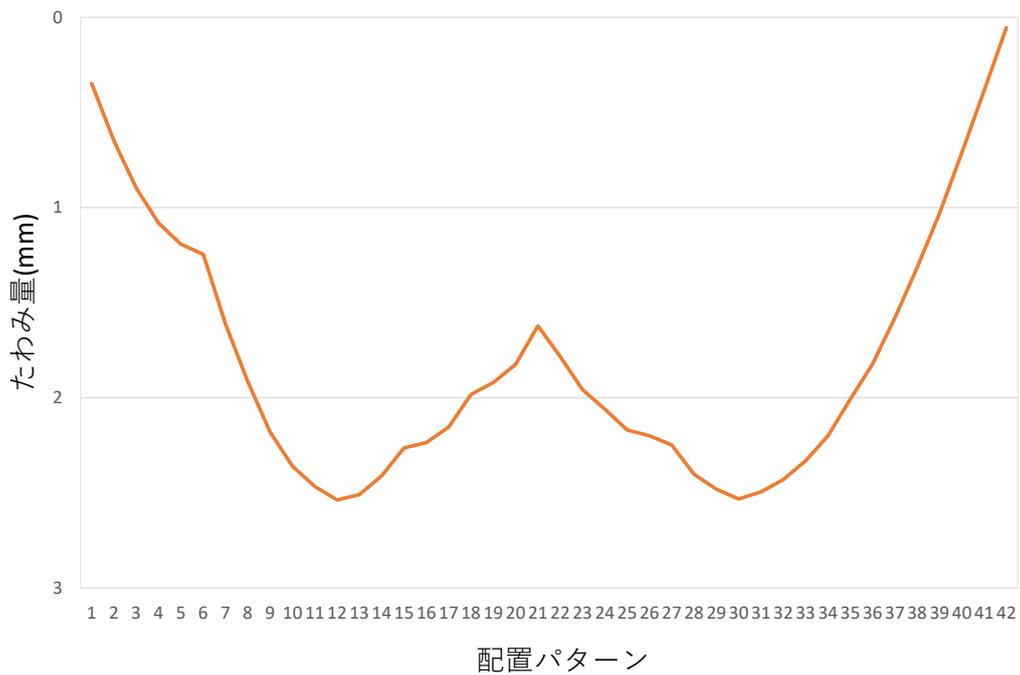


図 4.7 配置パターンによる中央たわみの変化（4枚：4辺支持）

【CLTの枚数：4枚 支持方法：2辺支持（短手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.8 に示す。

2辺支持（短手）の場合、パターン 18（A～R 列×1～12 行）で最大たわみとなり、4.19mm を示した。また、架台内部載荷時（パターン 12）の中央たわみは 3.67mm となった。

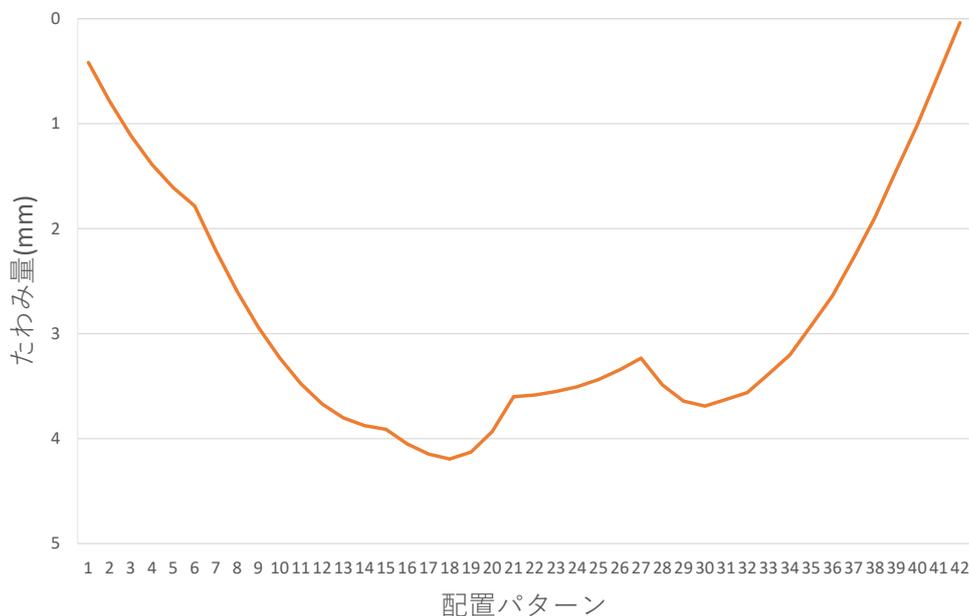


図 4.8 配置パターンによる中央たわみの変化（4枚：2辺支持（短手））

【CLTの枚数：4枚 支持方法：2辺支持（長手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.9 に示す。

2辺支持（長手）の場合、パターン 27（D～O 列×1～15 行）で最大たわみとなり 7.25mm を示した。また、架台内部載荷時の中央たわみは、6.36mm を示した。



図 4.9 配置パターンによる中央たわみの変化（4枚：2辺支持（長手））

【CLTの枚数：4枚 支持方法：4点支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.10 に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値とした。

4点支持の場合、パターン 25 (C~P 列×1~15 行) で最大たわみとなり 9.9mm を示した。全面載荷時の中央たわみは 9.3mm、架台内部載荷時の中央たわみは 8.94mm となった。

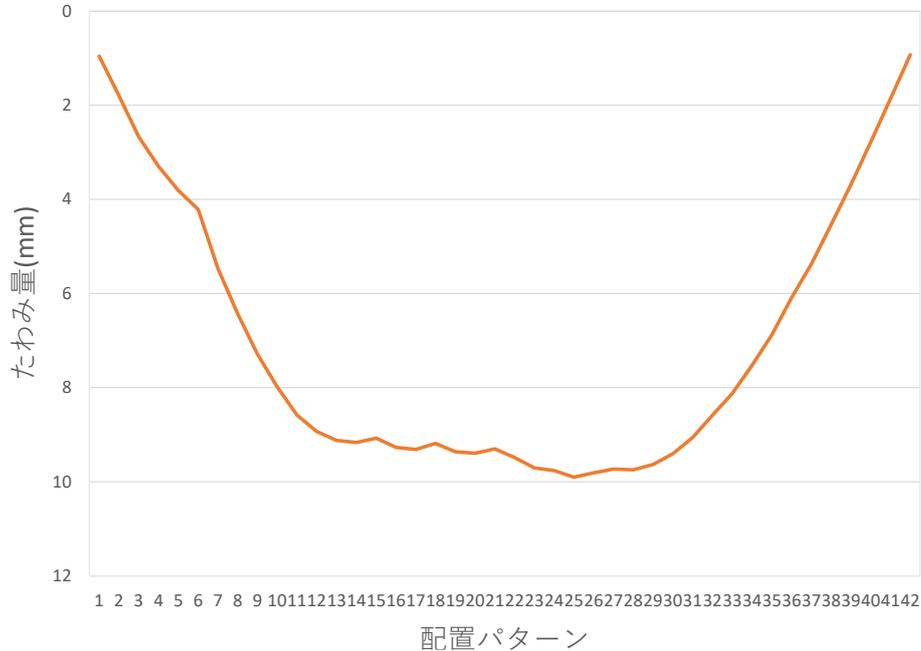


図 4.10 配置パターンによる中央たわみの変化 (4枚：4点支持)

【CLTの枚数：3枚 支持方法：4辺支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.11 に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4辺支持の場合、架台内部載荷時 (パターン 18) で最大たわみとなり、2.97mm を示した。また、全面載荷終了時 (パターン 15) の中央たわみは、2.61mm となった。

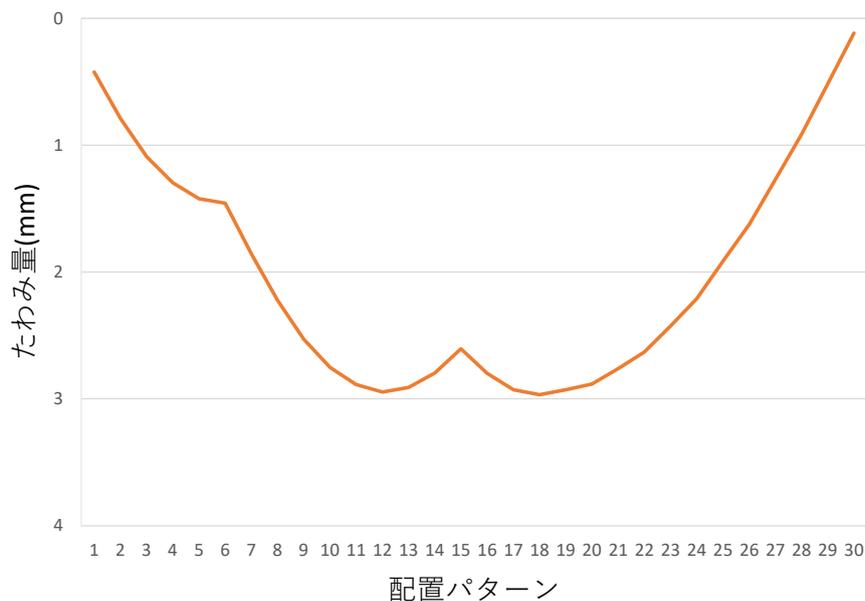


図 4.11 配置パターンによる中央たわみの変化 (3枚：4辺支持)

【CLTの枚数：3枚 支持方法：2辺支持（短手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.12 に示す。

2辺支持（短手）の場合、架台内部載荷時（パターン 18）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは 4.41mm を示した。また、全面載荷終了時（パターン 15）の中央たわみは 3.88mm となった。

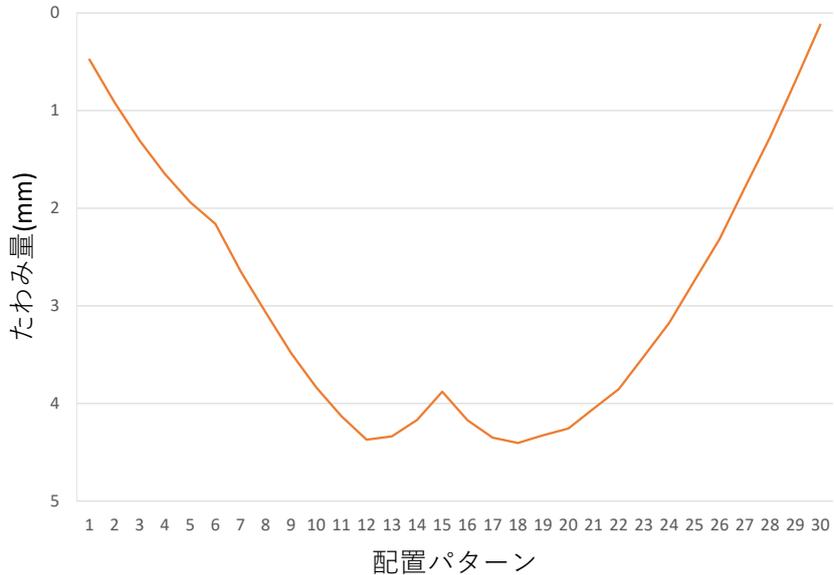


図 4.12 配置パターンによる中央たわみの変化（3枚：2辺支持（短手））

【CLTの枚数：3枚 支持方法：2辺支持（長手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.13 に示す。

2辺支持（長手）の場合、全面載荷時（パターン 15）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは 7.46mm を示した。また、架台内部載荷終了時（パターン 12）の中央たわみは 6.68mm となった。

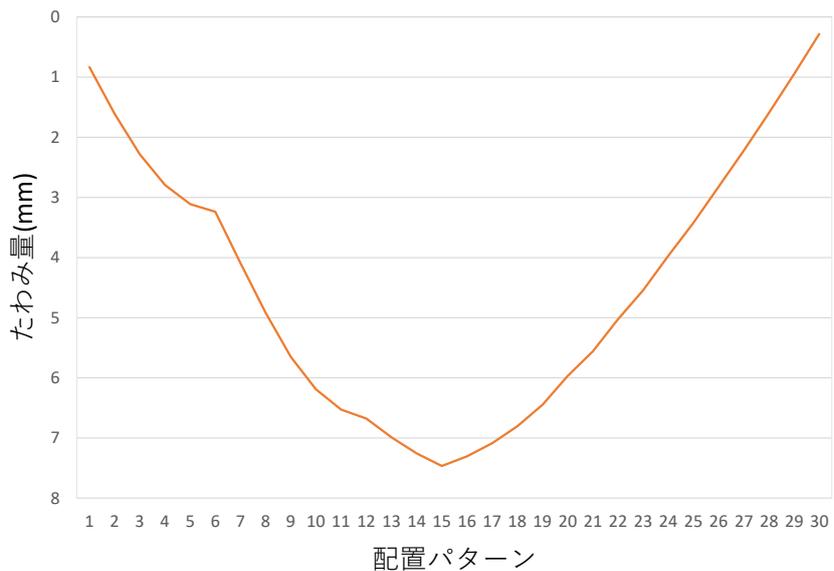


図 4.13 配置パターンによる中央たわみの変化（3枚：2辺支持（長手））

4.2 鋼板添え板ビス接合

4.2.1 試験概要

試験体リストを表 4.2、試験体形状および寸法を図 4.14、接合部の詳細を図 4.15、試験体上面の様子を写真 4.1、試験体下面の様子を写真 4.2 に示す。

試験体の母材は、ヒノキ CLT (S90-6-6) であり、幅 2100mm の CLT を 2 枚、幅 2400mm の CLT を 2 枚接合し、7600mm×9000mm の水平構面を構成した。接合金物には構造用ビス (シネジック : パネリード鋼 PK8-90) と鋼板 (強度規格 : SS400) を使用し、CLT の長手方向 488mm ごとに、上面は上面仕様の鋼板を 4 枚、下面は下面仕様の鋼板をそれぞれ 1 枚設置した (写真 4.1、4.2 参照)。また、せん断力を負担させるために、6 層 6 プライの上端から 4 層目に $\phi 16$ mm、長さ 100mm のドリフトピンを CLT の長手方向 488mm ごとに 1 本挿入した。

表 4.2 試験体リスト

| 接合方法 | CLTの枚数 | 支持方法 | 構造用ビスの仕様(PK8-90) | | 鋼板の仕様 | | | CLTの仕様 | | | | | | | | |
|-------------|--------|----------|-----------------------------|---|--------|--|------------------------------|--------|---------|--------|---------------------|--------|---|-----|--|------------------------------|
| | | | 長さ(mm) | 本数 | 厚さ(mm) | サイズ(mm) | 枚数 | 樹種 | 規格 | 厚さ(mm) | 幅(mm) | 長さ(mm) | | | | |
| 鋼板添え板 ビス | 4枚 | 4辺支持 | 外径 8 ビス長さ 90 ネジ部長さ 72 | 上面仕様 8本/枚 計1440本 下面仕様 12/枚と18/枚 計1350本 | 4.5 | 上面仕様 80×464 下面仕様 120×565 200×565 | 上面仕様 180枚 下面仕様 各45枚 | ヒノキ | S90-6-6 | 180 | 2100 または 2400 | 7600 | | | | |
| | | 2辺支持(長手) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2辺支持(短手) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4点支持 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3枚 | 4辺支持 | | | | | | | | | | | 上面仕様 8本/枚 計960本 下面仕様 12/枚と18/枚 計900本 | 4.5 | 上面仕様 80×464 下面仕様 120×565 200×565 | 上面仕様 120枚 下面仕様 各30枚 |
| | | 2辺支持(長手) | | | | | | | | | | | | | | |
| 2辺支持(短手) | | | | | | | | | | | | | | | | |

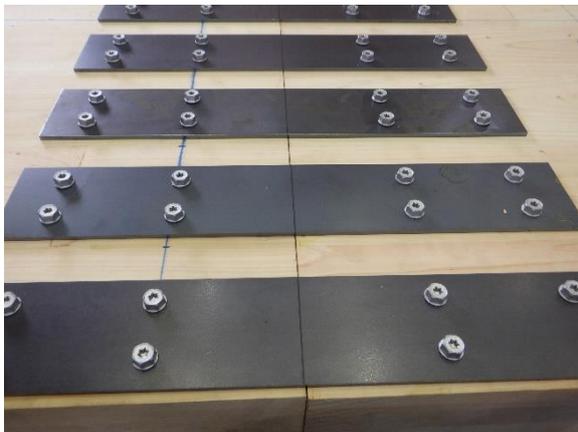
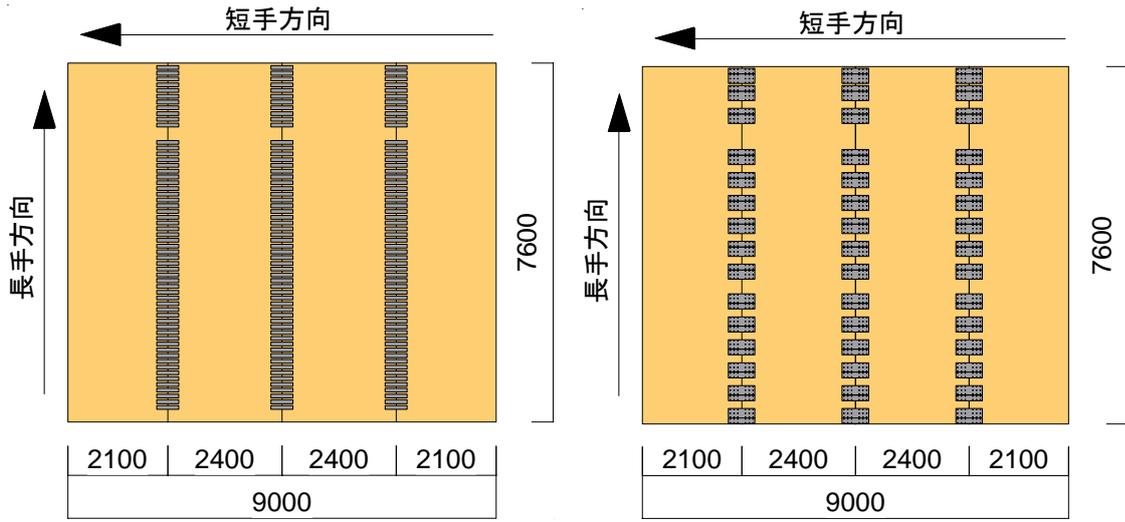


写真 4.1 試験体上面の様子

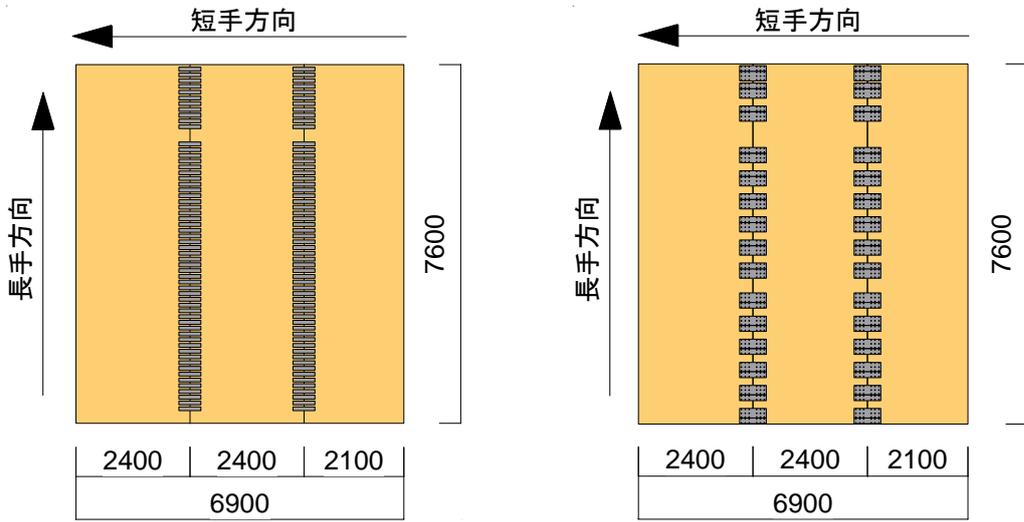


写真 4.2 試験体下面の様子



表面

裏面



表面

裏面

図 4.14 ビス接合試験体形状

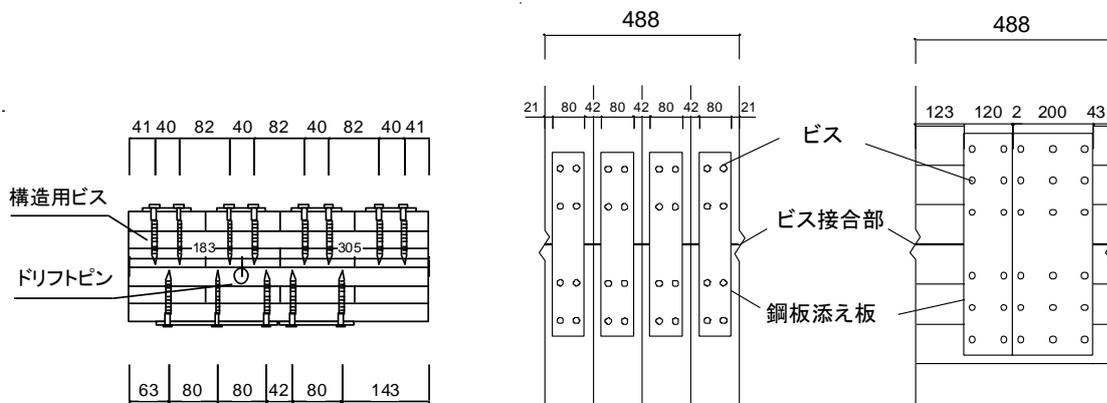


図 4.15 ビス接合部詳細

4.2.2 試験方法

試験方法は GIR 接合の試験体と同様とした (4.1.2 試験方法参照)。

4.2.3 試験結果

本節では、試験結果を支持方法、CLT の枚数を同じ条件とした試験体ごとに示す。

【CLT の枚数 : 4 枚 支持方法 : 4 辺支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.16 に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4 辺支持の場合、架台内部載荷終了時 (パターン 12) で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、2.11mm を示した。一方、全面載荷時 (パターン 21) の中央たわみは 1.68mm となった。

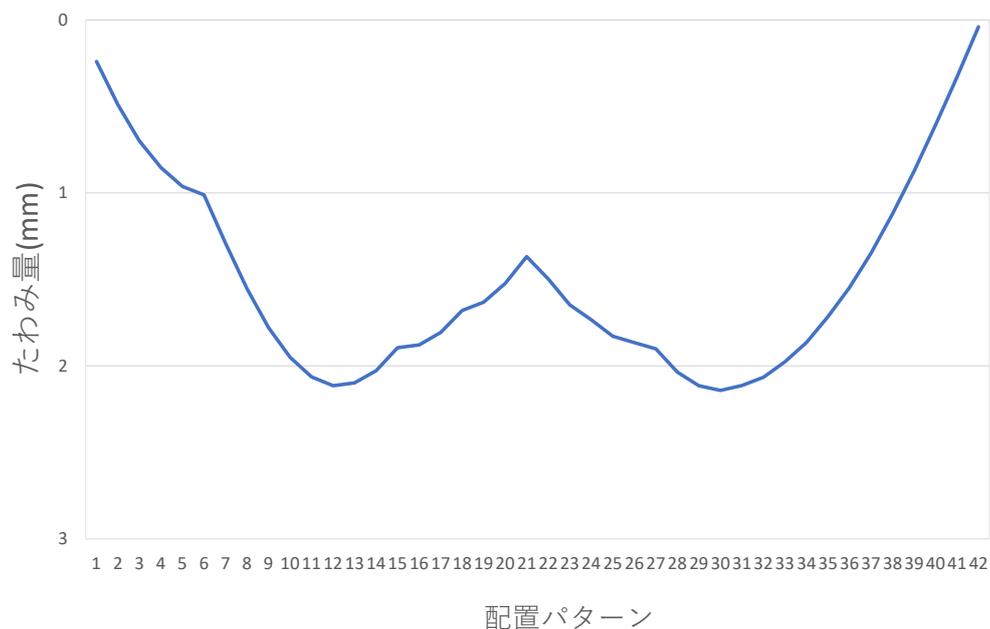


図 4.16 配置パターンによる中央たわみの変化 (4 枚 : 4 辺支持)

【CLTの枚数：4枚 支持方法：2辺支持（短手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.17 に示す。

2辺支持（短手）の場合、パターン 18（A～R 列×1～12 行）で最大たわみとなり、4.60mm を示した。また、架台内部載荷時（パターン 12）の中央たわみは 3.68mm となった。

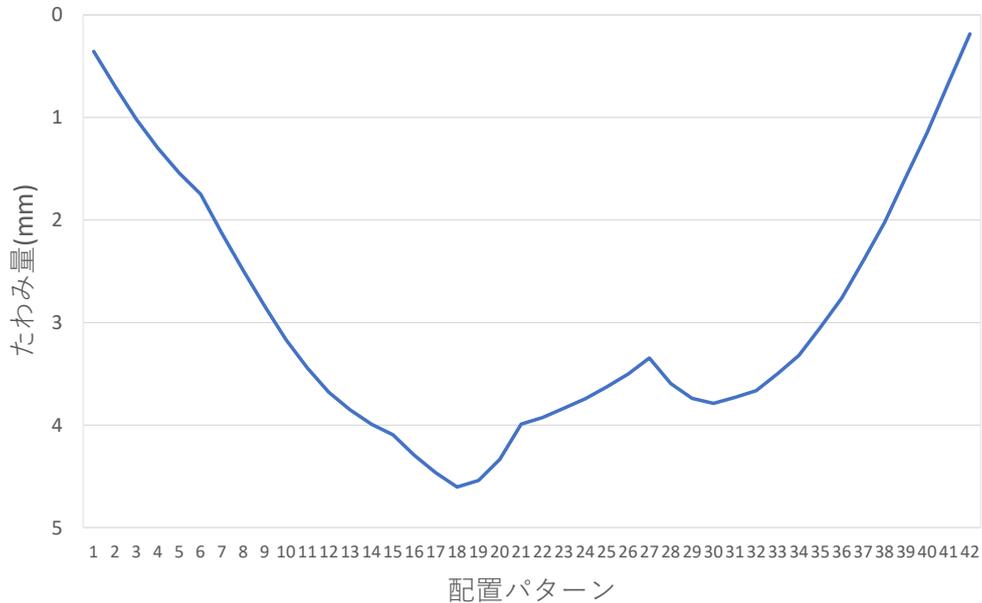


図 4.17 配置パターンによる中央たわみの変化（4枚：2辺支持（短手））

【CLTの枚数：4枚 支持方法：2辺支持（長手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.18 に示す。2辺支持（長手）の場合、パターン 27（D～O 列×1～15 行）で最大たわみとなり、4.81mm を示した。また、架台内部載荷時の中央たわみは 4.29mm を示した。

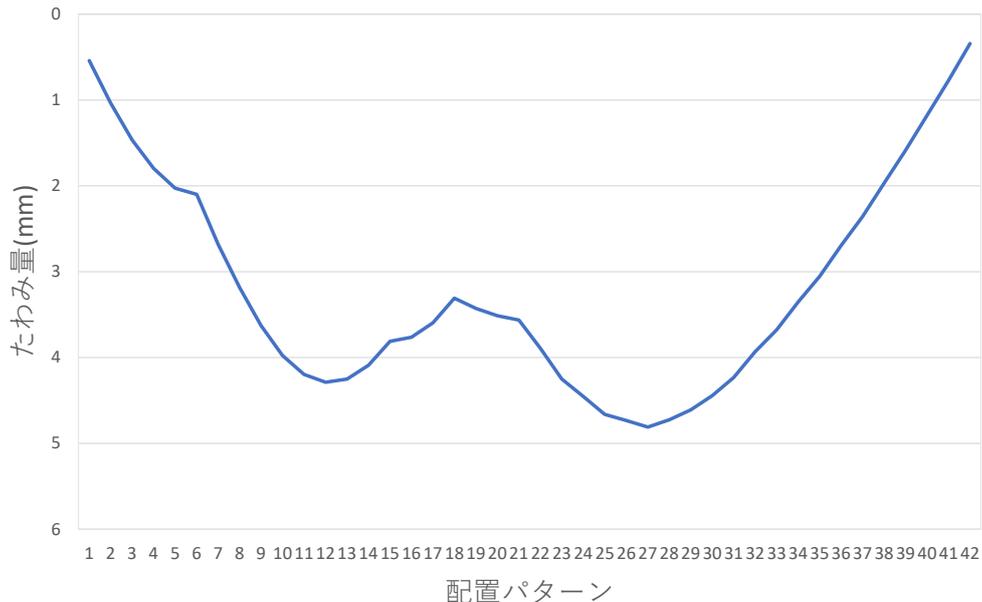


図 4.18 配置パターンによる中央たわみの変化（4枚：2辺支持（長手））

【CLTの枚数：4枚 支持方法：4点支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.19 に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値とした。

4点支持の場合、パターン 19 (A~R 列×1~14 行) で最大たわみとなり、7.86mm を示した。全面載荷時の中央たわみは、7.68mm 示した。また、架台内部載荷時の中央たわみは 6.92mm となった。

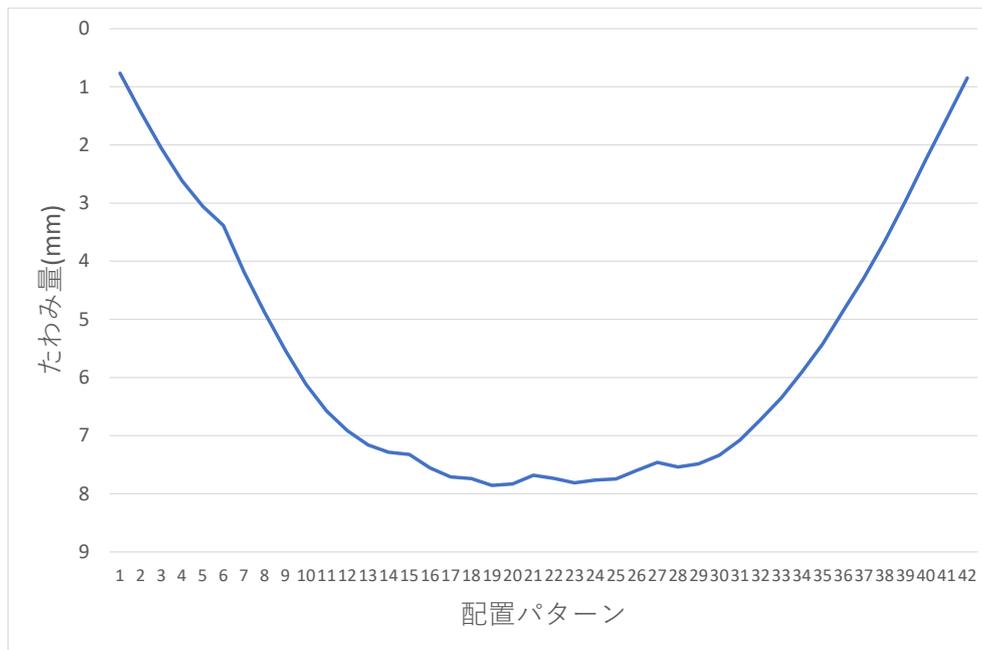


図 4.19 配置パターンによる中央たわみの変化 (4枚：4点支持)

【CLTの枚数：3枚 支持方法：4辺支持】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.20 に示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4辺支持の場合、架台内部載荷時（パターン18）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、2.50mmを示した。

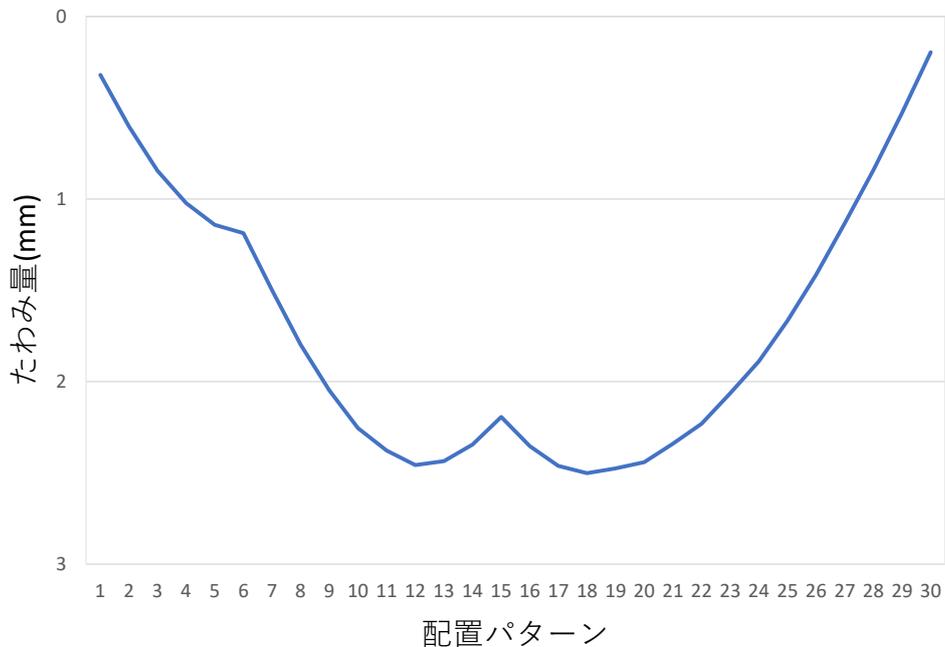


図 4.20 配置パターンによる中央たわみの変化（3枚：4辺支持）

【CLTの枚数：3枚 支持方法：2辺支持（短手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.21 に示す。

2 辺支持（短手）の場合、架台内部載荷時（パターン 18）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは 4.29mm 示した。また、全面載荷終了時（パターン 15）の中央たわみは、3.75mm となった。

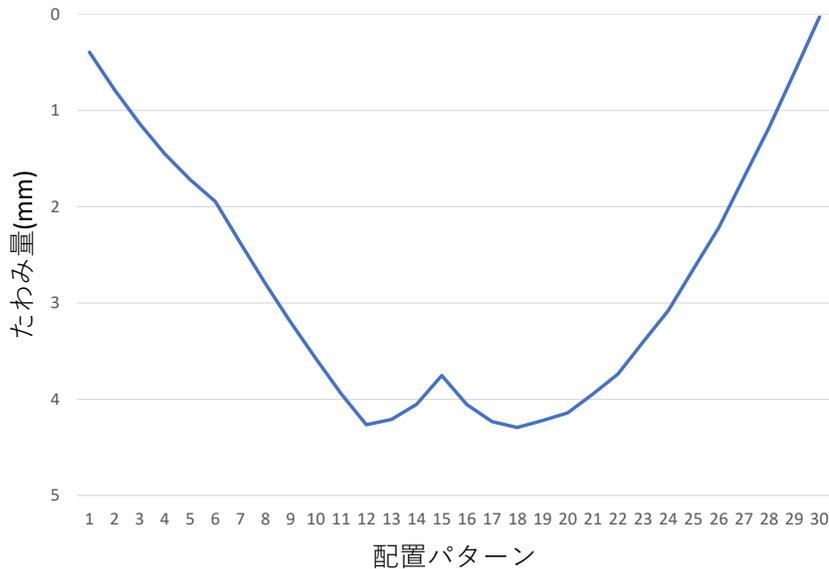


図 4.21 配置パターンによる中央たわみの変化（3枚：2辺支持（短手））

【CLTの枚数：3枚 支持方法：2辺支持（長手）】

試験により得られた配置パターンによる中央たわみの変化を図 4.22 に示す。

2 辺支持（長手）の場合、全面載荷時（パターン 15）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、4.92mm を示した。また、架台内部載荷終了時（パターン 12）の中央たわみは 4.48mm となった。

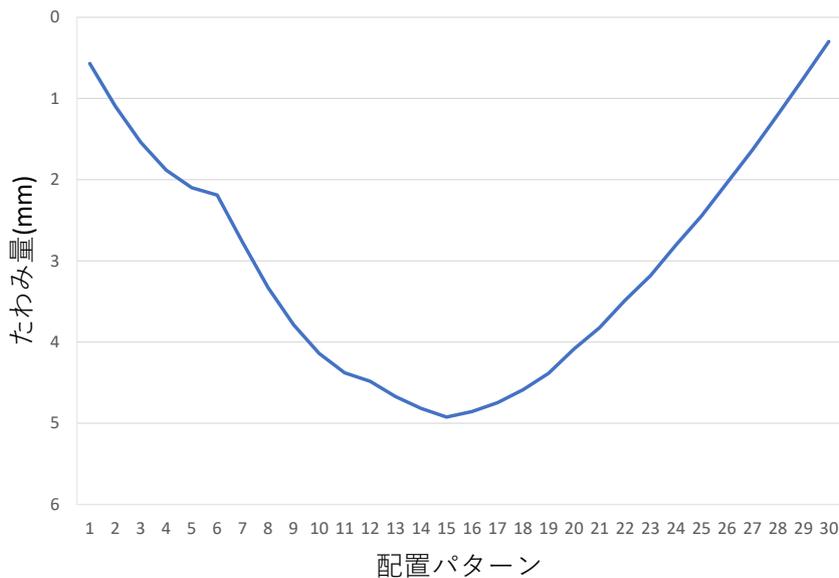


図 4.22 配置パターンによる中央たわみの変化（3枚：2辺支持（長手））

4.3 比較 (考察)

4.3.1 配置パターンによる中央たわみの変化

図 4.23 に CLT の枚数が 4 枚の試験体の配置パターンによる中央たわみの変化を示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4 辺支持の場合、GIR 接合、ビス接合ともに架台内部載荷終了時 (パターン 12) で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合の試験体が 2.53mm、ビス接合の試験体が 2.11mm となり、GIR 接合の中央たわみの値がビス接合の値の約 1.2 倍の値を示した。建築基準法に定められる百貨店または店舗の売り場の地震時の積載荷重 1300 N/m²、また固定荷重を仮に 1500N/m² と仮定して、変位を約 3.5 倍して最大たわみを検討すると、GIR 接合、ビス接合ともに、平 12 建告 1459 号第 2 の基準である L/250 (変形増大係数 2.0) 以下を満たした。一方、全面載荷時 (パターン 21) の中央たわみは、GIR 接合が 1.62mm、ビス接合が 1.68mm となった。

2 辺支持 (短手) の場合、GIR 接合、ビス接合ともにパターン 18 (A~R 列×1~12 行) で最大たわみとなり、GIR 接合の試験体が 4.19mm、ビス接合の試験体が 4.60mm を示した。また、架台内部載荷時 (パターン 12) の中央たわみは GIR 接合が 3.67mm、ビス接合が 3.68mm となり、同等の値を示した。

2 辺支持 (長手) の場合、GIR 接合、ビス接合ともにパターン 27 (D~O 列×1~15 行) で最大たわみとなり、GIR 接合の試験体が 7.25mm、ビス接合の試験体が 4.81mm を示した。また、架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合が 6.36mm、ビス接合が 4.29mm となり、GIR 接合の中央たわみの値がビス接合の約 1.5 倍の値を示した。

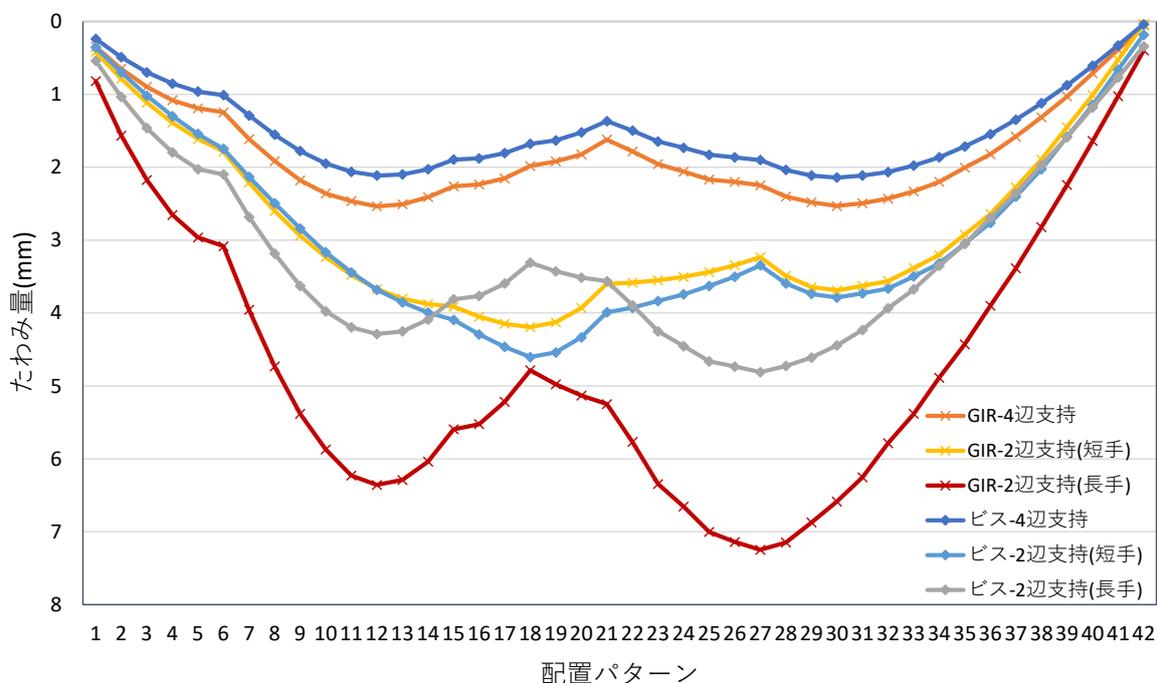


図 4.23 配置パターンによる中央たわみの変化 (CLT の枚数 : 4 枚)

図 4.24 に CLT の枚数が 3 枚の試験体の配置パターンによる中央たわみの変化を示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値から架台の沈み込みの平均値を引いた値とした。

4 辺支持の場合、GIR 接合、ビス接合ともに架台内部載荷終了時（パターン 18）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合の試験体が 2.97mm、ビス接合の試験体が 2.50mm となり、GIR 接合の中央たわみの値がビス接合の値の約 1.2 倍の値を示した。建築基準法に定められる百貨店または店舗の売り場の地震時の積載荷重 1300 N/m²、また固定荷重を仮に 1500N/m²と仮定して、変位を約 3.5 倍して最大たわみを検討すると、GIR 接合、ビス接合ともに、平 12 建告 1459 号第 2 の基準である L/250（変形増大係数 2.0）以下を満たした。一方、全面載荷終了時（パターン 15）の中央たわみは、GIR 接合が 2.61mm、ビス接合が 2.19mm となった。単純梁支持に対し、連続梁とすることで、たわみの値が改善されることがうかがえる。

2 辺支持（短手）の場合、GIR 接合、ビス接合ともに架台内部載荷時（パターン 18）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合の試験体が 4.41mm、ビス接合の試験体が 4.29mm となり、同等の値を示した。また、全面載荷終了時（パターン 15）の中央たわみは、GIR 接合が 3.88mm、ビス接合が 3.75mm となった。

2 辺支持（長手）の場合、GIR 接合、ビス接合ともに全面載荷時（パターン 15）で最大たわみとなった。架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合の試験体が 7.46mm、ビス接合の試験体が 4.92mm となり、GIR 接合の中央たわみの値がビス接合の値の約 1.5 倍の値を示した。また、架台内部載荷終了時（パターン 12）の中央たわみは、GIR 接合が 6.68mm、ビス接合が 4.48mm となった。

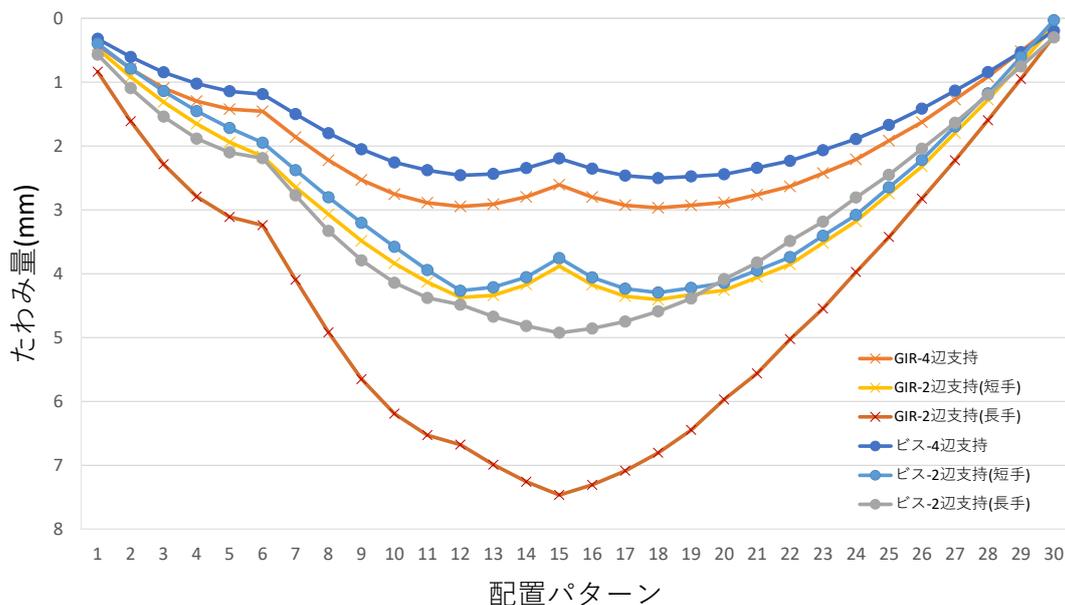


図 4.24 配置パターンによる中央たわみの変化（CLT の枚数：3 枚）

図 4.25 に CLT の枚数が 4 枚で 4 点支持の場合の、配置パターンによる中央たわみの変化を示す。ここでの中央たわみは、変位計「は」の値とした。

4 点支持の場合、GIR 接合はパターン 25（C～P 列×1～15 行）ビス接合はパターン 19（A～R 列

×1~14 行) で最大たわみとなり、GIR 接合の試験体が 9.9mm、ビス接合の試験体が 7.86mm の値を示した。全面載荷時の中央たわみは、GIR 接合が 9.3mm、ビス接合が 7.68mm となり、GIR 接合の中央たわみの値がビス接合の約 1.2 倍の値を示した。また、架台内部載荷時の中央たわみは、GIR 接合が 8.94mm、ビス接合が 6.92mm となった。

また固定荷重を 1500 N/m²と仮定すると、本実験の積載荷重の約 1.9 倍であることから、変位を 1.9 倍して最大たわみを検討すると、ビス接合は最大たわみの基準である L/400 (15mm) 以下を満たし、GIR 接合はわずかに上回った。

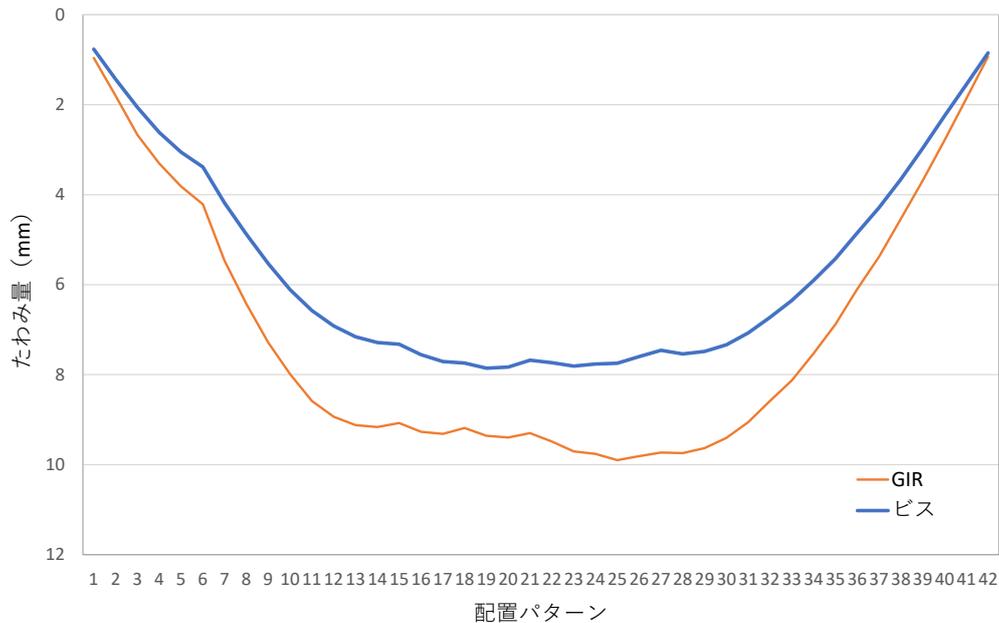


図 4.25 配置パターンによる中央たわみの変化 (4 枚 : 4 点支持)

4.3.2 支持方法による中央たわみの分布

【4 辺支持の場合の短手方向の中央たわみの分布】

図 4.26 に CLT の枚数が 4 枚で 4 辺支持の場合の、架台内部载荷及び全面载荷終了時による短手方向の中央たわみの分布を示す。

全面载荷終了時のたわみ量を架台内部载荷終了時と比較すると、跳ねだし部分に荷重がかかったことによるたわみの減少が確認された。

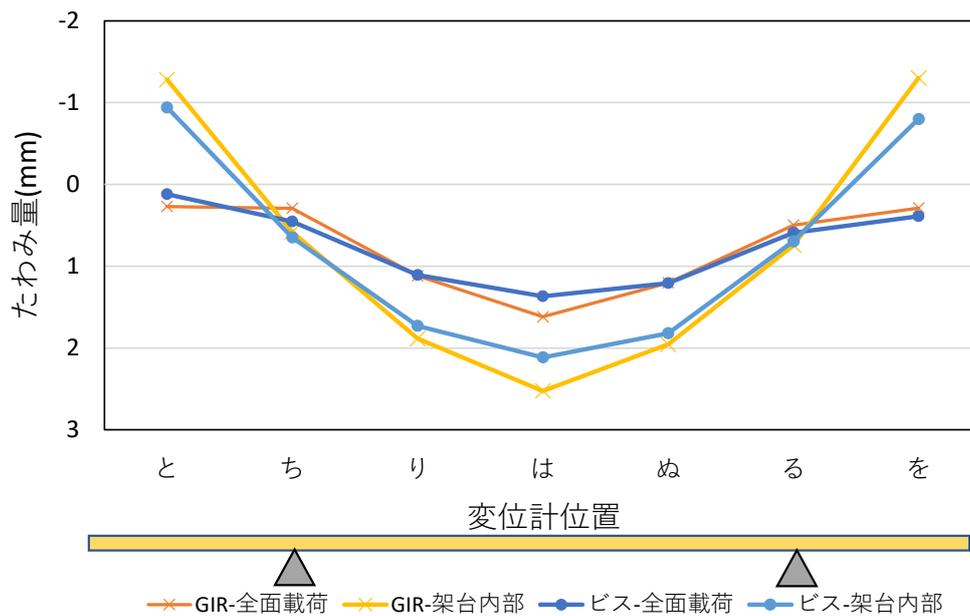


図 4.26 架台内部载荷及び全面载荷終了時による短手方向の中央たわみの分布 (4 枚 : 4 辺支持)

【架台内部載荷終了時（パターン 12）における長手方向および短手方向の中央たわみの分布】

図 4.27、図 4.28 に CLT の枚数が 4 枚の試験体の架台内部載荷終了時（パターン 12）における長手方向及び短手方向の中央たわみの分布を示す。架台内部載荷終了時における長手方向の中央たわみは、GIR 接合では、4 辺支持に比べて 2 辺支持（短手）のたわみ量が約 1.1mm、ビス接合では、約 1.6mm 増加した。また、短手方向の中央たわみは、GIR 接合では、4 辺支持に比べて 2 辺支持（長手）のたわみ量が約 3.8mm、ビス接合では、約 2.2mm 増加した。

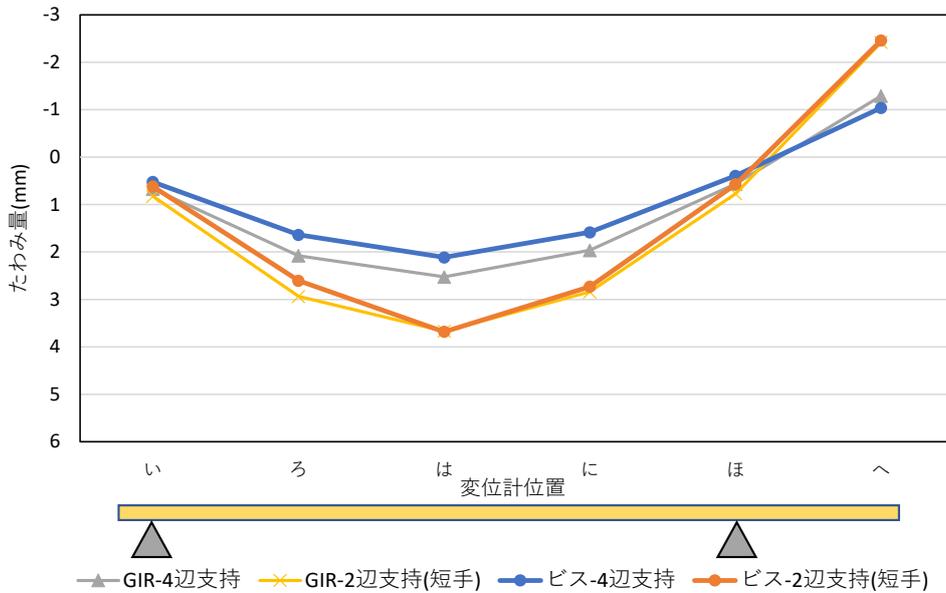


図 4.27 架台内部載荷終了時における長手方向の中央たわみの分布(4 枚)

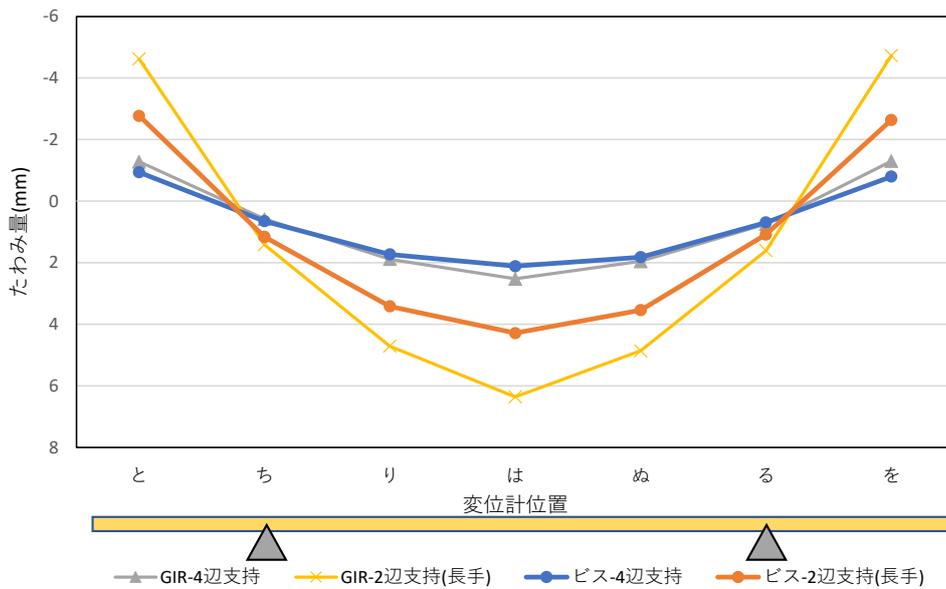


図 4.28 架台内部載荷終了時における短手方向の中央たわみの分布(4 枚)

図 4.29、4.30 に CLT の枚数が 3 枚の試験体の架台内部載荷終了時（パターン 12）における長手方向及び短手方向の中央たわみの分布を示す。架台内部載荷終了時における長手方向の中央たわみは、GIR 接合では、4 辺支持に比べて 2 辺支持（短手）のたわみ量が約 1.4mm、ビス接合では、約 1.8mm 増加した。また、短手方向の中央たわみは、GIR 接合では、4 辺支持に比べて 2 辺支持（長手）のたわみ量が約 3.7mm、ビス接合では、約 2mm 増加し、CLT の枚数が 4 枚の試験体と同程度の値となった。

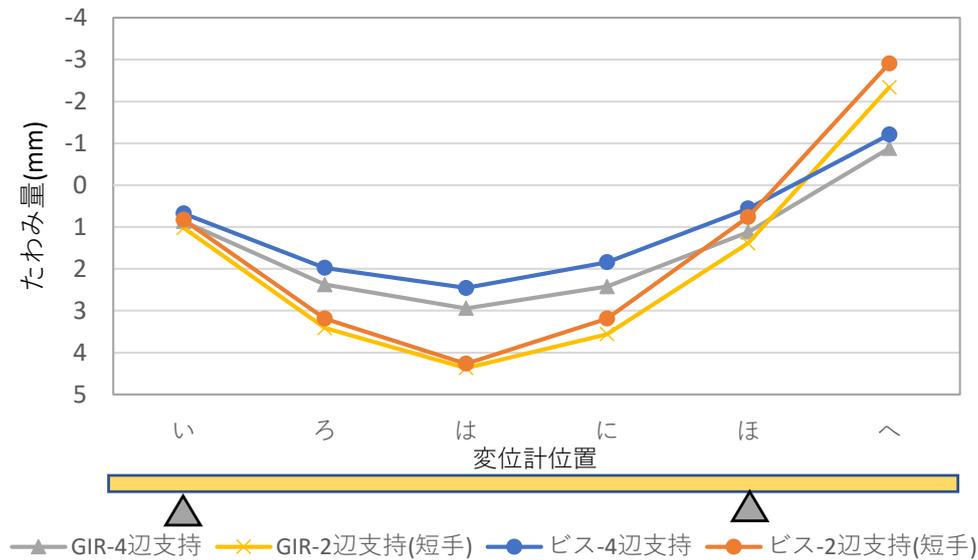


図 4.29 架台内部載荷終了時における長手方向の中央たわみの分布(3 枚)

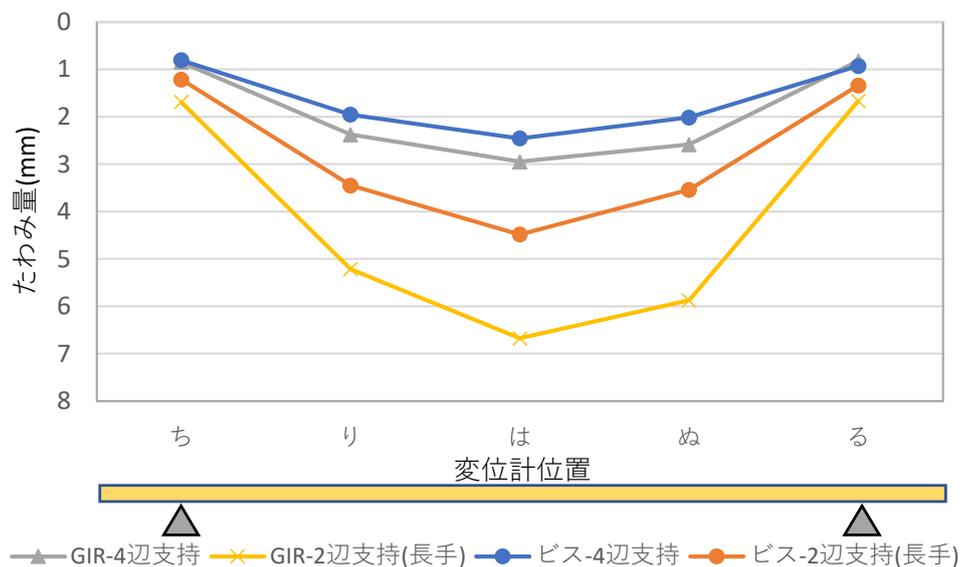


図 4.30 架台内部載荷終了時における短手方向の中央たわみの分布(3 枚)

4.3.3 実験値と推定値の比較

(1) 架台内部載荷時の中央たわみの推定式

$$EI = 5\omega l^4 / 384\delta \quad \dots (4.3.1)$$

$$EI_{\text{短手}} = 5\omega l^4 / 384\delta \quad \dots (4.3.2)$$

$$\delta_{4\text{辺}} = 5\omega l^4 / 384(EI_{\text{長手}} + EI_{\text{短手}}) \quad \dots (4.3.3)$$

表 4.3.1 推定に用いた係数

| δ | たわみ | l | 支点間距離 (=6000mm) |
|----------|----------------------------------|------|-----------------|
| w | 分布荷重 (=0.784 N/mm ²) | EI | 曲げ剛性 |

式 (4.3.1~4.3.3) より、2 辺支持 (長手) の中央たわみ ($\delta_{\text{長手}}$) の実験値と 2 辺支持 (短手) の中央たわみ ($\delta_{\text{短手}}$) の実験値から、それぞれのみかけの曲げ剛性 (EI) を算出し、その並列バネとして中央たわみ ($\delta_{4\text{辺}}$) を求めた。表 4.3.1 に用いた係数を示す。

接合がない 2 辺支持 (短手) のみかけの剛性 ($EI_{\text{短手}}$) に対する接合がある 2 辺支持 (長手) のみかけの剛性 ($EI_{\text{長手}}$) の比は、CLT の枚数が 4 枚の試験体は、GIR 接合では 0.58、ビス接合では 0.86 となった。CLT の枚数が 3 枚の試験体は、GIR 接合では 0.65、ビス接合では 0.95 となった。

(2) 実験値と推定値の比較

図 4.31 に 4 辺支持の架台内部載荷時の実験値と推定値の比較を示す。4 辺支持の中央たわみの実験値と比較すると、CLT の枚数が 4 枚の試験体、3 枚の試験体ともに、架台内部載荷において推定値が実験値をわずかに下回り、過小評価となったが概ね一致した。

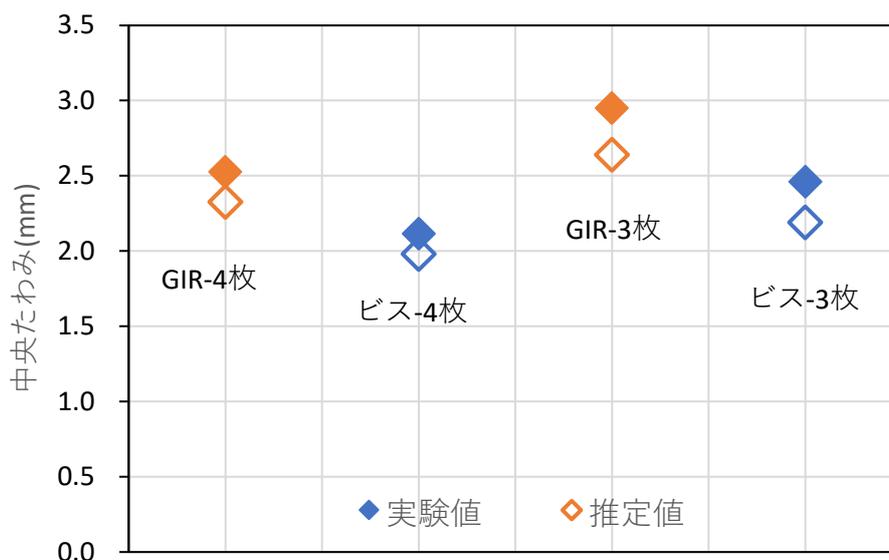


図 4.31 4 辺支持の架台内部載荷時の実験値と推定値の比較

第5章 構造解析

この章では前章までに示された接合部の要素試験ならびに実大床の静的試験の結果を踏まえ、CLT 床スラブをモデル化した数値解析によりたわみ変形に及ぼす諸因子の影響について分析する。5.1 節では CLT の層構成、長辺と短辺との比である辺長比ならびに床スラブの支持条件がスラブのたわみ量にどのような影響を及ぼすのかについて検討する。5.2 節では、接合部をバネに理想化し、接合部を有する複数枚の CLT で構成される床スラブのたわみ特性について、主にバネ剛性とたわみとの関係性について検討する。5.3 節では、第4章で示された実大床の静的試験の試験体を対象に、モデル化を行って実験結果と数値解析結果との比較を行う。5.4 節では 2×2 スパンの CLT 床スラブの変形状について前節までの解析結果を踏まえて考察する。最後に 5.5 節では、本章のまとめについて示す。なお、本章では接合部を有しないスラブの解析にはユニオンシステム社「Super Build/FEM Ver.2.13」を、接合部を有するスラブの解析にはマイダスアイティジャパン社「midas iGen Ver.900 R 1x」を用いている。

5.1 CLT の層構成、辺長比ならびに支持条件が床スラブのたわみに及ぼす影響

本節では図 5.1 に示すように強軸側の辺長を a 、弱軸側の辺長を b とし、辺長比を b/a と定義して、辺長比と床スラブのたわみとの関係性について検証する。床スラブの支持条件は図 5.2 に示すように強軸側二辺支持、弱軸側二辺支持および四辺支持の 3 ケースとし、いずれの場合も支点においては移動を拘束し回転は拘束しない単純支持形式を仮定する。なお、紙面の都合上、本節では四辺支持の場合のみの解析結果を示す。

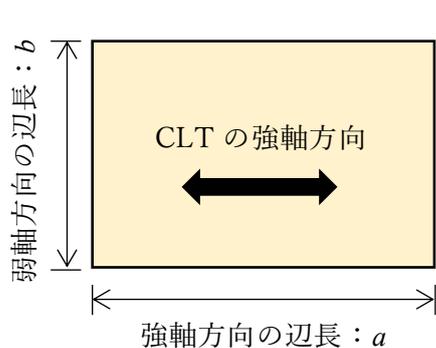


図 5.1 解析対象とする床スラブの辺長

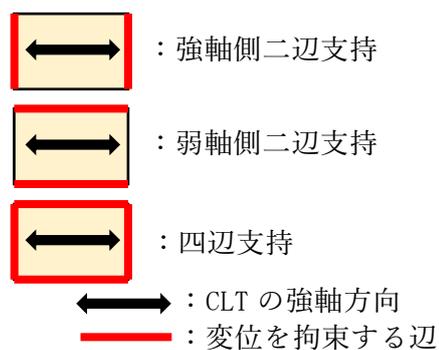


図 5.2 床スラブの支持条件

表 2.1 に解析対象とする CLT の層構成の一覧を示す。ラミナの材質は S60 と S90 の二種類としたが、紙面の都合上、今回は S90 の場合のみの結果を示す。層構成は 3 層 3 プライから 9 層 9 プライまで材質ごとに 6 ケースとした。座標軸は CLT の強軸側を x 、弱軸側を y としており、本節では強軸側である x 軸方向の辺長が a となる。なお、表 2.1 に示すヤング係数ならびにせん断弾性係数は『CLT 設計施工マニュアル』¹⁾ に掲載されている値を用いているが、マニュアルの表に値が示されていない 6 層 6 プライの材料特性についてはマ

ニュアルに記載されているヤング係数ならびにせん断弾性係数の計算方法にしたがって算出している。

表 5.1 対象とする CLT の層構成

| 材質 | 層構成 | 板厚 [mm] | E_x [kN/mm ²] | E_y [kN/mm ²] | G_{zx} [kN/mm ²] | G_{yz} [kN/mm ²] | G_{xy} [kN/mm ²] |
|-----|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| S60 | 3層3プライ | 90 | 5.770 | 0.220 | 0.045 | 0.125 | 0.500 |
| | 5層5プライ | 150 | 4.750 | 1.240 | 0.054 | 0.027 | 0.500 |
| | 6層6プライ | 180 | 2.750 | 2.750 | 0.057 | 0.057 | 0.500 |
| | 5層7プライ | 210 | 5.540 | 0.450 | 0.055 | 0.019 | 0.500 |
| | 7層7プライ | 210 | 4.260 | 1.730 | 0.058 | 0.038 | 0.500 |
| | 9層9プライ | 270 | 3.990 | 2.000 | 0.060 | 0.045 | 0.500 |
| S90 | 3層3プライ | 90 | 8.660 | 0.330 | 0.068 | 0.187 | 0.500 |
| | 5層5プライ | 150 | 7.120 | 1.870 | 0.081 | 0.040 | 0.500 |
| | 6層6プライ | 180 | 4.120 | 4.120 | 0.085 | 0.085 | 0.500 |
| | 5層7プライ | 210 | 8.310 | 0.680 | 0.083 | 0.029 | 0.500 |
| | 7層7プライ | 210 | 6.400 | 2.590 | 0.087 | 0.058 | 0.500 |
| | 9層9プライ | 270 | 5.980 | 3.010 | 0.090 | 0.068 | 0.500 |

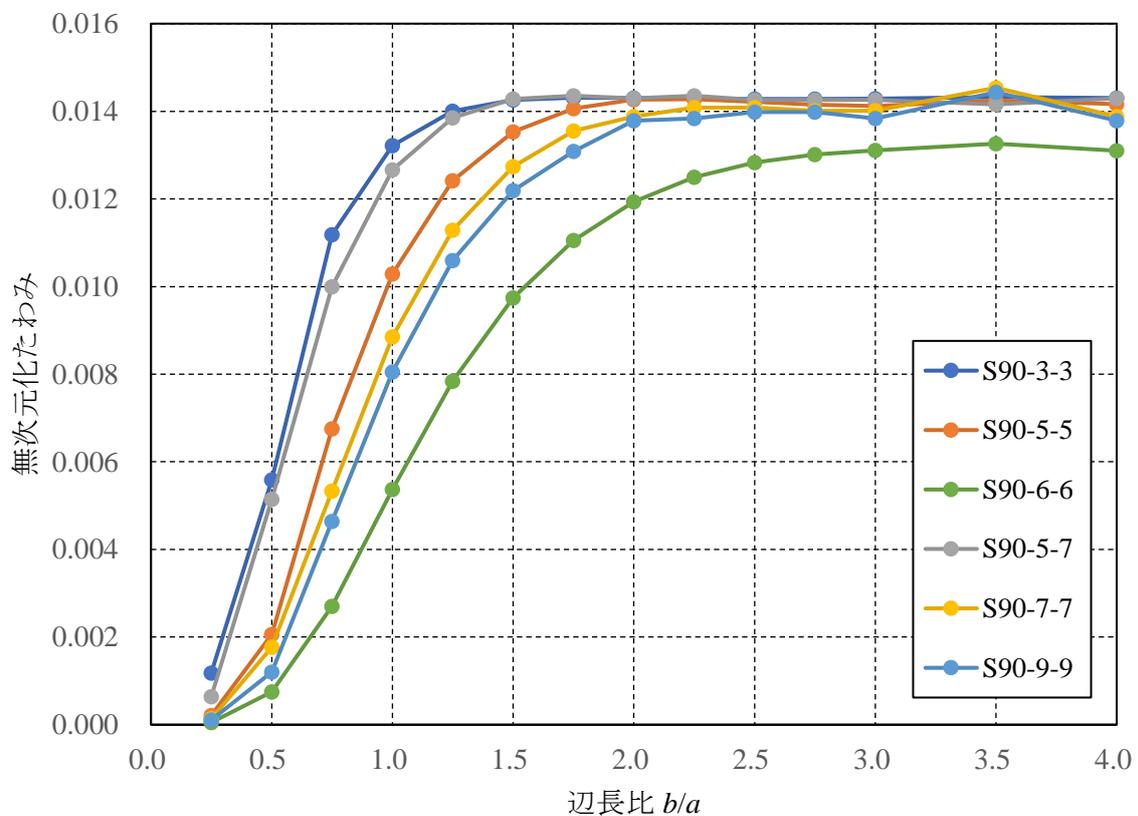


図 5.3 辺長比と床スラブ中央のたわみとの関係 (S90 : 四辺支持)

図 5.3 に S90 を用いた場合の辺長比と床スラブ中央のたわみの関係を示す。床荷重は店舗を想定した $q = 2.8[\text{kN/m}^2]$ を床スラブ全体に均等に載荷している。なお、縦軸のたわみの値は床荷重 q 、強軸側の辺長 a 及び強軸側の板剛性 $D_x = E_x/12(1 - \nu_{xy}\nu_{yx})$ を用いて無次元化している。図より、辺長比が大きくなるにつれて徐々にたわみは増大し、辺長比 $b/a = 2.0$ 程度以上となるとたわみは一定の値、すなわち強軸側二辺を支持した場合の単純梁のたわみの値（無次元化すると 0.0143）に収束していることが分かる。したがって、辺長比が 2.0 程度以上になると四辺支持の効果がほぼなくなると言える。製造上の都合から CLT の弱軸側の寸法は最大でも 3000mm、運搬の都合を考慮すれば 2400mm 程度と考えられること、したがって実際には弱軸側の寸法が 2400mm 以上となる場合には接合部を設ける必要があることを考慮すると、四辺支持の効果を得るためには辺長比 1.0 程度までが実用的なサイズであると考えられる。

層構成の違いがたわみ特性に及ぼす影響について見てみると、他の層構成と比較して 6 層 6 プライを用いると相対的にたわみが小さくなっていることが分かる。6 層 6 プライでは強軸側と弱軸側とで材料特性が等しくなる、いわゆる面内等方性となることがその要因と考えられる。6 層 6 プライでは辺長比が 2.0 を超えても四辺支持によるたわみの抑制効果が確認できる。二方向支持の場合には 6 層 6 プライのように面内等方性に近い材料特性にすることでたわみ変形を抑えられることが確認できた。なお、図 5.3 を見ると曲線は左側から 3 層 3 プライ、5 層 7 プライ、5 層 5 プライ、7 層 7 プライ、9 層 9 プライ、6 層 6 プライの順に並んでいるが、これは弱軸側のヤング係数を強軸側のヤング係数で除して求められる CLT のヤング係数比が小さい順と等しくなっている。したがって、ヤング係数比が大きいほど四辺支持の場合のたわみは抑制されると言える。

5.2 接合部を有する CLT 床スラブのたわみ特性

本節では、図 5.4 に示すように CLT 2 枚を接合した接合部を有する辺が一边である場合（以下、Case1）と、CLT 3 枚を接合した接合部を有する辺が二辺である場合（以下、Case2）の 2 ケースについて検討を行う。床スラブのサイズは強軸側、弱軸側ともに 6m とする。接合部に挿入するバネは、 x 軸まわりの曲げモーメントを伝達する回転バネとせん断力を伝達する鉛直方向バネの 2 種類のパネを用いている。床荷重は前節と同様に店舗を想定した $q = 2.8[\text{kN/m}^2]$ を床スラブ全体に均等に載荷し、CLT は S90-6-6 を用いることとする。

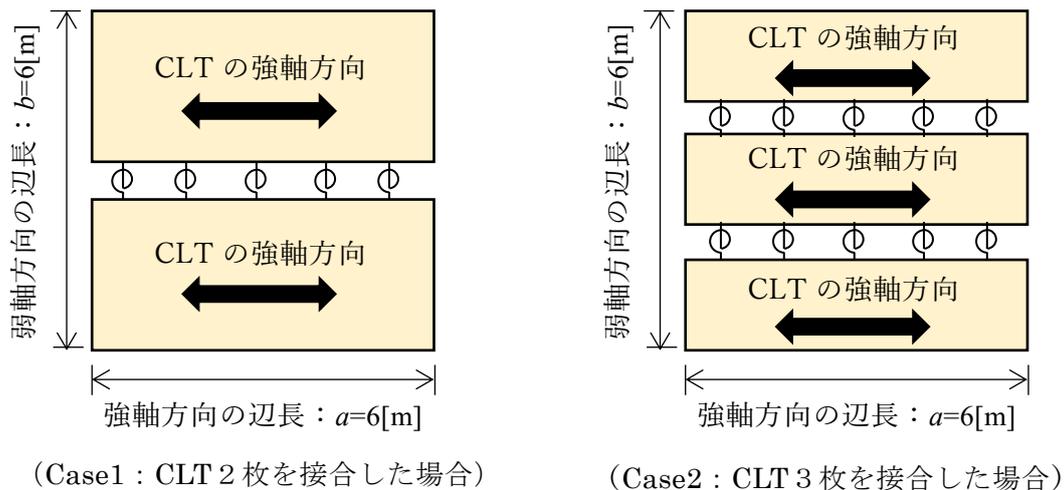


図 5.4 接合部を有する CLT 床スラブの解析モデル

図 5.5 に接合部を有しない場合の床スラブの変形コンター図を示す。図中、赤色に近づくほど鉛直方向のたわみが大きいことを表している。6 層 6 プライの CLT の材料特性は前述のように面内等方性であるものの、二辺支持の場合には支持間方向と直交する向きの両端部分で変形量が大きくなっていることが分かる。鋼材などと比べて木質材料はヤング係数の値が比較的小さいため、後述するようにこうした端部における変形の影響が大きくなる。

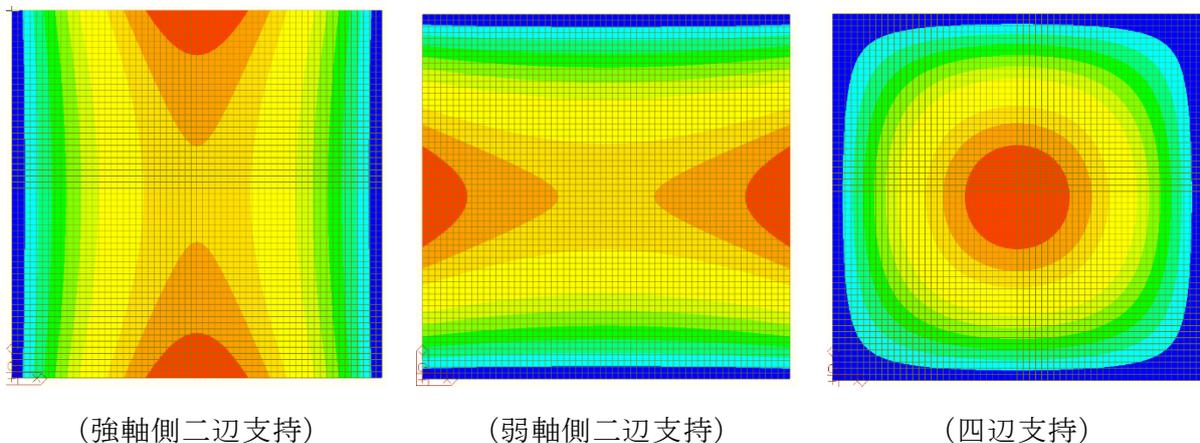


図 5.5 床スラブの変形コンター図（接合部を有しない場合）

表 5.2 から表 5.4 に挿入するバネの数とたわみとの関係性を示す。表中の各ケースの右列の数值は、接合面のすべての節点にバネを挿入した場合を基準とした場合の数值を示している。バネは各バネの負担幅がなるべく均等になるように配置しており、例えばバネ数が 30 の場合では各バネの負担幅は 200mm となる。上述した支持間方向と直交する向きの両端部でたわみが増大することから、一定以上のバネ数がなければたわみが収束しないことが分かる。また、四辺支持や強軸側二辺支持の場合と比較して弱軸側二辺支持の場合にはバネの数が少なくなるにつれて急激にたわみが増大していることが分かる。

表 5.2 挿入するバネの数が板中央のたわみに及ぼす影響（弱軸側二辺支持）

| バネ数 | Case1 | | Case2 | |
|-----|----------|---------------|----------|---------------|
| | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 |
| 1 | 348.345 | 16.622 | 407.913 | 20.833 |
| 2 | 181.788 | 8.674 | 200.112 | 10.220 |
| 5 | 73.493 | 3.507 | 81.461 | 4.160 |
| 6 | 64.224 | 3.065 | 68.888 | 3.518 |
| 8 | 50.306 | 2.400 | 52.109 | 2.661 |
| 15 | 33.057 | 1.577 | 33.668 | 1.720 |
| 30 | 24.860 | 1.186 | 24.052 | 1.228 |
| 61 | 20.957 | 1.000 | 19.580 | 1.000 |

表 5.3 挿入するバネの数が板中央のたわみに及ぼす影響（強軸側二辺支持）

| バネ数 | Case1 | | Case2 | |
|-----|----------|---------------|----------|---------------|
| | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 |
| 1 | 24.580 | 1.098 | 24.865 | 1.112 |
| 2 | 24.893 | 1.112 | 25.666 | 1.147 |
| 5 | 24.010 | 1.072 | 23.417 | 1.047 |
| 6 | 23.819 | 1.064 | 23.306 | 1.042 |
| 8 | 23.444 | 1.047 | 23.119 | 1.033 |
| 15 | 22.949 | 1.025 | 22.805 | 1.019 |
| 30 | 22.600 | 1.009 | 22.563 | 1.009 |
| 61 | 22.390 | 1.000 | 22.371 | 1.000 |

表 5.4 挿入するバネの数が板中央のたわみに及ぼす影響（四辺支持）

| バネ数 | Case1 | | Case2 | |
|-----|----------|---------------|----------|---------------|
| | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 | たわみ [mm] | バネ数 61 の場合との比 |
| 1 | 20.062 | 2.198 | 17.435 | 1.965 |
| 2 | 19.153 | 2.098 | 18.140 | 2.044 |
| 5 | 16.292 | 1.785 | 15.017 | 1.692 |
| 6 | 15.769 | 1.728 | 14.422 | 1.625 |
| 8 | 14.022 | 1.536 | 13.305 | 1.499 |
| 15 | 11.942 | 1.308 | 11.469 | 1.292 |
| 30 | 10.188 | 1.116 | 9.884 | 1.114 |
| 61 | 9.127 | 1.000 | 8.874 | 1.000 |

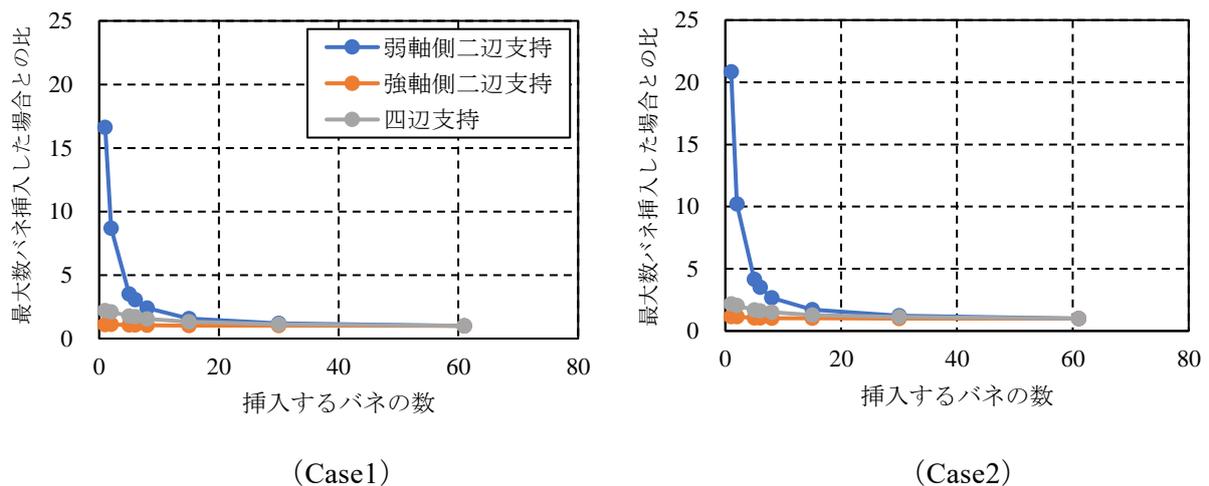


図 5.6 挿入するバネの数が板中央のたわみに及ぼす影響

図 5.6 は表 5.2 から表 5.4 の結果をグラフ化したものである。グラフからも弱軸側二辺支持の場合にバネ数の影響が大きいことが分かる。Case1 と Case2 とを比較すると Case2 の方がバネの挿入数の影響がやや大きい結果となった。なお、強軸側のヤング係数が弱軸側に対して極めて大きい場合にはバネ数の変化がたわみに及ぼす影響は小さくなる。

次に、バネの剛性がたわみに及ぼす影響について確認する。表 5.5 から表 5.7 には回転バネの剛性と板中央のたわみとの関係性を示している。予備的に行った解析結果から、せん断バネの剛性の変化に伴ってもたわみの変化が生じるものの、回転バネの剛性の変化による影響と比較してその度合いが小さかったことから、ここではせん断バネの剛性は剛とした場合の結果のみを示している。バネ数の検討の際と同様に、弱軸側二辺支持の場合がバネ剛性の変化に伴うたわみの変動が最も大きいことが分かる。回転バネの剛性が 10^2 か

ら 10^4 [kN.m/rad]の間でたわみの値は大きく変化しており、 10^5 [kN.m/rad]程度以上となるとほぼ一定となっている。後述するように、実際の接合部の回転剛性は $10^3 \sim 10^4$ [kN.m/rad]の間になるものと考えられることから、回転バネの剛性のみを考えればたわみの変動は最大で 10~15%程度になるものと思われる。当然のことながら、曲げモーメントが最大となる位置に接合部がくる Case1 よりも Case2 の方がたわみの値は小さくなっている。

表 5.5 回転バネの剛性が板中央のたわみに及ぼす影響（弱軸側二辺支持）

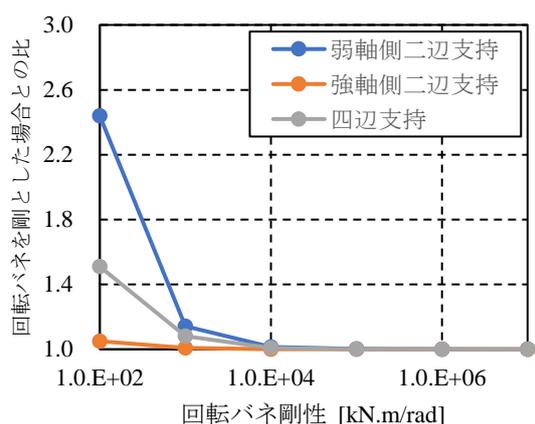
| 回転バネ剛性 [kN.m/rad] | Case1 | | Case2 | |
|-------------------|----------|------------|----------|------------|
| | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 |
| 1.0.E+02 | 60.628 | 2.439 | 64.982 | 2.702 |
| 1.0.E+03 | 28.419 | 1.143 | 28.138 | 1.170 |
| 1.0.E+04 | 25.216 | 1.014 | 24.465 | 1.017 |
| 1.0.E+05 | 24.896 | 1.001 | 24.093 | 1.002 |
| 1.0.E+06 | 24.864 | 1.000 | 24.057 | 1.000 |
| 1.0.E+07 | 24.860 | 1.000 | 24.053 | 1.000 |
| 1.0.E+08 | 24.860 | 1.000 | 24.053 | 1.000 |
| 剛体バネ | 24.860 | 1.000 | 24.052 | 1.000 |

表 5.6 回転バネの剛性が板中央のたわみに及ぼす影響（強軸側二辺支持）

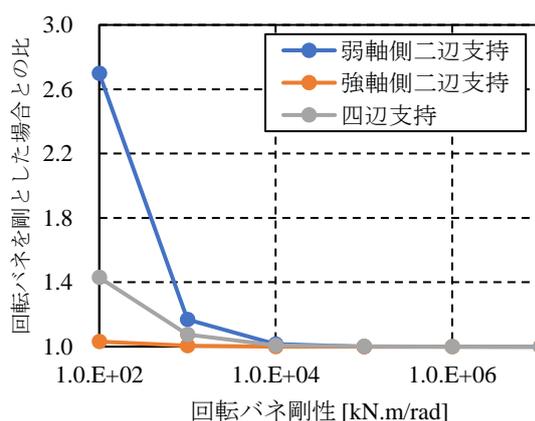
| 回転バネ剛性 [kN.m/rad] | Case1 | | Case2 | |
|-------------------|----------|------------|----------|------------|
| | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 |
| 1.0.E+02 | 23.724 | 1.050 | 23.266 | 1.031 |
| 1.0.E+03 | 22.767 | 1.007 | 22.675 | 1.005 |
| 1.0.E+04 | 22.618 | 1.001 | 22.575 | 1.001 |
| 1.0.E+05 | 22.601 | 1.000 | 22.564 | 1.000 |
| 1.0.E+06 | 22.600 | 1.000 | 22.563 | 1.000 |
| 1.0.E+07 | 22.599 | 1.000 | 22.563 | 1.000 |
| 1.0.E+08 | 22.599 | 1.000 | 22.562 | 1.000 |
| 剛体バネ | 22.599 | 1.000 | 22.562 | 1.000 |

表 5.7 回転バネの剛性が板中央のたわみに及ぼす影響（四辺支持）

| 回転バネ剛性 [kN.m/rad] | Case1 | | Case2 | |
|-------------------|----------|------------|----------|------------|
| | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 | たわみ [mm] | 剛体バネの場合との比 |
| 1.0.E+02 | 15.381 | 1.510 | 14.131 | 1.430 |
| 1.0.E+03 | 11.010 | 1.081 | 10.625 | 1.075 |
| 1.0.E+04 | 10.275 | 1.009 | 9.964 | 1.008 |
| 1.0.E+05 | 10.197 | 1.001 | 9.892 | 1.001 |
| 1.0.E+06 | 10.189 | 1.000 | 9.884 | 1.000 |
| 1.0.E+07 | 10.188 | 1.000 | 9.884 | 1.000 |
| 1.0.E+08 | 10.188 | 1.000 | 9.883 | 1.000 |
| 剛体バネ | 10.188 | 1.000 | 9.883 | 1.000 |



(Case1)



(Case2)

図 5.7 回転バネの剛性が板中央のたわみに及ぼす影響

図 5.7 には回転バネの剛性と板中央のたわみとの関係性を示している。ここに、横軸の回転バネ剛性は対数目盛を用いて示している。

予備計算の結果、弱軸側二辺支持の場合の S90-6-6 の材料特性と同程度となるバネ剛性は回転バネでは約 4.8×10^3 [kN.m/rad]、せん断バネでは約 4.59×10^5 [kN/m]であった。この値を参考に、四辺支持・Case2 で回転バネの剛性を $10^2 \sim 10^4$ [kN.m/rad]、せん断バネの剛性を $10^4 \sim 10^6$ [kN/m]の間で変化させた場合の解析結果を表 5.8 に示す。回転バネ剛性に比べると相対的にせん断バネの剛性の影響が少ないことが分かる。

表 5.8 回転バネ及びせん断バネ剛性がたわみに及ぼす影響（四辺支持・Case2）

| せん断 バネ剛性 [kN/m] | 板中央のたわみ [mm] | | | | |
|--------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.E+04 | 1.E+05 | 4.E+05 | 8.E+05 | 1.E+06 |
| 回転 バネ剛性 [kN.m/rad] | | | | | |
| 1.E+02 | 14.146 | 14.132 | 14.131 | 14.131 | 14.131 |
| 1.E+03 | 10.646 | 10.625 | 10.625 | 10.625 | 10.625 |
| 2.E+03 | 10.292 | 10.272 | 10.271 | 10.271 | 10.271 |
| 3.E+03 | 10.168 | 10.147 | 10.146 | 10.146 | 10.146 |
| 4.E+03 | 10.104 | 10.083 | 10.082 | 10.081 | 10.081 |
| 5.E+03 | 10.065 | 10.045 | 10.044 | 10.043 | 10.043 |
| 6.E+03 | 10.039 | 10.002 | 10.002 | 10.002 | 10.002 |
| 7.E+03 | 10.020 | 10.000 | 9.999 | 9.998 | 9.998 |
| 8.E+03 | 10.009 | 9.985 | 9.985 | 9.984 | 9.984 |
| 9.E+03 | 9.995 | 9.975 | 9.974 | 9.973 | 9.973 |
| 1.E+04 | 9.987 | 9.966 | 9.965 | 9.965 | 9.965 |

5.3 実大床の静的載荷試験の数値解析

本節では、前章で示された実大床の静的載荷試験の試験体をモデル化し、接合部に挿入する回転バネ剛性を変化させた解析によって実験結果をどの程度再現できるかを確認する。試験体寸法や支持条件については第4章を参照されたい。接合部に挿入するバネは、前節と同様に x 軸まわりの曲げモーメントを伝達する回転バネとせん断力を伝達する鉛直方向バネの2種類のバネを用いている。床荷重の大きさは実験と同様に $q = 0.8[\text{kN/m}^2]$ とし、実験のパターン12に相当する支持辺の内部に均等に載荷した場合（以下、架台内部載荷）及び実験のパターン21に相当する床スラブ全体に均等に載荷した場合（以下、全面載荷）の2ケースについて解析を行った。CLT は前節と同様に S90-6-6 を採用している。

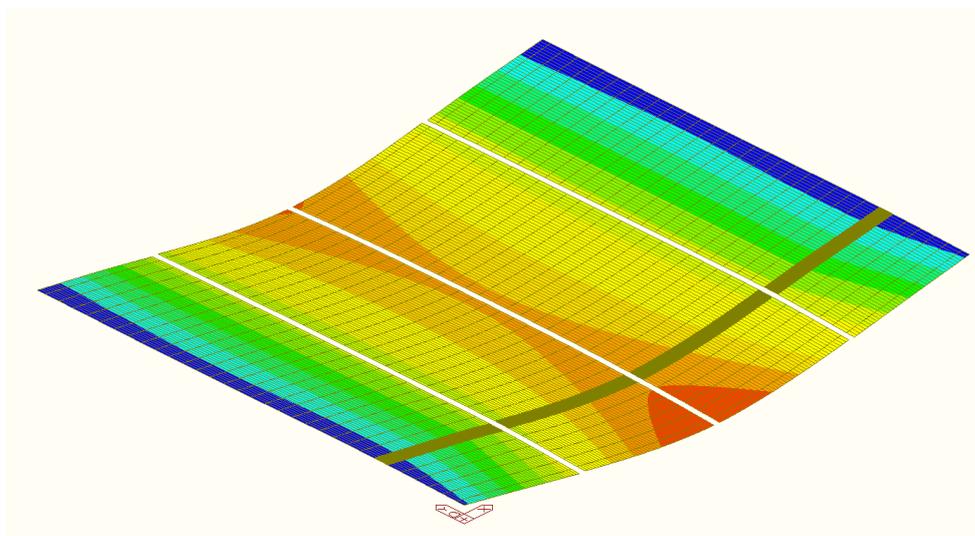


図 5.8 変形コンター図（弱軸方向二辺支持）

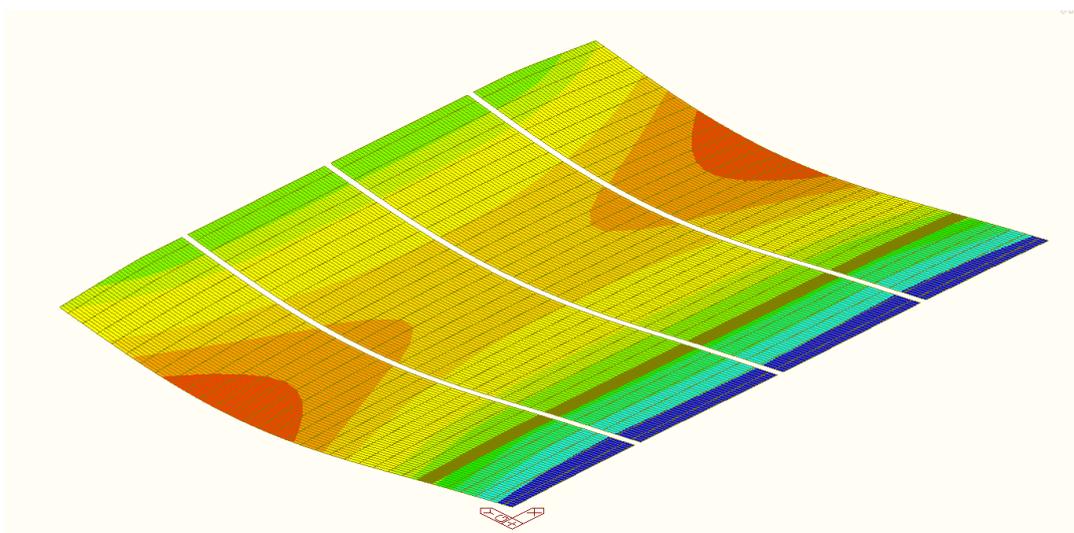


図 5.9 変形コンター図（強軸方向二辺支持）

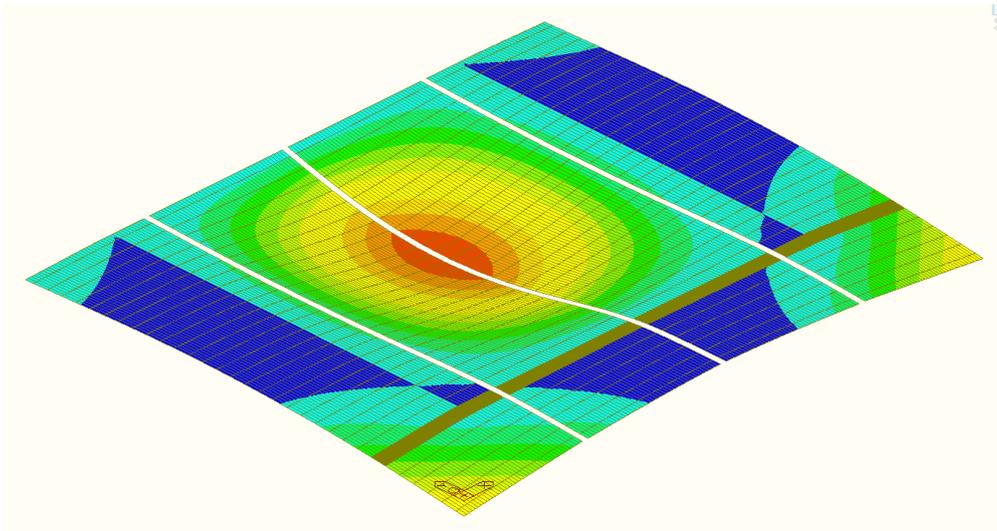


図 5.10 変形コンター図（四辺支持）

図 5.8 から図 5.10 に弱軸方向二辺支持、強軸方向二辺支持及び四辺支持の場合の全面載荷時の変形コンター図を示す。図中、赤色の部分が鉛直方向下向き、青色の部分が鉛直方向上向きのたわみ変形もしくは反り変形が大きいことを表している。

表 5.9 に回転バネの剛性を変化させた場合の各支持形式における全面載荷時のたわみの値を示している。表中の（ ）内の数値は回転バネを剛とした場合に対する比を表している。表 5.10 は弱軸側二辺支持の場合の S90-6-6 の材料特性と同程度となる回転バネ剛性が約 6.4×10^3 [kN.m/rad]であることを踏まえ、回転バネの剛性を $10^3 \sim 10^4$ [kN.m/rad]の間で詳細な変化を示したものである。

表 5.9 バネ剛性および支持形式がスラブのたわみに及ぼす影響（単位：mm）

| バネ剛性 [kN.m/rad] | 弱軸方向 二辺支持 | 強軸方向 二辺支持 | 四辺支持 |
|--------------------|----------------|---------------|---------------|
| 1.0.E+02 | 20.503 (4.906) | 5.524 (1.088) | 2.607 (2.037) |
| 1.0.E+03 | 5.825 (1.394) | 5.019 (1.028) | 1.526 (1.192) |
| 1.0.E+04 | 4.346 (1.040) | 5.089 (1.003) | 1.316 (1.028) |
| 1.0.E+05 | 4.196 (1.004) | 5.082 (1.001) | 1.288 (1.006) |
| 1.0.E+06 | 4.183 (1.001) | 5.076 (1.000) | 1.285 (1.004) |
| 1.0.E+07 | 4.182 (1.001) | 5.079 (1.001) | 1.283 (1.002) |
| 1.0.E+08 | 4.179 (1.000) | 5.079 (1.001) | 1.282 (1.002) |
| 剛 | 4.179 (1.000) | 5.075 (1.000) | 1.280 (1.000) |

表 5.10 バネ剛性および支持形式がスラブのたわみに及ぼす影響[詳細] (単位: mm)

| バネ剛性 [kN.m/rad] | 弱軸方向 二辺支持 | 強軸方向 二辺支持 | 四辺支持 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1.0.E+03 | 5.825 (1.394) | 5.219 (1.028) | 1.526 (1.192) |
| 2.0.E+03 | 5.009 (1.199) | 5.143 (1.013) | 1.438 (1.123) |
| 3.0.E+03 | 4.734 (1.133) | 5.123 (1.009) | 1.387 (1.084) |
| 4.0.E+03 | 4.592 (1.099) | 5.113 (1.007) | 1.362 (1.064) |
| 5.0.E+03 | 4.521 (1.082) | 5.104 (1.006) | 1.347 (1.052) |
| 6.0.E+03 | 4.453 (1.066) | 5.099 (1.005) | 1.337 (1.045) |
| 7.0.E+03 | 4.415 (1.056) | 5.094 (1.004) | 1.330 (1.039) |
| 8.0.E+03 | 4.386 (1.050) | 5.088 (1.003) | 1.324 (1.034) |
| 9.0.E+03 | 4.361 (1.044) | 5.088 (1.003) | 1.319 (1.030) |
| 1.0.E+04 | 4.346 (1.040) | 5.089 (1.003) | 1.316 (1.028) |
| 鋼板ビス接合 | 3.600 | 4.000 | 1.680 |
| GIR 接合 | 5.300 | 3.600 | 1.620 |

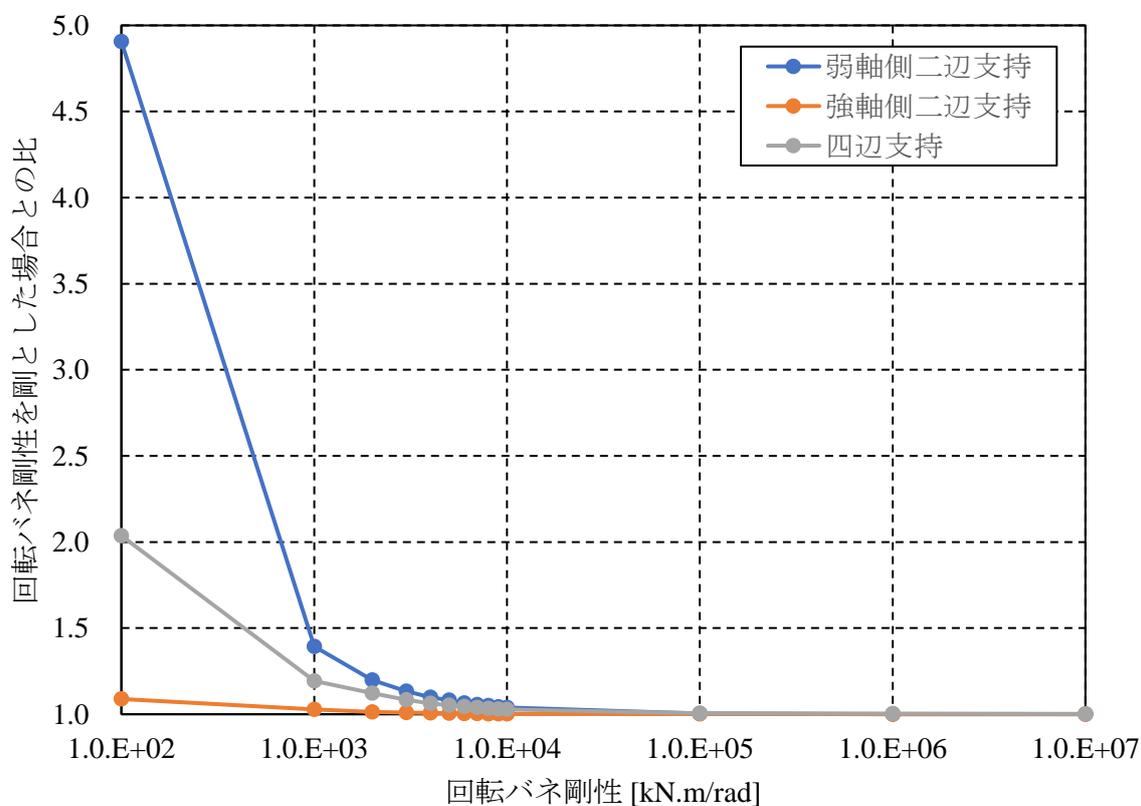


図 5.11 回転バネ剛性及び支持形式がスラブのたわみに及ぼす影響

図 5.11 に回転バネの剛性と板中央のたわみとの関係性を示す。横軸の回転バネ剛性は対数目盛を用いて示している。強軸側二辺支持や四辺支持の場合と比べると弱軸側二辺支持の場合にはたわみが大きくなり、回転バネ剛性が低下するとその傾向はより顕著になることが分かる。回転バネの剛性が 10^2 から 10^4 [kN.m/rad]の間でたわみの値は大きく変化しており、 10^5 [kN.m/rad]程度以上となるとほぼ一定となっている。

昨年度の報告書や今年度実施した要素実験の結果から、実際の接合部の回転剛性は概ね $1.0 \sim 2.0 \times 10^3$ [kN.m/rad]程度になるものと考えられる。したがって、回転バネ剛性の変化に伴うたわみの変化量は数値解析結果からは 10-15%程度と判断される。一方、実大床の載荷試験の結果では鋼板添板ビス接合と GIR 接合とでのたわみの差は 1 割程度となっているが、弱軸側二辺支持の場合にはその差が大きくなっている。これは、鋼板添板ビス接合の方が GIR 接合と比較して前節に示した挿入するバネ数が多い場合に近い状況となっており、回転剛性に加えて幅方向の拘束効果の影響によりたわみが小さくなったことが考えられる。この点については今後モデル化の方法も含めてさらに検討が必要であると考えられる。

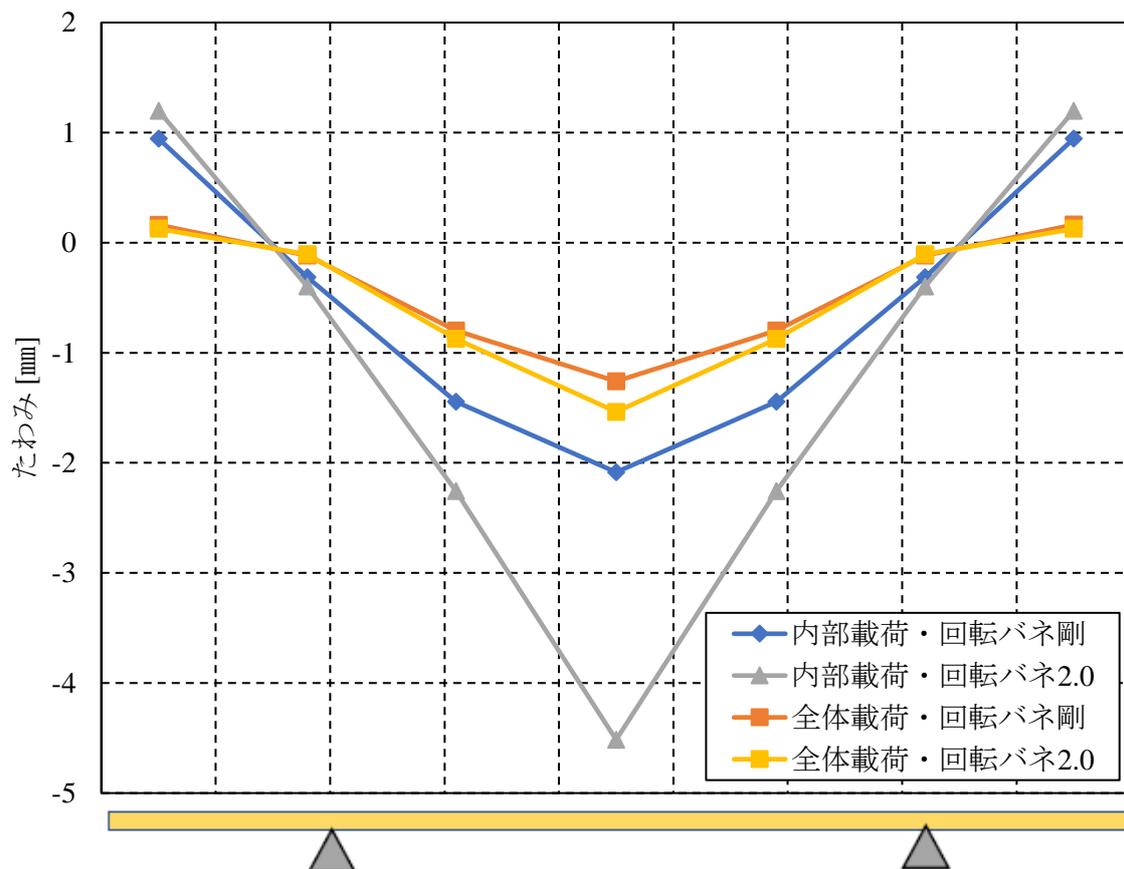


図 5.12 架台内部載荷及び全面載荷終了時の弱軸方向たわみ分布（四辺支持）

図 5.12 に示すのは四辺支持の場合の架台内部載荷及び全面載荷時の強軸側両端の支持間中央におけるたわみ分布である。接合部に挿入する回転バネの剛性が剛の場合と 2.0×10^3 [kN.m/rad]とした場合との数値解析結果を示している。

架台内部荷重時と比較すると、全面荷重時には回転バネ剛性を剛とした場合には約 40%、 2.0×10^3 [kN.m/rad]とした場合には約 66%たわみが減少した。前章で示された実大実験においては架台内部荷重時に対して全面荷重時には GIR 接合で約 35%、鋼板添板ビス接合で約 20%のたわみの減少が見られた。全面荷重時には両端の跳ね出し部分にも荷重することから曲げ戻しの効果によってたわみの減少が期待できるが、実験と解析との差を踏まえると接合部の回転剛性以外にもたわみに影響を及ぼす要因があると考えられる。

回転バネ剛性が低下することに伴うたわみの最大値の変化は全面荷重時には約 2 割の増加であるのに対して内部荷重の場合には 2 倍以上となる結果であった。これは、内部荷重時には荷重範囲にほぼすべての接合部が含まれることから接合部のバネ剛性の低下の影響がより顕著に表れたためと考えられる。

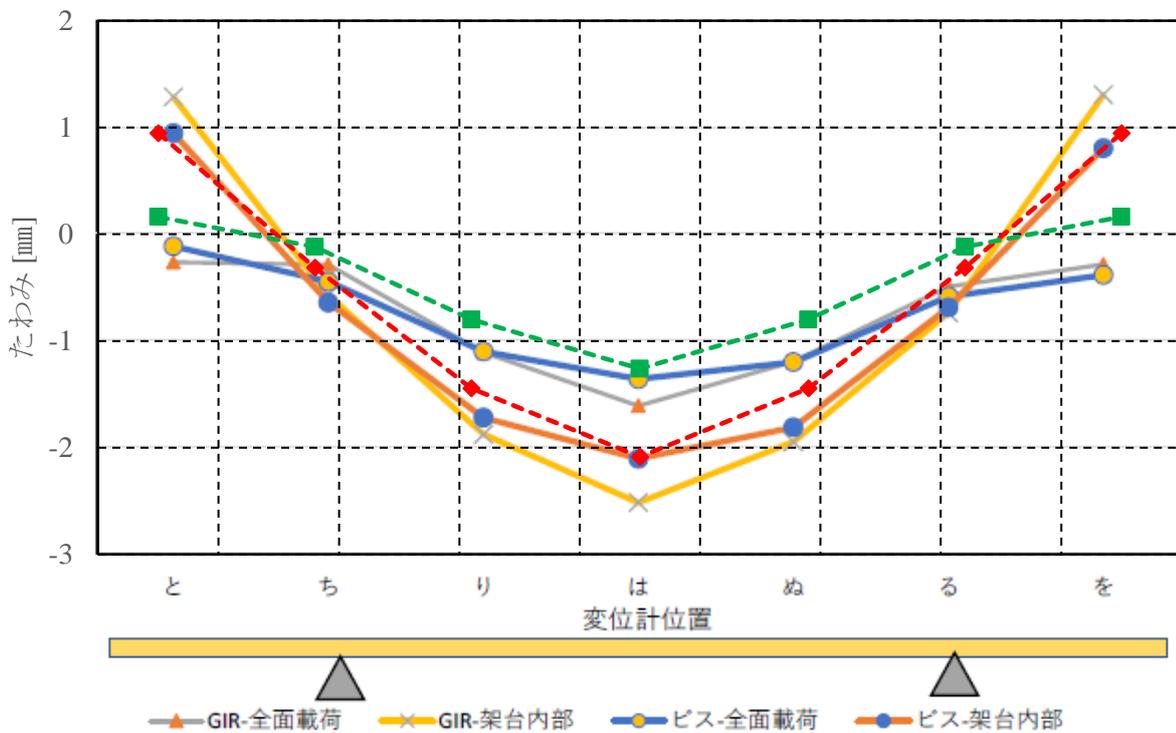


図 5.13 架台内部荷重及び全面荷重終了時の弱軸方向たわみ分布（実験結果との比較）

図 5.13 に示すのは、架台内部荷重及び全面荷重終了時の実験結果と解析結果の比較である。数値解析結果は回転バネ剛性を剛にした場合を示している。図 5.12 から分かるように、回転バネ剛性が下がるとたわみが大きくなるが、全面荷重時は実験結果とよく合っているように思われるが、架台内部荷重終了時の結果についてはバネ剛性を 2.0×10^3 [kN.m/rad]とした場合には解析値のたわみが大幅に大きくなる結果となった。

次に、図 5.14 には架台内部荷重終了時における強軸側二辺支持及び四辺支持の場合の強軸方向のたわみ分布を示している。回転バネの剛性を剛とした場合と 2.0×10^3 [kN.m/rad]とした場合との最大たわみ量の差は、強軸側二辺支持のときに約 1.3 倍であるのに対して四辺支持のときには約 2.2 倍となり、四辺支持の方がバネ剛性の変化に伴うたわみの増大が大きい結果となった。これは、強軸側二辺支持では四辺支持の場合よりも回

転バネが負担する方向の曲げモーメントが相対的に小さくなることから、回転バネ剛性の変化に伴う影響が小さくなるためである。

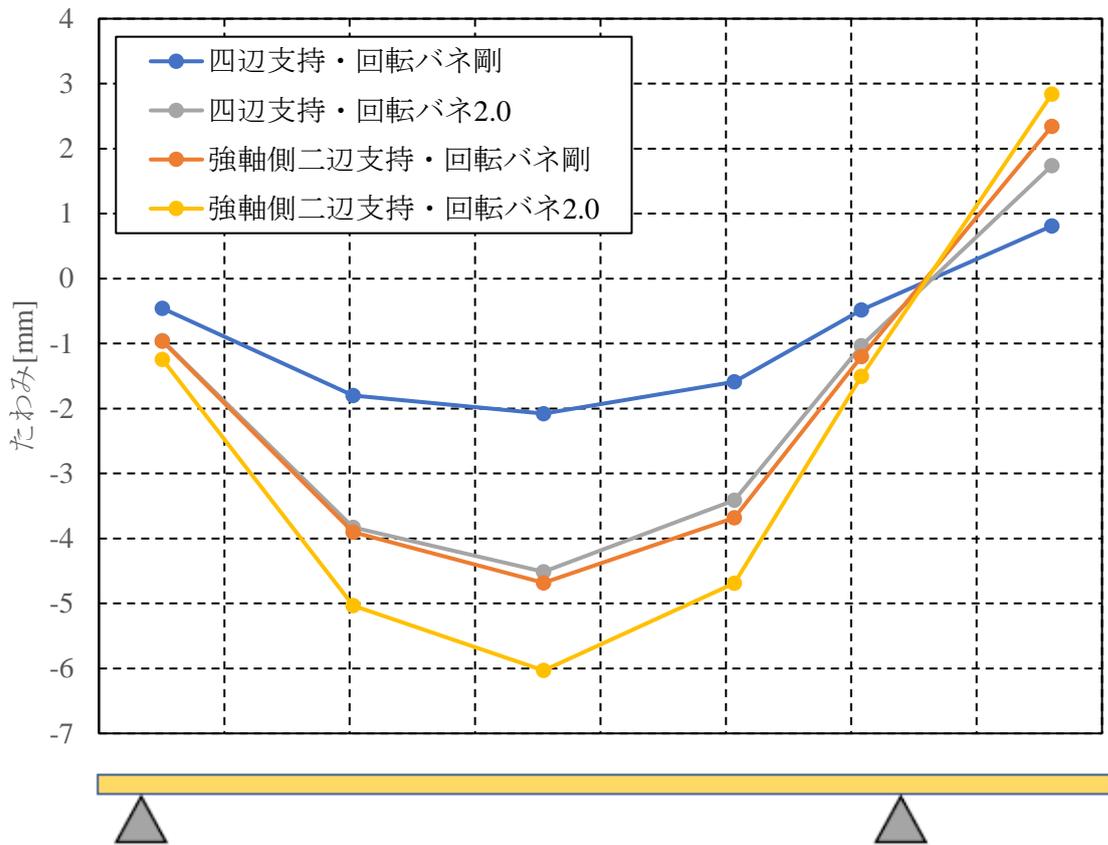


図 5.14 架台内部載荷終了時における強軸方向たわみ分布

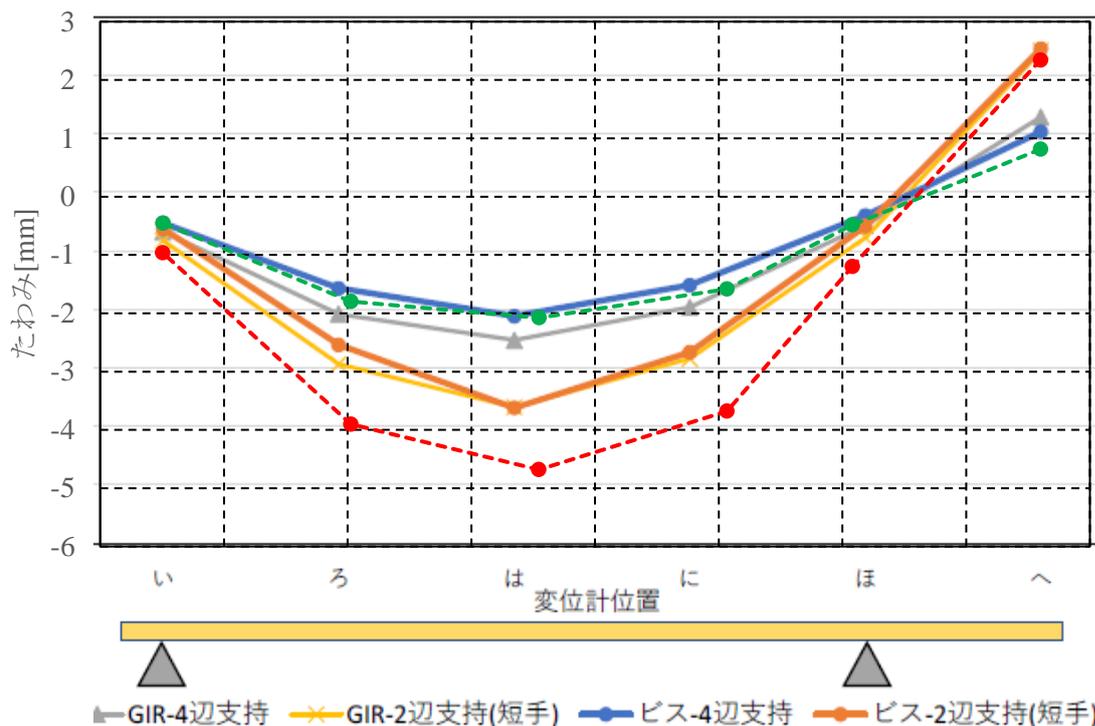


図 5.15 架台内部载荷終了時における強軸方向たわみ分布（実験結果との比較）

図 5.15 に示すのは、架台内部载荷終了時の実験結果と解析結果の比較である。図中に破線で示す数値解析結果は回転バネ剛性を剛にした場合を示しており、緑色が四辺支持、赤色が強軸側二辺支持の結果である。図 5.14 から分かるように、回転バネ剛性が下がるとたわみが大きくなるが、四辺支持、強軸側二辺支持のいずれについても実験結果と比較してたわみが大きくなる傾向が見られ、特に強軸側二辺支持の場合には解析結果の方が大幅にたわみが大きくなっている。今回の解析では弱軸側の曲げモーメントに対して抵抗する回転バネのみを検討対象としているが、実験においては強軸方向の曲げモーメントないしせん断力に対して接合部が力を負担している可能性が考えられる。

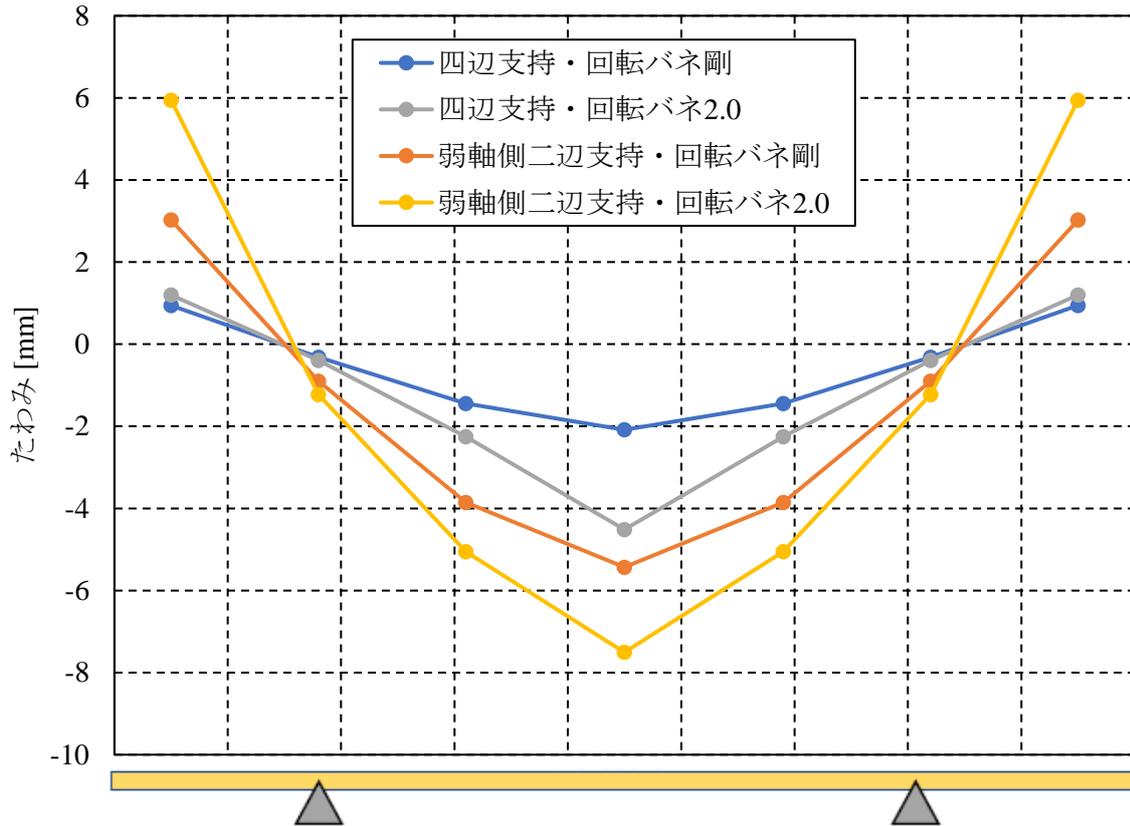


図 5.16 架台内部載荷終了時における弱軸方向たわみ分布

続いて、図 5.16 に示すのは架台内部載荷終了時における四辺支持ならびに弱軸方向二辺支持の場合の弱軸方向のたわみ分布である。回転バネの剛性を剛とした場合と 2.0×10^3 [kN.m/rad]とした場合との最大たわみ量の差は、弱軸側二辺支持のときに約 1.4 倍であるのに対して四辺支持のときには約 2.2 倍となった。四辺支持の方が回転バネ剛性の低下に伴う最大たわみ量に及ぼす影響が大きいという点では強軸方向と同様であり、四辺支持の場合には二辺支持の場合よりも相対的にたわみ量が抑制される一方で、接合部の剛性による影響が大きいという結果となった。

図 5.17 に示すのは、架台内部載荷終了時の実験結果と解析結果の比較である。図中に破線で示す数値解析結果は回転バネ剛性を剛にした場合を示しており、緑色が四辺支持、赤色が強軸側二辺支持の結果である。図 5.13 から分かるように、回転バネ剛性が下がるとたわみが大きくなることを踏まえると、四辺支持、弱軸側二辺支持のいずれについても実験結果と比較して解析ではたわみが大きくなる傾向が見られる。

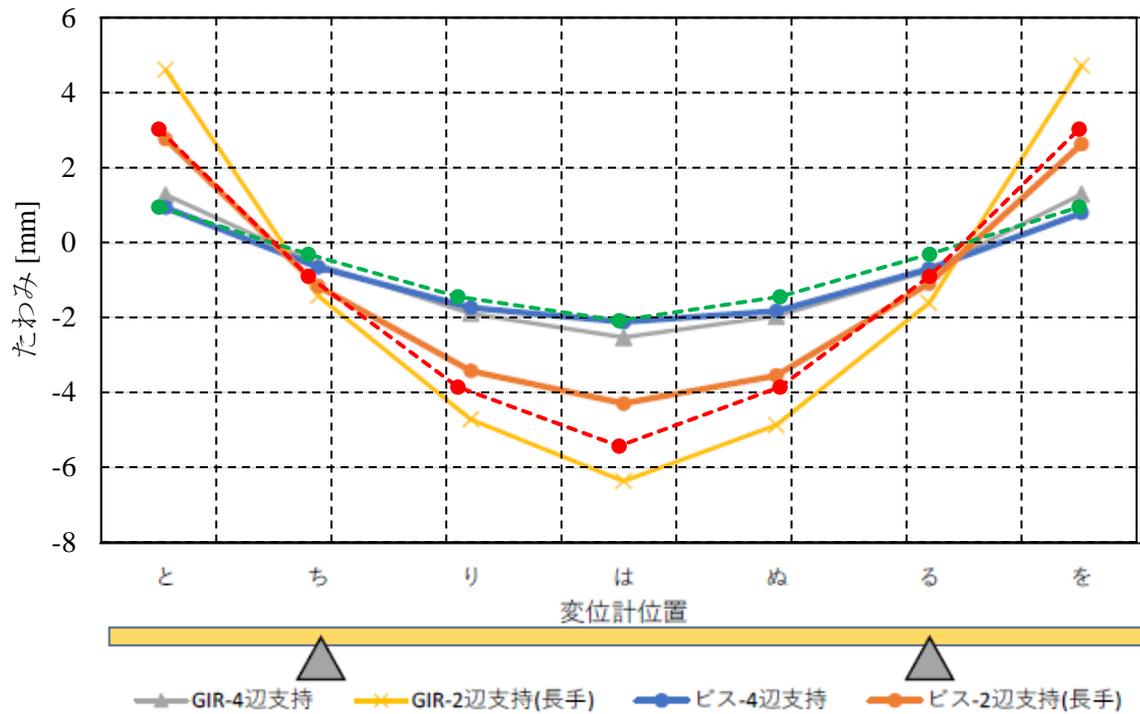


図 5.17 架台内部载荷終了時における弱軸方向たわみ分布（実験結果との比較）

5.4 2×2 スパンの床の数値シミュレーション

本節では、前節までの解析結果を踏まえ、実際の建築物で採用されるような寸法、支持形式での床のたわみ特性について、数値シミュレーションにより検証する。今回は、2×2 スパン、1 スパンが 6m であり、田の字型に支持梁が設けられているケースについて考える。荷重条件は前節と同様であり、CLT には S90-6-6 を採用する。

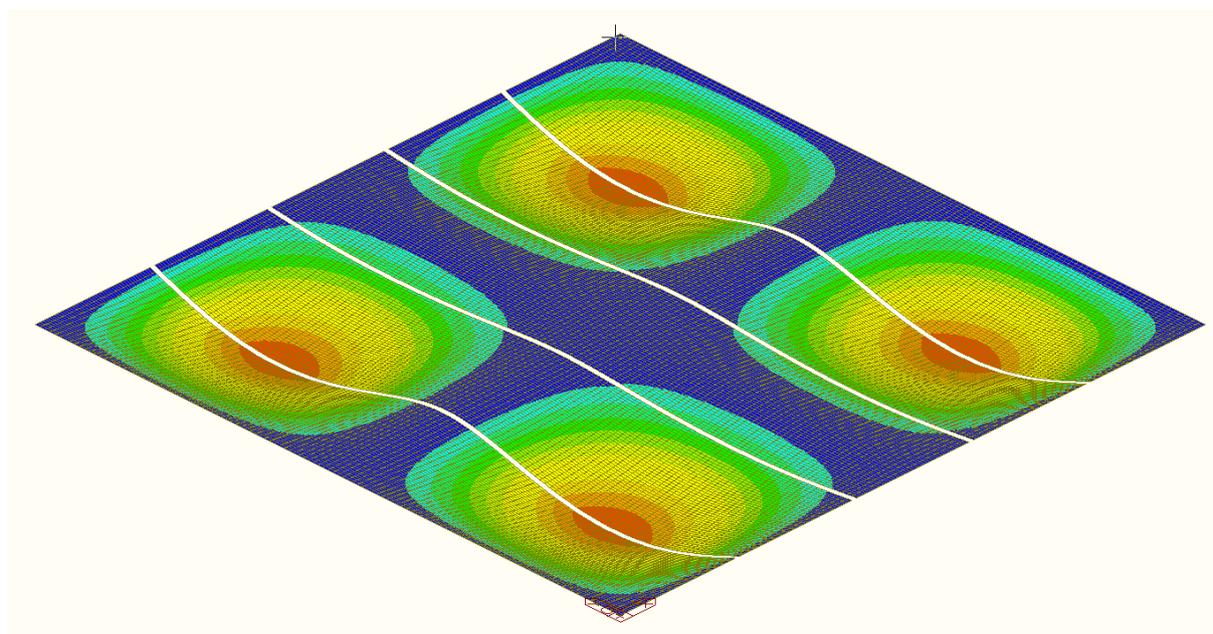


図 5.18 変形コンター図

図 5.18 に変形コンター図を示す。CLT は製造・運搬上の制約を考慮して強軸方向 12m、弱軸方向 2.4m の板を弱軸方向に 5 枚並べて接合したモデルとした。図中、赤色の部分が鉛直方向下向きなたわみが大きいことを表している。

前節に示した解析の結果、四辺支持で内部载荷終了時における板中央のたわみは、回転バネ剛性が 2.0×10^3 [kN.m/rad] の場合で 1.438 [mm]、バネ剛性を剛とした場合で 1.280 [mm]であった。一方、田の字型に配置した場合においては、回転バネ剛性が 2.0×10^3 [kN.m/rad] の場合で 1.536 [mm]、バネ剛性を剛とした場合で 1.421 [mm]となった。いずれも約 1 割ほど田の字型配置の方がたわみが大きくなる結果となった。参考までに、接合部を設けずに 1 枚の連続した CLT パネルとしてモデル化した場合のたわみの最大値は 1.203[mm]であった。今回のケースでは CLT スラブの下面で引張となる曲げモーメントのピーク位置と接合部の位置が近くなっているため、バネを挿入することによる影響が大きく出ているが、接合部位置の調整等によってたわみの軽減が可能であると考えられる。

5.5 まとめ

本章では、前章までに示された接合部の要素試験ならびに実大床の静的試験の結果を踏まえ、CLT床スラブをモデル化した数値解析によりたわみ変形に及ぼす諸因子の影響について分析した。得られた主要な知見は以下のように要約される。

- ・ スラブの辺長比とたわみの関係性では、辺長比が2.0程度以上となるとたわみは強軸方向二辺支持の場合の単純梁のたわみの値に収束することが確認された。したがって、辺長比が2.0程度以上になると四辺支持の効果がほぼなくなると言える。
- ・ CLTの製造上の制約を考慮すれば、四辺支持の効果をj得るためには辺長比1.0程度までが実用的なサイズであると考えられる。
- ・ 6層6プライのCLTでは強軸側と弱軸側とで材料特性が等しい「面内等方性」となることから、辺長比が2.0を超えても四辺支持によるたわみの抑制効果が期待できる。
- ・ CLTの強軸側に対する弱軸側のヤング係数比が大きいほど四辺支持の場合のたわみは抑制されることが確認できた。
- ・ 二辺支持形式の場合、支持間方向と直交する向きの両端部分で変形量が大きくなるが、鋼材などと比べて木質材料はヤング係数の値が比較的小さいため、こうした端部における変形の影響により一定以上のバネを挿入しなければたわみの最大値が一定値に収束しないことが分かった。
- ・ 接合部に挿入する回転バネの剛性が 10^2 から 10^4 [kN.m/rad]の間でたわみの値は大きく変化し、 10^5 [kN.m/rad]程度以上となるとほぼ一定となった。
- ・ 回転バネ剛性の変化がたわみに及ぼす影響は、弱軸側二辺支持よりも四辺支持の場合の方が小さい。
- ・ 実大床の静的試験結果との比較においては、実験結果よりも解析結果の方がたわみが大きくなる傾向があり、全面j載荷時よりも架台内部載荷時、四辺支持よりも二辺支持の場合の方がその傾向がより顕著であった。

今回の解析では、接合部を曲げモーメントを伝達する回転バネとせん断力を伝達する鉛直方向バネに理想化して検討を行ったが、接合部におけるCLT強軸方向の曲げモーメントやせん断力の伝達機構が実験結果と解析結果との差異に影響していることが考えられる。今後はこうした複合的な要因も加味して接合部のモデル化方法について検証を進める必要があると考えられる。

参考文献

- 1) CLT設計施工マニュアル編集委員会：2016年版CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル増補版、pp.178-212、2016.

第 6 章 実大床の動的試験

6.1 実験の目的・概要

本実験は、CLT 版を、接合具によって平板接合して作られる大型床版あるいは屋根版の振動性状に関する知見を得ることを目的として実施した。

CLT 試験体は、接合方式の違いにより、GIR 接合の場合、鋼板ビス打接合の場合の 2 種とした。試験体は、6 層 6 プライのヒノキ CLT 版 (S90-6-6, 2100*7200 mm または 2400*7200 mm) を 1 単位として構成され、接合枚数は 2 種類のサイズの CLT 版各 2 枚計 4 枚を交互に平板接合した場合と、その一部を切断し、3 枚の接合とした場合の 2 種類である。

接合された CLT 試験体は、下部を鋼製レール (10kg/m) で支持した。支持方法は、1) 4 辺単純支持、2) 2 辺単純支持・強軸 (下面ラミナ (強軸方向) と直交する向きにレールを配置する)、3) 2 辺単純支持・弱軸 (下面ラミナ (強軸方向) と平行な向きにレールを配置する)、4) 4 点支持 (4 隅に鋼製のボール支持点を配置しする) の 4 種類である。また、接合前の CLT 1 枚のみでの計測 (2 辺強軸支持のみ) も実施した。

常時微動計測、共振点探査により、支持条件に応じた接合版の卓越振動数を同定し、特定振動数による共振起振時の挙動から振動モードを推定した。また、衝撃振動に対する性能、伝達の傾向や接合部の一体性を確認するため、砂袋等による鉛直方向の衝撃加振を行った。

6.2 計測方法

6.2.1 常時微動計測

卓越振動数の同定、各卓越振動数における振動モードの把握を行うため、常時微動計測を実施した。写真 6.2.1 の SPC-51/VSE125 速度計 6 台 (200Hz) 及び、写真 6.2.2 の Photon/V405-BR (160Hz) の加速度計 2 台を用いて、想定される振動モードの特徴点に計測器を配置した。中央、支持レールとの中間点、はね出し部、を候補として、X、Y 各方向数パターンを想定した。同時計測を行っている SPC, Photon の各データは独立して扱うものとする。なお、常時微動計測時は、地盤に計測器を設置し、フーリエスペクトルと併せて伝達関数についても検討した。



写真 6.2.1 SPC51/VSE-15E
速度計システム



写真 6.2.2 Photon/V405-BR
起振機・加速度計システム

6.2.2 共振点探査

前掲の計測器を設置した状態で、起振機を（レールにより支持される領域の中央に）設置し、スイープ加振を行うことで、卓越振動数の同定を行った。振動数は、1-80Hz（一部は5-80Hz）とし、3分間で1サイクルとした加振を、2回（同一支持条件において二種類目の配置以降は1回）実施した。得られた速度波形をFFT解析し、卓越振動数を同定した。

6.2.3 共振起振

共振点探査で得られた卓越振動数を用いて、特定の周波数での強制加振を行い、定常状態に達した波形・軌跡、また自由振動状態での波形・軌跡をもとに、振動モード、振幅等の同定、評価を行った。起振機の位置は支持レールで囲まれる範囲の中央である。

起振時間は1分間とし、定常状態に達したのち、スイッチを切って起振機を停止し自由振動状態とした。

6.2.4 自由振動

共振起振後、自由振動状態の波形から、減衰定数および固有振動数を算定した。

6.2.5 衝撃加振

衝撃振動に対する性能を把握するため、砂袋（5kg）1個の自由落下（5cmおよび30cm）による振動試験を実施した。加振箇所は各配置について、レールで囲まれた領域の右上から左下に至る3および4か所と、レール外のはね出し箇所（2方向はね出し箇所、および1方向はね出し箇所）である。得られた加速度波形を1/3オクターブ間隔の特定振動数領域でフィルタリングし、最大応答値をもとに評価した（1/3オクターブバンド法）。

6.2.6 測定野帳・計測計画

各振動測定方法における、計測機器および起振機のセッティングは表6.2.1～表6.2.4のとおりである。

表 6.2.1 常時微動測定

| SPC51/ VSE-15D | | |
|---------------------|---------------|------------|
| Channel | 6 | (CH) |
| Function | Vel. | (kine) |
| Sampling | 200 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 1 | (kine) |
| Time | 300 | (s) |
| Data | 60000 | (Point/CH) |
| DSA-Photon/ V405-BR | | |
| Channel | 6 | (CH) |
| Function | Acc. | (gal) |
| Sampling | 160 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 3000 | (gal) |
| Time | approx. 300 | (s) |
| Data | approx. 48000 | (Point/CH) |

表 6.2.2 共振探索試験

| SSV-125 | | |
|---------------------|------------------|------------|
| Mode | Resonance Search | |
| Hz | 1~80 | |
| Time | 180*2 | (s) |
| SPC51/ VSE-15D | | |
| Channel | 6 | (CH) |
| Function | Vel. | (kine) |
| Sampling | 200 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 1 | (kine) |
| Time | 360 | (s) |
| Data | 72000 | (Point/CH) |
| DSA-Photon/ V405-BR | | |
| Channel | 3 | (CH) |
| Function | Acc. | (gal) |
| Sampling | 160 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 3000 | (gal) |
| Time | approx. 360 | (s) |
| Data | approx. 57600 | (Point/CH) |

表 6.2.3 共振加振・自由振動

| SSV-125 | | |
|---------------------|-------------------|------------|
| Mode | Resonance Test | |
| Hz | Natural Frequency | |
| Time | 60 | (s) |
| SPC51/ VSE-15D | | |
| Channel | 6 | (CH) |
| Function | Disp. | (mm) |
| Sampling | 200 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 2 | (mm) |
| Time | 60 | (s) |
| Data | 12000 | (Point/CH) |
| DSA-Photon/ V405-BR | | |
| Channel | 3 | (CH) |
| Function | Acc. | (gal) |
| Sampling | 160 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 3000 | (gal) |
| Time | approx. 60 | (s) |
| Data | approx. 9600 | (Point/CH) |

表 6.2.4 衝撃加振

| 加振方法 | | |
|---------------------|----------------|------------|
| Mode | 5kg 砂袋 | |
| - | 5cm/ 30cm より落下 | |
| Time | 60 | (s) |
| Mode | かかと加振 | |
| - | 約60kgの人間による加振 | |
| Time | 60 | (s) |
| SPC51/ VSE-15D | | |
| Channel | 6 | (CH) |
| Function | Acc. | (gal) |
| Sampling | 200 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | | (gal) |
| Time | 60 | (s) |
| Data | 12000 | (Point/CH) |
| DSA-Photon/ V405-BR | | |
| Channel | 3 | (CH) |
| Function | Acc. | (gal) |
| Sampling | 160 | (Hz) |
| H.P.F | - | - |
| Range | 3000 | (gal) |
| Time | about 60 | (s) |
| Data | about 9600 | (Point/CH) |

次ページ以降、計測内容の一覧および配置図を示す。ただし、GIR 接合と鋼板ビス打接合の配置はおおむね同様であるため、GIR 接合の場合を抜粋して示した。

(1) CLT 4 枚・4 辺支持

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.1 計測リスト : GIR-4CLT-4RAILS [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|-----------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|----------|-----------------------------|
| 1 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 常時微動測定 | 12:57 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C4R1 | |
| 2 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 常時微動測定 | 13:07 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4R2 | |
| 3 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振探索 | 13:14 | Vel. | 1 | kine | 360 | 72000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 5~80Hz/3min *2回 |
| 4 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:28 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 10.5Hz |
| 5 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 10.5Hz |
| 6 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 18Hz |
| 7 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:36 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 23Hz |
| 8 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:38 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 31Hz |
| 9 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 13:40 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R2 | 37Hz |
| 10 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 13:44 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R2 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (右上) |
| 11 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 13:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R2 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (右中) |
| 12 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 13:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R2 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (左中) |
| 13 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 13:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R2 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (左下) |
| 14 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 常時微動測定 | 13:57 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4R3 | |
| 15 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 常時微動測定 | 13:59 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4R3 | |
| 16 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振探索 | 14:09 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 5~80Hz/3min *1回 |
| 17 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:16 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 10.5Hz |
| 18 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 18Hz |
| 19 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:19 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 23Hz |
| 20 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:21 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 31Hz |
| 21 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:23 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 37Hz |
| 22 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R3 | 45Hz |
| 23 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:27 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R3 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (右上) |
| 24 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:29 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R3 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (右中) |
| 25 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R3 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (左中) |
| 26 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カかと | 配置G4C4R3 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, カかと*1 (左下) |
| 27 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 常時微動測定 | 14:39 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4R4 | |
| 28 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:46 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R4 | 10.5Hz |
| 29 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:48 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R4 | 18Hz |
| 30 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R4 | 23Hz |
| 31 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R4 | 31Hz |
| 32 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 共振起振,自由振動 | 14:53 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4R4 | 37Hz |
| 33 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:55 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G4C4R4 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右上) |
| 34 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:57 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G4C4R4 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右中) |
| 35 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 14:59 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G4C4R4 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左中) |
| 36 | 210913 | GIR_4CLT_4rails | 衝撃加振 | 15:01 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G4C4R4 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左下) |

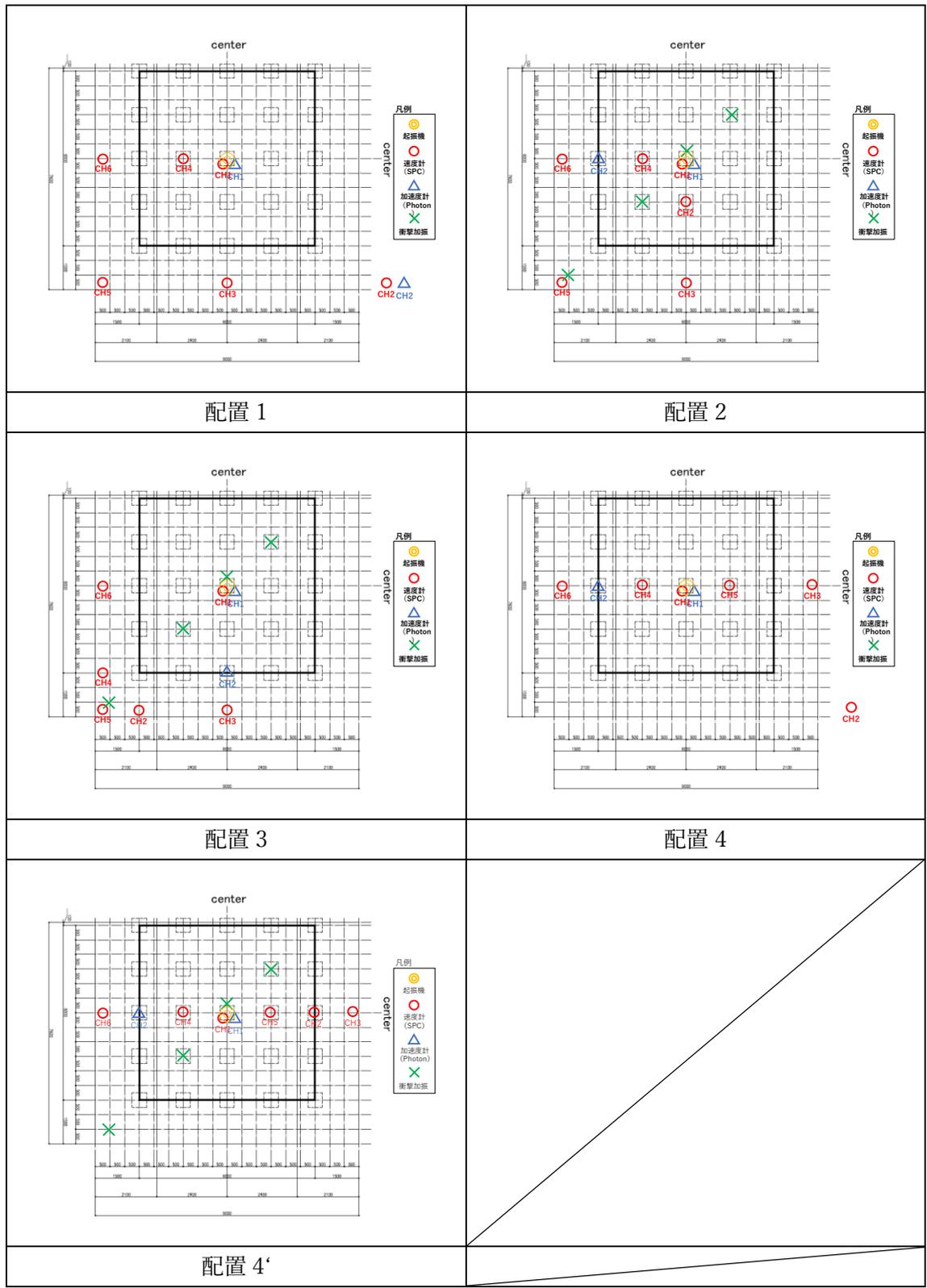


図 6.2.1 GIR-4CLT-4RAILS 計測計画

(2) CLT 4枚・2辺支持・強軸

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ)、配置図を代表例として示す。

表 6.2.2 計測リスト: GIR-4CLT-2RAILS-StrongAxis [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|-------------|-------------------------------|
| 1 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:12 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,1 | |
| 2 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:22 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,2 | |
| 3 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:33 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,3 | |
| 4 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:41 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,4 | |
| 5 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:49 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,5 | |
| 6 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 11:58 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RS,6 | |
| 7 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振探索 | 12:10 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 5-80Hz/3min *1回 |
| 8 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:22 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 11Hz |
| 9 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 18Hz |
| 10 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:26 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 22.5Hz |
| 11 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:28 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 25Hz |
| 12 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:30 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 32Hz |
| 13 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 12:32 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 39.5Hz |
| 14 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:35 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (右上) |
| 15 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:37 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (右中) |
| 16 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:40 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (左中) |
| 17 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:42 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (左下) |
| 18 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:44 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (左レール) |
| 19 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 12:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,7 | 砂袋5cm*2, 30cm*2, かかと*1 (不明) |
| 20 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 12:51 | Vel. | 1 | kine | 112 | 22400 | - | 配置G4C2RS,8 | 微動計測。途中で中止 |
| 21 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振探索 | 12:55 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 5-80Hz/3min *1回 |
| 22 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振探索 | 13:06 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 1-60Hz/2.5min *2回 |
| 23 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:13 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 7.5Hz |
| 24 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:15 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 10.5Hz |
| 25 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:16 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 18Hz |
| 26 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 22.5Hz |
| 27 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:20 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 25Hz |
| 28 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:21 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 32Hz |
| 29 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:23 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,8 | 39.5Hz |
| 30 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,8 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右上) |
| 31 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:27 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,8 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右中) |
| 32 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:29 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,8 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左中) |
| 33 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:30 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,8 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左下) |
| 34 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:32 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,8 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左レール位置) |
| 35 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:37 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 7.5Hz |
| 36 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:39 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 11Hz |
| 37 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:41 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 18Hz |
| 38 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:37 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 22.5Hz |
| 39 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:44 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 25Hz |
| 40 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:46 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 32Hz |
| 41 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 39.5Hz |
| 42 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 13:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,9 | 47Hz |
| 43 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,9 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右上) |
| 44 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:53 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,9 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (右中) |
| 45 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,9 | 砂袋5cm*2, 30cm*2 (左中) |
| 46 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,9 | 砂袋5cm*2, 30cm*2Y (左下) |
| 47 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 13:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G4C2RS,9 | 砂袋5cm*2, 30cm*2Y (左レール位置) |
| 48 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:04 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 7.5Hz |
| 49 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:06 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 11Hz |
| 50 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:08 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 18Hz |
| 51 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 22.5Hz |
| 52 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:11 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 25Hz |
| 53 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:13 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 32Hz |
| 54 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:14 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,10 | 39.5Hz |
| 55 | 210914 | GIR_4CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 14:19 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RS,7 | 7.5Hz, 配置7とCH2, 6が5逆 |

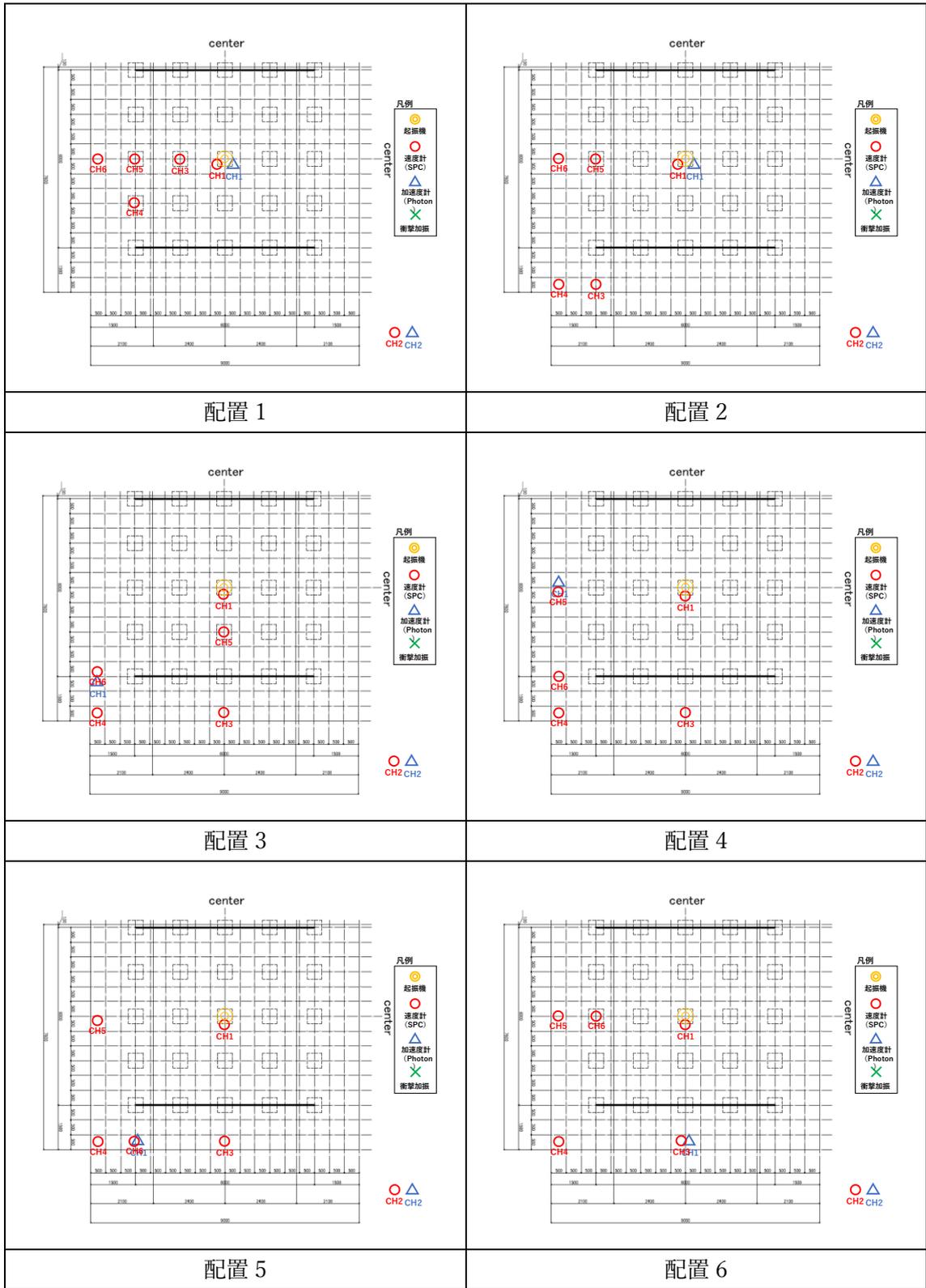


圖 6.2.2 GIR-4CLT-2RAILS-StrongAxis 計測計畫

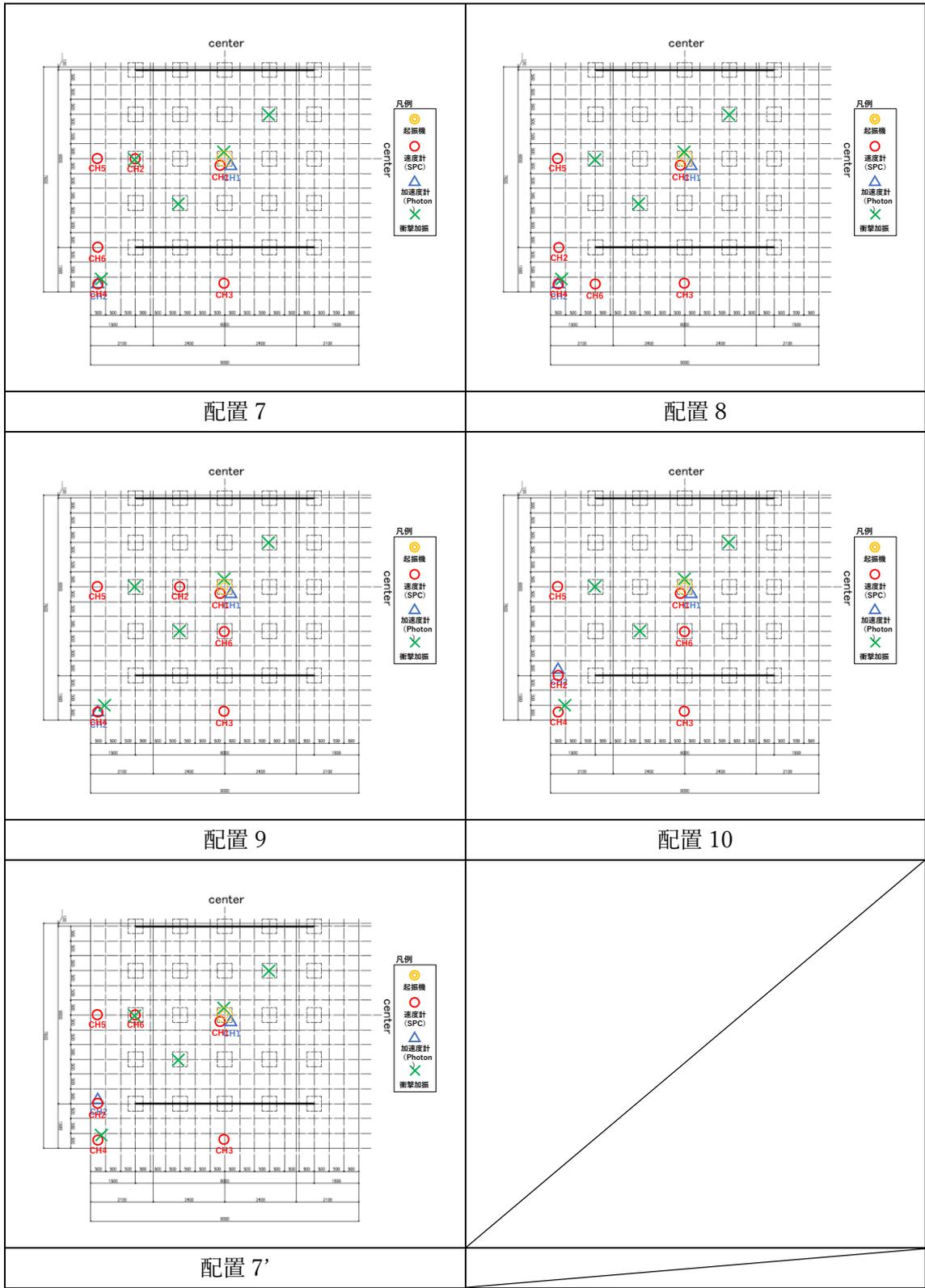


図 6.2.3 GIR-4CLT-2RAILS-StrongAxis 計測計画

(3) CLT 4 枚・2 辺支持・弱軸

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.3 計測リスト: GIR-4CLT-2RAILS-WeakAxix [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|-------------|---------------------------------|
| 1 | 210914 | GIR_4CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 17:04 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RW_1 | |
| 2 | 210914 | GIR_4CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 17:19 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RW_2 | |
| 3 | 210914 | GIR_4CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 17:28 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RW_3 | |
| 4 | 210914 | GIR_4CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 17:36 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G4C2RW_4 | |
| 5 | 210914 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振探索 | 17:47 | Vel. | 1 | kine | 360 | 72000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 1~80Hz/3min *2 [vol.35-50] |
| 6 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:19 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 6Hz, FrV2回 |
| 7 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:21 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 6Hz, FrVなし |
| 8 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:23 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 16Hz, FrV1回 |
| 9 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 16Hz, FrVなし |
| 10 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:27 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 17.5Hz, FrV1回 |
| 11 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:29 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 17.5Hz, FrVなし |
| 12 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 20Hz, FrV1回 |
| 13 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 20Hz, FrV1回 |
| 14 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:35 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 34Hz, FrV1回 |
| 15 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:38 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_5 | 36.5Hz, FrV1回 |
| 16 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:45 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 6Hz, FrV2回 |
| 17 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 6Hz, FrVなし |
| 18 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 16Hz, FrV2回 |
| 19 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 16Hz, FrVなし |
| 20 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:52 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 17.5Hz, FrV2回 |
| 21 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 17.5Hz, FrVなし |
| 22 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 20Hz, FrV1回 |
| 23 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 9:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 34Hz, FrV1回 |
| 24 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:00 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_6 | 36.5Hz, FrV1回 |
| 25 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:06 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 6Hz, FrV2回 |
| 26 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:07 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 6Hz, FrVなし |
| 27 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 16Hz, FrV2回 |
| 28 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:11 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 16Hz, FrVなし |
| 29 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:13 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 17.5Hz, FrV2回 |
| 30 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:15 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 17.5Hz, FrVなし |
| 31 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:17 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 20Hz, FrV1回 |
| 32 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 34Hz, FrV1回 |
| 33 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:20 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_7 | 36.5Hz, FrV1回 |
| 34 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:26 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 6Hz, FrV2回 |
| 35 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:27 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 16Hz, FrV2回 |
| 36 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:29 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 17.5Hz, FrV2回 |
| 37 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 20Hz, FrV2回 |
| 38 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 34Hz, FrV2回 |
| 39 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 10:35 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_8 | 36.5Hz, FrV2回 |
| 40 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:10 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_9 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[右上] |
| 41 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:42 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_9 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[右中] |
| 42 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:44 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_9 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[左中] |
| 43 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:46 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_9 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2, 砂袋30cm*2[左下] |
| 44 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:52 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[右上] |
| 45 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[右中] |
| 46 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | データ保存失敗 [左中] |
| 47 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 10:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[左下] |
| 48 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 11:01 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2, 砂袋30cm*2[右下] |
| 49 | 210915 | GIR_4CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 11:03 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C2RW_10 | 砂袋5cm*2, 砂袋30cm*2[左中] |

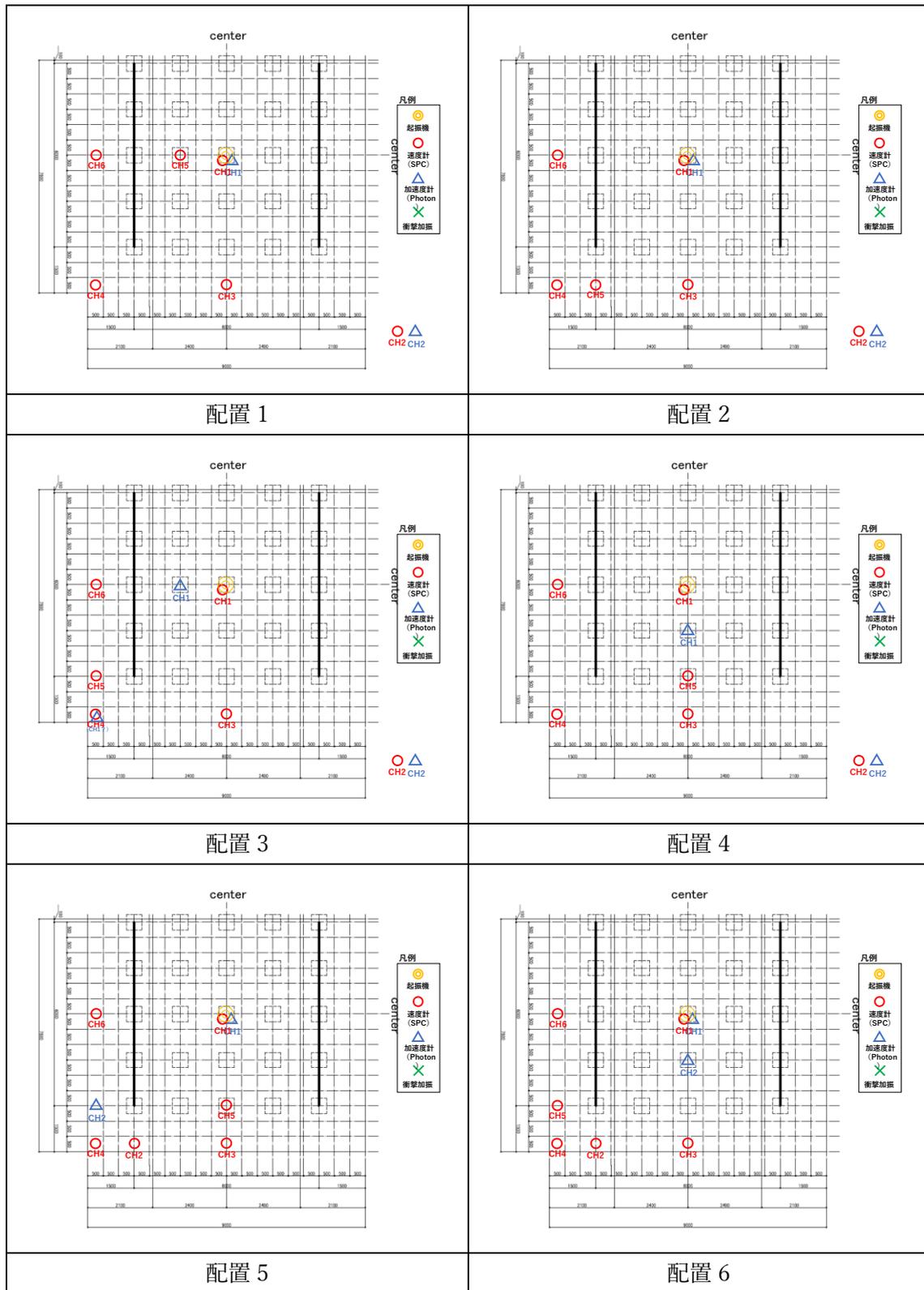


图 6.2.4 GIR-4CLT-2RAILS-WeakAxis 計測計画

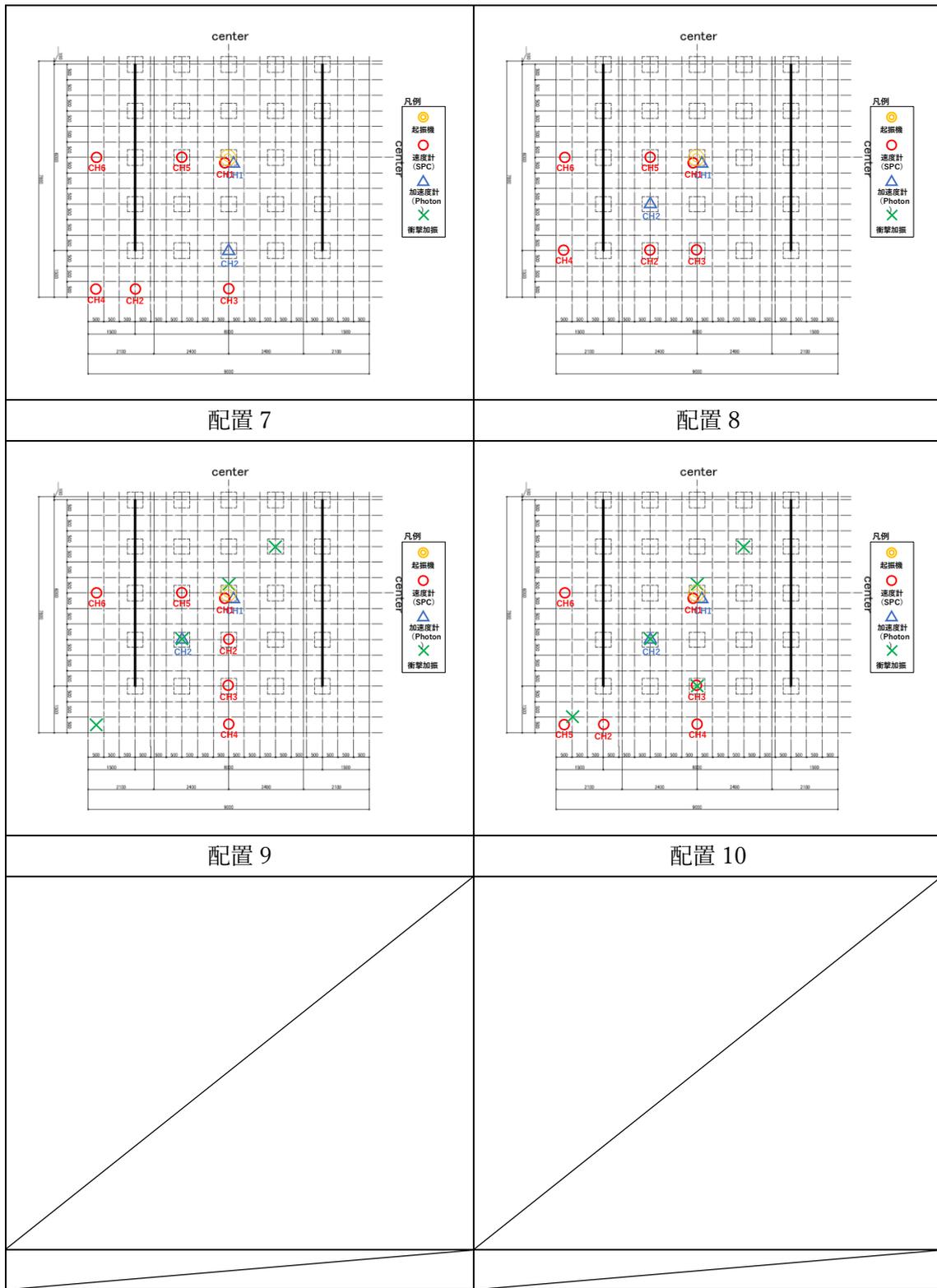


図 6.2.5 GIR-4CLT-2RAILS-WeakAxis 計測計画

(4) CLT 4 枚・4 点支持

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.4 計測リスト: GIR-4CLT-4Points [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|-------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|------------|--------------------------|
| 1 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 13:30 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_1 | |
| 2 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 13:38 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_2 | |
| 3 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 13:46 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_3 | |
| 4 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 13:54 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_4 | |
| 5 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 14:02 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_5 | ノイズあり |
| 6 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 14:06 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_5 | |
| 7 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 常時微動測定 | 14:14 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | - | 配置G4C4P_6 | |
| 8 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振探索 | 14:22 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 1-80 Hz/180s |
| 9 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 14:34 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 6Hz, FrV 2回 |
| 10 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 14:36 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 17Hz, FrV 2回 |
| 11 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 14:39 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 19Hz, FrV 2回 |
| 12 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 14:41 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 30Hz, FrV 1回 |
| 13 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 14:43 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_7 | 34Hz, FrV 1回 |
| 14 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 右奥 |
| 15 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 右中 |
| 16 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:50 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 左中 |
| 17 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:52 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 左端 |
| 18 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 手前中央 |
| 19 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 14:57 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_7 | 左中央 |
| 20 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振探索 | 15:01 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | volume 35, (1-80Hz/180s) |
| 21 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:07 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | 6Hz, volume 40 |
| 22 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | 17Hz, volume 40 |
| 23 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:11 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | 19Hz, volume 40 |
| 24 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:12 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | 30Hz, volume 40 |
| 25 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:14 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_8 | 34Hz, volume 40 |
| 26 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:16 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 右奥 |
| 27 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 右中 |
| 28 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:20 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 左中 |
| 29 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:22 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 左中 2回目 |
| 30 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:24 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 左端, 5cm*2, 30cm*1 |
| 31 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:26 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 左端 2回目, 30cm*2 |
| 32 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:28 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 手前中央, 5cm*2, 30cm*2 |
| 33 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 衝撃加振 | 15:30 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂, カムと | 配置G4C4P_8 | 左中央, 5cm*2, 30cm*2 |
| 34 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振探索 | 15:36 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | volume 35, (1-80Hz/180s) |
| 35 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:41 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | 6Hz, FvV 2回, w13? |
| 36 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:43 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | 17Hz, FvV 2回, w13? |
| 37 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:45 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | 19Hz, FvV 2回, w13? |
| 38 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | 30Hz, FvV 1回, w13? |
| 39 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:48 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_9 | 34Hz, FvV 1回, w13? |
| 40 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:53 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_10 | 6Hz, FvV 2回 |
| 41 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:55 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_10 | 17Hz, FvV 2回 |
| 42 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_10 | 19Hz, FvV 2回 |
| 43 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 15:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_10 | 30Hz, FvV 1回 |
| 44 | 210915 | GIR_4CLT_4p | 共振起振,自由振動 | 16:00 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G4C4P_10 | 34Hz, FvV 1回 |

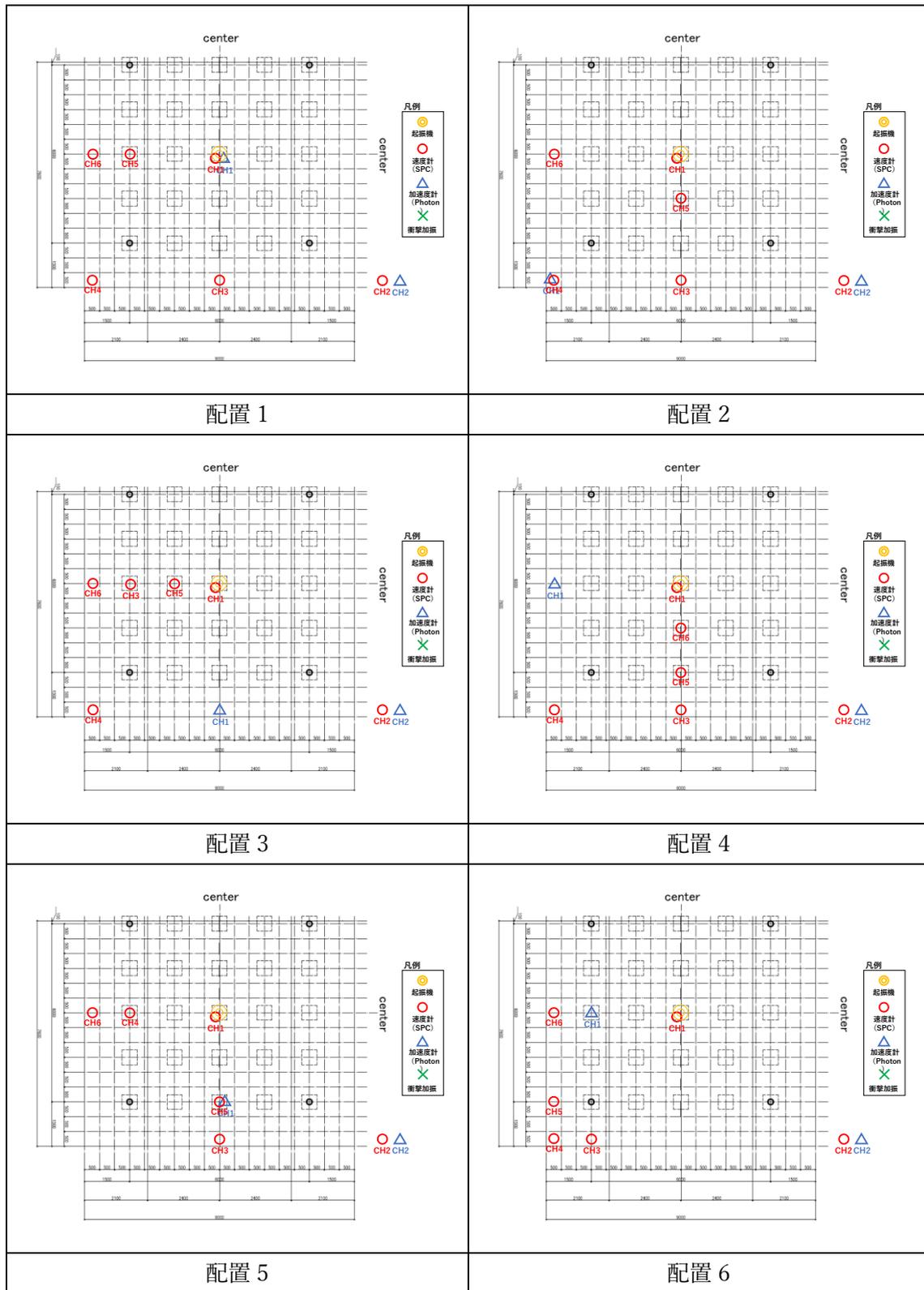


図 6.2.6 GIR-4CLT-4Points 計測計画

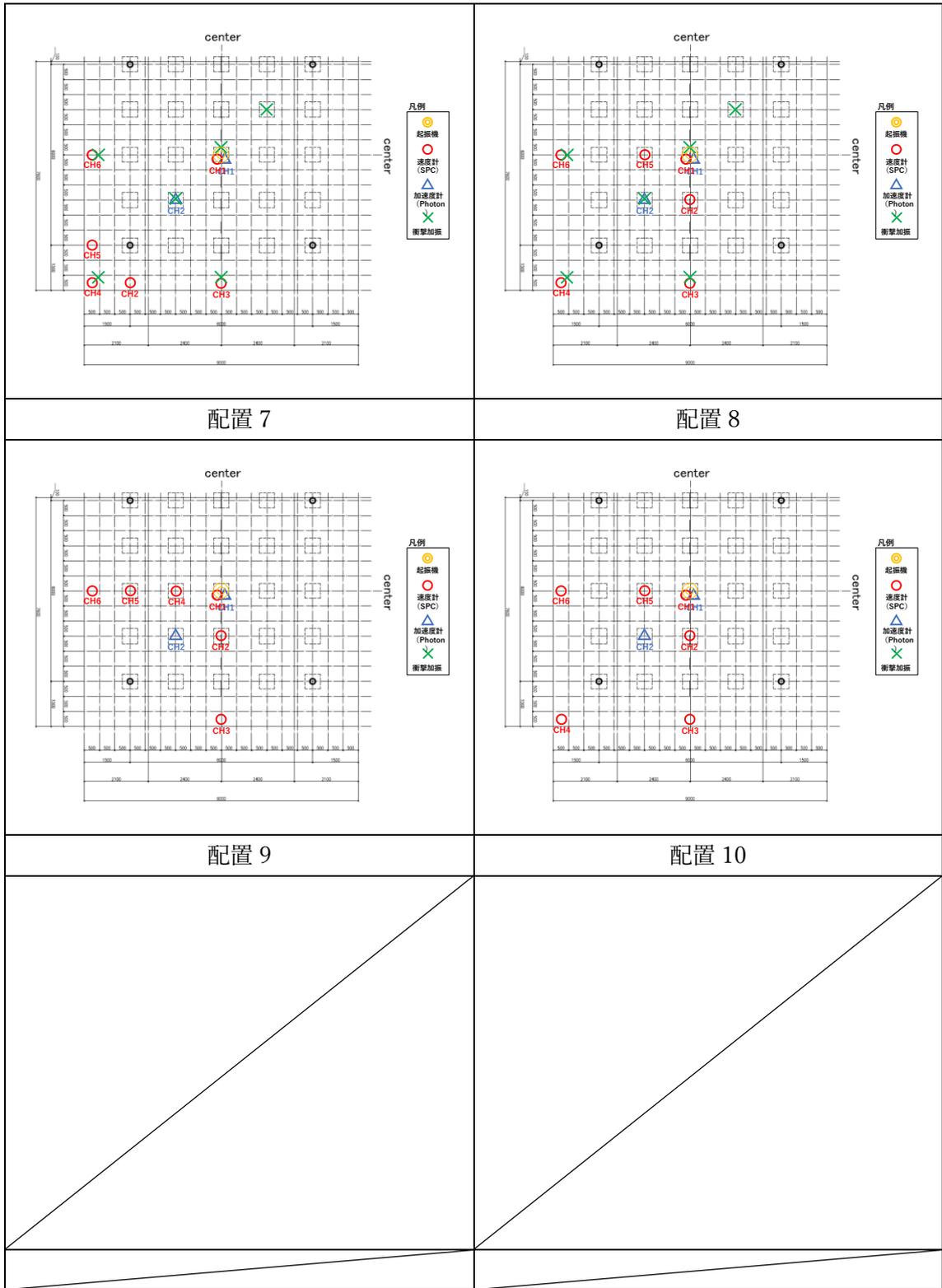


図 6.2.7 計測リスト: GIR-4CLT-4Points

(5) CLT 3枚・4辺支持

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.5 計測リスト: GIR-3CLT-4RAILS [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|-------------|------------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|-----------|--------------------------|
| 1 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 常時微動測定 | 14:55 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C4R.1 | 扇風機ノイズあり, 中止 |
| 2 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 常時微動測定 | 14:58 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C4R.1 | |
| 3 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 常時微動測定 | 15:13 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C4R.2 | |
| 4 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 常時微動測定 | 15:22 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C4R.3 | 60%前後でシャッターノイズ, 73-4%自動車 |
| 5 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振探索 | 15:32 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 71%シャッターノイズ, (1-80Hz) |
| 6 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 15:43 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 9Hz, FrV 2回, volume40 |
| 7 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 15:45 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 13Hz, FrV 2回, volume40 |
| 8 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 15:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 16Hz, FrV 1回, volume40 |
| 9 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 15:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 32Hz, FrV 1回, volume40 |
| 10 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 15:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.4 | 41Hz, FrV 1回, volume35 |
| 11 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 衝撃加振 | 15:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G3C4R.4 | 5cm*2, 30cm*2 |
| 12 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 衝撃加振 | 15:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G3C4R.4 | 5cm*2, 30cm*2 |
| 13 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 衝撃加振 | 15:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G3C4R.4 | 5cm*2, 30cm*2 |
| 14 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 衝撃加振 | 16:00 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G3C4R.4 | 5cm*2, 30cm*2 |
| 15 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 衝撃加振 | 16:02 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, かかと | 配置G3C4R.4 | 5cm*2, 30cm*2, かかと×1 |
| 16 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振探索 | 16:07 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C4R.5 | 1-80Hz, volume35 |
| 17 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 16:13 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.5 | 9Hz, FrV 2回 |
| 18 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 16:15 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.5 | 13Hz, FrV 2回 |
| 19 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振探索 | 16:20 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C4R.6 | 1-80Hz, volume35 |
| 20 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振探索 | 16:26 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C4R.6 | 1-80Hz, volume35 |
| 21 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 16:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.6 | 9Hz, FrV 2回 |
| 22 | 210916 | GIR_3CLT_4r | 共振起振, 自由振動 | 16:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C4R.6 | 13Hz, FrV 2回 |

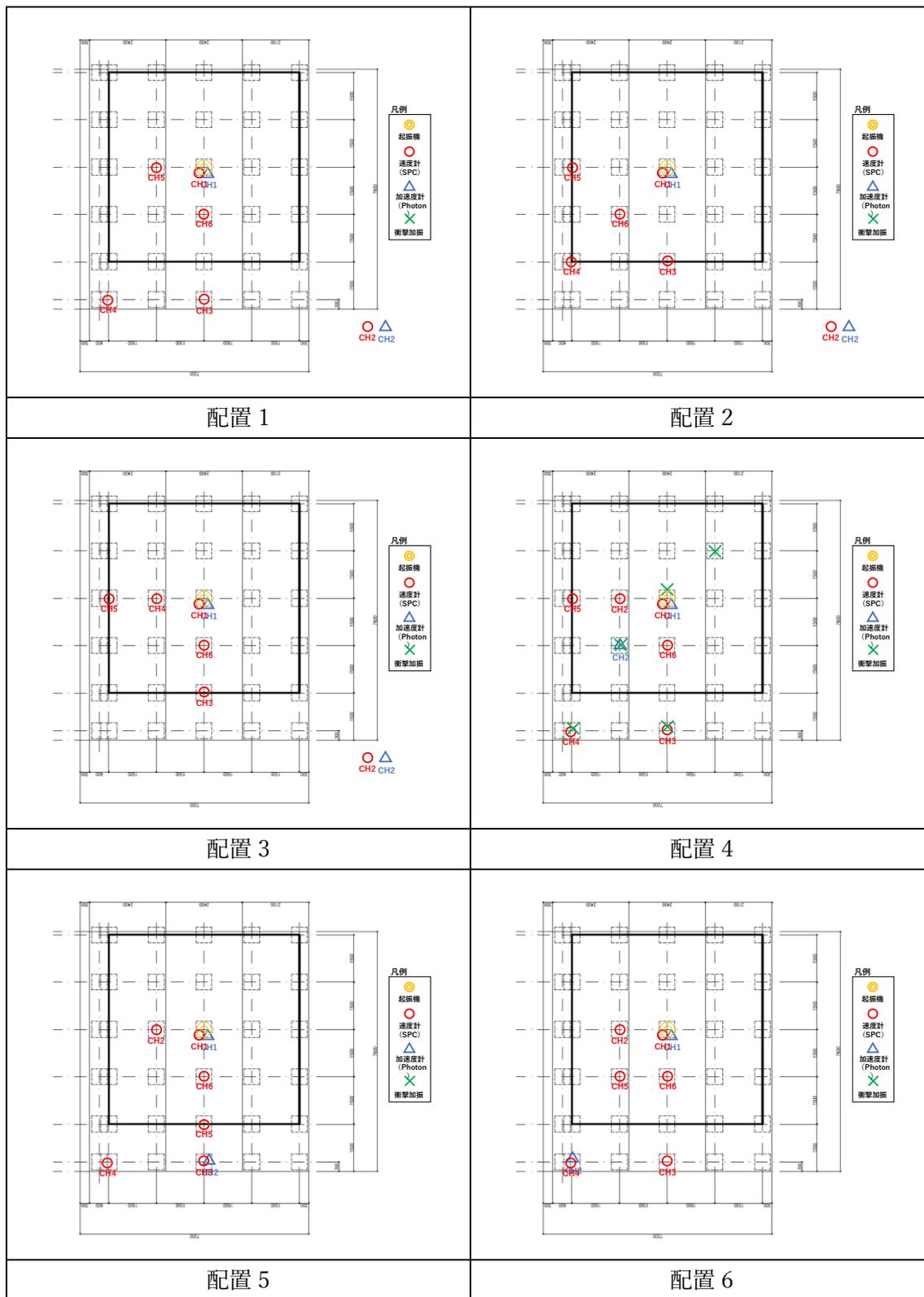


図 6.2.8 GIR-3CLT-4RAILS 計測計画

(6) CLT 3枚・2辺支持・強軸

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.6 計測リスト: GIR-3CLT-2RAILS-StrongAxis [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|------------|------------------------------|
| 1 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 9:20 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS_1 | |
| 2 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 9:30 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS_2 | |
| 3 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 9:39 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS_3 | |
| 4 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 常時微動測定 | 9:48 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS_4 | |
| 5 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振探索 | 9:59 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS_5 | (1-80Hz)/180s*1, volume40 |
| 6 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:08 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_5 | 7.5Hz |
| 7 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:10 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_5 | 13Hz |
| 8 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:13 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_5 | 18Hz |
| 9 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:15 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_5 | 23Hz |
| 10 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:17 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 1, 5cm*2, 30cm*2, volume40 |
| 11 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:19 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 2-1, 5cm*2, 30cm*1, volume40 |
| 12 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:21 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 2-2, 30cm*2, volume40 |
| 13 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:23 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 3-1, 5cm*2, 30cm*1, volume40 |
| 14 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 3-2, 30cm*2, volume40 |
| 15 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:27 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 4-1, 5cm*2, 30cm*1, volume40 |
| 16 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:30 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 4-2, 30cm*2, volume40 |
| 17 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:32 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 5-1, 5cm*2, 30cm*1, volume40 |
| 18 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 10:34 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_5 | 5-2, 30cm*2, volume40 |
| 19 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振探索 | 10:38 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS_6 | (1-80Hz)/180s*1回 |
| 20 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:43 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_6 | 7.5Hz, FrV*2回 |
| 21 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:45 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_6 | 13Hz, FrV*2回 |
| 22 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_6 | 18Hz, FrV*2回 |
| 23 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 10:53 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_6 | 23Hz, FrV*2回 |
| 24 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振探索 | 10:57 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS_7 | (1-80Hz)/180s*1回 |
| 25 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:03 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_7 | 7.5Hz, FrV*2回 |
| 26 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:05 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_7 | 13Hz, FrV*2回 |
| 27 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:07 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_7 | 18Hz, FrV*2回 |
| 28 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_7 | 23Hz, FrV*2回 |
| 29 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:16 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_8 | 7.5Hz, FrV*2回 |
| 30 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:17 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_8 | 13Hz, FrV*2回 |
| 31 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:19 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_8 | 18Hz, FrV*2回 |
| 32 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 共振起振,自由振動 | 11:22 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS_8 | 23Hz, FrV*2回 |
| 33 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:31 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 1-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 34 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:33 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 1-2, 30cm*2 |
| 35 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:35 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 2-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 36 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:36 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 2-2, 30cm*2 |
| 37 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:38 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 3-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 38 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:40 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 3-2, 30cm*2 |
| 39 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:42 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 4-1, 5cm*2, 30cm*2 |
| 40 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:43 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 4-2, 30cm*2 |
| 41 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:45 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 5-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 42 | 210917 | GIR_3CLT_2r_SA | 衝撃加振 | 11:47 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS_9 | 5-2, 30cm*2 |



図 6.2.9 GIR-3CLT-2RAILS-StrongAxis 計測計画

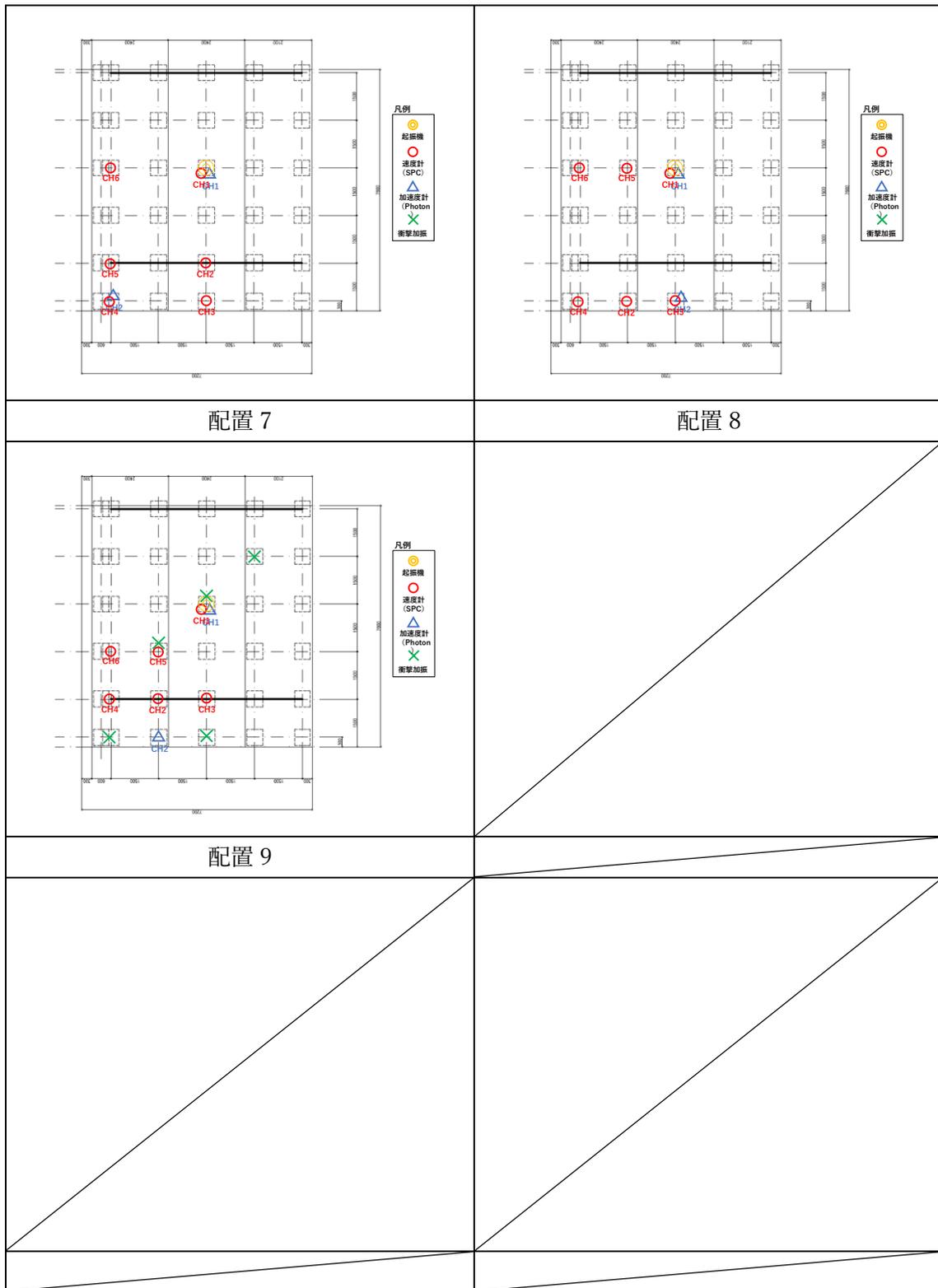


図 6.2.10 GIR-3CLT-2RAILS-StrongAxis 計測計画

(7) CLT 3 枚・2 辺支持・弱軸

・GIR 接合の場合の野帳 (SPC-51 のみ), 配置図を代表例として示す。

表 6.2.7 計測リスト: GIR-3CLT-2RAILS-WeakAxis [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|-----------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|--------------|--|
| 1 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 13:51 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RW.1 | 18, 44, 98%シャッターノイズ |
| 2 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:00 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | (配置G3C2RS.2) | 強軸の配置2の可能性, 1-4, 12, 28, 42, 99%シャッターノイズ |
| 3 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:09 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | (配置G3C2RS.3) | 強軸の配置3の可能性 |
| 4 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:17 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS.2 | 93%シャッターノイズ |
| 5 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:25 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS.3 | |
| 6 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:33 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS.4 | 37.50,68%シャッターノイズ |
| 7 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 常時微動測定 | 14:41 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 配置G3C2RS.5 | 64%シャッターノイズ |
| 8 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振探索 | 14:51 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS.6 | 1-80Hz/180s*1 |
| 9 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 14:59 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.6 | 6Hz |
| 10 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:01 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.6 | 7.5Hz |
| 11 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:03 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.6 | 15Hz |
| 12 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:05 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.6 | 28Hz |
| 13 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:07 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 1-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 14 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 1-2, 30cm*2 |
| 15 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:11 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 2-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 16 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:12 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 2-2, 30cm*2 |
| 17 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:14 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 3-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 18 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:16 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 3-2, 30cm*2 |
| 19 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 4-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 20 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:20 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 4-2, 30cm*1 |
| 21 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:22 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 5-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 22 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:24 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.6 | 5-2, 30cm*2 |
| 23 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振探索 | 15:29 | Vel. | 1 | kine | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | (1-80Hz)/180s*1, volume40 |
| 24 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:35 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | 6Hz |
| 25 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:37 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | 7.5Hz |
| 26 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:39 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | 15Hz |
| 27 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:41 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | 28Hz |
| 28 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 15:42 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.7 | 34Hz |
| 29 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:44 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 1-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 30 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:46 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 1-2, 30cm*2 |
| 31 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:48 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 2-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 32 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:49 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 2-2, 30cm*2 |
| 33 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:51 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 3-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 34 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:53 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 3-2, 30cm*2 |
| 35 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:54 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 4-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 36 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:56 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 4-2, 30cm*2 |
| 37 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:58 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋 | 配置G3C2RS.7 | 5-1, 5cm*2, 30cm*1 |
| 38 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 衝撃加振 | 15:59 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 砂袋, カカト | 配置G3C2RS.7 | 5-2, 30cm*2, カカト*1 |
| 39 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振探索 | 16:03 | Disp. | 2 | mm | 180 | 36000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | (1-80Hz)/180s*1, 変位で計測 |
| 40 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:09 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 6Hz, 変位で計測, FrV*2 |
| 41 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:11 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 7.5Hz, 変位で計測, FrV*1 |
| 42 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:12 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 15Hz, 変位で計測 |
| 43 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:14 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 28Hz, 変位で計測 |
| 44 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:18 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 6Hz, 変位で計測 |
| 45 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:20 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 7.5Hz, 変位で計測 |
| 46 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:21 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 15Hz, 変位で計測 |
| 47 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:23 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 28Hz, 変位で計測 |
| 48 | 210917 | GIR_3CLT_2r_WA | 共振起振,自由振動 | 16:25 | Disp. | 2 | mm | 60 | 12000 | 起振機 | 配置G3C2RS.8 | 34Hz, 変位で計測 |

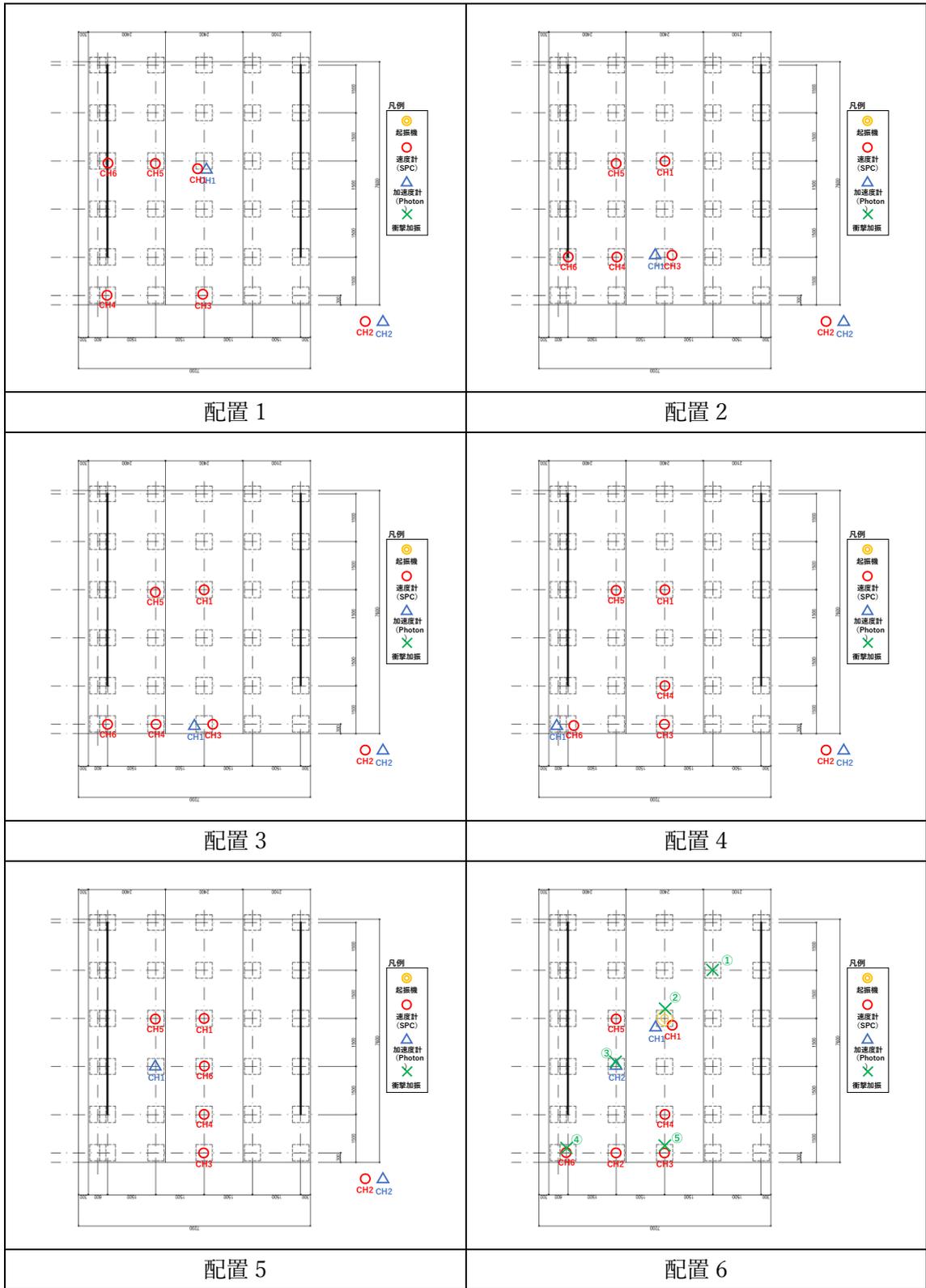


図 6.2.11 GIR-3CLT-2RAILS-WeakAxis 計測計画

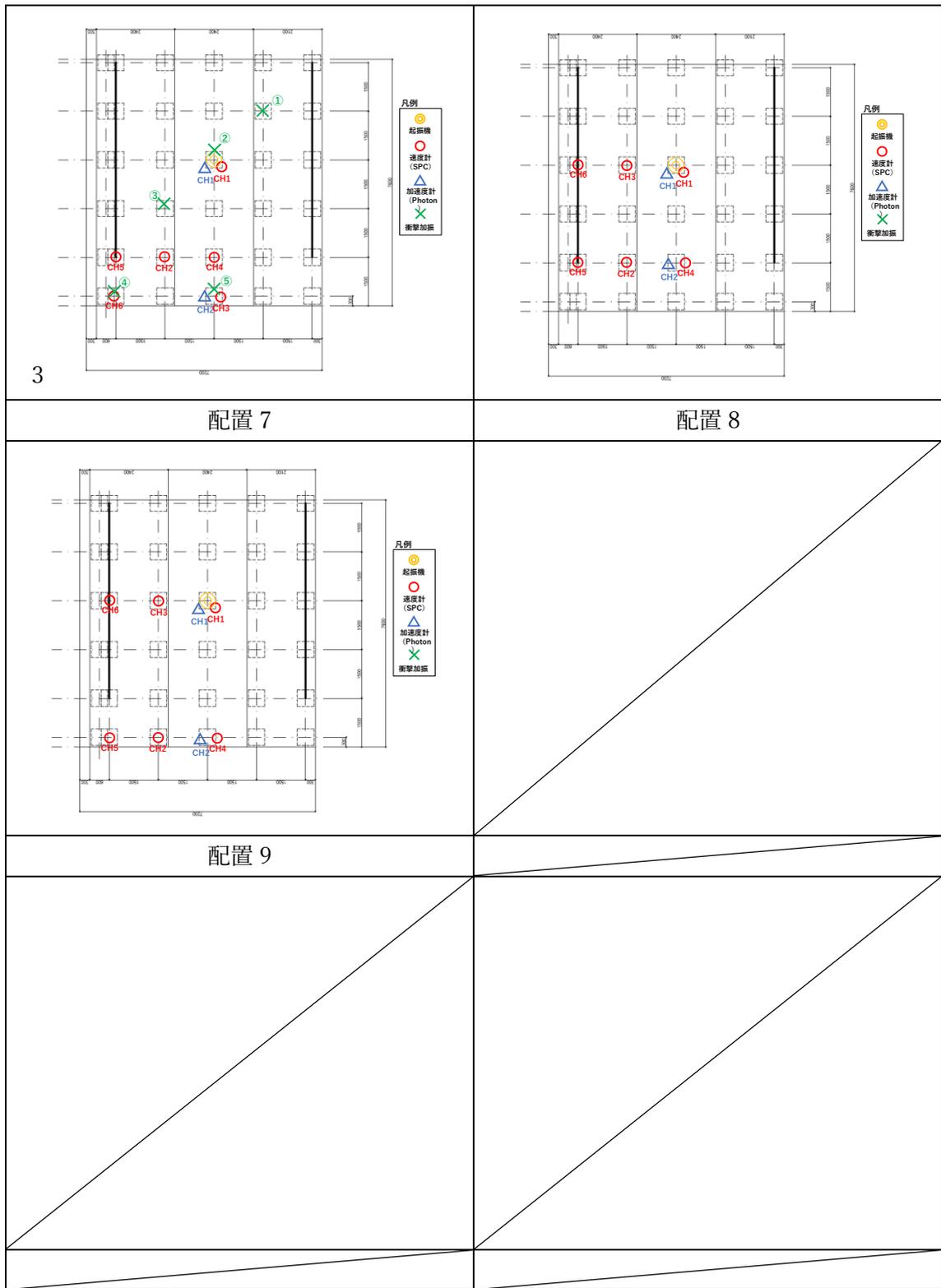


図 6.2.12 GIR-3CLT-2RAILS-WeakAxix 計測計画

(8) CLT 1 枚・2 辺支持・強軸

・なお、計測した4枚のCLTは、鋼板ビス打仕様の実験で使用したものである。GIR接合で使用したCLTについては、振動計測は実施していない。

表 6.2.8 計測リスト: 1CLT-2RAILS-StrongAxis [SPC-51]

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|-----------------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|----------|---|
| 1 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.1 | 常時微動測定 | 17:50 | Disp. | 2 | mm | 300 | 60000 | - | 1C2RS-1 | CH1, 3, 5, 6, 7のSH, 10%, 5%, 60%, 100%でシャッターノイズ |
| 2 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.1 | 常時微動測定 | 17:59 | Disp. | 2 | mm | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2 | 60%, 90%ノイズ, CH5のSH, 23%に中CS(10%)で計測 |
| 3 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.1 | 衝撃加振 | 18:14 | Disp. | 2 | mm | 120 | 24000 | 砂袋, かかと | 1C2RS-3 | 5cm×2, 30cm×3, かかと×2 |
| 4 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.2 | 衝撃加振 (18:24) | | Disp. | 2 | mm | 120 | 24000 | 砂袋, かかと | 1C2RS-3 | 5cm×2, 30cm×3, かかと×3 |
| 5 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.2 | 常時微動測定 | 18:35 | Disp. | 2 | mm | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2 | 45%シャッターノイズ |
| 6 | 210921 | CLT(鋼板)1枚 No.2 | 常時微動測定 | 18:45 | Disp. | 2 | mm | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2' | 配置1からレール上のPUを移動 |

| 番号 | 計測日 | 試験体名称 | 実験内容 | 計測開始時刻 | Function | Range | unit | Time | data | 加振/起振方法 | 配置計画 | 備考 |
|----|--------|----------------|--------|--------|----------|-------|------|------|-------|---------|-----------|--------------------------|
| 1 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.3 | 常時微動測定 | 10:40 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2' | CH2,4のケーブル交換, 幅2100 |
| 2 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.3 | 常時微動測定 | 10:59 | Disp. | 2 | mm | 180 | 36000 | - | 1C2RS-2' | 確認のため変位でも計測 |
| 3 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.3 | 衝撃加振 | 11:04 | Disp. | 2 | mm | 120 | 24000 | 砂袋, かかと | 1C2RS-2' | 5cm×2, 30cm×3, かかと×2 |
| 4 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.2 | 常時微動測定 | 11:21 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2'' | 7.5, 11, 27Hz(ほか), 再計測 |
| 5 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.2 | 衝撃加振 | 11:36 | Acc. | 2000 | gal | 120 | 24000 | 砂袋, かかと | 1C2RS-2'' | 5cm×3, 30cm×3, かかと×2 |
| 6 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.4 | 常時微動測定 | 12:22 | Vel. | 1 | kine | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2' | 7.2Hz 26, 32はレールか, 幅2100 |
| 7 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.4 | 常時微動測定 | 12:33 | Disp. | 2 | mm | 300 | 60000 | - | 1C2RS-2' | |
| 8 | 210922 | CLT(鋼板)1枚 No.4 | 衝撃加振 | 12:41 | Acc. | 2000 | gal | 120 | 24000 | - | 1C2RS-2' | 5cm×3, 30cm×3, かかと×2 |

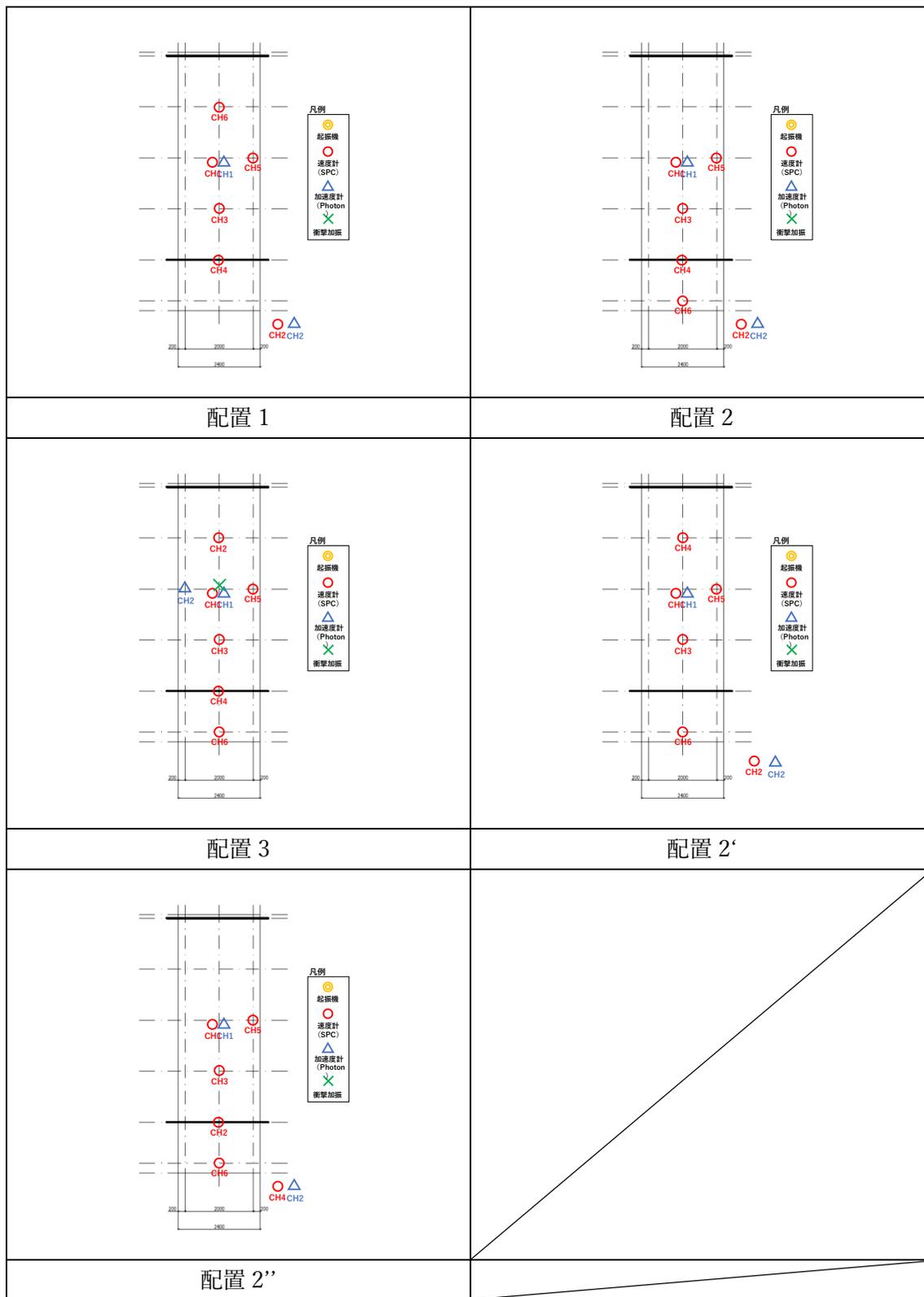


図 6.2.13 1CLT-2RAILS-StrongAxis 計測計画

6.3 データ分析方法の概要

6.3.1 フーリエスペクトル

常時微動 (300 秒), および共振点探査 (各回 1-80Hz/180 秒*2 サイクル) の測定記録に対して, 20 秒ずつの区間に区切り, blackman 窓のフィルターを施し, 区間を 10 秒ずつずらし, 各区間に関するフーリエスペクトルを算出した。

6.3.2 伝達関数

算出したフーリエスペクトルを用いて, 地盤振動に対する伝達関数を算出した結果を示す。

6.3.3 振動モードの同定

スウィープ波による共振点探査や, 常時微動測定の結果のフーリエ解析結果に基づいて卓越振動数を同定したのち, 代表的な振動数に対して起振機を用いて鉛直方向に卓越振動数での加振を行った。狙った振動数で振動していることを確認したのち, 変位波形から定常状態の区間, および自由振動区間から, それぞれ 2 周期分程度を取り出し, 挙動を図としてプロットした。これにより, 振動モードを同定・考察を行った。各振動モードにおける最大応答点, 最大応答値等についても示した。

6.3.4 減衰性能の評価

床版の減衰性能は, 卓越振動数に対する共振起振において, 波形を途中で停止し自由振動状態として, その状態における減衰を対数減衰法により算出した。各配置において 1 次卓越振動数と考えられる振動に関する減衰率の算定結果を, 中央部, はね出し端部等の特徴的な点について示した。

6.3.5 1/3 オクターブバンド分析法

平板接合された CLT 床の衝撃振動性能の指標として, 1/3 オクターブ分析法による衝撃振動の評価を行った。

本実験では, 5kg の砂袋を用いた 5 cm および 30 cm の高さからの落下による衝撃試験を実施した。評価は, 「建築物の振動に関する居住性能評価基準・同解説 第 3 版」*1に基づき, 下記の特中心周波数 f_0 前後の周波数領域 f_1-f_0 における最大加速度応答値(0-p)を算出し, 評価曲線と比較しレベルの評価を行った。中央で加振した際の加速度応答値より, 以下の振動数範囲における最大応答値を求め, プロットした。

評価曲線は, 各レベルの振動が生じた際に (評価点にいる人のうち) 何%の人が振動を感じるかを示す指標である。

V-10: 10%の人が感じる

V-30: 30%の人が感じる

V-50: 50%の人が感じる

V-70: 70%の人が感じる

V-90: 90%の人が感じる

*1 建築物の振動に関する居住性能評価基準・同解説 第 3 版, 日本建築学会, 2018

表 6.3.1 1/3 オクターブバンド (中心周波数 : f_0)

| f_0 | G | $G^{-1/2}$ | $G^{1/2}$ | f_1 | f_2 | B |
|-------|-------|------------|-----------|-------|-------|------|
| Hz | - | - | - | Hz | Hz | Hz |
| 3.15 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 2.81 | 3.53 | 0.73 |
| 4 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 3.57 | 4.49 | 0.92 |
| 5 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 4.46 | 5.61 | 1.15 |
| 6.3 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 5.61 | 7.07 | 1.45 |
| 8 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 7.13 | 8.98 | 1.85 |
| 10 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 8.91 | 11.22 | 2.31 |
| 12.5 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 11.14 | 14.03 | 2.88 |
| 16 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 14.26 | 17.95 | 3.69 |
| 20 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 17.83 | 22.44 | 4.62 |
| 25 | 1.259 | 0.891 | 1.122 | 22.28 | 28.05 | 5.77 |

評価曲線

| | V-10 | V-30 | V-50 | V-70 | V-90 |
|----|------|------|------|------|------|
| 3 | 0.81 | 1.1 | 2 | 2.9 | 4.95 |
| 8 | 0.81 | 1.1 | 2 | 2.9 | 4.95 |
| 30 | 3 | 4 | 7.2 | 11 | 18 |

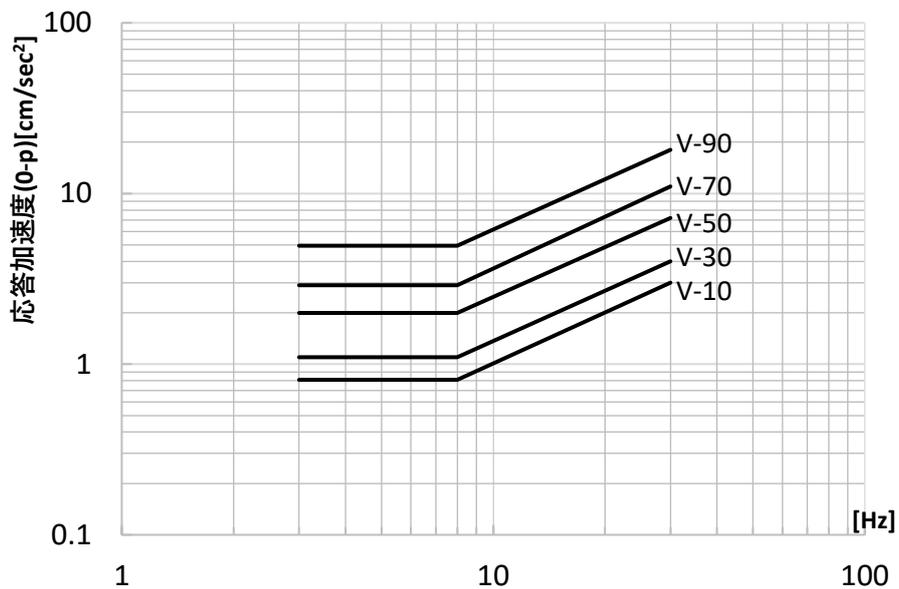


図 6.3.1 1/3 オクターブバンド評価曲線

6.4 実験結果

6.4.1 概要

本章では実験値の解析結果を示す。接合方式ごと（GIR 接合/鋼板ビス打接合）に分けたのち、支持条件ごと（4 辺単純支持，2 辺強軸支持，2 辺弱軸支持，4 点支持。4 点支持以外は 4 枚の場合と 3 枚の場合がある）に分けて結果を示した。

各計測条件に対して、計測計画に示すように、①常時微動測定（卓越振動数，振動モード，伝達関数），②共振点探査（卓越振動数の同定），③共振起振（定常状態・自由振動状態における振動モードの同定，自由振動状態における減衰性状），④衝撃加振（衝撃振動に対する性能），の 4 種類の計測を複数の配置で実施した。

支持条件に対して、前後左右で対象であると仮定し、図中左下 1/4 の範囲に主に計測器を設置した。中央部は固定として、支持レールの有無やはね出し部の影響に着目して配置を行った。起振機による起振は、1 次モード以外にも高次の振動数まで（30Hz 前後まで）測定を行っている。ここでは、1 次モード，2 次モード程度までの同定を主眼として、中央が最大変形となる 1 次モード以外の特徴的なモード形状の同定と、最大振幅となる共振点を同定し、ある接合方式における支持条件に対する振動性状の解明を主眼とした。加えて、接合方式の違いの影響を比較して考察した。

6.4.2 実験結果

(1) GIR 接合 CLT 4 枚・4 辺支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

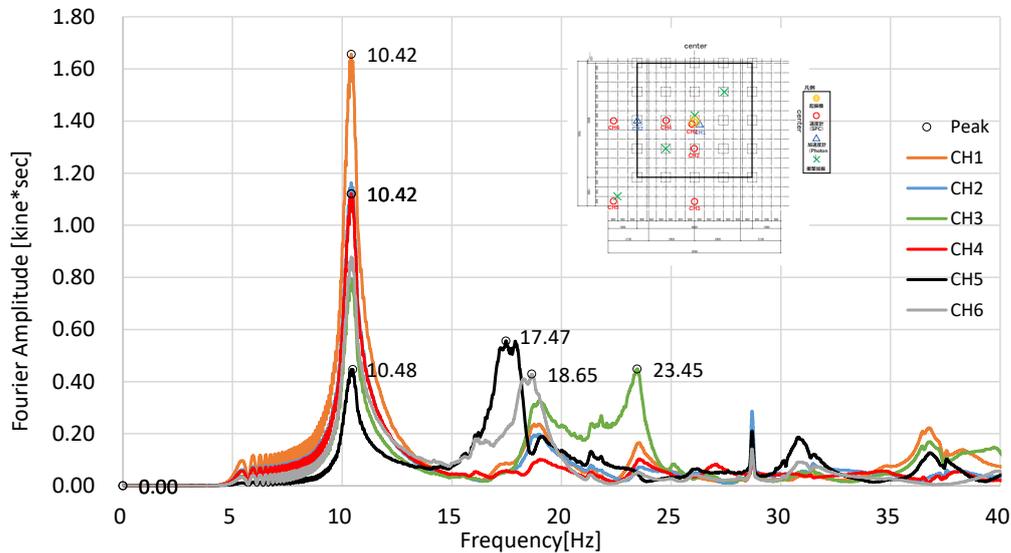


図 6.4.2.1-1 共振点探査の結果 (No.5, 配置 2) フーリエスペクトル

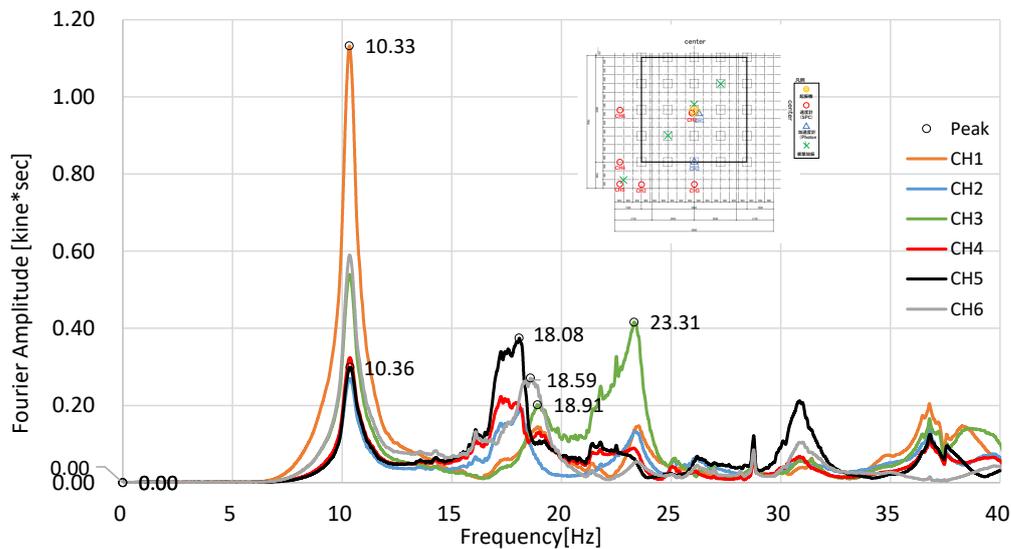


図 6.4.2.1-2 共振点探査の結果 (No.16, 配置 3) フーリエスペクトル

卓越振動数は、1次固有振動数とみられる 10.3-10.4Hz の他に、はね出し部（下、左、左下（2方向はね出し））がそれぞれ2次的なピークを示した。下（長手端部, CH.3）は約 23.3-23.4Hz, 左（短手端部, CH.6）は 18.6Hz 前後に、左下（2方向はね出し, CH.5）は 17.5~18.1Hz 付近にもピークを示した。配置 2, 3 共に CH2, 4 はそれらに励起される程度であり、レール内部にある配置 2 では、1次固有振動数以外に特段のピークは見られない。

主要卓越振動数：10.3-4, 17.5-18.1, 18.6, 23.3-4[Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 10.5Hz での共振加振結果 (No.5, 配置 2)

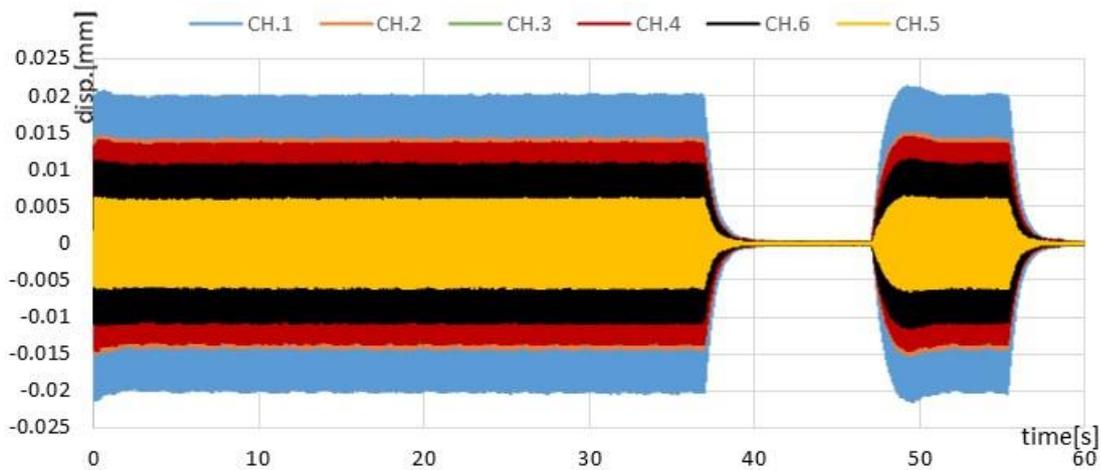


図 6.4.2.1-3 No.5, 配置 2 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

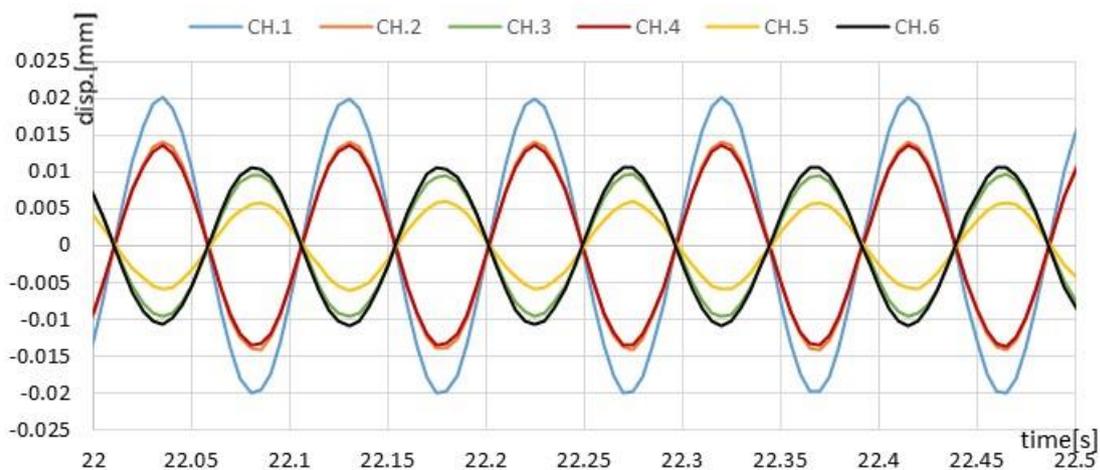


図 6.4.2.1-4 No.5, 配置 2 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

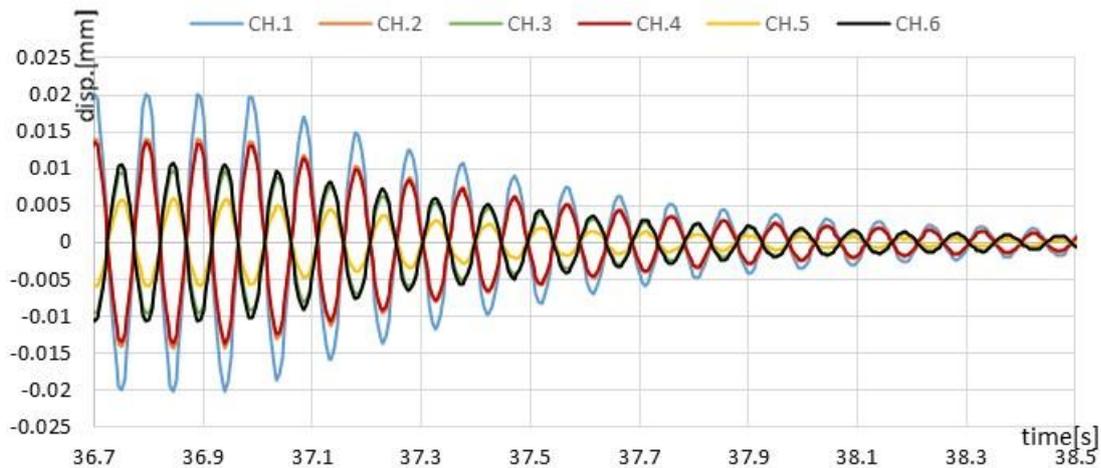


図 6.4.2.1-5 No.5, 配置 2 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

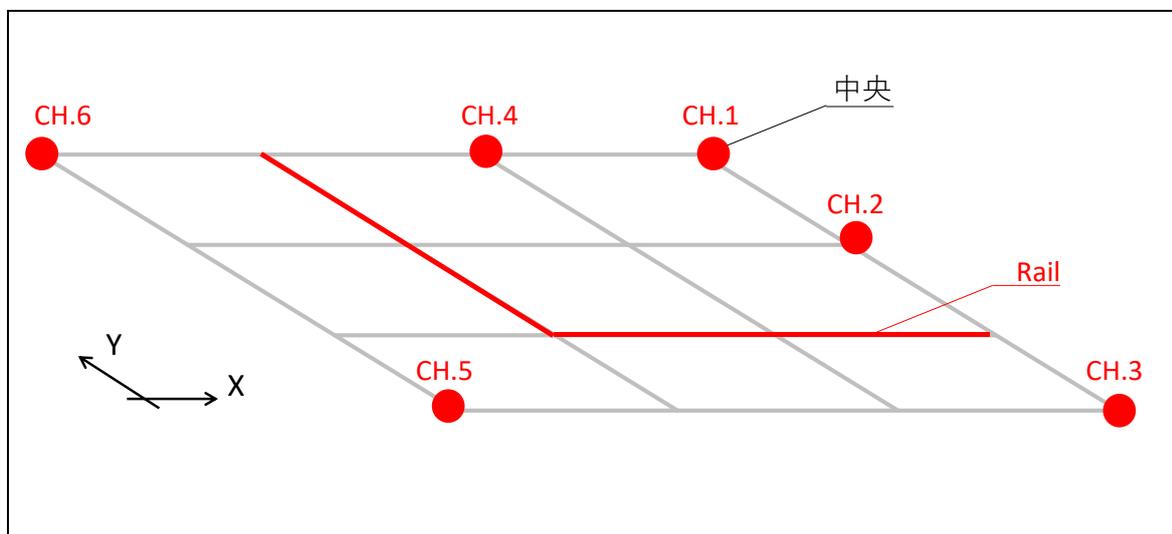


図 6.4.2.1-6 No.5, 配置 2 計測点

次ページに 1 周期分弱の変位応答を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
 約 10.5Hz は一次固有振動数であると推定される。位相は、レール内の CH1,2,4 とそのほか
 180 度ずれている。定常状態での応答変位は中央 CH 1 が最大で、レール内部に位置する
 2, 4 がそれに続く大きな応答を示す。レール外は、左と手前のはね出し部 (3, 6) は、
 二方向はね出し部 (5) に比べて最大応答値が大きい。

表 6.4.2.1-1 配置 2 10.5Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0203 | 0.0143 | 0.0097 | 0.0137 | 0.0060 | 0.0109 |

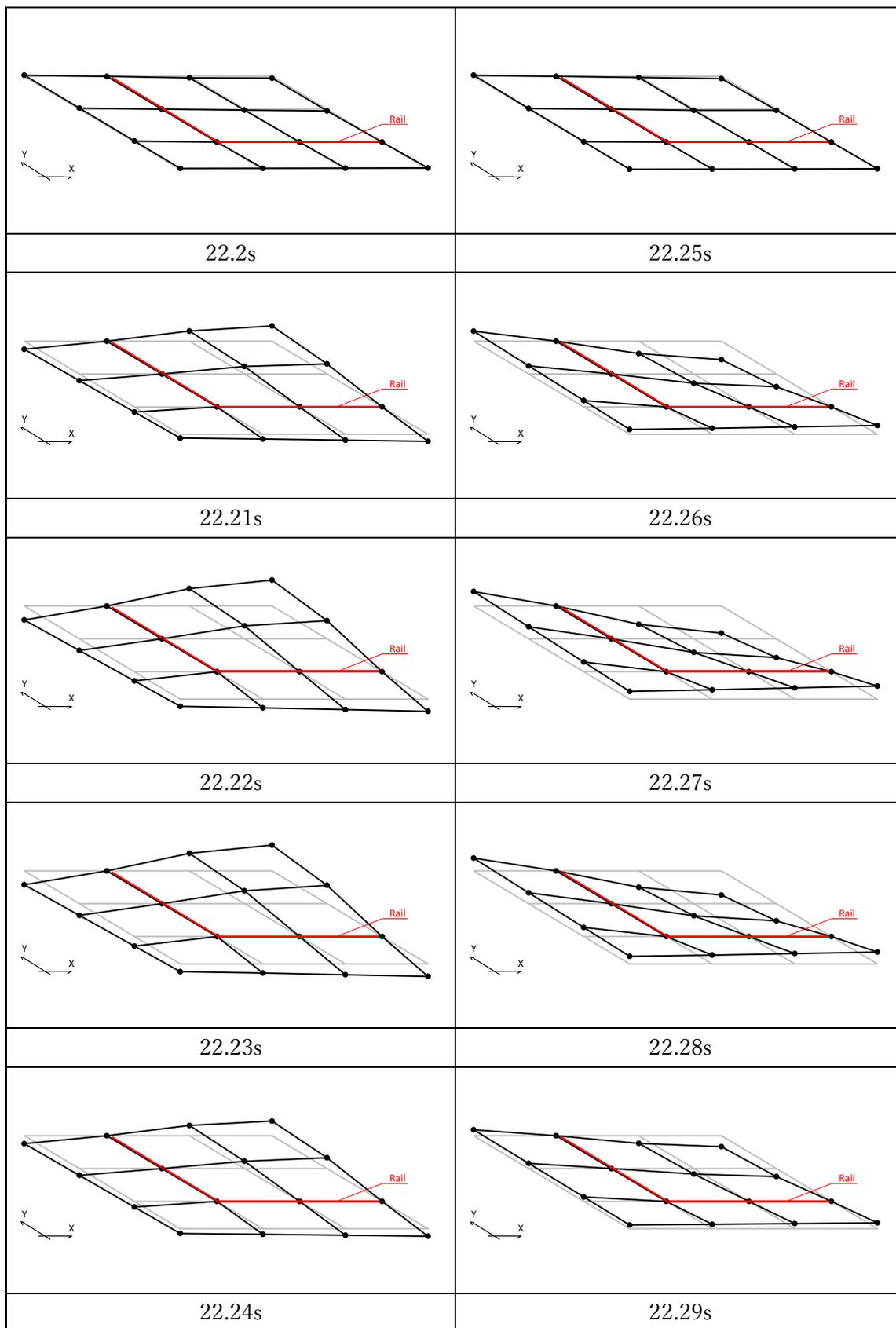


図 6.4.2.1-7 No.5, 配置 2 10.5Hz 変形モード図 [500 倍に拡大]

② 18Hz での共振加振結果 (No.6, 配置 2)

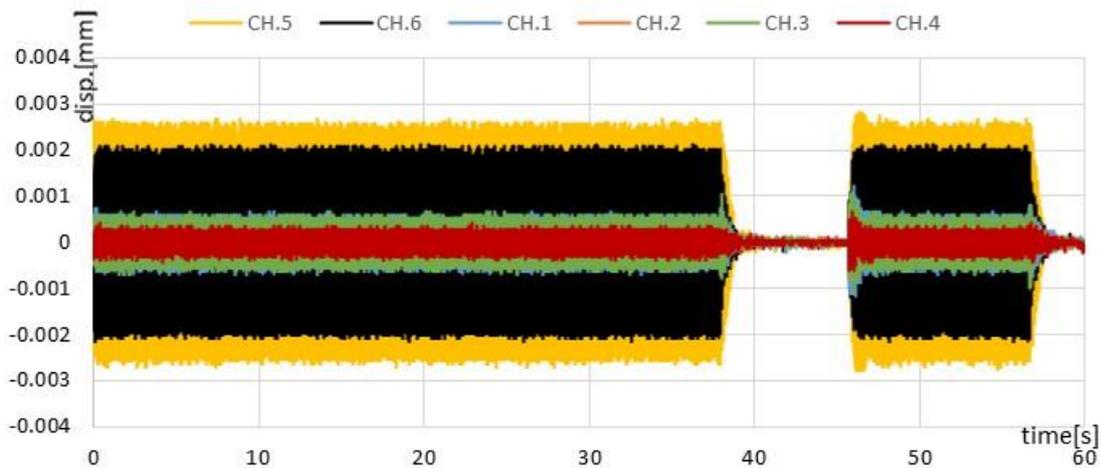


図 6.4.2.1-8 No.6, 配置 2 18Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

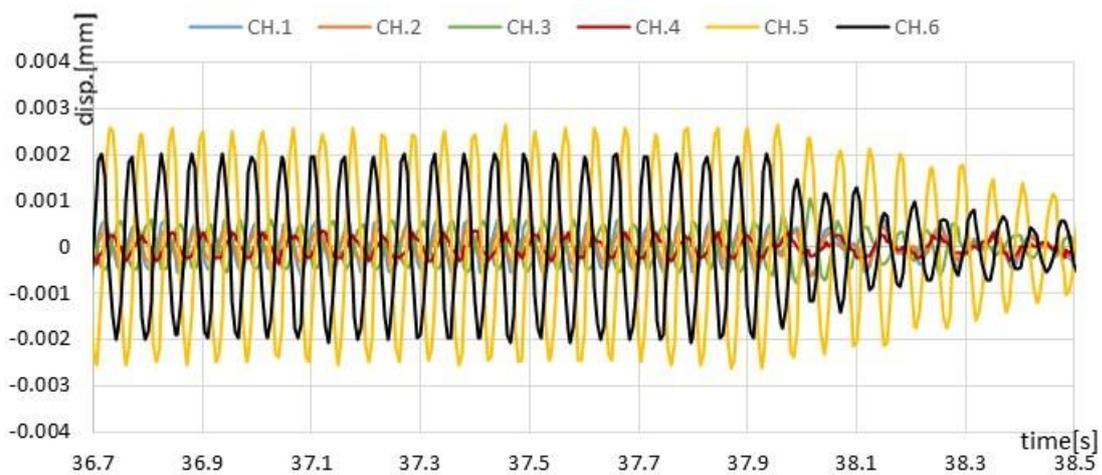


図 6.4.2.1-9 No.6, 配置 2 18Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大

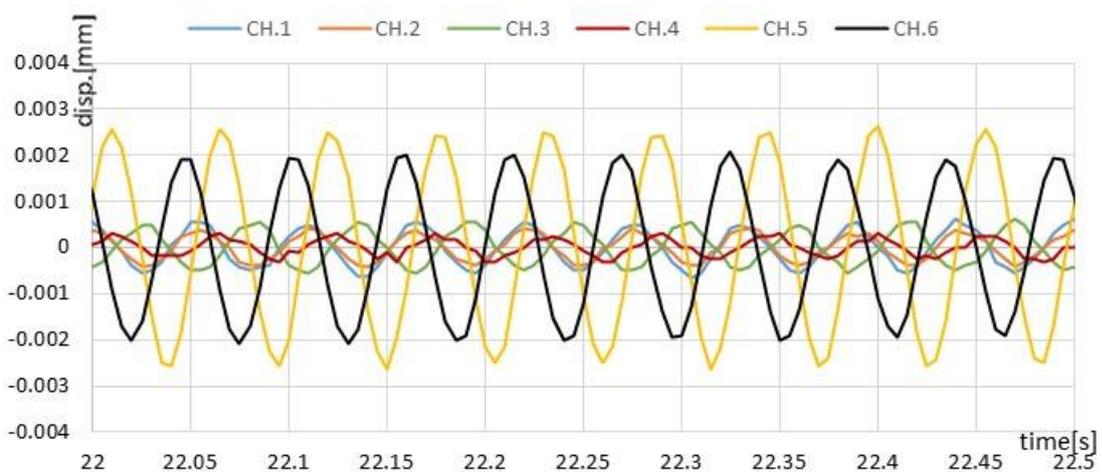


図 6.4.2.1-10 No.6, 配置 2 18Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

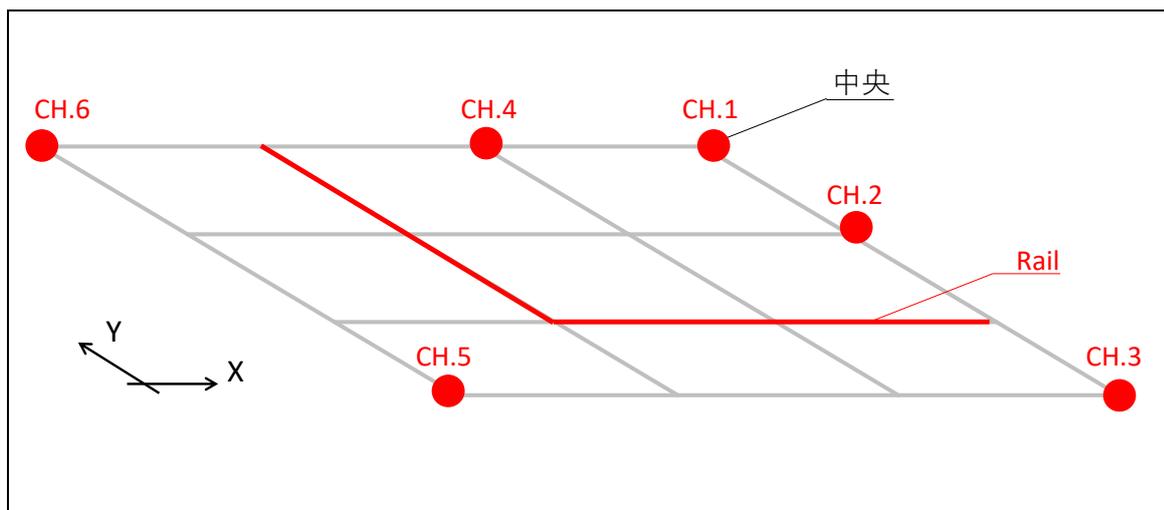


図 6.4.2.1-11 No.6, 配置 2 計測点

次ページに定常状態における変位応答の推移を示す。18Hz は、前節で検討した約 10.5Hz の中央が最大変位となる一次固有振動数に次ぐ卓越振動数として加振した。はね出し部の CH.5,6 が他の計測点と比較して 4~5 倍程度大きな振幅で振動している。ただし、この 2 点も位相はおおよそ 135 度程度ずれている。最大振幅は CH.5 である。

表 6.4.2.1-2 配置 2 10.5Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0007 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0004 | 0.0027 | 0.0021 |

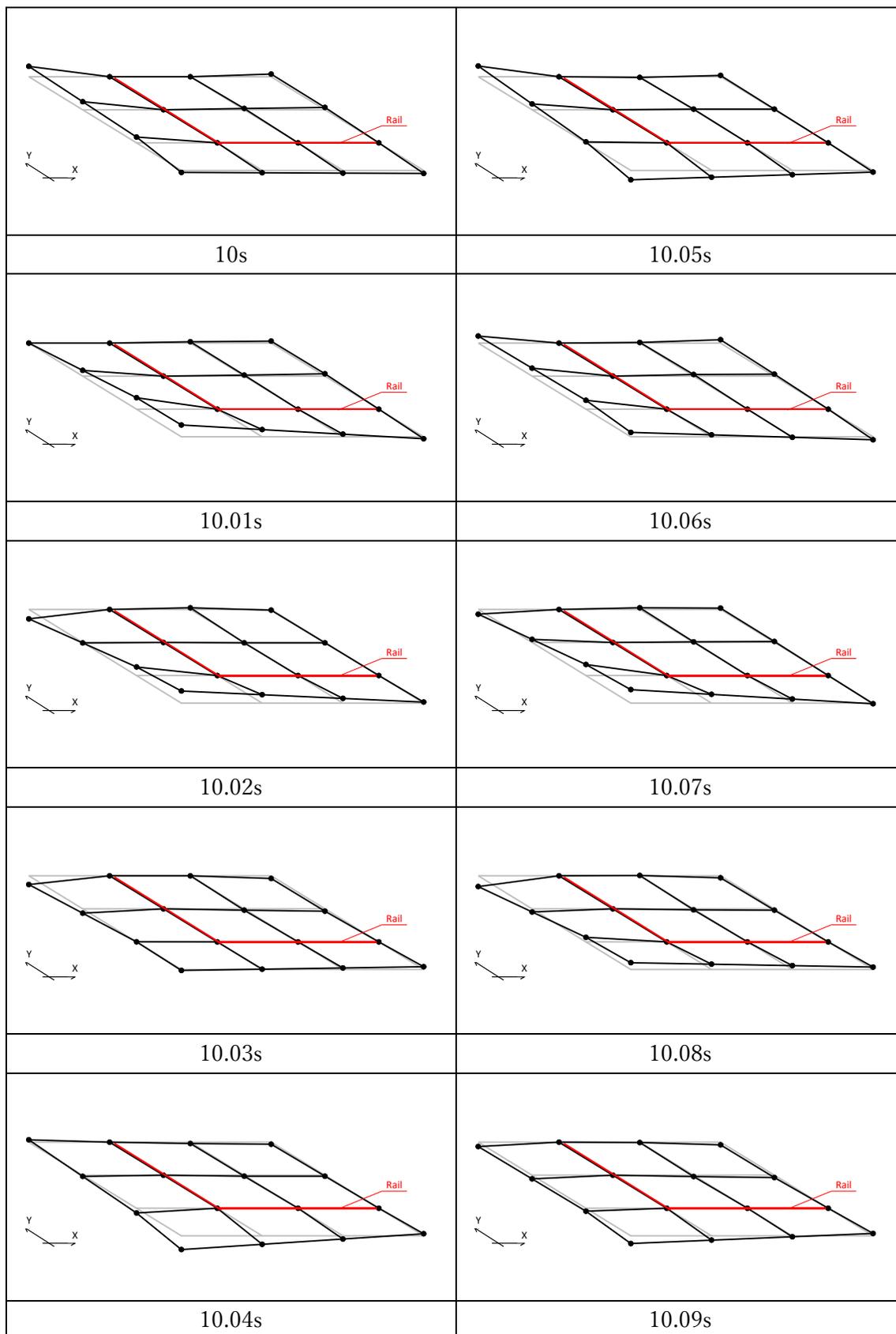


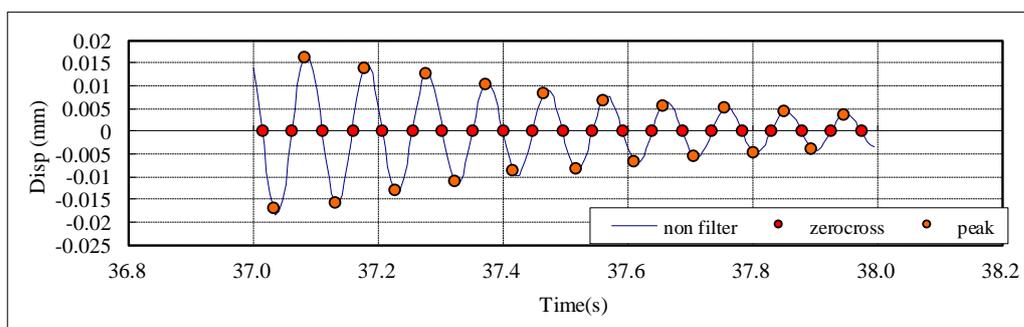
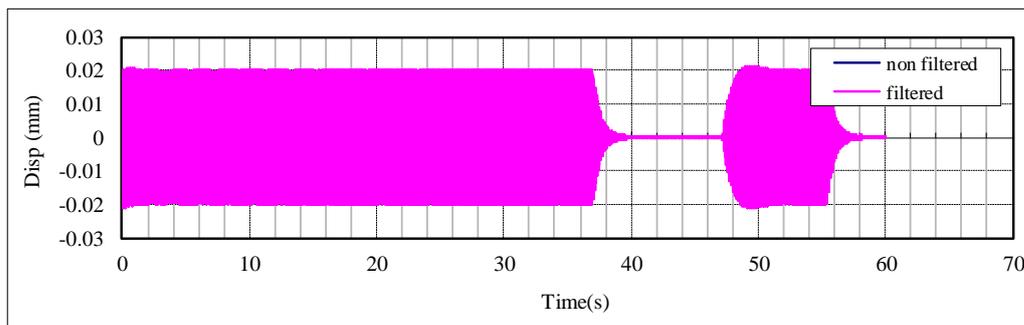
図 6.4.2.1-12 No.6, 配置 2 18Hz 変形モード図 [5000 倍に拡大]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された10.5Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置2における、中央、手前はね出し、2方向はね出し、左方向はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4rails_共振起振,自由振動 210913-04
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.40 | 0.017 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.73 | 0.95 | 2.68 |

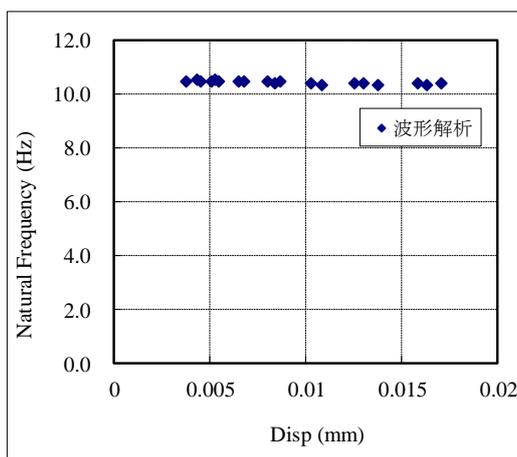
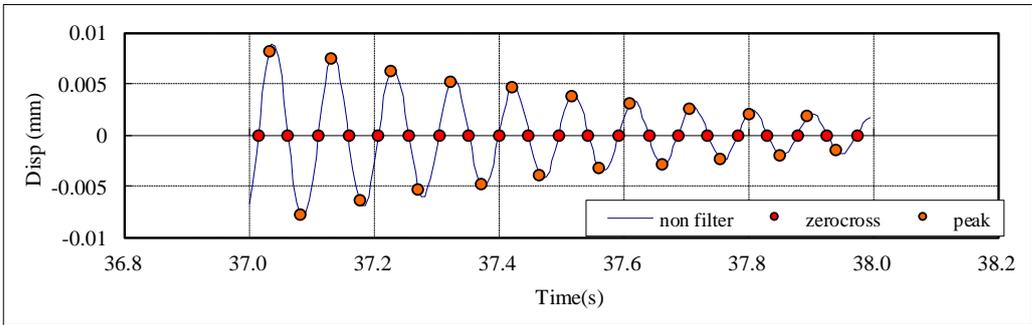
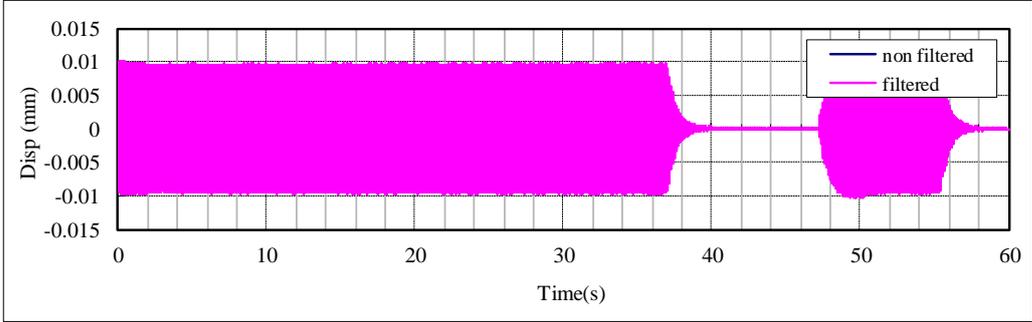


図 6.4.2.1-13 計測 No.4, 10.5Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4rails_共振起振,自由振動 210913-04
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.40 | 0.008 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.77 | 2.65 | 1.29 |

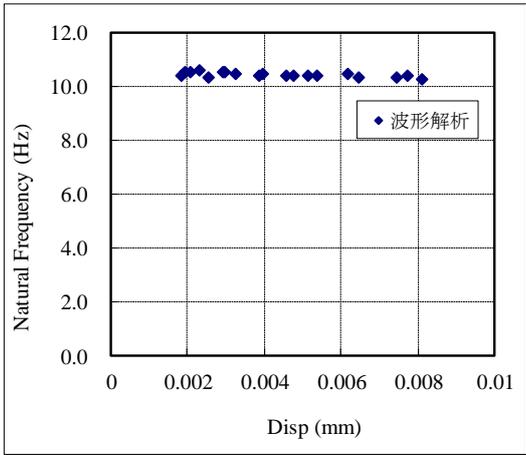
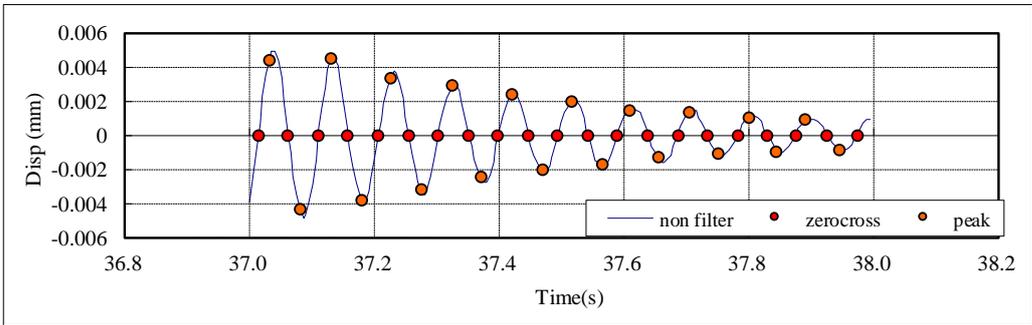
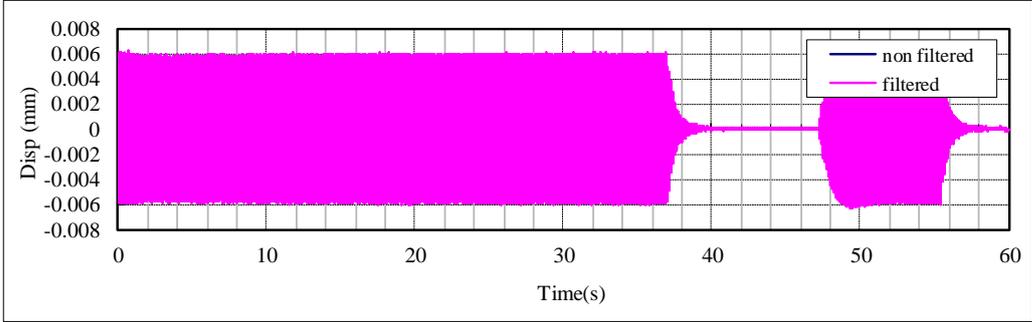


図 6.4.2.1-14 計測 No.4, 10.5Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4rails_共振起振,自由振動 210913-04
 CH5起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.40 | 0.004 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.05 | 2.98 | 1.22 |

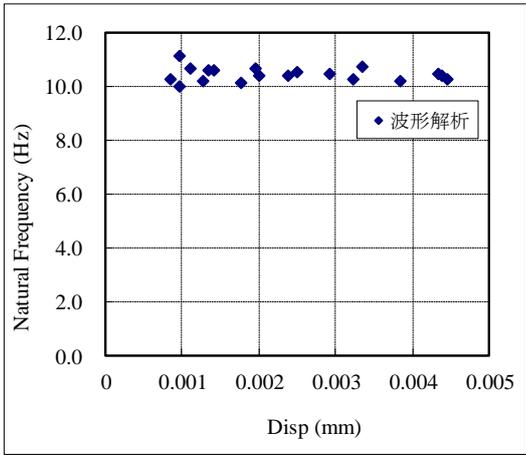
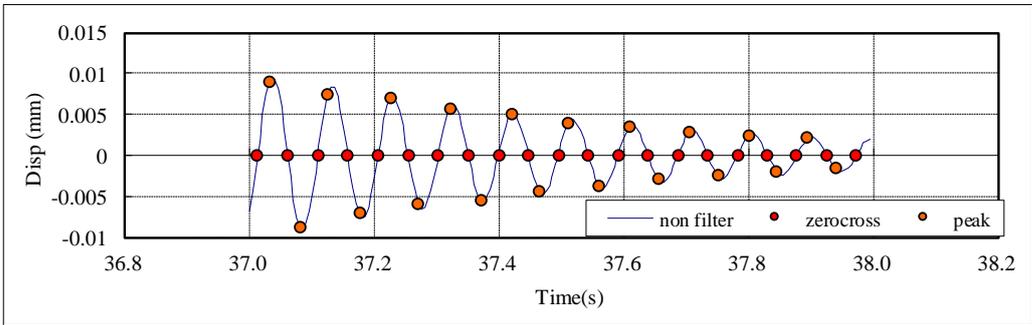
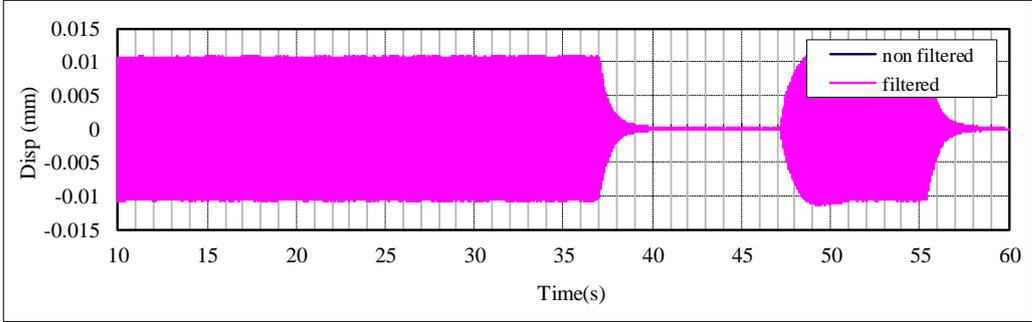


図 6.4.2.1-15 計測 No.4, 10.5Hz 加振, CH.5 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4rails_共振起振,自由振動 210913-04
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.41 | 0.009 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.78 | 2.61 | 1.30 |

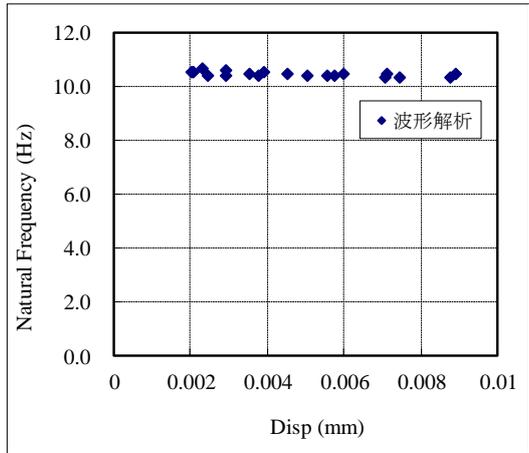


図 6.4.2.1-16 計測 No.4, 10.5Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 2 (計測 No.10) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。ただし、载荷点が右上 (①) の位置の結果を示す。

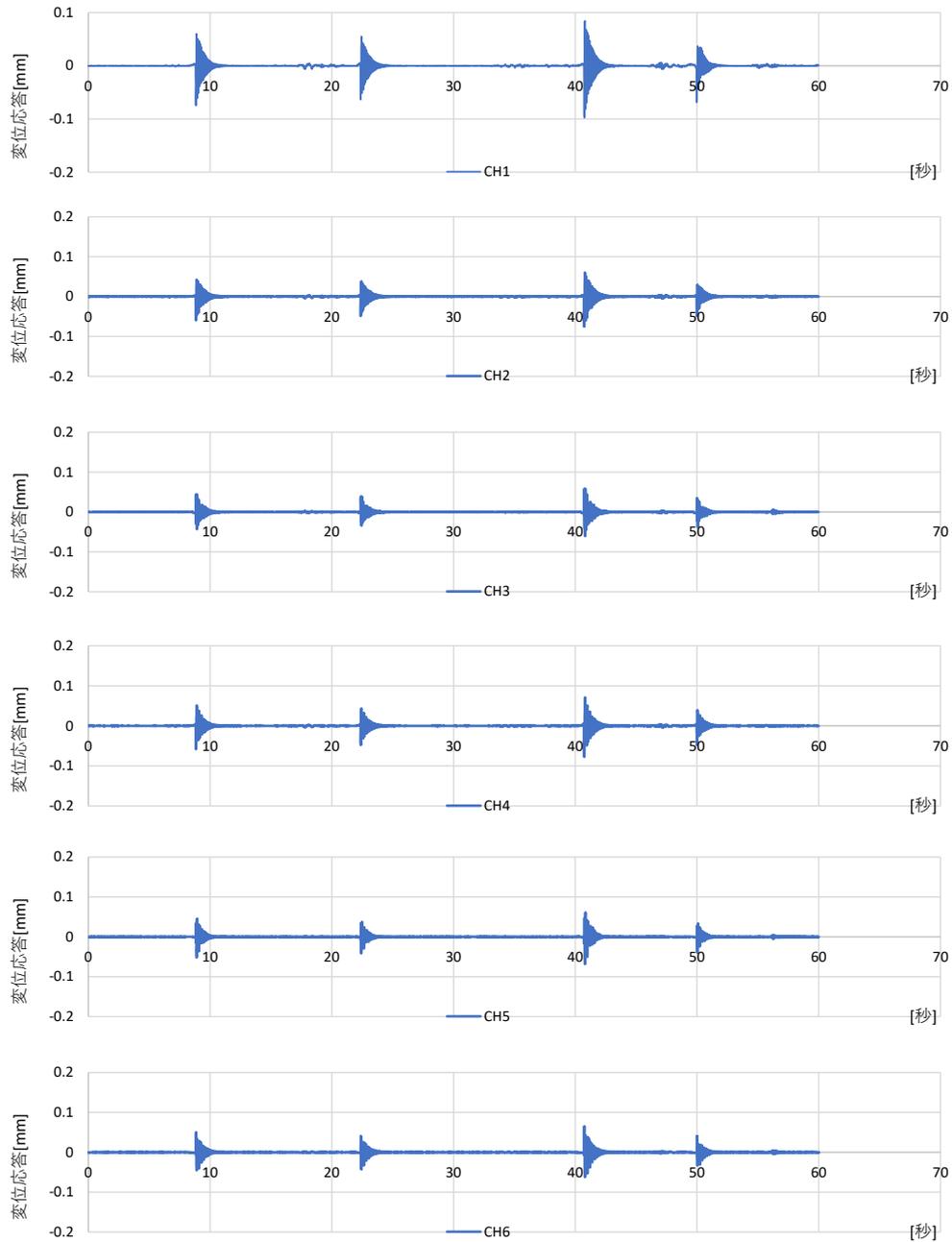


図 6.4.2.1-17 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

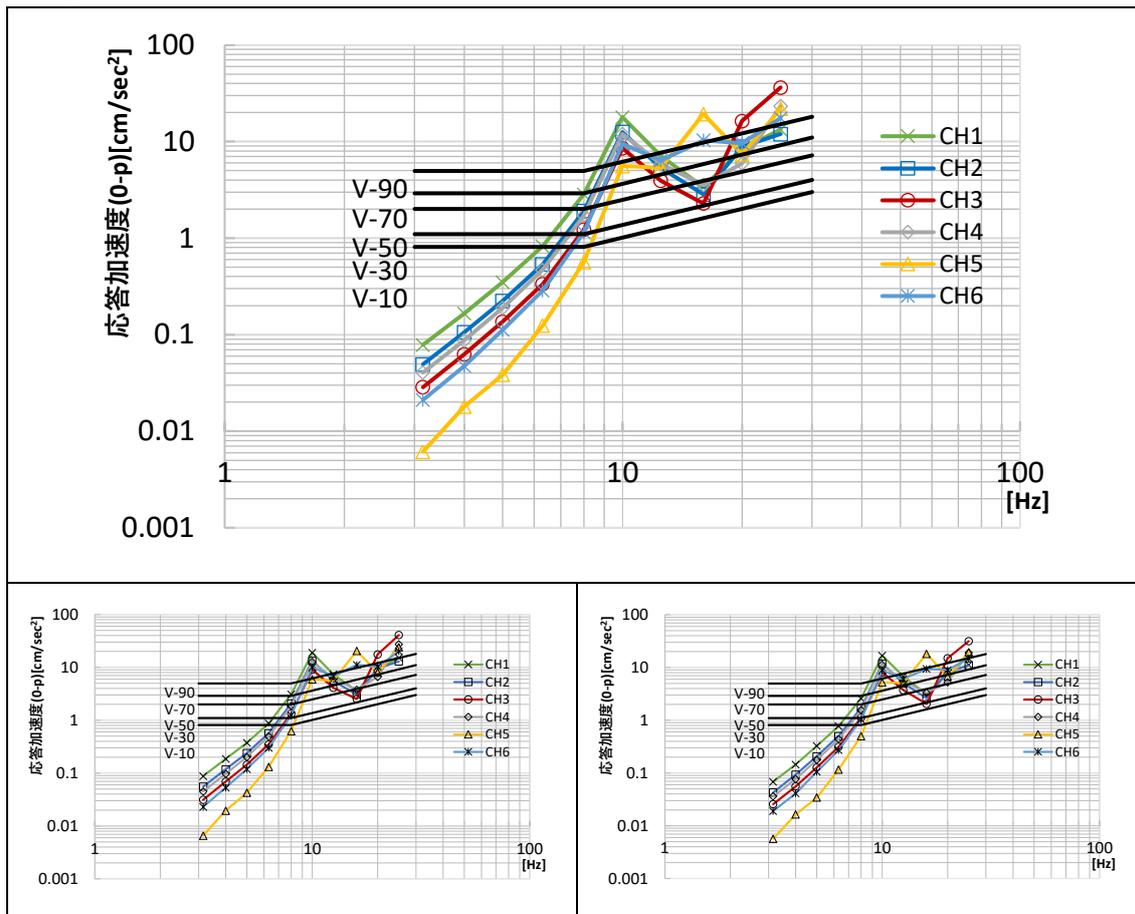


図 6.4.2.1-18 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.1-3 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.08 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.02 |
| 4 | 0.17 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.02 | 0.05 |
| 5 | 0.35 | 0.22 | 0.14 | 0.19 | 0.04 | 0.11 |
| 6.3 | 0.83 | 0.53 | 0.33 | 0.47 | 0.12 | 0.29 |
| 8 | 2.84 | 1.90 | 1.23 | 1.71 | 0.56 | 1.14 |
| 10 | 17.90 | 12.58 | 8.56 | 12.02 | 5.58 | 9.46 |
| 12.5 | 7.08 | 5.31 | 3.93 | 5.86 | 5.35 | 6.40 |
| 16 | 3.37 | 2.84 | 2.28 | 3.55 | 19.32 | 10.31 |
| 20 | 8.41 | 8.86 | 16.33 | 5.94 | 7.36 | 9.62 |
| 25 | 13.29 | 11.95 | 36.26 | 23.25 | 21.85 | 17.46 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

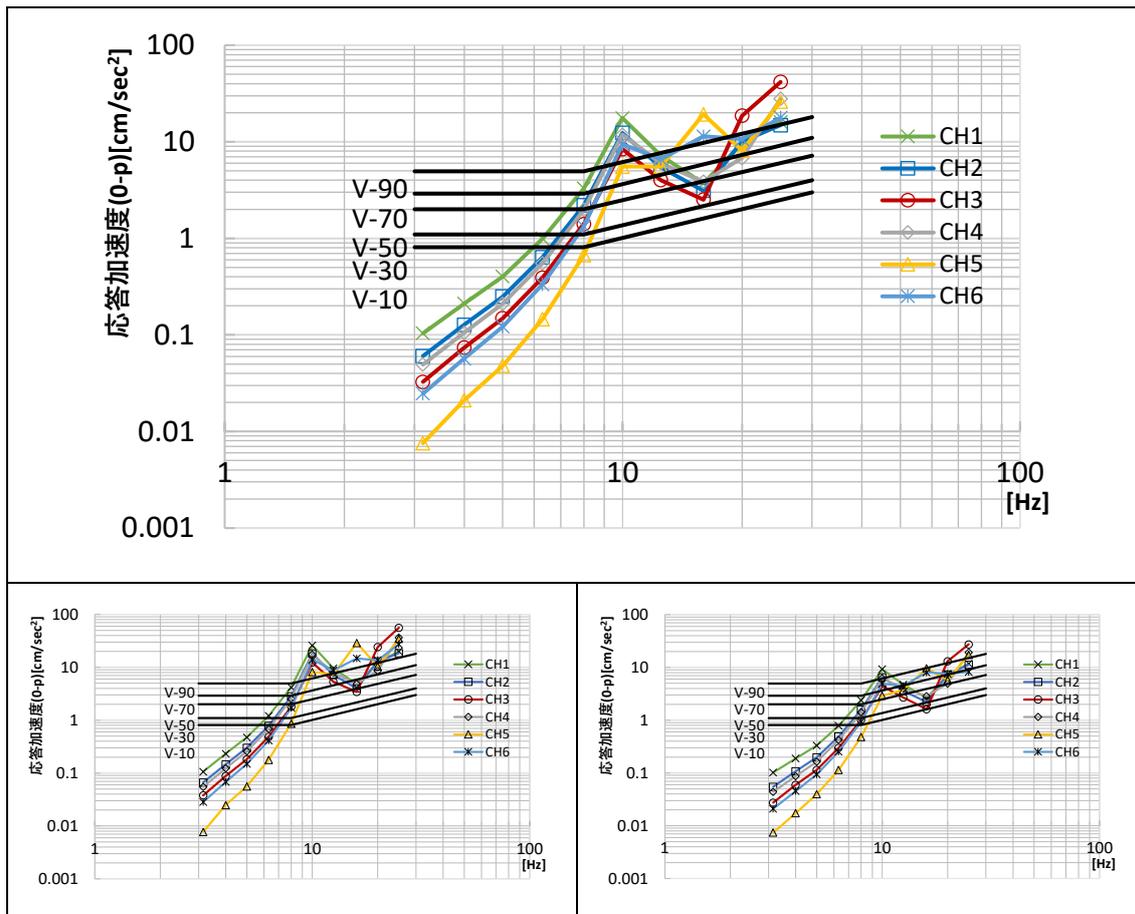


図 6.4.2.1-19 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.1-4 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.10 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.02 |
| 4 | 0.21 | 0.13 | 0.07 | 0.11 | 0.02 | 0.06 |
| 5 | 0.40 | 0.25 | 0.15 | 0.21 | 0.05 | 0.12 |
| 6.3 | 1.00 | 0.64 | 0.39 | 0.55 | 0.15 | 0.33 |
| 8 | 3.29 | 2.19 | 1.41 | 1.97 | 0.67 | 1.32 |
| 10 | 17.62 | 12.37 | 8.40 | 11.84 | 5.54 | 9.42 |
| 12.5 | 7.16 | 5.41 | 4.01 | 5.99 | 5.56 | 6.61 |
| 16 | 3.72 | 3.11 | 2.52 | 3.86 | 19.24 | 11.40 |
| 20 | 9.63 | 10.15 | 18.62 | 6.78 | 8.10 | 10.63 |
| 25 | 15.96 | 14.88 | 41.66 | 27.86 | 25.99 | 17.79 |

結果として、5 cm, 30 cm どちらの場合も、10Hz 前後、および 20Hz 以降では V90 を超えている CH が多い。

(2) GIR 接合 CLT 4 枚・2 辺支持・強軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

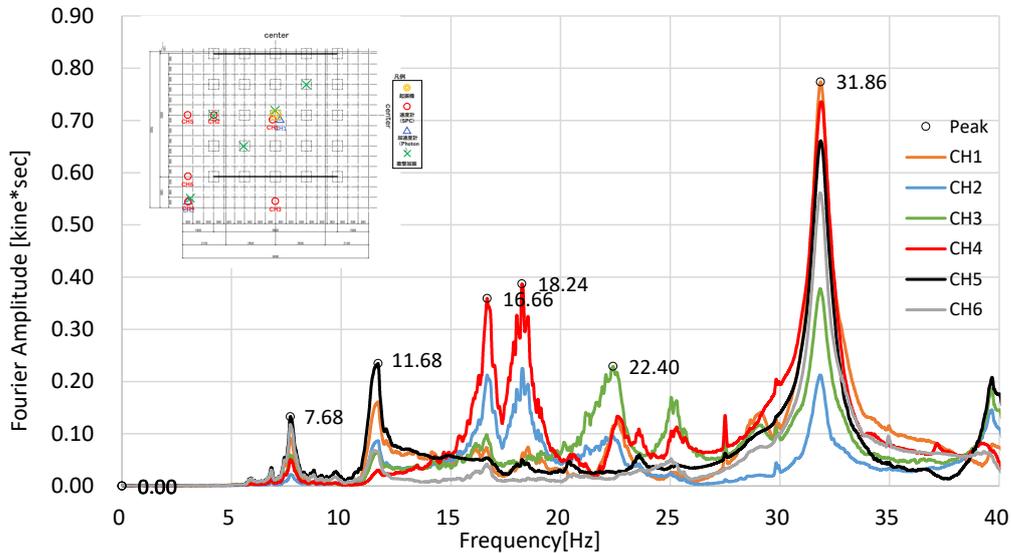


図 6.4.2.2-1 共振点探査の結果 (No7, 配置 7) フーリエスペクトル *参考値

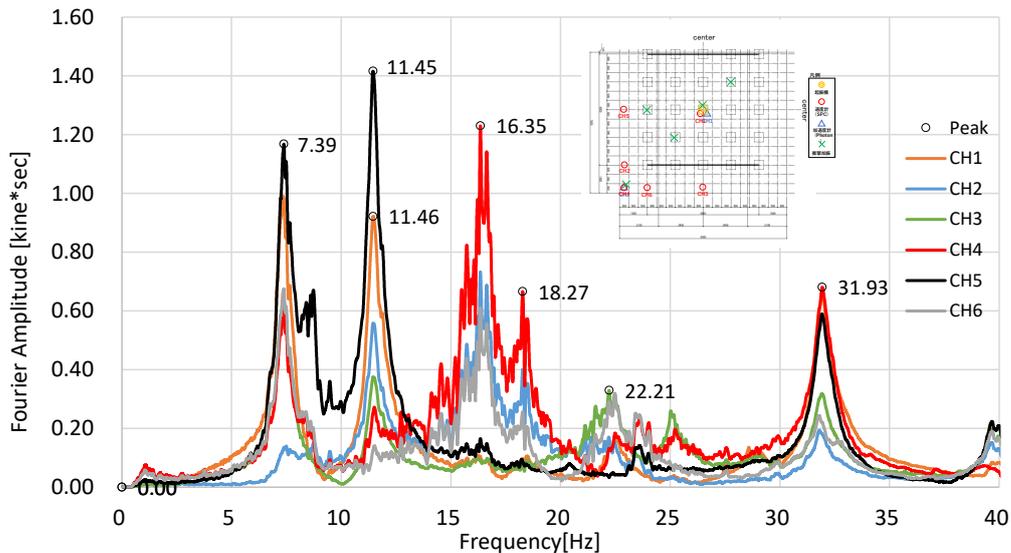


図 6.4.2.2-2 共振点探査の結果 (No.22, 配置 8) フーリエスペクトル

本計測においては、No.7 では共振範囲は 5-80Hz としており、低周波数領域が十分に励起されていなかったと考えられ、全体の傾向としては、No.22 の結果が妥当であると考えられる。ただし、配置 7 のみで設置した計測器のピークについても示すため、両結果を示す。

(以下、No.22 の結果を主に用いる) 4 辺支持と比較すると、中央、左、下、左下の各点が振幅最大に近くなる卓越振動数を持つことは共通している。ただし、4 辺支持では 1 次固有振動数は、中央が特に高い応答を示したが、左右のレールを除いた本計測では、左のはね出し部が 1 次でも最大の応答値を示した。なお、1 次固有振動数は約 7.4Hz とみられるが、4

辺支持と比較すると約 3 割低下している。また、左、下、左下の各はね出し部が最大の応答値を示す振動数は、それぞれ、11.45, 22.21, 16.35[Hz]となっており、約 6 割、約 9.5 割、約 9.3 割となった。下、左下の各店については、支持条件が緩和されることで、振動数が低下したと推定される。左が卓越する 11.45Hz については、CH.1, 2 といった至近の計測点も大きな応答をしており、レールの拘束が除かれたことによる影響が顕著である。ただし、後述のモード図に見るように、1 次固有振動数 (約 7.4Hz) とは異なり、中央と左の点は逆位相となっており、2 次モードであると推定される。なお、31.9Hz のピークについては、4 辺支持でもわずかに見られていた。レールや治具の影響も考慮する必要がある、レール上にも計測器を設置した他の配置と合わせて比較考察する必要がある。

主要な卓越振動数(値は no.22 に準じる) : 7.39, 11.45, 16.35, 22.21, 31.93[Hz]

2) 振動モード [共振起振]

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域 (計測実施領域) であり、節点は 1500 mm ピッチで (最外縁は 1250 mm)、そのうちの計測点については、実測値 (変位応答) を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7.5Hz での共振加振結果 (No.23, 配置 8)

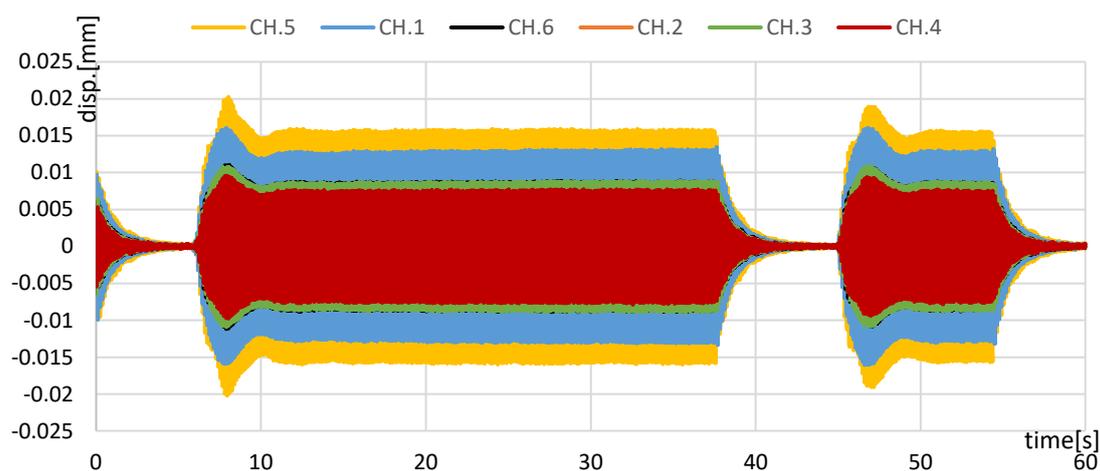


図 6.4.2.2-3 配置 8 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

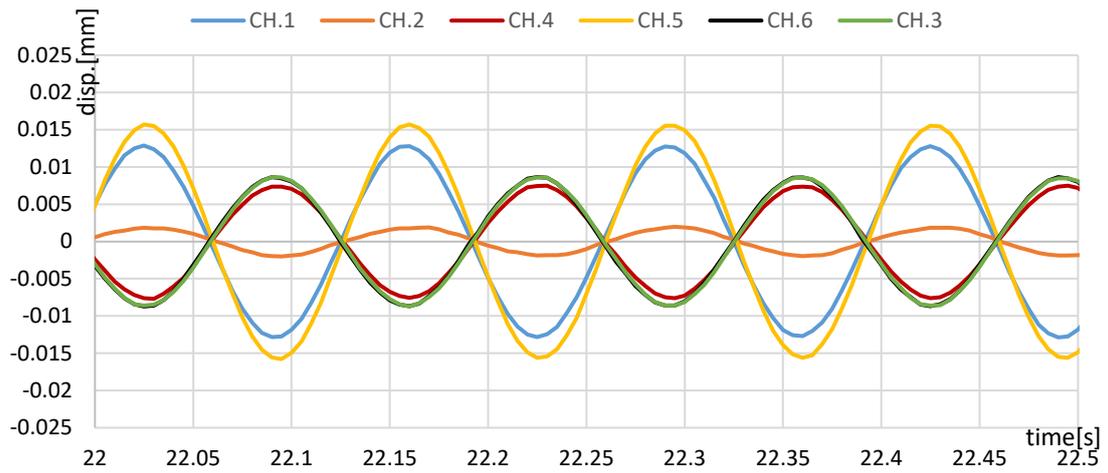


图 6.4.2.2-4 配置 8 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歷波形 定常狀態 拡大図

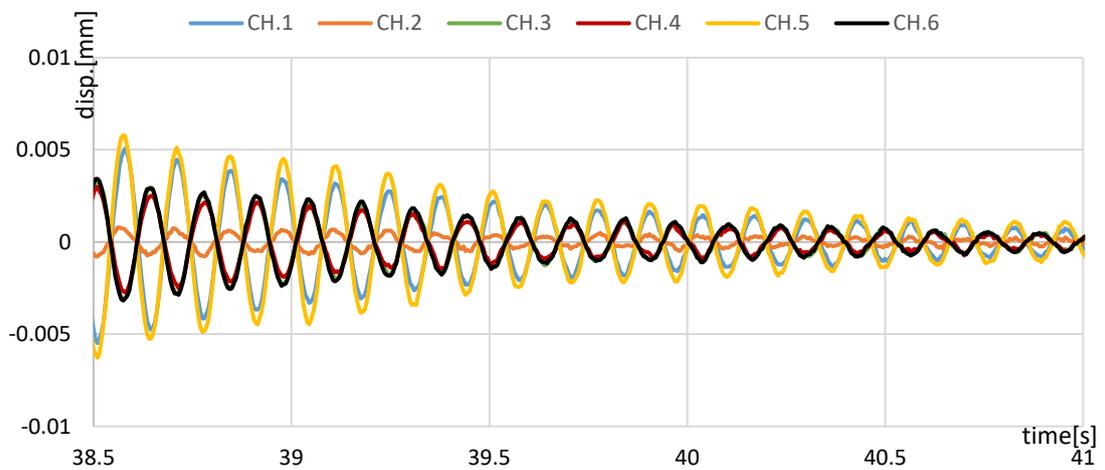


图 6.4.2.2-5 配置 8 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歷波形 自由振動狀態 拡大図

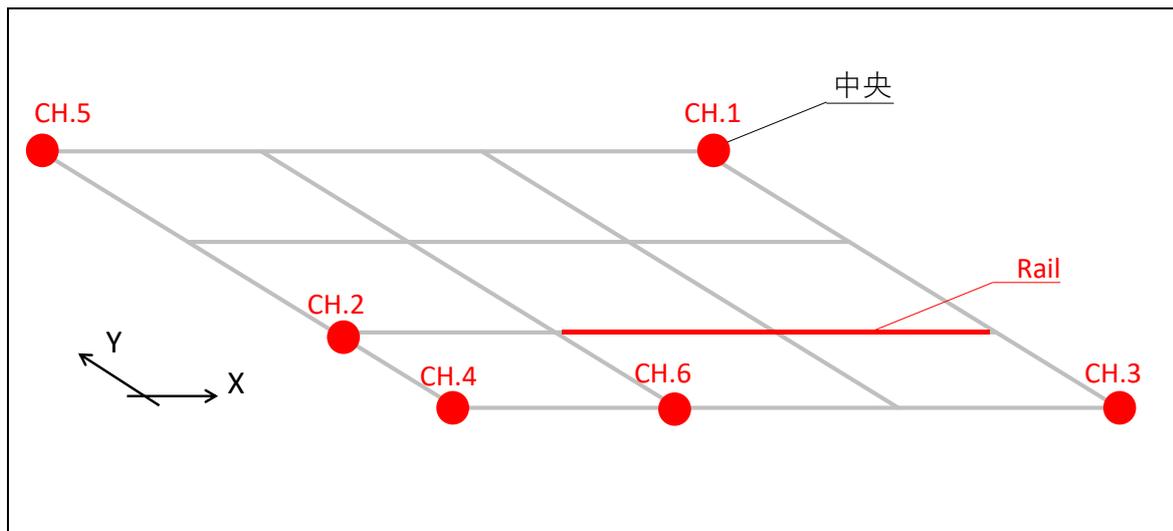


图 6.4.2.2-6 配置 8 計測点

表 6.4.2.2-1 に、一次固有振動数と推定される 7.5Hz での起振時定常状態の変位応答値を示す。レール位置の変位を 0 と仮定すると、CH.1, 5 と CH3,4,6 が逆位相であり、かつ前者の応答が最大となる形状で振動しており、確かに支点間での 1 次モードと推定される。

表 6.4.2.2-1 配置 8 7.5Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態のうち 20-30 秒区間)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0131 | 0.0021 | 0.0089 | 0.0078 | 0.0159 | 0.0089 |

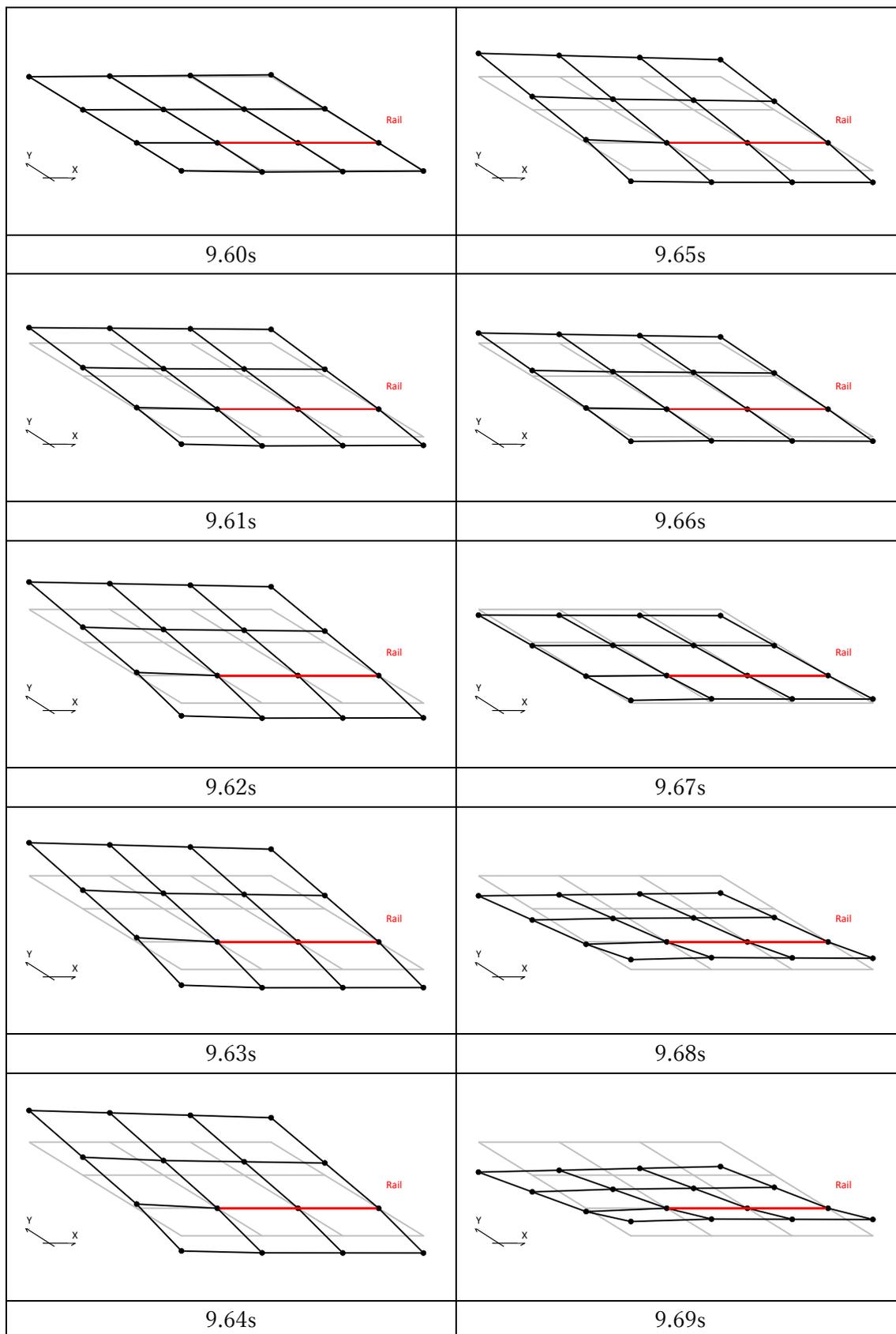


図 6.4.2.2-7 配置 8 7.5Hz 変形モード図 [800 倍に拡大]

② 11Hz での共振加振結果 (No.8, 配置 7, 左はね出し : CH.5 が卓越)

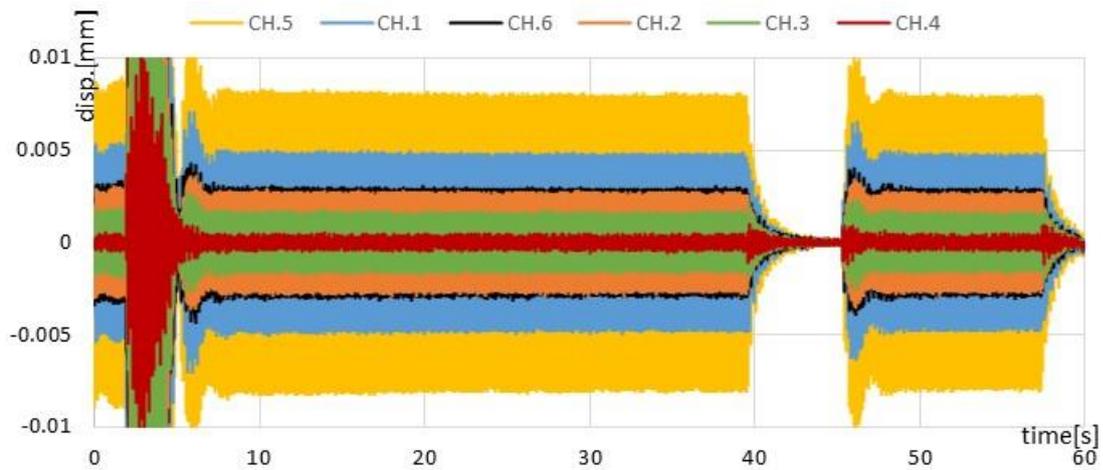


図 6.4.2.2-8 配置 7 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

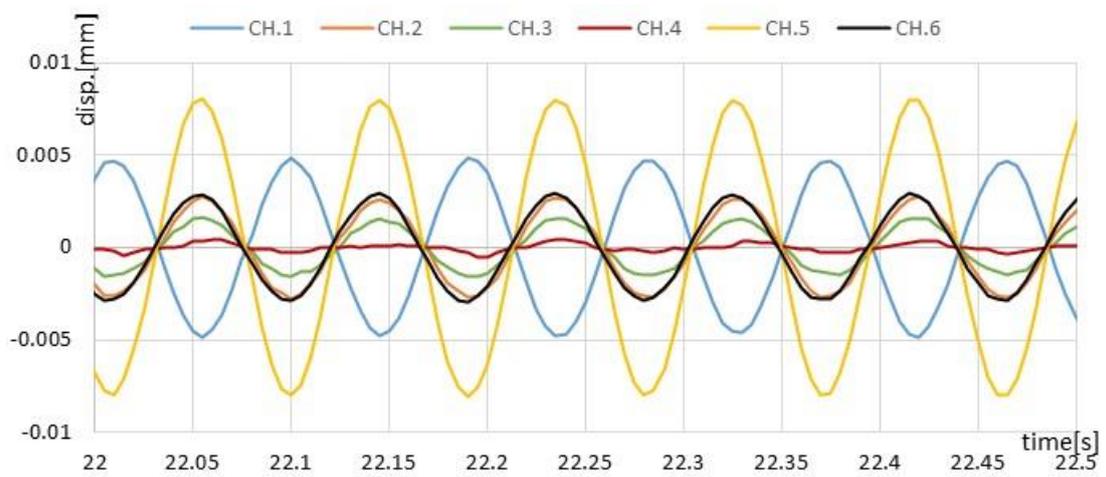


図 6.4.2.2-9 配置 7 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

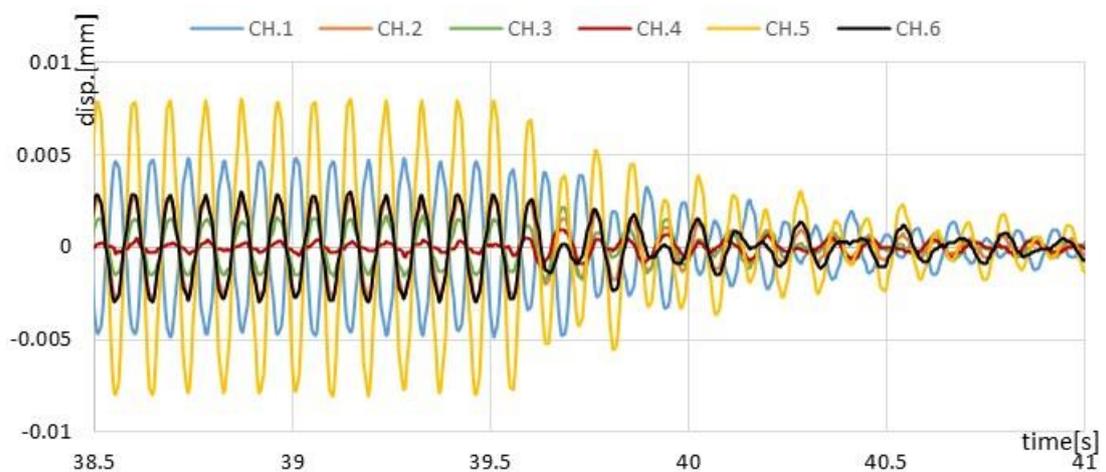


図 6.4.2.2-10 配置 7 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

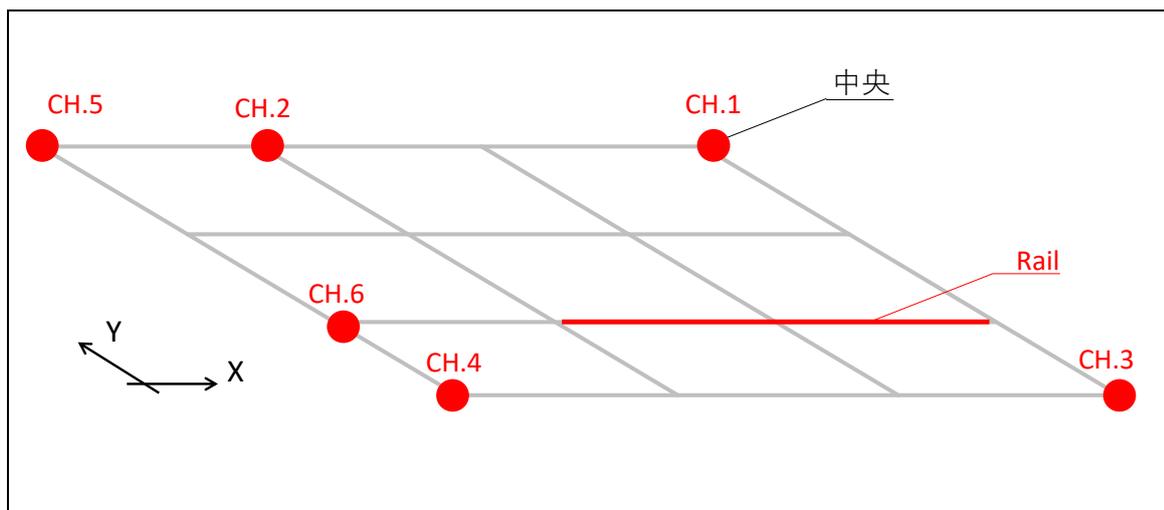


図 6.4.2.2-11 配置 7 計測点

表 6.4.2.2-2 に、11Hz で起振時定常状態での変位応答値を示す。共振点探索の結果も合わせてみると、11Hz は CH.5 (左のはね出し端) に起因する固有振動数であると推定される。位相については、中央の CH.1 のみ他と 180 度ずれているが、他はおおむね同様である。なお、中央と左の最外縁がとりわけ大きな応答を示すが、二方向はね出し部(CH.4)の応答は極めて小さい。

表 6.4.2.2-2 配置 7 11Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0049 | 0.0028 | 0.0017 | 0.0005 | 0.0082 | 0.0030 |

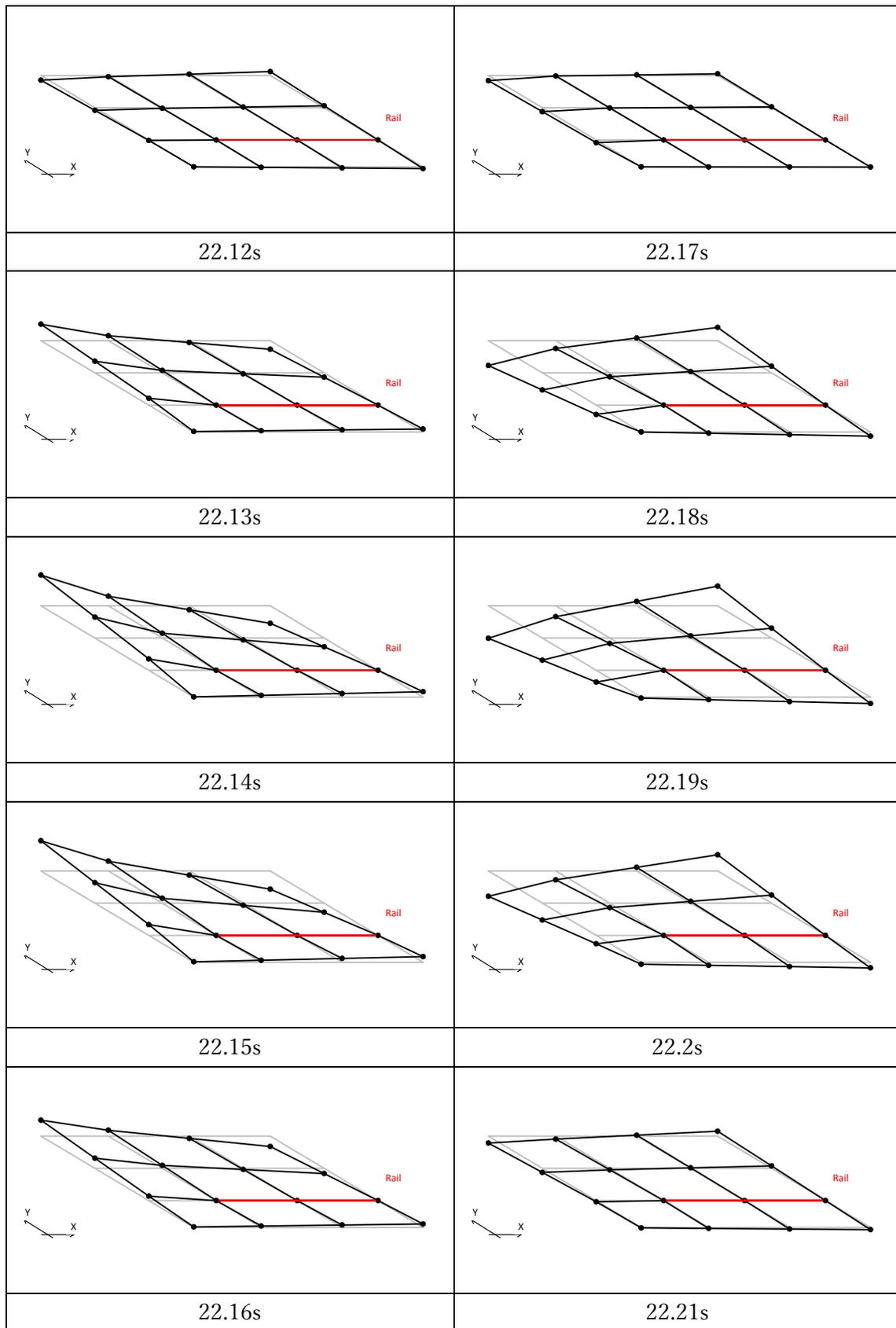


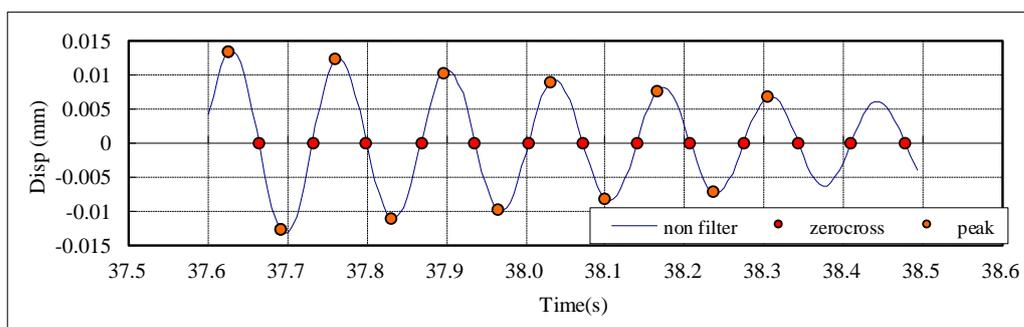
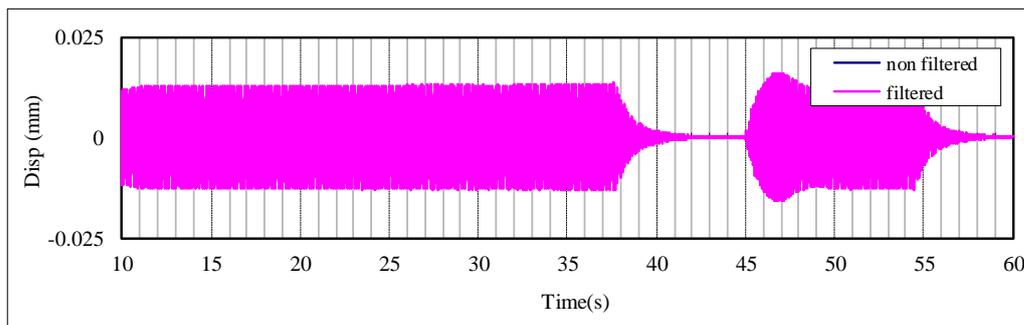
図 6.4.2.2-12 配置 7 11Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7.5Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置8における、中央、手前はね出し、2方向はね出し、左方向はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 23 |
|-----|----|

GIR_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210914-23
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.36 | 0.013 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.82 | 1.90 | 1.81 |

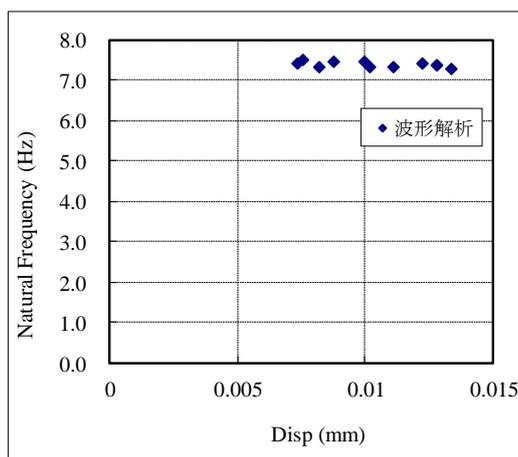
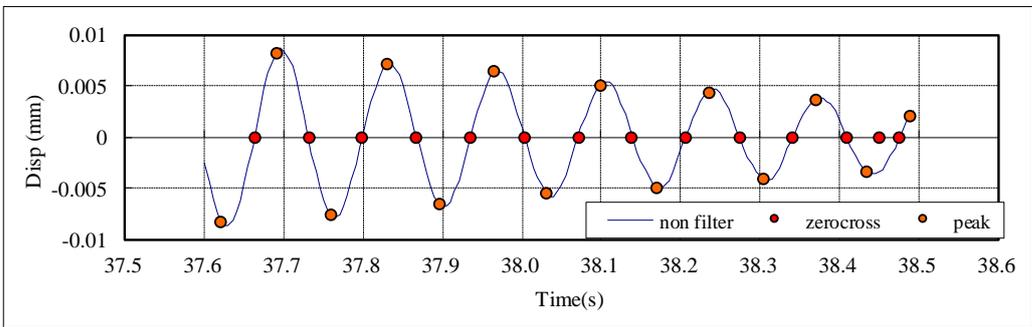
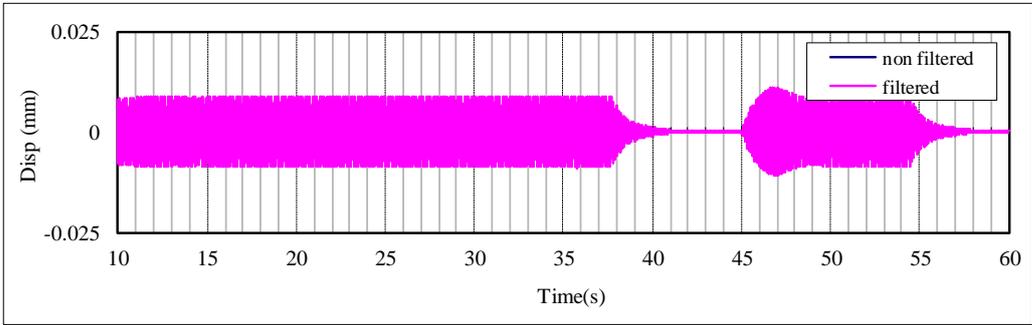


図 6.4.2.2-13 計測 No.23, 7.5Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 23 |
|-----|----|

GIR_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210914-23
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| | | |
|------|-------|-------|
| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.12 | 8.25 | 0.008 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.97 | 3.84 | 2.36 |

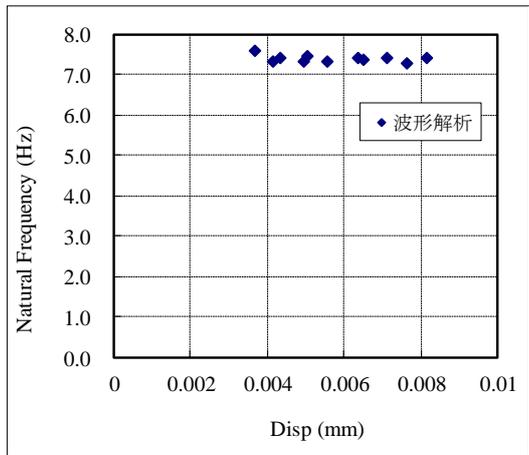
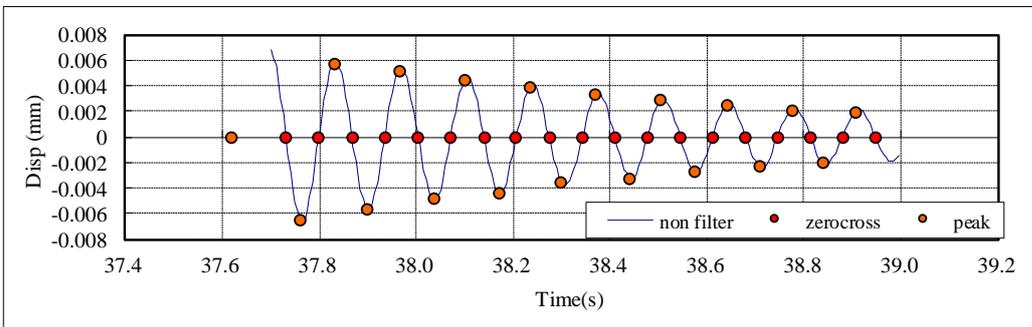
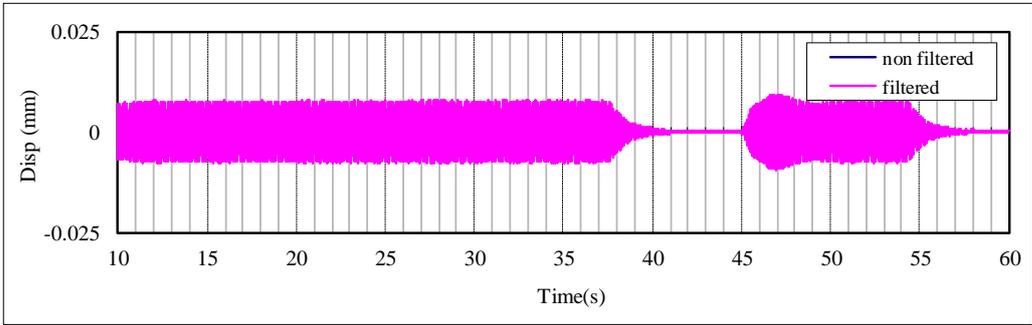


図 6.4.2-14 計測 No.23, 7.5Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 23 |
|-----|----|

GIR_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210914-23
CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.40 | 0.006 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.46 | 2.38 | 2.34 |

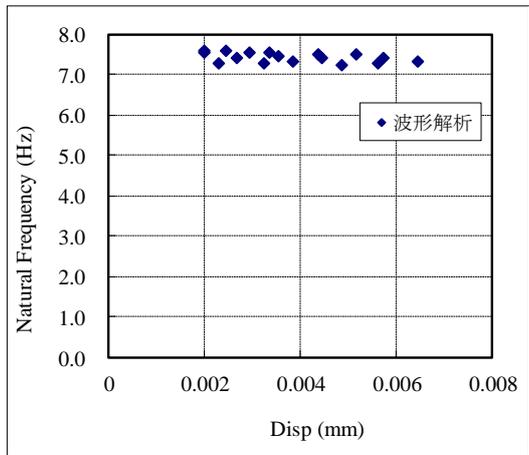
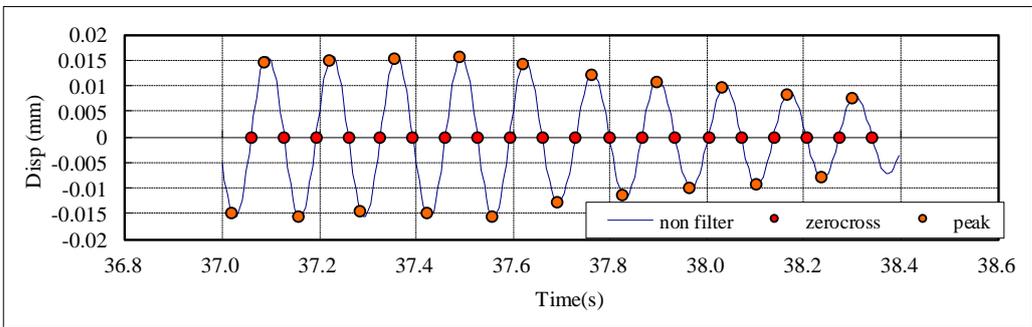
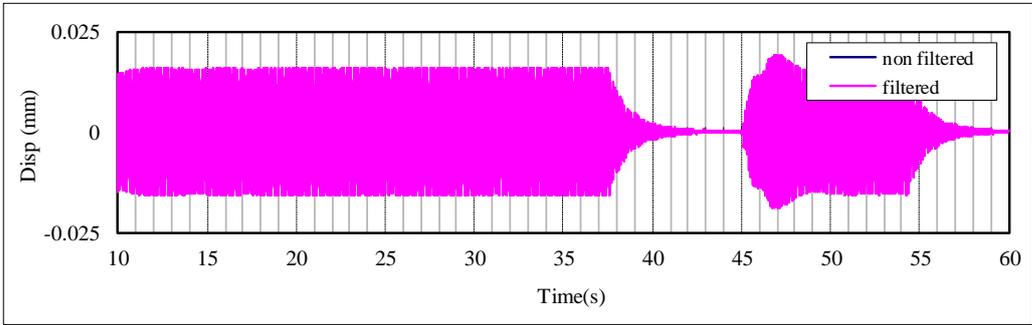


図 6.4.2.2-15 計測 No.23, 7.5Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 23 |
|-----|----|

GIR_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210914-23
 CH5起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.13 | 7.42 | 0.016 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.18 | 1.22 | 1.16 |

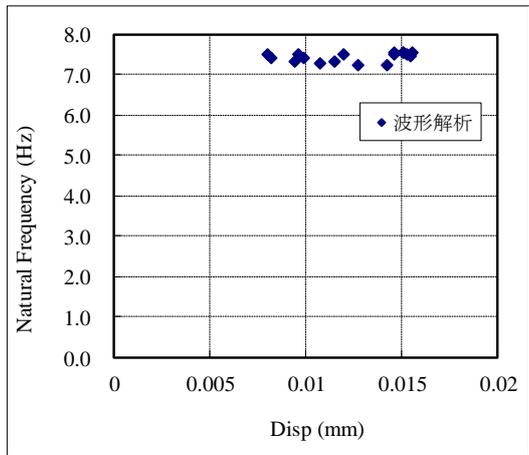


図 6.4.2.2-16 計測 No.23, 7.5Hz 加振, CH.5 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 7 (計測 No.15) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

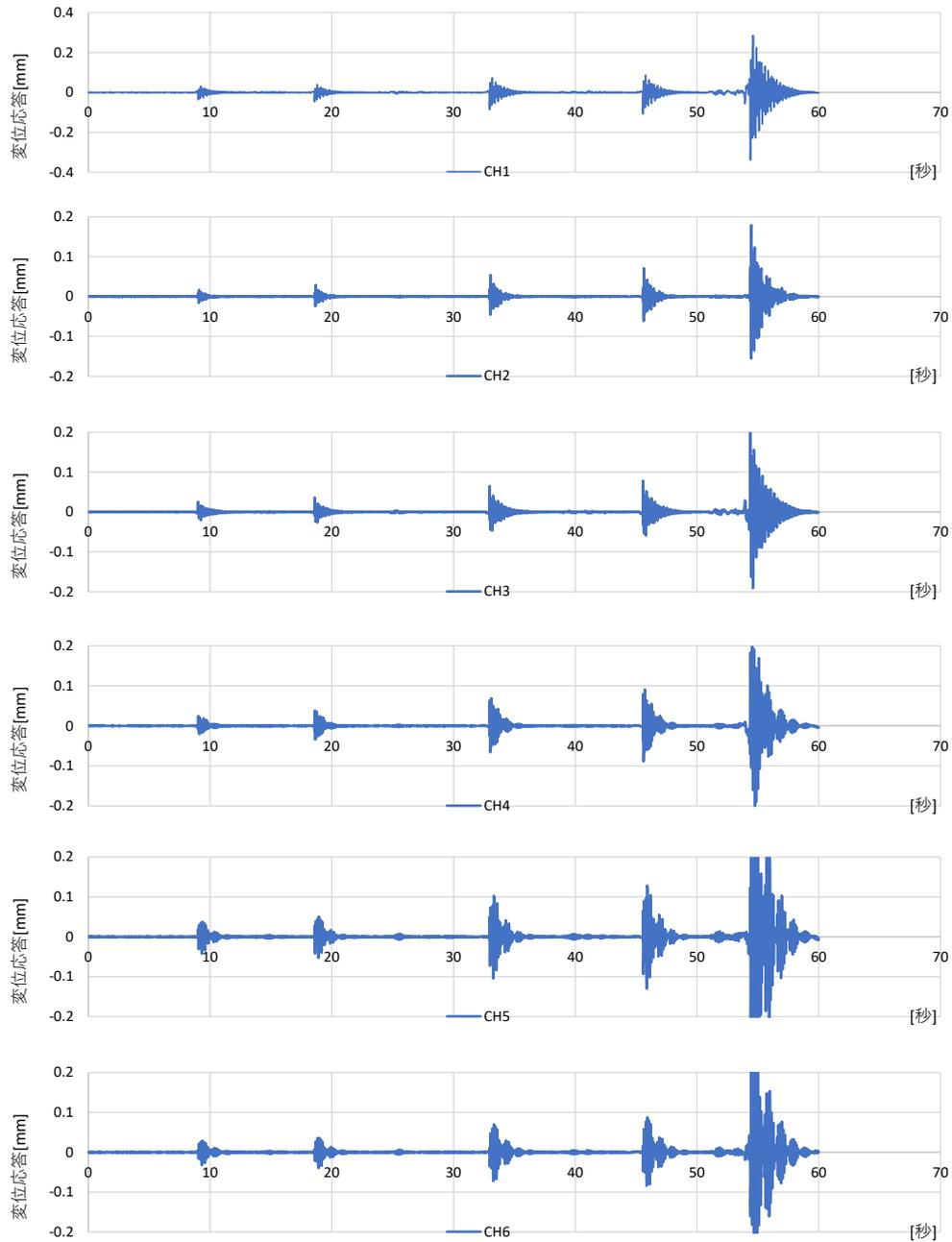


図 6.4.2.2-17 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

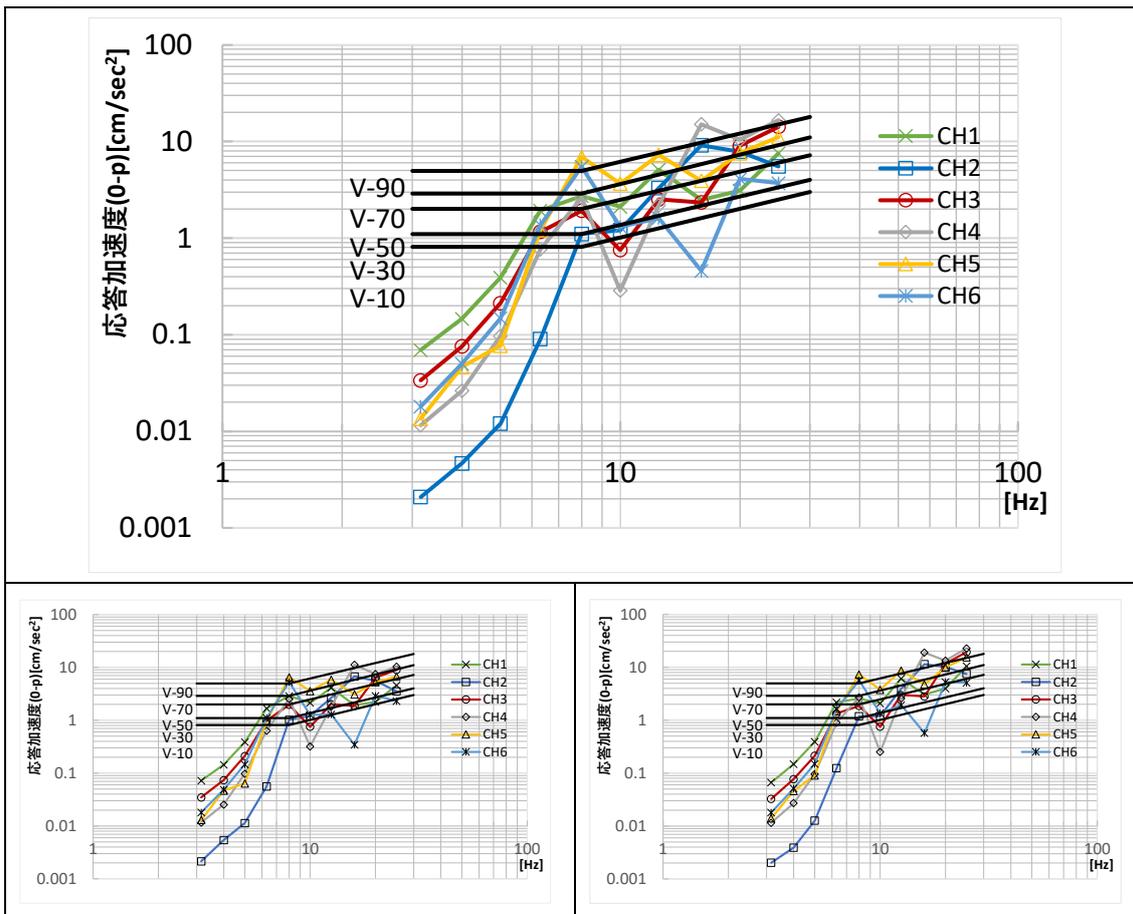


図 6.4.2.2-18 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.2-3 砂袋 5 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | Hz |
|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| 0.07 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 3.15 |
| 0.15 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 4 |
| 0.39 | 0.01 | 0.21 | 0.10 | 0.08 | 0.15 | 5 |
| 1.93 | 0.09 | 1.16 | 0.77 | 1.21 | 1.37 | 6.3 |
| 2.73 | 1.11 | 1.92 | 2.63 | 6.92 | 5.47 | 8 |
| 2.11 | 1.21 | 0.75 | 0.29 | 3.67 | 1.31 | 10 |
| 5.11 | 3.29 | 2.51 | 2.20 | 7.28 | 1.61 | 12.5 |
| 2.49 | 9.13 | 2.34 | 15.11 | 3.92 | 0.46 | 16 |
| 3.10 | 7.85 | 9.07 | 10.44 | 7.59 | 4.09 | 20 |
| 7.54 | 5.52 | 14.22 | 16.58 | 11.08 | 3.71 | 25 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

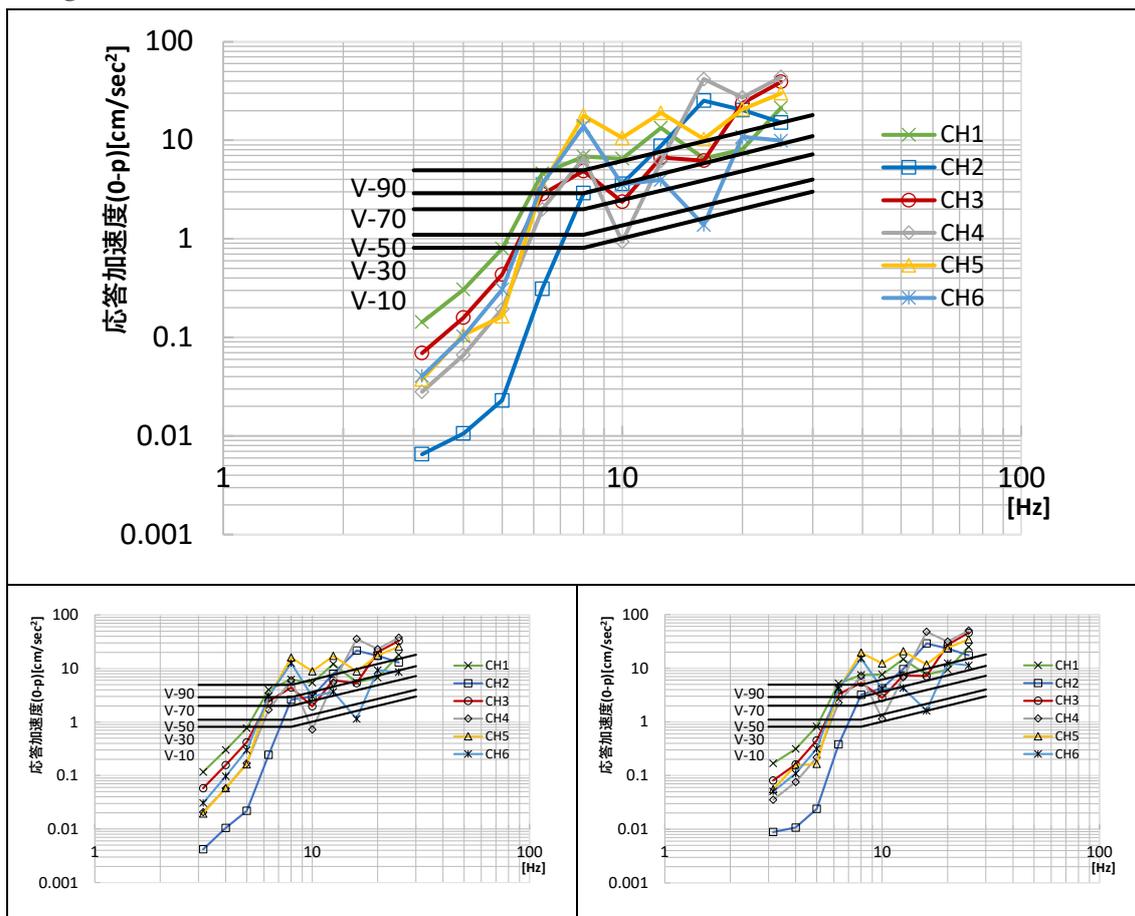


図 6.4.2.2-19 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.2-4 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.14 | 0.01 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| 4 | 0.31 | 0.01 | 0.16 | 0.07 | 0.11 | 0.10 |
| 5 | 0.79 | 0.02 | 0.43 | 0.19 | 0.16 | 0.31 |
| 6.3 | 4.61 | 0.31 | 2.84 | 1.99 | 3.50 | 3.61 |
| 8 | 6.86 | 2.91 | 4.88 | 6.63 | 17.80 | 13.90 |
| 10 | 6.51 | 3.62 | 2.38 | 0.93 | 10.59 | 3.56 |
| 12.5 | 13.38 | 8.80 | 6.68 | 6.12 | 18.95 | 3.96 |
| 16 | 6.56 | 25.24 | 6.22 | 41.72 | 10.28 | 1.38 |
| 20 | 8.06 | 20.26 | 23.70 | 27.23 | 20.67 | 10.84 |
| 25 | 21.46 | 15.15 | 39.22 | 43.91 | 29.97 | 9.89 |

③ かかと加振の結果

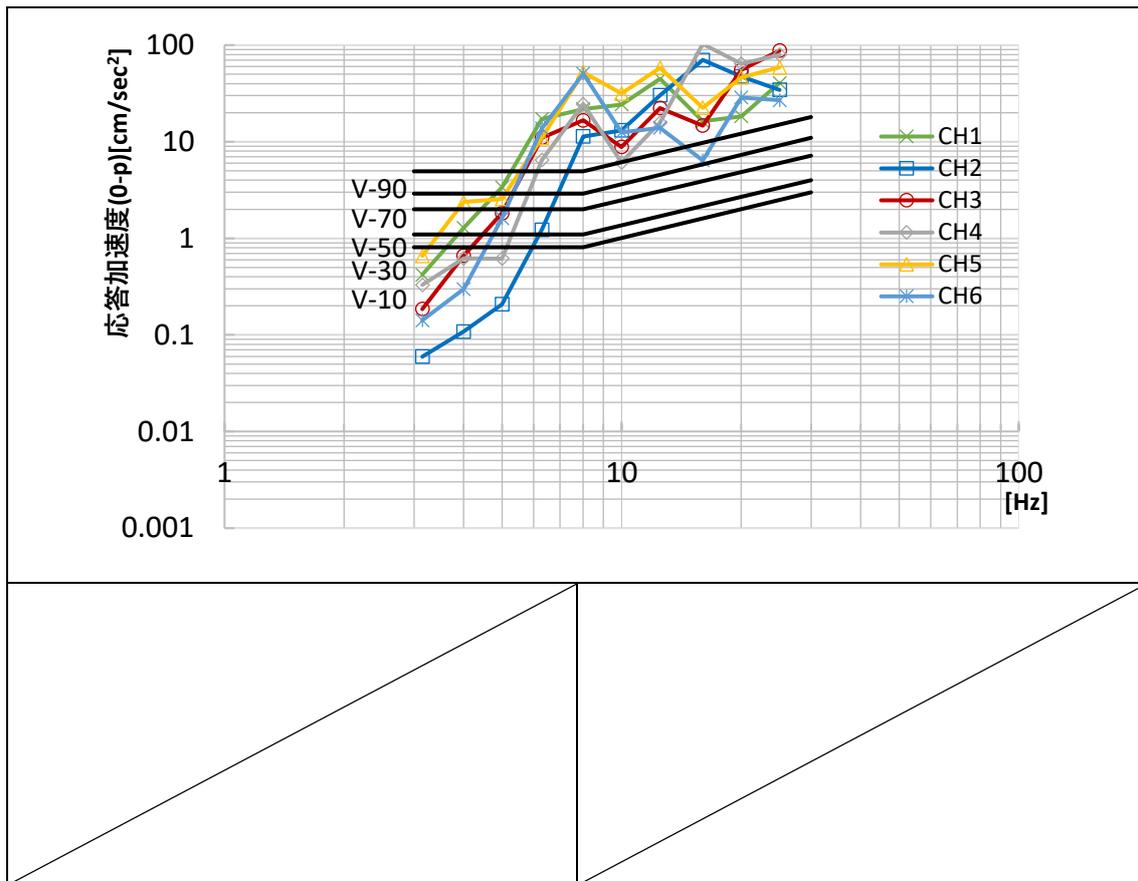


図 6.4.2.2-20 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.2-5 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.42 | 0.06 | 0.19 | 0.33 | 0.66 | 0.14 |
| 4 | 1.28 | 0.11 | 0.66 | 0.62 | 2.38 | 0.30 |
| 5 | 3.38 | 0.21 | 1.83 | 0.62 | 2.55 | 1.61 |
| 6.3 | 17.22 | 1.23 | 11.03 | 6.46 | 10.96 | 13.74 |
| 8 | 21.83 | 11.37 | 16.65 | 24.52 | 52.30 | 50.86 |
| 10 | 24.33 | 13.14 | 8.83 | 6.10 | 31.54 | 12.54 |
| 12.5 | 44.84 | 30.27 | 22.34 | 15.79 | 58.16 | 13.96 |
| 16 | 16.30 | 70.09 | 14.70 | 102.54 | 22.54 | 6.43 |
| 20 | 18.36 | 47.37 | 55.40 | 64.23 | 46.29 | 28.69 |
| 25 | 40.59 | 34.48 | 87.81 | 79.44 | 58.91 | 26.91 |

(3) GIR 接合 CLT 4 枚・2 辺支持・弱軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

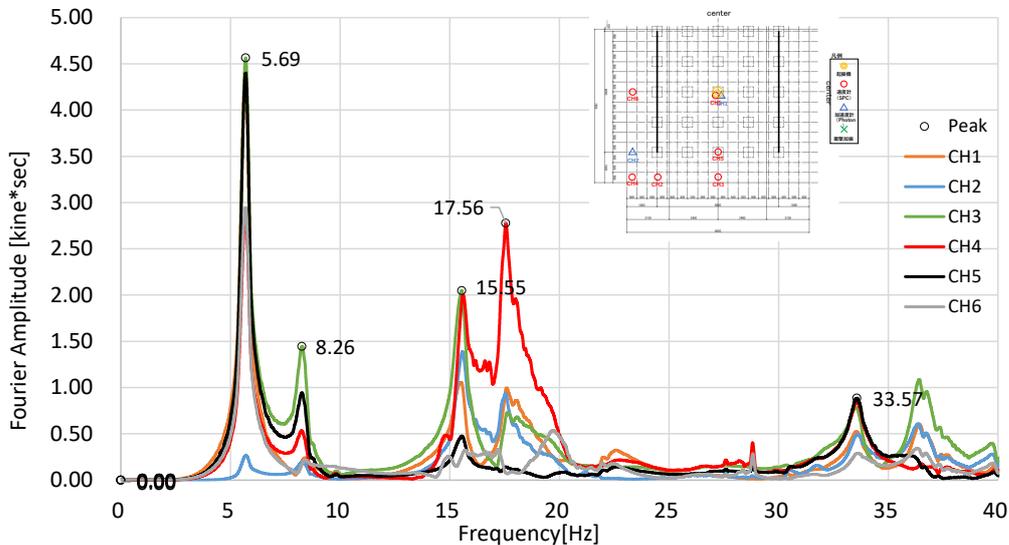


図 6.4.2.3-1 共振点探査の結果 (No5, 配置 5) フーリエスペクトル

本計測では共振点探査は 1 回のみ実施しておりその結果を示す。

主な卓越振動数は、5.69, 8.26, 15.55, 17.56 [Hz]であった。5.69Hz は、下のはね出しの CH.3, そのすぐ上 (中央より) の CH.5, 中央の CH.1 と、レールによる支持の除かれた上下方向の計測点の応答が大きい。ただし、左はね出し部の CH.6, 4 も比較的大きな応答を示しており、モード図等での位相を含めた確認が必要である。8.26Hz は、下はね出し部の CH.3 が卓越しており、至近の CH.5, 4 等が追随している。15.55 Hz は CH.3,4,2 の応答が比較的大きく、はね出し部に関連するモードと推定される。17.56Hz は、左下の二方向はね出しの CH.4 が突出して大きく応答している。

4 辺支持, 2 辺強軸支持と比較すると, 2 辺強軸と同様に, レールの支持を取り去った向きの計測点での応答が増加し, 1 次固有振動数は顕著に減少 (CH.1 で 10.42→5.69Hz) した。なお, レールで支持されている方向のはね出しの計測点に現れる卓越振動数を見ると, 2 辺強軸の際には, 4 辺支持の時点と比較して 1 割以下の振動数の低下 (CH.3 で 23.45→22.21Hz) であったが, 今回はより顕著な低下 (CH.6 で, 18.65→5.69Hz) が見られた。二方向はね出しや下のはね出しは相互に影響し, 15.5-17.5Hz 付近の近い卓越振動数で高い応答値を示しているこれらの複雑な応答性状についてはモード図等でも確認する必要がある。

また, 8.26Hz についても, 応答値はそこまで大きくないものの, 1 次とも比較的離れており, 中央縦方向付近の挙動に関連するとみられることからモード形状の確認が必要である。

主要な卓越振動数 : 5.69, 8.26, 15.55, 17.56 [Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 6Hz での共振加振結果 (No.5, 配置 5, 下はね出し : CH.5 や中央 : CH.1 が卓越)

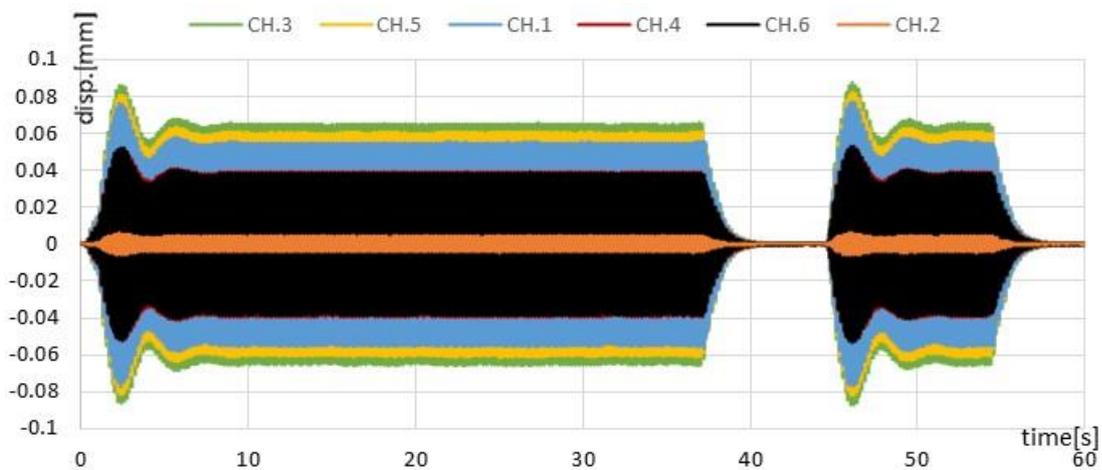


図 6.4.2.3-2 配置 5 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

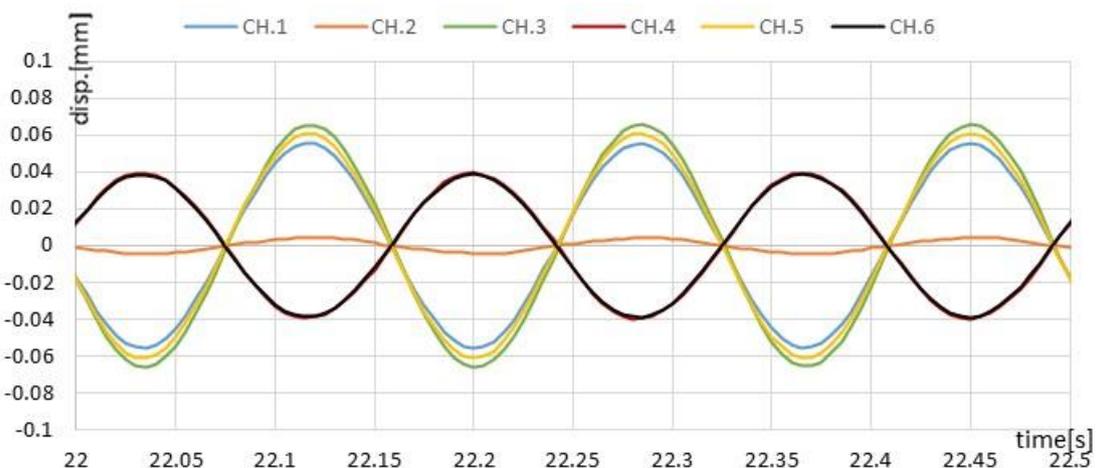


図 6.4.2.3-3 配置 5 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

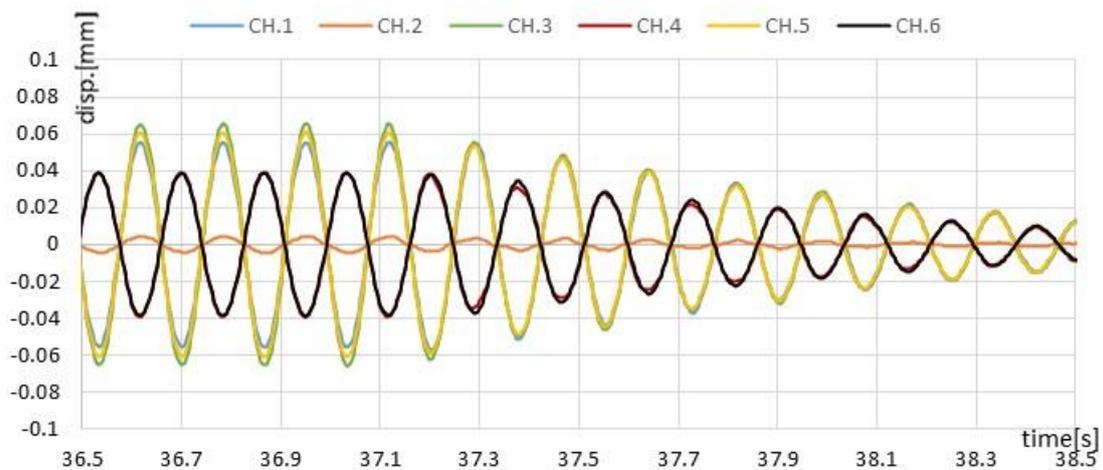


図 6.4.2.3-4 配置 5 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

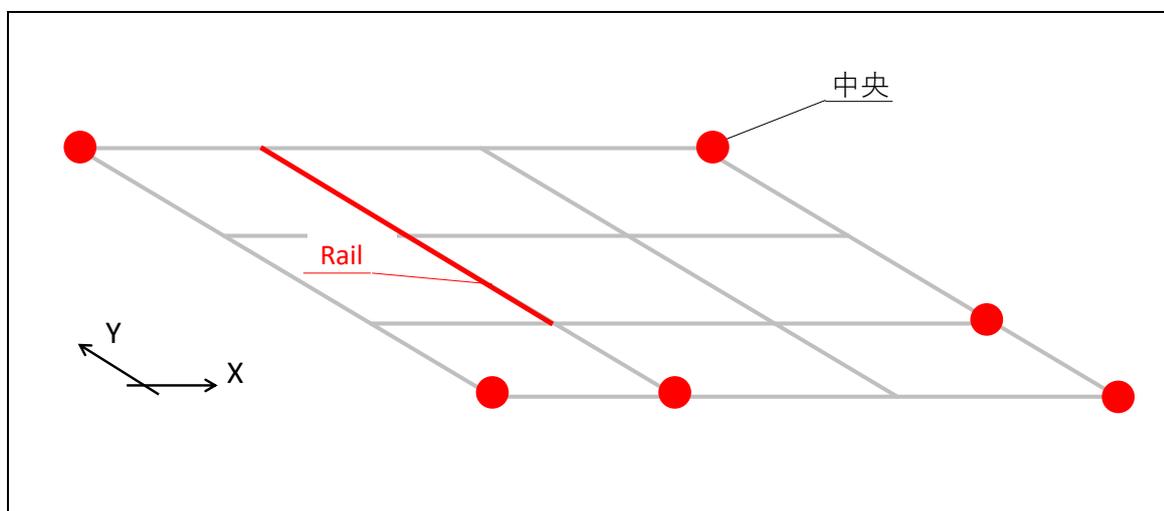


図 6.4.2.3-5 配置 5 計測点

表 6.4.2.3-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
共振点探索の結果とも合わせてみると、6Hz は CH.3 (下のはね出し端)、5, 1 (中央) 等の中心縦方向を軸に応答する 1 次固有振動数であると推定される。

表 6.4.2.3-1 配置 5 6Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態, 22.2s 時を例に)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0556 | 0.0045 | 0.0657 | 0.0396 | 0.0609 | 0.0389 |

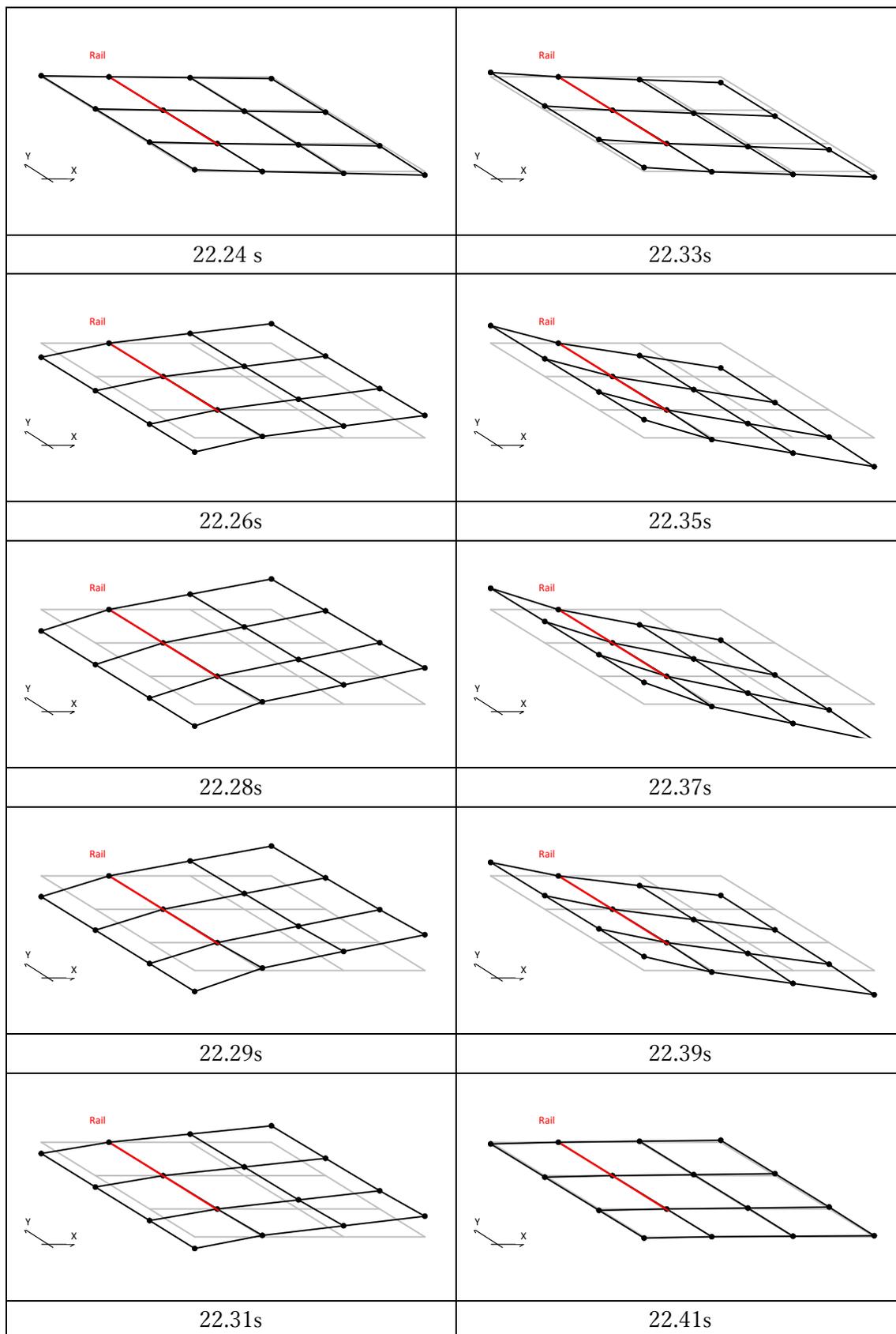


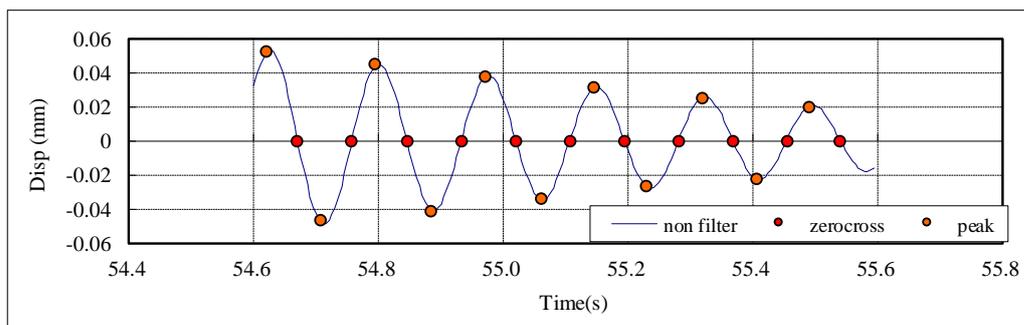
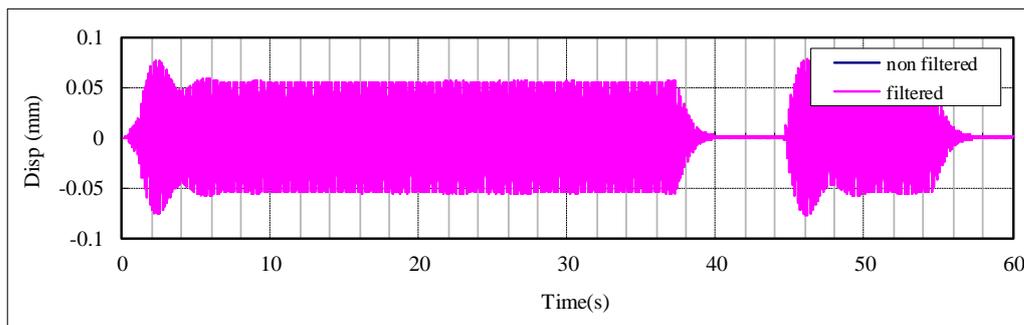
図 6.4.2.3-6 配置 5 6Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された6Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置5における、中央、手前はね出し、2方向はね出し、左方向はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|---|
| No. | 6 |
|-----|---|

GIR_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210915-01
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.74 | 0.052 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.89 | 3.04 | 2.92 |

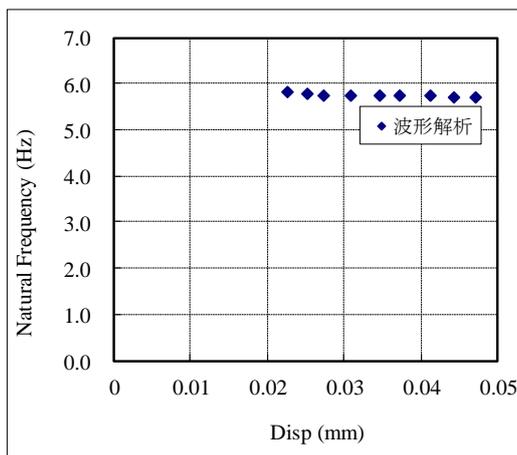
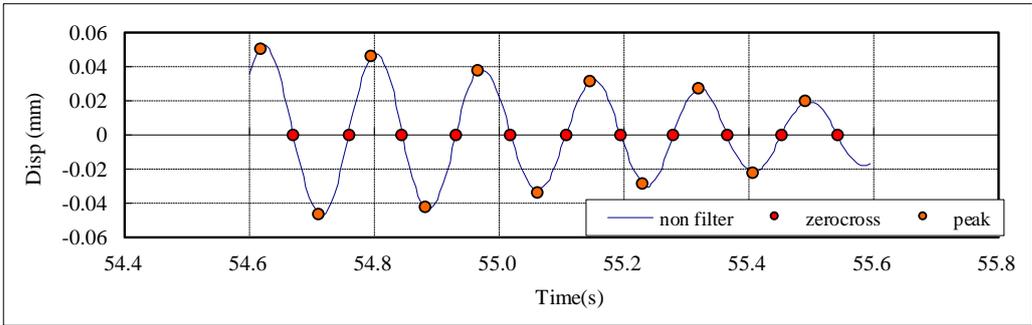
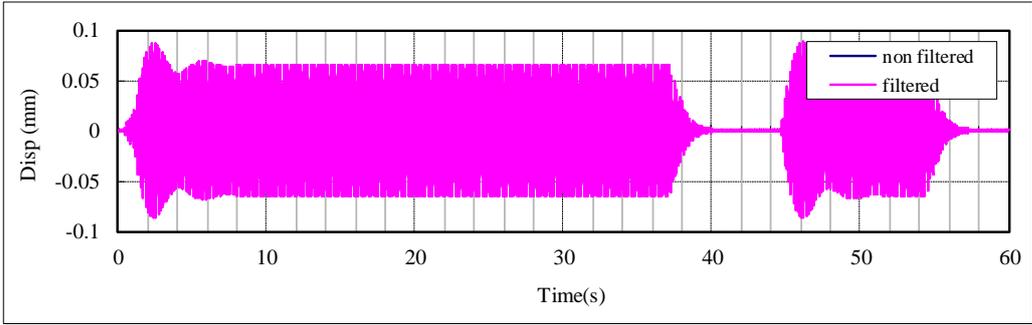


図 6.4.2.3-7 計測 No.6, 6Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 6 |
|-----|---|

GIR_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210915-01
CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.73 | 0.050 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.72 | 2.95 | 2.91 |

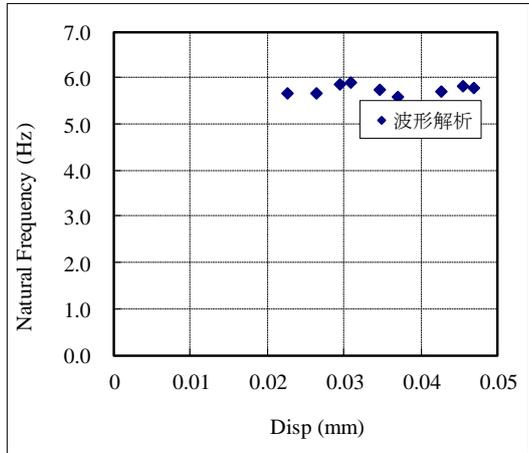
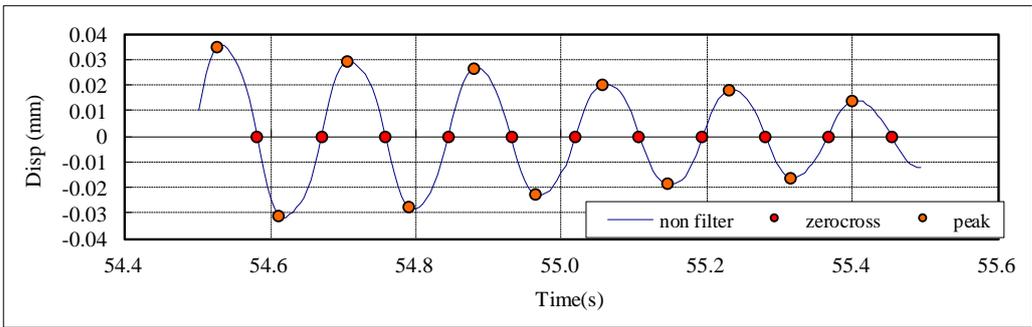
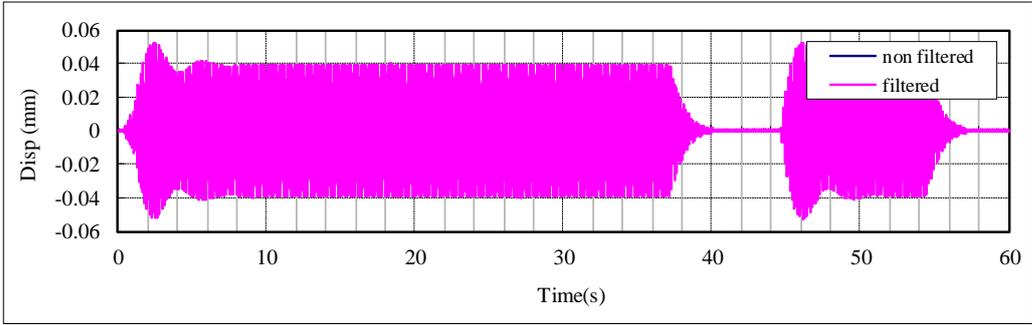


図 6.4.2.3-8 計測 No.6, 6Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 6 |
|-----|---|

GIR_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210915-01
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.72 | 0.035 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.63 | 2.98 | 2.58 |

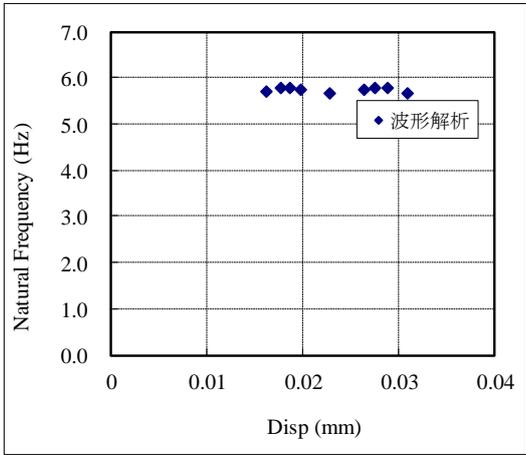
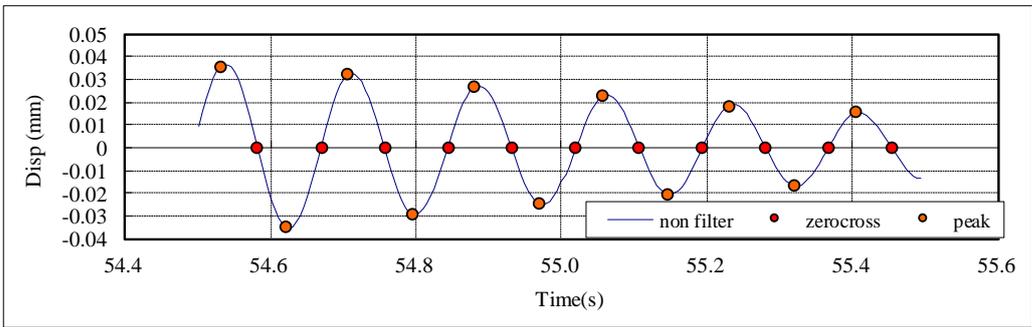
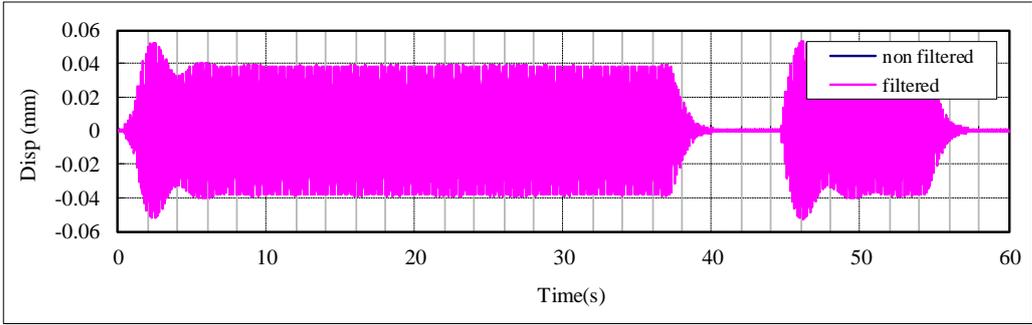


図 6.4.2.3-9 計測 No.6, 6Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 6 |
|-----|---|

GIR_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210915-01
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.73 | 0.036 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.79 | 2.69 | 2.91 |

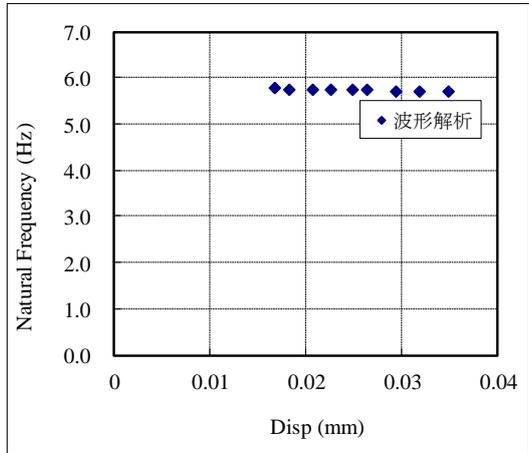


図 6.4.2.3-10 計測 No.6, 6Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 10 (計測 No.45) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

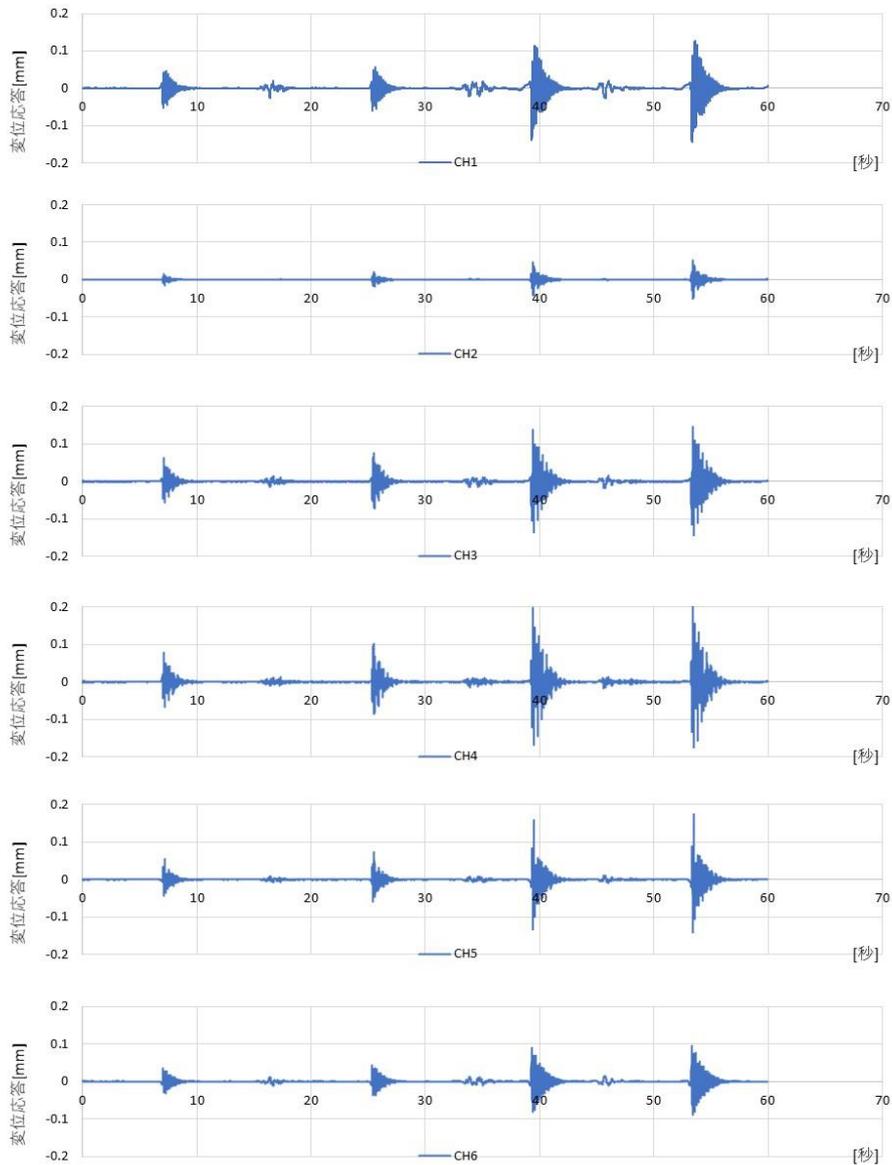


図 6.4.2.3-11 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

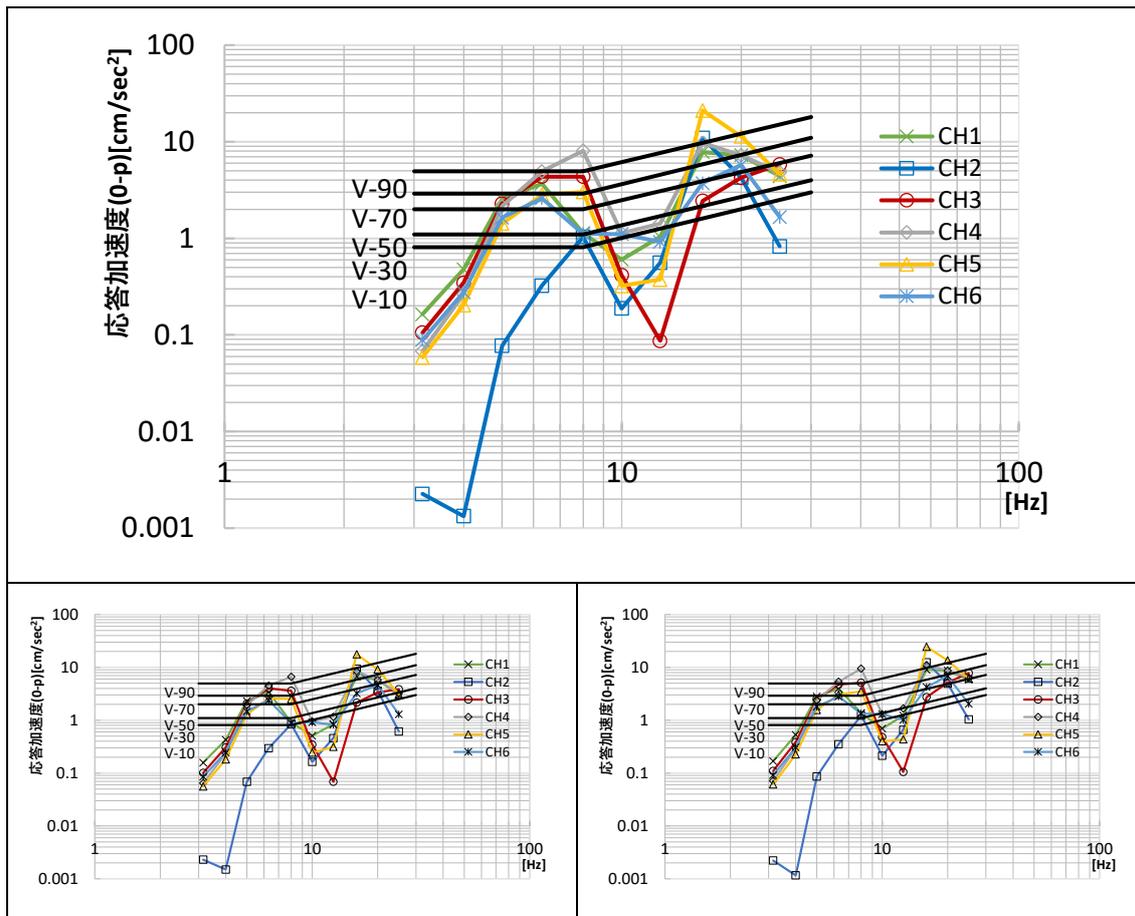


図 6.4.2.3-12 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.3-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.16 | 0.00 | 0.11 | 0.07 | 0.06 | 0.09 |
| 4 | 0.48 | 0.00 | 0.35 | 0.26 | 0.20 | 0.28 |
| 5 | 2.56 | 0.08 | 2.29 | 2.16 | 1.42 | 1.64 |
| 6.3 | 3.68 | 0.32 | 4.36 | 4.94 | 2.82 | 2.60 |
| 8 | 1.13 | 1.03 | 4.36 | 8.06 | 3.02 | 1.11 |
| 10 | 0.60 | 0.19 | 0.41 | 1.13 | 0.32 | 1.11 |
| 12.5 | 1.04 | 0.56 | 0.09 | 1.42 | 0.37 | 0.92 |
| 16 | 7.81 | 10.95 | 2.45 | 9.73 | 21.09 | 3.72 |
| 20 | 7.26 | 4.26 | 4.25 | 7.24 | 11.37 | 5.76 |
| 25 | 4.41 | 0.83 | 5.85 | 4.82 | 4.61 | 1.67 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

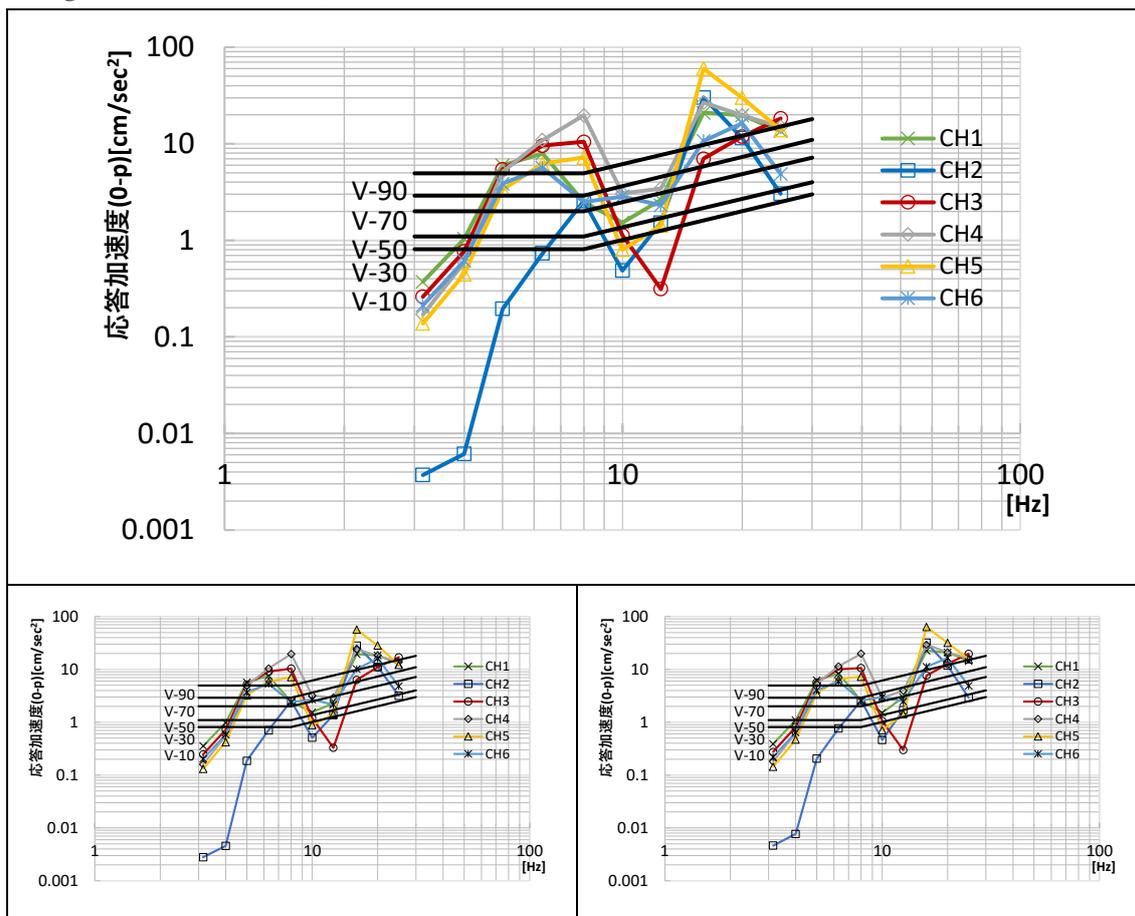


図 6.4.2.3-13 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.3-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.37 | 0.00 | 0.26 | 0.17 | 0.14 | 0.21 |
| 4 | 1.04 | 0.01 | 0.77 | 0.59 | 0.45 | 0.61 |
| 5 | 5.98 | 0.20 | 5.42 | 5.15 | 3.37 | 3.87 |
| 6.3 | 7.95 | 0.73 | 9.56 | 10.92 | 6.20 | 5.63 |
| 8 | 2.49 | 2.56 | 10.50 | 19.67 | 7.22 | 2.49 |
| 10 | 1.53 | 0.49 | 1.13 | 3.06 | 0.80 | 2.84 |
| 12.5 | 2.63 | 1.53 | 0.31 | 3.44 | 1.42 | 2.31 |
| 16 | 20.96 | 30.16 | 6.99 | 26.73 | 60.04 | 10.69 |
| 20 | 19.69 | 11.48 | 11.88 | 19.69 | 30.04 | 16.30 |
| 25 | 13.53 | 3.05 | 18.36 | 14.91 | 13.89 | 4.86 |

(4) GIR 接合 CLT 4 枚・4 点支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

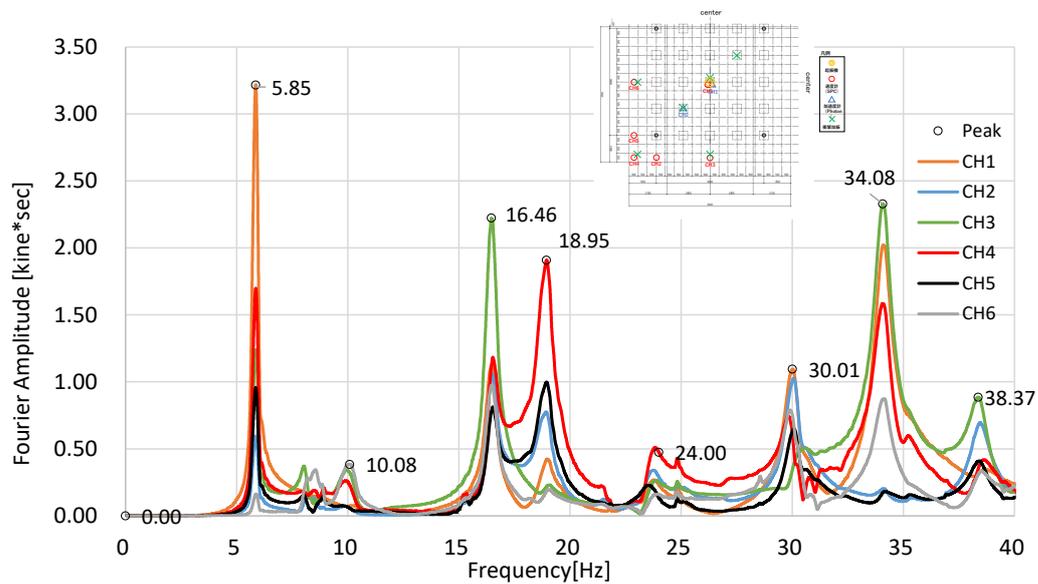


図 6.4.2.4-1 共振点探査の結果 (No.8, 配置 7) フーリエスペクトル

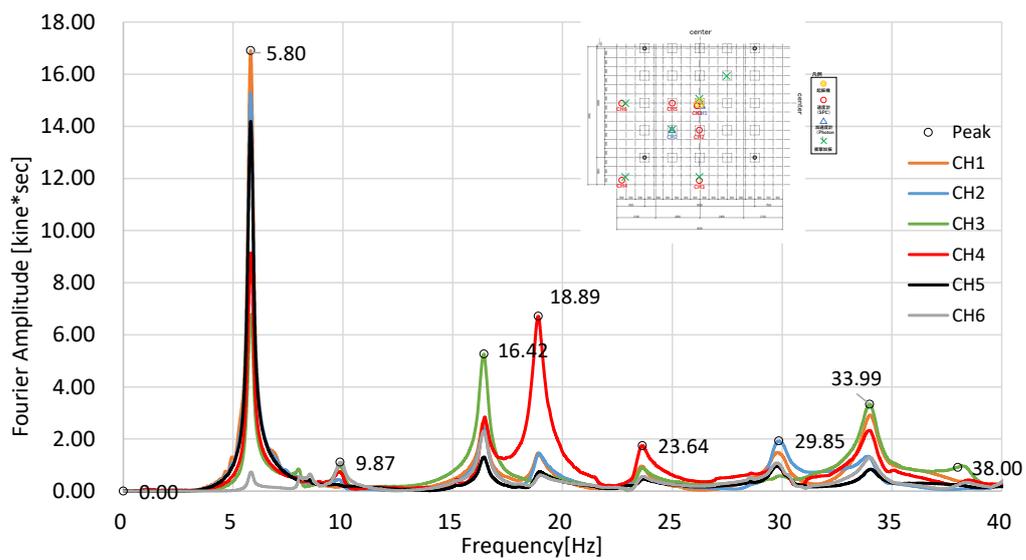


図 6.4.2.4-2 共振点探査の結果 (No.20, 配置 8) フーリエスペクトル

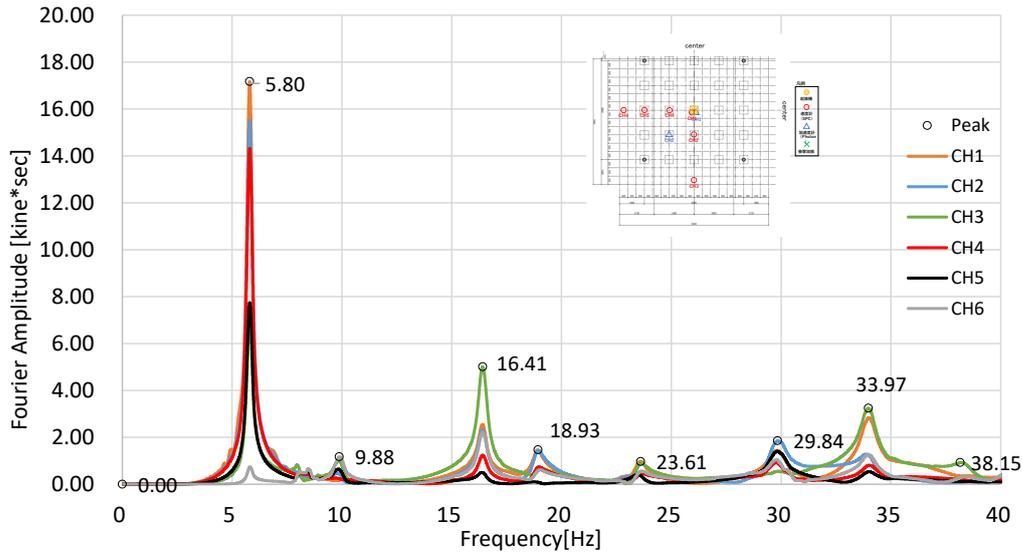


図 6.4.2.4-3 共振点探査の結果 (No.34, 配置 9) フーリエスペクトル
本計測では、3回共振点探査を行っている。3回の結果を示した。

どの配置においても明確な卓越振動数は、中央、下、左、左下の4点をピークとするものであった (34Hz 付近のものは除く)。5.8Hz に中央 CH.1 が最大変位となる1次固有振動数とみられるものがあり、次いで、16.4Hz 付近に CH.3 (下側のはね出し) が最大となるピークが、18.9Hz 付近に CH.4 (二方向はね出し) が最大となるピークが確認された。左のはね出しは、上記の3点に比べると、9.8-10Hz 付近で相対的に最大となるピークを持つものの、応答値はかなり小さいものにとどまっている。

以上の4つの頂点部分以外も同時に計測しているが、それらが最大振幅となる振動数は明確には見られない。

他の支持条件と比較すると、まず4辺支持との比較では、(単純に相対的に最大となるピークの振動数を比較してみると) 中央、左、下のピークとなる振動数はそれぞれ、10.42→5.8Hz, 18.65→9.8Hz, 23.45→16.42Hz と6割以下となっている点が多いものの、二方向はね出しの CH.4 については、17.47→18.89Hz と、やや高い振動数で共振している。

2辺支持と比較すると、中央、下のはね出しは2辺弱軸と大きく変わらないが、左と左下)に方向はね出し)については共振する振動数は高くなっている。これは、4点支持とした場合の方が、弱軸の場合よりも部材の長手の剛性が影響している可能性などが考えられる。

主要な卓越振動数 : 5.8, 9.9, 16.4, 18.9, 34[Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 6Hz での共振加振結果 (No.9, 配置 7, 中央 : CH.1 が卓越)

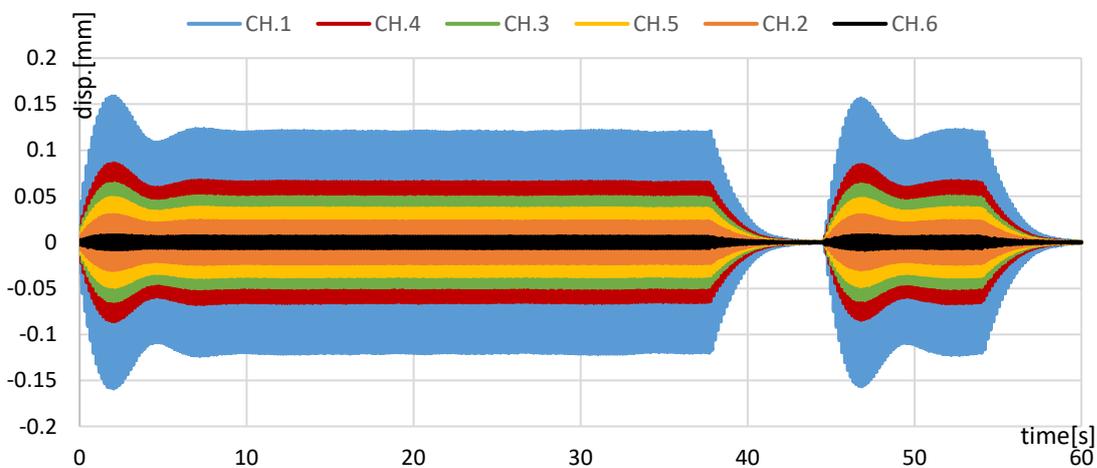


図 6.4.2.4-4 No.9 配置 7 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

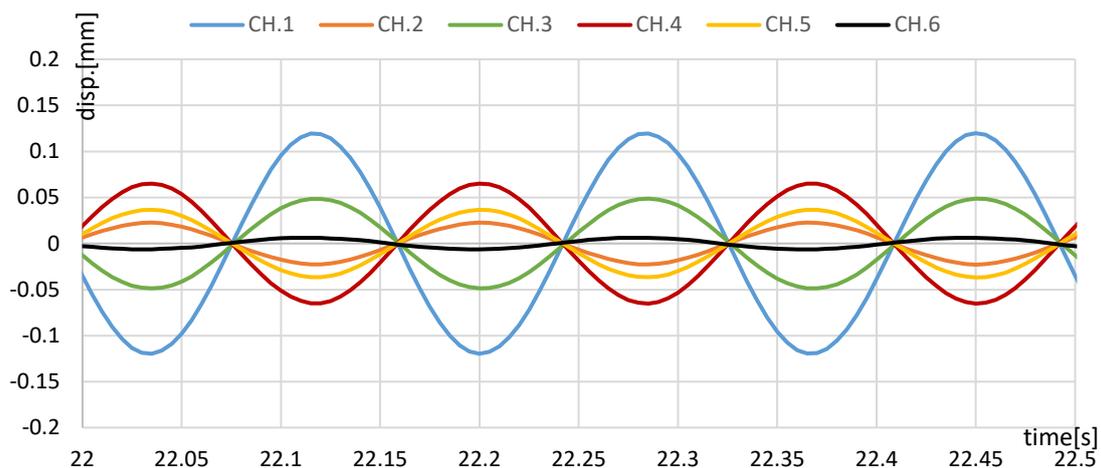


図 6.4.2.4-5 No.9 配置 7 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

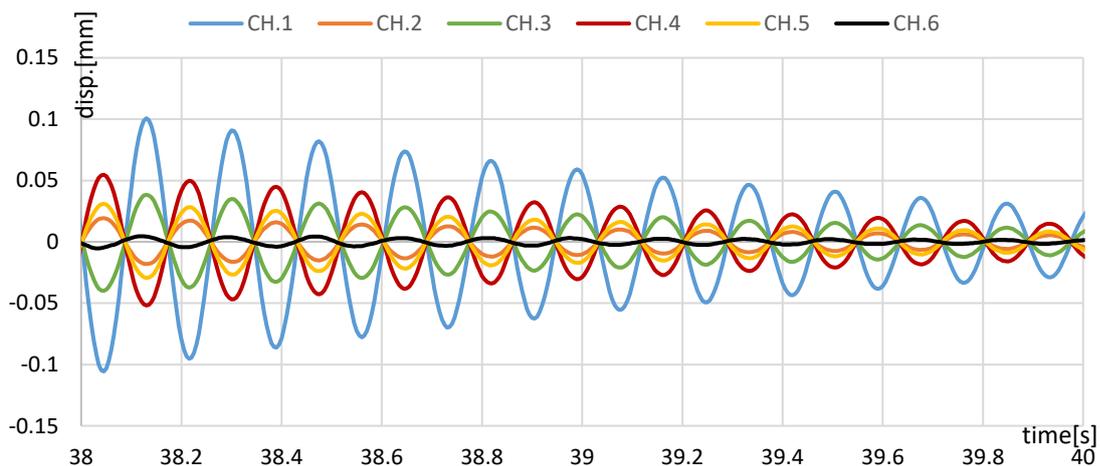


図 6.4.2.4-6 No.9 配置 7 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

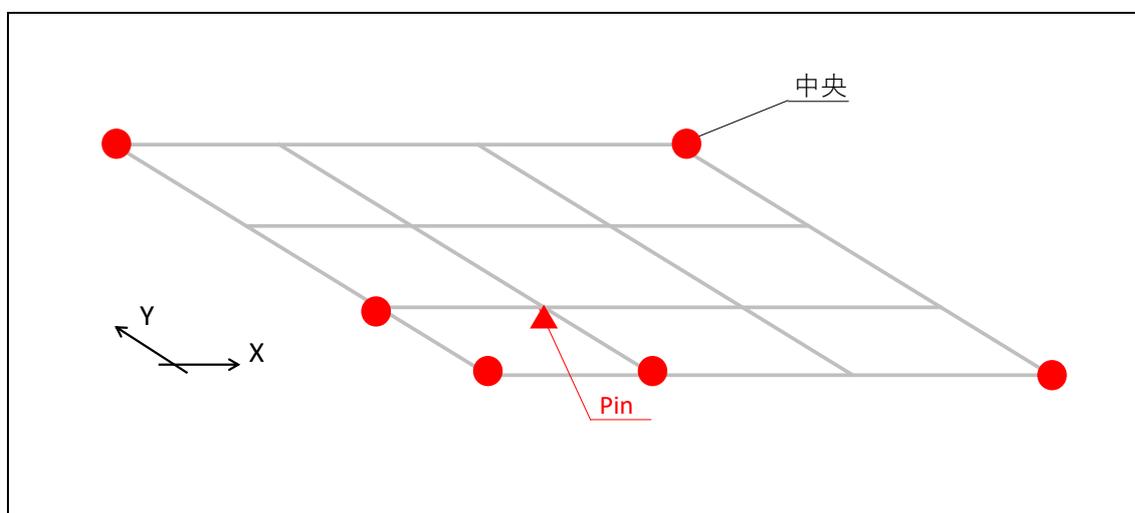


図 6.4.2.4-7 No.9 配置 7 計測点

表 6.4.2.4-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
 最大変位点は CH.1 (中央) であり、ピン支点を中心に 45 度方向に変形している。ただし、左はね出しの CH.6 の応答値は極めて小さくなっており、全体としては前後と上下の変形成分が多くなっている。縦横方向での剛性の違いを検討する必要がある。

表 6.4.2.4-1 No.9 配置 7 6Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態, 22.2 秒時を例に)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1209 | 0.0229 | 0.0493 | 0.0657 | 0.0369 | 0.0065 |

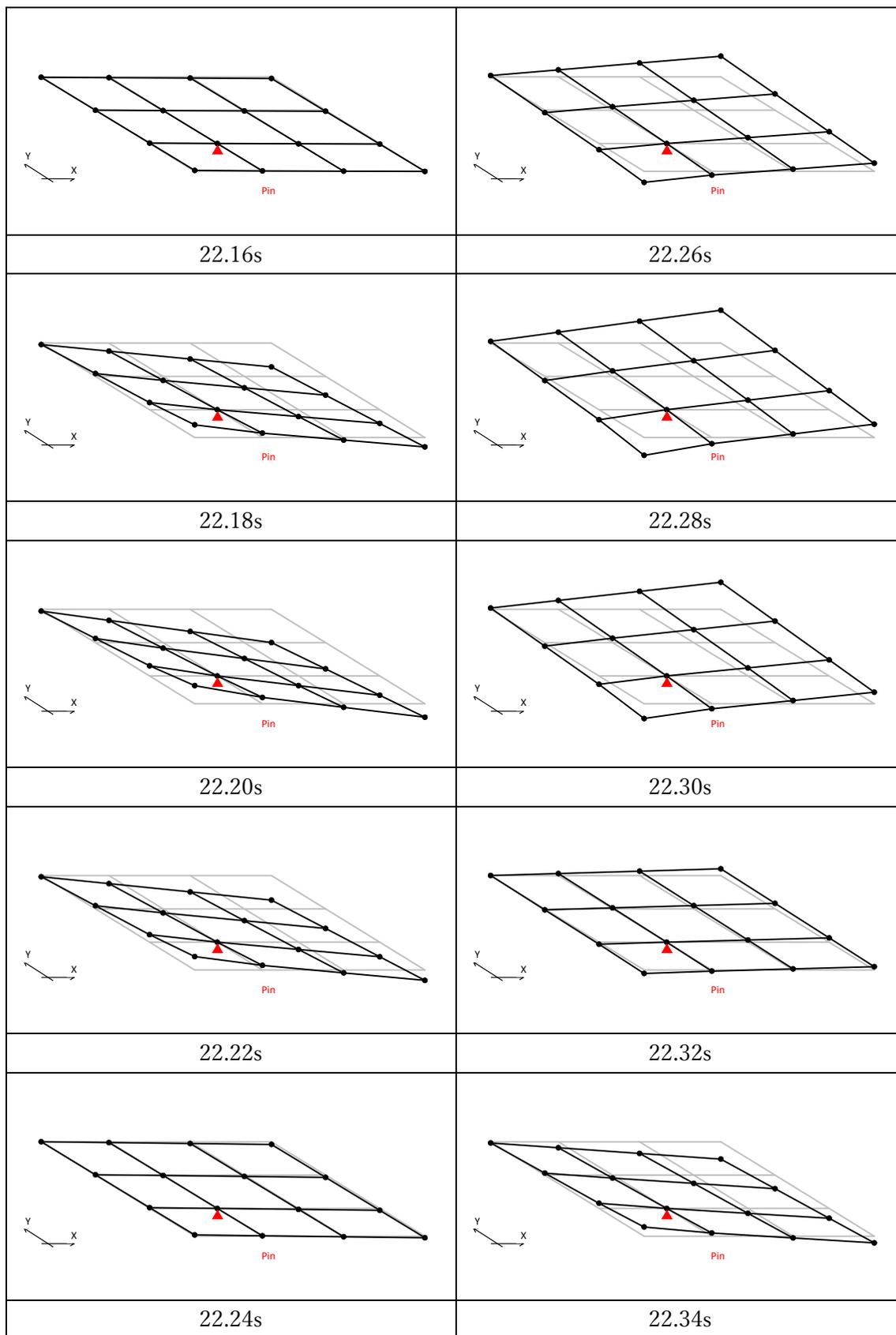


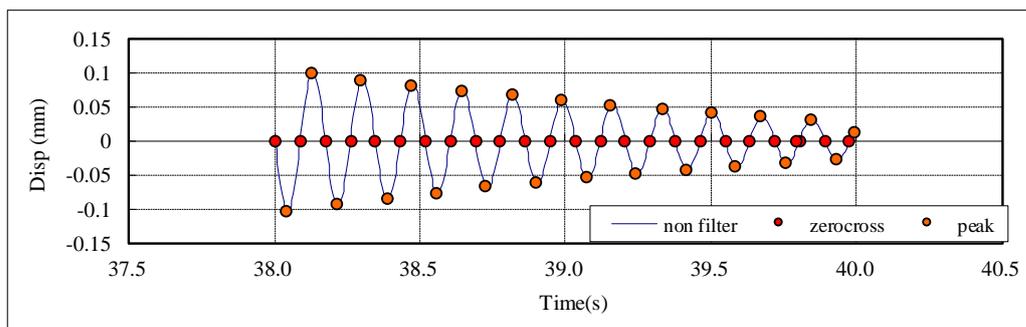
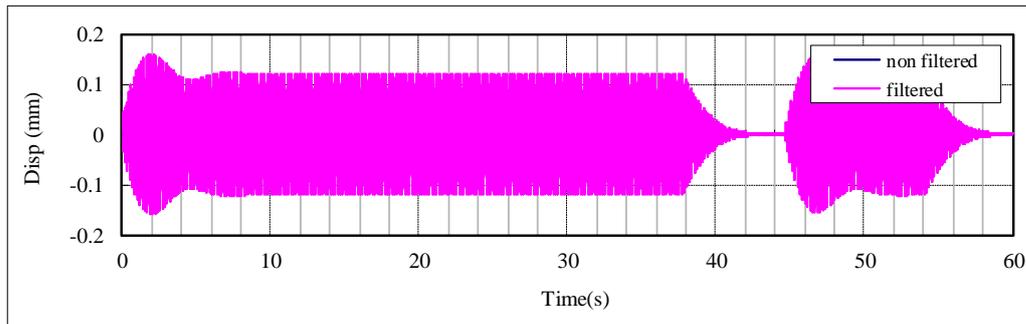
図 6.4.2.4-8 No.9 配置 7 6Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された6Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置7における、中央、手前はね出し、2方向はね出し、左方向はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210915-2_09
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.70 | 0.105 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.89 | 3.32 | 1.87 |

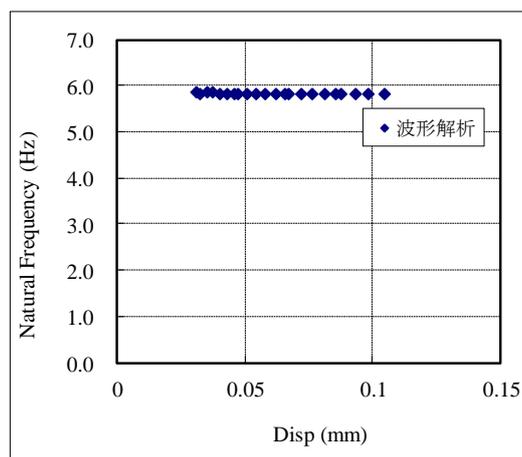
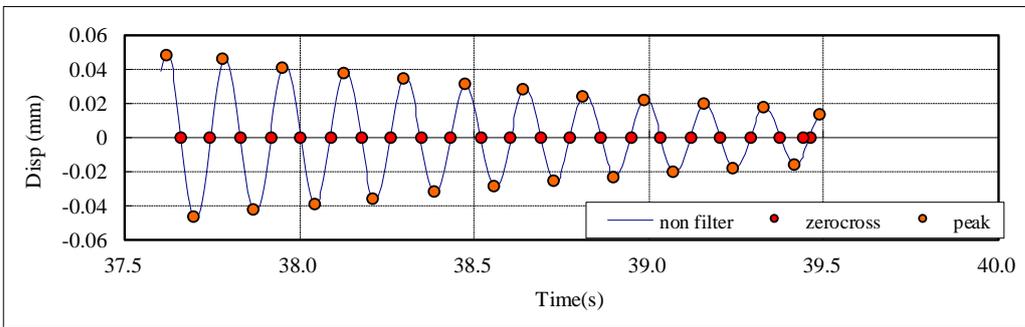
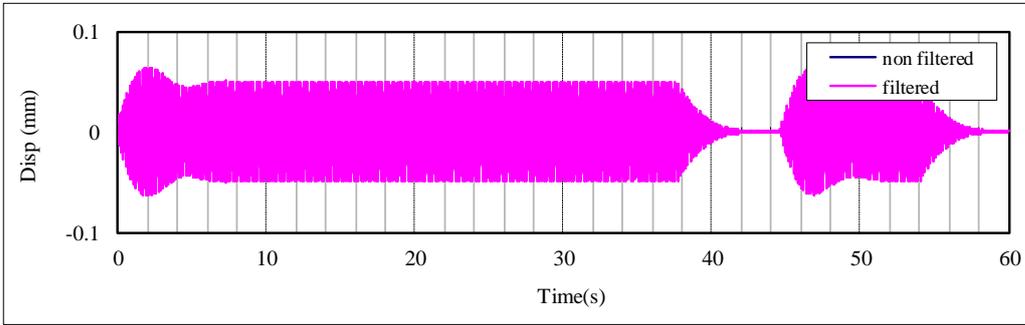


図 6.4.2.4-9 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210915-2_09
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.17 | 0.048 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.68 | 1.89 | 1.70 |

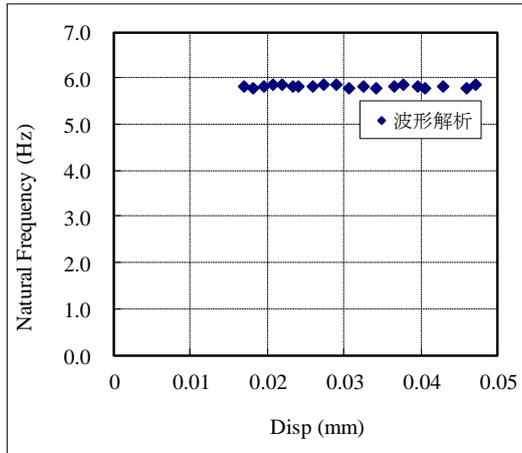
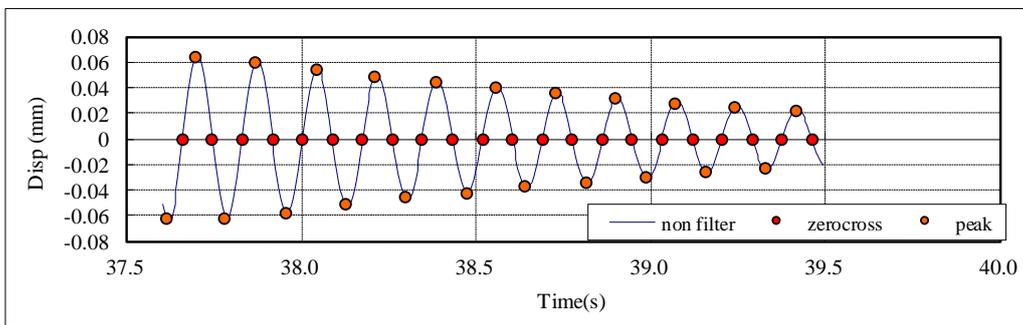
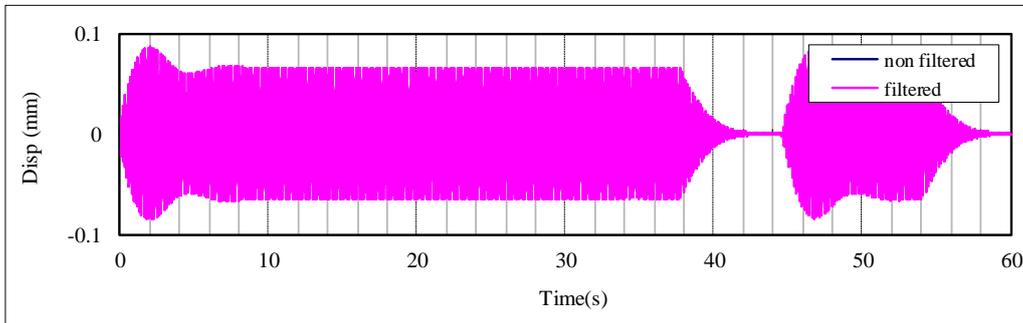


図 6.4.2.4-10 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210915-2_09
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.82 | 0.063 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.60 | 1.66 | 1.55 |

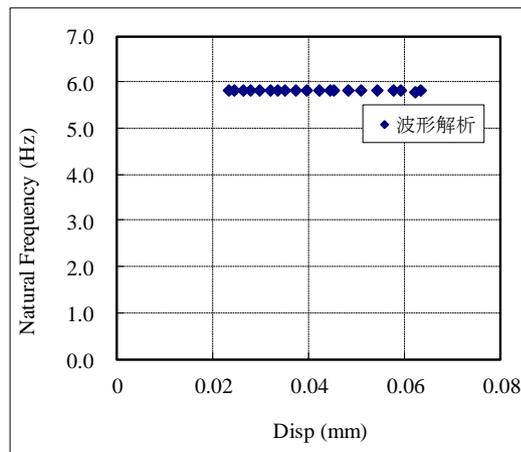
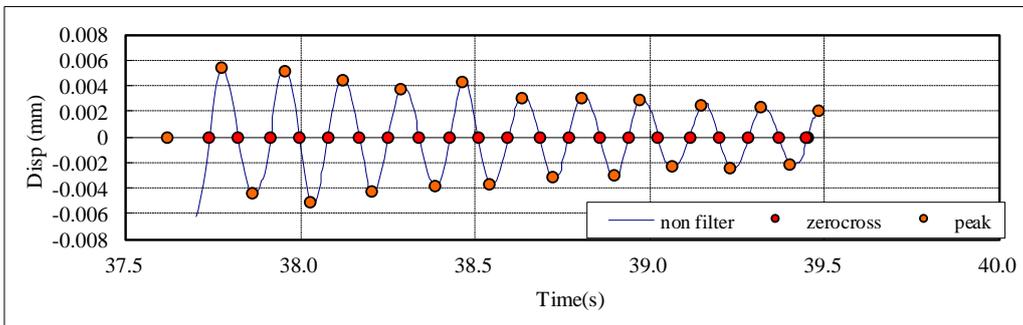
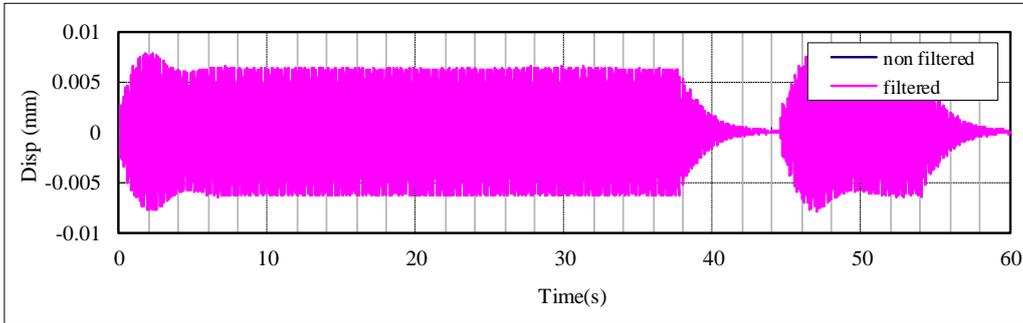


図 6.4.2.4-11 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210915-2_09
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.14 | 0.005 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.63 | 1.63 | 1.78 |

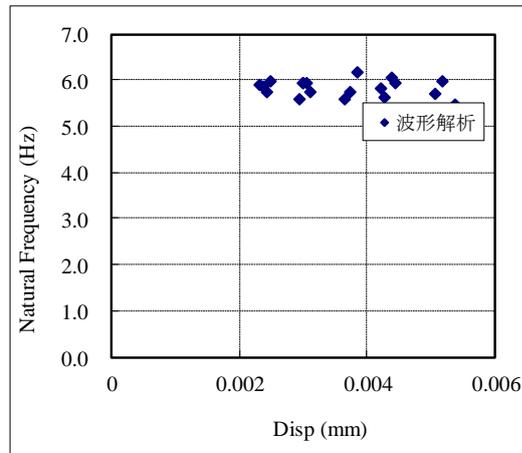


図 6.4.2.4-12 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 7 (計測 No.15) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

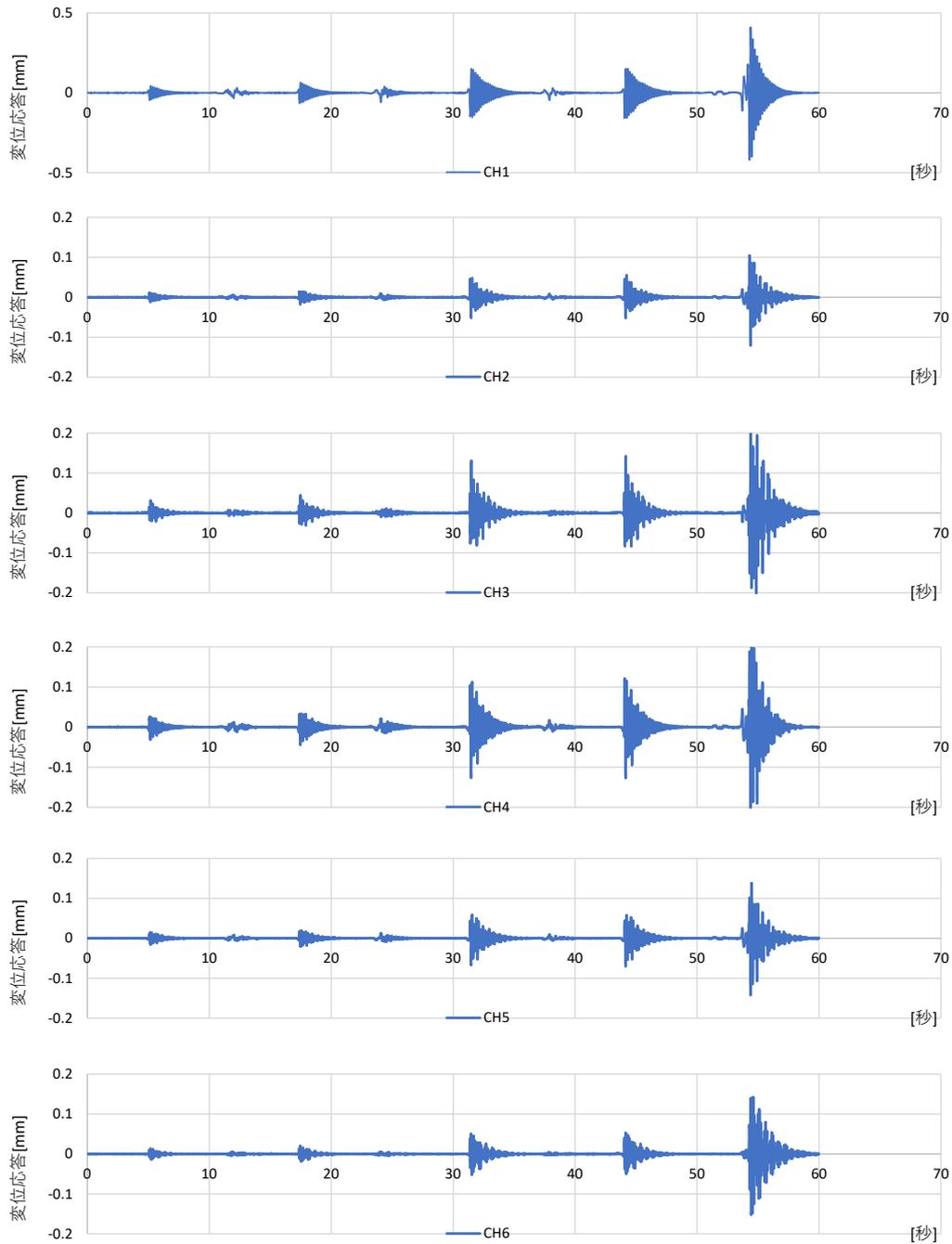


図 6.4.2.4-13 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

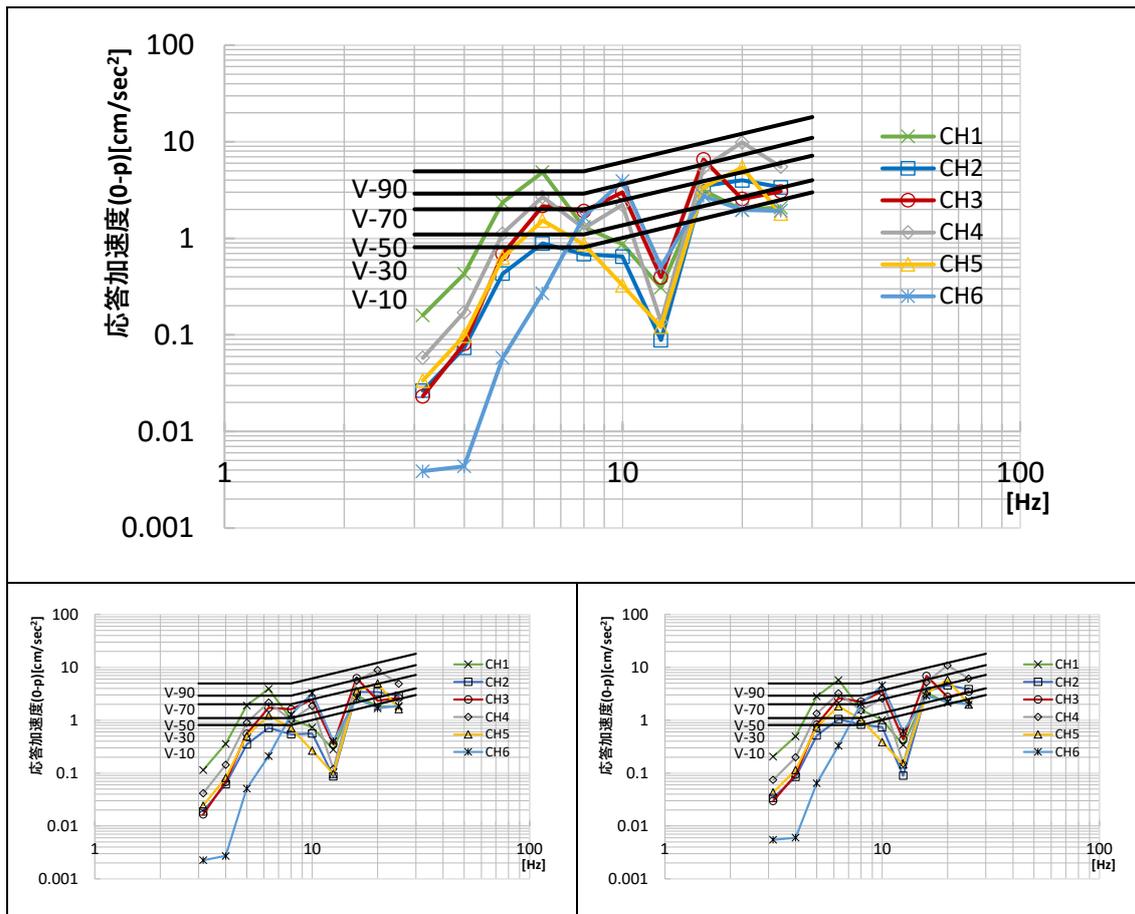


図 6.4.2.4-14 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.4-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.16 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.00 |
| 4 | 0.43 | 0.07 | 0.08 | 0.17 | 0.10 | 0.00 |
| 5 | 2.36 | 0.43 | 0.69 | 1.12 | 0.63 | 0.06 |
| 6.3 | 4.85 | 0.88 | 2.16 | 2.69 | 1.53 | 0.27 |
| 8 | 1.31 | 0.68 | 1.92 | 1.27 | 0.87 | 1.67 |
| 10 | 0.87 | 0.65 | 3.00 | 2.23 | 0.33 | 3.92 |
| 12.5 | 0.31 | 0.09 | 0.39 | 0.14 | 0.12 | 0.51 |
| 16 | 3.15 | 3.48 | 6.57 | 5.41 | 3.39 | 2.74 |
| 20 | 1.97 | 3.99 | 2.55 | 9.88 | 5.43 | 1.97 |
| 25 | 2.09 | 3.37 | 3.06 | 5.51 | 1.80 | 1.93 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

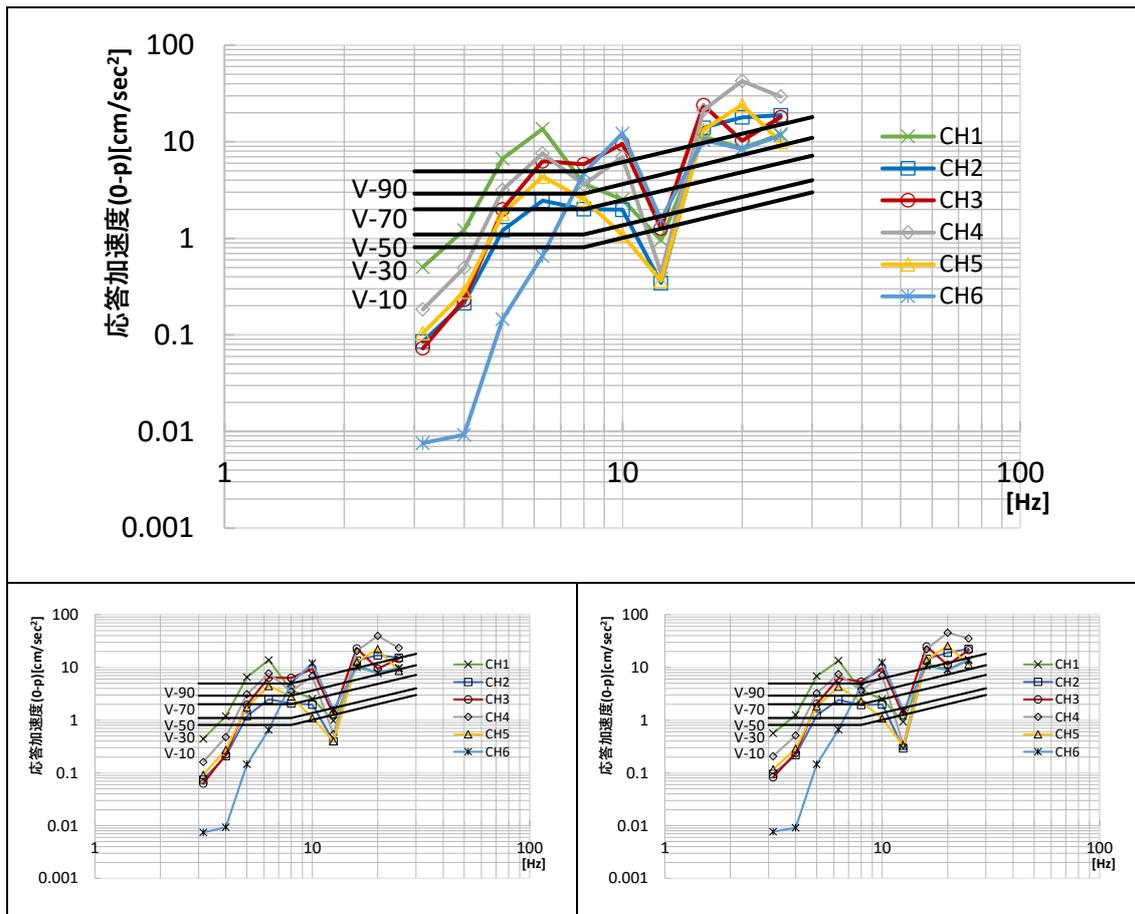


図 6.4.2.4-15 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.4-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.50 | 0.09 | 0.07 | 0.18 | 0.10 | 0.01 |
| 4 | 1.22 | 0.21 | 0.23 | 0.49 | 0.28 | 0.01 |
| 5 | 6.68 | 1.22 | 2.00 | 3.17 | 1.80 | 0.15 |
| 6.3 | 13.63 | 2.45 | 6.30 | 7.59 | 4.38 | 0.66 |
| 8 | 3.67 | 2.01 | 5.86 | 3.58 | 2.53 | 4.74 |
| 10 | 2.53 | 1.98 | 9.51 | 6.97 | 1.09 | 12.23 |
| 12.5 | 0.96 | 0.34 | 1.27 | 0.44 | 0.36 | 1.56 |
| 16 | 11.32 | 13.98 | 23.93 | 21.28 | 13.29 | 10.42 |
| 20 | 8.53 | 17.93 | 10.30 | 42.62 | 24.01 | 8.41 |
| 25 | 11.97 | 18.86 | 17.96 | 29.41 | 10.00 | 11.62 |

③ かかと加振 の結果

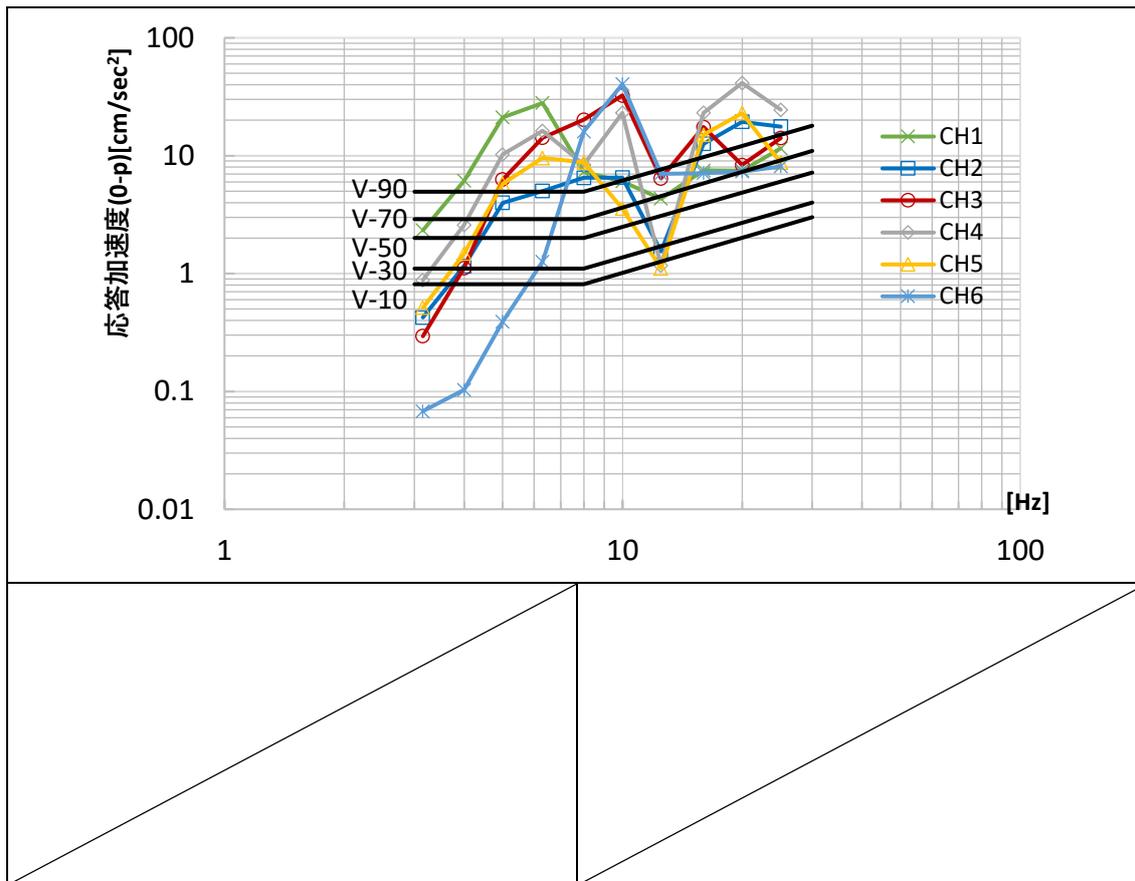


図 6.4.2.4-16 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.4-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 2.33 | 0.42 | 0.29 | 0.88 | 0.51 | 0.07 |
| 4 | 6.13 | 1.16 | 1.11 | 2.58 | 1.48 | 0.10 |
| 5 | 21.16 | 3.99 | 6.27 | 10.22 | 5.79 | 0.39 |
| 6.3 | 28.03 | 5.01 | 14.19 | 16.25 | 9.56 | 1.26 |
| 8 | 7.29 | 6.50 | 20.20 | 8.40 | 8.77 | 16.03 |
| 10 | 6.06 | 6.52 | 32.41 | 23.07 | 3.56 | 40.48 |
| 12.5 | 4.32 | 1.54 | 6.41 | 1.17 | 1.11 | 7.03 |
| 16 | 7.49 | 12.63 | 17.52 | 23.06 | 15.04 | 7.11 |
| 20 | 7.49 | 19.37 | 8.35 | 41.38 | 22.94 | 7.35 |
| 25 | 11.54 | 17.68 | 14.13 | 24.50 | 8.74 | 8.11 |

(5) GIR 接合 CLT 3 枚・4 辺支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

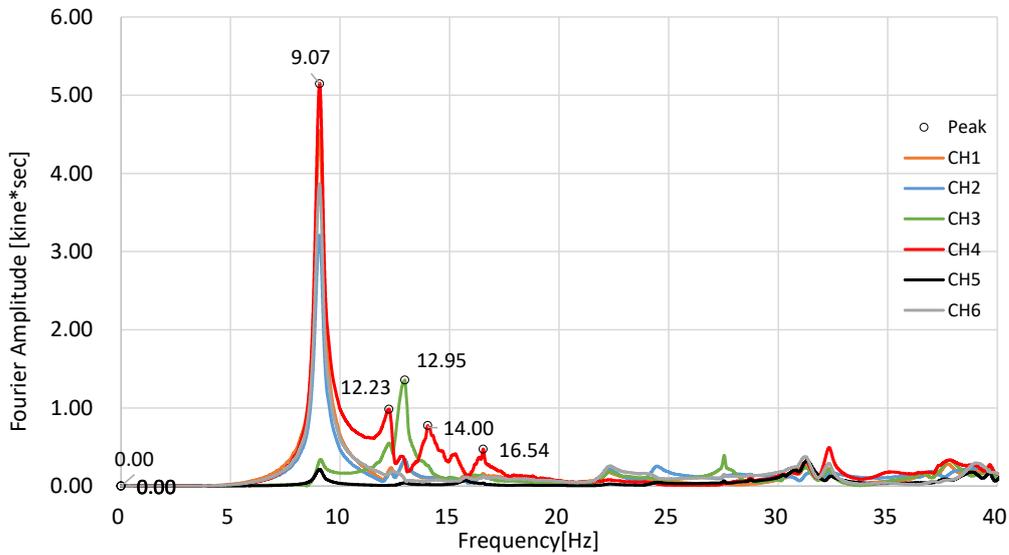


図 6.4.2.5-1 共振点探査の結果 (No.5, 配置 4) フーリエスペクトル

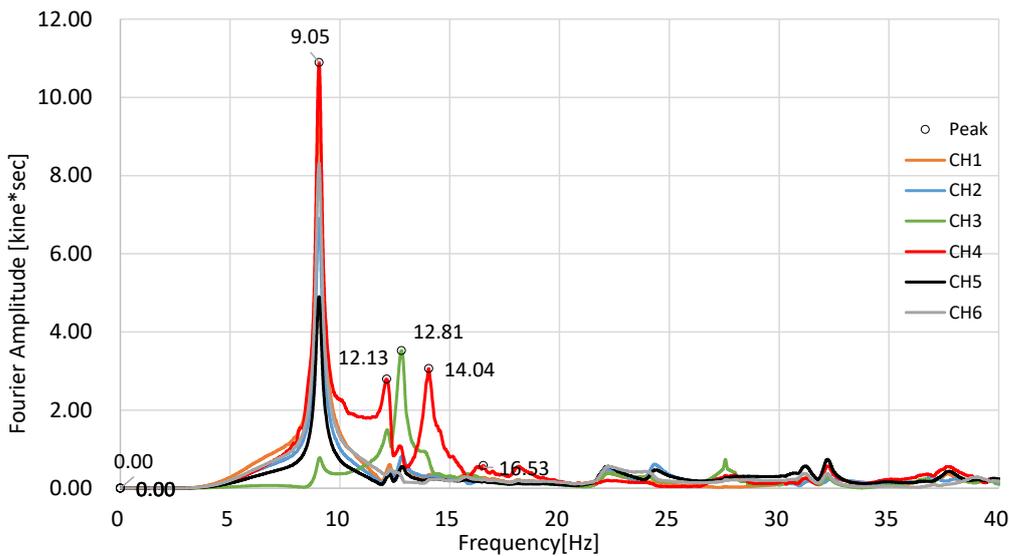


図 6.4.2.5-2 共振点探査の結果 (No.19, 配置 6) フーリエスペクトル

3 枚 4 辺支持の結果を示す。ピークは約 9Hz が 1 次固有振動数と推定される。ほかに、二方向はね出し部分のピークとして、12Hz 前後、14Hz 前後、16.5Hz 前後にピークがみられる。このほか、手前のはね出し部分の CH.3 の応答値が大きい 12.8~13Hz のピークが確認された。4 枚と比較すると、はね出しのピークの現れ方に顕著な違いがみられる。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mm ピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 9Hz での共振加振結果 (No.21, 配置 6)

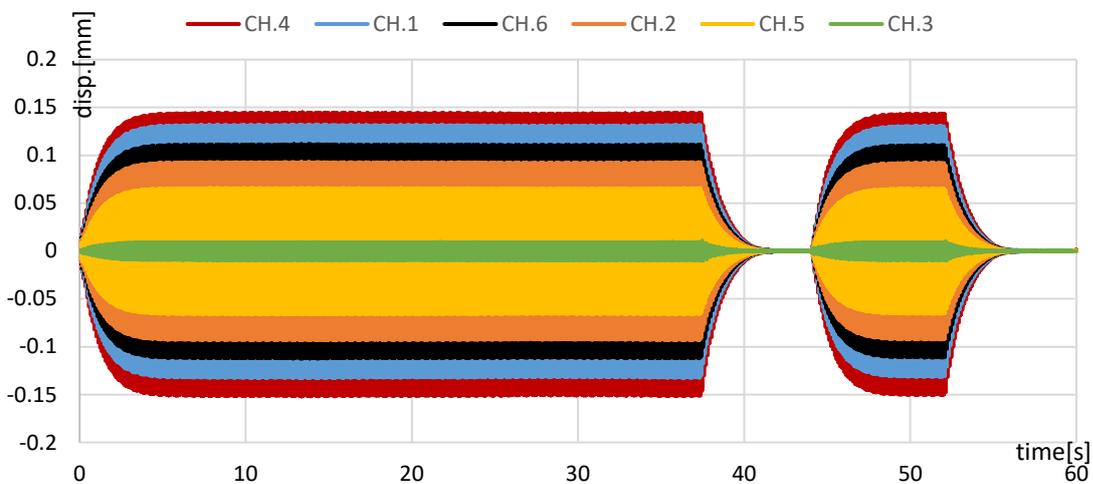


図 6.4.2.5-3 No.21 配置 6 9Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

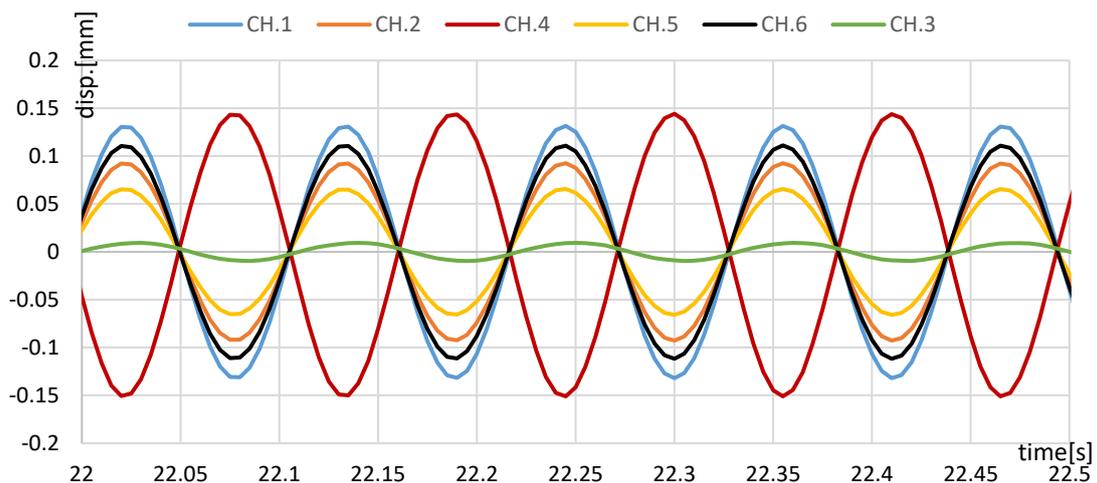


図 6.4.2.5-4 No.21 配置 6 9Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

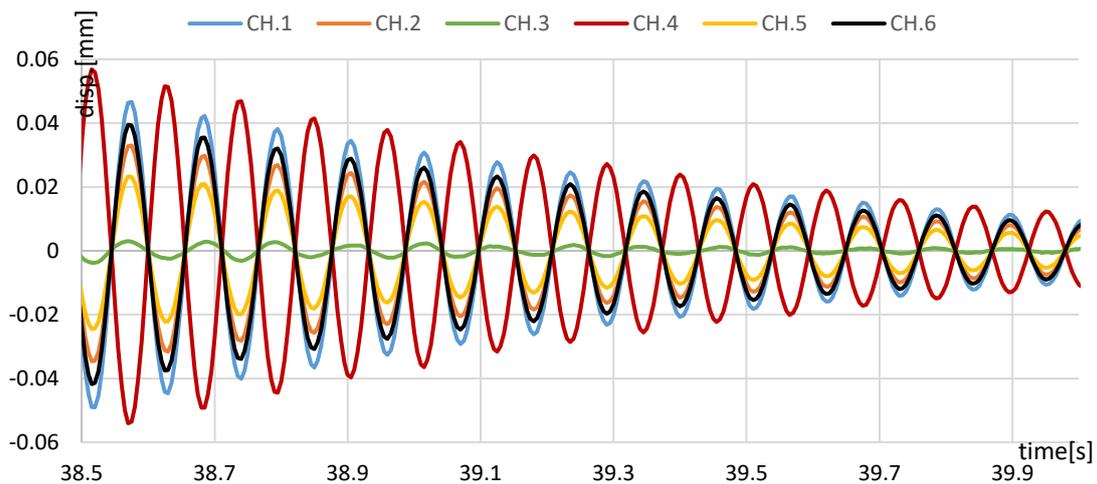


図 6.4.2.5-5 No.21 配置 6 9Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

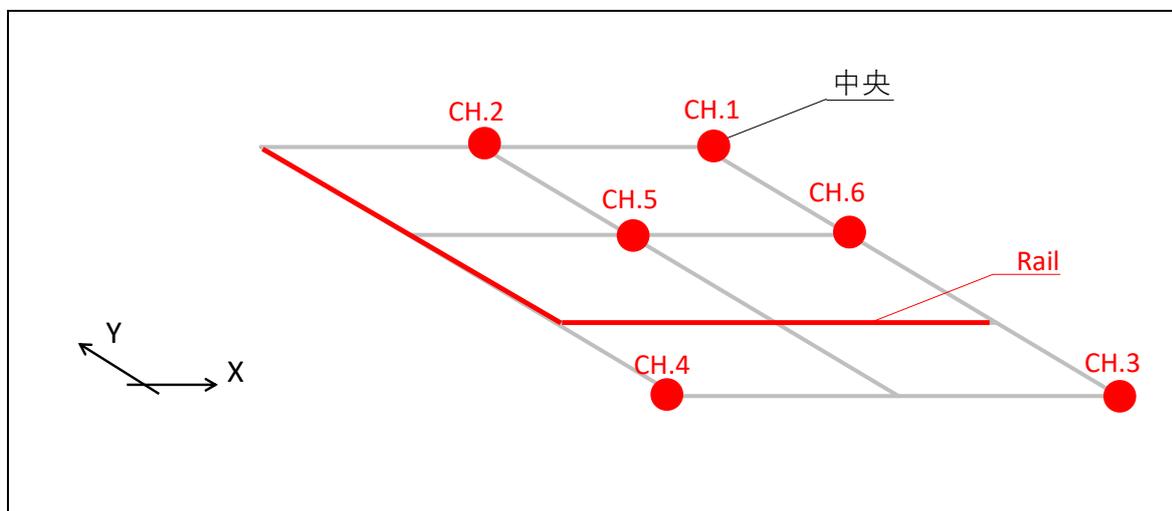


図 6.4.2.5-6 No.21 配置 6 計測点

次ページに変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1次固有振動数での共振加振時定常状態の変位応答を見ると、レール内中央部と、左手前のはね出し部の応答値が比較的大きく(ただし、逆位相)になっている。他方で、手前のはね出し(CH.3)の応答値は非常に小さい。

表 6.4.2.5-1 No.21 配置 6 9Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1317 | 0.0927 | 0.0093 | 0.1442 | 0.0657 | 0.1112 |

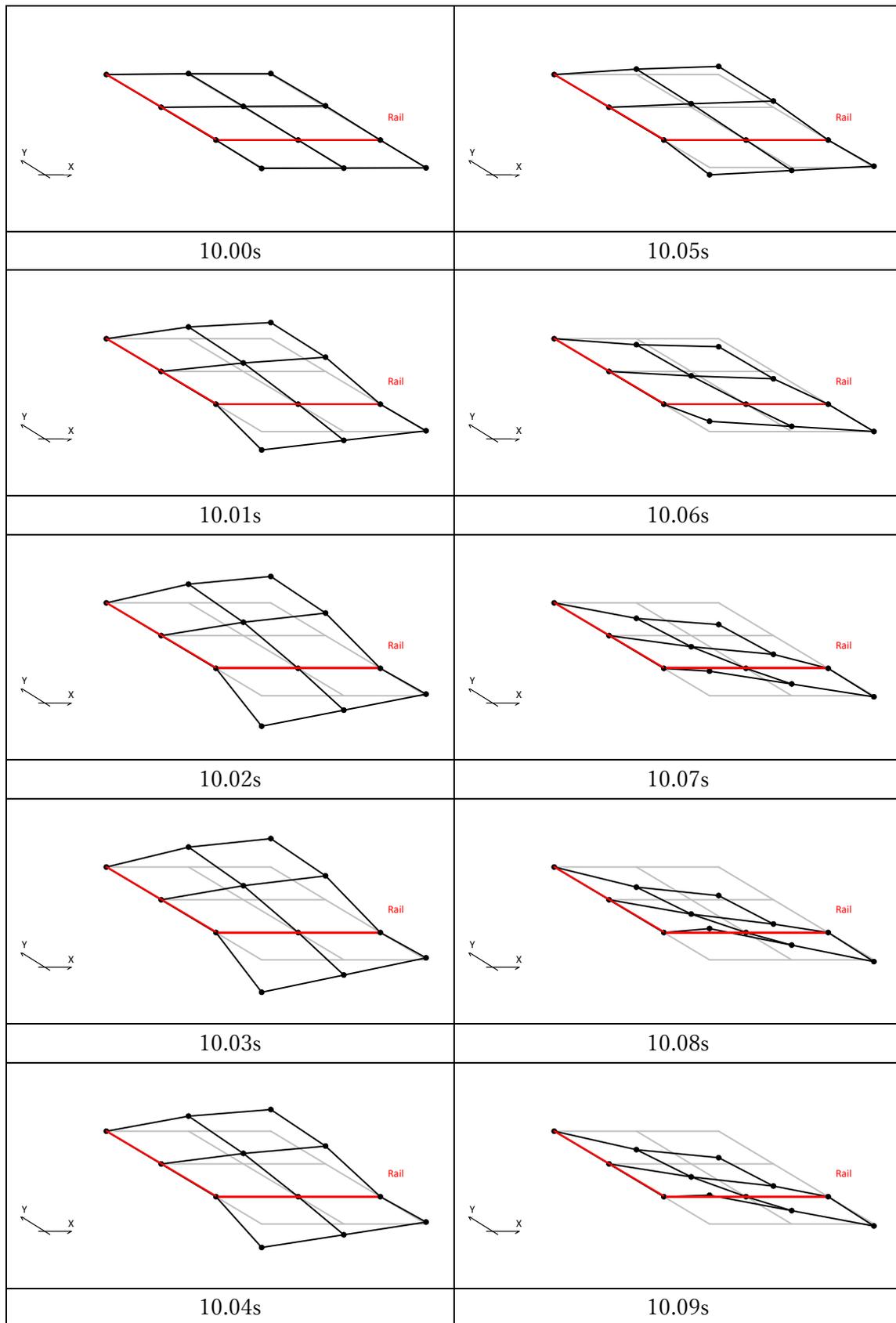


図 6.4.2.5-7 No.21 配置 6 9Hz 変形モード図 [100 倍に拡大]

② 13Hz での共振加振結果 (No.22, 配置 6)

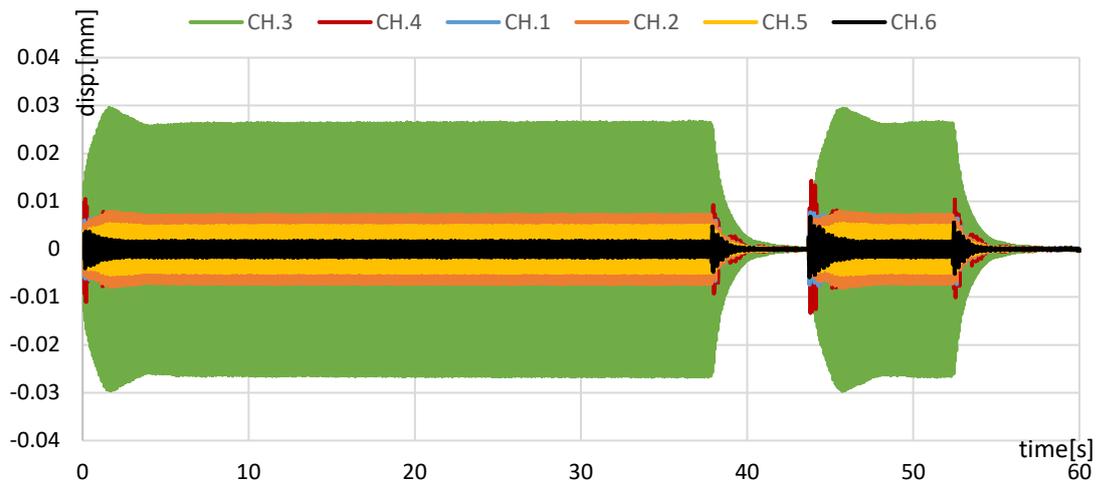


図 6.4.2.5-8 No.22 配置 6 13Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

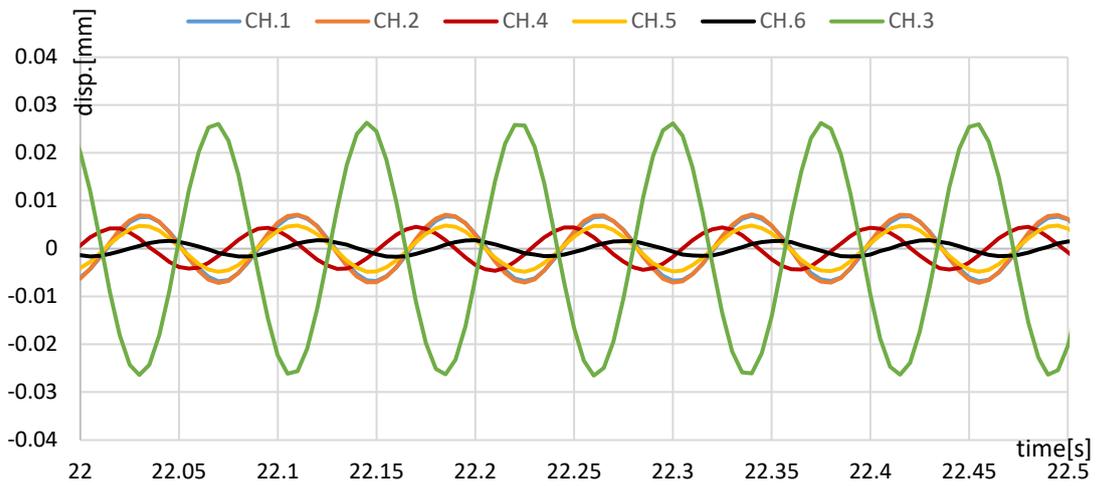


図 6.4.2.5-9 No.22 配置 6 13Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

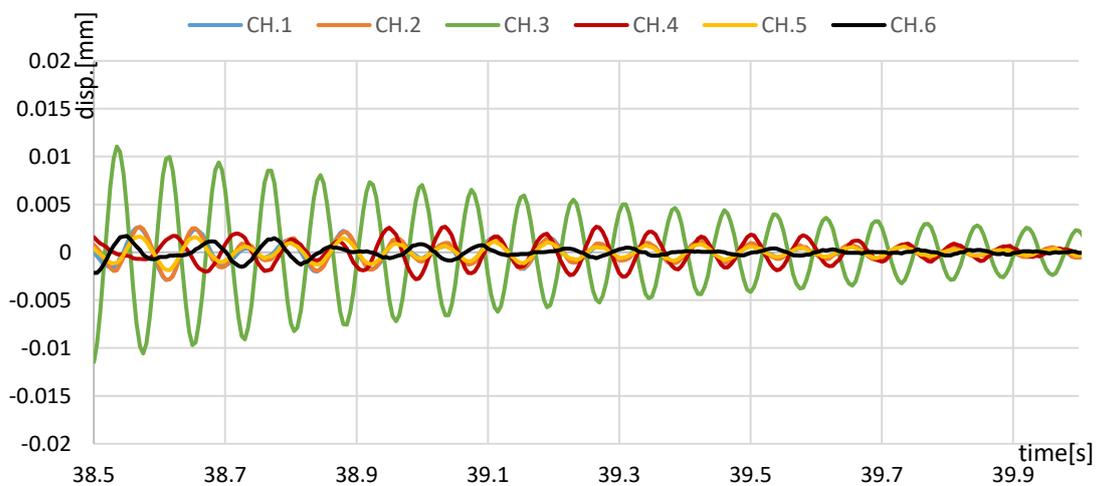


図 6.4.2.5-10 No.22 配置 6 13Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

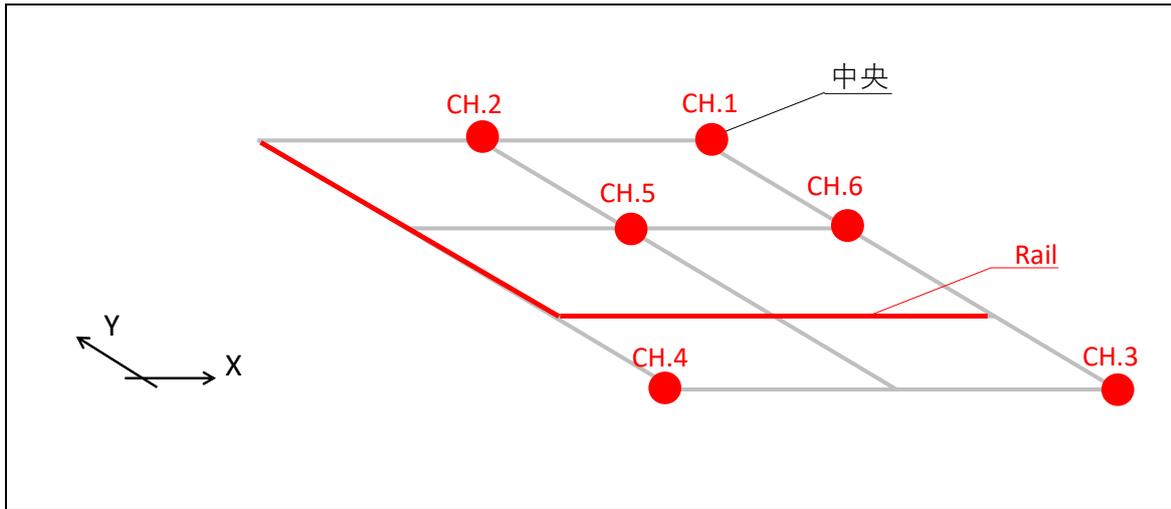


図 6.4.2.5-11 No.22 配置 6 計測点

表 6.4.2.5-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
 1次固有振動数とはことなり, CH.3 のみが大きく応答するモードが確認された。

表 6.4.2.5-2 No.22 配置 6 13Hz 各CHの最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0070 | 0.0073 | 0.0266 | 0.0046 | 0.0049 | 0.0018 |

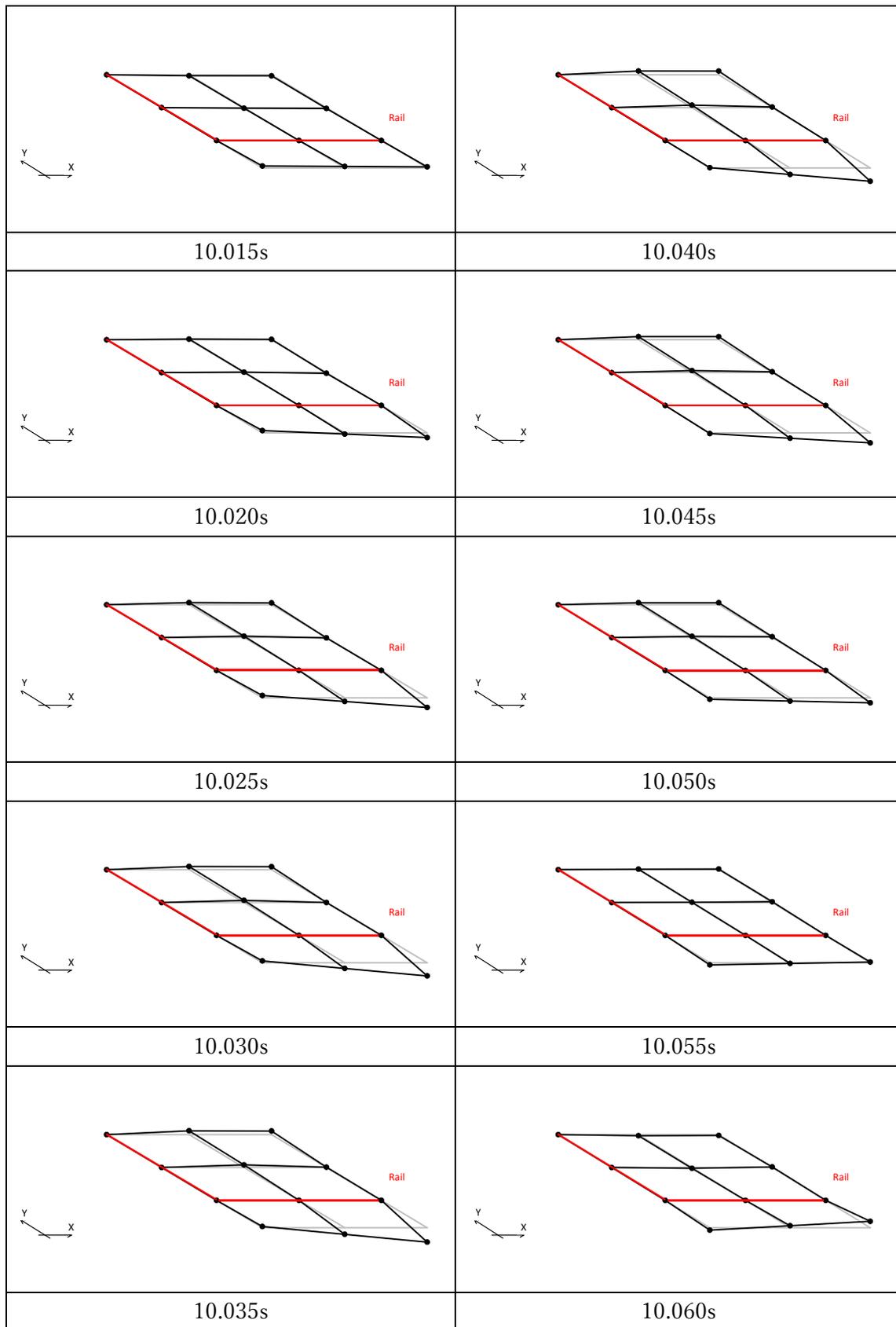


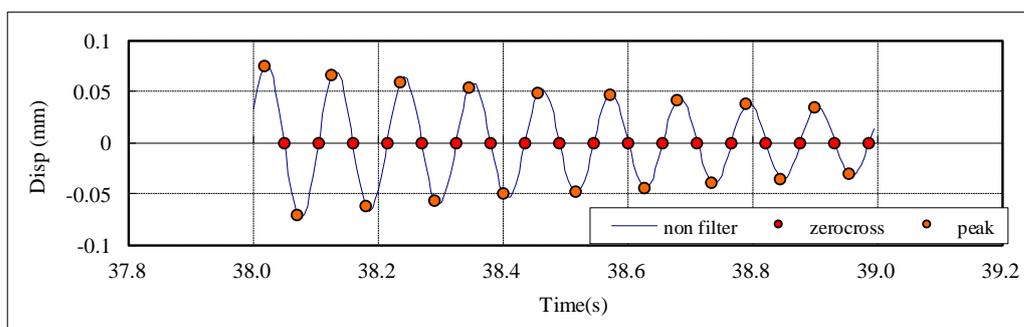
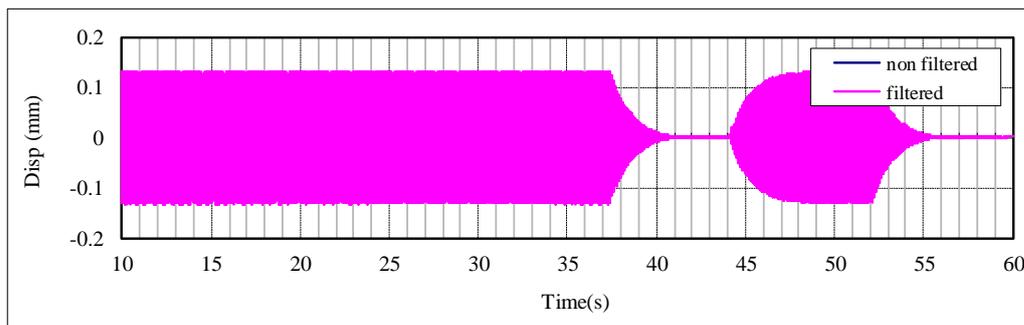
図 6.4.2.5-12 No.22 配置 6 13Hz 変形モード図 [200 倍に拡大]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された9Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出しの3点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 21 |
|-----|----|

GIR_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210916-21
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.11 | 9.04 | 0.074 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.59 | 1.58 | 1.60 |

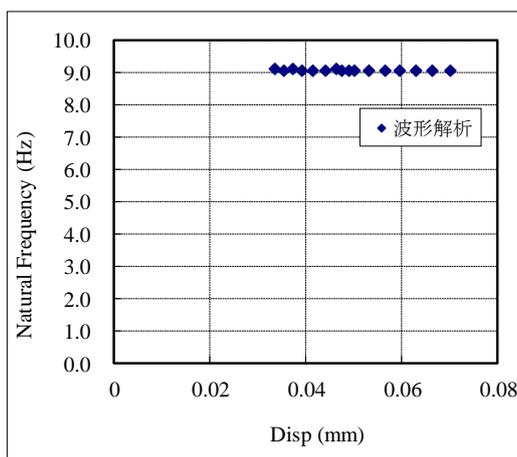
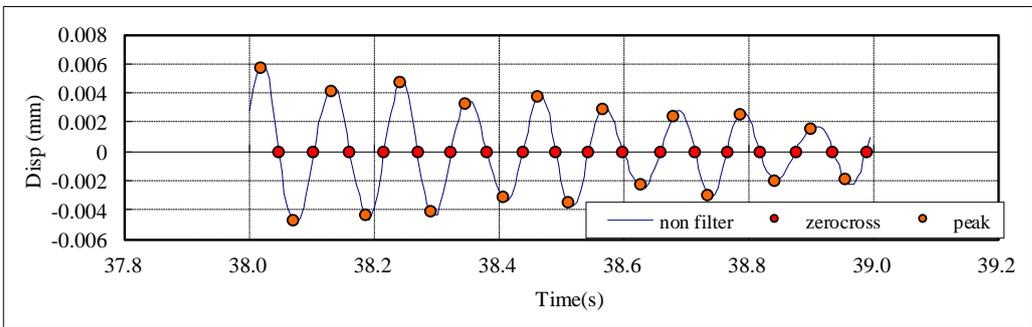
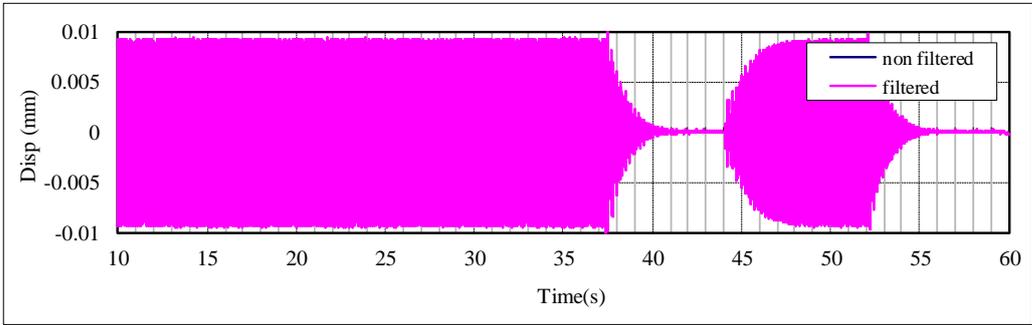


図 6.4.2.5-13 計測 No.21, 9Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 21 |
|-----|----|

GIR_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210916-21
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.11 | 9.01 | 0.006 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.50 | 3.06 | 2.31 |

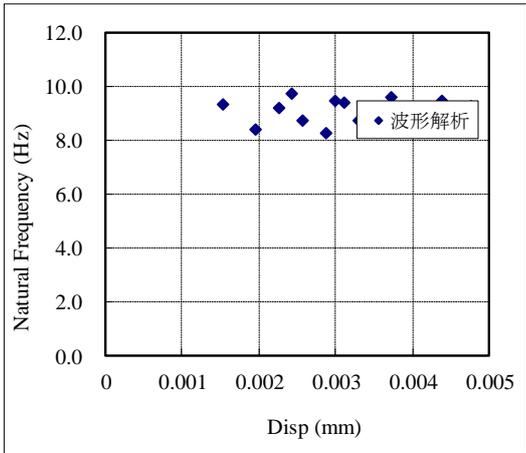
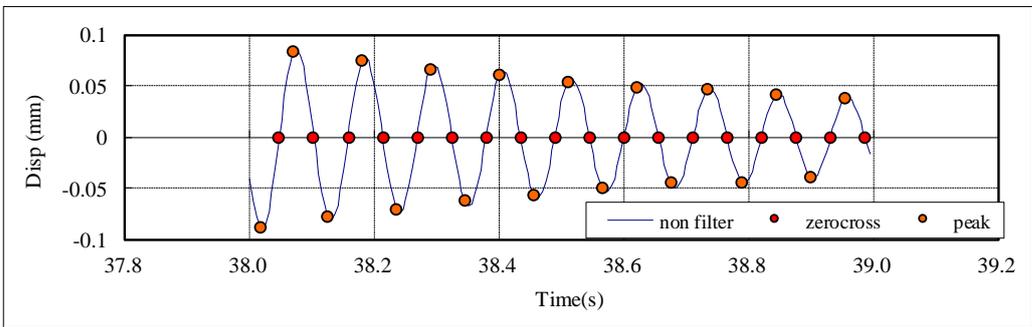
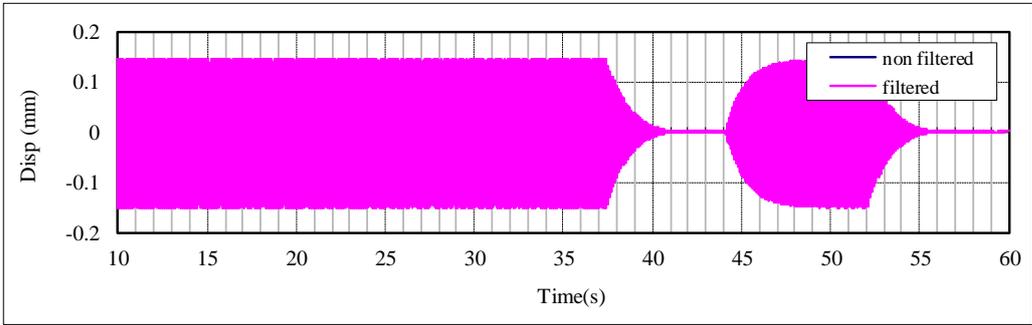


図 6.2.4.5-14 計測 No.21, 9Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 21 |
|-----|----|

GIR_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210916-21
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.11 | 9.04 | 0.088 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.63 | 1.63 | 1.63 |

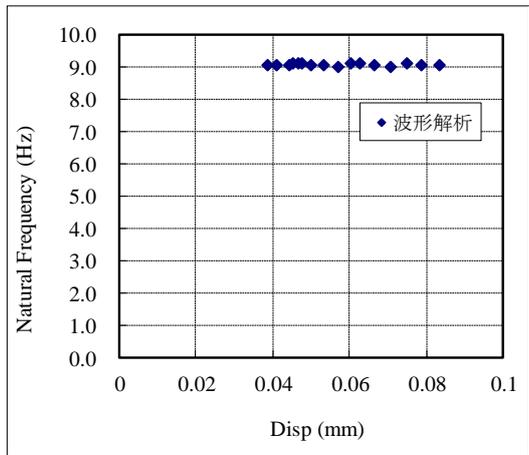


図 6.4.2.5-15 計測 No.21, 9Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 4 (計測 No.12) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

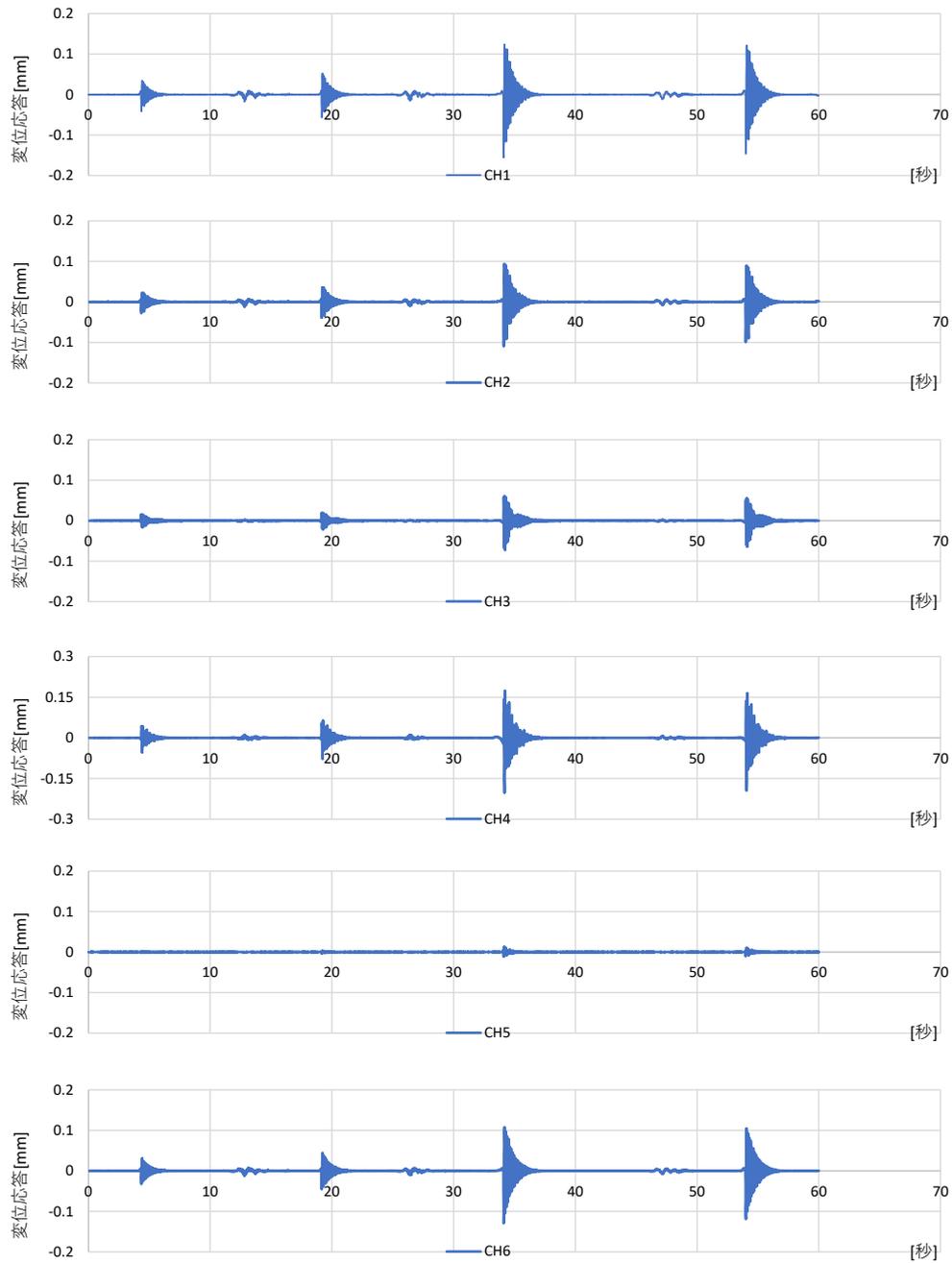


図 6.4.2.5-16 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

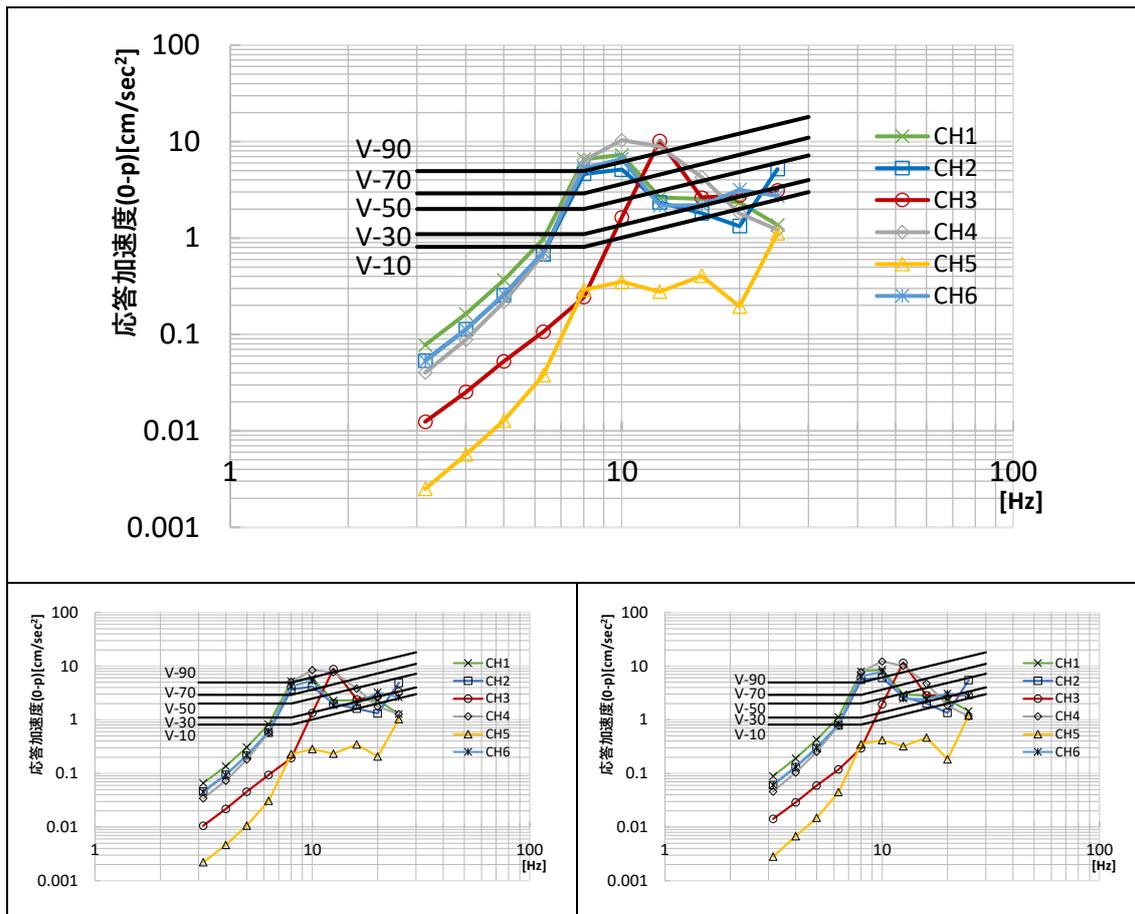


図 6.4.2.5-17 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.5-3 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.08 | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.05 |
| 4 | 0.16 | 0.11 | 0.03 | 0.09 | 0.01 | 0.11 |
| 5 | 0.37 | 0.26 | 0.05 | 0.22 | 0.01 | 0.26 |
| 6.3 | 0.97 | 0.68 | 0.11 | 0.68 | 0.04 | 0.71 |
| 8 | 6.55 | 4.62 | 0.24 | 6.41 | 0.29 | 5.30 |
| 10 | 7.27 | 5.12 | 1.64 | 10.32 | 0.35 | 6.62 |
| 12.5 | 2.63 | 2.33 | 10.17 | 8.87 | 0.28 | 2.17 |
| 16 | 2.56 | 1.81 | 2.62 | 4.27 | 0.41 | 2.19 |
| 20 | 2.35 | 1.33 | 2.77 | 1.80 | 0.19 | 3.16 |
| 25 | 1.36 | 5.18 | 3.13 | 1.22 | 1.11 | 2.72 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

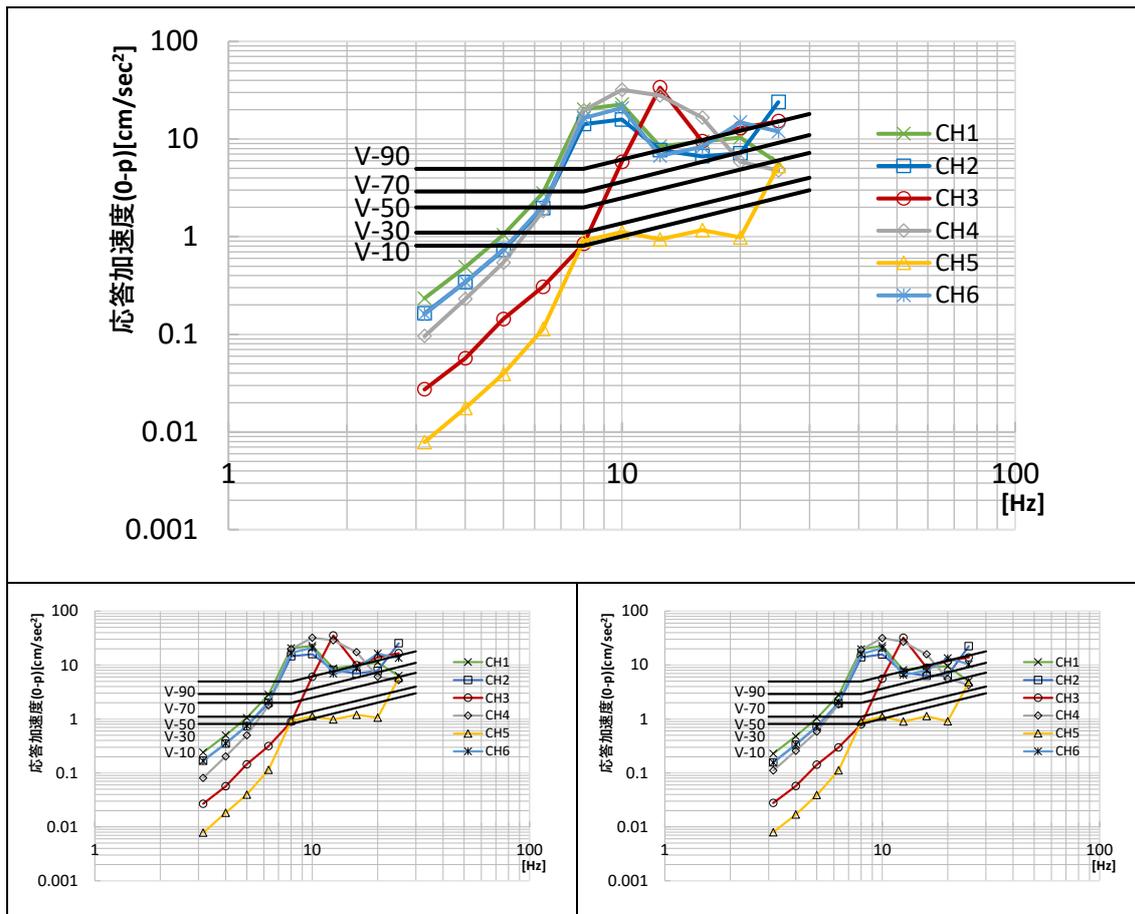


図 6.4.2.5-18 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.5-4 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Hz | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 3.15 | 0.23 | 0.16 | 0.03 | 0.10 | 0.01 | 0.16 |
| 4 | 0.49 | 0.34 | 0.06 | 0.23 | 0.02 | 0.34 |
| 5 | 1.04 | 0.73 | 0.14 | 0.54 | 0.04 | 0.74 |
| 6.3 | 2.80 | 1.96 | 0.31 | 1.83 | 0.11 | 2.06 |
| 8 | 20.16 | 14.23 | 0.84 | 19.56 | 0.91 | 16.37 |
| 10 | 22.65 | 15.87 | 5.82 | 31.95 | 1.12 | 20.78 |
| 12.5 | 8.40 | 7.69 | 33.75 | 27.90 | 0.94 | 6.74 |
| 16 | 9.42 | 6.66 | 9.47 | 16.56 | 1.17 | 8.29 |
| 20 | 10.33 | 7.15 | 12.93 | 5.83 | 0.98 | 14.85 |
| 25 | 5.67 | 23.89 | 15.22 | 4.75 | 5.28 | 11.90 |

(6) GIR 接合 CLT 3 枚・2 辺支持・強軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

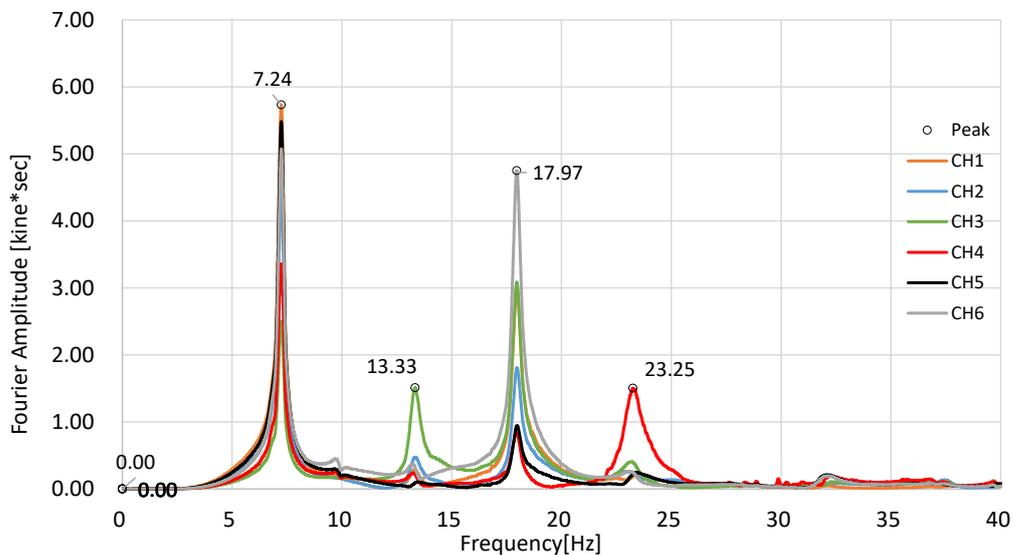


図 6.4.2.6-1 共振点探査の結果 (No.5, 配置 5) フーリエスペクトル

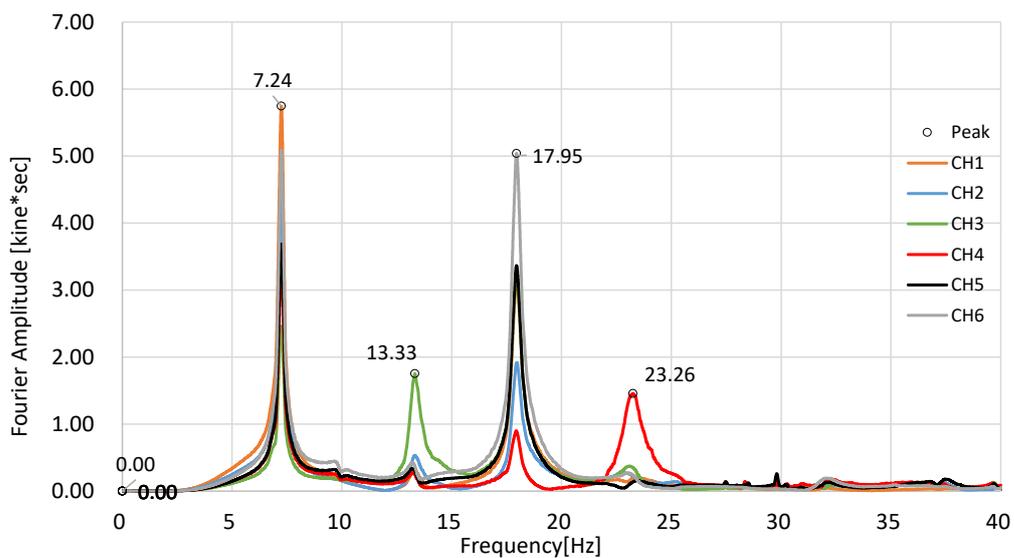


図 6.4.2.6-2 共振点探査の結果 (No.19, 配置 6) フーリエスペクトル

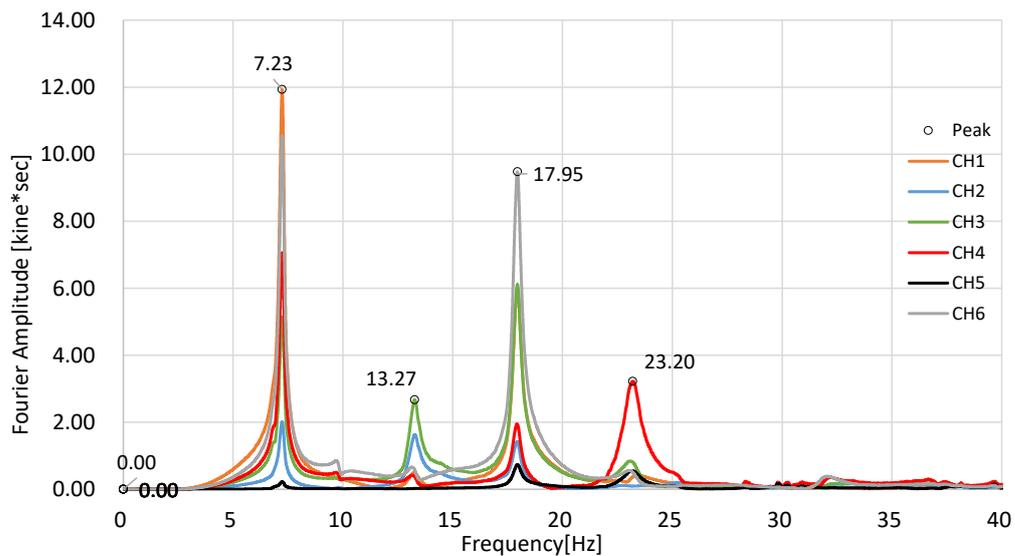


図 6.4.2.6-3 共振点探査の結果 (No.24, 配置 7) フーリエスペクトル

3枚での2辺強軸支持の結果を見ると、1次のピークは7.2Hz付近である。ほかに、手前のはね出しCH.3の小さなピークが13.3Hz付近、左中央の応答値の大きいピークとして約18Hz、左手前はね出し位置CH.4のピークとして23.2Hzなどが確認された。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7.5Hz での共振加振結果 (No.20, 配置 6)

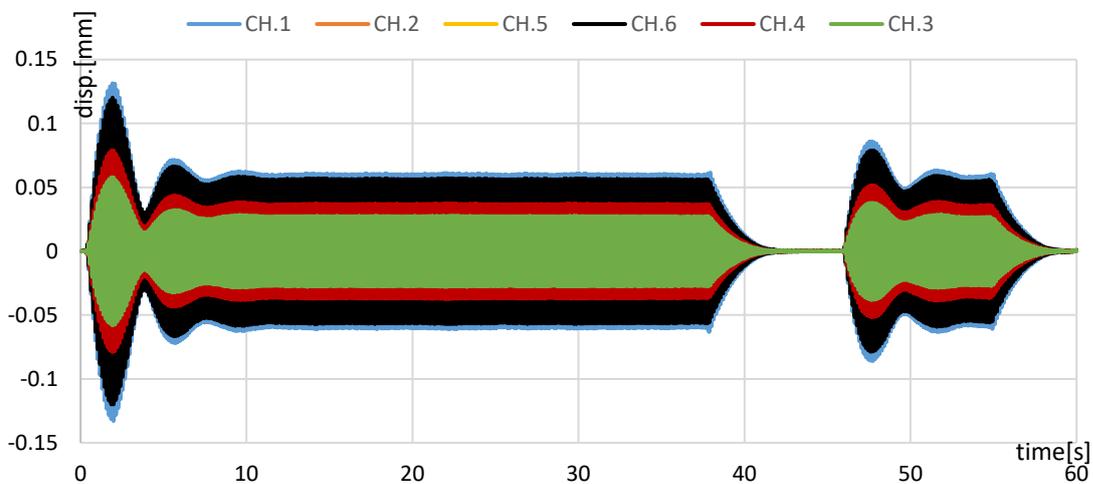


図 6.4.2.6-4 No. 20 配置 6 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

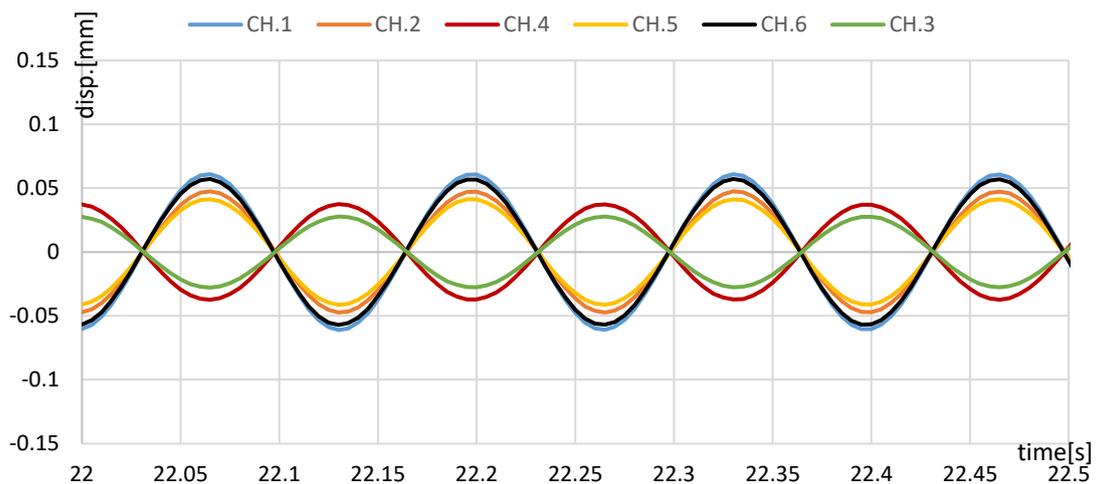


図 6.4.2.6-5 No.20 配置 6 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

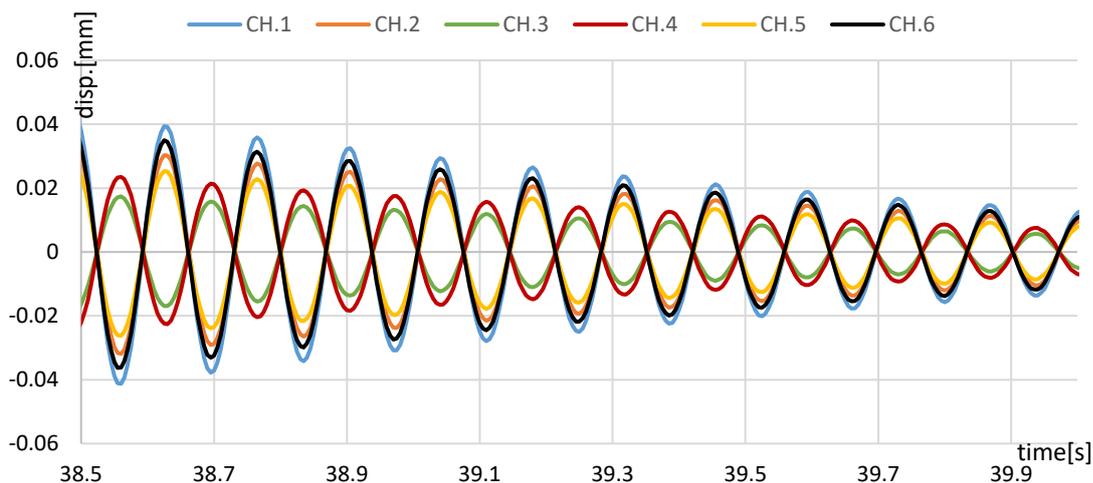


図 6.4.2.6-6 No.20 配置 6 7.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

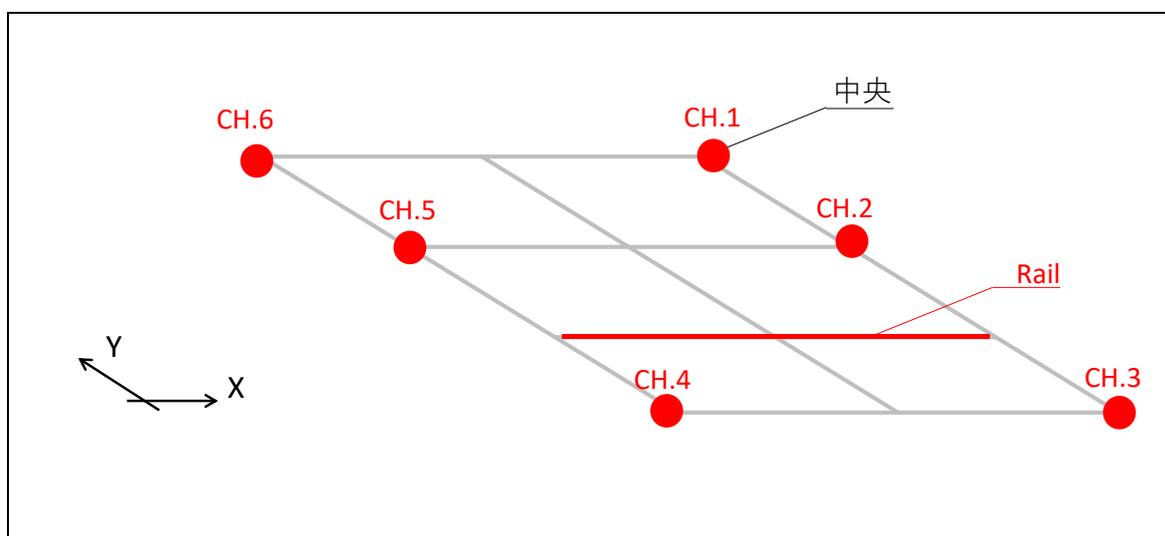


図 6.4.2.6-7 No.20 配置 6 計測点

表 6.4.2.6-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1 次固有振動数での定常状態での応答性状は、4 枚の場合と同様に、レールを境として内外が逆位相に揺れるモードが確認された。

表 6.4.2.6-1 No.20 配置 6 7.5Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0610 | 0.0474 | 0.0277 | 0.0374 | 0.0414 | 0.0571 |

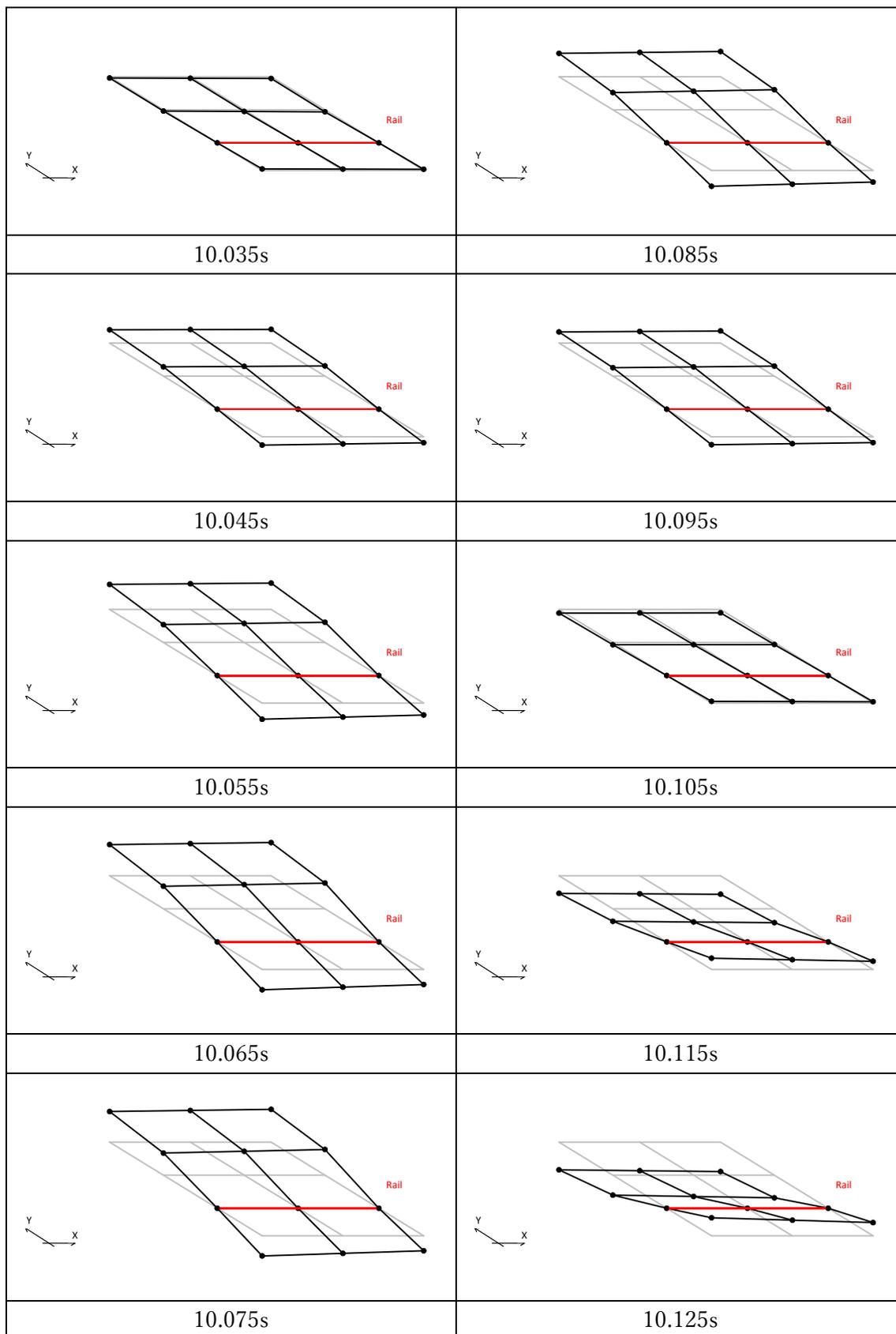


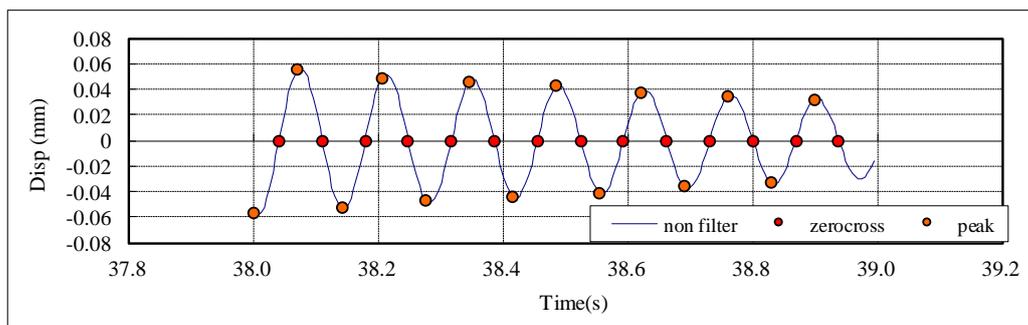
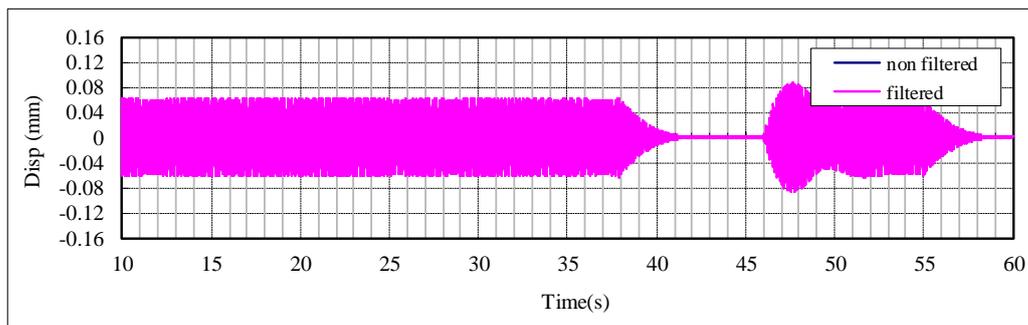
図 6.4.2.6-8 No.20 配置 6 7.5Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7.5Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出し、左中央の4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 20 |
|-----|----|

GIR_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210917-1_20
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.23 | 0.057 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.42 | 1.43 | 1.41 |

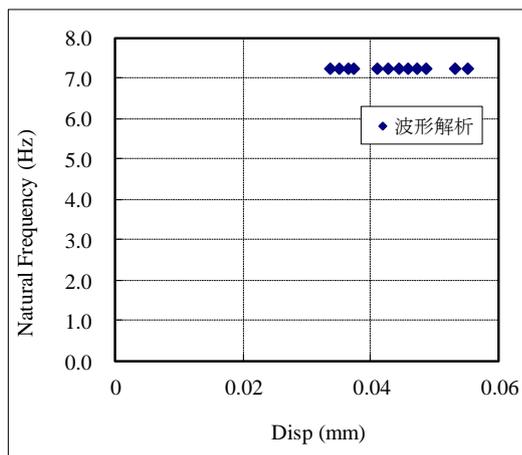
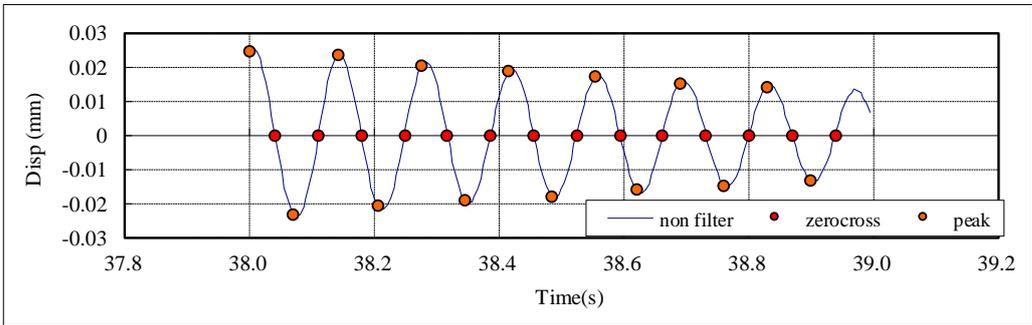
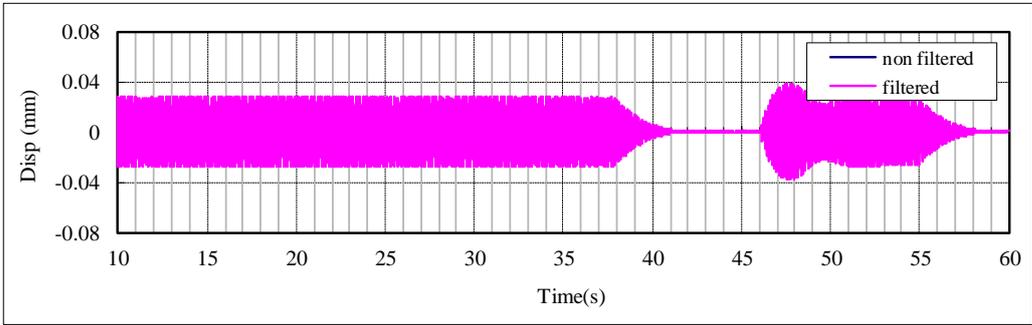


図 6.4.2.6-9 計測 No.20, 7.5Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 20 |
|-----|----|

GIR_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210917-1_20
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.23 | 0.025 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.48 | 1.47 | 1.50 |

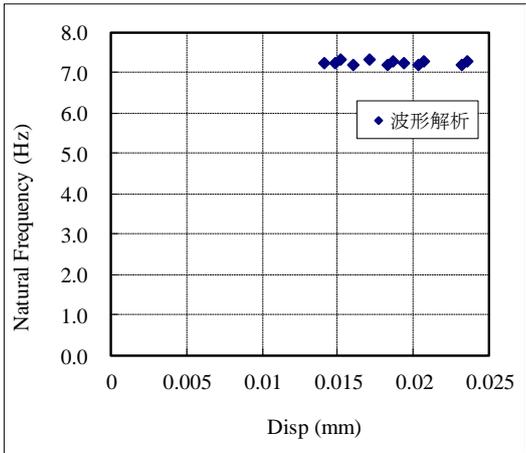
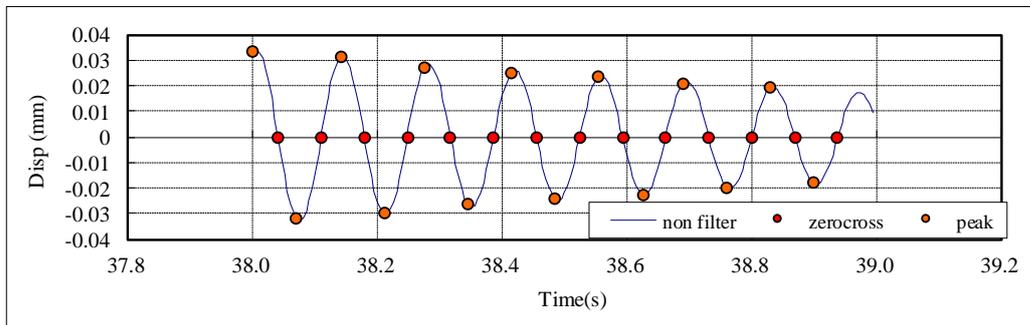
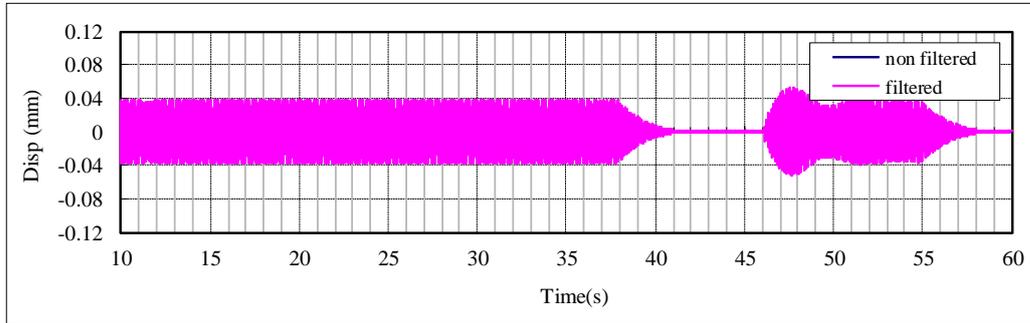


図 6.4.2-6-10 計測 No.20, 7.5Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 20 |
|-----|----|

GIR_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210917-1_20
CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.23 | 0.033 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.48 | 1.47 | 1.50 |

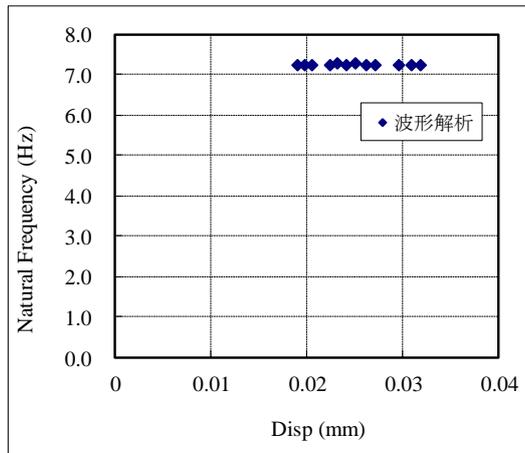
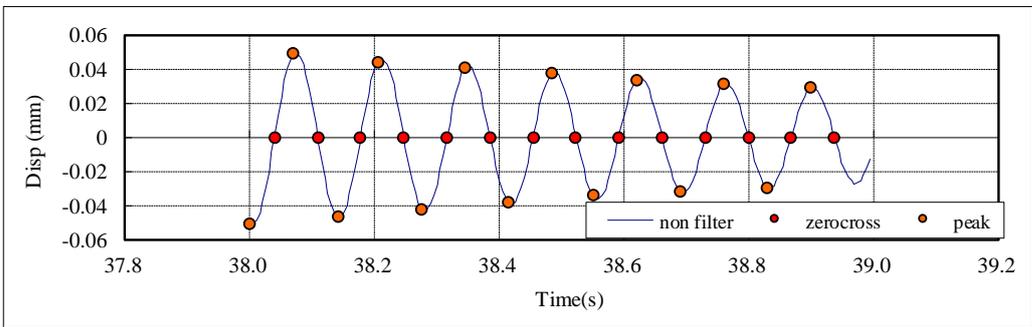
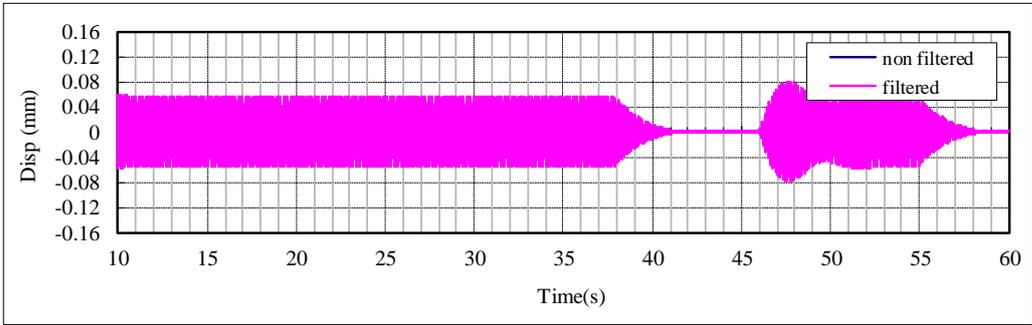


図 6.4.2.6-11 計測 No.20, 7.5Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 20 |
|-----|----|

GIR_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210917-1_20
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.23 | 0.051 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.43 | 1.43 | 1.43 |

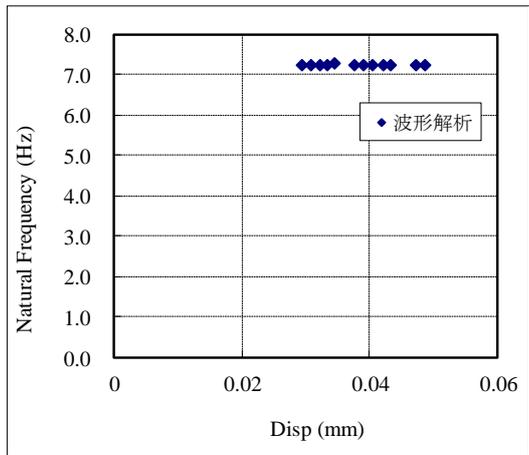


図 6.4.2.6-12 計測 No.20, 7.5Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 5 (計測 No.11,12) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3..5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

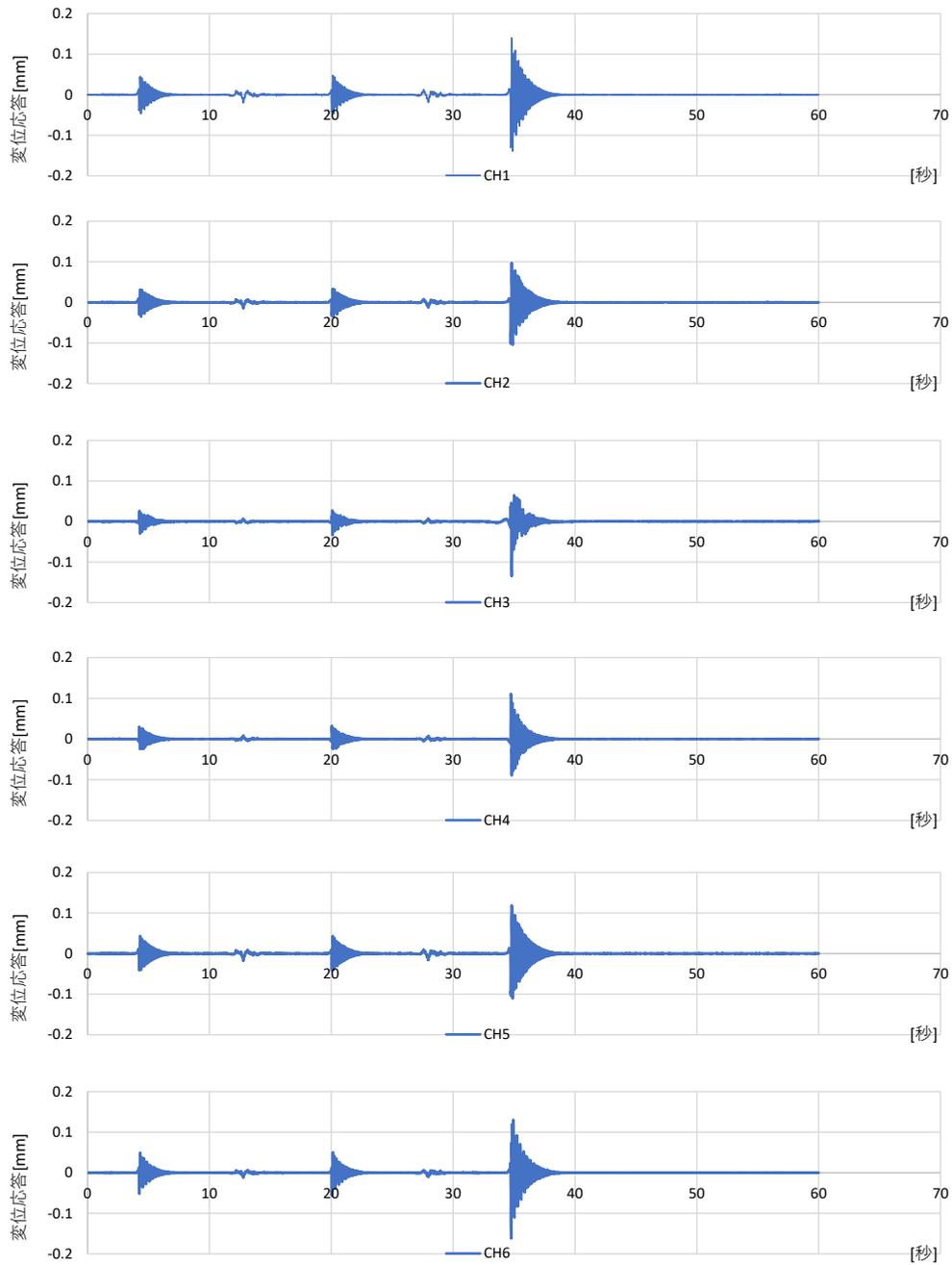


図 6.4.2.6-13 衝撃加振に対する時刻歴応答波形 [計測 No.11]

① 5kg 砂袋 5cm の結果 [計測 No.11 より]

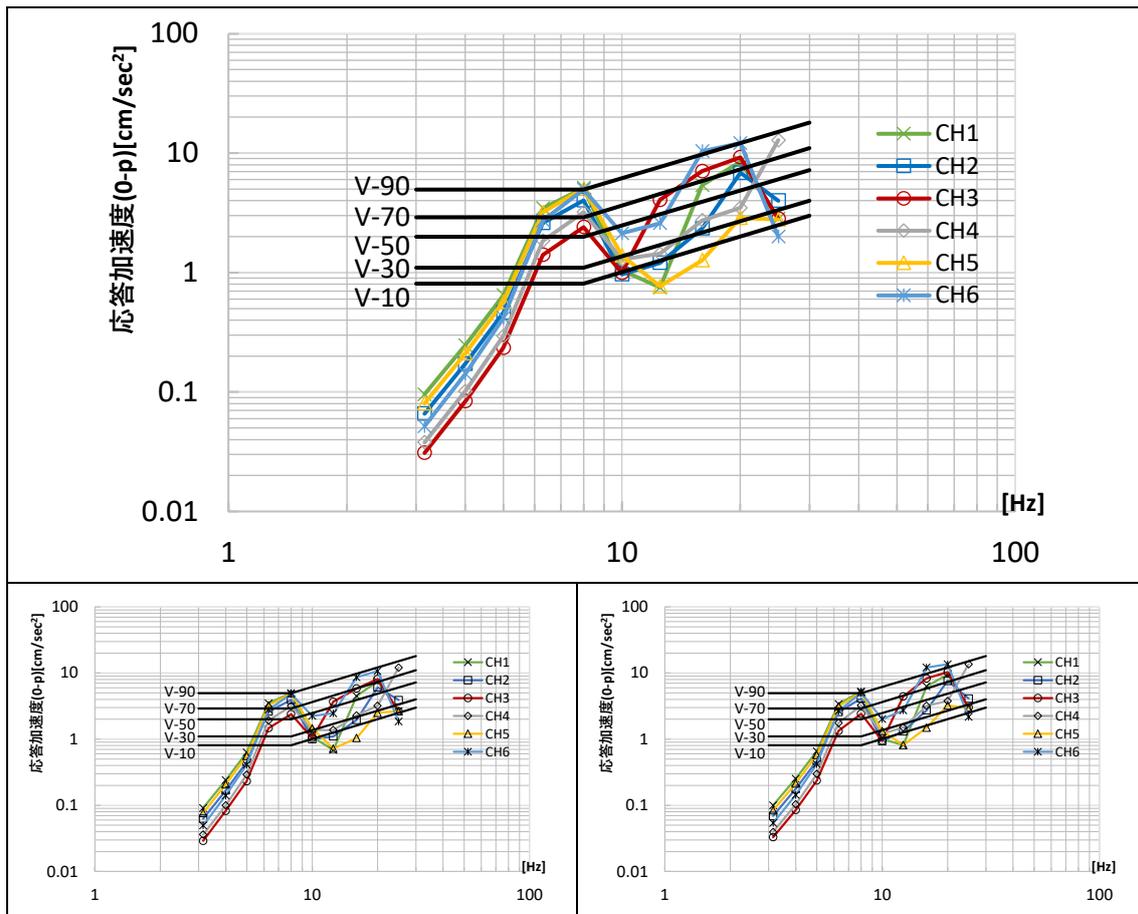


図 6.4.2.6-14 5kg 砂袋 5cm 平均値 (上段) および各回結果

表 6.4.2.6-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値 (平均値)

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.10 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.05 |
| 4 | 0.25 | 0.17 | 0.08 | 0.10 | 0.21 | 0.14 |
| 5 | 0.64 | 0.46 | 0.23 | 0.29 | 0.57 | 0.42 |
| 6.3 | 3.45 | 2.60 | 1.41 | 1.84 | 3.19 | 2.73 |
| 8 | 5.12 | 4.03 | 2.41 | 3.21 | 5.03 | 4.96 |
| 10 | 1.04 | 0.97 | 0.99 | 1.29 | 1.39 | 2.13 |
| 12.5 | 0.75 | 1.21 | 4.06 | 1.44 | 0.77 | 2.59 |
| 16 | 5.39 | 2.35 | 7.06 | 2.74 | 1.27 | 10.37 |
| 20 | 8.47 | 6.86 | 9.22 | 3.49 | 2.87 | 12.12 |
| 25 | 2.82 | 4.01 | 2.83 | 12.81 | 2.78 | 2.01 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果 [計測 No.12 より]

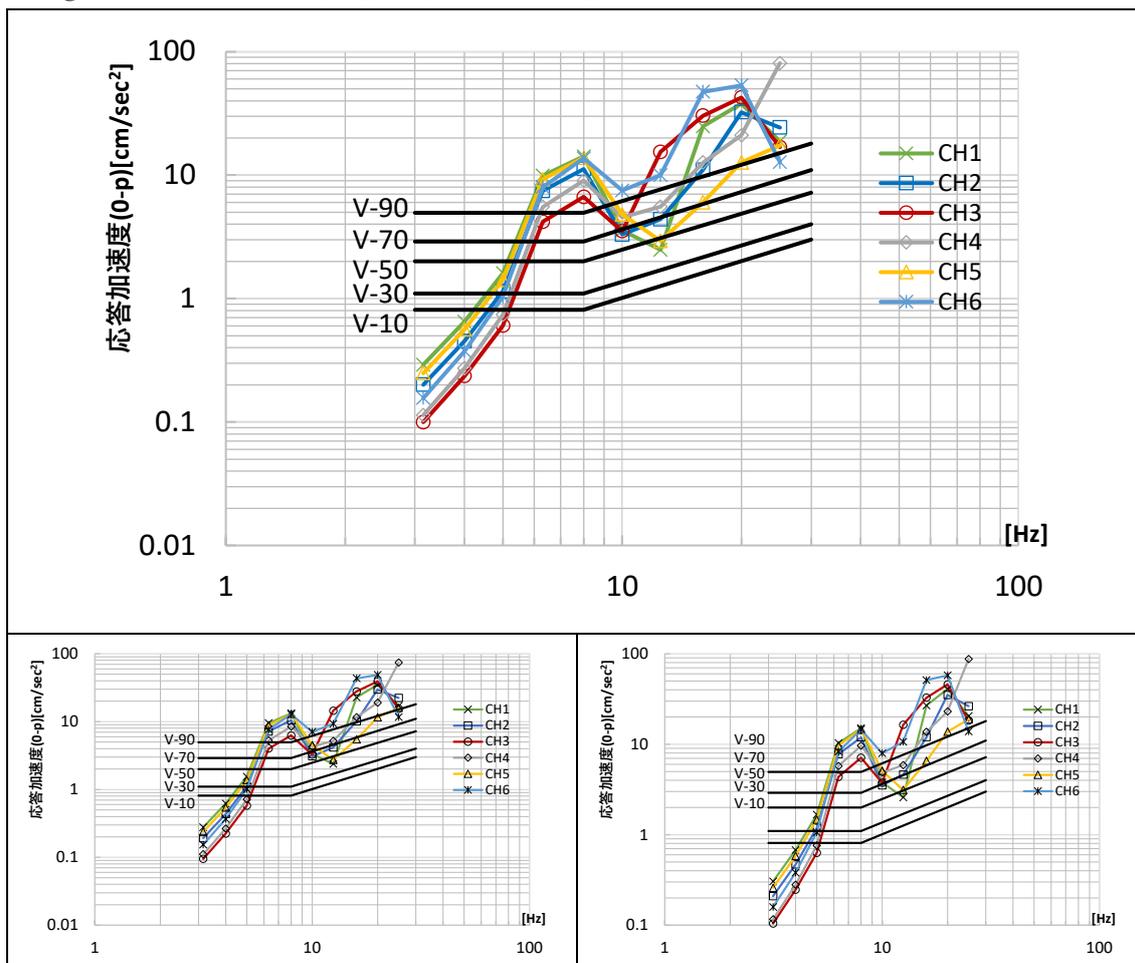


図 6.4.2.6-15 5kg 砂袋 30cm 平均値 (上段) および各回結果

図 6.4.2.6-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値 (平均値)

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.29 | 0.20 | 0.10 | 0.11 | 0.25 | 0.16 |
| 4 | 0.65 | 0.45 | 0.24 | 0.27 | 0.56 | 0.37 |
| 5 | 1.60 | 1.15 | 0.60 | 0.74 | 1.42 | 1.03 |
| 6.3 | 9.91 | 7.47 | 4.19 | 5.51 | 9.24 | 7.98 |
| 8 | 14.16 | 11.22 | 6.66 | 9.03 | 13.84 | 13.69 |
| 10 | 3.56 | 3.30 | 3.51 | 4.57 | 4.80 | 7.50 |
| 12.5 | 2.48 | 4.39 | 15.40 | 5.53 | 2.93 | 9.97 |
| 16 | 24.78 | 11.04 | 30.25 | 12.64 | 6.02 | 47.29 |
| 20 | 37.81 | 32.32 | 42.47 | 21.02 | 12.66 | 53.26 |
| 25 | 18.77 | 24.33 | 16.87 | 80.66 | 17.42 | 12.76 |

(7) GIR 接合 CLT 3 枚・2 辺支持・弱軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

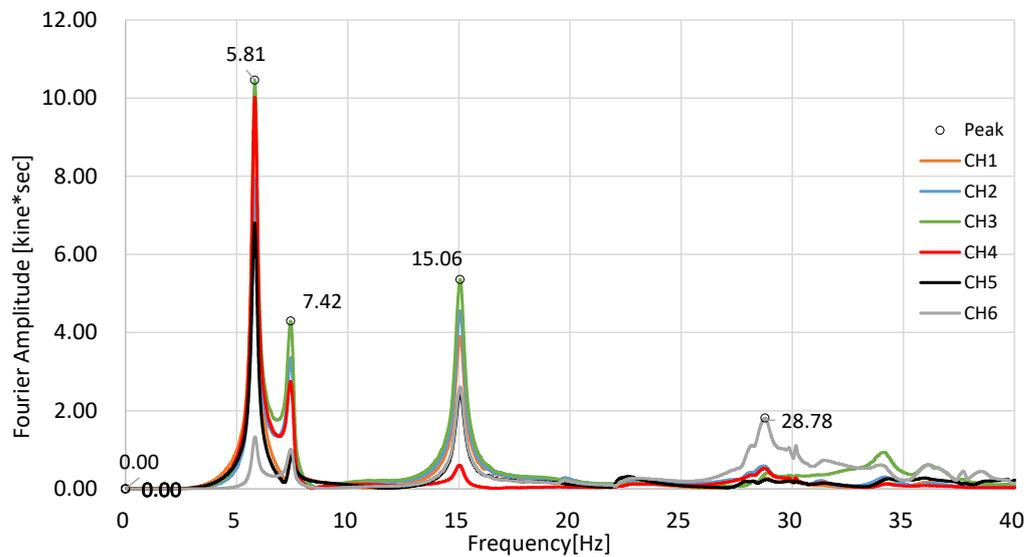


図 6.4.2.7-1 共振点探査の結果 (No.8, 配置 6) フーリエスペクトル

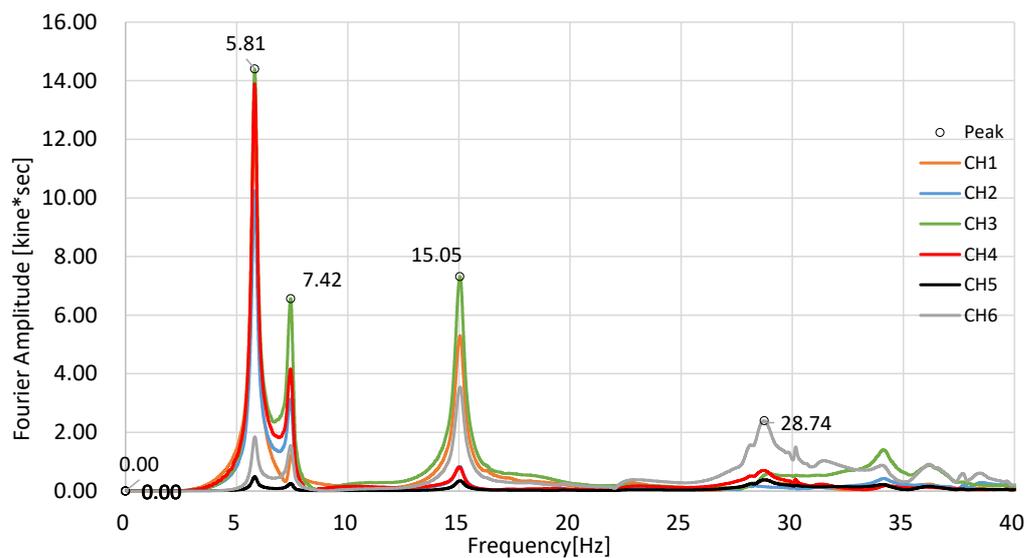


図 6.4.2.7-2 共振点探査の結果 (No.23, 配置 7) フーリエスペクトル

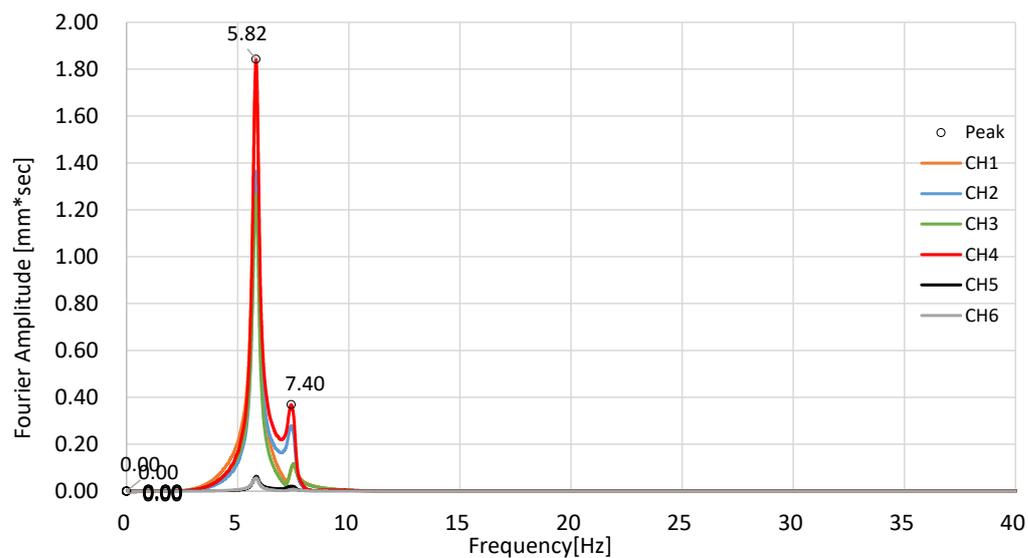


図 6.4.2.7-3 共振点探査の結果 (No.39, 配置 8, [変位計測]) フーリエスペクトル

2 辺支持弱軸の結果を確認すると，中央縦の CH1, 3, 4 などの応答の大きい 1 次固有振動数 5.8Hz, 手前のはね出しの応答値の大きい 7.4Hz, 15Hz などが確認された。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 6Hz での共振加振結果 (No.9, 配置 6)

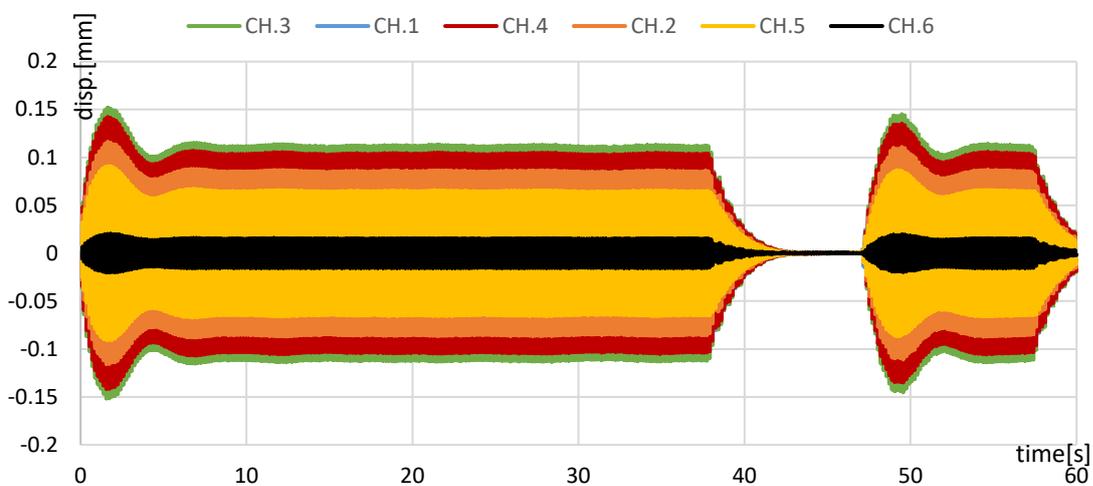


図 6.4.2.7-4 No.9 配置 6 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

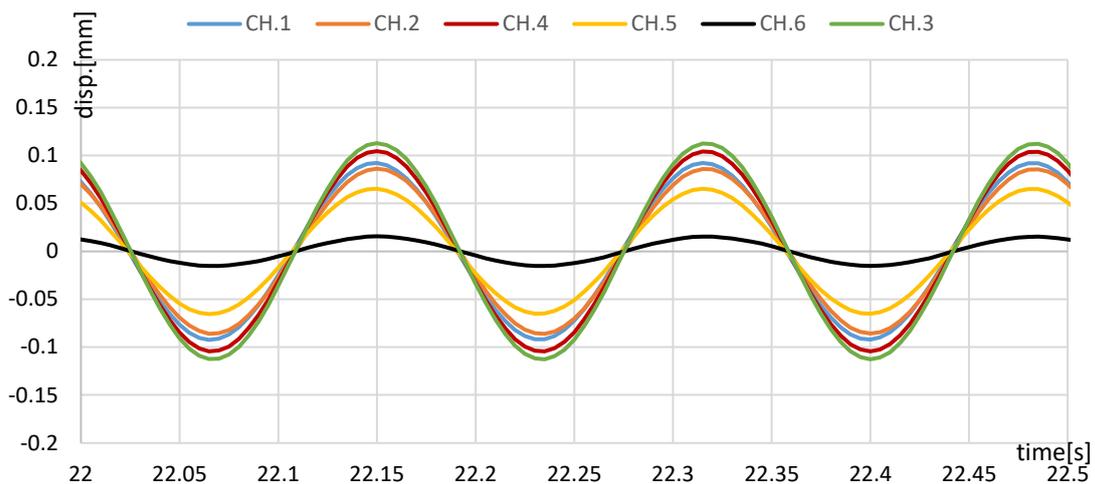


図 6.4.2.7-5 No.9 配置 6 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

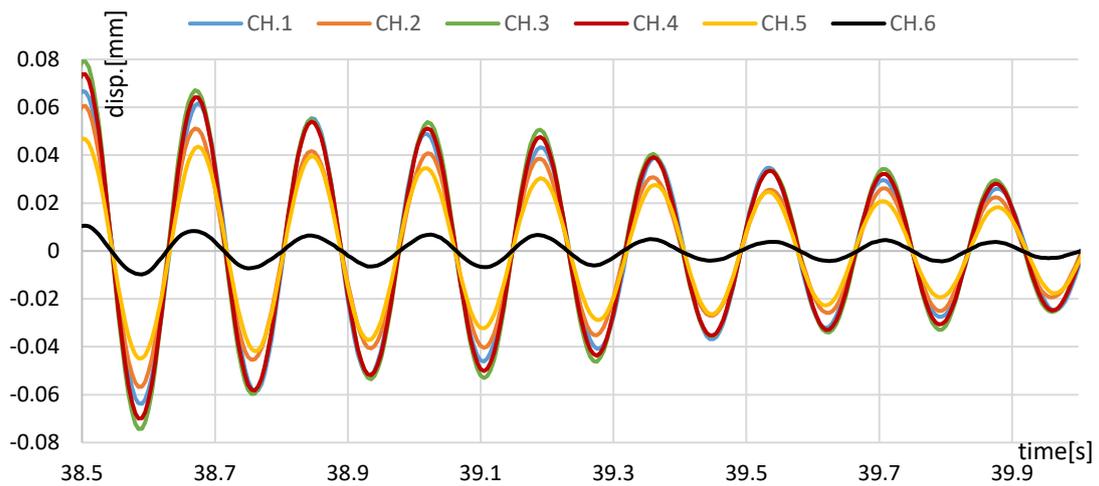


図 6.4.2.7-6 No.9 配置 6 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

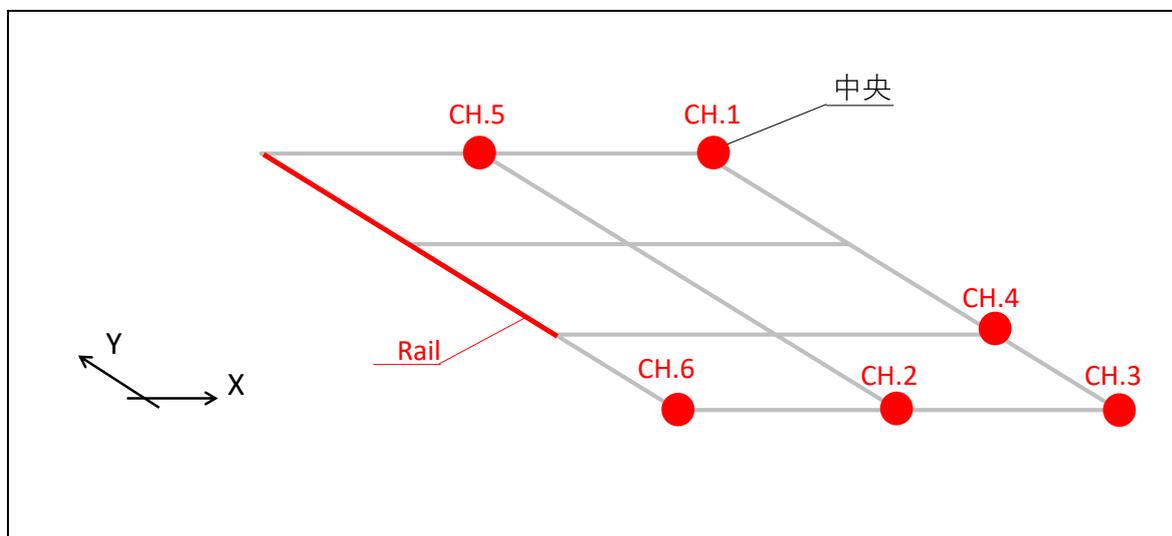


図 6.4.2.7-7 No.9 配置 6 計測点

表 6.4.2.7-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1次固有振動数では、レールを中心として、中央が大きく揺れるモードとなっており、全計測点がおおむね同じ位相で変形していることが確認された。

表 6.4.2.7-1 No.9 配置 6 6Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0927 | 0.0865 | 0.1133 | 0.1049 | 0.0656 | 0.0156 |

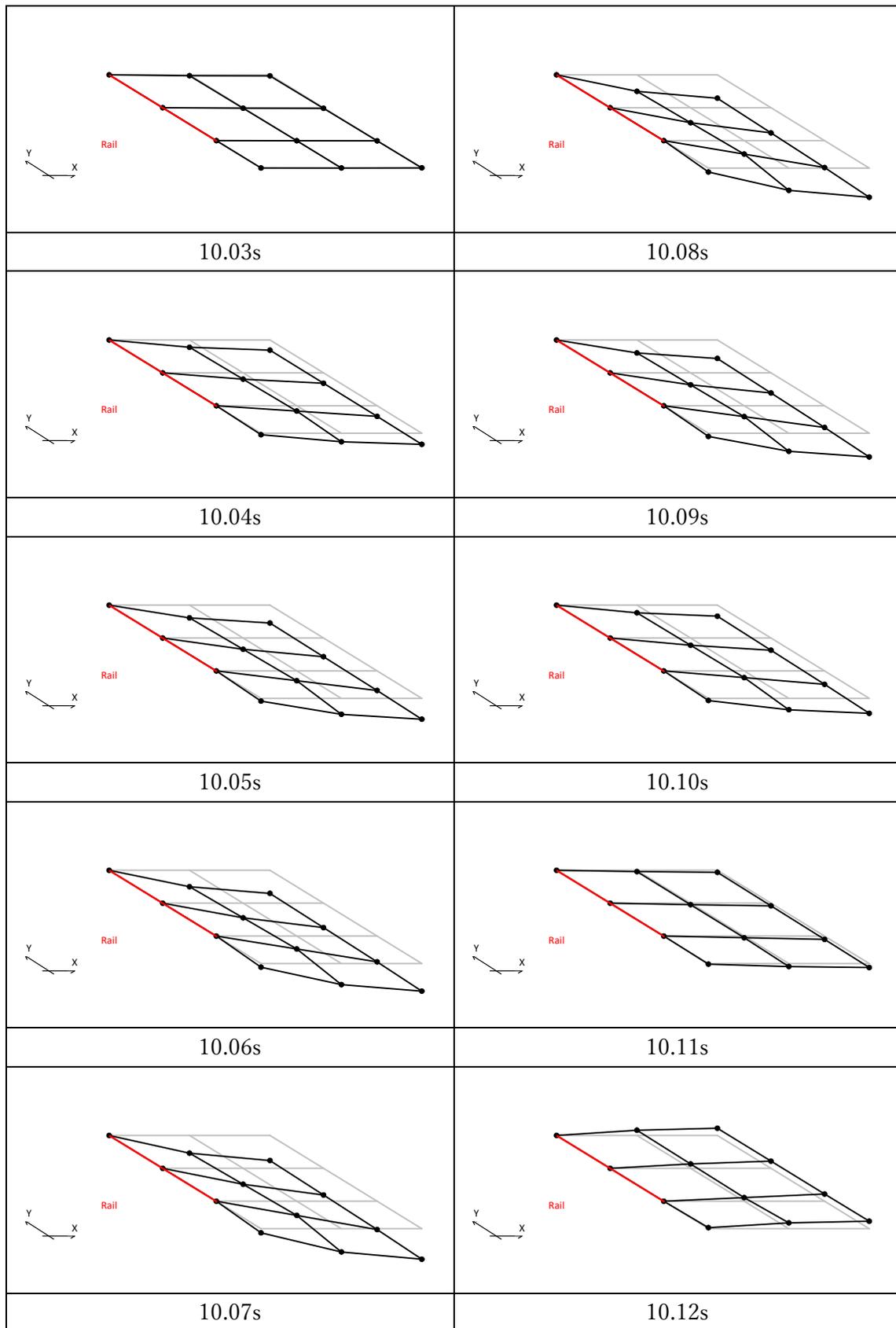


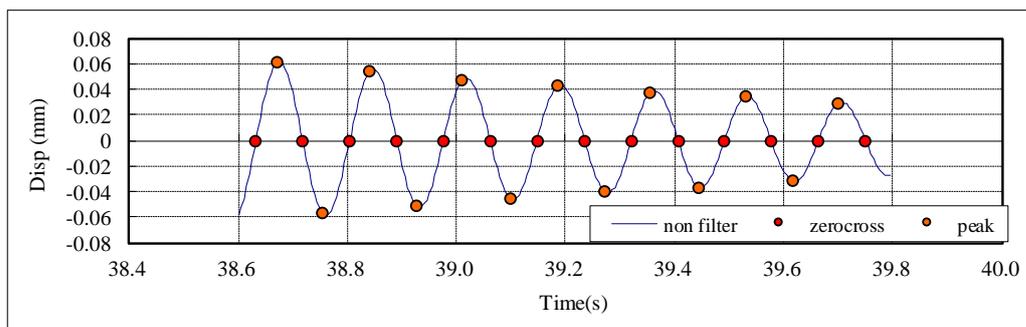
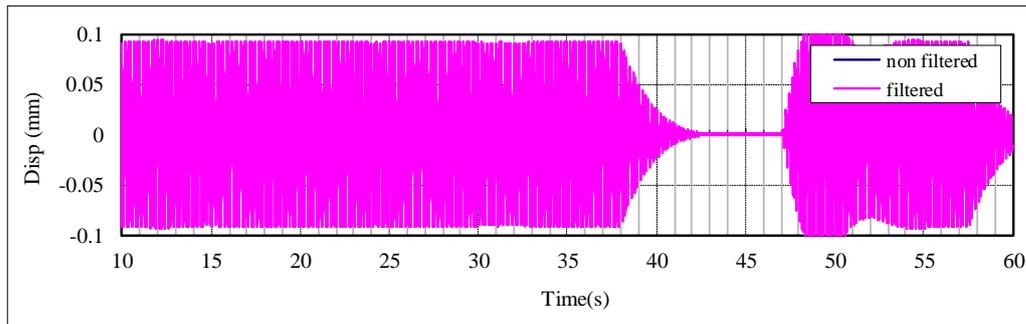
図 6.4.2.7-8 No.9 配置 6 6Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された6Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出しの3点における結果を示す。

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210917-2_09
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.82 | 0.061 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.91 | 1.97 | 1.85 |

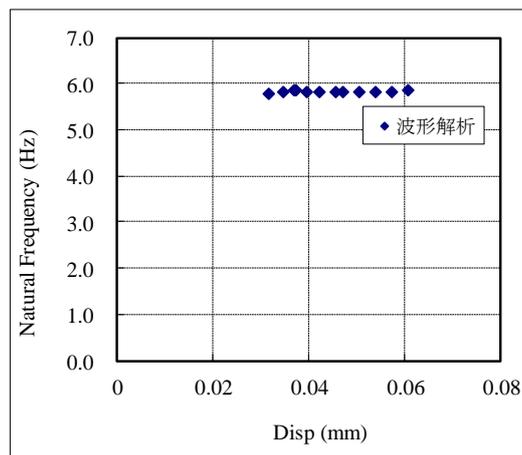
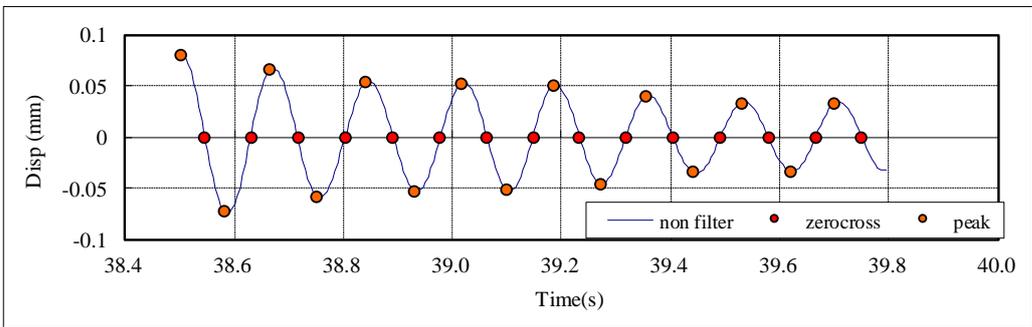
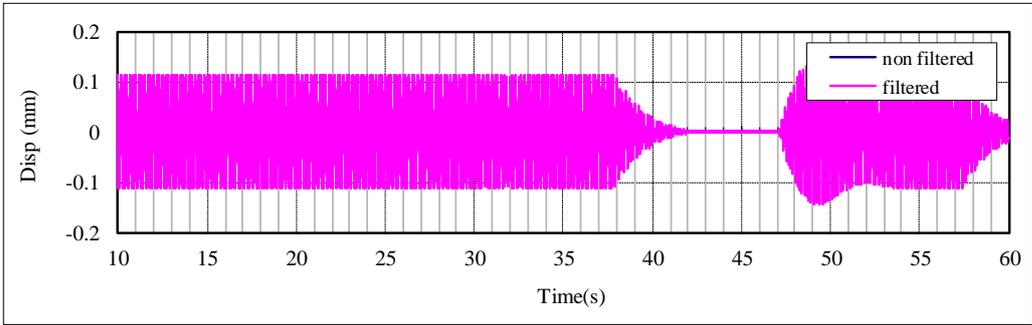


図 6.4.2.7-9 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210917-2_09
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.81 | 0.079 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.21 | 2.05 | 2.08 |

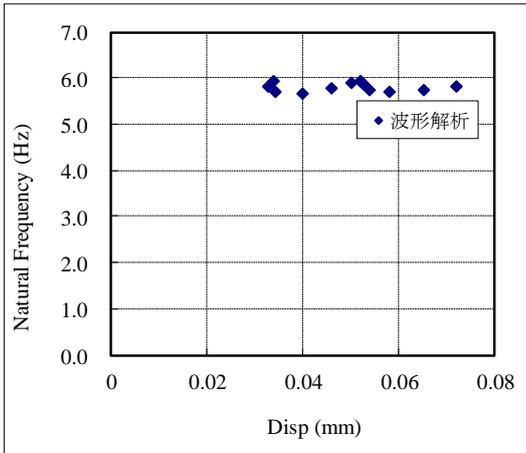
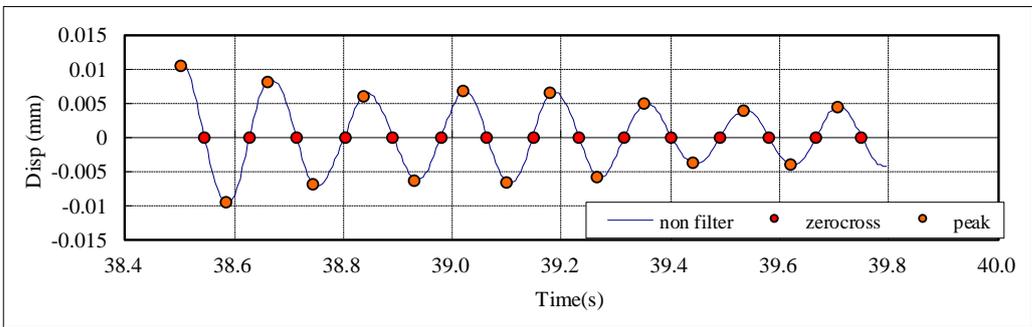
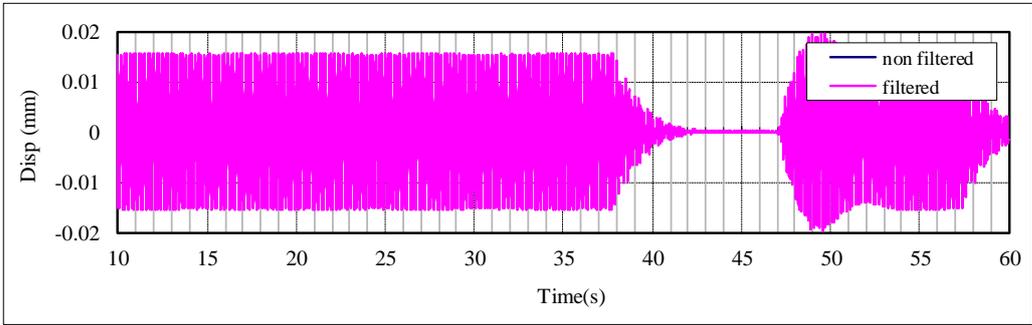


図 6.4.2.7-10 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 9 |
|-----|---|

GIR_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210917-2_09
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.17 | 5.81 | 0.010 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.69 | 2.24 | 2.56 |

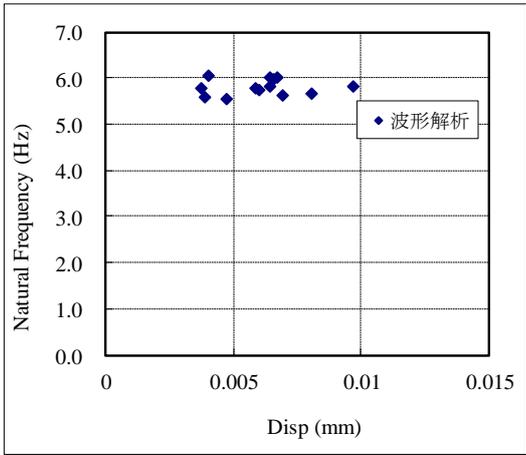


図 6.4.2.7-11 計測 No.9, 6Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 6 (計測 No.15,16) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、2.4.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

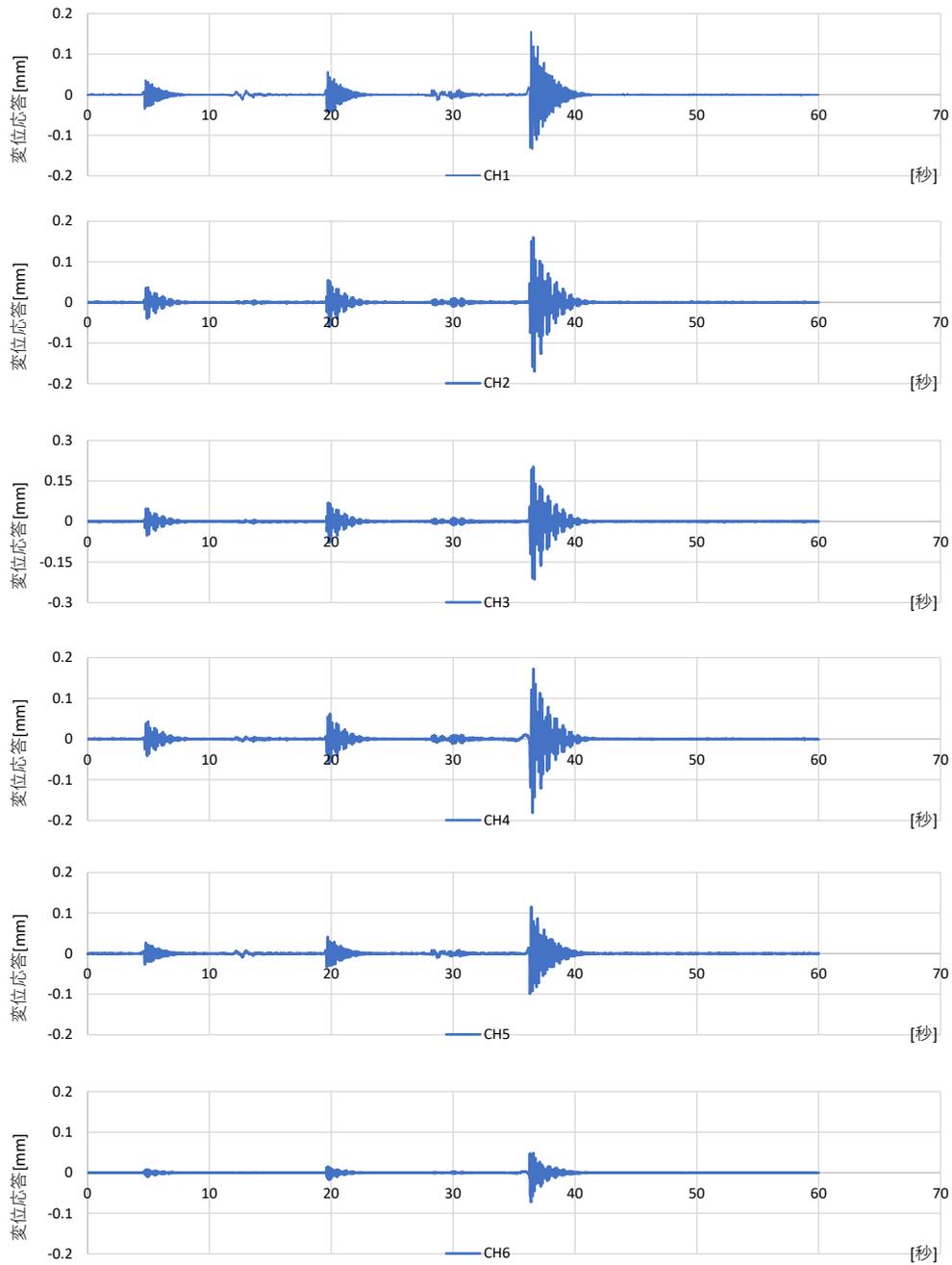


図 6.4.2.7-12 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

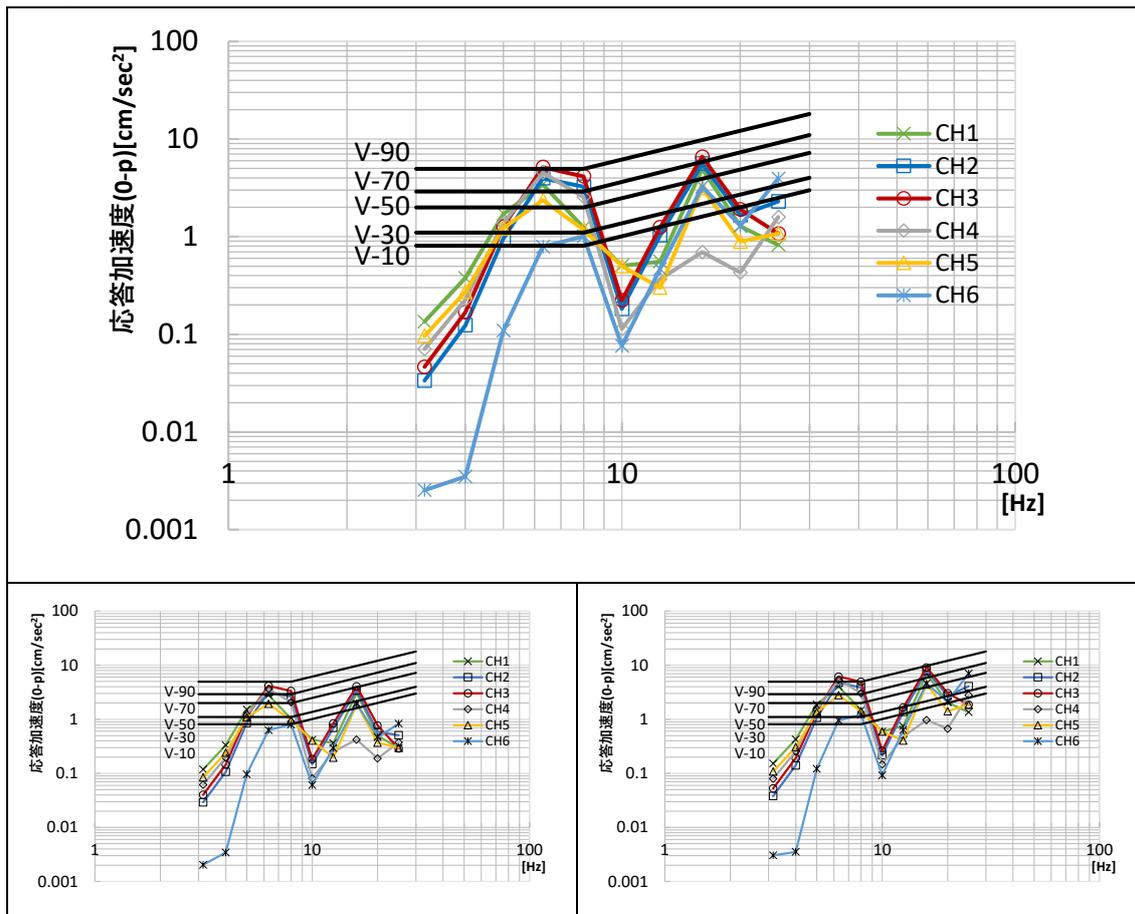


図 6.4.2.7-13 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.7-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.14 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.10 | 0.00 |
| 4 | 0.38 | 0.12 | 0.17 | 0.23 | 0.27 | 0.00 |
| 5 | 1.70 | 0.96 | 1.27 | 1.37 | 1.22 | 0.11 |
| 6.3 | 3.43 | 3.95 | 5.16 | 4.53 | 2.37 | 0.79 |
| 8 | 1.25 | 3.25 | 4.14 | 2.54 | 1.18 | 1.01 |
| 10 | 0.51 | 0.18 | 0.22 | 0.11 | 0.50 | 0.08 |
| 12.5 | 0.56 | 1.03 | 1.24 | 0.37 | 0.30 | 0.47 |
| 16 | 4.97 | 5.60 | 6.59 | 0.69 | 3.15 | 3.26 |
| 20 | 1.28 | 1.65 | 1.90 | 0.43 | 0.89 | 1.30 |
| 25 | 0.82 | 2.30 | 1.07 | 1.59 | 1.08 | 3.94 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

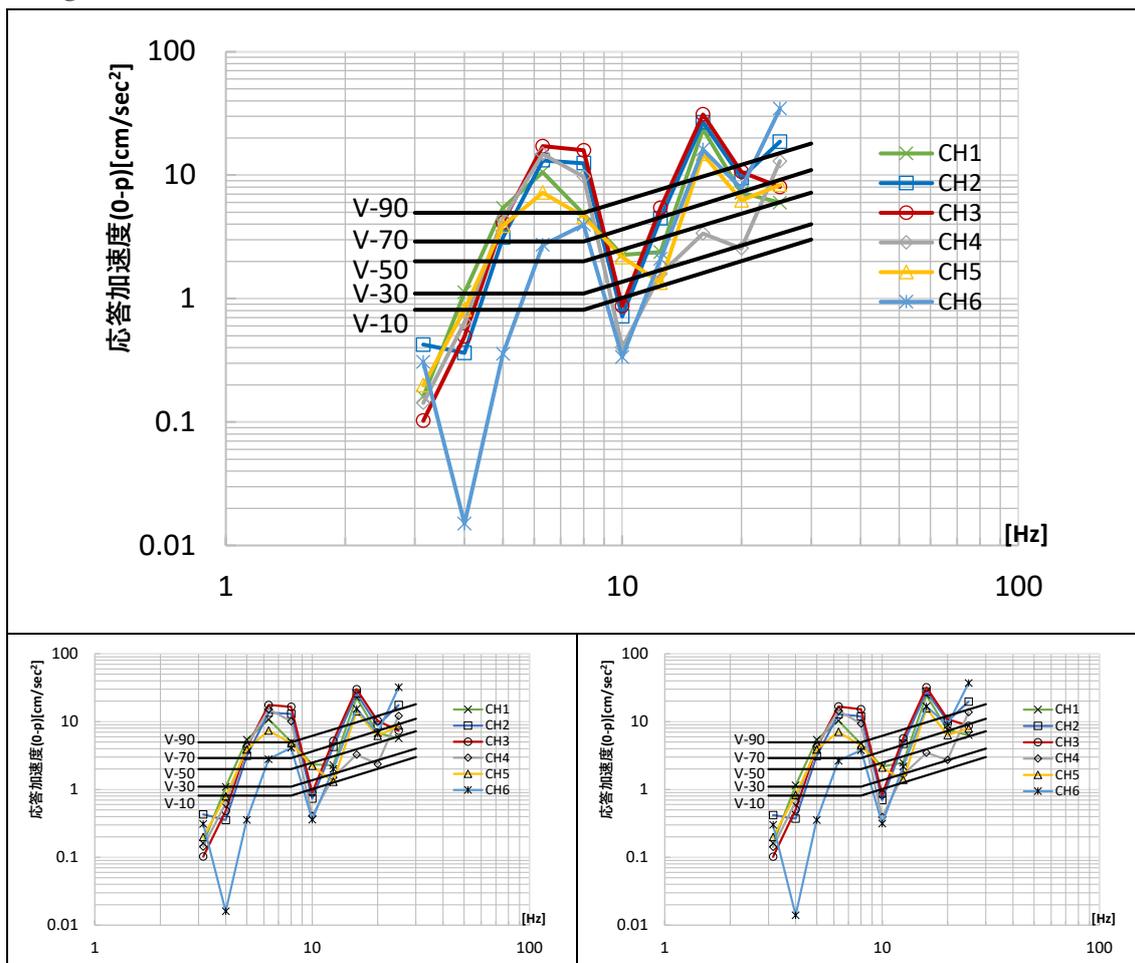


図 6.4.2.7-14 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.7-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.16 | 0.42 | 0.10 | 0.14 | 0.20 | 0.31 |
| 4 | 1.12 | 0.36 | 0.49 | 0.64 | 0.81 | 0.02 |
| 5 | 5.40 | 3.12 | 4.14 | 4.41 | 3.88 | 0.36 |
| 6.3 | 10.56 | 13.18 | 17.17 | 14.83 | 7.22 | 2.72 |
| 8 | 4.85 | 12.48 | 15.86 | 9.72 | 4.60 | 3.96 |
| 10 | 2.25 | 0.72 | 0.87 | 0.40 | 2.17 | 0.34 |
| 12.5 | 2.38 | 4.47 | 5.42 | 1.58 | 1.34 | 2.09 |
| 16 | 23.53 | 26.83 | 31.06 | 3.37 | 14.84 | 16.09 |
| 20 | 7.19 | 9.47 | 10.61 | 2.55 | 6.24 | 7.81 |
| 25 | 5.98 | 18.63 | 8.00 | 12.97 | 8.33 | 34.50 |

(8) 鋼板ビス打接合 CLT 4 枚・4 辺支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

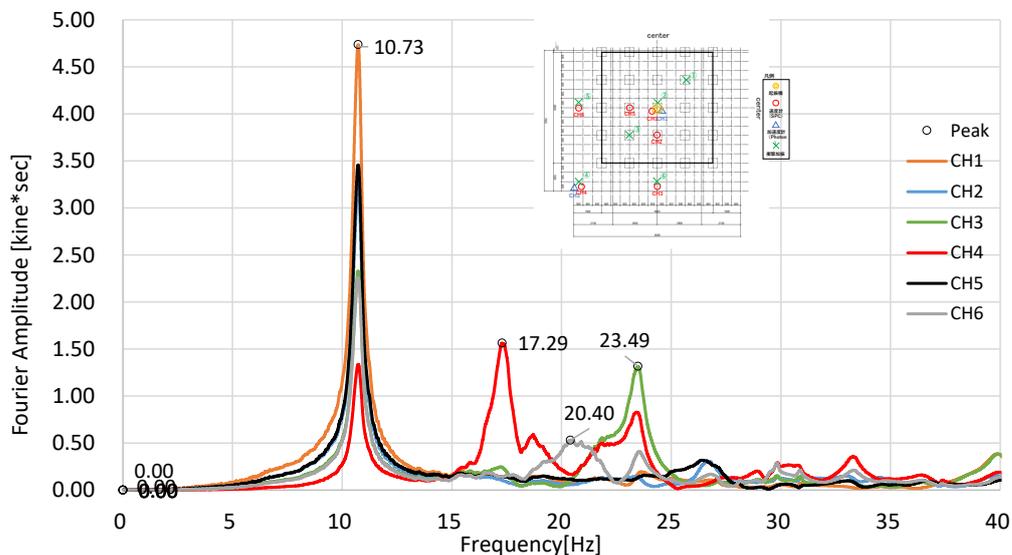


図 6.4.2.8-1 共振点探査の結果 (No.11, 配置 5) フーリエスペクトル

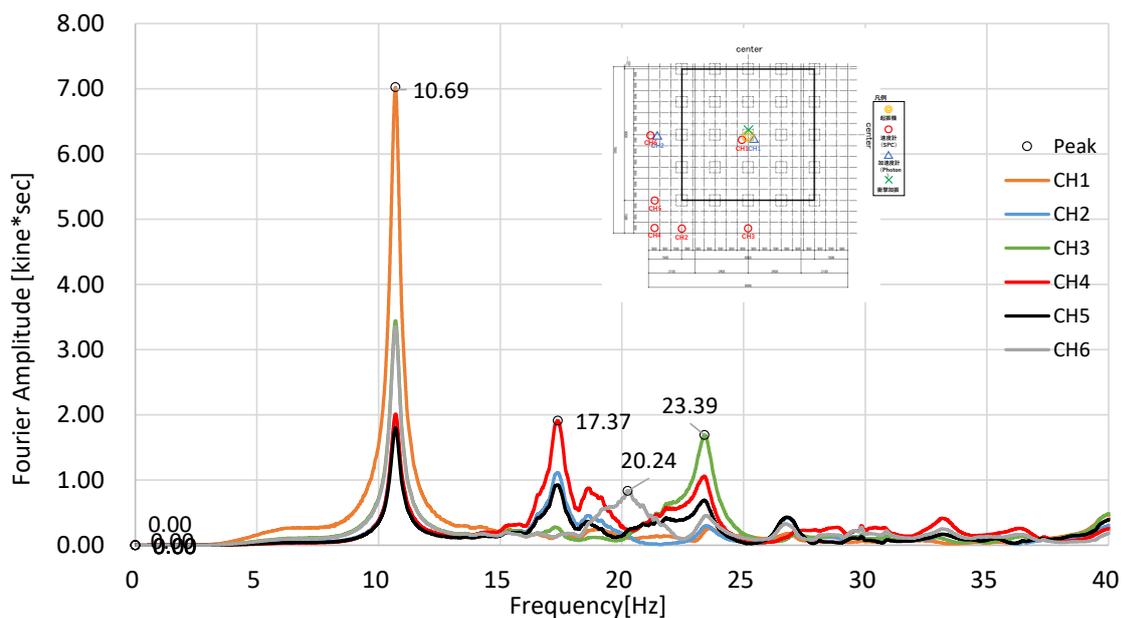


図 6.4.2.8-2 共振点探査の結果 (No.23, 配置 6) フーリエスペクトル

10.7Hz 付近にレール内中央を最大とする 1 次のピークがみられ, 二方向はね出しの応答の大きい 17.3Hz, 左はね出しの応答が大きい 20.3Hz, 手前のはね出しのピークが大きい 23.4Hz と, GIR での 4 辺支持の際と類似して, 中央とはね出し部分でのピークが確認される結果となった。

主要な卓越振動数 : 10.7, 17.3, 20.3, 23.4 [Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 11Hz での共振加振結果 (No.12, 配置 5)

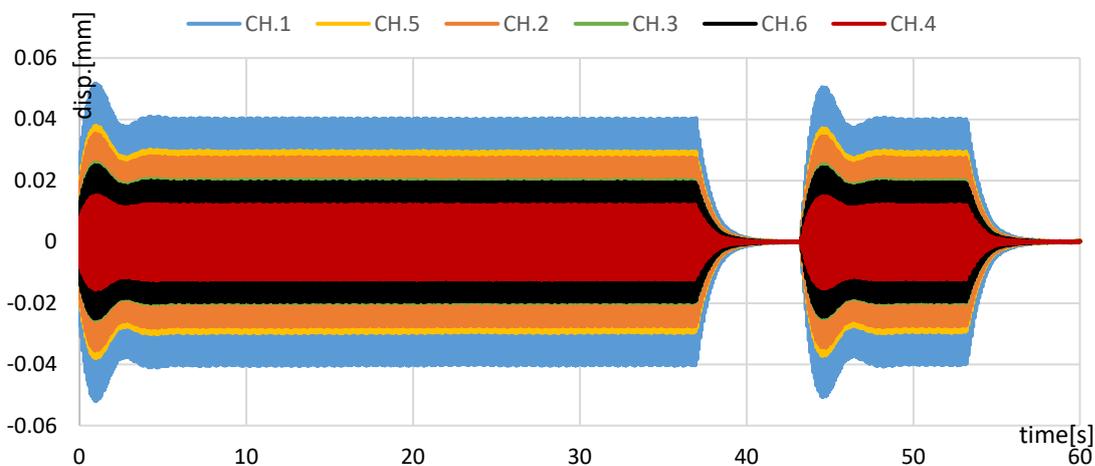


図 6.4.2.8-3 No.12 配置 5 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

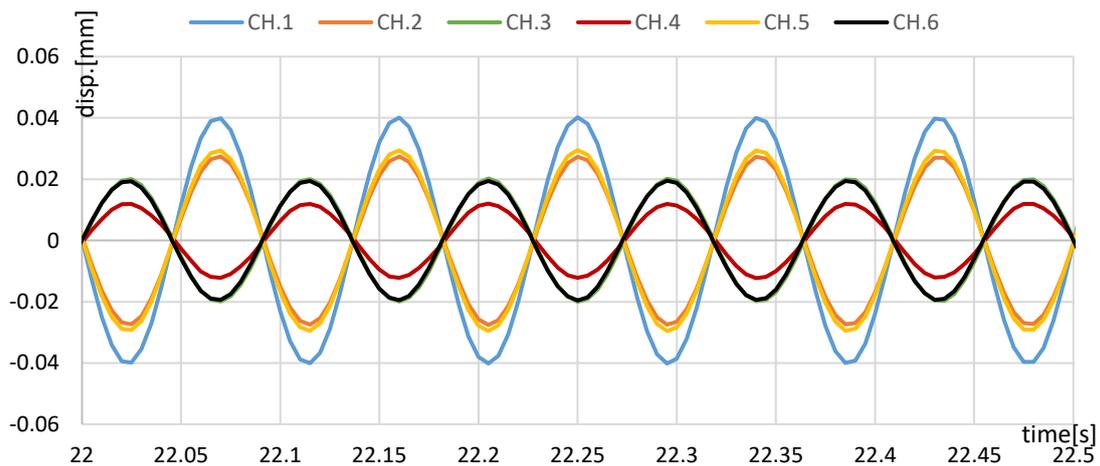


図 6.4.2.8-4 No.12 配置 5 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

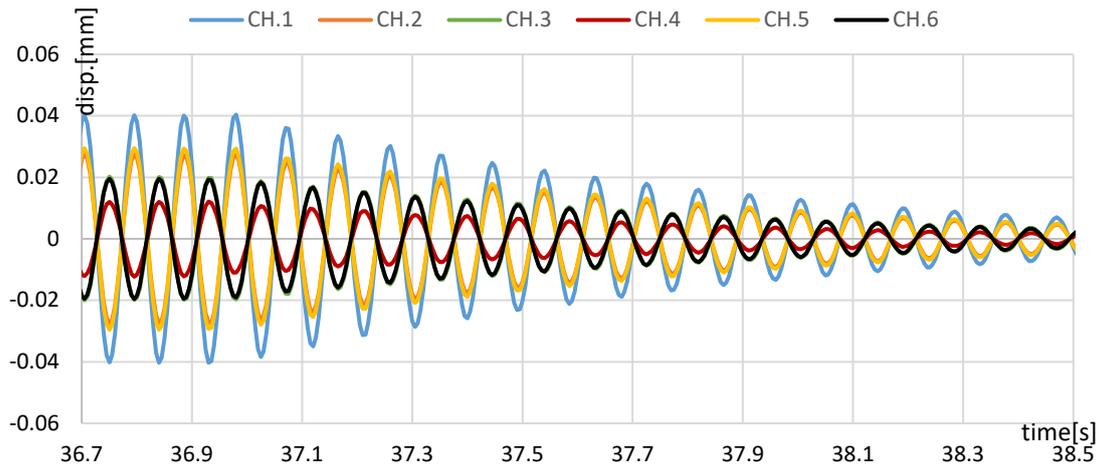


図 6.4.2.8-5 No.12 配置 5 11Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

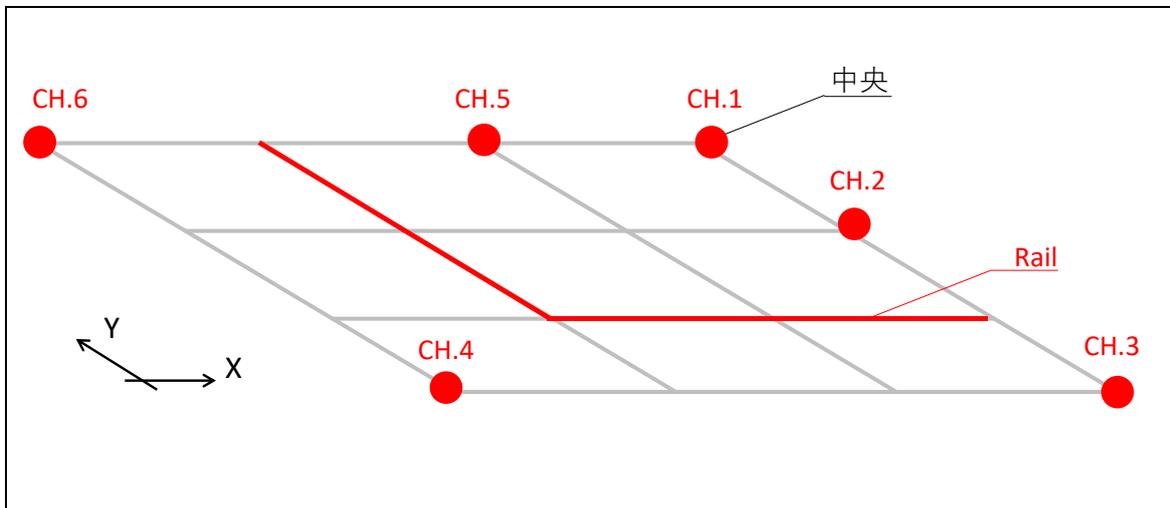


図 6.4.2.8-6 No.12 配置 5 計測点

表 6.4.2.8-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

レール内とレール買いが逆位相となっており、レール内、特に中央の CH.1 の応答が最大となる変形モードであることが分かる。

表 6.4.2.8-1 No.12 配置 5 11Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値[mm] | 0.0404 | 0.0276 | 0.0203 | 0.0122 | 0.0297 | 0.0196 |

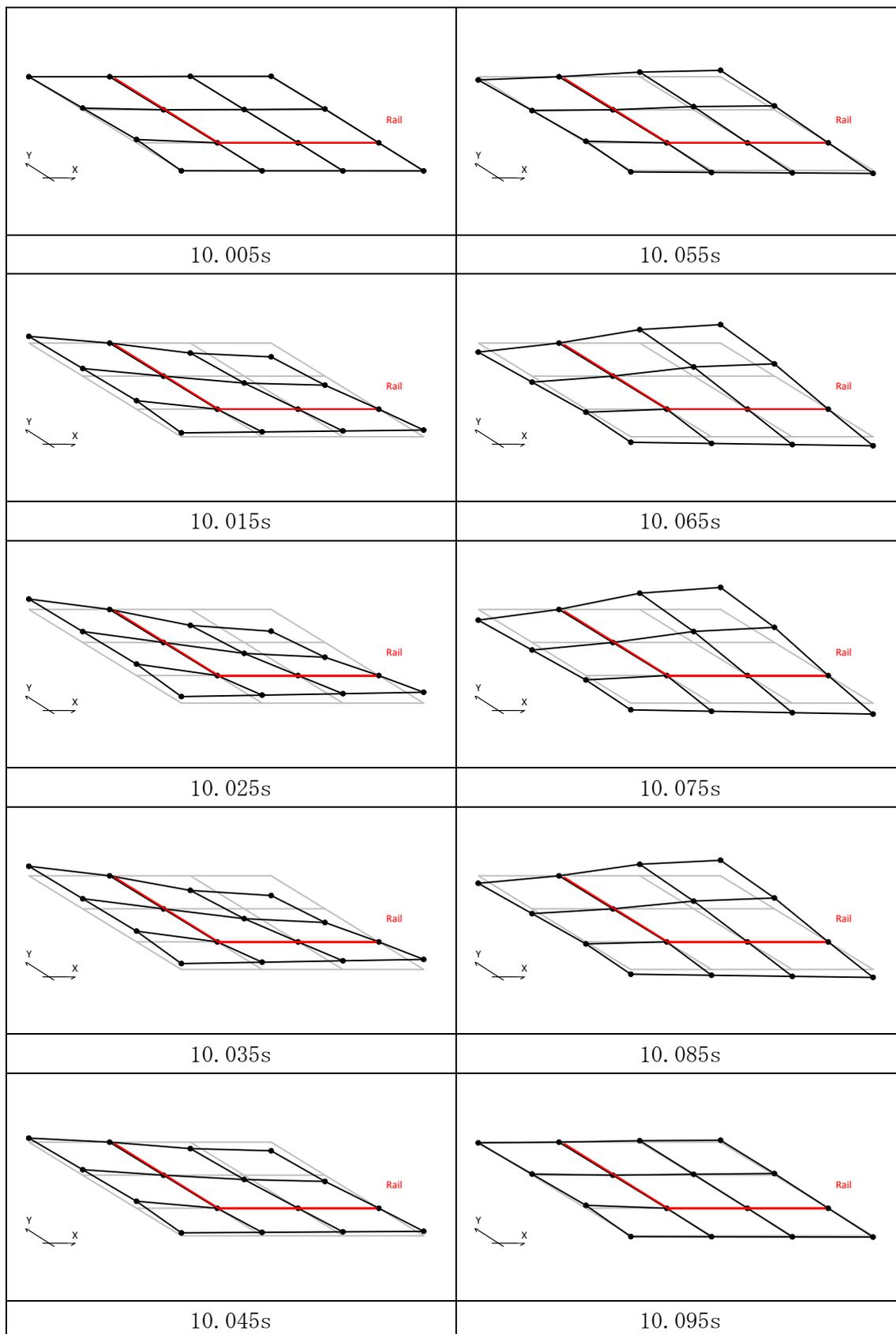


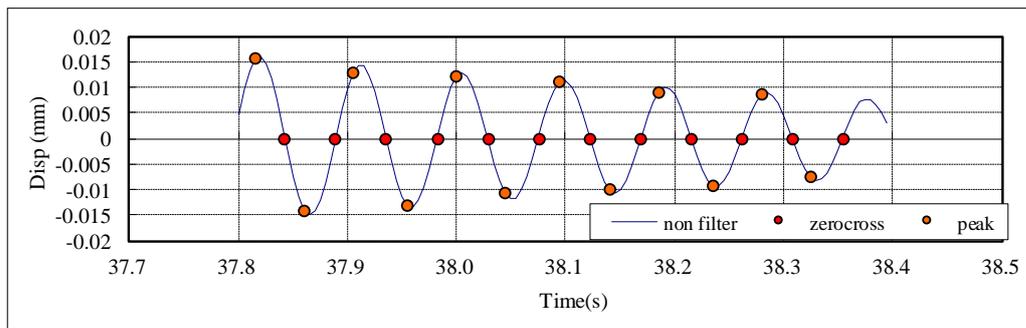
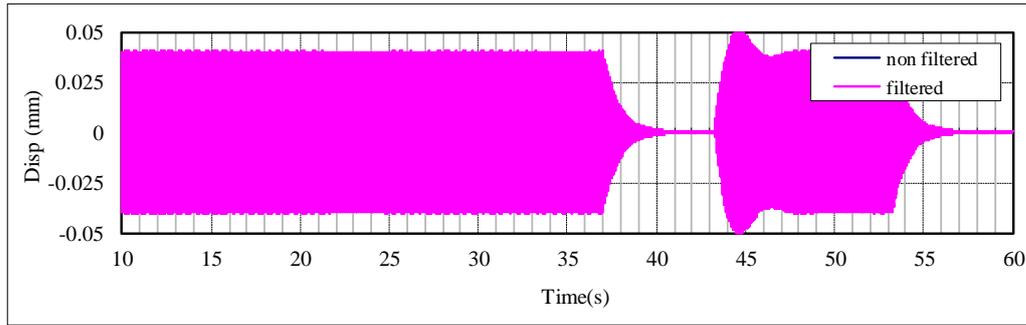
図 6.4.2.8-7 No.12 配置 5 11Hz 変形モード図 [200倍に拡大]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された11Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置5における、中央、手前はね出し、二方向はね出し、左はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 12 |
|-----|----|

STP_4CLT_4r_共振起振,自由振動 210921_12
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.09 | 10.75 | 0.016 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.95 | 1.96 | 1.98 |

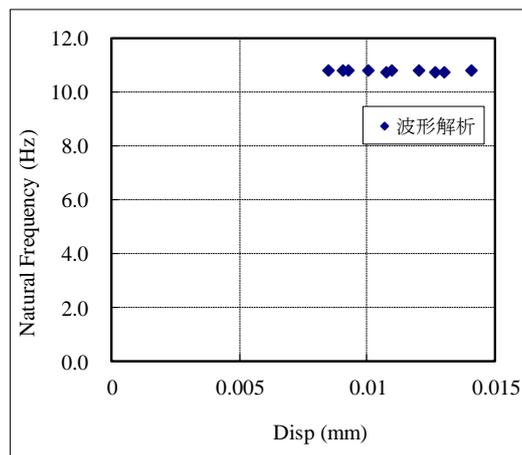
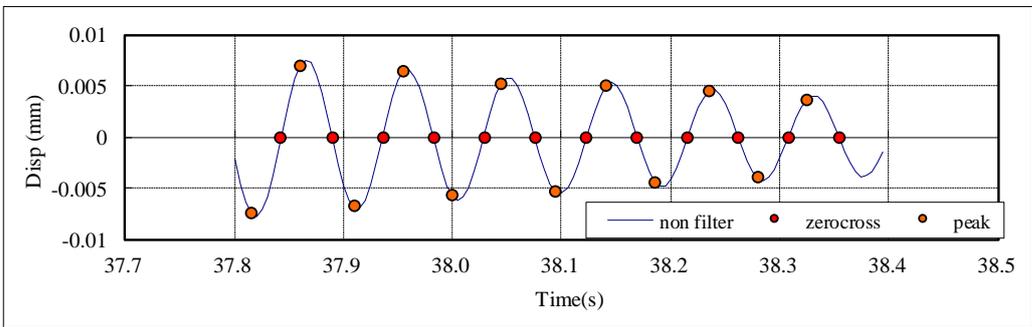
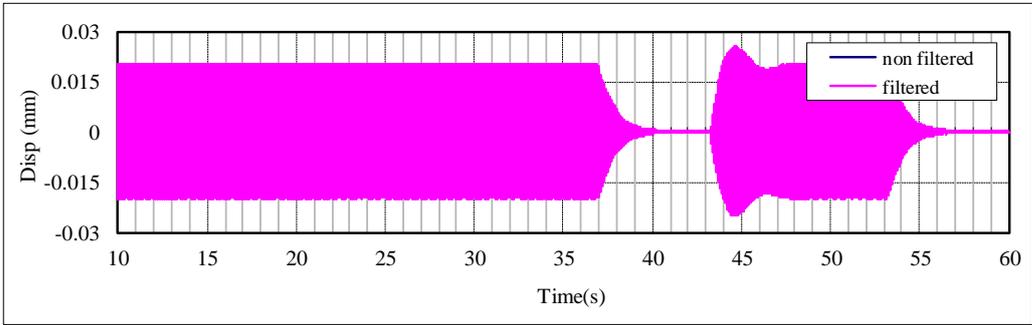


図 6.4.2.8-8 計測 No.12, 11Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 12 |
|-----|----|

STP_4CLT_4r_共振起振,自由振動 210921_12
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.09 | 10.74 | 0.008 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.03 | 2.08 | 2.01 |

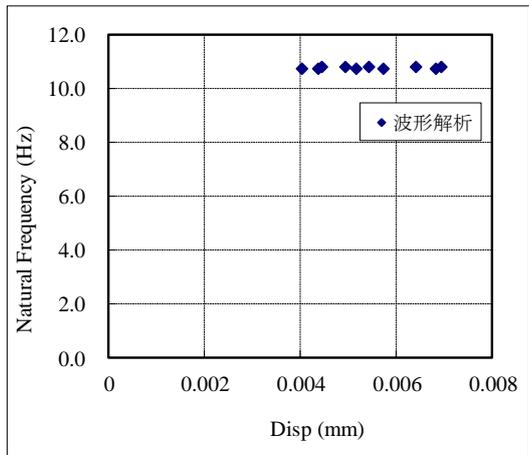
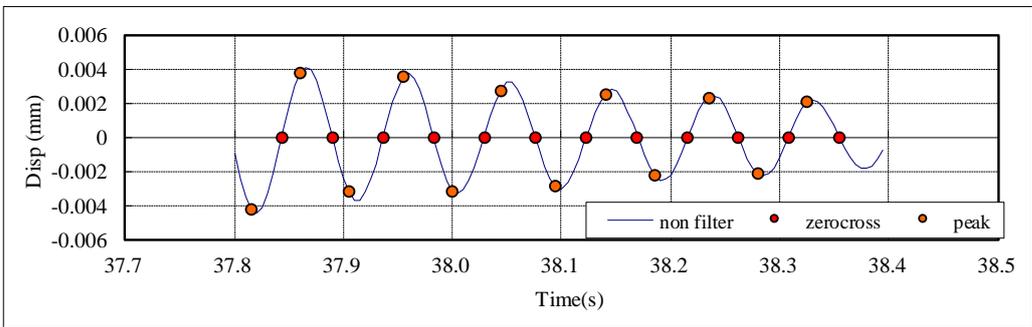
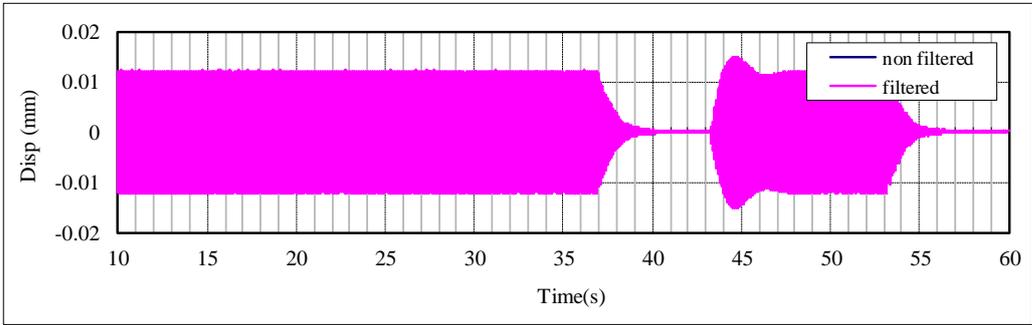


図 6.4.2.8-9 計測 No.12, 11Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 12 |
|-----|----|

STP_4CLT_4r_共振起振,自由振動 210921_12
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.09 | 10.74 | 0.004 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.08 | 2.04 | 2.21 |

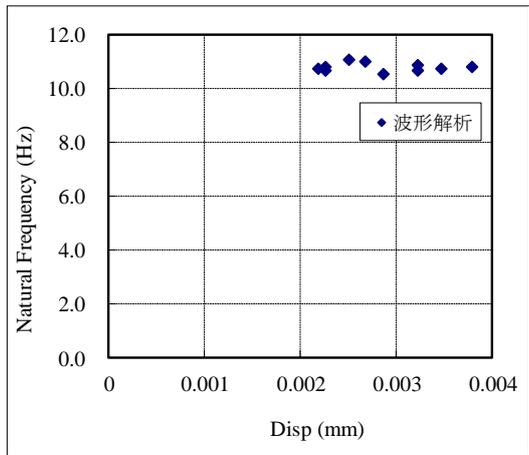
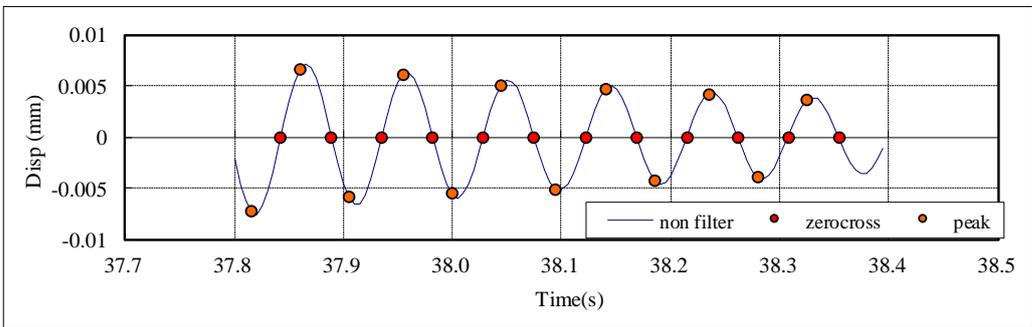
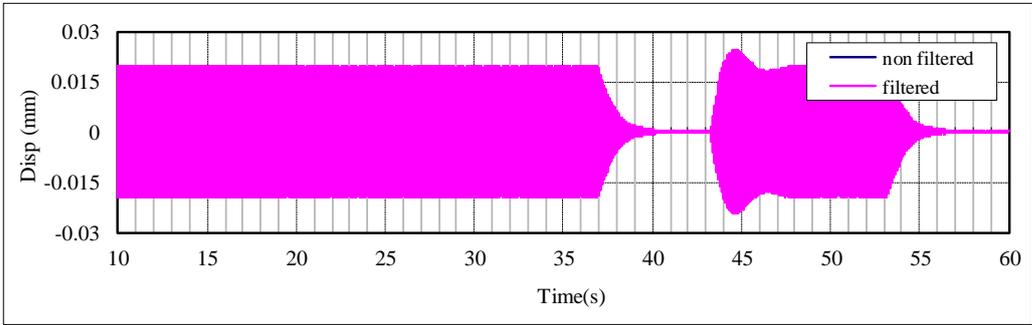


図 6.4.2.8-10 計測 No.12, 11Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 12 |
|-----|----|

STP_4CLT_4r_共振起振,自由振動 210921_12
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.09 | 10.74 | 0.007 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.96 | 1.99 | 1.96 |

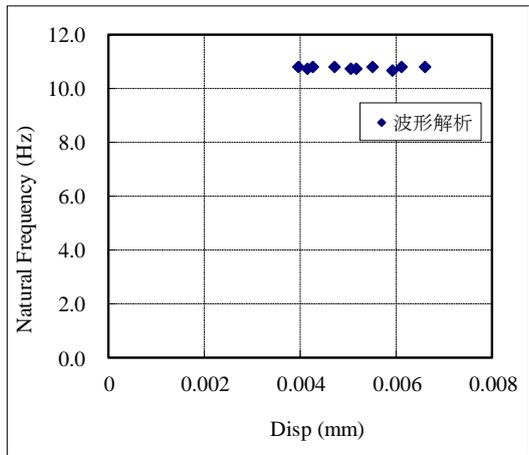


図 6.4.2.8-11 計測 No.12, 11Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 5 (計測 No.18) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

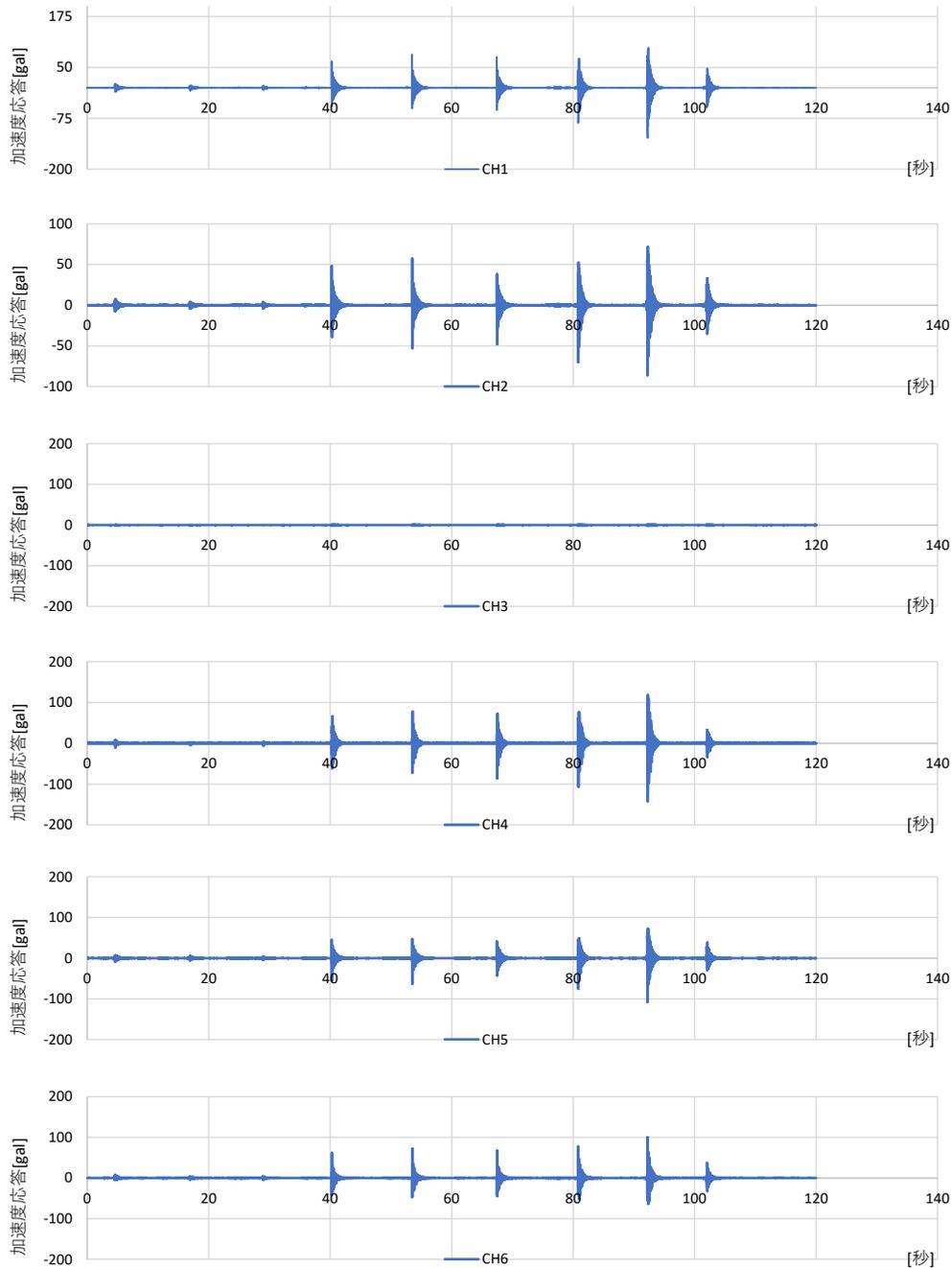


図 6.4.2.8-12 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

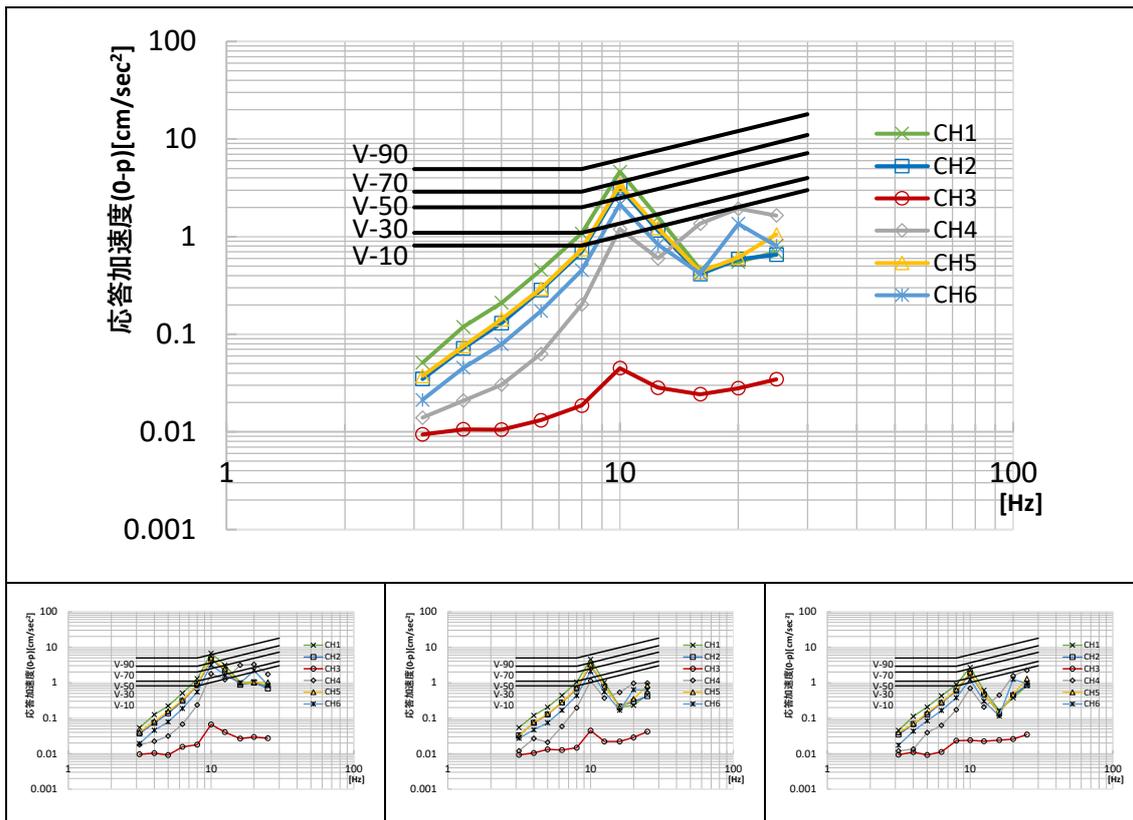


図 6.4.2.8-13 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.8-2 砂袋 5 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.02 |
| 4 | 0.12 | 0.07 | 0.01 | 0.02 | 0.08 | 0.05 |
| 5 | 0.21 | 0.13 | 0.01 | 0.03 | 0.14 | 0.08 |
| 6.3 | 0.46 | 0.28 | 0.01 | 0.06 | 0.29 | 0.17 |
| 8 | 1.08 | 0.70 | 0.02 | 0.20 | 0.74 | 0.45 |
| 10 | 4.64 | 3.15 | 0.04 | 1.20 | 3.39 | 2.15 |
| 12.5 | 1.58 | 1.16 | 0.03 | 0.60 | 1.23 | 0.83 |
| 16 | 0.46 | 0.41 | 0.02 | 1.36 | 0.44 | 0.42 |
| 20 | 0.55 | 0.59 | 0.03 | 1.94 | 0.61 | 1.36 |
| 25 | 0.69 | 0.65 | 0.03 | 1.65 | 1.06 | 0.81 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

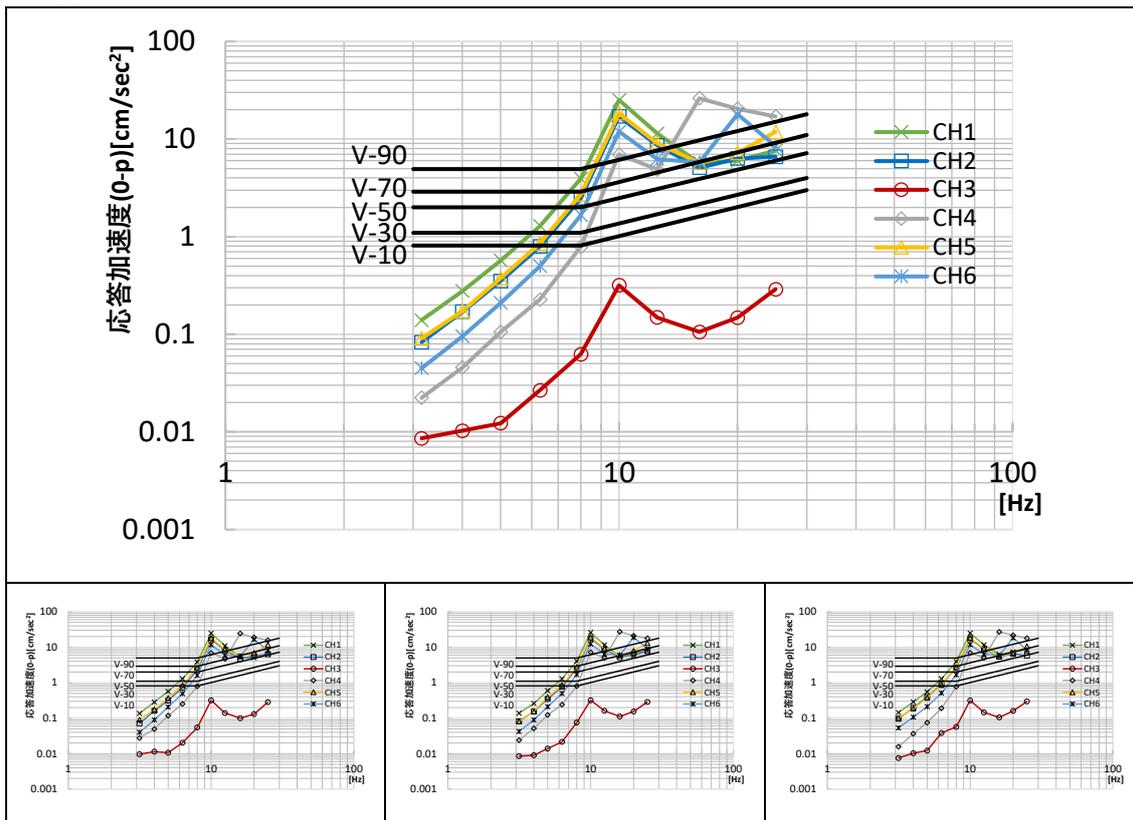


図 6.4.2.8-14 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.8-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.14 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.05 |
| 4 | 0.28 | 0.17 | 0.01 | 0.05 | 0.17 | 0.10 |
| 5 | 0.57 | 0.35 | 0.01 | 0.11 | 0.38 | 0.21 |
| 6.3 | 1.29 | 0.80 | 0.03 | 0.23 | 0.85 | 0.50 |
| 8 | 3.93 | 2.47 | 0.06 | 0.79 | 2.71 | 1.66 |
| 10 | 25.14 | 17.06 | 0.32 | 6.97 | 18.40 | 11.97 |
| 12.5 | 11.44 | 8.64 | 0.15 | 4.89 | 9.08 | 6.23 |
| 16 | 5.64 | 5.09 | 0.11 | 26.22 | 5.69 | 5.76 |
| 20 | 6.03 | 6.33 | 0.15 | 20.49 | 7.22 | 17.99 |
| 25 | 7.65 | 6.60 | 0.29 | 17.10 | 11.85 | 8.46 |

③ かかと加振の結果

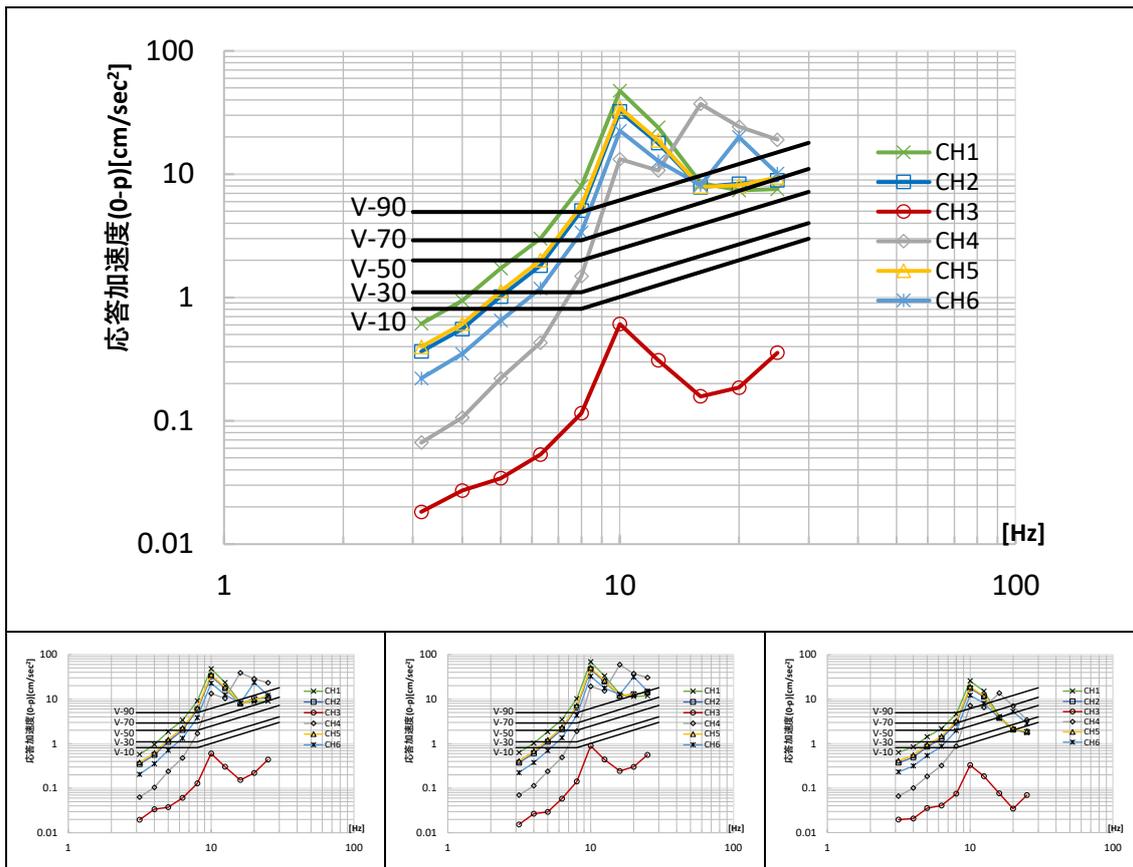


図 6.4.2.8-15 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.8-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.61 | 0.36 | 0.02 | 0.07 | 0.40 | 0.22 |
| 4 | 0.94 | 0.55 | 0.03 | 0.11 | 0.61 | 0.35 |
| 5 | 1.72 | 1.02 | 0.03 | 0.22 | 1.12 | 0.65 |
| 6.3 | 3.01 | 1.82 | 0.05 | 0.43 | 2.01 | 1.18 |
| 8 | 7.99 | 5.06 | 0.11 | 1.49 | 5.52 | 3.37 |
| 10 | 47.42 | 32.23 | 0.61 | 13.22 | 34.66 | 22.48 |
| 12.5 | 23.92 | 17.88 | 0.31 | 10.71 | 18.76 | 12.76 |
| 16 | 8.51 | 7.83 | 0.16 | 37.22 | 7.91 | 8.14 |
| 20 | 7.39 | 8.36 | 0.19 | 24.26 | 8.14 | 20.03 |
| 25 | 7.57 | 8.93 | 0.36 | 19.03 | 9.39 | 10.10 |

(9) 鋼板ビス打接合 CLT 4 枚・2 辺支持・強軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

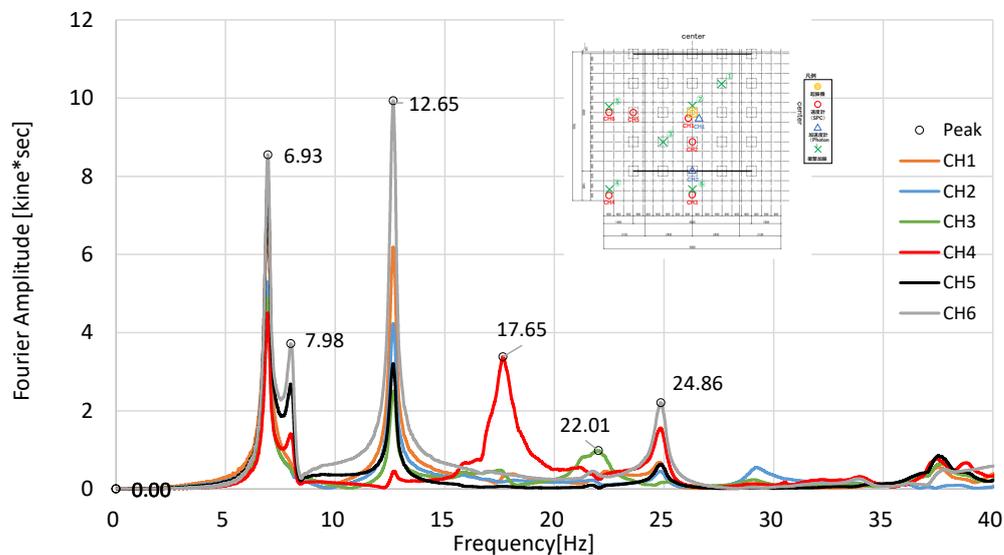


図 6.4.2.9-1 共振点探査の結果 (No.13, 配置 7) フーリエスペクトル

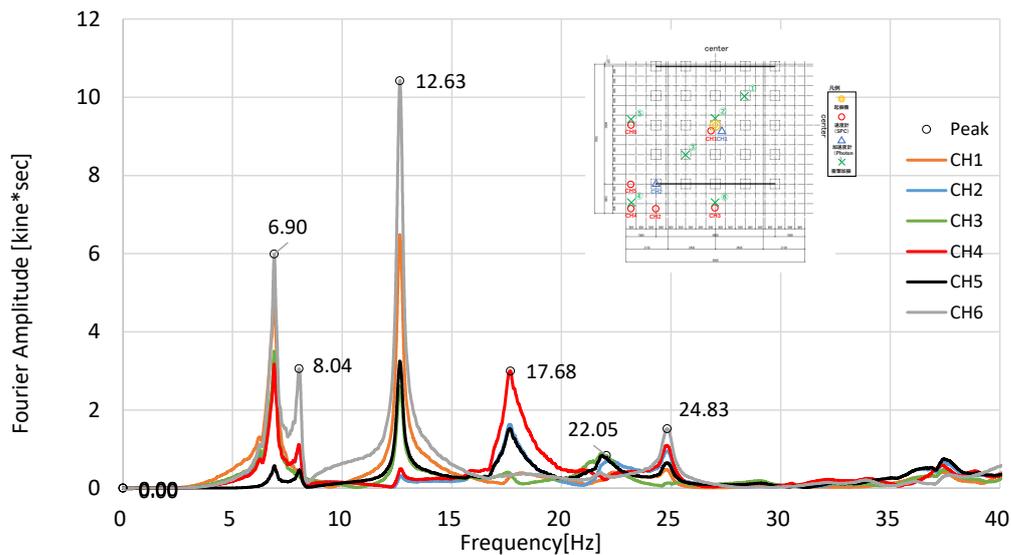


図 6.4.2.9-2 共振点探査の結果 (No.25, 配置 8) フーリエスペクトル

6.9Hz に中央や左のはね出しの大きいピークがみられるほか、8Hz, 12.6Hz にも、左のはね出し部が最大の応答となるピークがみられる。1 次固有振動数以外に、レールの無い左右方向のモードが複数確認できることが特徴的である。ほかに、二方向はね出し部の 17.7Hz などが顕著なピークとなっている。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7Hz での共振加振結果 (No.26, 配置 8)

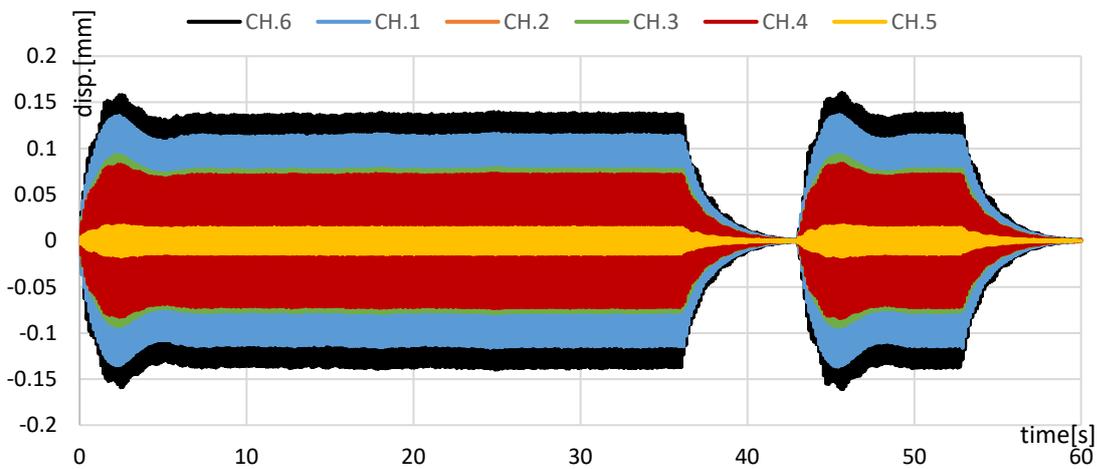


図 6.4.2.9-3 配置 8 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

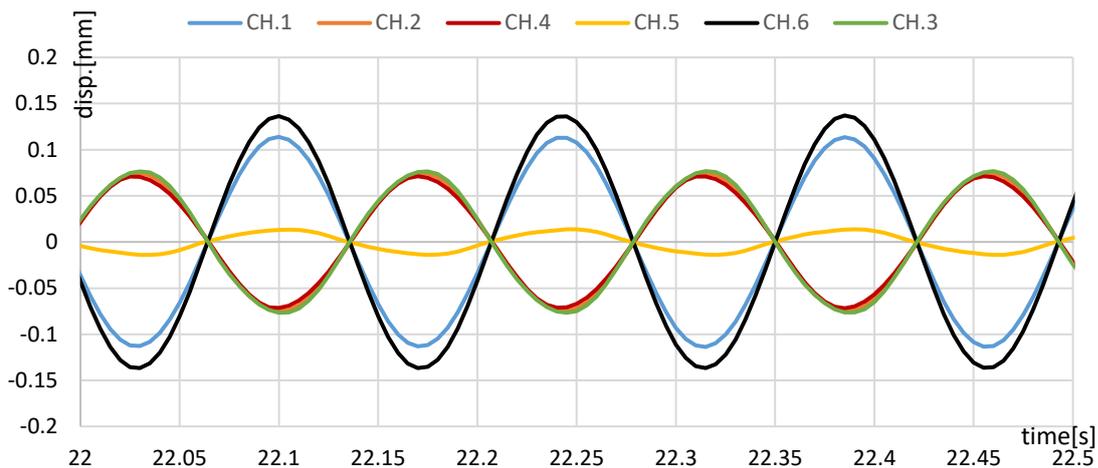


図 6.4.2.9-4 配置 8 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

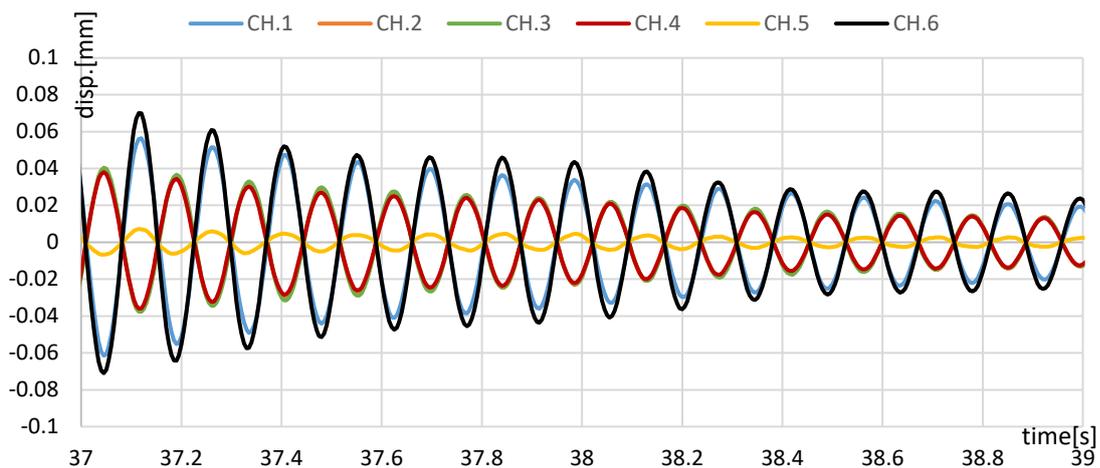


図 6.4.2.9-5 配置 8 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

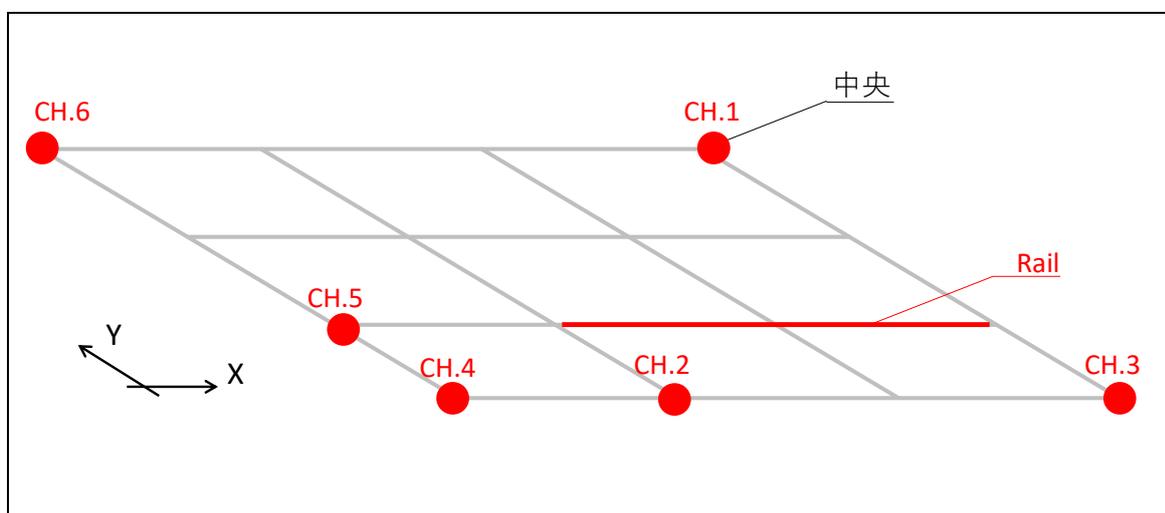


図 6.4.2.9-6 配置 8 計測点

表 6.4.2.9-1 に変位応答の分布を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1 次固有振動数に対して、レールを支点として、レールの内外で逆位相となり、レール内部の左右計測点が最大応答となるモードであることが確認された。

表 6.4.2.9-1 配置 8 7Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1158 | 0.0762 | 0.0784 | 0.0728 | 0.0141 | 0.1392 |

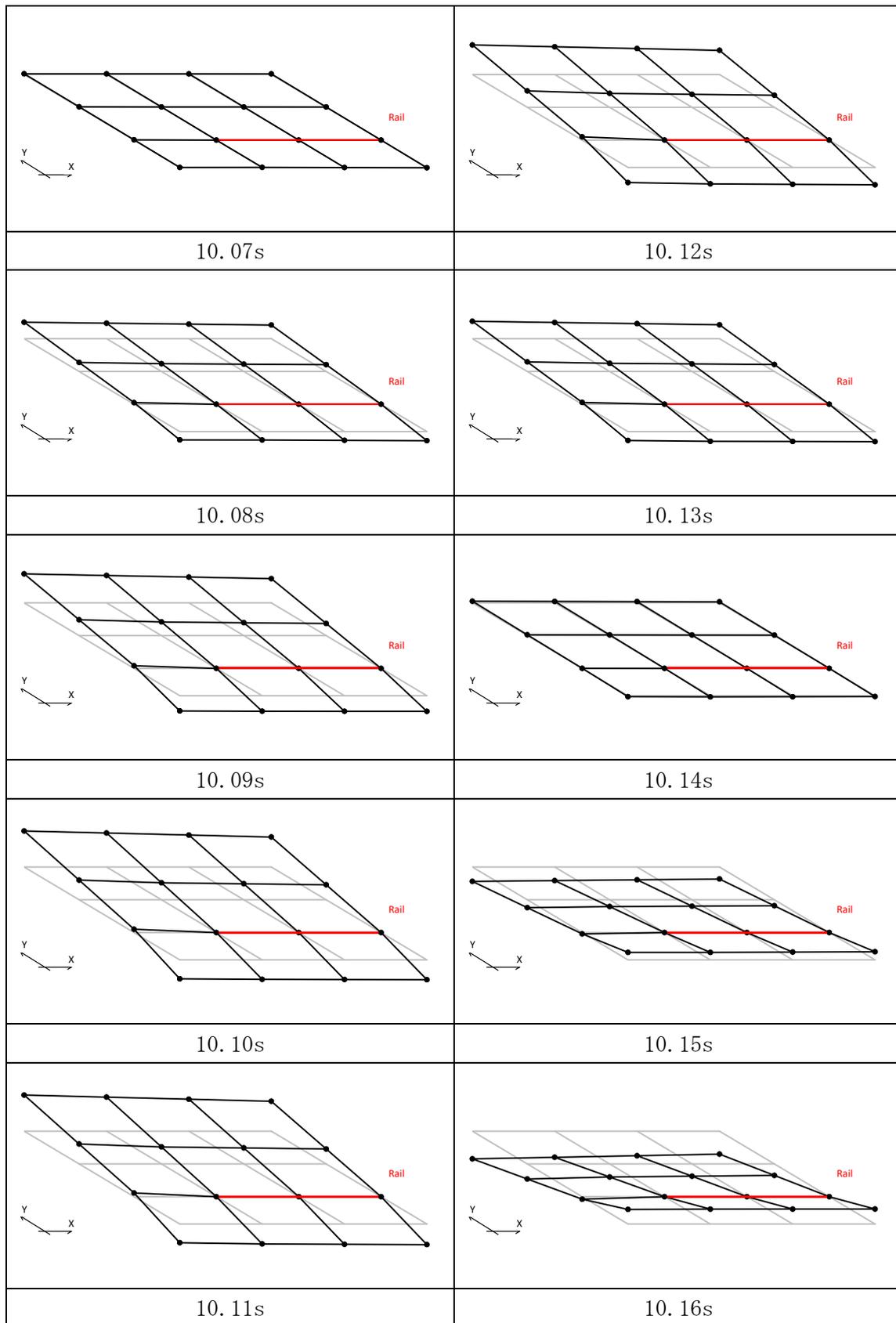


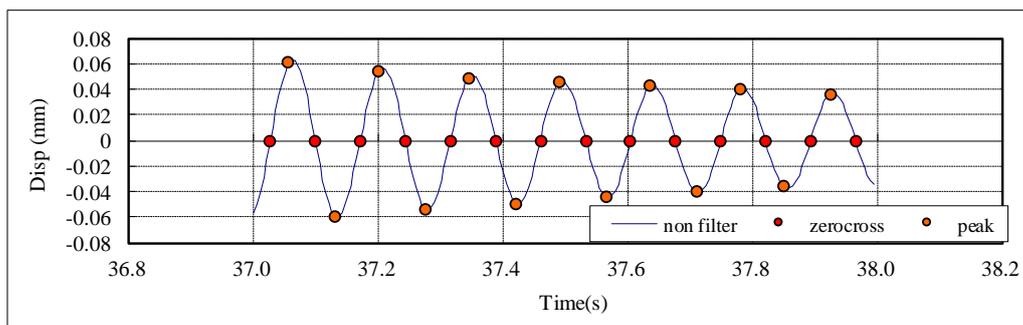
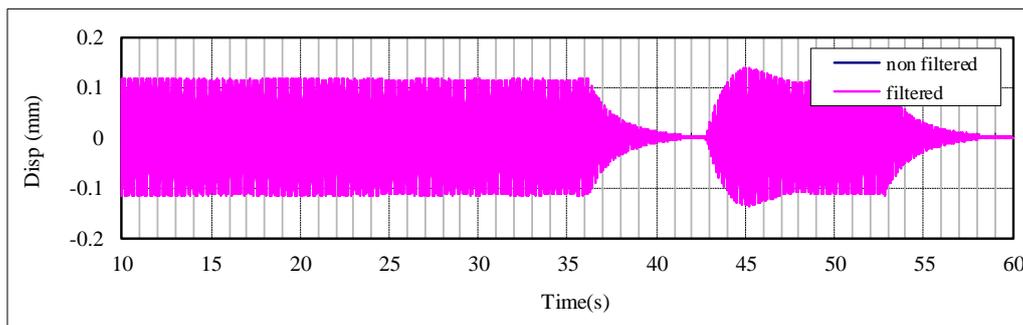
図 6.4.2.9-7 配置 8 7Hz 変形モード図 [100倍に拡大]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置8における、中央、手前はね出し、二方向はね出し、左はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 26 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210928-1_26
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.060 |

| 減衰定数 | | |
|-------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| -0.02 | 1.34 | -1.35 |

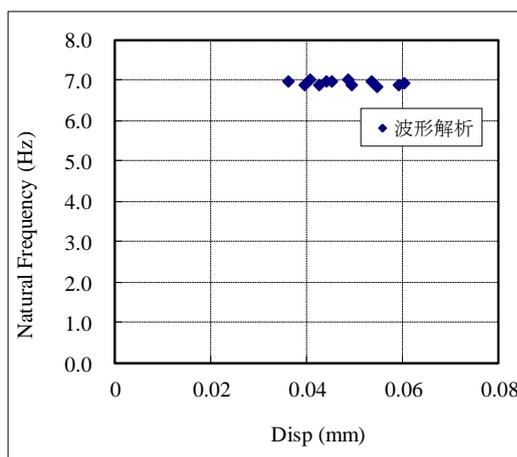
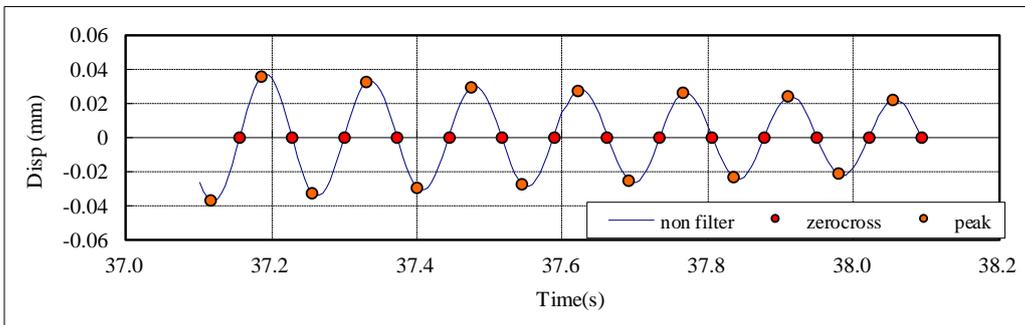
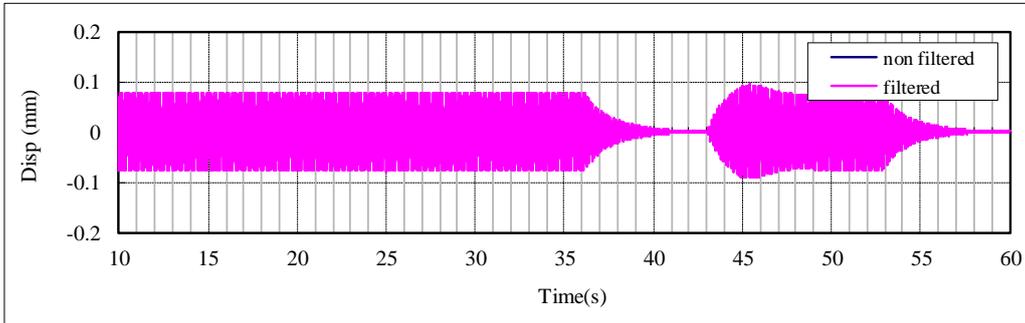


図 6.4.2.9-8 計測 No.26, 7Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 26 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210928-1_26
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.037 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.37 | 1.31 | 1.43 |

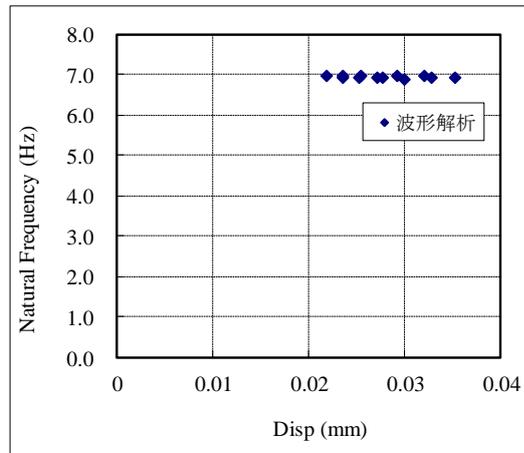
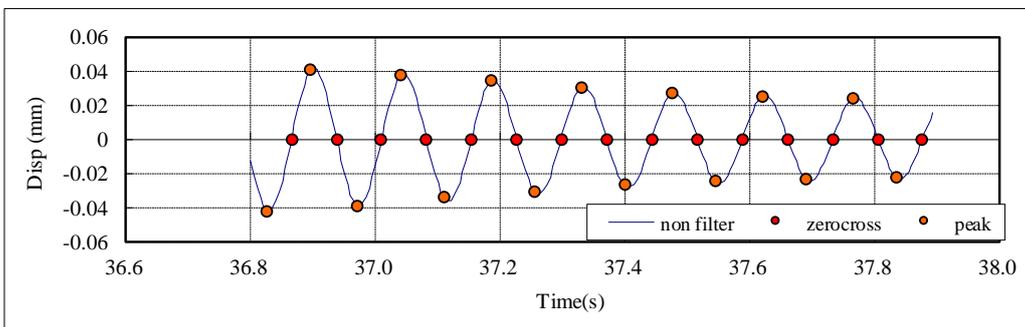
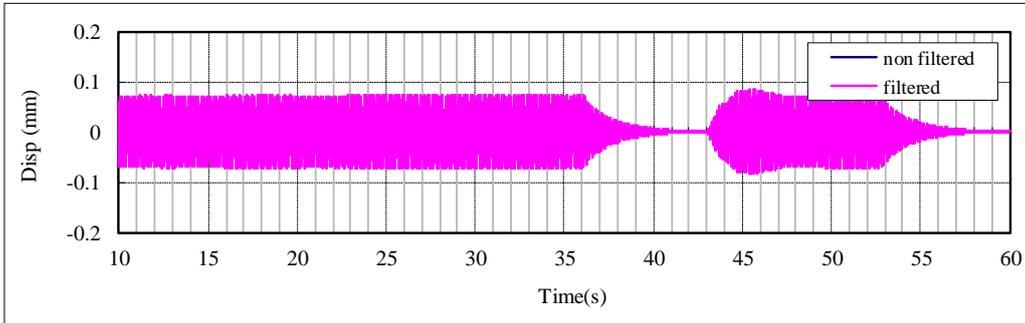


図 6.4.2.9-9 計測 No.26, 7Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 26 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210928-1_26
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.91 | 0.042 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.48 | 1.39 | 1.42 |

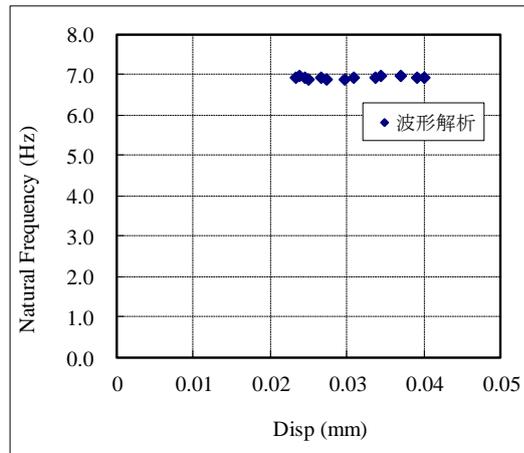
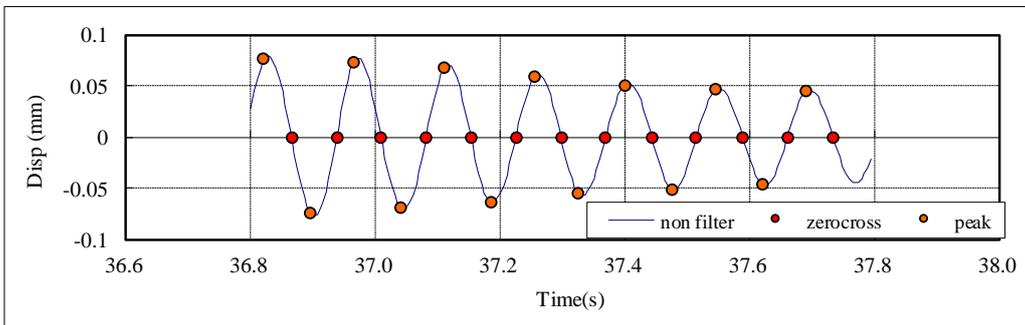
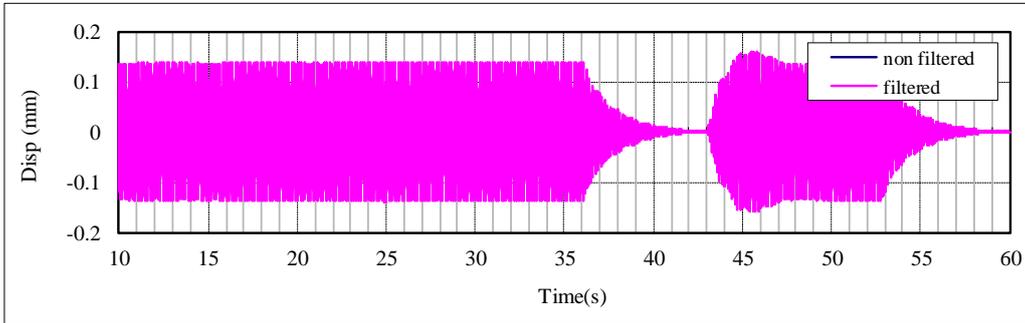


図 6.4.2.9-10 計測 No.26, 7Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 26 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 210928-1_26
CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.90 | 0.076 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.57 | 1.43 | 1.52 |

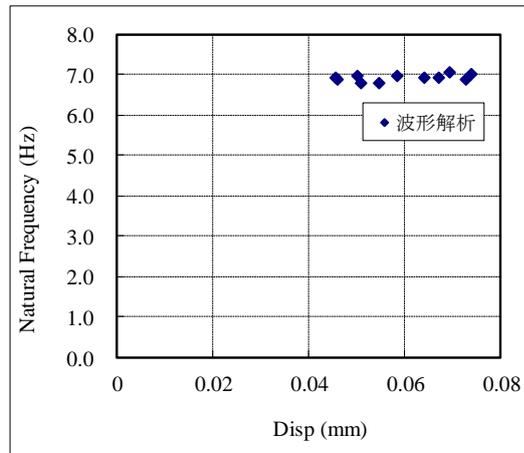


図 6.4.2.9-11 計測 No.26, 7Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 7 (計測 No.20) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

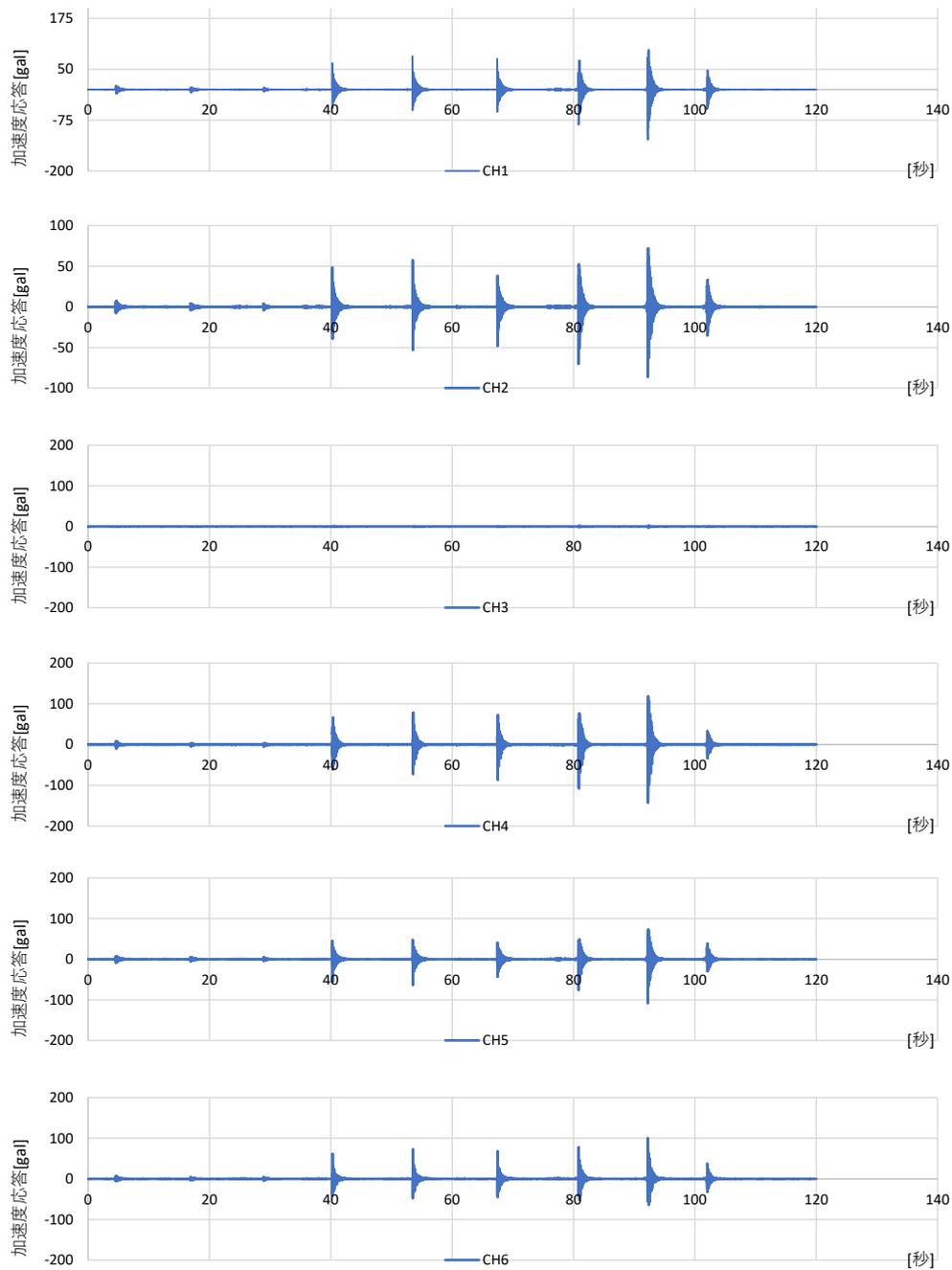


図 6.4.2.9-12 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

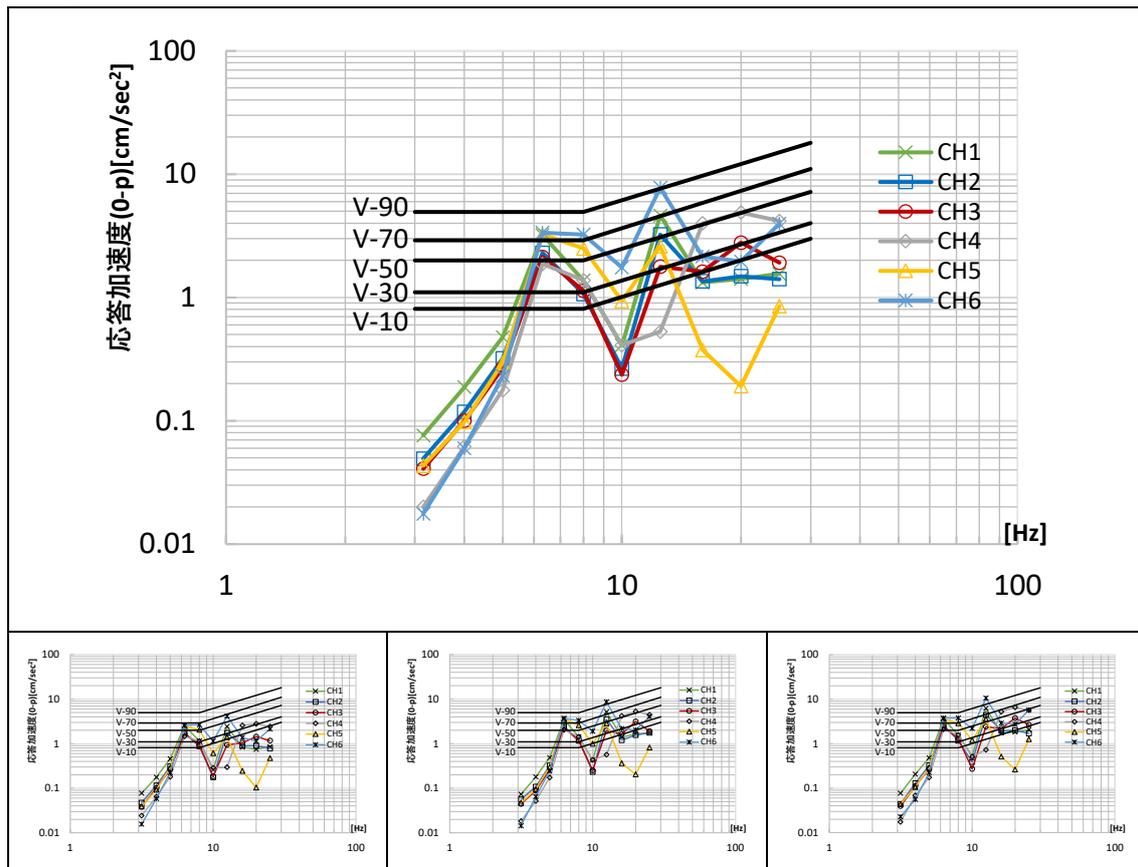


図 6.4.2.9-13 5kg 砂袋 5cm 平均値 (上段) および各回結果

表 6.4.2.9-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値 (平均値)

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 4 | 0.19 | 0.12 | 0.10 | 0.06 | 0.10 | 0.06 |
| 5 | 0.48 | 0.32 | 0.27 | 0.18 | 0.29 | 0.23 |
| 6.3 | 3.22 | 2.30 | 2.13 | 1.87 | 3.23 | 3.36 |
| 8 | 1.37 | 1.07 | 1.13 | 1.38 | 2.50 | 3.24 |
| 10 | 0.41 | 0.27 | 0.24 | 0.41 | 0.94 | 1.75 |
| 12.5 | 4.61 | 3.24 | 1.78 | 0.53 | 2.60 | 7.78 |
| 16 | 1.32 | 1.35 | 1.62 | 3.99 | 0.37 | 2.15 |
| 20 | 1.41 | 1.49 | 2.79 | 4.88 | 0.19 | 1.96 |
| 25 | 1.55 | 1.41 | 1.91 | 4.17 | 0.85 | 3.97 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

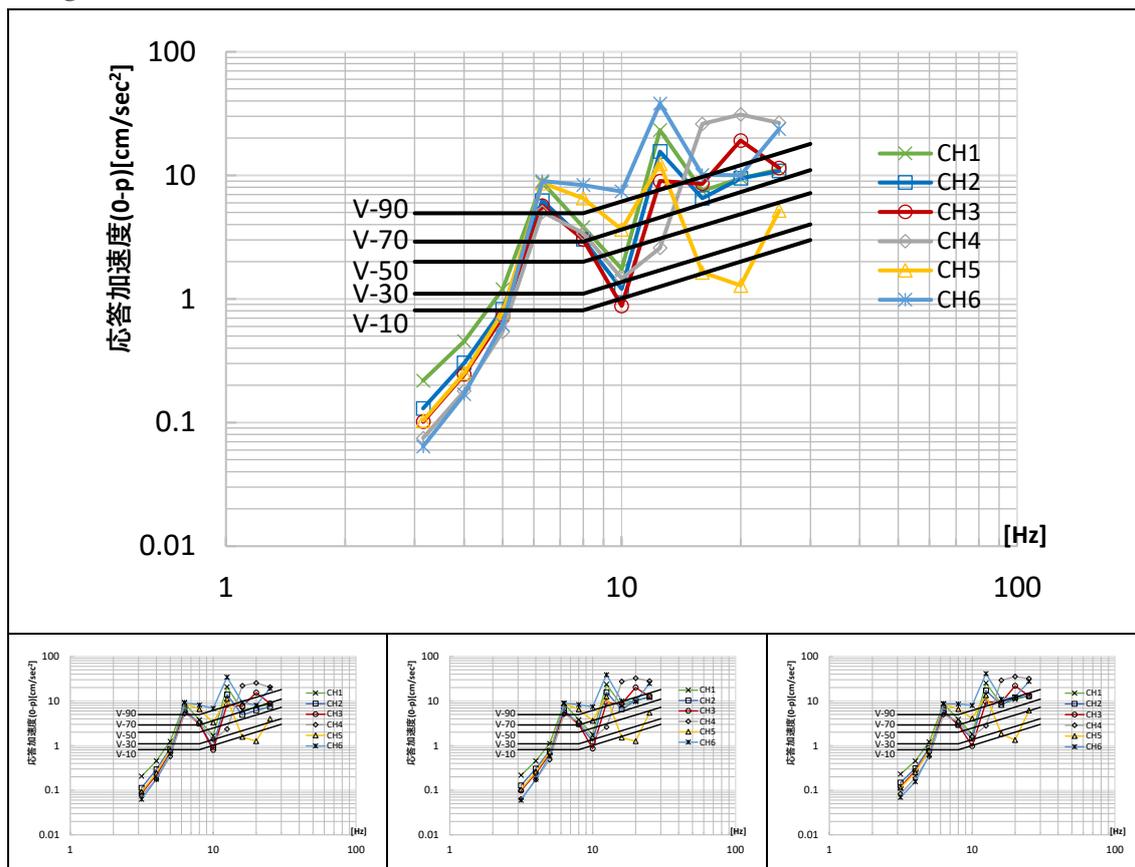
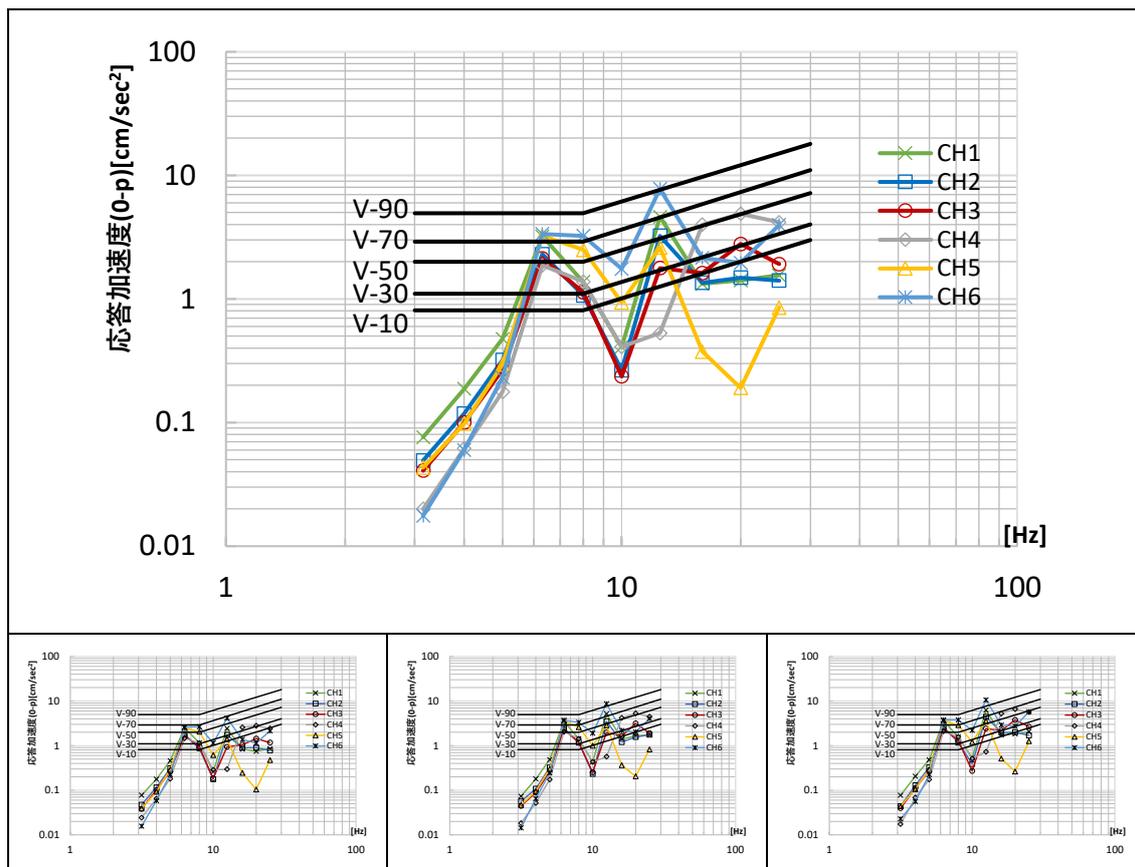


図 6.4.2.9-14 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.9-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.22 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.10 | 0.06 |
| 4 | 0.45 | 0.30 | 0.24 | 0.18 | 0.25 | 0.17 |
| 5 | 1.19 | 0.82 | 0.71 | 0.54 | 0.77 | 0.62 |
| 6.3 | 8.73 | 6.25 | 5.69 | 5.05 | 8.67 | 8.98 |
| 8 | 3.82 | 3.04 | 3.02 | 3.41 | 6.54 | 8.35 |
| 10 | 1.75 | 1.20 | 0.88 | 1.47 | 3.65 | 7.40 |
| 12.5 | 23.20 | 15.59 | 8.99 | 2.58 | 12.40 | 38.10 |
| 16 | 7.50 | 6.52 | 8.55 | 26.13 | 1.64 | 10.06 |
| 20 | 9.45 | 9.47 | 19.13 | 31.06 | 1.28 | 10.05 |
| 25 | 11.14 | 10.84 | 11.48 | 26.66 | 5.19 | 23.75 |

③ かかと加振の結果



F 図 6.4.2.9-15 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.9-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 4 | 0.19 | 0.12 | 0.10 | 0.06 | 0.10 | 0.06 |
| 5 | 0.48 | 0.32 | 0.27 | 0.18 | 0.29 | 0.23 |
| 6.3 | 3.22 | 2.30 | 2.13 | 1.87 | 3.23 | 3.36 |
| 8 | 1.37 | 1.07 | 1.13 | 1.38 | 2.50 | 3.24 |
| 10 | 0.41 | 0.27 | 0.24 | 0.41 | 0.94 | 1.75 |
| 12.5 | 4.61 | 3.24 | 1.78 | 0.53 | 2.60 | 7.78 |
| 16 | 1.32 | 1.35 | 1.62 | 3.99 | 0.37 | 2.15 |
| 20 | 1.41 | 1.49 | 2.79 | 4.88 | 0.19 | 1.96 |
| 25 | 1.55 | 1.41 | 1.91 | 4.17 | 0.85 | 3.97 |

(10) 鋼板ビス打接合 CLT 4 枚・2 辺支持・弱軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

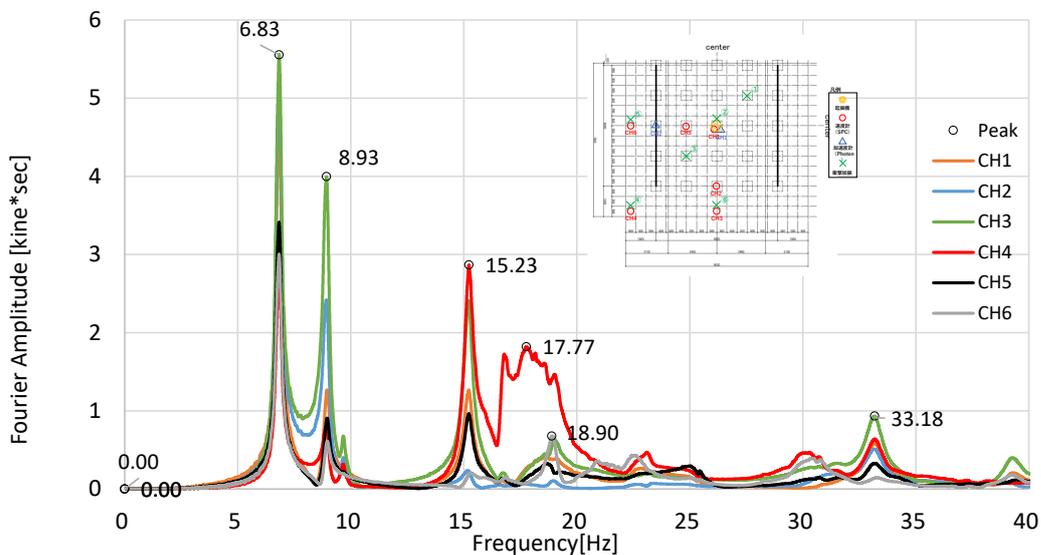


図 6.4.2.10-1 共振点探査の結果 (No.25, 配置 7) フーリエスペクトル

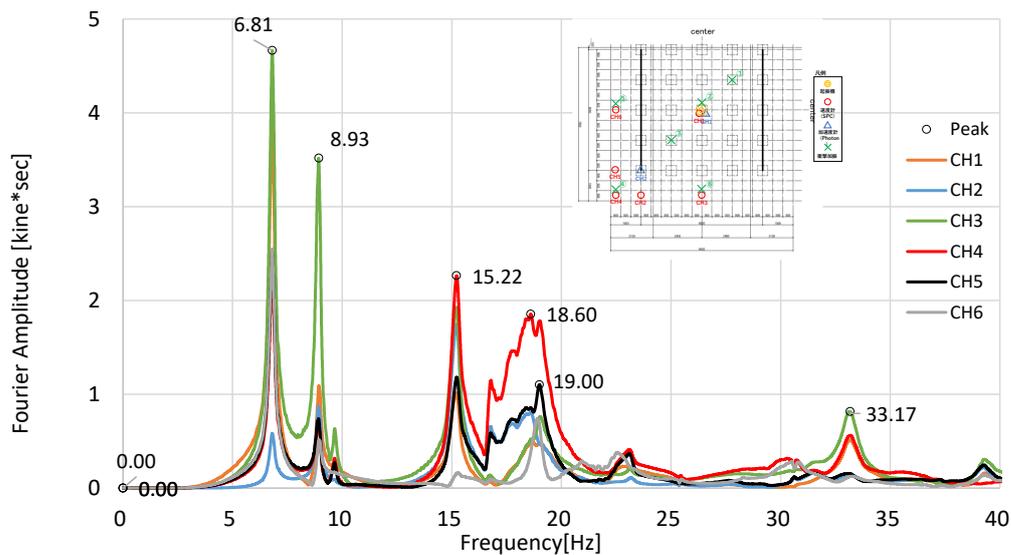


図 6.4.2.10-2 共振点探査の結果 (No.31, 配置 8) フーリエスペクトル

強軸とは逆に、縦方向の計測点が最大変位となるピークが複数確認された。6.8, 8.9 などでは、手前のはね出し部 CH.3 の応答値が顕著に大きい。このほか、15.2, 18.6 に二方向はね出し部のピークがみられる。

主要な卓越振動数 : 6.8, 8.9, 15.2, 18.6 [Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7Hz での共振加振結果 (No.37, 配置 9)

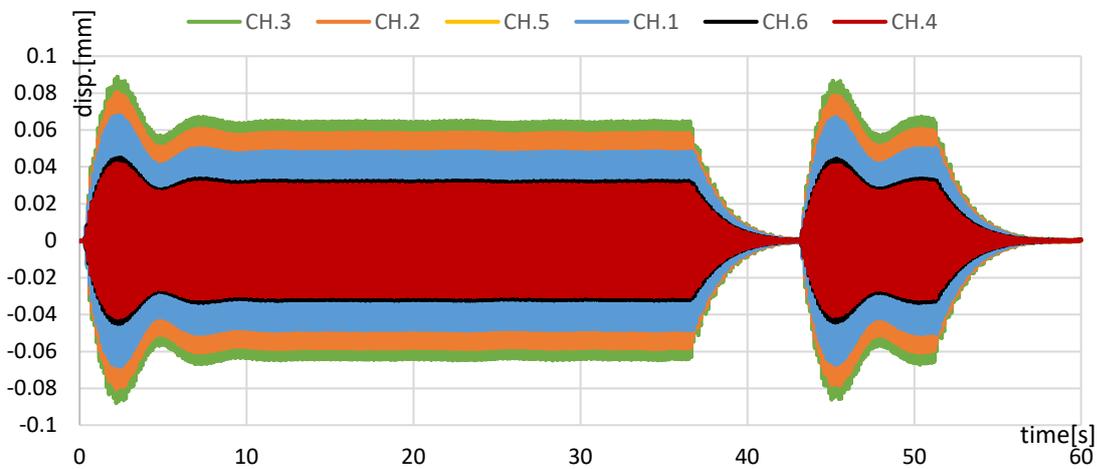


図 6.4.2.10-3 No.37 配置 9 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

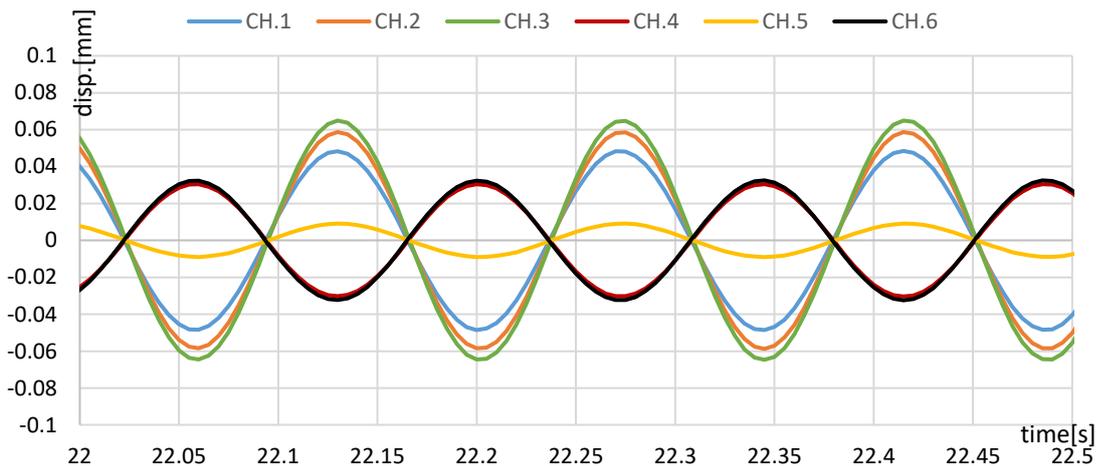


図 6.4.2.10-4 No.37 配置 9 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

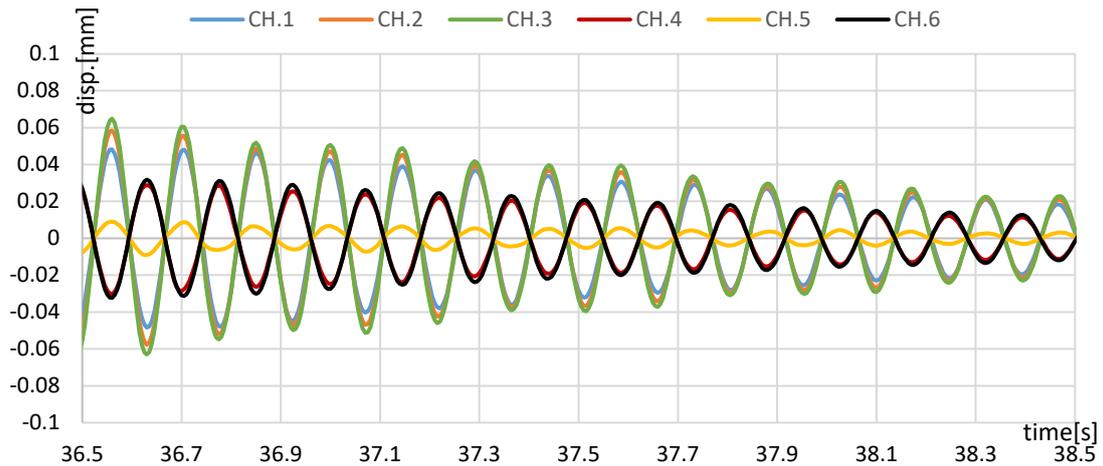


図 6.4.2.10-5 No.37 配置 9 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

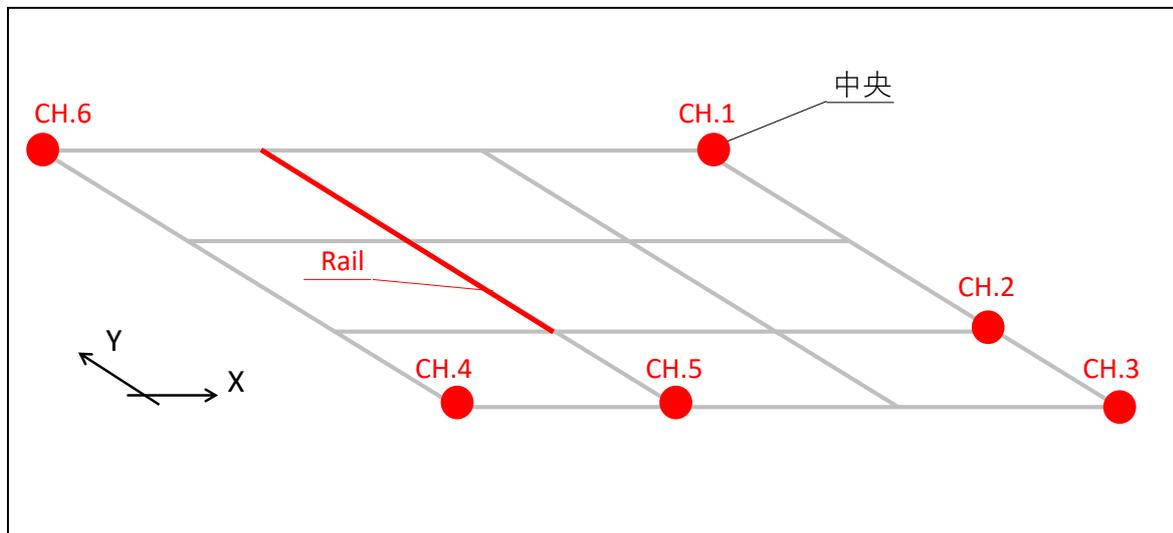


図 6.4.2.10-6 No.37 配置 9 計測点

表 6.4.2.10 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1 次固有振動数に対しては、レールを支点として左右に振動し、中央、手前周辺の変位が特に大きいことが確認された。

表 6.4.2.10-1 No.37 配置 9 7Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0487 | 0.0588 | 0.0651 | 0.0306 | 0.0093 | 0.0327 |

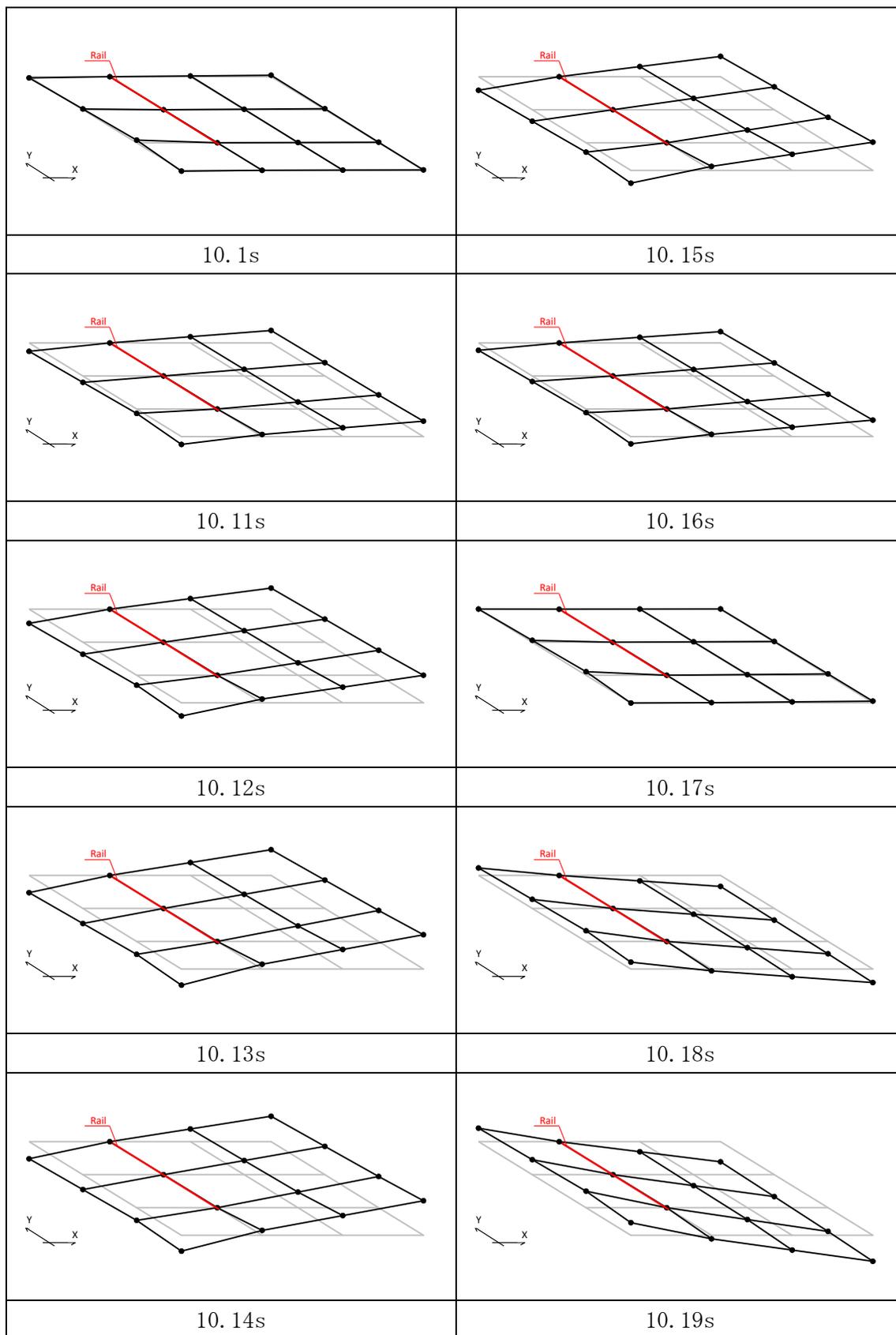


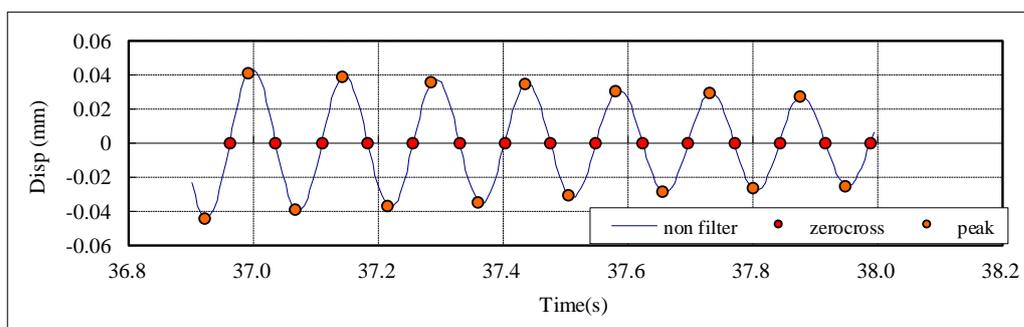
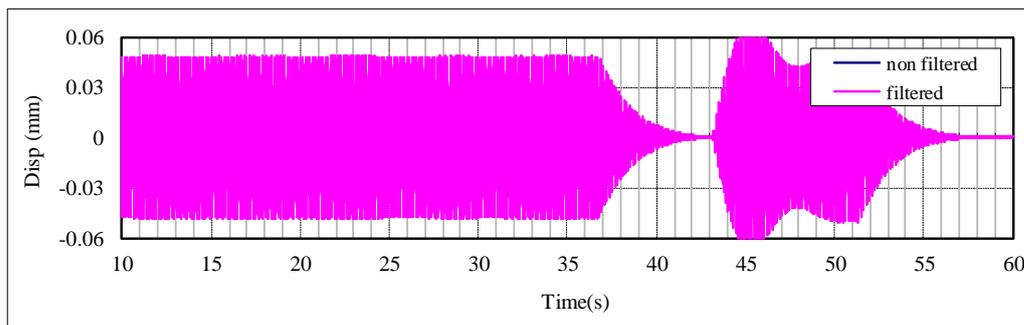
図 6.4.2.10-7 No.37 配置 9 7Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置9における、中央、手前はね出し、二方向はね出し、左はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 37 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210930-1_13
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.80 | 0.045 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.23 | 1.13 | 1.29 |

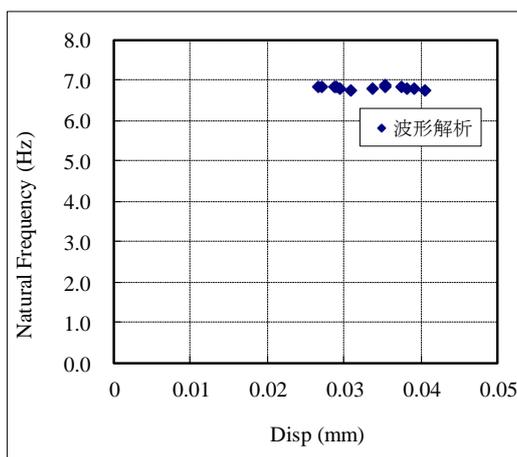
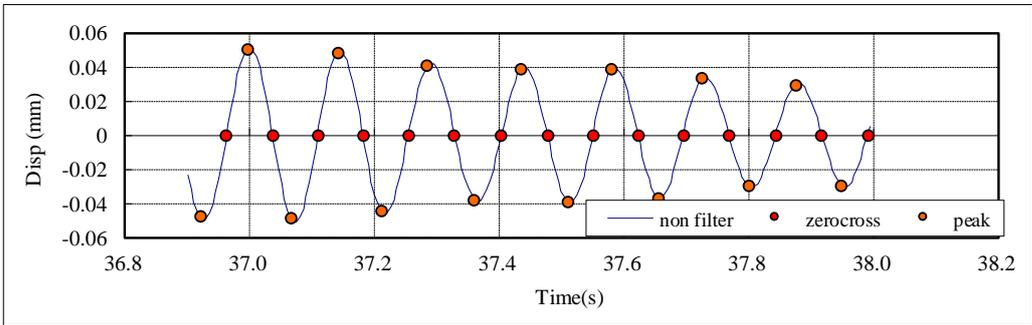
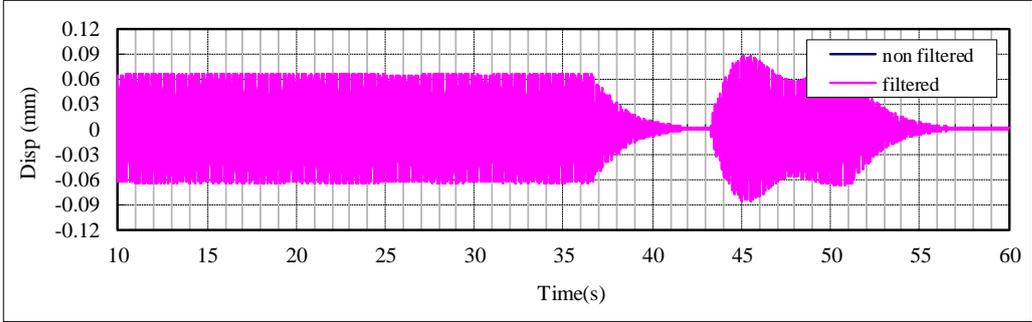


図 6.4.2.10-8 計測 No.37, 7Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 37 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210930-1_13
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.80 | 0.050 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.38 | 1.48 | 1.17 |

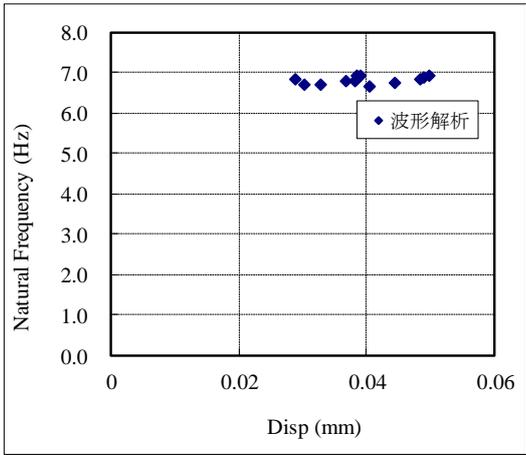
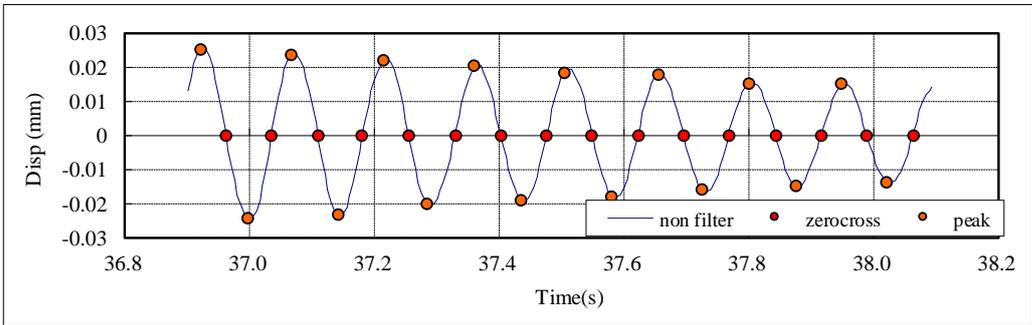
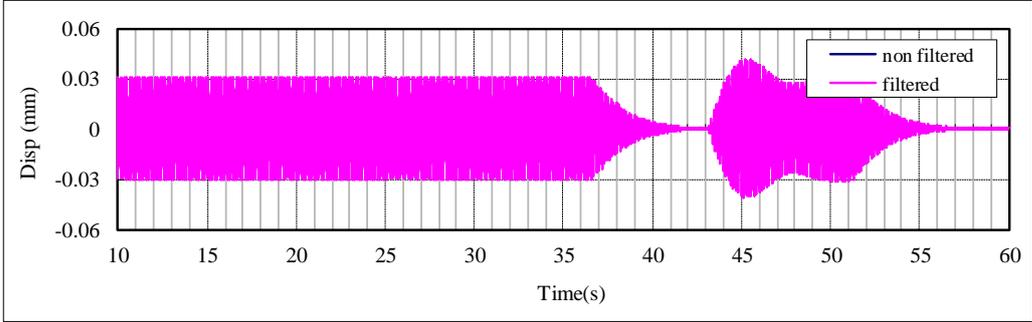


図 6.4.2.10-9 計測 No.37, 7Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 37 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210930-1_13
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.80 | 0.025 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.25 | 1.21 | 1.31 |

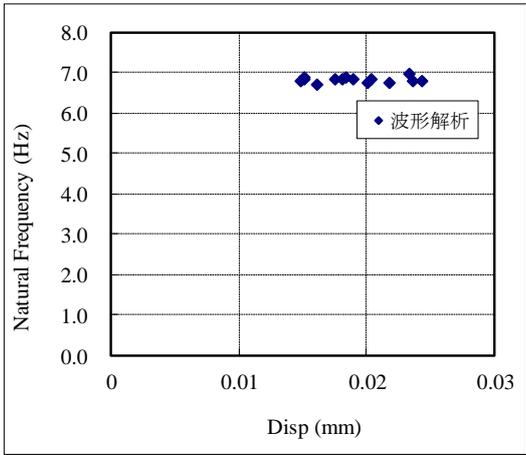
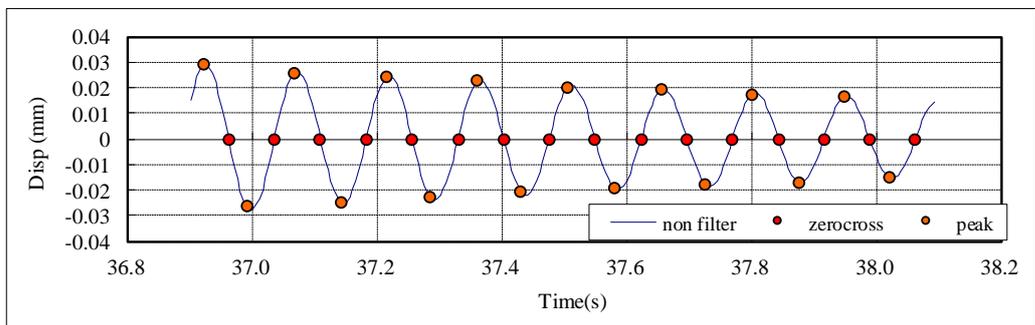
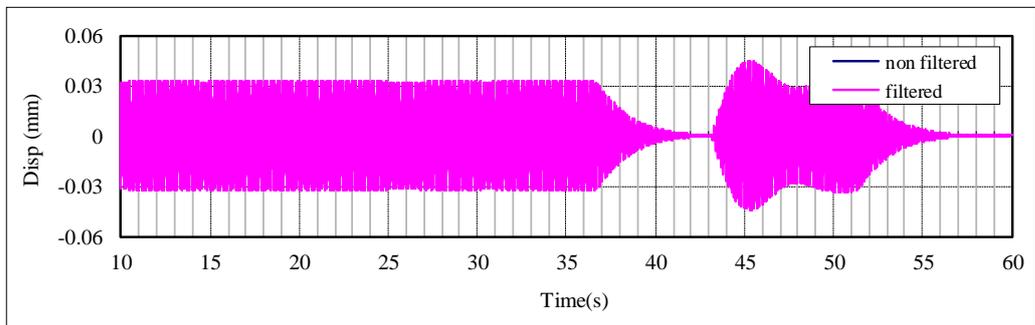


図 6.4.2.10-10 計測 No.37, 7Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 37 |
|-----|----|

STP_4CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 210930-1_13

CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.80 | 0.029 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.29 | 1.31 | 1.29 |

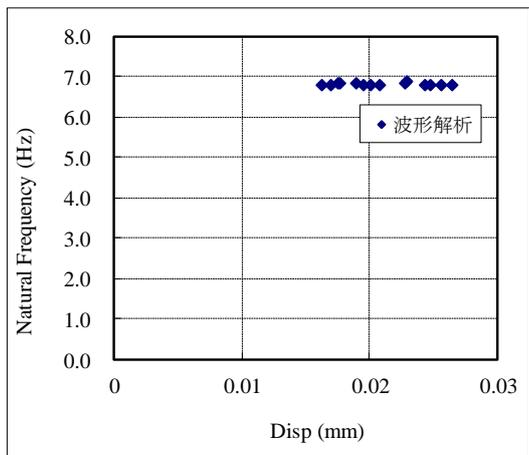


図 6.4.2.10-11 計測 No.37, 7Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 7 (計測 No.14) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

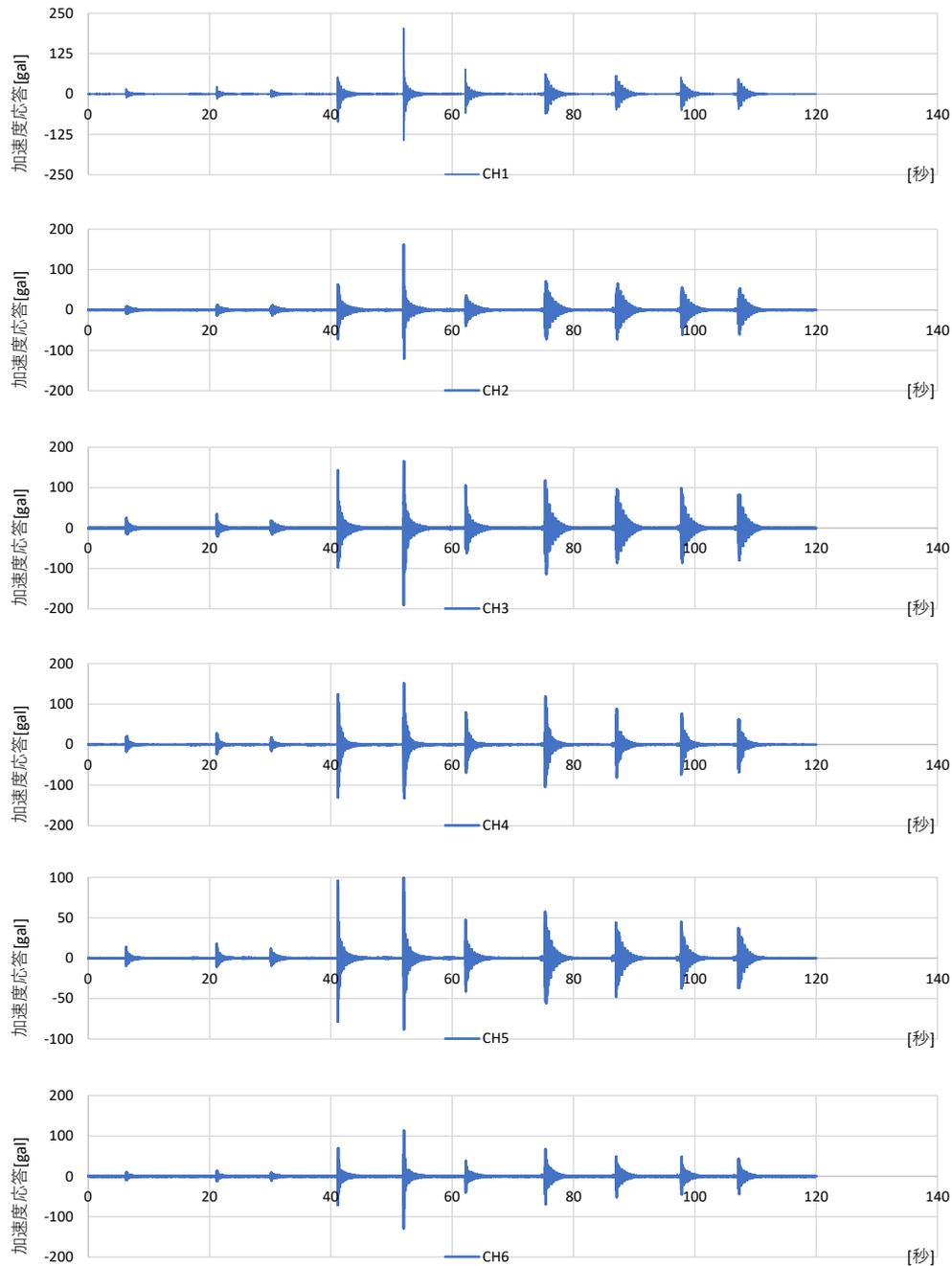


図 6.4.2.10-12 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

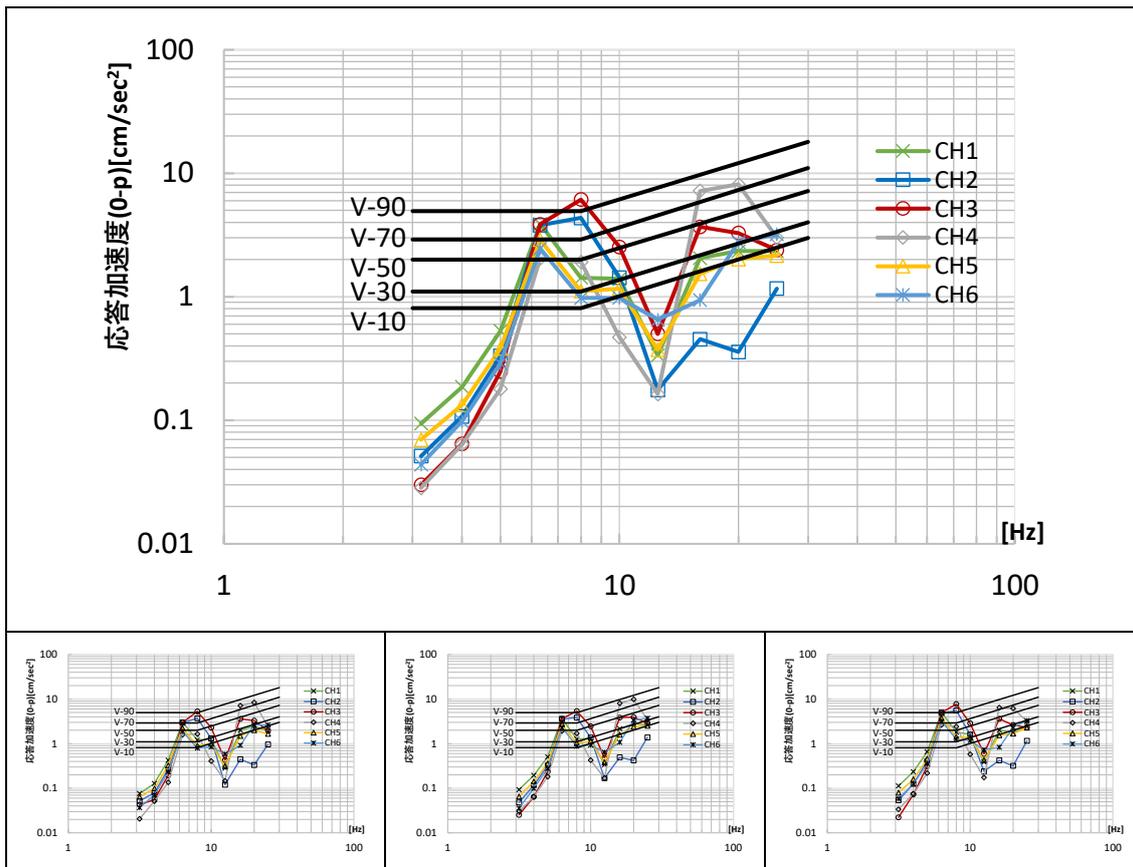


図 6.4.2.10-13 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.10-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.09 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.04 |
| 4 | 0.19 | 0.11 | 0.06 | 0.06 | 0.13 | 0.10 |
| 5 | 0.53 | 0.33 | 0.25 | 0.18 | 0.38 | 0.29 |
| 6.3 | 3.89 | 3.79 | 3.86 | 2.04 | 2.89 | 2.45 |
| 8 | 1.42 | 4.35 | 6.12 | 1.91 | 1.11 | 0.98 |
| 10 | 1.40 | 1.43 | 2.53 | 0.47 | 1.16 | 0.98 |
| 12.5 | 0.34 | 0.18 | 0.50 | 0.16 | 0.37 | 0.65 |
| 16 | 2.06 | 0.45 | 3.68 | 7.19 | 1.54 | 0.94 |
| 20 | 2.34 | 0.36 | 3.28 | 8.12 | 2.02 | 2.77 |
| 25 | 2.34 | 1.16 | 2.38 | 3.00 | 2.15 | 3.20 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

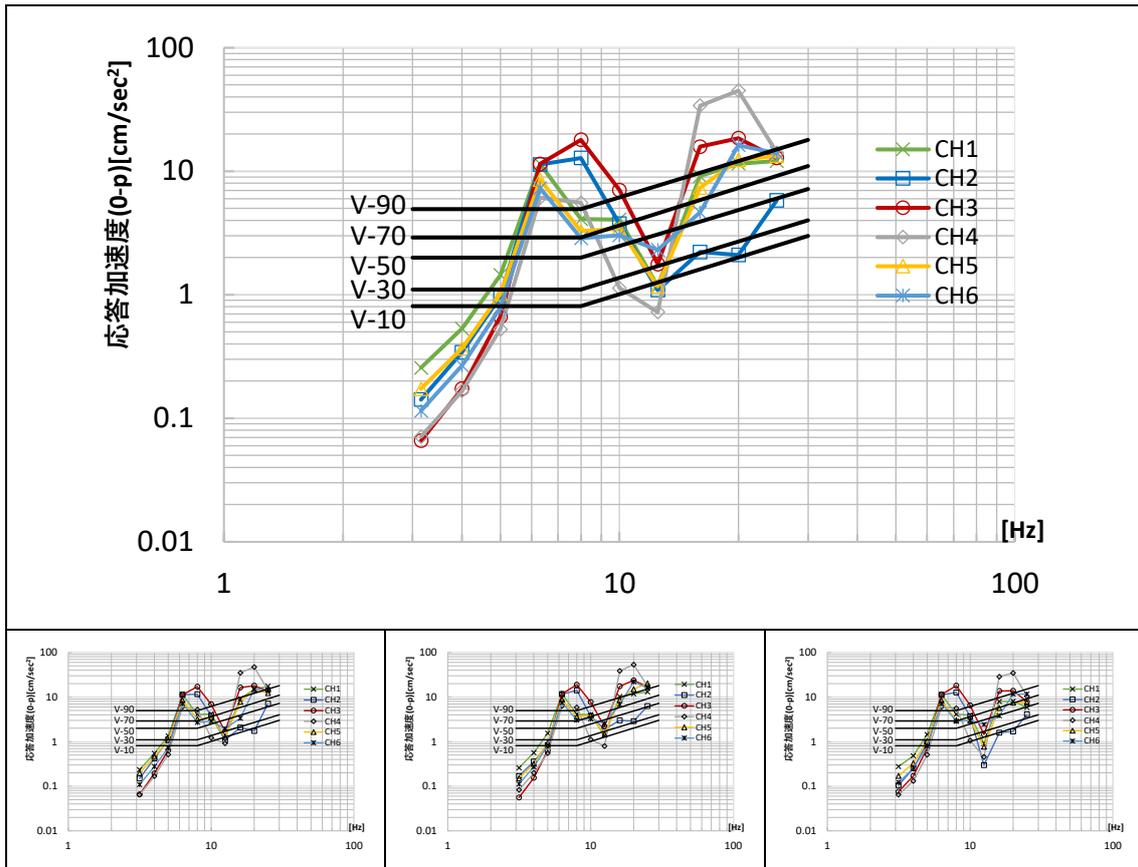


図 6.4.2.10-14 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.10-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.26 | 0.14 | 0.07 | 0.07 | 0.17 | 0.11 |
| 4 | 0.53 | 0.34 | 0.17 | 0.17 | 0.37 | 0.27 |
| 5 | 1.44 | 0.97 | 0.66 | 0.53 | 1.01 | 0.79 |
| 6.3 | 11.45 | 11.33 | 11.49 | 6.11 | 8.54 | 7.31 |
| 8 | 4.10 | 12.80 | 17.97 | 5.55 | 3.27 | 2.87 |
| 10 | 4.06 | 3.76 | 7.05 | 1.13 | 3.44 | 3.02 |
| 12.5 | 1.17 | 1.09 | 1.77 | 0.72 | 1.17 | 2.31 |
| 16 | 9.16 | 2.22 | 15.82 | 34.01 | 7.36 | 4.65 |
| 20 | 11.52 | 2.10 | 18.51 | 44.95 | 12.37 | 16.23 |
| 25 | 12.11 | 5.82 | 12.81 | 14.12 | 13.35 | 14.00 |

③ かかと加振の結果

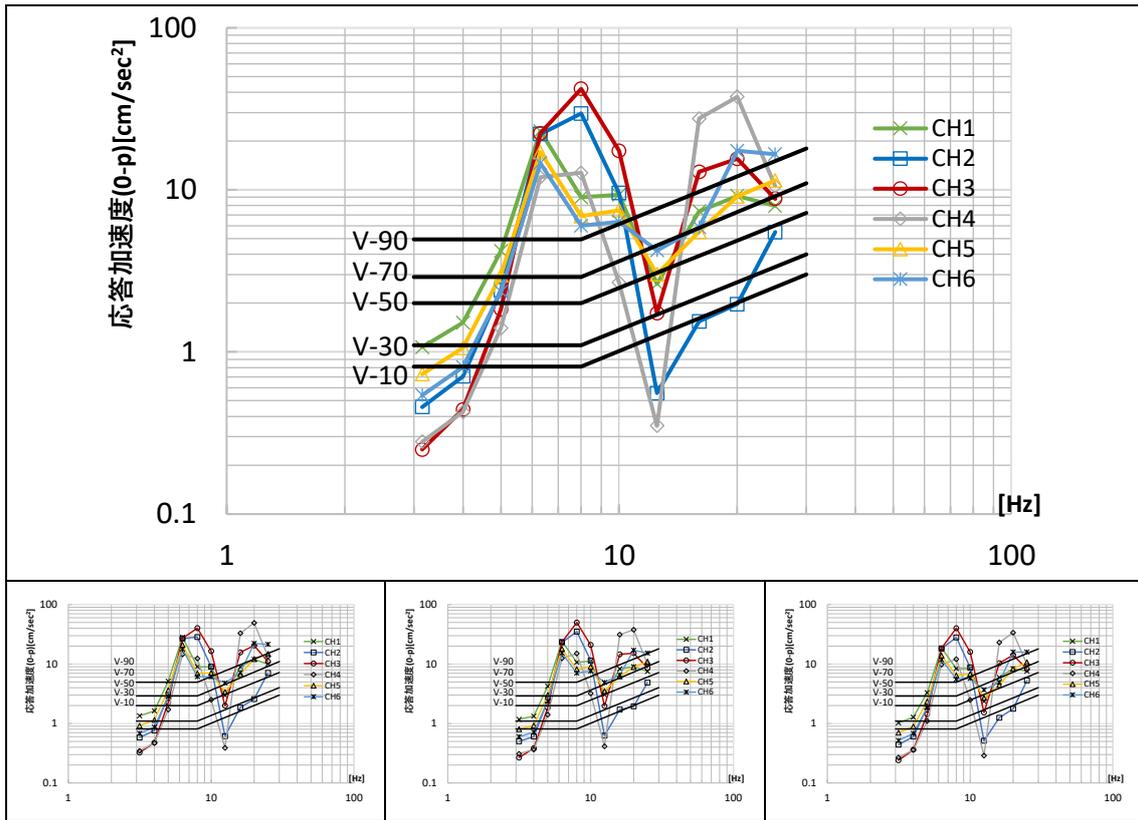


図 6.4.2.10-15 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.10-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 1.07 | 0.46 | 0.25 | 0.28 | 0.73 | 0.54 |
| 4 | 1.51 | 0.71 | 0.44 | 0.43 | 1.06 | 0.81 |
| 5 | 4.19 | 2.40 | 1.83 | 1.40 | 2.97 | 2.35 |
| 6.3 | 23.04 | 22.09 | 22.35 | 11.94 | 17.10 | 14.61 |
| 8 | 8.97 | 29.56 | 42.06 | 12.73 | 6.88 | 6.00 |
| 10 | 9.32 | 9.56 | 17.40 | 2.68 | 7.47 | 6.36 |
| 12.5 | 2.63 | 0.56 | 1.74 | 0.35 | 3.02 | 4.23 |
| 16 | 7.37 | 1.54 | 12.92 | 27.48 | 5.51 | 5.87 |
| 20 | 9.16 | 1.97 | 15.53 | 37.50 | 9.11 | 17.40 |
| 25 | 7.95 | 5.49 | 8.80 | 10.52 | 11.42 | 16.58 |

(1 1) 鋼板ビス打接合 CLT 4 枚・4 点支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

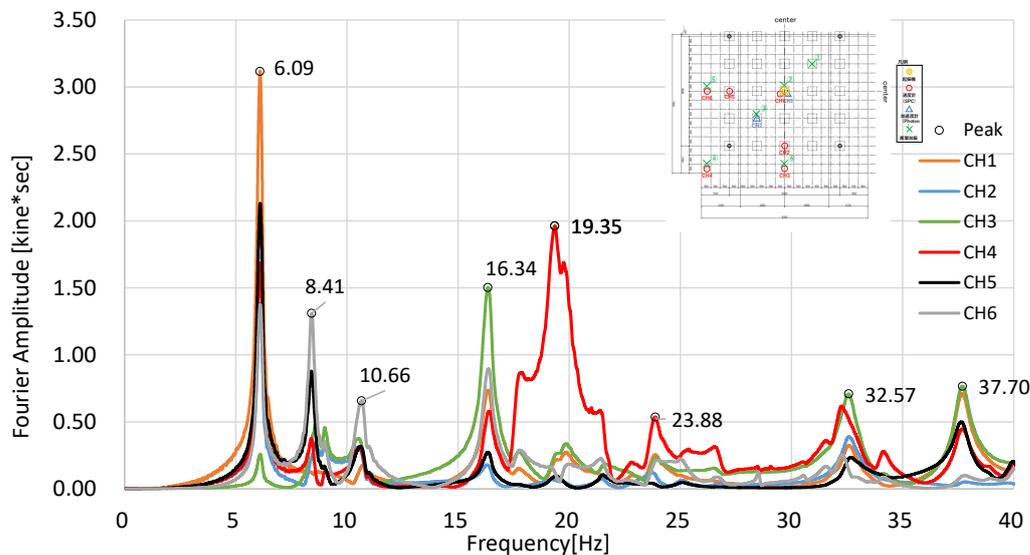


図 6.4.2.11-1 共振点探査の結果 (No.29, 配置 9) フーリエスペクトル

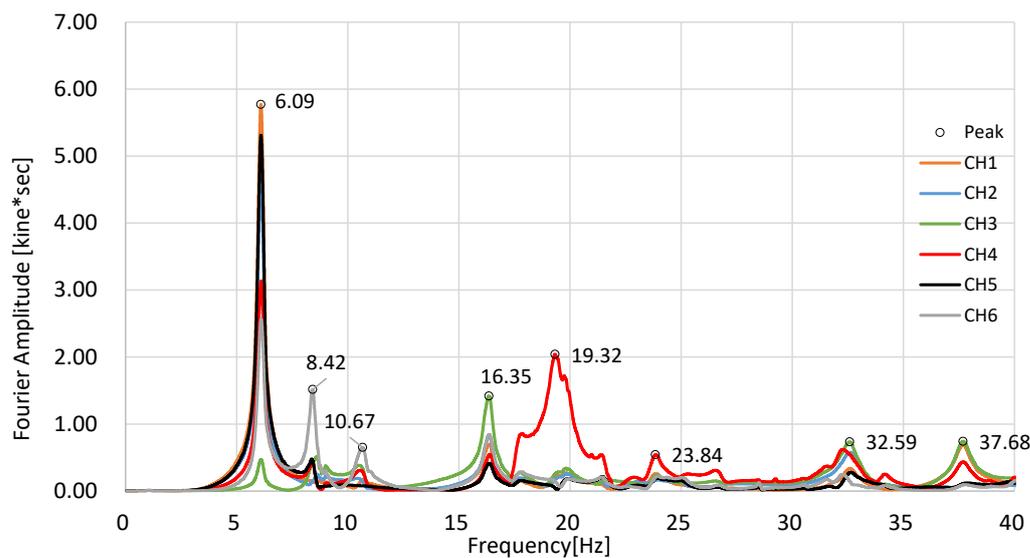


図 6.4.2.11-2 共振点探査の結果 (No.37, 配置 10) フーリエスペクトル

4 点支持の場合, 1 次固有振動数として, 6Hz 付近に, 中央を最大振幅とするピークがあり, 次いで, 左のはね出し 8.4, 10.7, 手前のはね出し 16.3, 二方向はね出し 19.3 にピークがみられ, 4 辺支持とも類似して, 各はね出し位置でのピークがみられる結果となった。
主要な卓越振動数 : 6.09, 8.41, 10.66, 16.34, 19.35[Hz]

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 6Hz での共振加振結果 (No.45, 配置 11)

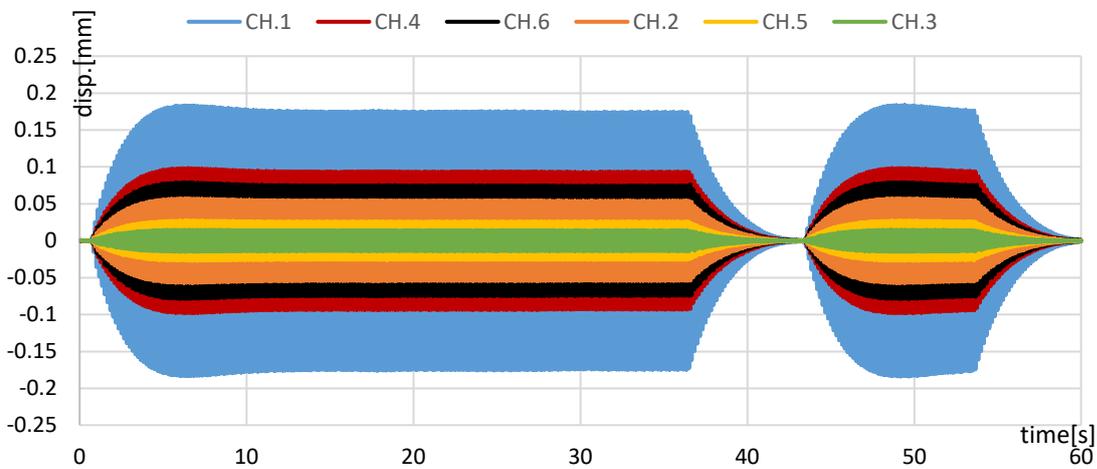


図 6.4.2.11-3 No.45 配置 11 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

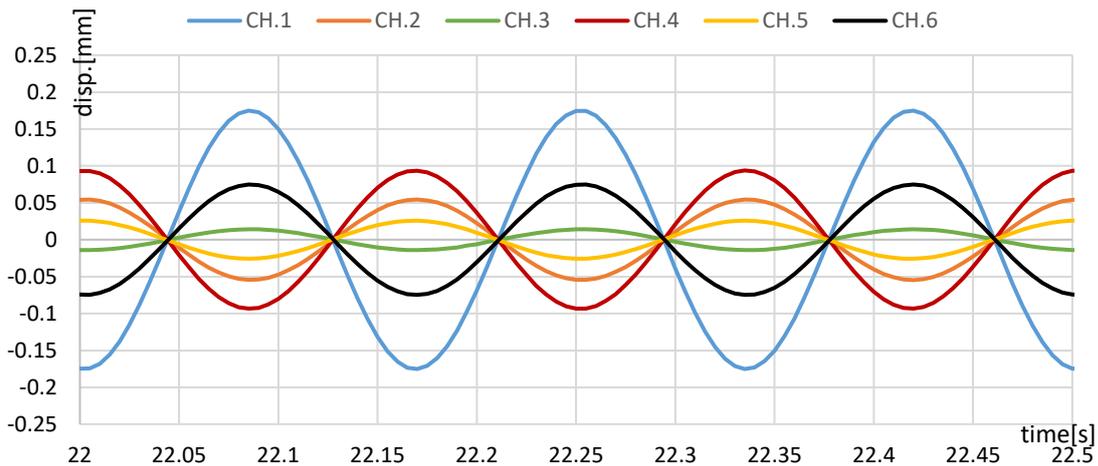


図 6.4.2.11-4 No.45 配置 11 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

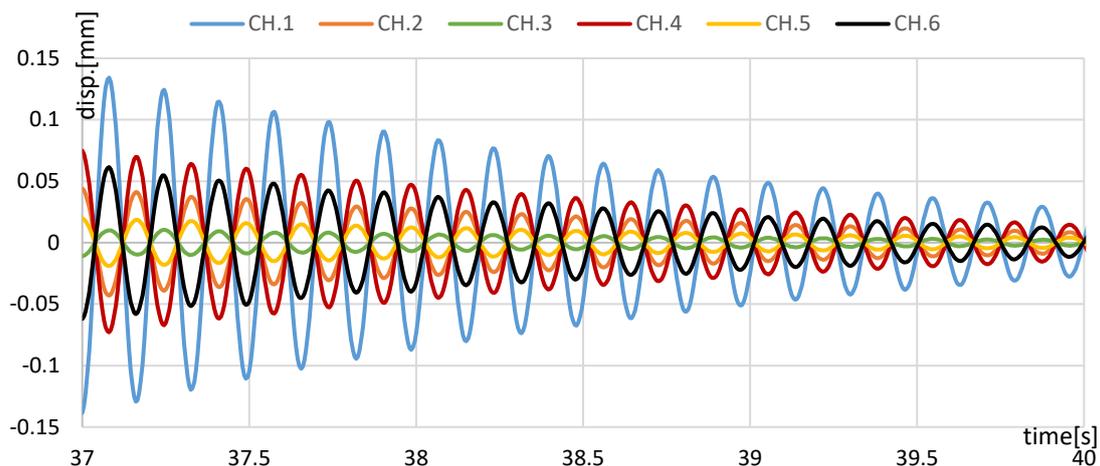


図 6.4.2.11-5 No.45 配置 11 6Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 目田振動状態拡大図

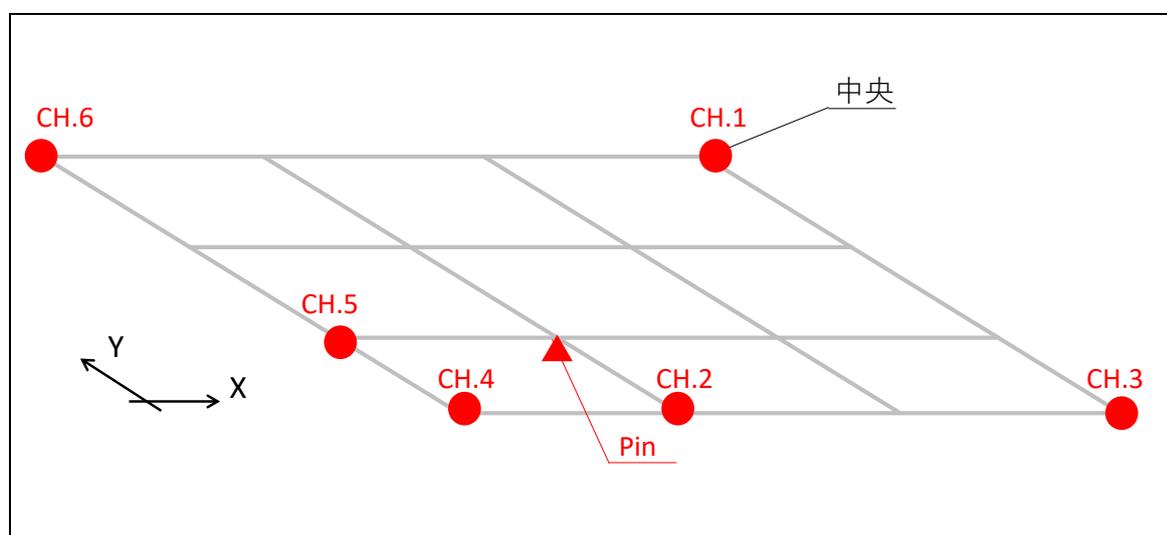


図 6.4.2.11-6 No.45 配置 11 計測点

表 6.4.2.11-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

1次固有振動数に対しては、GIR の場合と同様に、ピンを支点として、中央へ対角線方向にたわむ応答となっている。ただし、これも GIR と類似しているが、手前のはね出し部 CH.3 と左のはね出し CH.6 の応答値はかなり異なる傾向にあり、対称な変形モードではない。

表 6.4.2.11 0-1 No.45 配置 11 6Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1754 | 0.0547 | 0.0143 | 0.0939 | 0.0260 | 0.0753 |

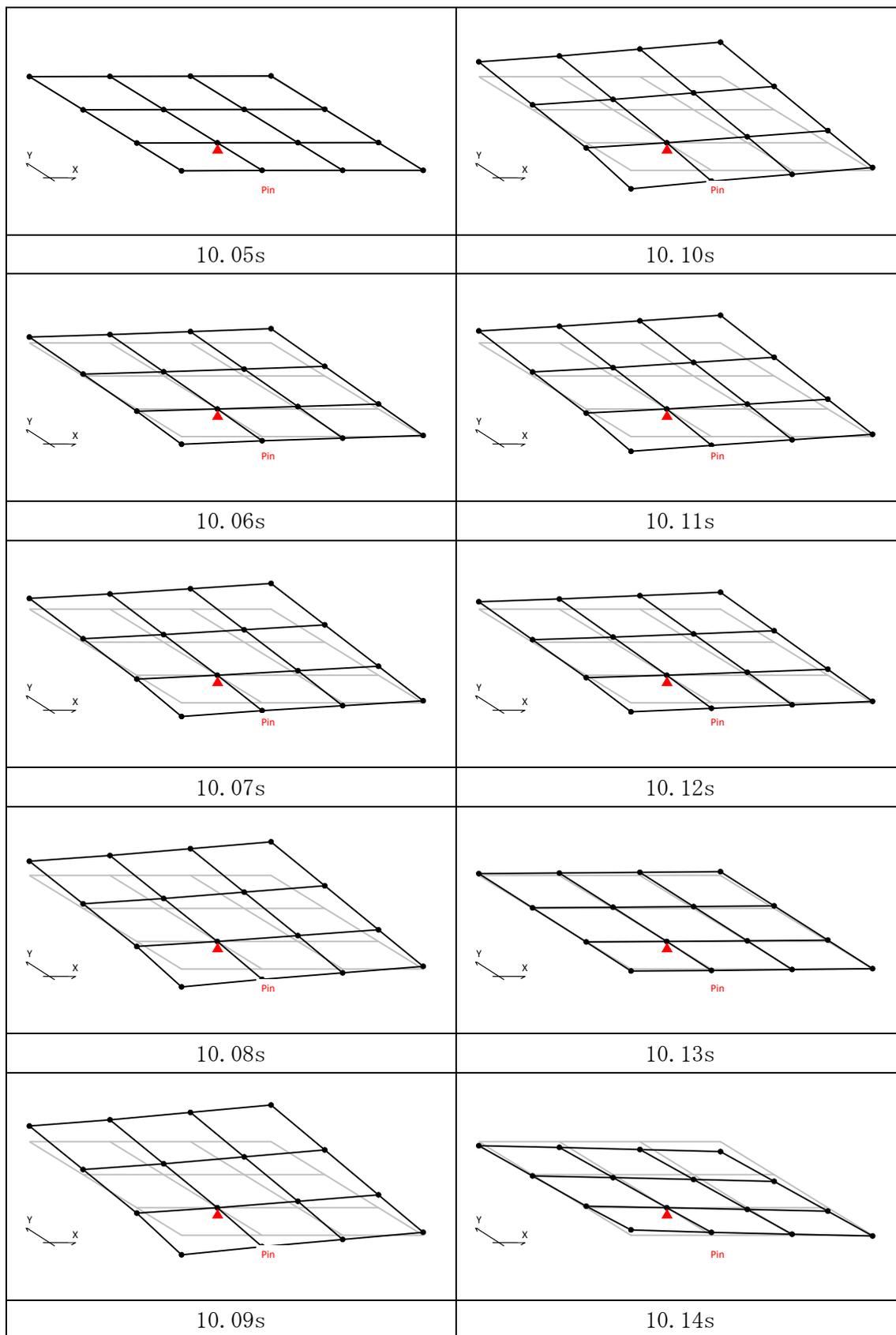


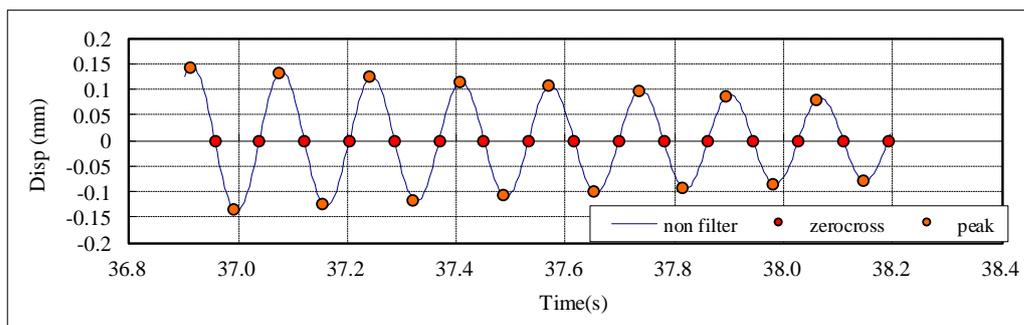
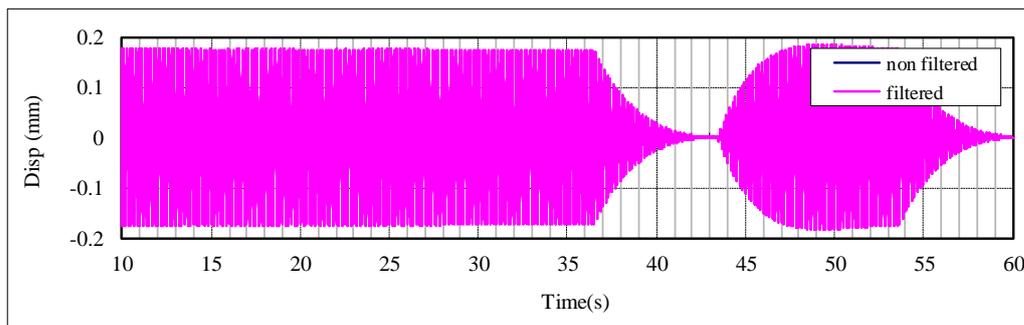
図 6.4.2.11-7 No.45 配置 11 6Hz 変形モード図 [75倍で表示]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された6Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置11における、中央、手前はね出し、二方向はね出し、左はね出しの4点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 45 |
|-----|----|

STP_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210929-2_17
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.07 | 0.143 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.25 | 1.30 | 1.21 |

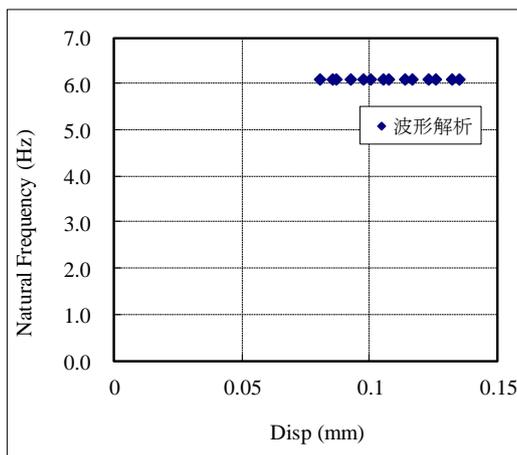
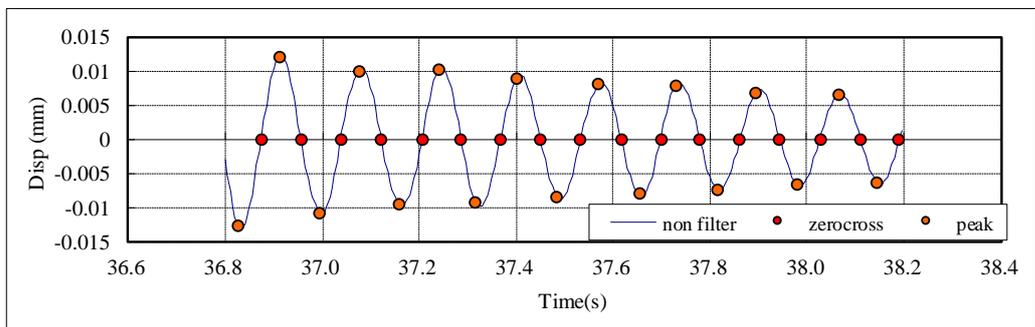
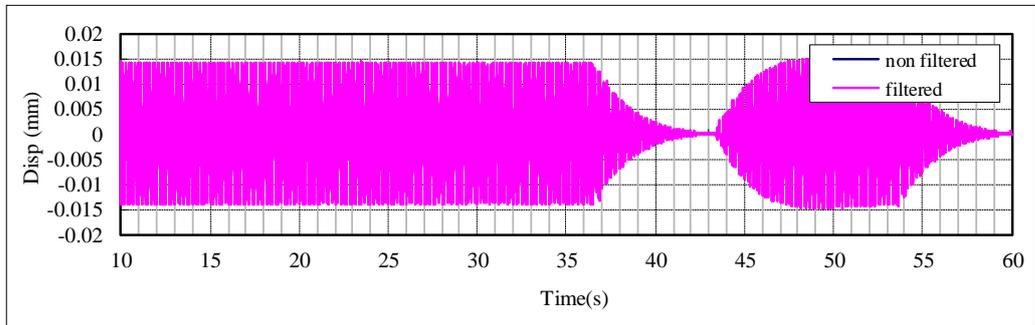


図 6.4.2.11-8 計測 No.45, 6Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 45 |
|-----|----|

STP_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210929-2_17
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.08 | 0.013 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.42 | 1.44 | 1.36 |

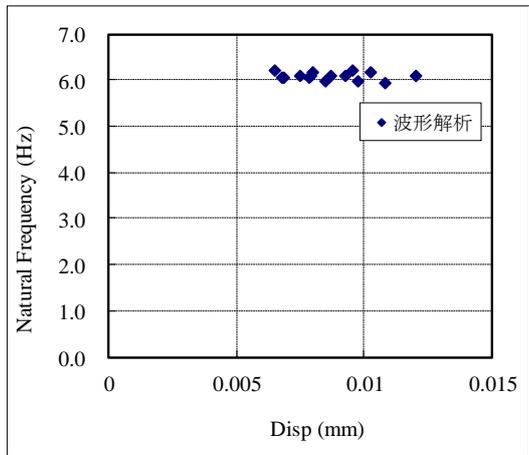
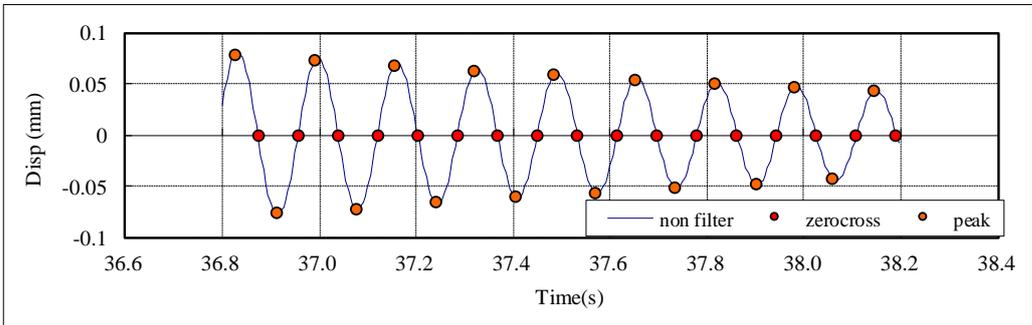
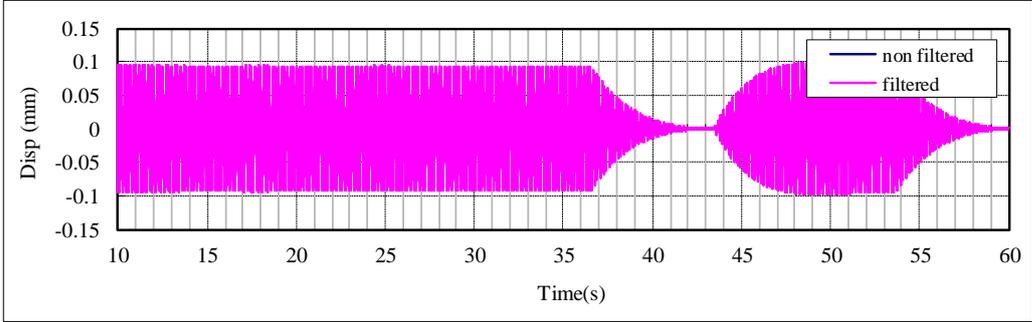


図 6.4.2.11-9 計測 No.45, 6Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 45 |
|-----|----|

STP_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210929-2_17
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.07 | 0.079 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.24 | 1.23 | 1.28 |

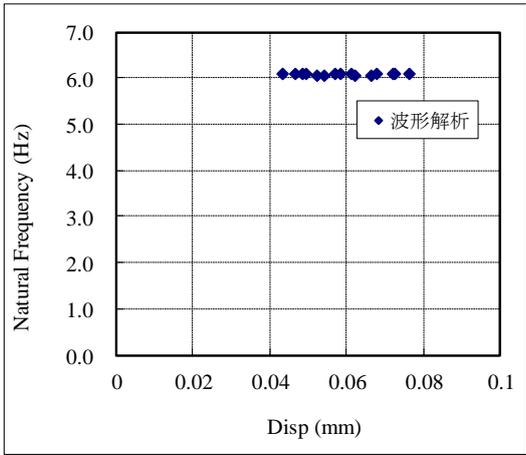
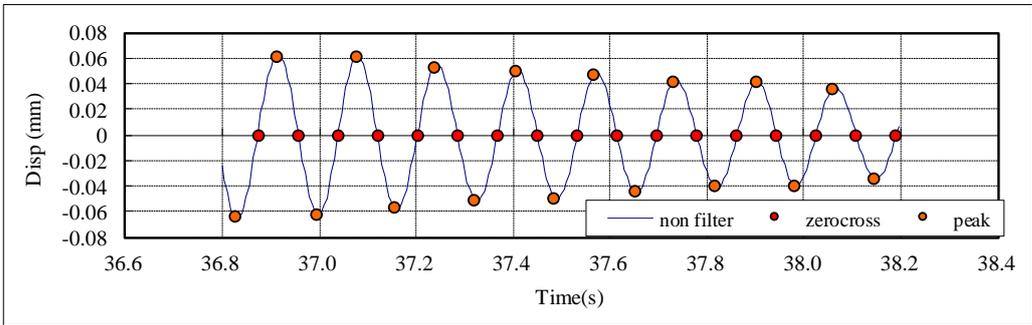
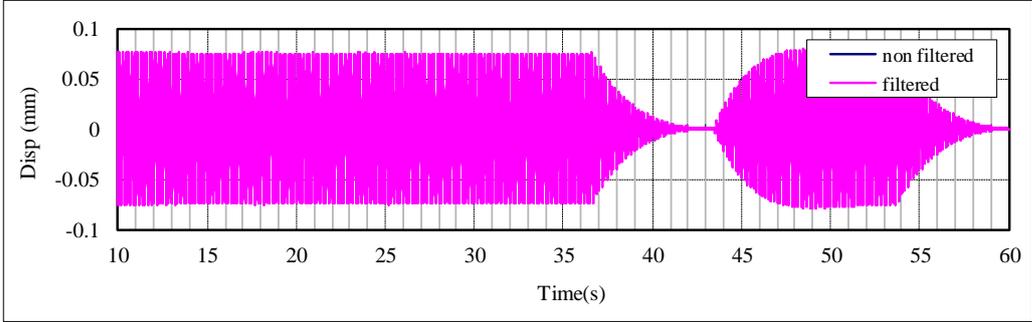


図 6.4.2.11-10 計測 No.45, 6Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 45 |
|-----|----|

STP_4CLT_4p_共振起振,自由振動 210929-2_17
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.16 | 6.07 | 0.064 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.17 | 1.22 | 1.26 |

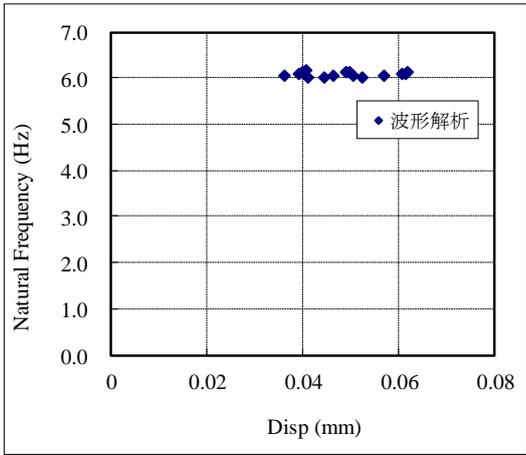


図 6.4.2.11-11 計測 No.45, 6Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 9 (計測 No.18) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

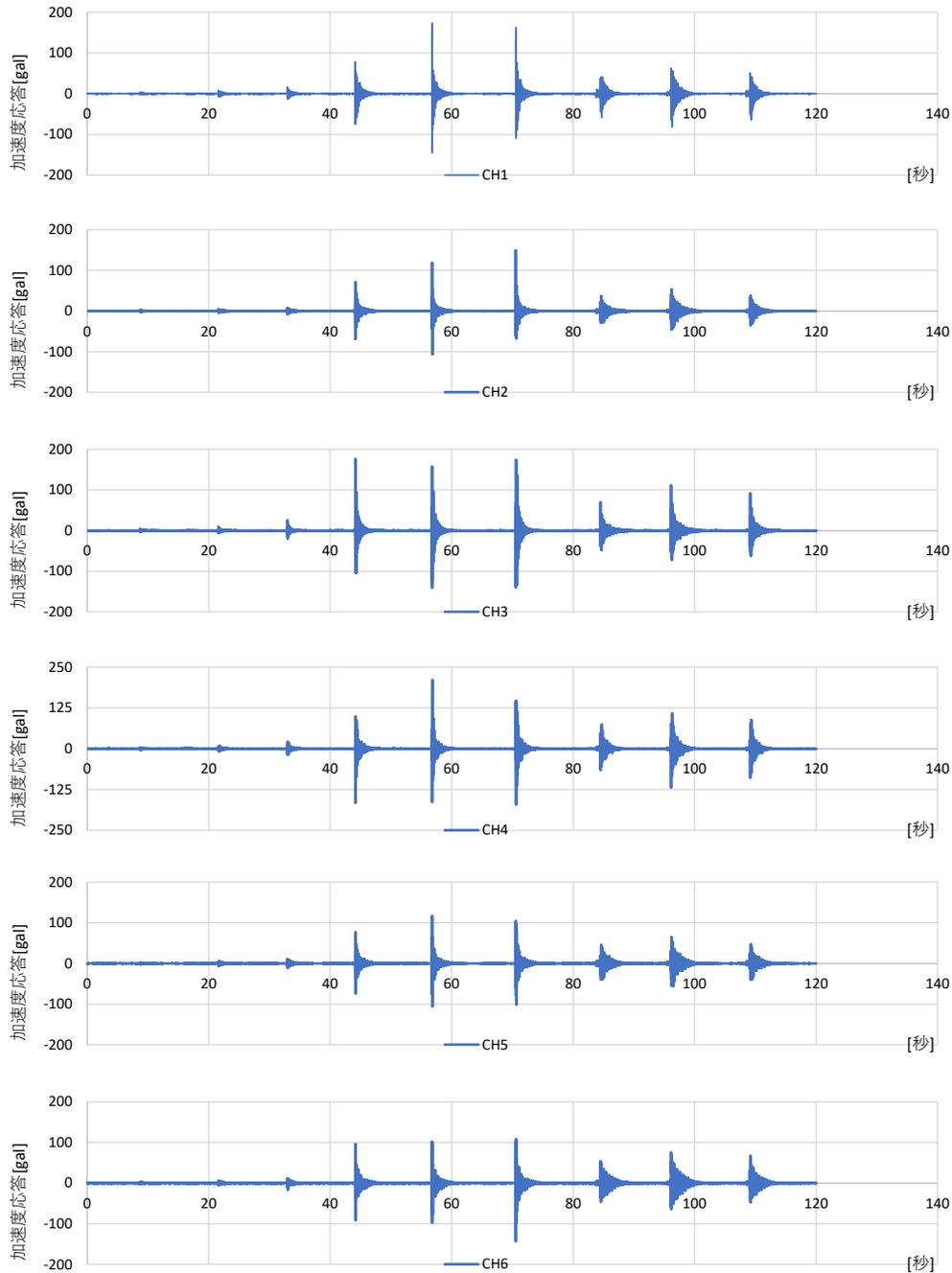


図 6.4.2.11-12 応答値

① 5kg 砂袋 5cm の結果

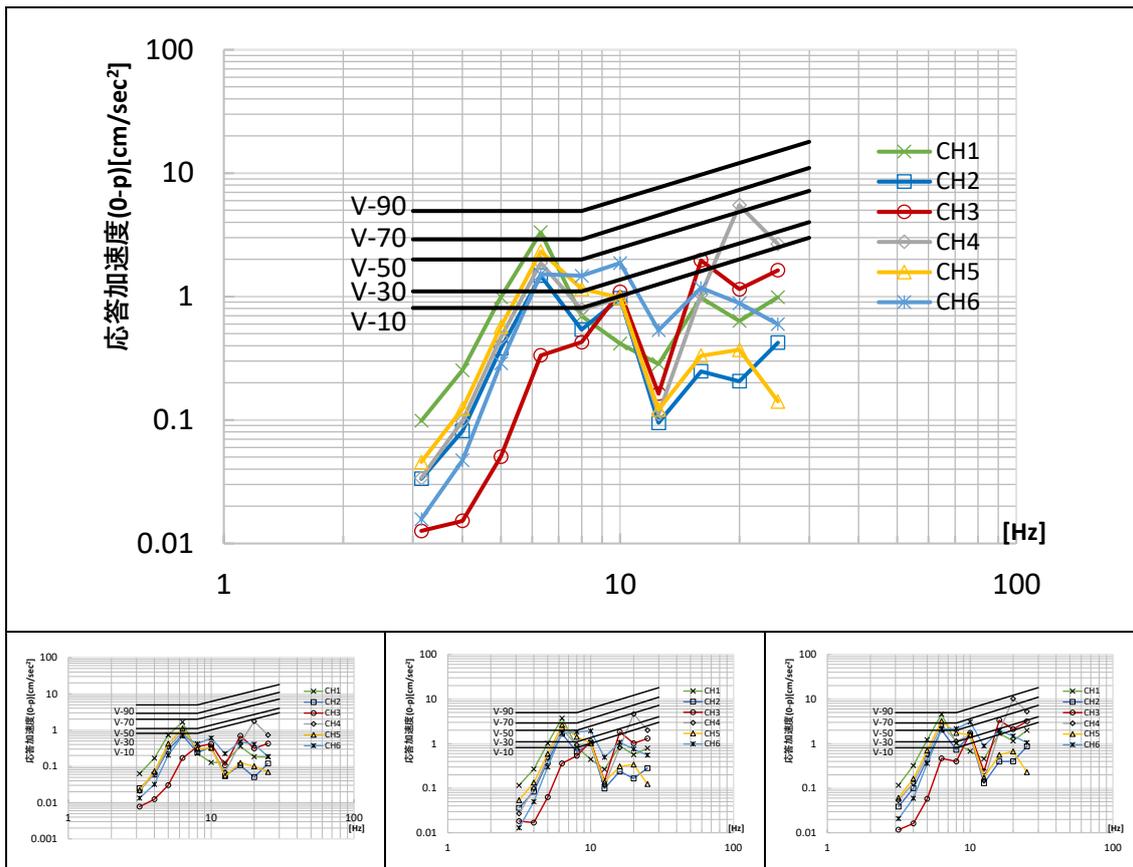


図 6.4.2.11-13 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.11-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.10 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.02 |
| 4 | 0.25 | 0.08 | 0.02 | 0.10 | 0.12 | 0.05 |
| 5 | 0.99 | 0.38 | 0.05 | 0.46 | 0.57 | 0.29 |
| 6.3 | 3.32 | 1.48 | 0.33 | 1.87 | 2.32 | 1.52 |
| 8 | 0.70 | 0.54 | 0.43 | 0.79 | 1.15 | 1.47 |
| 10 | 0.42 | 0.97 | 1.09 | 0.97 | 0.98 | 1.87 |
| 12.5 | 0.28 | 0.09 | 0.16 | 0.11 | 0.12 | 0.53 |
| 16 | 0.98 | 0.25 | 1.96 | 1.04 | 0.33 | 1.17 |
| 20 | 0.63 | 0.21 | 1.15 | 5.50 | 0.37 | 0.88 |
| 25 | 0.99 | 0.42 | 1.63 | 2.66 | 0.14 | 0.60 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

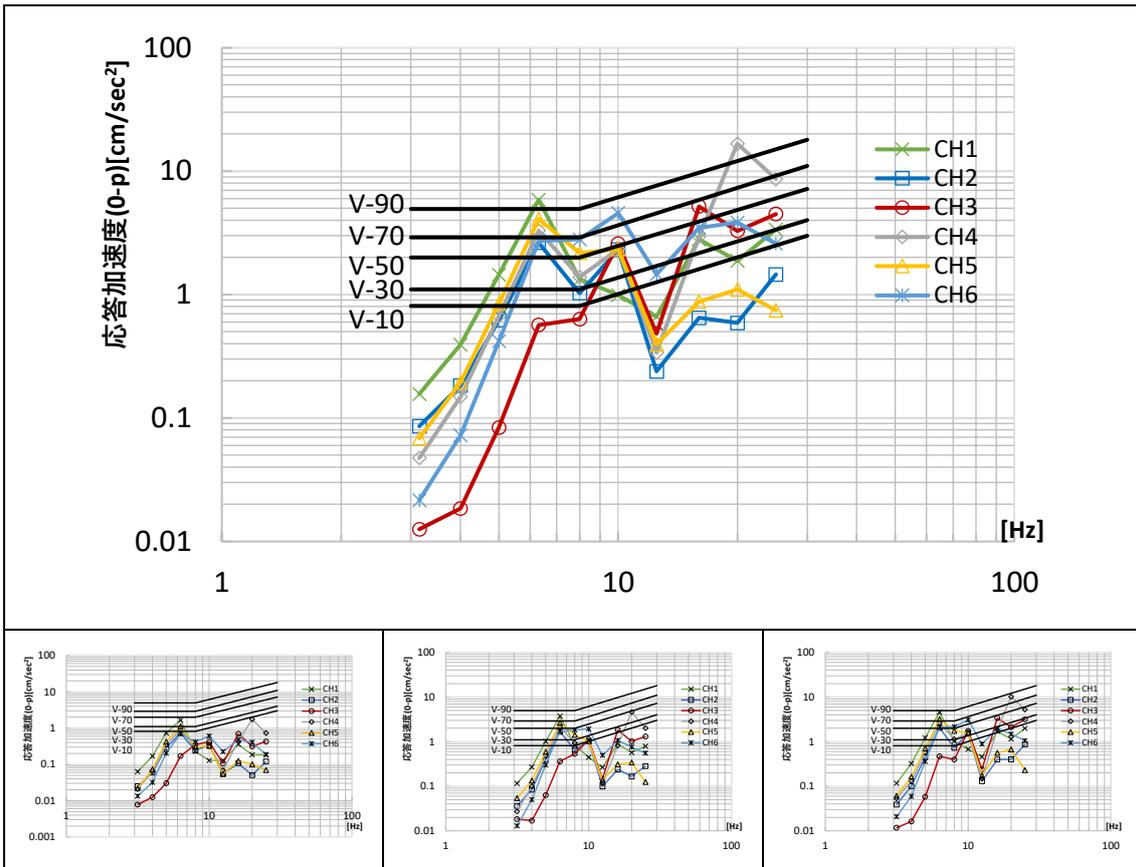


図 6.4.2.11-14 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.11-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.16 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.07 | 0.02 |
| 4 | 0.39 | 0.18 | 0.02 | 0.15 | 0.19 | 0.07 |
| 5 | 1.45 | 0.62 | 0.08 | 0.67 | 0.84 | 0.42 |
| 6.3 | 5.85 | 2.63 | 0.57 | 3.30 | 4.10 | 2.72 |
| 8 | 1.33 | 1.03 | 0.63 | 1.39 | 2.18 | 2.80 |
| 10 | 0.99 | 2.31 | 2.60 | 2.34 | 2.34 | 4.57 |
| 12.5 | 0.66 | 0.24 | 0.48 | 0.34 | 0.39 | 1.46 |
| 16 | 2.80 | 0.65 | 5.19 | 2.95 | 0.88 | 3.48 |
| 20 | 1.88 | 0.59 | 3.28 | 16.70 | 1.10 | 3.84 |
| 25 | 3.37 | 1.45 | 4.49 | 8.63 | 0.75 | 2.58 |

③ かかと加振の結果

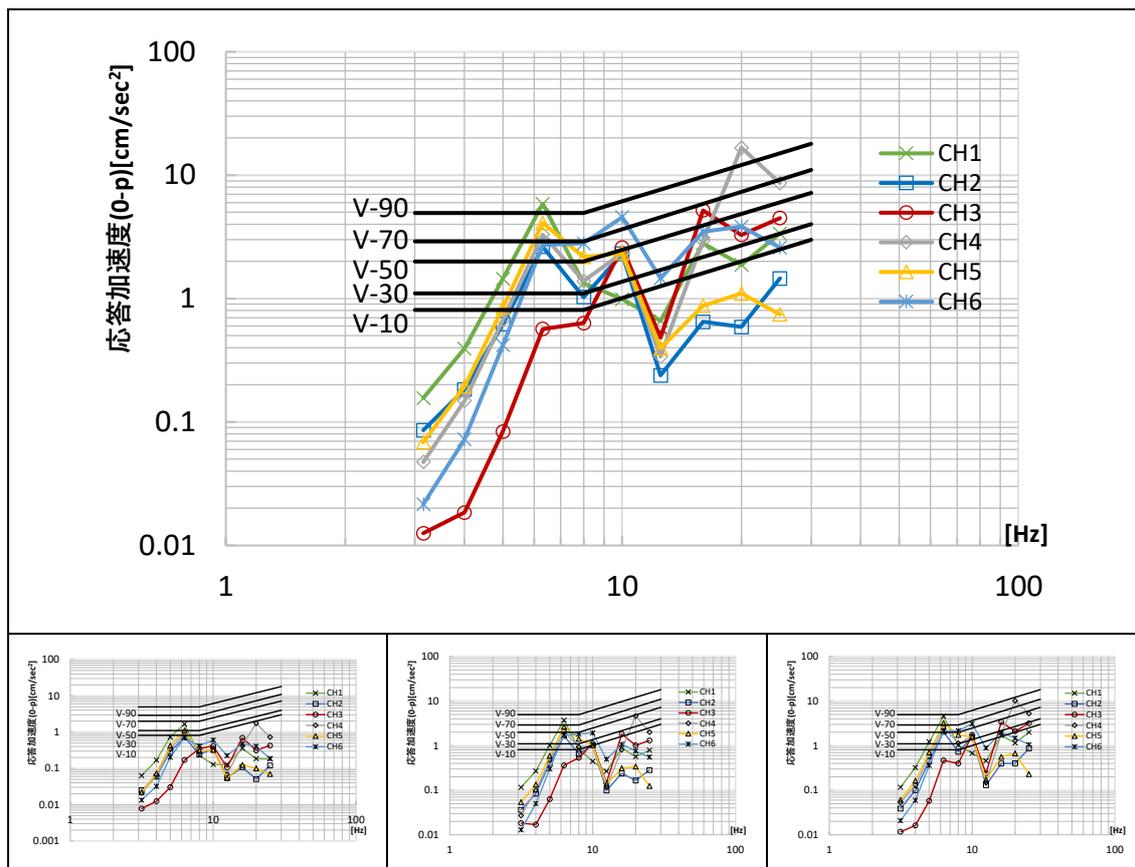


図 6.4.2.11-15 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.11-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.16 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.07 | 0.02 |
| 4 | 0.39 | 0.18 | 0.02 | 0.15 | 0.19 | 0.07 |
| 5 | 1.45 | 0.62 | 0.08 | 0.67 | 0.84 | 0.42 |
| 6.3 | 5.85 | 2.63 | 0.57 | 3.30 | 4.10 | 2.72 |
| 8 | 1.33 | 1.03 | 0.63 | 1.39 | 2.18 | 2.80 |
| 10 | 0.99 | 2.31 | 2.60 | 2.34 | 2.34 | 4.57 |
| 12.5 | 0.66 | 0.24 | 0.48 | 0.34 | 0.39 | 1.46 |
| 16 | 2.80 | 0.65 | 5.19 | 2.95 | 0.88 | 3.48 |
| 20 | 1.88 | 0.59 | 3.28 | 16.70 | 1.10 | 3.84 |
| 25 | 3.37 | 1.45 | 4.49 | 8.63 | 0.75 | 2.58 |

(12) 鋼板ビス打接合 CLT 3 枚・4 辺支持

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

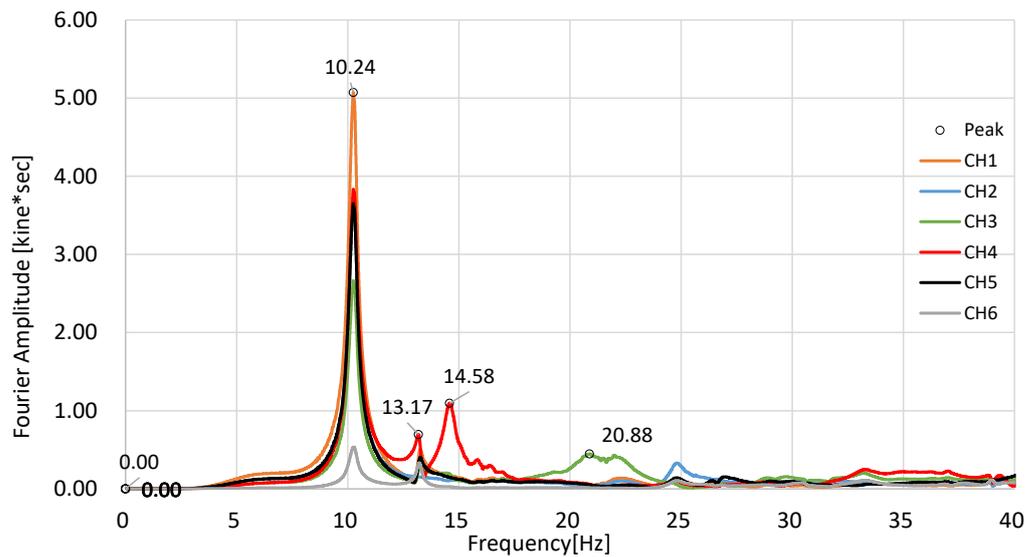


図 6.4.2.12-1 共振点探査の結果 (No.7, 配置 4) フーリエスペクトル

10.2Hz にレール内中央が最大となるピークがみられるほか、応答値は小さいながら、左手前、中央手前のはね出し部が卓越する 13.2, 14.6, 20.9Hz のピークが確認された。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 10.5Hz での共振加振結果 (No.25, 配置 6)

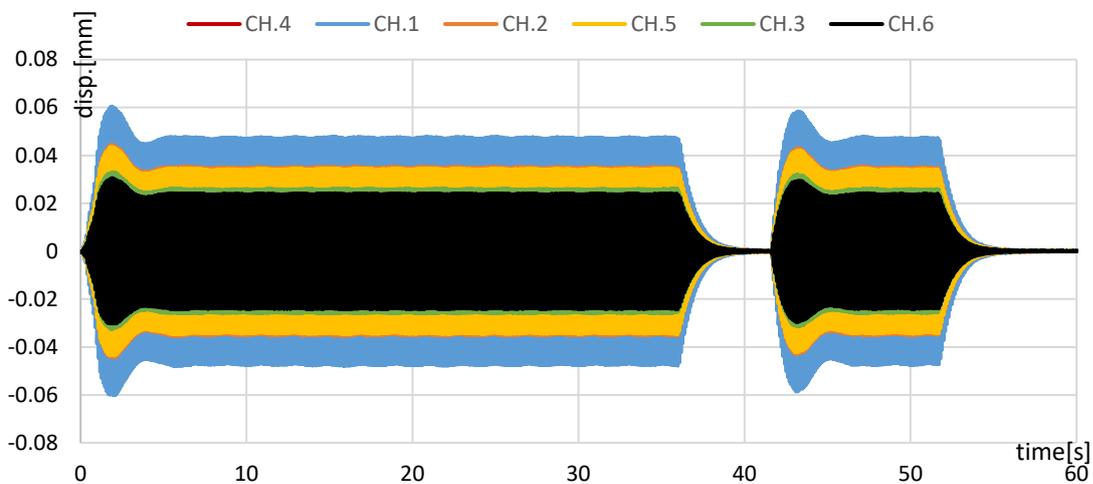


図 6.4.2.12-2 No.25 配置 6 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

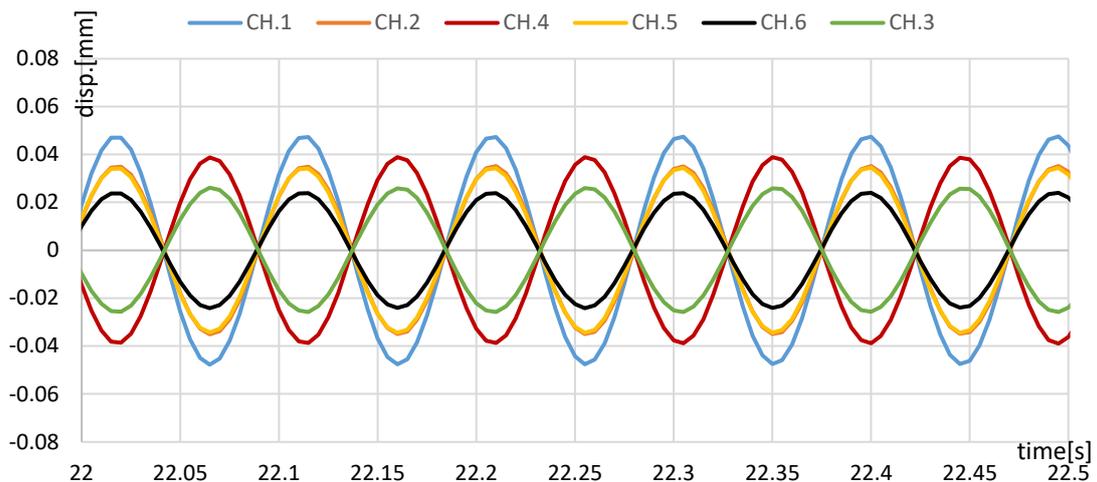


図 6.4.2.12-3 No.25 配置 6 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

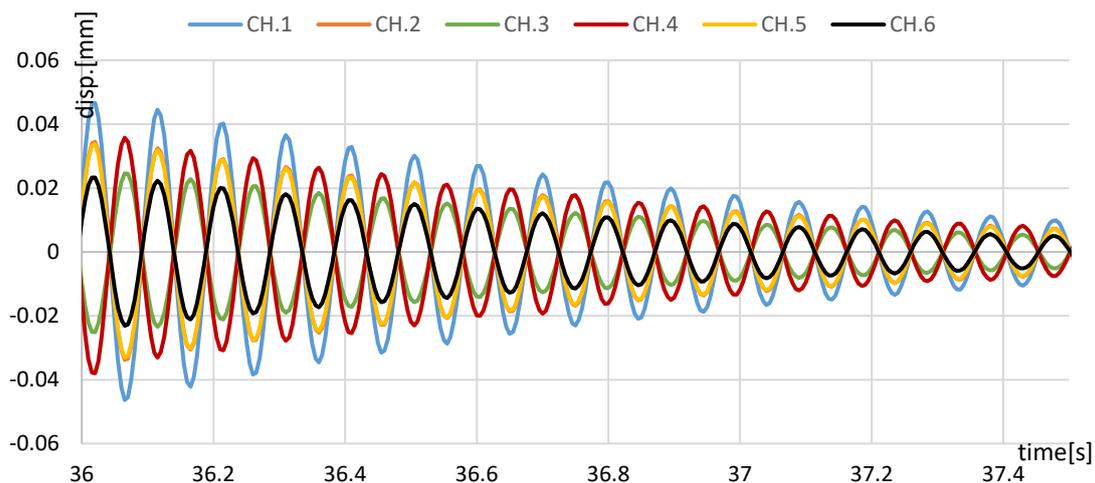


図 6.4.2.12-4 No.25 配置 6 10.5Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

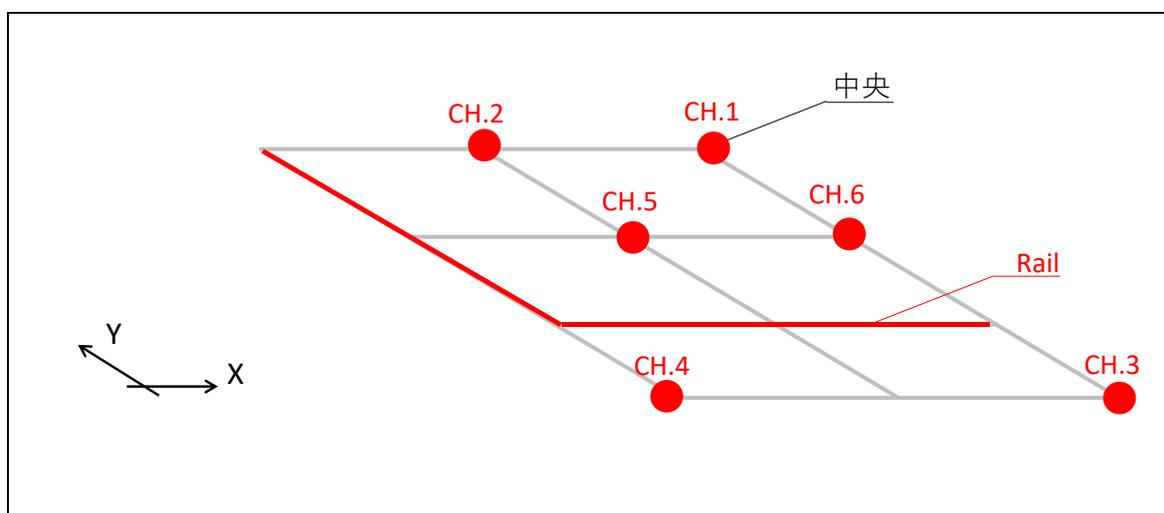


図 6.4.2.12-5 No.25 配置 6 計測点

表 6.4.2.12-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)

レール内部と外部が逆位相となり、中央付近の変形が大きなモードであることは GIR と共通である。CH3,4 を比較すると、後者の振幅がやや大きいものの中央部もある程度の変形を示している。

表 6.4.2.12-1 No.25 配置 6 10.5Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.0477 | 0.0352 | 0.0261 | 0.0389 | 0.0345 | 0.0241 |

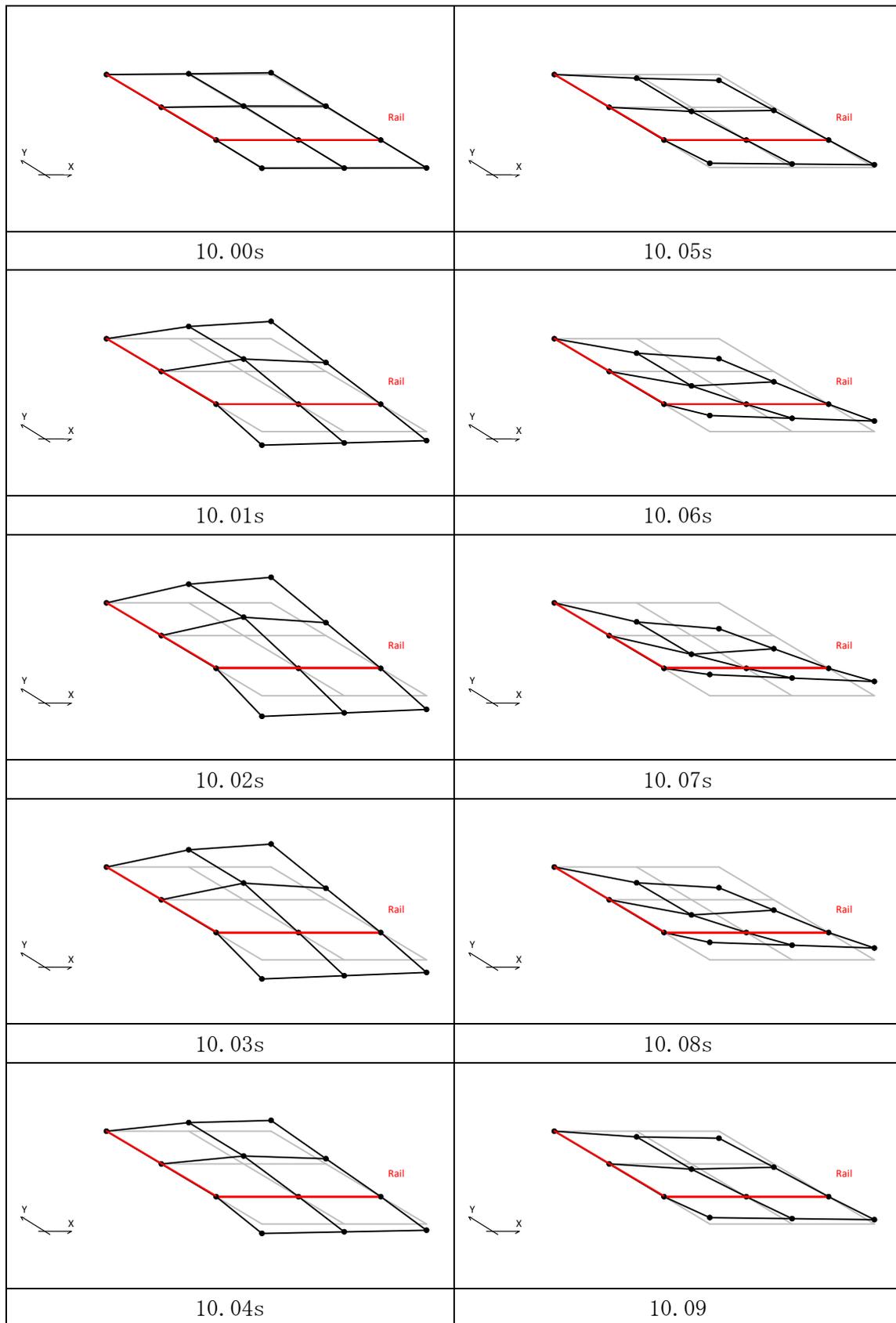


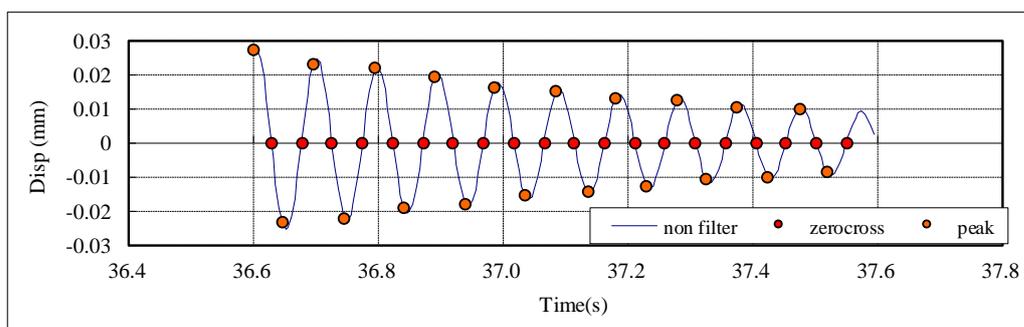
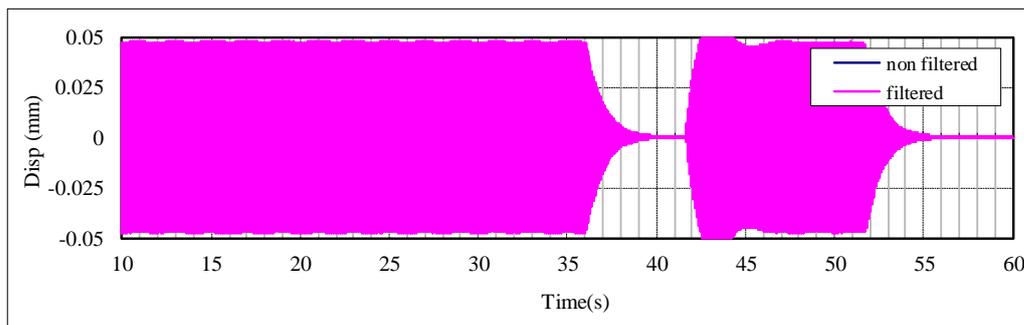
図 6.4.2.12-6 No.25 配置 6 10.5Hz 変形モード図 [200倍で表示]

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された10.5Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出しの3点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 25 |
|-----|----|

STP_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210930-2_25
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.29 | 0.027 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.78 | 1.82 | 1.78 |

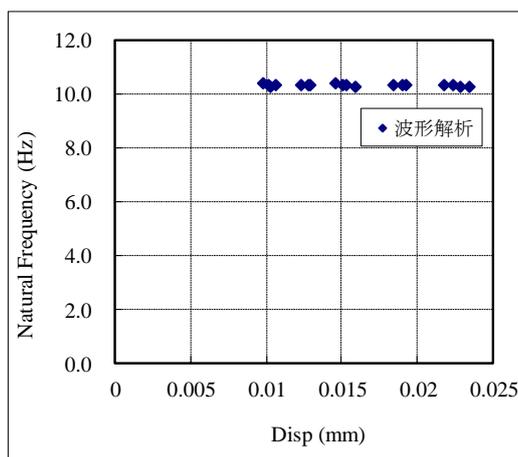
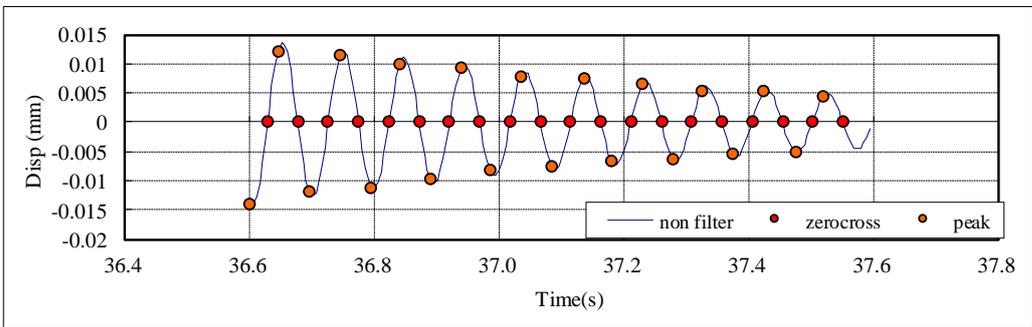
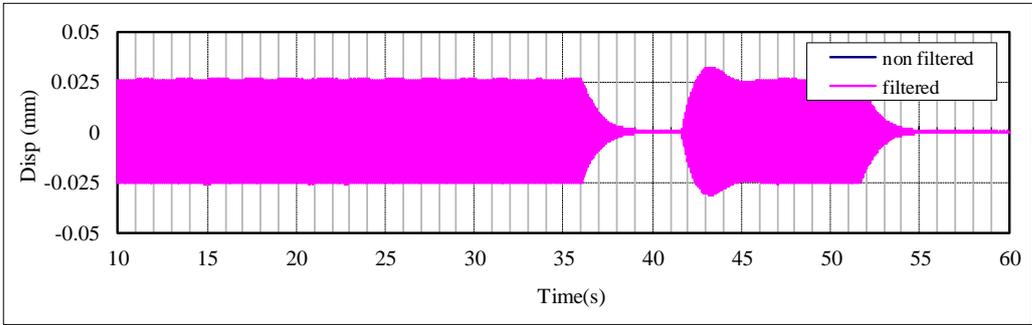


図 6.4.2.12-7 計測 No.25, 10.5Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 25 |
|-----|----|

STP_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210930-2_25
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.29 | 0.014 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.81 | 1.81 | 1.84 |

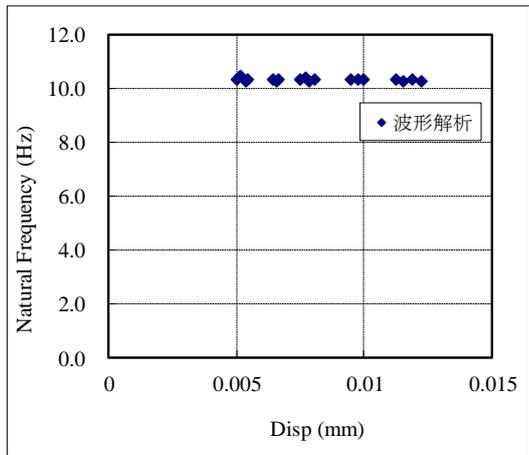
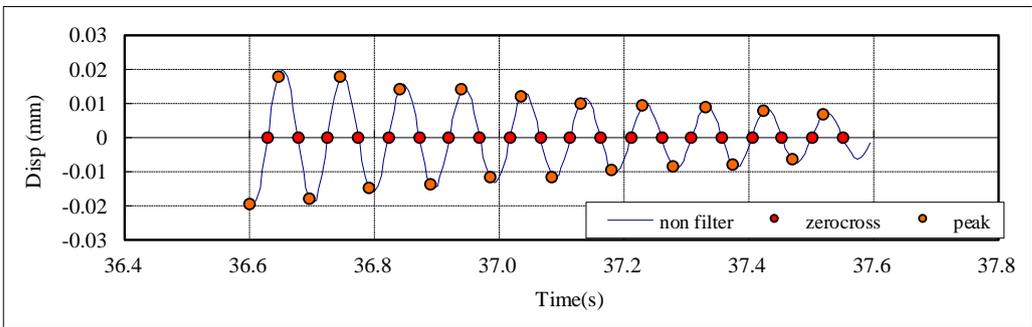
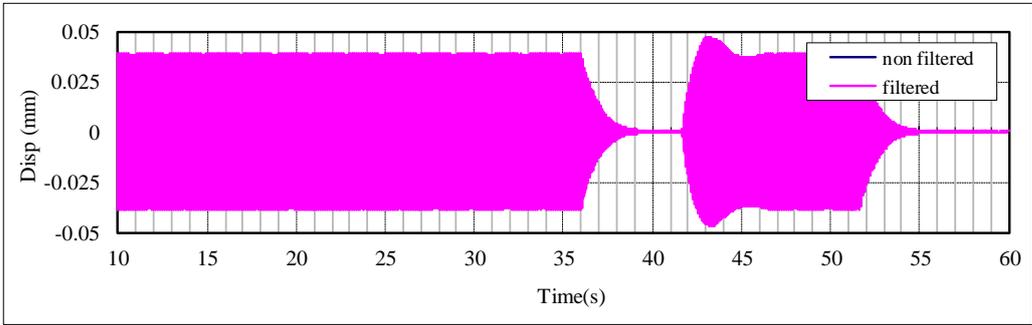


図 6.4.2.12-8 計測 No.25, 10.5Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 25 |
|-----|----|

STP_3CLT_4r_共振起振,自由振動 210930-2_25
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.10 | 10.29 | 0.020 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.89 | 1.85 | 1.94 |

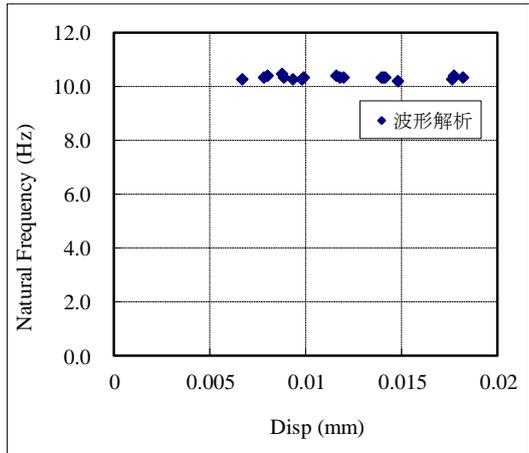


図 6.4.2.12-9 計測 No.25, 10.5Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 4 (計測 No.15) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

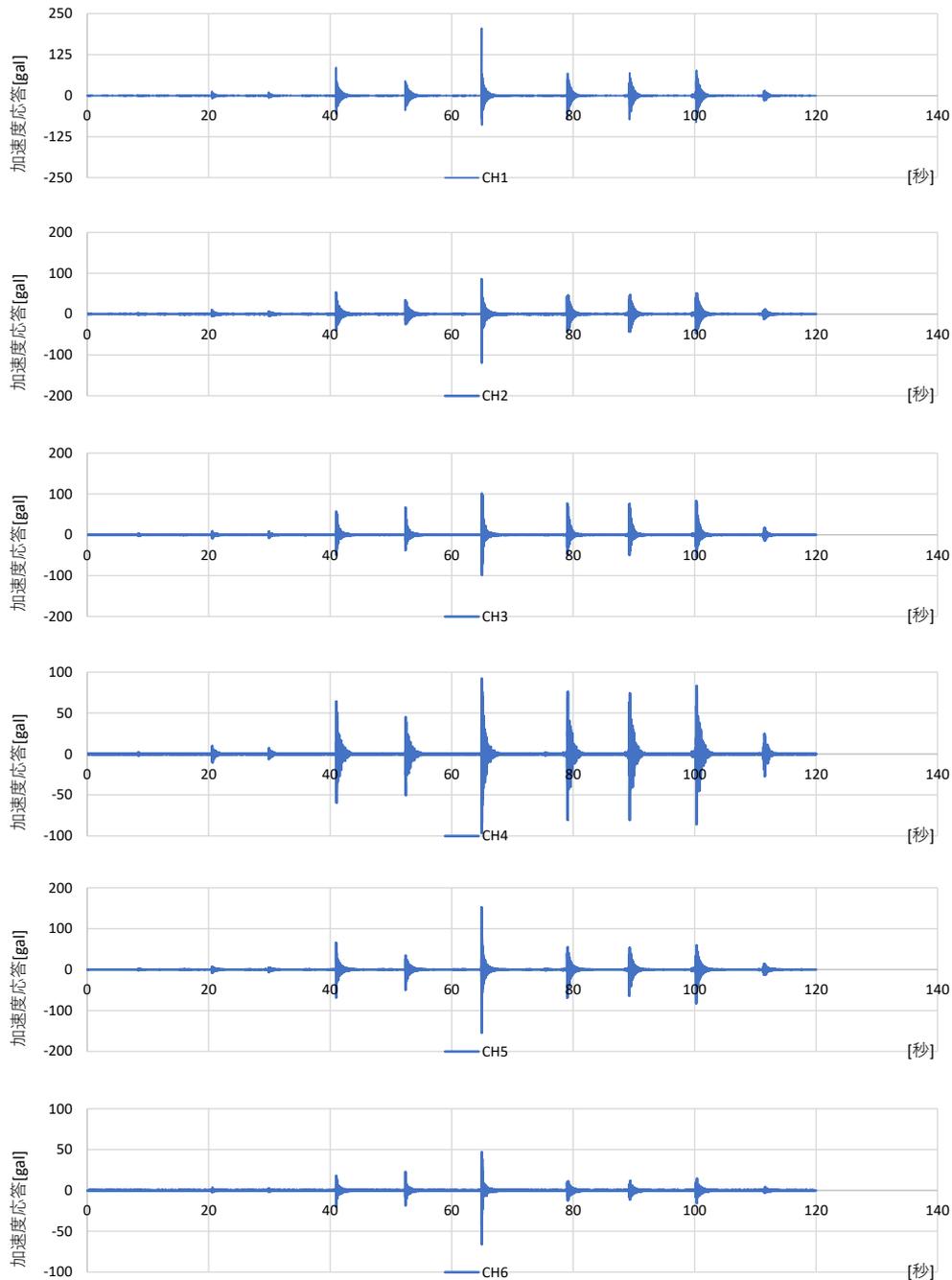


図 6.4.2.12-10 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

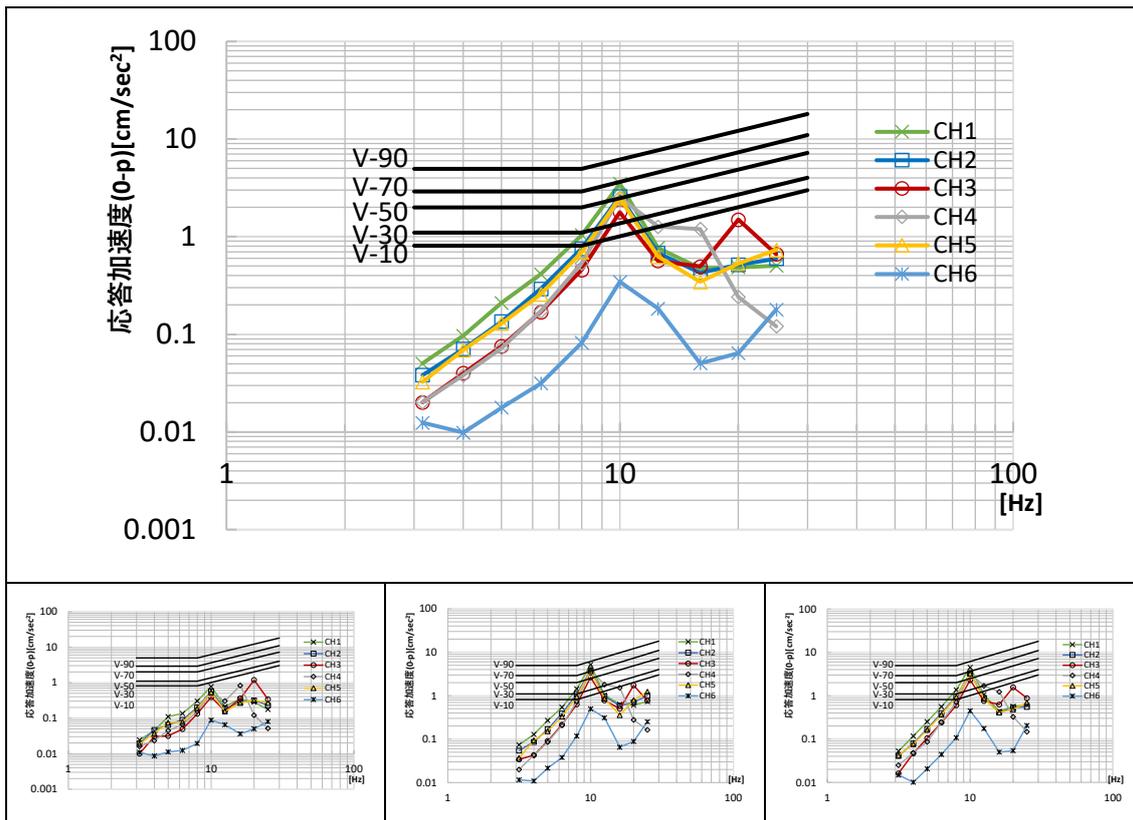


図 6.4.2.12-11 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.12-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 |
| 4 | 0.10 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.01 |
| 5 | 0.21 | 0.14 | 0.08 | 0.07 | 0.13 | 0.02 |
| 6.3 | 0.41 | 0.29 | 0.17 | 0.17 | 0.26 | 0.03 |
| 8 | 1.04 | 0.75 | 0.46 | 0.53 | 0.69 | 0.08 |
| 10 | 3.48 | 2.58 | 1.78 | 2.53 | 2.49 | 0.35 |
| 12.5 | 0.77 | 0.68 | 0.56 | 1.27 | 0.63 | 0.18 |
| 16 | 0.47 | 0.43 | 0.50 | 1.20 | 0.35 | 0.05 |
| 20 | 0.49 | 0.52 | 1.49 | 0.24 | 0.53 | 0.06 |
| 25 | 0.50 | 0.60 | 0.66 | 0.12 | 0.73 | 0.18 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

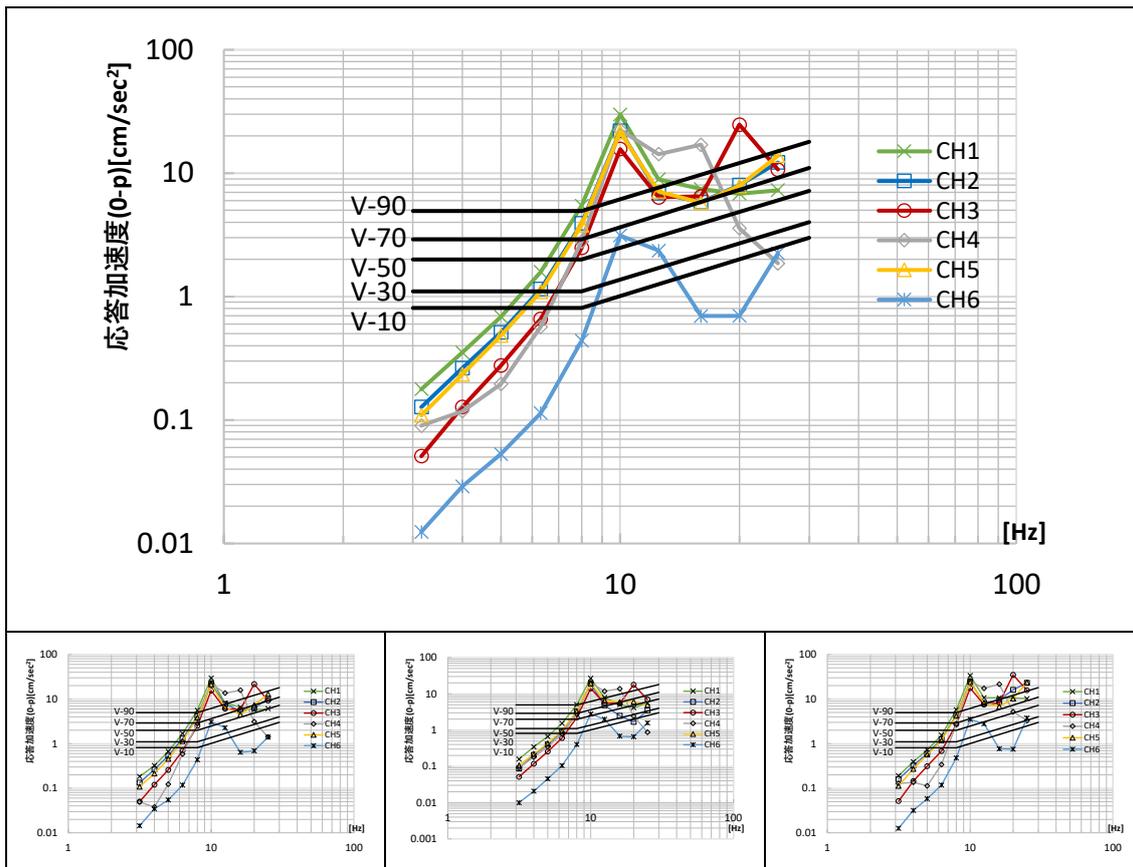


図 6.4.2.12-12 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.12-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.18 | 0.13 | 0.05 | 0.09 | 0.11 | 0.01 |
| 4 | 0.35 | 0.26 | 0.13 | 0.12 | 0.23 | 0.03 |
| 5 | 0.69 | 0.51 | 0.28 | 0.20 | 0.48 | 0.05 |
| 6.3 | 1.59 | 1.15 | 0.66 | 0.57 | 1.09 | 0.11 |
| 8 | 5.45 | 3.92 | 2.48 | 2.80 | 3.79 | 0.44 |
| 10 | 29.90 | 22.00 | 15.71 | 22.38 | 21.54 | 3.13 |
| 12.5 | 8.91 | 6.87 | 6.36 | 14.26 | 7.12 | 2.36 |
| 16 | 7.43 | 5.83 | 6.48 | 17.01 | 5.75 | 0.70 |
| 20 | 6.82 | 8.01 | 24.72 | 3.57 | 7.88 | 0.70 |
| 25 | 7.29 | 12.22 | 10.67 | 1.86 | 13.86 | 2.24 |

③ かかと加振の結果

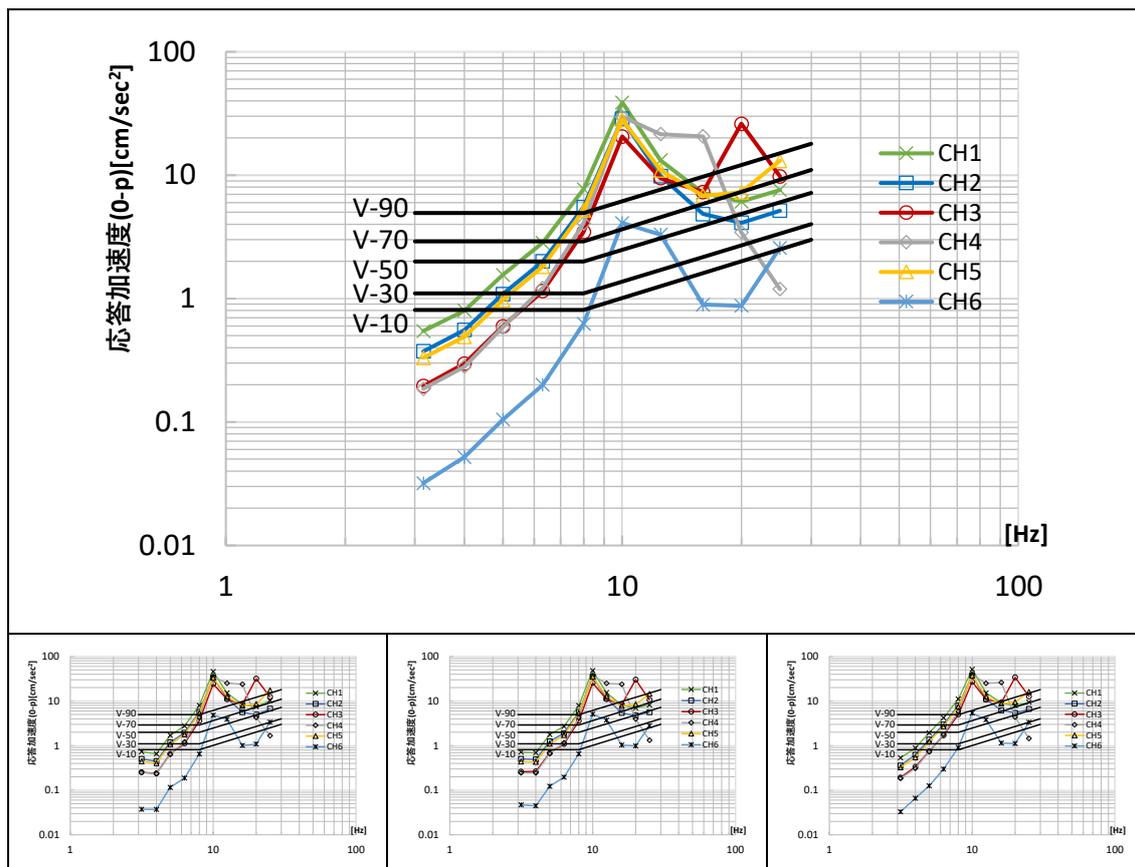


図 6.4.2.12-13 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.12-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.54 | 0.37 | 0.20 | 0.19 | 0.33 | 0.03 |
| 4 | 0.80 | 0.56 | 0.30 | 0.28 | 0.49 | 0.05 |
| 5 | 1.55 | 1.09 | 0.60 | 0.59 | 0.97 | 0.10 |
| 6.3 | 2.84 | 2.00 | 1.15 | 1.22 | 1.81 | 0.20 |
| 8 | 7.71 | 5.52 | 3.47 | 4.07 | 5.20 | 0.62 |
| 10 | 38.92 | 28.59 | 20.56 | 29.77 | 28.21 | 4.10 |
| 12.5 | 13.20 | 9.82 | 9.46 | 21.52 | 10.94 | 3.30 |
| 16 | 7.19 | 4.85 | 7.30 | 20.61 | 6.82 | 0.89 |
| 20 | 6.11 | 4.11 | 26.07 | 3.44 | 7.25 | 0.88 |
| 25 | 7.59 | 5.15 | 9.78 | 1.19 | 13.10 | 2.58 |

(13) 鋼板ビス打接合 CLT 3 枚・2 辺支持・強軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

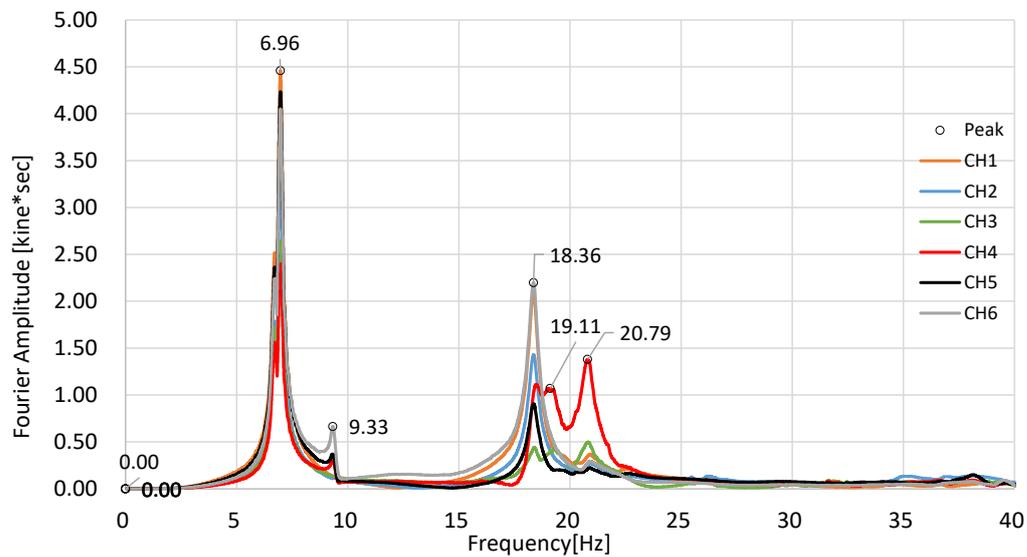


図 6.4.2.13-1 共振点探査の結果 (No.10, 配置 5) フーリエスペクトル

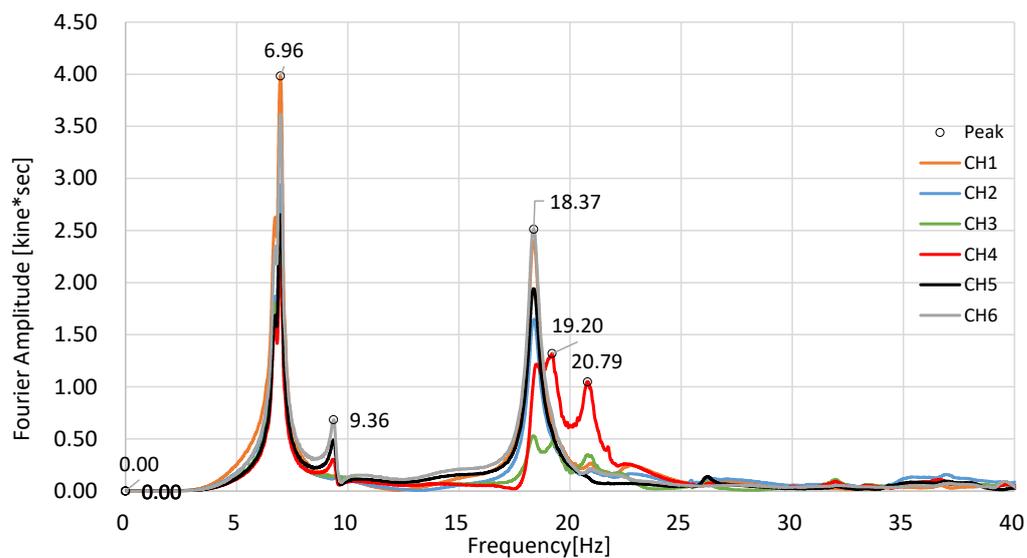


図 6.4.2.13-2 共振点探査の結果 (No.21, 配置 6) フーリエスペクトル

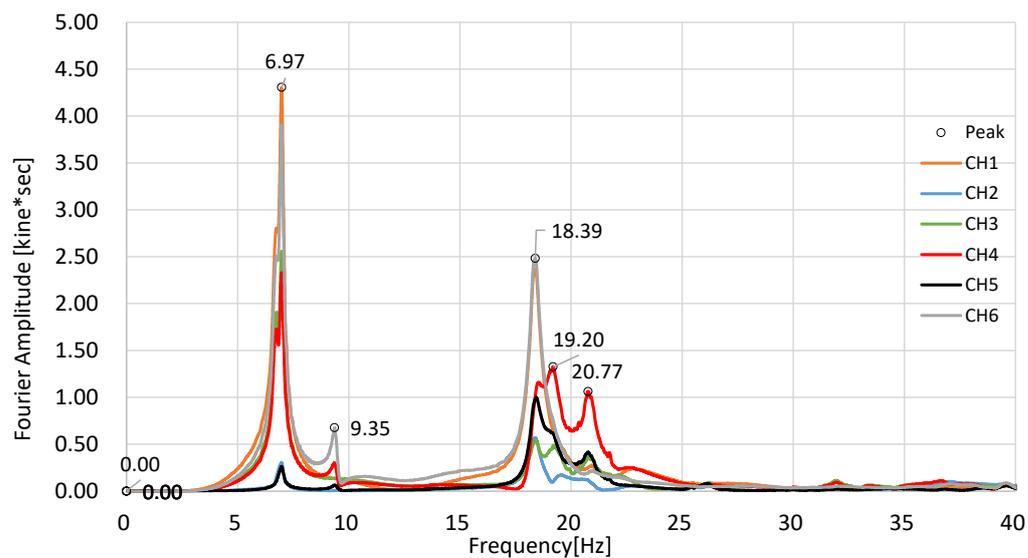


図 6.4.2.13-3 共振点探査の結果 (No.27, 配置 7) フーリエスペクトル

6.97Hz の中央が最大変形となる卓越振動数とともに、18.4Hz では中央と左中央部で同等程度の振動となるピークがみられる。ほかに、9.35, 19.2, 20.8Hz などに、はね出し位置での応答値がピークとなる振動数が確認された。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm），そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0，それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7Hz での共振加振結果 (No.22, 配置 6)

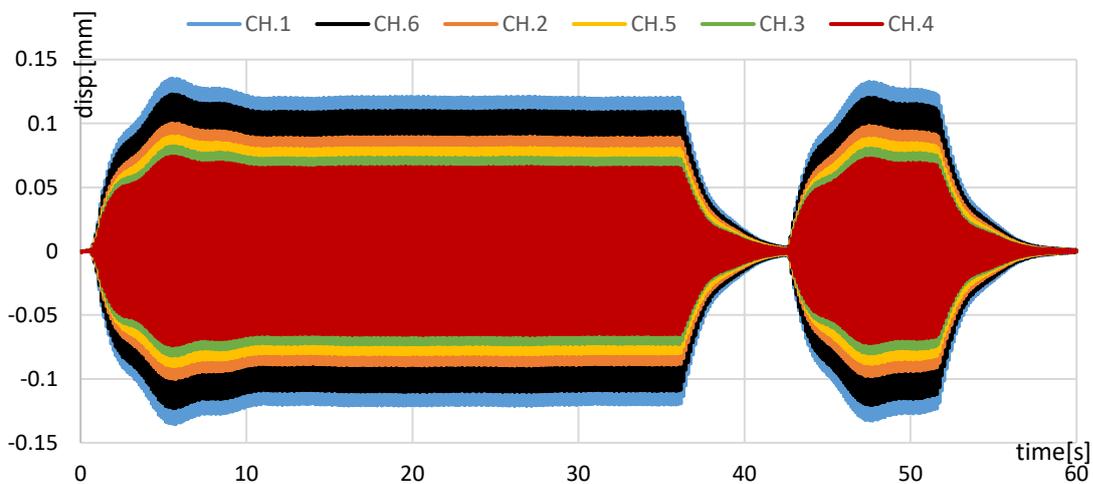


図 6.4.2.13-4 No.22 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

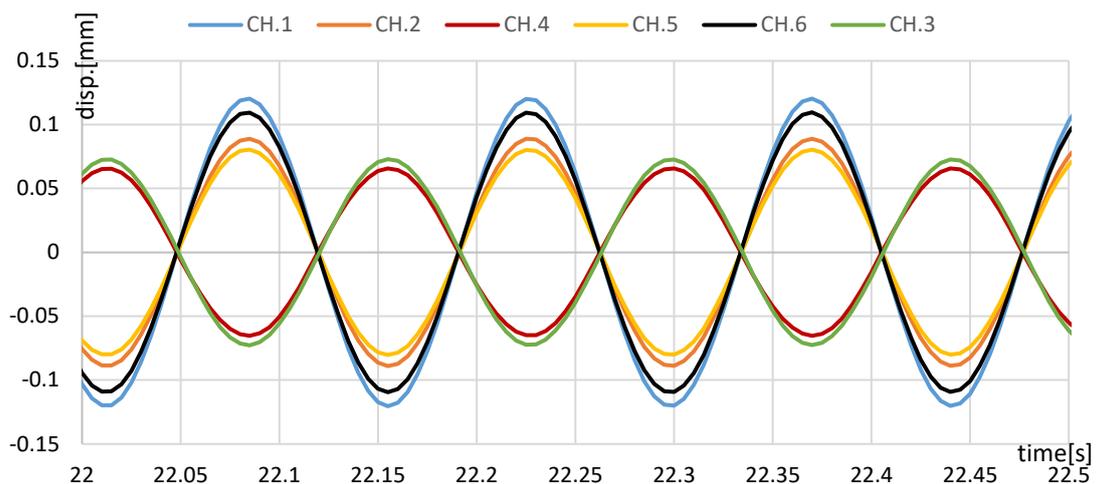


図 6.4.2.13-5 No.22 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

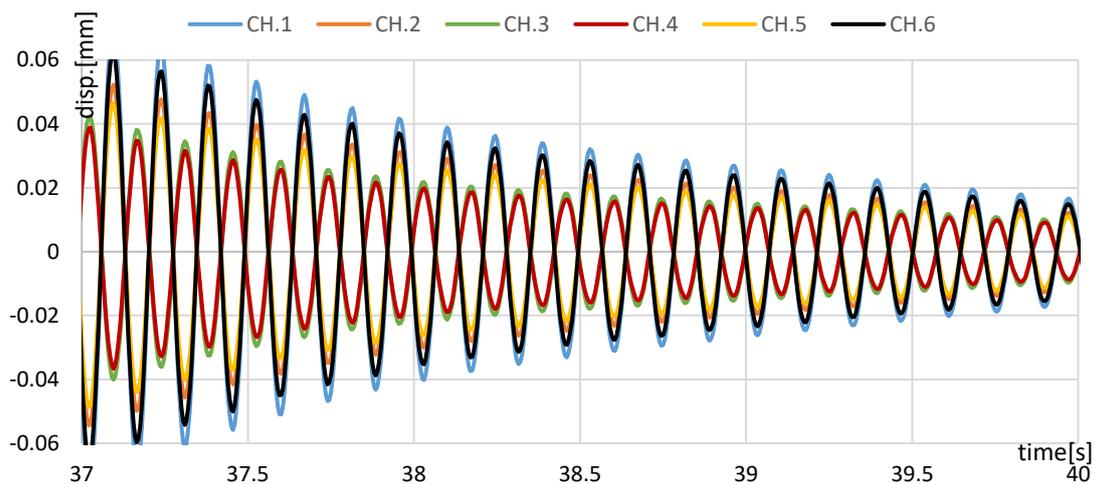


図 6.4.2.13-6 No.22 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態 拡大図

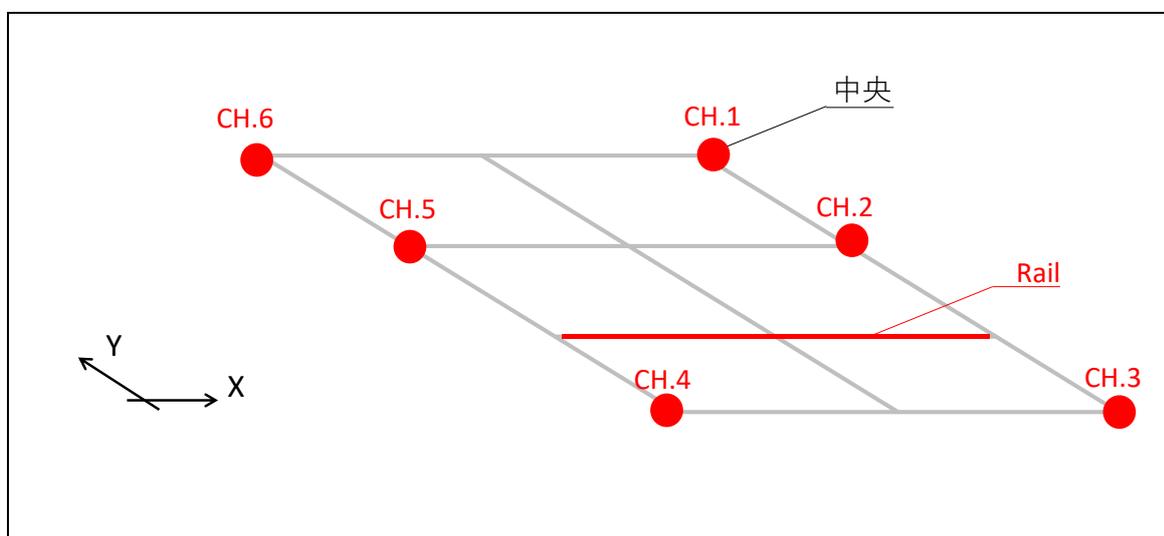


図 6.4.2.13-7 No.22 配置 6 計測点

表 6.4.2.13-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
レールを支点として対象に変形する 1 次固有振動モードが確認された。

表 6.4.2.13-1 No.22 配置 6 7Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1209 | 0.0894 | 0.0732 | 0.0660 | 0.0807 | 0.1100 |

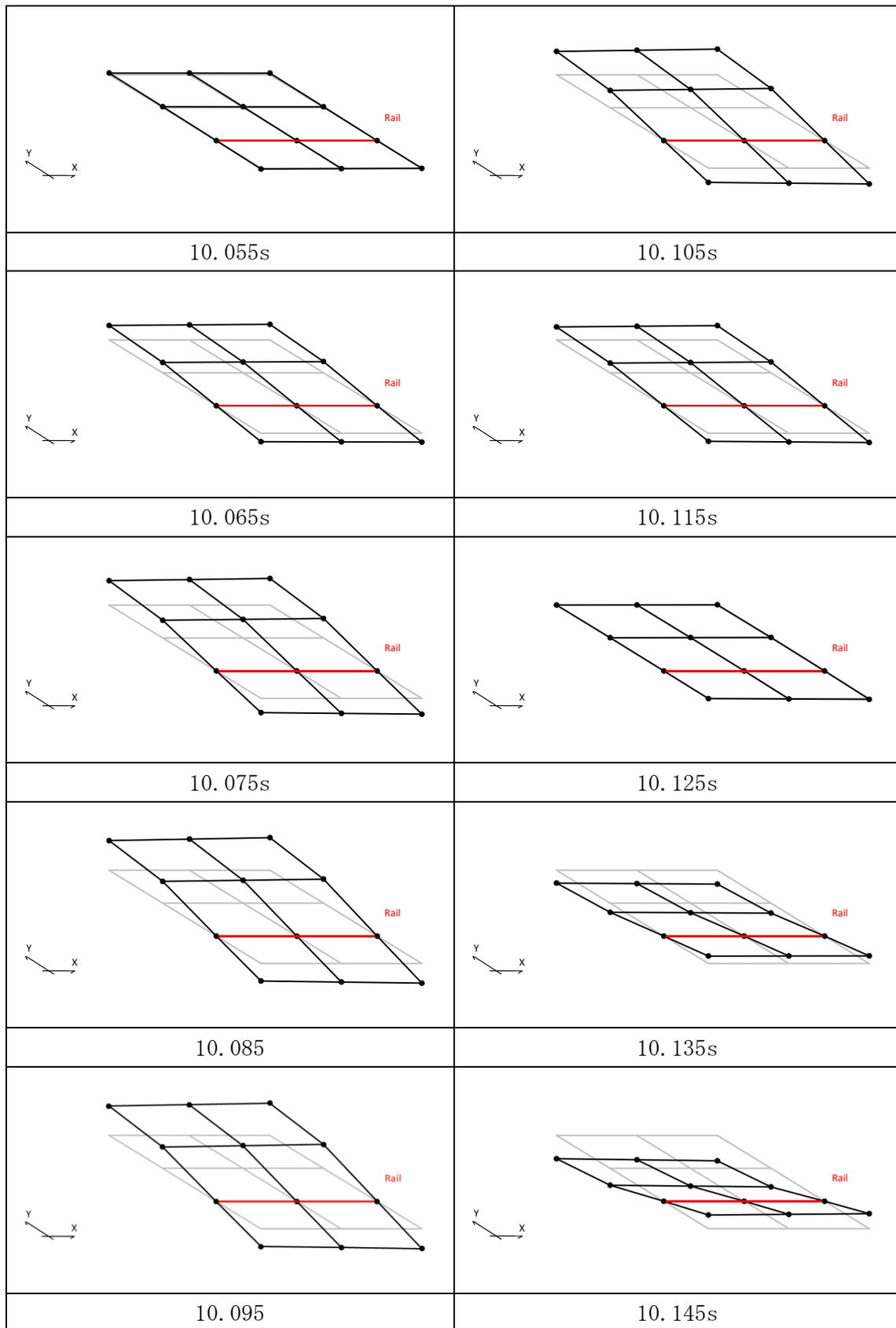


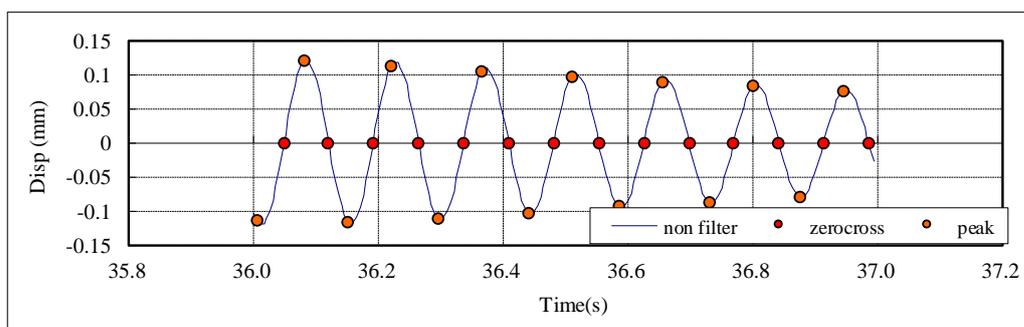
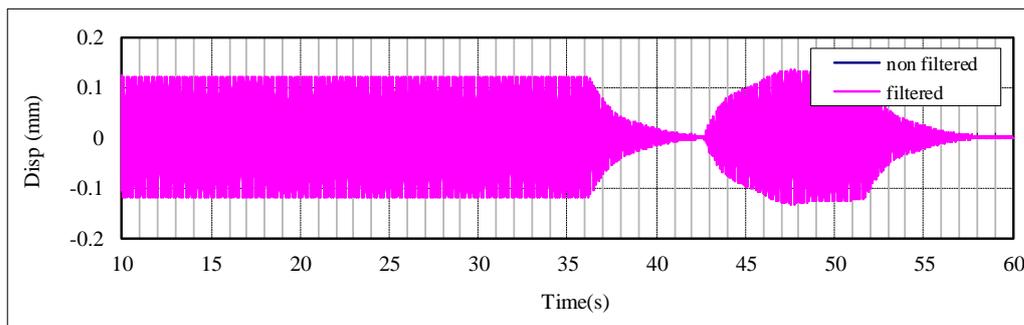
図 6.4.2.13-8 No.22 配置 6 7Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出しの3点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 22 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 211001-1_22
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.93 | 0.119 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.07 | 1.20 | 0.94 |

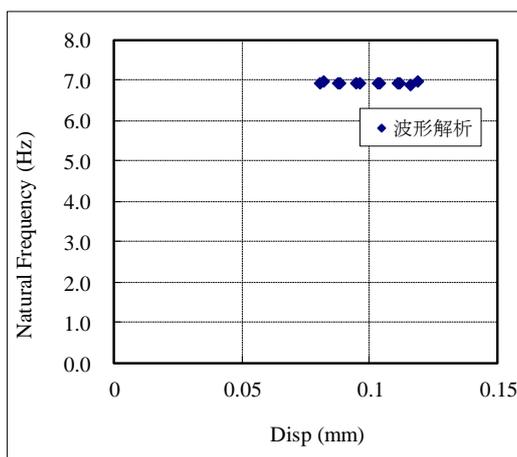
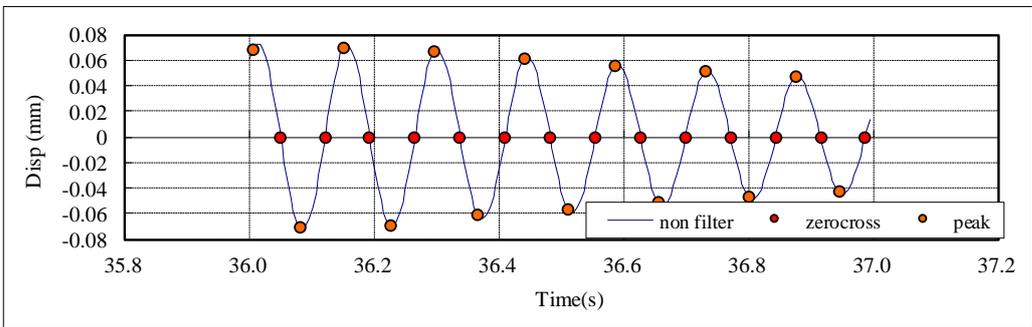
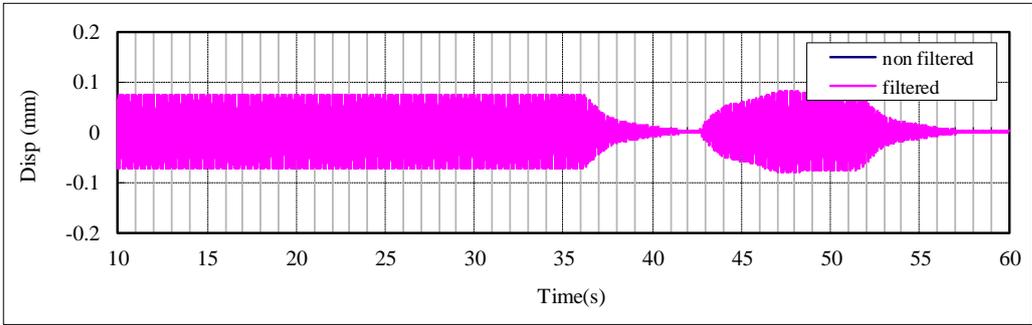


図 6.4.2.13-9 計測 No.22, 7Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 22 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 211001-1_22
 CH3起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.071 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.19 | 1.05 | 1.34 |

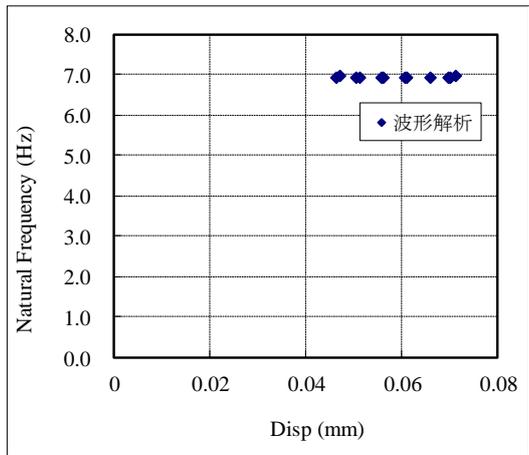
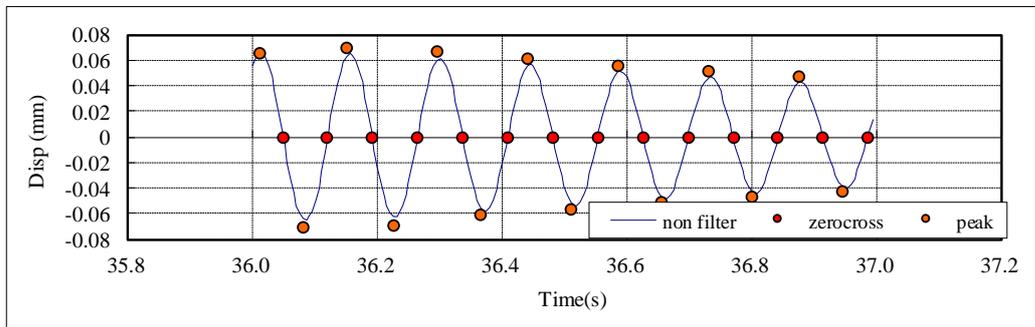
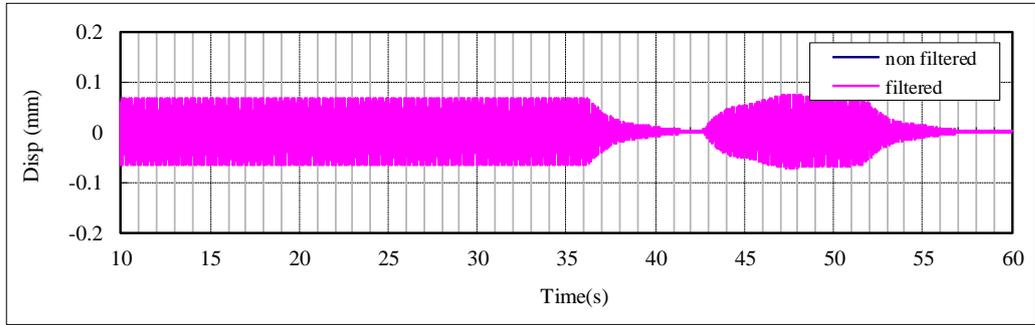


図 6.4.2.13-10 計測 No.22, 7Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 22 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 211001-1_22
 CH4起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.071 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.13 | 0.92 | 1.34 |

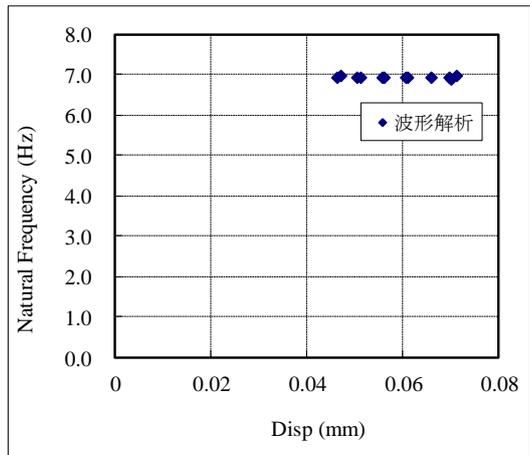
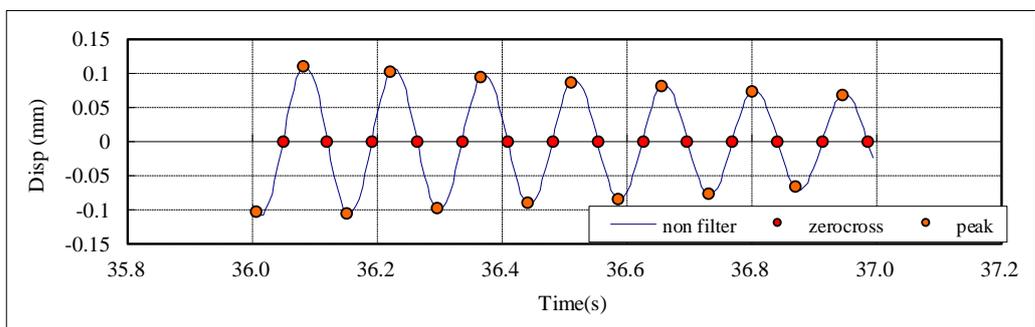
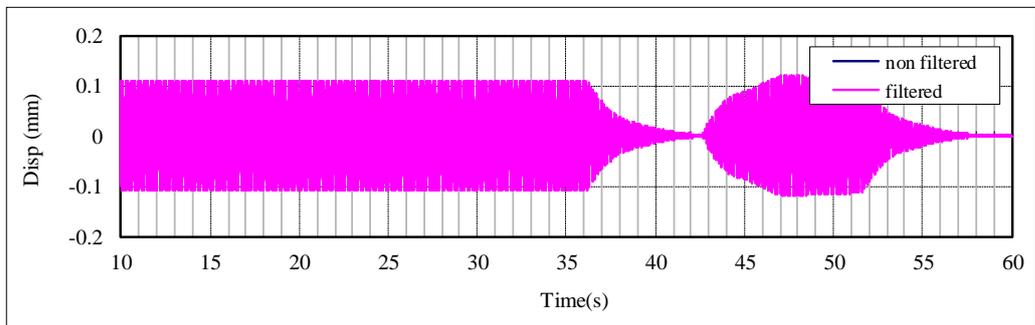


図 6.4.2.13-11 計測 No.22, 7Hz 加振, CH.4 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 22 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_SA_共振起振,自由振動 211001-1_22

CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.93 | 0.108 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 1.19 | 1.25 | 1.15 |

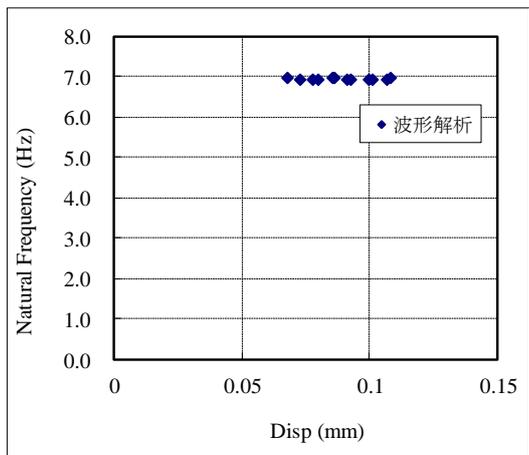


図 6.4.2.13-12 計測 No.22, 7Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置 5 (計測 No.16) に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

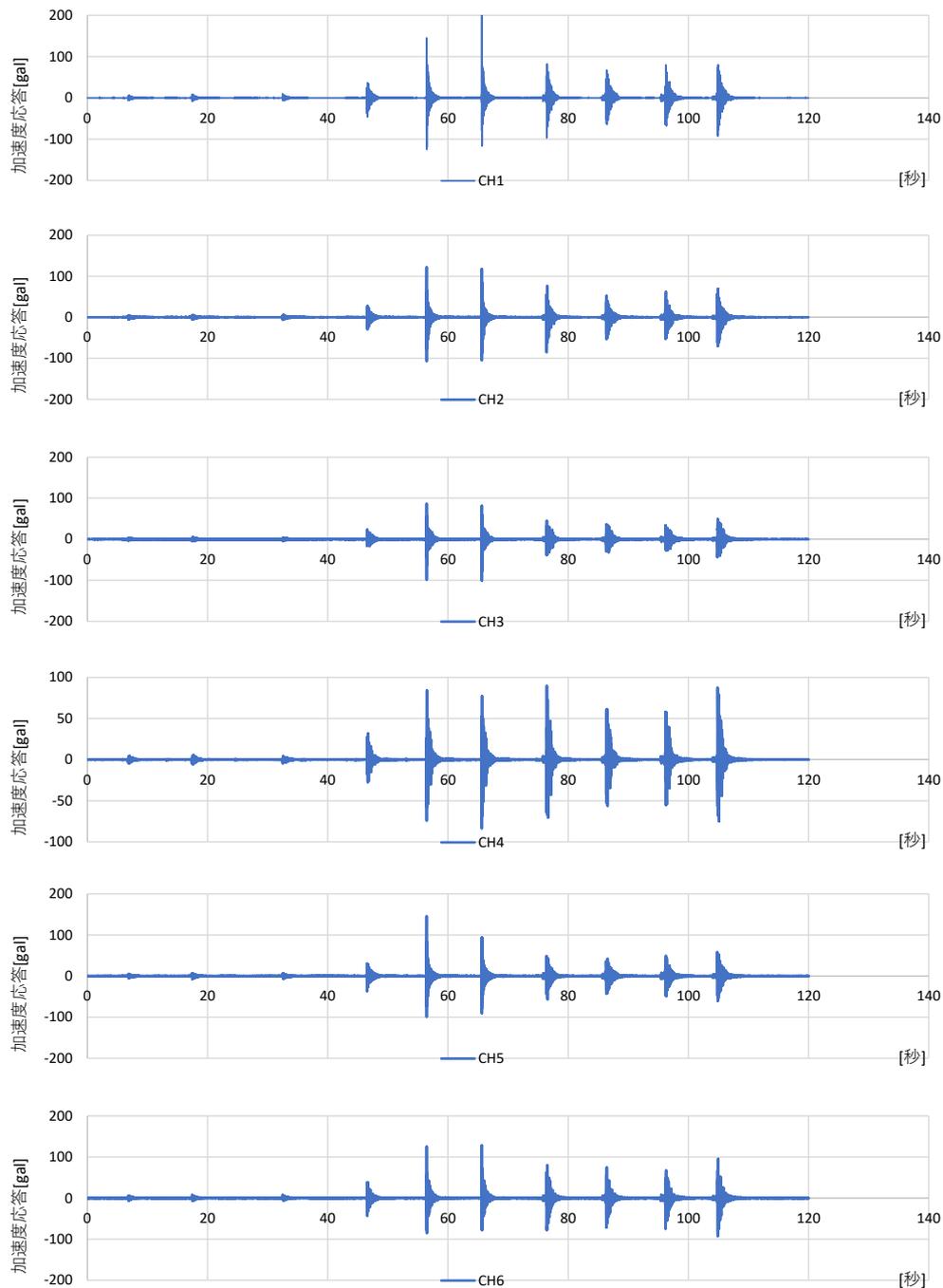


図 6.4.2.13-13 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

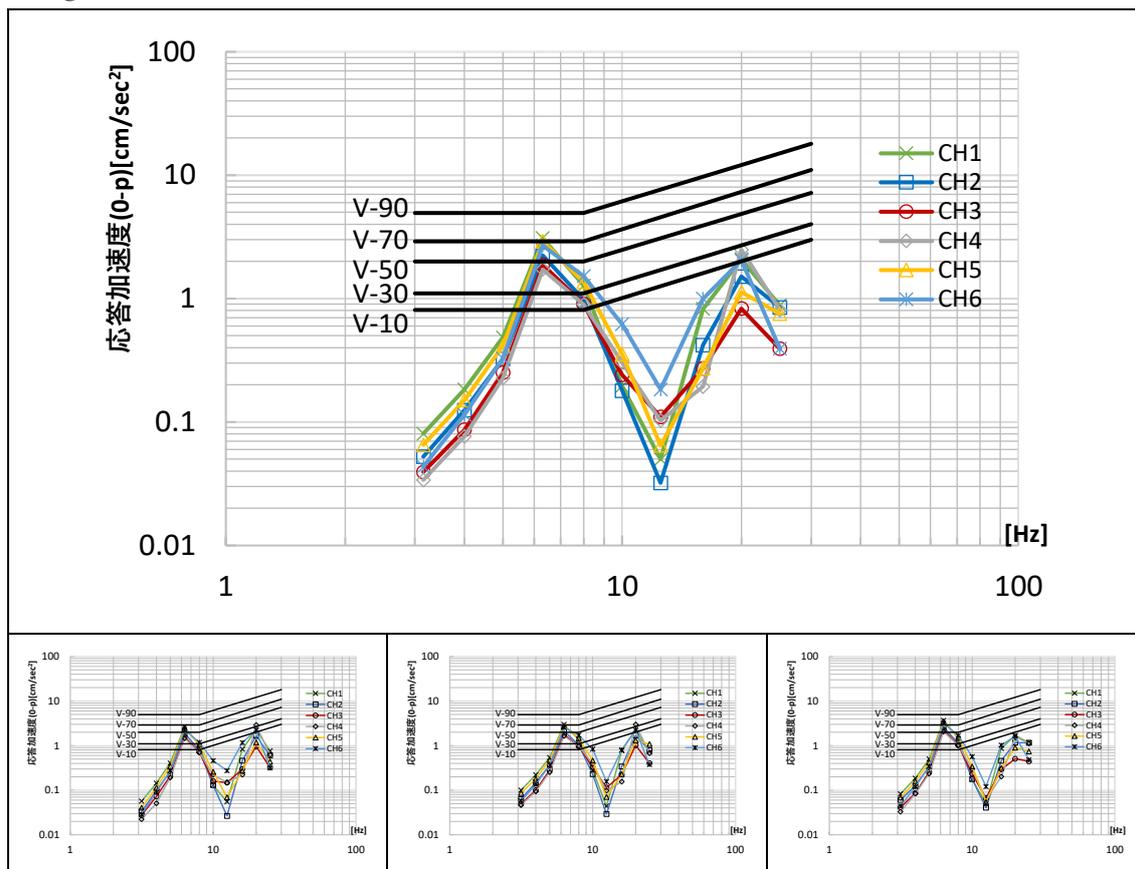


図 6.4.2.13-14 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.13-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.04 |
| 4 | 0.18 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.15 | 0.11 |
| 5 | 0.48 | 0.32 | 0.25 | 0.23 | 0.41 | 0.33 |
| 6.3 | 3.09 | 2.23 | 1.88 | 1.72 | 2.91 | 2.69 |
| 8 | 1.28 | 0.98 | 0.90 | 0.90 | 1.37 | 1.52 |
| 10 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | 0.30 | 0.35 | 0.62 |
| 12.5 | 0.05 | 0.03 | 0.11 | 0.10 | 0.06 | 0.18 |
| 16 | 0.82 | 0.42 | 0.27 | 0.19 | 0.27 | 1.00 |
| 20 | 2.08 | 1.51 | 0.83 | 2.49 | 1.13 | 2.04 |
| 25 | 0.88 | 0.85 | 0.39 | 0.81 | 0.75 | 0.39 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

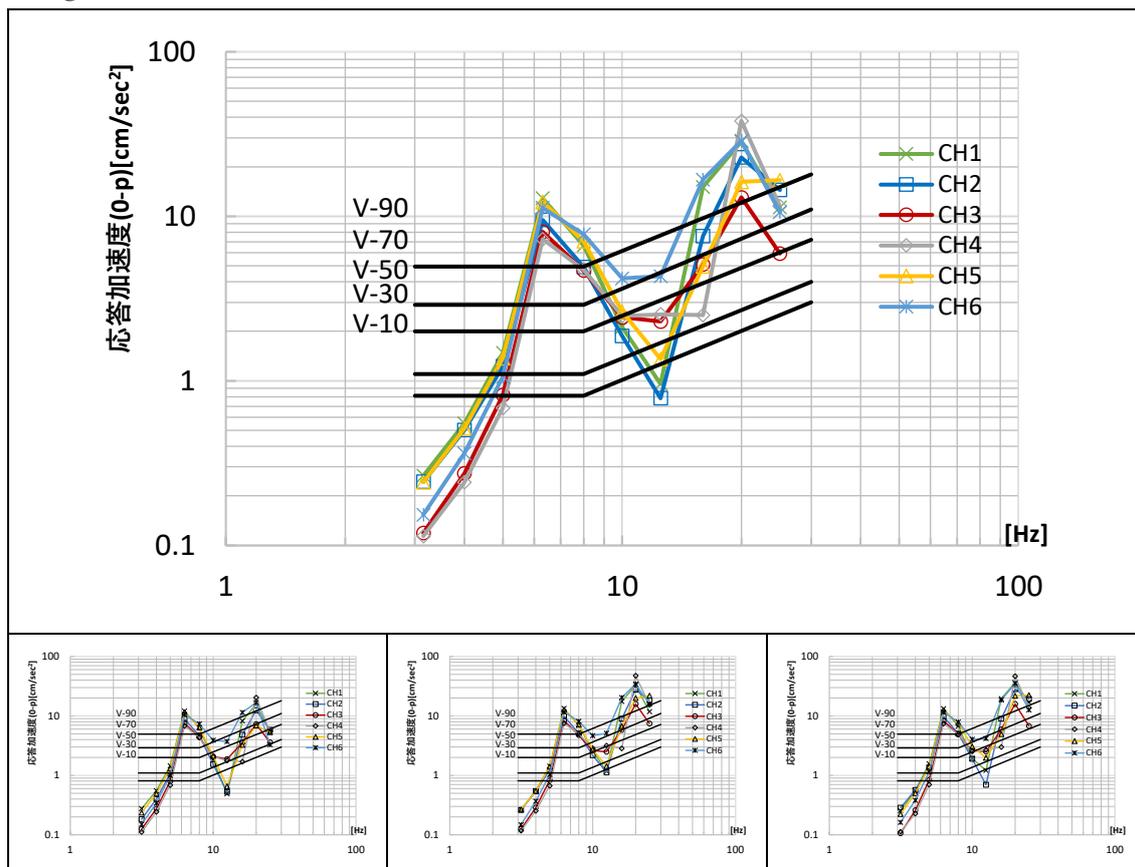


図 6.4.2.13-15 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.13-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.27 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.24 | 0.15 |
| 4 | 0.55 | 0.50 | 0.27 | 0.24 | 0.51 | 0.36 |
| 5 | 1.48 | 1.22 | 0.82 | 0.68 | 1.37 | 1.06 |
| 6.3 | 12.87 | 9.51 | 8.03 | 7.25 | 12.23 | 11.26 |
| 8 | 6.64 | 4.92 | 4.68 | 4.74 | 7.05 | 7.78 |
| 10 | 2.12 | 1.87 | 2.43 | 2.48 | 2.64 | 4.19 |
| 12.5 | 0.96 | 0.78 | 2.29 | 2.53 | 1.35 | 4.32 |
| 16 | 15.09 | 7.58 | 5.09 | 2.51 | 4.97 | 16.72 |
| 20 | 28.43 | 22.77 | 13.01 | 37.99 | 16.20 | 28.76 |
| 25 | 11.32 | 14.45 | 5.94 | 11.53 | 16.56 | 10.58 |

③ かかと加振の結果

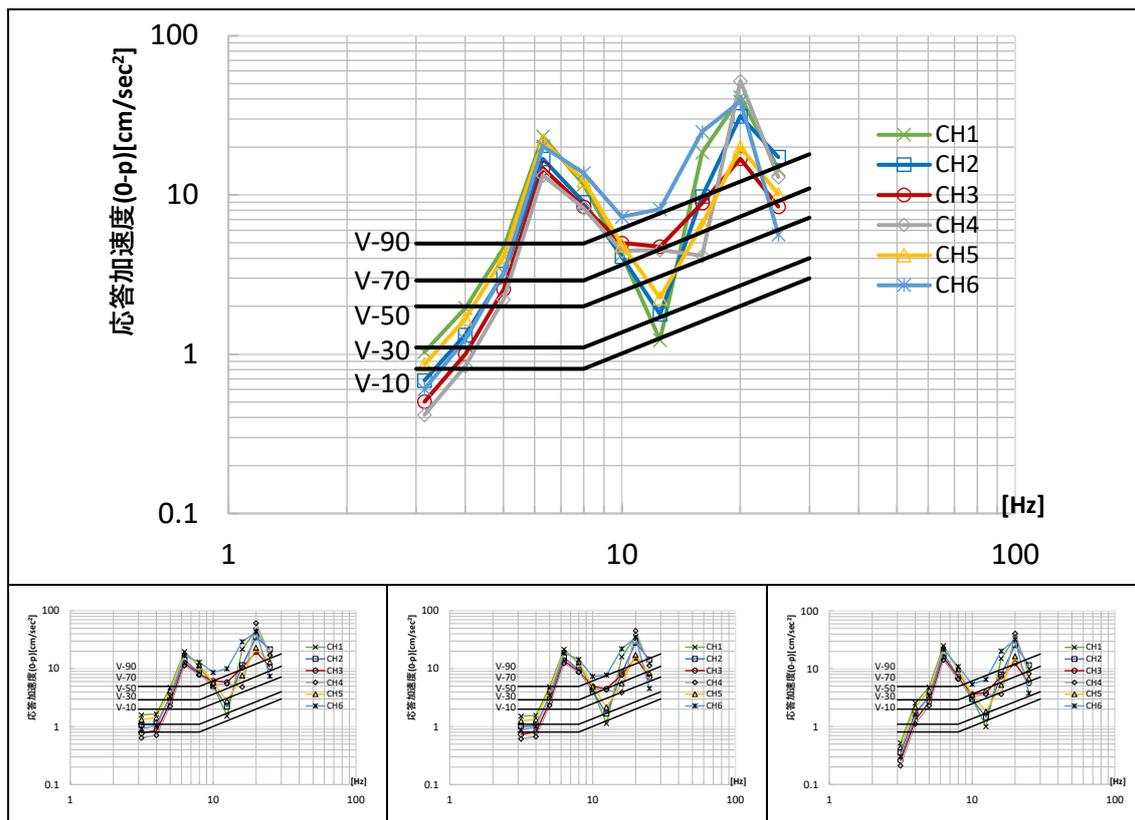


図 6.4.2.13-16 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.13-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 1.03 | 0.68 | 0.50 | 0.42 | 0.86 | 0.60 |
| 4 | 1.96 | 1.32 | 1.00 | 0.84 | 1.67 | 1.23 |
| 5 | 4.64 | 3.19 | 2.55 | 2.21 | 4.09 | 3.26 |
| 6.3 | 23.34 | 16.85 | 14.74 | 13.26 | 21.92 | 20.22 |
| 8 | 11.64 | 9.01 | 8.43 | 8.27 | 12.34 | 13.73 |
| 10 | 4.22 | 4.11 | 4.99 | 4.45 | 4.86 | 7.29 |
| 12.5 | 1.23 | 1.78 | 4.73 | 4.51 | 2.26 | 8.14 |
| 16 | 18.43 | 9.79 | 8.91 | 4.15 | 6.50 | 24.92 |
| 20 | 41.21 | 31.23 | 16.91 | 51.96 | 19.95 | 38.65 |
| 25 | 14.50 | 17.30 | 8.45 | 12.94 | 10.10 | 5.66 |

(14) 鋼板ビス打接合 CLT 3 枚・2 辺支持・弱軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

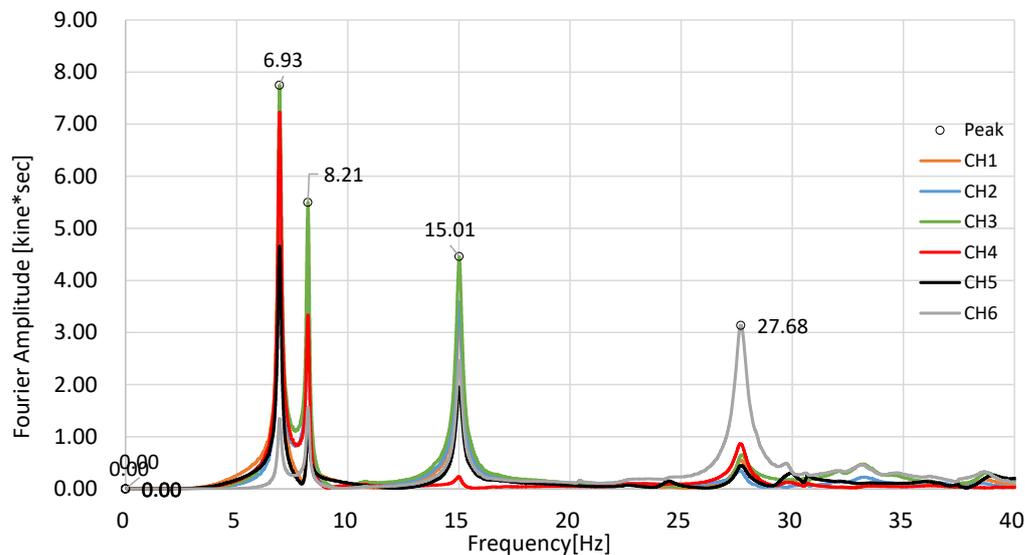


図 6.4.2.14-1 共振点探査の結果 (No.13, 配置 6) フーリエスペクトル

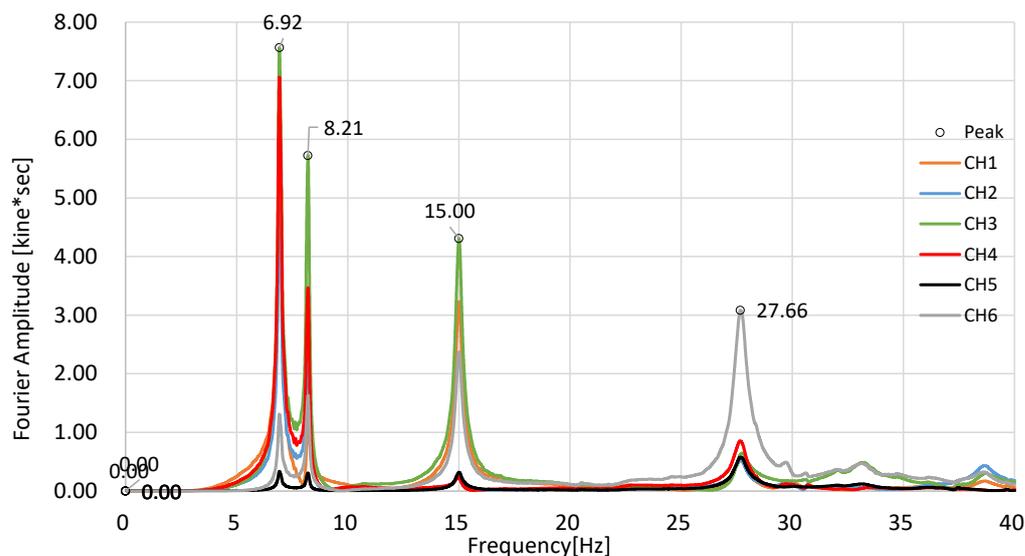


図 6.4.2.14-2 共振点探査の結果 (No.24, 配置 7) フーリエスペクトル

複数ピークを示すのは、レール内中央の CH.1, 手前のはね出しの CH.2, 3, 左手前のはね出しの CH.3 などであり、レールの無い縦方向への振動が顕著に見られた。1 次固有振動数は 6.9Hz, 近傍に手前はね出しが最大となる 8.21, やや離れて 15Hz にもピークがみられる。27Hz 付近には、左手間のはね出しの応答値の大きい 27.7Hz のピークも確認された。

2) 振動モード〔共振起振〕

前項で同定した卓越振動数に対して、起振機による共振加振を実施した。

振動数ごとに、全区間の波形、定常状態における波形の拡大図、自由振動状態における波形の拡大図を示す。

振動モード図を示す。図に示すのは、試験体の左下 1/4 の領域（計測実施領域）であり、節点は 1500 mmピッチで（最外縁は 1250 mm）、そのうちの計測点については、実測値（変位応答）を入力し、未計測点については、レール上は 0、それ以外の点については、前後の計測点との関係から推定可能な場合は線形補完して示した。特殊な場合については注記を行っている。振動モードは、約 2 周期分程度を取り出して表示した。

① 7Hz での共振加振結果 (No.14, 配置 6)

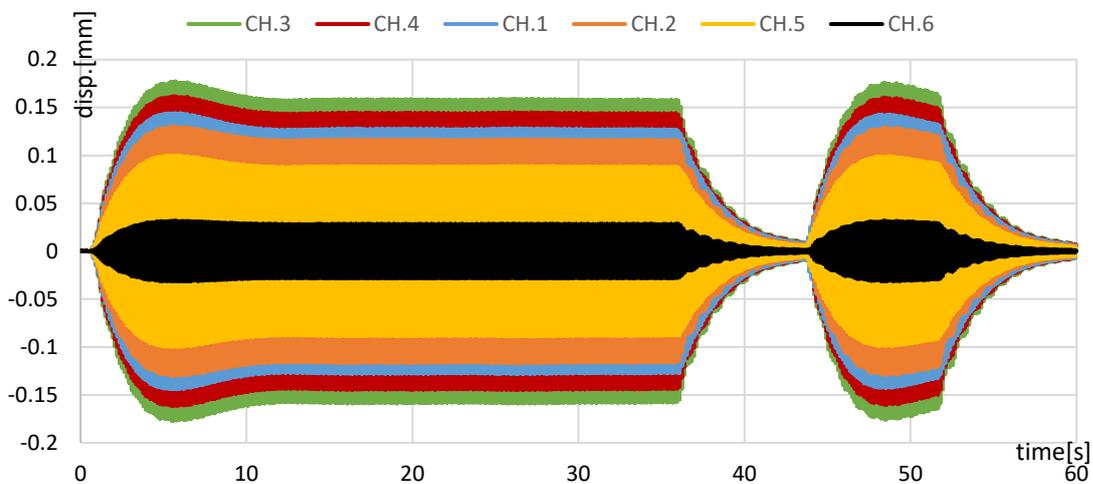


図 6.4.2.14-3 No.14 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 全体

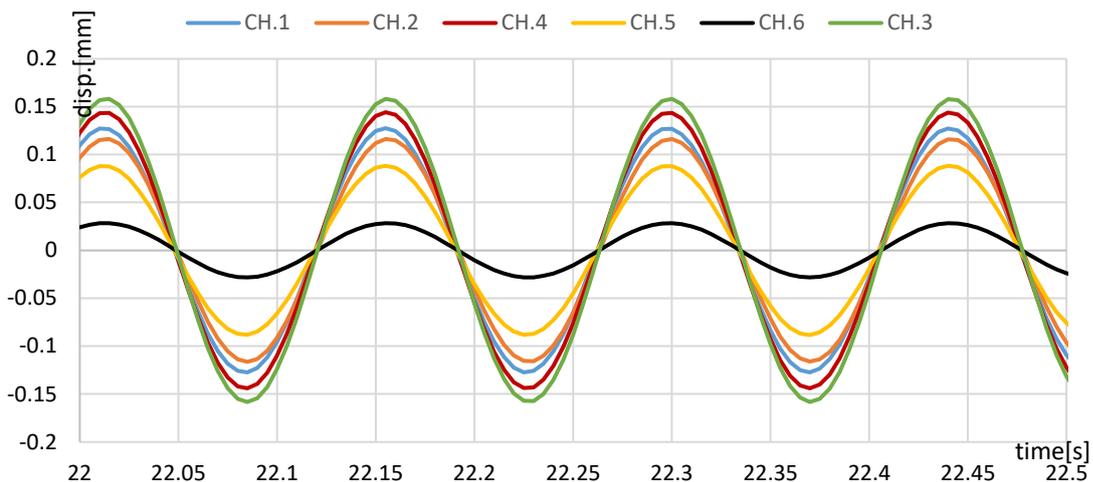


図 6.4.2.14-4 No.14 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 定常状態 拡大図

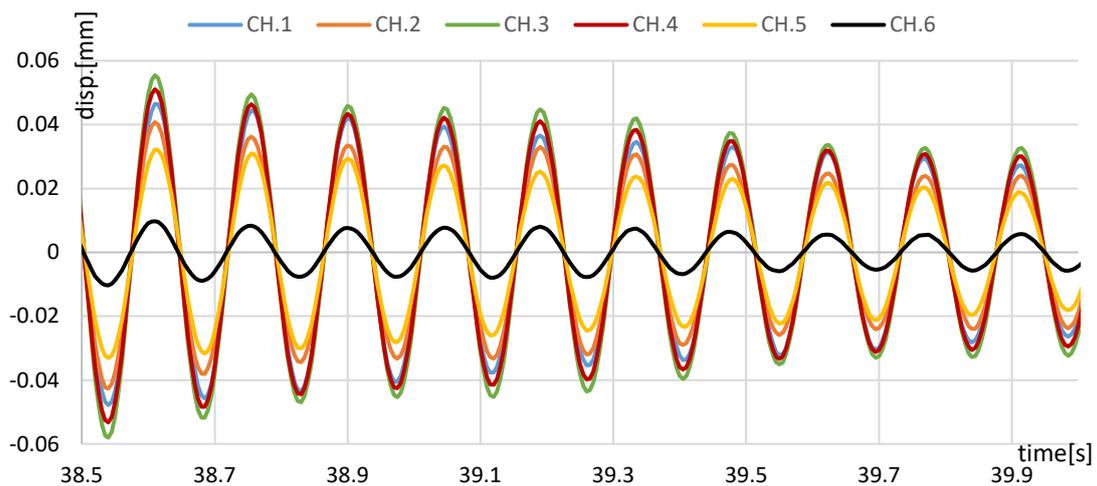


図 6.4.2.14-5 No.14 配置 6 7Hz 共振加振 全 CH 時刻歴波形 自由振動状態拡大図

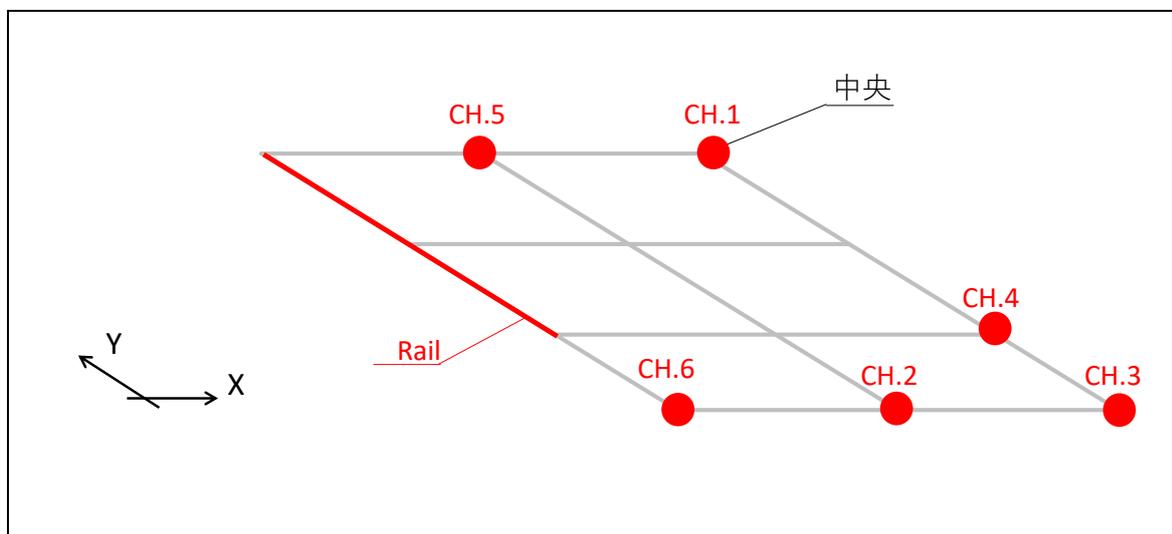


図 6.4.2.14-6 No.14 配置 6 計測点

表 6.4.2.14-1 に変位応答の変化を示す。(変位は明瞭に見えるよう拡大している)
レールを支点として縦方向中央が最大応答となる 1 次モードが確認された。

表 6.4.2.14-1 No.14 配置 6 7Hz 各 CH の最大応答値 (定常状態)

| 20-30s | CH.1 | CH.2 | CH.3 | CH.4 | CH.5 | CH.6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大応答値 [mm] | 0.1282 | 0.1169 | 0.1590 | 0.1448 | 0.0888 | 0.0286 |

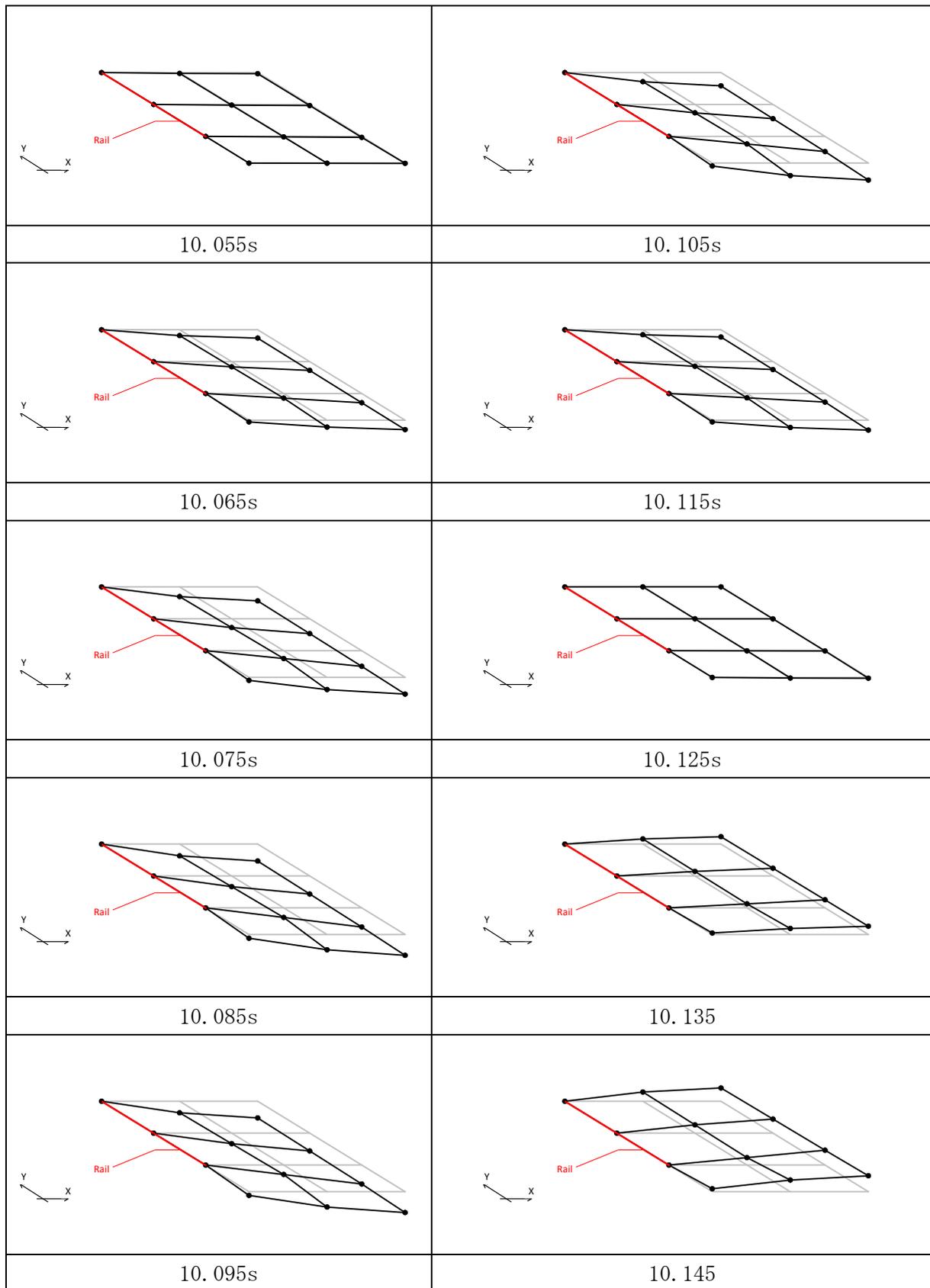


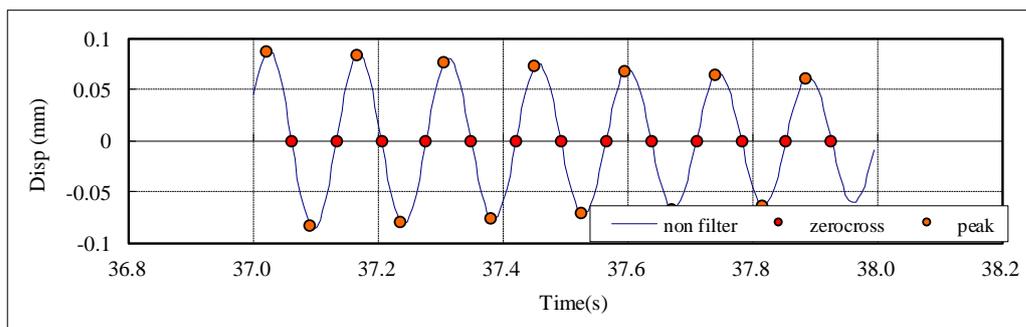
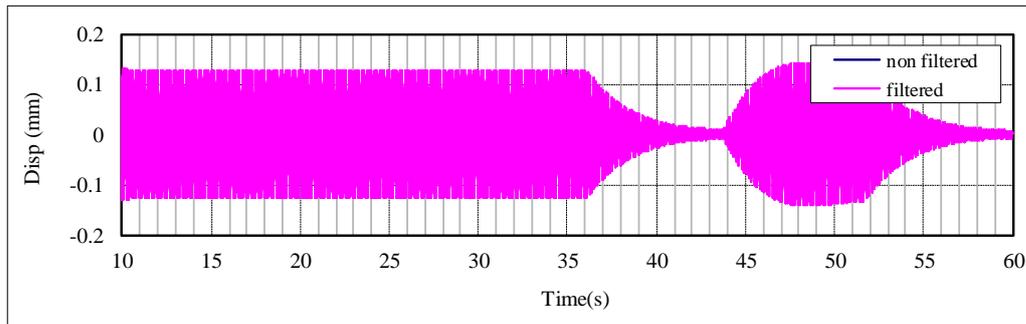
図 6.4.2.14-7 No.14 配置 6 7Hz 変形モード図

3) 減衰性能〔自由振動〕

1次固有振動数と推定された7Hzでの共振起振時の自由振動波形をもとに、各計測点での減衰定数を算定した。配置6における、中央、手前はね出し、左手前はね出しの3点における結果を示す。

| | |
|-----|----|
| No. | 14 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 211001-2_14
CH1起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.087 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 0.92 | 0.93 | 0.85 |

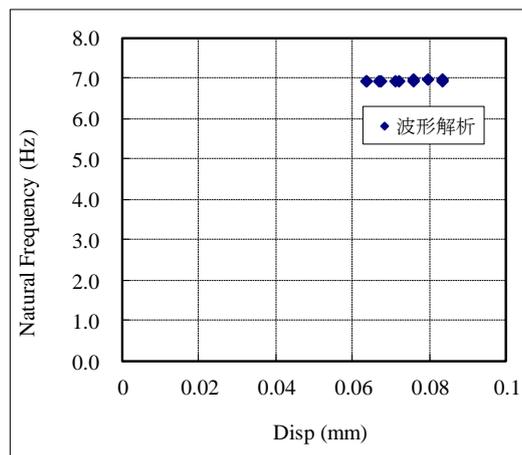
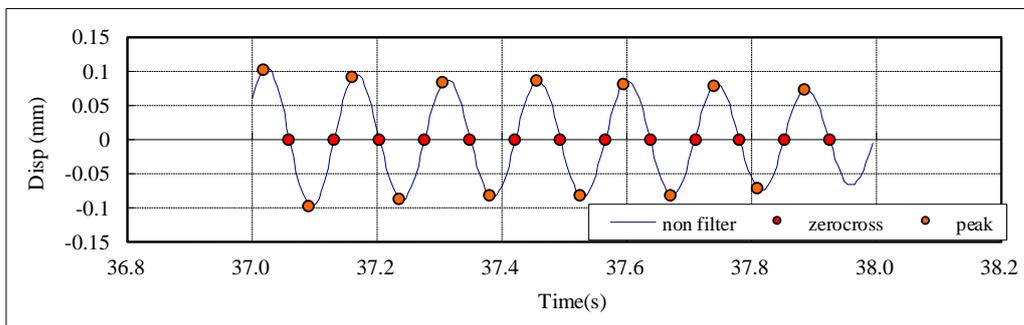
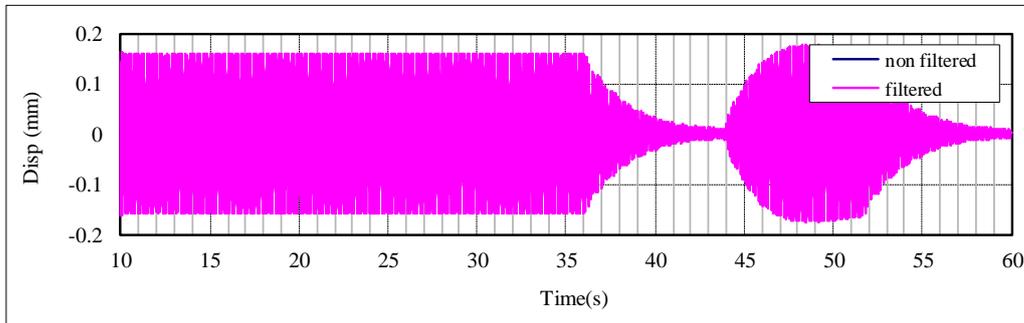


図 6.4.2.14-8 計測 No.14, 7Hz 加振, CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 14 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 211001-2_14
CH3起振機_Z方向加振分析結果



| | | |
|------|-------|-------|
| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.92 | 0.101 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 0.85 | 0.91 | 0.92 |

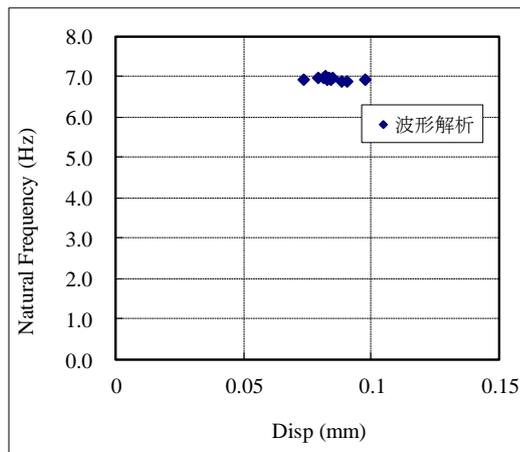
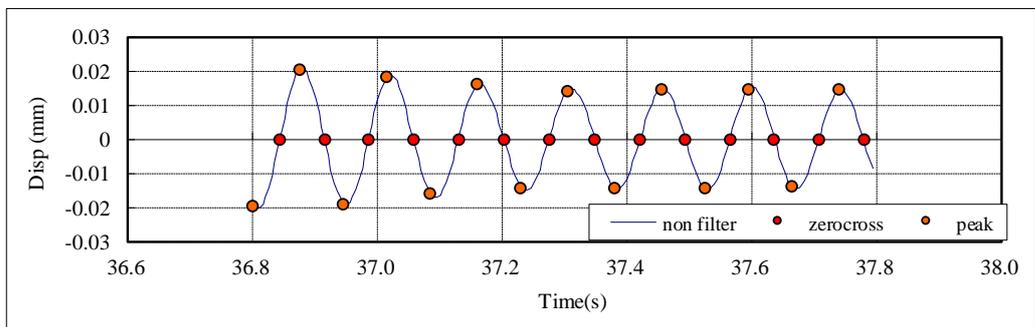
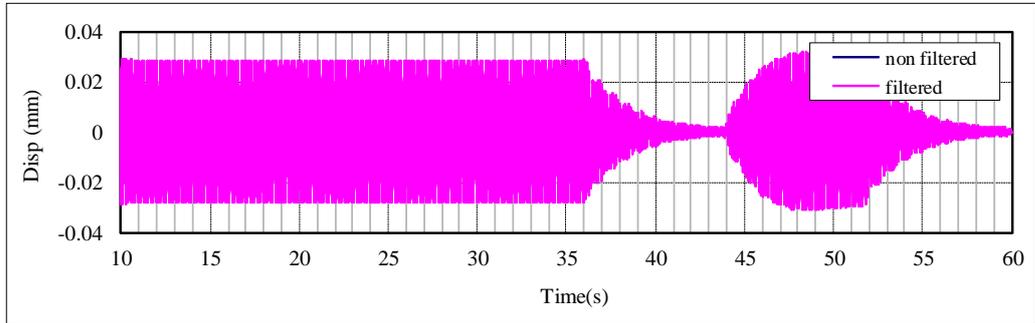


図 6.4.2.14-9 計測 No.14, 7Hz 加振, CH.3 減衰定数の算定

| | |
|-----|----|
| No. | 14 |
|-----|----|

STP_3CLT_2r_WA_共振起振,自由振動 211001-2_14
 CH6起振機_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 6.94 | 0.020 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 0.94 | 0.98 | 0.91 |

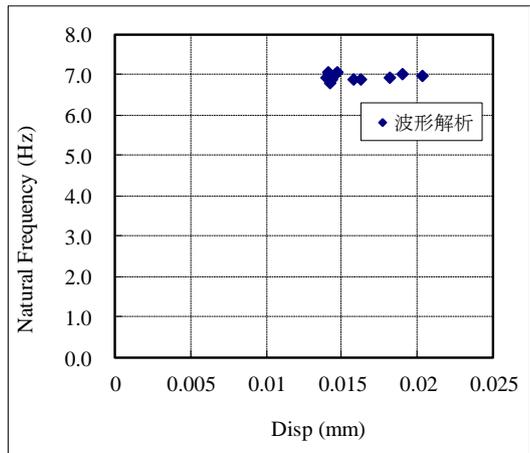


図 6.4.2.14-10 計測 No.14, 7Hz 加振, CH.6 減衰定数の算定

4) 1/3 オクターブ分析結果

配置6（計測 No.20）に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

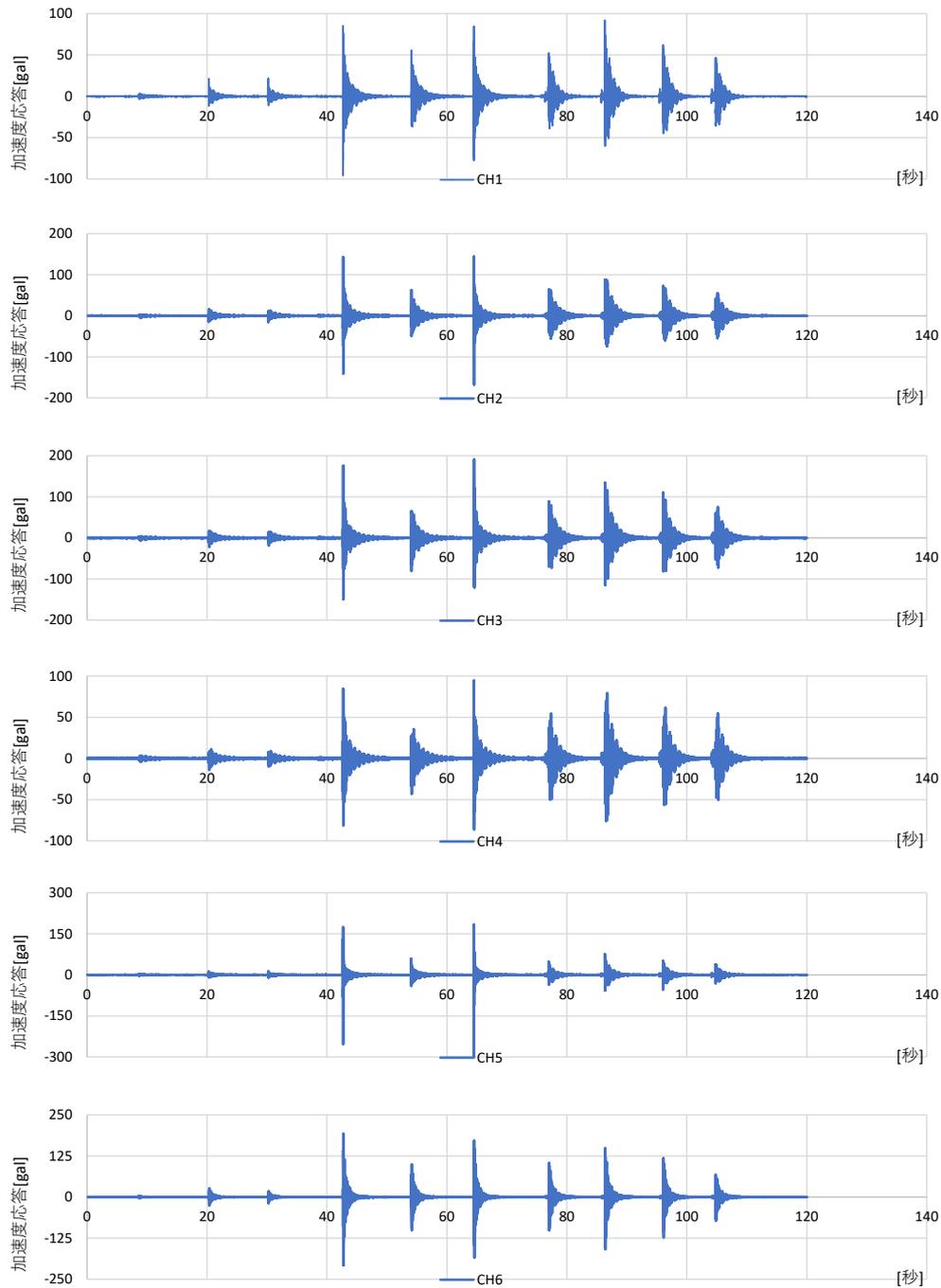


図 6.4.2.14-11 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

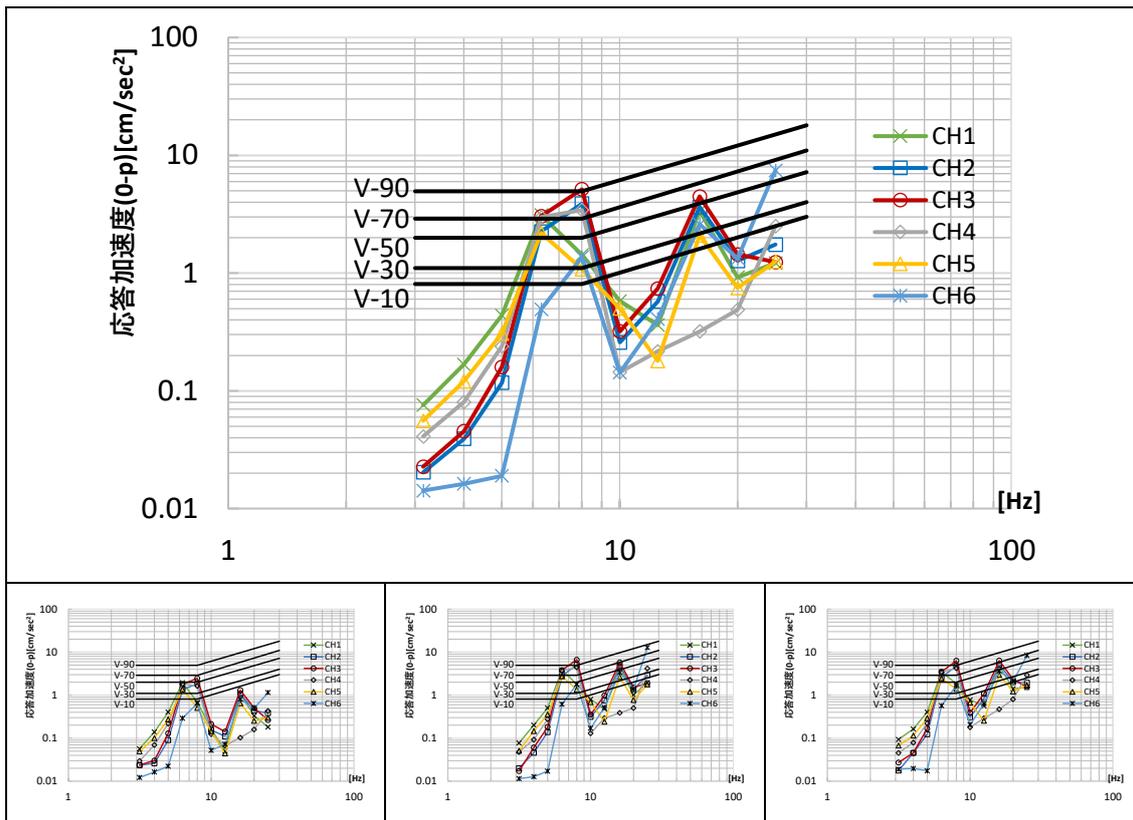


図 6.4.2.14-12 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.14-2 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.01 |
| 4 | 0.17 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 0.12 | 0.02 |
| 5 | 0.44 | 0.12 | 0.16 | 0.24 | 0.31 | 0.02 |
| 6.3 | 3.11 | 2.26 | 3.04 | 2.98 | 2.19 | 0.49 |
| 8 | 1.43 | 3.89 | 5.15 | 3.44 | 1.08 | 1.36 |
| 10 | 0.58 | 0.26 | 0.32 | 0.14 | 0.50 | 0.14 |
| 12.5 | 0.36 | 0.57 | 0.74 | 0.22 | 0.18 | 0.41 |
| 16 | 3.38 | 3.65 | 4.47 | 0.32 | 2.09 | 2.61 |
| 20 | 0.92 | 1.27 | 1.44 | 0.49 | 0.75 | 1.33 |
| 25 | 1.22 | 1.75 | 1.24 | 2.50 | 1.25 | 7.45 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

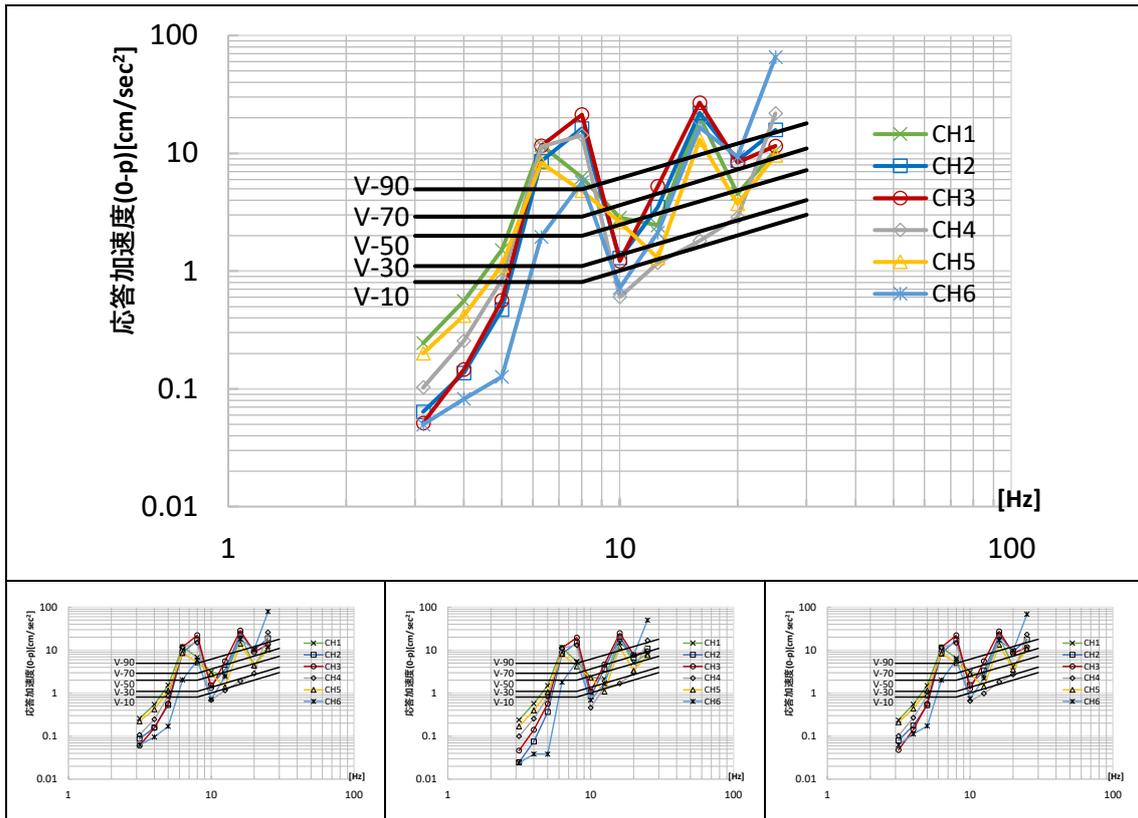


図 6.4.2.14-13 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.14-3 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.24 | 0.06 | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.05 |
| 4 | 0.56 | 0.14 | 0.15 | 0.26 | 0.42 | 0.08 |
| 5 | 1.51 | 0.47 | 0.57 | 0.85 | 1.12 | 0.13 |
| 6.3 | 11.74 | 8.56 | 11.58 | 11.38 | 8.33 | 1.95 |
| 8 | 6.24 | 16.25 | 21.28 | 14.22 | 4.80 | 5.69 |
| 10 | 2.84 | 1.29 | 1.22 | 0.60 | 2.61 | 0.72 |
| 12.5 | 2.45 | 3.50 | 5.24 | 1.17 | 1.29 | 2.12 |
| 16 | 20.50 | 22.09 | 26.90 | 1.81 | 13.07 | 16.54 |
| 20 | 4.55 | 8.67 | 8.37 | 2.87 | 3.72 | 9.32 |
| 25 | 10.58 | 15.81 | 11.54 | 21.86 | 9.63 | 65.69 |

③ かかと加振の結果

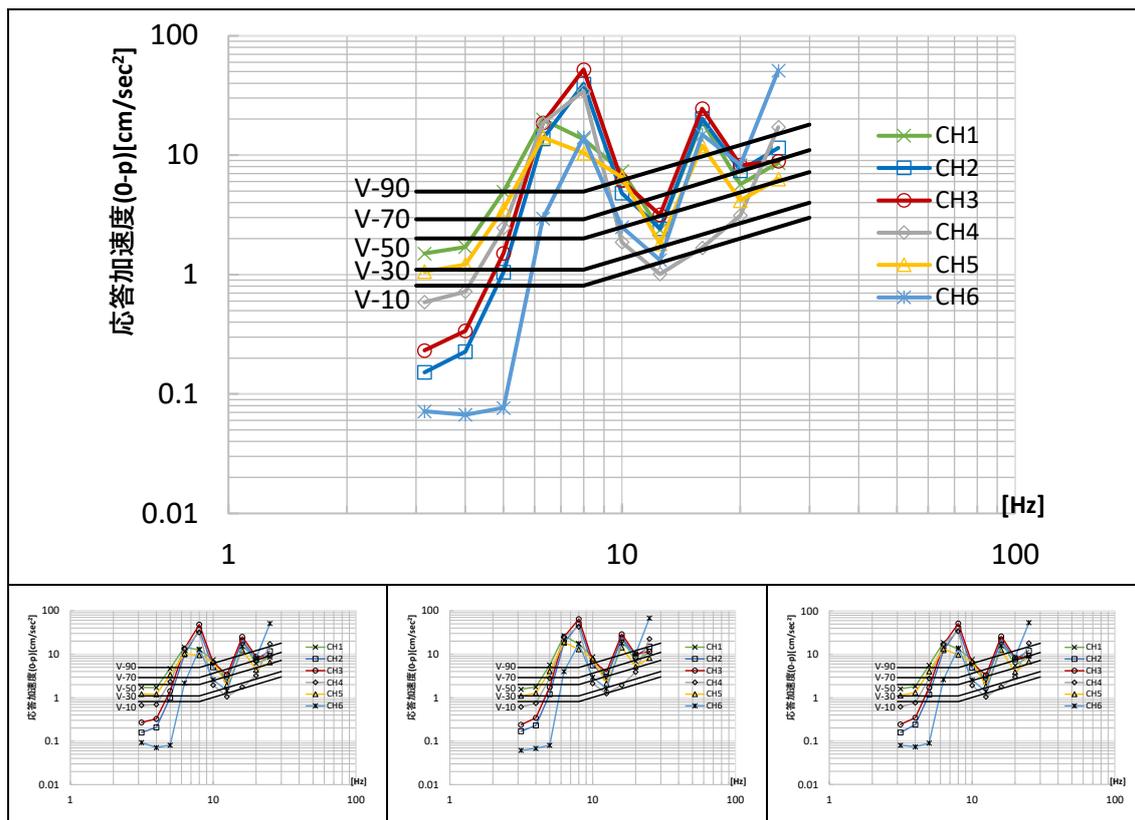


図 6.4.2.14-14 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.14-4 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 1.50 | 0.15 | 0.23 | 0.59 | 1.06 | 0.07 |
| 4 | 1.70 | 0.23 | 0.34 | 0.72 | 1.21 | 0.07 |
| 5 | 4.94 | 1.05 | 1.51 | 2.46 | 3.55 | 0.08 |
| 6.3 | 19.87 | 13.66 | 18.57 | 18.53 | 14.10 | 2.94 |
| 8 | 13.59 | 39.43 | 52.04 | 34.29 | 10.40 | 14.14 |
| 10 | 7.35 | 4.81 | 6.12 | 1.86 | 6.54 | 2.50 |
| 12.5 | 2.36 | 2.42 | 3.16 | 1.01 | 1.82 | 1.32 |
| 16 | 19.23 | 20.25 | 24.50 | 1.68 | 11.99 | 14.86 |
| 20 | 5.69 | 7.43 | 8.26 | 3.12 | 4.17 | 8.27 |
| 25 | 8.60 | 11.52 | 8.91 | 17.16 | 6.31 | 51.07 |

(15) CLT 1枚・2辺支持・強軸

1) 卓越振動数の同定〔共振点探査, 常時微動〕

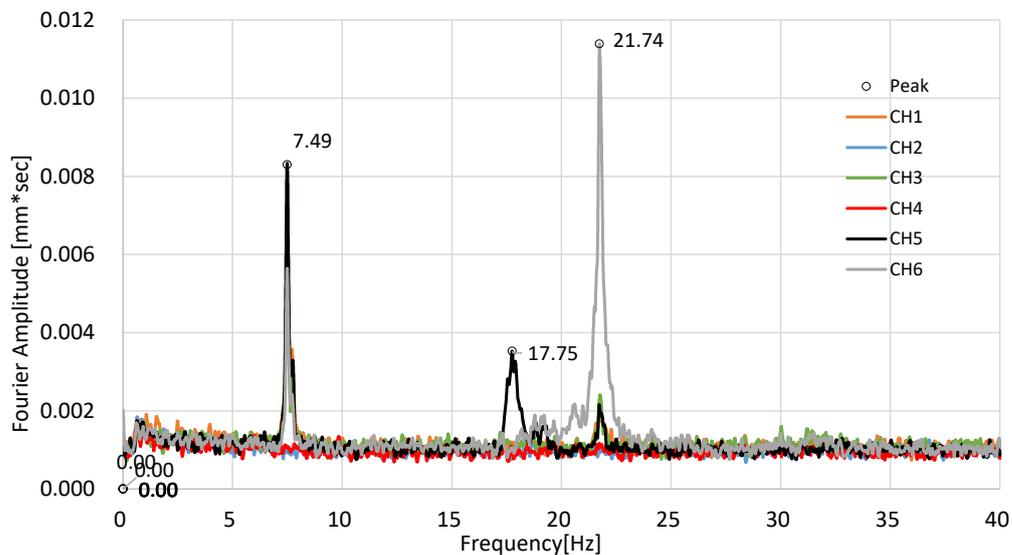


図 6.4.2.15-1 常時微動測定の結果 (day1-No.2, 配置 2, specimen No.1)
フーリエスペクトル *変位測定

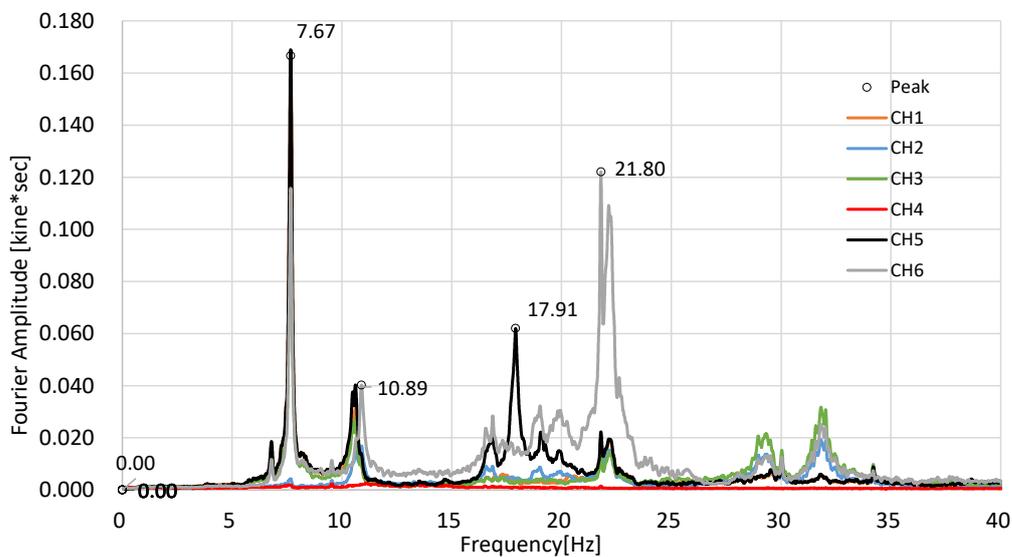


図 6.4.2.15-2 常時微動測定の結果 (day2-No.4, 配置 2'', specimen No.2)
フーリエスペクトル

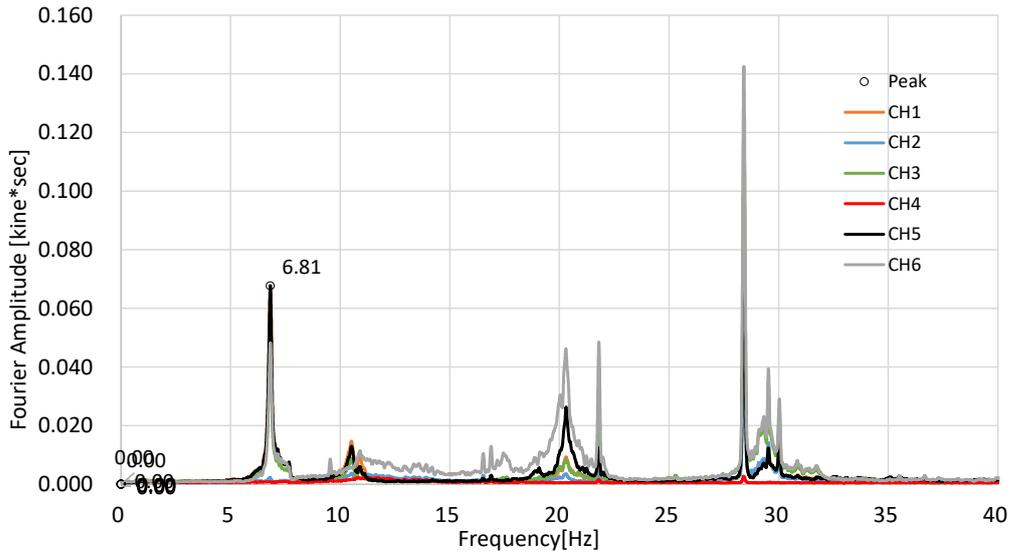


図 6.4.2.15-3 常時微動測定の結果 (day2-No.1, 配置 2', specimen No.3)
フーリエスペクトル

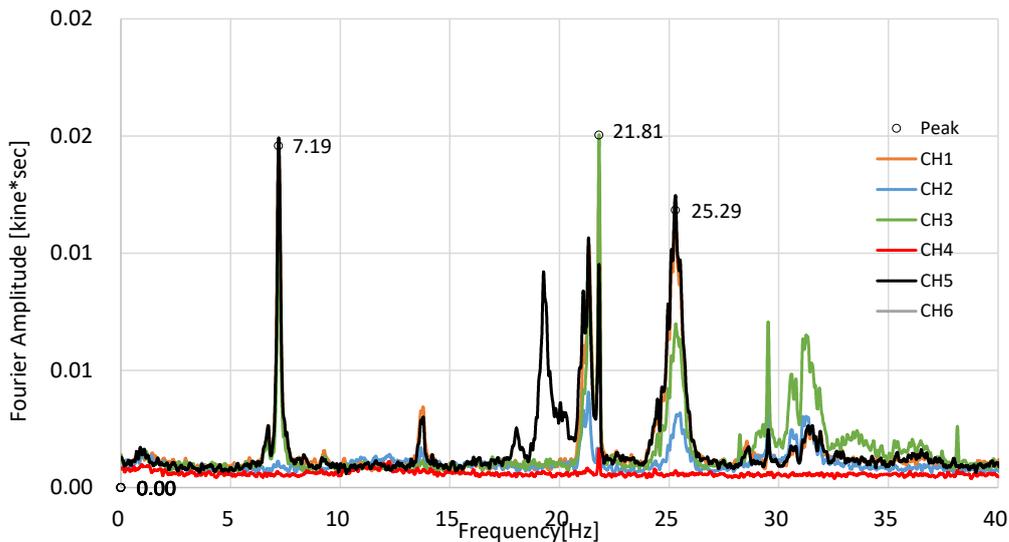


図 6.4.2.15-4 常時微動測定の結果 (day2-No.6, 配置 2', specimen No.4)
フーリエスペクトル

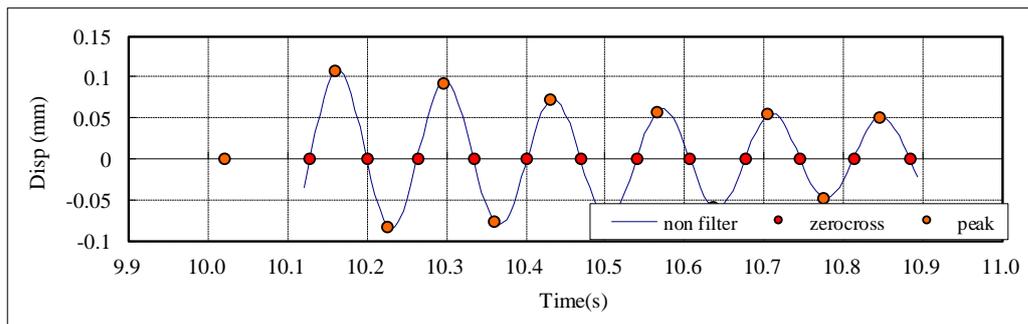
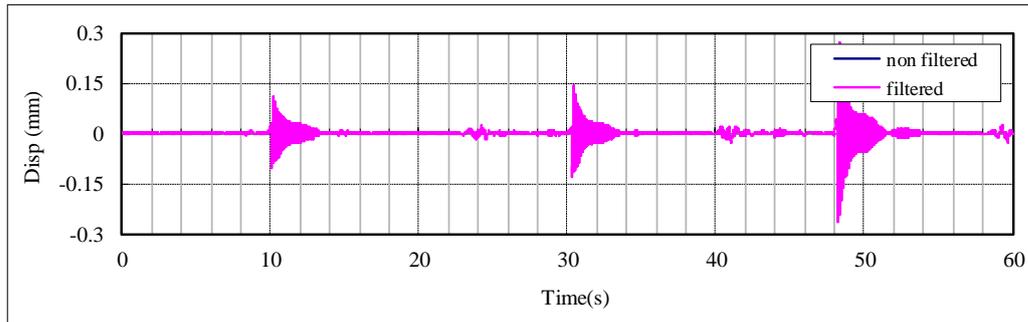
本節では、CLT1 枚に対して、2 辺強軸と同様の支持条件で常時微動測定を行った結果をもとに、フーリエスペクトルを算出した結果を示す。鋼板添え板ビス打接合の試験体に使用した、No.1~No.4 の CLT の固有振動数は、中央で 7.5, 7.67, 6.8, 7.2Hz とややばらつくものの、7.5Hz 前後であることが確認された。工事モードについては、応答値が極めて小さいこともあり、明確な同定は困難であった。

2) 減衰性能〔自由振動〕

1枚のCLTについては、共振起振を実施していないため、衝撃加振時の衝突後の自由振動波形から減衰定数を算定した。試験体中央CH.1および、手前はね出し部CH.6の結果を、No.1~No.3の各CLT試験体について示す。No.4については加速度で振動を計測しているため、除外している。

| | |
|-----|---|
| No. | 3 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.1_衝撃加振 210922-03
CH1砂袋, かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.28 | 0.108 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.38 | 2.51 | 2.32 |

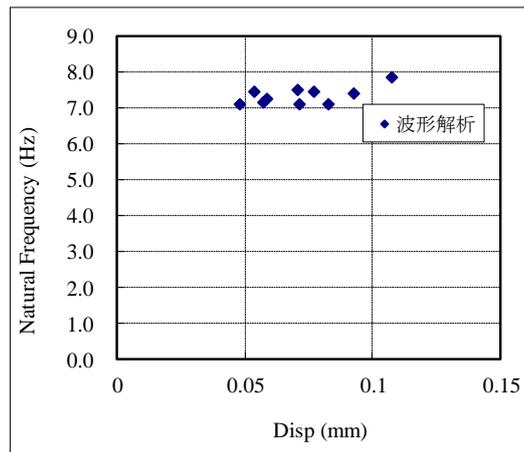
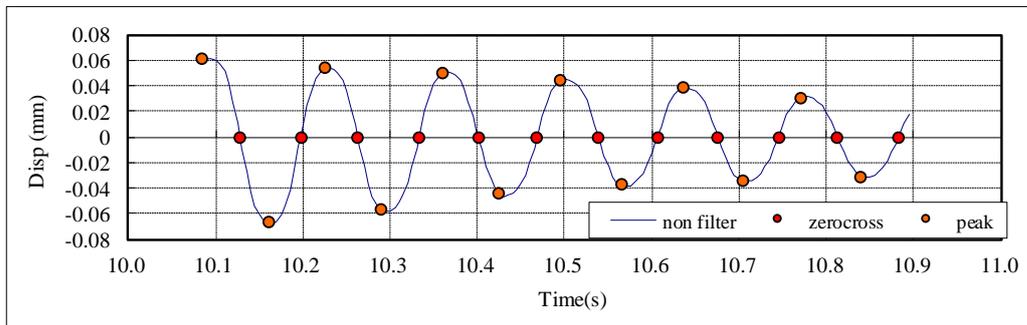
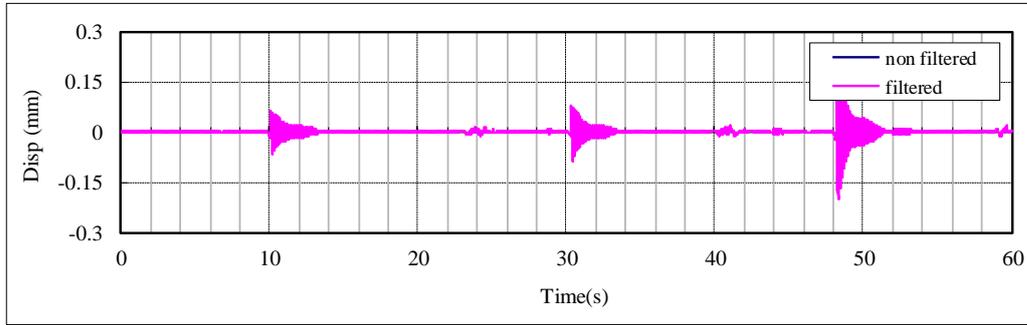


図 6.4.2.15-5 5cm 砂袋加振, 鋼板添え板ビス打用 CLT-No.1 CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 3 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.1_衝撃加振 210922-03
 CH6砂袋, かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.28 | 0.067 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.33 | 2.23 | 2.47 |

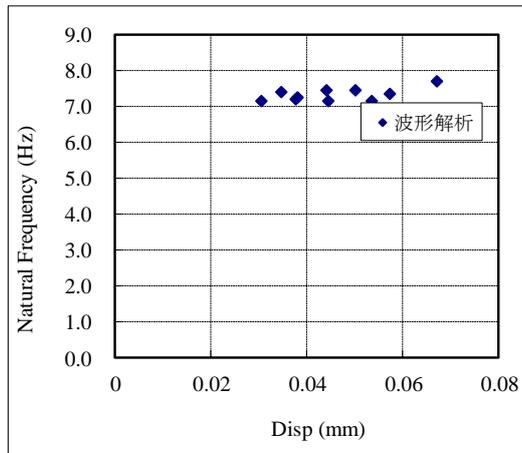
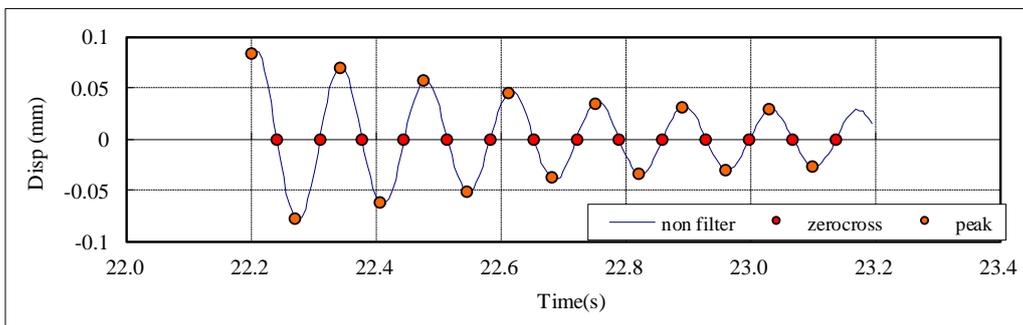
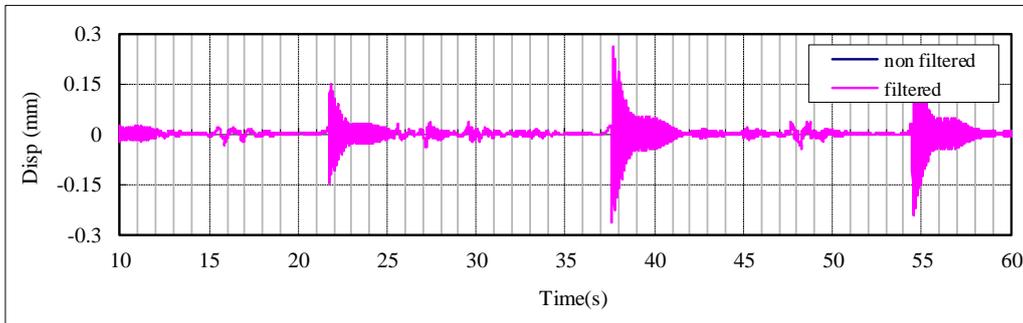


図 6.4.2.15-6 5cm 砂袋加振, 鋼板添え板ビス打用 CLT-No.1 CH.6 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.2_衝撃加振 210922-04
 CH1砂袋, かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.24 | 0.083 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.85 | 2.89 | 2.82 |

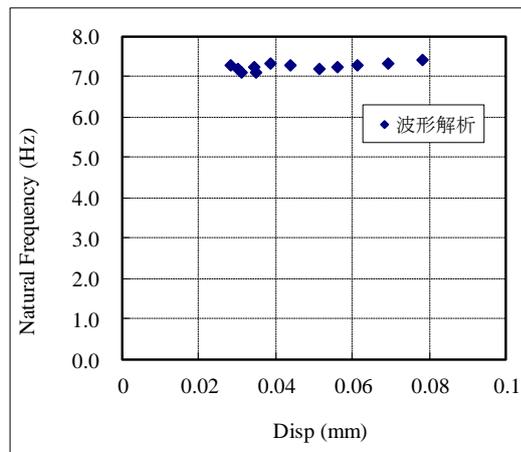
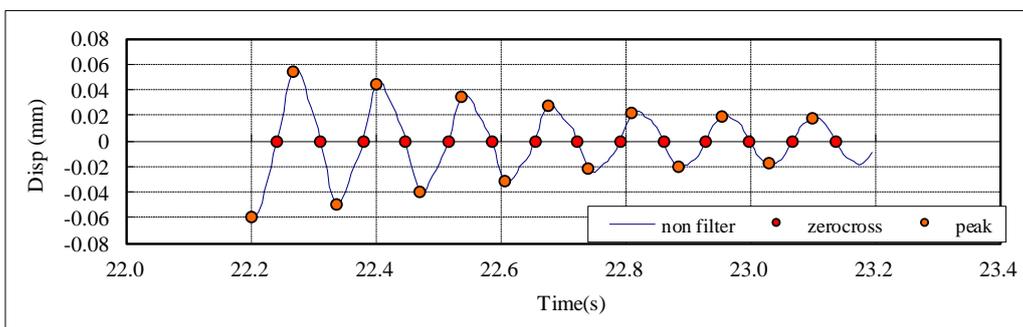
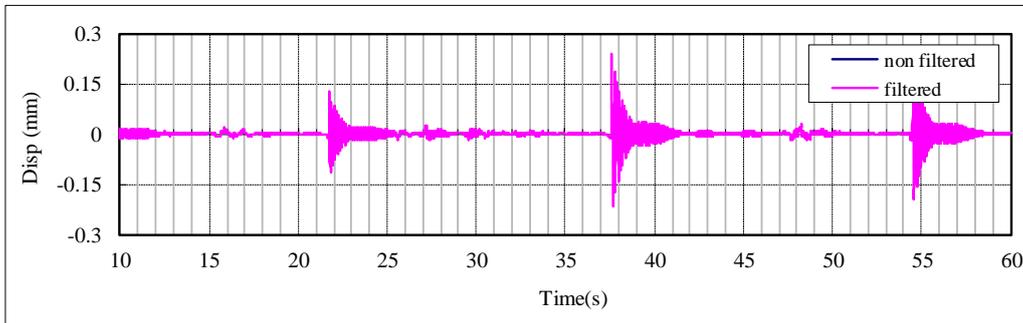


図 6.4.2.15-7 5cm 砂袋加振, 鋼板添え板ビス打用 CLT-No.2 CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 4 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.2_衝撃加振 210922-04
 CH6砂袋, かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.14 | 7.26 | 0.060 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 3.18 | 3.06 | 3.30 |

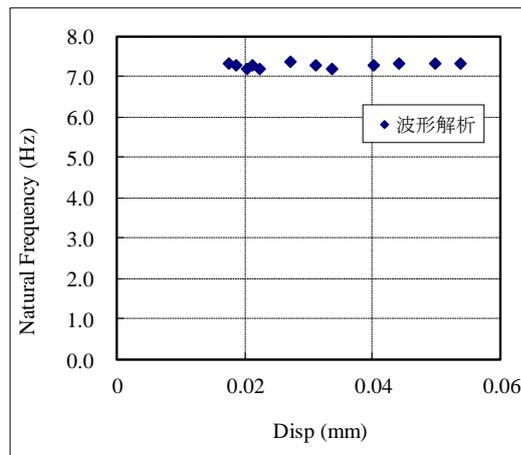
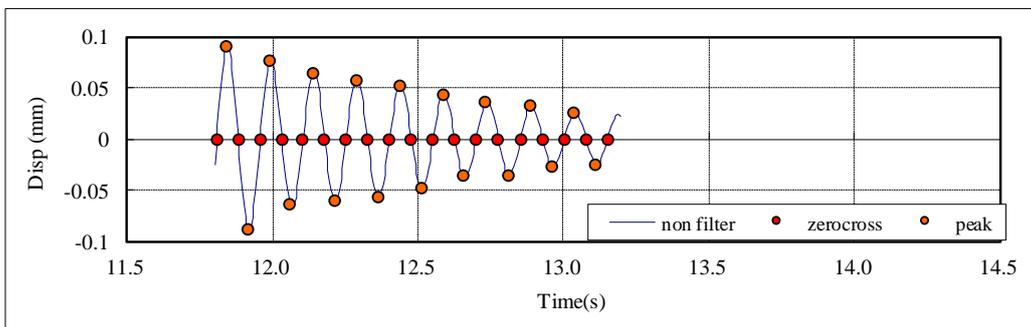
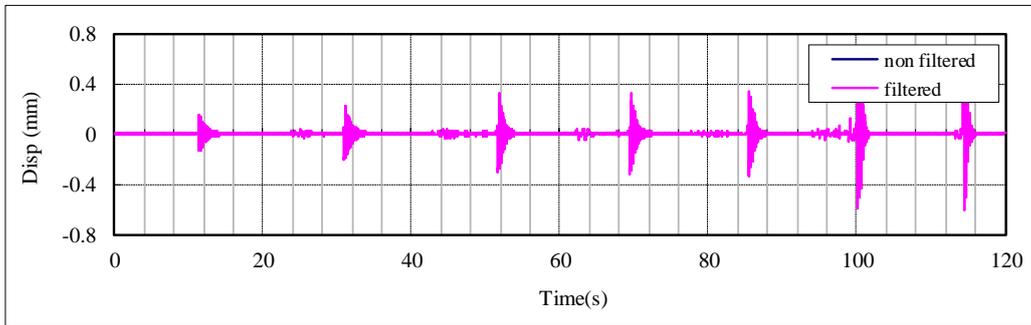


図 6.4.2.15-8 5cm 砂袋加振, 鋼板添え板ビス打用 CLT-No.2 CH.6 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 3 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.3_衝撃加振 210922-03
 CH1砂袋、かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.69 | 0.090 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.21 | 2.51 | 1.92 |

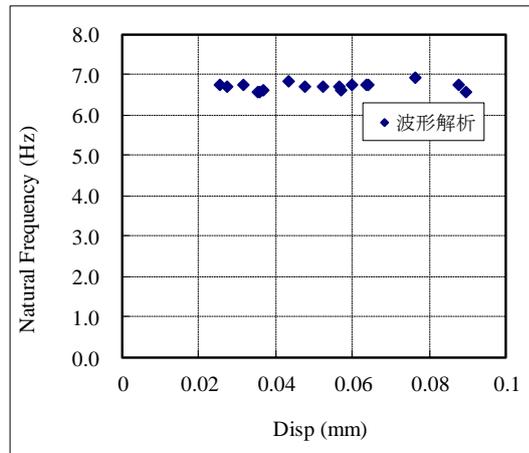
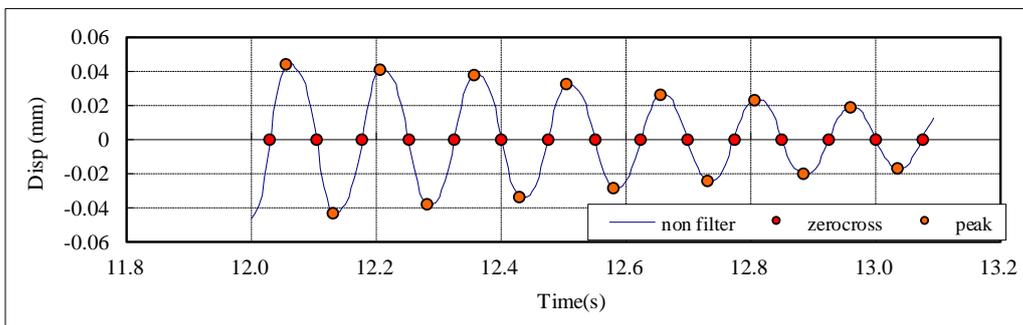
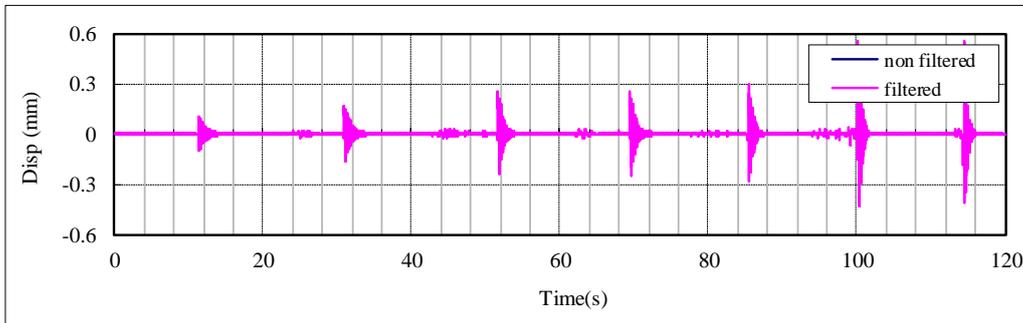


図 6.4.2.15-9 5cm 砂袋加振, 鋼板添え板ビス打用 CLT-No.3 CH.1 減衰定数の算定

| | |
|-----|---|
| No. | 3 |
|-----|---|

CLT(鋼板用)1枚 No.3_衝撃加振 210922-03
CH6砂袋、かかと_Z方向加振分析結果



| 固有周期 | 固有振動数 | 最大応答 |
|------|-------|-------|
| (s) | (Hz) | (mm) |
| 0.15 | 6.69 | 0.044 |

| 減衰定数 | | |
|------|--------|--------|
| 全振幅 | 片振幅(正) | 片振幅(負) |
| (%) | (%) | (%) |
| 2.53 | 2.29 | 2.73 |

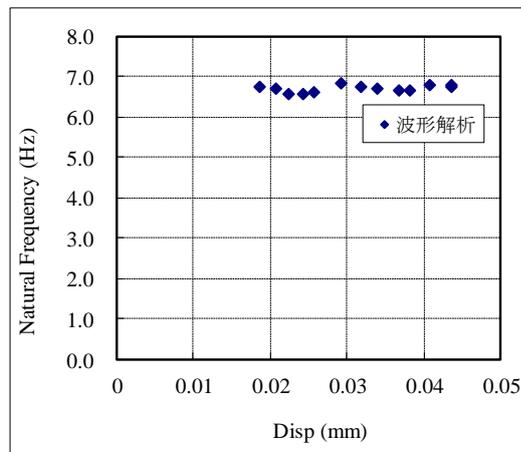


図 6.4.2.15-10 5cm 砂袋加振，鋼板添え板ビス打用 CLT-No.3 CH.6 減衰定数の算定

3) 1/3 オクターブ分析結果

配置 2 および 3 に対して実施した砂袋による衝撃加振試験の結果を用いて、1/3 オクターブバンド分析を行った。時刻歴波形は、全波形一覧を参照。

中央で加振した際の加速度応答値より、6.3.5 に示す振動数領域における最大加速度応答値を求め、プロットした。

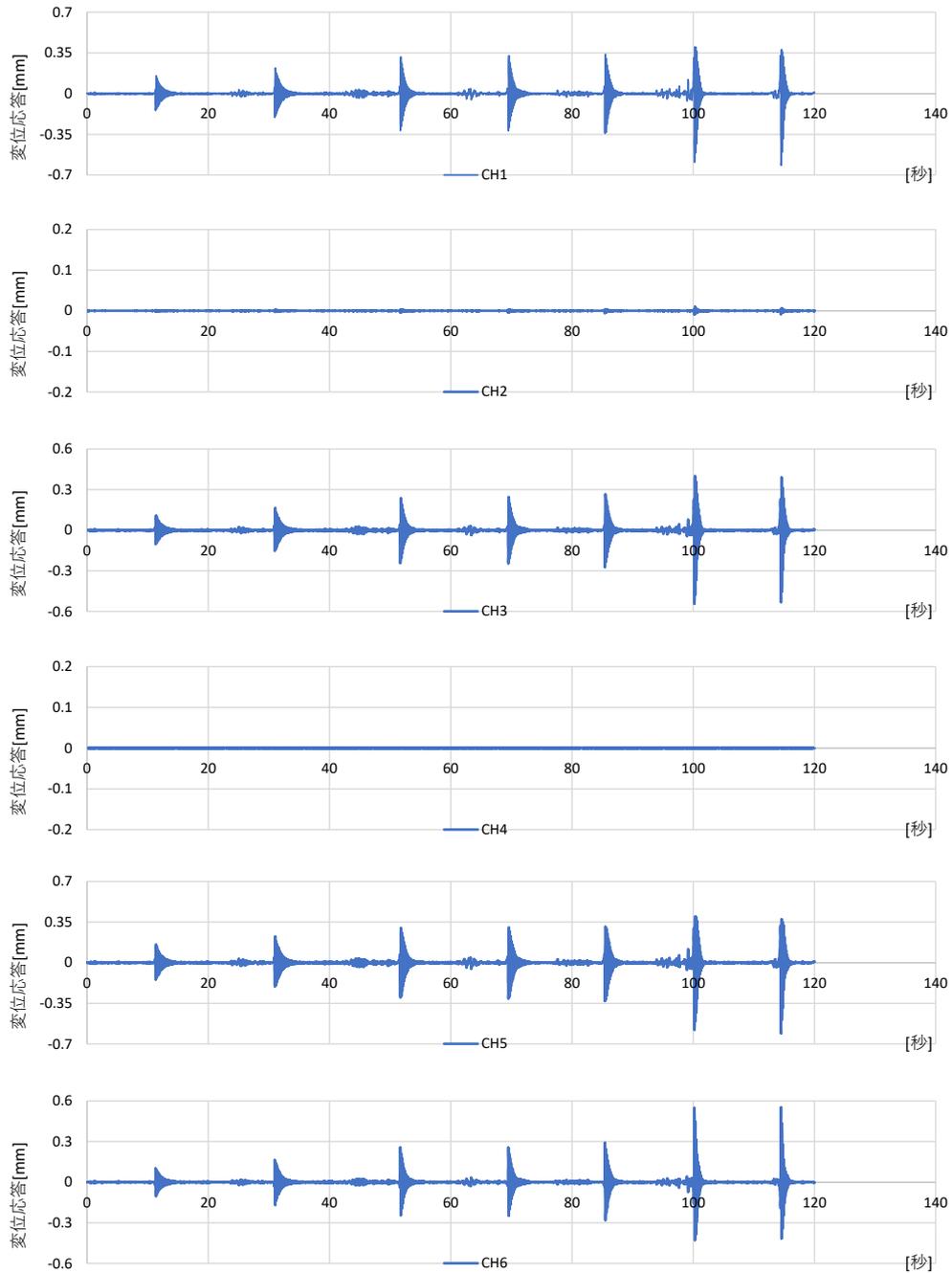


図 6.4.2.15-11 衝撃加振に対する時刻歴応答波形

① 5kg 砂袋 5cm の結果

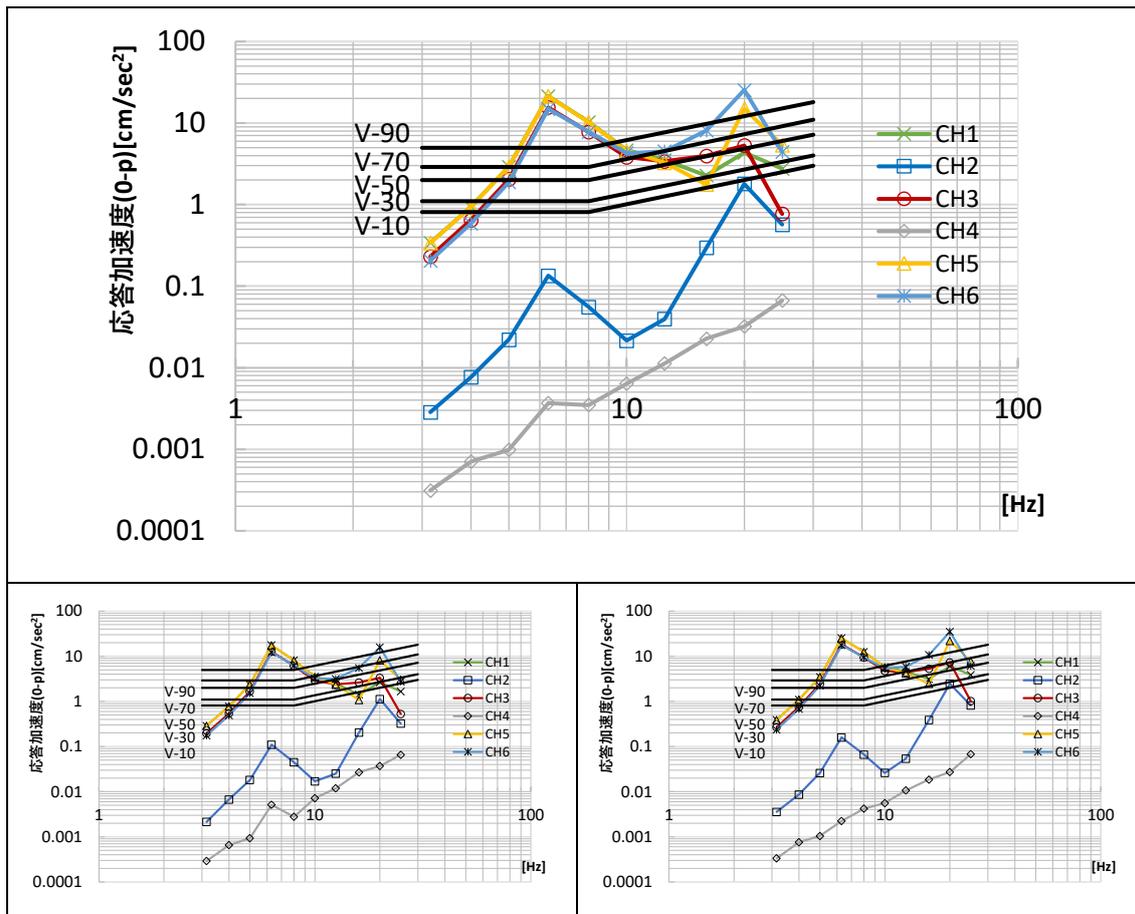


図 6.4.2.15-12 5kg 砂袋 5cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.15-1 砂袋 5cm 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.34 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.34 | 0.21 |
| 4 | 0.94 | 0.01 | 0.65 | 0.00 | 0.93 | 0.58 |
| 5 | 2.91 | 0.02 | 2.03 | 0.00 | 2.91 | 1.88 |
| 6.3 | 21.37 | 0.13 | 15.49 | 0.00 | 21.31 | 14.89 |
| 8 | 10.29 | 0.06 | 7.76 | 0.00 | 10.24 | 7.79 |
| 10 | 4.66 | 0.02 | 3.81 | 0.01 | 4.57 | 4.28 |
| 12.5 | 3.52 | 0.04 | 3.39 | 0.01 | 3.27 | 4.50 |
| 16 | 2.27 | 0.30 | 3.95 | 0.02 | 1.76 | 8.10 |
| 20 | 4.33 | 1.79 | 5.30 | 0.03 | 14.95 | 25.32 |
| 25 | 2.76 | 0.57 | 0.77 | 0.07 | 5.38 | 4.43 |

② 5kg 砂袋 30cm の結果

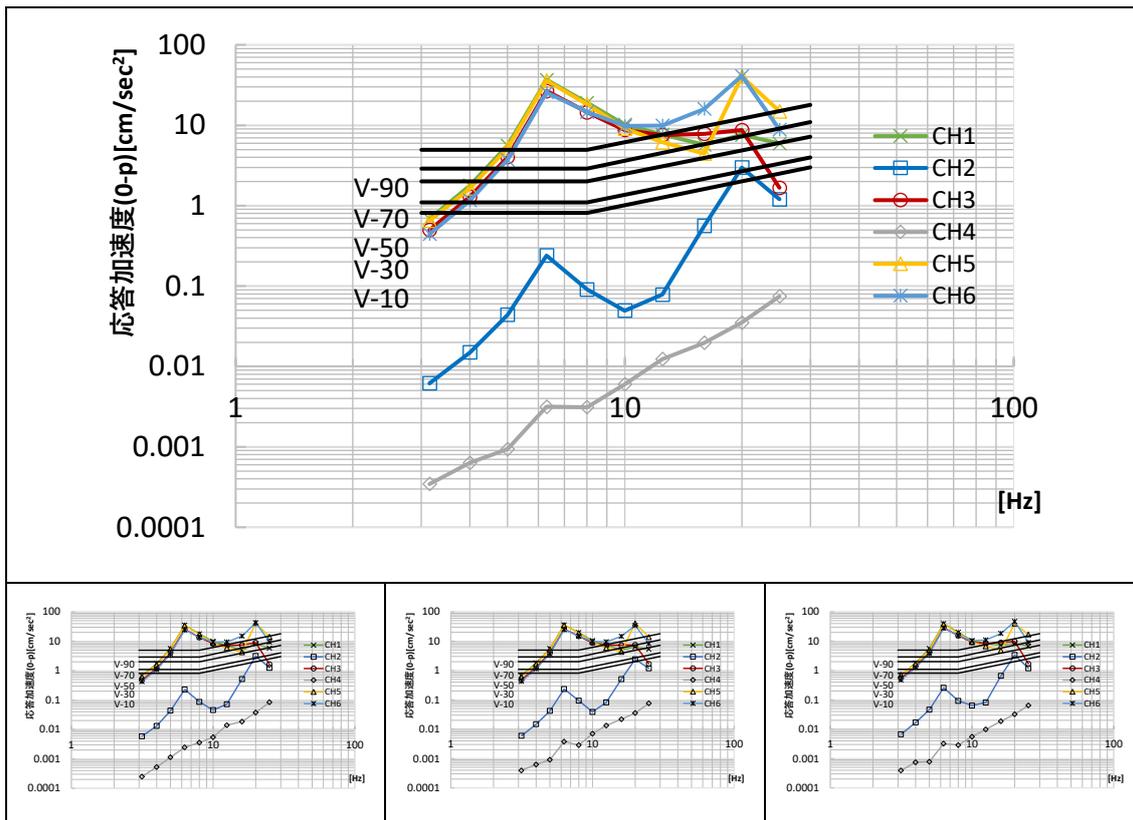


図 6.4.2.15-13 5kg 砂袋 30cm 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.15-2 砂袋 30 c m 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 0.68 | 0.01 | 0.50 | 0.00 | 0.65 | 0.44 |
| 4 | 1.79 | 0.01 | 1.29 | 0.00 | 1.64 | 1.17 |
| 5 | 5.61 | 0.04 | 4.03 | 0.00 | 5.22 | 3.72 |
| 6.3 | 36.82 | 0.24 | 26.76 | 0.00 | 36.09 | 25.69 |
| 8 | 19.14 | 0.09 | 14.53 | 0.00 | 18.30 | 14.66 |
| 10 | 10.21 | 0.05 | 8.75 | 0.01 | 9.12 | 9.83 |
| 12.5 | 7.65 | 0.08 | 7.56 | 0.01 | 6.15 | 9.96 |
| 16 | 5.71 | 0.56 | 7.85 | 0.02 | 4.45 | 15.96 |
| 20 | 7.61 | 2.98 | 8.70 | 0.04 | 40.48 | 41.18 |
| 25 | 5.95 | 1.20 | 1.67 | 0.07 | 14.93 | 8.88 |

③ かかと加振の結果

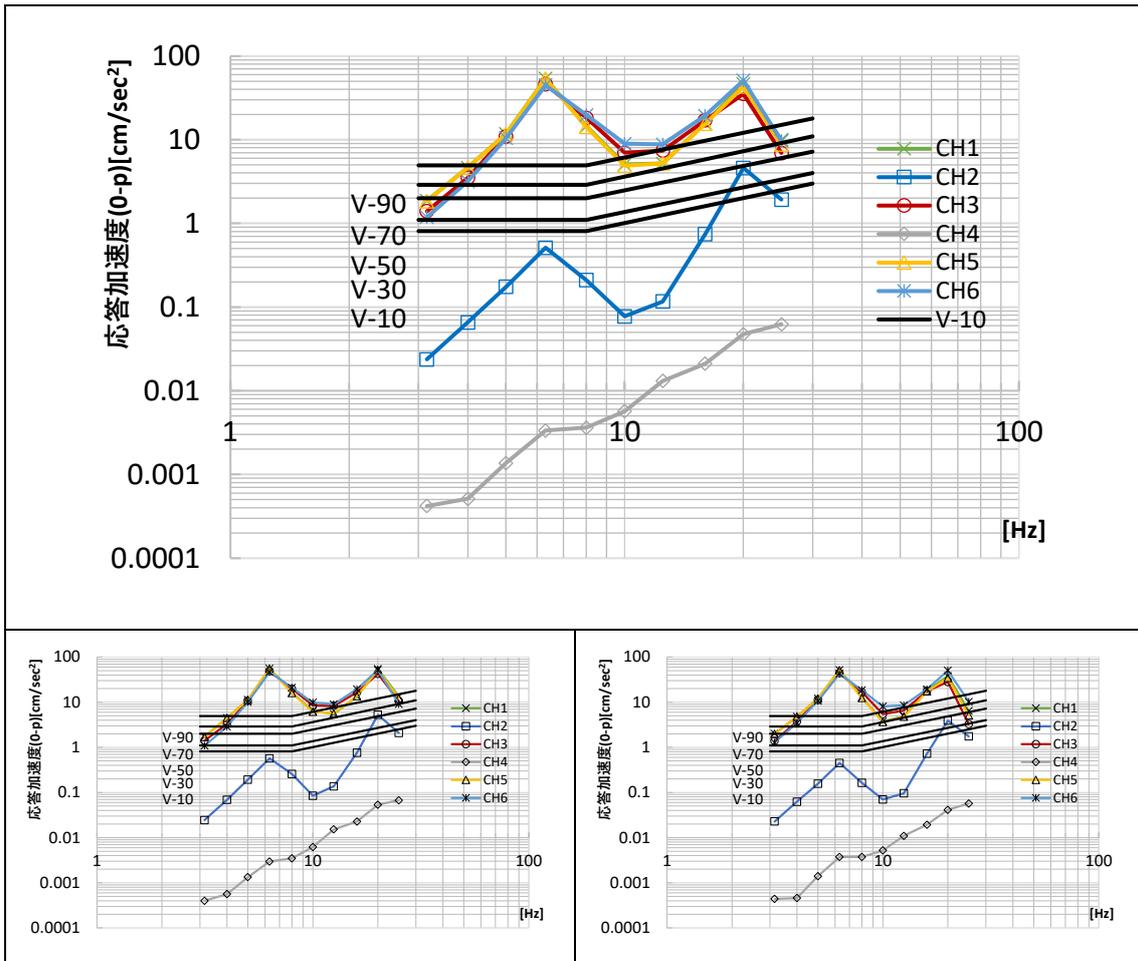


図 6.4.2.15-14 かかと加振 平均値（上段）および各回結果

表 6.4.2.15-3 かかと加振 各周波数領域の最大応答値（平均値）

| f_0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hz | cm/sec ² |
| 3.15 | 1.87 | 0.02 | 1.40 | 0.00 | 1.84 | 1.18 |
| 4 | 4.63 | 0.07 | 3.51 | 0.00 | 4.64 | 3.17 |
| 5 | 11.72 | 0.17 | 10.92 | 0.00 | 11.64 | 10.41 |
| 6.3 | 53.80 | 0.51 | 46.11 | 0.00 | 53.31 | 44.69 |
| 8 | 14.51 | 0.21 | 18.17 | 0.00 | 14.18 | 19.73 |
| 10 | 5.05 | 0.08 | 6.98 | 0.01 | 4.90 | 8.93 |
| 12.5 | 5.20 | 0.12 | 7.39 | 0.01 | 5.20 | 8.78 |
| 16 | 15.69 | 0.74 | 17.05 | 0.02 | 15.45 | 19.39 |
| 20 | 46.38 | 4.59 | 35.32 | 0.05 | 43.20 | 51.04 |
| 25 | 9.97 | 1.92 | 6.93 | 0.06 | 8.75 | 9.66 |

6.5 考察・計測結果のまとめ

以上 6.4 の各節では、接合具の違い (GIR, 鋼板添え板ビス打, 接合なし), 接合された CLT の枚数 (4 枚, 3 枚, 1 枚), 支持条件の違い (4 辺支持, 2 辺強軸 (下面のラミナ軸方向とレールが直交), 2 辺弱軸 (下面のラミナ軸方向とレールが並行), 4 点支持) をパラメータとした振動計測を実施した。本節では, 得られた主要な振動特性を, 上記のパラメータごとに整理し, 比較した結果を示す。

主要な計測項目として, 以下の 4 項目の同定を行った。

- ① 卓越振動数
- ② 卓越振動数時の変形モード (位相差, 振幅)
- ③ 減衰性能
- ④ 衝撃振動に対する加速度応答値 (1/3 オクターブバンド分析)

6.5.1 卓越振動数の比較

下表に、共振点探査の結果に基づく、各計測条件に対する主な卓越振動数を小さい順に示す（複数回、同一のピークを同一の計測点で示す共振点探査を行った場合、その平均値。なお、CLT 1 枚の場合のみ常時微動測定の結果から固有振動数を算出した）。最も小さな振動数が、1 次固有振動数であると推定されるが、これは事項に示す振動モードの形状の検討を通じても確認されている。

表 6.5.1 各計測における主要な卓越振動数の一覧

| 計測条件 | | 卓越振動数 | | | | | | | |
|----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1次 (中央) | | 高次 | | | | | |
| | | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz |
| GIR/ CLT4枚 | GIR_4CLT_4Rails | 10.38 | 17.78 | 18.62 | 23.38 | | | | |
| | GIR_4CLT_2Rails_SA | 7.54 | 11.57 | 16.35 | 18.26 | 22.31 | 31.90 | | |
| | GIR_4CLT_2Rails_WA | 5.69 | 8.26 | 15.55 | 17.56 | 33.57 | | | |
| | GIR_4CLT_4Points | 5.82 | 9.94 | 16.43 | 18.92 | 23.82 | 29.93 | 34.01 | 38.14 |
| GIR/ CLT3枚 | GIR_3CLT_4Rails | 9.06 | 12.18 | 12.88 | 14.02 | 16.54 | | | |
| | GIR_3CLT_2Rails_SA | 7.24 | 13.31 | 17.96 | 23.24 | | | | |
| | GIR_3CLT_2Rails_WA | 5.81 | 7.42 | 15.06 | 28.76 | | | | |
| 鋼板ビス打 CLT4枚 | STP_4CLT_4Rails | 10.71 | 17.33 | 20.32 | 23.44 | | | | |
| | STP_4CLT_2Rails_SA | 6.92 | 8.01 | 12.64 | 17.67 | 22.03 | 24.85 | | |
| | STP_4CLT_2Rails_WA | 6.82 | 8.93 | 15.23 | 18.19 | 18.95 | 33.18 | | |
| | STP_4CLT_4Points | 6.09 | 8.42 | 10.67 | 16.35 | 19.34 | 23.86 | 32.58 | 37.69 |
| 鋼板ビス打 CLT3枚 | STP_3CLT_4Rails | 10.24 | 13.17 | 14.58 | 20.88 | | | | |
| | STP_3CLT_2Rails_SA | 6.96 | 9.35 | 18.37 | 19.17 | 20.78 | | | |
| | STP_3CLT_2Rails_WA | 6.93 | 8.21 | 15.01 | 27.67 | | | | |
| CLT1枚 | 1CLT_2Rails_SA | 7.29 | | | | | | | |

*共振起振を複数行っているCH.は平均値を算出した

次に各条件における1次固有振動数をプロットし、傾向を比較した。

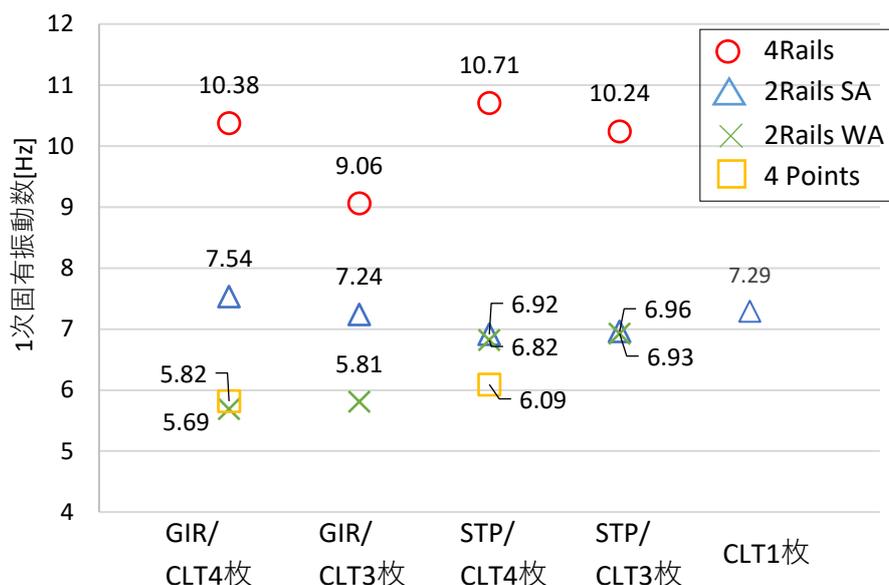


図 6.5.1 接合具・CLT 枚数・支持条件ごとの1次固有振動数の比較

図 6.5.1 よりよみとれる特徴を以下に示す。

- ・ 接合具や CLT の枚数によらず、固有振動数は 4 辺支持 (4Rails) が最大 (9.1 ~ 10.7Hz 程度)。
- ・ 次いで振動数が大きいのは、2 辺支持強軸 (2Rails SA) または 2 辺支持弱軸 (2Rails WA) であったが、GIR 接合の場合は前者が後者より大きな固有振動数となっている (1.2~1.3 倍程度) のに対して、鋼板添板ビス打 (STP) の場合には、両者にはほとんど違いがみられない。これについては、接合具による曲げ剛性の違いを考慮する必要があると考えられる。
- ・ 4 点支持 (4Points) 条件の振動数は GIR で約 5.8Hz、鋼板添え板ビス打で約 6.1Hz と大きな差は見られない。ただし、GIR の場合は 2 辺弱軸と 4 点支持で固有振動数はほぼ同じであるのに対し、STP では、2 辺支持に対して 4 点支持の場合の固有振動数は 1 割弱小さい。
- ・ CLT の枚数による違いは、4 辺支持の場合は GIR, STP とともに 4 枚の方が固有振動数が大きいものの、2 辺支持条件ではかならずしも明確ではない。
- ・ CLT 1 枚の計測は、STP 試験の試験体について、組み立て前に同じ支持感覚で計測したものである。鋼板ビス打接合 (STP) の結果と CLT 1 枚の結果を比較すると、前者が約 7.3Hz に対して約 7Hz と 5% 程度低下している。
- ・ なお、2 辺支持条件と 4 辺支持条件の振動数の関係は、GIR・CLT 4 枚 (平板接合 3 か所) の場合、2 辺強軸に対して 1.38 倍、2 辺弱軸に対して 1.82 倍、鋼板添え板ビス打・CLT 4 枚 (平板接合 3 か所) の場合はそれぞれ 1.55 倍、1.57 倍である。GIR・CLT 3 枚 (平板接合 2 か所) の場合はそれぞれ、1.25 倍と 1.56 倍、鋼板添え板ビス打・CLT 3 枚 (平板接合 2 か所) の場合は、1.47

倍、1.48倍である。今回の接合部仕様と同等の接合効率が期待できる場合、二方向支持（4辺支持）とすることで、上記の比率程度の固有振動数の向上が見込めることが示された。

本接合条件における、共通する傾向と、接合方法、また支持条件による違いが示された。

6.5.2 各支持条件における振動モードの種類と振幅の比較

前掲の各計測条件において、基本的には6-10Hz前後における卓越振動数において、モード形状を確認すると、レールやピン支持点に対して対象に、中央およびレールの不在の方向を最大応答とした対称な1次モードの変形が確認された。

このほかに、今回計測を実施している、レールの外にあるはね出し部分（手前、左、二方向はね出し、と呼称）にそれぞれピークが確認される。これらのピークが個別にみられるのは4辺支持で顕著であり、2辺支持では、レールを除いた辺の応答が極めて大きくなり、その応答に引きずられるような周辺の変形が確認された。なお、4点支持の場合も同様であるが、手前のはね出しと左のはね出しでは応答値が異なる場合も多く、接合後の版において、縦方向と横方向の剛性が異なることの影響と推定される。

各モードの詳細については、各節の変形モード図等を参照（22.02.16時点では、GIR 4枚以外は、変形図は原則として1次モードのみを掲載している）。

6.5.3 減衰性能の比較

報告書中に記載した減衰定数をまとめると以下のとおりである。各計測における4点は、中央、手前はね出し、左手前はね出し（4枚の場合は二方向はね出し）、左中央（4枚の場合は左はね出し）、の位置である。载荷は、中央付近で起振機により、1次固有振動数近傍の振動数で行っており、定常状態に達したのちに振動を停止し、自由振動とした状態で、数波の波形を選定し、対数減衰法にて減衰を求めている。

表 6.5.2 各計測条件の、1次固有振動数での起振後の自由振動に基づく減衰定数

| 減衰定数 計測条件 | | 中央 | 手前はね出し | 二方向はね出し | 左はね出し | 平均 |
|----------------|---------------------|------|--------|---------|-------|------|
| | | % | % | % | % | % |
| GIR/ CLT4枚 | GIR_4CLT_4Rails | 1.73 | 1.77 | 2.05 | 1.78 | 1.83 |
| | GIR_4CLT_2Rails_SA | 1.82 | 2.97 | 2.46 | 1.18 | 2.11 |
| | GIR_4CLT_2Rails_WA | 2.89 | 2.72 | 2.63 | 2.79 | 2.76 |
| | GIR_4CLT_4Points | 1.89 | 1.68 | 1.60 | 1.63 | 1.70 |
| GIR/ CLT3枚 | GIR_3CLT_4Rails | 1.59 | 2.50 | 1.63 | - | 1.91 |
| | GIR_3CLT_2Rails_SA | 1.42 | 1.48 | 1.48 | 1.43 | 1.45 |
| | GIR_3CLT_2Rails_WA | 1.91 | 2.21 | 2.69 | - | 2.27 |
| 鋼板ビス打 CLT4枚 | STP_4CLT_4Rails | 1.95 | 2.03 | 2.08 | 1.96 | 2.01 |
| | STP_4CLT_2Rails_SA | | 1.37 | 1.48 | 1.57 | 1.47 |
| | STP_4CLT_2Rails_WA | 1.23 | 1.38 | 1.25 | 1.29 | 1.29 |
| | STP_4CLT_4Points | 1.25 | 1.42 | 1.24 | 1.17 | 1.27 |
| 鋼板ビス打 CLT3枚 | STP_3CLT_4Rails | 1.78 | 1.81 | 1.89 | - | 1.83 |
| | STP_3CLT_2Rails_SA | 1.07 | 1.19 | 1.13 | 1.19 | 1.15 |
| | STP_3CLT_2Rails_WA | 0.92 | 0.85 | 0.94 | - | 0.90 |
| CLT1枚 | 1CLT_2Rails_SA NO.1 | 2.38 | 2.33 | | | 2.36 |
| | 1CLT_2Rails_SA NO.2 | 2.85 | 3.18 | | | 3.02 |
| | 1CLT_2Rails_SA NO.3 | 2.21 | 2.53 | | | 2.37 |

CLT 1枚の2辺支持強軸での減衰定数が約2.3~3%程度である。

これと比較すると、GIR,鋼板ビス打（STP）ともに、1枚での減衰定数からはやや低くなる傾向が確認された。なお今回の実験結果としては、GIRと鋼板ビス打では、わずかにGIRの方が減衰定数が高い傾向があるものの、ばらつきもあり、接合による影響の程度は明確ではない。他方で、4枚と3枚を比較すると、GIR,鋼板ビス打ともに、3枚では減衰定数が2%を超える場合は稀であり、3枚の方が減衰定数が小さい傾向が確認された。

6.5.4 1/3 オクターブ分析結果の比較

5kg の砂袋の 5 cmからの落下、30 cmからの落下、および約 60kg の成人男性のかかと加振を用いた衝撃加振試験の結果をまとめる。評価は 1/3 オクターブバンド法によった。各計測結果の詳細は各節の結果を確認されたい。

応答値の傾向として、今回の試験体においては、前述のように多く 6~10Hz 前後に中央を最大変位とする一次のピーク、その後 15~20Hz 付近にはね出し部などのやや小さいピークがみられることが多かった。各チャンネルのオクターブバンドごとの加速度応答値は、1次固有振動数付近と、2次以降の振動数付近での応答が比較的大きく、間に当たる 10~15Hz 付近では小さな応答となる傾向がみられたが、これは今回の試験体における固有振動数の分布傾向と関連していると推察される。

評価結果の傾向としては、5 cmからの加振では、v90 に達する計測点は少ないものの、30 cmからの落下、およびかかと加振では、特に固有振動数付近においては、v90 を上回る応答値が多く確認された。

以下、前節までの計測条件ごとではなく、共通のチャンネルにおける結果を重ねたグラフを示す。中央で加振した際の中央部での結果 (CH.1 応答値) を示した。この結果を見ると、どの加振においても応答値が v90 を越えないものとしては、s4c4p (鋼板ビス打接合、CLT 4 枚、4 点支持) があげられる。ただし、平均値を用いているとはいえ衝撃加振結果にはばらつきもみられるため、他の計測や静的加力から推定される剛性等とも比較し、総合的に適切な剛性や耐力、振動性状の推定を進める必要がある。

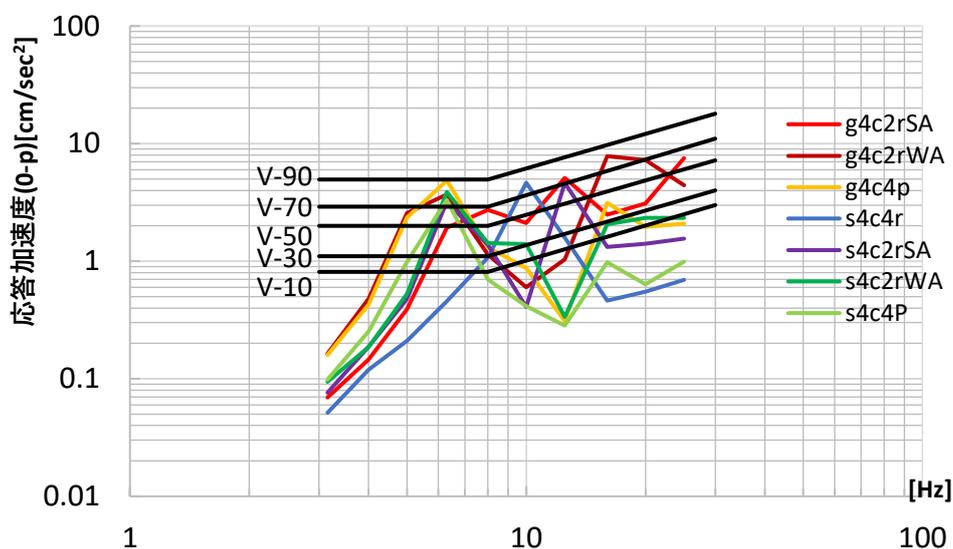


図 6.5.2 各計測の 1/3 オクターブバンド法による衝撃加振の応答値：
中央 CH.1, 砂袋 5 cm

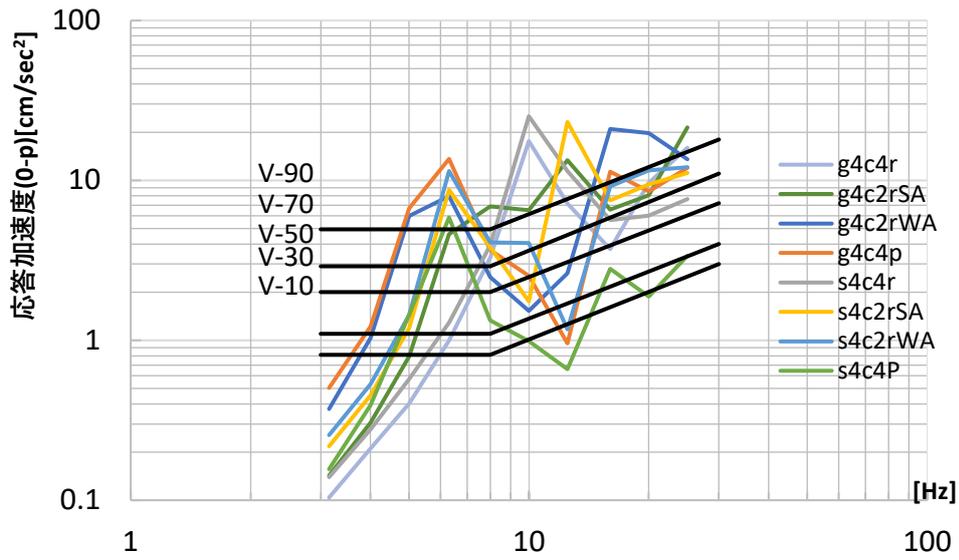


図 6.5.3 各計測の 1/3 オクターブバンド法による衝撃加振の応答値：
中央 CH.1, 砂袋 30 cm

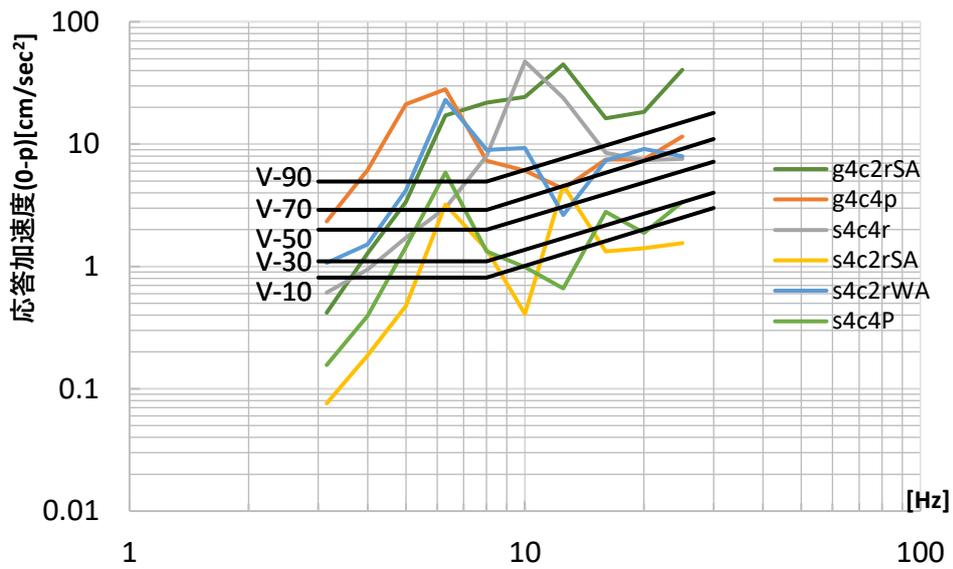


図 6.5.4 各計測の 1/3 オクターブバンド法による衝撃加振の応答値：
中央 CH.1, かかと加振

6.6 まとめ

本章では、平版接合した CLT 水平構面の動的性質を実験的に明らかにすることを目的として、各種支持条件の下で、常時微動計測、共振探索・共振加振、衝撃加振の各試験を行い、固有振動数、振動モード、減衰性能、衝撃振動に対する応答の傾向を明らかにし、接合方法、支持条件による影響を考察した。詳細は 6.5 節の考察、結果の整理を確認されたい。

今後の課題としては、衝撃振動の伝達傾向の定量的検証、高次振動数の影響に関する検討、数値解析による固有振動数・振動モードとの比較、格子梁モデルなど簡易な推定手法との対応関係の考察などが挙げられる。

第7章 CLTによる平板床・屋根の実用化に向けて

CLTの屋根または床への利用拡大にあたり、コストおよび経年変化に関する懸念を払しょくしておくことが重要である。本章では、本事業で実施した床の載荷試験を参考に、5層7プライのCLTで床を構成した場合と、短辺方向に複数のCLTを接合してできる平板床のコスト比較を実施するとともに、鋼板添え板接合に使用した建築ビス（PK8-90）のクリープ性状、および偶数層構成のCLTの経年による形状・寸法変化について調査した結果を報告する。

7.1 コストの検討

7.1.1 GIR 接合

床の静的載荷試験および振動試験で使用した試験体（7.6m×9m）の、GIR接合の加工・施工手順を写真7.1～写真7.8に示す。



写真 7.1 よび穴加工



写真 7.2 穿孔作業



写真 7.3 穿孔確認



写真 7.4 充填剤漏れ防止



写真 7.5 鋼材挿入



写真 7.6 CLT引き付け



写真 7.7 充填剤注入 (右



コンプレッサー)



写真 7.8 注入穴埋め木

図 7.1 に GIR の配置図を、表 7.1 に使用した材料の数量、および歩掛を示す。

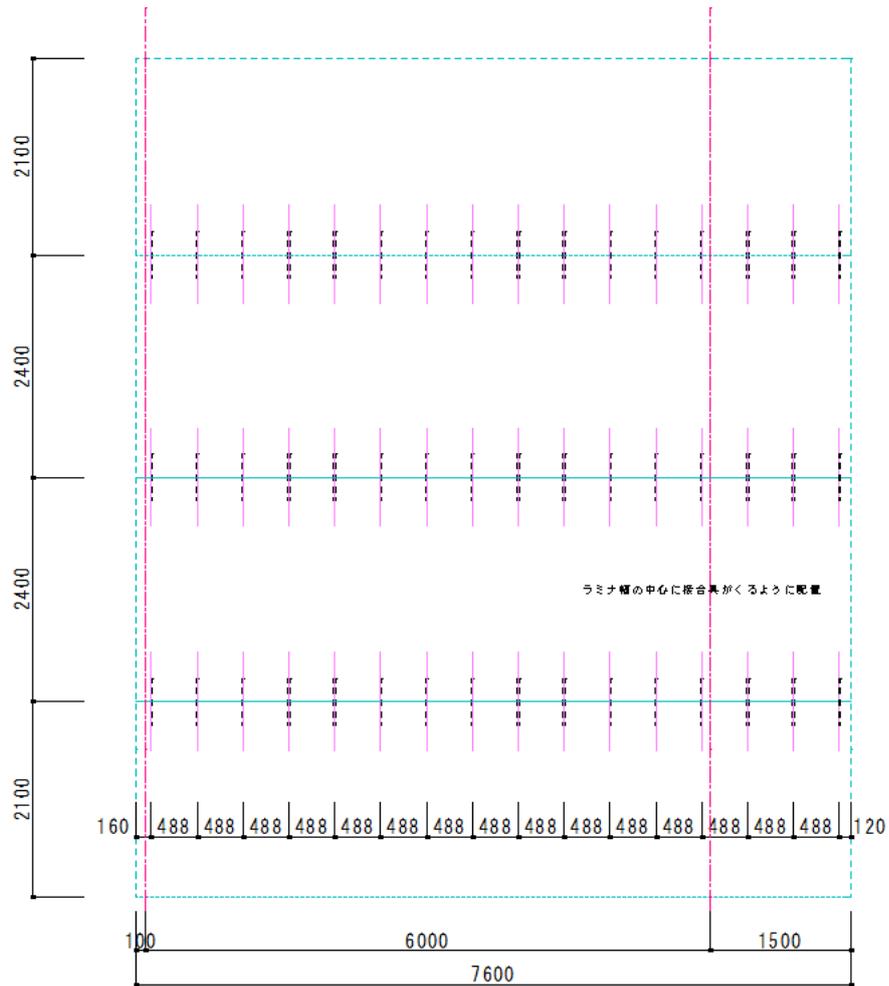


図 7.1 GIR 配置図

表 7.1 GIR を使用した試験体 (7.6m×9.0m) の材料・施工費用

| 名称 | 仕様 | 数量 | | 単価 | 金額 |
|-------------|-----------------|--------|----------------|---------|-----------|
| CLT | 6層6プライ 厚さ 180mm | 12.312 | M ³ | 135,000 | 1,662,120 |
| 全ねじボルト | 20φ L=400mm | 48 | 本 | 400 | 19,200 |
| | 20φ L=500mm | 48 | 本 | 500 | 24,000 |
| 接着剤充填 900ML | オーシカダイソ | 15 | 本 | 9,000 | 135,000 |
| 充填剤漏洩防止材 | | 96 | 箇所 | 300 | 28,800 |
| 穴あけ加工 | | 2 | 人 | 35,000 | 70,000 |
| 運搬費 | 10ton車 (愛媛県内移動) | 1 | 台 | 50,000 | 50,000 |
| CLT敷込み | | 68.4 | M ² | 1,500 | 102,600 |
| 接着剤充填 | | 1 | 人 | 35,000 | 35,000 |

7.1.2 鋼板添え板ビス接合

床の静的載荷試験および振動試験で使用した試験体（7.6m×9m）の、鋼板添え板接合の加工・施工手順を写真 7.9～写真 7.12 に示す。



写真 7.9 ドリフトピン挿入



写真 7.10 CLT 引き付け



写真 7.11 接合具打ち込み（上面）

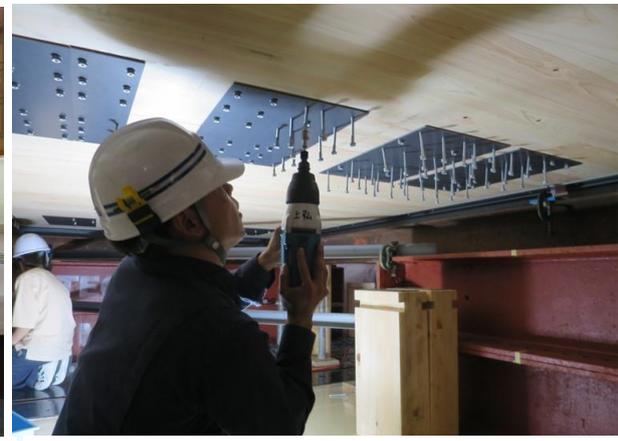


写真 7.12 接合具打ち込み（下面）

尚、ドリフトピン用の穿孔作業は、工場ではなく実験現場で行っている。理由は、ドリフトピン径 16mm に対し、穿孔穴も 16mm であるため、加工精度を高める必要があった。そこで現地にて、まず隣接する CLT の木口面を一度合わせて高さ調性をした状態で、CLT の上面に水平方向のドリフトピン位置を、2 枚同時に墨付けを行い、その後、CLT を離してそれぞれ差し金にて垂直に下した上面から 105mm の位置にドリフトピンの芯を墨付け（図 7.2 参照）し、写真 7.13 のドリルガイドのついたドリルにて穿孔作業を実施している。

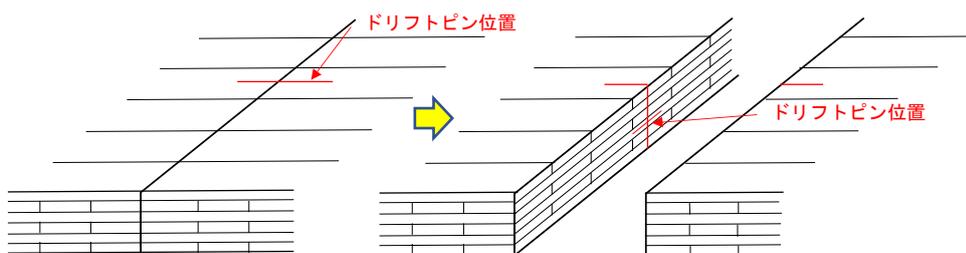


図 7.2 ドリフトピンの墨付け作業手順



写真 7.13 ドリルガイド

図 7.3 に鋼板の配置図、図 7.4 に金物図を、表 7.2 に使用した材料の数量、および歩掛を示す。

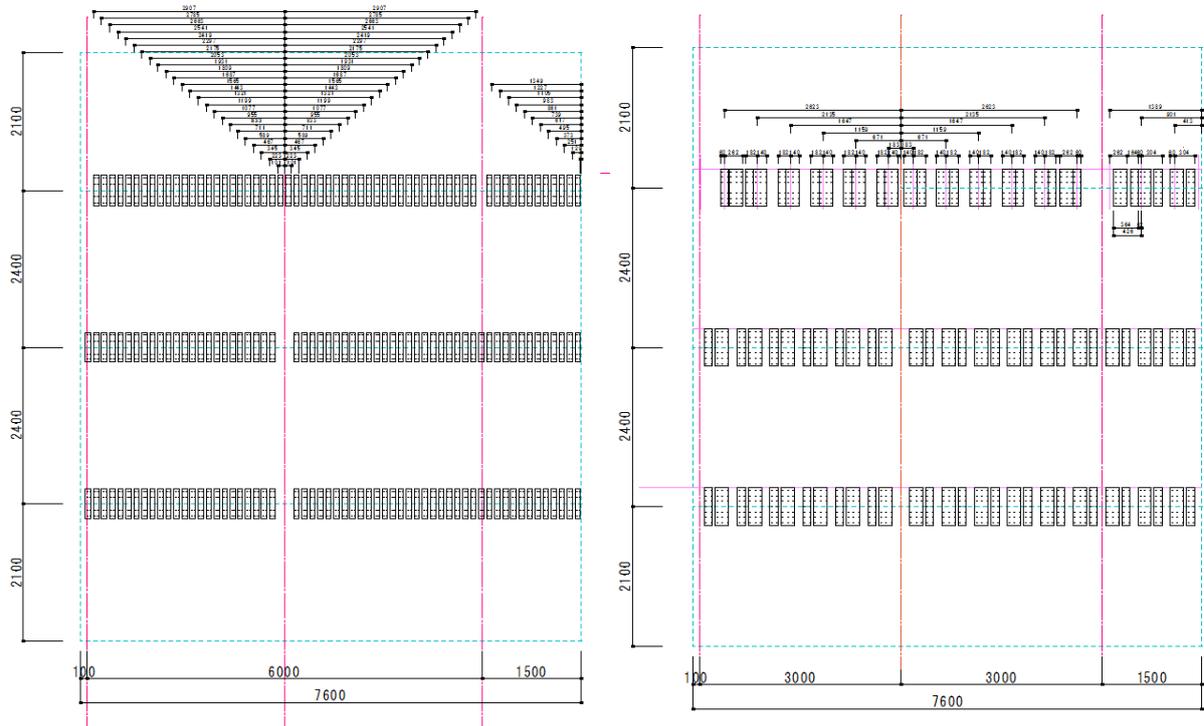


図 7.3 接合金物用鋼板の配置図（左：上面 右：下面）

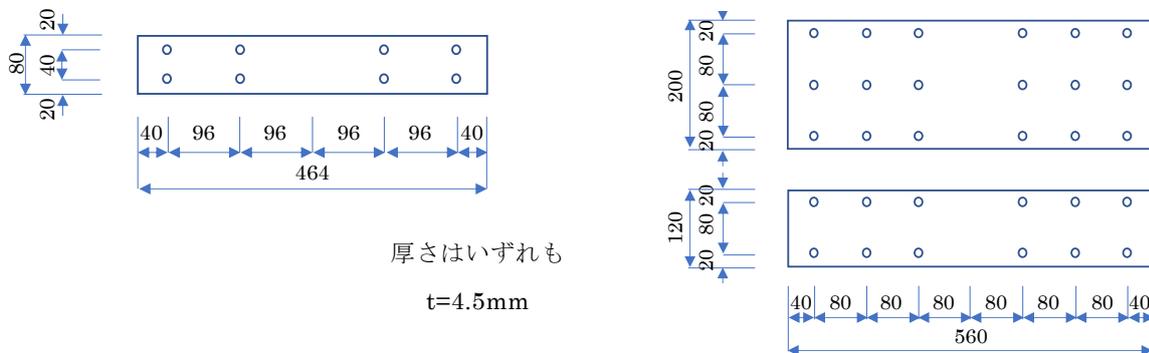


図 7.4 接合金物用鋼板の詳細図（左：上面 右：下面）

表 7.2 鋼板添え板接合を使用した試験体（7.6m×9.0m）の材料・施工費用

| 名称 | 仕様 | 数量 | 単価 | 金額 |
|-------------|----------------------|-----------------------|---------|-----------|
| CLT（ヒノキ） | 6層6プライ 厚さ 180mm | 12.312 M ³ | 135,000 | 1,662,120 |
| 鋼板 | 厚さ 4.5×80×464 | 90 枚 | 550 | 49,500 |
| | 厚さ 4.5×(300+120)×560 | 45 枚 | 2,670 | 120,150 |
| 接合金具 | PK8-90 | 2070 本 | 120 | 248,400 |
| ドリフトピン | 16φ L=200mm | 45 本 | 450 | 20,250 |
| ドリフトピン穴あけ加工 | | 1 人 | 35,000 | 35,000 |
| 運搬費 | | 1 台 | 50,000 | 50,000 |
| CLT敷込み | | 68.4 M ² | 1,500 | 102,600 |
| 接合金物取付手間 | | 4 人 | 35,000 | 140,000 |

7.1.3 コスト比較

仮に5層7プライ（厚さ210mm）のCLTを使って、本事業で実施した床の試験体と同じ寸法（7.6m×9m）の床を作成した場合の材料の数量、および歩掛を表7.3に示す。CLT-CLTの接合には地震時に発生するせん断力を伝達する必要があることから、CLTパネル工法で一般に採用されている、構造用合板によるスプライン接合を施すものとして検討している。

表7.3 5層7プライ（厚さ210mm）を使用したと仮定した試験体（7.6m×9.0m）の材料・施工費用

| 名称 | 仕様 | 数量 | 単価 | 金額 |
|-----------|-----------------|-----------------------|---------|-----------|
| CLT（ヒノキ） | 5層7プライ 厚さ 210mm | 14.364 M ³ | 135,000 | 1,939,140 |
| 構造用合板 | 厚み 12mm | 3 枚 | 3000 | 9,000 |
| 接合金具 | 建築用ビス | 304 本 | 100 | 30,400 |
| スプライン加工費 | | 14.364 M ³ | 3,000 | 43,092 |
| 運搬費 | | 1.2 台 | 50,000 | 60,000 |
| CLT敷込み | | 68.4 M ² | 1,800 | 123,120 |
| スプライン施工手間 | | 1 人 | 35,000 | 35,000 |

単価は、元請業者が工事を受注した金額を想定して設定している。尚、表7.3の運搬費は、6層6プライ（厚さ180mm）よりも重量が増えるため、増加分を表7.1および表7.2の数量に乘じ、CLT敷き込み費も、揚重機の費用が割増しになるとして重量の増加分を単価に乘じている。

表7.4に表7.1～表7.3の総額を比較した表を示す。6層6プライのGIR接合（CASE1）は、5層7プライのCLT（CASE3）を活用した場合よりも、充填剤注入の材工費用は必要になるが、コストは約5%削減されている。一方で、6層6プライの鋼板添え板接合（CASE2）は、5層7プライのCLT（CASE3）を活用した場合よりも金物の費用と金物の取り付けに必要な工賃が増加したことから、約8%増額となった。

表7.4 5層7プライ（厚さ210mm）を使用した床と6層6プライ（厚さ180mm）で構成した床の価格比較

| | 使用したCLT | 接合方法 | 金額 | 備考 |
|-------|-------------------|---------|-----------|--------|
| CASE1 | S90-6-6（厚さ 180mm） | GIR接合 | 2,126,720 | 表7.1参照 |
| CASE2 | S90-6-6（厚さ 180mm） | 鋼板添え板接合 | 2,428,020 | 表7.2参照 |
| CASE3 | S90-5-7（厚さ 210mm） | — | 2,239,752 | 表7.3参照 |

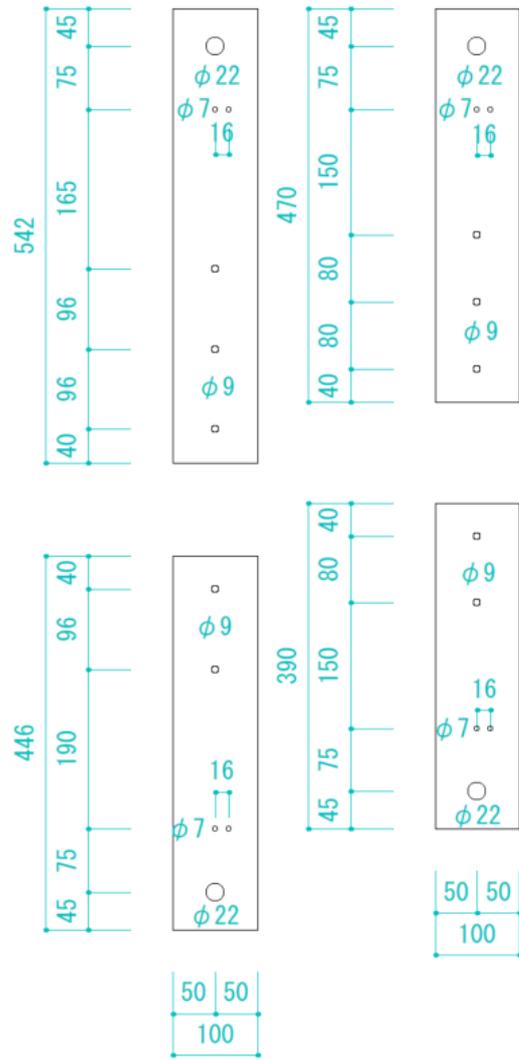


図 7.6 添え板鋼板の寸法

表 7.5 実験前ヒノキ CLT の寸法

| 载荷方向 | 試験体名 | 重量 | 幅 | 厚さ | 長さ |
|------|------|--------|--------|--------|-----|
| | | g | mm | mm | mm |
| 強軸 | S1 | 6692.9 | 121.30 | 151.54 | 720 |
| | S2 | 6732.1 | 120.55 | 151.97 | 720 |
| 弱軸 | W1 | 7116.4 | 160.74 | 152.00 | 600 |
| | W2 | 7189.9 | 159.96 | 152.97 | 600 |

【実験概要】

図 7.7 に試験体設置図、表 7.6 に各試験体の載荷荷重、表 7.7 に昨年度の強度性能評価実験の結果、写真 7.13 に載荷の様子を示す。載荷は試験体 2 つを組み合わせ、偏心しないよう考慮し、試験体を上下に引っ張ることで接合部にせん断力を付与した。変位は、いずれも CDP-25（東京測器製）を用い、写真 7.14 に示すように鋼板と CLT との相対変位を計測している。載荷は、2021 年 8 月 24 日 15 時 58 分から開始し、載荷作業の修了は同日 16 時 4 分であった。それ以降、変位は 1 時間間隔で計測している。また、外部温湿度は、RTR-503（おんどとり）を用いて、1 時間間隔で計測している。

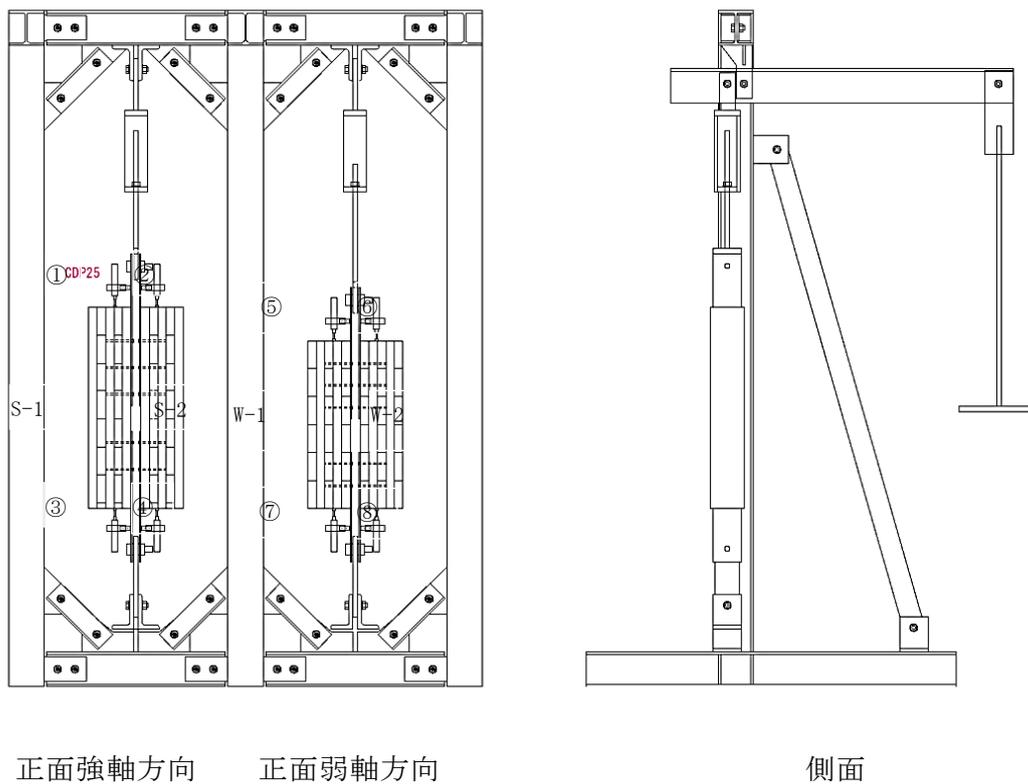


図 7.7 試験体設置図

表 7.6 載荷荷重

| 試験体種類 | 長期許容耐力 kN/本 | 4本の耐力 kN | 1体の耐力 kN/体 | アーム荷重 kN | アーム荷重除いた値 kN | 試験機テコ率 | おもり kN |
|-------|----------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|--------|-----------|
| 弱軸試験体 | 4.7 | 18.8 | 9.4 | 3.0 | 15.8 | 13.8 | 1.15 |
| 強軸試験体 | 4.6 | 18.4 | 9.2 | 2.8 | 15.6 | 14.1 | 1.10 |

表 7.7 昨年度短期試験結果

| 载荷方向 | 接合具本数 | 強度性能 | |
|------|-------|------------|--------------|
| | | 初期剛性 (平均値) | 長期許容耐力 (下限値) |
| | | kN/mm/本 | kN/本 |
| 強軸 | 2 | 2.9 | 4.7 |
| | 4 | 3.0 | 4.4 |
| 弱軸 | 2 | 2.2 | 4.6 |
| | 4 | 2.3 | 4.6 |



強軸試験体



弱軸試験体



全体写真

写真 7.13 载荷の様子



写真 7.14 変位計設置の様子

7.2.3 実験結果 (2022年2月28日までのデータ)

【変位計計測値】

図 7.8 に、荷重開始日である 2021 年 8 月 24 日から 2022 年 2 月 28 日までの 188 日間における各変位計の計測値と、下図に計測位置ごとの平均値を示す。それぞれの計測点ごとに値のばらつきがあり、特に強軸方向の試験体は同じ計測点で大きく異なり、変形の大きい側と小さい側のような傾向を示さなかった。また、弱軸方向では変位の大小の傾向は同じであったがそれぞれのばらつきは大きい傾向があった。これは 1 つにした 2 体の試験体にまったく同様の力がかかっていなかったためと考えられる。そこで、それぞれの計測位置ごとに平均値で比較することとした。その結果、荷重方向が強軸方向の試験体は、ビス本数より 1.5 倍の差が見られると考えていたがわずかに 3 本の方が小さい変形を示しており、弱軸方向は 2 本打ち試験体の方が 3 本打ち試験体と比べて約 2 倍の変形を示した。

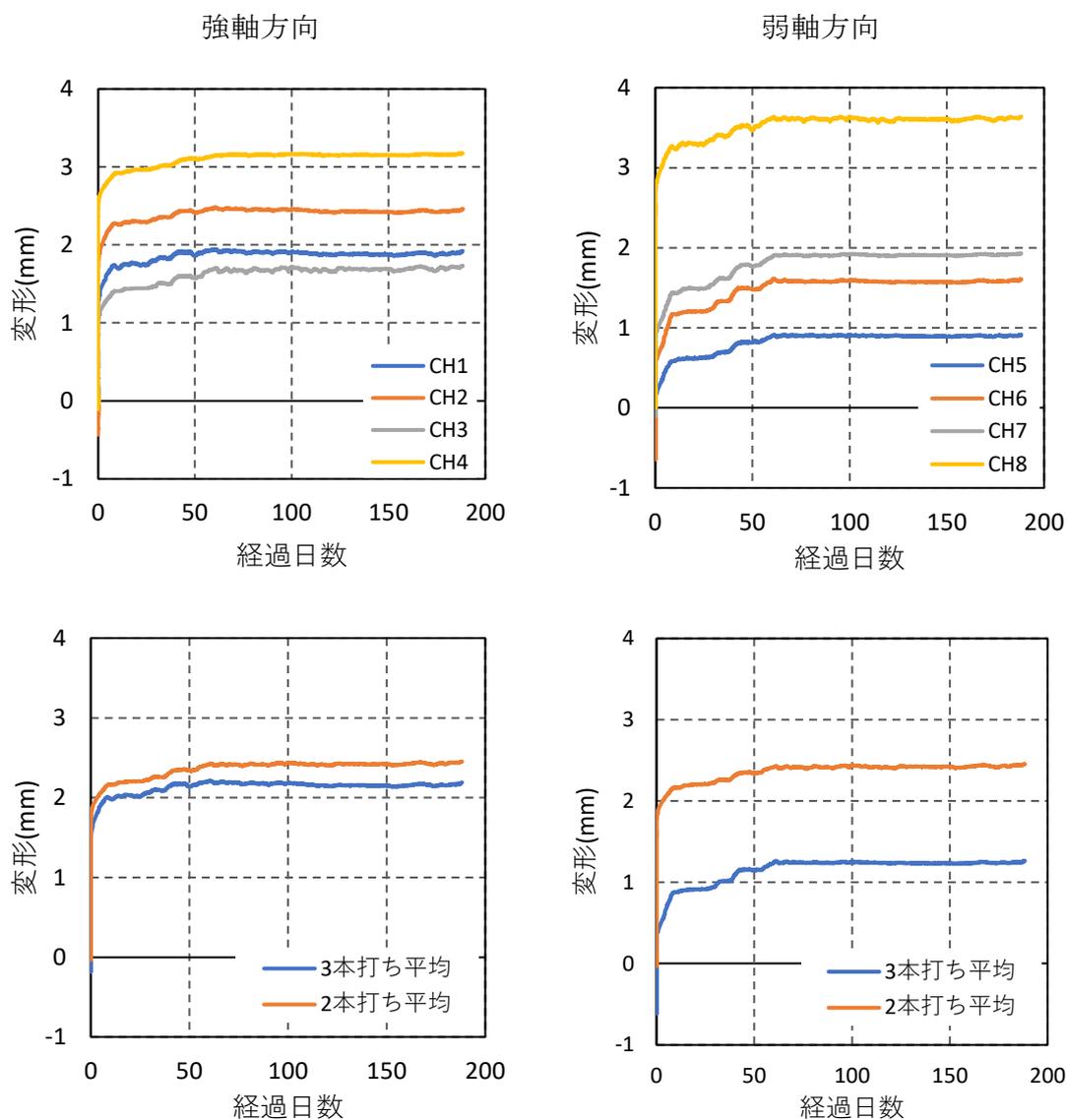


図 7.8 変位計計測値 (2022年2月28日まで)

【クリープ変形】

図 7.9 に両試験体の初期変形の推移を、表 7.8 に初期変形を示す。初期変形は構造用木材の強度試験マニュアルより、載荷終了後 10 分間の変形量とした。弱軸試験体 3 本打ち側で、アーム荷重をかけた際に圧縮方向に 0.61mm 動いてしまった。これは初期がたによるものと考えているが、初期変形を決定するにあたってその分を引張側に移動させることとした。表 7.8 中の予測変形は、昨年度実施した強度特性評価実験の平均初期剛性をもとに、今回載荷している荷重がかかっている時の変形量を算出したものである。また、3 本打ち試験は実施していないため、2 本打ちと 4 本打ちの予測変形を直線補間して求めた。今回の初期変形は、4 体のうち 3 体の試験体は、予測変形よりも小さい変形量となっており、1 体は予測変形と同様の変形量となった。

図 7.10 に両試験体のクリープ変形と試験体付近の温湿度を示す。載荷開始から 50 日程度経過した急激に気温が下がった頃から変形が落ち着いているように見える。現在、強軸方向試験体ではビス本数に関わらず約 0.8mm、弱軸方向試験体では 2 本打ち側が約 1.1mm、3 本打ち側が約 0.95mm となっている。今後、気温の上昇に伴い、クリープ変形が上昇するののかについて、今後も計測を続けたい。

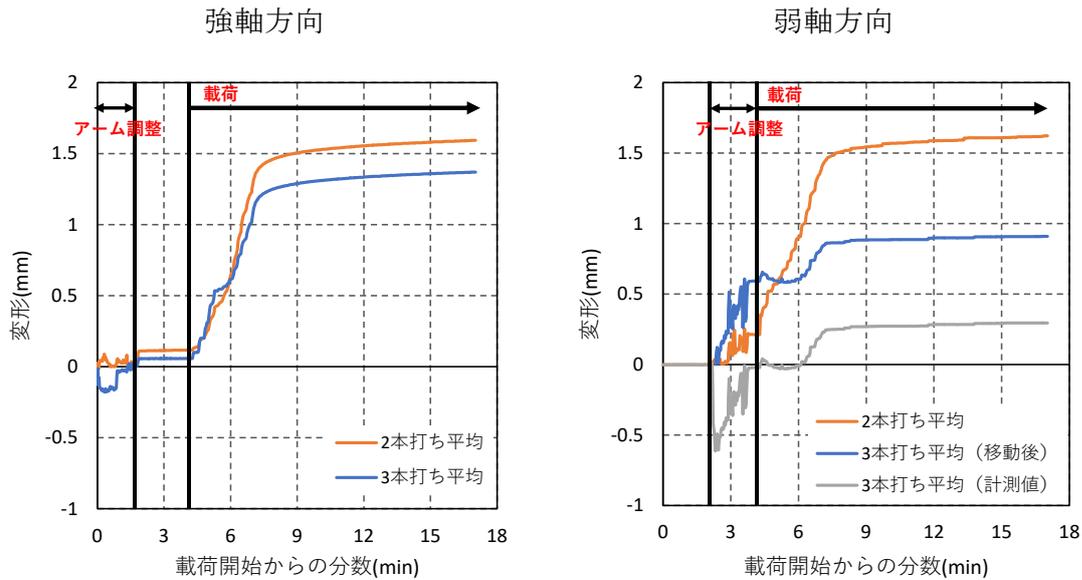


図 7.9 初期変形（載荷後 10 分まで）

表 7.8 初期変形

| | 強軸 | | 弱軸 | |
|---------|------|------|-------------|------|
| | 平均 | | 平均 | |
| | 3本打ち | 2本打ち | 3本打ち | 2本打ち |
| 初期変形 | 1.37 | 1.59 | 0.30 | 1.62 |
| 操作後初期変形 | 1.37 | 1.59 | 0.91 | 1.62 |
| 予測変形 | 1.56 | 2.14 | 1.20 | 1.62 |

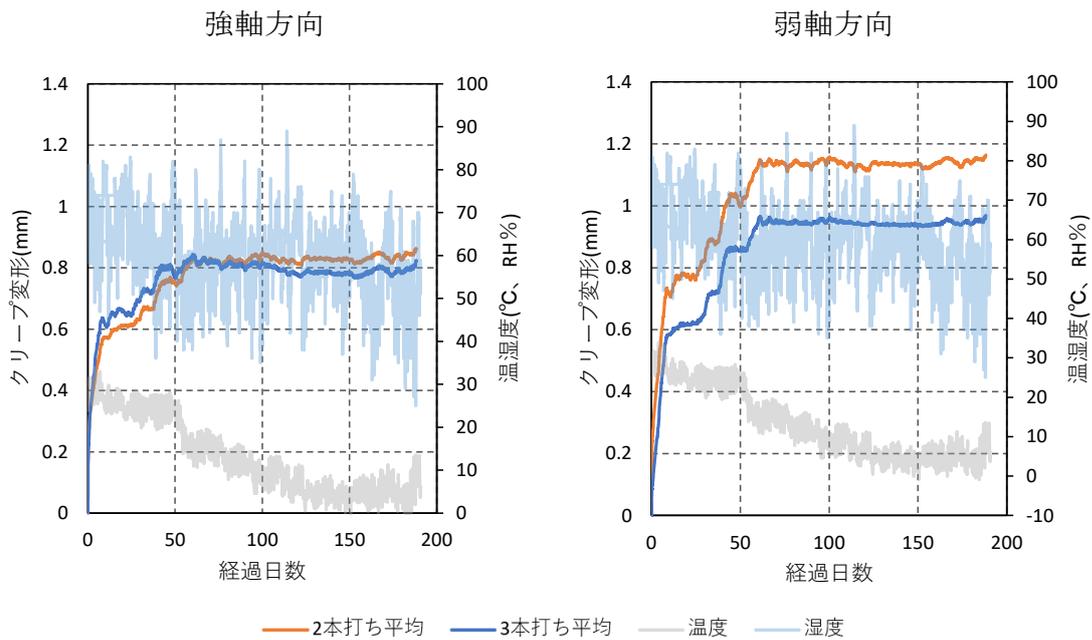


図 7.10 クリープ変形と温湿度（2022年2月28日まで）

【パワー則による予測変形と変形増大係数】

図 7.11 にパワー則¹⁾によって算出した 50 年後の予測変形の推移、表 7.9 に予測変形と変形増大係数を示す。算出は構造用木材の強度試験マニュアル¹⁾に記述の式 7.3.3.1～式 7.3.3.3 を用いており、载荷後 30 日からのクリープ変形のデータで算出している。その結果、50 年後の予測変形は、2 本打ちの試験体では強軸方向で 1.32mm、弱軸方向で 1.90mm となり、変形増大係数は 2 倍程度であり、部材の 2 倍と近い結果を示した。また、接合部の試験結果としては比較的小さい結果を示した。

$$\log \delta_c(t) = a \log t + b \quad (7.3.3.1)$$

$$\delta_c(t) = At^N \quad (7.3.3.2)$$

$$\delta_{50}/\delta_0 = 1 + ct^N \quad (7.3.3.3)$$

$\delta_c(t)$: 負荷 t 日経過後のクリープたわみ

a, b : 定数、ただし b は負荷 1 日後の点に外装された定数

$A, b = \log A$ により得られる定数。ただし A は負荷 1 日経過後のクリープたわみを意味する

N : 定数、ただし $a = N$

δ_{50} : 50 年後の曲げクリープたわみ

δ_0 : 初期たわみ (全試験体の負荷終了 10 分後のたわみ)

$c: A/\delta_0$

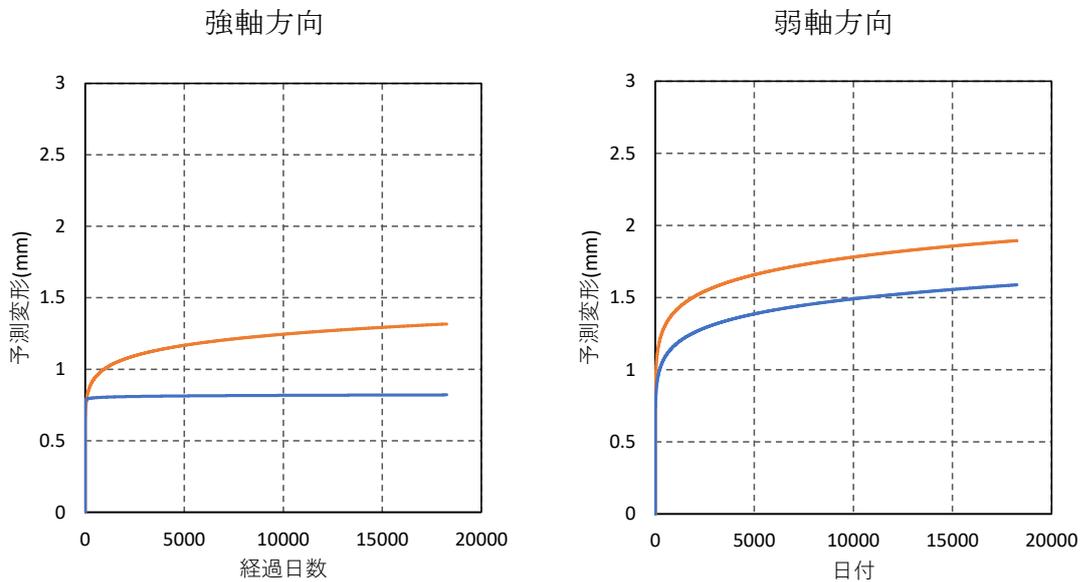


図 7.11 50 年後までの予測変形

表 7.9 パワー則による 50 年後の予測変形と変形増大係数

| | 強軸試験体 | | 弱軸試験体 | |
|-----------|-------|------|-------|------|
| | 3本打ち | 2本打ち | 3本打ち | 2本打ち |
| 50年後の予測変形 | 0.82 | 1.32 | 1.59 | 1.90 |
| 変形増大係数 | 1.60 | 1.83 | 2.75 | 2.17 |

参考文献

- 1) 構造用木材の強度試験マニュアル：(公財) 日本住宅・木材技術センター，平成 23 年 3 月，pp.54

7.3 非対称構成の CLT の経年変化

7.3.1 実験の目的

第4章、第6章で対象とした実験では、図2.5で想定した建築物の床に採用することを前提に、6層6プライのCLTを使用している。6層6プライのCLTは、通常建築物に使用されている3層3プライ、5層5プライ、5層7プライ等のように、積層面におけるラミナの向きが、対象になっている構成とは異なり、非対称構成となっており、時間とともに対照構成と比較すると、形状変化の影響が大きいのではと危惧されている。

そこで状況を確認するため、令和2年度に実施した試験体を再利用して、5層5プライ（厚さ150mm）と6層6プライ（厚さ180mm）のCLTを室内と屋外に設置し、形状変化の程度を比較確認することにした。

7.3.2 試験体概要

試験体の概要を表7.10、試験体の形状及び寸法を図7.12に示す。

表 7.10 試験体概要

| 試験体の設置環境 | CLTの規格 | 寸法 | |
|-----------------|--------------|----------|--------------|
| 室内（大分大学工学部試験棟内） | S90-5-5（ヒノキ） | 厚さ 150mm | 480mm×1200mm |
| | S90-6-6（ヒノキ） | 厚さ 180mm | 480mm×1200mm |
| 屋外（屋根なし） | S90-5-5（ヒノキ） | 厚さ 150mm | 480mm×1200mm |
| | S90-6-6（ヒノキ） | 厚さ 180mm | 480mm×1200mm |

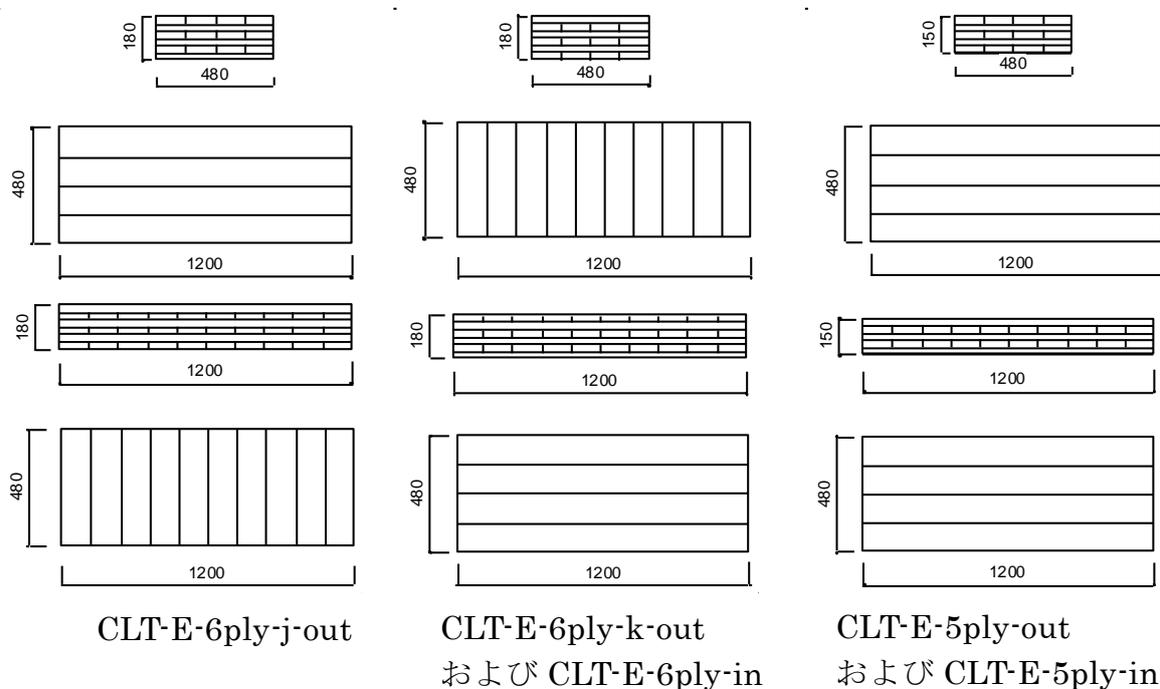


図 7.12 試験体の形状及び寸法（mm）

表 7.10 の CLT を各 1 体準備し、令和 3 年 4 月から経過観察を始めた（写真 7.15～写真 7.18 参照）。計測位置を図 7.13 に示す。



写真 7.15 試験体設置の様子



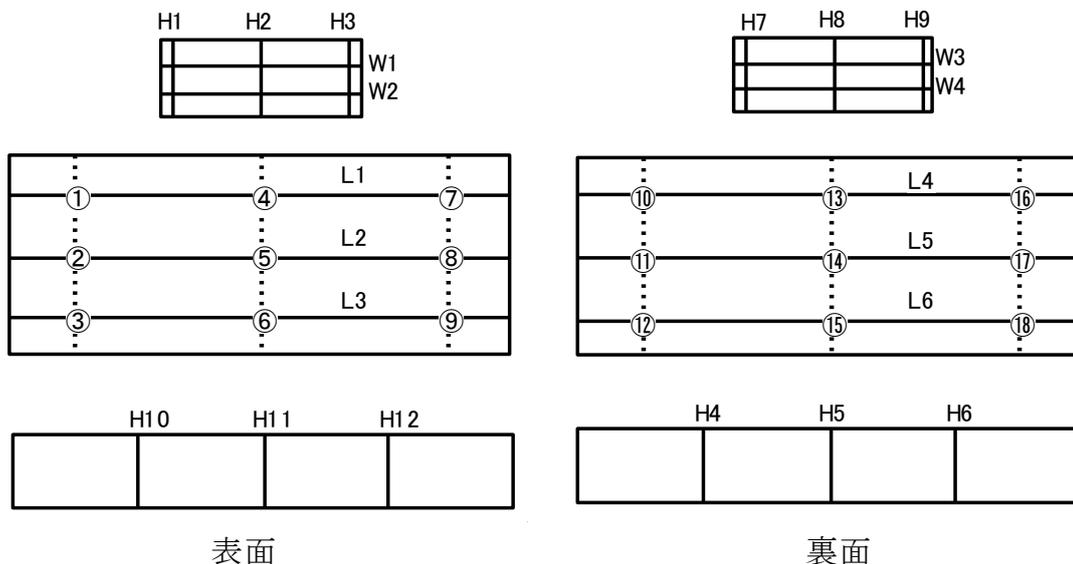
写真 7.16 弱軸の様子



写真 7.17 強軸の様子



写真 7.18 断面の様子



表面

裏面

図 7.13 計測位置

7.3.3 試験の結果

図 7.14～図 7.16 に試験体の寸法変化の推移、図 7.17 に表層の含水率の推移、図 7.18 に重量変化の推移を示す。写真 7.19～写真 7.22 に令和 3 年 3 月時点での各試験体の状況

を示す。なお、ここでの変化量は、各試験体の4月の計測値を基準とした。5層5プライ構成の試験体と比較し、懸念された6層6プライのCLTの大きな相違は観察されていない。

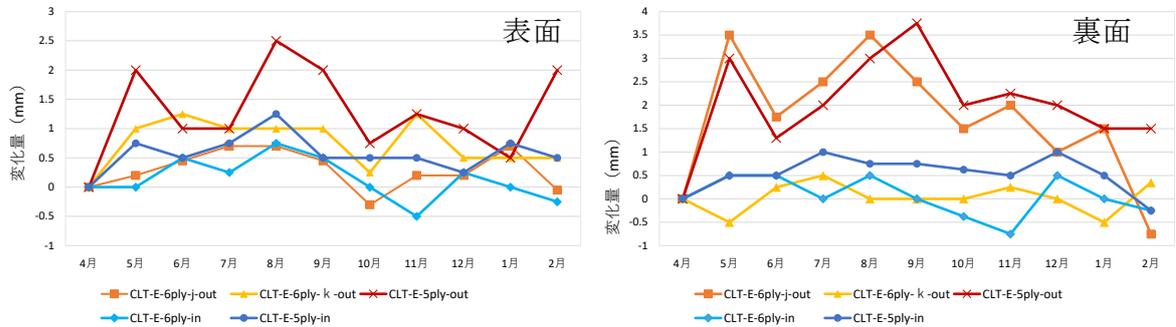


図 7.14 幅方向長さの変化

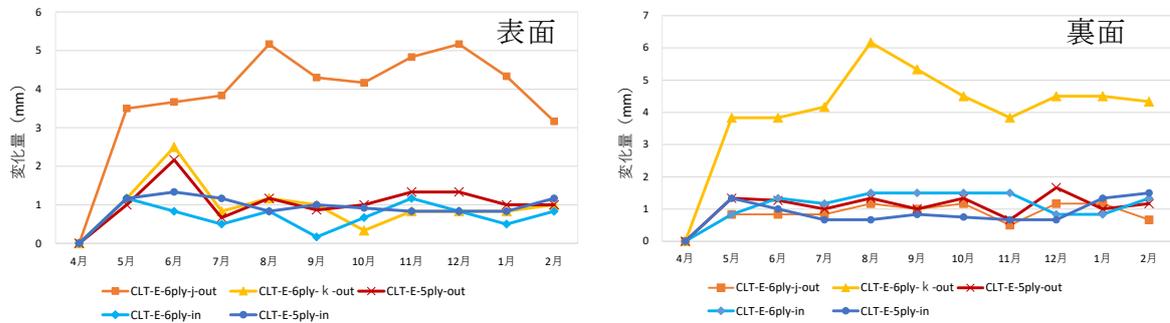


図 7.15 長さ方向長さの変化

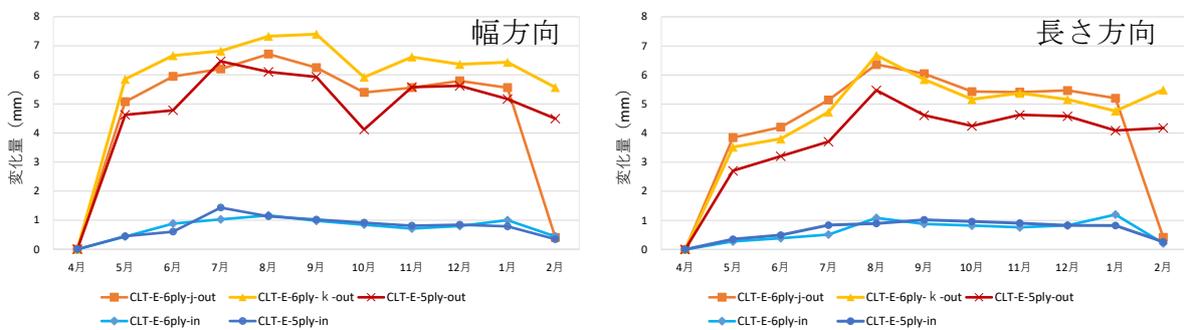


図 7.16 厚さの変化

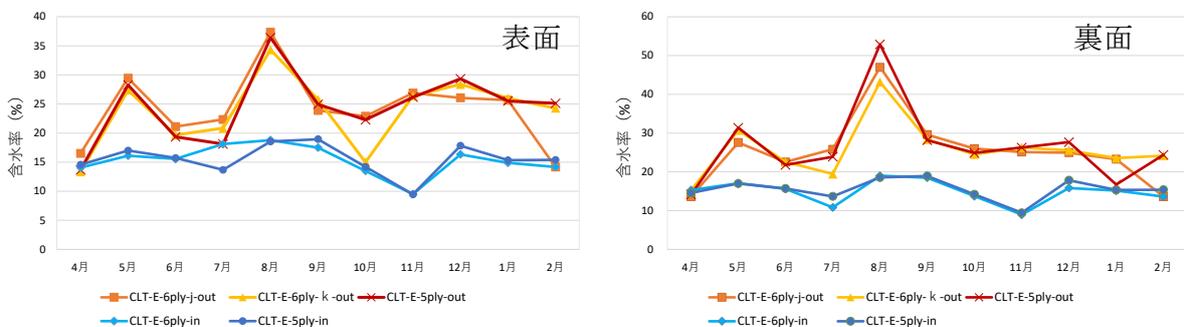


図 7.17 含水率の変化

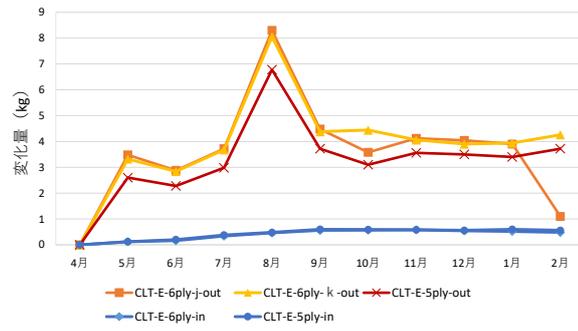


図 7.18 重量の変化



写真 7.19 試験体の様子 (2月)



写真 7.20 幅方向の様子
(CLT-E-6ply-k-out)



写真 7.21 長さ方向の様子写真
(CLT-E-5ply-out)



写真 7.22 試験体裏面の様子

第8章 折版構造の実用化に向けて

この章では CLT の特徴である大判厚板を用いることによって可能となる折版構造の実用化について述べる。複数の折版構造の選定、接合部の検討、実用化に向けて実施した実大モックアップ試験等について言及する。

8.1 要素モデルの選択

折版構造の可能性をさぐるため表 8.1, 表 8.2 に示す 7 タイプの折版構造について、試解析とともに検討を行った。表には各タイプのパース、屋根・壁の構造システム、CLT 面積、単位床面積あたりの CLT 数量 (m^3/m^2)、長所・短所を記載している。A から G までの符号を振っており、上から CLT の使用量の多い順に並べている。

A、B、C、E、F は屋根荷重を両端の柱または折版構造で支持するワンウェイタイプ、D、G はドームタイプである。いずれの構造形式も内法寸法を高さ方向で 6m、平面で 20m × 20m 確保できる屋内空間としている。

試解析を行った結果、曲げ応力が支配的になる A、B、F は CLT 厚 90、その他の形式は 60mm 厚で成立することが分かった。応力の例外として C タイプは曲げ応力が支配的に見えるがレスプロカル構造を採用しており、ここの部材の応力が小さいため 60mm 厚で成立する。反面各部材はピン接合であるため、たわみは大きくなっている。

構造システムとして類似するグループに分けると以下のようなになる。

長方形折版ワンウェイ：A、F

三角形折版ワンウェイ：B、E

ドーム型：D、G

その他：C

各システムの特徴や長所、短所は表に譲るが、モックアップのタイプとしては E を採用することとした。長方形折版タイプはすでに建物実例が複数あり、接合形式や建方順序など予想しやすく、改めてモックアップを作成する意義がないと考えられる。C はやや特殊解的な構造システムであり、汎用性の面から除外した。三角形折版による合理的な架構が今後汎用性が期待されるシステムであるが、必要材料の少なさとプランの汎用性を鑑みて、E 案のモックアップを作成することとした。

8.2 接合方法

折版の CLT 同士の接合は、ビス打ちを基本システムとして採用することとした。ビスは施工精度やコスト面から、他の接合形式（ボルト、ドリフトピン、GIR など）よりも合理性が勝ると判断した。表 8.1 にビスの 4 種類の接合方法を比較表を示した。いずれの案も一長一短があり、どの方法が最も合理的な机上では判断がつかないため、B、C 案をモックアップ時に試験施工することとした。

表8.1 CLT折板構造比較表 1

| CLT 使用量 | 名称 | パース | 屋根の構造 システム | 壁の構造 システム | 単位面積あたりの CLT量 | | | 面積 | | | 平面図 (mm) | 立面図 短手方向 (mm) | 立面図 長手方向 (mm) |
|--------------------------------------|----|-----|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | | | 屋根 | 壁 | 計 | 建築 | 屋根 | 壁 | | | |
| | | | | | (m ³ /m ²) | (m ³ /m ²) | (m ³ /m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | | | |
| 多 ▲ ▼ 少 | A | | 長方形ユニット 折板構造 | 長方形ユニット 折板構造 (屏風型) | 0.19 | 0.13 | 0.33 | 0,952 | 1,782 | 1,377 | | | |
| | B | | 三角形ユニット 折板構造 | 三角形ユニット 折板構造 | 0.13 | 0.04 | 0.17 | 0,966 | 1,248 | 0,452 | | | |
| | C | | 長方形ユニット レシプロカル トラス構造 | 長方形ユニット バットレス構造 | 0.11 | 0.05 | 0.16 | 0,993 | 0,766 | 0,317 | | | |
| | D | | 三角形ユニット 円弧状 折板ドーム構造 | | 0.14 | 0.14 | 0,799 | | 1,257 | | | | |
| | E | | 三角形ユニット 折板構造 | | 0.11 | 0.11 | 0,972 | | 1,728 | | | | |
| | F | | 長方形ユニット 折板構造 + CLT板 | 長方形ユニット 折板構造 (屏風型) | 0.08 | 0.04 | 0.11 | 0,940 | 1,043 | 0,408 | | | |
| | G | | 三角形ユニット カタナリー状 折板ドーム構造 | | 0.09 | 0.09 | 0,968 | | 1,413 | | | | |

表8.2 CLT折板構造比較表 2

| CLT 使用量 | 名称 | パース | 屋根の構造 システム | 壁の構造 システム | 特徴 | |
|--------------------------------------|----|---|------------------------------|--------------------------|--|---|
| | | | | | 長所 メリット | 短所 デメリット 課題 |
| 多 ↑ ↓ 少 | A |  | 長方形ユニット 折板構造 | 長方形ユニット 折板構造 (屏風型) | <ul style="list-style-type: none"> CLT折板構造で家型ラーメン構造を構成する最もシンプルな案の一つ CLTを最も多く使える案 側面（柱や壁の構面）もCLTで覆うため、非構造材を減らせる 使用するCLT板が長方形ユニットのため、プランやスパンの変更に柔軟に対応しやすい 3×12mのCLT板から切り出しを考え、長さ12mのCLT板を屋根の構成要素としている | <ul style="list-style-type: none"> CLTを最も多く使う（≒コスト増大のおそれ） |
| | B |  | 三角形ユニット 折板構造 | 三角形ユニット 折板構造 | <ul style="list-style-type: none"> D案と比較し、壁の立ち上がりを垂直にし、天井高を確保した案 長手方向の構面のCLTを必要に応じて減らせる（パースは最も少ないもの） 3×12mのCLT板から切り出しを考え、長さ12mのCLT板を屋根の構成要素としている | <ul style="list-style-type: none"> 三角形CLT板同士の接合部の処理 長手方向の隙間を埋める非構造部材が必要 |
| | C |  | 長方形ユニット レシプロカル トラス構造 | 長方形ユニット バットレス構造 | <ul style="list-style-type: none"> CLT板上トラスを構成し、外力に対して軸力で抵抗する案 曲げ、せん断力で抵抗する案と比較して、CLTの板厚を小さくできる 構成する材の長さが比較的小さいため、短手方向へのスパン変更に対応しやすい レシプロカル（相互依存）の特徴を生かしたシンプルな接合部 | <ul style="list-style-type: none"> バットレス（袖壁）部分の建築面積の捉え方、活用法 長手方向の隙間を埋める非構造部材が必要 |
| | D |  | 三角形ユニット 円弧状 折板ドーム構造 | | <ul style="list-style-type: none"> CLTで周囲を覆う象徴的なドーム空間を作り出す案 施工時の仮設構造物を減らし、木材自体にコストを掛けられる ドーム状のため、使用するCLT量あたりの空間容積の効率が良い | <ul style="list-style-type: none"> 三角形CLT板同士の接合部の処理 倉庫や工場を円形状平面で使用するためのオペレーションの提案 半径方向のCLT板の形状が著しく異なるため、材の歩留まりに配慮が必要 |
| | E |  | 三角形ユニット 折板構造 | | <ul style="list-style-type: none"> CLT折板構造でチューブを構成する最もシンプルな案の一つ 3×12mのCLT板から切り出しを考え、長さ12mのCLT板を架橋の構成要素としている 外力に対して軸力で抵抗するためCLTの板厚を小さくできる 他の案と比較してCLT使用量を減らせる | <ul style="list-style-type: none"> 三角形CLT板同士の接合部の処理 |
| | F |  | 長方形ユニット 折板構造 + CLT板 | 長方形ユニット 折板構造 (屏風型) | <ul style="list-style-type: none"> CLT折板構造で家型ラーメン構造を構成する最もシンプルな案の一つ A案と比較して、長手方向の壁や屋根部材を間引くことでCLT使用量を減らした案 他の案と比較してCLT使用量を減らせる | <ul style="list-style-type: none"> CLT使用量が少ない（プロジェクトの趣旨と要相談） 長手方向の隙間を埋める非構造部材が必要 |
| | G |  | 三角形ユニット カタナリー状 折板ドーム構造 | | <ul style="list-style-type: none"> CLTで周囲を覆う象徴的なドーム空間を作り出す案 カタナリー曲線に沿うようにCLT板を配置するため、外力に対し軸力で抵抗できる D案と比較して、中心側と外側でCLT板の形状の差異が少ない 最もCLTの使用量を減らせる | <ul style="list-style-type: none"> 三角形CLT板同士の接合部の処理 倉庫や工場を円形状平面で使用するためのオペレーションの提案 場所によってCLT板同士の接合角度が異なる |

表 8.3 ビス接合方法の比較

| | |
|---|--|
| <p>【共通事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・引き寄せ効果を期待してビスはパネリード S を用いる。 ・接合部せん断力は、長期が支配的 <p>ビスの長期せん断耐力は、1.5kN/本とする</p> | |
| <p>A 案</p> <p>水平方向に 2 本打ちする。</p> <p>【長所】</p> <p>若干ではあるが曲げ抵抗力がある</p> <p>【短所】</p> <p>ビスの長さが 2 種類になる</p> <p>隅出し、ビス打ちの施工性が劣る</p> | |
| <p>B-1 案</p> <p>水平方向に 1 本打ちする。</p> <p>【長所】</p> <p>1 種類のビスを同一方向から打てる</p> <p>【短所】</p> <p>隅出し、ビス打ちの施工性が劣る</p> <p>中央ラミナに対する端空き距離がやや小さい</p> <p>曲げ抵抗力がない</p> | |
| <p>B-2 案</p> <p>水平方向に 1 本打ちする。</p> <p>【長所】</p> <p>1 種類のビスを同一方向から打てる</p> <p>B-1 案中央ラミナ端空き距離を改善</p> <p>【短所】</p> <p>隅出し、ビス打ちの施工性が劣る</p> <p>曲げ抵抗力がない</p> | |
| <p>C 案</p> <p>CLT に対して 90 度にビス打ちする</p> <p>【長所】</p> <p>CLT に対して 90 度に打つため施工性が良い</p> <p>【短所】</p> <p>ラミナ繊維方向に配置するため、割裂による接合耐力低下が懸念される</p> <p>曲げ抵抗力がない</p> | |

8.3 加工図

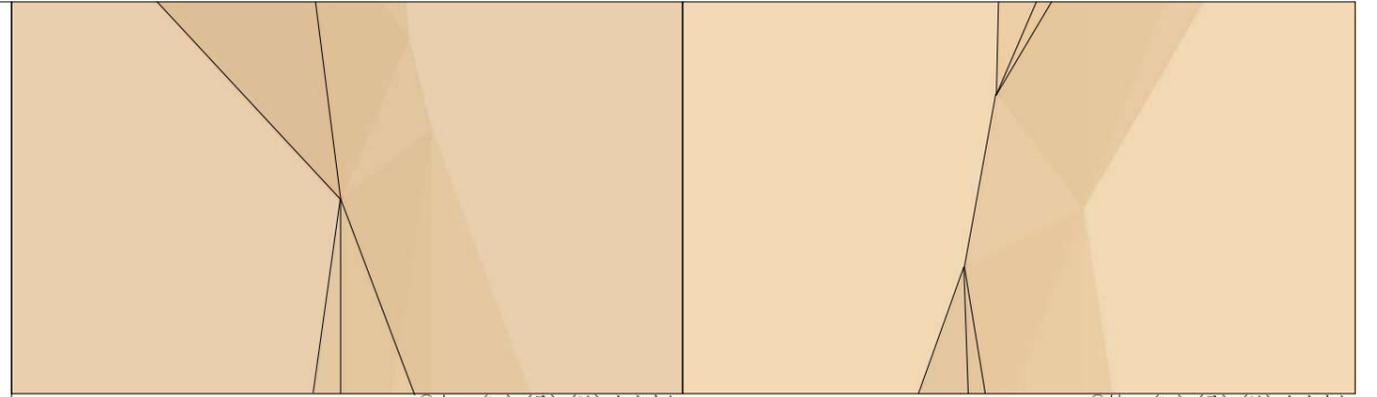
E 案一部のモックアップを作成するため、3次元モデルおよび部材単品図を作成した。作成した図面を別紙に示す。CLT 1枚の大きさは、マザーボード 3m×12m からの歩留まりが最大限になるように決定した。一方、実建物では向上から現場までの搬入の問題があり、一般的には 2.4m 以上の幅の部材を運搬するのは困難であるため、最大幅が 2.4m 以下になるように配慮した。

CLT の強度等級は Mx60-3-3 スギ、および Mx90-3-3 ヒノキの2種類、厚みは 90mm とした。表 8.1 では 60mm 厚で成立可能であるという結果が得られたが、この場合ラミナ厚が 20mm となり少量製作においてはコストが高くなるため、一般的なラミナ厚さの 30mm を用いることとした。

別紙 1 左下図「アクソメ パネル割」に示す青破線部が今回モックアップを作成する部分である。矢印は CLT 板強軸方向（外層ラミナ繊維方向）を示す。三角形折版構造では、節点 1 か所あたり最大 6 枚のラミナが接続するため、厚みを考慮すると作図、加工が複雑になるため、可能な限り効率の良い方法選定する必要がある。

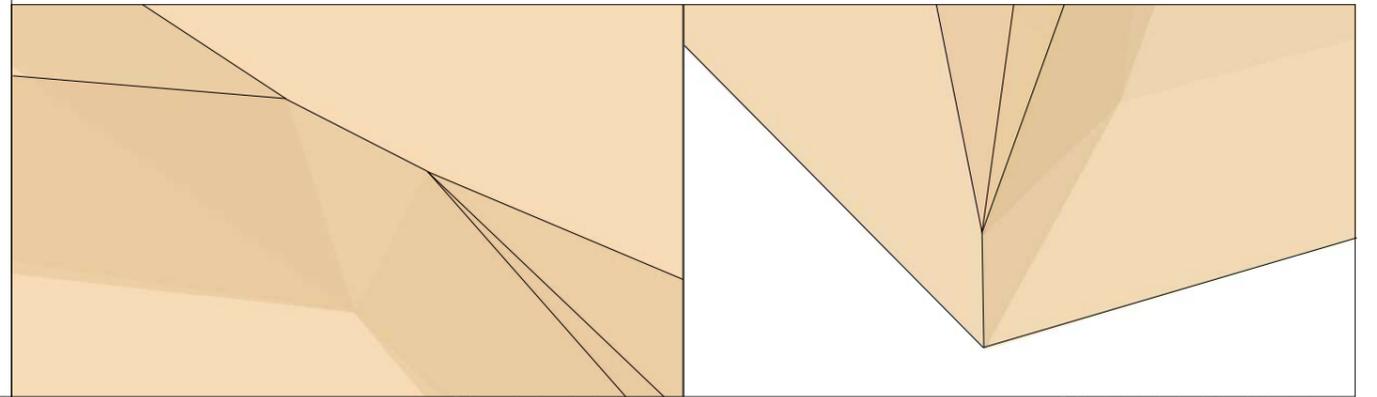
今回の三次元モデルでは、内観の美観を優先し、室内側で各 CLT 板が 1 点で接するようなジオメトリとした。内側の面を決定し、そこから外側に向かって厚み分（90mm）をセットバックする作図方法を取った。この結果、CLT 板の外側には線で接する部分が出現し、結果やや複雑な加工が発生することになった。

■ CLT工場 モックアップ



①内ー (い) (ろ) (は) おさまり

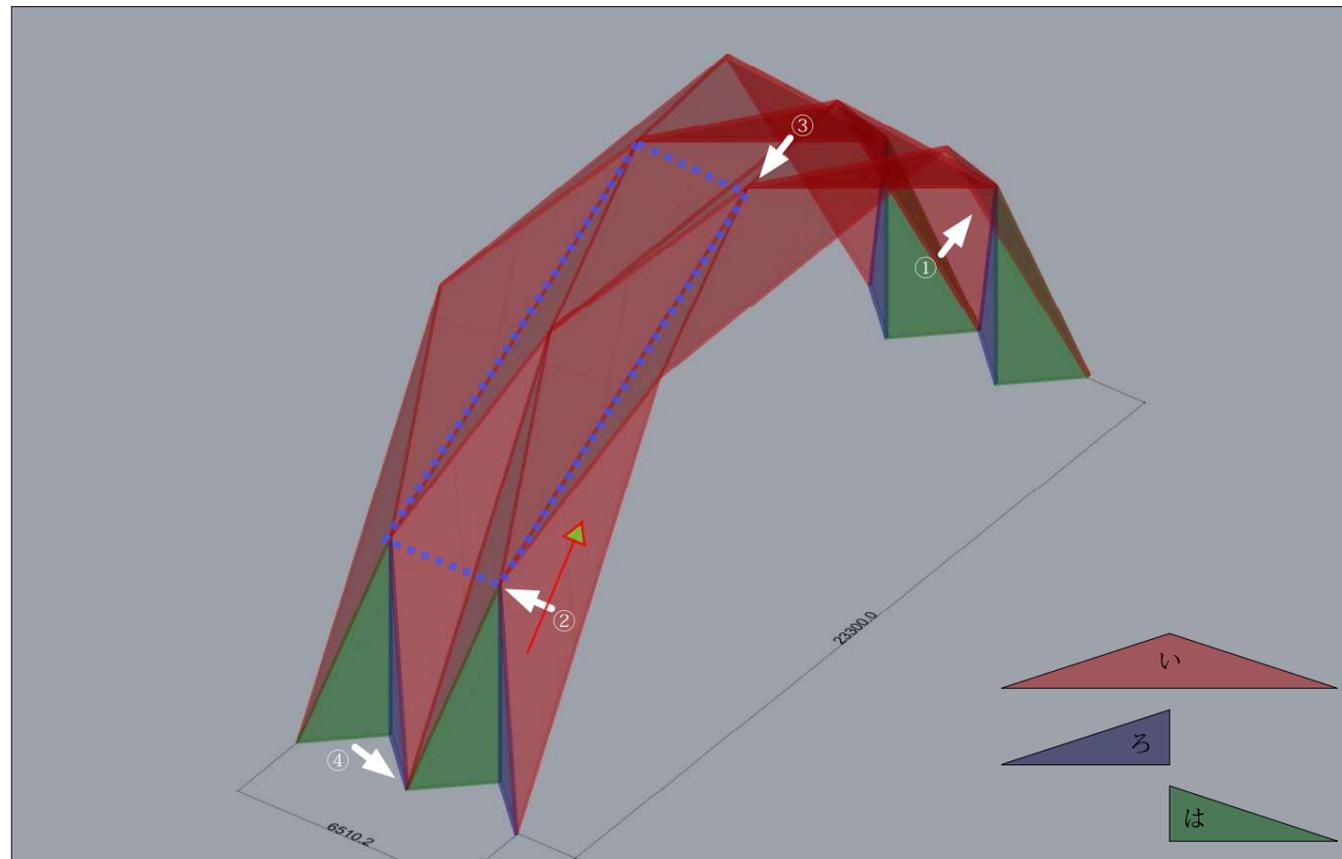
②外ー (い) (ろ) (は) おさまり



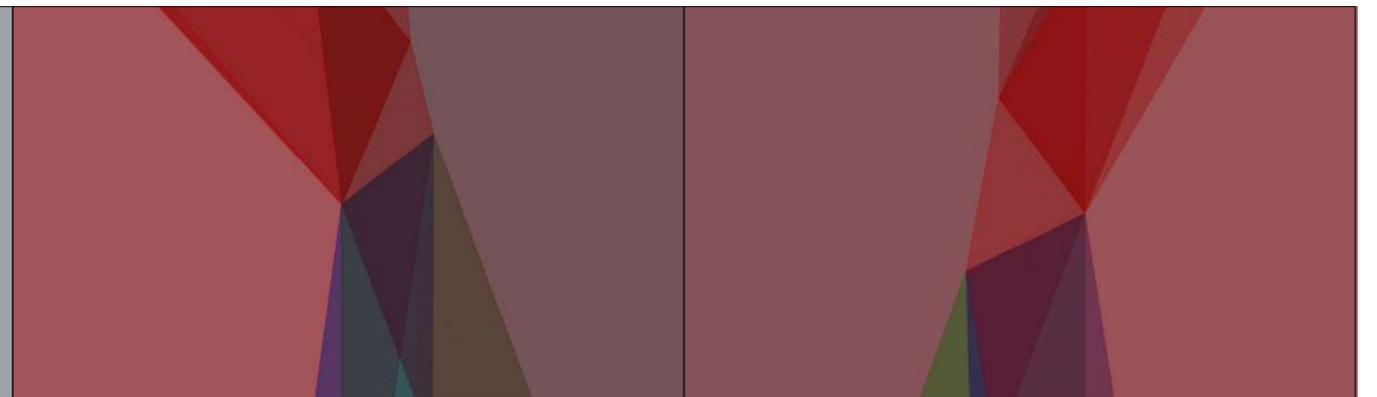
③外ー (い) - (い) おさまり

④外ー足元 (い) (ろ) (は) おさまり

アクセスメ レンダリング

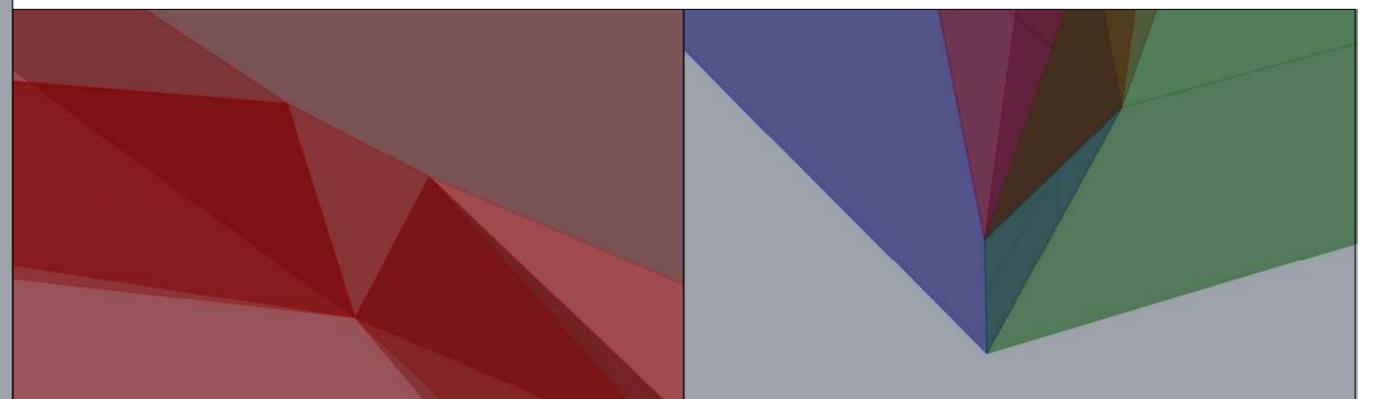


アクセスメ パネル割



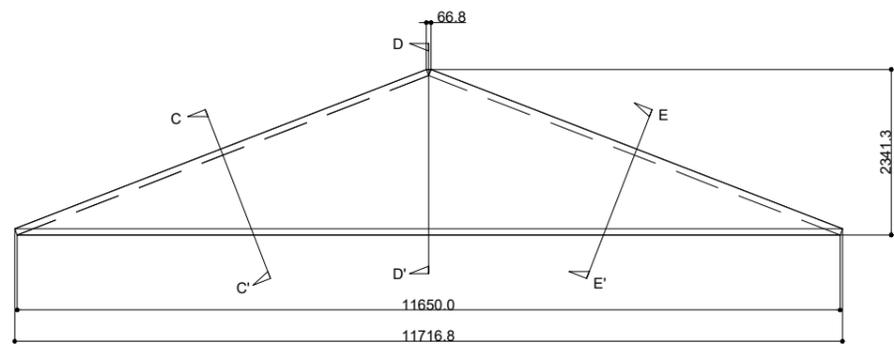
①内ー (い) (ろ) (は) おさまり

②外ー (い) (ろ) (は) おさまり

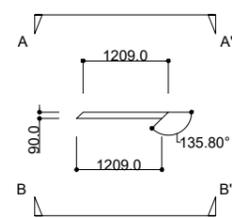


③外ー (い) - (い) おさまり

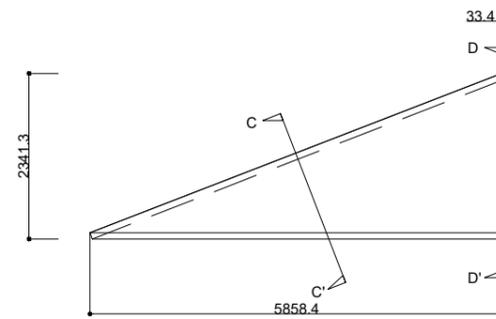
④外ー足元 (い) (ろ) (は) おさまり



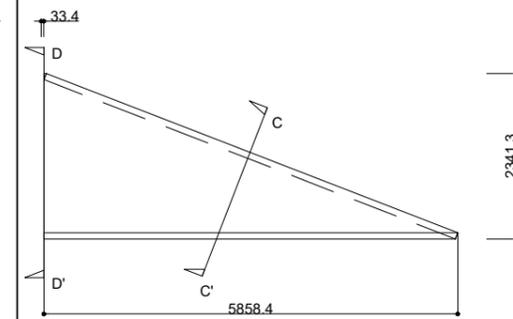
(い)
パネル全体



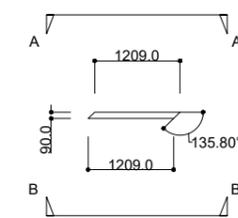
(い)
C-C'



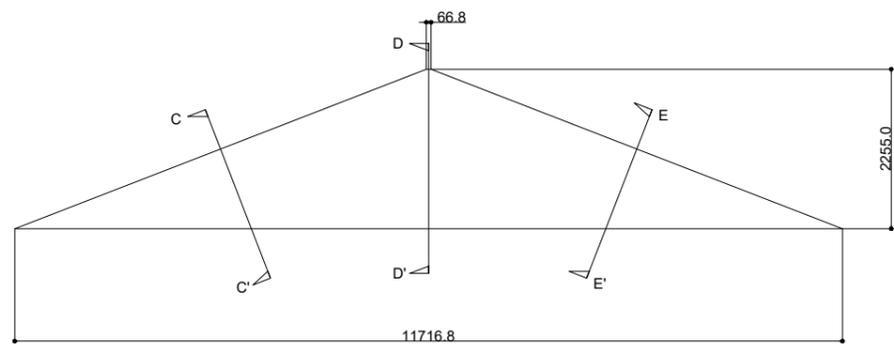
(ろ)
パネル全体



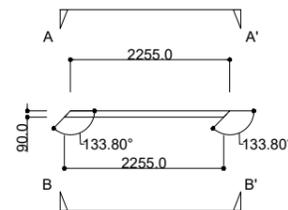
(は)
パネル全体



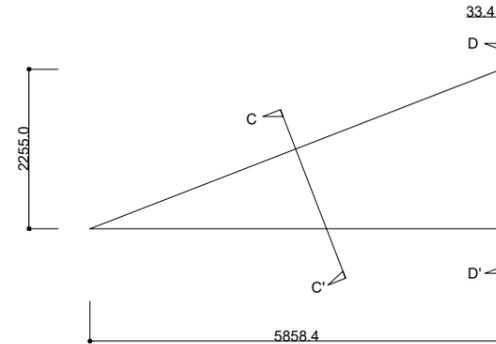
(ろ)(は)
C-C'



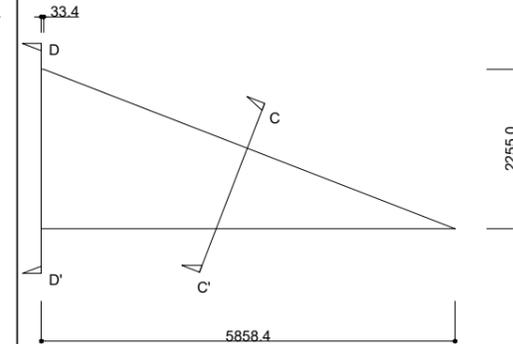
(い)
A-A'



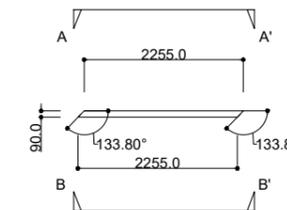
(い)
D-D'



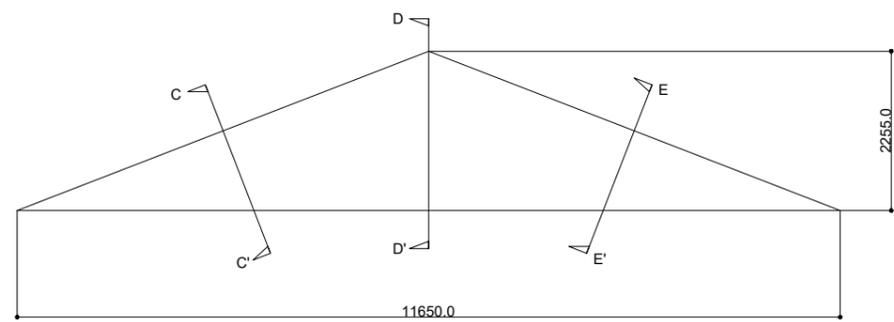
(ろ)
A-A'



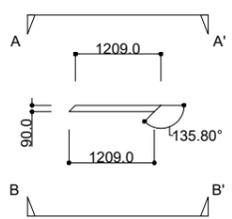
(は)
A-A'



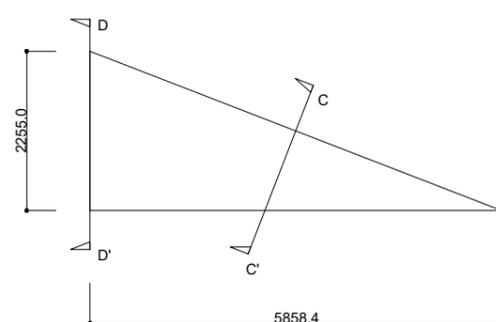
(ろ)(は)
D-D'



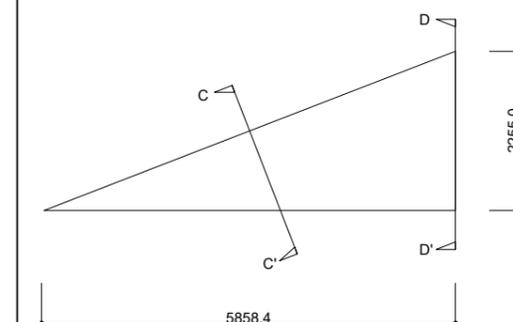
(い)
B-B'



(い)
E-E'



(ろ)
B-B'



(は)
B-B'

8.4 モックアップ試験施工概要

写真 8.1 内赤枠にて示す範囲を抽出してモックアップを試験施工した。時間の制約により緑色で示すパネルについては作業を完了させることができなかった。同一要素の反復で建物が構成できることから、この試験施工にて、仕口の取り合いについては大部分が確認できた。以降、本試験施工にて明らかになった事柄を列挙する。

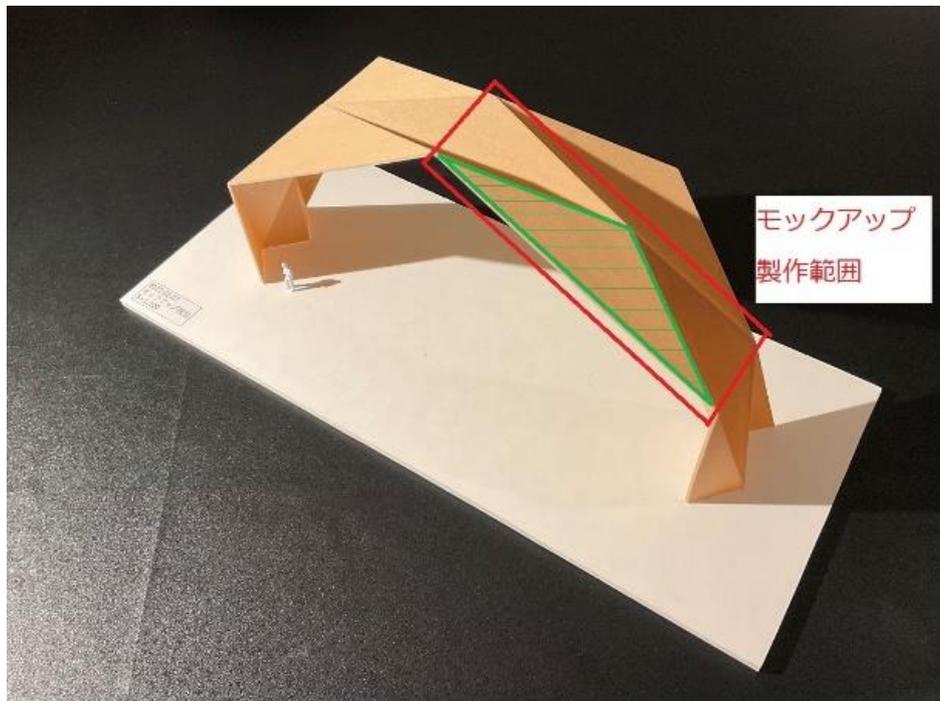


写真 8.1 : CLT 折版構造架構模型 (鳥瞰)



写真 8.2 CLT 折版構造架構模型 (立面)

8.5 実用化に向けての課題整理

1) 建方計画

CLT 三角形折版構造による大スパン建物は、部材が大きく、クレーンの配置、建方の順序、仮設計画などが非常に重要になる。設計者施工者による事前打ち合わせを実施し、予めこれらを綿密に計画しておくことが肝要である。

2) 揚重

三角形平板を組み合わせた状態で吊り上げる場合、重心を把握することが難しい。試験施工においても2枚の平板を組み合わせたユニットを揚重する際、転倒しかける危険な場面があった。予め重心位置を計算し、吊位置を定めておくことでより安全、効率的な建て入れが可能となる。

3) 組立

本試験施工においては、2枚のパネルをV字に構成したユニットを2組製作した後、それらを接続する大判のパネルを接合するという手順とした。

V字のユニットは自立しない上、地面に2点でのみ接することになるため、V字ユニットを仮設で支えつつパネルを接合する必要があった。また、パネル同士の角度が正しい状態にあるかを確認するのも難しく、角度、位置を決定できる施工用治具があると効率的に作業が進められると予想できる。



写真 8.3 三角形平板揚重状況



写真 8.4 組立状況

4) 位置合わせ

立体的な取り合いで、かつ重量もあり安定していないパネル同士の位置合わせに時間を要した。モックアップは端部を突き合せとしているが、木口面にさねを設けるなど、位置決め、位置調整の仕組みを設けることで建入れの際の作業効率向上が期待できる。

本試験施工においては安全確保、位置の調整のため二つのユニットをそれぞれクレーンで吊りながら位置合わせを行った

5) 外周部エッジ部分の損傷及び脱落

構成上平板の端部は鋭角の断面となっているため、施工時に外周部が損傷するおそれがある。面取りにより、損傷の軽減、仕上がり面の不陸解消、施工誤差吸収等の役割が期待できる。施工者にヒアリングした際は 4mm 程度が妥当だろうという意見であった。

また、板厚方向に傾斜した切断面となることで、最外層のラミナ 1 枚（基本的に 120mm 幅）の残存幅が非常に小さくなり、幅はぎ接着をしていない CLT パネルでは、ラミナごと脱落する可能性が高いことがわかった（写真 8.7）。



写真 8.5 平板木口位置合わせ状況

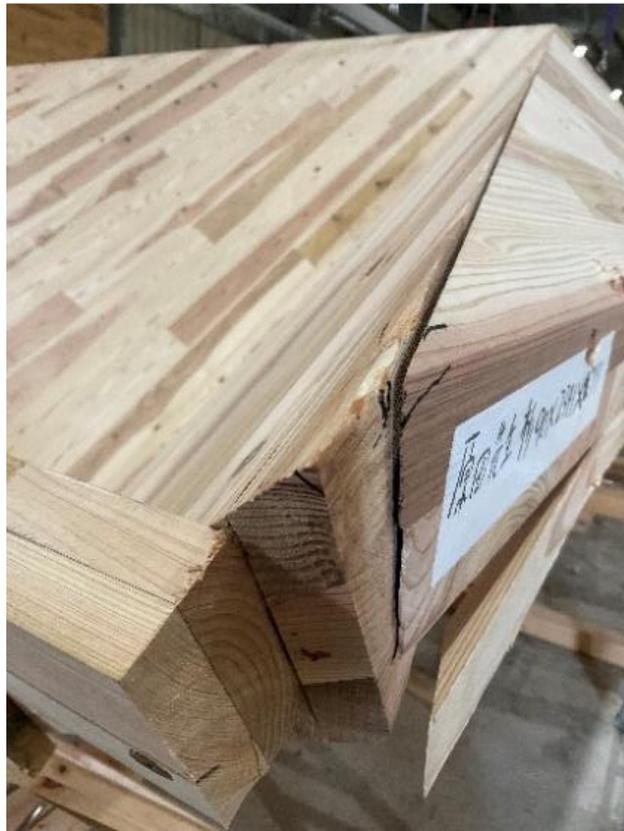


写真 8.6 同左拡大：位置ずれ



写真 8.7 ラミナ脱落状況

6) ビス配置角度

CLT の面内方向に打ち込む方法 (写真 8)、斜めに打ち込む方法 (写真 9) の 2 種類につき試験施工した。

前者の面内方向に打ち込む場合の方が作業効率に優れていた。後者の斜め打ちの場合は位置、角度決めのためにガイドの用意が望ましいことが確認できた。

構造耐力上は後者の斜め打ちの方が、縁空きが大きく好ましいと考えられる。



写真 8.8 CLT 面内方向への
ビス打ちとする方法



写真 8.9 CLT 面に対し
斜め打ちとする方法

7) 作業足場

試験施工においても、実建物の施工においても作業足場の配置が肝要となる本計画であるが、試験施工においては単管等による足場を設ける代わりに CLT 板に角材をビス止めし、足掛かりを確保した。仮設計画を見据え、適宜足掛かりを据え付けておくのも有用であることが把握できた。



写真 8.10 CLT 平板上の角材による足掛かり

【作業風景・モックアップ完成写真】



写真 8.11 平板頂点立面



写真 8.12 平板頂点上面



写真 8.13 試験施工完了状況 側面



写真 8.14 V字ユニット(ヒノキ)



写真 8.15 V字ユニット(スギ)

第9章 まとめ

9.1 実施内容

CLT は、2 方向にラミナが配向されるため、双方向に対し曲げ・引張・圧縮抵抗を有する木質材料である。また国内でも最大 3m×12m まで製造が可能である。しかし国内では運搬上の問題から CLT の幅寸法は制限を受けるため、床や屋根への利用においては、2 方向へのラミナの配向は、強度性能の面で見ると、デメリットになってしまう。そこで CLT の幅方向に接合することで、これらの特徴を引き出し、CLT の床および屋根への CLT 利用促進（図 9.1 参照）を目的に、表 9.1 の内容を実施した。

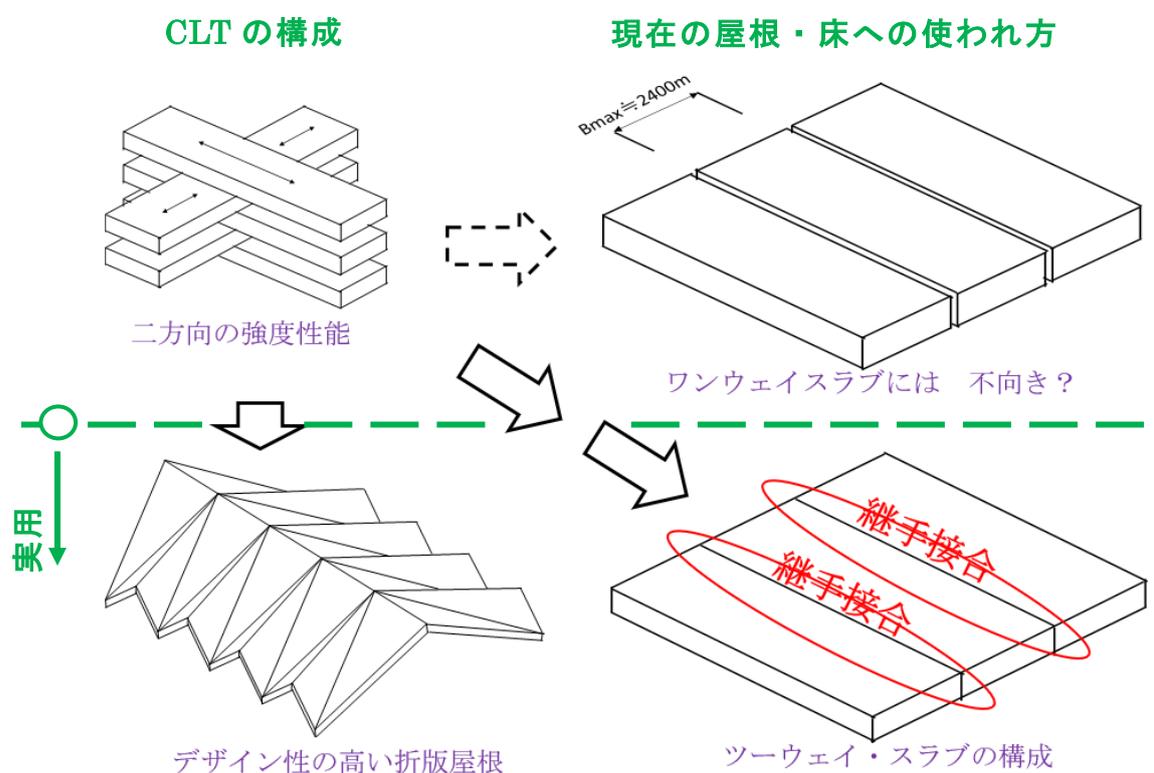


図 9.1 本事業でめざす屋根と床のイメージ

表 9.1 今年度の実施内容

| | 実施内容 | 実施場所 |
|---------------------|---------------|-------------|
| A, CLT スラ ブの実用化 | 実大床の静的曲げ性能試験 | 愛媛県林業研究センター |
| | 実大床の動的性能試験 | |
| | 接合部の曲げ試験 | 大分大学 |
| | 床の FEM 解析 | 広島工業大学 |
| | 接合部のクリープ試験 | 広島大学 |
| | 偶数層 CLT の暴露試験 | 大分大学 |
| B, 魅力ある折 版屋根の実用化 | 実大寸法での加工・組み立て | サイプレス・スナダヤ |

9.2 CLT スラブの実用化

9.2.1 実施内容

支間長さ 6m の床を S90-5-5（厚さ 150mm、強軸方向のラミナ 3 枚）で設計することはできない。しかし、S90-5-5 に、弱軸方向のラミナを一枚加えた S90-6-6（厚さ 180mm、強軸方向のラミナ 3 枚、弱軸方向のラミナ 3 枚）で構成される CLT を、曲げモーメントを伝達できる接合方法を使って幅方向に接合することで、CLT の有する双方向の強度性能を引き出すことができる。また 12m の長さの CLT を長辺方向の 2 径間に架け渡し、短辺方向についても幅方向に接合して、両方向共に連続梁とすれば、床の曲げ剛性を高めることができ、6m×6m の床を設計することができる（第 2 章）。

そこで令和 2 年林野庁補助事業・木材産業・木造建築活性化対策により実施した「CLT の特性を活かす平版構成の普及に向けての開発」により行った接合部の試験結果を活用し、CLT の幅方向の連結を行い、6m×6m の区画で構成される床を想定した実大サイズの試験体を作成し、静的試験および動的試験を行い、設計に必要なデータ収集を行った。

9.2.2 静的試験の結果と解析値との整合性、および今後の課題

静的試験の結果より、2 辺支持の場合と比較して 4 辺支持の場合にはたわみが大きく抑制される結果となっており、CLT を短辺方向に接続して一体化することのメリットとともに、2 辺支持の試験データから CLT の長辺方向、短辺方向それぞれの曲げ剛性（EI）を計算し、両者を加算することによって得られた剛性値を使用することで 4 辺支持の中央点のたわみを、推測できることを確認した（第 4 章）。よって実務的には、CLT スラブの解析は、接合部を含んでも格子梁モデルで追跡できるといえる。

また平板を板モデルとして現在、構造計算の主流となっている FEM による解析で、より正確に変形量を追跡できることを確認している（第 5 章）。ただし材料特性と接合部の入力データを的確に整理することが必要条件であるため、材料特性については、6 層 6 プライの強度性能を、昨年度の実験結果等を踏まえて再検討する余地を残している。また接合部については、床の実大試験から切り出した試験体を用いて、継手のある CLT の曲げ性能試験（第 3 章）を実施しており、実用性のある接合方法に的を絞って、今後、適切な入力データを整理する必要がある。

そのほか FEM 解析の過程で、連続梁の効果が思うほど見られなかったこと、あるいは接合部のバネ剛性を変化させてもそれほど大きくたわみに影響しない状況も確認されており、パネル割や板要素のモデル化の再考も、実用化に向けて検討課題となる。

9.2.3 床振動に関する考察

動的試験では、常時微動計測、共振探索・共振加振、衝撃加振の各試験を行い、固有振動数、振動モード、減衰性能、衝撃振動に対する応答の傾向を明らかにした（第 6 章）。CLT で構成される床を設計段階で振動への影響を精査するにあたり、床の振動の状況を精度よく予測することは難しく、実大サイズで実施した今回の実験は、非常に価値あるものとなった。

まず 2 辺支持の床の固有振動数は 10Hz 以下であったが、4 辺支持の床では固有振動数は 10Hz 程度になっている。4 倍調波まで発生例がみられる倍調波共振は、通常

の歩調の範囲が 1.6~2.3Hz とすると微妙な状況といえる。また減衰定数は 6.0m×6.0m の中央位置で 4 辺支持の場合は 1.5~2.0% となっており、一般的な木造住宅の床に比べるとかなり減衰定数は小さい値になっている。連続梁仕様にする事で、固有振動数、および減衰定数を大きくすることができると推察されるが、実務の設計においては、構造体のみではなく、床や天井の施工、備品や什器の設置により重量を加え、改善することが望まれる*。

*参考文献：日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)，pp193~pp196

9.2.4 経年変化

床に求められる面外方向の強度性能は、建物の使用期間中、要求される性能を維持しなければならない。埋め込み長さに対して径の小さい接合具を用いた接合方法のクリープに与える影響、および非対称構成（偶数層構成）の CLT の形状変化については、データが不足しているため、前者についてはクリープ試験を実施し、後者については屋内と屋外に試験体を設置し、対称構成の CLT との比較を行った。尚、この実験は、現在も継続している（第 7 章）。

9.2.5 コスト比較

CLT4 枚で作成した 7.6m×9.0m の試験体を、仮に S90-5-7（最大幅 2.4m とし、幅方向の接合はなし）で構成した場合にかかる材料費+加工・組み立て費と、GIR 接合または鋼板添え板ビス接合により接合した S60-6-6 で構成した場合の費用を比較した結果、GIR 接合を使った場合には、接合部取り付けにかかる費用は高くなるが、CLT の材積は少なくなるため、5%程度削減されるという試算になった。

9.3 魅力ある折版屋根の実用化

9.3.1 実施内容

折版構造による建物の試設計を行い、基本形となるユニット部の材料の加工（図 9.2）と組み立て（図 9.3、写真 9.1）を実大サイズで行うことによって、実用化に向けて解決すべき課題の抽出を行った（第 8 章参照）。

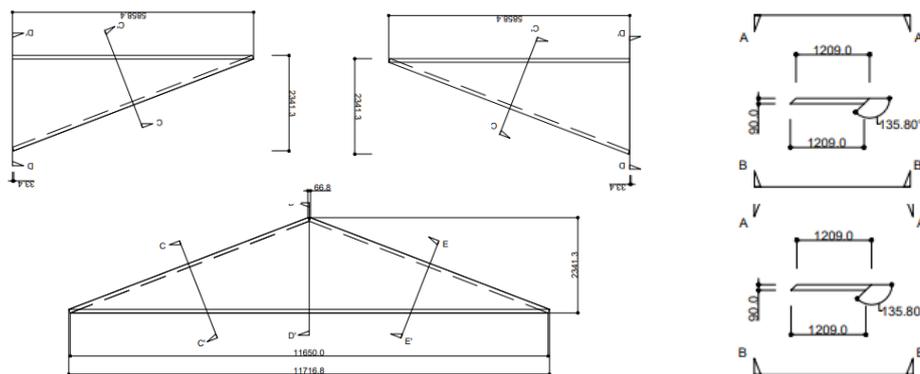


図 9.2 CLT の成型加工

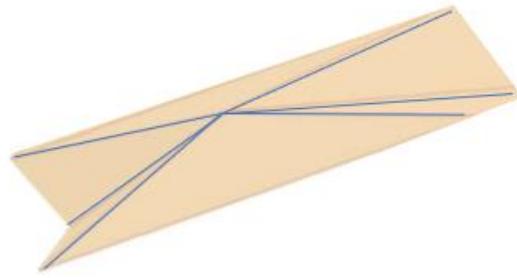


図 9.3 CLT の仮組み形状



写真 9.1 折版構造の CLT の加工・組み立て

9.3.2 期待する効果

この折版構造の実用化により、CLT の利用促進に向け、次のような効果が期待される。

① 単位面積当たりの木材使用量の削減

折版構造により建築物が構築できると、単位面積あたりの CLT 利用量が削減できると見込まれ、コスト削減効果が期待できる。試設計したプラン（スパン 20m）では、木材使用量は約 $0.25\text{m}^3/\text{m}^2$ となり、この数値は軸組工法の使用量に匹敵する。

② 接合部のコスト軽減

折版構造の特徴は、CLT の継手に、曲げモーメントが発生せず、圧縮力とせん断力の伝達が主になることである。CLT パネル工法で価格が向上する理由のひとつが、接合金物のコストアップであるが、折版構造を採用することで、脚部以外は特殊な金物を使用する必要がなく、接合部に必要なコストが、大幅に削減されることが期

待される。

③ 生産効率の向上

本事業で提案するモデルプランでは、CLT-CLTの継手部の木口加工は、基本的には同じ角度での加工となるため、接合部の形状等の規格化が可能である。よって最小限の加工図で加工一組み立てが可能になり、慣れることで、施工図+加工図→加工→建て方の過程で、大幅な生産効率の向上=コストダウンが期待できる。

④ 施工効率の向上

大きな平板を利用する工法のため、現場での工数の削減、並びに施工期間の短縮が期待される。また母屋および垂木を省くことができ、屋根下地工事費が削減されることになる。

⑤ 魅力ある木造建築物の実現による CLT の利用拡大への期待

アイキャッチの高いこの工法を採用した建築物は施主の目にもとまることから、本事業の成果は、CLTの利用拡大に大いに寄与する。

9.3.3 今後の課題

折版構造の実用化に向けては、第8章で取り上げた技術的課題に加え、下記のような課題解決を図っていかなければならない。

① 施工費積算価格・必要な歩掛かりの明示

折版構造の建物は、まだ施工事例が少ないため、歩掛かりがつかめておらず、現在、仮に積算する場合、施工経験がないことで安全側の単価設定をせざるを得ない状況にある。

② 建て方計画の検討

複雑な形状の建物は、建て方計画により施工費が大きく違ってくる。また安全に作業できる仮設計画も適切に行っていかなければいけない。

③ 仕上げ工事の検討

折版構造の採用により、デザイン及び構造面では様々なメリットがあるが、複雑な屋根形状は、防水工事と断熱工事の煩雑化が予想されるため、それぞれの工事の要求性能に加え、コストも踏まえた使用材料、工法の選択が必要になる。