

平成 31 年度林野庁補助事業
中高層建築物を中心とした CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着
事業のうち CLT・木質耐火部材等の製品・技術開発

中大規模木造に用いる CLT パネル工法用接合部の 開発、規格化の検討事業報告書

令和 2 年 3 月

木構造振興株式会社

一般社団法人日本 CLT 協会

報告書目次

1. 事業概要	1
1.1 事業の目的	1
1.2 実施内容	2
1.3 実施体制	2
2. CLT 等試験体材料の概要	4
3. ドリフトピンの支圧試験	5
3.1 試験の目的	5
3.2 試験体の概要	5
3.3 試験方法	9
3.4 試験の評価方法	10
3.5 試験結果と考察	10
3.6 樹種、ヤング係数及び密度との関係	19
3.7 集成材支圧強度と学会基準等の比較	20
3.8 集成材試験結果を用いた CLT の支圧強度の推定	21
4. ローリングシア試験	22
4.1 試験の目的	22
4.2 試験体の概要	22
4.3 試験方法	24
4.4 試験結果と考察	25
4.5 除外した試験体について	35
4.6 ヤング係数及び密度との関係	36
4.7 マニュアルに掲載するローリングシア強度の提案について	37
5. 引きボルト接合部の引張試験	38
5.1 試験の目的	38
5.2 試験の概要	38
5.3 試験方法	41
5.4 試験結果と考察	41
5.5 適用可能な構造用アンカーボルトの種類	61
5.6 実験値と計算値の比較	61
6. 鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張試験 一次試験	64
6.1 試験の目的	64
6.2 試験の概要	64
6.3 試験方法	68

6.4	試験結果と考察	68
6.5	降伏耐力の推定と終局強度比	96
6.6	集合型破壊の検討	97
7.	鋼板挿入ドリフトピン用接合金物単体の引張試験	105
7.1	試験の目的	105
7.2	試験の概要	105
7.3	試験方法	107
7.4	試験結果と考察	107
8.	鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張試験 二次試験	112
8.1	試験の目的	112
8.2	試験の概要	112
8.3	試験方法	116
8.4	試験結果と考察	116
8.5	適用可能な構造用アンカーボルトの種類	143
8.6	降伏耐力の推定と終局強度比	144
8.7	集合型破壊の検討	145
9.	せん断金物の必要性能の検討	148
9.1	検討の目的	148
9.2	解析方法とモデルの概要等	148
9.3	部材の仕様	149
9.4	部材及び接合部のモデル化	150
9.5	荷重・外力計算書	156
9.6	解析モデル図	158
9.7	解析結果	162
10.	鋼板挿入ドリフトピン接合部のせん断試験	167
10.1	試験の目的	167
10.2	試験の概要	167
10.3	試験方法	168
10.4	試験結果と考察	169
11.	圧縮試験	178
11.1	試験の概要	178
11.2	試験の結果	178
12.	まとめ	180

1. 事業概要

1.1. 事業の目的

近年、持続的利用が可能な木材を積極的に非住宅建築物に利用することへの関心が高まっている。これら非住宅建築物の木造化のための有効な構造方法のひとつとして CLT パネル工法が挙げられる。

これまで弊社らでは CLT パネル工法の構造計算ルート 1 に対応した接合方法として、x マーク金物を規格化することによって、CLT パネル工法の普及促進を図ってきた(図 1.1-1)。

しかしながら、現行の x マーク金物は、3 階建てまでを対象とした構造計算ルート 1 を想定しており、告示第 611 号第 10 で定める耐力までしか採用できない。

このため、より高耐力の接合方法を開発し規格化することによって、低層中大規模建築物や中層建築物の普及促進の一助となることを期待するものである。

また、規格金物の試設計及び規格後の裏付けデータとして、ローリングシア試験等の材料試験も実施する。これらのデータは、今後新たな接合部の設計を行いたい場合にも活用できるものである。

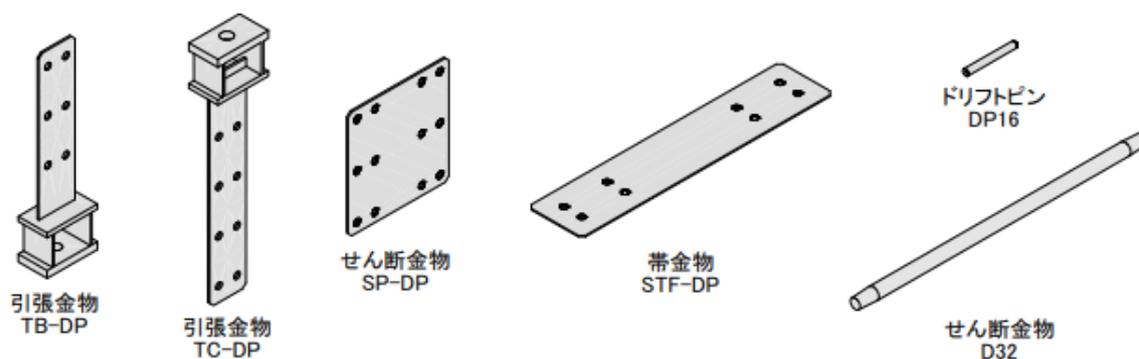


図 1.1-1 クロスマーク金物

1.2. 実施内容

想定される接合部の要求性能は、単位面積当たりの壁枚数、階高、階数等の様々な要因によって相応の性能が考えられる。

ただし、主要な耐力要素である壁頭・壁脚部に着目すれば、ある程度必要となる強度性能は絞られる。規格化するにあたり、壁頭・壁脚部の靱性を確保可能で汎用性の高い接合方法とするためには、JISに定める構造用アンカーボルト ABR を使うことが有効である。したがって表 1.2-1 の ABR490 のボルト径に対応した要求性能に応じて木材－金物側の接合方法を検討すれば良い。

接合金物の接合形式は、ドリフトピン接合及び引きボルト接合を想定する。想定する接合部の性能と CLT 壁の仕様(樹種、層数)との組み合わせは、検討が必要である。

せん断金物の要求性能については、実際の建築物を想定した解析を行い、要求性能を決定するものとする。

表 1.2-1 ABR490 のボルト径に対応した要求性能

ボルト径	ねじ部の有効断面積 A_{be} (mm^2)	軸部断面積 A_b (mm^2)	ABR400			ABR490			
			判定用終局耐力 P_{ub} (kN)	設計用終局耐力 P_{ud} (kN)	降伏耐力 $P_y=Pa$ (kN)	判定用終局耐力 P_{ub} (kN)		設計用終局耐力 P_{ud} (kN)	降伏耐力 $P_y=Pa$ (kN)
						計算値	告示※5		
M16	157	166	73.0	42.9	36.9	89.5	86.0	59.3	51.0
M20	245	260	114.4	67.2	57.6	140.1	135.0	93.0	79.6
M22	303	320	140.8	82.7	71.2	172.5	—	114.4	98.5
M24	353	375	165.0	96.9	83.0	202.1	—	134.1	114.7
M27	459	485	213.4	125.4	107.9	261.4	—	173.4	149.2
M30	561	594	261.4	153.5	131.8	320.2	—	212.4	182.3
M33	694	731	321.6	189.0	163.1	394.0	—	261.3	225.6
M36	817	864	380.2	223.3	192.0	465.7	—	308.9	265.5
M39	976	1030	453.2	266.3	229.4	555.2	—	368.2	317.2
M42	1120	1180	519.2	305.0	263.2	636.0	—	421.9	364.0

※5: 10.6.2-4式の P_{ub} の説明にあるとおり、告示第十第2第七号イ及びロに基づき、ABR490・M16は86kN、ABR490・M20は135kNとしてよい。

1.3. 実施体制

実施体制は、学識経験者等からなる委員会を設け、接合金物の要求性能、仕様、試験計画、評価について諮問する。試験機関は、(公財)日本住宅・木材技術センター試験研究所及び(一財)建材試験センターで実施した。

中層大規模木造用 CLT 接合部の開発委員会

委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長

河合 直人 工学院大学建築学部建築学科 教授

委員

神谷 文夫 セイホク株式会社

小林 研治 静岡大学大学院農学領域 生物資源科学科 住環境構造学研究室
准教授

荒木 康弘 国土交通省国土技術政策総合研究所 主任研究官

中島 昌一 建築研究所構造研究グループ 主任研究員

車田 慎介 銘建工業株式会社 技術開発部

飯島 敏夫 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 常勤理事

コンサル

中越 隆道 中越建築設計事務所

事務局

鈴木 圭 木構造振興株式会社 主任研究員

坂部 芳平 一般社団法人 日本 CLT 協会 専務理事

伴 勝彦 一般社団法人 日本 CLT 協会 開発技術部 次長事務局

委員会開催実績

第1回

日時：令和元年 6月12日（水） 18:00～20:00

会場：一般社団法人 日本 CLT 協会 会議室

第2回

日時：令和元年10月11日（金） 18:00～20:00

会場：一般社団法人 日本 CLT 協会 会議室

第3回

日時：令和元年12月19日（木） 14:00～17:00

会場：一般社団法人 日本 CLT 協会 会議室

第4回

日時：令和2年3月13日（金） 18:00～20:00

会場：一般社団法人 日本 CLT 協会 会議室

2. CLT パネル等試験体材料の概要

CLT 等の種類は、試験の目的や使用部位に応じて表 2-1 のとおりとした。

試験体は、樹種をトドマツ、スギ、カラマツ、ヒノキの 4 種類とし、樹種ごとに入手可能な JAS の等級とし、ラミナ厚さは 30 mm、幅はぎ部分の接着は無いものとした。積層接着面の接着剤の種類は、水性高分子-イソシアネート系接着剤とし、圧縮圧力 7~8kg/cm²、圧縮時間 60 分で製造されたものとした。

要素試験においては試験目的や試験機容量等を考慮して層の構成等を選択した。接合部の試験体は、実際の建物を想定して、5 層 7 プライ及び 7 層 7 プライ、A 種構成の CLT パネルとした。

表 2-1 実験に使用した木質材料の種類

試験の種類	木質材料の種類	樹種	JASの等級区分／構成方法	接着剤の種類
ドリフトピンの支圧試験	集成材	トドマツ	CLTのS30のB種構成と同等	縦継ぎ、積層部分：JIS K 6807 3.5 木材用レゾルシノール樹脂接着剤
			CLTのS60のB種構成と同等	
		スギ	CLTのS30のB種構成と同等	
			CLTのS60のB種構成と同等	
			CLTのS90のB種構成と同等	
		カラマツ	CLTのS90のB種構成と同等	
	CLTのS120のB種構成と同等			
	CLT	ヒノキ	CLTのS90のB種構成と同等	
			CLTのS120のB種構成と同等	
			CLTのS120のB種構成と同等	
ローリングシア試験	CLT	トドマツ	S60-3-3/B種構成	縦継ぎ、積層部分：JIS K 6806 水性高分子イソシアネート系接着剤 1種(常温接着用)1号(主として構造用集成材、耐力パネル用)
			S90-3-3/B種構成	
		スギ	S30-3-3/B種構成	
			S60-3-3/B種構成	
			S90-3-3/B種構成	
		カラマツ	S90-3-3/B種構成	
			S120-3-3/B種構成	
		ヒノキ	S90-3-3/B種構成	
			S120-3-3/B種構成	
		引きボルト接合部の引張試験	CLT	
Mx60-7-7/A種構成				
ヒノキ	S90-5-7/A種構成			
	S90-7-7/A種構成			
カラマツ	S90-5-7/A種構成			
	S90-7-7/A種構成			
鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張試験	CLT	スギ	Mx60-5-7/A種構成	
			Mx60-7-7/A種構成	
		ヒノキ	S90-5-7/A種構成	
			S90-7-7/A種構成	
鋼板挿入ドリフトピン接合部のせん断試験	CLT	スギ	Mx60-5-7/A種構成	
			Mx60-7-7/A種構成	
		ヒノキ	S90-5-7/A種構成	
			S90-7-7/A種構成	

3. ドリフトピンの支圧試験

3.1. 試験の目的

日本建築学会(AIJ)基準¹⁾では、木材の基準支圧強度を図 3.1-1 のとおりとしている。CLT の場合は、支圧方向に対して繊維方向となる層と繊維直角方向となる層の組み合わせとなるが、このとき、どのような強度性能となるのかは明確になっていないため、実験によって明らかにする。

表 3.1-1 AIJ 基準による基準支圧強度(※径が 26 mm 以下)

グループ	樹種	基準比重	基準支圧強度 (N/mm ²)	
			繊維方向	繊維直角方向
J1	べいまつ・くろまつ・あかまつ・からまつ・つが 等 (比重が 0.50 程度のもの)	0.42	25.4	12.7
J2	べいひ・べいつが・ひば・ひのき・もみ 等 (比重が 0.44 程度のもの)	0.37	22.4	11.2
J3	とどまつ・えぞまつ・べにまつ・スプルス・すぎ・べいすぎ 等 (比重が 0.38 程度のもの)	0.32	19.4	9.7

3.2. 試験体の概要

集成材と CLT の 2 段構えの試験とする(図 3.2-1)。集成材について繊維方向及び繊維直角方向を加力する試験を、CLT 材については強軸方向、弱軸方向に加力する試験を行う。

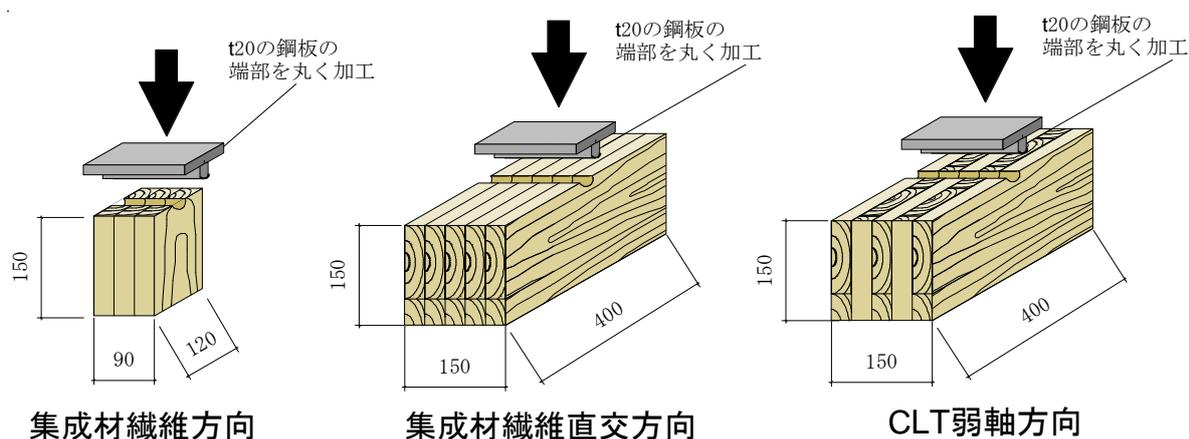


図 3.2-1 ドリフトピンの支圧試験

(1)試験体の種類

表 3.2-1 に集成材の試験体の種類を、表 3.2-2 に CLT の試験体の種類を示す。集成材の等級は CLT と比較するためラミナの等級を CLT と同じ区分方法とし、ヤング係数による影響を確認するためヤング係数の公差が小さい B 種構成とした。一方、CLT 試験体は接合部試験体と同じ A 種構成で 5 層 5 プライとした。

表 3.2-1 集成材試験体の種類

番号	試験体シリーズ名	樹種	ラミナの等級	加力方向	ピン径(mm)	試験体数
1	TS60P	トドマツ	S60B	繊維方向	φ 20	6
2	TS60O			繊維直交方向		6
3	TS90P	トドマツ	S90B	繊維方向		6
4	TS90O			繊維直交方向		6
5	SS30P	スギ	S30B	繊維方向		6
6	SS30O			繊維直交方向		6
7	SS60P	スギ	S60B	繊維方向		6
8	SS60O			繊維直交方向		6
9	SS90P	スギ	S90B	繊維方向		6
10	SS90O			繊維直交方向		6
11	HS90P	ヒノキ	S90B	繊維方向		6
12	HS90O			繊維直交方向		6
13	HS120P	ヒノキ	S120B	繊維方向		6
14	HS120O			繊維直交方向		6
15	KS90P	カラマツ	S90B	繊維方向		6
16	KS90O			繊維直交方向		6
17	KS120P	カラマツ	S120B	繊維方向		6
18	KS120O			繊維直交方向		6
合計						108

表 3.2-2 CLT 試験体の種類

番号	試験体シリーズ名	樹種	CLTの等級	加力方向	ピン径(mm)	試験体数
1	CSM60S	スギ	Mx60-5-5、A種	強軸方向	φ 20	6
2	CHS90S	ヒノキ	S90-5-5、A種			6
3	CKS90S	カラマツ	S90-5-5、A種			6
4	CSM60W	スギ	Mx60-5-5、A種	弱軸方向		6
5	CHS90W	ヒノキ	S90-5-5、A種			6
6	CKS90W	カラマツ	S90-5-5、A種			6
合計						36

表 3.2-3 集成材試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
1	TS60P	1	0.36 9.5
		2	0.36 9.5
		3	0.37 9.0
		4	0.37 9.5
		5	0.37 9.0
		6	0.37 9.0
		平均	0.37 9.3
2	TS60O	1	0.37 9.0
		2	0.37 9.0
		3	0.37 9.0
		4	0.37 8.5
		5	0.37 10.0
		6	0.37 9.5
		平均	0.37 9.2
3	TS90P	1	0.38 9.5
		2	0.39 10.0
		3	0.39 10.0
		4	0.39 10.5
		5	0.39 10.5
		6	0.40 12.0
		平均	0.39 10.4
4	TS90O	1	0.41 10.5
		2	0.41 11.0
		3	0.41 10.5
		4	0.42 10.5
		5	0.42 11.0
		6	0.42 10.5
		平均	0.41 10.7
5	SS30P	1	0.34 9.5
		2	0.34 9.5
		3	0.35 9.5
		4	0.35 8.5
		5	0.35 9.5
		6	0.35 10.0
		平均	0.35 9.4
6	SS30O	1	0.37 9.5
		2	0.37 9.5
		3	0.37 9.5
		4	0.39 10.0
		5	0.38 10.0
		6	0.38 10.5
		平均	0.38 9.8
7	SS60P	1	0.33 8.5
		2	0.33 8.5
		3	0.34 9.5
		4	0.34 8.5
		5	0.35 8.5
		6	0.35 8.5
		平均	0.34 8.7
8	SS60O	1	0.40 10.0
		2	0.40 10.0
		3	0.40 10.5
		4	0.40 10.0
		5	0.40 10.0
		6	0.40 10.5
		平均	0.40 10.2
9	SS90P	1	0.46 13.5
		2	0.46 13.0
		3	0.46 12.5
		4	0.47 14.0
		5	0.47 12.5
		6	0.47 12.5
		平均	0.47 13.0
10	SS90O	1	0.41 10.0
		2	0.42 12.5
		3	0.42 11.5
		4	0.42 13.0
		5	0.42 12.0
		6	0.43 12.0
		平均	0.42 11.8
11	HS90P	1	0.48 13.0
		2	0.48 12.5
		3	0.48 12.5
		4	0.49 13.0
		5	0.49 13.0
		6	0.50 13.5
		平均	0.49 12.9
12	HS90O	1	0.50 13.0
		2	0.50 12.5
		3	0.50 12.5
		4	0.50 12.5
		5	0.50 12.5
		6	0.50 12.5
		平均	0.50 12.6
13	HS120P	1	0.54 12.5
		2	0.51 13.0
		3	0.52 13.0
		4	0.52 11.5
		5	0.52 12.5
		6	0.54 12.5
		平均	0.53 12.5
14	HS120O	1	0.54 13.5
		2	0.55 13.5
		3	0.55 13.5
		4	0.55 13.5
		5	0.55 14.0
		6	0.55 13.0
		平均	0.55 13.5
15	KS90P	1	0.53 11.5
		2	0.54 11.0
		3	0.55 10.5
		4	0.55 11.5
		5	0.55 11.0
		6	0.55 10.5
		平均	0.54 11.0
16	KS90O	1	0.53 12.0
		2	0.53 11.5
		3	0.53 12.0
		4	0.53 11.5
		5	0.53 11.5
		6	0.54 11.5
		平均	0.53 11.7
17	KS120P	1	0.48 9.0
		2	0.49 11.5
		3	0.49 10.0
		4	0.49 10.5
		5	0.49 11.0
		6	0.49 10.0
		平均	0.49 10.3
18	KS120O	1	0.58 13.5
		2	0.58 13.5
		3	0.58 13.0
		4	0.58 13.0
		5	0.59 13.0
		6	0.59 13.5
		平均	0.58 13.3

表 3.2-4 CLT 試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
1	CSM60S	1	0.38 11.0
		2	0.38 10.5
		3	0.38 10.5
		4	0.39 11.0
		5	0.39 10.5
		6	0.39 10.5
		平均	0.39 10.7
2	CHS90S	1	0.52 12.0
		2	0.52 12.5
		3	0.53 13.0
		4	0.53 12.5
		5	0.54 13.0
		6	0.55 13.0
		平均	0.53 12.7
3	CKS90S	1	0.49 10.0
		2	0.49 10.0
		3	0.51 10.0
		4	0.51 10.0
		5	0.52 10.5
		6	0.52 10.0
		平均	0.51 10.1
4	CSM60W	1	0.38 9.0
		2	0.38 10.0
		3	0.39 10.0
		4	0.39 10.0
		5	0.40 11.0
		6	0.39 9.0
		平均	0.39 9.8
5	CHS90W	1	0.51 12.5
		2	0.51 13.5
		3	0.52 12.0
		4	0.54 12.5
		5	0.54 13.0
		6	0.54 13.0
		平均	0.53 12.8
6	CKS90W	1	0.52 10.0
		2	0.52 9.5
		3	0.52 10.5
		4	0.52 9.5
		5	0.53 10.0
		6	0.53 11.0
		平均	0.52 10.1

(2) 試験体の仕様

試験体の仕様を図 3.2-2 に示す。

試験体の支圧部分は、実際の接合部に近い状態とするため、木材にはドリフトピン孔を想定した半円 (R20) の溝を掘り、この部分を支圧することとした。試験体材は 11 体用意し、この中からなるべく木材の欠点や節等の影響を受けない試験体を選定した。

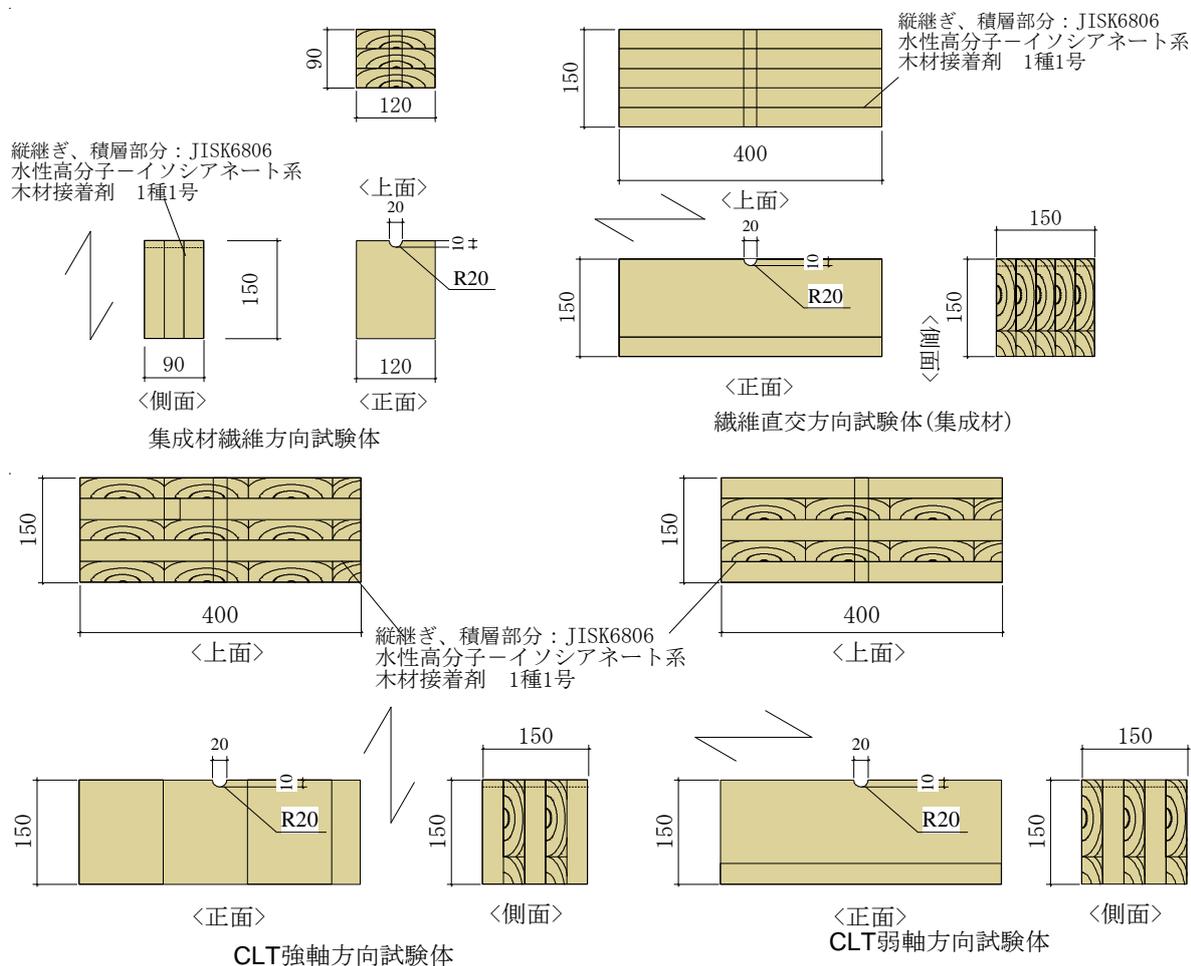


図 3.2-2 試験体の加工図

(3) 試験治具の仕様

試験治具の仕様を図 3.2-3 に示す。実際のドリフトピンを加圧版で押す方法も考えられるが、10 mm しか加力できないため、鋼板を半円に加工した治具を作成した。

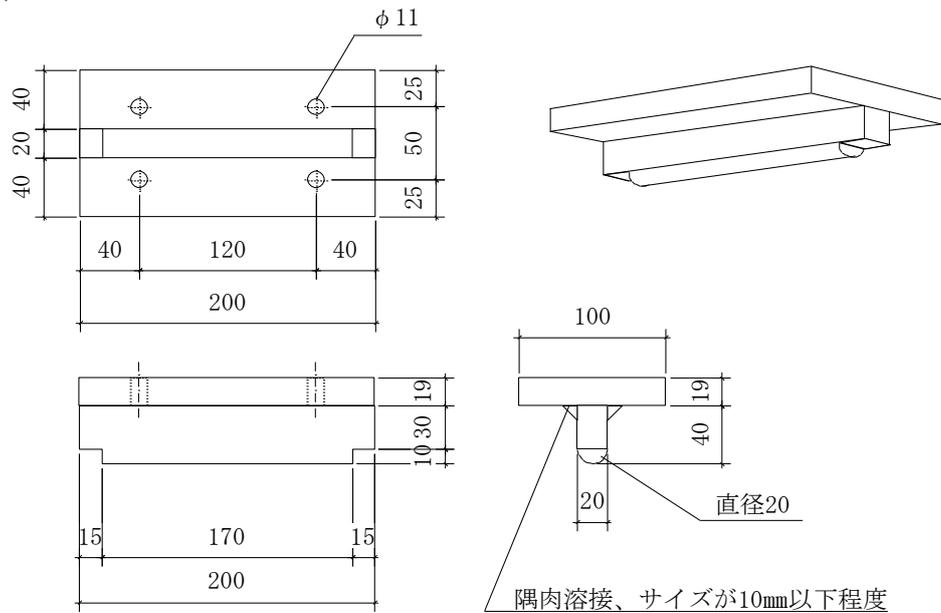


図 3.2-3 試験治具の加工図及び姿図

3.3. 試験方法

試験は財団法人日本住宅・木材技術センター発行「構造用木材の強度試験マニュアル」²⁾ に準じて行った。

加力方法は、単調加力とし、あて板と木材側面間の変位を表裏で測定した。

集成材の繊維方向試験体(写真 3.3-1)は荷重が 80%以下に低下するまで、集成材の繊維直交方向及び CLT(写真 3.3-2)は変位 20 mmを超えるまで(25 mm程度)、加力を行った。



写真 3.3-1 集成材の繊維方向試験



写真 3.3-2 CLT の試験

3.4. 試験の評価方法

試験の評価方法は、AIJ 規準¹⁾の付録「2.曲げ降伏型接合部における降伏耐力算定のための支圧強度および接合具の降伏強度を求めるための試験法」より、表 3.4-1 のとおりとした。

なお、これらの評価方法は、試験後のグラフの形状を鑑みて決定したものである。

集成材繊維方向試験体及び CLT 試験体の降伏耐力 P_y を 5%オフセット値（初期の勾配に対し、接合部径の 5%だけ平行移動した直線と、荷重変形曲線との交点を P_y とした値）として算出すると、最大荷重後の数値となってしまう試験体もあるため、これらは完全弾塑性モデルによって P_y を算出するものとした。一方、集成材繊維直交方向試験体は降伏点が明確且つ降伏後に荷重が上がり続けるため、最大変位によって評価が変わる完全弾塑性モデルによる評価より、5%オフセット値による評価の方が望ましいと判断した。

終局耐力 P_u の算出方法については、包絡線と X 軸で囲まれた面積と、前述で求めた原点から P_y までを結んだ直線を更に上方に延ばした勾配①と x 軸に平行な直線②で囲まれた台形の面積が等しくなるように配置した直線②の y 座標を P_u として算出するものとした。

文献 1)では終局変位の範囲を繊維方向加力に対しては 5mm、繊維直角方向に対しては 15mm としているため、集成材試験体はこれに倣うこととした。CLT についてはめり込み試験のように 2 次勾配が上がっていくか、横ばいに変形していくため、直角方向と同じく 15mm までを終局変位の範囲とした。

図 3.4-1 ドリフトピンの支圧試験の特性値評価方法

	P_y	P_u	δu
集成材0°	完全弾塑性モデルによる評価	完全弾塑性モデルによる評価	5mmまで
集成材90°	5%オフセットによる評価	5%オフセットによる P_y の剛性と包絡線の面積から P_u を算出	15mmまで
CLT	完全弾塑性モデルによる評価	完全弾塑性モデルによる評価	15mmまで

3.5. 試験結果と考察

図 3.5-1～図 3.5-11 に荷重変形曲線を示す。

集成材の繊維方向加力試験体については、変位 2 mm程度でピークを迎え、荷重低下するのに対し、繊維直交方向試験体については 2 mm程度で降伏した後、徐々に荷重が上がっていく性状となった。一方 CLT 試験体は繊維方向と繊維直交方向を足し合わせたようなグラフの性状を示し、2 mm程度で一度ピークを迎えた後、若干荷重低下し、その後徐々に荷重が上がっていくグラフとなった。

写真 3.5-1～写真 3.5-28 に試験の破壊性状を示す。集成材の繊維方向試験体は写真のように繊維方向に割裂するため、最大荷重後に荷重が低下する。一方繊維直交方向試験体はめり込むため、割裂は起こらない。CLT 試験体は加力に対して繊維直交となる層が繊維方向の割裂を抑制してくれるため、同様に割裂は起こらない結果となった。

表 3.5-1～表 3.5-3 に 3.4 項の評価方法に基づいて算出した各試験体の終局耐力と支圧強度を示す。

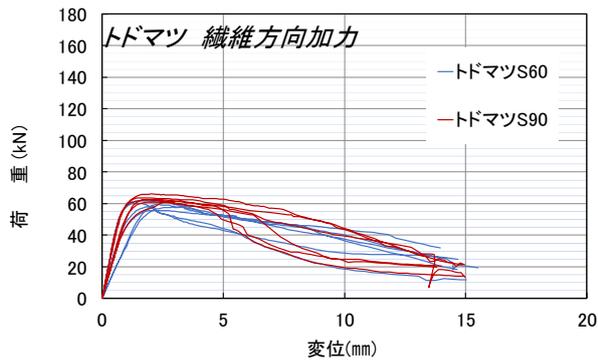


図 3.5-1 トドマツ集成材繊維方向加力の P δ 曲線

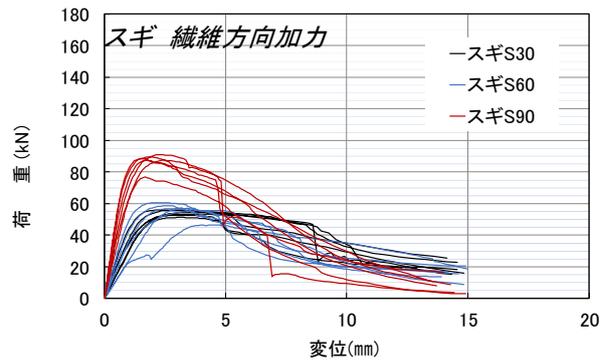


図 3.5-2 スギ集成材繊維方向加力の P δ 曲線

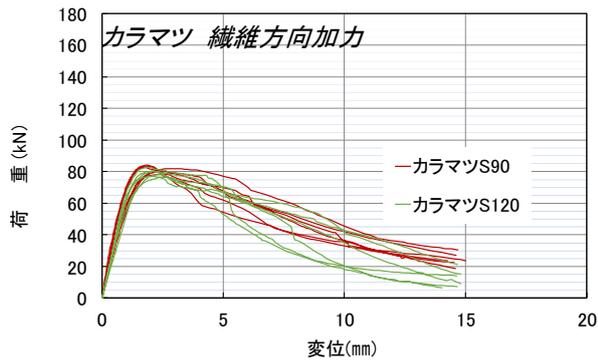


図 3.5-3 カラマツ集成材繊維方向加力の P δ 曲線

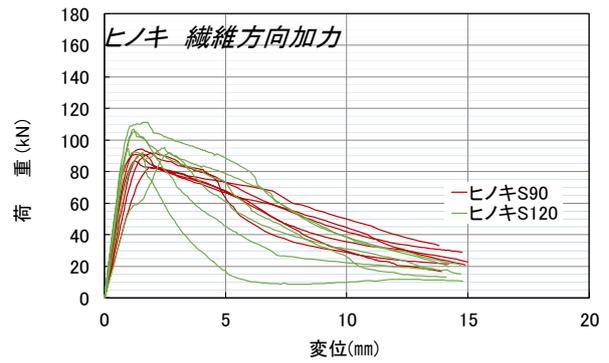


図 3.5-4 ヒノキ集成材繊維方向加力の P δ 曲線

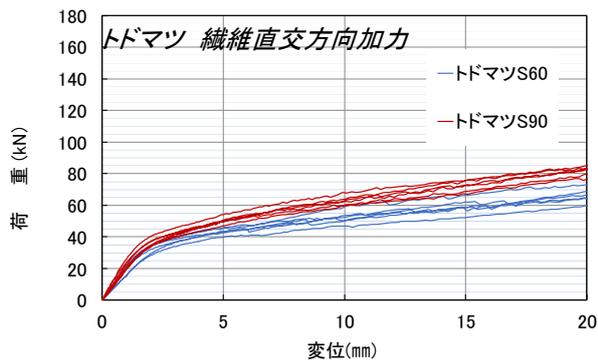


図 3.5-5 トドマツ集成材繊維直交方向加力の P δ 曲線

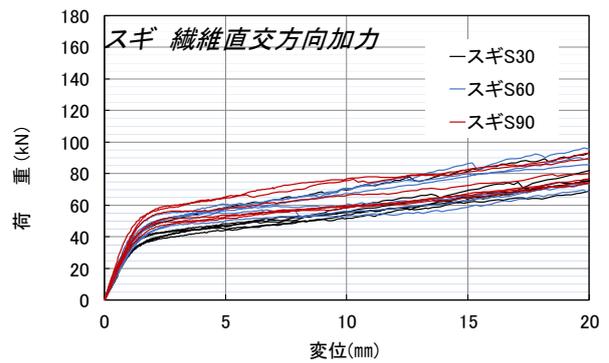


図 3.5-6 スギ集成材繊維直交方向加力の P δ 曲線

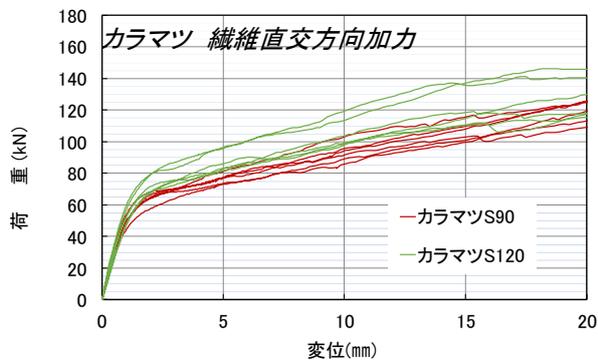


図 3.5-7 カラマツ集成材繊維直交方向加力の P δ 曲線

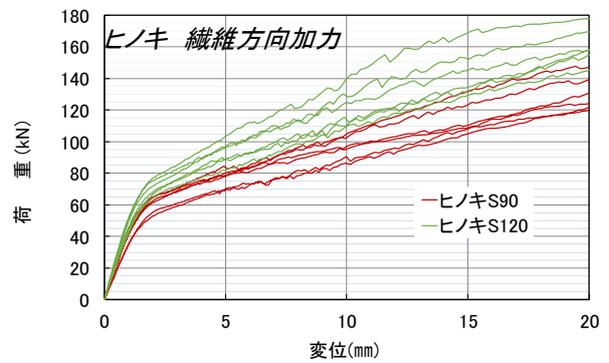


図 3.5-8 ヒノキ集成材繊維直交方向加力の P δ 曲線

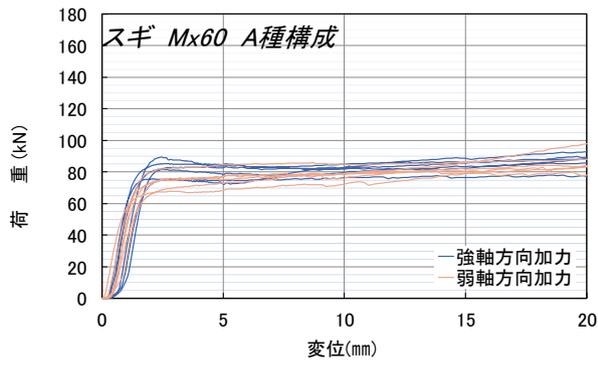


図 3.5-9 スギ CLT Mx60 の P δ 曲線

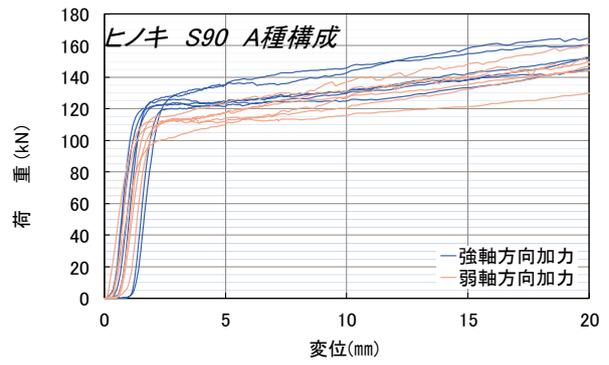


図 3.5-10 ヒノキ CLT S90 の P δ 曲線

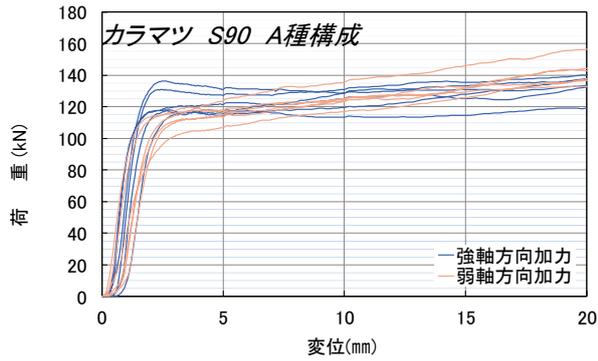


図 3.5-11 カラマツ CLT S90 の P δ 曲線



写真 3.5-1 スギ SS30P-1 の実験の様子



写真 3.5-2 トドマツ TS60P の破壊性状



写真 3.5-3 トドマツ TS90P の破壊性状



写真 3.5-4 スギ SS30P の破壊性状



写真 3.5-5 スギ SS60P の破壊性状



写真 3.5-6 スギ SS90P の破壊性状



写真 3.5-7 ヒノキ HS90P の破壊性状



写真 3.5-8 ヒノキ HS120P の破壊性状



写真 3.5-9 カラマツ TS90P の破壊性状



写真 3.5-10 カラマツ KS120P の破壊性状



写真 3.5-11 トドマツ TS900 の実験の様子



写真 3.5-12 トドマツ TS600 の破壊性状



写真 3.5-13 トドマツ TS900 の破壊性状



写真 3.5-14 スギ SS300 の破壊性状



写真 3.5-15 スギ SS600 の破壊性状



写真 3.5-16 スギ SS900 の破壊性状



写真 3.5-17 ヒノキ HS900 の破壊性状



写真 3.5-18 ヒノキ HS1200 の破壊性状



写真 3.5-19 カラマツ KS900 の破壊性状



写真 3.5-20 カラマツ KS1200 の破壊性状



写真 3.5-21 ヒノキ CHS90S の実験の様子



写真 3.5-22 スギ CSM60S の破壊性状



写真 3.5-23 ヒノキ CHS90S の破壊性状



写真 3.5-24 カラマツ CKS90S の破壊性状



写真 3.5-25 ヒノキ CHS90 W の実験の様子



写真 3.5-26 スギ CSM60W の破壊性状



写真 3.5-27 ヒノキ CHS90 W の破壊性状



写真 3.5-28 カラマツ CKS90W の破壊性状

表 3.5-1 集成材繊維方向加力の各試験体の終局耐力および支圧強度

	トドマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ
S30	SS 30P			
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)
		1	52.1	28.94
		2	54.5	30.28
		3	50.3	27.94
		4	52.5	29.17
		5	49.5	27.50
		6	54.3	30.17
		ave	52.2	29.00
		標準偏差	2.03	
	変動係数	0.039		
	ばらつき係数	0.909		
	5%下限値	47.4	26.33	
		2.336		
S60	TS 60P			
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)
		1	52.5	29.17
		2	55.9	31.06
		3	54.3	30.17
		4	55.3	30.72
		5	58.2	32.33
		6	53.5	29.72
		ave	55.0	30.53
		標準偏差	2.01	
	変動係数	0.037		
	ばらつき係数	0.914		
	5%下限値	50.2	27.89	
		2.336		
	SS 60P			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	52.8	29.33	
	2	54.2	30.11	
	3	53.3	29.61	
	4	38.9	21.61	
	5	57.3	31.83	
	6	54.2	30.11	
	ave	51.8	28.77	
	標準偏差	6.50		
	変動係数	0.125		
	ばらつき係数	0.708		
	5%下限値	36.6	20.33	
		2.336		
S90	TS 90P			
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)
		1	59.1	32.83
		2	58.8	32.67
		3	60.6	33.67
		4	61.9	34.39
		5	58.2	32.33
		6	64.0	35.56
		ave	60.4	33.57
		標準偏差	2.21	
	変動係数	0.037		
	ばらつき係数	0.914		
	5%下限値	55.2	30.67	
		2.336		
	SS 90P			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	84.3	46.83	
	2	79.8	44.33	
	3	82.3	45.72	
	4	70.5	39.17	
	5	78.5	43.61	
	6	84.1	46.72	
	ave	79.9	44.40	
	標準偏差	5.16		
	変動係数	0.065		
	ばらつき係数	0.848		
	5%下限値	67.7	37.61	
		2.336		
	HS 90P			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	78.1	43.39	
	2	85.2	47.33	
	3	81.7	45.39	
	4	75.4	41.89	
	5	84.6	47.00	
	6	80.2	44.56	
	ave	80.9	44.93	
	標準偏差	3.78		
	変動係数	0.047		
	ばらつき係数	0.890		
	5%下限値	72.0	40.00	
		2.336		
	KS 90P			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	75.3	41.83	
	2	79.4	44.11	
	3	75.4	41.89	
	4	76	42.22	
	5	76.8	42.67	
	6	75.5	41.94	
	ave	76.4	42.44	
	標準偏差	1.57		
	変動係数	0.021		
	ばらつき係数	0.951		
	5%下限値	72.6	40.33	
		2.336		
S120	HS 120P			
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)
		1	88.6	49.22
		2	94	52.22
		3	80.8	44.89
		4	97.9	54.39
		5	88	48.89
		6	100	55.56
		ave	91.6	50.86
		標準偏差	7.14	
	変動係数	0.078		
	ばらつき係数	0.818		
	5%下限値	74.9	41.61	
		2.336		
	KS 120P			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	78.3	43.50	
	2	73.1	40.61	
	3	75.8	42.11	
	4	71.2	39.56	
	5	72.6	40.33	
	6	74.3	41.28	
	ave	74.2	41.23	
	標準偏差	2.54		
	変動係数	0.034		
	ばらつき係数	0.921		
	5%下限値	68.3	37.94	
		2.336		

表 3.5-2 集成材繊維直交方向加力の各試験体の終局耐力および支圧強度

	トドマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ
S30	SS 300			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	52.4	17.47	
	2	55.1	18.37	
	3	57.3	19.10	
	4	53.0	17.67	
	5	55.4	18.47	
	6	69.3	23.10	
	ave	57.1	19.03	
	標準偏差	6.24		
	変動係数	0.109		
ばらつき係数	0.745			
5%下限値	42.5	14.17		
	2.336			
S60	TS 600			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	52.3	17.43	
	2	46.7	15.57	
	3	57.3	19.10	
	4	50.7	16.90	
	5	53.2	17.73	
	6	52.1	17.37	
	ave	52.1	17.35	
	標準偏差	3.45		
	変動係数	0.066		
ばらつき係数	0.846			
5%下限値	44.0	14.67		
	2.336			
S60	SS 600			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	54.3	18.10	
	2	69.3	23.10	
	3	66.8	22.27	
	4	61.5	20.50	
	5	70.3	23.43	
	6	57.9	19.30	
	ave	63.4	21.12	
	標準偏差	6.49		
	変動係数	0.102		
ばらつき係数	0.762			
5%下限値	48.3	16.10		
	2.336			
S90	TS 900			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	58.6	19.53	
	2	62.6	20.87	
	3	60.2	20.07	
	4	66.3	22.10	
	5	64.5	21.50	
	6	62.1	20.70	
	ave	62.4	20.79	
	標準偏差	2.79		
	変動係数	0.045		
ばらつき係数	0.895			
5%下限値	55.8	18.60		
	2.336			
S90	SS 900			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	59.5	19.83	
	2	65.9	21.97	
	3	58.8	19.60	
	4	75.1	25.03	
	5	59.3	19.77	
	6	73.4	24.47	
	ave	65.3	21.78	
	標準偏差	7.40		
	変動係数	0.113		
ばらつき係数	0.736			
5%下限値	48.0	16.00		
	2.336			
S90	HS 900			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	86.1	28.70	
	2	102.8	34.27	
	3	105.0	35.00	
	4	87.9	29.30	
	5	94.2	31.40	
	6	95.8	31.93	
	ave	95.3	31.77	
	標準偏差	7.63		
	変動係数	0.080		
ばらつき係数	0.813			
5%下限値	77.4	25.80		
	2.336			
S90	KS 900			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	90.1	30.03	
	2	86.6	28.87	
	3	91.9	30.63	
	4	98.9	32.97	
	5	85.4	28.47	
	6	92.6	30.87	
	ave	90.9	30.31	
	標準偏差	4.84		
	変動係数	0.053		
ばらつき係数	0.876			
5%下限値	79.6	26.53		
	2.336			
S120	HS1200			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	121.4	40.47	
	2	110.3	36.77	
	3	112.5	37.50	
	4	126.3	42.10	
	5	138.5	46.17	
	6	106.5	35.50	
	ave	119.3	39.75	
	標準偏差	11.94		
	変動係数	0.100		
ばらつき係数	0.766			
5%下限値	91.3	30.43		
	2.336			
S120	KS1200			
	試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	117.4	39.13	
	2	113.6	37.87	
	3	96.7	32.23	
	4	97.0	32.33	
	5	101.8	33.93	
	6	98.0	32.67	
	ave	104.1	34.69	
	標準偏差	9.11		
	変動係数	0.088		
ばらつき係数	0.794			
5%下限値	82.6	27.53		
	2.336			

表 3.5-3 CLT の各試験体の終局耐力および支圧強度

CLT 強軸方向加力		スギ	ヒノキ	カラマツ		
Mx60	トドマツ	CSM 60S				
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)		
		1	79.9	26.63		
		2	84.5	28.17		
		3	82	27.33		
		4	84.1	28.03		
		5	75.6	25.20		
		6	81.3	27.10		
		ave	81.2	27.08		
		標準偏差	3.26			
		変動係数	0.040			
		ばらつき係数	0.907			
	5%下限値	73.6	24.53			
		2.336				
S90			CHS 90S	CKS 90S		
			試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
			1	128.8	42.93	
			2	142.7	47.57	
			3	126.3	42.10	
			4	145.1	48.37	
			5	131.7	43.90	
			6	130.6	43.53	
			ave	134.2	44.73	
			標準偏差	7.77		
			変動係数	0.058		
			ばらつき係数	0.865		
		5%下限値	116.0	38.67		
			2.336			
				ave	124.3	41.42
				標準偏差	6.14	
				変動係数	0.049	
				ばらつき係数	0.886	
				5%下限値	110.1	36.70
					2.336	
Mx60	CLT 弱軸方向加力	スギ	ヒノキ	カラマツ		
	トドマツ	CSM 60W				
		試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)		
		1	76.3	25.43		
		2	78.1	26.03		
		3	79.1	26.37		
		4	71.9	23.97		
		5	77.8	25.93		
		6	84.1	28.03		
		ave	77.9	25.96		
		標準偏差	3.96			
		変動係数	0.051			
	ばらつき係数	0.881				
	5%下限値	68.6	22.87			
		2.336				
S90			CHS 90W	CKS 90W		
			試験体番号	Pu (kN)	強度 (N/mm ²)	
			1	127.2	42.40	
			2	115.3	38.43	
			3	121.8	40.60	
			4	124.6	41.53	
			5	133.7	44.57	
			6	123	41.00	
			ave	124.3	41.42	
			標準偏差	6.10		
			変動係数	0.049		
			ばらつき係数	0.886		
		5%下限値	110.1	36.70		
			2.336			
				ave	123.4	41.12
				標準偏差	5.68	
				変動係数	0.046	
				ばらつき係数	0.893	
				5%下限値	110.1	36.70
					2.336	

3.6. 樹種、ヤング係数及び密度との関係

支圧強度とヤング係数及び密度との関係を図 3.6-1～図 3.6-8 に示す。なおヤング係数は JAS 規格に定める曲げヤング係数基準の平均値を、密度については個体ごとの測定値とした。
(1)集成材試験

ヤング係数及び密度共に支圧強度と比例関係にあることが分かった。樹種の違いも支圧強度に影響を及ぼしており、同じヤング係数や密度であっても樹種が違えば支圧強度の値が異なることが分かった。詳細は以下のとおりである。

- ・ S60(ヤング係数の平均の基準値 6.0GPa)ではトドマツとスギは集成材繊維方向ではほぼ同じ、直交方向ではトドマツよりややスギが高い(図 3.6-1、図 3.6-3)。
- ・ S90(ヤング係数の平均の基準値 9.0GPa)ではスギ、ヒノキ及びカラマツがほぼ同じでトドマツはそれらより低い、直交方向ではヒノキ及びカラマツがほぼ同じでスギ及びトドマツがそれらより低い。S120(ヤング係数 12.0GPa)ではカラマツよりヒノキの方が高い。
- ・ 集成材試験の密度についてはトドマツとスギは同じ密度帯ではほぼ同程度となったが、ヒノキとカラマツは同じ密度帯であってもヒノキの方が高くなる傾向にある(図 3.6-2、図 3.6-4)。

なお、前述のとおりヤング係数は等級別の平均の基準値を示したものであるため、ヤング係数の公差によっては、異なる等級であっても結果に差が出ない場合もある。例えば図 3.6-1 及び図 3.6-2 の集成材試験において、スギ S30B(2.5～6.0Gpa)については S60B(5.0～9.0Gpa)と同じヤング係数の材料が多く含まれている可能性もあるため、両者はあまり比例していないものと思われる。

(2)CLT 試験

CLT の試験については樹種による違いは見られず、ヤング係数や密度のみに比例する結果となった(図 3.6-5～図 3.6-8)。

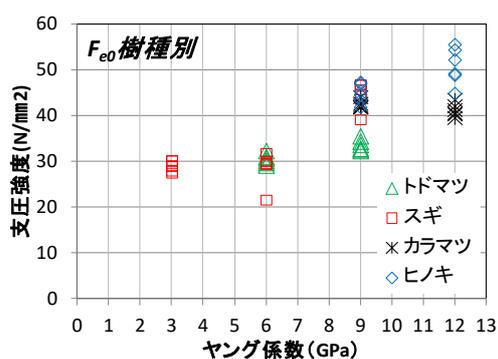


図 3.6-1 集成材繊維方向支圧強度とヤング係数

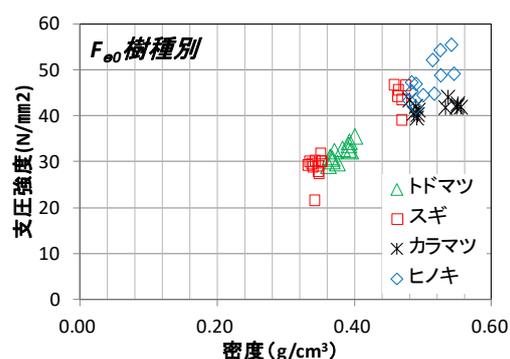


図 3.6-2 集成材繊維方向支圧強度と密度

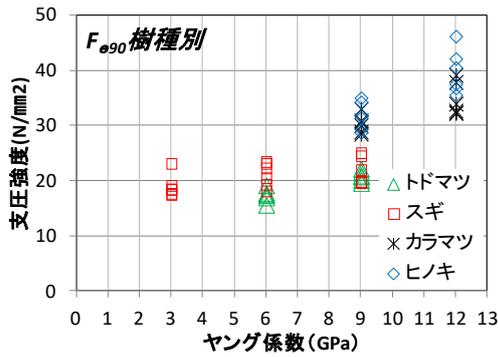


図 3.6-3 集成材繊維直交方向支圧強度とヤング係数

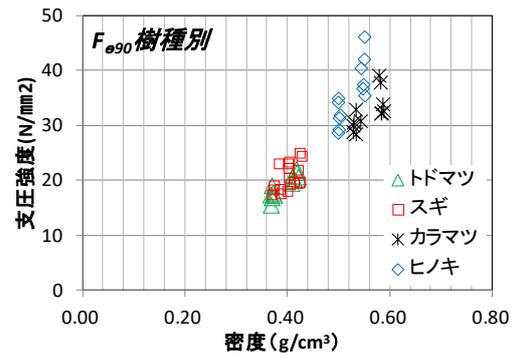


図 3.6-4 集成材繊維直交方向支圧強度と密度

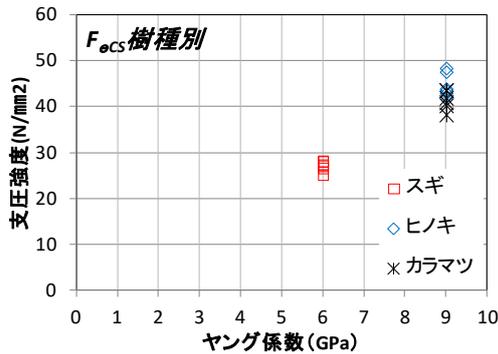


図 3.6-5 CLT 強軸方向支圧強度とヤング係数

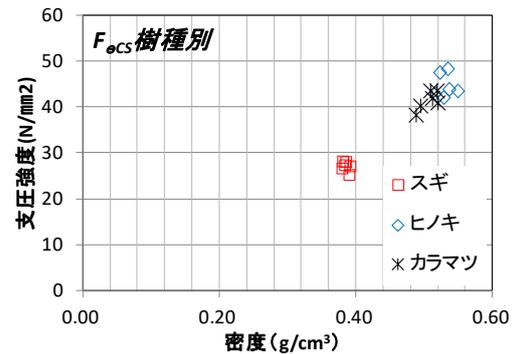


図 3.6-6 CLT 強軸方向支圧強度と密度

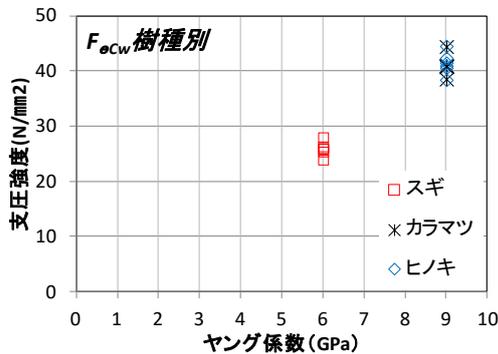


図 3.6-7 CLT 弱軸方向支圧強度とヤング係数

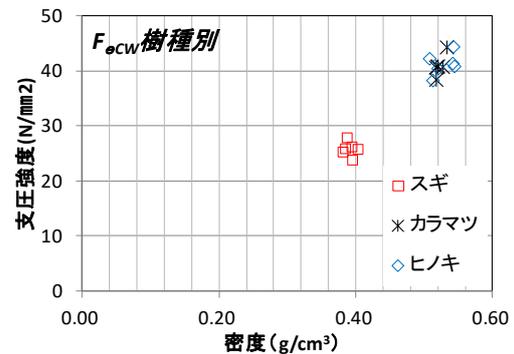


図 3.6-8 CLT 弱軸方向支圧強度と密度

3.7. 集成材支圧強度と学会基準等の比較

集成材試験から得られた支圧強度と AIJ 規準の基準支圧強度及び Eurocode5 における設計式より算出した値との比較を行った(表 3.7-1)。なお、AIJ 規準では実験から求めた EYT 式における基準支圧強度を 5% 下限値で評価することになっているので、5% 下限値との比較とする。

結果より、繊維直交方向加力においては実験値の 0.4~0.7 倍程度、繊維方向加力においては実験値の 0.5~0.9 倍程度となった。一方、Eurocode5 における設計式は実際の実験値と同程度かやや安全側の値となった。

AIJ 規準の方が低くなる理由は、AIJ 規準の基準強度は径が 26 mm 以下、密度が特定できない条件で安全側に決められたものであるためである。

表 3.7-1 実験値と学会基準及び EC5 計算値との比較

繊維直交加力						繊維方向加力									
番号	試験体名	密度平均 (g/cm ³)	支圧強度実験値 (N/mm ²)			学会基準 (N/mm ²)	EC5計算 (N/mm ²)	番号	試験体名	密度平均 (g/cm ³)	支圧強度実験値 (N/mm ²)			学会基準 (N/mm ²)	EC5計算 (N/mm ²)
			平均	標準偏差	5%下限値						平均	標準偏差	5%下限値		
1	TS 600	0.370	17.35	3.45	14.67	9.70	14.69	2	TS 60P	0.367	30.53	2.01	27.89	19.40	24.08
3	TS 900	0.414	20.79	2.79	18.60		16.47	4	TS 90P	0.391	33.57	2.21	30.67		25.67
5	SS 300	0.378	19.03	6.24	14.17		15.03	6	SS 30P	0.345	29.00	2.03	26.33		22.66
7	SS 600	0.402	21.12	6.49	16.10		15.99	8	SS 60P	0.341	28.77	6.50	20.33		22.36
9	SS 900	0.422	21.78	7.40	16.00		16.77	10	SS 90P	0.465	44.40	5.16	37.61		30.54
11	HS 900	0.532	31.77	7.63	25.80	12.70	21.16	12	HS 90P	0.545	44.93	3.78	40.00	25.40	35.74
13	HS1200	0.583	39.75	11.94	30.43		23.17	14	HS120P	0.488	50.86	7.14	41.61		32.01
15	KS 900	0.500	30.31	9.11	26.53	11.20	19.87	16	KS 90P	0.487	42.44	1.57	40.33	22.40	31.94
17	KS1200	0.548	34.69	9.11	27.53		21.78	18	KS120P	0.527	41.23	2.54	37.94		34.58

3.8. 集成材試験結果を用いた CLT の支圧強度の推定

3.6 項で述べたとおり集成材の繊維方向試験では変位 5 mm まで、繊維直交方向では変位 15 mm までの終局耐力を CLT の平行層と直交層の断面積の比率に応じて、単純に両者を足し合わせて算出した。

結果は表 3.8-1 に示すとおりである。計算値は実験値よりやや安全側となった。

荷重変位関係の特色が異なるもの同士を足し合わせる場合には、同一変位毎に荷重を足し合わせてできた包絡線から終局耐力を求めたり、終局耐力が高い側のデータに終局変位にもう一方のデータの同一変位時の耐力を足し合わせる等の方法が正しいが、ここでは単純な方法で推測できないかを検証している。

表 3.8-1 集成材試験結果から求めた CLT の支圧強度の推定結果

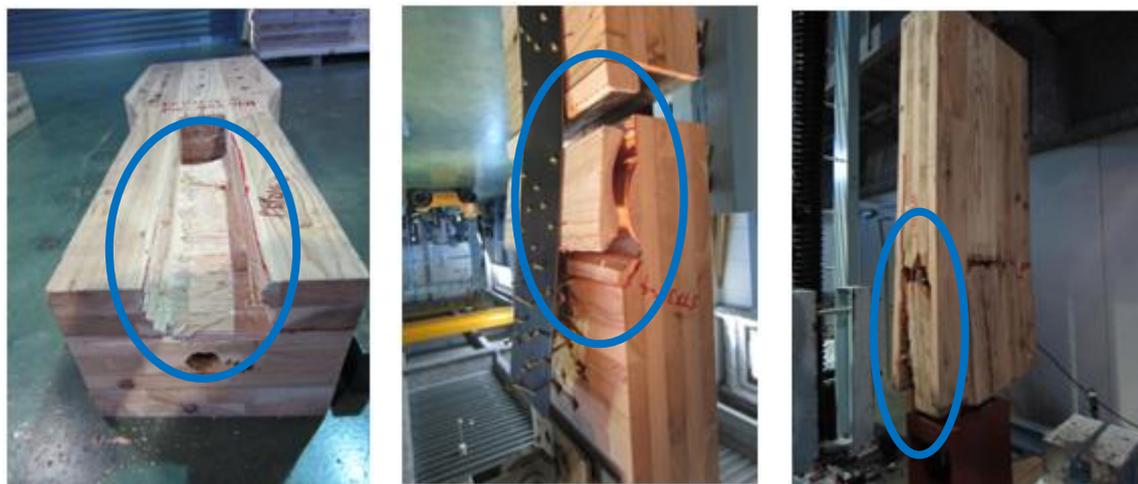
CLTの種類			平均値(N/mm ²)			5%下限値(N/mm ²)		
			実験値	計算値	計算値/ 実験値	実験値	計算値	計算値/ 実験値
スギ	強軸	CSM 60S	27.1	24.9	0.92	24.5	19.1	0.78
	弱軸	CSM 60W	26.0	23.9	0.92	22.9	19.8	0.87
ヒノキ	強軸	CHS 90S	44.7	39.7	0.89	38.7	34.3	0.89
	弱軸	CHS 90W	41.4	37.0	0.89	36.7	31.5	0.86
カラマツ	強軸	CKS 90S	41.4	37.6	0.91	36.7	34.8	0.95
	弱軸	CKS 90W	41.1	35.2	0.86	36.7	32.1	0.87

4. ローリングシア試験

4.1. 試験の目的

CLT 接合部の破壊性状は、ビスやドリフトピン等の接合具での破壊を除くと、ローリングシア破壊（ラミナ相互の積層接着部分のせん断破壊）が比較的多く見られる(写真 4.1-1)。

しかしながらローリングシア強度については、告示等の基準強度に定められていないため、実験によって明らかにすることとした。



<引きボルト接合>

<鋼板添板ビス接合>

<GIR 接合>

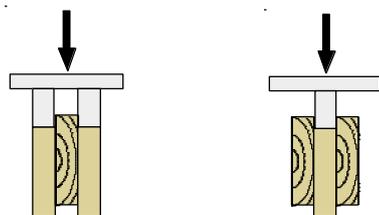
写真 4.1-1 CLT 接合部におけるローリングシア破壊の例

4.2. 試験体の概要

(1)試験体の種類

表 4.2-1 にローリングシア試験の種類を示す。試験体の樹種は、トドマツ、スギ、カラマツ、ヒノキの 4 種類とし、樹種ごとに入手可能な JAS の等級の 3 層 3 プライの CLT 材とした。構成方法はヤング係数による違いを明確にするため、B 種構成とした。

試験の種類は樹種や等級の他、加力を行う層の違い（外層・内層）をパラメータとした(図 4.2-1)。



外層加力（面外拘束なし） 内層加力（面外拘束あり）

図 4.2-1 外層加力試験と内層加力試験

表 4.2-1 ローリングシア試験の種類

番号	試験体シリーズ名	樹種	等級	構成方法	加力する層	試験体数
1	TS60BS	トドマツ	S60-3-3	B種	外層	6
2	TS60BW				内層	6
3	TS90BS		S90-3-3		外層	6
4	TS90BW	内層			6	
5	SS30BS	スギ	S30-3-3		外層	6
6	SS30BW				内層	6
7	SS60BS		S60-3-3		外層	6
8	SS60BW				内層	6
9	SS90BS	S90-3-3	外層		6	
10	SS90BW		内層		6	
11	KS90BS	カラマツ	S90-3-3		外層	6
12	KS90BW				内層	6
13	KS120BS		S120-3-3	外層	6	
14	KS120BW	内層		6		
15	HS90BS	ヒノキ	S90-3-3	外層	6	
16	HS90BW			内層	6	
17	HS120BS		S120-3-3	外層	6	
18	HS120BW			内層	6	
合計						108

表 4.2-2 にローリングシア試験の密度及び含水率測定の結果を示す。

表 4.2-2 ローリングシア試験の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
1	TS60BS	1	0.36 11.0
		2	0.37 11.0
		3	0.37 11.5
		4	0.38 11.5
		5	0.38 11.5
		6	0.38 11.5
		平均	0.37 11.3
2	TS60BW	1	0.37 10.0
		2	0.37 11.0
		3	0.38 10.5
		4	0.38 10.5
		5	0.39 11.5
		6	0.40 10.5
		平均	0.38 10.7
3	TS90BS	1	0.38 12.0
		2	0.39 12.0
		3	0.39 13.0
		4	0.40 12.5
		5	0.40 13.0
		6	0.41 12.0
		平均	0.40 12.4
4	TS90BW	1	0.42 13.0
		2	0.42 13.5
		3	0.42 13.5
		4	0.42 14.0
		5	0.42 13.5
		6	0.42 14.5
		平均	0.42 13.7
5	SS30BS	1	0.34 9.0
		2	0.35 9.5
		3	0.37 9.5
		4	0.37 9.5
		5	0.38 10.5
		6	0.39 9.5
		平均	0.37 9.6
6	SS30BW	1	0.37 10.0
		2	0.38 8.5
		3	0.38 9.5
		4	0.38 9.0
		5	0.38 11.0
		6	0.39 11.0
		平均	0.38 9.8

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
7	SS60BS	1	0.40 9.0
		2	0.40 9.0
		3	0.40 9.5
		4	0.41 9.5
		5	0.42 9.0
		6	0.43 9.5
		平均	0.41 9.3
8	SS60BW	1	0.38 8.5
		2	0.39 9.0
		3	0.39 9.5
		4	0.40 9.0
		5	0.39 9.5
		6	0.42 10.5
		平均	0.40 9.3
9	SS90BS	1	0.42 11.0
		2	0.43 10.5
		3	0.43 12.0
		4	0.43 11.5
		5	0.44 10.5
		6	0.44 11.5
		平均	0.43 11.2
10	SS90BW	1	0.41 10.5
		2	0.41 10.0
		3	0.41 10.5
		4	0.42 10.5
		5	0.41 10.0
		6	0.44 11.5
		平均	0.42 10.5
11	KS90BS	1	0.50 11.0
		2	0.50 11.0
		3	0.51 12.0
		4	0.51 11.0
		5	0.52 11.0
		6	0.52 10.5
		平均	0.51 11.1
12	KS90BW	1	0.50 9.5
		2	0.50 10.0
		3	0.51 10.0
		4	0.51 10.5
		5	0.53 10.0
		6	0.53 10.0
		平均	0.51 10.0

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
13	KS120BS	1	0.58 12.5
		2	0.58 13.5
		3	0.59 14.0
		4	0.59 12.5
		5	0.60 13.0
		6	0.61 13.0
		平均	0.59 13.1
14	KS120BW	1	0.56 11.5
		2	0.57 11.5
		3	0.57 13.5
		4	0.58 15.0
		5	0.62 12.5
		6	0.62 17.5
		平均	0.59 13.6
15	HS90BS	1	0.48 14.0
		2	0.47 13.5
		3	0.47 13.5
		4	0.48 14.5
		5	0.49 15.5
		6	0.49 13.5
		平均	0.48 14.1
16	HS90BW	1	0.48 15.5
		2	0.48 13.5
		3	0.47 14.0
		4	0.49 17.5
		5	0.50 13.5
		6	0.52 16.0
		平均	0.49 15.0
17	HS120BS	1	0.50 16.0
		2	0.52 19.0
		3	0.52 15.0
		4	0.53 16.0
		5	0.56 16.5
		6	0.58 18.0
		平均	0.53 16.8
18	HS120BW	1	0.49 15.0
		2	0.51 16.5
		3	0.54 16.5
		4	0.54 16.0
		5	0.54 18.5
		6	0.55 17.0
		平均	0.53 16.6

(2) 試験体の仕様

試験体の仕様を図 4.2-2 に示す。

試験体は各試験体シリーズごとに 11 体用意し、この中からなるべく木材の欠点や節等の影響を少ないと思われる試験体を 6 体ずつ選定した。

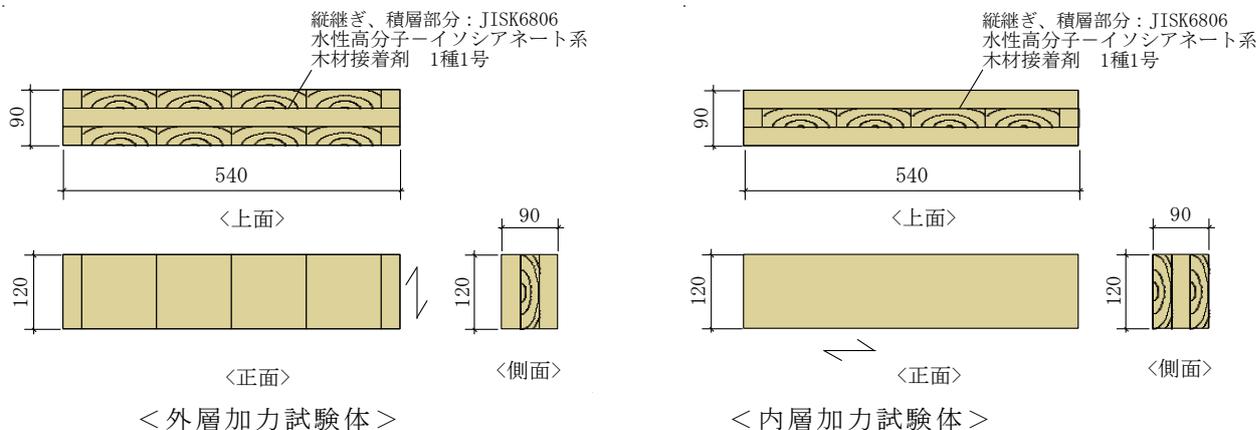


図 4.2-2 試験体の加工図

(3) 試験治具の仕様

試験治具の仕様を図 4.2-3 に示す。なお、外層加力試験体のために 2 つの押し抜き用あて板をボルトで連結する予定だったが、実際の試験では連結しなくとも支障は無かったためボルト穴は使わなかった。

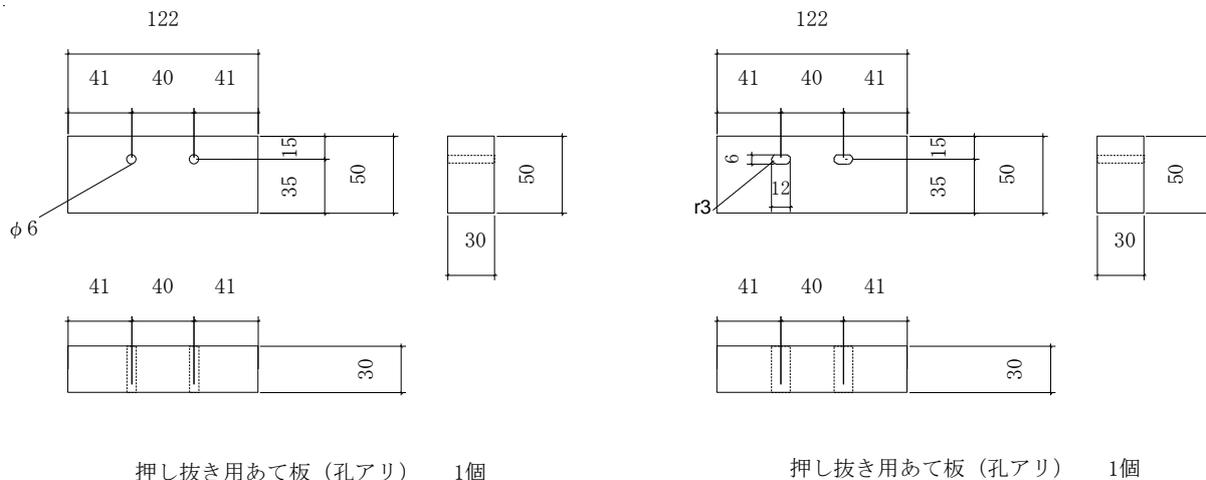


図 4.2-3 試験治具の加工図

4.3. 試験方法

試験方法は図 4.3-1、写真 4.3-1～写真 4.3-2 のとおり押し抜き用あて板を加力するラミナの上に置き、あて板を加力することによって CLT ラミナを押し出し、積層面にせん断力を生じさせる試験方法とした。

加力方法は単調加力とし、最大荷重の 80% 以下になるまで加力を行った。変位の測定は、あて板と木材側面間の変位を表裏で測定した。

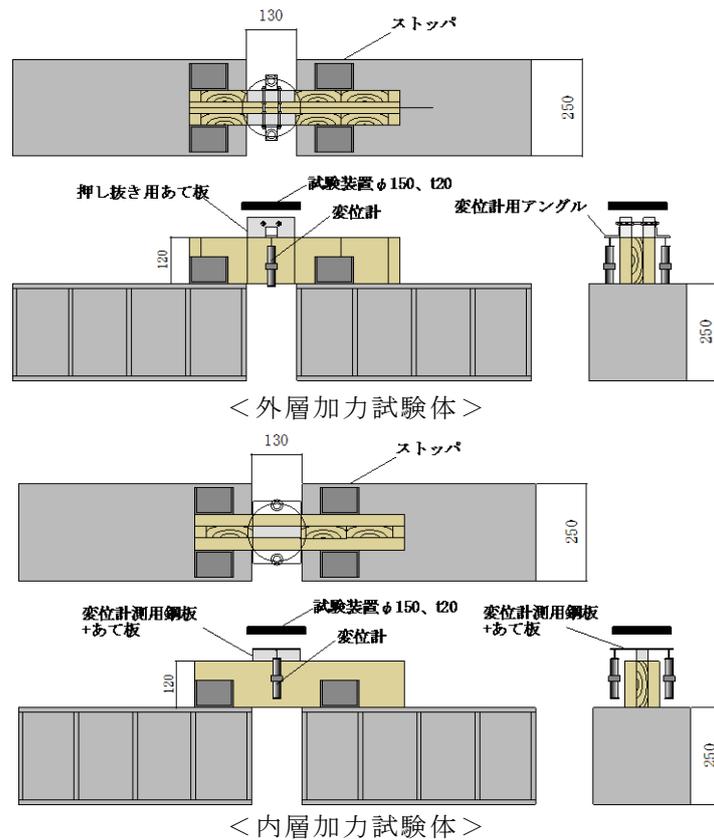


図 4.3-1 試験方法



写真 4.3-1 外層加力試験体



写真 4.3-2 内層加力試験体

4.4. 試験結果と考察

図 4.4-1～図 4.4-8 に荷重変形曲線を、写真 4.4-1～写真 4.4-44 に試験の様子及び破壊性状を、表 4.4-1～表 4.4-2 に各試験体の最大荷重およびローリングシア強度を、表 4.4-3 にローリングシア強度をまとめたものを示す。

どの樹種も等級の違いによる耐力の違いはあまり見られなかった。

内層加力と外層加力の違いが最大耐力に及ぼす影響について、試験前の予想では内層加力より外層加力の方が面外方向へ剥がれるようにせん断するため、最大耐力がやや低い値となると考えていたが、平均値の比較では差が見られなかった。結果からはむしろ密度の方に影響を受けているように見受けられた(表 4.4-3)。

しかしながら、面外拘束されていない外層加力試験体は面外に剥がれるように破壊するため、面外拘束されている内層加力試験体に比べ、最大耐力のばらつきが大きくなる試験体も多かった。結果的に 5% 下限値を比較すると試験体 SS60BS 以外は外層加力試験の方が、強度が低くなることとなった。また、前述のような壊れ方であるため、外層加力試験体の荷重変位曲線は最大荷重後、緩やかに荷重が低下する傾向を示した(図 4.4-1～図 4.4-8)。

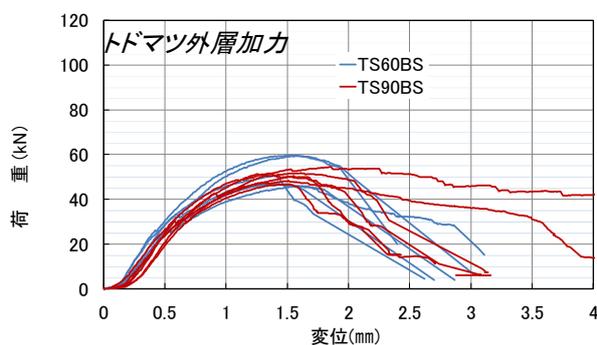


図 4.4-1 トドマツ 外層加力の P δ 曲線

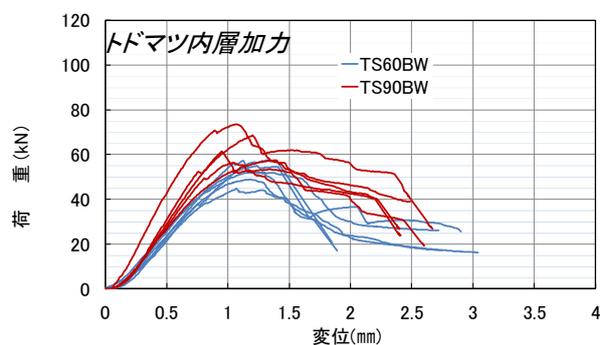


図 4.4-2 トドマツ 内層加力の P δ 曲線

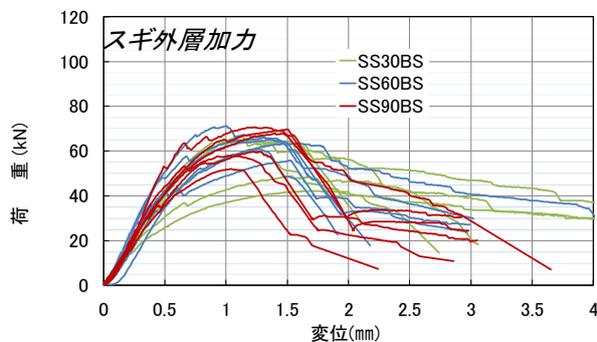


図 4.4-3 スギ 外層加力の P δ 曲線

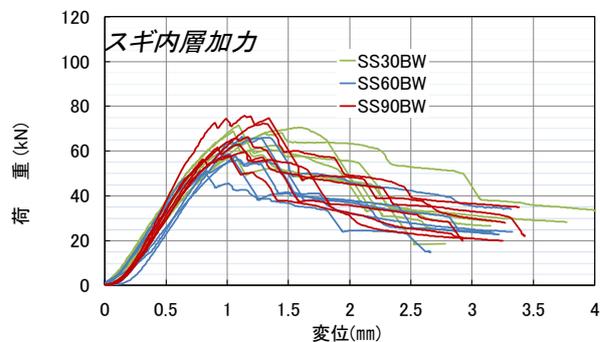


図 4.4-4 スギ 内層加力の P δ 曲線

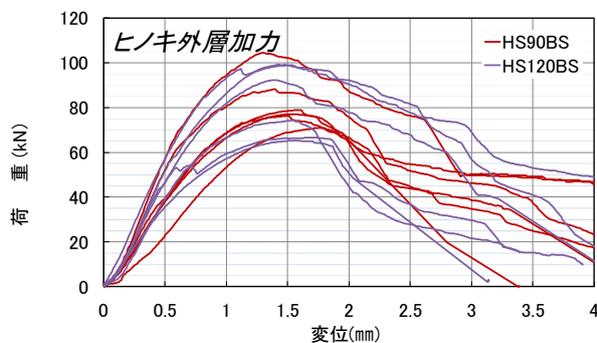


図 4.4-5 ヒノキ 外層加力の P δ 曲線

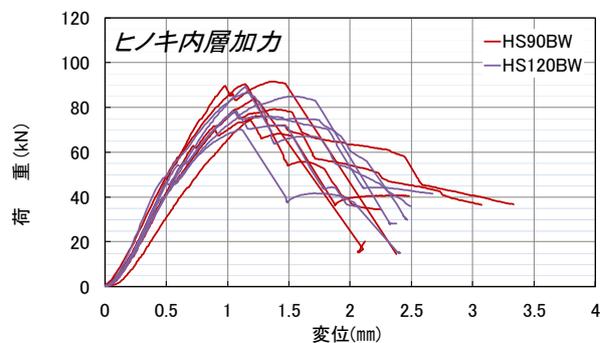


図 4.4-6 ヒノキ 内層加力の P δ 曲線

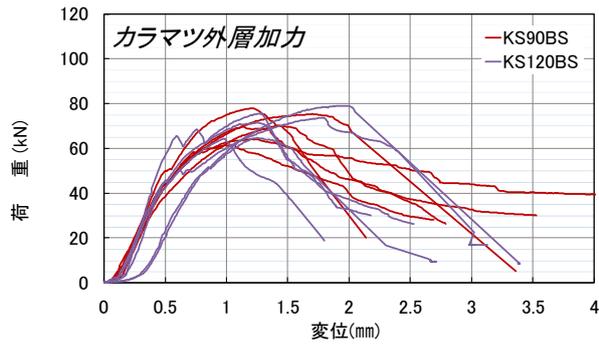


図 4.4-7 カラマツ 外層加力の P δ 曲線

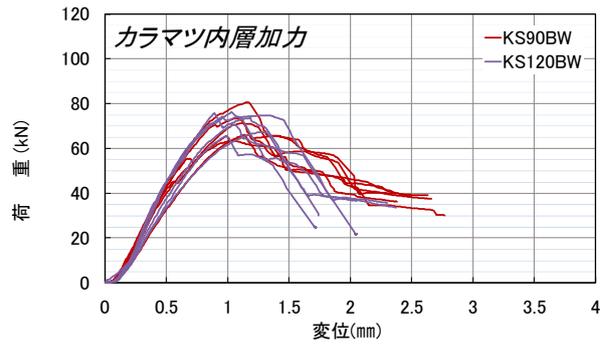


図 4.4-8 カラマツ 内層加力の P δ 曲線



写真 4.4-1 外層加力試験の実験の様子



写真 4.4-2 外層加力試験の実験の様子

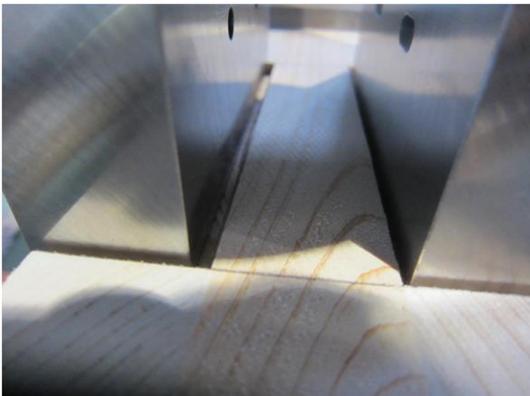


写真 4.4-3 外層加力試験 あて板付近



写真 4.4-4 外層加力試験 試験体底部



写真 4.4-5 外層加力試験 試験後の様子



写真 4.4-6 外層加力試験 試験後の様子



写真 4.4-5 TS60BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-6 TS60BS-6 試験後の接着面

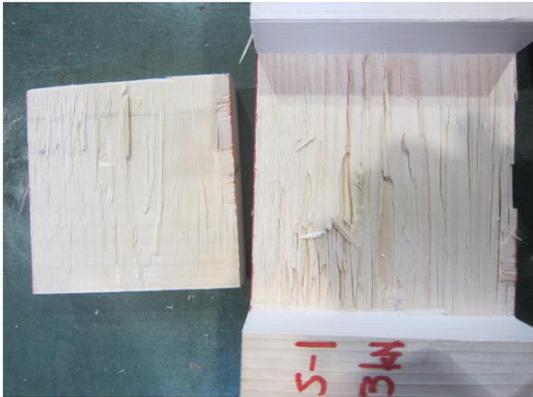


写真 4.4-7 TS90BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-8 TS90BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-9 SS30BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-10 SS30BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-11 SS60BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-12 SS60BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-13 SS90BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-14 SS90BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-15 HS90BS-1 試験後の接着面

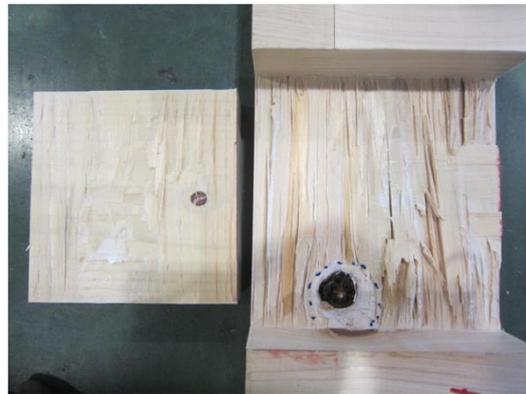


写真 4.4-16 HS90BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-17 HS120BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-18 HS120BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-19 KS90BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-20 KS90BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-21 KS120BS-1 試験後の接着面



写真 4.4-22 KS120BS-6 試験後の接着面



写真 4.4-23 内層加力試験の実験の様子

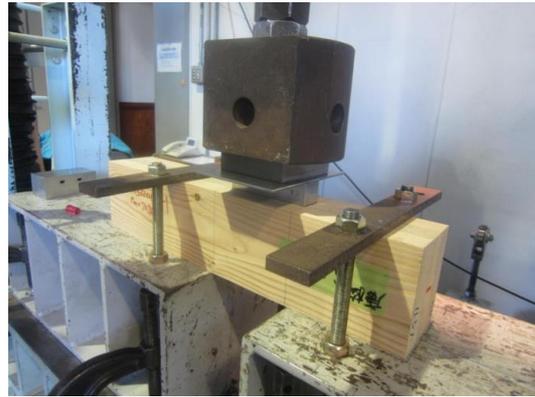


写真 4.4-24 内層加力試験の実験の様子



写真 4.4-25 内層加力試験の実験の様子



写真 4.4-26 内層加力試験 試験後の加圧面



写真 4.4-27 TS60BW-1 試験後の接着面



写真 4.4-28 TS60BW-6 試験後の接着面

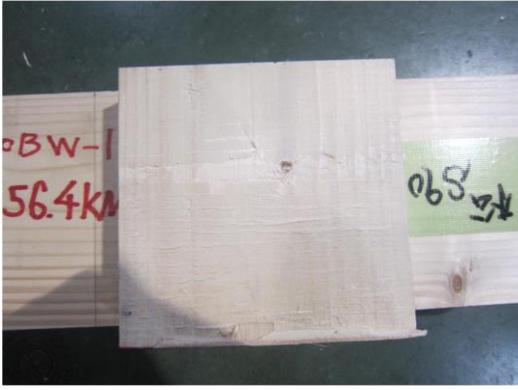


写真 4.4-29 TS90BW-1 試験後の接着面

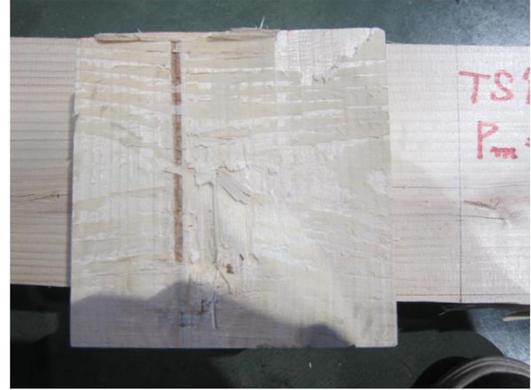


写真 4.4-30 TS90BW-6 試験後の接着面

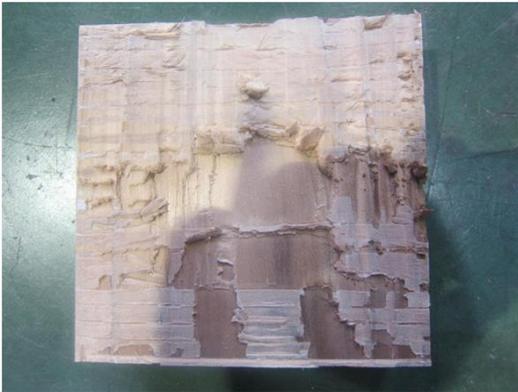


写真 4.4-31 SS30BW-1 試験後の接着面

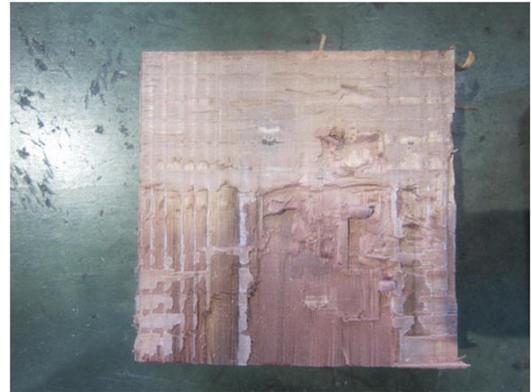


写真 4.4-32 SS30BW-6 試験後の接着面



写真 4.4-33 SS60BW-1 試験後の接着面



写真 4.4-34 SS60BW-6 試験後の接着面

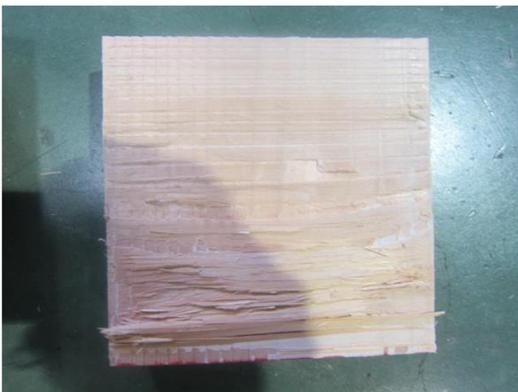


写真 4.4-35 SS90BW-1 試験後の接着面



写真 4.4-36 SS90BW-6 試験後の接着面

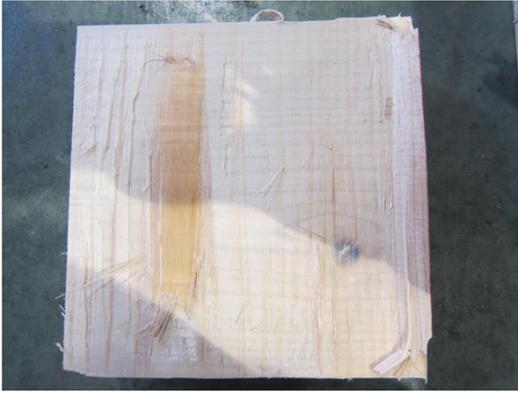


写真 4.4-37 HS90BW-3 試験後の接着面

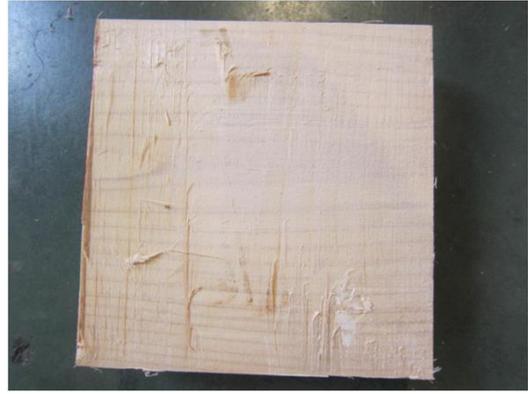


写真 4.4-38 HS90BW-6 試験後の接着面

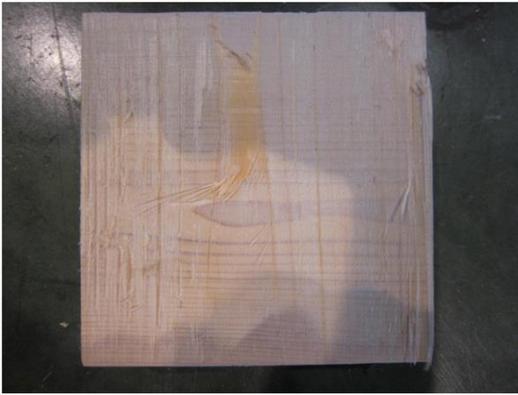


写真 4.4-39 HS120BW-1 試験後の接着面

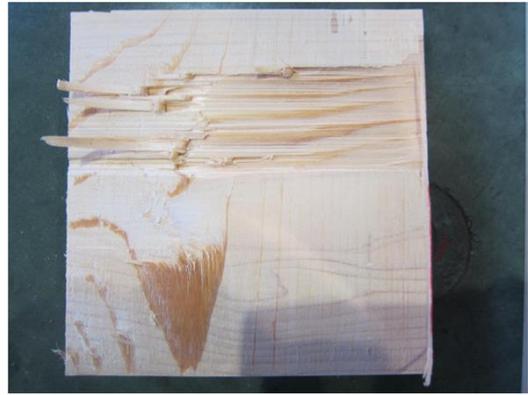


写真 4.4-40 HS120BW-5 試験後の接着面



写真 4.4-41 KS90BW-1 試験後の接着面



写真 4.4-42 KS90BW-6 試験後の接着面



写真 4.4-43 KS120BW-1 試験後の接着面



写真 4.4-44 KS120BW-6 試験後の接着面

表 4.4-1 外層加力試験の各試験体の最大荷重およびローリングシア強度

	トドマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ
S30	SS30BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	42.2	1.44	
	2	48.8	1.67	
	3	60.5	2.07	
	4	66.5	2.27	
	5	66.2	2.26	
	6	64.9	2.22	
	ave	58.2	1.99	
	標準偏差	10.27		
	変動係数	0.177		
ばらつき係	0.588			
5%下限値	34.00	1.16		
		2.336		
S60	TS60BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	47.1	1.61	
	2	46.0	1.57	
	3	46.8	1.60	
	4	59.3	2.03	
	5	59.7	2.04	
	6	50.5	1.72	
	ave	51.6	1.76	
	標準偏差	6.34		
	変動係数	0.123		
ばらつき係	0.713			
5%下限値	36.00	1.23		
		2.336		
S60	SS60BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	55.7	1.90	
	2	66.0	2.25	
	3	65.0	2.22	
	4	63.5	2.17	
	5	60.8	2.08	
	6	71.2	2.43	
	ave	63.7	2.18	
	標準偏差	5.21		
	変動係数	0.082		
ばらつき係	0.809			
5%下限値	51.00	1.74		
		2.336		
S90	TS90BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	48.3	1.65	
	2	46.6	1.59	
	3	51.6	1.76	
	4	51.7	1.77	
	5	50.0	1.71	
	6	54.4	1.86	
	ave	50.4	1.72	
	標準偏差	2.76		
	変動係数	0.055		
ばらつき係	0.872			
5%下限値	43.00	1.47		
		2.336		
S90	SS90BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	58.0	1.98	
	2	69.6	2.38	
	3	59.7	2.04	
	4	52.0	1.78	
	5	70.7	2.41	
	6	67.8	2.32	
	ave	63.0	2.15	
	標準偏差	7.52		
	変動係数	0.119		
ばらつき係	0.721			
5%下限値	45.00	1.54		
		2.336		
S90	HS90BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	71.1	2.43	
	2	78.9	2.69	
	3	77.2	2.64	
	4	88.4	3.02	
	5	104.6	3.57	
	6	76.4	2.61	
	ave	82.8	2.83	
	標準偏差	12.09		
	変動係数	0.146		
ばらつき係	0.659			
5%下限値	54.00	1.84		
		2.336		
S90	KS90BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	64.1	2.19	
	2	69.7	2.38	
	3	61.6	2.10	
	4	70.3	2.40	
	5	75.4	2.58	
	6	77.9	2.66	
	ave	69.8	2.39	
	標準偏差	6.28		
	変動係数	0.090		
ばらつき係	0.790			
5%下限値	55.00	1.88		
		2.336		
S120	HS120BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	66.7	2.28	
	2	65.4	2.23	
	3	99.2	3.39	
	4	74.3	2.54	
	5	92.2	3.15	
	6	99.0	3.38	
	ave	82.8	2.83	
	標準偏差	15.84		
	変動係数	0.191		
ばらつき係	0.553			
5%下限値	45.00	1.54		
		2.336		
S120	KS120BS			
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	
	1	64.7	2.21	
	2	71.4	2.44	
	3	79.0	2.70	
	4	75.7	2.59	
	5	73.6	2.51	
	6	64.2	2.19	
	ave	71.4	2.44	
	標準偏差	5.96		
	変動係数	0.083		
ばらつき係	0.805			
5%下限値	57.00	1.95		
		2.336		

表 4.4-2 内層加力試験の各試験体の最大荷重およびローリングシア強度

	トドマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ								
S30		SS30BW										
		試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)								
		1	58.2	1.99								
		2	70.5	2.41								
		3	63.8	2.18								
		4	68.7	2.35								
		5	68.2	2.33								
		6	71.5	2.44								
		ave	66.8	2.28								
		標準偏差	4.99									
		変動係数	0.075									
		ばらつき係	0.826									
	5%下限値	55.00	1.88									
		2.336										
S60	TS60BW	SS60BW										
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)						
	1	48.8	1.67	1	58.6	2.00						
	2.	52.2	1.78	2	50.0	1.71						
	3	57.6	1.97	3	56.2	1.92						
	4	44.8	1.53	4.	57.7	1.97						
	5..	57.1	1.95	5..	70.0	2.39						
	6	54.9	1.88	6	66.0	2.25						
	ave	52.6	1.80	ave	59.8	2.04						
	標準偏差	5.02		標準偏差	7.17							
	変動係数	0.095		変動係数	0.120							
	ばらつき係	0.777		ばらつき係	0.720							
5%下限値	40.00	1.37	5%下限値	42.00	1.43							
	2.336			2.336								
S90	TS90BW	SS90BW	HS90BW	KS90BW								
	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)			
	1	56.4	1.93	1	59.8	2.04	1.	79.2	2.70	1	66.2	2.26
	2	61.3	2.09	2	58.1	1.98	2...	76.3	2.61	2	71.2	2.43
	3	63.8	2.18	3	62.9	2.15	3	90.5	3.09	3.	73.5	2.51
	4	52.9	1.81	4	75.8	2.59	4	83.7	2.86	4	80.6	2.75
	5	68.6	2.34	5.	74.7	2.55	5	91.7	3.13	5	66.1	2.26
	6.	60.7	2.07	6	66.3	2.26	6	74.8	2.55	6.	63.6	2.17
	ave	60.6	2.07	ave	66.3	2.26	ave	82.7	2.82	ave	70.2	2.40
	標準偏差	5.51		標準偏差	7.51		標準偏差	7.19		標準偏差	6.27	
	変動係数	0.091		変動係数	0.113		変動係数	0.087		変動係数	0.089	
	ばらつき係	0.788		ばらつき係	0.735		ばらつき係	0.797		ばらつき係	0.791	
5%下限値	47.00	1.61	5%下限値	48.00	1.64	5%下限値	65.00	2.22	5%下限値	55.00	1.88	
	2.336			2.336			2.336			2.336		
S120			HS120BW	KS120BW								
			試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)	試験体番号	Pmax (kN)	強度 (N/mm ²)				
			1	76.0	2.60	1	70.7	2.41				
			2	84.8	2.90	2.	74.8	2.55				
			3	86.5	2.95	3.	76.2	2.60				
			4	78.6	2.68	4	75.9	2.59				
			5	89.5	3.06	5	65.7	2.24				
			6	70.2	2.40	6.	67.3	2.30				
			ave	80.9	2.76	ave	71.8	2.45				
			標準偏差	7.27		標準偏差	4.56					
			変動係数	0.090		変動係数	0.063					
			ばらつき係	0.790		ばらつき係	0.852					
		5%下限値	63.00	2.15	5%下限値	61.00	2.08					
			2.336			2.336						

表 4.4-3 ローリングシア強度のまとめ表

番号	試験体名	外層加力				内層加力					
		密度平均 (g/cm ³)	ローリングシア強度			密度平均 (g/cm ³)	ローリングシア強度				
			平均	標準 偏差	5%下 限值		平均	標準 偏差	5%下 限值		
1	TS60BS	0.372	1.76	6.34	1.23	2	TS60BW	0.380	1.80	5.02	1.37
3	TS90BS	0.398	1.72	2.76	1.47	4	TS90BW	0.421	2.07	5.51	1.61
5	SS30BS	0.368	1.99	10.27	1.16	6	SS30BW	0.379	2.28	4.99	1.88
7	SS60BS	0.409	2.18	5.21	1.74	8	SS60BW	0.395	2.04	7.17	1.43
9	SS90BS	0.430	2.15	7.52	1.54	10	SS90BW	0.416	2.26	7.51	1.64
11	KS90BS	0.508	2.39	5.96	1.88	12	KS90BW	0.510	2.40	6.27	1.88
13	KS120BS	0.587	2.44	5.96	1.95	14	KS120BW	0.583	2.45	4.56	2.08
15	HS90BS	0.478	2.83	12.09	1.84	16	HS90BW	0.490	2.82	7.19	2.22
17	HS120BS	0.534	2.83	15.84	1.54	18	HS120BW	0.529	2.76	7.27	2.15

4.5. 除外した試験体について

本試験では 4.2 項で述べたとおり欠点等を含む試験体は試験結果から除外した。これらのうち、接着剤が塗布されていない部分が見受けられた試験体や、接着剤が積層面からはみ出してラミナ側面部（幅はぎ部分）に付着した試験体は結果に大きな影響を及ぼす結果となった。一方、積層接着面に節を含む試験体はその部分が木破ではなく接着剤での破壊であったものの、最大耐力は健全な試験体と変わらない結果となった。

欠点等を含む試験体は下記のとおりである。

- ・大きな接着不良（写真 2-1）
- ・ラミナの幅方向に接着剤が多くはみ出しているもの（写真 2-2）
- ・接着剤塗布時の不良により接着剤が塗布されていないもの（写真 2-3）
- ・節等の影響が大きいと思われるもの（写真 2-4）

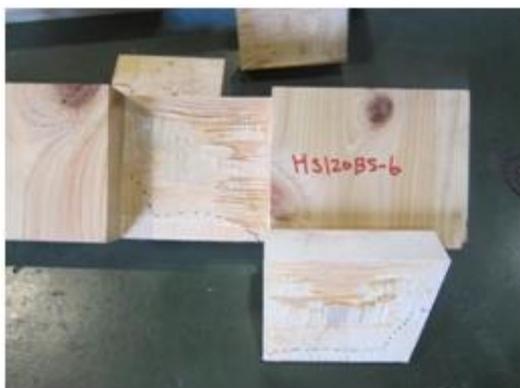


写真 4.5-1 大きな接着不良



写真 4.5-2 幅方向の接着



写真 4.5-3 接着塗布時の不良



写真 4.5-4 節等の影響

4.6. ヤング係数及び密度との関係

ローリングシア強度とヤング係数及び密度との関係を図 4.5-1～図 4.5-8 に示す。なおドリフトピンの支圧試験と同じく、密度については個体別に重量から算出しているが、ヤング係数については個体別の測定値ではなく、ラミナの等級別に分けている。グラフの x 軸の値は JAS 規格に定める曲げヤング係数基準の平均値を示している。

結果から、ヤング係数及び密度共にローリングシア強度と比例関係にあることが分かった。樹種の違いもローリングシア強度に影響を及ぼしており、同じヤング係数や密度であっても樹種が違えばローリングシア強度の値が異なることが分かった。詳細は以下のとおりである。

- ・ヤング係数の影響については、同じ等級であってもトドマツやカラマツは低め、ヒノキは高めの値となった。
- ・密度の影響については、カラマツよりヒノキの方が高くなる結果となった。

また、前述のとおりヤング係数は等級別の平均の基準値を示したものであるため、ヤング係数の公差によっては、異なる等級であっても結果に差が出ない場合もある。スギ S30B については S60B と同じヤング係数の材料が多く含まれている可能性もあるため、両者はあまり比例していないものと思われる。

なお、ローリングシアの類似の試験として石原ら³⁾が行ったねじりせん断試験があるが、本報の試験結果を平均値で比較するとトドマツは 0.59 倍、スギは 0.71 倍、カラマツは 0.50 倍、ヒノキは 0.46 倍と低い値となった。したがって設計にローリングシア強度を用いる場合には応力の向きに応じて使い分けが必要となることが分かった。

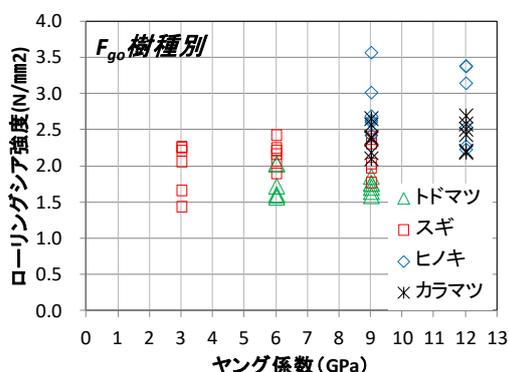


図 4.5-1 外層加力試験体におけるローリングシア強度とヤング係数の関係

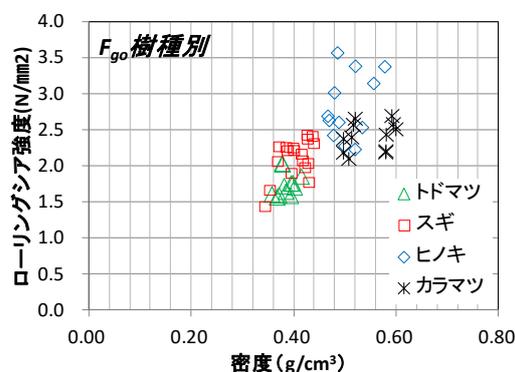


図 4.5-2 外層加力試験体におけるローリングシア強度と密度の関係

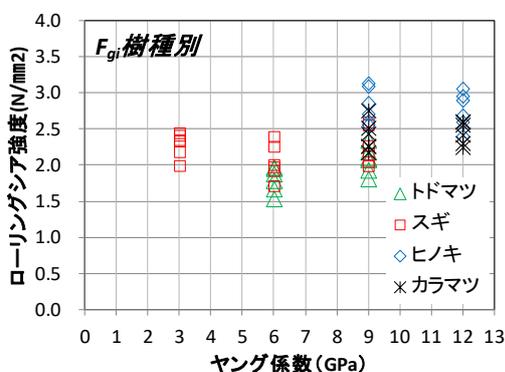


図 4.5-3 内層加力試験体におけるローリングシア強度とヤング係数の関係

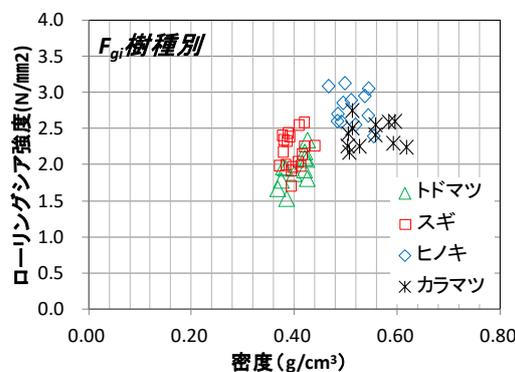


図 4.5-4 内層加力試験体におけるローリングシア強度と密度の関係

4.7. マニュアルに掲載するローリングシア強度の提案について

現在、CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル⁴⁾では、表4.7-1に示すとおり、ローリングシア強度が定められている。これはスギの実験結果から求めたものであり、ヒノキやカラマツに適用させた場合に安全側、トドマツに適用させた場合は危険側になる可能性がある。したがって本項では掲載値についての検討を行った。

前述のマニュアル⁴⁾に掲載されたスギのローリングシア強度は、外層加力の強度より、内層加力の強度が高い数値となっている。一方、本試験では表4.4-3より、ローリングシア強度の外層加力及び内層加力の平均値を比較すると必ずしも内層加力の値が高いわけではないことが分かった。内層加力と外層加力の強度の差と密度の差をグラフにすると表4.7-2のとおりとなり、むしろ密度の方に相関があることが分かる。しかしながら、内層加力より外層加力の方がばらつきが大きいいため、5%下限値を比較すると内層加力の方が高い結果となる。

以上を踏まえて、表4.7-2の決定方法その1～その3とおり、設計で使うローリングシア強度の提案を行った。表中の赤字部分が提案する値である。

表 4.7-1 CLT を用いた設計施工マニュアル表 9.4.2-1 からの抜粋

項目		記号	値	備考
ラミナの引張強度 (N/mm ²)	等級区分機・M60A、M60Bまたは同等以上	F_t	12.0	第IV部第1章1.2.2表1.2-4及び表1.2-5に示すラミナの引張り強度に0.75を乗じたもの
	等級区分機・M30A、M30Bまたは同等以上		8.6	
	目視・一等		15.0	
	目視・二等		9.4	
内層積層接着層のせん断強度(N/mm ²)		F_{gi}	1.37	文献 ⁷⁾ より、せん断要素試験の平均値に0.75を乗じたもの
外層積層接着層のせん断強度(N/mm ²)		F_{go}	1.15	文献 ⁷⁾ より、せん断要素試験の平均値に0.75を乗じたもの

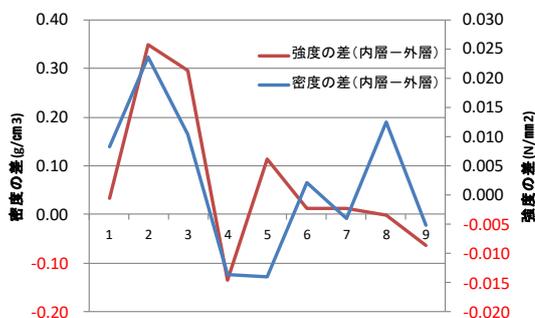


図 4.7-2 強度と密度の相関性

表 4.7-2 ローリングシア強度の提案

番号	試験体名	外層加力							内層加力								
		密度平均 (g/cm ³)	決定方法その1 (N/mm ²)			決定方法その2 (N/mm ²)		決定方法その3 (N/mm ²)	番号	試験体名	密度平均 (g/cm ³)	決定方法その1 (N/mm ²)			決定方法その2 (N/mm ²)		決定方法その3 (N/mm ²)
			平均	標準偏差	5%下限値	樹種毎の平均	平均×0.75					平均	標準偏差	5%下限値	樹種毎の平均	平均×0.75	
1	TS60BS	0.372	1.76	6.34	1.23	1.74	1.31	1.37	2	TS60BW	0.380	1.80	5.02	1.37	1.93	1.45	1.41
3	TS90BS	0.398	1.72	2.76	1.47	2.10	1.58	1.47	4	TS90BW	0.421	2.07	5.51	1.61	2.20	1.65	1.63
5	SS30BS	0.368	1.99	10.27	1.16				6	SS30BW	0.379	2.28	4.99	1.88			
7	SS60BS	0.409	2.18	5.21	1.74	2.41	1.81	1.76	8	SS60BW	0.395	2.04	7.17	1.43	2.42	1.82	2.24
9	SS90BS	0.430	2.15	7.52	1.54				10	SS90BW	0.416	2.26	7.51	1.64			
11	KS90BS	0.508	2.39	5.96	1.88	2.83	2.12	1.91	12	KS90BW	0.510	2.40	6.27	1.88	2.79	2.10	2.00
13	KS120BS	0.587	2.44	5.96	1.95				14	KS120BW	0.583	2.45	4.56	2.08			
15	HS90BS	0.478	2.83	12.09	1.84	2.83	2.12	1.91	16	HS90BW	0.490	2.82	7.19	2.22	2.79	2.10	2.00
17	HS120BS	0.534	2.83	15.84	1.54				18	HS120BW	0.529	2.76	7.27	2.15			

※T：トドマツ、S：スギ、K：カラマツ、H：ヒノキ

5. 引きボルト接合部の引張試験

5.1. 試験の目的

引きボルト接合部は、CLT を現しで用いた場合に角穴及び座金が外部に露出してしまうため、CLT を現しで使用する場合に金物が露出してしまいが、金物費が安価という大きなメリットがある。特に中層建築物においては防耐火対策として石膏ボードや燃えしろで構造部分が被覆されるということもあるため、前述のデメリットは無いに等しい。

当該試験では、中層建築物の接合方法として高耐力の引きボルト接合部の開発を行う。

5.2. 試験の概要

試験は、木部で先行破壊させる試験とし、文献 4)に基づいて木部の終局耐力と ABR の判定用終局耐力を比較することで接合部の性能を決定するものとする。

(1)試験体の種類

表 5.2-1、表 5.2-2 に試験の種類を、図 5.2-1～図 5.2-4 に試験体図を、密度及び含水率の測定結果を表 5.2-3 に示す。試験は一次試験と、一次試験の結果から改善を行った二次試験の 2 種類とする。

試験体は、表 5.2-1、表 5.2-2 に示すとおり樹種をスギ、カラマツ、ヒノキの 3 種類とし、樹種ごとに最もよく使われる等級の中で安全側となるものを選択した。層の構成は 5 層 7 プライ及び 7 層 7 プライとし、構成方法は A 種構成、幅はぎ部分の接着なしとした。

接合部の仕様は、木部で先行破壊せしめるため、M33 の強度性能 12.9 又は 10.9(12T 又は 10T)のボルト・ナットを使用し、角孔の端距離を 400 mm、ボルトの縁距離を 150 mm 又は 205 mm とした。また、プレカット加工の都合上、角孔の四隅は直角に切り落とさない方がよいとのことから、φ25 の直径に合わせた端部形状の試験体を 1 シリーズ追加した。

含水率計は、No.1,4,5,8 については (株)ケット科学研究所の HM-520、No.2,3,6,7,9 については (株)ケット科学研究所の MT-900 を使用した。

表 5.2-1 引きボルト接合一次試験

番号	試験体名	樹種	等級	構成方法	ボルトの縁距離	角孔の端部	試験体数
1	SM6057R	スギ	Mx60-5-7	A種	150	R25	6
2	HS9057	ヒノキ	S90-5-7	A種	150	直角	6
3	KS9057	カラマツ	S90-5-7	A種	150	直角	6
4	SM6077	スギ	Mx60-7-7	A種	150	直角	6
5	SM6077R	スギ	Mx60-7-7	A種	150	R25	6
6	HS9077	ヒノキ	S90-7-7	A種	150	直角	6
7	KS9077	カラマツ	S90-7-7	A種	150	直角	6
合計							42

表 5.2-2 引きボルト接合二次試験

番号	試験体名	樹種	等級	構成方法	ボルトの縁距離	角孔の端部	試験体数
8	SM6077W	スギ	Mx60-7-7	A種	205	直角	6
9	HS9077W	ヒノキ	S90-7-7	A種	205	直角	5
9							11

表 5.2-3 試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)
1	SM6057R	1	0.41 10.5
		2	0.42 11.0
		3	0.43 11.5
		4	0.44 11.0
		5	0.44 11.5
		6	0.44 12.0
		平均	0.43 11.3
2	HS9057	1	0.50 10.8
		2	0.50 10.9
		3	0.49 10.9
		4	0.49 10.4
		5	0.50 10.0
		6	0.49 10.4
		平均	0.50 10.6
3	KS9057	1	0.53 10.6
		2	0.53 10.6
		3	0.53 10.6
		4	0.54 9.6
		5	0.53 9.4
		6	0.53 9.9
		平均	0.53 10.1
4	SM6077	1	0.42 13.0
		2	0.42 13.0
		3	0.42 12.5
		4	0.42 12.5
		5	0.43 13.0
		6	0.43 12.0
		平均	0.42 12.7
5	SM6077R	1	0.42 12.5
		2	0.42 13.0
		3	0.42 12.5
		4	0.43 12.5
		5	0.43 12.5
		6	0.43 12.5
		平均	0.43 12.6
6	HS9077	1	0.50 10.4
		2	0.50 10.9
		3	0.50 11.1
		4	0.50 9.9
		5	0.50 10.4
		6	0.50 9.9
		平均	0.50 10.4
7	KS9077	1	0.52 10.3
		2	0.53 10.5
		3	0.52 10.7
		4	0.52 9.7
		5	0.52 9.9
		6	0.52 9.3
		平均	0.52 10.1
8	SM6077W	1	0.39 11.5
		2	0.40 11.0
		3	0.40 11.5
		4	0.40 12.0
		5	0.40 12.5
		6	0.41 10.5
		平均	0.40 11.5
9	HS9077W	1	0.54 10.2
		2	0.54 10.1
		3	0.53 10.1
		4	0.54 10.4
		5	0.55 10.2
		6	— —
		平均	0.54 10.2

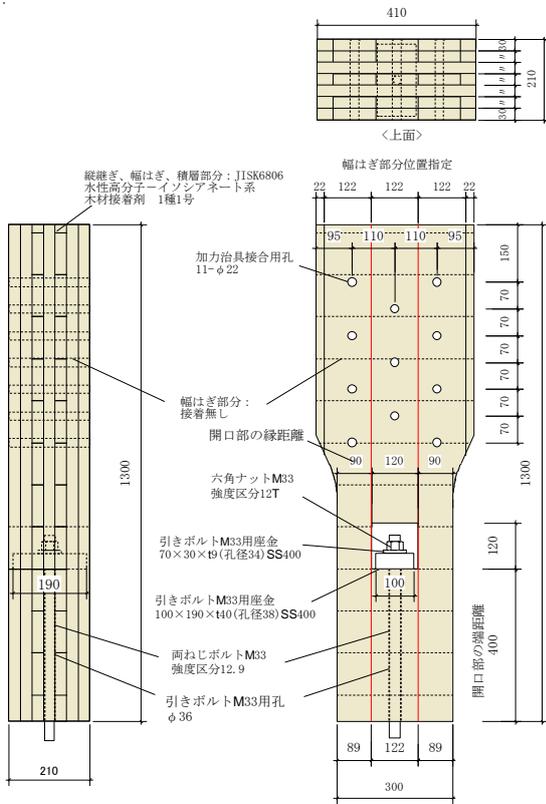


図 5.2-1 引きボルト一次試験体
5層7プライ、角孔直角

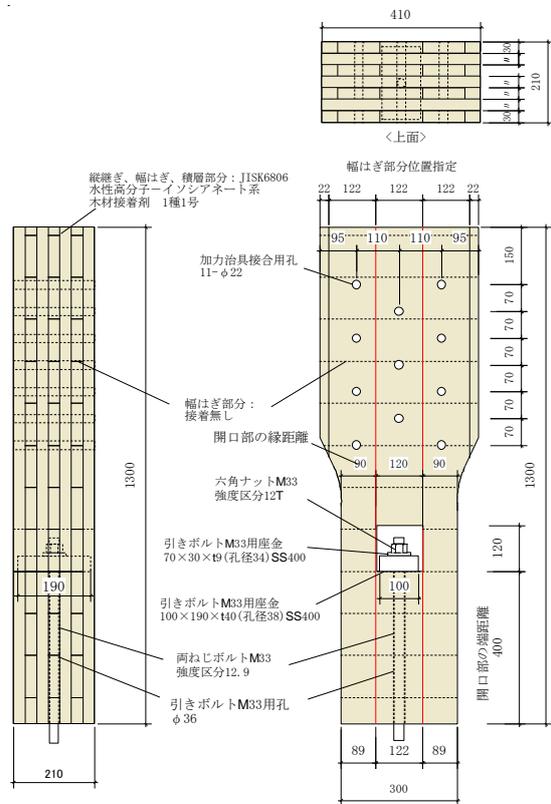


図 5.2-2 引きボルト一次試験体
7層7プライ、角孔直角

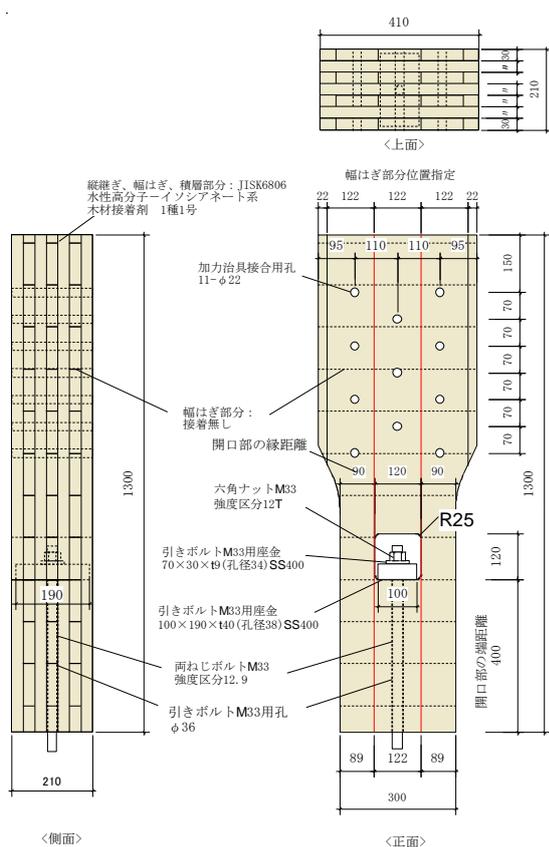


図 5.2-3 引きボルト一次試験体
スギ 7層 7プライ、角孔 R25

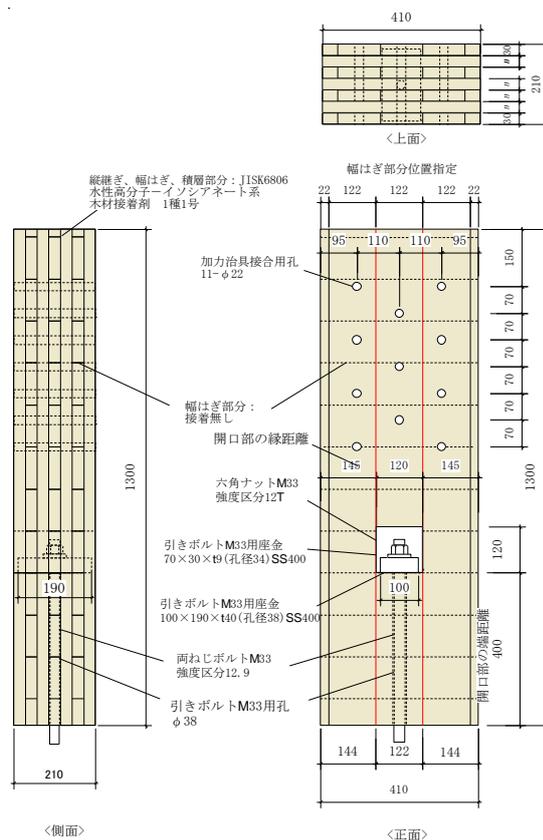
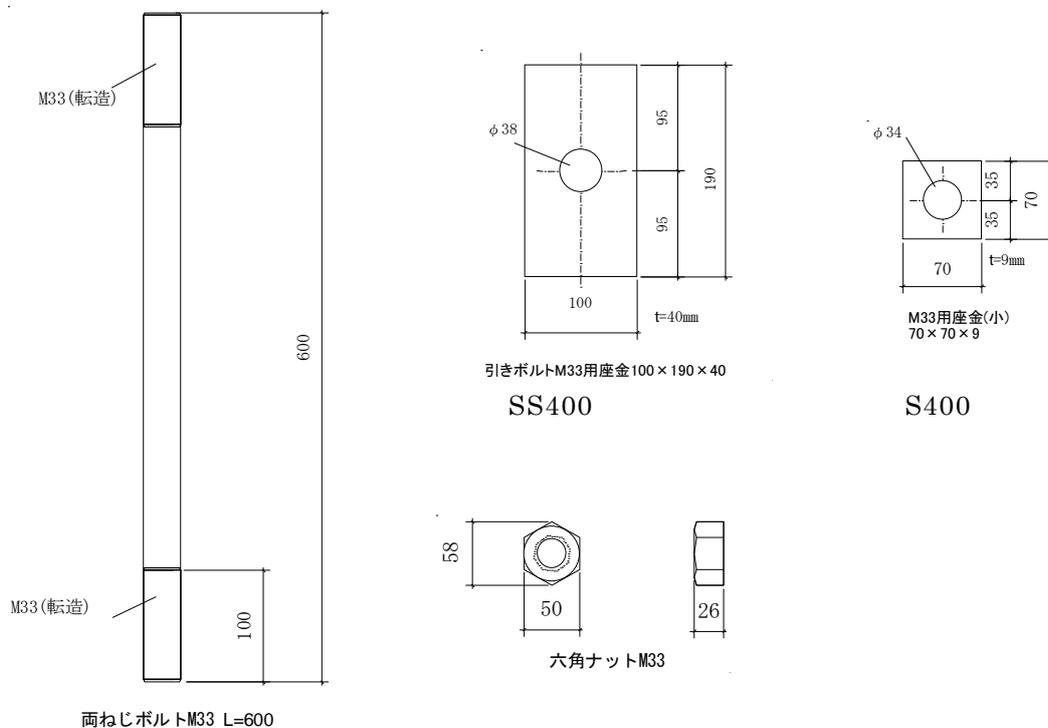


図 5.2-4 引きボルト二次試験体
スギ 7層 7プライ、角孔直角

(2)接合金物の仕様

接合金物の仕様を図 5.2-5 に示す。一次試験の結果から二次試験ではボルトとナットの材質を変更している。



強度区分 12.9(一次試験)
強度区分 10.9(二次試験)

強度区分 12T(一次試験)
強度区分 10T(二次試験)

2-5 接合金物の作製図

5.3. 試験方法

試験方法を図 5.3-1 に示す。

試験体は、上端部は M20 ボルトで引張治具と接合し、下端部はボルトを介して試験装置に六角ナット M33 により固定した。

試験は文献 1) に準じて行った。加力方法は単調引張試験結果より降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の順に一方向繰り返し加力とした。

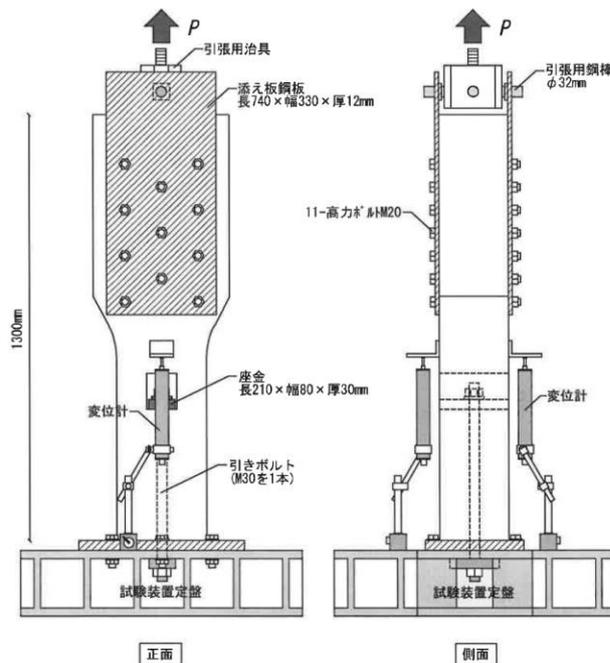


図 5.3-1 試験方法図

5.4. 試験結果と考察

各試験体ごとに整理した特性値、 $P\delta$ 曲線、破壊性状等の試験結果を次ページ以降に示す。

特性値は最大変位を 30 mm として評価を行った。一部の試験については、初期滑りが生じており、完全弾塑性モデルによる降伏耐力が算出できなかったため、グラフの補正（初期滑りのカット）を行い、 P_y や P_u 等を算出した。ただし、初期剛性の評価については原点から完全弾塑性評価による（ δ_v 、 P_u ）までを結んだ線の傾きによるものとした。

(1) 一次試験結果

終局耐力については、下記の通りの結果となった。

- ・樹種ごとに比較すると、ローリングシア試験と同様、スギ、カラマツ、ヒノキの順に高い結果となった。
- ・層構成については 5 層 7 プライよりも 7 層 7 プライの方が高くなる結果となった。
- ・角孔四隅の形状については SM6077 と SM6077R を比較すると R20 とした方が高くなる結果となった。

降伏耐力については、直線的なグラフもあったため、優劣を判断しにくい結果となった。

破壊性状は、①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊、②試験体両脇部分のローリングシア破壊、③CLT の引張破壊の 3 種類に大別できる。実際の壊れ方は複合的に組み合わされることもあるが、ここでは主な破壊性状について記載している。5 層 7 プライ試験体については①の破壊性状が最も多く、次いで②の破壊性状となったが破壊性状の違いによる終局耐力への影響は見られなかった。構造設計上、接合部は壁端部に寄せたい（耐力壁の回転半径が大きい方が設計的に有利）が、ある一定以上寄せてしまうと②の破壊性状が支配的になる。したがって①と②の壊れ方が混在し、両者の終局耐力に差が無いということは合理的な設計が成されていると言ってよい。7 層 7 プライについては、スギ試験体は①と③破壊性状が混在、ヒノキ試験体については①と②の破壊性状、カラマツ試験体については①～③の破壊性状が混在する結果となった。

(2) 二次試験結果

スギ7層7プライ試験体は試験体の縁距離を大きく取ることによって③の引張破壊モードをなくし、終局耐力を上げることができる可能性がある。また、ヒノキ7層7プライ試験体については③の破壊モードは生じていないが、写真 5.4-21 に示すとおり、①の破壊の差異に両脇のラミナが陥没するような壊れ方もあったため、縁距離を大きく取ることによって①と②の両方の強度が上がる可能性がある。

このため、一次試験の結果から、7層7プライの試験体について縁距離を150 mmから205 mmに上げた試験を実施した。ただし、材料調達の関係上、ヒノキは5体のみ、カラマツについては試験することができなかった。

結果として、スギ試験体は終局耐力が向上する結果となり、破壊性状も③の破壊モードが無くなり、①の破壊モードのみとなった。ヒノキ試験体については、残念ながらほぼ変わらない結果となった。

表 5.4-1 SM6057R 特性値

	SM6057R						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	194.4	187.0	191.1	195.4	173.0	196.2	189.5	8.77	0.05	0.89	169.0
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	2.65	2.57	2.23	2.82	2.20	2.26	2.46	0.26	-	-	-
P_{max} (kN)	291.7	280.5	286.7	293.1	259.5	294.4	284.3	13.19	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	4.00	3.80	3.80	4.01	3.40	3.61	3.77	0.23	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	174.7	167.4	168.6	148.3	148.2	231.4	173.1	30.62	0.18	0.59	101.6
降伏時 δ_v (mm)	2.45	2.36	2.01	2.31	1.93	2.60	2.28	0.26	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	71.31	70.93	83.88	64.20	76.79	89.00	76.02	9.15	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	4.00	3.80	6.01	4.01	3.40	3.88	4.18	0.92	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	2.95	2.66	2.96	3.08	2.49	2.71	2.81	0.22	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	210.6	188.4	248.0	197.5	191.0	241.3	212.8	25.93	0.12	0.72	152.2
塑性率 μ	1.36	1.43	2.03	1.30	1.37	1.43	1.49	0.27	-	-	-
構造特性 D_s	0.76	0.73	0.57	0.79	0.76	0.73	0.73	0.08	-	-	-

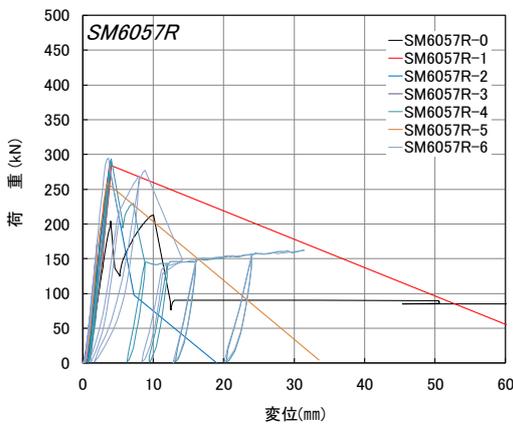


図 5.4-1 SM6057R P δ 曲線

表 5.4-2 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	213.3	①
1	291.7	②
2	280.5	②
3	286.7	①
4	293.8	①
5	259.5	②
6	294.4	①

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

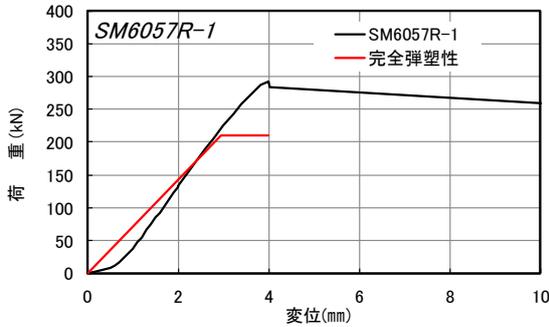


図 5.4-2 SM6057R-1 包絡線と完全弾塑性評価

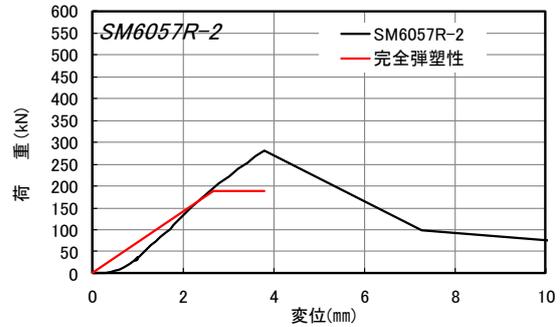


図 5.4-3 SM6057R-2 包絡線と完全弾塑性評価

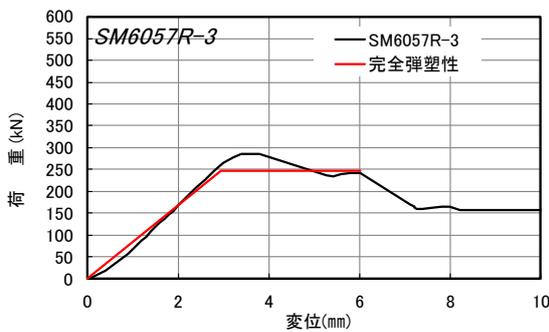


図 5.4-4 SM6057R-3 包絡線と完全弾塑性評価

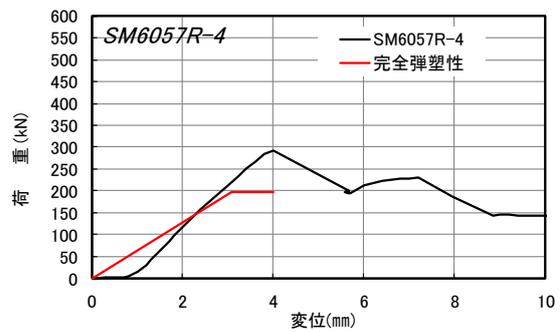


図 5.4-5 SM6057R-4 包絡線と完全弾塑性評価

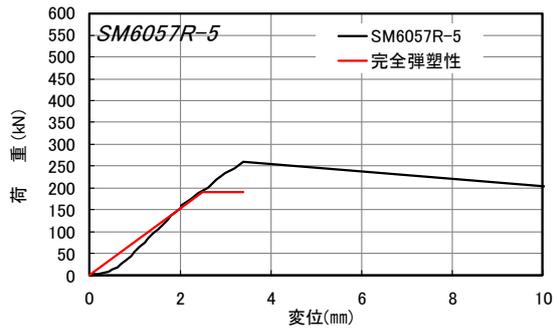


図 5.4-6 SM6057R-5 包絡線と完全弾塑性評価

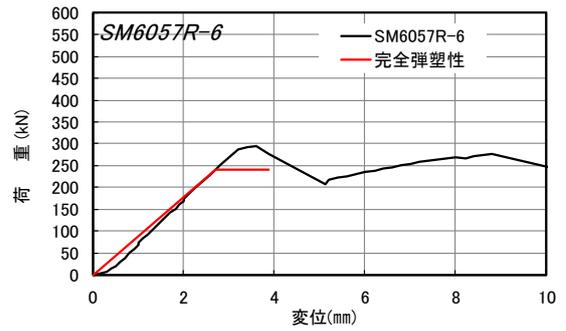


図 5.4-7 SM6057R-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-1 SM6057R-1 試験体両脇部分のローリングシア破壊



写真 5.4-2 SM6057R-1 試験体両脇部分のローリングシア破壊



写真 5.4-3 SM6057R-3 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-4 SM6057R-6 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

表 5.4-3 HS9057 特性値

	HS9057						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	196.8	250.0	233.5	226.6	204.8	271.8	230.6	27.95	0.12	0.72	165.3
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.00	3.70	3.70	3.50	3.40	3.90	3.53	0.31	-	-	-
P_{max} (kN)	295.2	375.0	350.3	339.9	307.2	407.7	345.9	41.93	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	4.50	5.80	5.70	5.50	5.00	6.20	5.45	0.61	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	118.1	241.1	140.1	136.0	122.9	163.1	153.6	45.70	0.30	0.30	46.8
降伏時 δ_v (mm)	1.80	3.60	2.20	2.20	2.10	2.40	2.38	0.63	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	52.75	57.07	56.05	54.15	51.30	57.81	54.86	2.55	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	4.50	5.80	7.70	6.40	6.10	8.40	6.48	1.39	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	4.00	5.00	4.90	5.20	5.20	5.60	4.98	0.54	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	268.2	338.6	317.0	323.9	303.6	378.8	321.7	36.78	0.11	0.73	235.8
塑性率 μ	1.13	1.16	1.57	1.23	1.17	1.50	1.29	0.19	-	-	-
構造特性 D_s	0.89	0.87	0.68	0.83	0.86	0.71	0.81	0.09	-	-	-

表 5.4-4 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	349.4	①
1	295.2	①
2	375.1	①
3	350.3	①
4	339.9	①
5	307.2	①
6	407.7	①

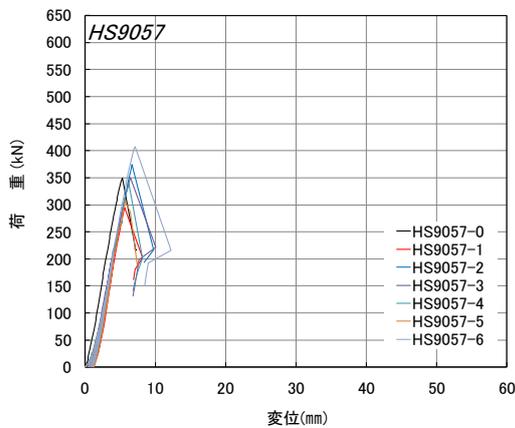


図 5.4-8 HS9057 P δ 曲線

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

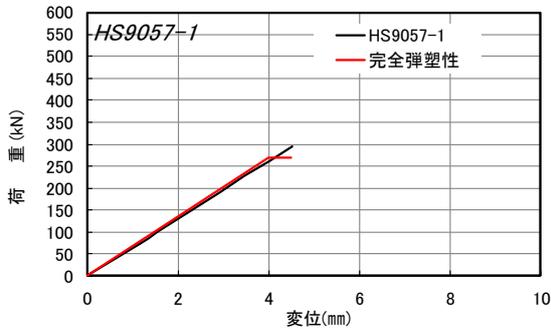


図 5.4-9 HS9057-1 包絡線と完全弾塑性評価

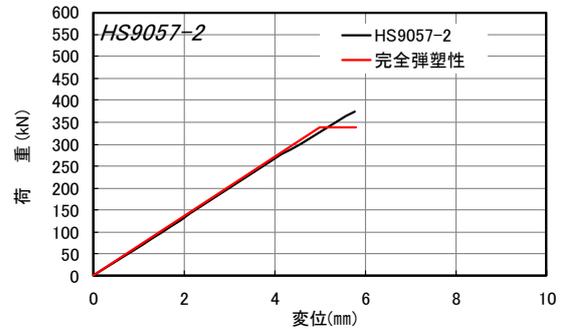


図 5.4-10 HS9057-2 包絡線と完全弾塑性評価

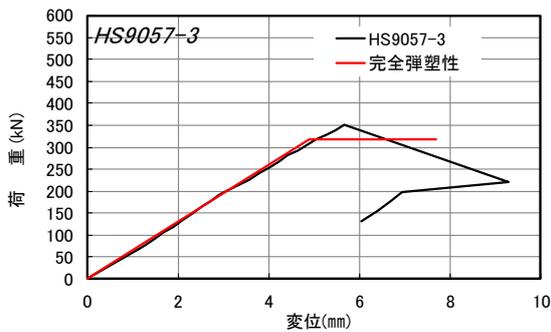


図 5.4-11 HS9057-3 包絡線と完全弾塑性評価

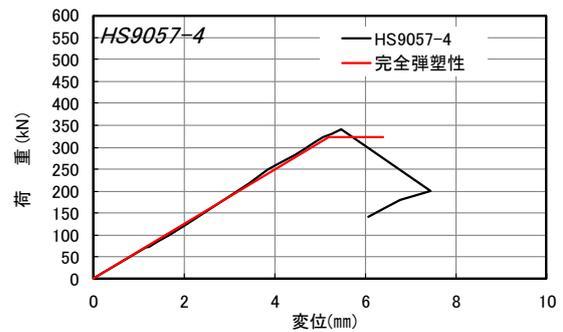


図 5.4-12 HS9057-4 包絡線と完全弾塑性評価

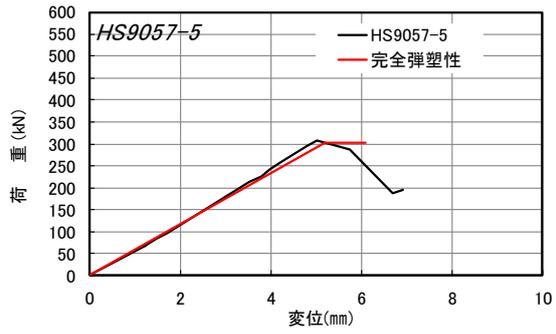


図 5.4-13 HS9057-5 包絡線と完全弾塑性評価

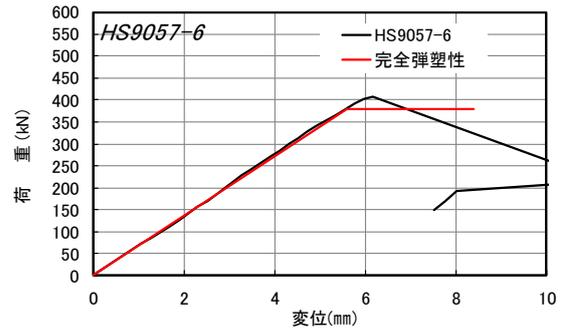


図 5.4-14 HS9057-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-5 HS9057-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-6 HS9057-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-7 HS9057-3 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-8 HS9057-3 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

表 5.4-6 KS9057 特性値

	KS9057						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	201.6	250.9	222.5	187.5	185.9	219.4	211.3	24.76	0.12	0.73	153.5
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.30	3.70	3.00	2.80	2.80	3.90	3.25	0.47	-	-	-
P_{max} (kN)	302.4	376.3	333.8	281.2	278.9	329.1	317.0	37.13	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	5.00	5.70	4.70	4.30	4.40	5.80	4.98	0.64	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	121.0	193.7	172.7	112.5	111.6	131.6	140.5	34.48	0.25	0.43	60.0
降伏時 δ_v (mm)	2.00	2.90	2.30	1.60	1.70	2.40	2.15	0.48	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	50.34	53.46	63.56	45.40	53.85	49.41	52.67	6.16	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	5.80	6.40	5.60	6.00	5.10	6.50	5.90	0.52	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	4.60	5.20	4.30	3.80	3.80	5.60	4.55	0.74	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	276.9	348.2	322.0	257.5	252.4	314.1	295.2	38.66	0.13	0.69	204.9
塑性率 μ	1.26	1.23	1.30	1.58	1.34	1.16	1.31	0.15	-	-	-
構造特性 D_s	0.81	0.83	0.79	0.68	0.77	0.87	0.79	0.06	-	-	-

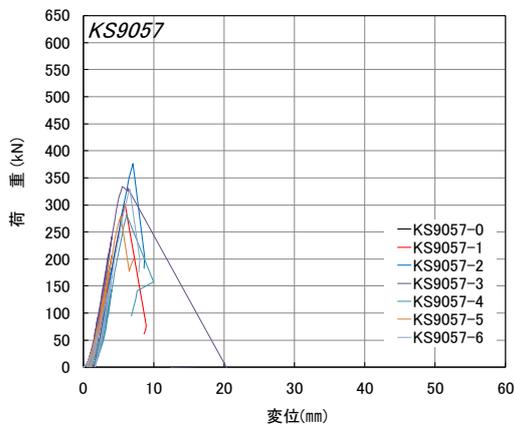


図 5.4-15 HS9057 P δ 曲線

表 5.4-7 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	302	②
2	376	①
3	334	②
4	281	①
5	279	①
6	329	①

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

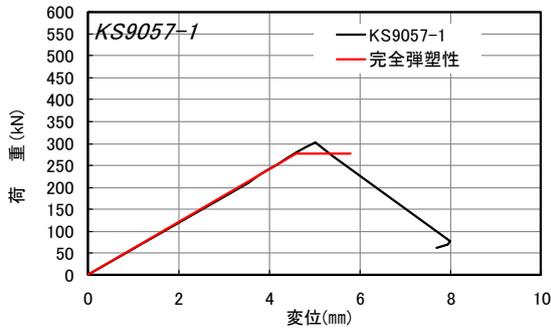


図 5.4-16 KS9057-1 包絡線と完全弾塑性評価

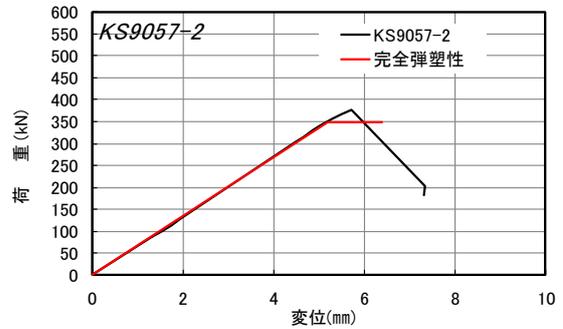


図 5.4-17 KS9057-2 包絡線と完全弾塑性評価

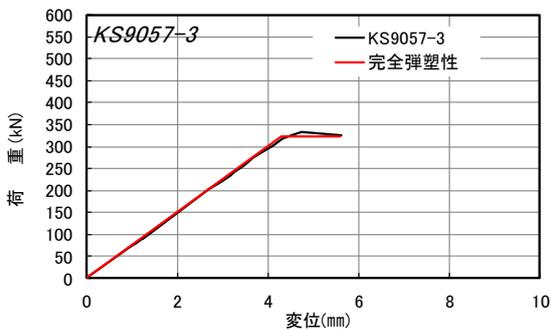


図 5.4-18 KS9057-3 包絡線と完全弾塑性評価

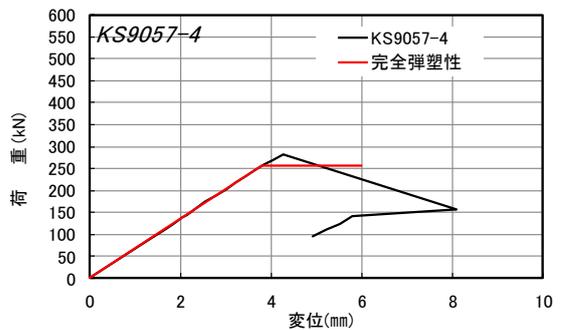


図 5.4-19 KS9057-4 包絡線と完全弾塑性評価

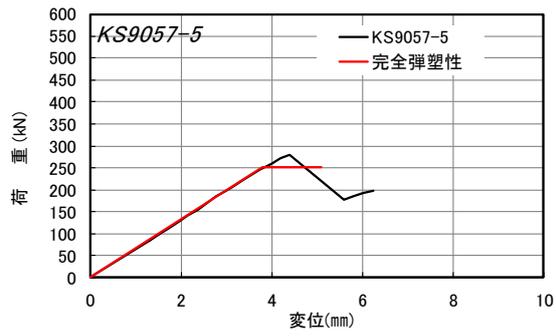


図 5.4-20 KS9057-5 包絡線と完全弾塑性評価

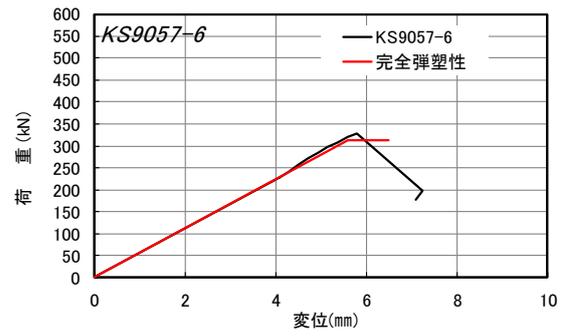


図 5.4-21 KS9057-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-9 KS9057-1 試験体両脇部分のローリングシア破壊



写真 5.4-10 KS9057-3 試験体両脇部分のローリングシア破壊



写真 5.4-11 KS9057-2 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-12 KS9057-2 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

表 5.4-8 SM6077 特性値

	SM6077						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	271.1	269.7	271.5	221.2	278.1	268.0	263.3	20.89	0.08	0.81	214.5
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	4.35	4.08	3.55	2.69	3.55	3.23	3.58	0.59	-	-	-
P_{max} (kN)	406.6	404.5	407.3	331.7	417.2	401.9	394.9	31.38	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	6.40	6.40	6.00	4.34	5.81	5.60	5.76	0.76	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	358.8	242.2	233.6	221.1	253.3	240.8	258.3	50.37	0.19	0.54	140.6
降伏時 δ_v (mm)	5.54	3.73	3.10	2.69	3.28	2.92	3.54	1.04	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	64.77	64.93	75.35	82.19	77.23	82.47	74.49	7.96	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	6.40	6.40	10.05	4.34	5.81	30.00	10.50	9.74	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	4.11	4.80	4.98	3.34	4.41	4.48	4.35	0.58	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	266.3	311.4	375.1	274.7	340.9	369.1	322.9	46.57	0.14	0.66	214.1
塑性率 μ	1.56	1.33	2.02	1.30	1.32	6.70	2.37	2.14	-	-	-
構造特性 D_s	0.69	0.77	0.57	0.79	0.78	0.28	0.65	0.20	-	-	-

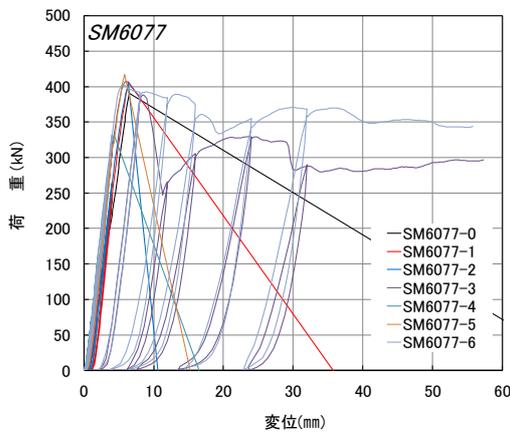


図 5.4-22 SM6077 P δ 曲線

表 5.4-9 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	391	
1	407	③
2	405	③
3	407	①
4	332	③
5	417	③
6	402	①

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

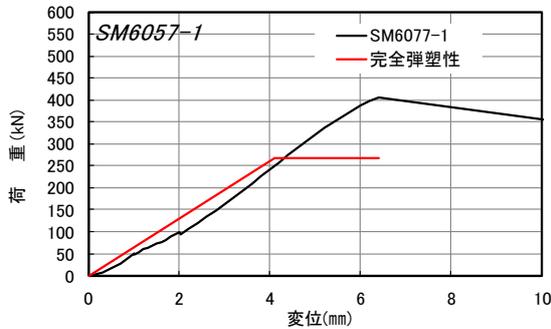


図 5.4-23 SM6077-1 包絡線と完全弾塑性評価

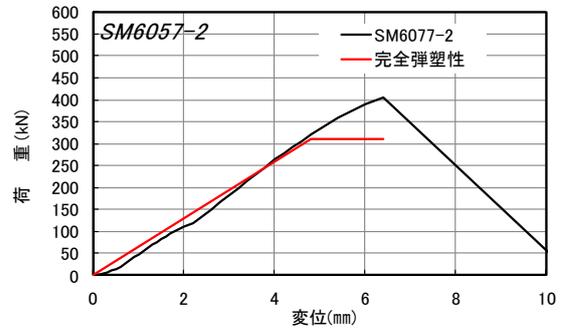


図 5.4-24 SM6077-2 包絡線と完全弾塑性評価

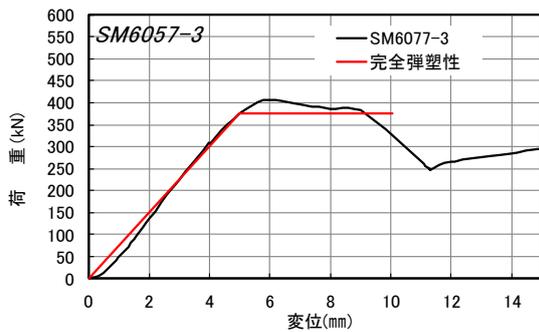


図 5.4-25 SM6077-3 包絡線と完全弾塑性評価

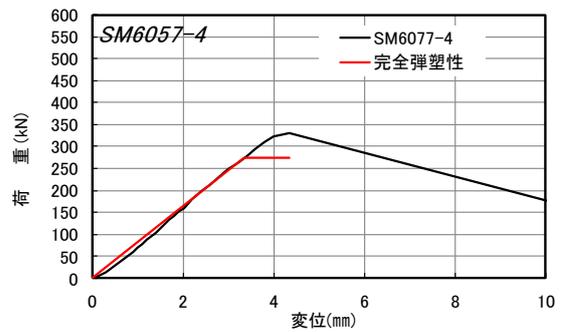


図 5.4-26 SM6077-4 包絡線と完全弾塑性評価

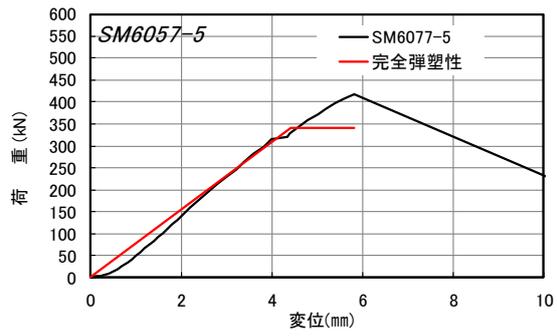


図 5.4-27 SM6077-5 包絡線と完全弾塑性評価

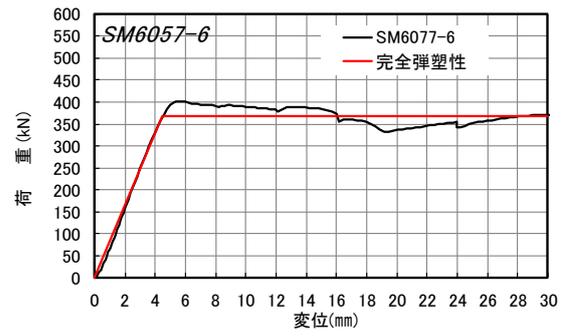


図 5.4-28 SM6077-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-13 SM6077-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-14 SM6077-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-15 SM6077-3 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-16 SM6077-3 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

表 5.4-10 SM6077R 特性値

	SM6077R						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	293.3	294.2	249.3	284.1	263.8	296.0	280.1	19.27	0.07	0.84	235.1
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.48	3.91	2.97	3.80	3.22	3.52	3.48	0.35	-	-	-
P_{max} (kN)	440.0	441.4	373.9	426.2	395.8	444.1	420.2	28.94	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	6.60	8.61	4.61	6.40	5.41	6.20	6.31	1.35	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	247.1	280.7	212.3	239.9	204.0	254.5	239.8	28.21	0.12	0.73	173.8
降伏時 δ_v (mm)	2.93	3.75	2.54	3.26	2.56	3.06	3.02	0.46	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	4.70	5.52	3.69	5.10	4.28	4.75	4.67	0.64	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	6.60	11.00	4.61	8.56	5.41	12.09	8.05	3.04	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	4.70	5.52	3.69	5.10	4.28	4.75	4.67	0.64	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	396.5	412.8	308.2	375.5	340.7	395.2	371.5	39.66	0.11	0.75	278.8
塑性率 μ	1.40	1.99	1.25	1.68	1.26	2.55	1.69	0.51	-	-	-
構造特性 D_s	0.74	0.58	0.82	0.65	0.81	0.49	0.68	0.13	-	-	-

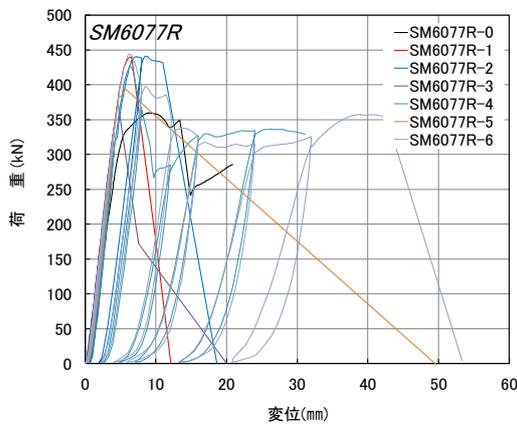


図 5.4-29 SM6077R Pδ 曲線

表 5.4-11 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	360	①
1	440	③
2	441	③
3	374	③
4	426	①
5	396	③
6	444	③

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

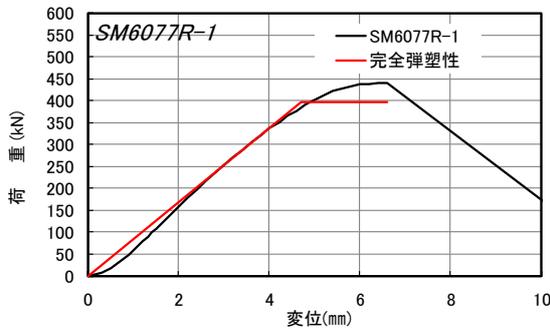


図 5.4-30 SM6077R-1 包絡線と完全弾塑性評価

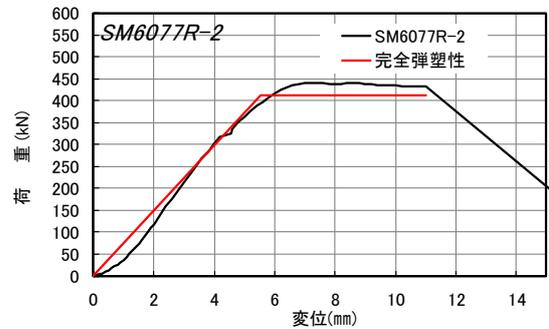


図 5.4-31 SM6077R-2 包絡線と完全弾塑性評価

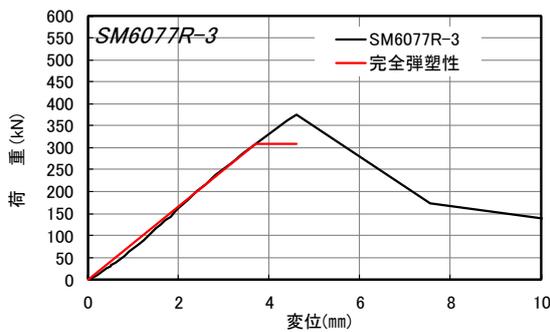


図 5.4-32 SM6077R-3 包絡線と完全弾塑性評価

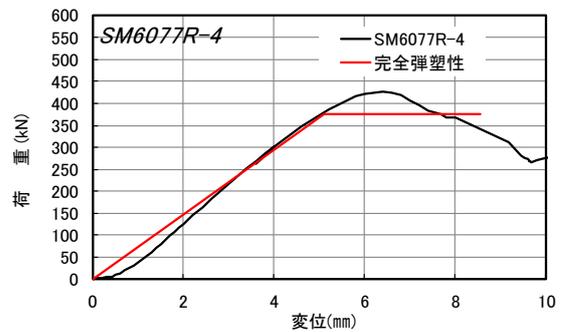


図 5.4-33 SM6077R-4 包絡線と完全弾塑性評価

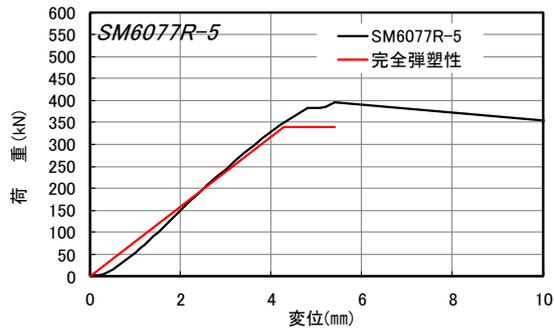


図 5.4-34 SM6077R-5 包絡線と完全弾塑性評価

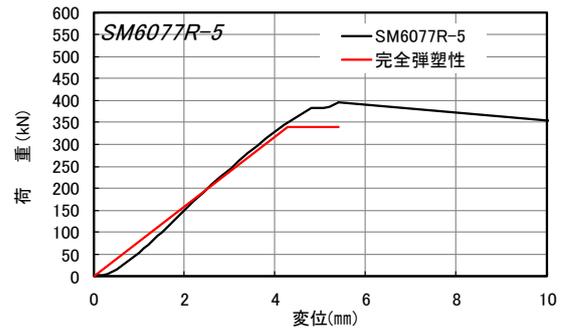


図 5.4-35 SM6077R-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-17 SM6077R-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-18 SM6077R-2 CLT の引張破壊



写真 5.4-19 SM6077R-4 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-20 SM6077R-4 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

表 5.4-12 HS9077 特性値

	HS9077						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	354.7	358.6	314.5	327.4	308.6	339.6	333.9	20.64	0.06	0.86	285.7
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	6.20	5.89	4.50	4.60	4.40	4.90	5.08	0.77	-	-	-
P_{max} (kN)	532.0	537.8	471.7	491.1	462.9	509.4	500.8	30.97	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	30.00	23.84	10.80	14.20	9.40	12.30	16.76	8.27	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	393.5	398.1	188.7	291.5	185.2	328.2	297.5	94.63	0.32	0.26	76.5
降伏時 δ_v (mm)	6.82	6.53	2.70	4.10	2.70	4.70	4.59	1.80	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	49.92	55.88	59.86	58.13	59.03	61.51	57.39	4.11	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	12.20	15.10	11.40	15.70	19.07	8.63	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	8.55	8.31	6.40	6.50	6.40	6.90	7.18	0.99	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	493.3	506.7	445.4	464.2	446.4	479.0	472.5	25.00	0.05	0.88	414.1
塑性率 μ	3.51	3.61	1.91	2.32	1.78	2.28	2.57	0.80	-	-	-
構造特性 D_s	0.41	0.40	0.60	0.52	0.62	0.53	0.51	0.09	-	-	-

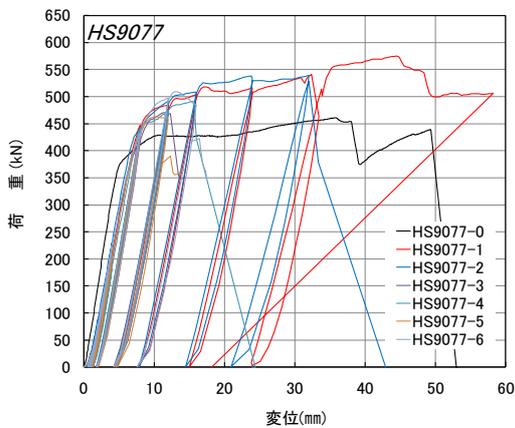


図 5.4-36 HS9077 P δ 曲線

表 5.4-13 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	461	②
1	575	①
2	540	②
3	472	①
4	491	②
5	463	①
6	509	①

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

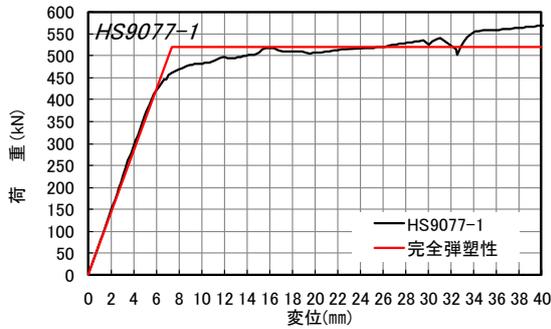


図 5.4-37 HS9077-1 包絡線と完全弾塑性評価

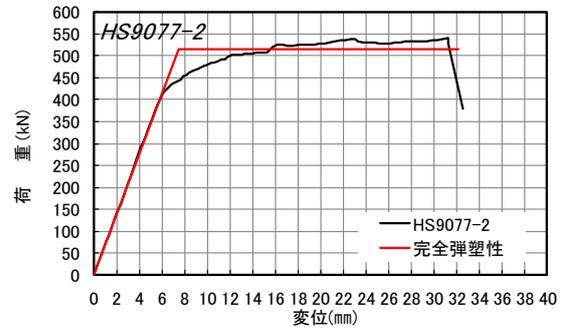


図 5.4-38 HS9077-2 包絡線と完全弾塑性評価

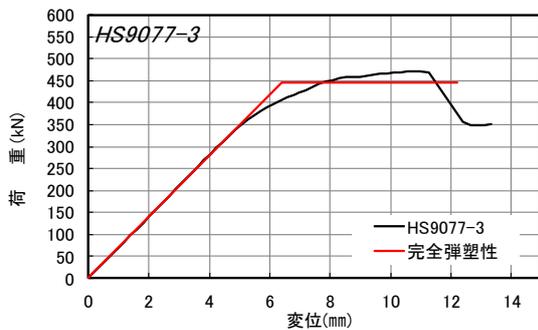


図 5.4-39 HS9077-3 包絡線と完全弾塑性評価

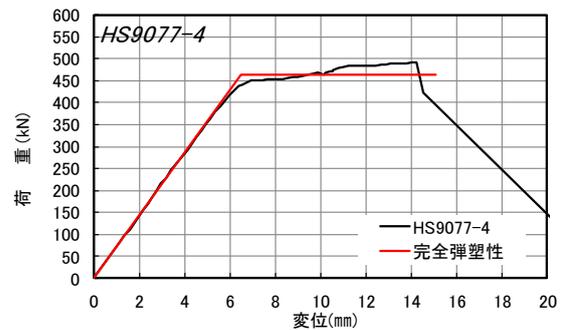


図 5.4-40 HS9077-4 包絡線と完全弾塑性評価

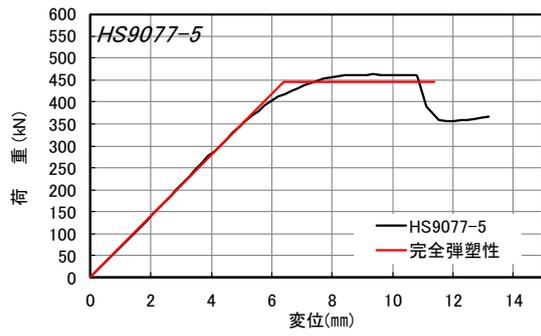


図 5.4-41 HS9077-5 包絡線と完全弾塑性評価

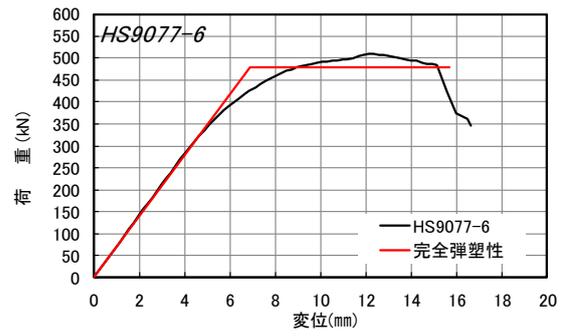


図 5.4-42 HS9077-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-21 HS9077-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-22 HS9077-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-23 HS9077-2 試験体両脇部分のローリングシア破壊



写真 5.4-24 HS9077-2 試験体両脇部分のローリングシア破壊

表 5.4-14 KS9077 特性値

	KS9077						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	308.7	327.9	325.5	299.7	296.0	340.1	316.3	17.50	0.06	0.87	275.4
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	4.40	4.50	4.70	4.30	4.30	4.70	4.48	0.18	-	-	-
P_{max} (kN)	463.0	491.8	488.3	449.5	444.0	510.1	474.5	26.25	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	7.30	9.10	8.30	7.10	6.60	7.60	7.67	0.90	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	317.8	377.2	326.7	316.4	177.6	204.1	286.6	77.93	0.27	0.36	104.6
降伏時 δ_v (mm)	4.50	5.30	4.70	4.50	2.70	2.80	4.08	1.07	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	58.93	60.98	55.78	52.90	56.87	63.08	58.09	3.68	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	9.30	10.50	8.90	18.80	11.60	8.70	11.30	3.83	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	6.00	6.50	6.60	5.80	6.20	6.30	6.23	0.30	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	421.5	463.4	460.5	402.0	407.2	463.5	436.4	29.33	0.07	0.84	367.8
塑性率 μ	1.55	1.62	1.35	3.24	1.87	1.38	1.84	0.71	-	-	-
構造特性 D_s	0.69	0.67	0.77	0.43	0.60	0.75	0.65	0.12	-	-	-

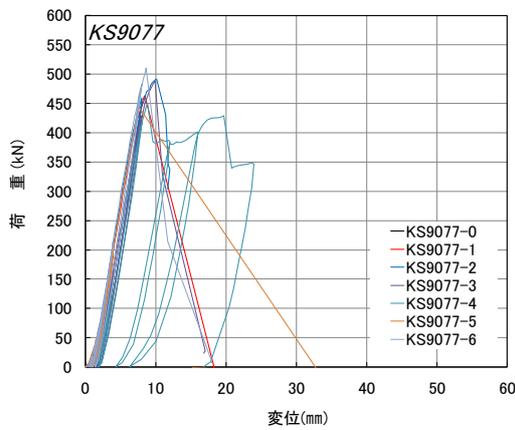


図 5.4-43 KS9077 Pδ 曲線

表 5.4-15 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	463	③
2	492	①
3	488	②
4	450	①
5	444	③
6	510	②

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

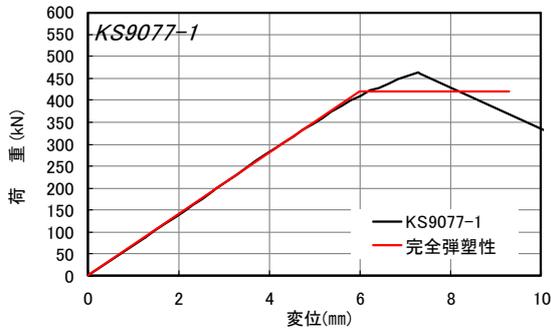


図 5.4-44 KS9077-1 包絡線と完全弾塑性評価

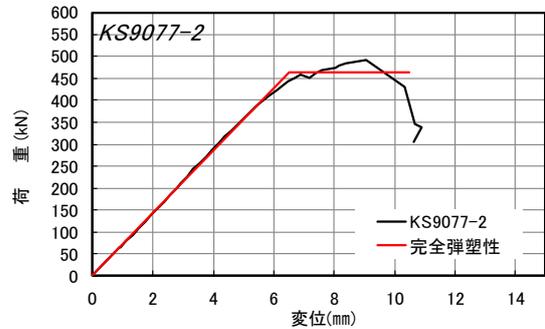


図 5.4-45 KS9077-2 包絡線と完全弾塑性評価

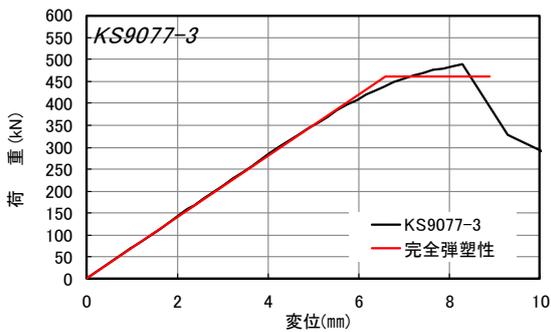


図 5.4-46 KS9077-3 包絡線と完全弾塑性評価

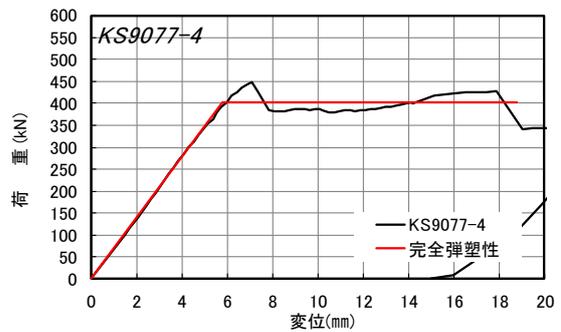


図 5.4-47 KS9077-4 包絡線と完全弾塑性評価

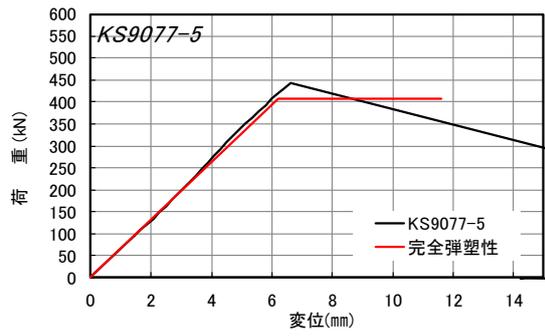


図 5.4-48 KS9057-5 包絡線と完全弾塑性評価

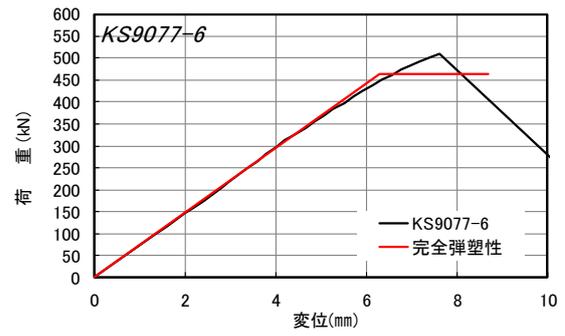


図 5.4-49 KS9057-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-25 KS9077-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-26 KS9077-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-27 KS9077-1 CLT の引張破壊



写真 5.4-28 KS9077-3 試験体両脇部分のローリングシア破壊

表 5.4-16 SM6077W 特性値

	SM6077W						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	241.1	267.6	246.0	261.3	273.7	260.3	258.3	12.52	0.05	0.89	229.1
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	2.99	3.18	2.83	3.13	3.12	2.97	3.04	0.13	-	-	-
P_{max} (kN)	361.6	401.5	369.0	392.0	410.6	390.4	387.5	18.82	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	4.60	5.20	10.80	5.01	5.20	4.80	5.94	2.39	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	281.9	260.9	224.5	241.7	252.3	282.7	257.3	22.84	0.09	0.79	204.0
降伏時 δ_v (mm)	3.45	3.11	2.58	2.90	2.89	3.20	3.02	0.30	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	81.71	83.89	87.02	83.34	87.30	88.34	85.27	2.64	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	13.60	5.67	12.56	11.82	6.54	16.03	11.04	4.09	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	4.11	4.17	3.87	4.23	4.12	3.96	4.08	0.14	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	335.5	349.9	336.6	352.8	359.4	350.1	347.4	9.43	0.03	0.94	325.3
塑性率 μ	3.31	1.36	3.25	2.79	1.59	4.05	2.72	1.05	-	-	-
構造特性 D_s	0.42	0.76	0.43	0.47	0.68	0.38	0.52	0.16	-	-	-

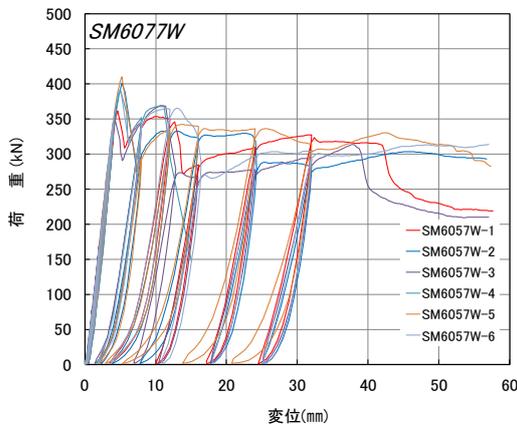


図 5.4-50 SM6077W Pδ 曲線

表 5.4-17 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	361.6	①
2	401.5	①
3	369.0	①
4	392.0	①
5	410.6	①
6	390.4	①

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

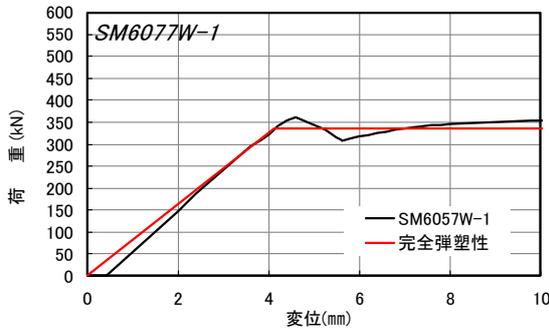


図 5.4-51 SM6077W-1 包絡線と完全弾塑性評価

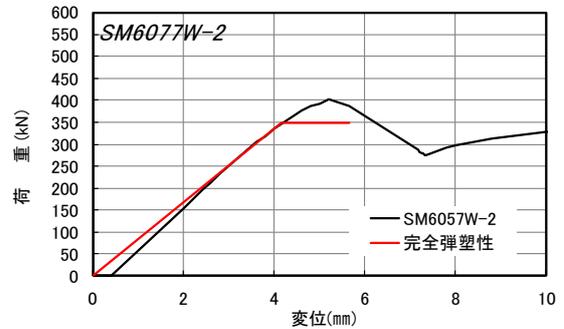


図 5.4-52 SM6077W-2 包絡線と完全弾塑性評価

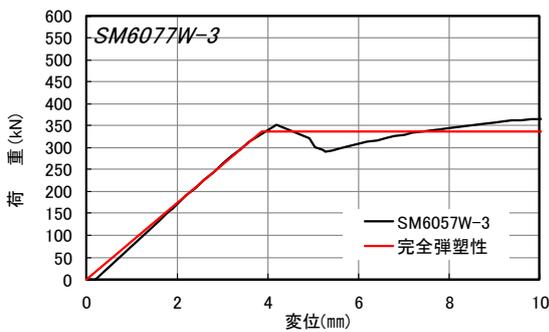


図 5.4-53 SM6077 W-3 包絡線と完全弾塑性評価

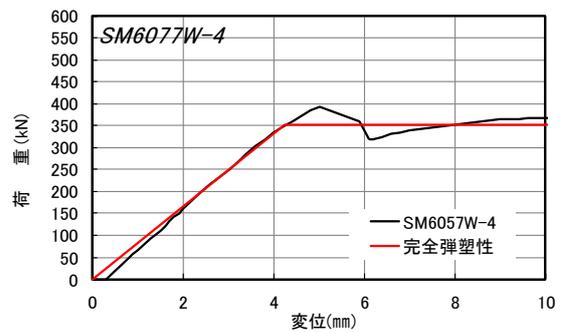


図 5.4-54 SM6077W-4 包絡線と完全弾塑性評価

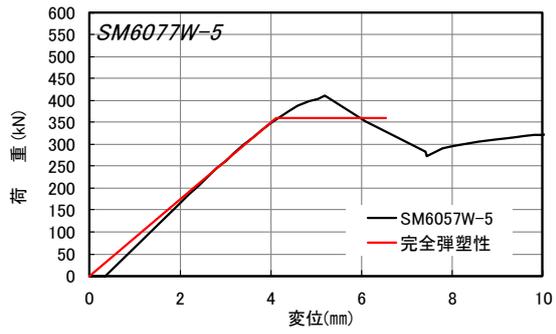


図 5.4-55 SM6077W-5 包絡線と完全弾塑性評価

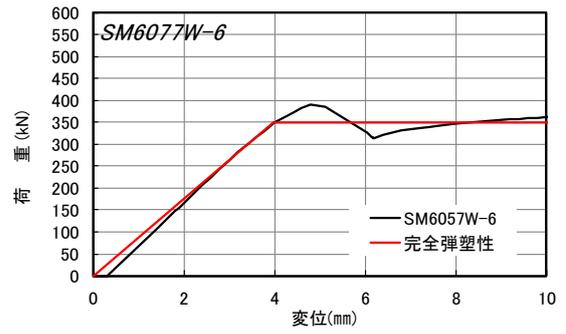


図 5.4-56 SM6077W-6 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-29 SM6077W-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-30 SM6077W-2 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-31 SM6077W-6 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-32 SM6077W-5 試験後のボルト・ナット、座金

表 5.4-18 HS9077W 特性値

	HS9077W						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
$2/3P_{max}$ (kN)	334.4	388.9	323.8	365.8	373.1	-	357.2	27.22	0.08	0.81	290.1
$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	4.28	4.71	4.20	4.49	4.75	-	4.49	0.25	-	-	-
P_{max} (kN)	501.6	583.4	485.8	548.7	559.6	-	535.8	40.84	-	-	-
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	7.16	8.80	6.92	8.78	7.93	-	7.92	0.88	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	261.1	378.4	282.3	327.0	350.7	-	319.9	48.20	0.15	0.63	201.1
降伏時 δ_v (mm)	3.28	4.58	3.61	4.01	4.46	-	3.99	0.55	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	79.60	82.62	78.19	81.55	78.62	-	80.12	1.91	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	8.26	9.87	8.05	13.21	9.39	-	9.76	2.08	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	5.75	6.53	5.72	6.42	6.52	-	6.19	0.42	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	458.0	539.8	447.4	523.7	513.0	-	496.4	41.17	0.08	0.80	394.9
塑性率 μ	1.44	1.51	1.41	2.06	1.44	-	1.57	0.28	-	-	-
構造特性 D_s	0.73	0.70	0.74	0.57	0.73	-	0.69	0.07	-	-	-

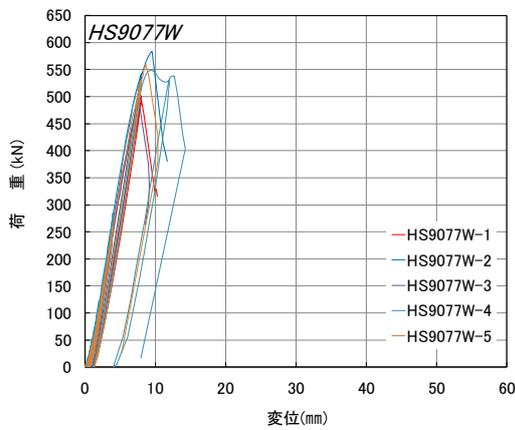


図 5.4-57 HS9077W P δ 曲線

表 5.4-19 破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	502	①
2	583	①
3	486	①
4	549	①
5	560	①
6	-	-

- ①座金下部外層ラミナのローリングシア破壊
- ②試験体両脇部分のローリングシア破壊
- ③CLT の引張破壊

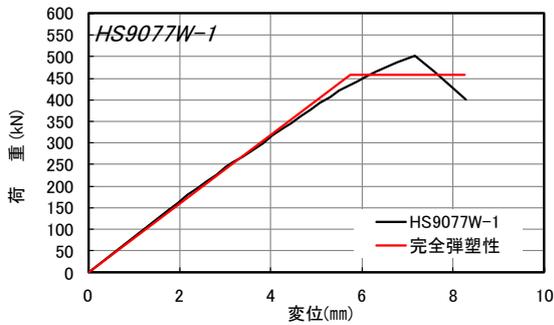


図 5.4-58 HS9077W-1 包絡線と完全弾塑性評価

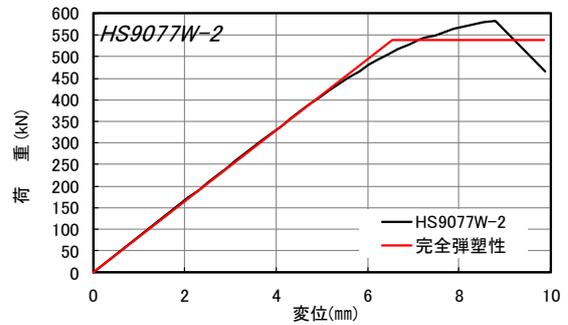


図 5.4-59 HS9077W-2 包絡線と完全弾塑性評価

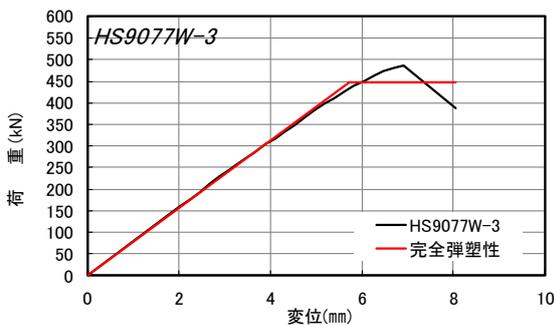


図 5.4-60 HS9077W-3 包絡線と完全弾塑性評価

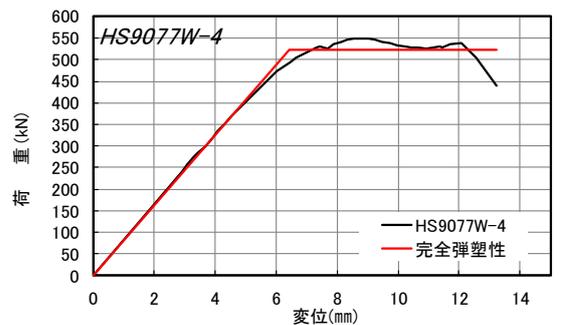


図 5.4-61 HS9077W-4 包絡線と完全弾塑性評価

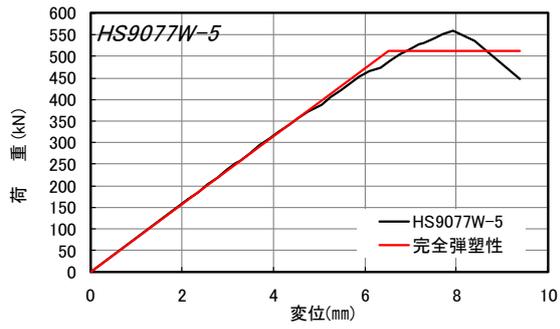


図 5.4-62 HS9077W-5 包絡線と完全弾塑性評価



写真 5.4-33 HS9077W-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-34 HS9077W-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊



写真 5.4-35 HS9077W-4 座金部分の木材のめり込み変形



写真 5.4-36 HS9077W-1 座金下部外層ラミナのローリングシア破壊

5.5. 適用可能な構造用アンカーボルトの種類

各試験体の終局耐力と、その5%下限値から判定されるABRの種類について表5.5-1に示す。5.4項で述べたとおり、5層7プライ試験体より、7層7プライ試験体の方が1~2ランク上のボルト径まで選択できる結果となった。

表 5.5-1 各試験体の終局耐力と適用可能なアンカーボルト

試験体番号	SM6057R	HS9057	KS9057	SM6077	SM6077R	HS9077	KS9077	SM6077W	HS9077W
1	210.6	268.2	276.9	266.3	396.5	519.7	421.5	335.5	458.0
2	188.4	338.6	348.2	311.4	412.8	513.8	463.4	349.9	539.8
3	248.0	317.0	322.0	375.1	308.2	445.4	460.5	336.6	447.4
4	197.5	323.9	257.5	274.7	375.5	464.2	402.0	352.8	523.7
5	191.0	303.6	252.4	340.9	340.7	446.4	407.2	359.4	513.0
6	241.3	378.8	314.1	369.1	395.2	479.0	463.5	350.1	-
平均	212.8	321.7	295.2	322.9	371.5	478.1	436.4	347.4	496.4
標準偏差	25.93	36.78	38.66	46.57	39.66	32.48	29.33	9.43	41.17
変動係数	0.12	0.11	0.13	0.14	0.11	0.07	0.07	0.03	0.08
ばらつき係数	0.72	0.73	0.69	0.66	0.75	0.84	0.84	0.94	0.80
5%下限値	152.2	235.8	204.9	214.1	278.8	402.2	367.8	325.3	394.9
kの値	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.46
ABR490	M20	M24	M24	M24	M27	M33	M30	M30	M33
ABR400	M22	M27	M24	M27	M30	M36	M33	M33	M36

5.6. 実験値と計算値の比較

文献4)に掲載されている引きボルト接合部の設計式と4章のローリングシア試験の実験値を使って、引きボルト接合部の強度性能の推定を試みた。

計算値の算定にあたっては、森林総研や県の試験場などから集めたデータが掲載されている文献5)より、圧縮強度及び引張強度の実験値の平均を求め、0.75倍に低減した値を用いた(表5.6-1、表5.6-2)。ローリングシア強度については4.7項の表4.7-1の値を用いた。

計算値の入力内容と算出結果を表5.6-3に示す。終局耐力における実験値と計算値の比較を表5.6-4、図5.6-1に示す。結果からヒノキ及びカラマツの7層7プライ試験体はあまり合わず、計算値が低めの値となった。それ以外の試験体についてはほぼ一致もしくはやや安全側の結果となった。

初期剛性を比較したものを表5.6-5、図5.6-2に示す。スギについては低め、ヒノキ、カラマツについてはやや高めかよく一致する結果となったが、そもそも実験値自体がヤング係数が高いヒノキやカラマツよりもスギが高い値になっていることもあるので、推定結果の精度というよりも試験体作製や試験の精度による影響も大きいと思われる。

表 5.6-1 ラミナの縦圧縮試験による圧縮強度 表 5.6-2 ラミナの引張試験による引張強度

樹種	試験体シリーズ数	試験体数の総合計(体)	縦圧縮の平均値(GPa)	×0.75
スギ	21	915	33.0	24.8
トドマツ	4	160	39.7	29.8
ヒノキ	2	81	47.9	35.9
カラマツ	11	407	38.6	29.0

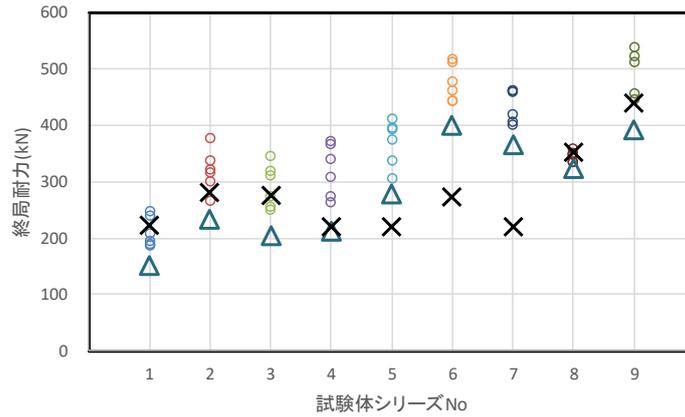
樹種	試験体シリーズ数	試験体数の総合計(体)	引張の平均値(GPa)	×0.75
スギ	55	3111	27.2	20.4
トドマツ	8	600	28.3	21.2
ヒノキ	4	226	33.9	25.4
カラマツ	35	2522	27.5	20.6

表 5.6-3 計算値の入力内容と算出結果

項目		SM6057	HS9057	KS9057	SM6077	HS9077	KS9077	SM6077 W	HS9077 W	
入力条件	CLT材の仕様	樹種	スギ	ヒノキ	カラマツ	スギ	ヒノキ	カラマツ	スギ	ヒノキ
		繊維方向に対する置換係数 n	5	6	7	5	6	7	5	6
		外層 繊維平行方向層の数 $n_{//O}$	枚 4	4	4	2	2	2	2	2
		内層 繊維平行方向層の数 $n_{//I}$	枚 1	1	1	2	2	2	2	2
		外層 繊維直交方向層の数 $n_{\perp O}$	枚 0	0	0	0	0	0	0	0
		内層 繊維直交方向層の数 $n_{\perp I}$	枚 2	2	2	3	3	3	3	3
		ラミナの厚み t	mm 30	30	30	30	30	30	30	30
		CLTの幅 L	mm 300	300	300	300	300	300	410	410
		最外層繊維平行方向のヤング係数 $E_{//O}$	N/mm ² 6000	9000	9000	6000	9000	9000	6000	9000
		内層繊維平行方向のヤング係数 $E_{//I}$	N/mm ² 3000	9000	9000	3000	9000	9000	3000	9000
		最外層繊維直交方向のヤング係数 $E_{\perp O}$	N/mm ² 120	180	180	120	180	180	120	180
		内層繊維直交方向のヤング係数 $E_{\perp I}$	N/mm ² 60	180	180	60	180	180	60	180
		繊維平行方向の圧縮強度 $F_{//c}$	N/mm ² 24.8	35.9	29.0	24.8	35.9	29.0	24.8	35.9
		繊維平行方向の引張強度 $F_{//T}$	N/mm ² 20.4	25.4	20.6	20.4	25.4	20.6	20.4	25.4
		外層接着面のせん断強度 F_{go}	N/mm ² 1.47	1.91	1.76	1.47	1.91	1.76	1.47	1.91
内層接着面のせん断強度 F_{gi}	N/mm ² 1.63	2.00	2.24	1.63	2.00	2.24	1.63	2.00		
120角時の表面の凹凸に起因する圧縮剛性 $K_{//c120}$	kN/mm	400	400	400	400	400	400	400		
ボルトの仕様	ボルトの規格サイズ	M33	M33	M33	M33	M33	M33	M33	M33	
	ボルトの有効断面積 A_B	mm ² 761	761	761	761	761	761	761	761	
	ボルトのヤング係数 E_B	N/mm ² 201000	201000	201000	201000	201000	201000	201000	201000	
	ボルトのナット間長さ l_B	mm ² 523	523	523	523	523	523	523	523	
引きボルト接合部の仕様	繊維平行方向の引きボルトの本数 $S_{//}$	本 1	1	1	1	1	1	1	1	
	繊維直交方向の引きボルトの本数 S_{\perp}	本 0	0	0	0	0	0	0	0	
	引きボルト用穴の直径 D	mm 33	33	33	33	33	33	33	33	
	座金の奥行き長さ W_w (mm)	mm 190	190	190	190	190	190	190	190	
	座金の幅 l_w	mm 100	100	100	100	100	100	100	100	
	縁距離 l_n	mm 90	90	90	90	90	90	145	145	
	端距離 l_s	mm 400	400	400	400	400	400	400	400	
角孔の長さ l_l	mm 120	120	120	120	120	120	120	120		
強度性能に係る断面積	外層 繊維平行方向の加圧面積 $A_{//c}$	mm ² 10000	10000	10000	4000	4000	4000	4000	4000	
	内層 繊維平行方向の加圧面積 $A_{//c}$	mm ² 2145	2145	2145	5145	5145	5145	5145	5145	
	外層 繊維直交方向の加圧面積 $A_{\perp c}$	mm ² 0	0	0	0	0	0	0	0	
	内層 繊維直交方向の加圧面積 $A_{\perp c}$	mm ² 6000	6000	6000	9000	9000	9000	9000	9000	
	外層 繊維平行方向の引張面積 $A_{//T}$	mm ² 21600	21600	21600	10800	10800	10800	17400	17400	
	内層 繊維平行方向の引張面積 $A_{//T}$	mm ² 5400	5400	5400	10800	10800	10800	17400	17400	
	外層 繊維直交方向の引張面積 $A_{\perp T}$	mm ² 0	0	0	0	0	0	0	0	
	内層 繊維直交方向の引張面積 $A_{\perp T}$	mm ² 10800	10800	10800	16200	16200	16200	26100	26100	
	角穴の両端部の木材の引張剛性 K_T	kN/mm ² 1220.4	2041.2	2041.2	818.1	1644.3	1644.3	1318.1	2649.2	
	ボルトの引張剛性 K_B	kN/mm ² 292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	
直交層のめり込み剛性	弱軸試験体のみ y_1, y_2	20	20	20	20	20	20	20	20	
	C_x	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	3.4	3.4	
	C_y	2.11186	2.073694	2.03732	2.11186	2.073694	2.03732	2.11186	2.073694	
	直交層のめり込み剛性 k_{\perp}	kN/mm 5.1	14.9	14.7	7.6	22.4	22.0	9.6	28.1	
初期剛性	単位面積あたりの表面の凹凸に起因する圧縮剛性 $k_{//c0}$	N/mm ³ 27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	
	表面の凹凸に起因する圧縮剛性 $k_{//c}$	kN/mm 337.4	337.4	337.4	254.0	254.0	254.0	254.0	254.0	
	単位面積あたりの圧縮剛性 $k_{//m0}$	N/mm ³ 8.0	12.0	12.0	9.4	14.1	14.1	7.3	11.0	
	平行層の圧縮剛性 $k_{//m}$	kN/mm 97.2	145.8	145.8	86.1	129.2	129.2	67.1	100.7	
	平行層の圧縮剛性 $k_{//}$	kN/mm 75.5	101.8	101.8	64.3	85.6	85.6	53.1	72.1	
	CLTの圧縮剛性 K_c	kN/mm 80.5	116.7	116.5	71.9	108.0	107.6	62.6	100.2	
	初期剛性 K_p	kN/mm 60.0	80.2	80.0	53.9	75.3	75.1	49.6	72.6	
2次剛性 K_{p2}	kN/mm 9.7	13.8	13.8	8.6	12.8	12.8	7.6	12.0		
降伏耐力	降伏耐力 P_y	kN 300.581	436.298	351.589	226.331	328.523	264.739	226.331	328.523	
最大耐力	引張耐力 P_{pull}	kN 275.4	343.2	278.4	220.3	274.6	222.8	355.0	442.4	
	座金下部の接着面のせん断耐力 P_{shear0}	kN 248.0	312.8	320.0	378.4	472.8	499.2	378.4	472.8	
	P_{shear1} の適用判定 $\text{Max}(P_{shear1}, P_y)$	kN 300.6	436.3	351.6	378.4	472.8	499.2	378.4	472.8	
	座金下部両端の接着面のせん断耐力 P_{shear2}	kN 223.2	281.5	288.0	340.6	425.5	449.3	548.7	685.6	
	最大耐力 P_{max}	kN 223.2	281.5	278.4	220.3	274.6	222.8	355.0	442.4	

表 5.6-4 終局耐力における実験値と計算値の比較

試験体シリーズNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
試験体番号	SM6057R	HS9057	KS9057	SM6077	SM6077R	HS9077	KS9077	SM6077W	HS9077W
実験値(平均)	212.8	321.7	295.2	322.9	371.5	478.1	436.4	347.4	496.4
実験値(5%下限値)	152.2	235.8	204.9	214.1	278.8	402.2	367.8	325.3	394.9
計算値	223.20	281.52	278.44	220.32	220.32	274.59	222.75	354.96	442.395
実験(平均)／計算	0.95	1.14	1.06	1.47	1.69	1.74	1.96	0.98	1.12
実験値(5%下限値)／計算	0.68	0.84	0.74	0.97	1.27	1.46	1.65	0.92	0.89

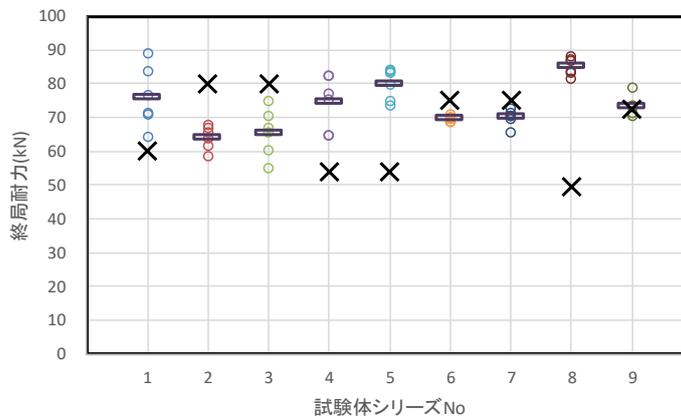


凡例：○ 各試験体の終局耐力
 △ 完全弾塑性評価による終局耐力の5%下限値
 × 計算による終局耐力

図 5.6-1 終局耐力における実験値と計算値の比較

表 5.6-5 初期剛性における実験値と計算値の比較

試験体シリーズNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
試験体番号	SM6057R	HS9057	KS9057	SM6077	SM6077R	HS9077	KS9077	SM6077W	HS9077W
実験値(平均)	76.0	64.1	65.5	74.5	79.9	69.7	70.0	85.3	73.4
計算値	60.0	80.2	80.0	53.9	53.9	75.3	75.1	49.6	72.6
実験(平均)／計算	1.27	0.80	0.82	1.38	1.48	0.93	0.93	1.72	1.01



凡例：○ 各試験体の初期剛性
 — 完全弾塑性評価による初期剛性の平均値
 × 計算による初期剛性

図 5.6-2 初期剛性における実験値と計算値の比較

6. 鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張試験 一次試験

6.1 試験の目的

鋼板挿入ドリフトピン接合部は集成材を使った軸組構法でも多く使われる接合方法であるが、CLTを用いた接合部の端距離やピッチ、幅はぎの影響等についての研究はあまり進んではいない。本実験では、規格金物を開発するにあたって合理的なドリフトピンの配置やピッチを策定するための実験を行う。

6.2 試験の概要

試験は、木部で先行破壊させる試験とする。

(1)試験体の種類

表 6.2-1、表 6.2-2 に試験の種類を、図 6.2-1～図 6.2-4 に試験体図を、表 6.2-3 に密度及び含水率の測定結果を示す。試験は表 6.2-1 のとおり全ての接合具をドリフトピンとしたものを 6 体ずつ行う予定であったが、途中結果から表 6.2-2 の試験を行うこととなった。このため、1 試験体シリーズの試験体数を 6 体から 3 体に変更した。

一次試験では、まず端距離やピッチの影響を確認するため、試験に供する樹種はスギのみとした。層の構成は 5 層 7 プライ及び 7 層 7 プライとし、構成方法は A 種構成、幅はぎ部分の接着なしとした。

端距離やピッチは学会基準及びピンで囲まれたせん断面積や引張断面積を考慮して仕様を決定した。

表 6.2-1 鋼板挿入ドリフトピン接合部(ピン 6 本仕様) 一次試験

番号	試験体番号	樹種	等級	構成方法	ピン径 (mm)	ピン本数 (本)	ボルト本数 (本)	ピンの繊維方向のピッチ (mm)		ピンの繊維直交方向のピッチ (mm)		ピンで囲まれたせん断面積 (mm ²)	試験体数 (体)
								縦	横	縦	横		
1	P14H1457	スギ	Mx60-5-7	A種	φ20	6	0	7d	140	7d	140	99038	3
2	P14H0657							7d	140	3d	60	79358	3
3	P08H1457							4d	80	7d	140	55478	3
4	P14H1477		Mx60-7-7					7d	140	7d	140	99038	3
5	P14H0677							7d	140	3d	60	79358	3
6	P08H1477							4d	80	7d	140	55478	3
合計												18	

表 6.2-2 鋼板挿入ドリフトピン接合部(ピン 4 本、ボルト 2 本仕様) 一次試験

番号	試験体番号	樹種	等級	構成方法	ピン径 (mm)	ピン本数 (本)	ボルト本数 (本)	ピンの繊維方向のピッチ (mm)		ピンの繊維直交方向のピッチ (mm)		ピンで囲まれたせん断面積 (mm ²)	試験体数 (体)
								縦	横	縦	横		
7	P14H1457B	スギ	Mx60-5-7	A種	φ20	4	2	7d	140	7d	140	79358	3
8	P14H0657B							7d	140	3d	60	99038	3
9	P08H1457B							4d	80	7d	140	55478	3
10	P14H1477B		Mx60-7-7					7d	140	7d	140	79358	3
11	P14H0677B							7d	140	3d	60	99038	3
12	P08H1477B							4d	80	7d	140	55478	3
合計												18	

表 6.2-3 試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	
1	P14H1457	1	0.44	13.5
		2	0.42	12.0
		3	0.43	13.0
		平均	0.43	12.8
2	P14H0657	1	0.41	13.5
		2	0.42	12.0
		3	0.42	13.0
		平均	0.42	12.8
3	P08H1457	1	0.40	12.0
		2	0.41	12.5
		3	0.42	13.0
		平均	0.41	12.5
4	P14H1477	1	0.40	13.0
		2	0.40	12.5
		3	0.41	12.5
		平均	0.40	12.7
5	P14H0677	1	0.38	13.0
		2	0.39	14.0
		3	0.39	12.5
		平均	0.39	13.2
6	P08H1477	1	0.39	13.5
		2	0.40	13.0
		3	0.40	13.5
		平均	0.40	13.3

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	
7	P14H1457B	1	0.42	14.0
		2	0.42	12.0
		3	0.44	13.0
		平均	0.43	13.0
8	P14H0657B	1	0.44	14.0
		2	0.44	12.0
		3	0.46	13.0
		平均	0.45	13.0
9	P08H1457B	1	0.41	12.0
		2	0.41	12.5
		3	0.42	12.0
		平均	0.41	12.2
10	P14H1477B	1	0.40	12.5
		2	0.41	12.0
		3	0.41	12.0
		平均	0.41	12.2
11	P14H0677B	1	0.42	12.5
		2	0.43	12.0
		3	0.43	12.0
		平均	0.43	12.2
12	P08H1477B	1	0.39	12.5
		2	0.40	12.5
		3	0.40	13.5
		平均	0.40	12.8

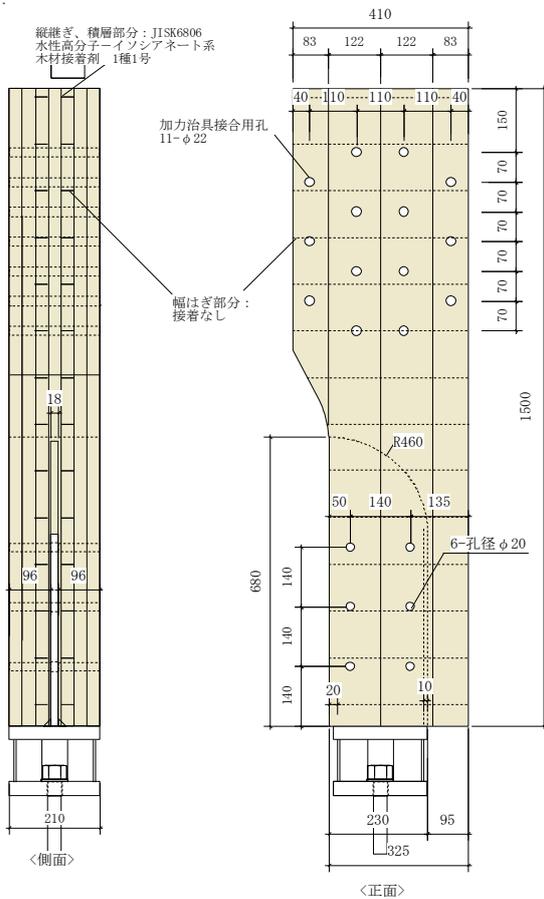


図 6.2-1 P14H1457 試験体

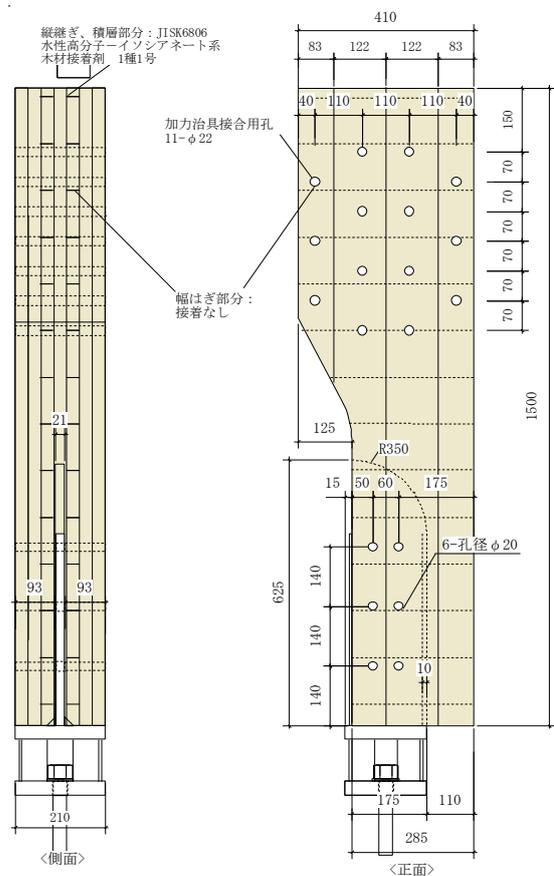


図 6.2-2 P14H0657 試験体

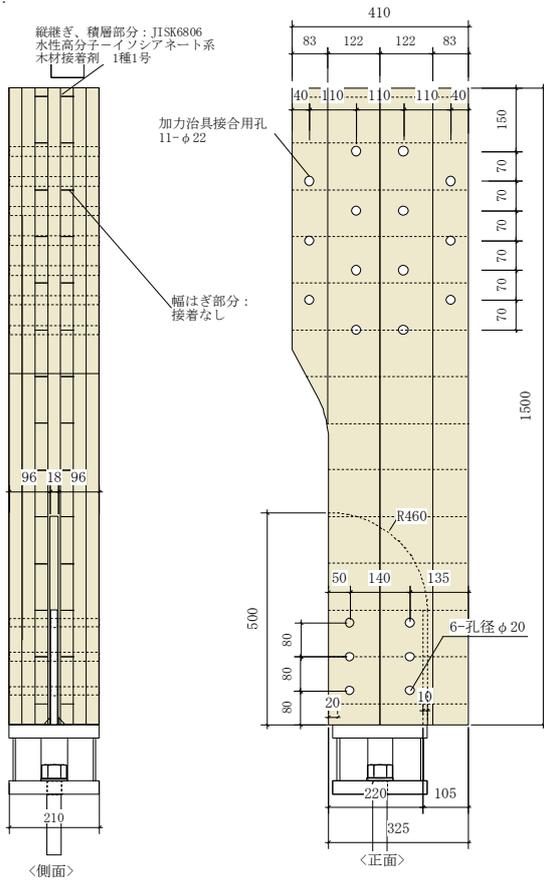


図 6.2-3 P08H1457 試験体

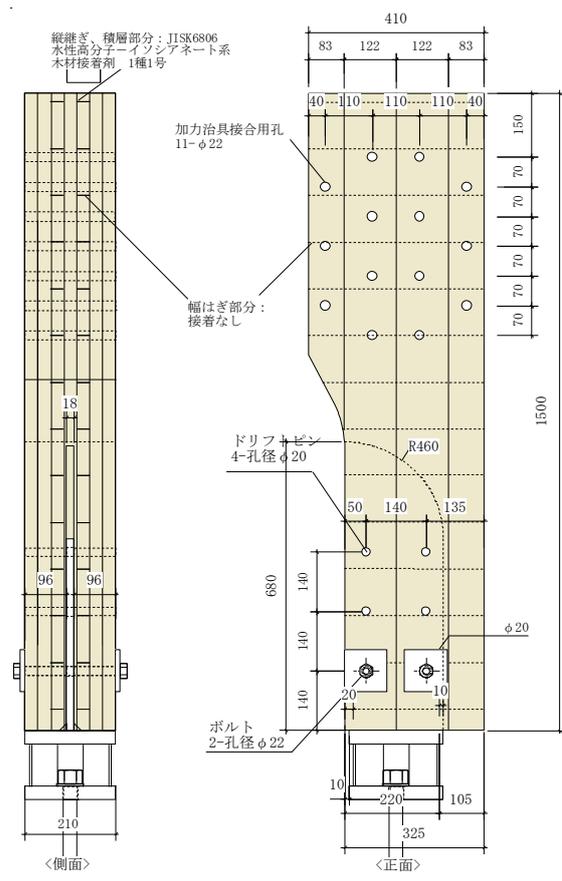


図 6.2-4 P14H1457B 試験体

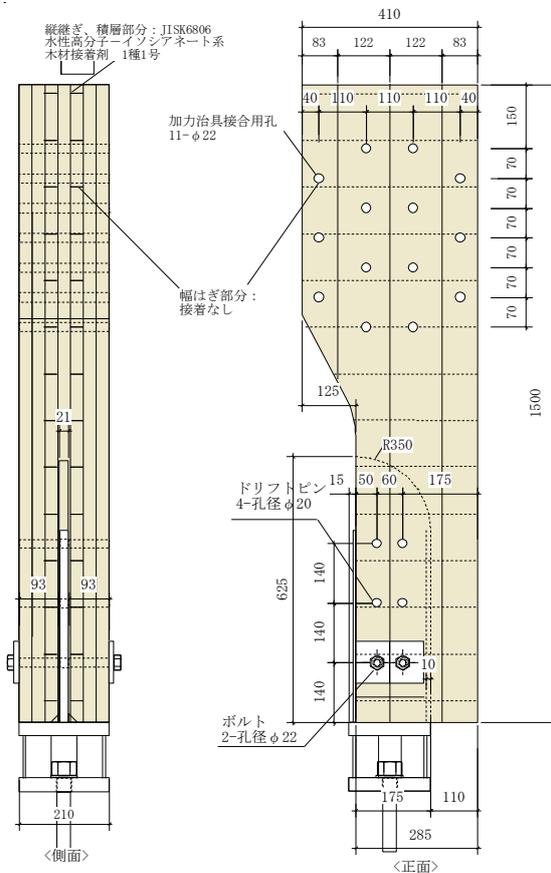


図 6.2-5 P14H0657B 試験体

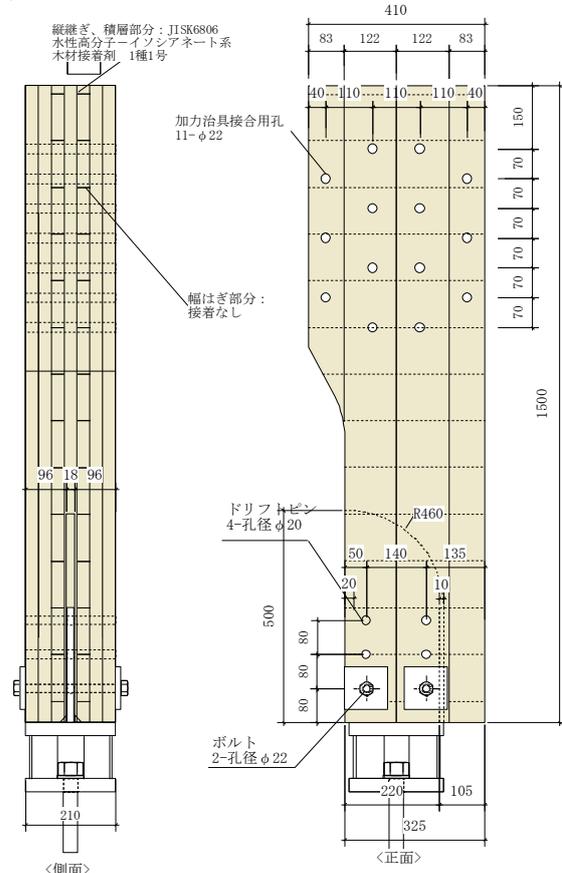


図 6.2-6 P08H1457B 試験体

(2)接合金物の仕様

接合金物の仕様を図 6.2-7 に示す。

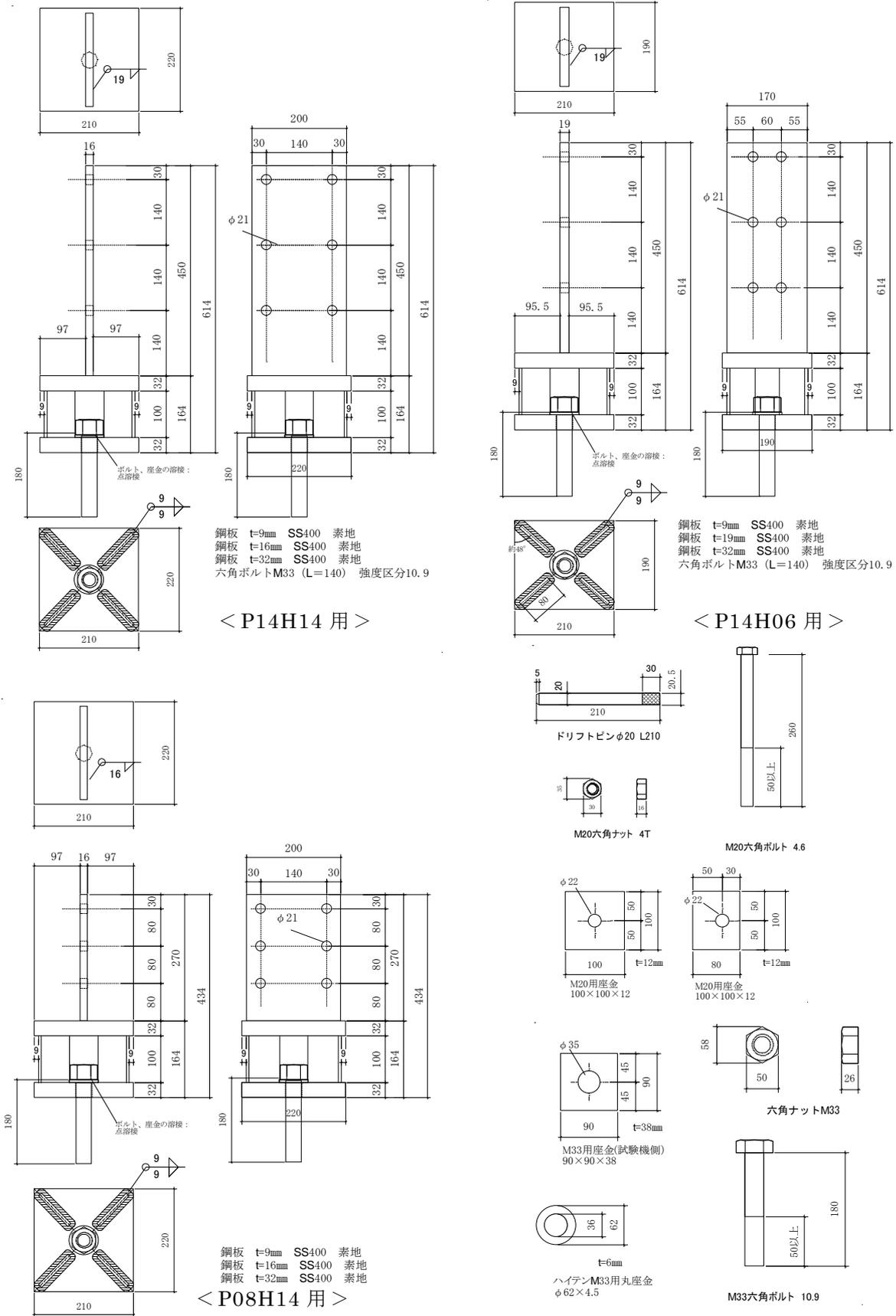


図 6.2-7 接合金物の作製図

6.3 試験方法

試験方法を図 6.3-1 に示す。

試験体は、上端部は M20 ボルトで引張治具と接合し、下端部はボルトを介して試験装置に六角ナット M33 により固定した。

試験は文献 1) に準じて行った。加力方法は単調引張試験結果より降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の順に一方向繰り返し加力とした。

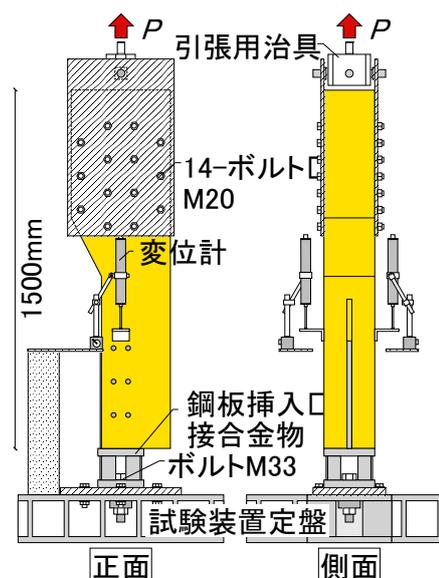


図 6.3-1 試験方法図

6.4 試験結果と考察

特性値は完全弾塑性モデルより算出し、最大変位を 30 mm として評価を行った。降伏耐力については完全弾塑性モデルによる降伏耐力 P_{ybi} に加え、5% オフセット値 P_{y5} も算出することとした。オフセットは、ドリフトピン径が 20 mm であるため 1 mm とした。5% オフセット値の算出にあたっては、評価に先立ち初期滑りについてグラフの補正を行っており、0.2Pmax と 0.4Pmax の傾きから補正を行っている。完全弾塑性モデルについても同様の補正を行っているが、初期剛性については原点から (δv , P_u) の傾きとすることで安全側に評価している。

各試験体ごとに整理した特性値、 $P\delta$ 曲線、破壊性状等の試験結果を次ページ以降に示す。

試験を行う前、試験の種類は No.1~No.6 までの 6 種類の予定であった。しかし、ピン 6 本タイプの試験体 (No.1~No.6) の予備試験を行ったところ、破壊性状がスリット部からの面外への開きとなる試験体が多く、このままではピンの端距離やピッチの違いが分からないのではないかと懸念から、急遽下部 2 本のピンをボルトに代えて開きを抑えた試験体 (No.7~No.12) を追加した。結果として、ピン 2 本をボルト 2 本に置き換えた試験体は劇的に耐力が増加し、スリット端部からの面外への開きという破壊モードは無くなる結果となった。

写真 6.4-7 と写真 6.4-61 はピッチや端距離が異なる試験体ではあるが、ピンの試験体に比べてボルト有の方のピンは 90° 近くまで曲げ変形している。

試験体シリーズごとに結果を見ていくと試験体シリーズ No.1(P14H1457) 及び No.4(P14H1477) は、スリット部からの面外への開きとなる破壊性状が多く、スリット部の開きを抑えた No.7(P14H1457B) 及び No.10(P14H1477B) では 1 体の引張破壊を除き、破壊することなく試験機容量の 500kN に達した。スリット部の開きについては、試験体幅が狭いために発生しやすくなっていると考えられ、実際の耐力壁を想定して試験体の幅方向に余裕を持たせた試験体とすれば問題ないと思われる。

試験体シリーズ No.2(P14H0657) 及び No.5(P14H0677) は、スリット部の開きが最終破壊となったと思われるものは少なく、そこに至る前に内層のローリングシア破壊や内層ラミナの引張破壊等で破断する結果となった。スリット部の開きを抑えた No.8(P14H0657B) 及び

No.11(P14H0677B)を比較すると、No.8 試験体は破壊せず試験機容量に到達したが、No.11 試験体は引張破壊する結果となった。5層7プライでは5層が繊維平行方向、7層7プライでは4層が繊維平行方向であることや、7層7プライ試験体は接合具が曲げ降伏した後、3層目、5層目に応力が集中し脆性的に破壊繊維平行であるこれらの層が脆性的に引張破壊するためと思われる。

試験体シリーズ No.3(P08H1457)及び No.6(P08H1477)は、内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、内層ラミナの引張破壊等の集合型破壊となった。No.9 (P08H1457B)及び No.12(P08H1477B)は、前述の破壊性状に加え、ピンによる押し抜きせん断が加わった。ピンのピッチを広く取ると共に端距離も大きく取る必要があると思われる。

全般的にピッチや端距離別に比較すると、P14H14 シリーズ以外は、集合型破壊によって本来の強度性能を発揮できていないと考えられる。

No.1 P14H1457

表 6.4-1 P14H1457 特性値

		P14H1457			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	255.1	238.8	284.5	259.5	23.16	0.089	0.719	186.6
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	8.93	3.38	5.05	5.79	2.85	-	-	-
	P_{max} (kN)	382.7	358.2	426.8	389.2	34.76	0.09	0.72	279.7
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	27.51	27.01	26.50	27.01	0.51	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	280.9	222.0	279.6	260.8	33.64	0.129	0.593	154.7
	降伏時 δ_v (mm)	9.91	2.74	4.88	5.84	3.68	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	28.35	81.02	57.30	55.56	26.38	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	27.01	26.50	27.84	1.89	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	12.60	3.95	6.47	7.67	4.45	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	357.1	320.1	370.5	349.2	26.10	0.075	0.764	266.8
	塑性率 μ	2.38	6.84	4.10	4.44	2.25	-	-	-
	構造特性 D_s	0.52	0.28	0.37	0.39	0.12	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)		268.7	226.8	302.8	266.1	38.07	0.143	0.549

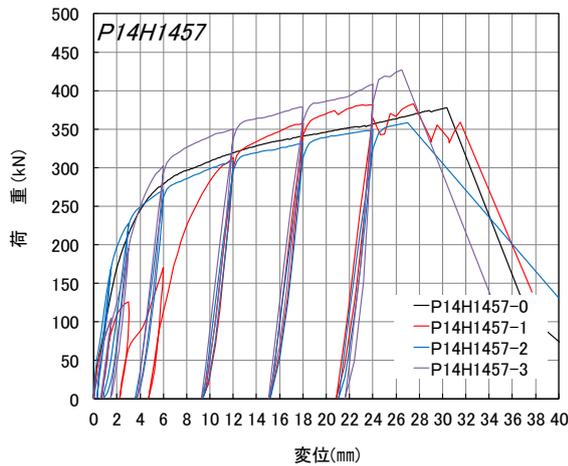


図 6.4-1 P14H1457 P δ 曲線

表 6.4-2 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	377.7	①
1	382.7	①
2	358.2	①
3	426.8	①

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥CLTの引張破壊
- ⑦破壊なし

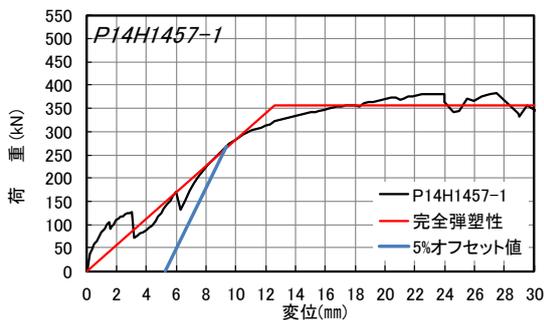


図 6.4-2 P14H1457-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

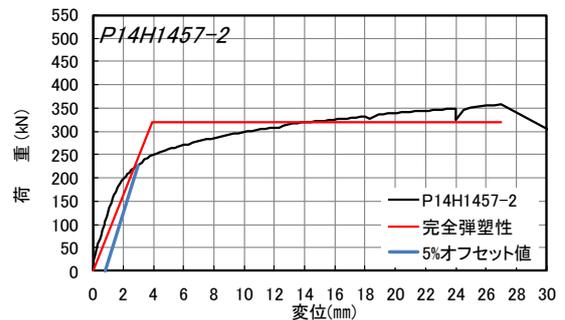


図 6.4-3 P14H1457-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

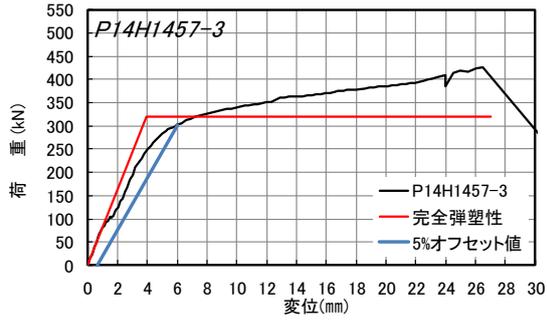


図 6.4-4 P14H1457-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-1 P14H1457-1 試験体スリット部からの開き、3、5層目の割れ



写真 6.4-2 P14H1457-1 試験体スリット部からの開き、それに伴う外層の割れ



写真 6.4-3 P14H1457-2 試験体スリット部からの開き



写真 6.4-4 P14H1457-3 試験体スリット部からの開き



写真 6.4-5 P14H1457-3 試験体スリット部からの開き

No.2 P14H0657

表 6.4-3 P14H0657 特性値

	P14H0657			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	221.1	196.1	236.5	217.9	20.39	0.09	0.71	153.6
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.56	2.05	3.35	2.99	0.82	-	-	-
	P_{max} (kN)	331.7	294.1	354.8	326.9	30.64	0.09	0.70	230.3
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	15.31	27.51	18.62	20.48	6.31	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	202.5	181.1	204.1	195.9	12.84	0.07	0.79	155.4
	降伏時 δ_v (mm)	3.04	1.71	2.18	2.31	0.67	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	66.61	105.91	93.62	88.71	20.10	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	19.41	29.01	18.62	22.35	5.78	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	4.53	2.58	3.39	3.50	0.98	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	301.8	273.5	317.3	297.5	22.21	0.07	0.76	227.5
	塑性率 μ	4.28	11.24	5.49	7.01	3.72	-	-	-
	構造特性 D_s	0.36	0.22	0.32	0.30	0.08	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	245.6	213.7	222.7	227.3	16.45	0.07	0.77	175.5

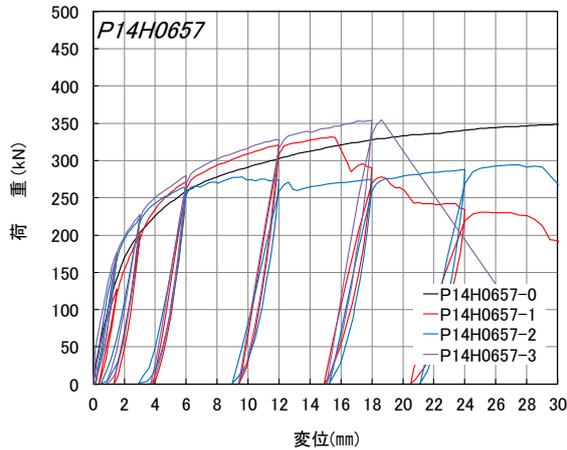


図 6.4-5 P14H0657 P6 曲線

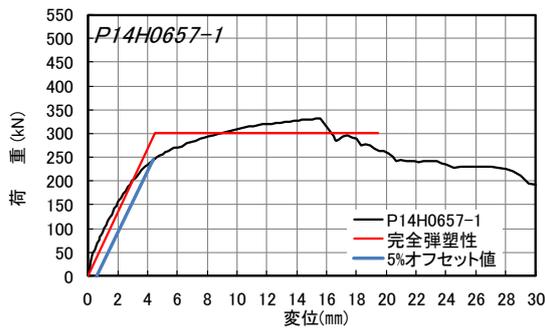


図 6.4-6 P14H0657-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-4 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	349	①
1	332	②、③
2	294	①、②
3	355	①、③

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

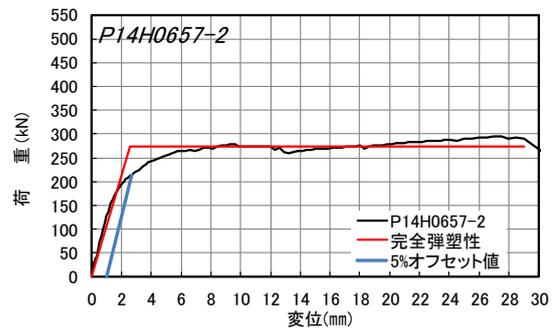


図 6.4-7 P14H0657-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

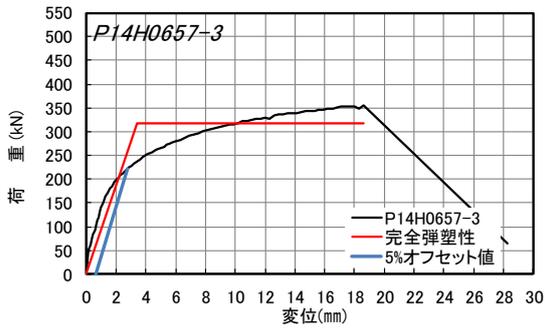


図 6.4-8 P14H0657-3 包絡線、完全弾塑性評価及び5%オフセット値



写真 6.4-6 P14H0657-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-7 P14H0657-1 内層のローリングシア、ドリフトピンの曲げ変形



写真 6.4-8 P14H0657-2 内層のローリングシア破壊



写真 6.4-9 P14H0657-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-10 P14H0657-3 ピンによる外層ラミナの割裂破壊

No.3 P08H1457

表 6.4-5 P08H1457 特性値

		P08H1457			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	198.3	202.2	206.0	202.2	3.85	0.02	0.94	190.0
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.20	3.01	2.83	3.01	0.19	-	-	-
	P_{max} (kN)	297.5	303.3	309.0	303.3	5.75	0.02	0.94	285.1
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	9.93	8.41	9.90	9.41	0.87	-	-	-
	降伏耐力 P_{yb} (kN)	172.4	181.8	194.1	182.8	10.88	0.06	0.81	148.5
	降伏時 δ_v (mm)	2.70	2.67	2.61	2.66	0.05	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	63.85	68.09	74.37	68.77	5.29	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	12.31	16.72	9.90	12.98	3.46	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	4.32	3.93	3.73	3.99	0.30	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	275.7	267.9	277.7	273.8	5.18	0.02	0.94	257.4
	塑性率 μ	2.85	4.25	2.65	3.25	0.87	-	-	-
	構造特性 D_s	0.46	0.36	0.48	0.44	0.06	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	233.4	246.1	251.1	243.5	9.12	0.04	0.88	214.8

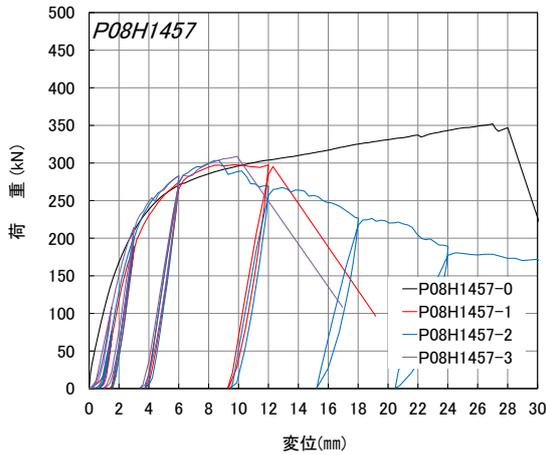


図 6.4-9 P08H1457 P6 曲線

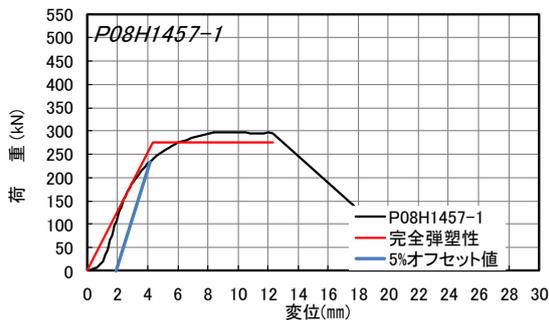


図 6.4-10 P08H1457-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-6 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	352.0	①、②
1	297.5	②、③
2	303.3	②、③
3	309.0	②、③

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

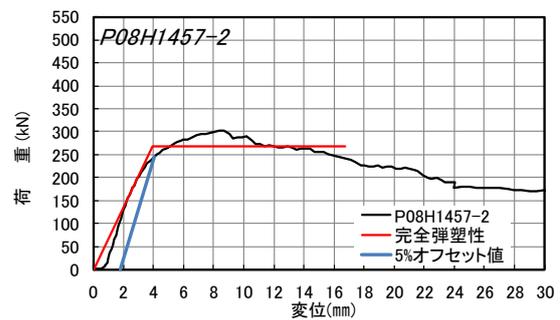


図 6.4-11 P08H1457-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

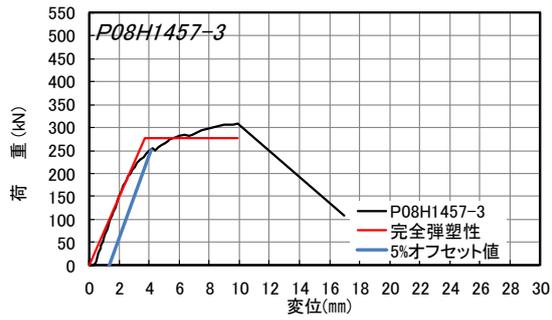


図 6.4-12 P08H1457-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-11 P08H1457-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-12 P08H1457-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-13 P08H1457-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-14 P08H1457-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 6.4-15 P08H1457-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊

No.4 P14H1477

表 6.4-7 P14H1477 特性値

	P14H1477			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	224.7	261.4	255.1	247.0	19.64	0.08	0.75	185.1
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	2.98	2.97	4.12	3.36	0.66	-	-	-
	P_{max} (kN)	337.0	392.1	382.6	370.6	29.46	0.08	0.75	277.7
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	19.51	26.52	25.01	23.68	3.69	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	204.1	266.8	278.9	249.9	40.15	0.16	0.49	123.4
	降伏時 δ_v (mm)	2.38	3.10	4.54	3.34	1.10	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	85.76	86.06	61.43	77.75	14.13	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	22.50	30.00	30.00	27.50	4.33	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	3.65	4.24	6.01	4.63	1.23	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	313.2	364.9	368.9	349.0	31.07	0.09	0.72	251.1
	塑性率 μ	6.16	7.08	4.99	6.08	1.04	-	-	-
	構造特性 D_s	0.30	0.28	0.33	0.30	0.03	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	253.3	290.1	341.5	295.0	44.30	0.15	0.53	155.3

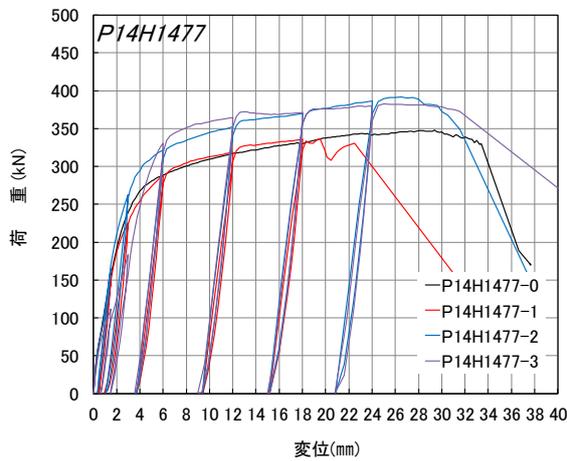


図 6.4-13 P14H1477 P6 曲線

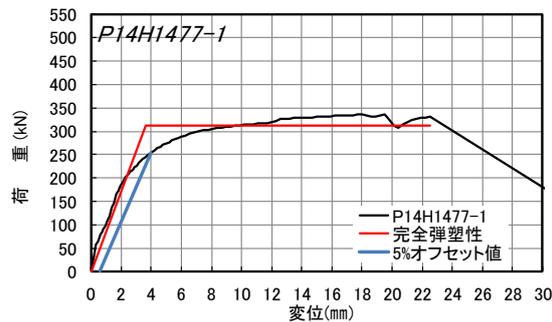


図 6.4-14 P14H1477-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-8 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	348.2	①
1	337.0	①、⑥
2	392.1	①
3	382.6	①

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

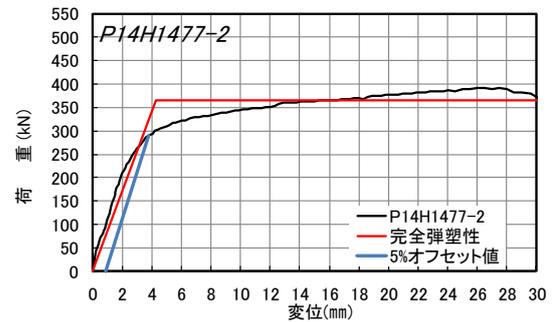


図 6.4-15 P14H1477-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

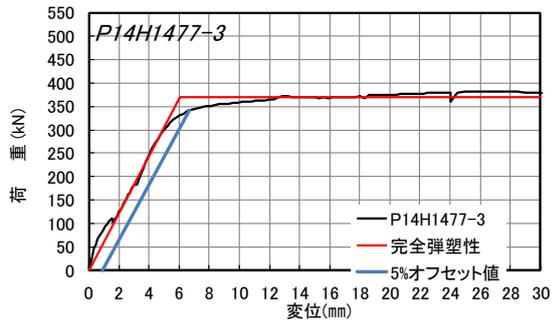


図 6.4-16 P14H1477-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-16 P14H1477-1 試験体スリット部からの開き、1層目～3層目の引張破壊



写真 6.4-17 P14H1477-1 試験体スリット部からの開き、1層目～3層目の引張破壊



写真 6.4-18 P14H1477-2 試験体スリット部からの開き



写真 6.4-19 P14H1477-2 試験体スリット部からの開き



写真 6.4-20 P14H1477-3 試験体スリット部からの開き

No.5 P14H0677

表 6.4-9 P14H0677 特性値

		P14H0677			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	190.1	199.3	195.5	195.0	4.62	0.02	0.93	180.4
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	2.14	2.28	2.12	2.18	0.09	-	-	-
	P_{max} (kN)	285.2	298.9	293.2	292.4	6.88	0.02	0.93	270.7
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	9.30	8.10	4.20	7.20	2.67	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	168.7	165.9	177.4	170.7	6.00	0.04	0.89	151.8
	降伏時 δ_v (mm)	1.80	1.66	1.92	1.79	0.13	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	93.72	99.94	92.40	95.35	4.03	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	9.30	14.39	4.20	9.30	5.10	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	2.83	2.64	2.90	2.79	0.13	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	265.4	264.2	267.5	265.7	1.67	0.01	0.98	260.4
	塑性率 μ	3.29	5.45	1.45	3.40	2.00	-	-	-
	構造特性 D_s	0.42	0.32	0.73	0.49	0.21	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	238.9	253.9	290.2	261.0	26.38	0.10	0.68	177.9

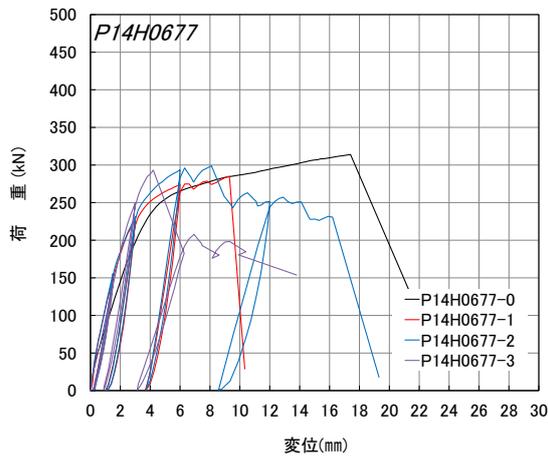


図 6.4-17 P14H0677 P6 曲線

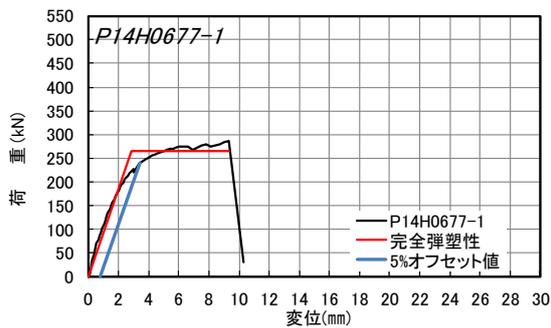


図 6.4-18 P14H0677-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-10 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	314.0	②、⑤
1	285.2	⑥
2	298.9	②、⑤
3	293.2	②、⑤

①スリット部からの面外への開き
 ②内層のローリングシア破壊
 ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
 ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
 ⑤内層ラミナの引張破壊
 ⑥CLT の引張破壊
 ⑦破壊なし

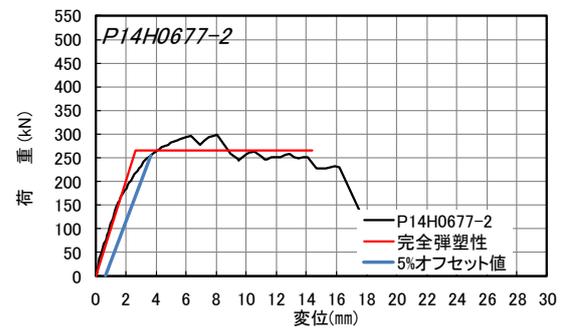


図 6.4-19 P14H0677-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

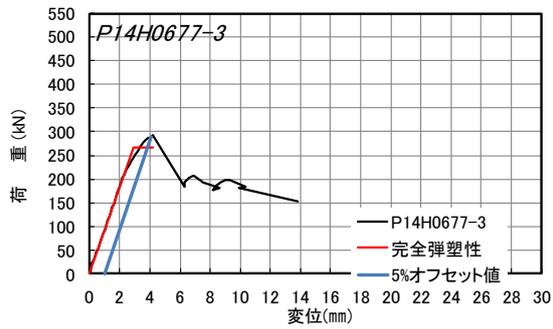


図 6.4-20 P14H0677-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-21 P14H0677-1 CLT の引張破壊



写真 6.4-22 P14H0677-1 CLT の引張破壊



写真 6.4-23 P14H0677-2 内層のローリングシア破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-24 P14H0677-2 内層のローリングシア破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-25 P14H0677-3 内層のローリングシア破壊、内層ラミナの引張破壊

No.6 P08H1477

表 6.4-11 P08H1477 特性値

		P08H1477			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	204.3	176.9	181.6	187.6	14.65	0.08	0.75	141.4
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.98	2.73	2.50	3.07	0.80	-	-	-
	P_{max} (kN)	306.5	265.4	272.3	281.4	22.01	0.08	0.75	212.0
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	11.10	5.00	5.80	7.30	3.32	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	175.0	190.2	141.1	168.8	25.14	0.15	0.53	89.5
	降伏時 δ_v (mm)	3.03	2.90	1.87	2.60	0.64	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	57.76	65.59	75.45	66.27	8.86	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	14.70	11.32	6.62	10.88	4.06	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	4.77	3.64	3.46	3.96	0.71	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	275.6	238.8	261.4	258.6	18.56	0.07	0.77	200.1
	塑性率 μ	3.08	3.11	1.91	2.70	0.68	-	-	-
	構造特性 D_s	0.44	0.44	0.59	0.49	0.09	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)		242.5	245.9	256.7	248.4	7.41	0.03	0.91

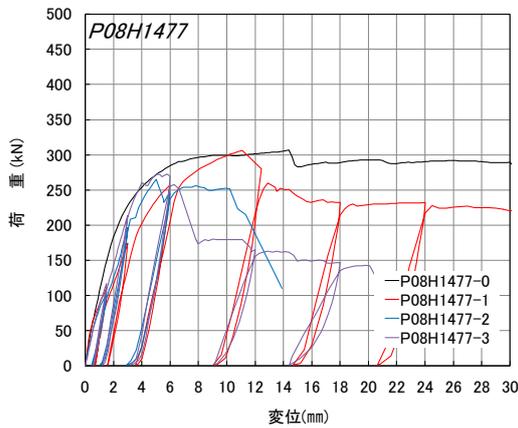


図 6.4-21 P08H1477 P6 曲線

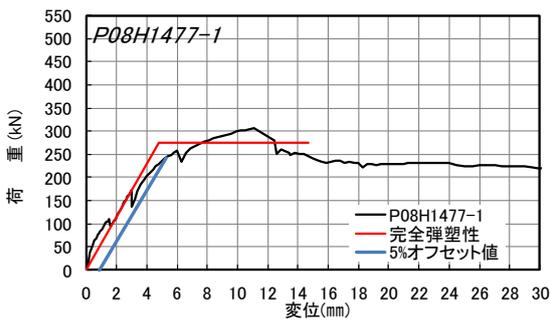


図 6.4-22 P08H1477-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

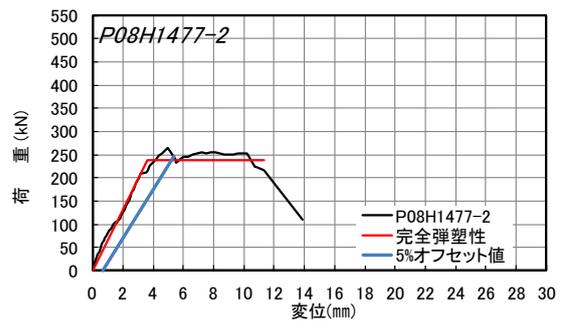


図 6.4-23 P08H1477-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-12 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	306.7	①
1	306.5	⑤
2	265.4	③、⑤
3	272.3	⑤

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

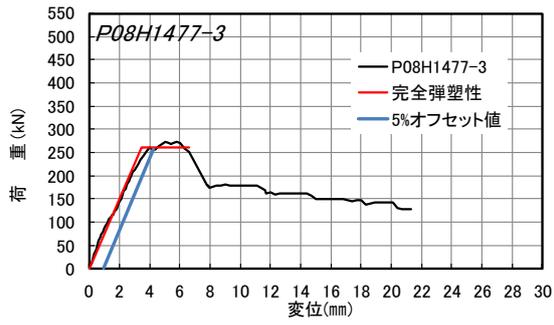


図 6.4-24 P08H1477-3 包絡線、完全弾塑性評価及び5%オフセット値



写真 6.4-26 P08H1477-1 内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-27 P08H1477-1 内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-28 P08H1477-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊, 内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-29 P08H1477-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊, 内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-30 P08H1477-3 内層ラミナの引張破壊

No.7 P14H1457B

表 6.4-13 P14H1457B 特性値

		P14H1457B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	328.1	333.4	333.3	331.6	3.06	0.01	0.97	322.0
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	7.17	6.63	6.89	6.90	0.27	-	-	-
	P_{max} (kN)	492.1	500.1	500.0	497.4	4.59	0.01	0.97	482.9
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	24.00	22.79	25.40	24.06	1.31	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	297.0	287.7	280.8	288.5	8.13	0.03	0.91	262.9
	降伏時 δ_v (mm)	5.89	4.58	4.25	4.91	0.87	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	50.42	62.82	66.07	59.77	8.26	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	24.00	22.79	25.40	24.06	1.31	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	8.40	6.85	6.40	7.22	1.05	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	423.3	430.1	422.8	425.4	4.08	0.01	0.97	412.5
	塑性率 μ	2.86	3.33	3.97	3.38	0.56	-	-	-
	構造特性 D_s	0.46	0.42	0.38	0.42	0.04	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)		318.6	306.6	282.5	302.6	18.38	0.06	0.81

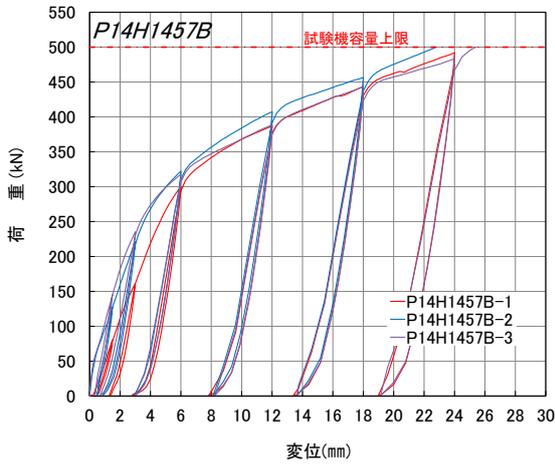


図 6.4-25 P14H1457B P δ 曲線

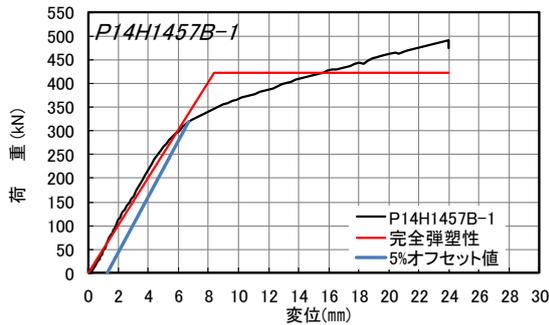


図 6.4-26 P14H1457B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-14 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	492.1	⑦
2	500.1	⑦
3	500.0	⑦

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥CLTの引張破壊
- ⑦破壊なし

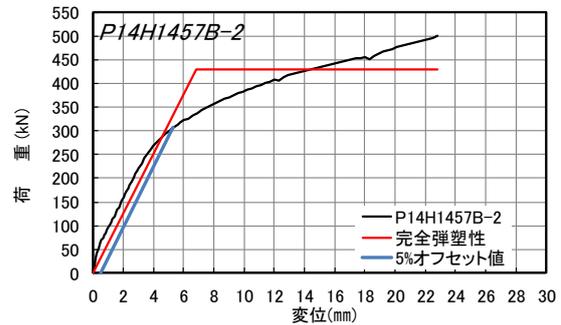


図 6.4-27 P14H1457B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

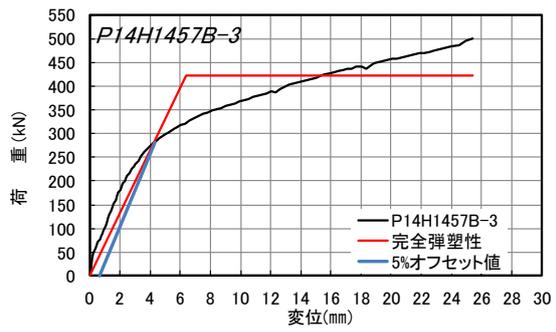


図 6.4-28 P14H1457B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-31 P14H1457B-1 試験機容量到達のため、破壊なし



写真 6.4-32 P14H1457B-1 試験機容量到達のため、破壊なし



写真 6.4-33 P14H1457B-2 試験機容量到達のため、破壊なし

No.8 P14H0657B

表 6.4-15 P14H0657B 特性値

		P14H0657B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	333.4	333.4	333.4	333.4	0.00	0.00	1.00	333.4
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	7.40	8.01	8.43	7.95	0.52	-	-	-
	P_{max} (kN)	500.1	500.1	500.0	500.1	0.06	0.00	1.00	499.9
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	27.47	26.95	25.74	26.72	0.89	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	316.2	293.3	282.0	297.2	17.42	0.06	0.82	242.2
	降伏時 δ_v (mm)	6.66	6.04	5.95	6.22	0.39	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	47.48	48.56	47.39	47.81	0.65	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	27.47	26.95	25.74	26.72	0.89	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	9.29	8.89	9.15	9.11	0.20	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	441.2	431.9	433.5	435.5	4.97	0.01	0.96	419.9
	塑性率 μ	2.96	3.03	2.81	2.93	0.11	-	-	-
	構造特性 D_s	0.45	0.44	0.46	0.45	0.01	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	331.1	298.9	306.4	312.1	16.85	0.05	0.83	259.0

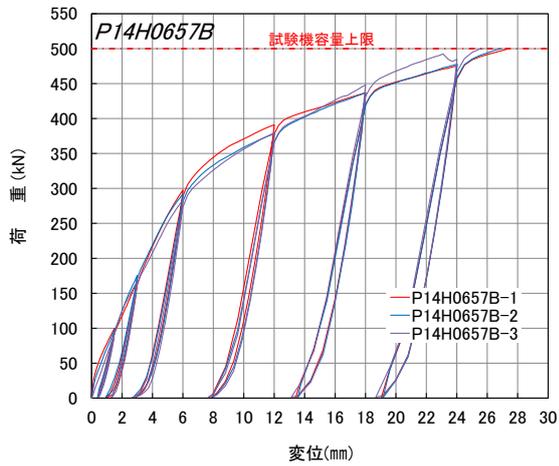


図 6.4-29 P14H0657B P8 曲線

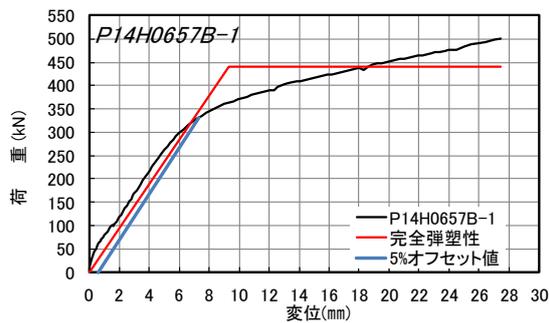


図 6.4-30 P14H0657B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-16 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	500.1	⑦
2	500.1	⑦
3	500.0	⑦

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

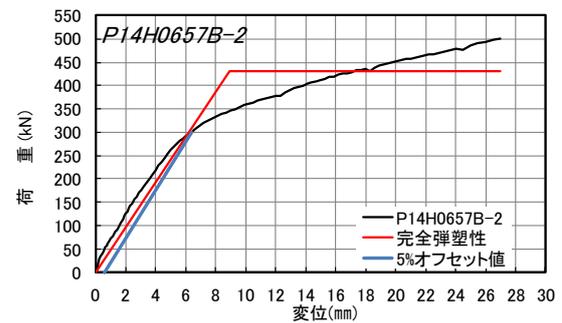


図 6.4-31 P14H0657B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

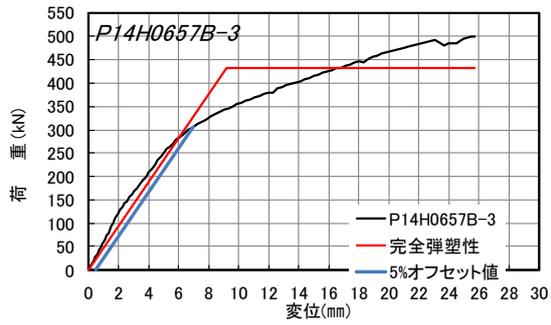


図 6.4-32 P14H0657B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-34 P14H0657B-1 破壊なし



写真 6.4-35 P14H0657B-1 外層に若干の割れあり(ただし、試験体としては破壊に至っていない)



写真 6.4-36 P14H0657B-2 破壊なし



写真 6.4-37 P14H0657B-2 外層に若干の割れあり(ただし、試験体としては破壊に至っていない)



写真 6.4-38 P14H0657B-3 破壊なし

No.9 P08H1457B

表 6.4-17 P08H1457B 特性値

		P14H1457B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	244.2	231.1	269.6	248.3	19.57	0.08	0.75	186.6
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.80	3.46	5.01	4.09	0.81	-	-	-
	P_{max} (kN)	366.3	346.6	404.4	372.4	29.38	0.08	0.75	279.8
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	12.00	7.80	17.70	12.50	4.97	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	217.7	173.2	275.2	222.0	51.14	0.23	0.27	60.8
	降伏時 δ_v (mm)	3.33	2.36	5.16	3.62	1.42	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	65.38	73.39	53.33	64.03	10.10	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	15.18	16.41	25.89	19.16	5.86	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	5.18	4.21	6.94	5.44	1.38	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	338.5	308.7	369.9	339.0	30.60	0.09	0.72	242.6
	塑性率 μ	2.93	3.90	3.73	3.52	0.52	-	-	-
	構造特性 D_s	0.45	0.38	0.39	0.41	0.04	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	310.8	299.2	296.9	302.3	7.45	0.02	0.92	278.8

表 6.4-18 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	366.3	②、③、④
2	346.6	②、③、④
3	404.4	②、③、④

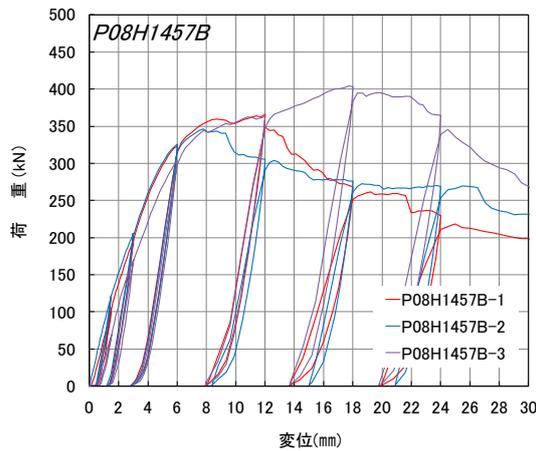


図 6.4-33 P08H1457B P8 曲線

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

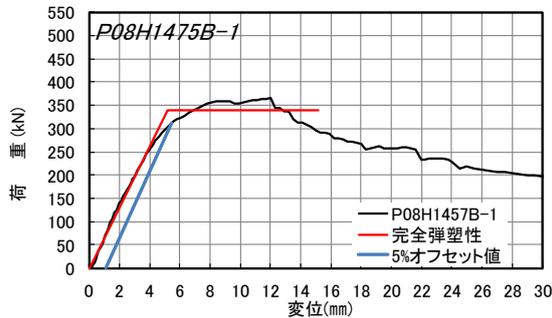


図 6.4-34 P08H1457B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

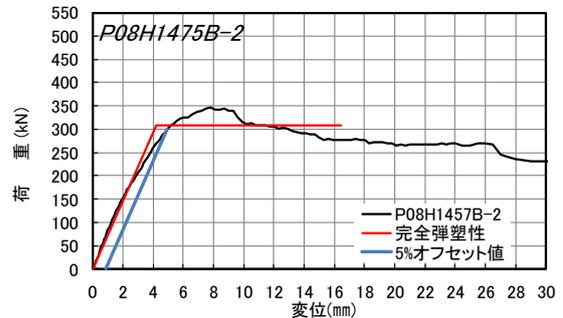


図 6.4-35 P08H1457B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

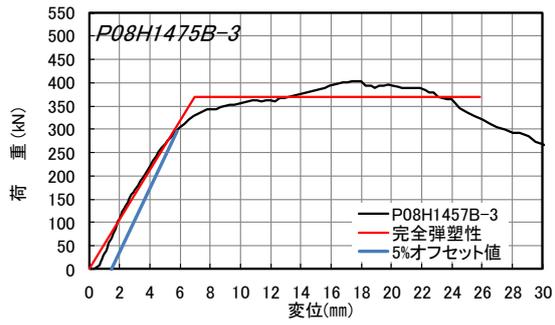


図 6.4-36 P08H1457B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-39 P08H1457B-1 内層のローリングギア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-40 P08H1457B-1 内層のローリングギア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-41 P08H1457B-1 内層のローリングギア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-42 P08H1457B-2 内層のローリングギア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-43 P08H1457B-2 内層のローリングギア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-44 P08H1457B-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-45 P08H1457B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-46 P08H1457B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊



写真 6.4-47 P08H1457B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊

No.10 P14H1477B

表 6.4-19 P14H1477B 特性値

		P14H1477B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	333.4	333.4	275.8	314.2	33.26	0.11	0.67	209.4
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	6.02	5.34	4.26	5.21	0.89	-	-	-
	P_{max} (kN)	500.1	500.0	413.7	471.3	49.85	0.11	0.67	314.1
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	24.80	21.15	11.10	19.02	7.09	-	-	-
	降伏耐力 P_{yi} (kN)	316.8	325.9	222.1	288.3	57.48	0.20	0.37	107.1
	降伏時 δ_v (mm)	5.38	5.13	3.18	4.56	1.20	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	58.88	63.53	69.84	64.08	5.50	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	24.80	21.15	16.82	20.92	3.99	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	7.41	7.03	5.56	6.67	0.98	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	436.3	446.9	388.0	423.7	31.40	0.07	0.77	324.8
	塑性率 μ	3.35	3.01	3.03	3.13	0.19	-	-	-
	構造特性 D_s	0.42	0.45	0.44	0.44	0.02	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	321.3	345.1	336.8	334.4	12.08	0.04	0.89	296.3

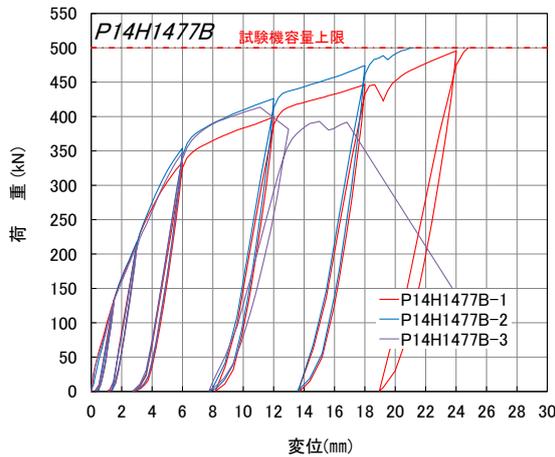


図 6.4-37 P14H1477B P8 曲線

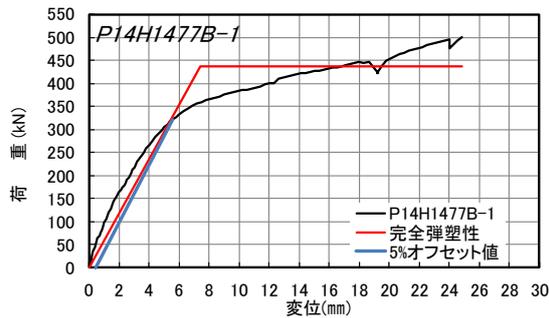


図 6.4-38 P14H1477B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-20 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	500.1	⑦
2	500.0	⑦
3	413.7	⑥

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

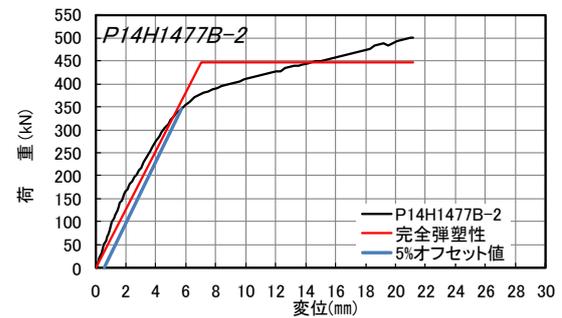


図 6.4-39 P14H1477B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

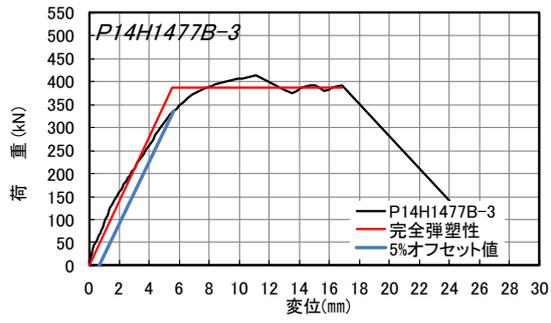


図 6.4-40 P14H1477B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-48 P14H1477B-1 3層目、5層目に若干の割れあり (ただし、試験体としては破壊に至っていない)



写真 6.4-49 P14H1477B-1 破壊なし



写真 6.4-50 P14H1477B-2 破壊なし



写真 6.4-51 P14H1477B-3 CLT の引張破壊



写真 6.4-52 P14H1477B-3 CLT の引張破壊

No.11 P14H0677B

表 6.4-21 P14H0677B 特性値

		P14H0677B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	251.6	257.1	171.7	226.8	47.80	0.21	0.34	76.1
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	4.00	5.15	2.83	3.99	1.16	-	-	-
	P_{max} (kN)	377.4	385.6	257.6	340.2	71.65	0.21	0.34	114.4
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	14.10	14.10	4.61	10.94	5.48	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	246.0	230.0	155.0	210.3	48.58	0.23	0.27	57.2
	降伏時 δ_v (mm)	3.87	4.47	2.50	3.61	1.01	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	63.57	51.45	62.00	59.01	6.59	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	14.10	14.68	4.61	11.13	5.65	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	5.31	6.83	3.47	5.20	1.68	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	337.8	351.6	214.9	301.4	75.26	0.25	0.21	64.2
	塑性率 μ	2.66	2.15	1.33	2.04	0.67	-	-	-
	構造特性 D_s	0.48	0.55	0.78	0.60	0.15	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)		287.7	303.2	249.4	280.1	27.69	0.10	0.69

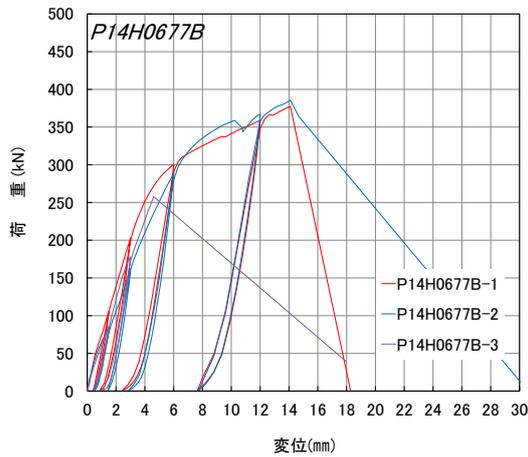


図 6.4-41 P14H0677B Pδ 曲線

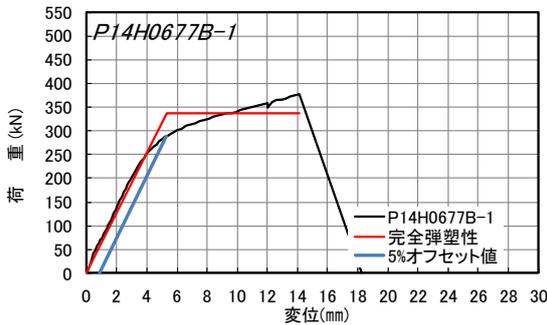


図 6.4-42 P14H0677B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

表 6.4-22 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	377.4	⑥
2	385.6	⑥
3	257.6	⑥

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

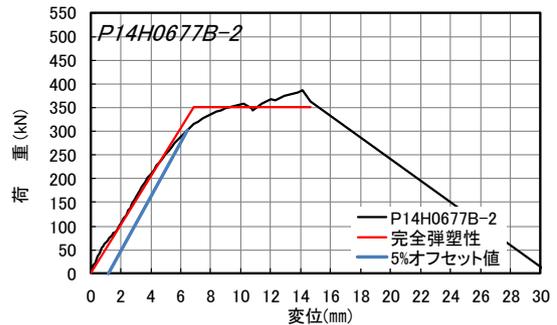


図 6.4-43 P14H0677B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値

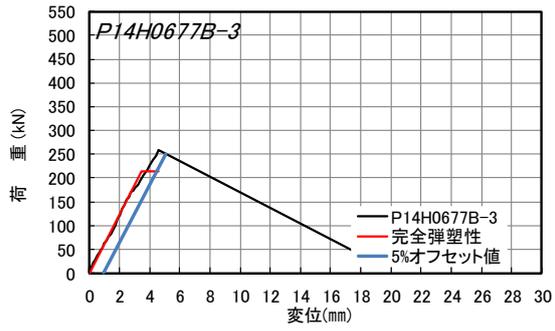


図 6.4-44 P14H0677B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び 5%オフセット値



写真 6.4-53 P14H0677B-1 CLT の引張破壊



写真 6.4-54 P14H0677B-1 CLT の引張破壊



写真 6.4-55 P14H0677B-2 CLT の引張破壊



写真 6.4-56 P14H0677B-2 CLT の引張破壊



写真 6.4-57 P14H0677B-3 CLT の引張破壊

No.12 P08H1477B

表 6.4-23 P08H1477B 特性値

		P08H1477B			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
		No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	270.8	260.1	237.3	256.1	17.11	0.07	0.79	202.1
	$\delta_{2/3P_{max}}$ (mm)	3.95	3.36	6.64	4.65	1.75	-	-	-
	P_{max} (kN)	406.3	390.1	356.0	384.1	25.68	0.07	0.79	303.2
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	22.81	19.51	25.00	22.44	2.76	-	-	-
	降伏耐力 P_{yi} (kN)	297.7	280.3	189.1	255.7	58.33	0.23	0.28	71.8
	降伏時 δ_v (mm)	4.60	3.83	4.11	4.18	0.39	-	-	-
	初期剛性 K (kN/mm)	64.72	73.19	46.01	61.31	13.91	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	5.71	4.88	6.98	5.86	1.06	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	369.4	357.5	321.0	349.3	25.22	0.07	0.77	269.8
	塑性率 μ	5.25	6.15	4.30	5.23	0.92	-	-	-
	構造特性 D_s	0.32	0.30	0.36	0.33	0.03	-	-	-
	5%オフセットによる P_{v5} (kN)	319.2	289.4	213.3	274.0	54.61	0.20	0.37	101.8

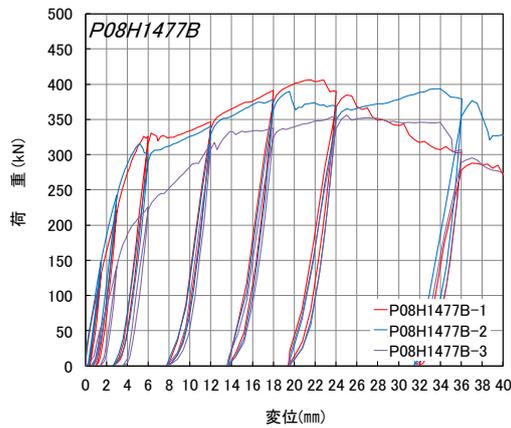


図 6.4-45 P08H1477B P6 曲線

表 6.4-24 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	406.3	②、③、④、⑤
2	393.2	②、③、④、⑤
3	356.0	②、③、④、⑤

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ CLT の引張破壊
- ⑦ 破壊なし

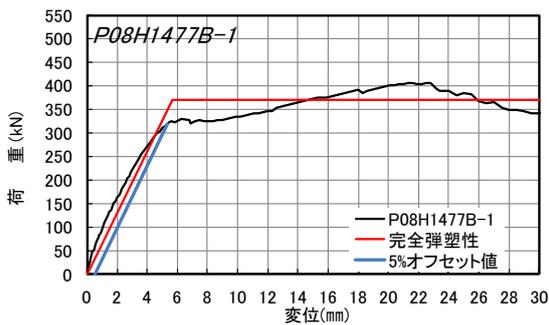


図 6.4-46 P08H1477B-1 包絡線、完全弾塑性評価及び5%オフセット値

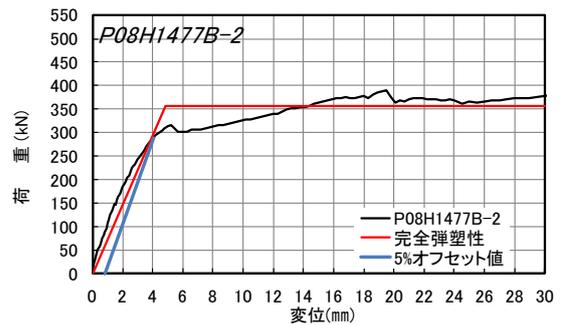


図 6.4-47 P08H1477B-2 包絡線、完全弾塑性評価及び5%オフセット値

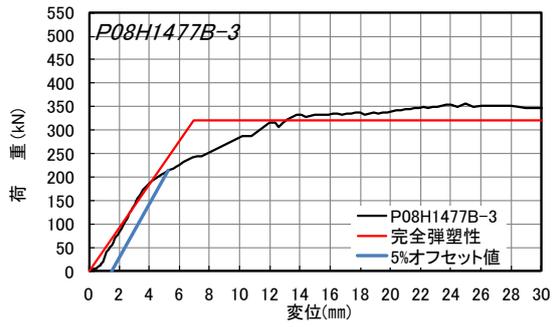


図 6.4-48 P08H1477B-3 包絡線、完全弾塑性評価及び5%オフセット値



写真 6.4-58 P08H1477B-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-59 P08H1477B-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-60 P08H1477B-1 解体後



写真 6.4-61 P08H1477B-1 ピン及びボルトの曲げ変形、



写真 6.4-62 P08H1477B-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-63 P08H1477B-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-64 P08H1477B-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-65 P08H1477B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-66 P08H1477B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-67 P08H1477B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 6.4-68 P08H1477B-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊、内層ラミナの引張破壊

6.5 降伏耐力の推定と終局強度比

(1) 降伏耐力の推定値と実験値との比較

文献 4)の一面せん断の詳細 EYT 式に準じて鋼板挿入二面せん断である本接合部の降伏耐力の推定を行った。計算に用いた基準支圧強度は、表 3.5-1、表 3.5-2 の集成材要素試験の結果 (P_u の 5% 下限値を支圧面積で除した値) を用いている。表 6.5-1 に完全弾塑性モデルによる降伏耐力 P_{ybi} 、表 6.5-2 に 5% オフセットによる降伏耐力 P_{y5} との比較を示す。

脆性的に破壊した試験体の場合、 P_{ybi} は計算値と合わない結果となった(例えば表 6.5-1 の No.2,3 など)。 P_{ybi} は評価方法の特性上、最大耐力の値に影響を大きく受けてしまうため、降伏後すぐに最大荷重を迎えるような脆性的な試験結果の場合は実際の降伏点より低く評価されるためである。一方、 P_{y5} については表 6.5-2 のとおり平均値において概ね一致する結果となった。

(2) 終局強度比

表 6.5-3 のとおり終局強度比を算出した。5% オフセットの終局強度比を算出するにあたり、5% オフセットの勾配を使って台形の面積に置換すると終局耐力が最大耐力を上回ってしまう場合があるので、終局耐力は完全弾塑性モデルによる P_{ybi} の傾きから求めた値を用いた。

結果から完全弾塑性モデルによる終局強度比はどの試験体も 1.4~1.5 程度となり、脆性的な試験体であっても終局強度比が高くなったが、5% オフセットによる終局強度比の場合は、脆性的な試験体は 1.0~1.1 程度、靱性がある試験体は 1.3~1.4 程度となった。

以上より、本試験体については、完全弾塑性モデルによる評価よりも 5% オフセット値の方が脆性的な破壊性状となった試験体の実性能をよく推定できていることが分かった。

表 6.5-1 完全弾塑性モデルによる降伏耐力と詳細 EYT 式による降伏耐力の比較

試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
		P14H145 7	P14H065 7	P08H145 7	P14H147 7	P14H067 7	P08H147 7	P14H14 57B	P14H06 57B	P08H14 57B	P14H14 77B	P14H06 77B	P08H14 77B
完全弾塑性 モデルによ る P_{ybi} (kN)	1体目	280.9	202.5	172.4	204.1	168.7	175.0	297.0	316.2	217.7	316.8	246.0	297.7
	2体目	222.0	181.1	181.8	266.8	165.9	190.2	287.7	293.3	173.2	325.9	230.0	280.3
	3体目	279.6	204.1	194.1	278.9	177.4	141.1	280.8	282.0	275.2	222.1	155.0	189.1
	平均値	260.8	195.9	182.8	249.9	170.7	168.8	288.5	297.2	222.0	288.3	210.3	255.7
	5% 下限値	154.8	155.4	148.5	123.4	151.8	89.5	262.9	242.2	60.8	107.1	57.2	71.8
詳細EYT式 による計算 値	降伏モード	III-3	III-3	III-3	III-3	III-3	III-3						
	計算値	265.8	264.3	265.8	266.9	264.3	266.9	265.8	264.3	265.8	266.9	264.3	266.9
P_{ybi} (平均値) / 計算値		0.98	0.74	0.69	0.94	0.65	0.63	1.09	1.12	0.84	1.08	0.80	0.96
P_{ybi} (5% 下限値) / 計算		0.58	0.59	0.56	0.46	0.57	0.34	0.99	0.92	0.23	0.40	0.22	0.27

表 6.5-2 5%オフセット値による降伏耐力と詳細 EYT 式による降伏耐力の比較

試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
		P14H145 7	P14H065 7	P08H145 7	P14H147 7	P14H067 7	P08H147 7	P14H14 57B	P14H06 57B	P08H14 57B	P14H14 77B	P14H06 77B	P08H14 77B
5%オフセット P _{y5} (kN)	1体目	318.6	245.6	233.4	253.3	238.9	242.5	318.6	331.1	310.8	321.3	287.7	319.2
	2体目	226.8	213.7	246.1	290.1	253.9	245.9	306.6	298.9	299.2	345.1	303.2	289.4
	3体目	302.8	222.7	251.1	341.5	290.2	256.7	282.5	306.4	296.9	336.8	249.4	213.3
	平均値	266.1	227.3	243.5	295.0	261.0	248.4	302.6	312.1	302.3	334.4	280.1	274.0
	5%下限値	146.1	175.5	214.8	155.3	177.9	225.0	244.6	259.0	278.8	296.3	192.8	101.8
詳細EYT式 による計算 値	降伏モード	III-3	III-3	III-3	III-3	III-3	III-3						
	計算値	265.8	264.3	265.8	266.9	264.3	266.9	265.8	264.3	265.8	266.9	264.3	266.9
P _{y5} (平均値)／計算値		1.00	0.86	0.92	1.11	0.99	0.93	1.14	1.18	1.14	1.25	1.06	1.03
P _{y5} (5%下限値)／計算		0.55	0.66	0.81	0.58	0.67	0.84	0.92	0.98	1.05	1.11	0.73	0.38

表 6.5-3 完全弾塑性モデル及び5%オフセットによる降伏耐力から求めた終局強度比

試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
		P14H145 7	P14H065 7	P08H145 7	P14H147 7	P14H067 7	P08H147 7	P14H14 57B	P14H06 57B	P08H14 57B	P14H14 77B	P14H06 77B	P08H14 77B
完全弾塑性 モデル	P _{ybi} (kN)	260.8	195.9	182.8	249.9	170.7	168.8	288.5	297.2	222.0	288.3	210.3	255.7
	P _{ubi} (kN)	349.2	297.5	273.8	349.0	265.7	258.6	425.4	435.5	339.0	423.7	301.4	349.3
	γ _{ub}	1.34	1.52	1.50	1.40	1.56	1.53	1.47	1.47	1.53	1.47	1.43	1.37
5%オフセッ ト	P _{y5} (kN)	266.1	227.3	243.5	295.0	261.0	248.4	302.6	312.1	302.3	334.4	280.1	274.0
	γ _{u5} [*]	1.31	1.31	1.12	1.18	1.02	1.04	1.41	1.40	1.12	1.27	1.08	1.27

※γ_{u5}は、完全弾塑性モデルによる終局耐力P_{ubi}を5%オフセットによるP_{y5}で除した値である。

6.6 集合型破壊の検討

6.4 項の試験結果のとおり、スリット部からの面外の開きによって荷重が低下した試験体 No.1、4 や試験機容量上限に到達した試験体 No.7,8,10 を除き、5 層 7 プライ試験体では挿入鋼板付近のラミナ間でのローリングシア破壊、7 層 7 プライ試験体ではラミナの引張破壊が終局の破壊性状となることが分かった。

これらはドリフトピンで囲まれた部分または幅はぎ未接着部分を境界として木破が生じているため、これらの影響面積による推定式の検討を行った。

(1) 接合具が全てドリフトピン(試験体 No1~6)の場合の破壊性状と推定式

1) 5 層 7 プライ推定式

表 6.5-1、6.5-2 のとおり 5 層 7 プライ試験体では、降伏モード III-3 であるため回転中心は 1,5 層目となる。このため、図 6.6-1 のとおり 2、4 層目の直交層に圧縮応力が生じ、1 層目と 2 層目、4 層目と 5 層目の境界部分がローリングシア破壊するものと考えられる(試験体 No.2,3)。このときの応力分布は図 6.6-2 のとおり 45°方向に伝達すると仮定し、幅はぎの位置に関わらず同じ面積と仮定する。写真 6.4-9 や写真 6.4-11 等のように 1、7 プライ目も引張破壊やピンによる割裂が生じるが、これは副次的な破壊と考えられる。

したがって 5 層 7 プライの集合型破壊は、文献 5) の鋼板添え板ビス接合の弱軸方向加力試験体の設計式に準じて 6.6-1 式、6.6-2 式のとおり算定するものとした。

$$P_{max} = MIN(P_b, P_g) \quad \dots(6.6-1)$$

$$P_g = 2 \cdot A_s \cdot F_g \quad \dots(6.6-2)$$

ここで、P_b: ドリフトピン接合の最大耐力

A_R: 図 6.6-2 に於ける網掛け部分の面積

Fig: CLT のローリングシア強度(N/mm²)

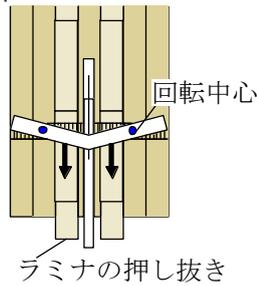


図 6.6-1 5層7プライの集合型破壊

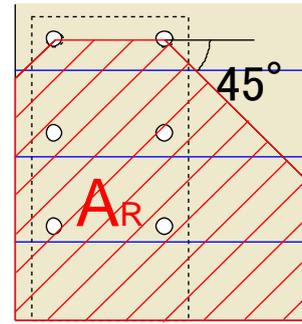


図 6.6-2 5層7プライのローリングシア応力分布(2-3層間、5-6層間)の想定

2) 7層7プライ推定式

表 1、2 のとおり 7層7プライ試験体では、スギ、ヒノキ共に降伏モードⅢ-3 であるため、回転中心は 2、6 層目となる(図 3)。このとき 2、6 層目の平行層が押し抜かれ、当該ラミナに引張応力と発生し、2 層目と 3 層目、5 層目と 6 層目の境界部分にせん断応力が生じて木部破断するものと考えられる。また、今回の試験のように幅はぎ接着をしていない CLT では、幅はぎに沿った壊れ方をする恐れがあるため、図 6.6-4 のように幅はぎ位置に沿った面積によるローリングシアと引張破壊となる場合がある。この場合幅はぎに沿って壊れるためラミナのせん断破壊は発生しない。

したがって 7層7プライの集合型破壊は、文献 5) の鋼板添え板ビス接合の強軸方向加力試験体の設計式に準じて 6.6-3 式~6.6-10 式のとおり算定するものとした。なお、AIJ 基準 1) では引張耐力とせん断耐力の最大荷重時変位が異なるため、両者を比較し大きい値を採用する設計式となっているが、ここでは合力として求めている。

$$P_{max} = \text{MIN}(P_b, P_{R1}, P_{R2}) \quad \dots(6.6-3)$$

$$P_{R1} = P_{t1} + P_{g1} \quad \dots(6.6-4)$$

$$P_{t1} = (W_L - m \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-5)$$

$$P_{g1} = 2 \cdot W_L \cdot L_b \cdot F_g \quad \dots(6.6-6)$$

$$P_{R2} = P_{t2} + P_{g2} + P_s \quad \dots(6.6-7)$$

$$P_{t2} = (W_b - (m - 1) \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-8)$$

$$P_{g2} = 2 \cdot W_b \cdot L_b \cdot F_g \quad \dots(6.6-9)$$

$$P_s = 2 \cdot \left(L_b - \left(n - \frac{1}{2} \right) \cdot d \right) \cdot t \cdot F_s \quad \dots(6.6-10)$$

ここで、 F_t : ラミナの引張強度(N/mm²)

W_L : 図 6.6-6 に示す幅はぎ位置間の距離(mm)

W_b : 図 6.6-6 に示すドリフトピン外周部の幅(mm)

L_b : 図 6.6-6 に示すドリフトピン外周部の長さ(mm)

t : 3 層目、5 層目のラミナ厚さの合計(mm)

m : 図 6.6-6 に示す最上段の列方向のドリフトピンの本数

n : 図 6.6-6 に示す加力方向のドリフトピンの本数

d : ドリフトピン径(mm)

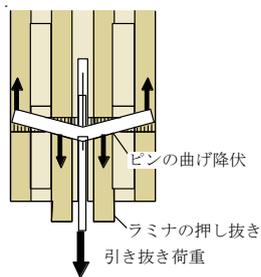


図 6.6-3 7層7プライの集合型破壊の過程

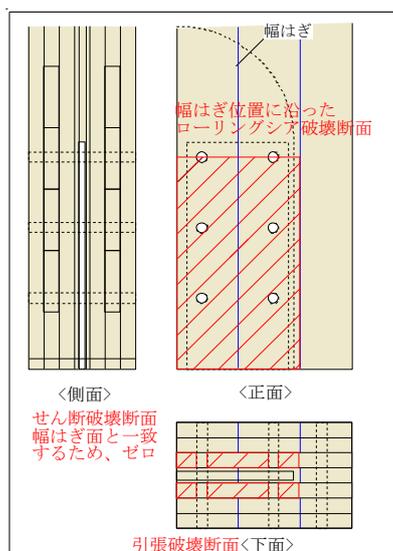


図 6.6-4 7層7プライの幅はぎ位置に沿って生じる集合型破壊に関する応力分布の想定

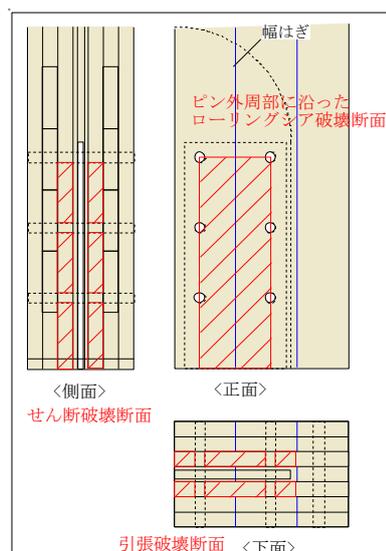


図 6.6-5 7層7プライのピンで囲まれた部分での集合型破壊に関する応力分布の想定

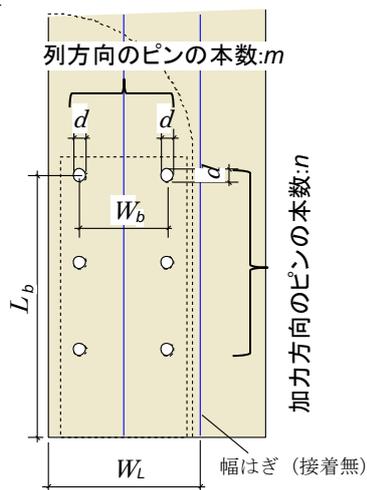


図 6.6-6 推定式に用いる寸法

なお、層構成に関わらず、端距離やピッチが十分に大きい No.1,4 については、図 6.6-7 のとおりスリット部からの面外への開きという破壊性状になっている。どの試験体においてもピンの曲げ降伏によって多少なりとも面外へ開いており、集合型破壊と合わさった場合はどちらの壊れ方が主体であるのか見分けが難しい。また、No.4 の P14H1477-1 については、スリット部が開きによって応力が偏心し、図 6.6-8 のように片側が引張破壊したものと思われる。

これらスリット部の開きによる推定は難しく、今後の課題としたい。

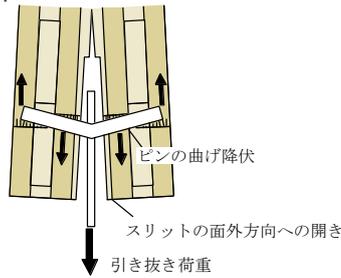


図 6.6-7 スリットの面外方向への開き
(5層7プライ、7層7プライ共通)

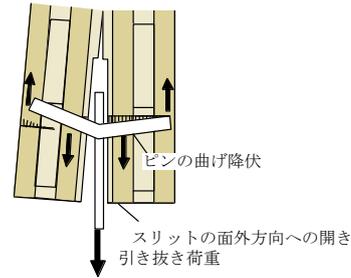


図 6.6-8 スリット部からの面外の開きの偏心による引張破壊

(2) 接合具の一部がボルト (試験体 No7~12) の場合の破壊性状と推定式

1) 5層7プライ推定式

6.4項で述べたとおり接合部の一部をボルトに代えることで、図 6.6-7 のようなスリット部からの面外の開きとなる破壊性状が生じなくなった。

ボルト部分については、座金の面圧によって面外への開きが抑えられており、写真 6.4-1-61 に示すとおり、ドリフトピン部分に比べて曲げの塑性変形が抑えられている。この効果によって試験体 No.11 では全層が一体となって CLT の引張破壊が生じたものと思われる。No.3,6 より No.9,12 の方が終局耐力が高い結果となっていることからこのとおりであろうと考えられる。

また、No.9,12 のように端距離が短くなければ、座金によるボルトのロープ効果も期待でき、No7,8,10 については、荷重が試験機容量 500kN を超えた。

5層7プライは、図 6.6-10 及び図 6.6-11 のような外層の引張破壊、No.9 試験体で確認できた図 6.6-12 の壊れ方を想定してこれらの最小値とした (6.6-11 式)。ただし、図 6.6-10 及び図 6.6-11 の外層の引張破壊は実験では確認できていない。6.6-19 式は図 6.6-12 にあるボルトの押し抜きせん断を想定したものである。

$$P_{max} = \text{MIN}(P_b, P_{R1}, P_{R2}, P_{R3}) \quad \dots(6.6-11)$$

$$P_{R1} = P_{t1} \quad \dots(6.6-12)$$

$$P_{t1} = (W_L - m \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-13)$$

$$P_{R2} = P_{t2} + P_s \quad \dots(6.6-14)$$

$$P_{t2} = (W_b - (m - 1) \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-15)$$

$$P_s = 2 \cdot (L_b - \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot d) \cdot t \cdot F_s \quad \dots(6.6-16)$$

$$P_{R3} = P_{g3} + P_{s2} \quad \dots(6.6-17)$$

$$P_{g3} = 2 \cdot A_s \cdot F_g \quad \dots(6.6-18)$$

$$P_{s2} = 2 \cdot m_1 \cdot L_{b2} \cdot t \cdot F_s \quad \dots(6.6-19)$$

ここで、 t : 1層目(1+2プライ目)、5層目(6+7プライ目)の厚さの合計(mm)

L_{b2} : 図 6.6-12 に示す最下段のボルト中心から CLT 端部までの長さ(mm)

M_1 : 最下段のドリフトピン本数(本)

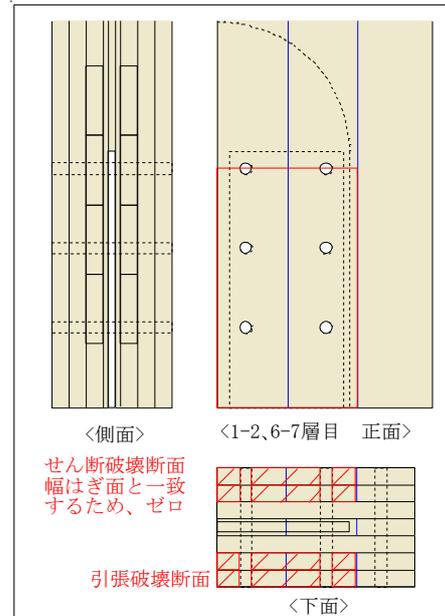
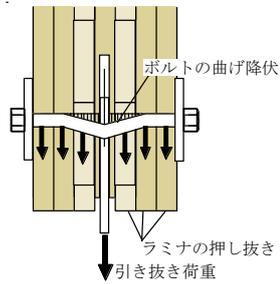


図 6.6-9 ボルトによる応力分布の推定 (5層7プライ、7層7プライ共通)

図 6.6-10 5層7プライ ピン+ボルト接合の幅はぎ位置に沿って生じる集合型破壊に関する応力分布の想定

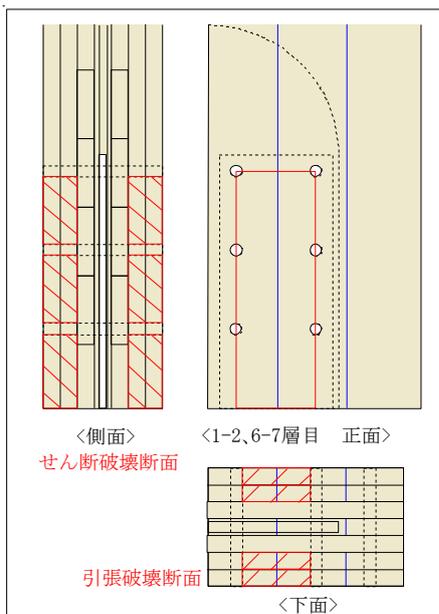


図 6.6-11 5層7プライ ピン+ボルト接合の接合具で囲まれた部分での集合型破壊に関する応力分布の想定

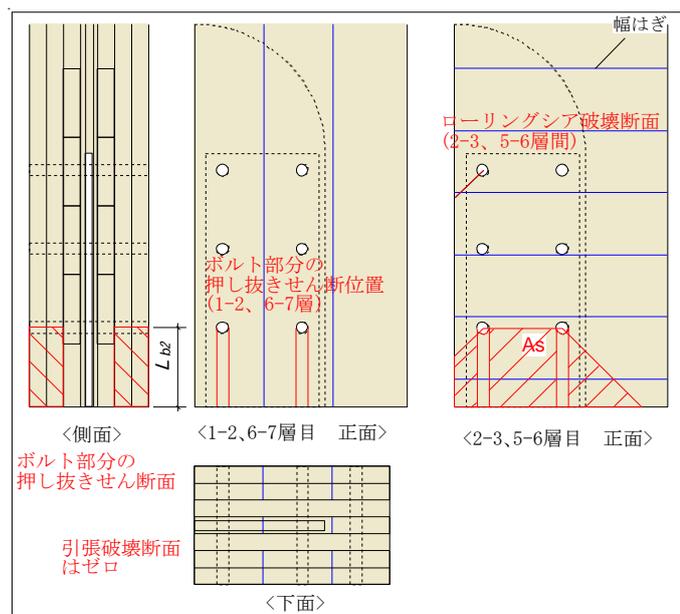


図 6.6-12 5層7プライ ピン+ボルト接合のボルト部押し抜きせん断破壊を伴う集合型破壊に関する応力分布の想定

2) 7層7プライ推定式

7層7プライは、図 6.6-13 及び図 6.6-14 のような引張破壊、図 6.6-15 の壊れ方を想定してこれらの最小値とした (6.6-20 式)。

$$P_{max} = \text{MIN}(P_b, P_{R1}, P_{R2}, P_{R3}) \quad \dots(6.6-20)$$

$$P_{R1} = P_{t1} \quad \dots(6.6-21)$$

$$P_{t1} = (W_L - m \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-22)$$

$$P_{R2} = P_{t2} + P_S \quad \dots(6.6-23)$$

$$P_{t2} = (W_b - (m - 1) \cdot d) \cdot t \cdot F_t \quad \dots(6.6-24)$$

$$P_S = 2 \cdot (L_b - \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot d) \cdot t \cdot F_S \quad \dots(6.6-25)$$

$$P_{R3} = P_{g3} + P_{S2} \quad \dots(6.6-26)$$

$$P_{g3} = 4 \cdot A_s \cdot F_g \quad \dots(6.6-27)$$

$$P_{S2} = 2 \cdot m_1 \cdot L_{b2} \cdot t \cdot F_S \quad \dots(6.6-28)$$

ここで、 t : 1、3、5、7層目の厚さの合計(mm)

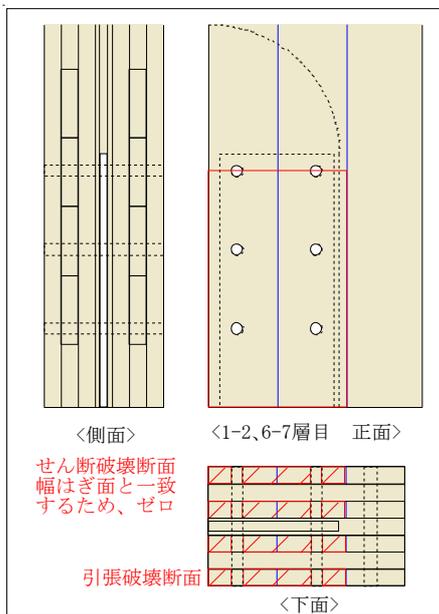


図 6.6-13 7層7プライ ピン+ボルト接合の幅はぎ位置に沿って生じる集合型破壊に関する応力分布の想定

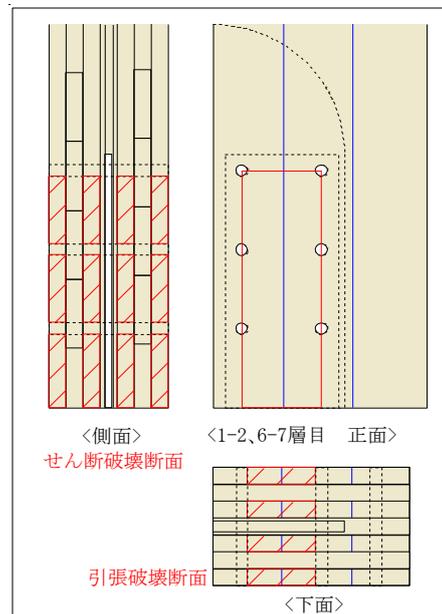


図 6.6-14 7層7プライ ピン+ボルト接合の接合具で囲まれた部分での集合型破壊に関する応力分布の想定

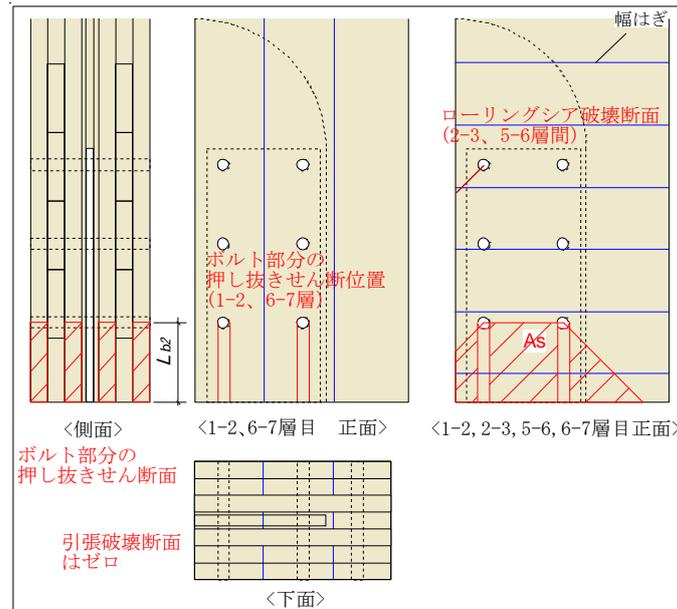


図 6.6-15 7層7プライ ピン+ボルト接合のボルト部押し抜きせん断破壊を伴う集合型破壊に関する応力分布の想定

(3) 集合型破壊の計算結果

集合型破壊の推定式は(1)、(2)で示したとおりだが、そもそも集合型破壊しない場合のドリフトピン接合具における曲げ降伏後の最大耐力若しくは終局耐力の正確な推定方法が確立されていない。文献 1)ではローブ効果が期待できないとして終局強度比を 1.0 と定めているが、実際の実験では表 6.5-3 のとおり、降伏後に荷重が 1.3~1.4 倍程度まで上昇する。終局比 1.0 は設計としては安全側になるので正しいが、ここでは集合型破壊の推定式の妥当性を検証する目的のため、ドリフトピン接合での終局耐力をドリフトピン 6 本仕様の場合は P_y の 1.3 倍、ドリフトピン 4 本+ボルト 2 本仕様については P_y の 1.4 倍として算出するものとする。

集合型破壊の計算に用いる引張強度は 5.6 項の表 5.6-2 を、ローリングシア強度は 4.7 項の表 4.7-2 より、外層加力試験体の決定方法その 2 を使用した。せん断強度は文献 5) の実大椅子型試験結果より表 6.6-1 のとおりとし、0.75 倍したものを 5% 下限値相当として用いた。

また、スリット部からの面外方向への開きについては適切な計算方法がないため計算していない。

表 6.6-1 実大椅子型せん断試験結果

樹種	試験体シリーズ数	試験体数の 総計(体)	引張の平均値 (GPa)	×0.75
スギ	1	51	6.41	4.8
ヒノキ	1	40	8.74	6.6

算定結果を表 6.6-2 に示す。

前述のとおり、ドリフトピン接合具の曲げ降伏後の終局耐力の値はドリフトピン 6 本仕様の場合は P_y の 1.3 倍、ドリフトピン 4 本+ボルト 2 本仕様については P_y の 1.4 倍という仮定で置いた数値なので、判断材料としての信頼性は薄いため参考として見ていただきたい。

No.1~3については実験値と計算値がよく一致する結果となった。集合型破壊のあったNo.2, 3については計算値においても集合型破壊で数値が決定しており破壊モードも合っている。No.4~6については計算値の方が高くなっており、5%下限値の推定では破壊モードが一致しているが、平均値の推定では全てドリフトピン接合具の終局耐力で決まっている。No.7~12については破壊モードが一致しているものの、計算値がやや低くなっている。少なくともボルト接合が一部使われたことによって P_b が割増されるはずではあるので、ここでは参考として見ていただきたい。集合型破壊で決定したNo.9, 12については概ね推定できていると考えている。

表 6.6-2 実験結果と集合型破壊計算値との比較

項目		試験体名												
		No.1 P14H1457	No.2 P14H0657	No.3 P08H1457	No.4 P14H1477	No.5 P14H0677	No.6 P08H1477	No.7 P14H1457 B	No.8 P14H0657 B	No.9 P08H1457 B	No.10 P14H1477 B	No.11 P14H0677 B	No.12 P08H1477 B	
破壊性状	荷重低下の要因となった破壊性状	スリットの開き	内層のローリングシア破壊、CLTの引張破壊	内層のローリングシア破壊	スリットの開き※1	内層の引張破壊	内層の引張破壊	破壊なし(試験機容量到達のため)	破壊なし(試験機容量到達のため)	端距離が近いこと、引張ではなく押し抜きせん断	破壊なし(試験機容量到達のため)	CLTの引張破壊	端距離が近いこと、引張ではなく押し抜きせん断	
	集合型破壊の有無	×	○	○	×	○	○	×	×	○	×	○	○	
平均値の推定	実験値	平均	389.2	326.9	303.3	370.6	292.4	281.4	497.4	500.1	372.4	471.3	340.2	384.1
	集合型破壊計算値(平均値)	P_b (kN)※2	345.5	343.6	345.5	346.9	343.6	346.9	372.1	370.1	372.1	373.6	370.1	373.6
		P_g (kN)※3	502.0	410.5	269.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		P_{R1} (kN)※3	—	—	—	734.2	602.0	560.8	659.3	528.8	659.3	988.6	856.4	696.6
		P_{R2} (kN)※3	—	—	—	714.5	450.2	475.7	765.0	634.5	536.4	1139.4	941.9	709.0
		P_{R3} (kN)※3	—	—	—	—	—	—	548.3	503.8	301.7	665.9	576.8	357.2
	P_{ave} (kN)	345.5	410.5	269.2	346.9	343.6	346.9	372.1	370.1	301.7	373.6	370.1	357.2	
実験値/計算値	1.1	0.8	1.1	1.1	0.9	0.8	1.3	1.4	1.2	1.3	0.9	1.1		
5%下限値の推定	実験値	5%下限値	279.7	230.3	285.1	277.7	270.7	212.0	482.9	499.9	279.8	314.1	114.4	303.2
	集合型破壊計算値(5%下限値相当)	P_b (kN)※2	345.5	343.6	345.5	346.9	343.6	346.9	372.1	370.1	372.1	373.6	370.1	373.6
		P_g (kN)※4	292.6	239.3	248.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		P_{R1} (kN)※4	—	—	—	483.1	395.1	461.0	494.5	396.6	494.5	667.1	579.1	564.9
		P_{R2} (kN)※4	—	—	—	496.4	320.5	334.3	573.1	475.2	365.8	779.8	642.9	490.6
		P_{R3} (kN)※4	—	—	—	—	—	—	391.1	365.1	216.7	459.6	407.7	249.0
	P_{ave} (kN)	292.6	239.3	248.9	346.9	320.5	334.3	372.1	365.1	216.7	373.6	370.1	249.0	
実験値/計算値	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	0.6	1.3	1.4	1.3	0.8	0.3	1.2		

※1 スリットの開きによる片面のみ引張破壊も含んでいる。

※2 推定のため、 P_y の1.5倍と仮定した。

※3 計算に用いたローリングシア強度や引張強度は、実験の平均値を用いている。

※4 計算に用いたローリングシア強度や引張強度は、実験の5%下限値若しくは平均値を0.75倍したものをを用いている。

7. 鋼板挿入ドリフトピン用接合金物単体の引張試験

7.1 試験の目的

接合金物は、余裕をもった設計を行うことは重要であるが、コストや現場での施工性(重さ)を考慮すると軽量でコンパクトなものの方が望ましい。鋼板挿入ドリフトピン用接合金物の形状を決定するにあたり、鋼材の厚みや材質から単純に計算できない部分があるため、実験的に形状の検証を行うことを目的とする。将来的には実験を行わずとも FEM 解析等で推測できることを期待するものである。

7.2 試験の概要

(1) 試験体の種類

表 7.2-1 に試験の種類を、図 7.2-1～図 7.2-4 に金物の製作図を示す。

表 7.2-1 鋼板挿入ドリフトピン用接合金物単体の引張試験

番号	試験体番号	金物の幅(mm)	上板の厚さ(mm)	底板の厚さ(mm)	試験体数(体)
1	N1925	170	19	25	1
2	N2532		25	32	1
3	N2532S				1
4	W1925	260	19	25	1
5	W2532		25	32	1
6	W2532S				1
合計					6

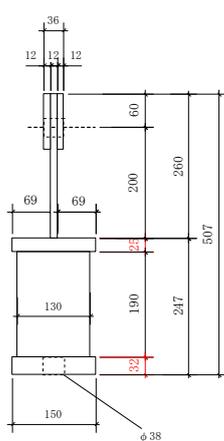


図 7.2-1 N1925 金物製作図

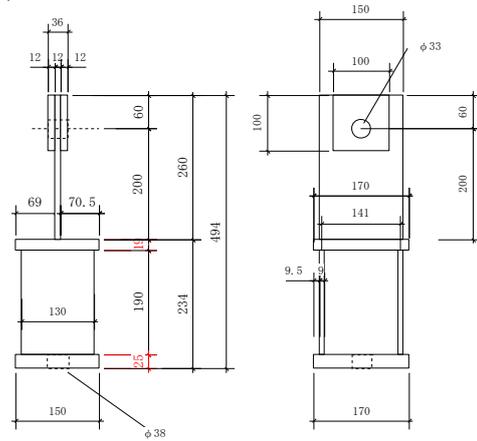


図 7.2-2 N2532 金物製作図

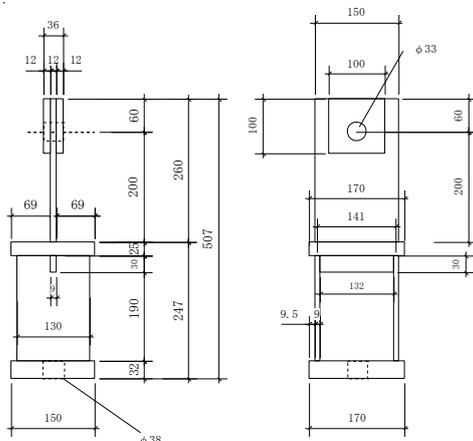


図 7.2-3 N2532S 金物製作図

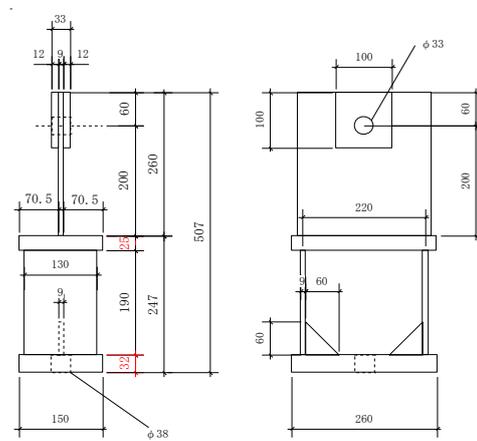


図 7.2-4 W1925 金物製作図

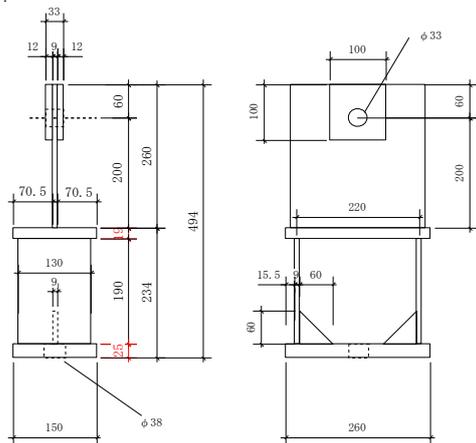


図 7.2-5 W2532 金物製作図

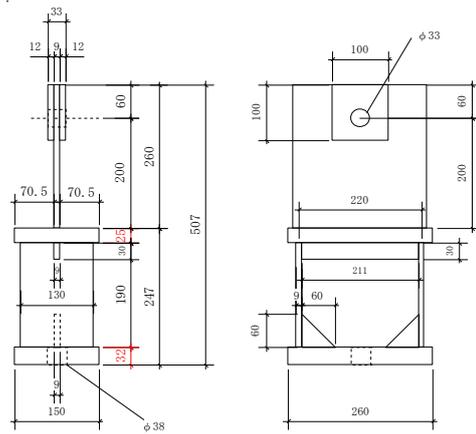


図 7.2-6 W2532S 金物製作図

(2) 金物の設計

(1)で示した各接合金物の設計には、下記の検定項目①～⑥(図 7.2-7)が必要である。このうち、計算で検討可能な①、②、⑥の検定結果を表 7.2-2 に示す。その他の③、④、⑤の部分については、未知であるため、本試験によって確認を行うものとする。

■ 検定項目

- ①：ドリフトピン孔を除いた鋼板 A の引張耐力 $P_{yA} \geq$ 接合部目標終局耐力 P_u ・・・計算
- ②：ドリフトピン孔を除いた側板 C の引張耐力 $P_{yC} \geq$ 接合部目標終局耐力 P_u ・・・計算
- ③：上板 B の曲げによる上板 B・鋼板 A 間の溶接部の局部的引張耐力・・・実験
→鋼板 A と側板 C によって上板 B の曲げが拘束されているため、単純計算では不可能。
- ④：上板 B の曲げによる上板 B・側板 C 間の溶接部の局部的引張耐力・・・実験
→鋼板 A と側板 C によって上板 B の曲げが拘束されているため、単純計算では不可能。
- ⑤：底板 D の曲げ・・・実験。
→リブで補強しているため、単純計算では不可能。
- ⑥：鋼板のせん断。F 値×0.6
 $\Delta P_{yd} \geq$ 接合部目標終局耐力 P_u /ピン本数
・・・計算

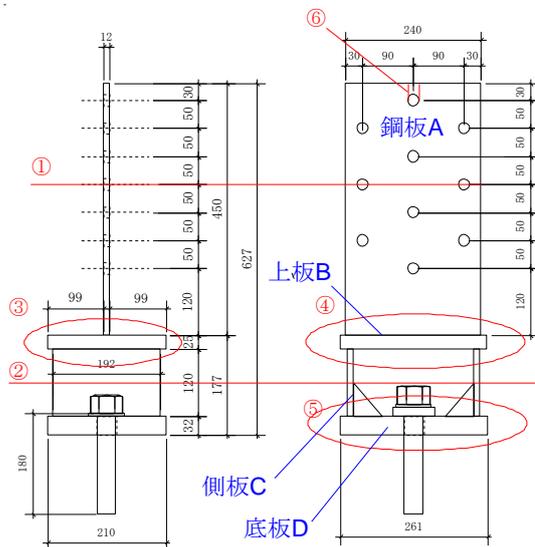


図 7.2-7 接合金物の検定

表 7.2-2 ①、②、⑥の計算での検定結果

	検定項目	鋼板のF値	有効断面(mm ²)	耐力(kN)	検定	接合部の目標値		検定結果	備考
						P _{ub} (kN)	ボルト規格		
N1925, N2536, N2536S	①	235	1560	366.6	<	394.0	ABR490-M33	不適	不適だが、接合部の降伏～終局の間に鋼板が降伏することを許容することとする。 加力が均等に働か疑問があるため若干余裕持たせている せん断強度はF値の0.6倍として計算
	②		2340	549.9	>			適	
	⑥		540	76.1	>			適	
W1925, W2536, W2536S	①	235	1800	423.0	>	394.0	ABR490-M33	適	加力が均等に働か疑問があるため若干余裕持たせている せん断強度はF値の0.6倍として計算
	②		2340	549.9	>			適	
	⑥		540	76.1	>			適	

7.3 試験方法

試験方法を写真 7.3-1 に示す。

試験体は、上端部はφ30のPC鋼棒を用いて金物本体と接合し、下端部はM33のボルトを介して試験装置に六角ナットM33により固定した。

変位の測定方法は上板と試験装置間の絶対変位を試験体前後各1カ所ずつ、側板と試験装置間の絶対変位を試験体左右各1カ所ずつ測定することとした。

試験は単調加力とし、最大荷重後、0.8 P_{max} 以下に落ちるまで加力するものとした。



写真 7.3-1 試験方法

7.4 試験結果と考察

金物の幅毎(幅 170 mm(N)、260 mm(W))ごとに整理した特性値、Pδ曲線、破壊性状等の試験結果を次ページ以降に示す。

図 7.4-1 のとおり、幅 170 mm仕様では試験体 N1925 は 250kN 程度で底板 D が徐々に曲げ降伏し、478.6kN で鋼板 A と上板 B 間の溶接部が破断した。N2532 及び N2532S は 350kN 程度で底板 D が徐々に曲げ降伏し、試験機容量上限の 500kN に到達した。想定する ABR490・M33 の規格金物の終局耐力を 261.3kN、降伏耐力 225.6kN と比較すると、N2532 が望ましい。

幅 260 mm仕様では試験体 W1925 は 100kN 程度、W2532 及び W2532S は 200kN 程度で底板 D が徐々に曲げ降伏し、その後側板も曲げ変形した。いずれも試験機容量上限の 500kN に到達したが、W1925 は変形も大きく、側板 C と底板 D 間で溶接破断がみられた(写真 7.4-12)。こちらについても ABR490・M33 の規格金物の強度性能を想定すると、W2532 を改良する必要があると思われる。

No.1 N1925、N2532、N2532S

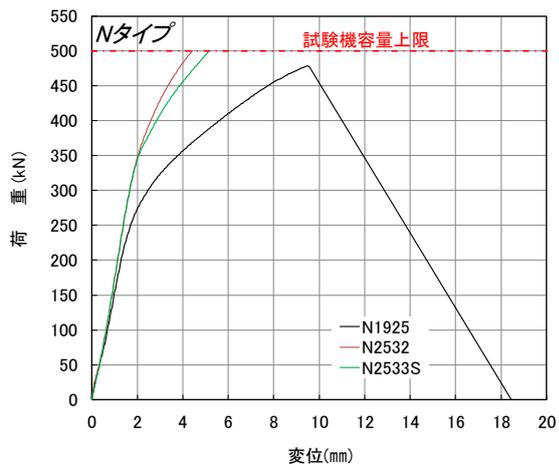


表 7.4-1 主な破壊性状

試験体名	最大荷重	破壊性状
N1925	478.6	①、②
N2532	500.1	②
N2532S	500.1	②

- ① 鋼板 A と上板 B 間の溶接部破断(上板 B の曲げ変形)
- ② 底板 D の曲げ変形
- ③ 側板 C の曲げ変形

図 7.4-1 N1925、N2532、N2532S P δ 曲線



写真 7.4-1 N1925 鋼板 A と上板 B 間の溶接部の破断

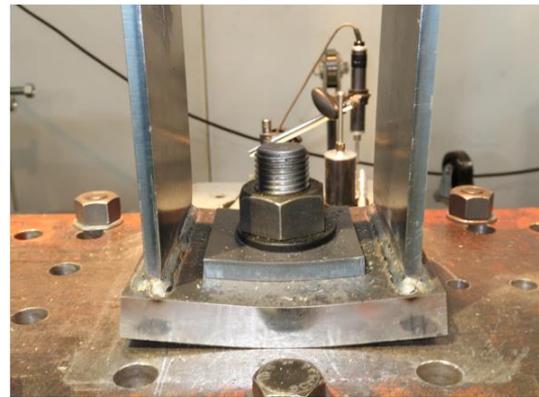


写真 7.4-2 N1925 底板 D の曲げ変形



写真 7.4-3 N1925 上板 B 間の溶接部の破断跡



写真 7.4-4 N1925 上板 B の曲げ変形



写真 7.4-5 N1925 底板 D の曲げ変形



写真 7.4-6 N2532 上板 B の曲げ変形



写真 7.4-7 N2532 底板 D の曲げ変形



写真 7.4-8 N2532 底板 D の曲げ変形



写真 7.4-9 N2532S 上板 B の曲げ変形

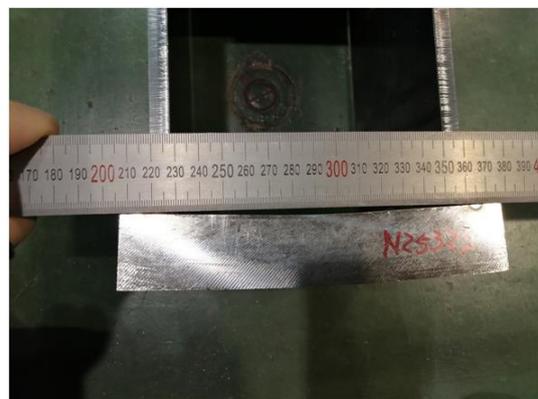


写真 7.4-10 N2532S 底板 D の曲げ変形

No.2 W1925、W2532、W2532S

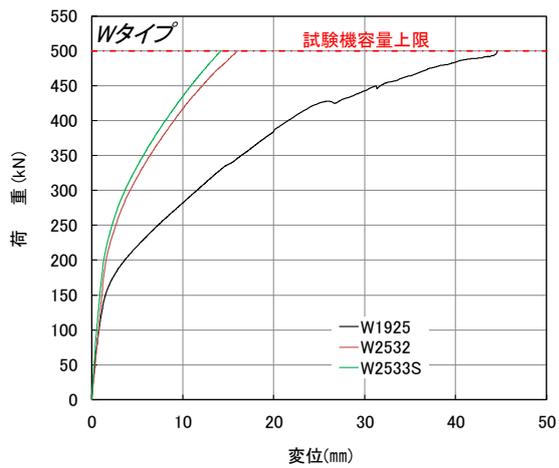


表 7.4-2 主な破壊性状

試験体名	最大荷重	破壊性状
W1925	500.0	②、③
W2532	500.1	②、③
W2532S	500.1	②、③

- ① 鋼板 A と上板 B 間の溶接部破断(上板 B の曲げ変形)
- ② 底板 D の曲げ変形
- ③ 側板 C の曲げ変形

図 7.4-2 W1925、W2532、W2532S P δ 曲線



写真 7.4-11 W1925 底板 D の曲げ変形、側板 C の曲げ変形

写真 7.4-12 W1925 底板 D の曲げ変形の曲げ変形



写真 7.4-13 W2532 底板 D の曲げ変形、側板 C の曲げ変形

写真 7.4-14 W2532 底板 D の曲げ変形、側板 C の曲げ変形



写真 7.4-15 W2532S 底板 D の曲げ変形、側板 C の曲げ変形



写真 7.4-16 W2532S 底板 D の曲げ変形、側板 C の曲げ変形

8. 鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張試験 二次試験

8.1 試験の目的

一次試験及び金物単体の試験結果を踏まえて、鋼板挿入ドリフトピン接合部の開発を行うことを目的とする。

鋼板挿入ドリフトピン接合部は引きボルトと異なり、ピン本数を増やすことによって容易に強度性能の向上を目指すことが可能である。一方、一次試験の結果にあるような脆性的な木部での破壊を避けるように設計することが求められる。

8.2 試験の概要

(1)試験体の種類

表 8.2-1 に試験の種類を、図 8.2-1～図 8.2-8 に 5 層 7 プライの場合の試験体図を、密度及び含水率の測定結果を表 8.2-2 示す。試験体の内、末尾に H が付してある試験体は、木部破壊しやすいと思われる幅はぎ位置に調整した試験体である(以下「H 試験体」と呼称)。

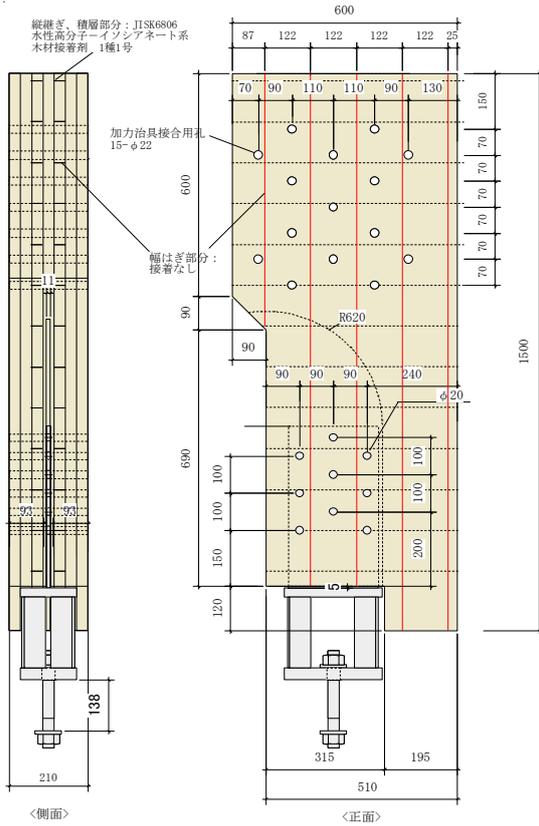
表 8.2-1 鋼板挿入ドリフトピン接合部 二次試験

番号	試験体番号	樹種	等級	構成方法	ピン径 (mm)	ピン本数(本)	ピンが打ち込まれる強軸方向ラミナの枚数*	試験体数(体)
1	S57D09	スギ	Mx60-5-7	A種	φ20	9	3	6
2	S57D09H						2	1
3	S77D09		Mx60-7-7			9	3	6
4	S77D09H						2	1
5	S57D06		Mx60-5-7			6	2	3
6	S57D06H						1	1
7	S77D06		Mx60-7-7			6	2	3
8	S77D06H						1	1
9	H57D06	ヒノキ	S90-5-7			6	2	6
10	H57D06H		1				1	
11	H77D06		S90-7-7			6	2	3
12	H77D06H		1				1	
13	H57D04		S90-5-7			4	2	3
14	H57D04H		4			1	1	
15	H77D04		S90-7-7			4	2	3
16	h77D04H		4			1	1	
合計								41

*H試験体は、幅はぎ位置をずらすことによってピンが打ち込まれる強軸方向ラミナの枚数を変えている

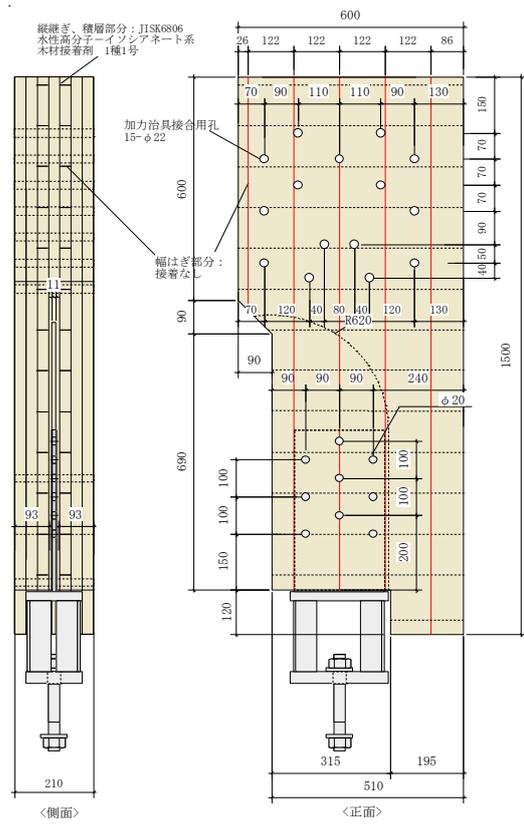
表 8.2-2 試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	番号	試験体番号	密度	含水率 (%)				
1.2	S57D09	1	0.43	9.0	5.6	S57D06	1	0.43	10.5	9.10	H57D06	1	0.51	8.4	13,14	H57D04	1	0.51	11.0
		2	0.45	8.5			2	0.44	11.5			2	0.51	8.6			2	0.51	11.5
		3	0.43	9.0			3	0.42	10.0			3	0.50	8.5			3	0.50	10.0
		4	0.45	8.9			H	0.45	10.0			4	0.51	8.2			H	0.51	10.5
		5	0.44	8.8			平均	0.44	10.5			5	0.50	8.0			平均	0.51	10.8
		6	0.44	8.2	7.8	S77D06	1	0.43	10.5	6	0.50	8.0	15,16	H77D04	1	0.51	12.5		
		H	0.44	9.8			2	0.43	10.0	H	0.51	8.5			2	0.51	11.0		
		平均	0.44	8.9			3	0.42	10.5	平均	0.51	8.3			3	0.52	12.0		
3.4	S77D09	1	0.49	8.5	11,12	H77D06	1	0.51	8.9	H	0.52	11.5							
		2	0.44	9.9			2	0.51	8.3										
		3	0.44	9.2			3	0.52	9.0										
		4	0.43	9.1	4	0.51	8.2	平均	0.51	8.3									
		5	0.44	8.0	5	0.51	7.8	6	0.51	8.0									
		6	0.42	8.8	6	0.51	8.0	H	0.52	8.2									
		H	0.42	8.1	平均	0.51	8.3												
		平均	0.44	8.8															



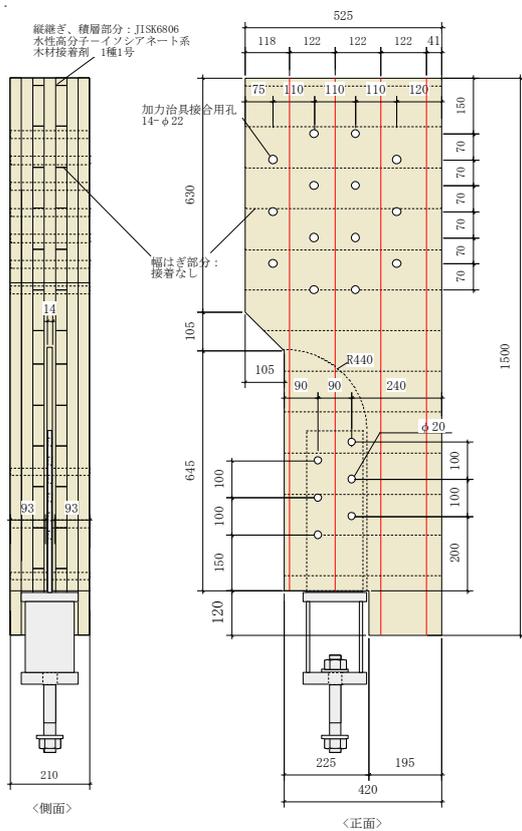
※S77D09 も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-1 S57D09 試験体



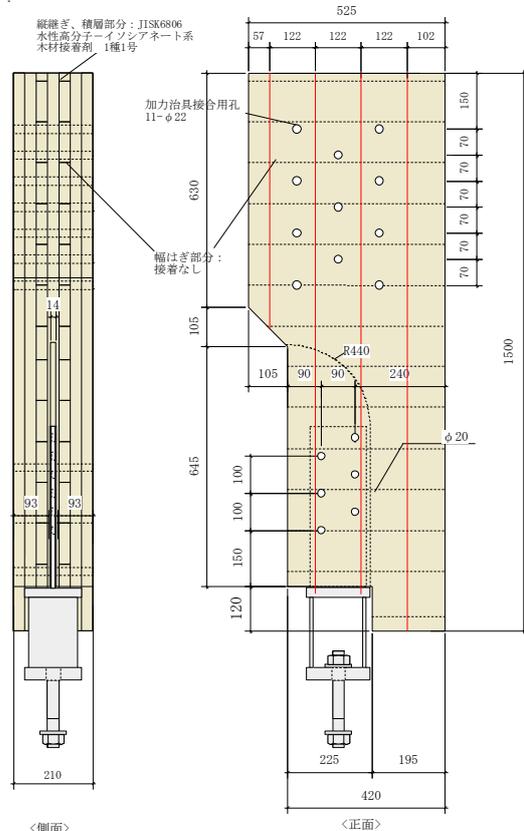
※S77D09H も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-2 S57D09H 試験体



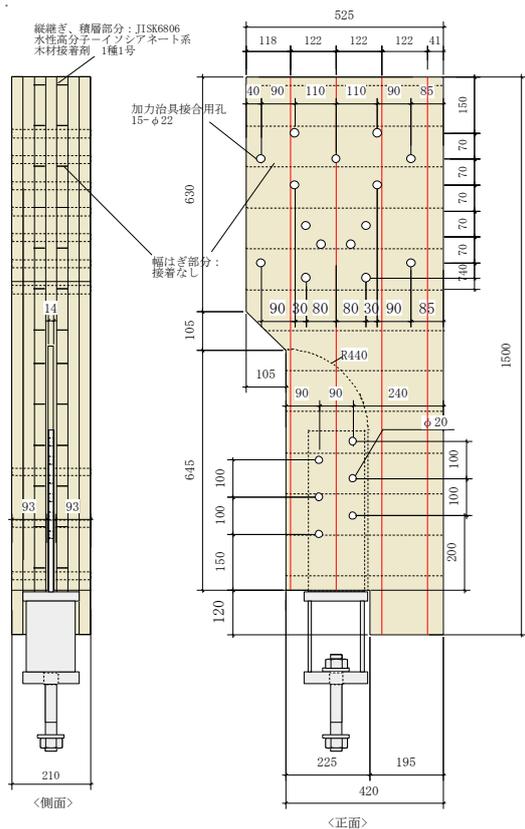
※S77D06 も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-3 S57D06 試験体



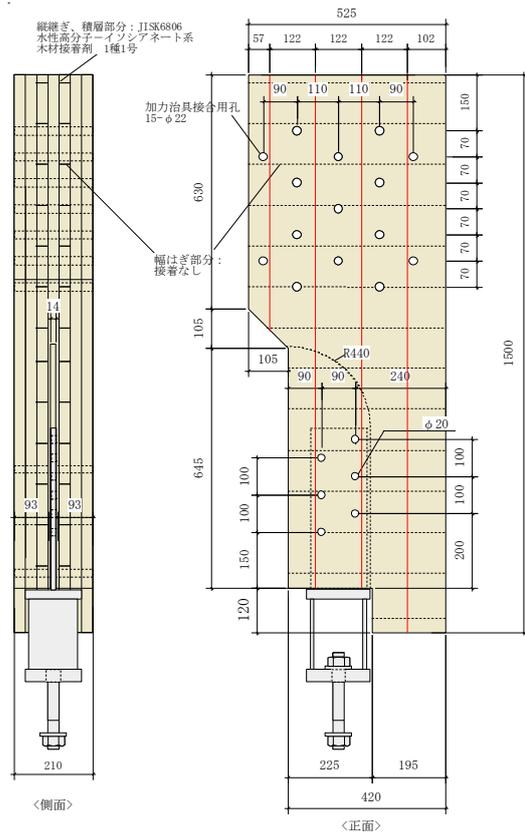
※S77D06H も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-4 S57D06H 試験体



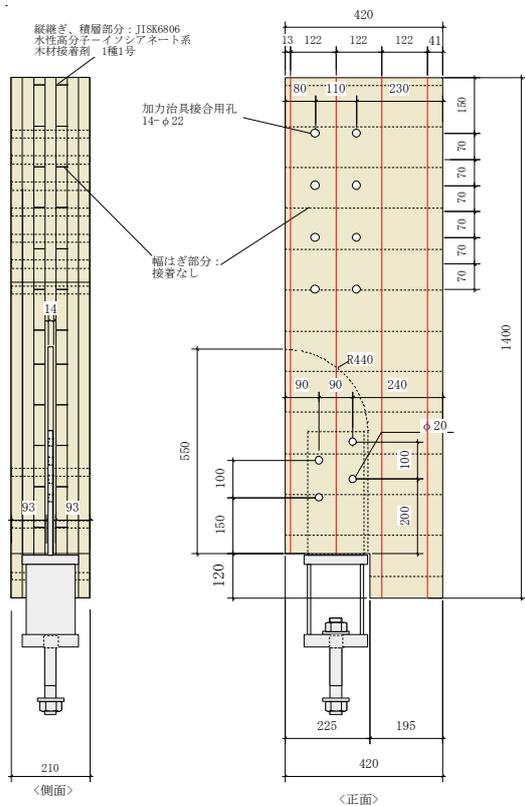
※H77D06 も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-5 H57D06 試験体



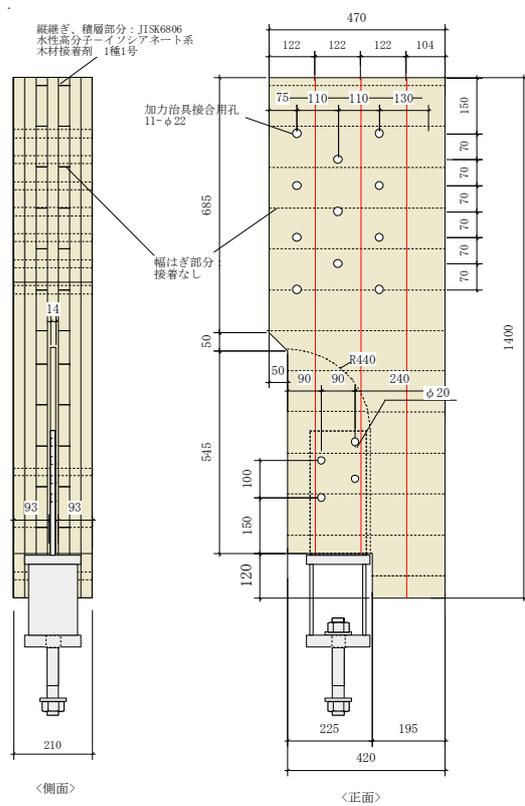
※H77D06H も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-6 H57D06H 試験体



※H77D04 も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-7 H57D04 試験体



※H77D04H も CLT の層構成以外は同じ

図 8.2-8 H57D04H 試験体

(2)接合金物の仕様

接合金物の仕様を図 8.2-9 に示す。7 章の検討結果を踏まえて幅 260 mm は側板をハの字配置とすることで、側板及び底板の曲げ変形を抑制するデザインとした。

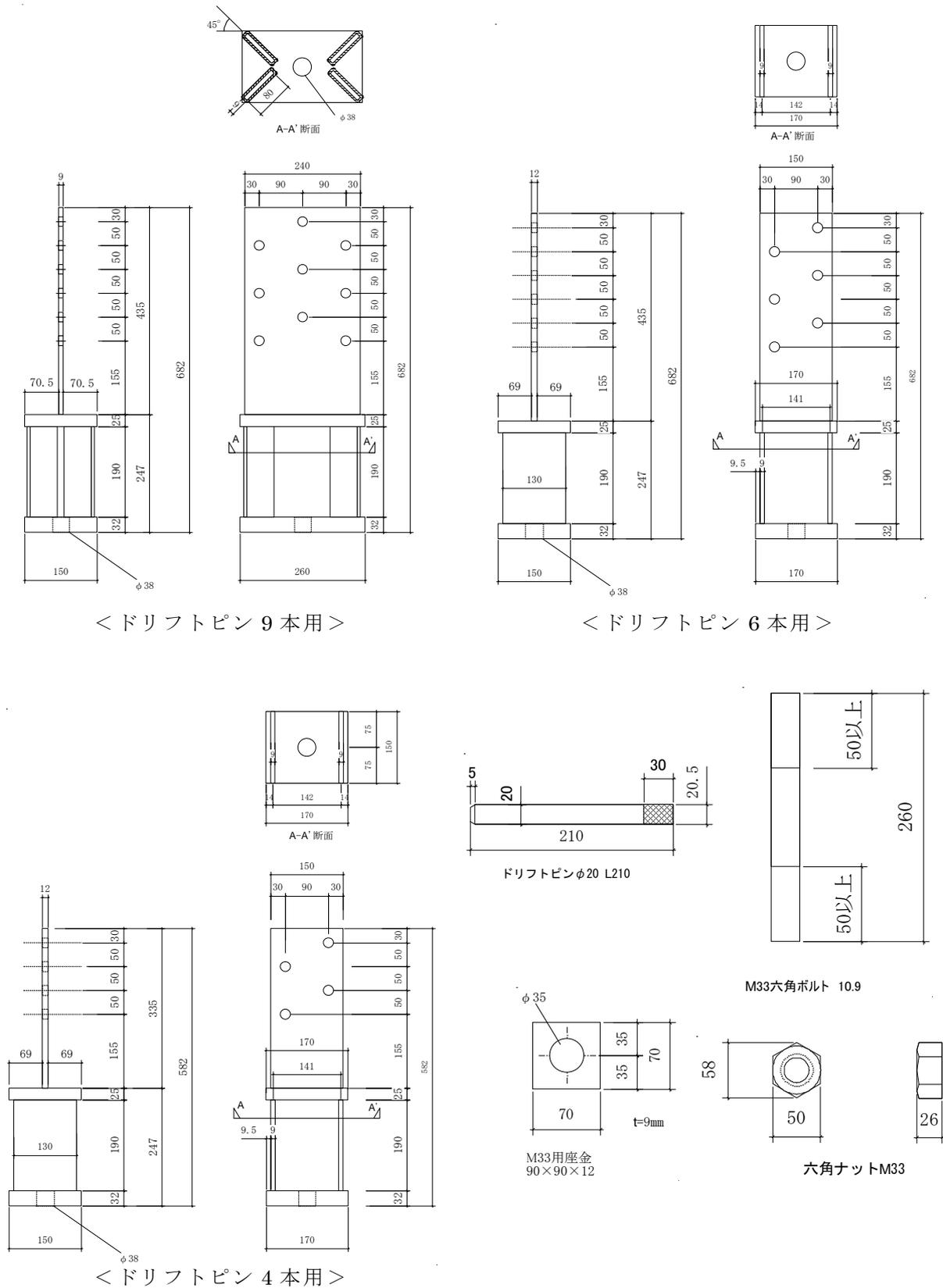


図 8.2-9 接合金物の作製図

また、ハの字配置は、写真 8.2-1 のとおりモンキーレンチ等での施工においても問題ないことを確認した。高さ方向の寸法についてもダブルナットにした場合においてもラチェットやメガネレンチで施工できるだけの高さを確保している。



写真 8.2-1 試験方法図

8.3 試験方法

試験方法を写真 8.3-1 に示す。

試験体は、上端部は M20 ボルトで引張治具と接合し、下端部はボルトを介して試験装置に六角ナット M33 により固定した。

試験は文献 1) に準じて行った。加力方法は単調引張試験結果より降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の順に一方向繰り返し加力とした。

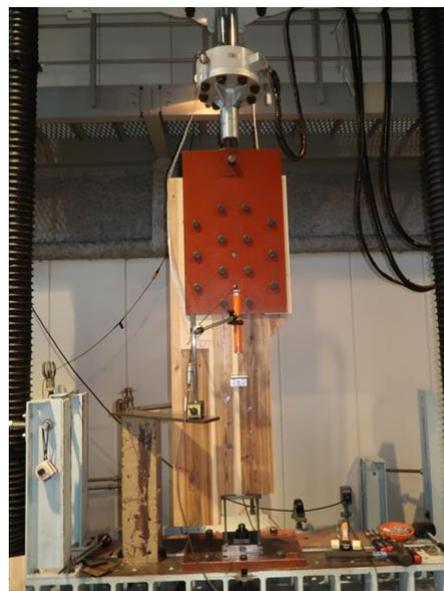


写真 8.3-1 試験方法図

8.4 試験結果と考察

完全弾塑性評価をするにあたっては最大変位を 30 mm として評価を行った。

各試験体ごとに整理した特性値、 $P\delta$ 曲線、破壊性状等の試験結果を次ページ以降に示す。

(1) 5層7プライと7層7プライの比較

終局耐力の平均値は 5層7プライ、7層7プライ共に同程度だが、終局耐力の 5% 下限値は S5706 を除く全ての試験体で 5層7プライより 7層7プライの方が 1 割程度低くなる結果となった。

ばらつきの違いは、層構成が影響していると考えられる。挿入鋼板は 4 プライ目のラミナに挿入されるため、3,5 プライ目のラミナの繊維方向の影響が大きい。5層7プライの場合は加力方向に対して繊維直交方向、7層7プライの場合は繊維方向となる。

このため、5層7プライ試験体の破壊性状は、3, 5 プライ目の内層ラミナのローリングシア破壊 (写真 8.4-5、他)、7層7プライ試験体は、3, 5 プライ目の内層ラミナの引張破壊か、スリット部からの面外への開きとなっている。

徐々に剥がれていくローリングシア破壊よりも引張破壊の方が最大荷重のばらつきが大きいと考えられる (写真 8.4-14)。

(2) 樹種の違いによる比較

樹種の違いについて、ドリフトピン 6 本仕様の試験体を比較する。

スギの終局耐力の平均値は 5 層 7 プライの場合ヒノキの 0.82 倍、7 層 7 プライの場合は 0.77 倍となった。剛性の平均値は 5 層 7 プライの場合ヒノキの 0.96 倍、7 層 7 プライの場合は 0.83 倍となった。

(3) 幅はぎの位置の違いによる比較

幅はぎの位置を強度性能上不利だと思われる位置に配置した H 試験体については、幅はぎ位置をずらしていない試験体よりも脆性的に破壊し、強度性能が低下することが分かった。

また層構成の違いによってこれらの集合型破壊性状も異なっており、5 層 7 プライは 3 層目、5 層目の繊維直交ラミナのローリングシア破壊、7 層 7 プライは繊維方向ラミナの引張破壊となる。

1) 5 層 7 プライ試験体

5 層 7 プライ試験体については、有意差が見られるものと見られないものがあった。

S57D09H 試験体は、外層が一番上の行のピンに沿って引張破壊しており(写真 8.4-10)、幅はぎの配置も S57D09 試験体と比較して引張断面積が小さくなる位置にあるため、最大耐力も一番低い値となっている。ただし、2-3, 5-6 プライ間のローリングシア破壊が先行破壊することから、影響は大きくはない。現に S57D09-2 試験体は S57D09H 試験体ほどではないものの、外層が引張破壊しており(写真 8.4-4)、終局耐力も低めとなっている。

一方、S57D06H 試験体は図 8.4-17 に示すとおり荷重変位曲線は同一試験体シリーズの他のグラフと比べて降伏点及び終局耐力が低い値となっており、S57D09 試験体シリーズと同様、外層ラミナの破壊が生じている(写真 8.4-33)。

H57D06H 試験体については特性値及び破壊性状ともに大きな差異は見られなかった。

H57D4H 試験体は、内層ラミナのローリングシア破壊によって荷重が低下したため、最大荷重が同一試験体シリーズの他の試験体と比べて低めの値となった(図 8.4-43)。他の試験体は外層ラミナの割裂及びスリットの開きが主な破壊性状であり、特性値及び破壊性状に差異が見られた。

2) 7 層 7 プライ試験体

7 層 7 プライ試験体については、H 試験体の強度性能は、H 試験体以外の試験体より総じて低い結果となった。

S77D09H 試験体は、内層ラミナが引張破壊し(写真 8.4-22)、S77D09-1~6 試験体より終局耐力が低い結果となった(図 8.4-9)。

S77D06H 試験体は、S77D06-1~3 試験体と比べて降伏点及び終局耐力が低い結果となった(図 8.4-22)。破壊性状は内層ラミナが引張破壊である(写真 8.4-46)。

H77D06H 試験体は、内層ラミナが引張破壊し(写真 8.4-77)、スリットの開きが主な破壊性状(写真 8.4-68)となった H77D06-1~6 試験体よりも終局耐力が低い結果となった(図 8.4-35)。

H77D04H 試験体は、H77D04-1～3 試験体と比べて降伏点及び終局耐力が低い結果となった(図 8.4-43)。破壊性状は全ての試験体においてスリットの開きとなった(写真 8.4-92)。

(4) 特性値の評価について

(3) の結果を踏まえると、幅はぎ位置の影響は無視できないと思われる。したがって試験体の評価方法として、H 試験体を加えた試験体数 7 体または 4 体として、評価を行うものとする。結果は H 試験体を除いた試験体評価の下に示す(例えば表 8.4-2 など)。これによって安全側として評価が可能となる。

No.1 S57D09、S57D09H

表 8.4-1 S57D09 特性値

	S57D09						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
完全弾塑性モデルによる特性値											
$2/3P_{max}$ (kN)	375.0	370.6	387.2	384.3	392.0	392.6	383.6	9.03	0.02	0.94	362.5
P_{max} (kN)	562.5	555.9	580.8	576.4	588.0	588.9	575.4	13.55	0.02	0.94	543.7
δ_{Pmax} (mm)	25.54	16.41	28.32	25.93	22.16	26.98	24.22	4.34	-	-	-
降伏耐力 P_{vb} (kN)	369.6	368.8	373.6	360.7	387.4	366.8	371.1	9.00	0.02	0.94	350.1
降伏時 δ_v (mm)	3.72	3.76	4.13	3.89	4.17	4.17	3.97	0.21	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	99.48	98.19	90.53	92.66	92.85	87.89	93.60	4.45	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	19.74	30.00	30.00	23.63	30.00	27.23	4.47	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	5.14	5.12	5.72	5.59	5.70	6.02	5.55	0.35	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	511.6	503.0	517.4	518.4	529.7	529.1	518.2	10.27	0.02	0.95	494.2
塑性率 μ	5.83	3.85	5.25	5.36	4.14	4.98	4.90	0.76	-	-	-
構造特性 D_s	0.31	0.39	0.32	0.32	0.37	0.33	0.34	0.03	-	-	-
5%オフセットによる $P_{v0.5}$ (kN)	400.1	408.8	396.4	395.7	418.0	395.6	402.4	9.13	0.023	0.946	380.7

表 8.4-2 S57D09+S57D09H 特性値

	S57D09								平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	H						
完全弾塑性モデルによる特性値													
$2/3P_{max}$ (kN)	375.0	370.6	387.2	384.3	392.0	392.6	358.6	380.0	12.54	0.03	0.93	351.8	
P_{max} (kN)	562.5	555.9	580.8	576.4	588.0	588.9	537.9	570.1	18.81	0.03	0.93	527.7	
δ_{Pmax} (mm)	25.54	16.41	28.32	25.93	22.16	26.98	17.88	23.32	4.63	-	-	-	
降伏耐力 P_{vb} (kN)	369.6	368.8	373.6	360.7	387.4	366.8	353.1	368.6	10.69	0.03	0.93	344.5	
降伏時 δ_v (mm)	3.72	3.76	4.13	3.89	4.17	4.17	3.62	3.92	0.23	-	-	-	
初期剛性 K (kN/mm)	99.48	98.19	90.53	92.66	92.85	87.89	97.40	94.14	4.31	-	-	-	
終局変位 δ_u (mm)	30.00	19.74	30.00	30.00	23.63	30.00	18.27	25.95	5.30	-	-	-	
降伏変位 δ_v (mm)	5.14	5.12	5.72	5.59	5.70	6.02	4.98	5.5	0.39	-	-	-	
終局耐力 P_u (kN)	511.6	503.0	517.4	518.4	529.7	529.1	484.9	513.4	15.68	0.03	0.93	478.2	
塑性率 μ	5.83	3.85	5.25	5.36	4.14	4.98	3.67	4.73	0.84	-	-	-	
構造特性 D_s	0.31	0.39	0.32	0.32	0.37	0.33	0.40	0.35	0.04	-	-	-	
5%オフセットによる $P_{v0.5}$ (kN)	400.1	408.8	396.4	395.7	418.0	395.6	395.2	401.4	8.77	0.022	0.950	381.3	

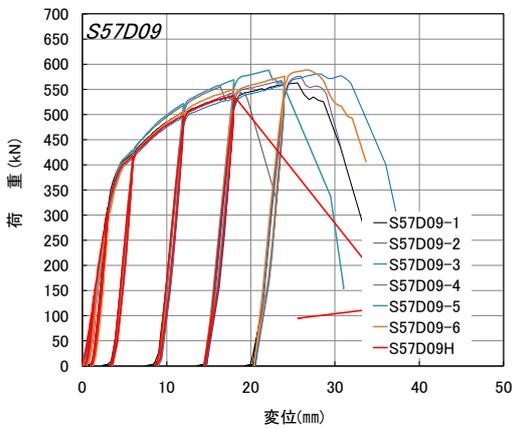


図 8.4-1 S57D09+S57D09H P δ 曲線

表 8.4-3 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	562.5	②、③、⑥
2	555.9	②、③、⑥
3	580.8	①、②、③
4	576.4	①、②、③
5	588.0	②、③、⑥
6	588.9	①、②、③
H	537.9	②、③、⑥

- ① スリット部からの面外への開き
- ② 内層のローリングシア破壊
- ③ ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤ 内層ラミナの引張破壊
- ⑥ 外層ラミナの引張破壊
- ⑦ CLT の引張破壊
- ⑧ 破壊なし

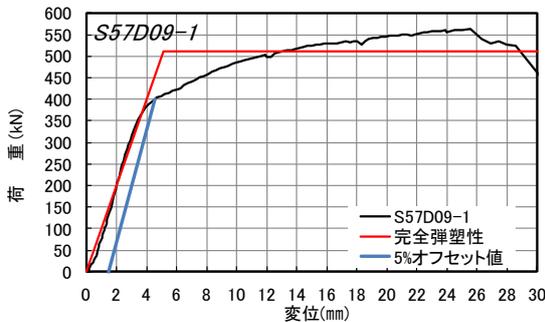


図 8.4-2 S57D09-1 包絡線と完全弾塑性評価

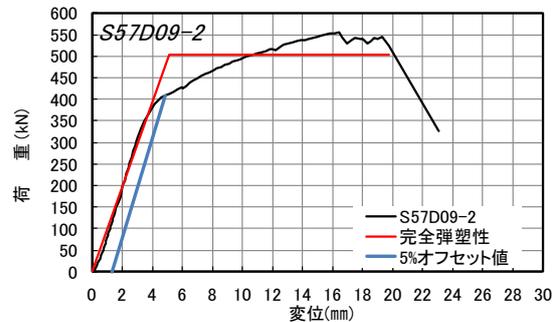


図 8.4-3 S57D09-2 包絡線と完全弾塑性評価

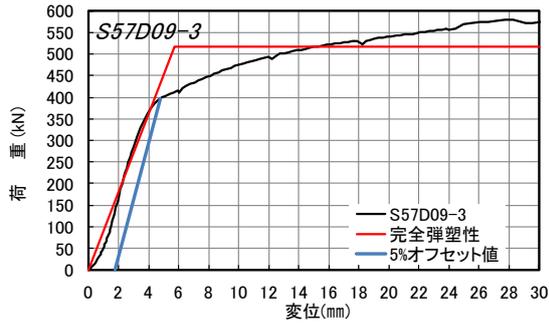


図 8.4-4 S57D09-3 包絡線と完全弾塑性評価

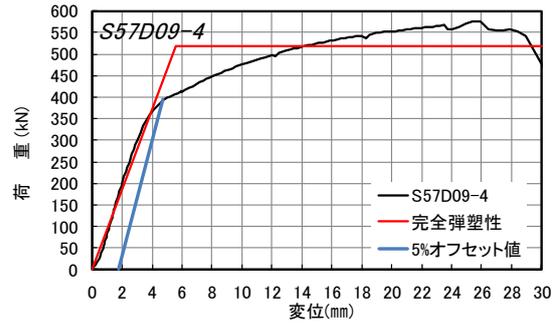


図 8.4-5 S57D09-4 包絡線と完全弾塑性評価

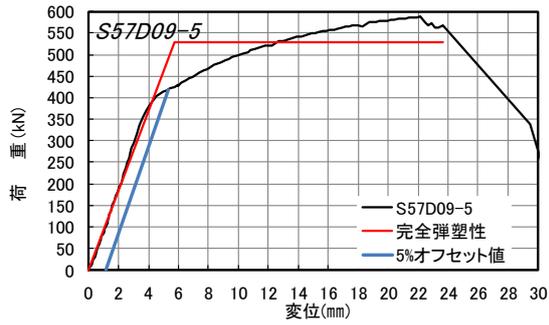


図 8.4-6 S57D09-5 包絡線と完全弾塑性評価

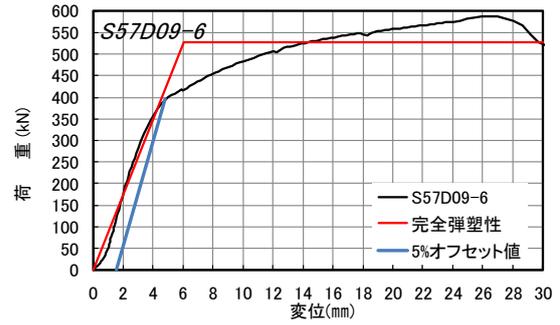


図 8.4-7 S57D09-6 包絡線と完全弾塑性評価

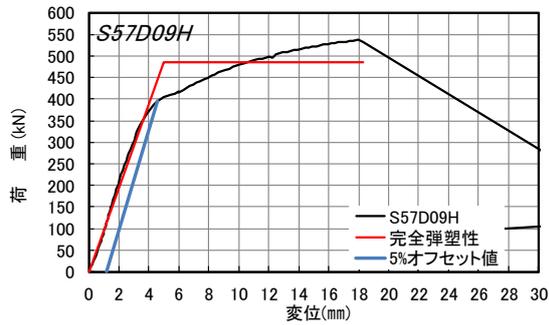


図 8.4-8 S57D09H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-1 S57D09-1 金物底板の曲げ変形



写真 8.4-2 S57D09-1 ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-3 S57D09-1 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-4 S57D09-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-5 S57D09-2 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-6 S57D09-2 裏面はピンによる外層ラミナの割裂破壊はなし



写真 8.4-7 S57D09-3 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-8 S57D09-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-9 S57D09-5 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-10 S57D09H ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-11 S57D09H ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊

表 8.4-4 S77D09 特性値

	S77D09						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
完全弾塑性モデルによる特性値											
2/3P _{max} (kN)	362.4	394.7	408.5	339.9	388.9	392.0	381.1	25.16	0.07	0.85	322.3
P _{max} (kN)	543.6	592.0	612.8	509.8	583.4	588.0	571.6	37.75	0.07	0.85	483.4
δ _{Pmax} (mm)	16.65	30.00	28.31	12.71	30.00	30.00	24.61	7.82	-	-	-
降伏耐力P _{vt} (kN)	364.6	370.9	370.0	350.5	379.4	392.5	371.3	14.09	0.04	0.91	338.4
降伏時 δ _v (mm)	3.77	3.75	3.82	3.82	4.36	4.54	4.01	0.35	-	-	-
初期剛性 K(kN/mm)	96.63	98.85	96.86	91.74	87.03	86.44	92.93	5.34	-	-	-
終局変位 δ _u (mm)	19.44	30.00	30.00	17.32	30.00	30.00	26.13	6.04	-	-	-
降伏変位 δ _v (mm)	5.04	5.36	5.69	4.86	6.12	6.20	5.54	0.56	-	-	-
終局耐力 P _u (kN)	486.9	529.9	551.1	445.5	532.8	535.5	513.6	39.66	0.08	0.82	421.0
塑性率 μ	3.86	5.60	5.27	3.57	4.90	4.84	4.67	0.80	-	-	-
構造特性 D _s	0.39	0.31	0.32	0.40	0.34	0.34	0.35	0.04	-	-	-
5%オフセットによるP _{vt} (kN)	406.2	400.8	400.8	402.4	409.5	422.0	407.0	8.12	0.020	0.953	387.9

表 8.4-5 S77D09+S77D09H 特性値

	S77D09							平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	H					
完全弾塑性モデルによる特性値												
2/3P _{max} (kN)	362.4	394.7	408.5	339.9	388.9	392.0	347.6	376.3	26.23	0.07	0.84	317.2
P _{max} (kN)	543.6	592.0	612.8	509.8	583.4	588.0	521.4	564.4	39.35	0.07	0.84	475.9
δ _{Pmax} (mm)	16.65	30.00	28.31	12.71	30.00	30.00	12.70	22.91	8.44	-	-	-
降伏耐力P _{vt} (kN)	364.6	370.9	370.0	350.5	379.4	392.5	355.9	369.1	14.13	0.04	0.91	337.3
降伏時 δ _v (mm)	3.77	3.75	3.82	3.82	4.36	4.54	3.60	3.95	0.35	-	-	-
初期剛性 K(kN/mm)	96.63	98.85	96.86	91.74	87.03	86.44	98.99	93.79	5.38	-	-	-
終局変位 δ _u (mm)	19.44	30.00	30.00	17.32	30.00	30.00	14.95	24.53	6.94	-	-	-
降伏変位 δ _v (mm)	5.04	5.36	5.69	4.86	6.12	6.20	4.77	5.4	0.59	-	-	-
終局耐力 P _u (kN)	486.9	529.9	551.1	445.5	532.8	535.5	471.9	507.7	39.49	0.08	0.82	418.8
塑性率 μ	3.86	5.60	5.27	3.57	4.90	4.84	3.14	4.45	0.93	-	-	-
構造特性 D _s	0.39	0.31	0.32	0.40	0.34	0.34	0.44	0.36	0.05	-	-	-
5%オフセットによるP _{vt} (kN)	406.2	400.8	400.8	402.4	409.5	422.0	418.4	408.6	8.59	0.021	0.953	389.4

表 8.4-6 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	543.6	②、③、⑤
2	604.7	①
3	623.5	①
4	509.8	②、⑤
5	585.1	①、②、⑤、⑥
6	596.5	①、②
H	521.4	⑤

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

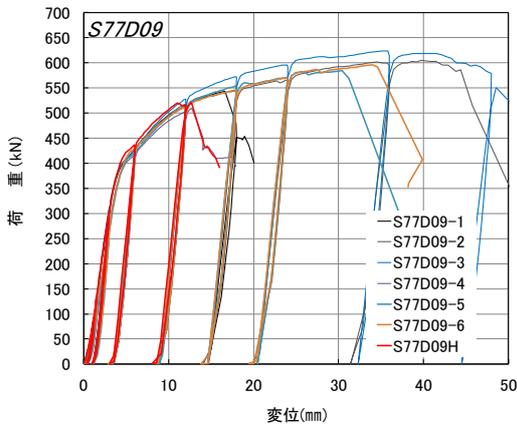


図 8.4-9 S77D09+S77D09H P δ 曲線

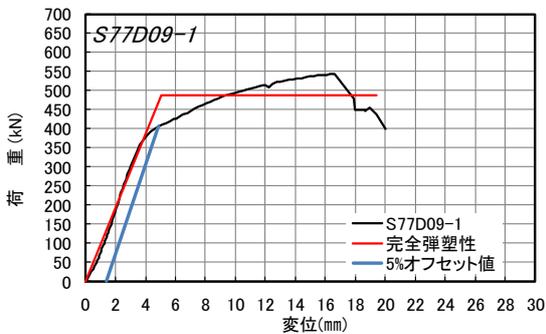


図 8.4-10 S77D09-1 包絡線と完全弾塑性評価

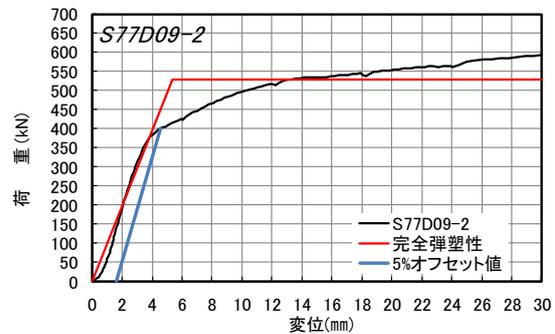


図 8.4-11 S77D09-2 包絡線と完全弾塑性評価

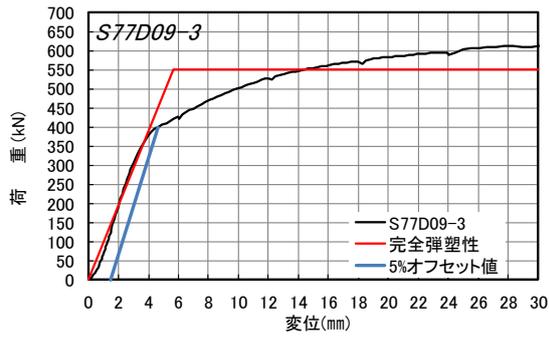


図 8.4-12 S77D09-3 包絡線と完全弾塑性評価

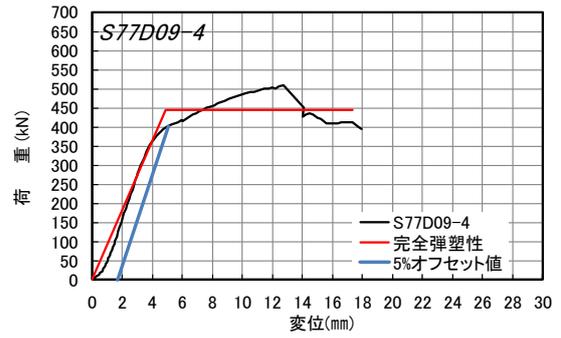


図 8.4-13 S77D09-4 包絡線と完全弾塑性評価

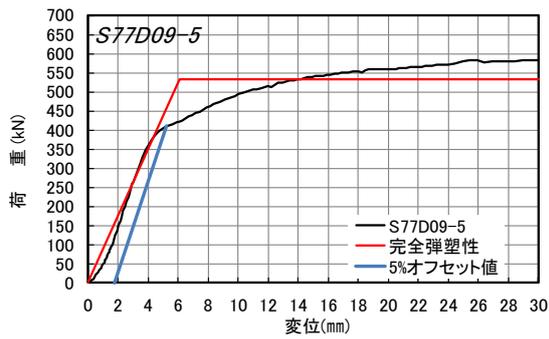


図 8.4-14 S77D09-5 包絡線と完全弾塑性評価

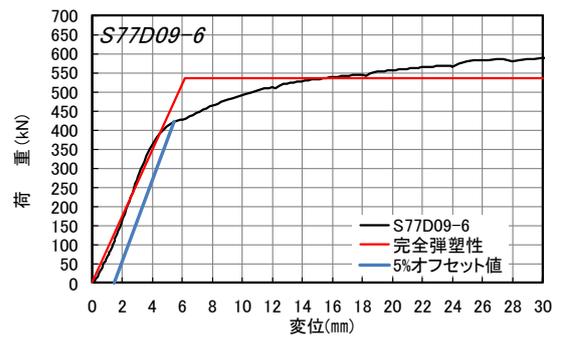


図 8.4-15 S77D09-6 包絡線と完全弾塑性評価

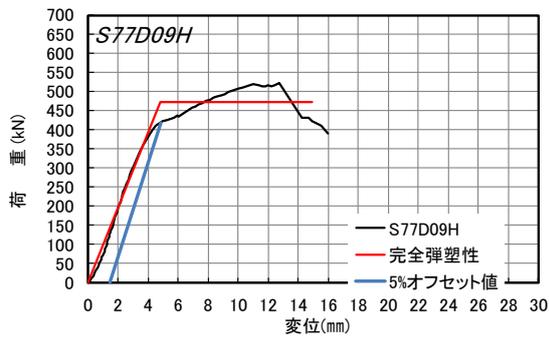


図 8.4-16 S77D09H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-12 S77D09-1 金物底板の曲げ変形



写真 8.4-13 S77D09-1 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-14 S77D09-1 内層のローリングシア破壊、内層ラミナの引張破壊



写真 8.4-15 S77D09-2 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-16 S77D09-2 スリット部からの面外への開き、ドリフトピンの曲げ変形の様子



写真 8.4-17 S77D09-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-18 S77D09-5 外層及び外層ラミナの引張破壊、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-19 S77D09-6 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-20 S77D09H 正面からの損傷は見えない



写真 8.4-21 S77D09H 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-22 S77D09H 内層ラミナの引張破壊

表 8.4-7 S57D06 特性値

	S57D06			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値								
$2/3P_{max}$ (kN)	266.3	272.9	259.7	266.3	6.57	0.02	0.92	245.6
P_{max} (kN)	399.4	409.3	389.6	399.4	9.85	0.02	0.92	368.4
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	20.40	30.00	22.51	24.30	5.05	-	-	-
降伏耐力 P_{yb} (kN)	259.7	277.2	262.7	266.5	9.36	0.04	0.89	237.0
降伏時 δ_y (mm)	3.37	3.49	3.86	3.57	0.26	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	77.06	79.43	68.06	74.85	6.00	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	24.52	30.00	30.00	28.17	3.16	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	4.75	4.83	5.45	5.01	0.38	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	365.9	383.7	370.6	373.4	9.22	0.02	0.92	344.3
塑性率 μ	5.16	6.21	5.50	5.63	0.53	-	-	-
構造特性 D_s	0.33	0.30	0.32	0.31	0.02	-	-	-
5%オフセットによる $P_{0.05}$ (kN)	292.6	304.3	305.7	300.9	7.19	0.024	0.924	278.0

表 8.4-8 S57D06+S57D06H 特性値

	S57D06				平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	H					
完全弾塑性モデルによる特性値									
$2/3P_{max}$ (kN)	266.3	272.9	259.7	255.3	263.5	7.69	0.03	0.92	242.9
P_{max} (kN)	399.4	409.3	389.6	382.9	395.3	11.53	0.03	0.92	364.4
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	20.40	30.00	22.51	23.41	24.08	4.14	-	-	-
降伏耐力 P_{yb} (kN)	259.7	277.2	262.7	251.5	262.8	10.72	0.04	0.89	234.0
降伏時 δ_y (mm)	3.37	3.49	3.86	4.21	3.73	0.38	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	77.06	79.43	68.06	59.74	71.07	9.00	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	24.52	30.00	30.00	23.41	26.98	3.51	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	4.75	4.83	5.45	5.84	5.2	0.52	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	365.9	383.7	370.6	348.6	367.2	14.51	0.04	0.89	328.3
塑性率 μ	5.16	6.21	5.50	4.01	5.22	0.92	-	-	-
構造特性 D_s	0.33	0.30	0.32	0.38	0.33	0.03	-	-	-
5%オフセットによる $P_{0.05}$ (kN)	292.6	304.3	305.7	272.6	293.8	15.31	0.052	0.861	253.0

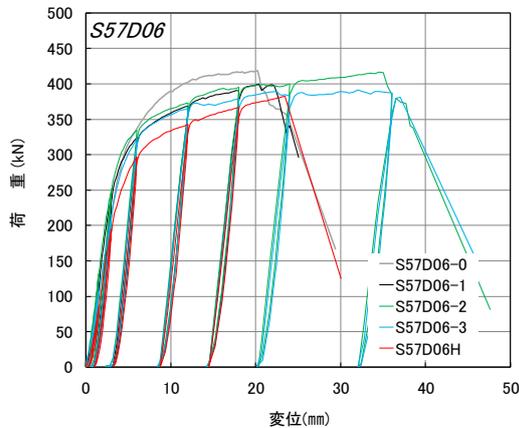


図 8.4-17 S57D06+S57D06H P δ 曲線

表 8.4-9 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	418.8	①、②、③、⑥
1	399.4	②、③、⑥
2	416.3	①、②、③、⑥
3	391.4	①、②、③
H	382.9	②、③、⑥

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

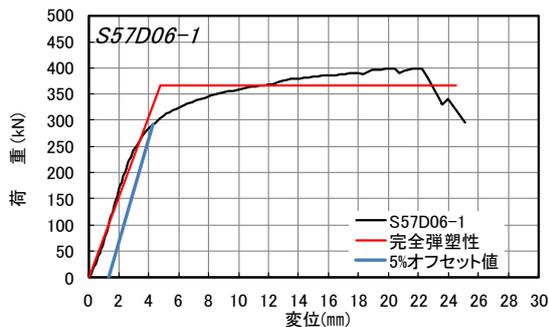


図 8.4-18 S57D06-1 包絡線と完全弾塑性評価

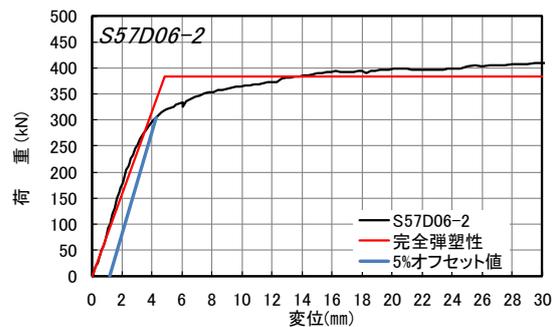


図 8.4-19 S57D06-2 包絡線と完全弾塑性評価

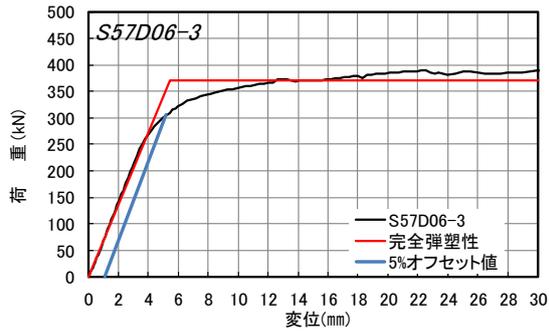


図 8.4-20 S57D06-3 包絡線と完全弾塑性評価

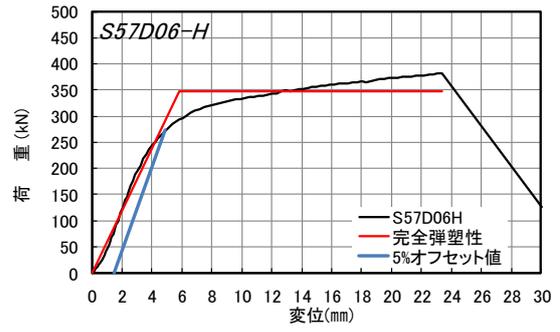


図 8.4-21 S57D06H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-23 S57D06-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-24 S57D06-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-25 S57D06-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊

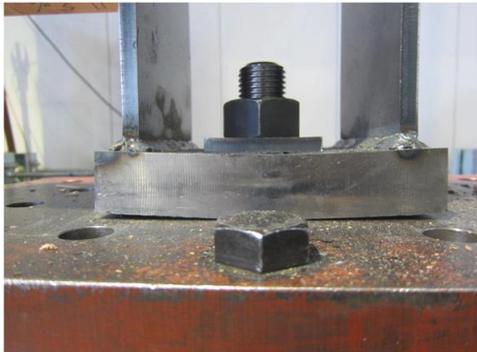


写真 8.4-26 S57D06-2 金物底板の曲げ変形



写真 8.4-27 S57D06-2 金物と鋼板の変位



写真 8.4-28 S57D06-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-29 S57D06-3 ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-30 S57D06-2 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-31 S57D06-3 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-32 S57D06-3 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-33 S57D06H ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-34 S57D06H 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-35 S57D06H ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-36 S57D06H 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊、外層ラミナの引張破壊



写真 8.4-37 S57D06H 内層のローリングシア破壊

No.4 S77D06、S77D06H

表 8.4-10 S77D06 特性値

	S77D06			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
完全弾塑性モデルによる特性値								
$2/3P_{max}$ (kN)	277.3	260.5	276.4	271.4	9.42	0.03	0.89	241.7
P_{max} (kN)	415.9	390.8	414.6	407.1	14.13	0.03	0.89	362.6
δ_{Pmax} (mm)	60.00	28.01	28.01	38.67	18.47	-	-	-
降伏耐力 P_{ybl} (kN)	298.1	256.3	308.8	287.7	27.74	0.10	0.70	200.3
降伏時 δ_y (mm)	4.28	3.91	4.97	4.39	0.54	-	-	-
初期剛性 K(kN/mm)	69.65	65.29	62.13	65.69	3.78	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	5.44	5.63	6.17	5.75	0.38	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	378.7	367.7	383.1	376.5	7.93	0.02	0.93	351.5
塑性率 μ	5.51	5.33	4.86	5.24	0.34	-	-	-
構造特性 D_s	0.32	0.32	0.34	0.33	0.01	-	-	-
5%オフセットによる P_{y5} (kN)	320.3	320.4	321.4	320.7	0.61	0.002	0.994	318.8

表 8.4-11 S77D06+S77D06H 特性値

	S77D06				平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	H					
完全弾塑性モデルによる特性値									
$2/3P_{max}$ (kN)	277.3	260.5	276.4	240.9	263.8	17.09	0.06	0.83	217.9
P_{max} (kN)	415.9	390.8	414.6	361.3	395.7	25.64	0.06	0.83	326.9
δ_{Pmax} (mm)	60.00	28.01	28.01	17.70	33.43	18.37	-	-	-
降伏耐力 P_{ybl} (kN)	298.1	256.3	308.8	235.3	274.6	34.65	0.13	0.66	181.7
降伏時 δ_y (mm)	4.28	3.91	4.97	3.67	4.21	0.57	-	-	-
初期剛性 K(kN/mm)	69.65	65.29	62.13	64.11	65.30	3.18	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	23.58	28.40	3.21	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	5.44	5.63	6.17	5.19	5.6	0.42	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	378.7	367.7	383.1	332.9	365.6	22.74	0.06	0.83	304.6
塑性率 μ	5.51	5.33	4.86	4.54	5.06	0.44	-	-	-
構造特性 D_s	0.32	0.32	0.34	0.35	0.33	0.02	-	-	-
5%オフセットによる P_{y5} (kN)	320.3	320.4	321.4	302.6	316.2	9.06	0.029	0.922	291.5

表 8.4-12 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	432.8	⑦
1	418.8	①
2	390.8	①
3	414.6	①
H	361.3	①、②、⑤

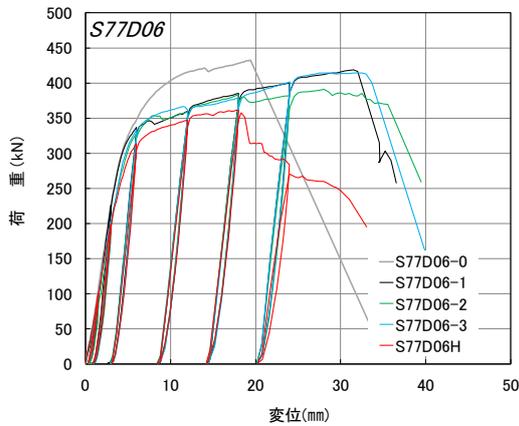


図 8.4-22 S77D06+S77D06H P δ 曲線

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLT の引張破壊
- ⑧破壊なし

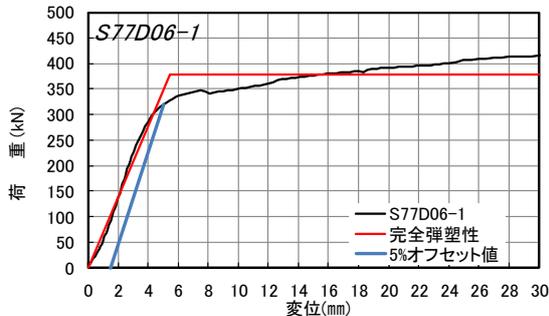


図 8.4-23 S77D06-1 包絡線と完全弾塑性評価

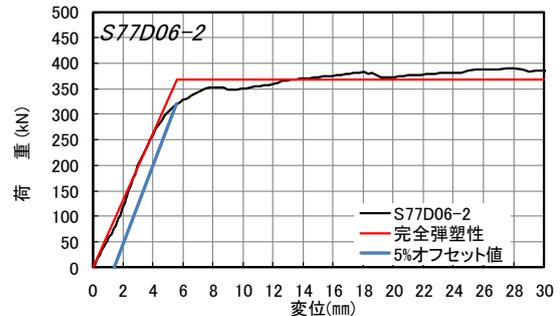


図 8.4-24 S77D06-2 包絡線と完全弾塑性評価

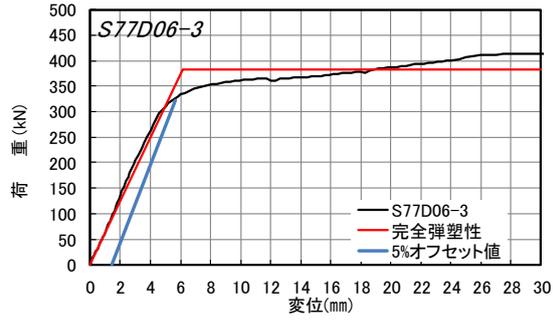


図 8.4-25 S77D06-3 包絡線と完全弾塑性評価

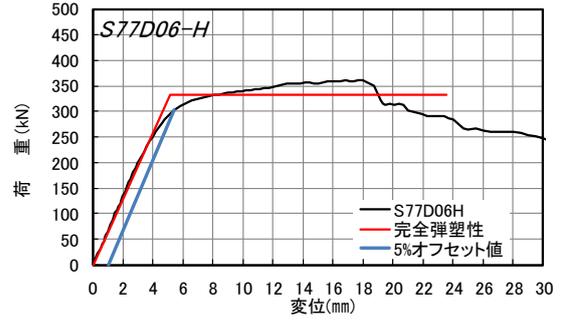


図 8.4-26 S77D06H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-38 S77D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-39 S77D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-40 S77D06-2 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-41 S77D06-2 スリット部からの面外への開き

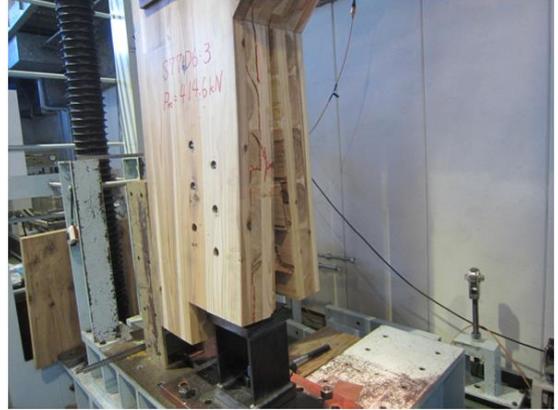


写真 8.4-42 S77D06-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-43 S77D06-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-44 S77D06-3 金物底板の曲げ変形



写真 8.4-45 S77D06-H スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊

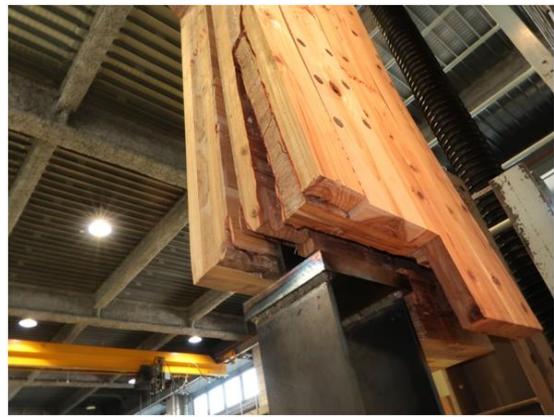


写真 8.4-46 S77D06H スリット部からの面外への開き、内層の引張破壊及びローリングシア破壊



写真 8.4-47 S77D06H スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-48 S77D06H スリット部からの面外への開き、それに伴うラミナの割れ(引張破壊ではない)



写真 8.4-49 S77D06H スリット部からの面外への開き、それに伴うラミナの割れ(引張破壊ではない)

表 8.4-13 H57D06 特性値

	H57D06						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	337.9	331.6	330.4	339.4	340.3	339.1	336.4	4.30	0.01	0.97	326.4
	P_{max} (kN)	506.9	497.3	495.7	509.1	510.4	508.6	504.7	6.45	0.01	0.97	489.6
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	18.96	22.48	22.93	20.51	28.90	27.38	23.53	3.88	-	-	-
	降伏耐力 P_{yB} (kN)	307.9	304.2	307.6	304.2	323.0	326.9	312.3	10.00	0.03	0.93	288.9
	降伏時 δ_y (mm)	3.58	3.88	4.02	3.61	4.85	4.42	4.06	0.49	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	85.99	78.34	76.48	84.33	66.57	74.04	77.62	7.10	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	19.30	25.67	27.70	22.24	30.00	30.00	25.82	4.33	-	-	-
	降伏変位 δ_y (mm)	5.30	5.72	5.93	5.34	6.86	6.18	5.89	0.58	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	455.6	448.3	453.7	450.1	456.7	457.5	453.7	3.73	0.01	0.98	445.0
	塑性率 μ	3.64	4.49	4.67	4.17	4.37	4.85	4.37	0.43	-	-	-
	構造特性 D_s	0.40	0.35	0.35	0.37	0.36	0.34	0.36	0.02	-	-	-
	5%オフセットによる P_{yB} (kN)	348.8	338.4	335.5	338.2	338.7	345.4	340.8	5.10	0.015	0.965	328.9

表 8.4-14 H57D06+H57D06H 特性値

	H57D06							平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	H						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	337.9	331.6	330.4	339.4	340.3	339.1	336.6	336.5	3.93	0.01	0.97	327.6
	P_{max} (kN)	506.9	497.3	495.7	509.1	510.4	508.6	504.9	504.7	5.89	0.01	0.97	491.4
	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	18.96	22.48	22.93	20.51	28.90	27.38	20.17	23.05	3.76	-	-	-
	降伏耐力 P_{yB} (kN)	307.9	304.2	307.6	304.2	323.0	326.9	303.2	311.0	9.75	0.03	0.93	289.1
	降伏時 δ_y (mm)	3.58	3.88	4.02	3.61	4.85	4.42	3.52	3.98	0.49	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	85.99	78.34	76.48	84.33	66.57	74.04	86.11	78.84	7.23	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	19.30	25.67	27.70	22.24	30.00	30.00	24.01	25.56	4.01	-	-	-
	降伏変位 δ_y (mm)	5.30	5.72	5.93	5.34	6.86	6.18	5.21	5.8	0.59	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	455.6	448.3	453.7	450.1	456.7	457.5	448.8	453.0	3.87	0.01	0.98	444.3
	塑性率 μ	3.64	4.49	4.67	4.17	4.37	4.85	4.61	4.40	0.40	-	-	-
	構造特性 D_s	0.40	0.35	0.35	0.37	0.36	0.34	0.35	0.36	0.02	-	-	-
	5%オフセットによる P_{yB} (kN)	348.8	338.4	335.5	338.2	338.7	345.4	333.5	339.8	5.42	0.016	0.964	327.6

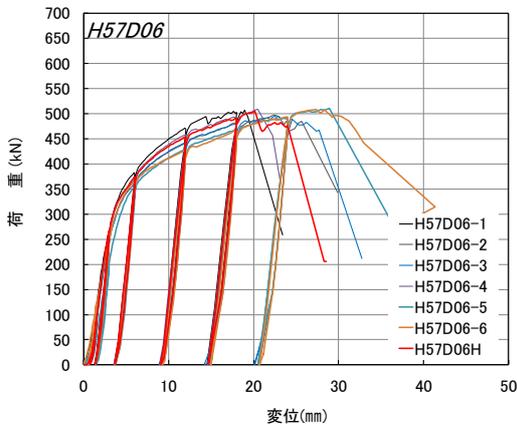


図 8.4-27 H57D06+H57D06H P δ 曲線

表 8.4-15 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	506.9	①、②、③
2	497.3	①、②、③
3	495.7	①、②、③
4	509.1	①、②、③
5	510.4	①、②、③
6	508.6	①、②、③
H	504.9	②、③

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

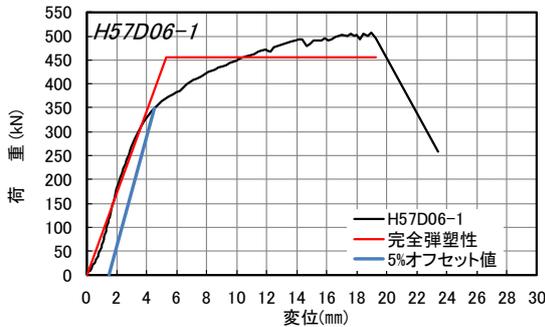


図 8.4-28 H57D06-1 包絡線と完全弾塑性評価

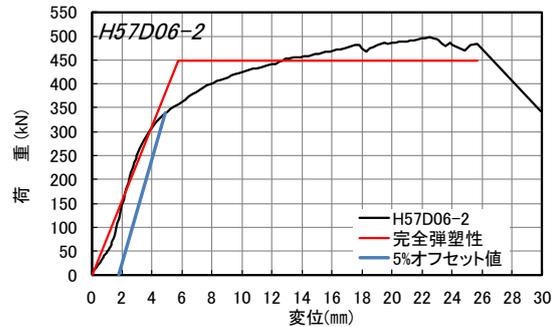


図 8.4-29 H57D06-2 包絡線と完全弾塑性評価

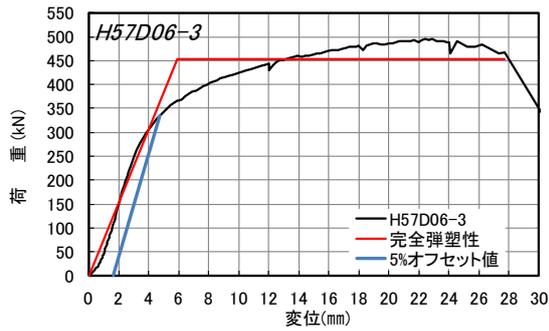


図 8.4-30 H57D06-3 包絡線と完全弾塑性評価

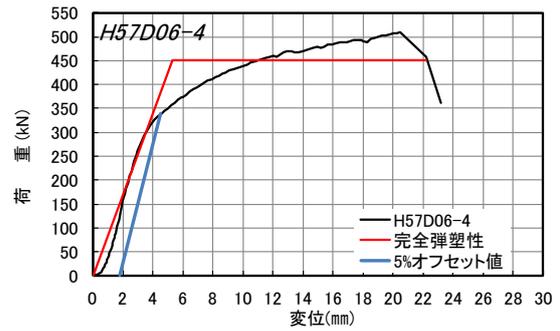


図 8.4-31 H57D06-4 包絡線と完全弾塑性評価

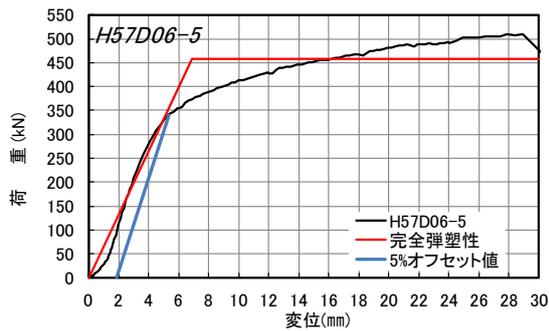


図 8.4-32 H57D06-5 包絡線と完全弾塑性評価

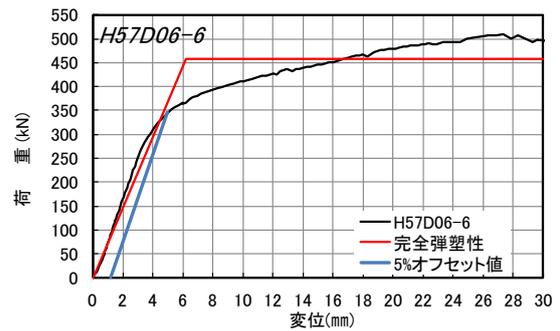


図 8.4-33 H57D06-6 包絡線と完全弾塑性評価

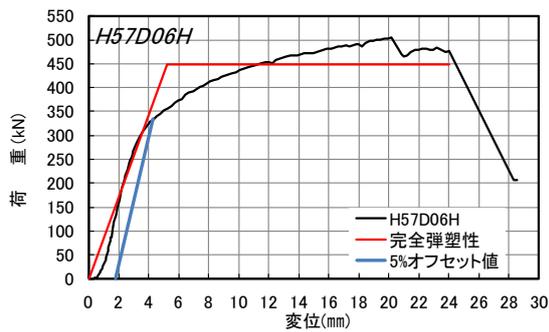


図 8.4-34 H57D06H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-50 H57D06-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-51 H57D06-1 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-52 H57D06-1 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-53 H57D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-54 H57D06-1 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-55 H57D06-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-56 H57D06-1 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-57 H57D06-2 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-58 H57D06-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-59 H57D06-3 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-60 H57D06-4 内層のローリングシア破壊、ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-61 H57D06-5 スリット部からの面外への開き、内層のローリングシア破壊



写真 8.4-62 H57D06H ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-63 H57D06H 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-64 H57D06H 裏面は破壊無し



写真 8.4-65 H57D06H 内層のローリングシア破壊



写真 8.4-66 H57D06H 金物底板の曲げ変形

No.6 H77D06、H77D06H

表 8.4-16 H77D06 特性値

	H77D06						平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6					
完全弾塑性モデルによる特性値											
$2/3P_{max}$ (kN)	348.2	343.2	388.6	379.1	317.2	364.7	356.8	26.07	0.07	0.83	295.9
P_{max} (kN)	522.3	514.8	582.9	568.7	475.8	547.0	535.2	39.11	0.07	0.83	443.9
δ_{Pmax} (mm)	29.74	28.57	28.90	28.33	13.48	28.84	26.31	6.30	-	-	-
降伏耐力 P_{yB} (kN)	341.7	314.6	345.0	364.2	291.2	351.5	334.7	26.85	0.08	0.81	272.0
降伏時 δ_y (mm)	4.79	3.79	4.05	5.27	3.25	4.81	4.33	0.76	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	71.33	82.91	85.25	69.07	89.73	73.10	78.56	8.49	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	6.60	5.78	6.18	7.37	4.67	6.88	6.25	0.95	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	470.5	479.5	526.8	508.8	419.1	502.7	484.6	37.97	0.08	0.82	395.9
塑性率 μ	4.55	5.19	4.85	4.07	6.42	4.36	4.91	0.84	-	-	-
構造特性 D_s	0.35	0.33	0.34	0.37	0.29	0.36	0.34	0.03	-	-	-
5%オフセットによる P_{yB} (kN)	347.5	357.7	362.6	366.7	340.9	382.7	359.7	14.78	0.041	0.904	325.2

表 8.4-17 H77D06+H77D06H 特性値

	H77D06								平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	H						
完全弾塑性モデルによる特性値													
$2/3P_{max}$ (kN)	348.2	343.2	388.6	379.1	317.2	364.7	262.9	262.9	343.4	42.75	0.12	0.72	247.2
P_{max} (kN)	522.3	514.8	582.9	568.7	475.8	547.0	394.3	394.3	515.1	64.13	0.12	0.72	370.7
δ_{Pmax} (mm)	29.74	28.57	28.90	28.33	13.48	28.84	7.19	7.19	23.58	9.24	-	-	-
降伏耐力 P_{yB} (kN)	341.7	314.6	345.0	364.2	291.2	351.5	288.0	288.0	328.0	30.21	0.09	0.79	260.0
降伏時 δ_y (mm)	4.79	3.79	4.05	5.27	3.25	4.81	3.45	3.45	4.20	0.77	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	71.33	82.91	85.25	69.07	89.73	73.10	83.42	83.42	79.26	7.97	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	6.60	5.78	6.18	7.37	4.67	6.88	4.41	4.41	6.0	1.11	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	470.5	479.5	526.8	508.8	419.1	502.7	367.5	367.5	467.9	56.19	0.12	0.73	341.4
塑性率 μ	4.55	5.19	4.85	4.07	6.42	4.36	6.81	6.81	5.18	1.05	-	-	-
構造特性 D_s	0.35	0.33	0.34	0.37	0.29	0.36	0.28	0.28	0.33	0.03	-	-	-
5%オフセットによる P_{yB} (kN)	347.5	357.7	362.6	366.7	340.9	382.7	364.7	364.7	360.4	13.63	0.038	0.914	329.4

表 8.4-18 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	522.3	①
2	514.8	①
3	582.9	①
4	568.7	①
5	475.8	①、②、③
6	547.0	①
H	394.3	⑤

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

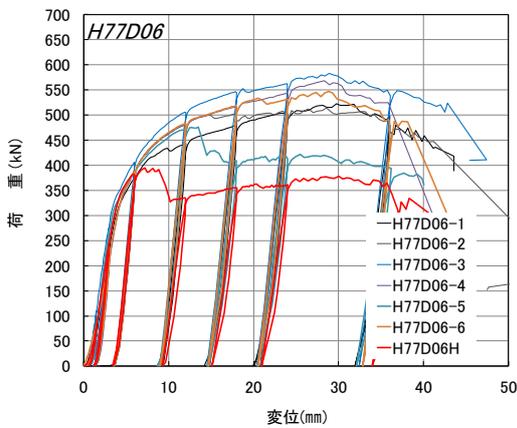


図 8.4-35 H77D06+H77D06H P δ 曲線

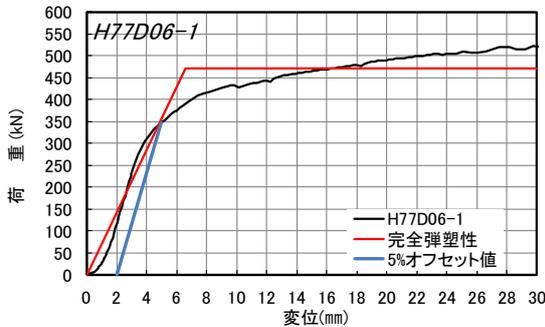


図 8.4-36 H77D06-1 包絡線と完全弾塑性評価

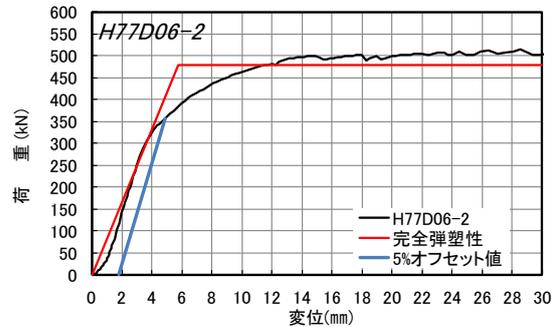


図 8.4-37 H77D06-2 包絡線と完全弾塑性評価

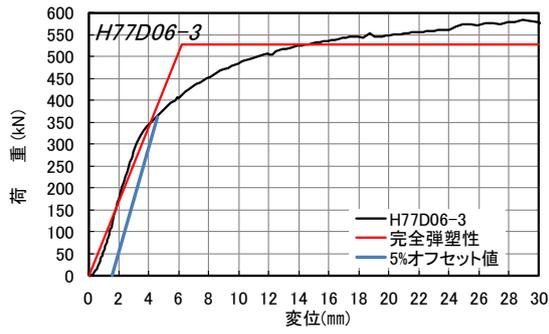


図 8.4-38 H77D06-3 包絡線と完全弾塑性評価

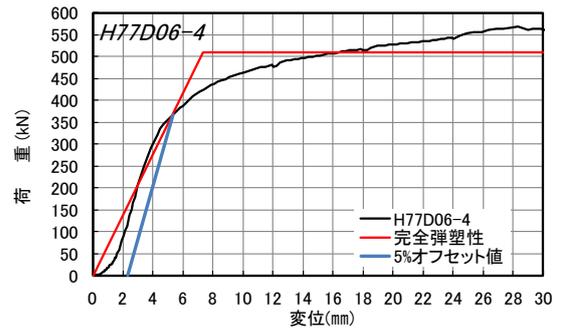


図 8.4-39 H77D06-4 包絡線と完全弾塑性評価

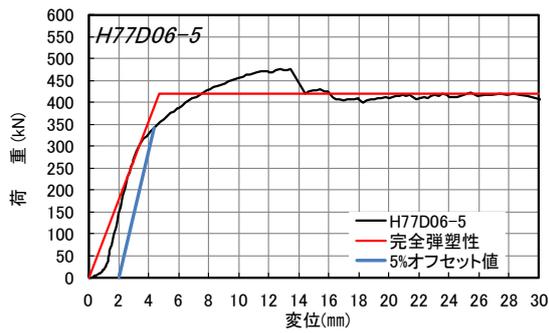


図 8.4-40 H77D06-5 包絡線と完全弾塑性評価

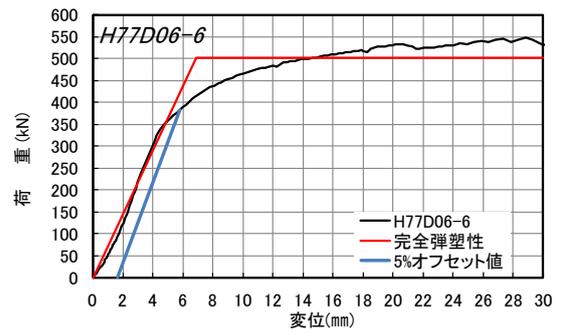


図 8.4-41 H77D06-6 包絡線と完全弾塑性評価

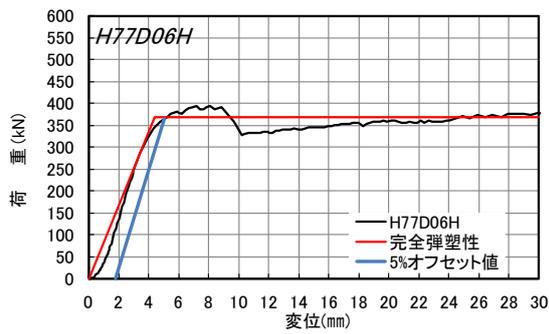


図 8.4-42 H77D06H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-67 H77D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-68 H77D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-69 H77D06-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-70 H77D06-2 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-71 H77D06-3 金物底板の曲げ変形



写真 8.4-72 H77D06-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-73 H77D06-5 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-74 H77D06-5 内層ラミナのローリングシア破壊



写真 8.4-75 H77D06-H 内層ラミナの引張破壊



写真 8.4-76 H77D06-H 内層ラミナの引張破壊



写真 8.4-77 H77D06-H 内層ラミナの引張破壊

No.7 H57D04、H57D04H

表 8.4-17 H57D04 特性値

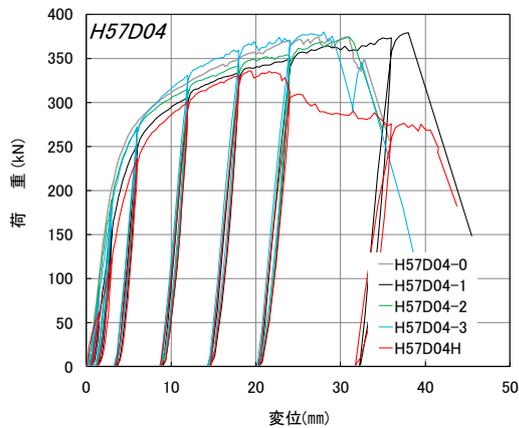
	H57D04			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	242.7	247.6	253.3	247.8	5.30	0.02	0.93	231.1
	P_{max} (kN)	364.0	371.4	379.9	371.8	7.96	0.02	0.93	346.7
	δ_{Pmax} (mm)	28.51	30.00	28.00	28.84	1.04	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybl} (kN)	226.7	235.5	231.7	231.3	4.41	0.02	0.94	217.4
	降伏時 δ_y (mm)	4.83	4.27	4.22	4.44	0.34	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	46.24	55.15	54.91	52.10	5.08	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
	降伏変位 δ_y (mm)	6.96	6.07	6.30	6.44	0.46	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	326.9	334.8	346.1	335.9	9.65	0.03	0.91	305.5
	塑性率 μ	4.31	4.94	4.76	4.67	0.33	-	-	-
	構造特性 D_s	0.36	0.34	0.34	0.35	0.01	-	-	-
	5%オフセットによる $P_{0.5}$ (kN)	233.8	239.6	249.6	241.0	7.99	0.033	0.896	215.9

表 8.4-18 H57D04+H57D04H 特性値

	H57D04				平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3	H						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	242.7	247.6	253.3	223.8	241.8	12.78	0.05	0.86	207.6
	P_{max} (kN)	364.0	371.4	379.9	335.7	362.8	19.17	0.05	0.86	311.4
	δ_{Pmax} (mm)	28.51	30.00	28.00	19.21	26.43	4.89	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybl} (kN)	226.7	235.5	231.7	213.1	226.8	9.79	0.04	0.88	200.5
	降伏時 δ_y (mm)	4.83	4.27	4.22	5.13	4.61	0.44	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	46.24	55.15	54.91	41.54	49.46	6.71	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
	降伏変位 δ_y (mm)	6.96	6.07	6.30	7.34	6.7	0.59	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	326.9	334.8	346.1	305.1	328.2	17.31	0.05	0.86	281.8
	塑性率 μ	4.31	4.94	4.76	4.09	4.53	0.39	-	-	-
	構造特性 D_s	0.36	0.34	0.34	0.37	0.35	0.02	-	-	-
	5%オフセットによる $P_{0.5}$ (kN)	233.8	239.6	249.6	256.5	244.9	10.13	0.041	0.890	218.0

表 8.4-19 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	374.1	①、③
1	378.9	①、③
2	374.2	①、③
3	379.9	①
H	335.7	①、②



- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

図 8.4-43 H57D04+H57D04H P δ 曲線

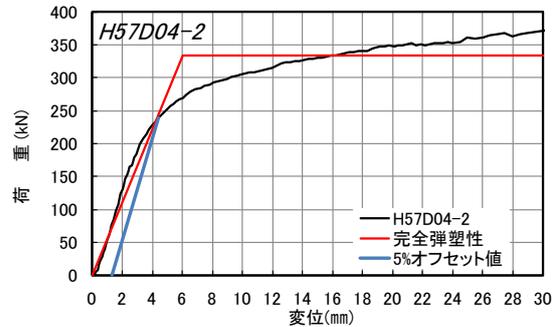
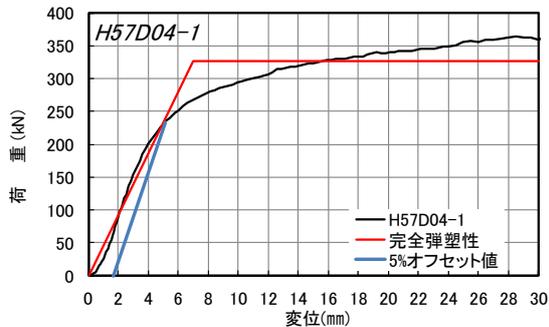


図 8.4-44 H57D04-1 包絡線と完全弾塑性評価

図 8.4-45 H57D04-2 包絡線と完全弾塑性評価

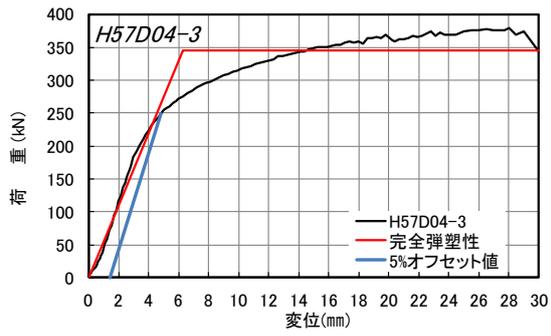


図 8.4-46 H57D04-3 包絡線と完全弾塑性評価

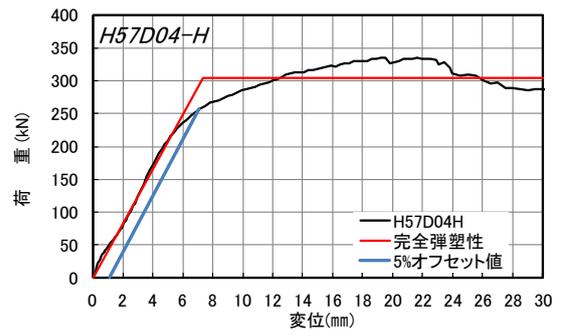


図 8.4-47 H57D04H 包絡線と完全弾塑性評価

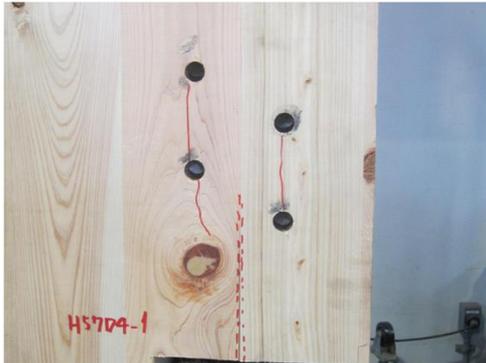


写真 8.4-78 H57D04-1 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-79 H57D04-1 金物の曲げ変形



写真 8.4-80 H57D04-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-81 H57D04-1 スリット部からの面外への開き

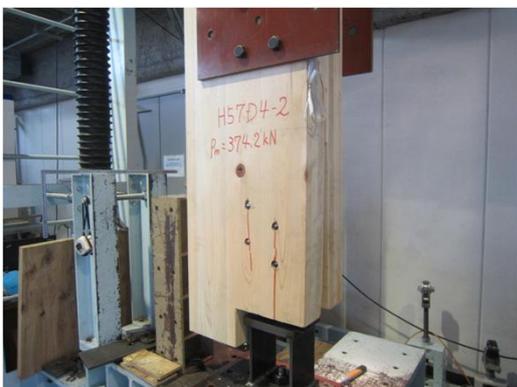


写真 8.4-82 H57D04-2 ピンによる外層ラミナの割裂破壊



写真 8.4-83 H57D04-2 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-84 H57D04-3 スリット部からの面外への開き

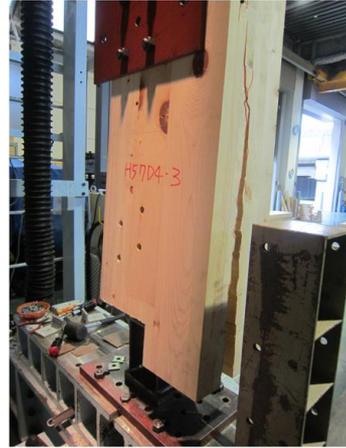


写真 8.4-85 H57D04-H スリット部からの面外への開き



写真 8.4-86 H57D04-H



写真 8.4-87 H57D04-H 内層ラミナのローリングシア破壊



写真 8.4-88 H57D04-H スリット部からの面外への開き、内層ラミナのローリングシア破壊

No.8 H77D04、H77D04H

表 8.4-20 H77D04 特性値

	H77D04			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	233.1	244.4	267.5	248.3	17.57	0.07	0.78	193.0
	P_{max} (kN)	349.6	366.6	401.3	372.5	26.35	0.07	0.78	289.4
	δ_{Pmax} (mm)	29.50	27.01	27.50	28.00	1.32	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	253.0	263.8	274.9	263.9	10.95	0.04	0.87	229.4
	降伏時 δ_v (mm)	4.39	4.60	4.49	4.49	0.11	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	57.63	57.35	61.22	58.73	2.16	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	5.63	5.80	5.96	5.80	0.17	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	324.4	332.9	365.1	340.8	21.47	0.06	0.80	273.1
	塑性率 μ	5.33	5.17	5.03	5.18	0.15	-	-	-
	構造特性 D_s	0.32	0.33	0.33	0.33	0.01	-	-	-
5%オフセットによる P_{v5} (kN)	277.7	272.5	286.1	278.8	6.86	0.025	0.921	256.8	

表 8.4-21 H77D04+H77D04H 特性値

	H77D04				平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	
	No.1	No.2	No.3	H						
完全弾塑性モデルによる特性値	$2/3P_{max}$ (kN)	233.1	244.4	267.5	215.4	240.1	21.84	0.09	0.76	181.6
	P_{max} (kN)	349.6	366.6	401.3	323.1	360.2	32.76	0.09	0.76	272.3
	δ_{Pmax} (mm)	29.50	27.01	27.50	20.40	26.10	3.95	-	-	-
	降伏耐力 P_{ybi} (kN)	253.0	263.8	274.9	227.0	254.7	20.50	0.08	0.78	199.7
	降伏時 δ_v (mm)	4.39	4.60	4.49	3.93	4.35	0.29	-	-	-
	初期剛性 K(kN/mm)	57.63	57.35	61.22	57.76	58.49	1.83	-	-	-
	終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
	降伏変位 δ_v (mm)	5.63	5.80	5.96	5.23	5.7	0.31	-	-	-
	終局耐力 P_u (kN)	324.4	332.9	365.1	301.9	331.1	26.18	0.08	0.79	260.9
	塑性率 μ	5.33	5.17	5.03	5.74	5.32	0.30	-	-	-
	構造特性 D_s	0.32	0.33	0.33	0.31	0.32	0.01	-	-	-
5%オフセットによる P_{v5} (kN)	277.7	272.5	286.1	244.1	270.1	18.22	0.067	0.820	221.5	

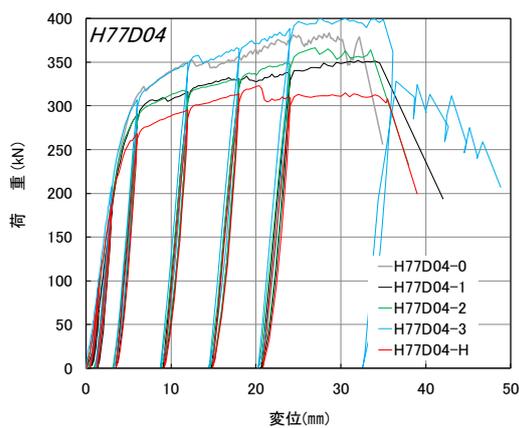


図 8.4-43 H77D04+H77D04H P δ 曲線

表 8.4-22 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
0	383.2	①
1	351.9	①
2	366.6	①
3	401.3	①
H	323.1	①

- ①スリット部からの面外への開き
- ②内層のローリングシア破壊
- ③ピンによる外層ラミナの割裂破壊
- ④ピンによる外層ラミナの押し抜きせん断破壊
- ⑤内層ラミナの引張破壊
- ⑥外層ラミナの引張破壊
- ⑦CLTの引張破壊
- ⑧破壊なし

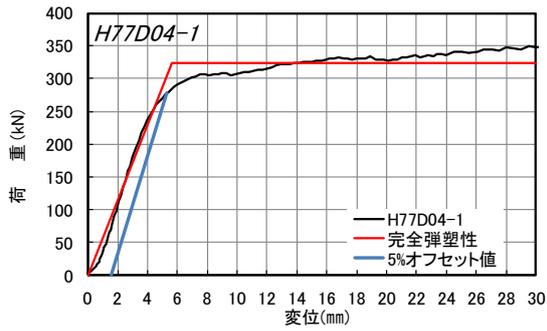


図 8.4-44 H77D04-1 包絡線と完全弾塑性評価

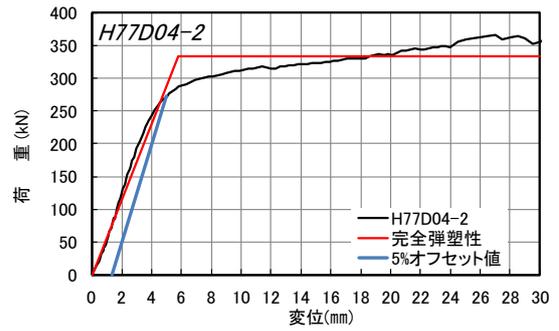


図 8.4-45 H77D04-2 包絡線と完全弾塑性評価

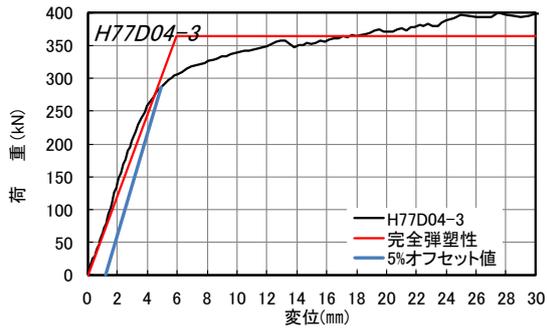


図 8.4-46 H77D04-3 包絡線と完全弾塑性評価

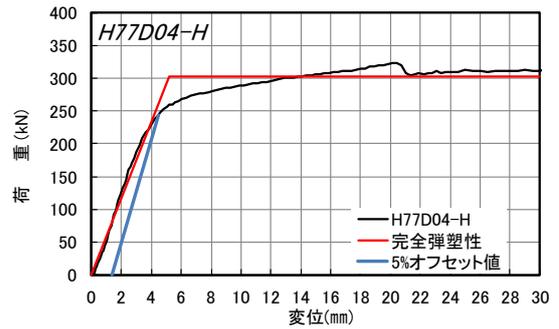


図 8.4-47 H77D04H 包絡線と完全弾塑性評価



写真 8.4-89 H77D04-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-90 H77D04-1 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-91 H77D04-2 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-92 H77D04-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-93 H77D06-3 スリット部からの面外への開き



写真 8.4-94 H77D04H スリット部からの面外への開き



写真 8.4-95 H77D04H スリット部からの面外への開き



写真 8.4-96 H77D06-3 スリット部からの面外への開き

8.5 適用可能な構造用アンカーボルトの種類

各試験体の終局耐力と、その 5%下限値から判定される ABR の種類について表 8.5-1 に示す。

表中①は前述の正規 6 体ないし 3 体の 5%下限値から求めた P_u を元に判定を行っており、②は H 試験体を加えた 7 体ないし 4 体の 5%下限値から求めている。表中の赤字は注釈にもあるとおり、H 試験体を加えたことによって終局耐力が低くなり、選択できるボルトの種類が小さくなったものを示している。8.4 項で述べたとおり、7 層 7 プライ試験体は幅はぎ位置による集合型破壊の影響を受けやすく、S77D09 以外は 1 ランク下のボルト径に低下する結果となった。

しかし、これらの救済措置として単調加力試験体も評価に混ぜたところ、③のとおり S77D06、S57D04、S77D04 試験体の選択できるボルト径が 1 ランク上の評価になった。

表 8.5-1 各試験体の終局耐力と適用可能なアンカーボルト

試験体番号	実験値と使用できるボルトの種類	S57D09	S77D09	S57D06	S77D06	H57D06	H77D06	H57D04	H77D04
①正規6(3)体	5%下限値	494.2	421.0	344.3	351.5	445.0	395.9	305.5	273.1
	ABR490	M36	M33	M30	M30	M33	M33	M27	M27
	ABR400	M39	M36	M33	M33	M36	M36	M30	M30
②正規6(3)体 +H試験体	5%下限値	478.2	418.8	328.3	304.6	444.3	341.4	281.8	260.9
	ABR490	M36	M33	M30	M27	M33	M30	M27	M24
	ABR400	M39	M36	M33	M30	M36	M33	M30	M27
③正規3体 +H試験体 +単調試験体	5%下限値	—	—	332.6	324.1	—	—	320.6	330.7
	ABR490	—	—	M30	M30	—	—	M30	M30
	ABR400	—	—	M33	M33	—	—	M33	M33

※表中赤字は、評価の試験体数を変えたことによって適用可能なアンカーボルトの種類に変更が生じたものを示している。

8.6 降伏耐力の推定と終局強度比

6.5 項と同様に、文献 4)の一面せん断の詳細 EYT 式に準じて鋼板挿入二面せん断である本接合部の降伏耐力の推定を行った。表 8.6-1 に完全弾塑性モデルによる降伏耐力 P_{ybi} 、表 8.6-2 による降伏耐力 P_{y5} との比較を行った。

詳細 EYT 式に用いた基準支圧強度は、表 3.5-1、表 3.5-2 の集成材要素試験の結果 (P_u の 5% 下限値を支圧面積で除した値) を用いている。

6.5 項 (1 次試験) と同様に、脆性的に破壊した H 試験体の場合、 P_{ybi} は計算値より低い値となった(表 8.6-1)。一方、 P_{y5} については表 8.6-2 のとおり平均値において概ね一致する結果となった。

また、表 8.6-3 のとおり終局強度比を算出した。

6.5 項と同様に 5% オフセットの終局強度比を算出するにあたり、終局耐力は完全弾塑性モデルによる評価方法によるものとした。

表 8.6-1 完全弾塑性モデルによる降伏耐力と詳細 EYT 式による降伏耐力の比較

項目 \ 試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
		S57D09	S77D09	S57D06	S77D06	H57D06	H77D06	H57D04	H77D04
完全弾塑性モデルによる P_{ybi} (kN)	1体目	369.6	364.6	259.7	298.1	307.9	341.7	226.7	253.0
	2体目	368.8	370.9	277.2	256.3	304.2	314.6	235.5	263.8
	3体目	373.6	370.0	262.7	308.8	307.6	345.0	231.7	274.9
	4体目	360.7	350.5	-	-	304.2	364.2	-	-
	5体目	387.4	379.4	-	-	323.0	291.2	-	-
	6体目	366.8	392.5	-	-	326.9	351.5	-	-
	平均値	371.1	371.3	266.5	287.7	312.3	334.7	231.3	263.9
	5% 下限値	350.1	338.4	237.0	200.3	288.9	272.0	217.4	229.4
	H試験体	353.1	355.9	251.5	235.3	303.2	288.0	213.1	227.0
詳細EYT式による計算値	降伏モード	III-3	III-3	III-3	III-3	IV-2	III-3	IV-2	III-3
	計算値	401.6	402.5	266.2	266.9	430.8	414.5	287.2	276.3
P_{ybi} (平均値) / 計算値		0.92	0.92	1.00	1.08	0.72	0.81	0.81	0.96
P_{ybi} (5% 下限値) / 計算		0.87	0.84	0.89	0.75	0.67	0.66	0.76	0.83
P_{ybi} (H試験体) / 計算値		0.88	0.88	0.94	0.88	0.70	0.69	0.74	0.82

表 8.6-2 5% オフセット値による降伏耐力と詳細 EYT 式による降伏耐力の比較

項目 \ 試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
		S57D09	S77D09	S57D06	S77D06	H57D06	H77D06	H57D04	H77D04
5% オフセット P_{y5} (kN)	1体目	400.1	406.2	292.6	320.3	348.8	347.5	233.8	277.7
	2体目	408.8	400.8	304.3	320.4	338.4	357.7	239.6	272.5
	3体目	396.4	400.8	305.7	321.4	335.5	362.6	249.6	286.1
	4体目	395.7	402.4	-	-	338.2	366.7	-	-
	5体目	418.0	409.5	-	-	338.7	340.9	-	-
	6体目	395.6	422.0	-	-	345.4	382.7	-	-
	平均値	402.4	407.0	300.9	320.7	340.8	359.7	241.0	278.8
	5% 下限値	380.7	387.9	278.0	318.8	328.9	325.2	215.9	256.8
	H試験体	395.2	418.4	272.6	302.6	333.5	364.7	256.5	244.1
詳細EYT式による計算値	降伏モード	III-3	III-3	III-3	III-3	IV-2	III-3	IV-2	III-3
	計算値	401.6	402.5	266.2	266.9	430.8	414.5	287.2	276.3
P_{y5} (平均値) / 計算値		1.00	1.01	1.13	1.20	0.79	0.87	0.84	1.01
P_{y5} (5% 下限値) / 計算		0.95	0.96	1.04	1.19	0.76	0.78	0.75	0.93
P_{y5} (H試験体) / 計算値		0.98	1.04	1.02	1.13	0.77	0.88	0.89	0.88

表 6.5-3 完全弾塑性モデル及び 5% オフセットによる降伏耐力から求めた終局強度比

試験体名		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
項目		S57D09	S77D09	S57D06	S77D06	H57D06	H77D06	H57D04	H77D04
完全弾塑性モデル	P_{ybi} (kN)	371.1	371.3	266.5	287.7	312.3	334.7	231.3	263.9
	P_{ubi} (kN)	518.2	513.6	373.4	376.5	453.7	484.6	484.6	335.9
	γ_{ub}	1.40	1.38	1.40	1.31	1.45	1.45	2.09	1.27
完全弾塑性モデル(H試験体)	P_{ybi} (kN)	353.1	355.9	251.5	235.3	303.2	288.0	213.1	227.0
	P_{ubi} (kN)	484.9	471.9	348.6	332.9	448.8	367.5	367.5	305.1
	γ_{ub}	1.37	1.33	1.39	1.41	1.48	1.28	1.72	1.34
5%オフセット	P_{y5} (kN)	402.4	407.0	300.9	320.7	340.8	359.7	241.0	278.8
	γ_{u5}^*	1.29	1.26	1.24	1.17	1.33	1.35	2.01	1.20
5%オフセット(H試験体)	P_{y5} (kN)	395.2	418.4	272.6	302.6	333.5	364.7	256.5	244.1
	γ_{u5}^*	1.23	1.13	1.28	1.10	1.35	1.01	1.43	1.25

※ γ_{u5} は、完全弾塑性モデルによる終局耐力 P_{ubi} を 5% オフセットによる P_{y5} で除した値である。

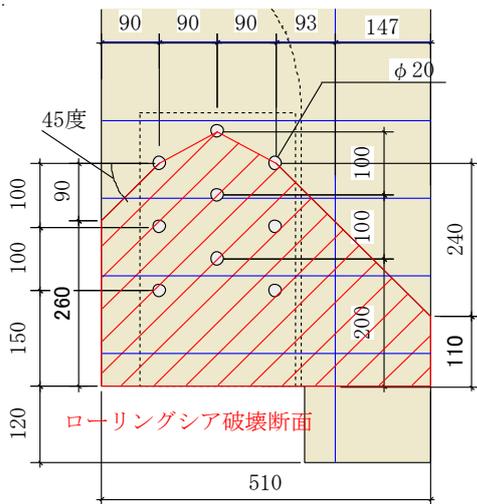
8.7 集合型破壊の検討

(1) 集合型破壊の破壊性状と推定式

8.4 項で述べたとおり、幅はぎ位置をずらした試験体のいくつかは集合型破壊によって終局耐力が低下する結果となった。幅はぎの位置によって引張面積やローリングシア面積が変化するためである。

6.5 項で述べたとおり、鋼板挿入ドリフトピン接合においては、鋼板に隣接する内層ラミナが押し抜かれて集合型破壊する。5 層 7 プライの場合は加力に対して直交層がローリングシア破壊するため、図 8.7-1 のとおりの応力分布となり、強軸層の幅はぎ位置が変化しても応力分布は変わらない（8.4 項の実験結果からもほぼ変わらないことが分かっている。）。一方、7 層 7 プライについては図 8.7-2、図 8.7-3 のとおり幅はぎ位置によってローリングシア面積及びラミナの引張面積が大きく異なる。このため、8.4 項の試験結果では H 試験体の終局耐力が大きく低下したと考えられる。

以上を踏まえて、6.5 項で示した集合型破壊の推定式を用いて推定を行った。



→弱軸方向のラミナがローリングシア応力分布に影響するため、強軸方向の幅はぎ位置の影響を受けない。

図 8.7-1 5 層 7 プライ試験体の集合型破壊 ローリングシア応力伝達面積 (S57D09、S57D09H の例)

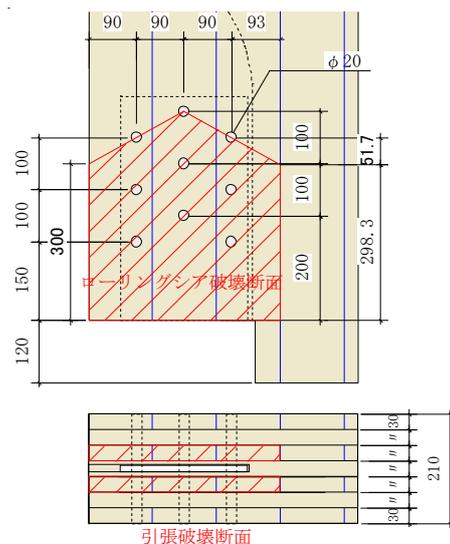


図 8.7-2 7 層 7 プライ試験体における幅はぎ位置に沿って壊れる場合の集合型破壊のローリングシア、引張破壊断面面積(S77D09 の例)

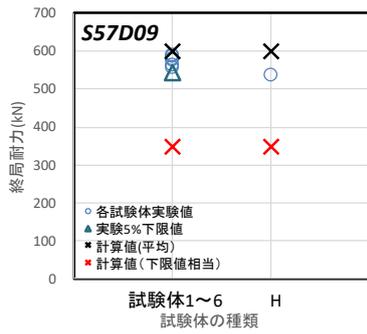


図 8.7-4 S57D09 実験値と試験値の比較

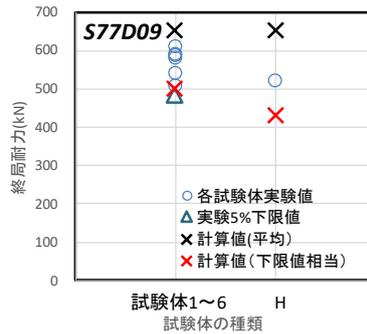


図 8.7-5 S77D09 実験値と試験値の比較

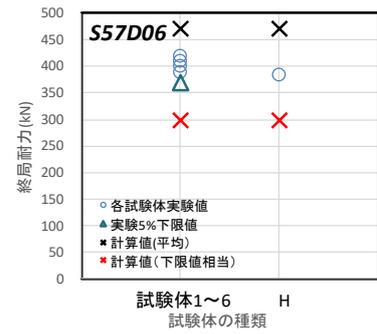


図 8.7-6 S57D06 実験値と試験値の比較

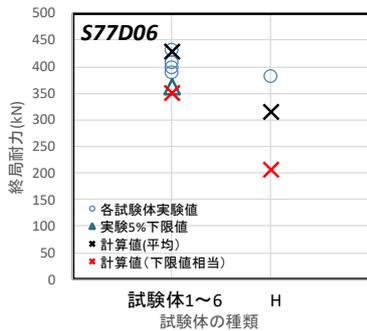


図 8.7-7 S77D06 実験値と試験値の比較

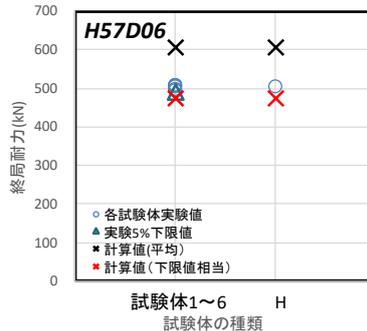


図 8.7-8 H57D06 実験値と試験値の比較

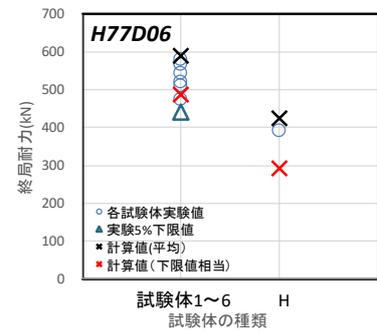


図 8.7-9 H77D06 実験値と試験値の比較

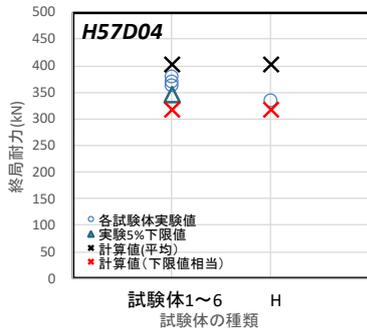


図 8.7-10 H57D04 実験値と試験値の比較

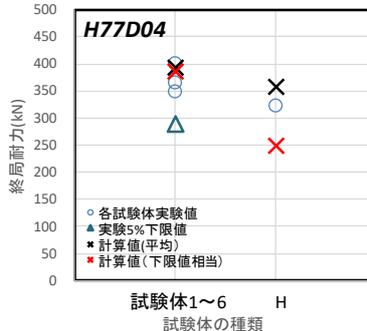


図 8.7-11 H77D04 実験値と試験値の比較

9. せん断金物の必要性能の検討

9.1 検討の目的

せん断金物接合部の必要性能の想定を行うことを目的とする。

9.2 解析方法とモデルの概要等

解析方法は文献 4)に準拠したものとし、電算プログラムは非線形増分解析：(株)構造システム SNAP (Ver.7.0.1.5)を使用した。

建物の用途・規模・スパン等によって想定される積載荷重や、1枚の壁に載る軸力が変わるため、想定される一般的な用途のうち、一番危険側（せん断応力が高くなる）となりそうな荷重条件で以下に示すモデルを設定し解析を行った。

(1) 建物の概要

標準的な規格金物の開発が目的であるため、奇抜な建築物は想定せず、一般的に想定される使われ方の中で一番厳しいと思われる条件を設定することが必要である。

したがって、本解析では建物の仕様を以下のとおりとした。

- ・6階建て CLT ビルの用途として、集合住宅、事務所ビル、病院、養護施設及び商業テナントビルが想定されるが、このうち最も積載荷重が大きいのは商業テナントビルである。積載荷重は商業施設の値(鉛直荷重用 2400N/m^2 、地震力計算用 1300N/m^2)を用いる。
- ・壁脚部の接合金物の最大は ABR490/M33 を想定し、使用する CLT 材料はスギ S60-7-7(壁厚 210mm)とする。
- ・階高は想定される一般的な CLT ビルの用途、かつ CLT 壁が負担する水平力を最大化させるため、3mに設定する。
- ・架構が負担する直交方向の床のスパンは、CLT 床パネルが負担し得る最大スパンと考えられる 6m とする。
- ・CLT 壁パネルの幅は、一般的に使用可能かつ最大のせん断力を負担し得る、2m を使用する。
- ・一般的な架構を想定し、外壁柱と中壁柱を併用する架構とし、CLT 壁を水平方向の 3 枚並べる。
- ・架構の水平方向のスパンは、一般的な CLT ビルを想定し建物の塔状比が 2（高さ 18m/幅 9m）となるように、かつ CLT 壁の鉛直荷重時圧縮軸力比が 0.2 程度になるように設定し、3.5m とする。

(2) モデル概要

解析モデルは 1 構面のみの平面モデルとする。解析する構面は負担荷重が大きい建物内部の架構とし、かつ大きな水平力を負担できるように、垂壁・腰壁が入った架構にする。

想定解析モデルを用いて、非線形増分解析を行い、最大層間変形角

1/30 の時点における CLT 壁 1 枚当たりの最大負担水平せん断力を求める。

9.3 部材の仕様

解析に使用する CLT パネルの仕様を表 9.3-1～表 9.3-5 に示す。

表 9.3-1 CLT パネルの種類

壁 垂壁 腰壁 (210mm)	樹種		スギ
	ラミナ	等級	外層:M60A以上
			内層:M60A以上 (JAS強度等級S60-7-7)
		ラミナ厚さ	30mm
		ラミナ幅	120mm±10mm
	構成	1,7層目:外層用ラミナを使用し、主として長辺方向に繊維平行に配置	
		2,4,6層目:内層用ラミナを使用し、1,7層目と直交になる向きに配置	
3,5層目:内層用ラミナを使用し、1,7層目と同一方向に配置			
接着剤	縦継ぎ(フィンガージョイント)、積層部分	JIS K 6806 に規定する水性高分子イソシアネート系木材接着剤 1種1号	
	横はぎ部分	接着無	

CLT パネルの許容応力度

		めり込み以外	めり込み
		(圧縮・引張・曲げ・せん断)	
長期	常時	$\frac{1.1}{3} F$	$\frac{1.5}{3} F_{cv}$
	積雪	$1.3 \times \frac{1.1}{3} F = \frac{1.43}{3} F$	$\frac{1.5}{3} F_{cv}$
短期	水平	$\frac{2}{3} F$	$\frac{2}{3} F_{cv}$
	積雪	$\frac{2}{3} F \times 0.8 = \frac{1.6}{3} F$	$\frac{2}{3} F_{cv}$

表 9.3-3 CLT パネルの材料定数

部位	強度等級 ラミナ構成	面内方向 [単位:N/mm ²]		面外方向 [単位:N/mm ²]					
		E		G		E		G	
		強軸	弱軸	共通		強軸	弱軸	強軸	弱軸
垂直構面(壁)	S60-7-7	3428	2571	500		4268	1731	58.4	38.9

表 9.3-4 CLT パネルの材料強度 (面内方向)

部位	強度等級 ラミナ構成	面内方向 [単位:N/mm ²]						
		Fc		Ft		Fb		Fs
		強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	t _{net} =60mm
垂直構面(壁)	S60-7-7	9.25	6.94	6.85	5.14	9.25	6.94	2.47

※ラミナ幅方向の数は一部パネルでは m=7(幅 840 mm 以上)以上となるが、最小幅は 750 mm となるため安全側で全パネル m=3 とし計算する

表 9.3-5 CLT パネルの材料強度 (面外方向)

部位	強度等級 ラミナ構成	面外方向 [単位:N/mm ²]					めり込み
		Fb		Fs	β		F _{cv}
		強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	
垂直構面(壁)	S60-7-7	9.36	3.79	0.90	1.38	1.80	6

9.4 部材及び接合部のモデル化

9.4.1 部材のモデル化

部材の SNAP 入力値を表 9.4-1 及び表 9.4-2 に示す。

表 9.4-1 部材の SNAP 入力値 その 1

番号	名称	断面寸法 (mm)		断面積 (mm ²)	せん断用断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)
		幅(mm)	成(mm)	A	Asz(面内)	Iy(面内)
1	CLT壁	210	2,000	420,000	356,863	140,000,000,000
2	剛柱	1,050	1,500	1,575,000	1,338,235	295,312,500,000
3	垂壁	210	750	157,500	133,824	7,382,812,500
4	腰壁	210	750	157,500	133,824	7,382,812,500
5	剛梁	1,050	1,500	1,575,000	1,338,235	295,312,500,000
6	CLT床	1,000	210	210,000	178,431	771,750,000

表 9.4-2 部材の SNAP 入力値 その 2

名称	断面寸法			材料性能		断面積	せん断用断面積	断面二次モーメント
	壁厚 (mm)	パネルL (mm)	パネルH (mm)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	A (mm ²)	Asz(面内) (mm ²)	Iy(面内) (mm ⁴)
7 パネル	210	2,000	750	3,428	500	99,502	0	0

9.4.2 接合部のモデル化

(1) CLT壁パネルの引張圧縮バネの計算(1階壁脚)

[CLT壁パネル長さ= 2000 mm]

[引きボルト金物名称:TB-M33]

[圧縮バネ名称:622]

・CLT壁パネルの断面寸法・材種

$$\text{壁厚 } t = 210 \text{ mm}$$

$$\text{壁長 } D = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{引きボルトから壁引張端までの距離 } d_c = 150 \text{ mm}$$

$$\text{引きボルトから壁圧縮端までの距離 } d = 1850 \text{ mm}$$

$$0.83d = 1541.7 \text{ mm}$$

$$R = \frac{0.83d}{D} = \frac{1542}{2000} = 0.77$$

$$R^2 = 0.77^2 = 0.59$$

使用材料:S60-7-7

$$\text{壁パネルの支圧剛性 } k_e = 15.6 \text{ N/mm}^3 \text{ (マニュアルp.69による)}$$

$$\text{壁パネルの圧縮強度 } F_c = 9.25 \text{ N/mm}^2$$

・CLT壁パネルの有効支圧面積Ae

$$A_e = \frac{d}{4} \times t = \frac{1850}{4} \times 210 = 97125 \text{ mm}^2$$

・引きボルトの断面寸法・材料

ボルト径 : M33

$$A_b = 731 \text{ mm}^2 \text{ (軸部断面積)}$$

$$L_b = 400 \text{ mm} \text{ (引きボルト定着長)}$$

種別: ABR490

$$E = 205 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y = 325 \text{ N/mm}^2$$

・引きボルトの終局耐力 P_u

$$P_y = F_y \times A_b = 325 \times 731 \times 1.1 = 261 \text{ kN}$$

・引きボルトのSNAP入力用降伏耐力 $R \cdot P_y$

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 261 = 201 \text{ kN}$$

・引きボルトの引張剛性 K_b

$$K_b = \frac{E \cdot A_b}{L_b} = \frac{205 \times 10^3 \times 731}{400} = 374638 \text{ N/mm}$$

・鋼板挿入ドリフトピン接合部の剛性 K_{ct}

$$K_{ct} = 250000 \text{ N/mm} \text{ と仮定する。}$$

・CLTパネル引きボルト接合部の鉛直方向引張剛性 K_t

$$K_t = 1 / \left(\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{ct}} \right) = 1 / \left(\frac{1}{374638} + \frac{1}{250000} \right) \\ = 149942 \text{ N/mm} = 150 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル引きボルト接合部のSNAP入力用鉛直方向引張剛性 $R^2 \cdot K_t$

$$R^2 \cdot K_t = 0.59 \times 150 = 89 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル圧縮めり込み耐力 P_y

$$P_y = A_e \times F_c = 97125 \times 9.25 = 898 \text{ kN}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み耐力 $R \cdot P_y$

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 898 = 693 \text{ kN}$$

・CLTパネル圧縮めり込み剛性 K_1

$$K_1 = A_e \times K_e = 97125 \times 15.6 = 1515 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み剛性 $R^2 \cdot K_1$

$$R^2 \cdot P_y = 0.59 \times 1515 = 900 \text{ kN/mm}$$

(2) CLT壁パネルの引張圧縮バネの計算(2~6階壁頭壁脚)

[CLT壁パネル長さ= 2000 mm]

[引きボルト金物名称: TC-M33]

[圧縮バネ名称: 38]

・CLT壁パネルの断面寸法・材種

$$\text{壁厚 } t = 210 \text{ mm}$$

$$\text{壁長 } D = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{引きボルトから壁引張端までの距離 } d_c = 150 \text{ mm}$$

$$\text{引きボルトから壁圧縮端までの距離 } d = 1850 \text{ mm}$$

$$0.83d = 1542 \text{ mm}$$

$$R = \frac{0.83d}{D} = \frac{1542}{2000} = 0.77$$

$$R^2 = 0.77^2 = 0.59$$

使用材料:S60-7-7

$$\text{床パネルの板厚} Z_0 = 210 \text{ mm}$$

$$\text{床パネルのめり込み剛性 } E_{90} = 200 \text{ N/mm}^3$$

$$\text{床パネルのめり込み強度 } F_{cv} = 6.0 \text{ N/mm}^2$$

・CLT床パネルの有効めり込み面積 A_e

$$A_e = \frac{d}{4} \times t = \frac{1850}{4} \times 210 = 97125 \text{ mm}^2$$

・引きボルトの断面寸法・材料

ボルト径 : M33

$$A_b = 731 \text{ mm}^2 \quad (\text{軸部断面積})$$

$$L_b = 400 \text{ mm} \quad (\text{引きボルト定着長})$$

種別:ABR490

$$E = 205 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y = 325 \text{ N/mm}^2$$

・引きボルトの終局耐力 P_u

$$P_y = F_y \times A_b = 325 \times 731 \times 1.1 = 261 \text{ kN}$$

・引きボルトのSNAP入力用降伏耐力 $R \cdot P_y$

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 261 = 201 \text{ kN}$$

・引きボルトの引張剛性 K_b

$$K_b = \frac{E \cdot A_b}{L_b} = \frac{205 \times 10^3 \times 731}{400} = 374638 \text{ N/mm}$$

・鋼板挿入ドリフトピン接合部の剛性 K_{ct}

$$K_{ct} = 250000 \text{ N/mm} \text{ と仮定する。}$$

・CLTパネル引きボルト接合部の鉛直方向引張剛性 K_t

$$K_t = 1 / \left(\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{ct}} + \frac{1}{K_{ct}} \right) = 1 / \left(\frac{1}{374638} + \frac{1}{250000} + \frac{1}{250000} \right) \\ = 93727 \text{ N/mm} = 94 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル引きボルト接合部のSNAP入力用鉛直方向引張剛性 $R^2 \cdot K_t$

$$R^2 \cdot K_t = 0.59 \times 94 = 56 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル圧縮めり込み耐力 P_y

$$P_y = A_e \times F_c = 97125 \times 6.0 = 583 \text{ kN}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み耐力 $R \cdot P_y$

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 583 = 449 \text{ kN}$$

・CLTパネル圧縮めり込み剛性 K_1

$$K_1 = \frac{E_{90} \times A_e}{Z_0} = \frac{200 \text{ N/mm}^2 \times 97125 \text{ mm}^2}{210 \text{ mm}} = 92500 \text{ N/mm} = 93 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み剛性 $R^2 \cdot K_1$

$$R^2 \cdot P_y = 0.594 \times 93 = 55 \text{ kN/mm}$$

(3) CLT壁パネルの引張圧縮バネの計算(R階壁頭)

[CLT壁パネル長さ= 2000 mm] [引きボルト金物名称:TR-M33] [圧縮バネ名称:38]

・CLT壁パネルの断面寸法・材種

$$\begin{aligned} \text{壁厚 } t &= 210 \text{ mm} \\ \text{壁長 } D &= 2000 \text{ mm} \\ \text{引きボルトから壁引張端までの距離 } d_c &= 150 \text{ mm} \\ \text{引きボルトから壁圧縮端までの距離 } d &= 1850 \text{ mm} \\ 0.83d &= 1542 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R = \frac{0.83d}{D} = \frac{1542}{2000} = 0.77$$

$$R^2 = 0.77^2 = 0.59$$

使用材料:S60-7-7

$$\begin{aligned} \text{床パネルの板厚 } z_0 &= 210 \text{ mm} \\ \text{床パネルのめり込み剛性 } E90 &= 200 \text{ N/mm}^3 \\ \text{床パネルのめり込み強度 } F_{cv} &= 6.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

・CLT床パネルの有効めり込み面積Ae

$$A_e = \frac{d}{4} \times t = \frac{1850}{4} \times 210 = 97125 \text{ mm}^2$$

・引きボルトの断面寸法・材料

$$\begin{aligned} \text{ボルト径} &: \text{M33} \\ A_b &= 731 \text{ mm}^2 \quad (\text{軸部断面積}) \\ L_b &= 400 \text{ mm} \quad (\text{引きボルト定着長}) \end{aligned}$$

種別:ABR490

$$\begin{aligned} E &= 205 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \\ F_y &= 325 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

・引きボルトの終局耐力Pu

$$P_y = F_y \times A_b = 325 \times 731 \times 1.1 = 261 \text{ kN}$$

・引きボルトのSNAP入力用降伏耐力R・Py

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 261 = 201 \text{ kN}$$

・座金の断面寸法

$$\begin{aligned} x_b &= 80 \text{ mm} \\ y_b &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

・引きボルトの引張剛性Kb

$$K_b = \frac{E \cdot A_b}{L_b} = \frac{205 \times 10^3 \times 731}{400} = 374638 \text{ N/mm}$$

・鋼板挿入ドリフトピン接合部の剛性Kct

$$K_{ct} = 250000 \text{ N/mm} \text{ と仮定する。}$$

・引きボルトの座金直下のCLT床パネルの面圧による剛性Kg

$$K_g = \frac{x_b \times y_b \times E_{90}}{Z_o} = \frac{80 \times 210 \times 200}{210} = 16000 \text{ N/mm}$$

・CLTパネル引きボルト接合部の鉛直方向引張剛性Kt

$$K_t = 1 / \left(\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{ct}} + \frac{1}{K_g} \right) = 1 / \left(\frac{1}{374638} + \frac{1}{250000} + \frac{1}{16000} \right)$$

$$= 14457 \text{ N/mm} = 14 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル引きボルト接合部のSNAP入力用鉛直方向引張剛性R²・Kt

$$R^2 \cdot K_t = 0.59 \times 14 = 9 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネル圧縮めり込み耐力Py

$$P_y = A_e \times F_c = 97125 \times 6.0 = 583 \text{ kN}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み耐力R・Py

$$R \cdot P_y = 0.77 \times 583 = 449 \text{ kN}$$

・CLTパネル圧縮めり込み剛性K1

$$K_1 = \frac{E_{90} \times A_e}{Z_0} = \frac{200 \text{ N/mm}^2 \times 97125 \text{ mm}^2}{210 \text{ mm}} = 92500 \text{ N/mm} = 93 \text{ kN/mm}$$

・CLTパネルSNAP入力用圧縮めり込み剛性R²・K1

$$R^2 \cdot P_y = 0.59 \times 93 = 55 \text{ kN/mm}$$

(4) CLT壁パネル-腰垂壁の圧縮バネの計算

[CLT腰垂壁パネル幅= 750 mm] [圧縮バネ名称:68]

・CLT壁パネルの断面寸法・材種

$$\text{壁厚 } t = 210 \text{ mm}$$

$$\text{壁長 } D = 750 \text{ mm}$$

使用材料:S60-7-7

$$\text{壁パネルのラミナ幅 } Z_o = 120 \text{ mm}$$

$$\text{壁パネルのめり込み剛性 } E_{90} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{壁パネルのめり込み強度 } F_{cv} = 6.0 \text{ N/mm}^2$$

・CLT壁パネルの有効めり込み面積Ae

$$A_e = \frac{D}{4} \times t = \frac{750}{4} \times 210 = 39375 \text{ mm}^2$$

・CLTパネル圧縮めり込み耐力Py

$$P_y = A_e \times F_c = 39375 \times 6.0 = 236 \text{ kN}$$

・CLTパネル圧縮めり込み剛性K1

$$K_1 = \frac{1.5 \times E_{90} \times A_e}{Z_0} = \frac{1.5 \times 200 \text{ N/mm}^2 \times 39375 \text{ mm}^2}{120 \text{ mm}}$$

$$= 98438 \text{ N/mm} = 98 \text{ kN/mm}$$

(5) CLT床パネル-腰垂壁の圧縮バネの計算

[CLT腰垂壁パネル幅= 750 mm] [圧縮バネ名称:200]

・CLT壁パネルの断面寸法・材種

壁厚 t = 210 mm

壁長 D = 750 mm

使用材料:S60-7-7

床パネルの板厚Z₀ = 210 mm

床パネルのめり込み剛性 E90 = 200 N/mm³

床パネルのめり込み強度 F_{cv} = 6.0 N/mm²

・CLT壁パネルの有効めり込み面積A_e

A_e = 1000 × t = 1000 × 210 = 210000 mm²

・CLTパネル圧縮めり込み耐力P_y

P_y = A_e × F_c = 210000 × 6.0 = 1260 kN

・CLTパネル圧縮めり込み剛性K₁

$$K_1 = \frac{1.0 \times E90 \times A_e}{Z_0} = \frac{1.0 \times 200 \text{ N/mm}^2 \times 210000 \text{ mm}^2}{210 \text{ mm}}$$

$$= 200000 \text{ N/mm} = 200 \text{ kN/mm}$$

(6) せん断金物の剛性K_S

[せん断金物名称(基礎-CLT壁):SB-210]

[せん断金物名称(CLT床-CLT壁):LST-210]

[せん断金物名称(CLT腰垂壁-CLT壁):SP-210]

K_S = 300 kN/mm と仮定する。

(7) 接合部引張圧縮バネの計算結果まとめ

接合部引張圧縮バネの計算結果を表 9.4-3 に示す。

表 9.4-3 接合部引張圧縮バネの計算結果

種類	位置	名称	種別	実際の数値			SNAP入力値		
				D=1500mm, d=1350mm, j=1125mm			R ² =0.59		R=0.77
				剛性(kN.m)		耐力(kN)	剛性(kN.m)		耐力(kN)
				1次剛性	2次剛性	降伏F _y	1次剛性	2次剛性	降伏F _y
引きボルト	最上階壁-屋根床版	TR-M33	パイリニア型	14	0	261	9	0	201
	中間階壁-中間階壁	TC-M33	パイリニア型	94	0	261	56	0	201
	最下階壁-基礎	TB-M33	パイリニア型	150	0	261	89	0	201
せん断金物	壁-床版	LST-210	弾性	300	-	-	300	-	-
	壁-基礎	SB-210	弾性	300	-	-	300	-	-
	壁-腰垂壁	SP-210	弾性	300	-	-	300	-	-
圧縮バネ	壁-床版	38	パイリニア型	68	0	583	38	0	449
	壁-基礎	622	パイリニア型	1106	138	898	622	78	693
	壁-腰垂壁	68	パイリニア型	98	12	236	98	12	236
	腰垂壁-床版	200	パイリニア型	200	25	1260	200	25	1260

9.5 荷重・外力計算書

想定架構の固定荷重は、文献 4)の付録の構造設計例Ⅲに示された数値を採用した。床固定荷重と積載荷重の合計を表 9.5-1 に、CLT 床荷重の計算を表 9.5-2 に、CLT 壁荷重の計算を表 9.5-3 に、荷重の集計を表 9.5-4 に、一次設計用地震荷重(Pi)の計算を表 9.5-5 に示す。

表 9.5-1 床 固定荷重+積載荷重 (文献 4) の付録より抜粋)

		固定荷重			(単位: N/m ²)						
階	室名	内 訳	W	ΣW	床・小梁用	架構用	地震用				
R	屋根 (CLTパネル)	仕上げ t=80	100	2470 ↓ 2500 1441	D.L	2500	2500				
		シート防水	150								
		強化石膏ボード(t=21+21 t=42 γ=9.3)	391								
		CLTパネル t=210 γ=4.9	1029								
グラスウール	50										
天井下地	60										
強化石膏ボード(t=21+21 t=42 γ=9.3)	391										
集成材梁	300										
		仕上げ計	1441								
								L.L	900	650	300
				T.L	3400	3150	2800				
2~4	事務所床 (CLTパネル)	タイルカーペット	50	2355 ↓ 2400 1371	D.L	2400	2400				
		フリーアクセスフロア	200								
		ALC板 t=50 γ=6.5	325								
		CLTパネル t=210 γ=4.9	1029								
天井下地	60										
強化石膏ボード(t=21+21 t=42 γ=9.3)	391										
集成材梁	300										
		仕上げ計	1371								
								L.L	2900	1800	800
								T.L	5300	4200	3200
1	事務所床 (RCスラブ)	タイルカーペット	50	3850 ↓ 3900 250	D.L	3900	3900				
		フリーアクセスフロア	200								
		コンクリートスラブ t=150 γ=24.0	3600								
		基礎梁 (電算考慮)									
		仕上げ計	250								
								L.L	2900	1800	800
								T.L	6800	5700	4700
1	ピット (耐圧版)	仕上げ	1000					8200 ↓ 8200 1000	D.L	8200	8200
		コンクリートスラブ t=300 γ=24.0	7200								
		仕上げ計	1000								
				L.L	1800	1300	600				
				T.L	10000	9500	8800				
1	ピット (耐圧版) 1-2間、4-5間	仕上げ	1000	13000 ↓ 13000 1000	D.L	13000	13000				
		コンクリートスラブ t=500 γ=24.0	12000								
		仕上げ計	1000								
								L.L	1800	1300	600
								T.L	14800	14300	13600

外壁(CLT耐震壁)	[mm]	[N/m ²]
サイディング	t=15	170
ALC版	t=35 γ=6.5	228
CLTパネル	t=210 γ=4.9	1029
断熱材	t=100	20
強化石膏ボード(21mm+21mm)	t=42 γ=9.3	391
		1837 → 1850

内壁(CLT耐震壁)	[mm]	[N/m ²]
強化石膏ボード(21mm+21mm)	t=42 γ=9.3	391
CLTパネル	t=210 γ=4.9	1029
強化石膏ボード(21mm+21mm)	t=42 γ=9.3	391
		1810 → 1850

内壁(非耐震壁)	[mm]	[N/m ²]
強化石膏ボード(21mm+21mm)	t=42 γ=9.3	391
軸組		200
強化石膏ボード(21mm+21mm)	t=42 γ=9.3	391
		981 → 1000

外壁(ガラス)	[mm]	[N/m ²]
FL10	t=10	250
FL10	t=10	250
サッシ枠		100
		600 → 600

表 9.5-2 CLT 床荷重の計算 (※SNAP 入力は、線材に置換した CLT 床部材の等分布荷重とする。)

階	部屋名	固定荷重	積載荷重	床幅	※入力荷重	床全長	荷重計
		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(m)	(kN)
		①	②	③	(①+②)×③	④	(①+②)×③×④
RF	屋根	2.50	0.65	6.00	18.90	8.78	166
6F	事務所床	2.40	2.40	6.00	28.80	8.78	253
5F	事務所床	2.40	2.40	6.00	28.80	8.78	253
4F	事務所床	2.40	2.40	6.00	28.80	8.78	253
3F	事務所床	2.40	2.40	6.00	28.80	8.78	253
2F	事務所床	2.40	2.40	6.00	28.80	8.78	253

表 9.5-3 CLT 壁荷重の計算 (※SNAP 入力は、線材に置換した CLT 床部材の等分布荷重とする。)

階	壁名	固定荷重	階高	※入力荷重	壁幅	枚数	荷重計
		(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(m)	(m)	(kN)
		①	②	①×②	③	④	①×②×③×④
RF	壁柱	1.85	1.50	2.78	2.00	3	17
6F	壁柱	1.85	3.00	5.55	2.00	3	33
5F	壁柱	1.85	3.00	5.55	2.00	3	33
4F	壁柱	1.85	3.00	5.55	2.00	3	33
3F	壁柱	1.85	3.00	5.55	2.00	3	33
2F	壁柱	1.85	3.00	5.55	2.00	3	33
6F	腰壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
5F	腰壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
4F	腰壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
3F	腰壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
2F	腰壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
RF	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
6F	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
5F	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
4F	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
3F	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4
2F	垂壁	1.85	0.75	1.39	1.29	2	4

表 9.5-4 荷重の集計 (kN)

階	床荷重	壁柱	腰壁	垂壁	Wi
RF	166	17	0	4	186
6F	253	33	4	4	293
5F	253	33	4	4	293
4F	253	33	4	4	293
3F	253	33	4	4	293
2F	253	33	4	4	293

表 9.5-5 一次設計用地震荷重(Pi)の計算

階	Wi	Σ Wi	α i	T	Ai	Co	Ci	Pi
	(kN)	(kN)	-	(秒)	-	-	(kN)	(kN)
6F	186	186	0.113	0.54	2.182	0.2	81	81
5F	293	479	0.290	0.54	1.646	0.2	158	77
4F	293	773	0.468	0.54	1.410	0.2	218	60
3F	293	1,066	0.645	0.54	1.247	0.2	266	48
2F	293	1,359	0.823	0.54	1.115	0.2	303	37
1F	293	1,653	1.000	0.54	1.000	0.2	331	27

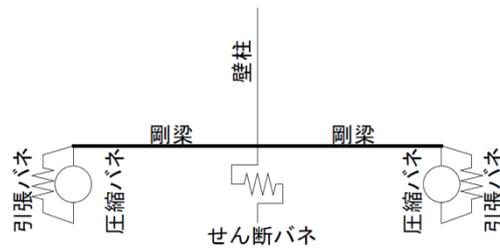
表 9.5-5 必要保有水平耐力(Qun)の計算

階	ΣW_i	A_i	C_o	$Z \cdot R_t$	Q_{ud}	D_s	F_{es}	Q_{un}
	(kN)	-	-	-	(kN)	-	-	(kN)
6F	186	2.182	1.0	1.0	406	0.55	1.0	223
5F	479	1.646	1.0	1.0	789	0.55	1.0	434
4F	773	1.410	1.0	1.0	1,090	0.55	1.0	599
3F	1,066	1.247	1.0	1.0	1,330	0.55	1.0	731
2F	1,359	1.115	1.0	1.0	1,516	0.55	1.0	834
1F	1,653	1.000	1.0	1.0	1,653	0.55	1.0	909

9.6 解析モデル図

解析モデルの凡例を図 9.6-1 に、解析架構姿図を図 9.6-2 に、解析架構(2 通り)直交方向断面図を図 9.6-3 に、SNAP 入力解析架構モデル図を図 9.6-4 に示す。

なお、解析モデルとして中通り(2 通り)を採用したのは、外周回りより中通りの方が荷重条件が厳しくなるためである。



〈解析モデル図の凡例〉

図 9.6-1 解析モデルの凡例

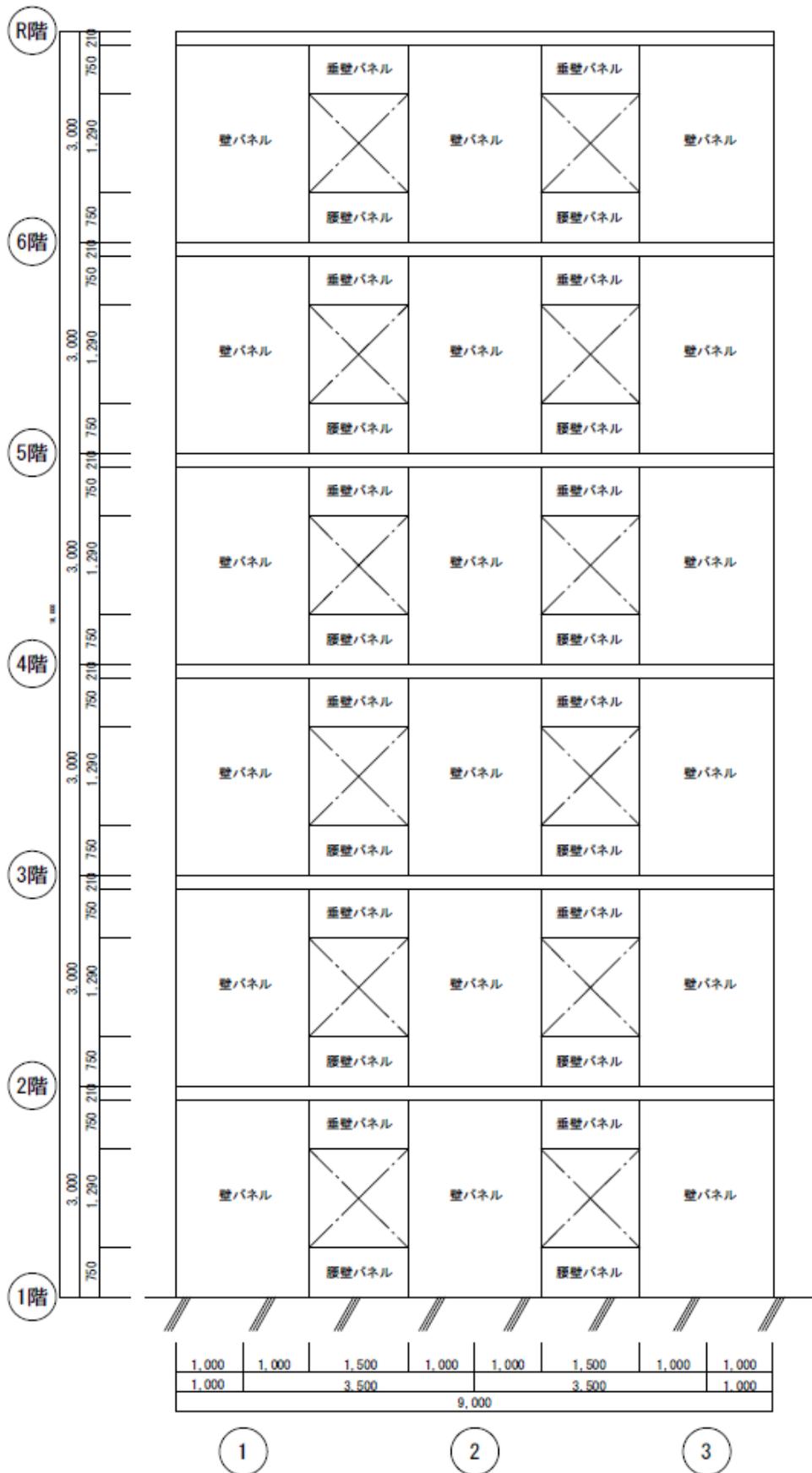


図 9.6-2 解析架構姿図

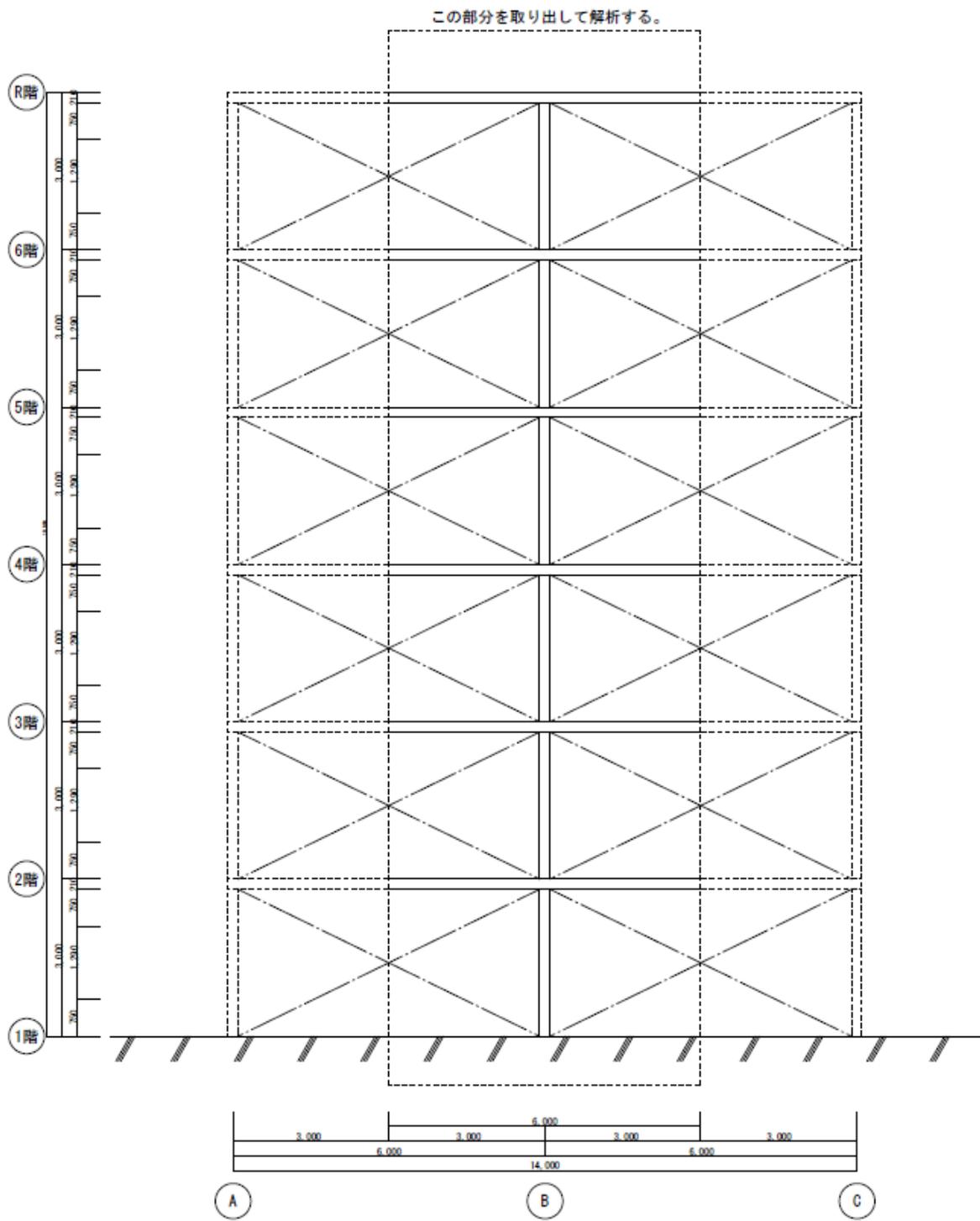


図 9.6-3 解析架構(2通り)直交方向断面図

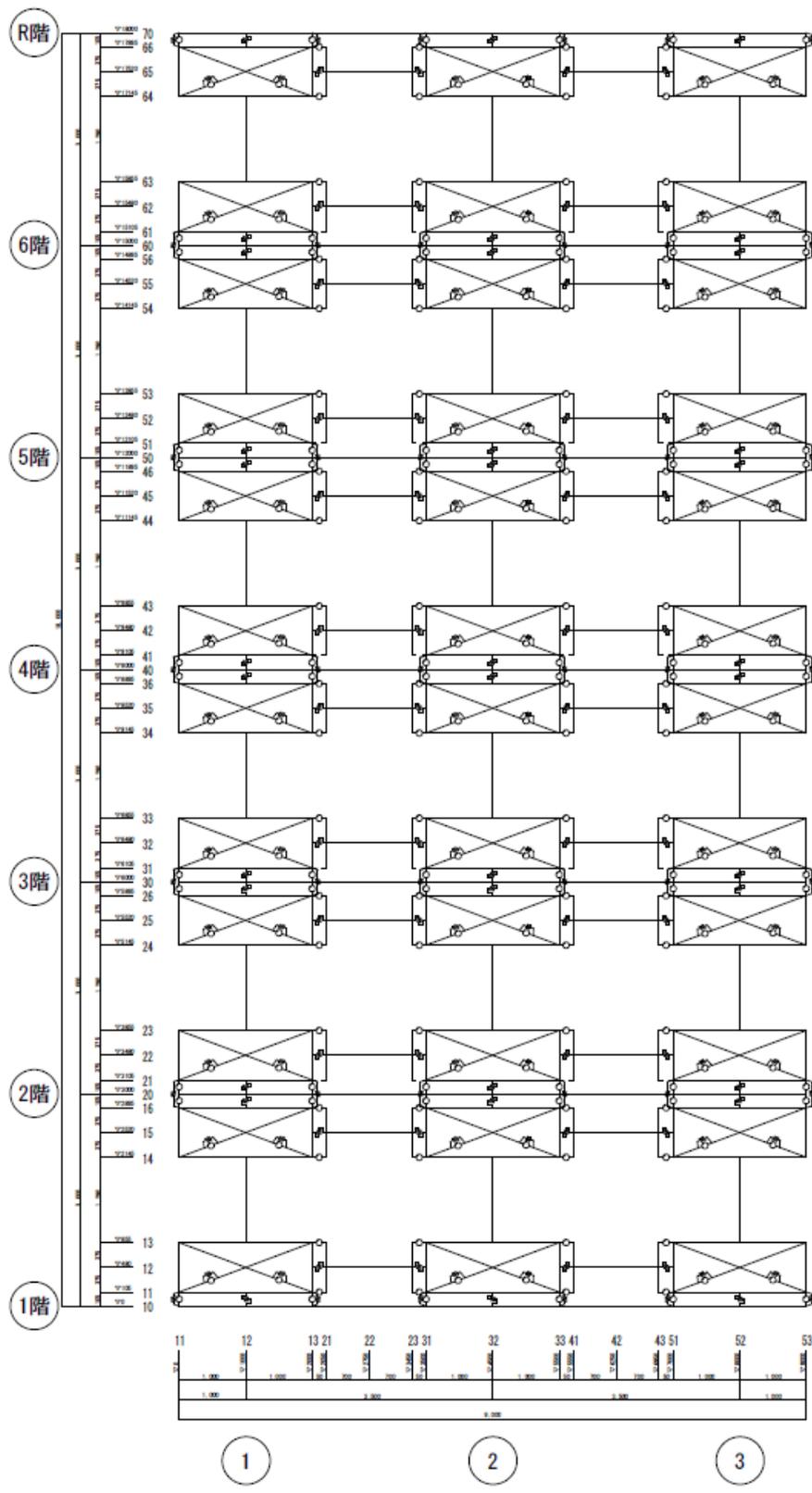


図 9.6-4 SNAP 入力解析架構

9.7 解析結果

層せん断力一層間変形関係を図 9.7-1 に、変形角 1/30rad 時の曲げ応力図を図 9.7-2 に、塑性ヒンジ図を図 9.7-3 に、変位図を図 9.7-4 に、せん断力図を図 9.7-5 に示す。

想定解析モデルを用いて、非線形増分解析を行った結果、最大層間変形角 1/30 の時点における CLT 壁 1 枚当たりの最大負担せん断力は、図 9.7-5 のとおり 276kN であった。

想定解析モデルは、6 階建ての CLT パネル構法をつかった建物として、一般的に想定される用途・規模・スパンのなかで、壁 1 枚当たりの負担水平せん断力が最も大きくなると考えられる架構を設定しているため、せん断金物はこの値を目標とすることとする。

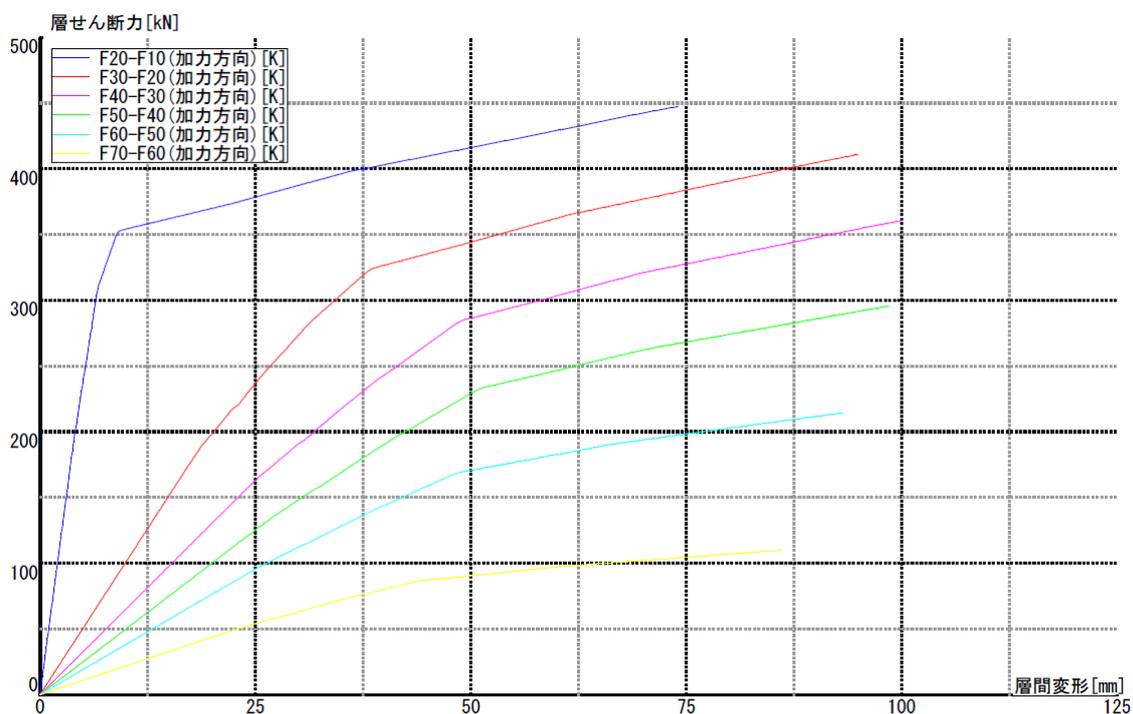


図 9.7-1 層せん断力一層間変形関係

全体図
 ステップ : 545/546
 モーメント : KN.m
 主応力度 : N/mm²

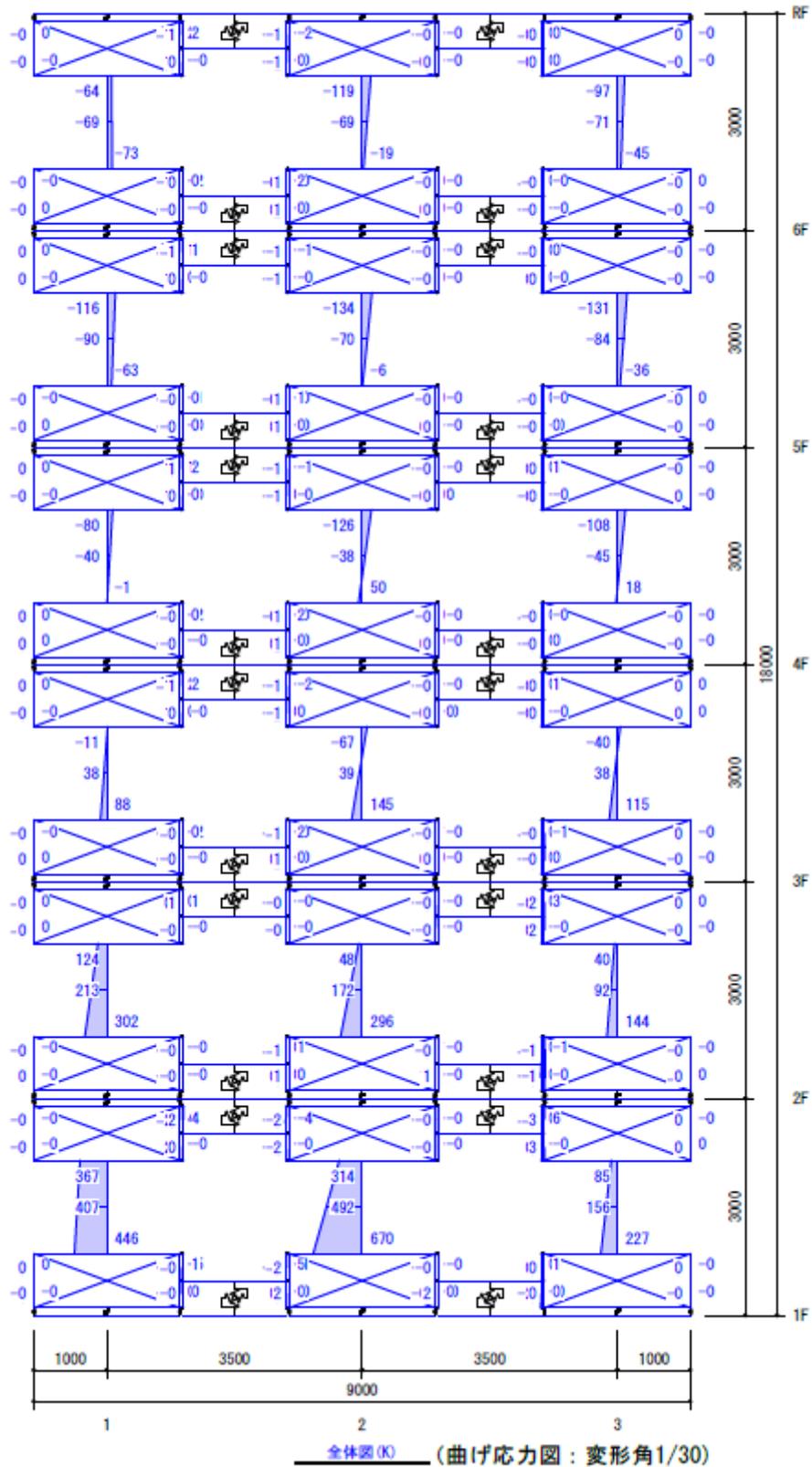


図 9.7-2 曲げ応力図 変形角 1/30

全体図
 スラブ : 545/546
 塑性率[ヒンジ発生スラブ]

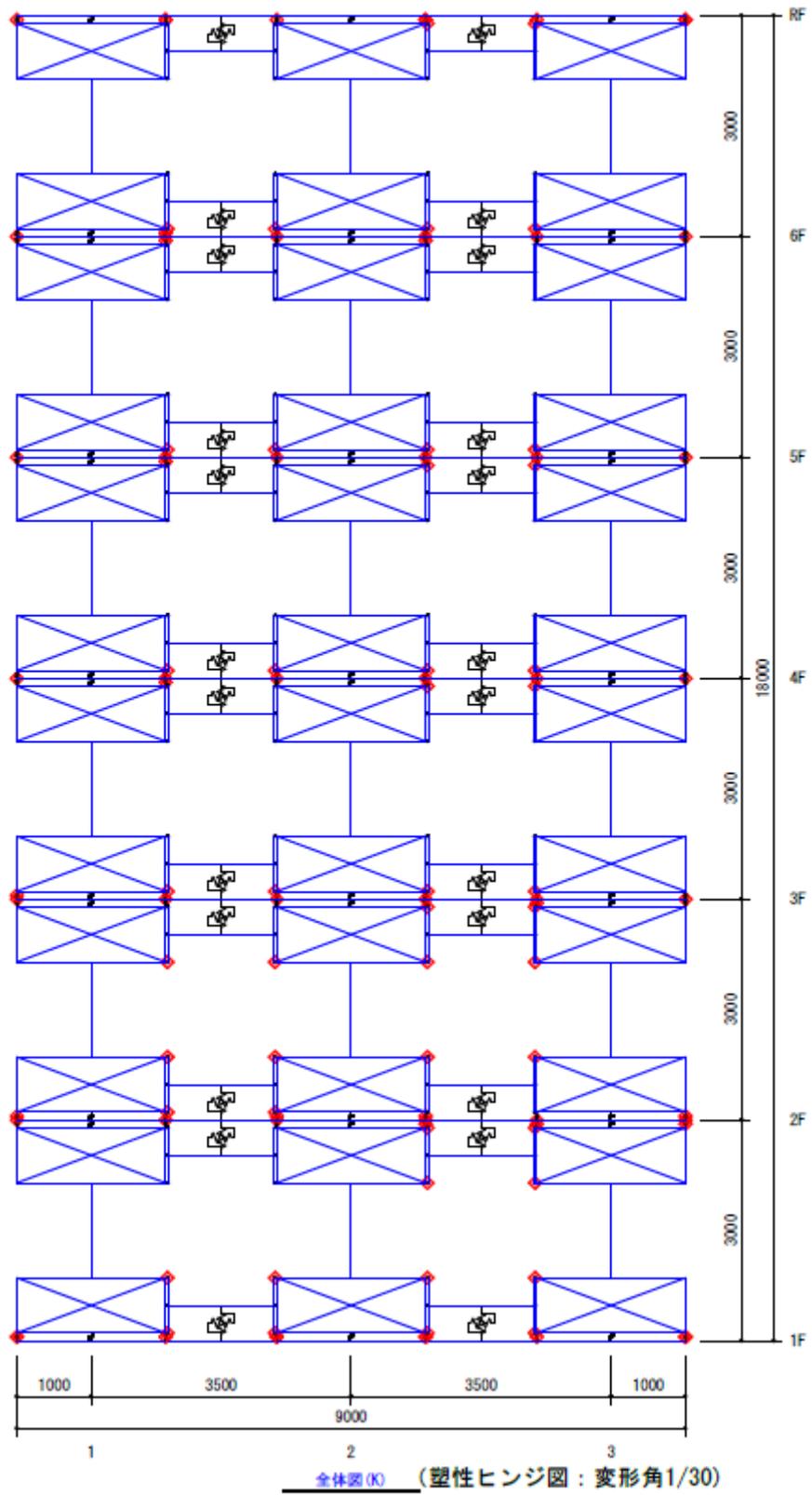


図 9.7-3 塑性ヒンジ図 変形角 1/30

全体図
 シート : 545/546
 項目 : Dx, Dz
 変位 : mm
 拡大率 : 1.0

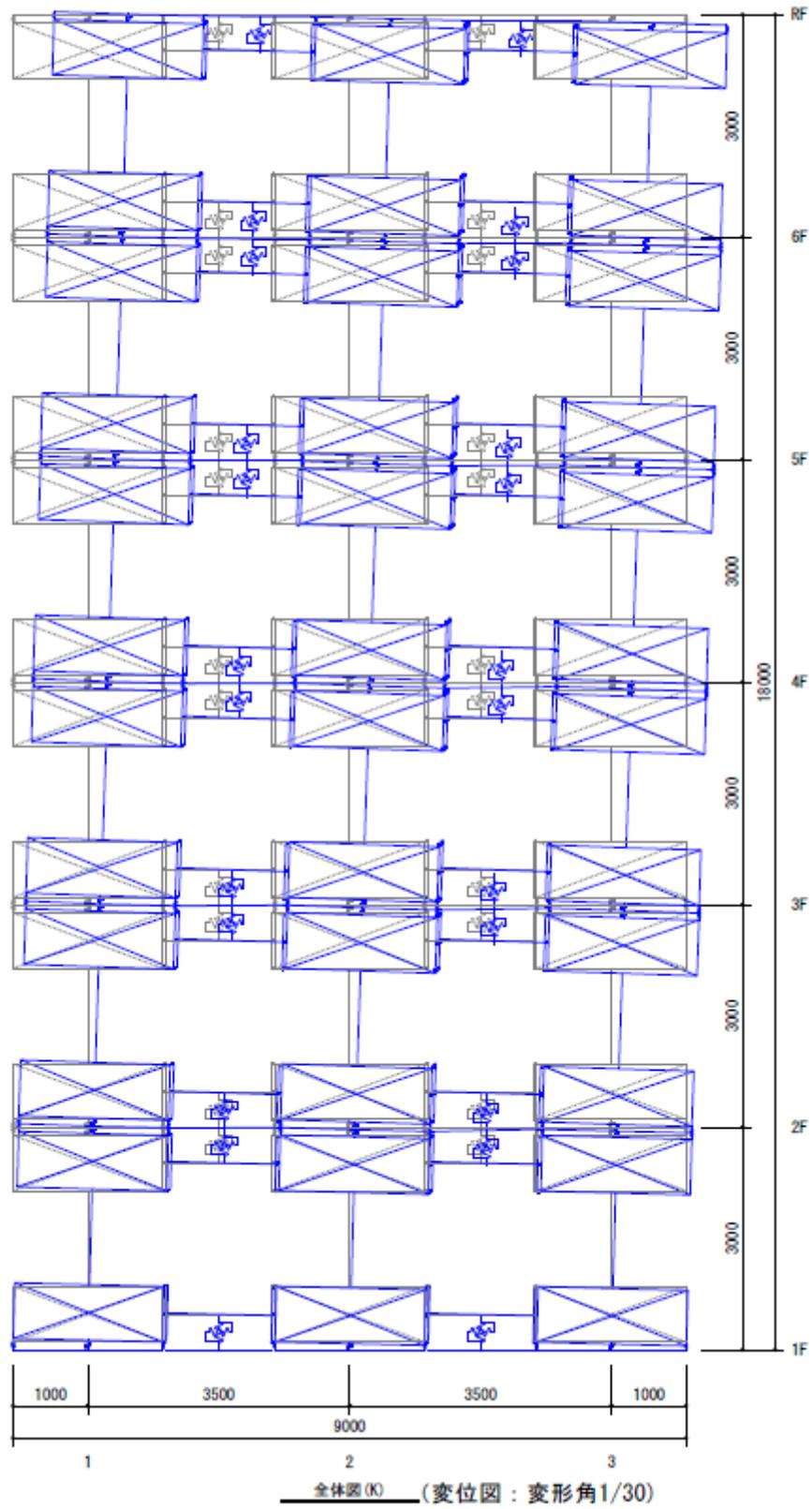


图 9.7-4 变位图 变形角 1/30

全体図
 ステップ : 545/546
 せん断力 : kN

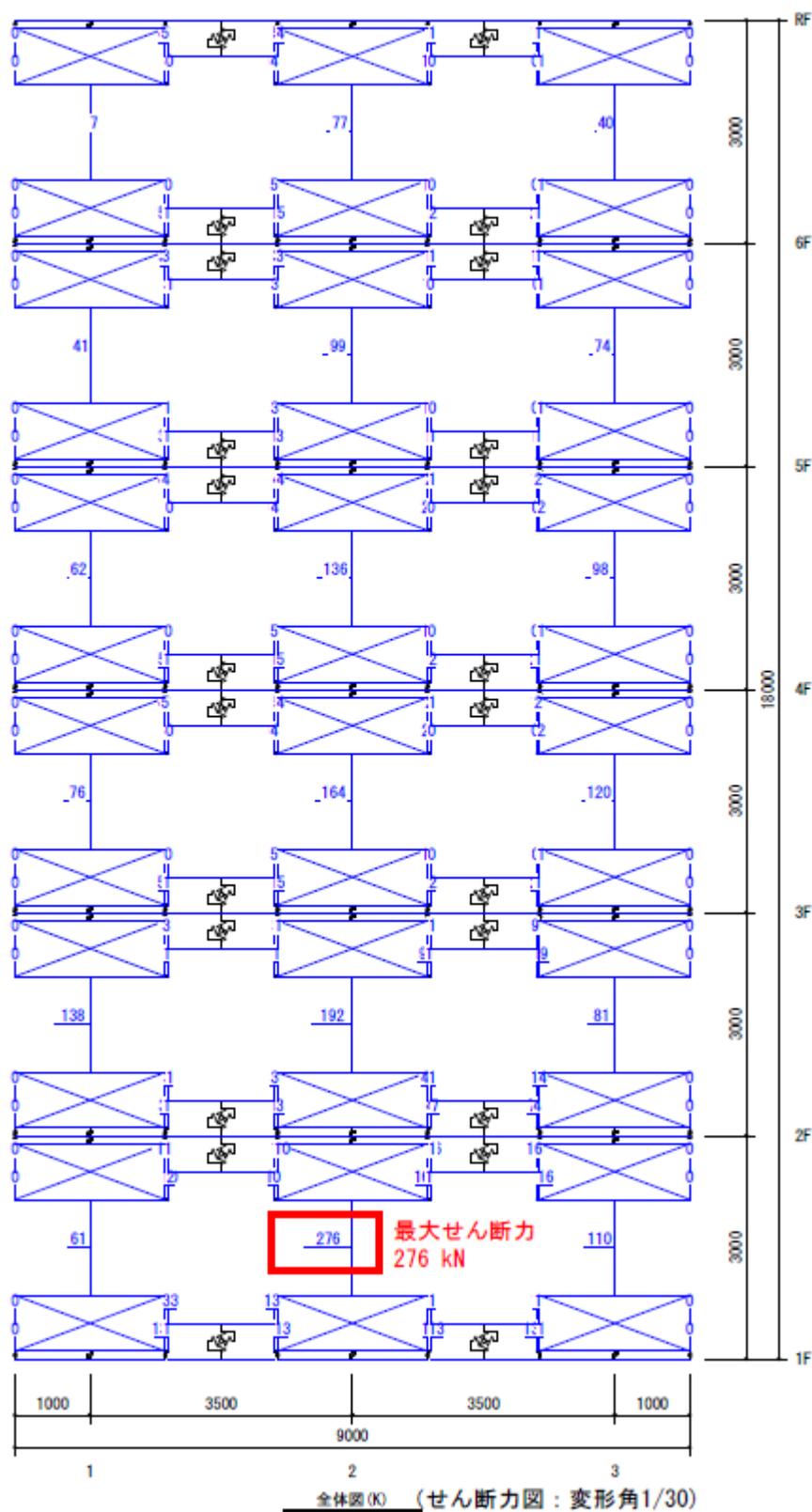


図 9.7-5 せん断力図 変形角 1/30

10. 鋼板挿入ドリフトピン接合部のせん断試験

10.1 試験の目的

基礎と壁パネル接合部のせん断金物は、既往の x マーク表示金物の場合、基礎に金物を設置した後に壁パネルを降ろす接合方式であり、高い施工精度が求められる。本実験では予め金物を壁パネルに設置できる方式とし、壁を降ろした後でナットが後締めできる方式とすることで中層大規模に対応可能な強度性能を確保しつつ、施工を容易にすることを目的としている。

10.2 試験の概要

(1) 試験体の種類

表 10.2-1 に試験の種類を、図 10.2-1 ~ 図 10.2-3 に試験体図を、表 10.2-2 に密度及び含水率の測定結果を示す。CLT パネルの層の構成は 5 層 7 プライ及び 7 層 7 プライとし、構成方法は A 種構成、幅はぎ部分の接着なしとした。また、先

表 10.2-1 鋼板挿入ドリフトピン接合部 せん断試験

番号	試験体記号	樹種	等級	構成方法	ピン径 (mm)	ピン本数 (本)	目標 P_u (kN)	試験体数
1	SS57D05	スギ	Mx60-5-7	A種	φ20	5	276	3
2	SS77D05		Mx60-7-7					3
3	SH57D05	ヒノキ	S90-5-7	A種		4		3
4	SH77D05		S90-7-7					3
合計								12

行して図 10.2-1 の SS57D05-2 試験を行ったところ、終局時において座金部と CLT が接触し、荷重が上がり、試験機容量の 700kN に到達してしまったことから、その後の試験体は 20 mm の面取りを施した(図 10.2-2、図 10.2-3)。また、SH57D04、SH77D04 試験体は 5 本打ちとすると 700kN を超える恐れがあったため 4 本打ちで試験を行うこととした(図 10.2-3)。

表 10.2-2 試験体の密度及び含水率

番号	試験体番号	密度	含水率 (%)	番号	試験体番号	密度	含水率 (%)		
1	SS57D05	1	0.44	9.4	6	SH57D05	1	0.52	8.6
		2	0.44	10.0			2	0.52	8.5
		3	0.43	9.6			3	0.52	8.3
		平均	0.43	9.6			平均	0.52	8.4
2	SS77D05	1	0.45	9.2	7	SH77D05	1	0.52	9.2
		2	0.44	9.6			2	0.52	9.0
		3	0.43	8.9			3	0.51	8.9
		平均	0.44	9.2			平均	0.52	9.0

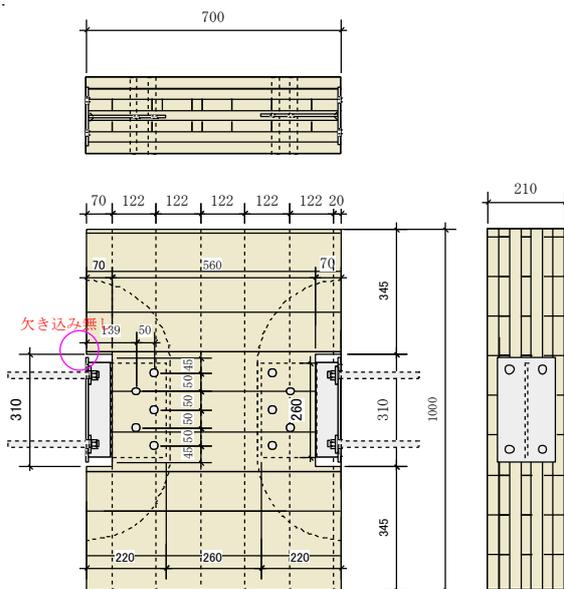


図 10.2-1 SS57D05-2 試験体のみ

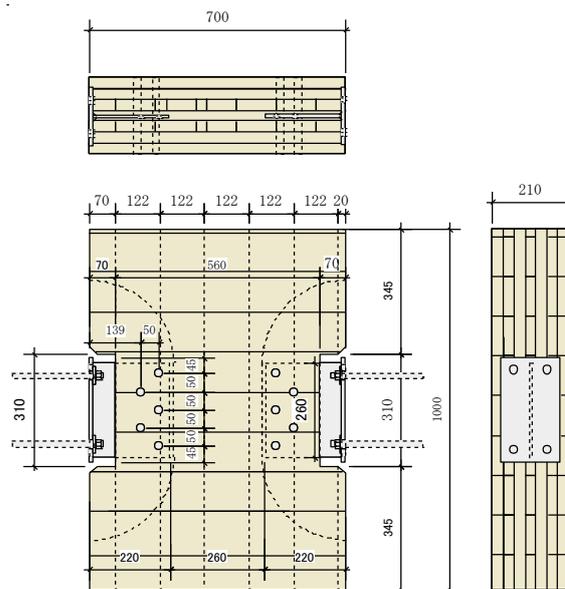


図 10.2-2 SS57D05(2 番以外)、SH57D04 試験体

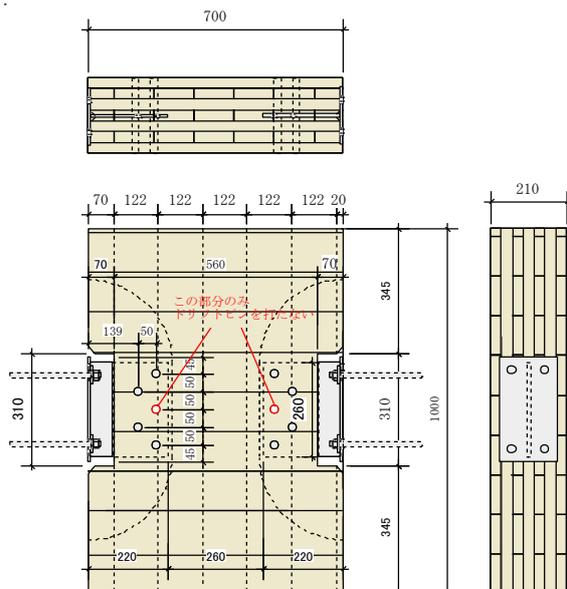


図 10.2-3 SS77D05、SH77D04 試験体

(2)接合金物の仕様

接合金物の仕様を図 10.2-4 に示す。

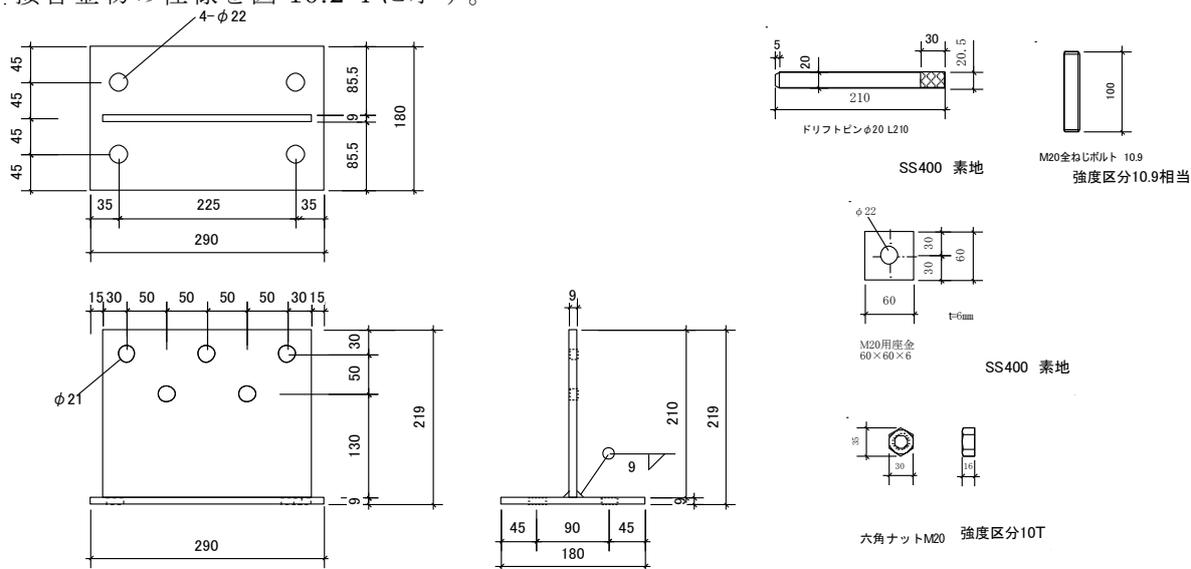


図 10.2-4 接合金物の作製図

10.3 試験方法

試験方法を写真 10.3-1 に示す。

試験体は、接合金物は M20 ボルトで試験装置と接合し、CLT パネルはボルトで接合したあて板を介して試験装置に固定した。

試験は文献 1) に準じて行った。加力方法は既存試験結果より降伏変位 $\delta_y = 3\text{mm}$ と仮定して求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の順に正負交番繰り返し加力とした。測定は試験装置と CLT と



写真 10.3-1 試験方法

相対変位とし、表面、裏面の左右 2 カ所ずつ、合計 4 点の平均で計測することとした。

10.4 試験結果と考察

各試験体ごとに整理した特性値、 $P\delta$ 曲線、破壊性状等の試験結果を次ページ以降に示す。10.2 項で述べたとおり、先行して試験体 SS57D05-2 試験を行ったところ、終局時において座金部と CLT が接触し、荷重が上がり、試験機容量の 700kN に到達してしまった(図 10.4-3)。このため、当該試験体においては変位 18 mm で加力を中止している。したがってその後の試験においては 20 mm の面取りを施して試験を行ったところ、30 mm 付近まで接触せずに試験を終えることができた。したがって試験の評価は変位 30 mm までとした。座金部分の支圧については余力として考えることができるため、実際の施工では面取りは不要としたい。

ヒノキ試験体である SH57D04、SH77D04 試験体はドリフトピン 5 本打ちとしてしまうと 700kN を超える恐れがあったため 4 本打ちで試験を行い、結果として予測どおりほぼ 700kN、変位 30 mm 程度で試験を終えることができた。

試験結果より、SS77d05 試験体の終局耐力が 9 章で当試験の目標終局耐力 276kN に僅かに届かない結果となったが、それ以外の試験シリーズについては目標を達成することができた。

目標値は、想定される一般的な用途のうち、危険側となりそうな荷重条件で行った解析結果を元にしており、そのような建物であっても 1 構面につき 1 カ所程度である。想定荷重を上回る場合は隣接して 2 個使うなどの措置をすれば良いため、規格金物としては問題無い範囲と考えられる。

表 10.4-1 SS57D05 特性値

	SS57D05			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
$2/3P_{max}$ (kN)	218.7	234.7	214.7	222.7	10.62	0.05	0.85	189.2
P_{max} (kN)	328.0	352.1	322.0	334.0	15.93	0.05	0.85	283.8
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	30.00	17.80	24.00	23.93	6.10	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	219.7	201.6	195.9	205.7	12.43	0.06	0.81	166.6
降伏時 δ_v (mm)	6.00	3.70	4.40	4.70	1.18	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	366.20	544.90	445.20	452.10	89.55	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	17.80	30.00	25.93	7.04	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	8.30	5.60	6.80	6.90	1.35	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	306.6	303.5	301.6	303.9	2.52	0.01	0.97	295.9
塑性率 μ	3.61	3.18	4.41	3.73	0.62	-	-	-
構造特性 D_s	0.40	0.43	0.36	0.40	0.04	-	-	-

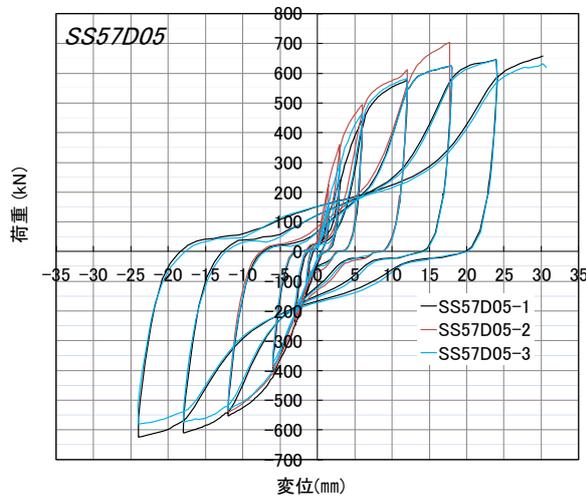


図 10.4-1 SS57D05 P δ 曲線

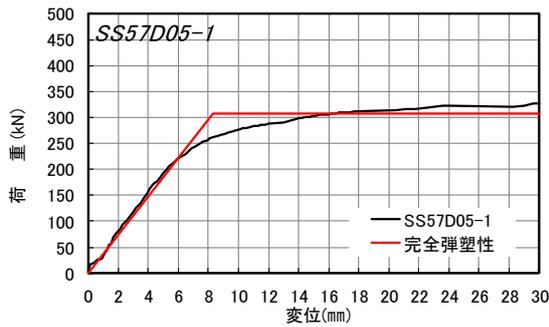


図 10.4-2 SS57D05-1 包絡線と完全弾塑性評価

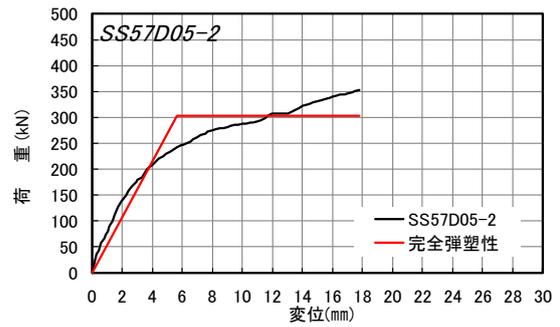


図 10.4-3 SS57D05-2 包絡線と完全弾塑性評価

表 10.4-2 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	657.9	①
2	704.1	①
3	644.1	①

①ドリフトピンに沿った割れ

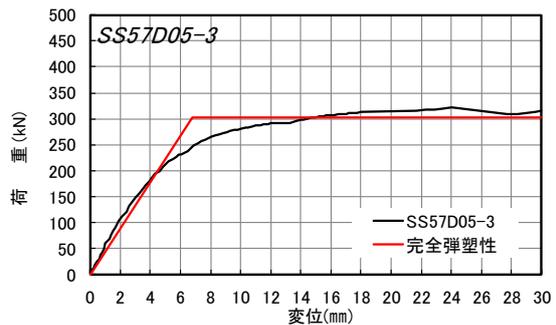


図 10.4-4 SS57D05-3 包絡線と完全弾塑性評価



写真 10.4-1 SS57D05-1 ドリフトピンに沿った割れ

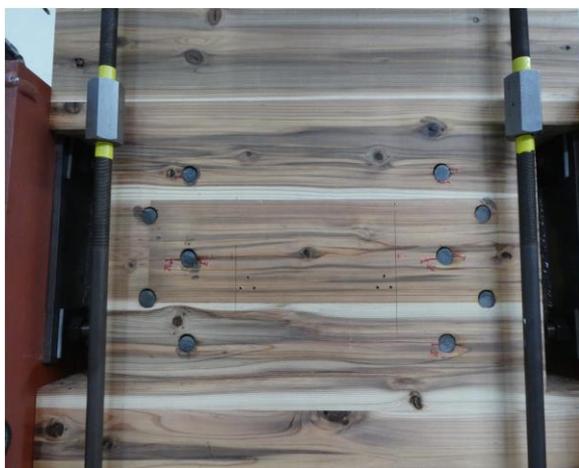


写真 10.4-2 SS57D05-2 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-3 SS57D05-2 CLT と座金の接触による荷重増加



写真 10.4-4 SS57D05-3 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-5 SS57D05-3 ドリフトピンに沿った割れに伴う 2-3 プライ間のローリングシア破壊

表 10.4-3 SS77D05 特性値

	SS77D05			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
$2/3P_{max}$ (kN)	206.0	213.2	219.9	213.0	6.95	0.03	0.90	191.1
P_{max} (kN)	309.0	319.8	329.9	319.6	10.45	0.03	0.90	286.6
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	23.90	30.00	30.00	27.97	3.52	-	-	-
降伏耐力 P_y (kN)	216.0	206.2	226.3	216.2	10.05	0.05	0.85	184.5
降伏時 δ_y (mm)	6.50	6.40	6.60	6.50	0.10	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	332.30	322.20	342.90	332.47	10.35	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	25.10	30.00	30.00	28.37	2.83	-	-	-
降伏変位 δ_y (mm)	8.80	9.10	8.90	8.93	0.15	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	290.5	291.8	305.9	296.1	8.54	0.03	0.91	269.1
塑性率 μ	2.85	3.30	3.37	3.17	0.28	-	-	-
構造特性 D_s	0.46	0.42	0.42	0.43	0.02	-	-	-

表 10.4-4 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	617.9	①
2	697.2	①
3	660.5	①

①ドリフトピンに沿った割れ

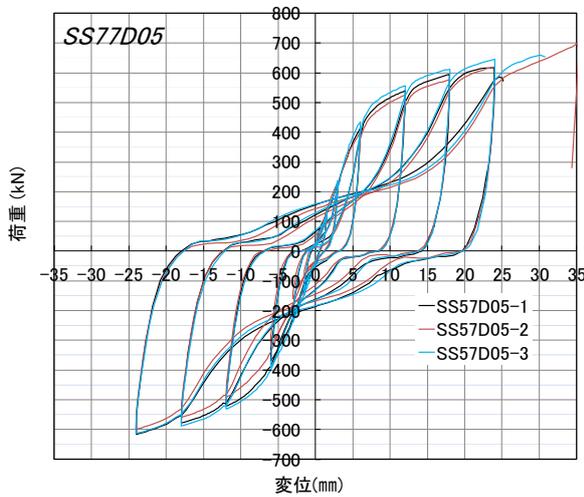


図 10.4-5 SS77D05 P δ 曲線

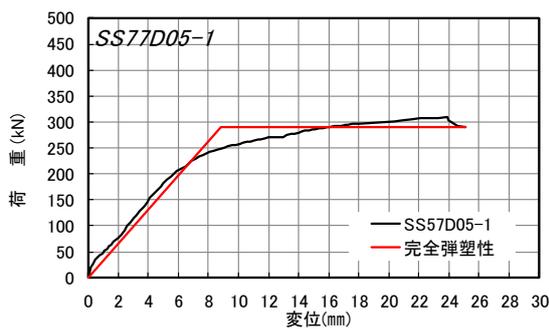


図 10.4-6 SS77D05-1 包絡線と完全弾塑性評価

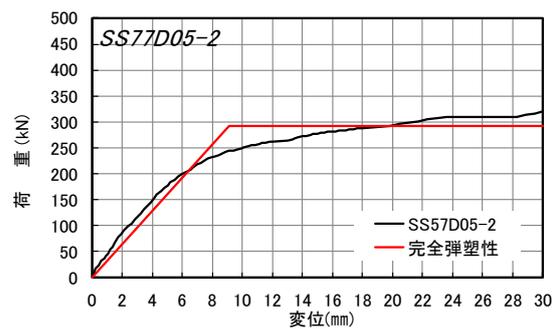


図 10.4-7 SS77D05-2 包絡線と完全弾塑性評価

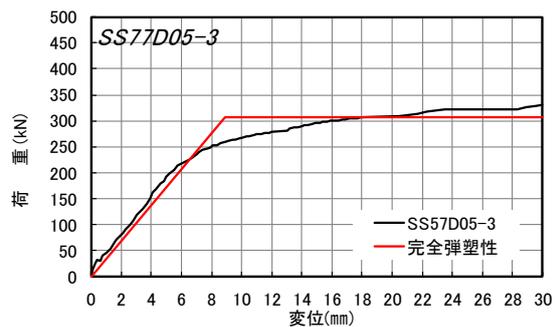


図 10.4-8 SS77D05-3 包絡線と完全弾塑性評価



写真 10.4-6 SS77D05-1 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-7 SS77D05-1 金物の変形

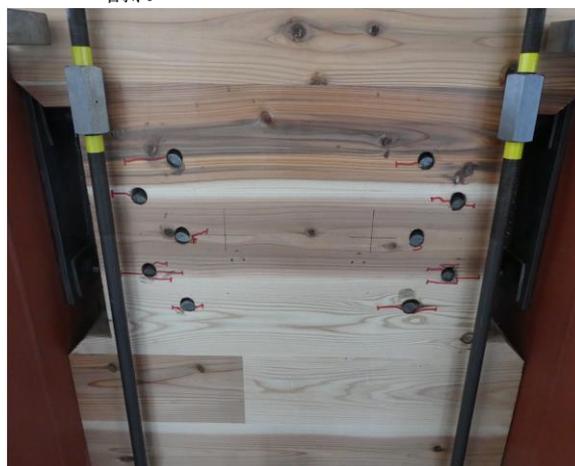


写真 10.4-8 SS77D05-2 ドリフトピンに沿った割れ

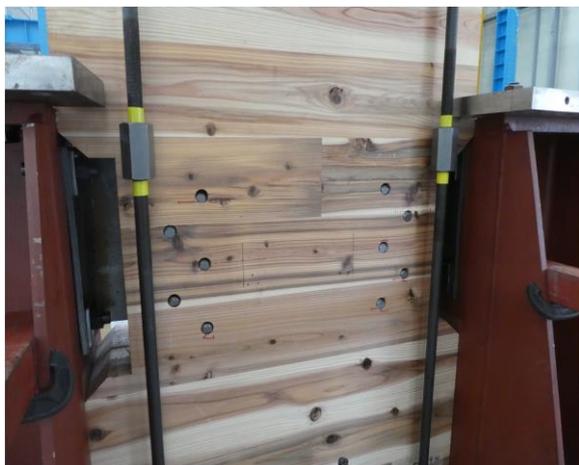


写真 10.4-9 SS77D05-3 ドリフトピンに沿った割れ

表 10.4-5 SH57D04 特性値

	SH57D04			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
$2/3P_{max}$ (kN)	236.4	239.8	233.5	236.6	3.15	0.01	0.96	226.6
P_{max} (kN)	354.6	359.7	350.3	354.9	4.71	0.01	0.96	340.0
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	30.00	30.00	29.50	29.83	0.29	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	231.1	236.9	217.0	228.3	10.23	0.04	0.86	196.1
降伏時 δ_v (mm)	5.80	5.80	5.10	5.57	0.40	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	398.40	408.40	425.50	410.77	13.70	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	8.30	8.10	7.50	7.97	0.42	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	330.2	331.3	322.2	327.9	4.97	0.02	0.95	312.2
塑性率 μ	3.61	3.70	4.00	3.77	0.20	-	-	-
構造特性 D_s	0.40	0.40	0.38	0.39	0.01	-	-	-

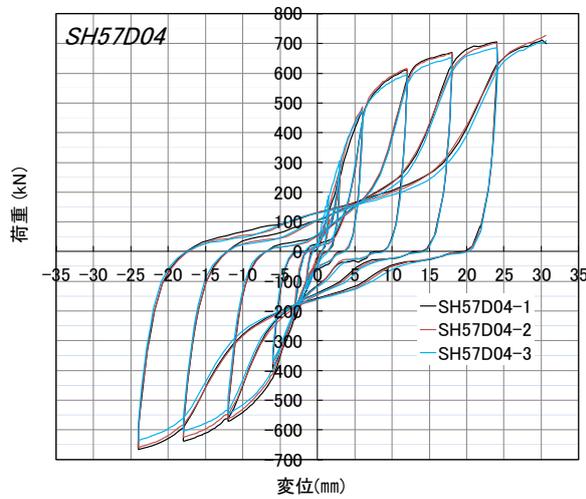


図 10.4-9 SH57D04 P δ 曲線

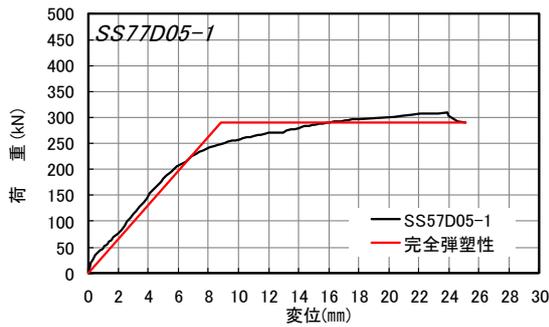


図 10.4-10 SH57D04-1 包絡線と完全弾塑性評価

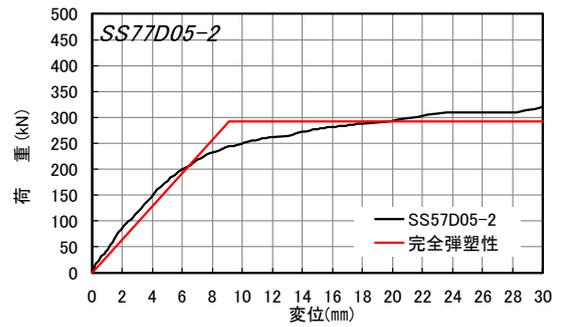


図 10.4-11 SH57D04-2 包絡線と完全弾塑性評価

表 10.4-6 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	710.7	①
2	727.8	①
3	709.1	①

①ドリフトピンに沿った割れ

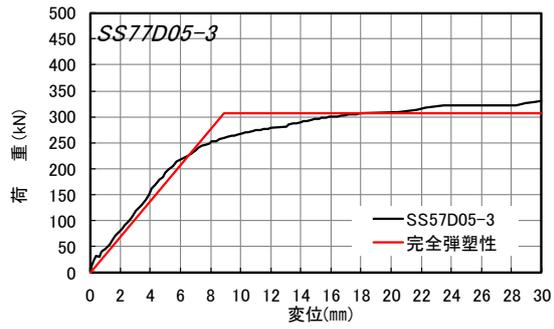


図 10.4-12 SH57D04-3 包絡線と完全弾塑性評価



写真 10.4-10 SH57D04-1 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-11 SH57D04-2 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-12 SH57D04-3 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-13 SH57D04-3 ナット及び座金と CLT が接触しないための欠き込み部分

表 10.4-5 SH77D04 特性値

	SH77D04			平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値
	No.1	No.2	No.3					
$2/3P_{max}$ (kN)	233.7	243.3	235.6	237.5	5.08	0.02	0.93	221.5
P_{max} (kN)	350.6	365.0	353.4	356.3	7.64	0.02	0.93	332.3
$\delta_{P_{max}}$ (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏耐力 P_v (kN)	222.1	241.4	224.8	229.4	10.45	0.05	0.86	196.5
降伏時 δ_v (mm)	6.00	6.70	6.80	6.50	0.44	-	-	-
初期剛性 K (kN/mm)	370.20	360.30	330.60	353.70	20.61	-	-	-
終局変位 δ_u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	-	-	-
降伏変位 δ_v (mm)	8.80	9.40	9.80	9.33	0.50	-	-	-
終局耐力 P_u (kN)	324.2	337.3	324.1	328.5	7.59	0.02	0.93	304.6
塑性率 μ	3.41	3.19	3.06	3.22	0.18	-	-	-
構造特性 D_s	0.41	0.43	0.44	0.43	0.02	-	-	-

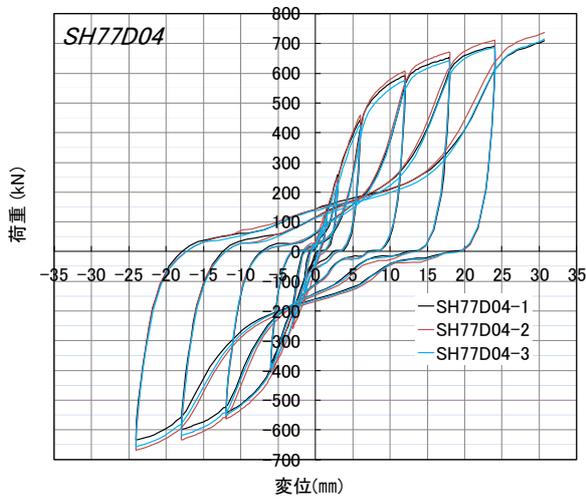


図 10.4-9 SH77D04 P δ 曲線

表 10.4-6 主な破壊性状

No	最大荷重	破壊性状
1	709.5	①
2	737.5	①
3	715.2	①

①ドリフトピンに沿った割れ

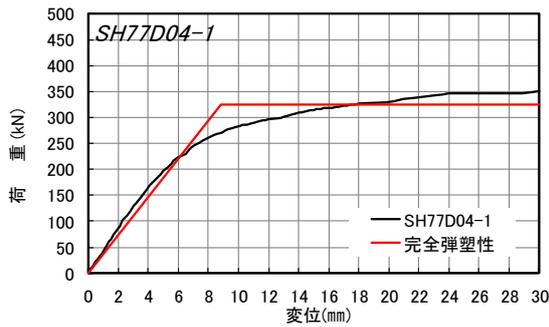


図 10.4-10 SH77D04-1 包絡線と完全弾塑性評価

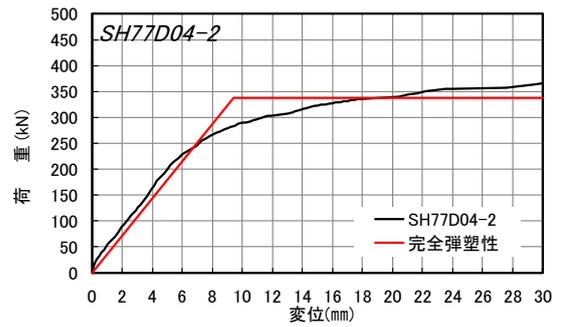


図 10.4-11 SH77D04-2 包絡線と完全弾塑性評価

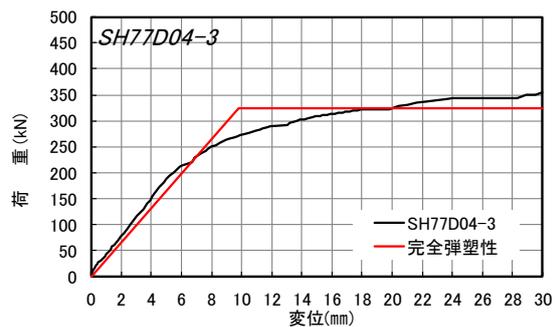


図 10.4-12 SH77D04-3 包絡線と完全弾塑性評価



写真 10.4-14 SH77D04-1 ドリフトピンに沿った割れ

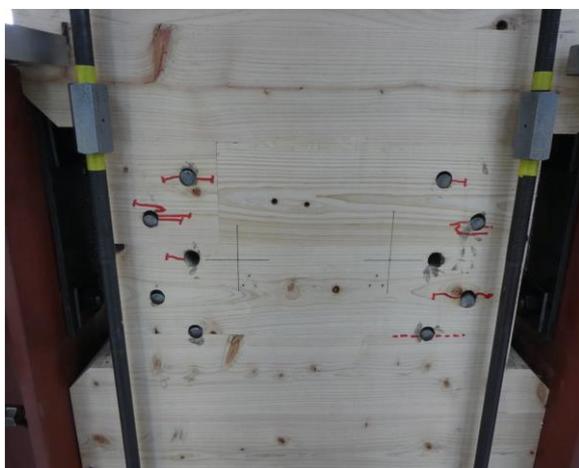


写真 10.4-15 SH77D04-2 ドリフトピンに沿った割れ



写真 10.4-16 SH77D04-3 ドリフトピンに沿った割れ

11. 圧縮試験

11.1 試験の概要

接合部試験に使われた CLT 材が基準強度に対して、どの程度安全側のものであったかを確認するため、圧縮試験を行った。

試験方法はあて板幅 40mm の部分圧縮試験とし、変位 15mm までの単調加力とした。



写真 11.1-1 CLT の部分圧縮試験

11.2 試験の結果

告示から求めた CLT の圧縮強度と試験結果の比較を表 11.2-1 に示す。

実験結果は最大荷重を支圧面積で除した値とした。

告示で想定している圧縮基準強度と比べ実験における 5%下限値は 2.5~3 倍程度高い結果となった。

表 11.2-1 告示から求めた CLT の圧縮強度と試験結果の比較

試験体名	樹種	等級/構成方法	告示から求めたCLTの 圧縮強度			実験結果			
			A_A/A_0	圧縮基準強度 (N/mm ²)	CLTの圧縮強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	実験 / 告示	5%下 限值 (N/mm ²)	実験 / 告示
S57	スギ	Mx60-5-7/A種構成	0.64	21.6	10.4	37.5	3.6	32.5	3.1
S77	スギ	Mx60-7-7/A種構成	0.43	21.6	6.9	27.7	4.0	21.8	3.1
H57	ヒノキ	S90-5-7/A種構成	0.71	27.6	14.8	42.0	2.8	37.8	2.6
H77	ヒノキ	S90-7-7/A種構成	0.57	27.6	11.8	37.2	3.1	35.8	3.0
K57	カラマツ	S90-5-7/A種構成	0.71	27.6	14.8	49.4	3.3	44.4	3.0
K77	カラマツ	S90-7-7/A種構成	0.57	27.6	11.8	40.3	3.4	28.8	2.4



写真 11.2-1 S57 試験後の様子



写真 11.2-2 S77 試験後の様子



写真 11.2-3 H57 試験後の様子



写真 11.2-4 H77 試験後の様子



写真 11.2-5 K57 試験後の様子



写真 11.2-6 K77 試験後の様子

12. まとめ

中大規模建築物における CLT パネル工法の普及促進に資するため、規格金物の開発及び接合部の設計に必要な材料試験データを実験等によって取得した。

(1) ドリフトピンの支圧試験

鋼板挿入ドリフトピン接合における推定や設計を行うための基礎データとして実施した。

トドマツ、スギ、カラマツ、ヒノキの4樹種及びヤング係数をパラメータとして、ドリフトピンφ20の支圧試験を行った。

支圧強度はヤング係数及び密度に比例し、樹種の違いによっても影響を受けることが分かった。

集成材試験結果から CLT 試験結果への推定を行い、計算値は実験値よりやや安全側に推定できることが分かった。これにより、CLT の層構成が変わった場合においても推定が可能となった。

(2) ローリングシア試験

引きボルト接合、鋼板挿入ドリフトピン接合を含めた CLT 接合部の推定や設計を行うための基礎データとして実施した。

(1)と同様、支圧強度は樹種による影響を受け、ヤング係数及び密度に比例することが分かった。面外拘束の有無の影響については平均値を比較すると面外拘束より密度依存の傾向が見られたが、各試験体の標準偏差の平均を取ると、面外拘束無しの方が（ただし試験体シリーズによっては逆転しているものもある）大きくなる結果となった。

結果は文献 4)の接合部設計用データに反映する予定である。

(3)引きボルト接合部の引張試験

スギ、ヒノキ、カラマツについて、5層7プライ、7層7プライの接合部試験を行った。

樹種によって強度性能が異なることが分かった。7層7プライより5層7プライの方が終局耐力が低くなる傾向が見られた。

実験値と推定値の比較を行い、概ね一致することが確認できた。

(4)鋼板挿入ドリフトピン接合の引張試験

スギ、ヒノキについて、5層7プライ、7層7プライの接合部試験を行った。

樹種及び層構成、幅はぎ、試験体寸法等が接合部の強度性能に影響を及ぼすことが分かった。特にスリット部からの面外の開きや集合型破壊には注意が必要である。

集合型破壊について検定式を作成し、実験値を概ね推定できることを確認した。

(5)鋼板挿入ドリフトピン接合のせん断試験

6階建ての建物について2次元解析を行い、せん断性能の目標値を設定した。

目標値を元に試験体を設計し、実験を行った。実験の結果、1試験体シリーズの試験は僅かに目標値に届かなかったが、それ以外の試験体シリーズでは目標値を上回ることができた。

参考文献

- 1) (一社)日本建築学会:木質構造設計基準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—, 2006.12
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター:構造用木材の強度試験マニュアル,2011.3
- 3) 石原亘他:国産針葉樹を用いたCLT接着層のねじりせん断強度、日本木材学会大会研究発表要旨集、D15-P-20、2019.3
- 4) (財)日本住宅・木材技術センター:2016年版CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル, 2016.10
- 5) 木構造振興(株):木材の強度等データおよび解説, 2011.9
- 6) 鈴木 圭、中島 昌一、荒木 康弘、小林 研治:CLT構造における鋼板添え板一面せん断接合のEYT式の簡略化についての検討、AIJ梗概集、構造Ⅲ、pp.131-132, 2019.8.