令和5年度　木材製品の消費拡大対策のうち
CLT建築実証支援事業

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

成果概要集

木構造振興株式会社

令和5年度 木材製品の消費拡大対策のうち
CLT建築実証支援事業

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

成果概要集

木構造振興株式会社

目次

No	事業	実施団体	掲載頁
1	スギ大径材需要拡大のための 最適（低コストかつ高品質）な木取りの検討	一般社団法人 高知県木材協会	4
2	非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び 各部要素の開発検討（継続）事業	一般社団法人 木を活かす建築推進協議会	14
3	軟弱地盤対策等としての地中利用木材の 温室効果ガスインベントリ報告のための算定方法の開発	公益財団法人 国際緑化推進センター （JIFPRO）	24
4	中高層木造建築物における内装木質化促進等検討事業	一般社団法人 木のいえ一番協会	38
5	中大規模木造建築のための加工・施工技術普及検討事業	日本集成材工業協同組合	48
6	国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	54
7	木製浮き基礎工法の開発および普及	越井木材工業株式会社	62
8	CLTパネルと鉄骨架構による ハイブリッド型木造構造システムの実建築物への展開	株式会社 堀江建築工学研究所 国立大学法人 東北大学工学研究科	70
9	保存処理したCLTの日本農林規格に求められる データ収集・調査	日本木材防腐工業組合	80
10	中大規模木造建築用の木製開口部の開発検討（継続）	一般社団法人 日本木製サッシ工業会	92
11	CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した 耐震基準提案に関する検討	株式会社日本システム設計 京都大学生存圏研究所	102
12	CLTパネル工法等による中層建築物に適した グラウトジョイントの開発と設計情報整備に関する検討	株式会社 日本システム設計	108
13	CLTパネルの標準化・規格化普及開発事業	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	116
14	省エネ基準及び中大規模建築物に対応した ログハウス建築部材の技術開発事業	一般社団法人 日本ログハウス協会	126

No	事業	実施団体	掲載頁
15	木材の基準強度の再検証～特に“せん断強度”に着目して～	一般社団法人 き塾 東京大学 大学院 農学生命科学研究科	136
16	木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動	株式会社 長谷萬	144
17	木材の保存処理性能の試験方法のJAS化のための妥当性検証事業	公益社団法人 日本木材保存協会	154
18	難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための促進劣化試験法方および燃焼試験方法の検討	公益社団法人 日本木材保存協会	166
19	流域治水における木造住宅の水害対応技術の開発	国立研究開発法人 建築研究所 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター	176
20	国産材対応中層非住宅木造建築物等に必要なCLT等部材技術開発事業及び普及事業	一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会	182
21	木質ラーメン構造における柱―梁交差部のせん断耐力の評価手法の検討	福島県木造技術開発協同組合	204
22	トドマツ枠組材の接合部強度データ収集	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構	214
23	アカマツで製造した枠組壁工法部材の材料及び接合部の強度特性に関する検証	けせんプレカット事業協同組合	222
24	CLT等を用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き（案）等の作成	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	232
25	RP含浸処理木材の外構材等への利用拡大を図るための品質管理基準の検討とその耐久性評価試験	一般社団法人 高知県木材協会	242
26	中大規模建築をはじめとした建築物全般に適用可能な構造・耐火性能を備える直交集成板CLTを使用した階段の開発・普及	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	250
27	木質系混構造建築物の耐震安全性確保にかかわる計算の方法に関する検討	一般財団法人 日本建築防災協会 京都大学 生存圏研究所	262
28	準耐火構造の板倉構法の技術開発	一般社団法人 日本板倉建築協会	276

事業

スギ大径材需要拡大のための最適（低コストかつ高品質）な木取りの検討

● 実施団体 ●

一般社団法人 高知県木材協会

〒781-0801　高知県高知市小倉町２番８号

事業目的

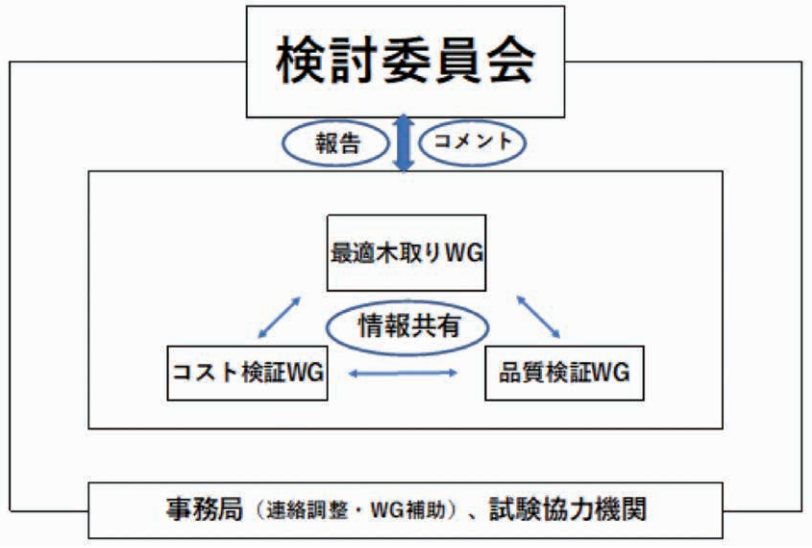
森林資源の成熟により、特にスギにおいては、大径材の比率が増加している一方、県内製材工場の原木需要は、中目材に集中しており、資源と原木需要のミスマッチが懸念される状況下で、今後、早期に多様な資源（中小径木から大径木まで）の有効活用が求められている。このため、停滞している大径材の利用促進のベースとなる最適（低コストかつ高品質）な木取りの検討を行う。

実施した項目

本事業では、学識経験者、関係団体等により構成される検討委員会及び三つのWGを設置し、下記の①～④について検討、実施した。

① シミュレーションによる木取りパターンの検討
② 選定された木取りパターンの製材・乾燥・仕上げによる実証
③ 原木・製品の品質（ヤング係数等）検証
④ 最適木取りの検討

実施体制



検討委員：松本美香（高知大学）
伊神裕司（(国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所）
加藤英雄（(国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所）
村田光司（(公社）日本木材加工技術協会）
喜多泰之（(公社）高知県建築士会）
坂本　一（嶺北林材協同組合）
吉田日和（高知県林業振興環境部木材産業振興課）

コスト検証WG：　伊神裕司、坂本　一
品質検証WG：　伊神裕司、加藤英雄、喜多泰之、坂本　一
最適木取りWG：　伊神裕司、坂本　一
試験協力機関：　高知県立森林技術センター
事務局：　（一社）高知県木材協会

実施した内容

① シミュレーションによる木取りパターンの検討

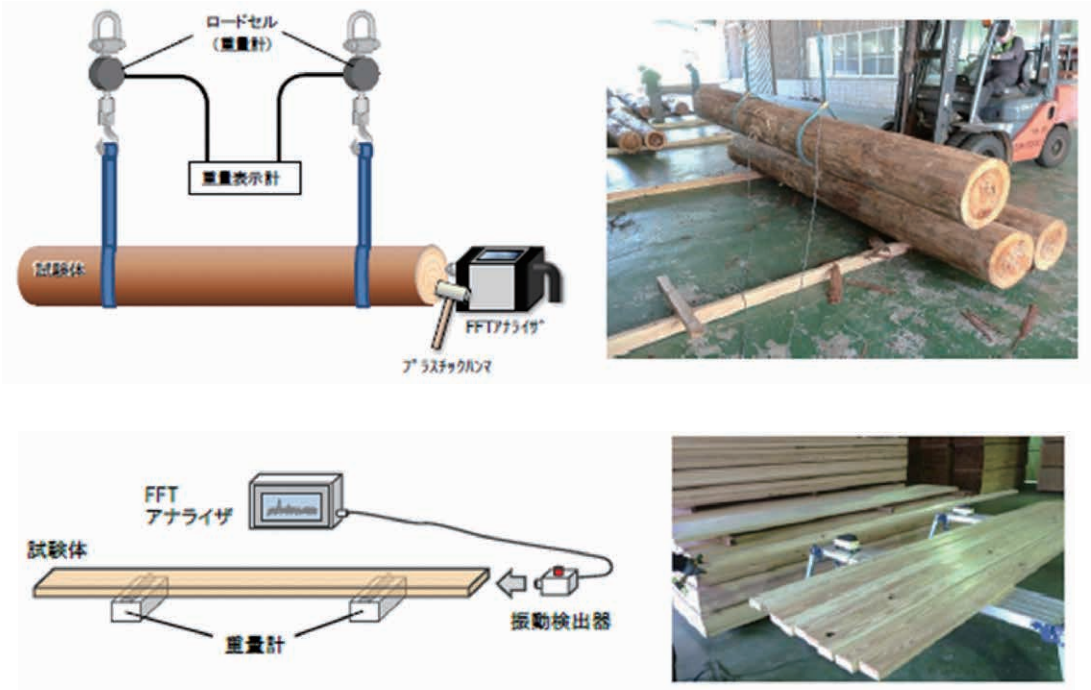
スギ大径材の丸太径級34～36cm（以下「丸太A」とする。）と径級40～42cm(以下「丸太B」とする。） の2種類を40本用意し、シミュレーションによるツーバイ材の製材木取りパターンの検討を行った。

② 選定された木取りパターンの製材・乾燥・仕上げによる実証

選定された木取りパターンの製材・乾燥・仕上げ（モルダー加工）を行い、製材の作業時間や各丸太からのツーバイ材の生産加工状況の実証を行った。

③ 原木・製品の品質（ヤング係数等）検証

原木及び製品（2回（製材後と乾燥・仕上げ加工後））のヤング係数測定、原木及び製品（3回（製材後と乾燥後と仕上げ加工後））の寸法、狂いの測定、仕上げ加工後のJAS規定の目視による等級判定を行った。



写真－1　縦振動法によるヤング係数測定

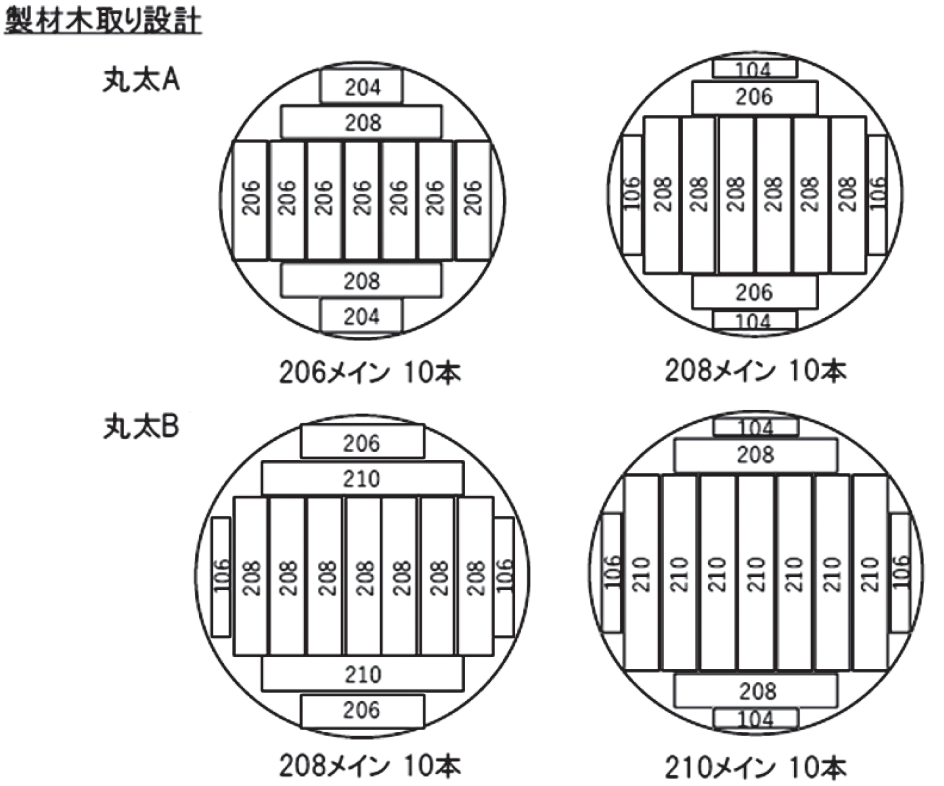
④ 最適木取りの検討

コスト及び品質検証結果に基づき、シミュレーションにより選定された木取り（丸太Aの206メイン・丸太Aの208メイン・丸太Bの208メイン・丸太Bの210メイン） 4パターンのうちから、最適木取りを検討した。

実施した結果

① シミュレーションによる木取りパターンの検討

スギ大径材の丸太径級34～36cm（以下「丸太A」とする。）と径級40～42cm(以下「丸太B」とする。） の2種類を40本用意し、シミュレーションによるツーバイ材の製材木取りパターンの検討を行い、図－1に製材木取りパターンを示す。また、各木取りパターンの製材歩留りをシミュレーションした結果を表－1に示す。



製 品	仕上り寸法 (mm)	製材寸法 (mm)
104	19× 89	24×105
106	19×140	24×155
204	38× 89	44×105
206	38×140	44×155
208	38×184	44×204
210	38×235	45×255

図－1　シミュレーションによるツーバイ材の製材木取りパターン

表－1　シミュレーションによる各木取りパターンの製材歩留り

丸太	径級(cm)	製材方法	製材歩留り(%)	平均製材歩留り(%)
A	34	206メイン	63.7	60.3
	36		56.8	
A	34	208メイン	57.9	54.8
	36		51.6	
B	40	208メイン	61.7	59.6
	42		57.5	
B	40	210メイン	60.9	58.1
	42		55.2	

② 選定された木取りパターンの製材・乾燥・仕上げによる実証

選定された木取りパターンの製材・乾燥・仕上げ（モルダー加工）を行い、製材の作業時間や各丸太からのツーバイ材の生産加工状況（製材歩留り等）の実証の結果、表－２及び表－３に製材作業時間を示し、原木１本当たりの平均製材作業時間は、丸太Ａ 206 メイン、丸太Ａ 208 メインでそれぞれ、207.2 秒、210.0 秒、丸太Ｂ 208 メイン、丸太Ｂ 210 メインでそれぞれ、412.8 秒、380.3 秒で、丸太 Ｂは丸太 Ａの約２倍となった。また、表－４及び表－５にツーバイ材の生産加工状況（製材歩留り等）を示す。表－１にシミュレーションによる製材歩留りを示したが、実証結果では、その数値より２割以上低下することがわかった。

表－２　原木Ａ（径級 34～36）の製材（大割・小割）作業時間

原木A（径級34～36）					製品内訳					原木１本あたり作業時間(sec)													
										大　割（ツインバンドソー）									小　割（テーブル式自動ローラー帯鋸盤）						
										鋸断時間		後退時間		材扱い時間				鋸断時間		後退時間		材扱い		
製材方法	No.	末口最小径（mm）	材長（mm）	材積（㎥）	204	206	208	210	計	鋸断回数	1通し平均鋸断時間	後退回数	1通し平均後退時間	原木セット	角返し	その他	小計	鋸断回数	1通し平均鋸断時間	後退回数	1通し平均後退時間	その他	小計	合計
206メイン	4	345	4000	0.476	3	6	2		11	6	13	5	4	24	35		157	2	16	1	9		41	198
	9	345	4000	0.476	3	6	2		11	6	12	5	4	23	28		143	2	16	1	9		41	184
	8	347	4000	0.482	3	6	2		11	6	13	5	4	20	30		148	2	16	1	9		41	189
	5	350	4000	0.490	2	7	2		11	7	12	6	4	20	33		161	2	17	1	10		44	205
	10	355	4000	0.504		8	2		10	7	12	6	4	22	32		162	2	16	1	9		41	203
	11	364	4000	0.530	1	8	2		11	7	12	6	4	20	25		153	3	17	2	10		71	224
	3	365	4000	0.533		8	2		10	7	12	6	4	20	31		159	3	16	2	10		68	227
	2	370	4000	0.548	2	7	2		11	7	12	6	3	22	22		146	3	16	2	10		68	214
	13	370	4000	0.548	2	7	2		11	7	12	6	4	19	24		151	3	16	2	10		68	219
	1	375	4000	0.563	3	7	2		12	6	13	5	4	19	26		143	3	16	2	9		66	209
	平均	358.6	4000	0.515	2.4	7.0	2.0		10.9	6.6	12.3	5.6	3.9	20.9	28.6		152.3	2.5	16.2	1.5	9.5		54.9	**207.2**
208メイン	6	348	4000	0.484	1	3	5		9	6	13	5	4	20	33		151	2	16	1	7		39	190
	14	348	4000	0.484	1	2	6		9	6	13	5	4	21	29		148	2	16	1	7		39	187
	18	349	4000	0.487		3	6		9	6	12	5	4	23	30		145	2	16	1	10		42	187
	7	354	4000	0.501		2	7		9	6	13	5	3	21	31		145	2	17	1	10		44	189
	16	363	4000	0.527	1		8		9	7	13	6	4	20	36		171	3	17	2	10		71	242
	17	369	4000	0.545	1	1	8		10	6	13	5	4	20	30		148	3	16	2	10		68	216
	15	370	4000	0.548	1		8		9	6	13	5	4	21	32		151	3	16	2	10		68	219
	20	370	4000	0.548	1		8		9	6	13	5	4	21	28		147	3	16	2	10		68	215
	12	375	4000	0.563			9		9	7	13	6	4	24	34		173	2	17	1	10		44	217
	19	376	4000	0.566		1	8		9	7	13	6	4	22	33		170	3	16	2	10		68	238
	平均	362.2	4000	0.525	1.0	2.0	7.3		9.1	6.3	12.9	5.3	3.9	21.3	31.6		154.9	2.5	16.3	1.5	9.4		55.1	**210.0**

表－３　原木Ｂ（径級４０～４２）の製材（大割・小割）作業時間

原木B（径級40～42）					製品内訳					原木１本あたり作業時間(sec)															
										大　割（シングルバンドソー）									小　割（シングルバンドソー）						
										鋸断時間		後退時間		材扱い時間					鋸断時間		後退時間		材扱い		
製材方法	No.	末口最小径（mm）	材長（mm）	材積（㎥）	204	206	208	210	計	鋸断回数	1通し平均鋸断時間	後退回数	1通し平均後退時間	原木セット	角返し	その他	小計	鋸断回数	1通し平均鋸断時間	後退回数	1通し平均後退時間	その他	小計	合計
208メイン	7	409	4000	0.669	1	1	8	2	12	8	14	7	8	45	16		229	12	9	11	5		163	392
	4	405	4000	0.656	1	1	8	2	12	6	17	5	9	51	14		212	11	9	10	5		149	361
	1	405	4000	0.656	2	1	7	2	12	6	17	5	9	49	12		208	11	8	10	5		138	346
	9	422	4000	0.712		2	8	2	12	6	18	5	8	69	24		241	12	9	11	5		163	404
	8	425	4000	0.723		2	8	2	12	8	16	7	8	42	19		245	11	8	10	5		138	383
	13	422	4000	0.712	1		8	2	11	8	20	7	12	95	12		351	10	9	9	7		153	504
	16	419	4000	0.702	1	1	8	2	12	7	15	6	9	75	20		254	11	9	10	5		149	403
	6	423	4000	0.716		1	9	2	12	8	16	7	9	78	19		288	11	9	10	5		149	437
	20	431	4000	0.743		1	8	3	12	7	15	6	8	109	21		283	11	9	10	5		149	432
	14	430	4000	0.740		1	10	2	13	7	16	6	8	99	18		277	13	9	12	6		189	466
	平均	419.1	4000	0.703	1.2	1.2	8.2	2.1	12.0	7.1	16.4	6.1	8.8	71.2	17.5		258.8	11.3	8.8	10.3	5.3		154.0	**412.8**
210メイン	2	405	4000	0.656		2	1	6	9	6	17	5	10	54	23		229	9	10	8	5		130	359
	10	406	4000	0.659			2	7	9	6	14	5	8	90	20		234	13	10	12	5		190	424
	19	411	4000	0.676			1	8	9	6	14	5	8	65	19		208	11	11	10	5		171	379
	18	410	4000	0.672			2	7	9	6	14	5	8	69	19		212	11	10	10	5		160	372
	15	425	4000	0.723			1	9	10	6	15	5	8	83	21		234	10	9	9	6		144	378
	5	434	4000	0.753	2	1		9	12	6	15	5	8	95	21		246	12	9	11	5		163	409
	3	412	4000	0.679		2		9	11	6	16	5	8	86	21		243	10	9	9	5		135	378
	11	433	4000	0.750	2			9	11	6	15	5	8	47	18		195	10	9	9	5		135	330
	17	447	4000	0.799	2		1	9	12	6	15	5	9	56	19		210	11	10	10	5		160	370
	12	443	4000	0.785	1		1	9	11	6	17	5	10	95	19		266	11	8	10	5		138	404
	平均	422.6	4000	0.715	1.8	1.7	1.3	8.2	10.3	6.0	15.2	5.0	8.5	74.0	20.0		227.7	10.8	9.5	9.8	5.1		152.6	**380.3**

表－４　ツーバイ材の生産加工状況（製材歩留り等）

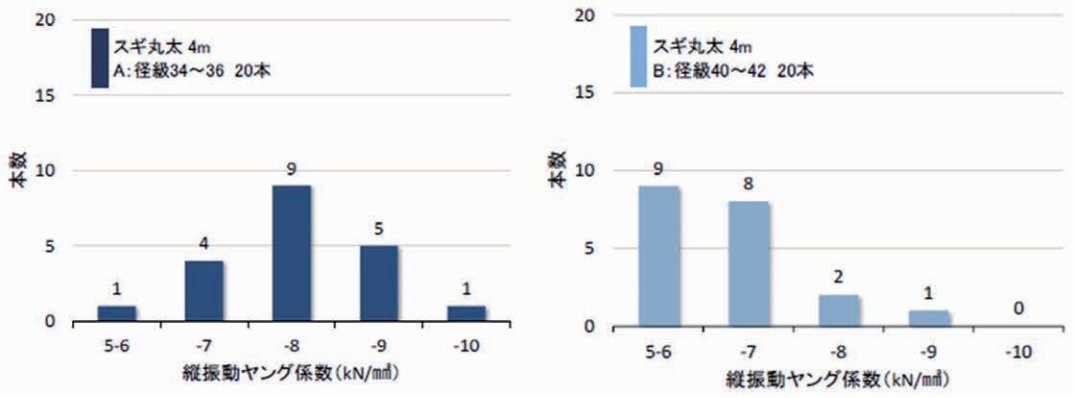
原木A（径級34～36）					製品内訳					原木１本あたり歩留まり（%）							
										製材後		乾燥後		製品		製品（等級外を除く）	
製材方法	No.	末口最小径（mm）	材長（mm）	材積（㎥）	204	206	208	210	計	材積（㎥）	歩留まり（%）	材積（㎥）	歩留まり（%）	材積（㎥）	歩留まり（%）	材積（㎥）	歩留まり（%）
206メイン	4	345	4000	0.476	3	6	2		11	0.291	61.2	0.276	57.9	0.224	47.1	0.182	38.2
	9	345	4000	0.476	3	6	2		11	0.292	61.3	0.275	57.7	0.224	47.1	0.182	38.2
	8	347	4000	0.482	3	6	2		11	0.292	60.6	0.274	56.9	0.224	46.5	0.224	46.5
	5	350	4000	0.490	2	7	2		11	0.302	61.6	0.283	57.8	0.232	47.3	0.232	47.3
	10	355	4000	0.504		8	2		10	0.292	58.0	0.278	55.1	0.226	44.9	0.184	36.4
	11	364	4000	0.530	1	8	2		11	0.310	58.4	0.291	54.9	0.240	45.2	0.240	45.2
	3	365	4000	0.533		8	2		10	0.291	54.5	0.275	51.7	0.226	42.4	0.226	42.4
	2	370	4000	0.548	2	7	2		11	0.299	54.7	0.280	51.1	0.232	42.4	0.190	34.6
	13	370	4000	0.548	2	7	2		11	0.300	54.7	0.284	51.9	0.232	42.4	0.211	38.5
	1	375	4000	0.563	3	7	2		12	0.317	56.4	0.301	53.6	0.245	43.6	0.245	43.6
	平均	358.6	4000	0.515	2.4	7.0	2.0		10.9	0.299	58.1	0.282	54.9	0.231	44.9	0.211	41.1
208メイン	6	348	4000	0.484	1	3	5		9	0.279	57.7	0.266	54.9	0.217	44.8	0.217	44.8
	14	348	4000	0.484	1	2	6		9	0.286	59.0	0.272	56.2	0.224	46.2	0.224	46.2
	18	349	4000	0.487		3	6		9	0.296	60.7	0.280	57.4	0.232	47.5	0.232	47.5
	7	354	4000	0.501		2	7		9	0.303	60.4	0.287	57.3	0.238	47.5	0.238	47.5
	16	363	4000	0.527	1		8		9	0.302	57.4	0.289	54.8	0.237	45.0	0.209	39.7
	17	369	4000	0.545	1	1	8		10	0.330	60.6	0.311	57.0	0.259	47.5	0.259	47.5
	15	370	4000	0.548	1		8		9	0.304	55.6	0.286	52.2	0.237	43.3	0.237	43.3
	20	370	4000	0.548	1		8		9	0.306	55.9	0.287	52.4	0.237	43.3	0.237	43.3
	12	375	4000	0.563			9		9	0.319	56.8	0.300	53.4	0.252	44.7	0.252	44.7
	19	376	4000	0.566		1	8		9	0.313	55.4	0.301	53.2	0.245	43.3	0.245	43.3
	平均	362.2	4000	0.525	1.0	2.0	7.3		9.1	0.304	57.9	0.288	54.9	0.238	45.3	0.235	44.8

表－５　ツーバイ材の生産加工状況（製材歩留り等）

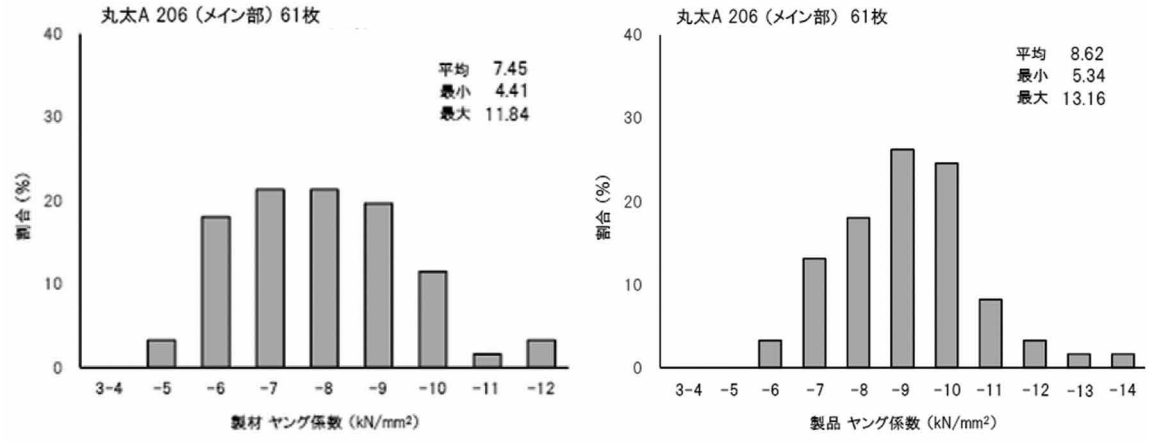
原木B（径級40～42）					製品内訳					原木１本あたり歩留まり（%）							
製材方法	No.	末口最小径 (mm)	材長 (mm)	材積 (㎥)	204	206	208	210	計	製材後		乾燥後		製品		製品（等級外を除く）	
										材積 (㎥)	歩留まり (%)	材積 (㎥)	歩留まり (%)	材積 (㎥)	歩留まり (%)	材積 (㎥)	歩留まり (%)
208メイン	7	409	4000	0.669	1	1	8	2	12	0.442	66.0	0.409	61.2	0.330	49.3	0.302	45.1
	4	405	4000	0.656	1	1	8	2	12	0.441	67.2	0.412	62.8	0.330	50.3	0.330	50.3
	1	405	4000	0.656	2	1	7	2	12	0.422	64.4	0.397	60.5	0.316	48.1	0.288	43.8
	9	422	4000	0.712		2	8	2	12	0.451	63.3	0.422	59.3	0.338	47.4	0.338	47.4
	8	425	4000	0.723		2	8	2	12	0.446	61.8	0.421	58.2	0.338	46.7	0.338	46.7
	13	422	4000	0.712	1		8	2	11	0.416	58.5	0.389	54.5	0.309	43.3	0.309	43.3
	16	419	4000	0.702	1	1	8	2	12	0.443	63.0	0.416	59.2	0.330	47.0	0.330	47.0
	6	423	4000	0.716		1	9	2	12	0.457	63.9	0.429	60.0	0.344	48.1	0.344	48.1
	20	431	4000	0.743		1	8	3	12	0.469	63.1	0.436	58.7	0.352	47.4	0.352	47.4
	14	430	4000	0.740		1	10	2	13	0.497	67.2	0.463	62.6	0.372	50.4	0.344	46.6
	平均	419.1	4000	0.703	1.2	1.2	8.2	2.1	12.0	0.448	63.8	0.419	59.7	0.336	47.8	0.327	46.6
210メイン	2	405	4000	0.656		2	1	6	9	0.381	58.1	0.356	54.2	0.285	43.4	0.285	43.4
	10	406	4000	0.659			2	7	9	0.408	61.8	0.381	57.8	0.306	46.4	0.306	46.4
	19	411	4000	0.676			1	8	9	0.419	61.9	0.393	58.2	0.314	46.4	0.314	46.4
	18	410	4000	0.672			2	7	9	0.404	60.1	0.373	55.4	0.306	45.5	0.306	45.5
	15	425	4000	0.723			1	9	10	0.460	63.6	0.429	59.3	0.349	48.4	0.349	48.4
	5	434	4000	0.753	2	1		9	12	0.488	64.7	0.457	60.7	0.370	49.1	0.370	49.1
	3	412	4000	0.679		2		9	11	0.488	71.8	0.452	66.5	0.364	53.6	0.364	53.6
	11	433	4000	0.750	2			9	11	0.457	60.9	0.428	57.1	0.349	46.5	0.335	44.7
	17	447	4000	0.799	2		1	9	12	0.499	62.4	0.466	58.4	0.377	47.1	0.341	42.6
	12	443	4000	0.785	1		1	9	11	0.482	61.4	0.449	57.2	0.363	46.2	0.363	46.2
	平均	422.6	4000	0.715	1.8	1.7	1.3	8.2	10.3	0.448	62.7	0.418	58.5	0.338	47.3	0.333	46.6

③ 原木・製品の品質（ヤング係数等）検証

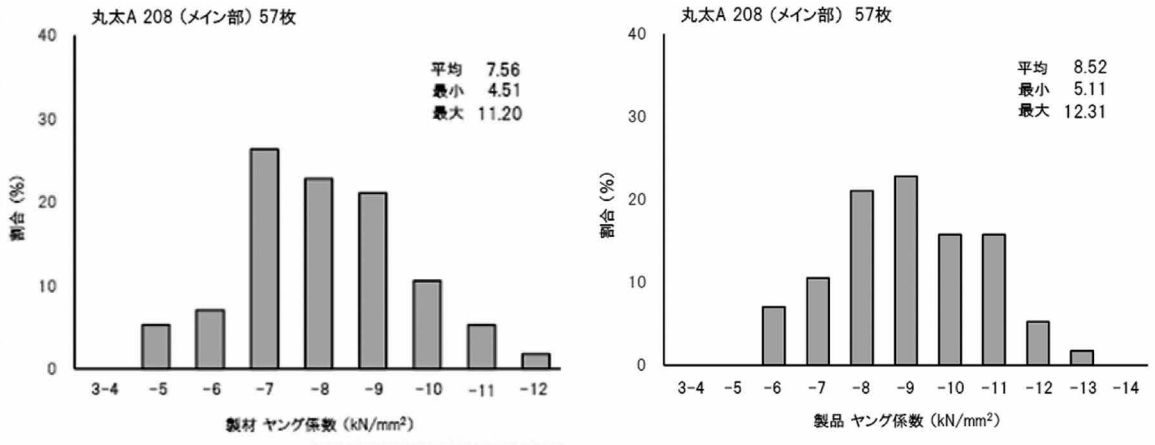
原木及び製品（２回（製材後と乾燥・仕上げ加工後））のヤング係数測定、原木及び製品（３回（製材後と乾燥後と仕上げ加工後））の寸法、狂いの測定、仕上げ加工後のヤング係数分布及びJAS規定の目視による等級判定を行った結果を図－２～図－10に示す。原木のヤング係数では、丸太A(径級34～36)が丸太B（40～42）よりも高い分布を示した。乾燥・仕上げ加工後のヤング係数は、製材後のヤング係数よりも約15%高くなった。製品のヤング係数及び目視等級区分では、丸太の髄を含む中心部で低いあるいはJAS等級外が出現する傾向であった。



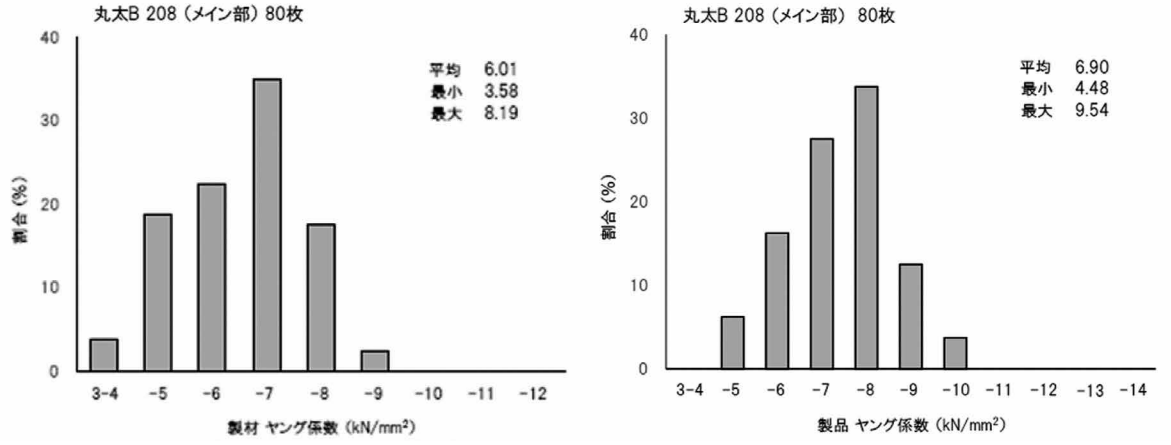
図－２　スギ丸太の縦振動ヤング係数分布



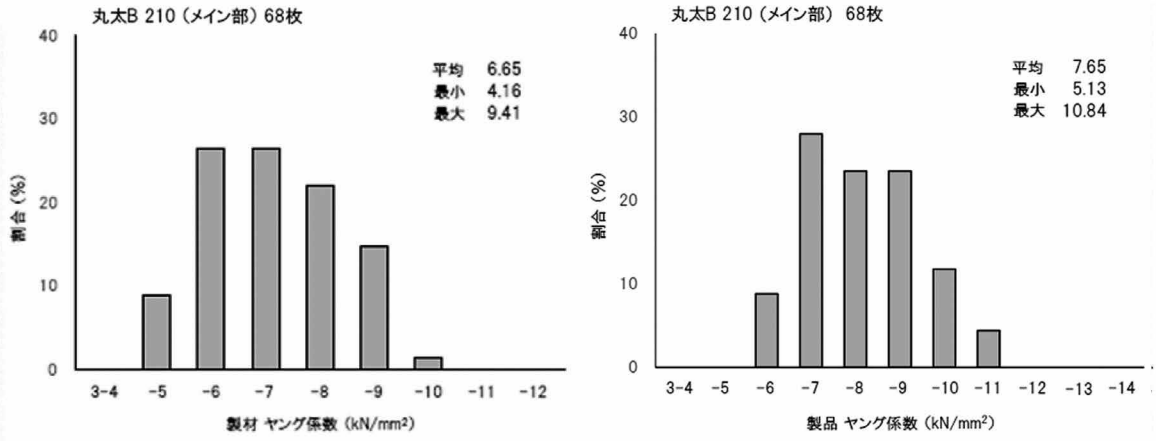
図－３　製材後（左図）と乾燥・仕上げ加工後（右図）の製品ヤング係数分布



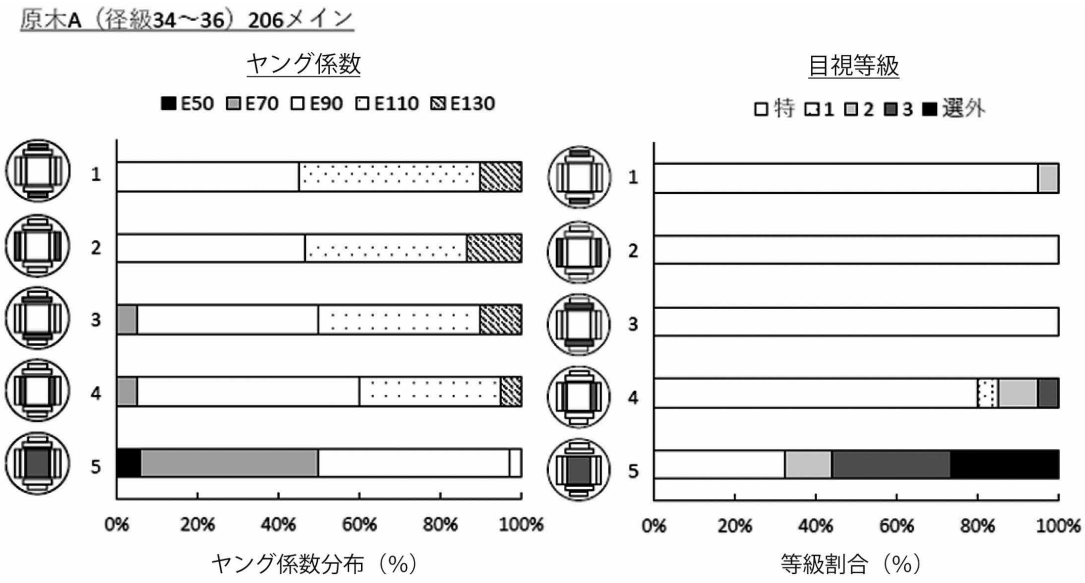
図－４　製材後（左図）と乾燥・仕上げ加工後（右図）の製品ヤング係数分布



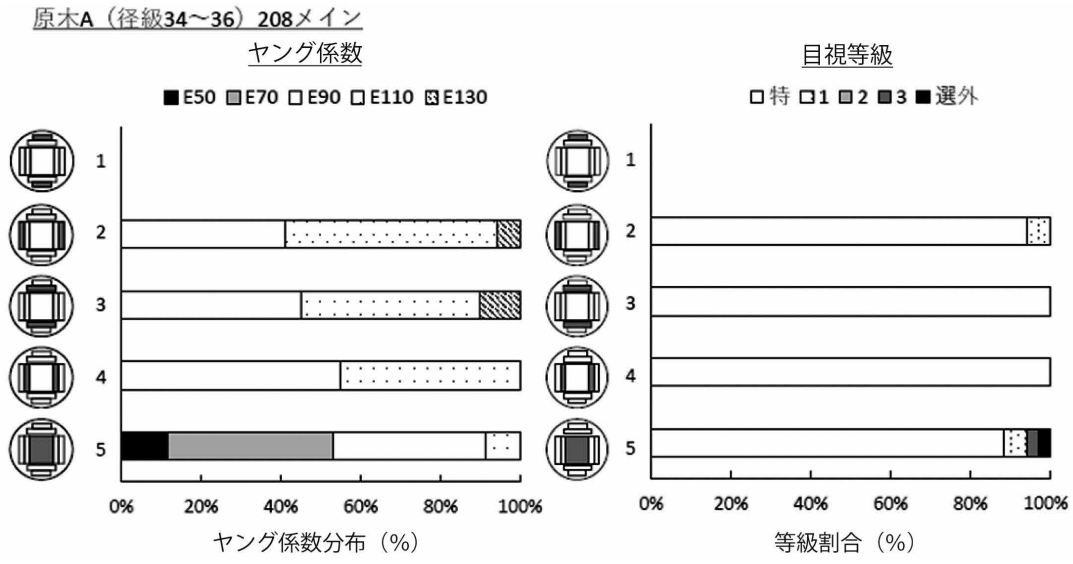
図－５　製材後（左図）と乾燥・仕上げ加工後（右図）の製品ヤング係数分布



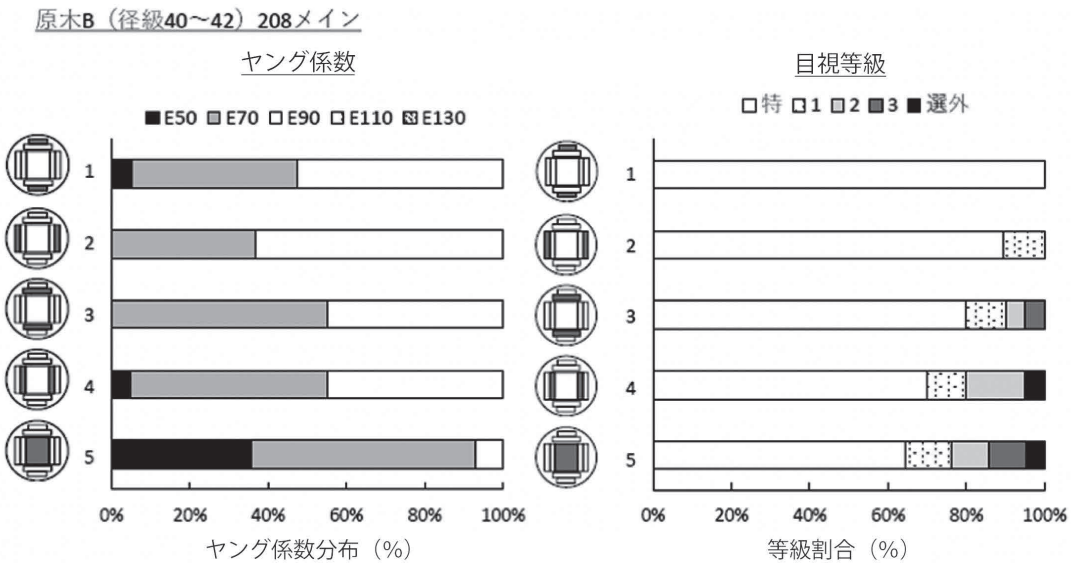
図－６　製材後（左図）と乾燥・仕上げ加工後（右図）の製品ヤング係数分布



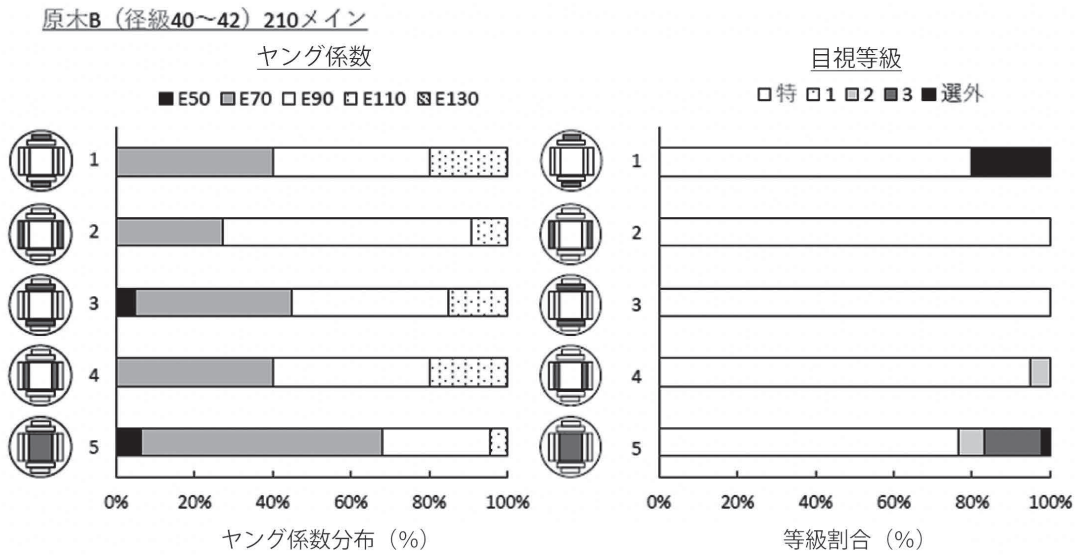
図－７　仕上げ加工後のヤング係数分布及びJAS規定の目視による等級区分割合



図－８　仕上げ加工後のヤング係数分布及びJAS規定の目視による等級区分割合



図－９　仕上げ加工後のヤング係数分布及びJAS規定の目視による等級区分割合



図－10　仕上げ加工後のヤング係数分布及びJAS規定の目視による等級区分割合

④ 最適木取りの検討

コスト及び品質検証結果に基づき、シミュレーションにより選定された木取り（丸太Aの206メイン・丸太Aの208メイン・丸太Bの208メイン・丸太Bの210メイン）４木取りパターンのうちから、最適木取りを次式により検討した結果を示す。

（最適性の評価）

$$\text{一人・一日当たりの売上総利益（売上高－材料費）} = \frac{(\text{製品販売額} \times \text{歩留り} - \text{原木仕入れ額}) \times \text{年間原木消費量}}{\text{年間労働投入量}}$$

製品販売額：単位当たり等級別製品販売額（円/㎥）

原木仕入れ額：パターンごとの単位当たり原木仕入れ額（円/㎥）

年間原木消費量：過去３年間の平均年間原木消費量の1/3を作業時間の最小の木取りパターンの場合とし、他の３つの木取りパターンについては、最小作業時間との比から、原木本数を算出し、それぞれの年間原木消費量を想定する。(㎥)

年間労働投入量：過去３年間の平均年間労働力投入量の1/3（人日）

表－６示すように、最適な木取りパターンは、丸太A208メインとなり、以下、丸太B210メイン、丸太B208メイン、丸太A206メインの順となった。

表－６　木取りパターン別の一人・一日当たりの売上総利益

木取りパターン	製品販売額（円/㎥）	歩留り（%）	原木仕入れ額（円/㎥）	原木消費量（㎥）	労働力投入量（人日）	一人・一日当たり売上総利益(円)
丸太A206メイン	60,057	41.1	13,500	7,025	1,733	45,334
丸太A208メイン	64,432	44.8	13,500	7,066	1,733	62,650
丸太B208メイン	64,994	46.6	13,000	4,813	1,733	48,011
丸太B210メイン	61,719	46.6	13,000	5,314	1,733	48,329

今後の課題・展開等

スギ大径材の需要拡大のために、丸太径級として、34～36cmと40～42cmの２種類について、現状の加工設備ラインに基づき、ツーバイ材を想定した最適木取りの評価を行い、一定の成果を得た。

今後の課題としては、ツーバイ材のための加工設備ラインの検討や平角等の角物を想定した木取りの検討、角物木取りにおける狂い発生の程度、ヤング係数分布等の検証を行うための実証により、これまでの適寸寸法の丸太からの製品との品質や生産性及び付加価値の比較検討を行うことが必要と考えられる。

事業

非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び各部要素の開発検討（継続）事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

〒104-0043　東京都中央区湊3-4-4 中央山田ビル2階

事業目的

昨年度から引き続き、非住宅・中大規模木造建築物を建てる際に必要となる、(1) 高耐力壁〔＝高倍率、高階高耐力壁〕及び (2) それに対応する接合金物、並びに (3) 各部要素の、仕様の追加、検討、検証などを行う。

実施した項目

(1) 高耐力壁

・耐力壁試験

・耐力壁の解析モデルの提案

(2) 接合金物

・せん断性能調査

(3) 各種要素試験

・釘の一面せん断試験（ASTM準拠）

・釘の一面せん断試験（グレー本準拠）

・面材の面内せん断試験

実施体制

この事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による下記委員会を設置し、事業計画、成果の検討などを行うとともに、委員会の傘下として高耐力壁等の実務に携わるWGを設けた。

■開発検討委員会（※敬称略・順不同）

委員長	大橋好光（東京都市大学 名誉教授）
委　員	青木謙治（東京大学大学院農学生命科学研究科 教授）
委　員	落合　陽（東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科 准教授）
委　員	逢坂達男（一般社団法人 日本木造住宅産業協会 技術開発委員長）
委　員	坂口晴一（一般社団法人 日本ツーバイフォー建築協会 技術部長）
委　員	大桃一浩（一般社団法人 JBN・全国工務店協会中大規模木造委員会委員長）
委　員	功刀友輔（一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会 理事）
委　員	金井邦夫（木造住宅接合金物協会 会長）
委　員	神谷文夫（株式会社 セイホク 技師長）

■高耐力壁等開発検討WG（※敬称略・順不同）

主　査	大橋好光（前述）
委　員	青木謙治（前述）
委　員	足立朋樹（一般社団法人 日本木造住宅産業協会 技術開発部長）

委　員　　潮　康文（木造住宅接合金物協会）
委　員　　川原重明（一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会 理事）
委　員　　松田英之（一般社団法人 JBN・全国工務店協会中大規模木造委員会委員）

■面材耐力壁の各部要素WG

主　査　　大橋好光（前述）
委　員　　青木謙治（前述）
委　員　　落合　陽（前述）
委　員　　神谷文夫（前述）
委　員　　渋沢龍也（国立研究開発法人 森林研究･整備機構 森林総合研究所　研究ディレクター（木質資源利用研究担当））
委　員　　石川広資（株式会社 ノダ 繊維板事業部 製品管理課 課長、日本繊維板工業会 会員会社[MDF 関係]）
委　員　　服部和生（日本ノボパン工業 株式会社 営業本部営業推進部 部長 兼 営業企画グループ グループマネージャー、日本繊維板工業会 会員会社[パーティクルボード関係]）
委　員　　功刀友輔（前述）
委　員　　金井邦夫（前述）
委　員　　野田　徹（アマテイ 株式会社 生産本部 技術部 部長 兼 品質管理室 室長、日本自動釘打機ステープル工業会 兼 線材製品協会 会員会社）

■オブザーバー、行政

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター（以下、「住木センター」という。）、林野庁木材産業課、木構造振興株式会社　など

■コンサルタント

株式会社 えびす建築研究所

■事務局

（一社）木を活かす建築推進協議会

実施した内容

（1）高耐力壁

1）耐力壁試験

真のせん断変形角評価で相当壁倍率15倍の耐力かつ靭性のある破壊性状を目標とする。MDF18mm厚を用いた仕様の追加、柱脚固定式での性能確認、また耐力壁の適用範囲を定めるため壁幅や高さ方向をパラメータとし試験体は表.1に示す仕様とした。各仕様ともに床面材がある仕様だが、壁面材とは隙間を設けることで純粋な壁勝ち大壁仕様と同等の挙動となるようにし壁としての基礎的な性能を得られるようにした。真壁仕様も同様に壁面材の四周に隙間を設け大壁仕様と同様の挙動になるようにした。試験体図例を図.1に示す。

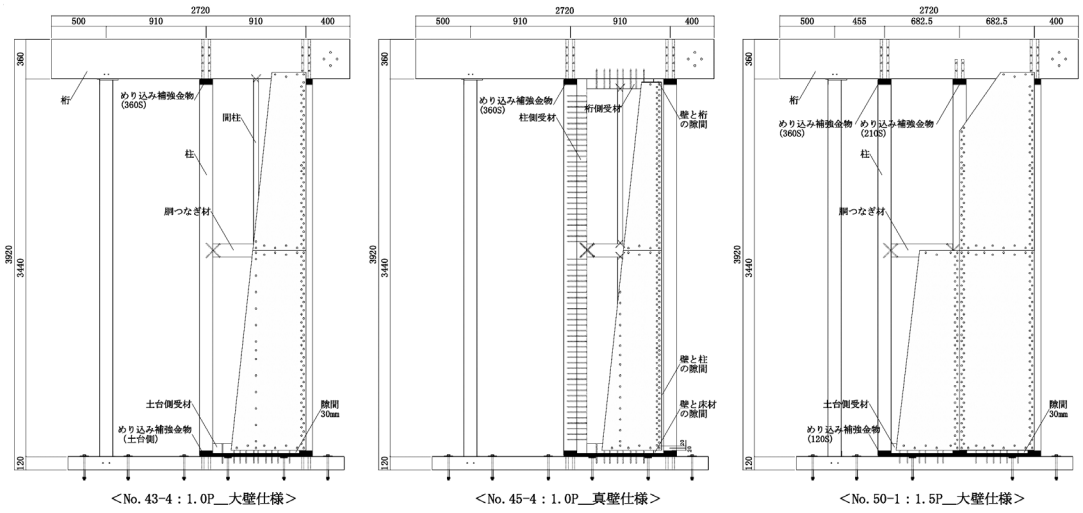
2）高耐力壁と接合金物を組み合わせた解析モデルの構築と解析の実施

高耐力壁試験を実施した仕様について、接合金物と組み合わせた増分解析を実施する。昨年度は壁面釘のせん断ばねは数本分を集約して配置していたが、より精密に再現するため実際に留め付けた本数分をせん断ばねとしてモデル化した。面材釘の特性値はASTM準拠試験や住木センターが発行する「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」（以下、「グレー本」という。）準拠試験等の結果から設定した（図.2）。

表.1　耐力壁試験体仕様一覧

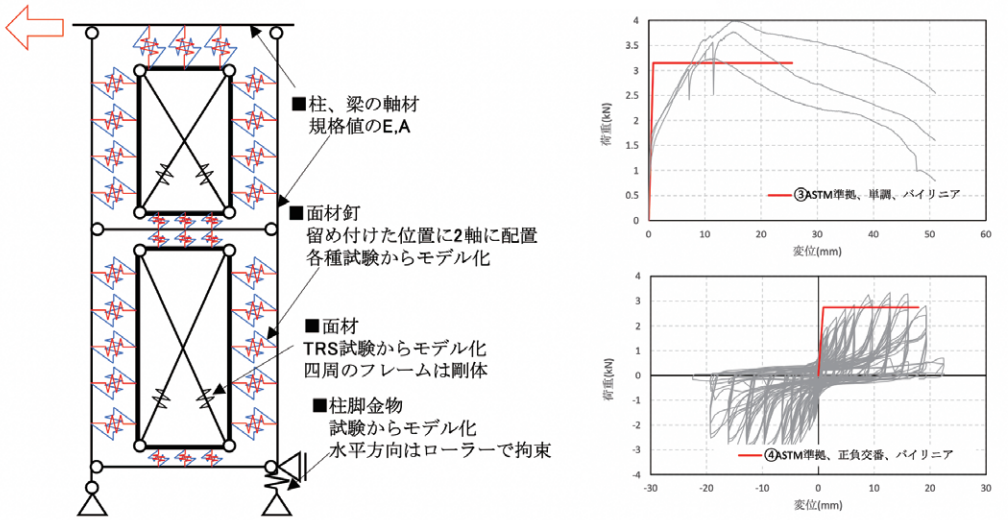
No.	仕様	壁長さ(mm)	壁高さ(mm) (横架材内法距離)	壁面材	面材 釘	試験 体数	試験 方法
43-4	大壁	910	3440	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	タイロッド
45-4	真壁	910	3440	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm 片面	B	1	タイロッド
46-1,2,3	大壁	910	3440	MDF 18mm 片面	A	3	タイロッド
47-1	大壁	910 + 910	3440	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	タイロッド
48-1	真壁	910 + 910	3440	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm 片面	B	1	タイロッド
49-1	大壁	455 + 910	3440	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	タイロッド
50-1	大壁	682.5 + 682.5	3440	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	タイロッド
51-1	真壁	682.5 + 682.5	3440	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm 片面	B	1	タイロッド
52-1	大壁	910	2680	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	タイロッド
53-1	真壁	910	2680	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm 片面	B	1	タイロッド
54-1	大壁	910	3440	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm 片面	A	1	柱脚固定式

A：CNZ75 @ 75mm 2 列千鳥（横方向 @200mm 2 列千鳥）
B：CNZ75 @　50mm 2 列千鳥（横方向@ 200mm 2 列千鳥）
タ：タイロッド式
柱：柱脚固定式



＜No. 43-4：1. 0P__大壁仕様＞　＜No. 45-4：1. 0P__真壁仕様＞　＜No. 50-1：1. 5P__大壁仕様＞

図.1　耐力壁試験体図例



＜モデル概要＞　＜面材釘のせん断ばね設定例＞

図.2　解析モデル概要図

(2) 接合金物

1) 柱脚接合金物及びめり込み補強金物のせん断性能の検討

柱脚接合金物及びめり込み補強金物にせん断力を負担する機構を付する改良を施した。図.3に示すように、四周に鋼板t=6mmで高さ40mmの立ち上がりを設け、柱を納めることでせん断抵抗を有する仕様とした。

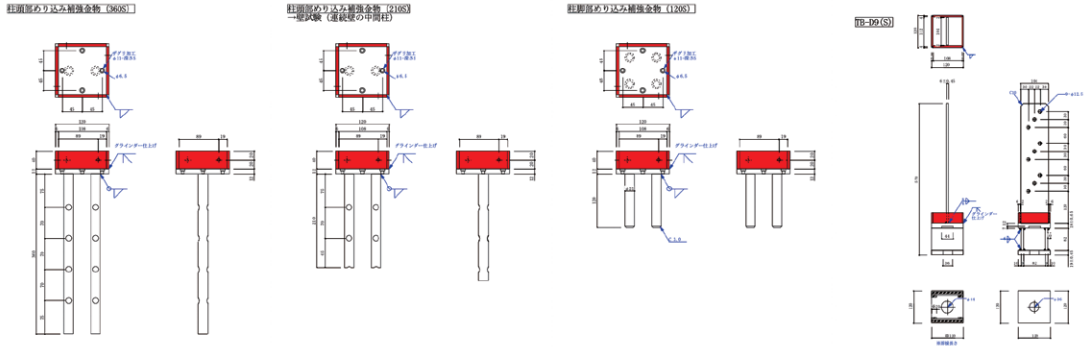


図.3　柱脚接合金物、めり込み補強金物の図面

(3) 各部要素試験

1) 釘の一面せん断試験（ASTM準拠）

荷重変形関係と破壊性状の関係を整理する目的でASTM規格の試験方法（1本の釘打ち）に準拠して試験を実施する。また、軸材の繊維方向（繊維平行方向、繊維直交方向）及び加力方法（単調載荷、正負交番載荷）をパラメータとし影響を確認する。試験体仕様及び試験図例をそれぞれ表.2(No.1～20)、図.4に示す。また、JISの規格に比べ釘頭の大きい仕様や、釘長さの短い仕様の新規開発釘についての試験体仕様を表.2(No.21～40)に示す、軸材繊維平行方向・単調載荷とする。対象とする釘は、CNZ75の釘頭を大きい仕様（釘頭8.74mm）、CNZ90の釘長さの短い仕様（長さ75mm）とした。

表.2　釘の一面せん断試験（ASTM準拠）試験体仕様一覧

No.	面材（側材）		軸材（主材）	釘（接合具）	加力方法	試験体数
1,2	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維直交方向	CNZ75	1単調,2正負交番	各3体
3,4	構造用合板 全層ﾋﾉｷ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維直交方向	CNZ75	3単調,4正負交番	各3体
5,6	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維直交方向	CNZ75	5単調,6正負交番	各3体
7,8	MDF18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維直交方向	CNZ75	7単調,8正負交番	各3体
9,10	パーティクルボード18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維直交方向	CNZ75	9単調,10正負交番	各3体
11,12	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75	11単調,12正負交番	各3体
13,14	構造用合板 全層ﾋﾉｷ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75	13単調,14正負交番	各3体
15,16	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75	15単調,16正負交番	各3体
17,18	MDF18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75	17単調,18正負交番	各3体
19,20	パーティクルボード18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75	19単調,20正負交番	各3体
21	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ90型 釘長さ75mm	単調載荷	6体
22	構造用合板 全層ﾋﾉｷ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ90型 釘長さ75mm	単調載荷	6体
23	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ90型 釘長さ75mm	単調載荷	6体
24	MDF18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ90型 釘長さ75mm	単調載荷	6体
25	パーティクルボード18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ90型 釘長さ75mm	単調載荷	6体
26	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75型 釘頭8.74mm	単調載荷	6体
27	構造用合板 全層ﾋﾉｷ 18mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75型 釘頭8.74mm	単調載荷	6体
28	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm厚	繊維平行方向	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75型 釘頭8.74mm	単調載荷	6体
29	MDF18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75型 釘頭8.74mm	単調載荷	6体
30	パーティクルボード18mm厚	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、繊維平行方向	CNZ75型 釘頭8.74mm	単調載荷	6体

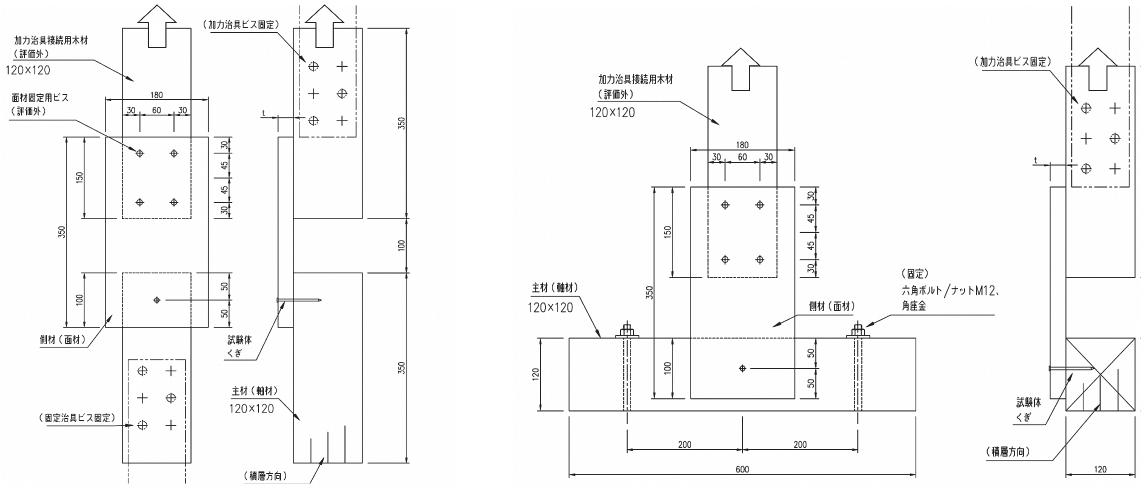


図.4　釘の一面せん断試験（ASTM準拠）試験体図

2）釘の一面せん断試験（グレー本準拠）

グレー本「4.5 面材釘1本あたりの一面せん断特性を算出するための試験」に準拠し試験を実施する。試験体仕様及び試験体図をそれぞれ表.3、図.5に示す。

表.3　釘の一面せん断試験（グレー本準拠）試験体仕様一覧

No.	面材	桁、柱	外周釘	試験体数
0	—	ヒノキ、同一等級構成集成材、E95-F315	—	1体
1	構造用合板 全層ｶﾗﾏﾂ 18mm厚		CNZ75@100mm 1列打ち	3体
2	構造用合板 全層ｽｷﾞ 24mm厚			3体
3	MDF18mm厚			3体

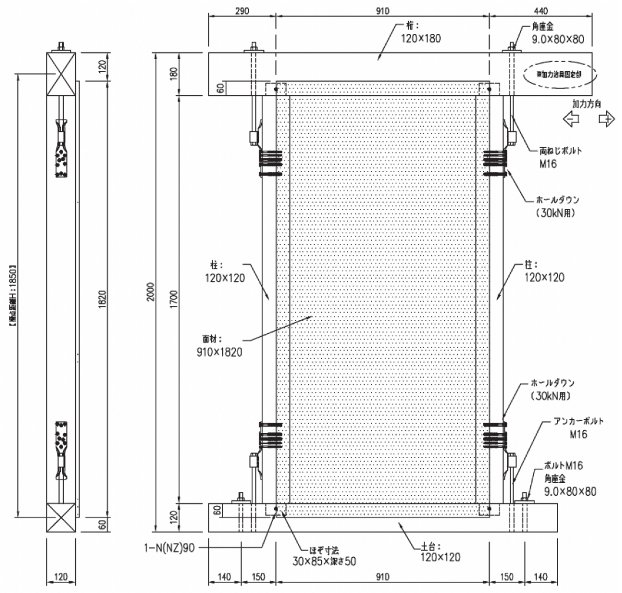


図.5　釘の一面せん断試験（グレー本準拠）試験体図

3）面材の面内せん断試験

Tow-Rail Shear 試験（以下、「TRS 試験」という。）による面材の面内せん断性能の把握を試みる。過年度において面材が厚く（強度が高く）なると、試験体を掴む治具部分（以下、「レール材」という。）での破壊が見られ、せん断強度を計測できていない懸念が確認されたため、治具部分を改良し試験を実施した。試験体仕様及び試験体図をそれぞれ表.4、図.6 に示す。

表.4　TRS 試験の試験体仕様一覧

記号	面材種類	厚さ	樹種	試験体数
PW_K	構造用合板 2 級	18mm	全層カラマツ	6 体
PW_H		18mm	全層ヒノキ	6 体
PW_S		24mm	全層スギ	6 体
MDF_A	MDF	18mm	—	6 体
MDF_B			—	6 体
MDF_C			—	6 体
PB	パーティクルボード		—	6 体

注）表中、MDF A～Cは、製品の密度の低い製品から順に並べたものである。

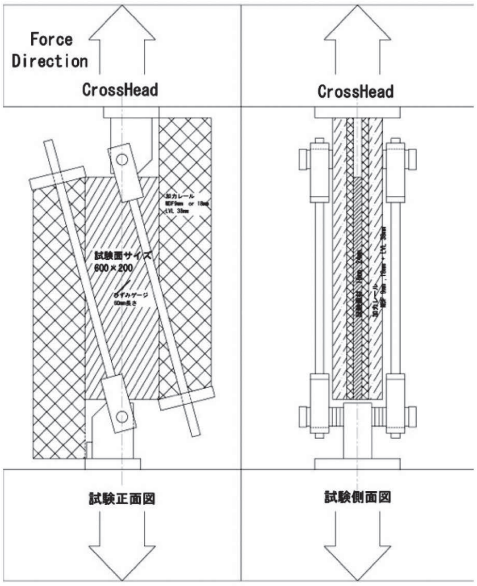


図.6　TRS 試験 試験体図

実施した結果

（1）高耐力壁

1）耐力壁試験

各試験体の荷重変形関係を図.7 に示す。構造特性値はグレー本及び住木センターが発行する「木造軸組工法中大規模建築物の許容応力度設計」「以下、「中大規模グレー本」という。）に準拠して評価した結果を表.5 に示す。グレー本に準拠した評価法だといずれの試験体も $P_{1/150}$ で耐力が決定し相当壁倍率 15 倍以上となった。中大規模グレー本に準拠した場合は $0.2Pu\sqrt{2\mu-1}$ で耐力が決定し相当壁倍率 13 倍以上となった。大壁仕様の破壊性状は釘の引抜け、パンチングアウトが大半であるが変形角が 1/20rad を超えてくると柱の割裂も確認された。真壁仕様も同様で釘の引抜け、パンチングアウトであるが、柱の割裂、面材の面内せん断破壊も確認された。壁長さや高さによる影響は、1.0P・H=3.68m 試験体に対し最大で 20% 程度の耐力差となった。

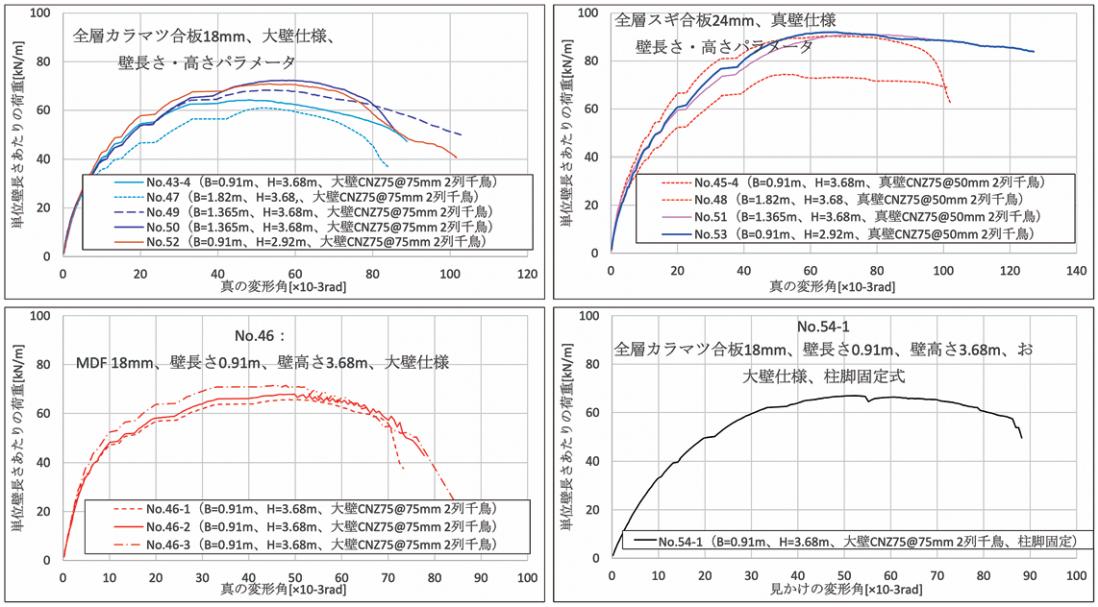


図.7　耐力壁試験の荷重変形関係

表.5　耐力壁試験の構造特性値

真のせん断変形角評価　■グレー本準拠（δu＝1/15radで算出）

評価項目＼試験体No	No. 45-4	No. 48	No. 51	No. 53
壁長さ(m)	0.91	1.82	1.365	0.91
壁高さ(m)	3.68	3.68	3.68	2.98
Pmax(kN)	82.3	135.4	123.5	83.7
Py(kN)	43.8	68.0	64.3	43.6
0.2Pu√2μ-1(kN)	38.8	63.7	z	34.0
2/3Pmax(kN)	54.9	90.3	82.3	55.8
$P_{1/150}$(kN)	33.9	56.5	47.5	30.3
短期基準せん断耐力(kN)※	33.9	56.5	47.5	30.3
壁長さ1mあたり(kN/m)※	37.3	31.0	34.8	33.3
相当壁倍率※	19.0	15.8	17.7	16.9

■中大規模グレー本準拠（δ=1/20radで算出）

No. 45-4	No. 48	No. 51	No. 53
0.91	1.82	1.365	0.91
3.68	3.68	3.68	2.98
80.6	134.9	115.8	80.2
41.9	67.6	59.8	41.4
32.2	52.9	43.6	28.6
54.9	90.3	82.3	55.8
33.9	56.5	47.5	30.3
32.2	52.9	43.6	28.6
35.4	29.1	31.9	31.4
18.0	14.8	16.2	16.0

※ばらつき、低減係数αは乗じていない

真のせん断変形角評価　■グレー本準拠（δu＝1/15radで算出）

評価項目＼試験体No	No. 43-4	No. 47	No. 49	No. 50	No. 52
壁長さ(m)	0.91	1.82	1.365	1.365	0.91
壁高さ(m)	3.68	3.68	3.68	3.68	2.98
Pmax(kN)	58.5	110.9	93.3	98.7	64.5
Py(kN)	32.5	57.5	43.8	50.8	35.9
0.2Pu√2μ-1(kN)	32.7	59.9	49.1	49.3	34.1
2/3Pmax(kN)	39.0	74.0	62.2	65.8	43.0
$P_{1/150}$(kN)	29.5	53.7	43.5	43.9	30.3
短期基準せん断耐力(kN)※	29.5	53.7	43.5	43.9	30.3
壁長さ1mあたり(kN/m)※	32.4	29.5	31.9	32.2	33.3
相当壁倍率※	16.5	15.0	16.2	16.4	16.9

■中大規模グレー本準拠（δ=1/20radで算出）

No. 43-4	No. 47	No. 49	No. 50	No. 52
0.91	1.82	1.365	1.365	0.91
3.68	3.68	3.68	3.68	2.98
58.5	110.4	92.9	97.5	54.1
32.5	57.4	48.1	49.9	35.6
27.6	50.3	41.1	41.2	28.7
39.0	74.0	62.2	65.8	43.0
29.5	53.7	43.5	43.9	30.3
27.6	50.3	41.1	41.2	28.7
30.3	27.6	30.1	30.2	31.5
15.4	14.1	15.3	15.3	16.0

※ばらつき、低減係数αは乗じていない

2）高耐力壁と接合金物を組み合わせた解析モデルの構築と解析の実施

柱脚固定式にて実施したNo.54について、試験体を再現したモデルを構築し解析を行った。面材釘のせん断ばねの設定方法によって結果に差異が出るが、概ね実験結果を再現する解析結果となった。(図.8)

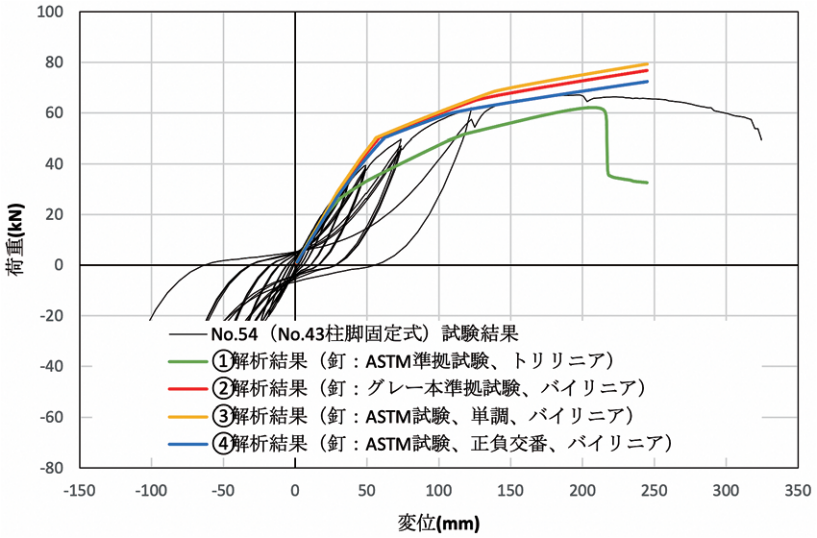


図.8　実験結果と解析結果の比較

表.6　釘の一面せん断試験の特性値一覧

No	面材（側材）種類	軸材（主材）方向	加力方法	降伏時		最大荷重時		終局時		降伏変位	初期剛性
				Py (kN)	δy (mm)	Pmax (kN)	δPmax (mm)	Pu (kN)	δu (mm)	δv (mm)	K (kN/cm)
1	カラマツ 18mm厚	直交	単調	1.39	1.27	2.75	12.14	2.44	35.80	2.28	12.81
2			正負	1.53	0.81	2.91	13.57	2.63	20.51	0.81	19.62
3	ヒノキ 18mm厚		単調	1.45	1.17	2.86	12.27	2.51	30.23	2.03	12.75
4			正負	1.37	0.79	2.66	12.51	2.38	18.74	0.79	17.58
5	スギ 24mm厚		単調	1.37	1.32	2.66	18.44	2.35	30.88	1.32	10.41
6			正負	1.27	1.40	2.56	14.85	2.17	21.29	1.40	9.56
7	MDF 18mm厚		単調	1.66	1.07	3.37	14.94	2.93	24.86	1.07	16.09
8			正負	1.74	1.24	2.83	12.87	2.54	20.31	1.81	14.16
9	PB 18mm厚		単調	1.70	0.92	3.17	13.19	2.80	21.45	0.92	18.70
10			正負	1.68	1.27	3.05	13.54	2.65	20.58	1.27	13.32
11	カラマツ 18mm厚	平行	単調	1.67	0.80	3.67	13.85	3.15	25.47	0.80	21.81
12			正負	1.53	0.90	3.12	12.84	2.75	17.88	0.90	17.42
13	ヒノキ 18mm厚		単調	1.60	0.64	3.41	12.11	2.94	24.58	0.64	25.20
14			正負	1.44	0.71	3.01	10.26	2.61	19.73	0.71	20.25
15	スギ 24mm厚		単調	1.23	1.18	2.53	14.54	2.12	12.01	1.18	12.01
16			正負	1.37	1.35	2.60	13.55	2.28	20.72	1.35	11.96
17	MDF 18mm厚		単調	1.64	0.87	3.47	12.01	3.02	26.35	0.87	19.52
18			正負	1.66	0.88	2.77	13.96	2.49	23.35	0.88	18.97
19	PB 18mm厚		単調	1.82	0.91	3.63	12.41	3.17	28.33	0.91	21.11
20			正負	1.80	1.11	3.45	14.59	3.04	17.96	1.11	17.16
21	カラマツ 18mm厚	平行	単調	1.48	1.84	2.77	15.58	2.46	28.16	3.07	0.83
22	ヒノキ 18mm厚		単調	1.73	2.21	3.03	18.90	2.79	30.00	3.61	0.80
23	スギ 24mm厚		単調	1.55	1.51	2.87	15.80	2.67	29.53	2.59	1.05
24	MDF 18mm厚		単調	1.92	2.43	3.09	19.39	2.82	29.92	3.59	0.84
25	PB 18mm厚		単調	1.97	2.05	3.19	12.34	2.93	26.73	3.03	0.97
26	カラマツ 18mm厚	平行	単調	1.44	1.38	2.65	15.49	2.38	28.62	2.28	1.08
27	ヒノキ 18mm厚		単調	1.56	1.84	2.74	14.61	2.51	29.11	2.94	0.98
28	スギ 24mm厚		単調	1.66	1.79	2.73	14.77	2.50	29.40	2.68	0.95
29	MDF 18mm厚		単調	1.43	3.14	2.69	20.78	2.50	30.00	5.68	0.53
30	PB 18mm厚		単調	1.87	1.69	3.23	12.21	2.92	27.01	2.64	1.21

表中、「ヒノキ、カラマツ、スギ」は、いずれも構造用合板の全層の構成を示す。

(2) 接合金物

1) 柱脚接合金物、めり込み補強金物のせん断性能の検討

立ち上がりを設けた部分の柱へのめり込み耐力は、金物１か所あたり短期で17kN程度ある計算となり、相当壁倍率15倍相当の耐力壁の柱接合部のせん断性能としては十分有することがわかった。

(3) 各部要素試験

1) 釘の一面せん断試験（ASTM準拠）

試験結果の一覧を図.9に示す。軸材の繊維方向が繊維方向、加力方法が正負交番載荷の試験体が線維直交方向・単調載荷と比べ１～２割ほど耐力が低い結果となった。また新規開発釘を同試験により釘の一面せん断性能及び破壊性状を評価した。

2) 釘の一面せん断試験（グレー本準拠）

試験結果のうち荷重変形関係を図.9に示す。グレー本に準拠し、釘の一面せん断性能を評価した結果を表.7に示す。ASTM準拠の試験法に比べ、釘の性能はやや低くなる結果となった。

3) 面材の面内せん断試験

試験結果の一覧を表.8、破壊状況を図.10に示す。なおレール材の補強の効果については、合板・パーティクルボードは試験体での破壊が見られ、MDFの一部では一部レール材に及んで層間内に破壊が生じた。概ね面材のせん断剛性・せん断強度を整理することができた。

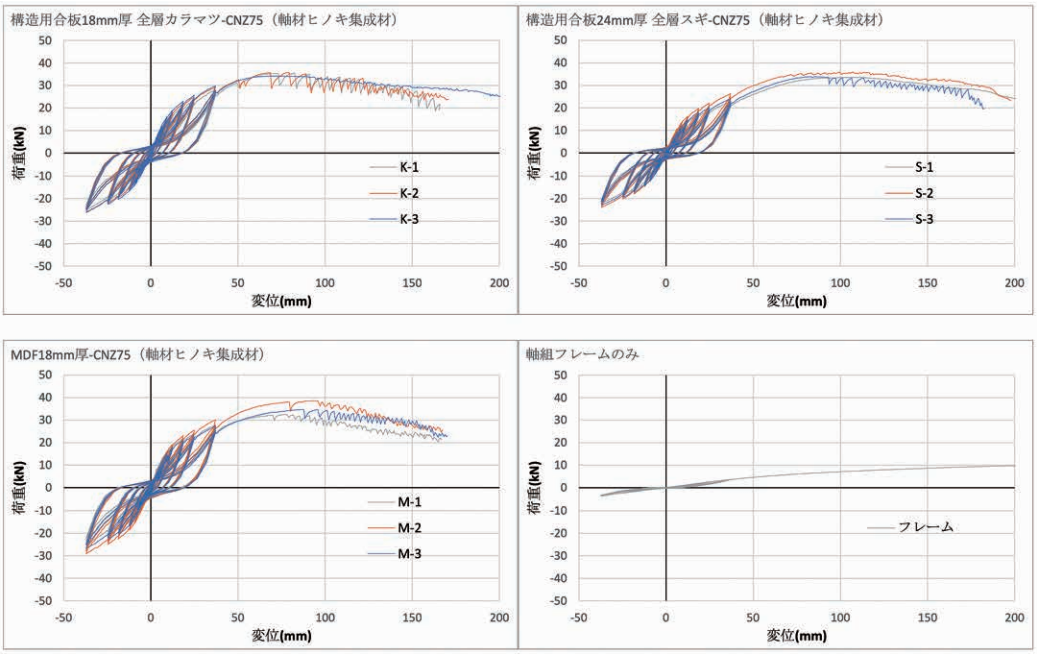


図.9　グレー本準拠試験の荷重変形関係

表.7　グレー本準拠試験の釘性能算出結果

記号	面材種類	厚さ	密度 kg/m^3	含水率 %	せん断剛性 G kN/mm^2	せん断強度 τ N/mm^2
PW_K	構造用合板 2級	18m	629	9.6	1.05	6.12
PW_H		18mm	512	10.4	0.89	5.29
PW_S		24mm	425	9.4	0.85	4.74
MDF_A	MDF	18mm	711	7.7	1.92	7.23
MDF_B			660	6.8	1.66	5.89
MDF_C			736	7.7	2.42	7.45
PB	パーティクルボード		707	7.4	2.28	4.29

表.8　面材の面内せん断試　構造特性値一覧（平均値）

記号	面材種類	厚さ	密度 kg/m³	含水率 %	せん断剛性 G kN/mm²	せん断強度 τ N/mm²
PW_K	構造用合板 2級	18m	629	9.6	1.05	6.12
PW_H		18mm	512	10.4	0.89	5.29
PW_S		24mm	425	9.4	0.85	4.74
MDF_A	MDF	18mm	711	7.7	1.92	7.23
MDF_B			660	6.8	1.66	5.89
MDF_C			736	7.7	2.42	7.45
PB	パーティクルボード		707	7.4	2.28	4.29

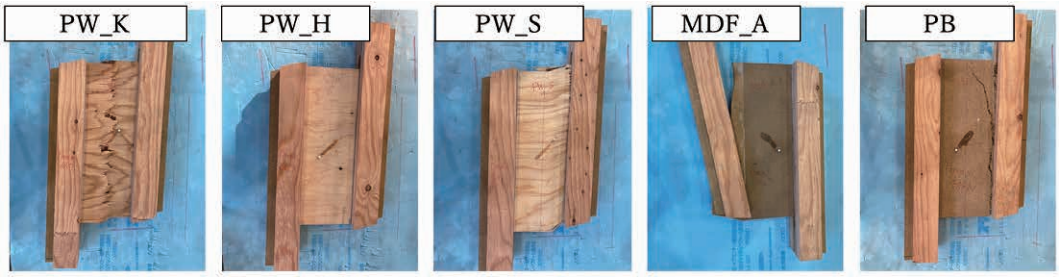


図.10　面材の面内せん断試験　破壊状況例

今後の課題・展開等

(1) 高耐力壁

- 壁倍率15倍相当の耐力壁の場合、全層スギの構造用合板では終局で面内せん断破壊が生じることがある。全層スギとする場合はさらに厚いものや、厚さは変えず表層カラマツ等にするなどの対策が必要と考える。
- 本事業において軸材の樹種をヒノキとしているが、スギとしたいという要望もある。軸材の樹種をスギとした場合の耐力壁や各部要素の仕様に関する検討が必要と考える。

(2) 接合金物

- 壁倍率30倍等を実現するための柱脚固定部の開発検討

(3) 各部要素

- 壁倍率30倍等を実現するための18mm以上の厚さの面材の検討
- グレー本準拠の釘の一面せん断試験（パーティクルボード）
- 釘、接合具の新規開発（帯金物、ワッシャー付き釘など）

事業

軟弱地盤対策等としての地中利用木材の温室効果ガスインベントリ報告のための算定方法の開発

● 実施団体 ●

公益財団法人　国際緑化推進センター（JIFPRO）

〒112-0004　東京都文京区後楽1-7-12 林友ビル5F

事業目的

地球温暖化防止のための炭素貯留対策として期待される軟弱地盤対策等のための地中利用木材（杭丸太）について、令和２～４年度補正事業の調査結果を踏まえ、日本国の温室効果ガス・インベントリ報告のため、データ取得体制の構築等を含めた炭素固定量算定方法を開発する。

実施した項目

次の活動を実施した。

１．軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の掘り出し調査

86年前に福井県小浜市に所在する西津橋の橋脚及び橋台基礎杭丸太として設置され、橋の架け替えのため一昨年度から昨年度に抜き取った杭丸太について、下記試験を行った。

ア．地盤調査
イ．掘出した杭丸太の深度ごとの目視被害度判定、ピロディン貫入量の測定
ウ．深度ごとの短柱の縦圧縮強度の測定
エ．深度ごとの短柱と円盤の容積密度の測定
オ．樹種鑑定

２．軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の小ブロック試験

（ア）86年前に橋台基礎杭丸太として設置された杭丸太の小ブロック試験（福井県小浜市）

福井県小浜市に所在する西津橋の橋脚・橋台基礎杭丸太について昨年度の調査では橋脚基礎杭丸太の小ブロック試験を実施したところであるが、本年度は追加的に掘り出された橋台基礎杭丸太について、異なった深度から切り出した円盤から、放射方向に小ブロック試験片を採取し、縦圧縮強度試験及び容積密度の測定を行った。

（イ）68年前に橋脚基礎杭丸太として打設された杭丸太の小ブロック試験（東京都港区）

東京都港区に所在する高浜橋の架け替えのため、2025年始めに引き抜いた橋脚基礎杭丸太について、異なった深度から切り出した円盤から、放射方向に小ブロック試験片を採取し、圧縮強度試験及び容積密度の測定を行った。

３．杭丸太の使用実態調査

昨年度実施した、杭丸太の使用実態調査を踏まえ、杭丸太の施工を行っている４団体・企業（木材活用地盤対策研究会、環境パイル(S)工法協会、㈱九州パイリング、昭和マテリアル㈱）を対象に、杭丸太の使用量把握のための調査を引き続き実施した。具体的には、次の事項を調査した。また、推計値であったものについて実績値の把握を行った。

（１）対象工法による年間実績推移（年間施工件数・木材利用量，2010～2023年度）
（２）木材利用量実績に基づく炭素固定量の推計

（3）建築物建て替え時等における既存打設杭丸太の抜き取り実態
ア．既存杭丸太の引き抜きの有無と実態の調査
イ．建築物建て替え時において既存杭が引き抜かれる割合（引き抜き率）の評価

4．温室効果ガス・インベントリ報告での地中利用木材の算定方法案の提案

過年度及び本年度の掘出し試験や使用実態調査の結果に基づき、日本政府が気候変動枠組条約事務局に提出する温室効果ガス・インベントリ報告において地中利用木材の炭素固定量を算定するための方法の案を作成した。

5．これまでの成果の学術誌への投稿

令和３年度及び令和４年度補正事業の結果のうち、東京都大田区において80年以上前に建築支持杭として設置された杭丸太の掘り出し試験の結果について、「土木学会論文集」（Journal of JSCE）に英文投稿を行った（採択決定）。

6．木材の地中利用を推進するための協会設立に向けた活動

地中利用木材の使用量について信頼できる実績を継続して把握するとともに、地球温暖化防止に資する木材の地中利用を推進するための協会設立に向けた活動を実施した。

7．情報交換・情報発信

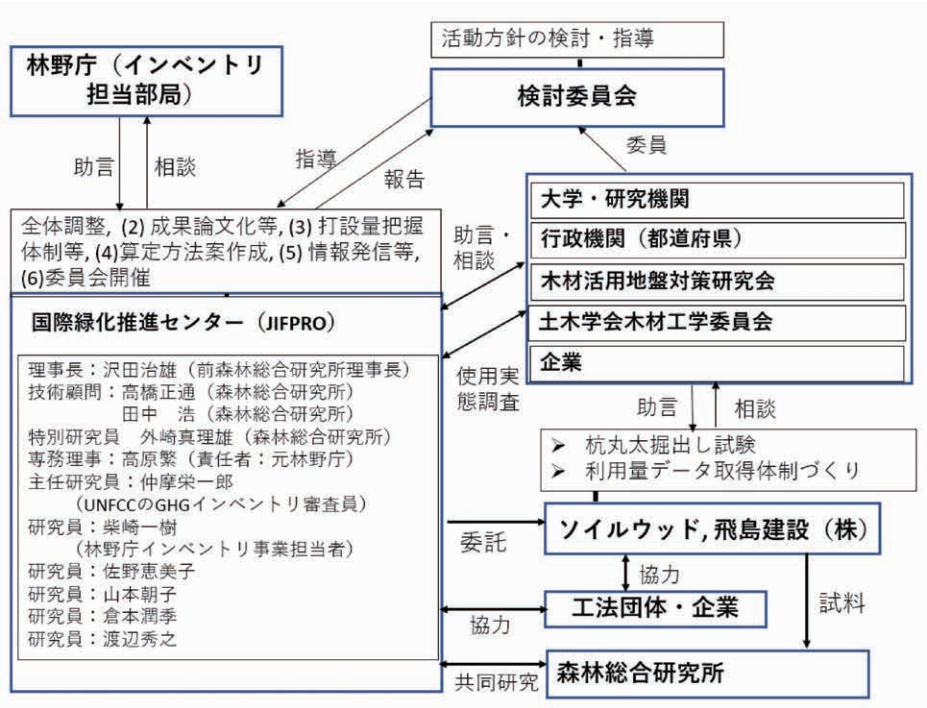
地中利用木材（杭丸太）の炭素蓄積効果及び地球温暖化防止に果たす意義、地中利用木材の工法に関する発表や議論を通じ地中利用木材の利用拡大を図るため、土木学会と連携して「第１回木材地中利用シンポジウム　～炭素の地中貯蔵効果について考える～」を、2025年１月20日（月）に開催し、情報発信や情報交換を行った。

実施体制

■検討委員会　（敬称略、50音順）

天野	正博（座長）	早稲田大学大学院名誉教授
加用	千裕	東京農工大学農学研究院教授
服部	順昭	東京農工大学名誉教授
沼田	淳紀	高知大学客員教授

■実施体制



実施した結果

1．軟弱地盤強化のために実際に施工された杭丸太の掘り出し試験

福井県小浜市に所在する西津橋の橋脚及び橋台基礎杭丸太の概要は次のとおり（写真1）。

① 橋完成年：1938年（86年前）
② 掘出し場所：福井県小浜市西津橋
③ 掘出し期間：2023年（橋脚）、2024年（橋台）
④ 使用樹種：マツ属丸太（森林総合研究所の鑑定による。アカマツと考えられる。）

写真１　福井県小浜市橋台基礎杭丸太

ア．土質

P２橋脚基礎杭丸太の地盤柱状図は図１の通りである（注：「P2」は橋脚の番号を示す）。

P２橋脚基礎杭丸太は、常に地下水以深であり、杭頭部1m程度は砂層に位置しており、それ以深の大部分は透水性の低いシルト層に位置していた。

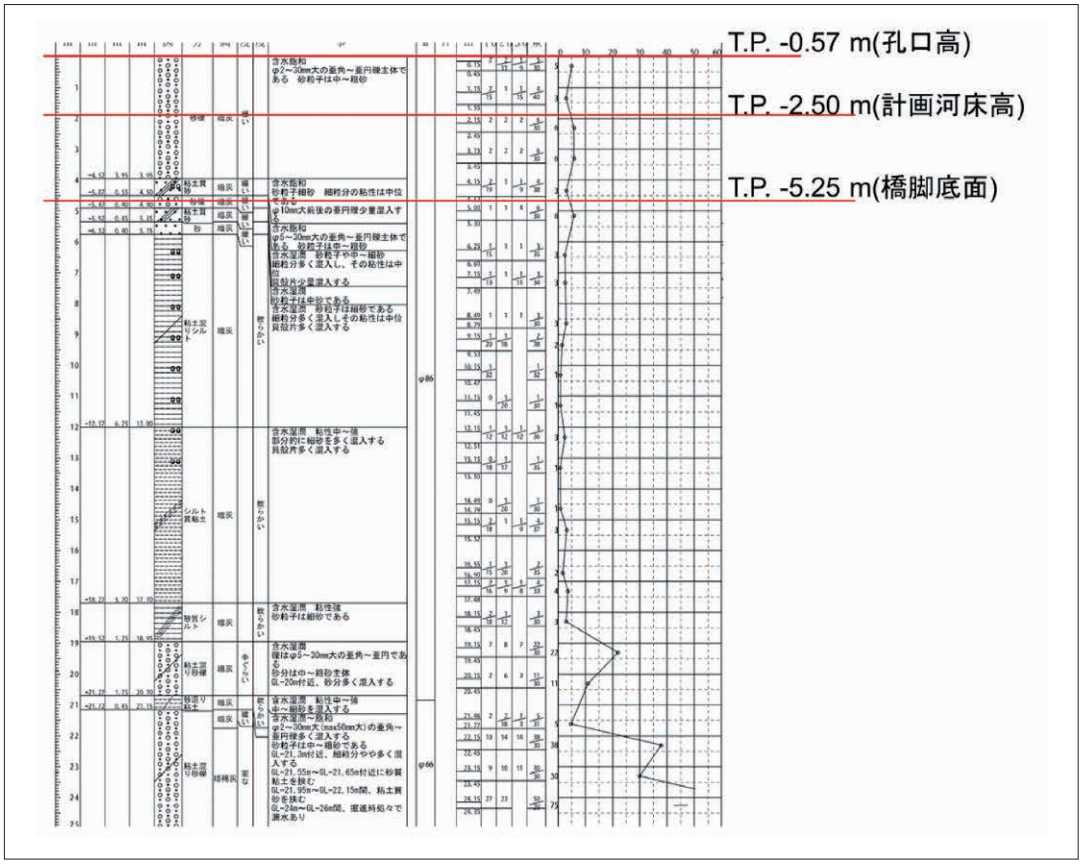


図１　小浜市P2橋脚における柱状地盤図

一方、A2橋台基礎杭丸太は、現状では地下水以深にあるが、過去に一時的に地下水位以浅になった可能性があり、砂または礫層に位置していた（注：「A2」は橋台の番号を示す）。

イ．目視による被害度評価

Ｐ２橋脚基礎杭丸太もA2橋台基礎杭丸太も、目視による被害度判定では健全であった。

ウ．ピロディン貫入試験（図２）

深度別ピロディン貫入試験結果は、P2橋脚基礎杭丸太では、貫入量は全体的に小さく、杭頭付近がやや大きくなる傾向があった。一方、A2橋台丸太では、全体的にP2橋脚丸太よりも貫入量がやや大きい傾向があった。また、深度が浅くなるに従い、貫入量はやや大きくなる傾向があった。

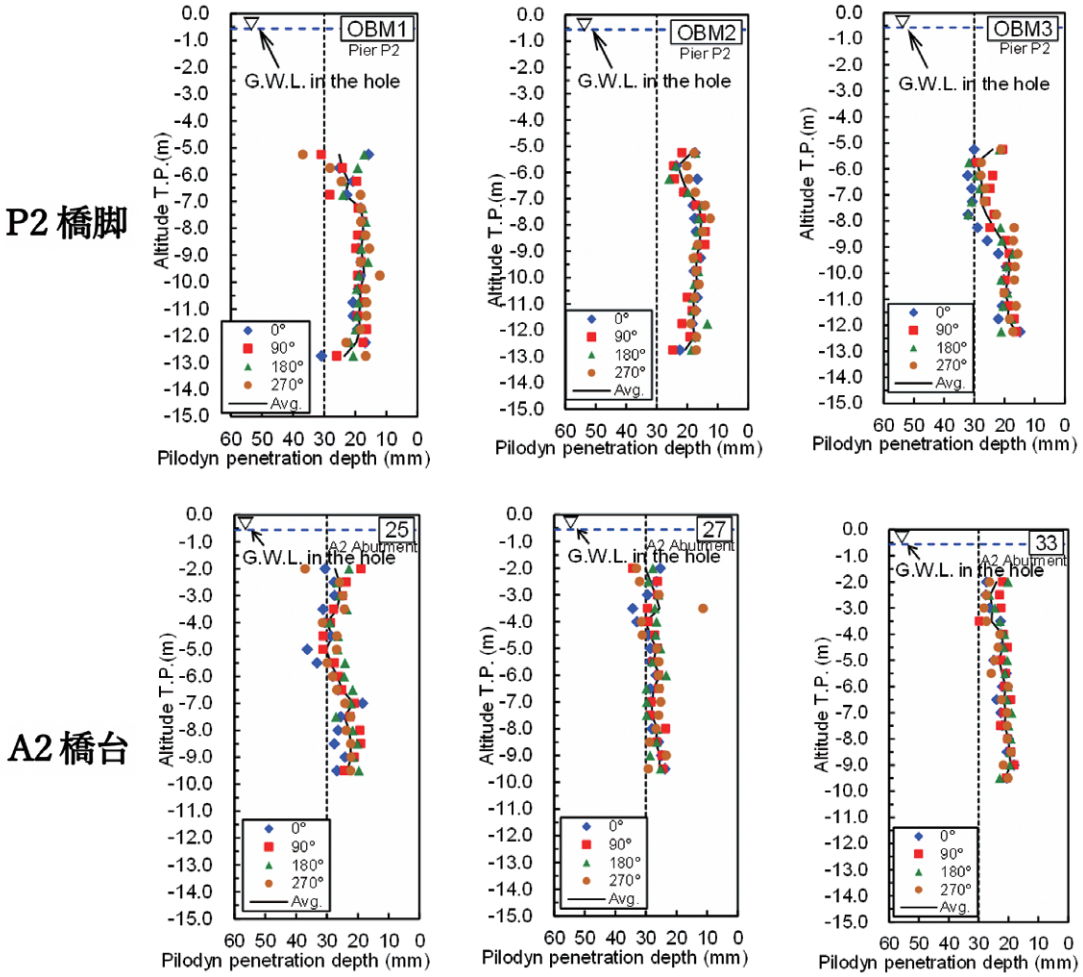


図２　小浜市杭丸太のピロディン貫入試験結果

エ．縦圧縮強度試験結果（図３）

短柱の深度別縦圧縮強度試験結果では、P2橋脚基礎杭丸太では、全体的にアカマツの本来の強度を維持していた。A2橋台基礎杭丸太では、深度方向の変化はいずれの丸太も少なかったが、27番丸太では、アカマツ本来の強度より小さかった。27番丸太以外の丸太では、アカマツ本来の強度を有していた。

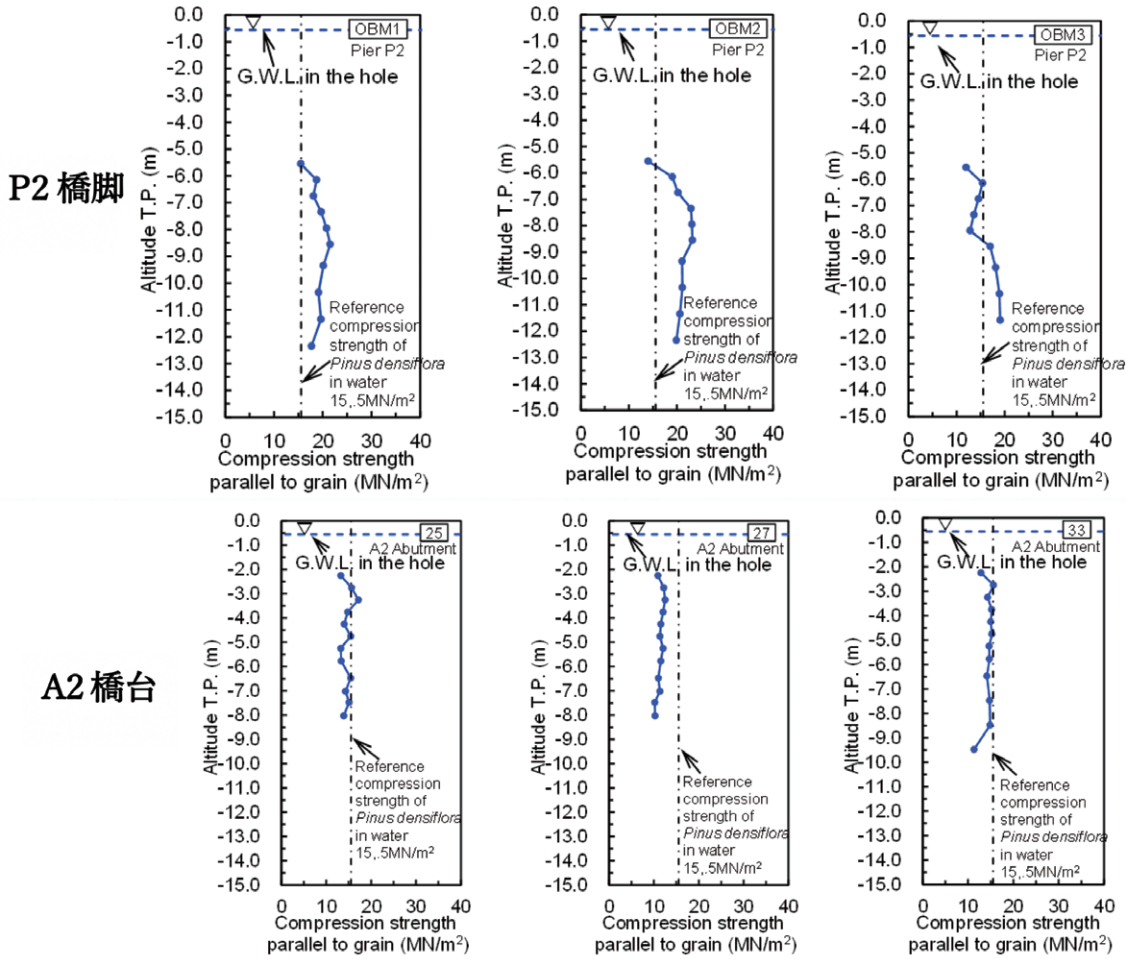


図３　小浜市杭丸太の縦圧縮強度試験結果

オ．容積密度測定結果（図４）

短柱の深度別容積密度の測定結果について、P2 橋脚基礎杭丸太では深度方向の変化は極めて少なく、アカマツの容積密度の標準値とほぼ一致していた。

A2 橋台基礎杭丸太においても容積密度の深度方向の変化は極めて少なかった。27 番丸太を除きアカマツの容積密度の標準値とほぼ一致していた。27 番丸太はアカマツ標準値よりやや低かったが、深度方向の変化が小さいので、劣化によるものではなく個体のバラツキによる可能性が高い。

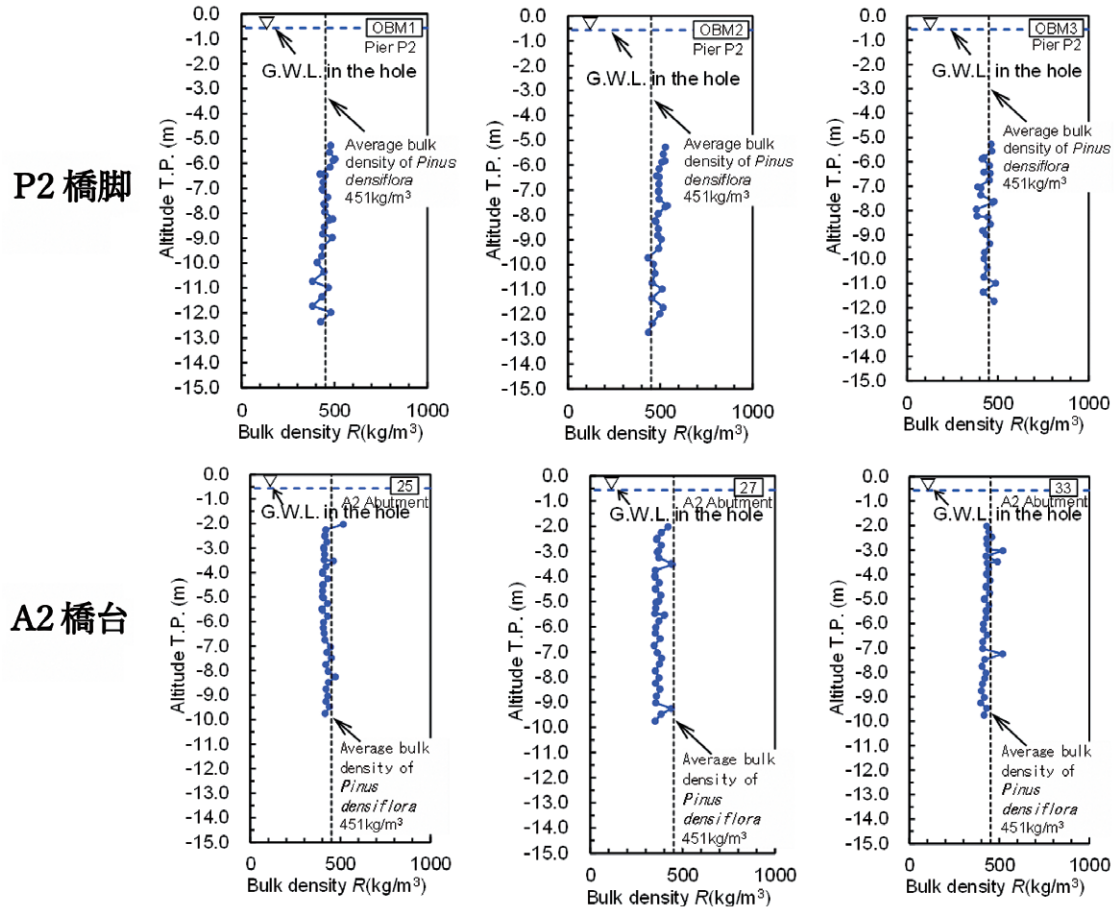


図４　小浜市杭丸太の容積密度測定結果

カ．質量減少の半減期分析

短柱の容積密度分析結果に基づき、アカマツの容積密度標準値との比較により、質量減少の半減期を分析した。

P2 橋脚基礎の丸太全体（1 本分）の質量減少半減期は、OBM1 丸太が 7,516 年、OBM2 丸太が ∞（劣化なし）、OBM3 丸太が 2,159 年であり、短柱ごとの半減期で見ると最低値は 359 年であった。P2 橋脚は、全体が地下水位以深にあったと考えられ、このような状況下での丸太全体の半減期は 1,000 年以上の長い半減期となっており、半永久的に炭素を貯蔵すると言える。

A2 橋台基礎の丸太全体の質量減少半減期は、25 番丸太が 1,044 年、27 番丸太が 313 年、33 番丸太は 1,283 年であり、短柱ごとの半減期で見ると最低値は 226 年であった。P2 橋脚基礎杭丸太に比べ半減期が短いのは、A2 橋台基礎杭丸太が一時的に地下水以浅であったことが原因となっている可能性がある。一方、27 番丸太の半減期が小さいのは、前述したように個体のバラツキの可能性が高い。

2．軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の小ブロック試験

軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の小ブロック試験として、

① 福井県小浜市に所在する西津橋の 86 年前に設置された橋台基礎杭丸太

② 東京都港区の高浜橋の 68 年前に設置された橋脚基礎杭丸太

の異なった深度から円盤を採取し、小ブロック試験を行った。各杭丸太の打設後の経過年、樹種、杭長、試験片採取深度を表 1 に示す。

表１　小ブロック試験のための杭丸太に関する諸データ

	打設年	経過年	打設目的	樹種鑑定	杭長	試験片採取深度（杭頭からの距離）（cm）		
						3 杭頭付近	2 中央部	1 先端部
小浜市西津橋	1938年以前	86年以上	橋台基礎	マツ属（アカマツと思われる）	8m	38-107	244-362	605-720
港区高浜橋	1956年以前	68年以上	橋脚基礎	カラマツ属（カラマツと思われる）	8.5m 8.9m	50-70	400-470	660-680 820-840

また、異なった深さから採取した円盤から図５に示すように放射方向に圧縮試験体と割裂容積密度試験体を採取した。

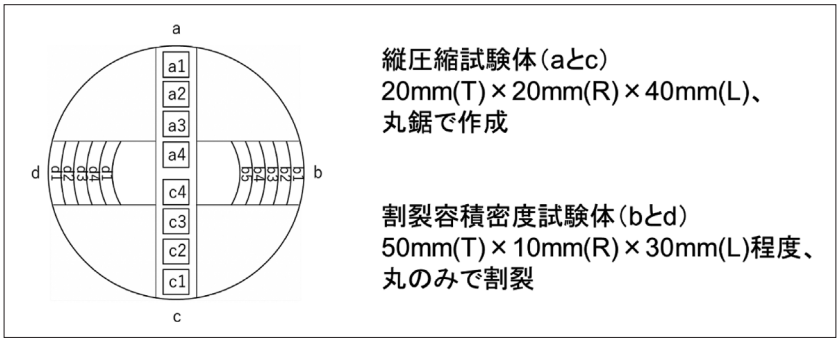


図５　円盤からの小ブロック試験体採取方法

以下に各丸太ごとの試験結果を示す。

（１）86年前に設置した橋台基礎杭丸太（福井県小浜市西津橋）

小浜市西津橋の橋台基礎杭丸太については、３カ所の深度から試験片を採取した。各深度における丸太断面の状況の例を図６に示す。

小ブロック試験体の容積密度（表２）について、割裂小試験片の結果からは杭上部、中央部とも最外層が質量減少している可能性が示唆された。圧縮小試験片の結果からは、容積密度の低下は認められなかったが、杭上部では強度低下が認められ、劣化が起こっている可能性が示唆された。

表２　小浜市橋台丸太の小試験体試験結果

割裂小試験片容積密度比						
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3	最外層-4	最外層-5
2/1	0.941	1.022	1.039	1.022	1.037	1.004
3/1	0.922	1.013	1.081	1.108	1.072	1.125

圧縮小試験片容積密度比				
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
2/1	1.021	1.068	0.990	0.973
3/1	1.037	1.135	1.069	1.076

圧縮小試験片強度比				
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
2/1	0.993	1.152	0.989	1.024
3/1	0.926	1.261	1.169	1.278

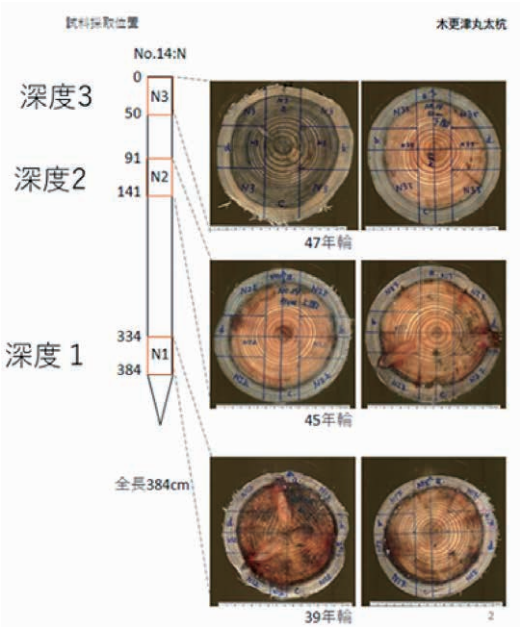


図６　小浜市杭丸太からの円盤採取例

（2）68年前に設置した橋脚基礎杭丸太（東京都港区高浜橋）

東京都港区高浜橋の橋脚基礎杭丸太については、３カ所の深度から試験片を採取した。各深度における丸太断面の状況の例を図７に示す。

小ブロック試験体の容積密度（表３）について、割裂小試験片の結果からは杭上部で最外層-2まで容積密度が低下している可能性が示唆された。また、圧縮小試験片の結果からは、すべての深度で最外層において容積密度、圧縮強度とも低下している可能性が示唆された。このことから水飽和状態でも木材腐朽菌以外によって何等かの劣化が起こっている可能性もある。ただし、この杭丸太は物理的にもかなり損傷を受けていたのでその影響を受けた可能性も否定できない。

表３　港区橋脚丸太の小試験体試験結果

割裂小試験片容積密度(kg/m3)							
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3	最外層-4	最外層-5	最外層-6
3	351	379	394	425	429	411	393
2	371	363	367	407	424	411	395
1	376	368	360	410	410	403	360

圧縮小試験片容積密度(kg/m3)				
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
3	391	453	439	411
2	364	438	428	406
1	373	422	409	374

圧縮小試験片強度(N/mm2)				
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
3	15.81	23.86	22.74	20.83
2	14.43	20.71	20.86	19.86
1	14.83	19.16	20.01	17.02

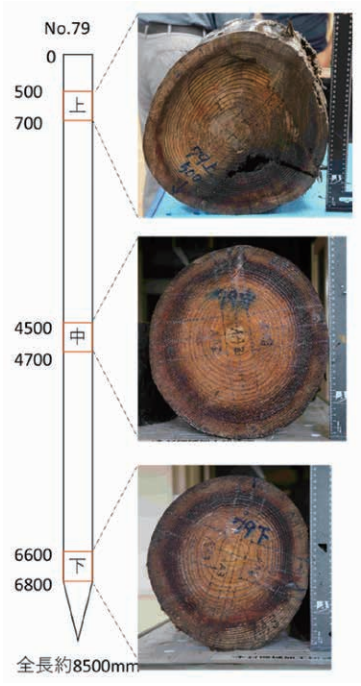


図７　港区杭丸太からの円盤採取例

３．杭丸太使用実態調査

本調査は、昨年度調査に引き続き、杭丸太の炭素蓄積量を国家インベントリ報告として気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局に報告するための丸太使用量の把握等のための調査として、環境パイル工法、LP-LiC/LP-SoC工法、QPパイル工法、パイルネット工法を対象に下記の調査を行った。また、推計値であったものについて実績値の把握を行った。

（1）杭丸太４工法別の施工実績・丸太使用量の把握

（2）丸太使用量実績に基づく炭素固定量の推計

さらに、杭丸太の引き抜き実態の把握、特に、建築物解体等に伴う杭丸太の取扱いについて関係団体からの聞き取りや文献調査を実施した。

（1）調査対象４工法の施工実績・杭丸太使用量

調査対象４工法の施工実績及び杭丸太使用量の推移を図８に示す。

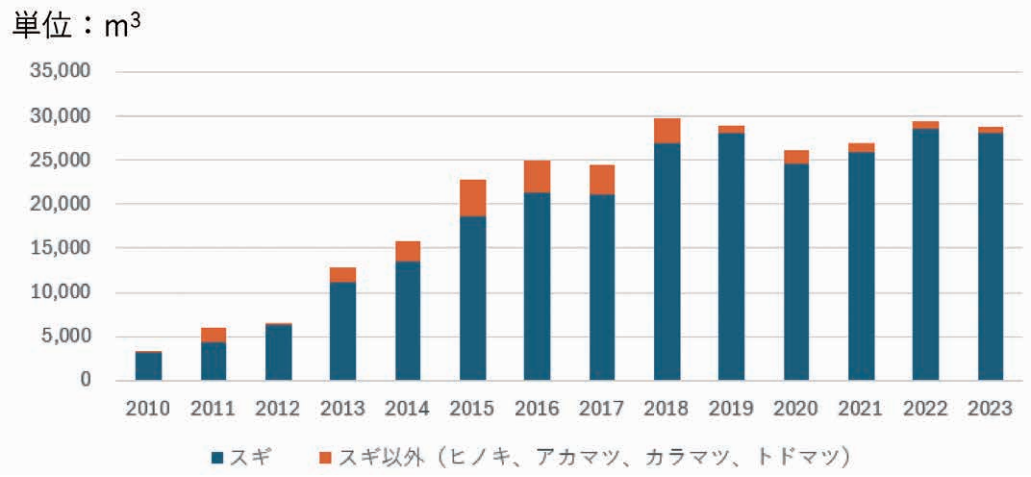


図８　調査対象４工法の木材（丸太）使用量の推移

（2）杭丸太使用実績に基づく炭素固定量計算

前項の杭丸太使用実績に基づき、次項に示す地中利用木材の算定方法案に従い炭素固定量（吸排出量）の計算を行った（表４）。

表４　調査対象４工法のCO_2固定量の推移とHWPへの寄与

		単位	2010年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
地中利用木材利用量		㎥	3,290	6,095	6,607	12,889	15,874	22,717	24,970	24,466	29,816	28,914	26,090	26,997	29,428	28,781
炭素蓄積変化量	地中利用木材	ton-CO2	1,931	3,779	3,899	7,837	9,821	14,090	15,466	15,000	17,961	16,978	15,493	15,945	17,338	16,947
	HWP全体	万ton-CO2	40	-166	46	23	86	107	131	155	165	160	101	205	182	155
	地中利用木材寄与度	%	0.48	-0.23	0.85	3.34	1.14	1.32	1.18	0.97	1.09	1.06	1.53	0.78	0.95	1.09

（3）杭丸太の引き抜き実態の把握

杭丸太については、建築物建て替えの際に引き抜きが発生する可能性がある。引き抜かれた杭丸太は、排出となるので、インベントリ報告上引き抜き量を把握することがあることから、昨年度に引き続き調査を実施したところ、次の知見を得た。

ア．建築確認申請上の既存杭の取扱い

建築確認申請の際の既存杭の取扱いについて建築確認審査を行っている団体に聞き取りを行ったところ、次のとおりであった。

- 現状では、地中の既存杭の取扱いは建築確認の報告対象とはなっていない。
- 比較的簡易な建築（２階建て以下の木造、木造以外の平屋建築）は、４号特例により、建築士の責任で施工可能であり、建築確認審査には回ってこない。
- 既存杭を建築物基礎として再利用する場合には、建築確認審査の対象となるものがある。ただし、これまで木杭を審査した事例はない。
- 実態として、既存杭は、①新設建物の建築に強度上の支障がないことが検証できれば、再利用、②新設建物の建築に支障のある場合は引き抜き、③支障がなければ残置の可能性が高い。

イ．既存杭を存置する場合の取扱い

令和３年環境省通知により、既存杭を存置する場合の条件（ただし戸建て住宅除く）が明確化されている。

- 存置することで生活環境保全上の支障が生ずる恐れがない。
- 対象物は「既存杭」「基礎地下躯体」「山留め壁等」のいずれか。
- 再利用する、地盤の健全性・安全性を維持する、または撤去した場合の周辺環境への悪影響を防止するために存置するものであり、老朽化を主な理由とするものでない。
- 関連事業者及び土地所有者は、存置に関する記録を残し、既存杭を適切に管理し、土地売却時には売却先に記録を開示し、引き渡す。

ウ．建物の建て替えの際の既存杭の存置・撤去

建物の建て替えの際の既存杭の撤去の割合について、文献に示された調査結果に基づき、表５のうち木杭の可能性のある「D既製杭（その他）」、「F その他」について試算すると次のとおりであった。

＜建築物建て替えの際の既存杭の引き抜き率＞

$$\text{引き抜き率：}\ \{\{(3+1)+(37+7)/2\}/(43+9)=0.5$$

上記試算において、一部存置の場合、一般的には新設杭の支障になる杭のみ引き抜くと考えられるが保守的に見て50%を引き抜くと仮定した。

表５　新築計画段階での既存杭の存置・撤去

杭種類	①全本数存置	②全撤去埋戻完了	③一部存置杭あり	④存在しない予定	合計
A:場所打ちコンクリート杭	4	3	20		27
B:既製杭(PC　PHC)	17	18	3		38
C:既製杭(RC)	0	5	0		5
D:既製杭(その他)	3	3	37		43
E:ペデスタル杭	0	1	0		1
F:その他	1	1	7		9
G:不明	1	7	3	6	17
合計	26	38	70	6	140

出典：総合土木研究所「既存杭の撤去・埋め戻しの方法とその影響を
を受ける新設杭の設計・施工」

4．温室効果ガス・インベントリ報告での地中利用木材の算定方法の提案

過年度及び本年度の掘出し試験や使用実態調査の結果に基づき、今後日本政府が気候変動枠組条約事務局に毎年提出している温室効果ガス・インベントリ報告において地中利用木材（杭丸太）の炭素固定量（吸排出量）を報告するための算定方法案を作成・提案した。

具体的には以下のとおりである。

（1）建築用特定工法

建築用工法であって、仕様により地下水位下での利用が規定されているか、防腐処理、トップコンクリートや被覆土による杭頭の保護などにより腐朽・劣化を防止する工法については、永久貯留とし、引き抜き量をアウトフローとして排出とカウントする（図9）。

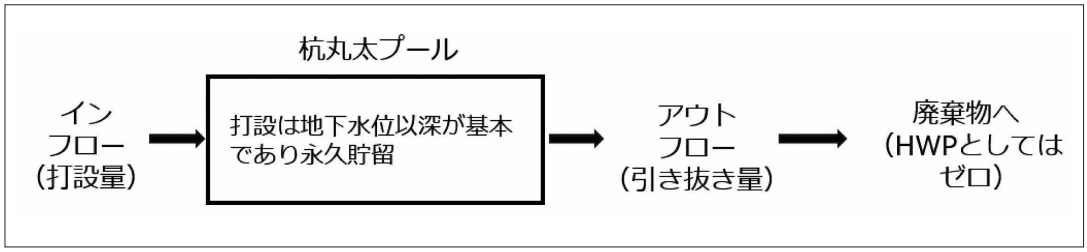


図９　建築用特定工法のインベントリ算定方法概念図

建築用特定工法の、毎年の杭丸太プール炭素蓄積変化量算定式は次のとおり。

$$\Delta Pile_i = Inflow_i - Outflow_i$$

ここで、　$\Delta Pile_i$：　i年の杭丸太プール炭素蓄積変化量（CO_2トン）
$Inflow_i$：　i年の杭丸太打設量（CO_2トン）
$Outflow_i$：　i年の杭丸太引き抜き量（CO_2トン）

（2）土木用特定工法

土木用工法であって、盛土への打設など、杭頭部が地下水位より上にある場合があり得る工法では、永久貯留部分と、分解による質量減少部分に分けて算定する（図10）。

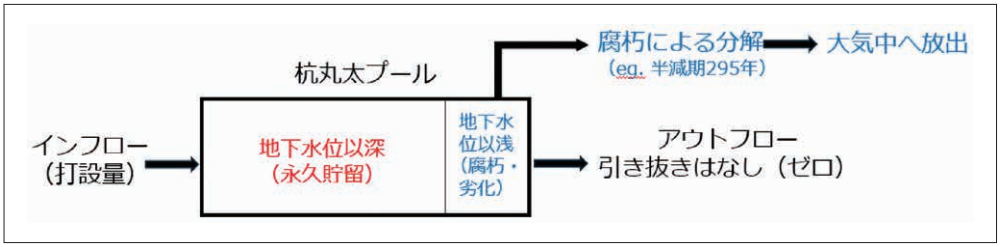


図10　土木用特定工法のインベントリ算定方法概念図

ここで、インフロー（打設量）は、年毎に樹種別の打設量（m^3）、樹種別の容積密度、炭素含有率から計算する。

アウトフロー（引き抜き量）は、土木用特定工法の場合、建築物を対象としていないことや、実態調査からも引き抜き事例は極めて限定されており、ゼロとする。

5．これまでの成果の学術誌への投稿

令和３年度補正事業の結果のうち、東京都大田区の建築物基礎として打設後85年経過した杭丸太の掘り出し試験の結果について、「土木学会論文集」（Journal of JSCE）に下記のとおり英文投稿を行った（採択決定）。

Numata A., T. Murata, M. Tonosaki, M., S. Takahara, K. Yamashita, Y. Kubojima：Degree of Deterioration of Log Piles Buried in the Tama River Lowland more than 84 Years Ago, Journal of JSCE（採択決定）

6．木材の地中利用を推進するための協会設立に向けた活動

木材の地中利用の活用を推進することで、気候変動対策や、持続的な森林経営、安全・安心な社会の構築に資するため、「一般社団法人　日本木材地中活用推進協会　～地中の森が作る安心･安全社会～」（仮称）の設立準備を行った。

本協会の活動内容として、関係団体等とも連携しつつ

① 木材地中利用による木材の貯蔵量等の把握と管理
② 木材地中利用に関する関連政策の提言
③ 木材地中利用技術に関する調査・研究・開発
④ 木材の地中利用に関する基準やガイドラインの整備、広報活動の実施
⑤ 木材の地中利用、森林や環境、地盤対策等に関する教育活動

等を想定している。

7．情報交換・情報発信

地中利用木材の炭素蓄積効果及び地球温暖化防止に果たす意義、地中利用木材の工法の取組に関する発表や議論を通じ、地中利用木材の利用拡大を図るため、土木学会と連携して「第１回木材地中利用シンポジウム　～炭素の地中貯蔵効果について考える～」を、2025年１月20日（月）に下記のとおり開催し、情報発信や情報交換を行った。

主催：　（公社）土木学会 木材工学委員会 地中使用木材の耐久性と耐震性研究小委員会木材地中利用シンポジウム実行委員会
（公財）国際緑化推進センター

後援：　林野庁，（一社）日本森林学会，（一社）日本木材学会，（一社）日本建築学会，
（公社）地盤工学会，（一社）地盤品質判定士会，（一社）GLOSS 研究会，
（一社）地域国土強靭化研究所，土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，
木材利用システム研究会

日時：　2025 年１月20 日（月）13:00～17:10

場所：　土木学会講堂（WEB 併用）

参加者：　会場、WEB 併せて約500名

プログラム：実行委員長挨拶　沼田淳紀（木材地中利用シンポジウム実行委員会委員長／ソイルウッド 代表）

Ⅰ．木材地中利用の政策と現状

- 木材利用による炭素貯蔵効果の国際的な評価と施策
  中村誠（林野庁木材産業課 課長補佐）
- 気候変動枠組み条約の下での温室効果ガス・インベントリ報告
  －伐採木材製品(HWP)への杭丸太の算入に向けて－
  田中浩（(公財）国際緑化推進センター 技術顧問）

Ⅱ．木材地中利用の炭素貯蔵効果の検証事例

- 100 年以上前に打設された東京駅の木杭の事例
  水野弘二（東日本旅客鉄道(株) 主務）
- 84年以上大田区の低地でRC構造物を支えた木杭の事例
  外崎真理雄（元森林総合研究所四国支所長）
- 旧丸ビルを支えたベイマツの木杭
  加藤英雄（森林総合研究所 主任研究員）
- 近年軟弱地盤対策として打設した丸太の事例
  沼田淳紀（ソイルウッド 代表）

Ⅲ．木材の地中利用工法の具体例

- パイルネット工法－木杭を使用した地盤補強工法－
  池田浩明（昭和マテリアル(株) 課長）
- ＱＰパイル工法－木材による地盤補強工法－
  森山俊祐（(株)九州パイリング 課長）
- LP-LiC・LP-SoC 工法
  村田拓海（飛島建設(株) 副主任）
- バイオマス CP 工法
  渡辺英次（(株)不動テトラ 副部長）

総括と閉会挨拶 高原繁（(公財)国際緑化推進センター 専務理事）

今後の課題・展開等

地中利用木材（杭丸太）に関する本年度の調査では、昨年度に引き続き、建築物等の基礎や軟弱地盤改良のための一般的な施工条件の下で打設された杭丸太の掘り出し試験を行ったほか、杭丸太使用量の把握、インベントリ報告のための算定方法案作成、地中利用木材の利用推進体制の構築や情報発信を行った。

これらを踏まえ、今後の展開・課題として次のことを予定している。

- これまでの成果を踏まえた温室効果ガス・インベントリ報告のための地中利用木材の炭素固定量算定方法の承認とインベントリ報告への組み入れ
- 実際の施工条件下で埋設された地中利用木材のさらなる掘出し試験による知見の集積
- 地中利用木材の使用量把握や木材地中活用の推進のための体制構築

事業

中高層木造建築物における内装木質化促進等検討事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 木のいえ一番協会

〒150-0033　東京都渋谷区猿楽町10-1 マンサード代官山6F

事業目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、製造時のエネルギー消費利用が少なく、大量の炭素を長期間貯蔵する建築分野における木材利用の拡大を図る必要があり、木材利用推進のための建築基準の合理化やCLT・防耐火大断面集成材などの技術開発も進んでいる。

また、SDGsやESG投資、ウェルビーイング等を重視する施主の増加等を背景に都市部を中心に木造化・木質化を重視する中高層木造建築物が増加している。

中高層木造建築物では、建築基準法令等の規定により、壁、天井等に木材を使用する上で様々な制限が課されており、内装制限の適用、対応方法、工夫が行われており、これらの情報を収集し普及していくことは、今後の中高層木造建築物において、内装木質化の促進に資するものとなる。

また、国土交通大臣の個別認定を受けた木質防火材料も年々増加し、木材製品製造業者に加え、多様な業種の多数の事業者が認定を受けている一方で、実際の製品の流通量は少なく、建築業界が木質防火材料を調達する上で情報が少ない実態にある。

このため、本事業では、木質防火材料の生産・流通の実態等を把握し、現状や課題等を整理し、建築業界と木質防火材料供給事業者との内装木質化に係る情報共有のプラットフォーム化を促し、国産材の需要拡大に資することを目的とする。

実施した項目

1. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査
2. 内装木質防火材料供給に係る実態調査
3. 中高層木造建築物における内装木質化促進に向けての課題等の検討

実施体制

本事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等の専門家による中高層木造建築物における内装木質化促進等検討委員会を設置し、事業を推進した。

また、内装木質防火材料供給に係る実態調査の調査内容等について、防耐火、木質防火材料製造、内装材利用等に関係する委員によるワーキンググループ（WG）を設置し、具体的な検討を行った。

委員長	大橋　好光*	（東京都市大学名誉教授・(一社)木を活かす建築推進協議会　理事長）
委　員	原田　寿郎*	（森林総合研究所　木材改質研究領域　研究専門員）
	上川　大輔*	（森林総合研究所　木材改質研究領域　防耐火担当チーム長・(公社）日本木材保存協会　木質材料の難燃化等検討部会長）
	槌本　敬大	（建築研究所　材料研究グループ長）
	野秋　正希*	（建築研究所　防火研究グループ　主任研究員）
	大倉　靖彦	（(株）アルセッド建築研究所　代表取締役副所長）
	山口　克己	（(株）アルセッド建築研究所　統括）

	片桐　芳男*	（(公社）日本木材保存協会　常務理事　事務局長）
	山口　秋生*	（日本木材防腐工業組合　技術委員長・ 越井木材工業（株）　技術開発室長）
	井上順一郎*	（インプラスデザイン(IN+DESIGN)　主宰・ (一社）日本インテリアプランナー協会　東京　事務局長）
	池田　　均*	((一社)木のいえ一番協会　技術開発委員長・ (株）アールシーコア BESS 事業本部　商品開発部）
オブザーバー	松田　　涼	（林野庁　木材産業課　住宅資材技術係長）
	平原　章雄	（木構造振興（株）　常務取締役）
事務局	安永　正治*	((一社）木のいえ一番協会　専務理事）

※注）氏名右肩の＊は、内装木質防火材料供給に係る実態調査WGの検討メンバー

実施した内容

1. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査

「中大規模木造建築物データベース」や「サステナブル建築物等先導事業（木造先導型）事業報告書」等により、内装木質化されている中高層木造建築物で前年度に調査した物件を除く候補物件リスト（13件）を作成し、第１回検討委員会に諮った。

その後、各物件の建築主に対し、建築主のWebサイトの相談窓口及び協力要請文書の送付により調査への協力を依頼し、９物件の応諾が得られた。

応諾いただいた企業に対し、①建物の物件情報（物件の名称、所在地、竣工（予定）年、用途、構造、階数、延べ床面積等）、②内装木質化情報（木質化した場所の用途・階、部位、材料・仕上げ、内装制限の適用・対応方法等）等のヒアリングシートを作成・送付し、事前に記載・提出いただいた上で、８月～12月にかけて面談（一部Web会議）によるヒアリングを行った。

なお、ヒアリングシートの作成及びヒアリングに際し、設計・施工上の工夫等について適確な情報が得られるよう、設計者、施工者の参画を要請した。

2. 内装木質防火材料供給に係る実態調査

内装木質防火材料供給に係る実態調査の対象事業者、項目、内容、調査方法等について実態調査WGを設置し、具体的な事業内容を検討した。

(1) 実態調査WGの検討内容

①第１回実態調査WG

・調査対象企業の選定方法、プレ調査の実施等について

②第２回実態調査WG

・プレ調査の実施結果、調査対象企業の選定、調査内容の決定等

(2) 実態調査の実施内容

国土交通大臣の防火材料認定品目リストから、内装木質防火材料を抽出し、木質不燃材料、木質準不燃材料、木質難燃材料の区分のそれぞれから、認定品目数が多く近年新たな認定も取得している木質防火材料を製造している企業を、不燃材料で４社、準不燃材料で４社、難燃材料で２社の計10社を抽出し、各企業のWebサイトの相談窓口及び協力要請文書の送付により調査への協力を依頼した。また、木質防火材料関係団体からも調査協力をお願いした。

実態調査WGの指摘を踏まえ、木質防火材料製造企業のほか、木質防火材料製造に使用する薬剤を供給する企業及び木質防火材料の流通を取り扱う企業に対して協力を依頼した。

この結果、木質防火材料製造企業６社、薬剤供給企業１社、木質防火材料流通企業１社の応諾が得られた。

応諾いただいた企業に対し、①企業の事業概要、②内装木質防火材料の供給実態、③認定区分の

作り分け、④内装木質防火材料の用途、⑤木質防火材料の課題（技術面、維持管理、コスト、原材料、マーケット、法規制等）等について質問する調査票を作成・送付し、事前に記載・提出いただいた上で、8月～11月にかけて面談（一部Web会議）によるヒアリングを行った。

実施した結果

1．中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査

ヒアリング対象建築物の概要は表1のとおりである。

利用者のウェルビーイングの向上や環境貢献を意図して、中高層建築物であるものの、木造とS造またはRC造との混構造及び純木造への積極的な取り組みが行われ、同時に木質化の実現がはかられている。内装木質化については、用途による特徴はあるものの、総じてみると、①内装制限の適用を緩和する手法、②木質系の耐火構造部材の表面木材等の室内現わし、③内装制限に対応した木質防火材料等の採用、といった多面的な工夫が講じられることにより、その実現に至っている。

その他に、木質系の中高層建築の社会認知度を高めることの意識の現れとして、外観からの木質構造部材の視認性向上、外装仕上げ材への木材・木質材料の採用、といった取り組みもみられる。

表1　ヒアリング対象建築物の概要

用途	件数	構造	地上階数								
			4	5	6	7	8	…	12	…	18
事務所・店舗等	3	混構造（S造＋木造）					1		1		1
駅舎・店舗	1	混構造（RC造＋木造）	1								
寄宿舎	2	混構造（RC造＋木造）					1				
		純木造		1							
共同住宅	3	混構造（RC造＋木造）		2		1					
計	9		1	3	0	1	2		1		1

以降では、ヒアリングで確認された内装木質化等の取り組みの例を掲げる。

(1) 内装制限の適用を緩和する手法

①防火設備等により100㎡以下（共同住宅の住戸では200㎡以下）に区画された部分の壁、天井の木質化（令第128条の5関連）

写真1　防火設備等により区画された共同住宅の住戸の天井の木質化

②スプリンクラー設備等と排煙設備を設置した建築物の部分の壁、天井の木質化（R2国交告第251号四号関連）

写真２　スプリンクラー設備と排煙設備を設置した事務所の天井等の木質化

③避難安全検証法により安全性を検証した部分の壁、天井の木質化（令第128条の6、令第129条、令第129条の２関連）

図１　避難安全検証法による事務所のエントランスの壁、天井の木質化（イメージ）

（2）木質系の耐火構造部材の表面木材等の室内現わし

①個別認定の木質耐火構造部材（または耐火集成材）の表面木材の現わし使用

図２　耐火集成材（個別認定）の柱、梁の表面木材を現わしにした事務所（イメージ）

図３　木質耐火構造部材（個別認定）の梁の表面木材を現わしにした賃貸事務所（イメージ）

②RCスラブとCLTの合成床の採用による天井面のCLT現わし

写真３　RCスラブとCLTの合成床を採用し天井面をCLT現わしにした共同住宅・住戸

③RC造床に用いる木質系型枠材を天井材として現わし使用

写真４　RC造床に用いる木質系型枠材を天井材として現わし使用（寄宿舎・寮室）

④構造部材に個別認定の木質系耐火被覆材を施し現わしで使用

写真５　集成材の柱・梁にLVL耐火被覆材（個別認定）を施し現わしで使用

⑤鉛直荷重を負担させない計画とした木質系耐震壁の現わし使用

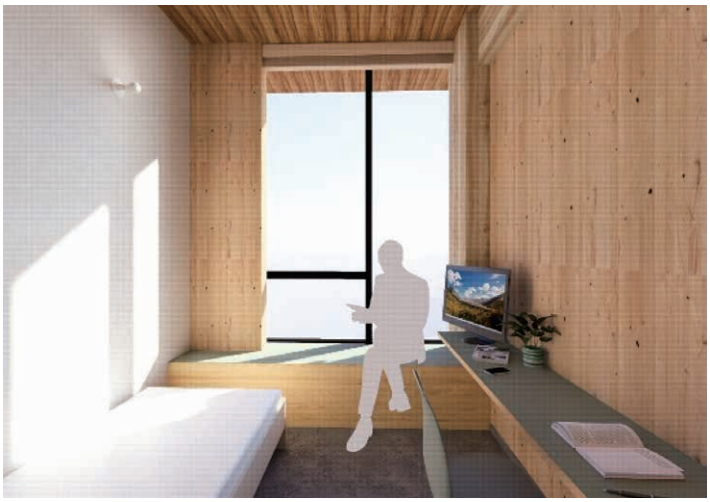


図４　鉛直荷重を負担させない計画としたCLT耐震壁の現わし使用（イメージ）

(3) 内装制限に対応した木質防火材料等の採用

①内装仕上げ材として木質防火材料（準不燃木材または不燃木材）を使用

図５　不燃木材を壁、天井に使用する共同住宅・エントランスホール（イメージ）

(4) その他

①外観からの内部木質構造部材の視認性の確保

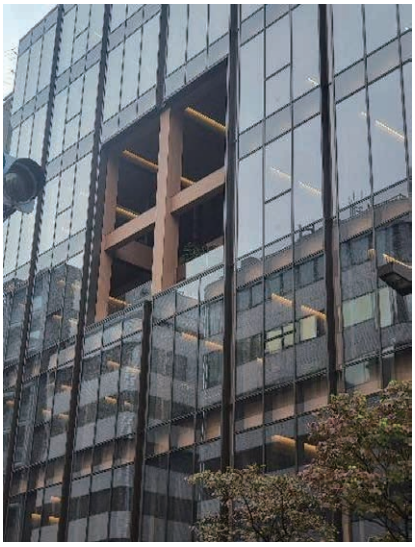


写真６　ガラスカーテンウォールを介して木質耐火構造部材を視認できる外観（事務所）

図６　ガラスカーテンウォールを介して木質耐火構造部材を視認できる外観（寄宿舎（イメージ））

②耐久性に配慮した外装仕上げ材への木材・木質材料の採用（雨がかりの少ない部位への使用、薬剤・塗装処理の配慮等）

写真７　CLTを建物屋上階の屋根庇に使用し軒裏面を現わし（事務所）

写真８　薬剤処理･塗装と部材構成等に配慮した木板張りの外壁（共同住宅）

2. 内装木質防火材料供給に係る実態調査

内装木質防火材料供給に係る実態調査から得られた結果は、以下のとおり。

(1) 内装木質防火材料供給企業の実態

今回の調査の対象とした木質防火材料製造企業、薬剤を供給する企業、木質防火材料流通企業を通じ、木質防火材料以外の製品を多く取り扱っており、事業における木質防火材料の割合は非常に低いものとなっている。

(2) 内装木質防火材料の供給実態

① 取引実態

既製品として流通している製品はほとんどない。

ほとんどの企業では、設計事務所・建設業者等からの注文を受けて製品を生産しており在庫品は持っていないが、一部の製造企業では羽目板等で標準的な寸法の製品を在庫として持っている。

受注は既存の取引業者、インターネットを通じた直接注文、設計業者のセミナー等を介した取引等で、設計業者等が広く木質防火材料の供給等について十分な情報が得られていないと思われる。

流通企業についても、設計事務所・建設業者等からの注文により製造企業に発注するため、製品を即納することは困難である。

② 納期

製造企業では、受注を受けてから木材調達、薬剤注入、乾燥仕上げ等を行い納品することから、各社とも60日から100日程度の期間を要する。

一般的には建設計画段階から発注され、内装工事までには期間があることから納品が可能であるが、木質防火材料の使用経験の浅い設計業者等や工期の短い商業用物件等の場合等において、納期の関係により敬遠され、他の材料への変更など受注機会を逃している事例が見られる。

また、施工中の工期短縮等に弾力的に対応することは困難である。

(3) 認定区分の作り分け

不燃材料、準不燃材料、難燃材料の区分は、基本的に薬剤の種類と薬剤注入量の多寡により決まることとなる。

製造企業では、設計者等の発注内容に応じて作り分けている。

白華（木質防火材料が高湿度の環境下に置かれた場合に、吸湿することにより注入された薬剤が材料表面に析出し白い粉が現れる現象）リスクの少ない薬剤を使用する企業では不燃材料をターゲットに生産している。

白華リスクや製造コスト、使用薬剤の性能等から準不燃を中心に生産している企業もあった。

(4) 内装木質防火材料の用途

現在の販売先の大半が公共用の建築物。用途は共同住宅、学校、保育所、店舗等で戸建て住宅等の利用はほとんどない。

使用される部位は、壁、天井、羽目板、ルーバー等となっている。

(5) 木質防火材料の課題

① 技術面

個々の木材ごとに辺材の割合や注入の難易度などの特性が異なるため、薬剤を注入した製品の品質を一定に保つ技術が必要。

木材が認定された初期の段階では白華・潮解のリスクがあったが、近年、薬剤の開発により白華しにくい製品も供給可能となった。しかしながら、施主、設計者、施工者等の忌避感が払拭されていない。

② 維持管理

(施工時)

建設現場での保管、管理が課題（雨天時等の高湿度、密閉空間、被覆、コンクリート打設後の水分蒸発等により白華する場合がある。）。

木質防火材料の切削・切断等の加工、指定外の塗装により本来の性能が発揮されないことが危惧される場合がある。

塗装系の製品は、塗装面の擦れ、傷、切削等により白華する場合がある。

(施工後)

空調（湿度管理）を適切に行わない場合、白華が発生することがある。

木質防火材料の切削・切断等の加工、指定外の塗装により本来の性能が発揮されないと危惧される場合がある。

据付･引き渡した後の製品管理が困難。特に高所取り付けのメンテメンテナンスは非常に困難。

③ コスト

白華しにくい薬剤は非常に高価であり、薬液注入時に加温が必要。

注入が容易で品質を安定させるため、辺材が多い無節の材を調達する必要がある。

不燃材料にするためには準不燃材料に比べ多量の薬剤を必要とする。

塗装系の防火材料では、多層の中塗り・薬剤塗布を重ねる必要がある。

薬剤価格、為替レート、燃料費、輸送費、人件費等が高騰している。

非木材の石膏ボードと圧倒的な価格差がある。

④ 原材料

原材料である木材に対する要求（大径材、辺材が多い、無節等）が高く、調達先や歩留まり等に苦労する。

輸入薬剤を使用する場合、産地国、輸送ルート、納期等のリスクがある。

地域材が奨励される場合、薬剤の注入が困難な樹種の場合がある。

⑤ マーケット

難燃や準不燃の木材が利用できる場合でも、コスト面から石膏ボード等非木質系の不燃材料が選択される。

準不燃で対応可能な部位についても高価な不燃材料が一律に使用されるなど合理的な使い分けがされていない。

木質防火材料の需要は増加していると思われるが、価格、納期、設計・施工の手間等から採用が見送られるケースがある。また、正確な需給に関するデータが存在しない。

公共工事や補助事業を前提としたマーケットになっているのでは。

木質防火材料が認知されていない（木材は燃えるものとの認識）。

⑥ 法規制等

大臣認定品から外れた仕様への変更が困難であり､多様な製品ニーズに対応することが難しい。新たな認定取得には、多大な時間やコストがかかる。

使用箇所ごとの内装制限に応じた材料（不燃、準不燃等）を合理的に使い分けることが望ましい。

今後の課題･展開等

1. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査

＜課題＞

①CLTやNLTなどの木質系パネル等の現わし使用が可能となるような耐火･準耐火構造の仕様の整備

②木材の現わし仕様を可能とする木質系耐火構造部材（2時間耐火以上）の一般仕様の整備

③木材の特性にかかる情報の充実化・普及（自然素材である木材の特徴、木材の利用による効果とそのエビデンス、環境貢献の定量評価とその見える化等）

④木材の経年変化に対する維持管理方法等の情報の整備・普及（ひび割れの補修、汚損部分の清掃、保護塗料の選択方法等）

⑤不燃処理木材の使用にかかるコストの抑制手法の検討・整理

⑥内装を木質化するテナントビルにおけるテナント対応に関する留意事項（テナント区画の設置、テナント工事等）の情報の整備・普及

＜今後の展開＞

①中高層木造建築物における内装木質化の実態等について、今回及び前年に取得した情報（計15事業者、22建築物の情報）の総合的な整理が必要

②事業者及び設計者等に向けた中高層木造建築物における内装木質化手法や留意点等の情報の整備及びその普及推進が必要

2. 内装木質防火材料供給に係る実態調査

＜課題＞

木質防火材料の課題については、「実施した結果」の２のとおり、取引実態、納期、防火材料の区分ごとの使い分け、製造技術、施工時や据付後の維持管理、コスト、マーケット等で様々な課題が提起された。

今後、中高層や非住宅の建築物の内装を促進するためにはこれらの課題解決に向けた取組が必要である。

＜今後の展開＞

①内装木質化の動向、内装木質防火材料やその調達等に関する情報提供

②内装木質防火材料の標準仕様の検討

③木質防火材料供給事業者と設計者・建築業者等間の情報提供、共有のあり方検討

④設計者・建築業者等に対する木質防火材料の特徴（納期、不燃・準不燃等の使い分け）等の普及

⑤白華等のリスクの更なる改善、注入が難しい樹種等に対する注入技術の開発

⑥施工業者に対する木質防火材料の特徴、材料の管理、施工時の留意点、施主に対する維持管理上の取扱に関する情報提供等の普及

⑦内装木質防火材料を使用した建築物の所有者・管理者に対する維持管理法の普及

⑧原料産地との連携強化、安定取引、調達先の多角化等によるコスト、調達リスクの軽減等。

⑨あえて内装木質化を推進する意義、メリットについての理解の醸成

事業

中大規模木造建築のための加工・施工技術普及検討事業

● 実施団体 ●

日本集成材工業協同組合

〒104-0031　東京都中央区京橋1-14-5　土屋ビル２階

事業目的

本事業は中大規模建築物や非住宅分野での木材利用の拡大に資するため、２つの目的を持って実施している。

第１の目的は、中大規模木造建築物の建築促進を図るため、講習を通じて接合部の加工・施工（＝現場での建方）等の担い手（技術者・技能者）の育成を図るとともに、講習修了者の公表を通じて、担い手及び担い手の所属する企業の「見える化」を図ることである。なお、講習テキストでは、鉄骨造を参考に精度基準を提示しており、講習修了者の活躍を通じてde facto standardとなることを期待している。

第２の目的は、大断面集成材の利用が進むよう、設計者向けに各種技術情報を提供することである。

実施した項目

１．検討委員会の開催等

検討委員会において事業計画を検討･決定し､それを受けてWG１（担い手の育成）及びWG２（設計支援）において、具体的な取組内容を検討した。

２．育成事業等の実施

WG1及びWG2の取組内容

（ア）担い手の育成（WG１）

- 講習テキストの改訂（第３版）（第２版は令和３年度に作成）
  - ✓国交省告示を踏まえた内容のアップデート
  - ✓全体の構成の見直しを実施（中大規模木造建築物の施工管理を木質構造部材の製作や現場施工に先立つものとして再整理）
- 修了試験の検討、修了試験の実施、修了者の公表等

（イ）設計支援（WG２）

- 集成材柱許容耐力表及び梁端部の接合部一覧表の作成
- 大断面スパン表と集成材柱許容耐力表を活用したモデルプランの検討資料の作成
- 上記の動画作成・配信

３．事業報告書の作成及び成果の普及

- 事業報告書は令和７年３月に作成予定
- 成果の普及は上記２．を参照

実施体制

●中大規模木造建築のための加工・施工技術普及検討委員会委員

（委員長）	五十田　博	京都大学生存圏研究所 生存圏開発創成研究系教授
	稲田　達夫	（一社）建築鉄骨構造技術者支援協会理事長 元福岡大学工学部建築学科教授
	青木　謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科　准教授
	秋野　卓生	匠総合法律事務所　代表社員弁護士
	村田　光司	日本木材加工技術協会　専務理事
	北村　俊夫	㈱木質構造計画ラボ　代表取締役
	麻生　直木	㈱安藤・間　建設本部　環境建築設計部
	井塚　　茂	ＳＭＢ建材㈱　木構造建設部　部長代理
	宮林　正幸	㈲ティー・イー・コンサルティング一級建築士事務所所長
	原田　浩司	ウッドストック代表
	菅谷　恭浩	ＴＳコンサルティング

＜敬称略＞

●WG１（担い手の育成）：

五十田（主査）、稲田、青木、秋野、村田、北村、麻生、井塚、宮林、原田、菅谷　＜敬称略＞

＜※中大規模木造建築加工施工技術検討委員会＞

（参考：修了証は※委員長（京都大学教授　五十田博）、日集協理事長（中島浩一郎）の連名で発行）

●WG２（設計支援）：

宮林（主査）、菅谷、北村　＜敬称略＞

実施した内容

１．検討委員会の開催等

- 検討委員会　２回開催
- WG１（担い手の育成）　３回開催
- WG２（設計支援）　３回開催

２．育成事業等の実施

（１）担い手の育成（WG１）

- 令和６年度は、前年度同様、受講者の利便性をも考慮して、従前の基礎講習（木質構造の基礎知識、中大規模木造建築に求められる加工・施工の知識・技術を広くカバー）、専門講習（木質構造部材製作要領書、接合金物製作要領書、建方要領書）を一体として、「総合講習」として開催した。
- ８月下旬より、日集協のウェブサイト、業界紙等への広告掲載、中大規模木造建築ポータルサイト（日本住宅木材技術センター）等を通じて、総合講習の開催情報（テキスト配布予定や修了試験問題の掲載日）を発信した。
- テキストは予算の制約からＰＤＦベースでの配布にとどめる予定であったが、受講者の利便性を考慮し、印刷・配布を行った。
- テキストの構成については、大幅な見直しを行ったが、動画は旧版テキストのものであり、受講者をはじめとする利用者の方々には大変ご不便をおかけしたものと推察している。
- ９月24日を期限として解答の提出を求めたところ、15名の方々から提出があった。

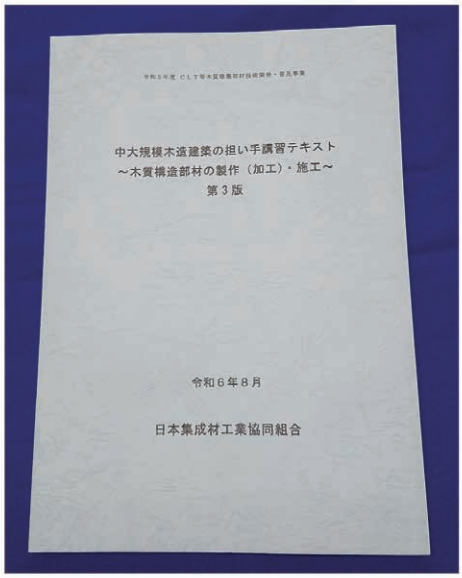
（2）設計支援（WG２）

- 大断面の床梁、小屋梁等については、令和４年度に公表した大断面スパン表において技術情報を提供しているが、広く中大規模木造建築物の設計にご利用いただけるよう、令和５年度に「集成材柱の許容耐力表及び梁端部の接合部仕様一覧表」の検討に着手した。
- 令和６年度は、「梁端部（受側）の接合部一覧表」を作成し、前年度の成果品（集成材柱の許容耐力表及び梁端部（仕口側）接合部の仕様一覧表）と合わせて「集成材柱の許容耐力表及び梁端部の接合部一覧表」を公表した。
- なお、非住宅木造建築物（２階建て）のモデルプランの検討資料も上記成果品に入れ込み、令和４年度の成果品である大断面スパン表と今回の成果品である集成材柱の許容耐力表の活用方法を具体的に説明した。

３．事業報告書の作成及び成果の普及

事業報告書には、WG１（担い手の育成）、WG２（設計支援）の開催経緯等をまとめる予定である。

中大規模木造建築の担い手講習テキスト（第３版、令和６年８月）

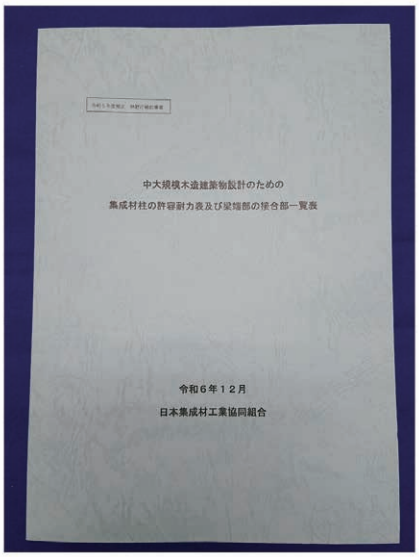


構成の変更

令和３年度版	令和６年度版
第１編　木質構造の基礎知識	第１編　木質構造の基礎知識
第２編　木質構造部材の製作（加工）	第２編　中大規模木造建築物の施工管理
第３編　中大規模木造建築物の施工	第９章　中大規模木造建築物の施工管理
第１章　建方工事及び関連工事会社の選定	第 10 章　工事計画前の前準備
第２章　施工管理	第 11 章　木質構造工事施工計画書の立案
第３章　現場施工	第 12 章　木質構造工事施工計画書の作成と伝達
	第 13 章　届出・申請書類の作成と提出
	第３編　木質構造部材の製作（加工）
	第４章　現場施工（建方）
	第 20 章　建方工事及び関連工事会社の選定
	第 21 章　建方要領書
	第 22 章　建方準備
	第 23 章　建方

掲載サイト：https://www.syuseizai.com/hrd/

集成材柱の許容耐力表及び梁端部の接合部一覧表



目次

1. 集成材柱の許容耐力と梁端部の接合部一覧表の算定（昨年度の成果概要集参照）
2. 集成材柱の許容耐力表（同上）
3. 梁端部（仕口側）接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表（同上）
4. 梁端部（受側）接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表
5. モデルプランの検討
   5.1 モデルプラン
   5.2 梁の検討
   5.3 柱の検討
   5.4 検討結果

○梁端部（受側）接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表

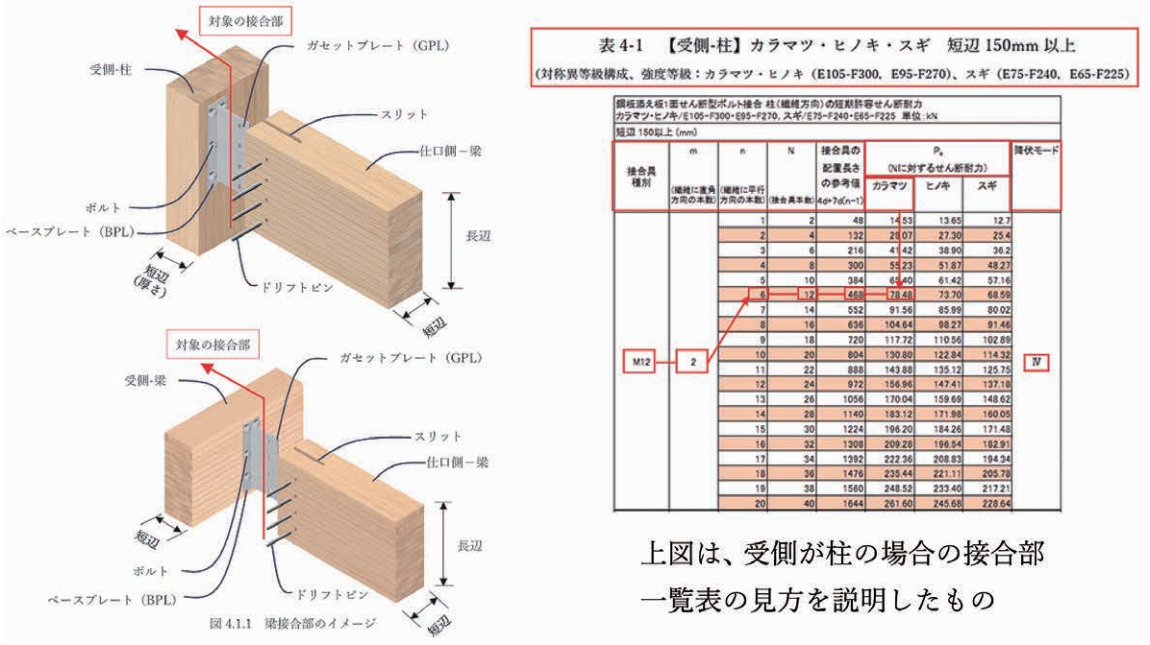


図 1

○モデルプランの検討

柱の検討（以下、大断面スパン表収録のものを＜大＞と表示）

① 床梁のスパン長・樹種・強度、床梁間隔に基づき、床梁スパン表＜大＞より、床梁の断面寸法を算定する。

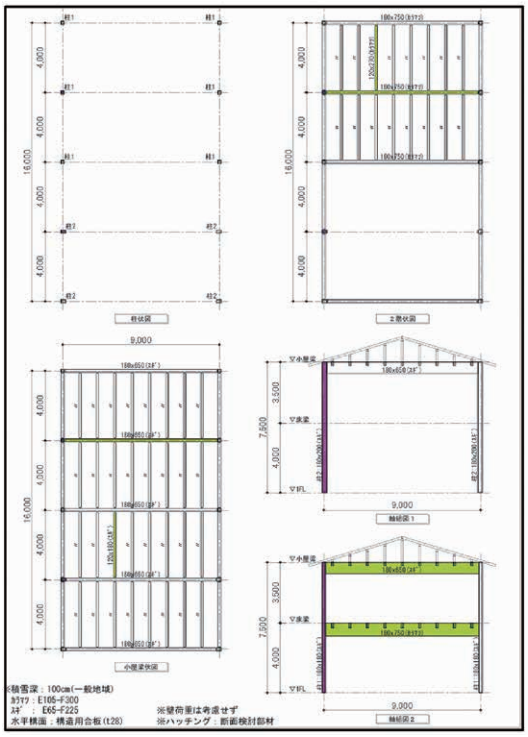
② 床梁接合部金物データ表＜大＞より、梁側のせん断力、ドリフトピンの必要本数を読み取る。続いて、同じせん断力を示す柱側の樹種・強度に対応したボルト本数を読み取る（金物データ表は、梁と柱が同じ樹種との前提で作成されているため、樹種が異なる場合は該当する樹種で読み取る必要がある）。

③ 小屋梁のスパン長・樹種・強度、小屋梁間隔に基づき、小屋梁スパン表＜大＞より、小屋梁の断面寸法を算定する。

④ 小屋梁接合金物データ＜大＞より、せん断力、柱側ボルトの必要本数を読み取る。

⑤ 上記②および④で求めた２つのせん断力より、１階柱にかかる圧縮荷重（長期荷重）を算定する。

⑥ 設定した樹種・強度・柱幅の集成材柱の許容耐力表（長期荷重時）より、強軸側座屈長さの許容耐力、弱軸側座屈長さの許容耐力がそれぞれ上記⑤で算定した圧縮荷重を上回る長辺長を読み取り、いずれか大きい方を長辺長として採用する。



モデルプランの検討では、梁と柱の断面サイズの算定を行っている。

図２

実施した結果

１．担い手の育成

総合講習については、15名が修了試験を受験し、全員合格と判定された。

講習修了者には１１月上旬、修了証を交付するとともに、日集協ウェブサイトにおいて、氏名と勤務先企業名を公表した。

テキスト（第３版）については、9月上旬より12月末までに12部送付した（PDFで済ませた受験生もいる模様）。

なお、令和６年12月19・20日に開催された東京都主催モクコレ2024PLUSでは、旧版テキストの残部をほぼすべて配布するとともに、第３版の入手方法をPRした。

中大規模木造建築加工施工技術 総合講習修了者名簿

令和６年１１月

講習名	修了年月	番号	氏名	所属企業情報			
				企業名	所在地	電話番号	ＵＲＬ
総合講習	令和6年９月	1	伊東　杏柚美	藤寿産業株式会社	福島県	024-944-7550	https://toju.co.jp
〃	〃	2	高間　翔太	院庄林業株式会社	岡山県	0868-28-2111	https://innosho.co.jp
〃	〃	3	本宮　由美子	清水建設株式会社	東京都	03-3561-1111	https://www.shimz.co.jp/
〃	〃	4	日野　貴大	株式会社東海プレカット	愛知県	0567-55-3580	https://www.tokaiprecut.com/
〃	〃	5	東　政和	藤寿産業株式会社	福島県	024-944-7550	https://toju.co.jp/
〃	〃	6	石橋　孝司				
〃	〃	7	小坂　俊介	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/
〃	〃	8	出口　知佳	アウェア株式会社	愛知県	052-265-5142	
〃	〃	9	酒井　悠太	名工建設株式会社	愛知県	052-589-1501	https://www.meikokensetsu.co.jp
〃	〃	10	酒井　賢一	藤寿産業株式会社	福島県	024-944-7550	https://toju.co.jp
〃	〃	11	佐藤　光一	藤寿産業株式会社	福島県	024-944-7550	https://toju.co.jp
〃	〃	12	駒木根　弘智	株式会社　ウッドコア	福島県	0240-25-8400	https://woodcore.co.jp
〃	〃	13	安池　淳二	ウイング株式会社	東京都	03-6327-2424	https://wing2x4.co.jp/
〃	〃	14	阿部　怜央				
〃	〃	15	井ノ本　善健	トリスミ集成材株式会社	奈良県	0747-26-6660	http://www.torisumi.net/

（注）総合講習は、従来の基礎講習と専門講習（基礎講習修了者のみ受講）を併せた内容です。

掲載サイト：https://www.syuseizai.com/hrd/doc/2024_intensive_course_list.pdf

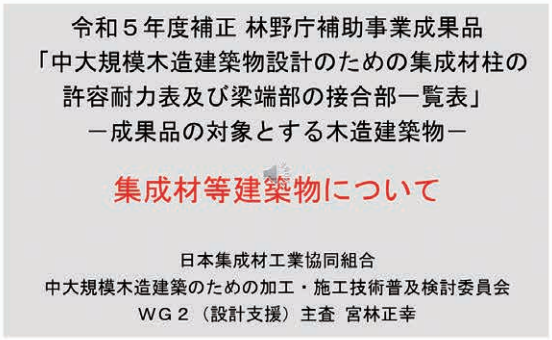
（参考）講習修了者の推移

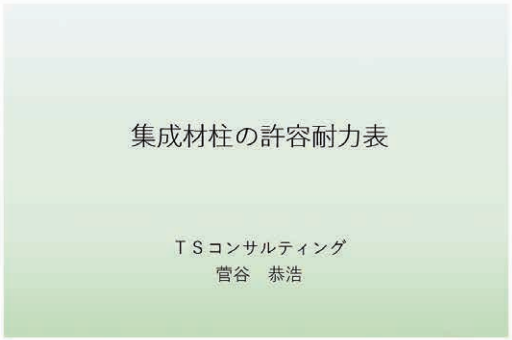
基礎講習	令和元年度	（対面）	７３名
〃	2	（オンライン）	１３５名
〃	3	（オンデマンド）	６５名

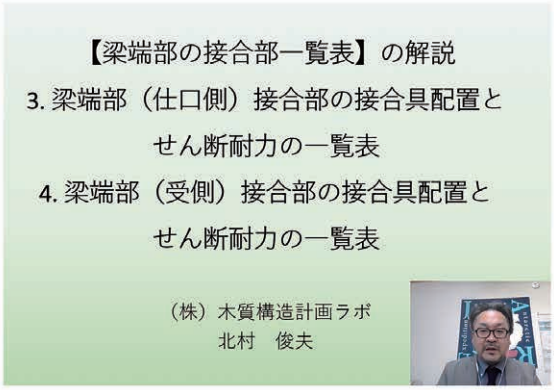
専門講習	4	(オンデマンド)	５６名
総合講習	5	(オンデマンド)	１８名
〃	6	(オンデマンド)	１５名
通　　算			３６２名

２．設計支援

- 「集成材柱の許容耐力表と梁端部の接合部一覧表」を200部印刷し、都道府県建築士会、都道府県林務部局、木造建築関係機関・団体等に130部余りを送付した（令和６年12月）。モクコレ2024PLUSにおいては参考出品した。
- 今年度の成果品の対象とする集成材等建築物を説明する動画および成果品の内容を詳細に説明する動画（計４本）を作成し、令和７年１月10日よりオンデマンド配信している。なお、視聴回数は令和７年１月末までで15回となっている。（大断面スパン表の説明動画は同時期に16回となっている。）







掲載サイト：https://www.syuseizai.com/spt/

今後の課題・展開等

（１）担い手の育成（WG１）

- 講習テキストの継続的な更新
- オンデマンド配信用動画の更新
- 総合講習の開催

（２）設計支援（WG２）

- 「集成材柱の許容耐力表と梁端部の接合部一覧表」と「大断面スパン表」の普及
- 新規の技術資料の検討

事業

国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討

● 実施団体 ●

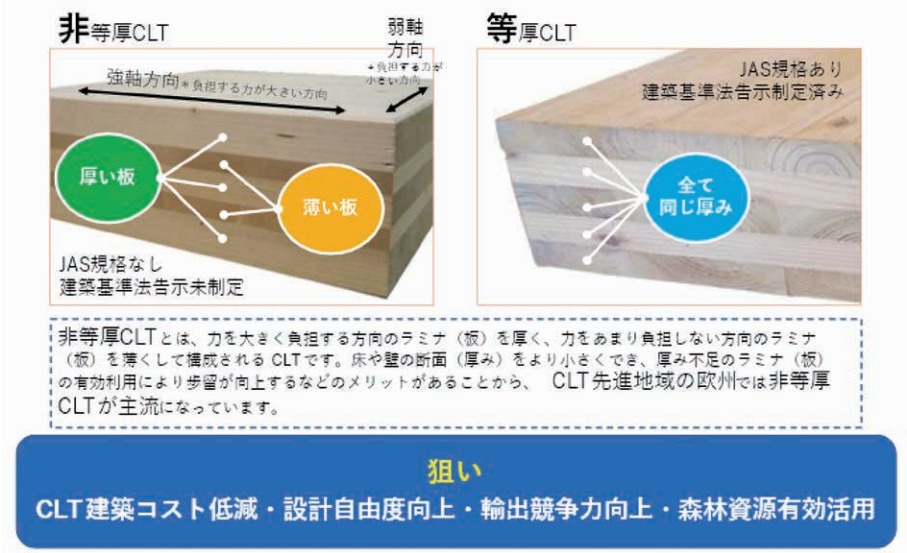
一般社団法人 日本CLT協会

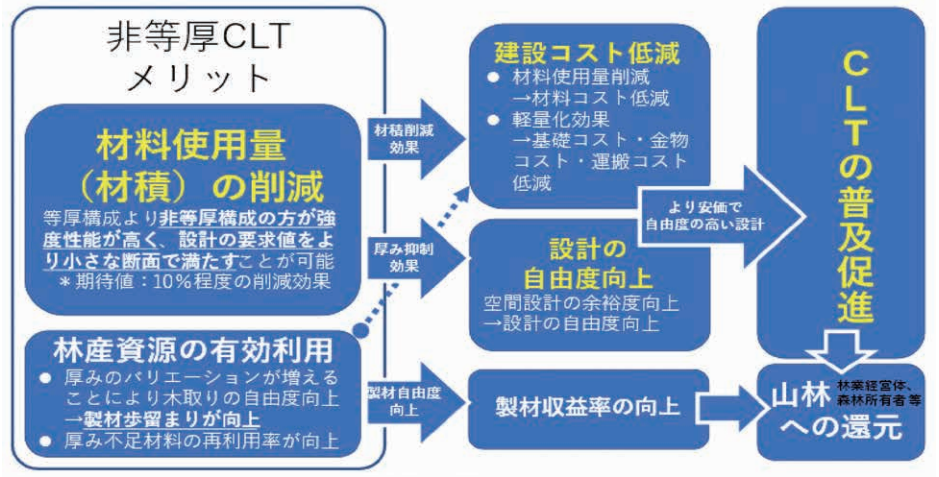
〒103-0025　東京都中央区日本橋茅場町3-9-10 茅場町ブロードスクエア２階

事業目的

現在、「JAS3079直交集成板の日本農林規格」（以下、JAS3079とする）においては、直交集成板（CLT）を構成する各ラミナの厚さは等厚であることとされている。一方、CLT製造時の原料の歩留まり向上やCLTを用いた建築物の設計の自由度向上を図るために、強軸方向の強度性能を効率的に向上させることが出来る、異なる厚さ（非等厚）のラミナで構成されたCLT（以下、非等厚ラミナCLTとする）の開発を推進する必要がある。今年度は、異なる厚みのラミナ（20㎜・30㎜・40㎜）について、曲げヤング係数など様々な試験を実施し、非等厚CLTのJAS3079への反映を念頭に、事業計画に基づき非等厚ラミナ検証データを取得する。

本事業では、非等厚ラミナで構成されるCLTの規格化を進めることにより、CLT建築コストの低減、CLT建築の普及拡大を目指すと共に、CLT普及拡大を通じて森林資源の有効活用と炭素ストックの増加を目指す。





実施した項目

① 委員会の編成および開催

日本CLT協会を事務局として森林総合研究所による試験・評価協力体制の下、有識者による委員会を編成して非等厚ラミナで構成されるCLTの検討委員会を開催した。

第一回委員会：2024年6月6日

第二回委員会：2025年2月4日

② 国産材を使用した非等厚構成CLTの製造の課題整理

③ 非等厚パネルの試験および評価

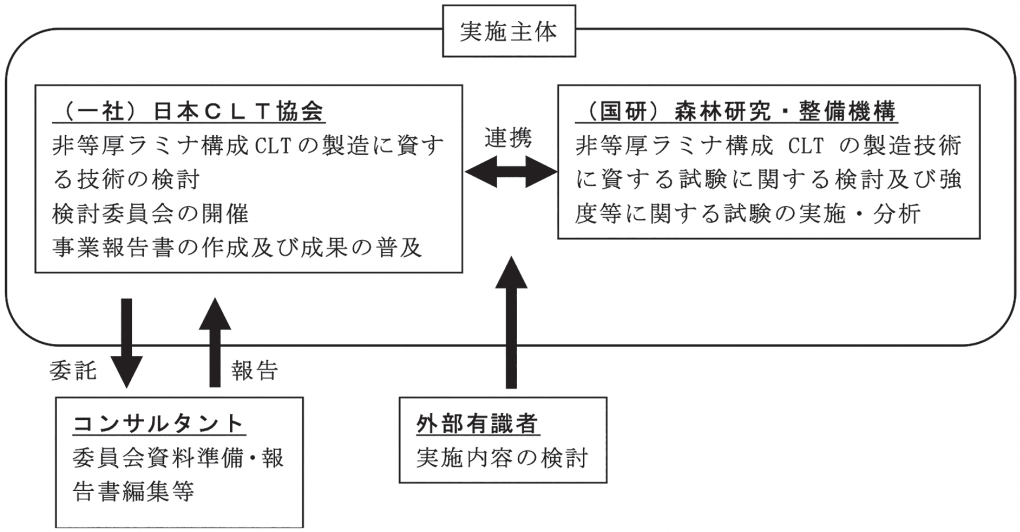
表1に示す構成のCLTについて製造試験、性能評価試験を実施することとした。

実施体制

（一社）日本CLT協会を代表者とし、（国研）森林研究・整備機構との共同で事業を実施する。業務分担は以下のとおり。

事業内容	(一社)日本CLT協会	(国研)森林研究・整備機構
事業の進行管理	○	
検討委員会の開催・運営	○	
製造試験の実施	○	
強度試験の実施		○
成果報告書のとりまとめ	○	

[実行体制図]



[検討委員会名簿]

委員長	安村　基	静岡大学名誉教授
委員	河合　直人	工学院大学建築学部建築学科教授
	青木　謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	槌本　敬大	（国研）建築研究所材料グループ長
	尾方　伸次	（公財）日本合板検査会専務理事
	神谷　文夫	セイホク（株）技師長
	荒木　康弘	国土技術政策総合研究所建築研究部，室長
	秋山　信彦	（国研）建築研究所材料研究グループ主任研究官

オブザーバー	杉原　伸一	国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付
	吉田優一朗	国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付
	佐藤　秀憲	農林水産省新事業・食品産業部食品製造課基準認証室
	福島　　純	林野庁木材産業課木材製品技術室
	上田　萌香	林野庁木材産業課木材製品技術室
	高木　　望	林野庁木材産業課木材製品技術室
	中田　　直	（独）農林水産消費安全技術センター
	平原　章雄	木構造振興（株）常務取締役
	伊藤　一哉	株式会社ＥＰ＆Ｂ
事務局	坂部　芳平	一般社団法人日本CLT 協会 専務理事
	西妻　博康	一般社団法人日本CLT 協会 総務企画部
	原　　周平	一般社団法人日本CLT 協会 総務企画部
	平松　　靖	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	渋沢　龍也	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター
	杉本　健一	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域
	宮本　康太	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域

実施した内容

木構造振興報告書用資料　スギラミナ、非等厚構成スギCLTの強度試験に関して

① 非等厚構成CLTのラミナ厚さ、層構成の検討

CLTを用いた建築物の設計の効率化を目的として、スパンに応じて対応可能な非等厚構成CLTのラミナ厚さ、層構成を検討し、表１に示す構成のCLTについて製造試験、性能評価試験を実施することとした。

表１　製造試験、性能評価試験を実施する非等厚構成CLTのラミナ厚さ及び層構成

CLT厚さ（mm）	構成の区分	各プライの仕上げラミナ厚さ（mm） ※//：強軸方向のラミナ、⊥：弱軸方向のラミナ							想定する使用箇所
		//	⊥	//	⊥	//			
100	3層3プライ	40	20	40					低層建築物、床・壁
140	5層5プライ	40	20	20	20	40			低層建築物、床
160	5層5プライ	40	20	40	20	40			
180	5層5プライ	40	30	40	30	40			低層～中層建築物、床
		//	//	⊥	//	⊥	//	//	中層建築物、床
220	5層7プライ	40	40	20	20	20	40	40	
240	5層7プライ	40	40	20	40	20	40	40	

② 非等厚構成スギCLTの製造試験

スギラミナを用いて、表１に示す非等厚構成CLTの大版パネルの製造試験を実施した。仕上げ厚さ20mm、30mm、40mmのスギラミナの仕上げ幅については、製造を考慮して140mmにそろえることとした。また、製造したラミナの総枚数の関係から、仕上げ厚さ40mmのラミナの外層用、内層用の閾値は7.0GPa（図１）、仕上げ厚さ20mm、30mmのラミナの外層用、内層用の閾値は8.0GPaとした。

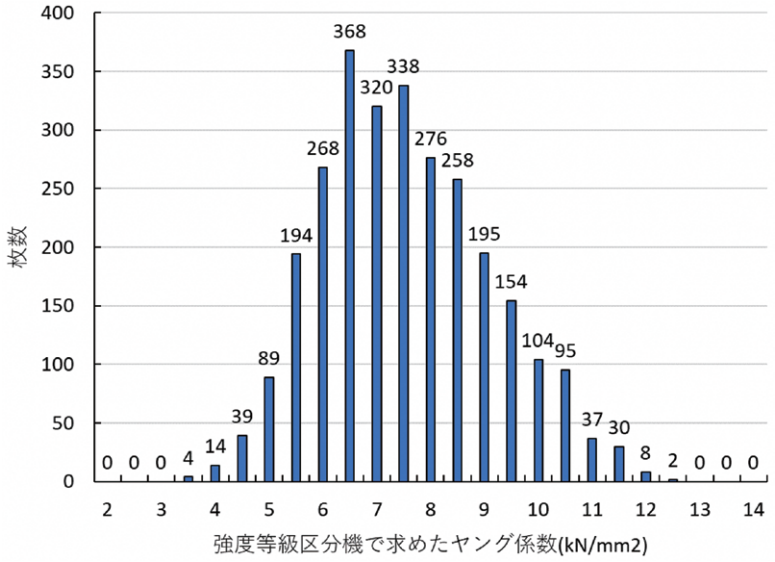


図１　厚さ40mmのスギラミナのグレーディング結果

各厚さのラミナのグレーディング、たて継ぎ（フィンガージョイント）、積層接着の各工程において、等厚構成CLTと同様に製造を進めることができた（写真１、写真２）。

写真１　非等厚構成CLT製造用スギラミナ

写真２　製造した非等厚構成CLTの大版パネル

③ 非等厚構成スギCLT製造用ラミナの性能評価試験

非等厚構成スギCLTの大版パネルの製造に用いた厚さ20mm、30mm、40mmのラミナについて、直交集成板の日本農林規格に示されるラミナの曲げC試験に準じて、曲げ試験を実施した（写真3、図2）。

写真3　厚さ40mmのスギラミナの曲げ試験の実施状況

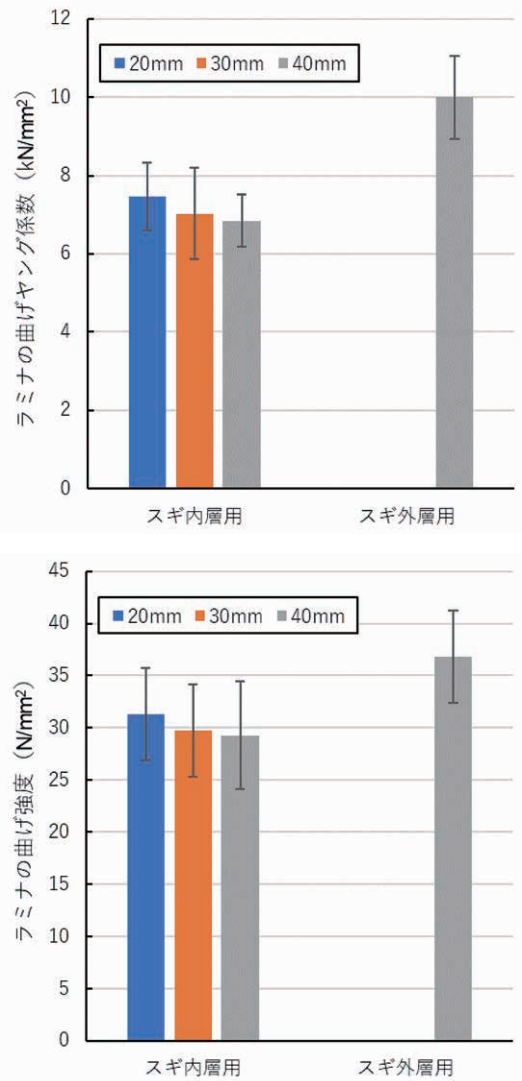


図2　厚さ20mm、30mm、40mmのスギラミナの曲げ試験結果（平均値）

④ 非等厚構成スギCLTの性能評価試験

製造した非等厚構成スギCLTの大版パネルから採取した試験体について、強度試験（引張り、面外曲げ、面外せん断（いずれも強軸方向））を実施した。

【引張り試験】

表１に示した構成のうち、３層３プライ（40-20-40mm）、５層５プライ（40-20-20-20-40mm）の２種類の非等厚構成スギCLTについて引張試験を実施した（写真４、図３）

写真４　非等厚構成スギCLTの引張り試験の実施状況（３層３プライ、40-20-40mm）

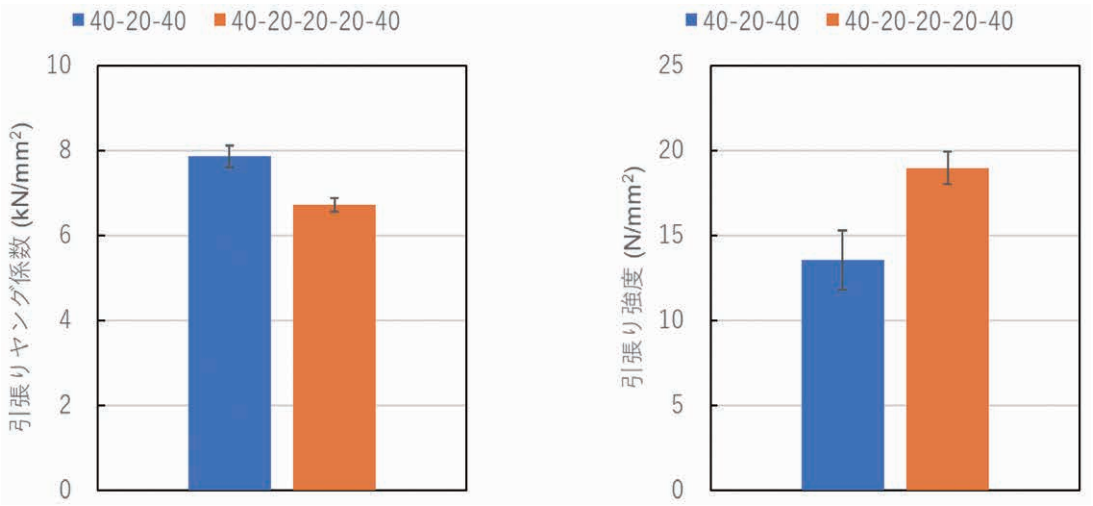


図３　非等厚構成スギCLTの引張り試験結果

【曲げ試験】

表１に示した６種類の非等厚構成スギCLTについて、直交集成板の日本農林規格に示される曲げ試験に準じて、曲げ試験を実施した（写真５、図４）。

写真５　非等厚構成スギCLTの曲げ試験の実施状況
（５層７プライ、40-40-20-20-20-40-40mm）

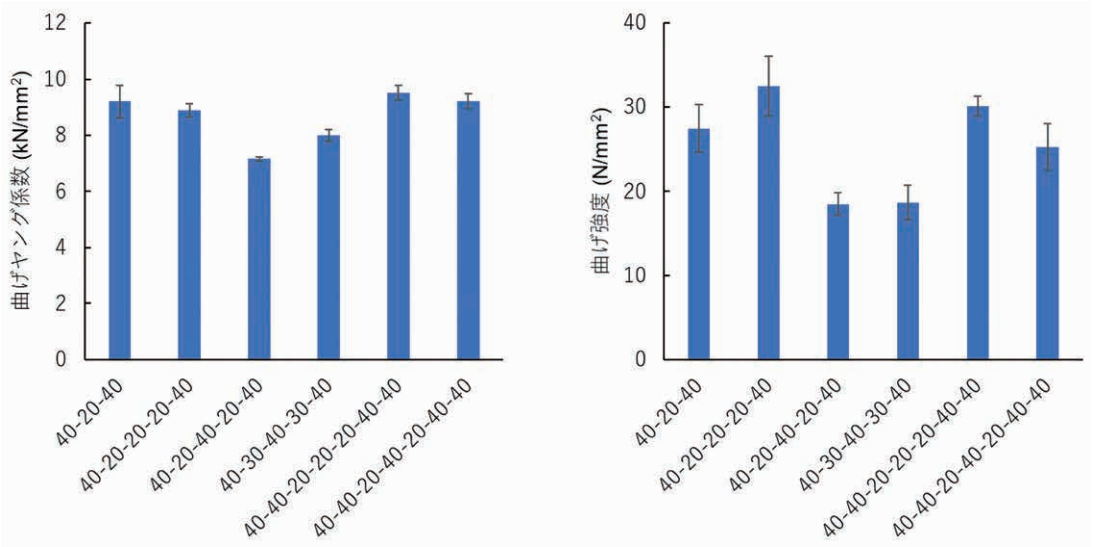


図４　非等厚構成スギCLTの曲げ試験結果

【せん断試験】

表１に示した構成のうち、５層５プライ（40-20-20-20-40mm、40-20-40-20-40mm、40-30-40-30-40mm）の３種類の非等厚構成スギCLTについて、直交集成板の日本農林規格に示されるせん断試験に準じて、せん断試験を実施した（図５）

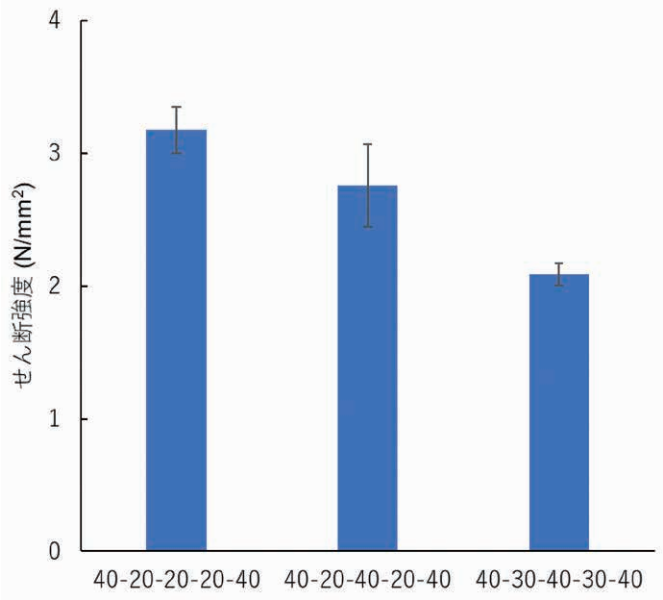


図５　非等厚構成スギCLTのせん断試験結果

今後の課題・展開等

１．これまで実施してきた内容

JAS規格への反映を中心に検討してきた。

○製造時の課題抽出

- 薄物、厚物ラミナ使用時の製造ラインでの課題
- 上記ラミナの等級区分の課題

○等厚ラミナ構成CLT及びラミナの試験

- 20、30、40mmラミナの縦引張り、縦圧縮、曲げ試験
- 20、30、40mmラミナを用いた等厚構成CLTの引張、圧縮、面外曲げ、面外せん断試験

○非等厚ラミナ構成CLT及びラミナの試験

- 20、30、40mmラミナの縦引張り、縦圧縮、曲げ試験
- 非等厚ラミナ構成CLT（構成６種類）の引張、圧縮、面外曲げ、面外せん断試験

２．来期以降の課題（実施していない内容）

基準強度への反映を念頭においた試験を実施していく必要がある。

○等厚ラミナ構成CLTの試験

- 20、30、40mmラミナを用いた等厚構成CLTの座屈試験、面内せん断試験、面内曲げ試験

○非等厚ラミナ構成CLT

- 座屈試験、面内せん断試験、面内曲げ試験

非等厚ラミナ構成CLTにおいて検討が必要と思われる課題は以下の通りです。

○CLTの試験条件の検討

- 面外曲げ試験のスパンの影響
- 面外せん断試験のスパン、荷重方式の影響

事業

木製浮き基礎工法の開発および普及

● 実施団体 ●

越井木材工業株式会社

〒559-0026　大阪府大阪市住之江区平林北１丁目２番158号

事業目的

建築現場では少子高齢化、熟練工の不足および人手不足による省力化、工期短縮、解体・廃棄費用の減少が求められている。ニュージーランドにおいて、一般的に使用されている木製浮き基礎工法は組立工法のため、施工・解体が容易かつ安価である。そのため、木製浮き基礎工法は施工業者の要望に合致し、既存工法に対してコスト競争力があると考える。

また、炭素固定能力のある木材を再利用可能な形で利用していく事は、限りある資源の有効活用および循環利用を実現し、人および生物(森林)を救うことが可能である。加えて、炭素を固定した木材は再生産でき、再利用および多様なカスケード型の利用が可能である。

本事業は国産材の新しい用途として、日本国内で木製浮き基礎工法の開発および普及を目的とした。

実施した項目

木製浮き基礎を日本で実用化するために、これまでの実施内容を踏まえ、本年度は継続的かつ新規的な内容を実施した。本年度の実施内容を下記に示す。

実施内容	協力・関係機関
汎用性の高い設計方法の検討	(一財)ベターリビング (株)アルセッド建築研究所 (有)山辺構造設計事務所 (株)木構堂
実大基礎材における耐久性・維持管理方法の検討	(一財) 建築研究協会 (学)東京農業大学
木製基礎と上物の納まりの検討	設計・施工会社・施主
木製基礎材の加工方法の検討	木材加工会社、森林組合、コシイプレザービング、等
解体・再利用方法の検討、実物件の長期計測	設計・施工会社、施主
木材を筐体とした電池の検討	(大)諏訪東京理科大
普及・宣伝活動	(一財)ベターリビング (株)竹中工務店

実施体制

役柄	氏名	所属
委員長	東畑　郁生	関東学院大学　客員教授
委員	今村　祐嗣	京都大学　名誉教授
委員	五十田　博	京都大学生存圏研究所　教授
委員	岩崎　好規	一般財団法人地域地盤環境研究所
委員	笹村　欽也	株式会社東畑建築事務所
委員	大倉　靖彦	株式会社アルセッド建築研究所
委員	藤井　俊逸	株式会社藤井基礎設計事務所
委員	梅森　　浩	大成建設株式会社
委員	木村　礼夫	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング
委員	三宅　英隆	一般社団法人大阪府木材連合会
委員	西岡　久寛	株式会社コシイプレザービング
委員	越井　　潤	越井木材工業株式会社
委員	松本　義勝	越井木材工業株式会社

＊オブザーバーとして下記の方々にもご参加、ご助言をいただきました。
佐藤　健太（長野森林組合）
江上　貴司（(株) セブン＆アイ・ホールディングス）
高木　　望（林野庁 林政部）
平原　章雄（木構造振興（株））

1回目委員会　越井木材本社＋WEB（R6年6月27日）

実施した内容

これまで、日本において、本工法を設計・施工した事例がない。そこで、国内での実用化のために関係法令への適合性(耐久性・設計方法)を確認し、昨年1月に建設技術審査証明を取得した。そこで、本工法を普及するために、以下の開発・普及活動を実施した。

1　サーキュラーエコノミーに対応した設計検討

1.1　大阪市夢洲での実大実証実験

大阪市夢洲地区において、再利用・再施工した実大実験棟を現場作業員事務所として約2.5年間使用いただいた。長期にわたる経過観測により、健全な状態で使用されていることを確認し、令和6年5月に解体した。

1.2　リノベーション時の増設基礎

かやぶき屋根の軒を補強する補助柱を支えるための基礎として、本工法を採用いただき、令和４年３月に増設した。令和６年６月に現地へ訪問し、状態の確認および使用状況をヒアリングした。

1.3　鹿児島吹上浜実大実験

実際の使用状況に則した耐久性及び劣化傾向を検証するため、令和４年度より鹿児島県日置市吹上浜の松林にて実寸大の丸太基礎材を用い、薬剤溶脱および表面からの腐朽度を観測している。今年度は、令和６年11月に観測をした。

2　応急仮設等への対応検討

応急仮設建築物へ本工法を使用するにあたり、オフグリッドシステムおよび凍結深度が定められている地域での使用化の要望があった。そこで、実際に実大材の実験棟を設計･施工し、経時的な観測によって、本仕様の可能性を検討した。

2.1　オフグリッドシステム

災害地域において、施工の容易さの他にオフグリッドシステムを基礎丸太に付加できないかとの要望があった。そこで、諏訪東京理科大と共同で木材を筐体とした木材電池を開発し、実大実証実験を開始した(図2-1)。実現できれば、電気の安定供給を期待できない災害時において、電気の使用が可能となり、より災害対応に適した基礎となる。

2.2　凍結深度対応

応急仮設に限らず、凍結深度の定められた地域への対応検討の要望を多くいただいた。そこで、凍結深度600㎜と定められている北海道虻田郡喜茂別町にて実大材の実験棟をR6年11月に施工し、状態を観測している。

3　規模の大きな建物への対応検討

3.1　収まり検討

規模の大きな建築物の木製基礎において、構造上引き抜き耐力が重要な部分となる。そこで、ご提案いただいた建物に合った接合金物や収まりを検討した。

4　普及活動

本工法に関して、開発段階からご相談をいただく機会があった。そこで、実物大にて設計・施工を検討した。

4.1　清和台の森での茶室

竹中工務店では、サーキュラーデザインを通じて、循環型社会の実現を目指している。具体的には、循環可能な材料を用いて、里山を中心とした「素材」「循環プロセス」「デザイン」にフォーカスしたプロダクト開発を検討している。その活動の一環として、本基礎を用いた茶室を共同で開発した。

4.2　バレルサウナ用基礎

バレルサウナというのは、サウナの発祥地であるフィンランドで生まれた「バレル＝樽」のような円形のサウナ小屋である。荷重も軽く、施工が簡易なことから本基礎と相性がよいと使用検討のご提案いただいた。

そこで、実際に展示棟を設計・施工し、展示棟として現在も使用いただいている。

4.3　展示会にて出展

弊社において新たな分野への展示会へ出展検討した。その際に用いる、模型、ポスター、パンフレットを新たに作成した。

実施した結果

1　サーキュラーエコノミーに対応した設計検討

1.1　大阪市夢洲での実大実証実験

移設履歴（図 1-1）

試験棟　2021 年 7 月～ 10 月	
見学会①:2021.08	↓ 3 か月使用後
詰所：2022 年 3 月～ 2023 年 1 月	【再利用 1 回目】
見学会②:2022.08	↓ +11 か月
詰所：2023 年 2 月～ 2024 年 5 月	【再利用 2 回目】
見学会③:2023.02	↓ +16 か月

計 30 か月（2 年半）間、夢洲で使用

図 1-1　大阪市夢洲での実大実証実験の経緯

1.2　リノベーション時の増設基礎

かやぶき屋根の軒の状態および基礎の状態とも問題ないことを確認した。令和 6 年 1 月の地震の際も、建物は大きく揺れたが、基礎に支障はなかったことを使用者様（本建物のオーナー様、カフェ店主）より伺った（図 1-2）。

図 1-2　リノベーション時の増設基礎　（約 2 年経過後）

1.3　鹿児島吹上浜実大実験

腐朽の状態を非破壊・微小破壊試験にて確認した。無処理材において、腐朽が若干進行していた。保存処理材料において、腐朽の進行は見られなかった。また、本試験は東京農業大学と共同で実施し、試験精度の向上を検討している（図 1-3）。

図 1-3　吹上浜実大実証実験 (2 年経過後)

2　応急仮設等への対応検討

2.1　オフグリッドシステム

令和６年の夏～冬の時期において、実大実験棟にて木材を筐体とした電池の効率性を検討した。引き続きデータ収集し、諏訪東京理科大と協力して効率性の効果を検証する。

図 2-1　諏訪東京理科大実大実験

2.2　凍結深度

測定初期 (R6 年 11 月) において、土中温度が外気と比較して低いことおよび変動が少ないことを確認できた。引き続き冬季を通じての経時的な温度および床高さを測定して、凍結による影響を確認する (図 2-2)。

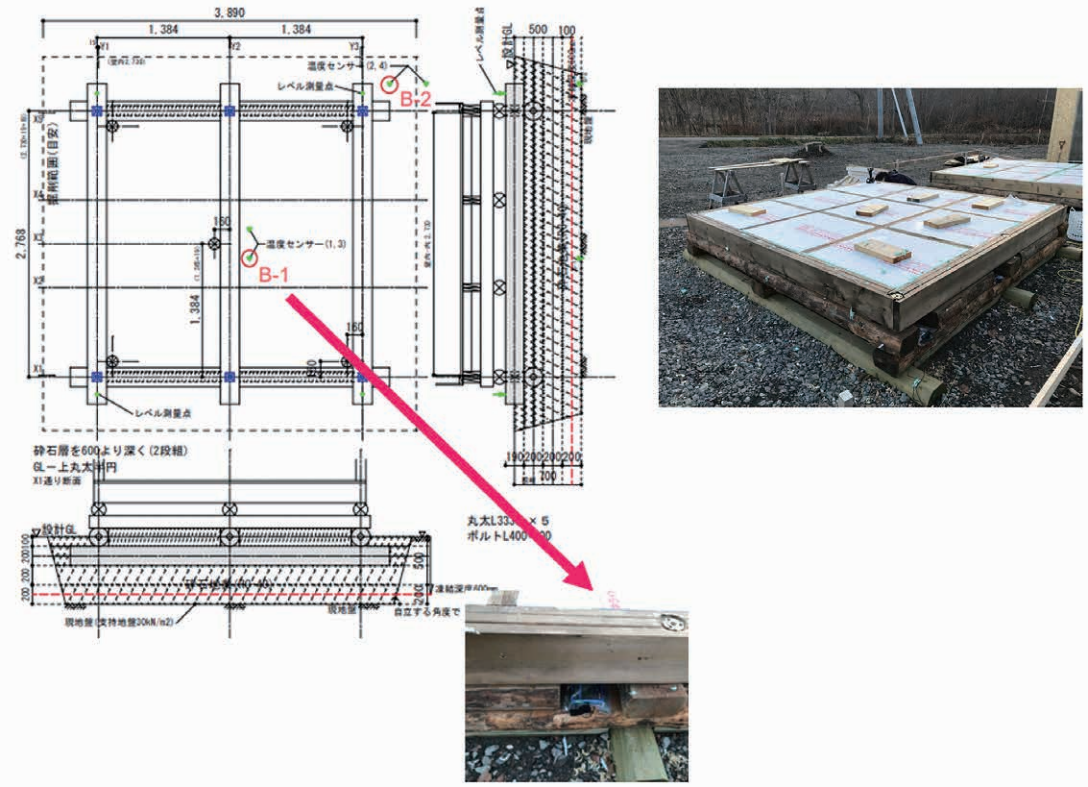


図 2-2　北海道での実大実験

3　規模の大きな建物への対応検討

3.1　収まり検討

ご提案いただいた建物をもとに設計することで、必要な金物・仕様を検討できた(図 3-1)。

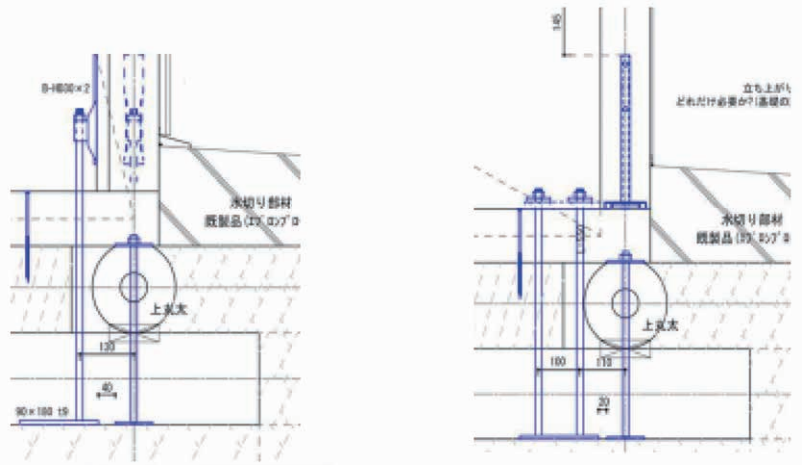


図 3-1　大きな引抜き力に対しての検討

4　普及活動

実大材での設計・施工・展示会を実施することでより実現性の高い検討ができた。

4.1　清和台の森での茶室

竹中工務店様の茶会に使用していただくことで、ポータブルな茶室としての可能性を確認できた(図 4-1)。

図 4-1　茶室 (清和台の森における茶会にて使用)

4.2　バレルサウナ

長期間お客様の目に触れる展示場に設置することで、木製基礎の認知を広く一般の方に広めることができた。興味をいただいたお客様より本基礎検討したい旨お声がけいただいた (現状 1 件 , (図 4-2))。

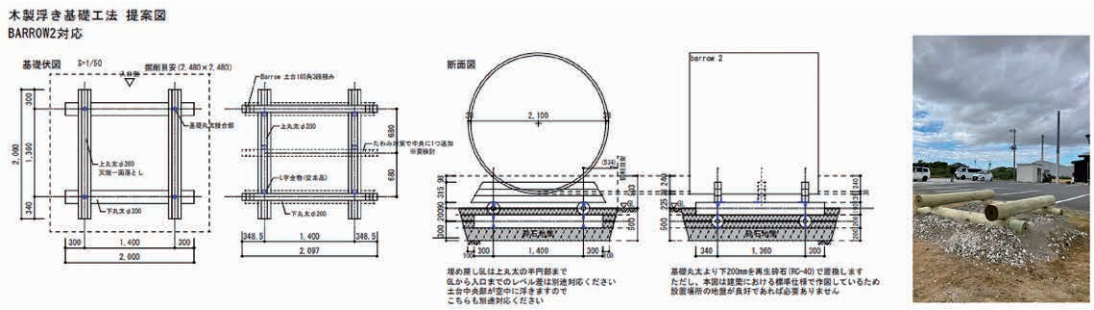


図 4-2　バレルサウナ用基礎の検討

4.3　展示会にて出展

他分野 (都市開発・土木・地盤・材料、等) の方々へ本工法を紹介できたことから、木材の新たな利用可能性に関して広くアピールできた。

GDM_Tokyo Wood Town 2024 山と木と東京 第 1 会場：GOOD DESIGN Marunouchi「山と木のデザイン大全展」	(図 4-3)
建設技術審査証明 新技術展示会	パンフレット　25 部配布　名刺 30 枚交換　(図 4-4)
サーキュラーデザインビルド建材展示会	パンフレット　5 部配布　名刺 5 枚交換 (図 4-5)

図 4-3　GDM_Tokyo Wood Town 2024 山と木と東京
第 1 会場：GOOD DESIGN Marunouchi「山と木のデザイン大全展」

図 4-4　建設技術審査証明　新技術展示会

図 4-5　サーキュラーデザインビルド建材展示会

今後の課題・展開等

工法の開発

● **設計・施工マニュアルの更新**

建設技術審査証明の内容および試験施工にて検証した内容を踏まえ、設計・施工マニュアルを随時更新する。

● **保存処理した丸太基礎の耐久性の検証**

試験体の劣化状態を経時的に確認する。実寸大での曲げ試験を実施し強度低下が無いか確認する。

実用化・普及活動

● **本設での使用化**

これまで、日本において本工法を用いた本設での実績がない。そこで、本設での実績作りを検討する。確認申請等の手続きを通して、本工法の設計・施工方法の精度向上に努める。

● **木製浮き基礎の普及活動**

仮設および本設の建築物として本基礎を使用していただくように、引き続き広く普及活動を行う。本工法のメリットや理念に共感頂き、導入を検討して下さる方々に対して、具体的な提案（設計案・納まり案・見積案・確認申請のサポートなど）を引き続き行う。実現に向けて共に歩めるパートナーと一緒に、本基礎工法を採用した建築物の実物件化を検討する。

事業

CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型木造構造システムの実建築物への展開

● 実施団体 ●

株式会社 堀江建築工学研究所
〒151-0071　東京都渋谷区本町１丁目52-2　Kビル4F

国立大学法人 東北大学工学研究科
〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6

事業目的

令和３年度，令和４年度本事業で提案し，基本性能を検討した「CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型木造構造システム」の実現に向けて以下の技術開発を行う。

① 必要な変形性能を確保するための接合部を含むCLT壁の設計法
② 構造解析法・構造設計法の検討
③ 建築計画・設備計画を含め，建築基準法を満足し実現可能な中層木質ハイブリッド建築の設計例の開発

実施した項目

非木造建築が主流である中層集合住宅やオフィスなどの木質系建築構造を実現するための以下の研究を行う。

① CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価：接合部評価法，構造システムの検討法の提案
② 構造設計マニュアルの開発と実施設計に向けた基礎的検討
③ 普及・広報活動

実施体制

全体委員会

主査：前田匡樹（東北大学）
幹事：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）
委員：太田勤，清原俊彦，髙橋愛，尾畑徹，土田敏行，永島佑衣（㈱堀江建築工学研究所），松本直之，後藤豊（東北大学），田畑正紀（宮城県森林組合連合会），千葉賢史（宮城県水産林政部），勝田幸仁朗（物林㈱），安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所），並木直子（東北大学）

性能評価WG

主査：前田匡樹（東北大学）
幹事：松本直之（東北大学）
委員：迫田丈志，太田勤，清原俊彦，尾畑徹，高橋愛，土田敏行（㈱堀江建築工学研究所），後藤豊，Ahmad Ghazi ALJUHMANI，髙橋里菜，鈴木陽平，山本暁（東北大学），村西大介（BXカネシン㈱）

構造解析・構造設計WG

主査：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）
幹事：尾畑　徹（㈱堀江建築工学研究所）
委員：太田勤，清原俊彦，髙橋愛，土田敏行，永島佑衣（㈱堀江建築工学研究所），前田匡樹，松本直之，後藤豊（東北大学），山内一彦（㈱井口構造設計事務所）

広報普及WG

主査：並木直子（東北大学）

幹事：千葉賢史（宮城県水産林政部）
委員：勝田幸仁朗（物林㈱），安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所），田畑正紀（宮城県森林組合連合会），迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所），前田匡樹，松本直之（東北大学）

事務局　福井和代（㈱堀江建築工学研究所），堀亜紀子，並木直子（東北大学）

オブザーバー　福島純，増井僚（林野庁木材産業課），平原章雄（木構造振興（株））

実施した内容

1. CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価
1.1　接合部の構造性能評価法：集合破壊モードの理論・実験検証
1.2　CLT壁と鉄骨架構の構造特性にもとづくハイブリッド構造システムの計画手法の提案

2. 構造設計マニュアルの開発と実施設計に向けた基礎的検討

3. 成果報告会による普及・広報

実施した結果

1．CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価法

1.1　接合部の構造性能評価法：集合破壊を伴う破壊モードの理論的検討と実験検証

昨年度実施した，壁長さをパラメータとした実大壁試験において，CLT-ボルト接合部の脆性的な集合破壊モードが確認された[1)]。本項では，集合破壊を防止し，靭性能を向上させた接合部開発に向けた破壊モード分類の理論的検討と要素実験による検証を行った。

1.1.1　破壊モードの分類と集合破壊モードの検定方法

図１にCLT-ボルト接合部における破壊モード分類を示す。左の３つのモードの分類方法および実験検証結果については，既報にて報告している[2)]。本年度は，右の二つのモードの発生条件の理論的検証を行い，特に脆性的な破壊を生じた集合破壊①について要素壁実験により検証した。

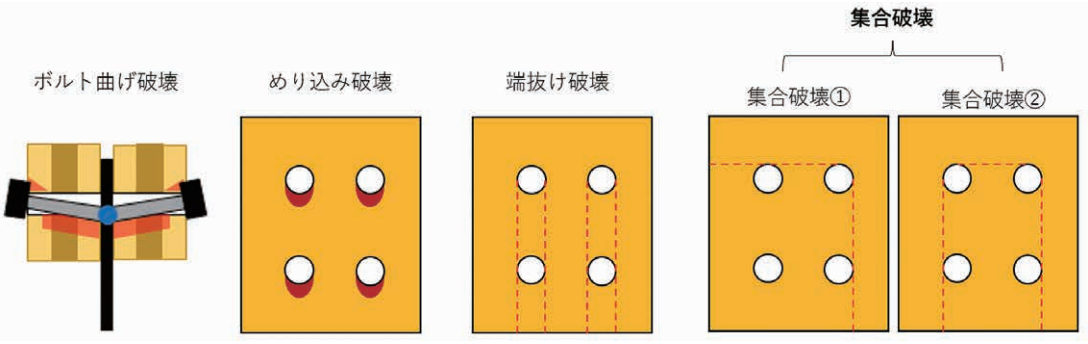


図１：想定する破壊モード

既報の実大試験[1)]において応力作用角度の増加に伴い発生していることから，集合破壊①は，鉛直および水平方向のせん断破壊が主要因であると仮定した。同様に集合破壊②については，鉛直方向のせん断破壊と引張破壊が主要因であると仮定した。それぞれの場合において，CLTパネルの縁空き，端空き，応力作用角度θをパラメータとした検定方法を提案した。図２に，集合破壊①を例に想定する応力および検定方法を示す。

図２：集合破壊①（２方向せん断）の想定応力および破壊条件

1.1.2　壁要素実験による理論の検証

理論的検討の検証のため，応力作用角度θ，縁空きｄをパラメータとしたせん断壁要素試験を実施した。図３に，θを固定し，縁空き，端空きをパラメータとした場合の破壊モードの検定結果を示す（θ＝20°を例とした）。図３における領域①，②（集合破壊①，②となる場合）の境界の前後の縁空きを試験体として選定し（図３中赤丸），図４に示すような正負交番繰り返し試験を実施し，接合部の負担荷重の推移，降伏および終局破壊モードを確認した。実験は想定する建物の40%スケールの縮小試験とし，CLTパネルは厚さ36㎜のCLT36（３層３プライMx60），ボルトは強度等級10.9の高強度ボルトM12を使用した。

結果の例を図５－７に示す。縁空き距離の変化に対して，終局破壊は想定に近い集合破壊①または②となったものの，降伏はめり込みが先行し，想定よりも靭性，強度が高く発揮される結果となった。

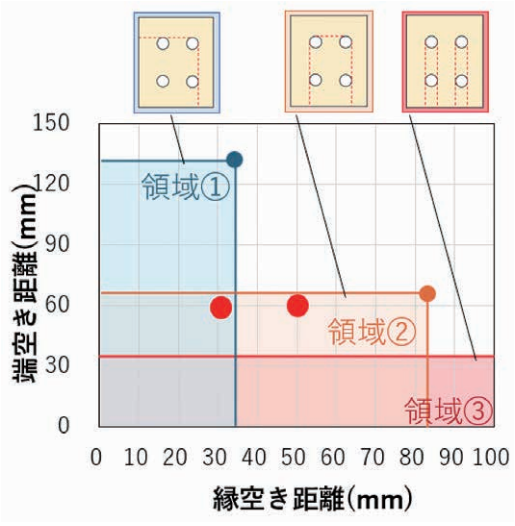
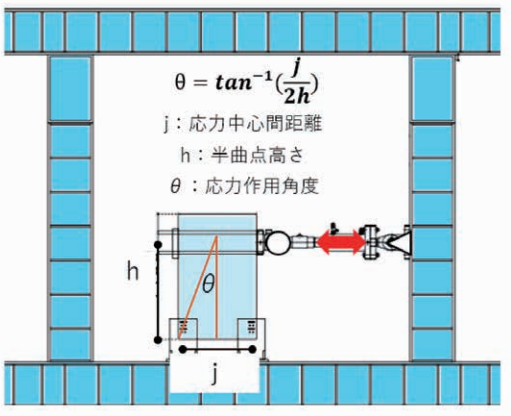


図３：θ＝20°の場合の縁空きおよび端空きと破壊モードの関係



パラメータ：
応力作用角度θ：10°，20°，30°
縁空きe：各θで領域①・②の境界の２例

図４：要素実験の概要と試験パラメータ

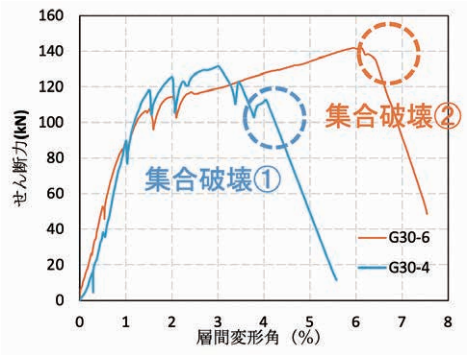


図５：荷重変形関係〔$\theta = 30°$・縁空きパラメータ比較　*初期スリップを除いた〕

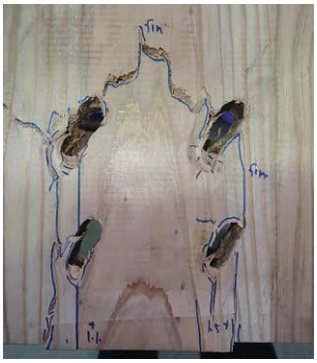


図６：集合破壊②（G30-6③）

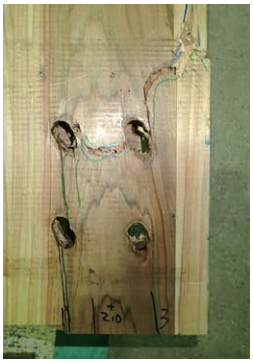


図７：集合破壊①（G30-4②）

1.2　初期スリップを改良した接合部の理論的検討と実験検証

昨年度の実大壁試験で確認された初期スリップの改良を目的としたボルトとビスの併用接合部の検討を行った。図８にボルト接合部とビス接合部の併用による初期剛性補剛のコンセプトを示す。ボルトは強度等級 10.9，M30，CLT パネルは t90，スギ，3層3プライ，Mx60 として文献１に示す方法で剛性，耐力を算定した結果を図９に示す。ビスは PK12-90（シネジック）を使用するものと仮定した（ビス接合のせん断性能はロケット型要素試験結果による）。このような初期剛性および，耐力や変形性能の累加可能性について，図 10 に示す一軸せん断試験により，ビス本数をパラメータとして検証予定である（1 月中旬現在）。

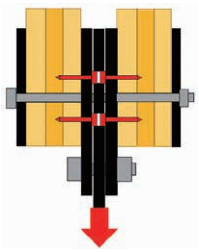


図８：ボルト・ビス併用接合　模式図

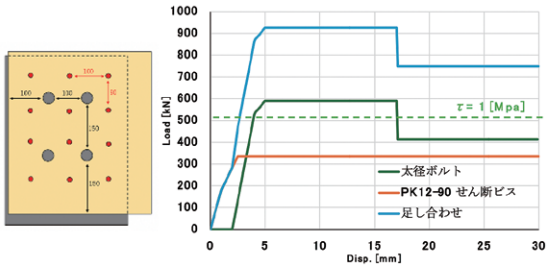


図９：せん断ビス併用による初期剛性補剛（例：M30 ボルト４本・Φ 12 ビス 24 本併用）

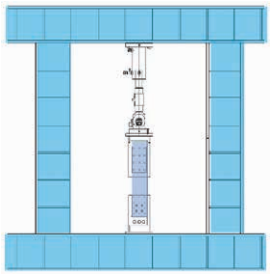


図 10：一軸せん断試験図

1.3　CLT 壁と鉄骨架構の構造特性にもとづくハイブリッド構造システムの計画手法の提案

本項では，建物の建築計画（階数や壁量）を与条件として，CLT 耐力壁と鉄骨架構の適切な部材断面や接合部性能の概算設計法を提案した。

CLT と鉄骨のハイブリッド構造システムでは，CLT の壁幅や接合部本数，壁量，鉄骨部材の断面により，水平力に対する剛性・耐力・変形性能などの挙動を調整し，建物全体の構造特性を変化させることが可能である。ここでは，建物全体の構造特性の特徴を「建物タイプ」と称し，３つのタイプを提案した（図 11）。１つ目は，CLT の高い剛性・耐力を活かした（靭性能には期待しない）強度型である。降伏時，終局時ともに CLT 壁がせん断力を多く負担する。２つ目は，CLT の初期剛性の高さ・鉄骨の靭性能の両方を活かしたもので，靭性型①とした．降伏時（短期荷重時）までは，CLT と鉄骨どちらもせん断力を負担するが，CLT の降伏後，終局時には鉄骨架構のみで耐力を負担する．３つ目は，CLT 壁パネルに靭性を確保し，主に初期剛性の向上に使用し，終局時の耐震性は鉄骨架構に期待するタイプ，靭性型②である。CLT は脚部をピン接合とするなどして破壊を生じにくい機構とする．CLT 壁パネルが耐力低下せずに変形に追従し，架構全体としては最も変形性能をもつタイプである。

設計法のフローを図 12 に示す。まず，階数，壁量，梁の位置等を所与として，① 目標とする構

造性能（塑性率μ，構造特性係数Ds）を仮定し，建物タイプを選定する。続いて，② CLTの壁の配置に対応する，壁幅と塑性率に応じたCLT壁の目標耐力，接合部詳細を決定する。最後に，③ CLTの負担せん断力と必要保有水平耐力から，鉄骨架構の負担せん断力を求め，鉄骨の断面算定を行う．

なお，建物タイプに対応する目標塑性率と耐力は，所与の建物規模について，限界耐力計算法を用いて，応答加速度と応答変形の関係を算出し，式（1），(2）によって塑性率と建物の構造特性係数Dsの関係を算出することで定めるものとした（図13)。

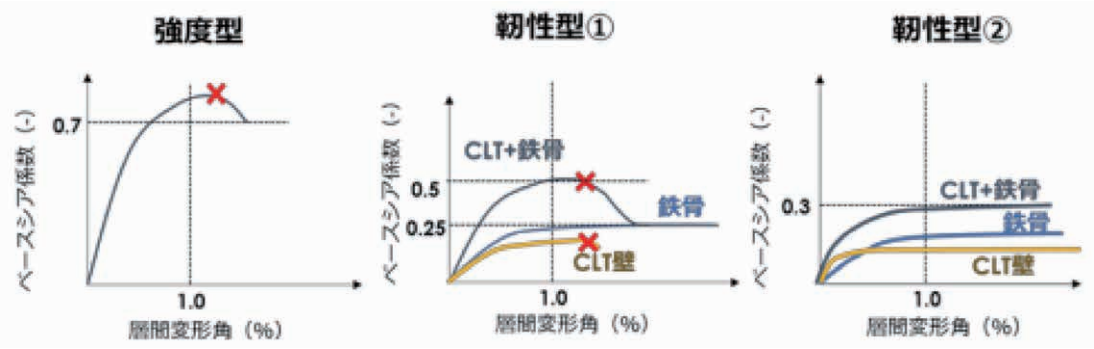


図11：「建物タイプ」の提案

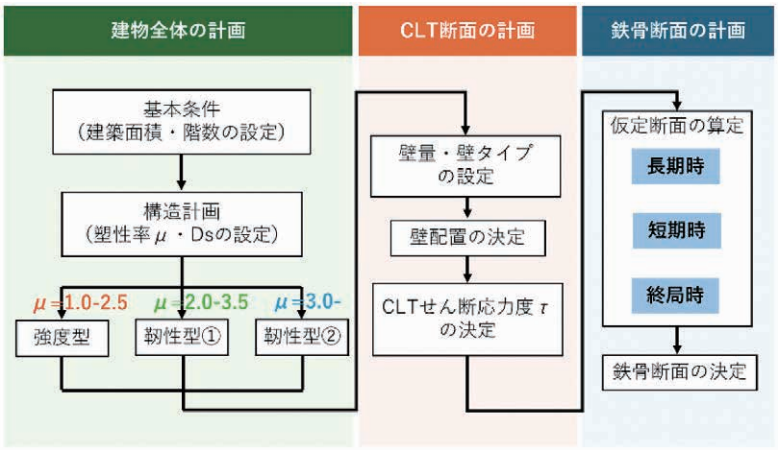
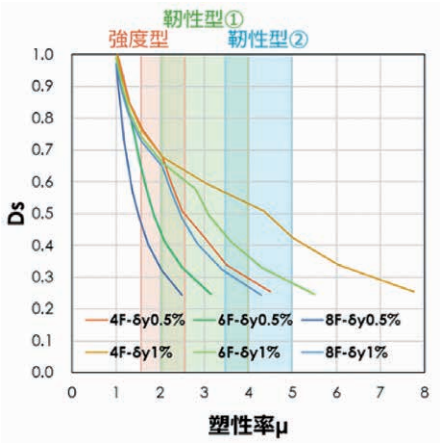


図12：概算設計法フローチャート



$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \qquad (1)$$

$$D_s = \frac{S_a}{g} \times \frac{1}{W/M} \qquad (2)$$

μ：塑性率
δu：終局変位
δy：降伏変位
Sa：応答加速度
Ds：構造特性係数相当値
g：重力加速度
W：建物重量
M：有効質量

図13：建物タイプとDs, 塑性率，階数の関係

2．構造設計マニュアルの開発と実施設計に向けた基礎的検討

2.1　構造設計マニュアルの開発

前章の知見をもとに，CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型木造構造システム（以下「本構造システム」）を用いた建物を構造設計者が設計する際に利用できる構造設計マニュアルの開発を行った。構造設計マニュアルには，本構造システムの特徴，設計フロー，設計方針，構造解析方法，設計例を掲載した。

「本構造システムの特徴」では，CLTが有する強度を最大限発揮し，なおかつ高い靭性能を有し，施工性も優れた接合部であること，鉄骨との接合方法として鉄骨梁タイプと鉄骨フレームタイプがあることを示した。「設計フロー」では，平面プラン及び階数から概算重量と地震力を算定し，使用するCLTの構造性能によって必要保有水平耐力を定める方法を示した。「設計方針」では，一次設計及び限界耐力計算での目標性能を示した。「構造解析方法」では，一貫計算プログラムでのCLTパネルのモデル化方法及び解析方法，モデル化する上で基礎資料となる要素実験及び架構実験結果を示した。「付録」として構造設計者が設計を行う上で参考となる設計例を示した。図14に構造設計マニュアルの抜粋を示す。

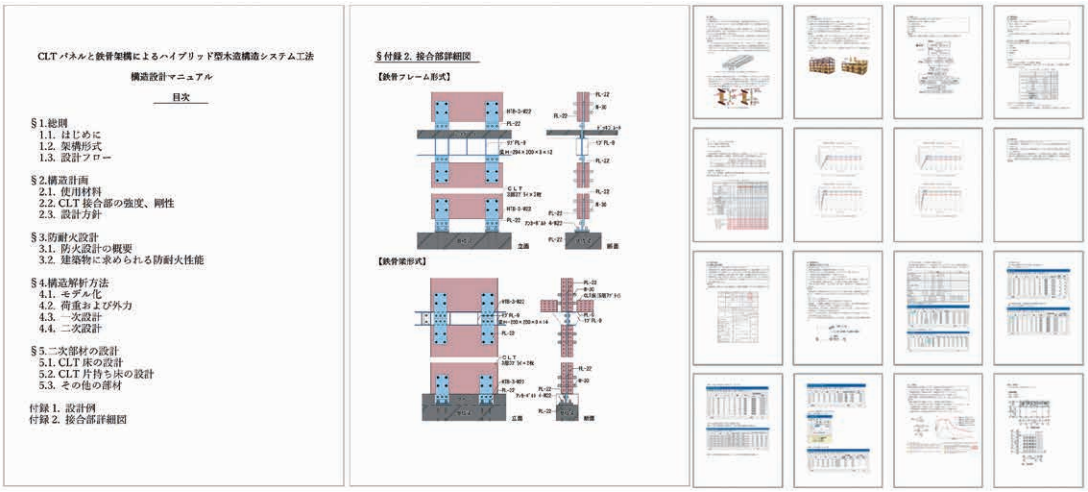
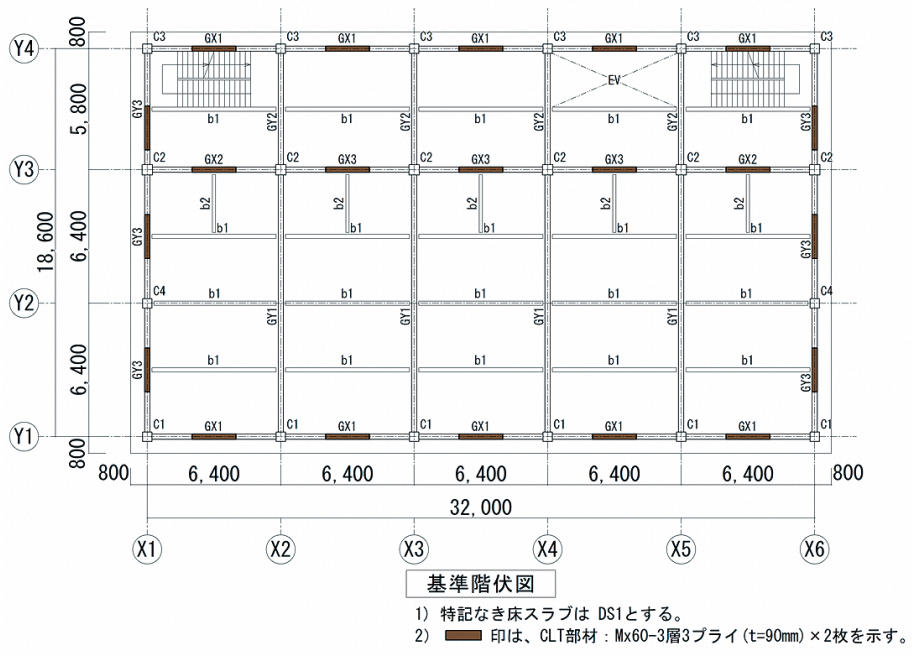


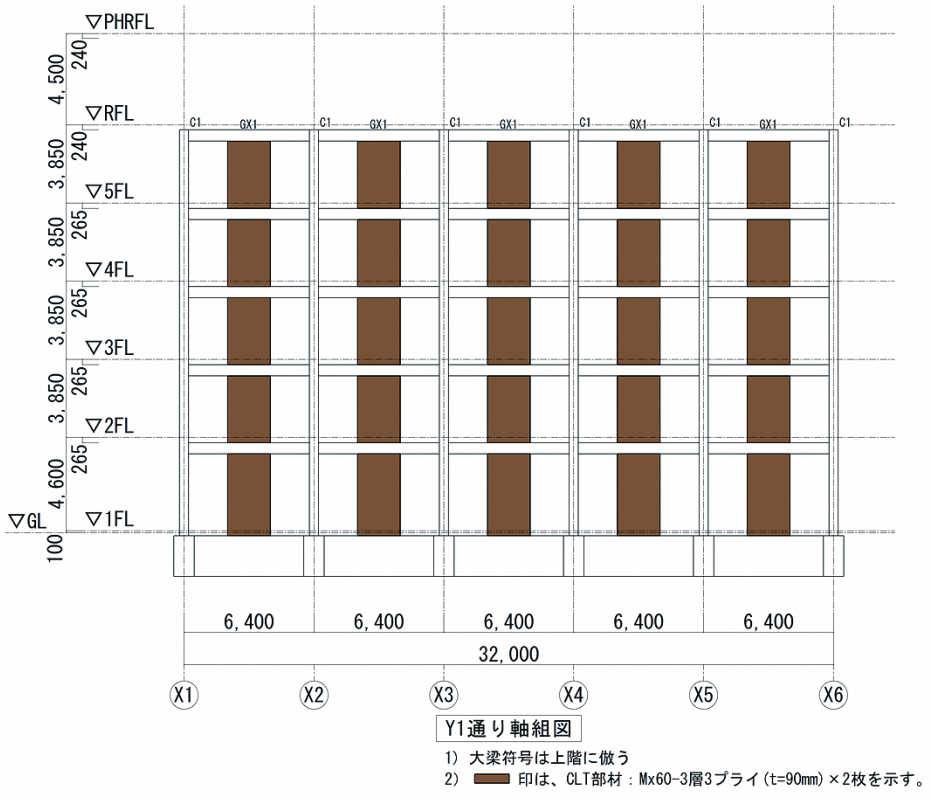
図14：構造設計マニュアル抜粋

2.2　実施設計へ向けた基礎的検討

実務設計へ向け，構造設計マニュアルに掲載した設計例の５階建て事務所ビルを用い，意匠及び設備の基本計画，構造設計及び構造解析，CLTの有無による大梁重量と建設コストの比較を行った。図15に伏図及び軸組図を示す。



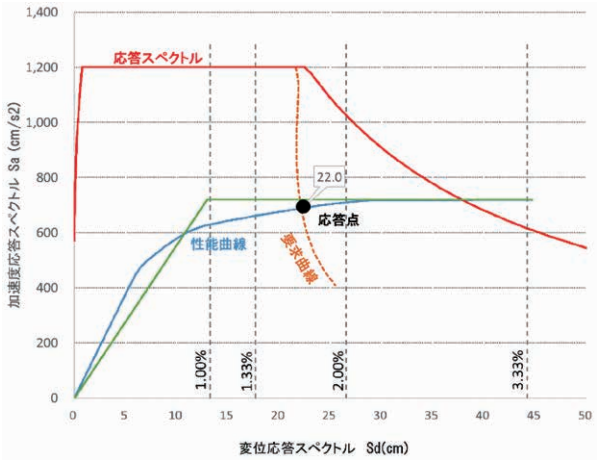
(a) 基準階伏図（事務所）



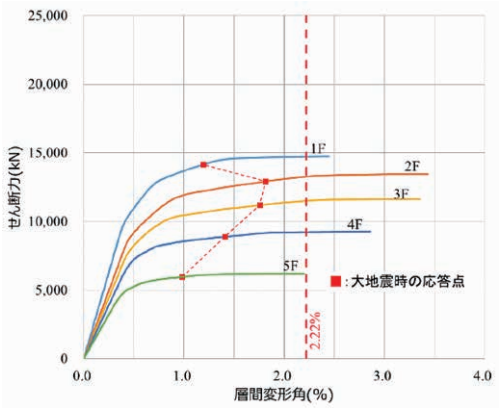
(b) 軸組図（事務所）

図15　伏図及び軸組図

意匠及び設備の基本計画として，防耐火規定の整理及び持続可能性を考慮した設備計画を検討した。設計フローに準じてCLT配置及び鉄骨断面を検討し，一次設計時に各部材が許容応力度以下であること及び層間変形角が1/200であることを確認した。また，極めて稀に発生する地震に対して限界耐力計算を適用した。安全限界の目標値は，CLT架構設計変形1/30の1/1.5の数値2.22%として『2016年版CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル』[3)]を参考に決定した。図16に限界耐力計算の結果及び大地震時の応答点を示す。



(c) 限界耐力計算の結果



(d) 大地震時の応答点

図 16：限界耐力計算及び大地震時の応答点

ハイブリッド構造の設計例と，設計例からCLTを除いて鉄骨造ルート３として設計した建物で，大梁重量とコストの比較を行った。設計例は，CLTを除いた鉄骨造に比べ大梁の重量が35%少ない結果となった。図17に大梁重量の積算結果を示す。なお，『建築コスト情報』[4]を参考に全体コストを試算したところ，設計例の方が鉄骨造に比べて4.5%工事費が低い結果となった。

以上より，本構造システムを採用した場合の実務的な検証をすることができた。

■本試設計（CLTを設けた）での鉄骨梁量

5.3.1 部位別集計表

	種類	鉄骨断面[mm]	材料	柱	大梁	片持梁	小梁	斜張ブレース	水平ブレース	その他	合計
鉄骨重量 [t]	越6幅	H-200×100×5.5×8×8	SS400				0.13				0.13
	越6幅	H-250×125×6×9×8	SS400				2.19				2.19
	越6幅	H-350×175×7×11×13	SS400				30.93				30.93
	越6幅	H-400×200×8×13×13	SN490B		12.11						12.11
	越6幅	H-500×200×10×16×13	SN490B		11.14						11.14
	越6幅	H-550×200×12×19×13	SN490B		23.24						23.24
	越6幅	H-550×200×12×22×13	SN490B		4.52						4.52
	越6幅	H-2100×10.3×10.3×10.3	SN400B	50.96							50.96
	越6幅	H-2100×10.3×10.3×10.3	SN400B	20.39							20.39
	中6幅	H-700×300×13×24×18	SN490B		44.80						44.80
	BCR	□-400×400×16×40	BCR295	5.02							5.02
	BCR	□-450×450×22×55	BCR295	79.17							79.17
	BCR	□-500×500×22×55	BCR295	38.08							38.08
	小計			193.62	95.82		33.25				322.69
割増重量 [t]			SS400				7.15				7.15
			SN400B	15.34							15.34
			SN490B		20.60						20.60
			BCR295	26.29							26.29
			小計	41.63	20.60		7.15				69.38
合計 [t]				235.25	116.42		40.39				392.06

大梁重量　116.42(t)

■鉄骨造ルート３とした場合の鉄骨梁量

5.3.1 部位別集計表

	種類	鉄骨断面[mm]	材料	柱	大梁	片持梁	小梁	斜張ブレース	水平ブレース	その他	合計
鉄骨重量 [t]	越6幅	H-250×125×6×9×8	SS400				2.18				2.18
	越6幅	H-350×175×7×11×13	SS400				30.93				30.93
	越6幅	H-550×200×12×19×13	SN490B		34.61						34.61
	越6幅	H-550×200×12×22×13	SN490B		9.22						9.22
	越6幅	H-550×200×12×25×13	SN490B		2.45						2.45
	越6幅	H-550×250×12×22×13	SN490B		41.97						41.97
	越6幅	H-550×250×12×25×13	SN490B		8.49						8.49
	中6幅	H-750×300×14×28×18	SN490B		51.85						51.85
	BCR	□-400×400×16×40	BCR295	5.02							5.02
	BCR	□-450×450×22×55	BCR295	79.17							79.17
	BCR	□-500×500×22×55	BCR295	38.08							38.08
	小計			122.27	148.58		33.11				303.97
割増重量 [t]			SS400				7.12				7.12
			SN490B		31.95						31.95
			BCR295	26.29							26.29
			小計	26.29	31.95		7.12				65.35
合計 [t]				148.56	180.53		40.23				369.32

大梁重量　180.53(t)

図 17：大梁重量の積算結果

3．普及・広報：成果報告会の企画・実施

本事業の成果を周知するための成果報告会を企画し，令和７年２月19日に仙台メディアテークにて開催した。案内先は，宮城県CLT等普及推進協議会の会員（約170団体）に加えて，宮城県内外の自治体の建築関係部署，建築事業者とし，宮城県を中心とした地方建設関係者への成果の発信，情報共有を目的として実施した。

4．まとめと今後の課題・展開

本プロジェクトは，中層建築の木質化普及に向けたハイブリッド構造の実施のための接合部の性能向上，設計法の整備を目的として実施し，過年度の構造システムの基礎的な検討のうえに，概算設計法の確立，接合部性能と安全性の評価法，性能向上方法の確認を行い，実施に向けたマニュアルと試設計案の提示に至った。具体的な各WGの成果は以下の通りである。

まとめ：

1．CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価〔性能評価WG〕

- 集合破壊を防止するためのボルトの縁空き，応力作用角度の検定方法を提案した。縁空き距離と応力作用角度をパラメータとした接合部試験を実施し，検定方法の適用可能性を示すとともに，十分な縁空きの確保により靭性のある接合部が実現可能であることが確認された。
- CLT-ボルト接合部の初期スリップを防止するためのせん断ビスによる補強方法を提案した。
- CLT-鉄骨ハイブリッド構造の構造計画フローを提案し，建物の強度，靭性に着目した３つの構造タイプに応じたCLTパネルと鉄骨架構の接合部，断面等を概算設計することが可能となった。

2．構造設計マニュアルの開発と実施設計に向けた基礎的検討〔構造解析・構造設計WG〕

- 材料選択から構造性能検証までの一連の構造設計マニュアルを整備した。また，試設計を行い，実施設計に向けた構造性能を検証し実現可能性を示した。
- 対象とするハイブリッド構造と同規模の鉄骨造建物の設計例を比較し，実施に向けたコスト検討が可能であることを示した。

3．普及・広報WG

- 以上の検討内容を整理し，宮城県を中心に構造技術者，設計者らに向けた成果報告会を実施し，設計法の実現可能性を周知し，普及に向けた広報活動を行った。

今後の課題・展開等

今後，提案したハイブリッド構造システムを様々な建築に適用し，普及させてゆくためには，以下の研究課題について引き続き研究開発を続けていくことが必要である。

今後の課題・展開：

① 接合部性能の改良，構造計画方法に関する今後の課題・展開

（1）ボルト配置，ボルト径，本数等を考慮した接合部設計法の確立
（2）材料・接合部性能のばらつきを考慮した接合部設計法の提案
（3）施工性を考慮したボルト，ビス併用型接合ディテールの開発
（4）床の構造システム：構造システムを活用する床の構造システムの検討

② 構造設計マニュアル等に関する今後の課題・展開

（1）構造設計マニュアルの拡充，多様な建物に対応するための設計例の充実，強度型・靭性型①・靭性型②の建物タイプ３種類の設計例への展開
（2）意匠及び設備計画として，CLTを表しとするためのファサード及び内装デザイン，防耐火及び内装制限等の法適合との調整，設備用貫通孔とCLT配置の調整

これらにより，本ハイブリッド構造システムの普及性を高め，実施を進めることで，都市木造建築による低炭素社会の実現に貢献することが期待できる。

参考文献

1) 前田匡樹，髙橋里菜，山本暁，Aljuhmani Ahmad Ghazi，松本直之，後藤豊，迫田丈志，尾畑徹，

永島佑衣, CLTパネルと鉄骨を用いたハイブリッド構造システムによる中層都市木造建築の開発　その7～13，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp135-148，2024.7
2) ALJUHMANI Ahmad Ghazi, 松本直之，峯岸新，後藤豊，前田匡樹，CLTハイブリッド構造の鋼板-ボルト接合システムの開発：性能評価法と要素実験，日本建築学会技術報告集，第30巻，第74号，pp106-111，2024.2
3) CLT設計施工マニュアル編集委員会編，CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル：2016年版，日本住宅・木材技術センター，2016
4) 建築コスト情報，(一社)建設物価調査会，2022.1 冬

事業

保存処理したCLTの日本農林規格に求められるデータ収集・調査

● 実施団体 ●

日本木材防腐工業組合

〒105-0004　東京都港区新橋５丁目28-7 新橋安達ビル

事業目的

脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律が施行されてきた。そのような中にあって、CLTは大量かつ有効に使用する材料であることから、建築用の各部構造材料として利用すれば効果的に対応しうるものとして注目を集めている。

日本木材防腐工業組合では従来からCLT建築物の耐久設計手法や維持管理のためのシステム作りが遅れていることや、CLT自体の耐久性向上が喫緊の課題であることを指摘してきた。これを受けて、本組合では様々な劣化環境下における各種保存処理CLTの耐久性を明らかにすること及びCLT壁体の層間浸水による劣化リスクと保存処理の有効性を検証することに加えて、加圧注入処理CLTの日本農林規格化に資する資料の収集・整備に取り組んできた。その結果、CLTがこれまでにない構成・寸法の木質材料であること、また要求される保存性能が多様であると考えられることから、それらに対応した保存処理法を確立するとともに、その性能を保証するために必要となる品質検査項目に対して、その評価方法とその評価基準を健闘する必要があるとの結論に至った。

そこで本事業では1）保存処理CLTの強度性能管理に求められるラミナ品質の解明、2）新たな基準に基づく保存処理CLTの耐久性評価に資するデータ収集、3）設計事務者が求めるCLT等木質材料の耐久性水準に関する調査、4）保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案の作成を実施し保存処理CLTを日本農林規格（JAS）化するために必要となる基礎的なデータを収集し品質規準案を提案することを目的としている。

実施した項目

本事業では下記の（1）～（4）について制作・試験及び調査を行った。

事業実施内容

（1）保存処理CLTの強度性能管理に求められるラミナ品質の解明
（2）新たな基準に基づく保存処理CLTの耐久性評価に資するデータ収集
（3）設計実務者が求めるCLT等木質材料の耐久性水準に関する調査
（4）保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案の作成

実施体制

1）本事業の目的達成のため、専門知識を有する学識経験者、耐久性調査に携わった関係機関、日本CLT協会及び日本木材防腐工業組合から構成する委員会を発足させ事業を推進した。

（敬称略・順不同）

委員長	中島　正夫※	関東学院大学名誉教授
委　員	石川　敦子	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	新藤　健太※	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	小野　泰	ものつくり大学名誉教授
委　員	栗崎　宏	富山県農林水産総合技術センター
委　員	宮武　敦※	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

委　員	井道　裕史※	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	鈴木　賢人	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	槌本　敬大※	国立研究開発法人 建築研究所
委　員	秋山　信彦	国立研究開発法人 建築研究所
委　員	河合　　誠※	一般社団法人 日本CLT協会
委　員	酒井　優太	国土技術政策総合研究所
委　員	平松　　靖	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	松永　浩史※	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	渡辺　　憲	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	中田　　直※	独立行政法人 農林水産消費安全技術センター
委　員	板垣　　悟	公益財団法人 日本合板検査会
委　員	佐野　敦子	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター
委　員	前田　　啓	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	中川　美幸	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
委　員	北野　正博	株式会社 中東
委　員	大橋　義徳	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場
委　員	高梨　隆也	北海道大学大学院 農学研究院
委　員	増田　勝則	奈良県森林技術センター
委　員	山口　秋生※	越井木材工業株式会社
委　員	森田　珠生※	越井木材工業株式会社
委　員	須貝与志明※	株式会社ザイエンス
委　員	茂山　知己※	株式会社ザイエンス
委　員	手塚　大介※	兼松サステック株式会社
委　員	角谷　俊和※	兼松サステック株式会社
委　員	赤堀　裕一※	大日本木材防腐株式会社
委　員	原田　矩行※	九州木材工業株式会社
オブザーバ	高木　　望	林野庁 木材産業課 木材製品技術室
オブザーバ	福島　　純	林野庁 木材産業課 木材製品技術室
オブザーバ	上田　萌香	林野庁 木材産業課 木材製品技術室
オブザーバ	平原　章雄	木構造振興株式会社
事業主体	関澤外喜夫※	日本木材防腐工業組合

※：保存処理CLTの規格基準検討委員会委員

2）事業の役割分担について

① 保存処理の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価

森林総合研究所、日本木材防腐工業組合、日本CLT協会のメンバーが中心に行う。

② 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案の作成

森林総合研究所、日本住宅･木材技術センター、日本合板検査会、農林水産消費安全技術センター、日本CLT協会、日本木材防工業組合員を中心に実施する。

③ 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握

上記については森林総合研究所、富山県農林水産総合技術センター、日本木材防腐工業組合員を中心に実施する。

3）本事業の委員会の開催日程について

① 第１回委員会　令和６年６月４日（火）

② 第２回委員会　令和７年１月30日（木）

実施した内容

1）保存処理CLTの強度性能管理に求められるラミナ品質の解明

目的：ラミナ処理及び製品処理による保存処理CLTの面外曲げ、圧縮、面外せん断強度については無処理CLTと比較すると低下するもののラミナ品質を管理することで一定の水準で保証できることを明らかにしてきた。しかしながら面内せん断強度および長期性能についてはその評価がまだであり、日本農林規格や適正製造基準等で規定すべき事項が未検討であることから、関連するデータ収集を行う。

試験体の共通仕様：CLT層構成は5層5プライ、樹種はスギ、ラミナの断面寸法は30mm厚×105mm幅、積層用接着剤はレゾルシノール・フェノール樹脂（以下PRF）、たて継用接着剤はメラミン樹脂とした。各種試験体を切り出すCLTパネルは、150mm厚×3,990mm長さ×1,155mm幅、幅はぎ接着なし、積層接着には高周波加熱プレスを用いた。保存処理薬剤は、CLTに加圧注入する製品処理にはAZNを、加圧注入されたラミナでCLTを製造するラミナ処理にはACQを用いた。ラミナの品質管理技術を検証するためラミナ試験体も製造した。

写真1　逆対称4点曲げ方式による面内せん断試験

写真2　モーメントアーム方式によるクリープ試験

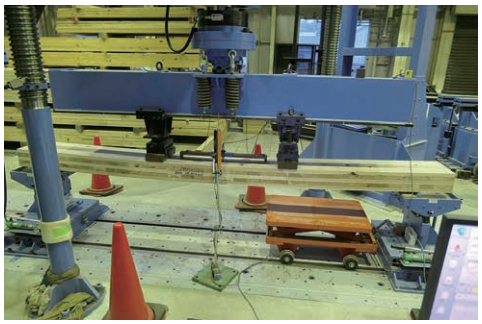


写真3　実大曲げ試験機の荷重保持機能を利用したDOL試験

写真4　TLユニットの構成
試験材は接着せず金具で固定

写真5　各種TLユニットの曝露
富山木研試験地の例

写真6　保存処理CLT曝露試験
ものつくり大にて2021年から開始

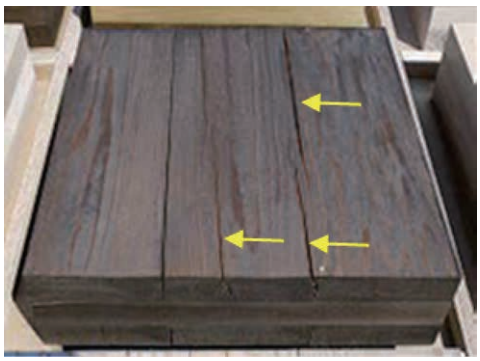


写真７　CLT試験体の干割れ等屋外曝露６カ月で貫通割れも発生

写真８　保存処理ラミナの乾燥試験

１)-1. 面内せん断強度

方法：試験体の仕様は、無処理、製品処理（外層に両面インサイジングラミナ使用)、ラミナ処理（外層に両面インサイジングラミナ使用）の３種類とし、断面寸法を幅150mm×高さ310mm、試験体長さを2,400mmとした。面内せん断強度は、スパン1800mmの逆対称４点曲げ方式（写真１）で評価した。

１)-2. 長期性能

方法：試験体の仕様は、無処理、製品処理・全層通しラミナ（外層に両面インサイジングラミナ使用)、製品処理・FJラミナ（外層に両面インサイジングラミナ使用)、ラミナ処理（全層インサイジングラミナ使用）の４種類とし、断面寸法を150mm厚さ×310mm幅、試験体長さを3,450mmとした。試験は、クリープ試験とDOL試験とし面外曲げ荷重により評価した。曲げ試験のスパンは3,150mmの３等分点４点曲げ方式とした。クリープ試験は20℃、65%RHの恒温恒湿室内に設置したモーメントアーム式の長期荷重装置を用いて実施した（写真2)。DOL試験は、非定常の温湿度条件下（試験実施期間は2024年10月～11月）で、実大曲げ試験装置の荷重保持機能を利用して実施した（写真3)。加えて、CLT製造に用いたFJラミナの曲げおよび引張試験をCLT/JASに規定される条件で実施した。

２）新たな基準に基づく保存処理CLTの耐久性評価に資するデータ収集

目的：これまでの事業成果に基づいて保存処理における薬剤の浸潤について新たな基準を提案しているが、このような従来にない基準に基づく保存処理木材の耐久性を検討するためのデータは少ない。そこで関連するデータ収集を行って、新しい提案に基づく保存処理CLTの保存処理等級等について評価する。

２)-1. 屋外暴露試験による耐朽性評価

方法：屋外使用における保存処理CLTの耐久性データ収集のため、トリプルレイヤー試験体の劣化調査、ならびに保存処理CLT試験体の浸潤層調査を行った。

トリプルレイヤー試験では、きわめて劣悪な状態に陥った保存処理CLTの耐朽性を評価するため、雨水が層間に容易に浸入する状態のCLTを模したトリプルレイヤー(TL)ユニット（300mm長さの30mm角試験材10本を配列した層を３層直交させて金具で固定したユニット）を作製し、直立状態で屋外曝露している（写真4)。曝露地は３地点（つくば、奈良、富山)、供した試験材は保存処理６種（K3仕様：AAC,ACQ,CUAZ,AZN、K4仕様：AZNA、AQ樹脂処理屋外製品仕様：LPH）と無処理の計７種である（写真5)。20209年度に曝露開始し、以降は毎年現地でTLユニットを解体して目視と触診で全試験材の劣化被害度を判定している。

今回の調査は、曝露４年目の劣化調査となる。保存処理CLTの浸潤層調査は、耐候性評価

を目的として2020年度から3年間実施した保存処理CLT曝露試験の試験体を切断し、内部の薬剤浸潤等を調査した。曝露試験では、約300mm四方の3層CLT試験体にTLユニットと同じ6種の保存処理を施し、埼玉県のものつくり大構内の曝露台上に300mm面を水平向きに設置した（写真6）。3年間曝露した試験体の表面には、干割れやラミナ間の隙間（以下「干割れ等」）が発生しており（写真7）、薬剤浸潤層を越える深い干割れ等は、雨水の侵入経路となってCLT内部の未浸潤部の腐朽を誘発するおそれがある。今回の調査では、曝露終了後の各CLT試験体から採取した断面試料について、干割れ等の深さと薬剤浸潤層の厚さの比較から、各試験体の浸潤層の有効性の検討を試みた。薬剤浸潤層については、AQ認証P-1性能基準、ならびに令和5年度補助事業において提案した性能基準（以下新基準）に準拠した浸潤度検査（試料採取位置を調整）も実施した。

2)-2. **保存処理CLTの接着耐久性評価**

- 水溶性保存薬剤処理ラミナの乾燥特性把握

方法：水溶性保存薬剤処理ラミナの乾燥特性を把握するために乾燥試験を行った。薬剤の種類（ACQ、AAC、CUAZ）の他、ラミナ密度、インサイジングのパターン（無し、木表、木裏、両面）の組み合わせごとに、各5体のラミナを抜き取り、中温の蒸気式乾燥試験を実施した（写真8）。試験体長さは60cm、両木口面はシリコンシーラントで被覆した。乾燥期間中の試験体の重量変化と試験終了後に測定した全乾法による含水率から、乾燥中の各試験体の含水率推移を算出した。これをもとに乾燥曲線モデルを構築し、薬剤、密度、インサイジングのパターンごとに乾燥速度係数をベイズ推定した。

- 保存処理CLTの接着耐久性評価

方法：各種製造条件（薬剤処理（CUAZ、ACQ、AAC、AZN）、インサイジング処理、接着剤（PRF、水性高分子イソシアネート系樹脂（以下API））、木裏木表の組合せ等）が接着性能に与える影響をCLT/JASに規定する減圧加圧剥離試験を行って評価した。試験の繰り返し数は、PRFは使用環境Aとして2回、APIは使用環境Cとして1回であった。

3）設計実務者が求めるCLT等木質材料の耐久性水準に関する調査

目的：保存処理CLTが必要な建物（部位）を例示する。

方法：設計実務関係者が考えている木材への要求性能と木材関係者のそれとの乖離（木材の耐久性能に関する誤解といってもよい）を、設計者へのヒアリングや建物調査を通じて明らかにした。

4）保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案の作成

目的：直交集成板の日本農林規格で保存処理CLTに求められる各種品質項目について評価方法や評価基準を作成する。

方法：木質材料、木材保存、建築に関する研究、実務、規格に関係する識者からなる「保存処理CLTの規格基準検討委員会（委員長：山口 秋生組合技術委員長）」を設置し、今年度事業やこれまでの事業成果を総合的に検討し、規格基準案としてとりまとめた。

5）提案課題の長期見通し（事業のロードマップ）

本事業では直交集成板JAS規格の見直し作業において保存処理CLTを認証対象とする改正とそのJAS製品に与えられる基準強度へのスムーズな反映に資するためのデータ収集を行ってきた。当初は従来基準K3に対応した保存処理CLT（全断面浸潤型）に関する製造技術、性能評価技術の検討を行いながら面外曲げ、面外せん断等基本強度性能や接合性能、また、耐朽性に関するデータ収集を行った。その後、製品品質諸性能の安定性を図って構造物の要求水準に応じた保存処理CLTの製造技術、性能評価技術の検討を行い、CLTに保存処理を施すにあたってより適正な条件を提案した。今年度は、これ等の成果から保存処理CLTの製造条件を絞り込み、これまでデータ収集をしてこなかった強度性能のデータを追加収集するとともに、耐久性に関する試験結果を評価し、これ等を総合したJAS規格

案や適正製造規準案を作成する。

そして、令和11年度に改正が見込まれる見直し作業においてこれらの案を提案する予定である。

実施した結果

1）保存処理CLTの強度性能管理に求められるラミナ品質の解明

1)-1. 面内せん断強度

ほとんどの試験体において積層接着面におけるねじりせん断を伴う破壊と木材の繊維方向のせん断破壊（写真9）が生じた。曲げ破壊が生じたものもあり最大荷重に達した時の破壊モードは判然とはしないものの、面内せん断強度を逆対称4点曲げ方式で評価することは可能であると考えられた。各仕様の最大荷重の平均値は、無処理を1.0とすると、製品処理が0.91、ラミナ処理が0.84であった。

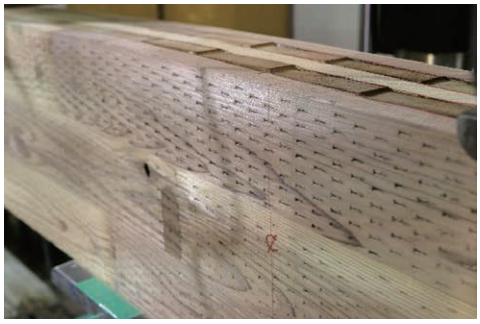


写真9　逆対称4点曲げ試験による面内せん断破壊の例

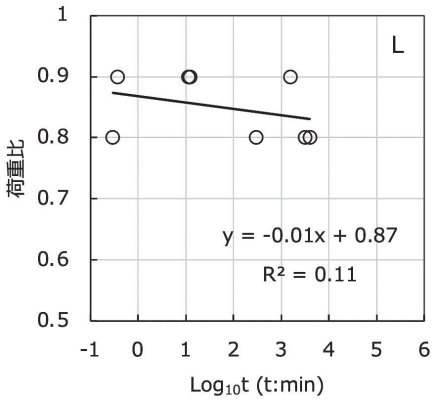


図1　ラミナ処理CLTの荷重継続時間と荷重比の関係

1)-2. 長期性能

- 載荷荷重の決定

通常、長期性能を評価する場合の載荷荷重の決定にあたっては、短期試験を行って求めた材料強度を基準とする。しかしながら、本事業では、短期試験用の十分な試験体数が得られないことから次の方法で材料強度を算出し基準とした。①仕様毎の製造に用いた外層用FJラミナ30体の引張試験を実施し、その際に求めた引張強度を縦振動法で求めた弾性係数で除した値を見かけの引張破壊ひずみとし、その平均値（εt・ave）を求める。②CLT試験体毎にたわみ振動の共振周波数を測定しTGH法で真の曲げヤング係数（Etgh）を求める。③各試験体のEtghに試験体の仕様に応じて①で求めたεt・aveを乗じた値を材料強度とした。

- クリープ試験

材料強度の33%として載荷荷重を算出して実施した試験において、告示法で求めたクリープ係数は2.0を下回り、低い方から無処理、製品処理・全層通しラミナ、ラミナ処理（全層インサイジングラミナ使用）の順であった。なお、24時間以内のデータを無視したパワー則による評価では、ラミナ処理が2.0を超えた。

- DOL試験

事業期間内で一定の傾向を把握することを目的として、通常より大きな荷重比（100%、90%、80%）で実施したところ、多くの試験体が設定した載荷荷重に達する前に破壊し荷重継続時間のデータを得ることができなかった。今回は実大曲げ試験機を用いて実施したことから破壊荷重が記録されたのでこれらのデータを用いて当初設定した材料強度について検討したところ、当初設定した載荷荷重が高すぎた可能性があると考えられた。その中でラミナ処理試験体については比較的多くの荷重継続時間のデータを得られたので（図1）、荷重継続時間調整係数を暫定的に求めたところ0.79という値が得られた。

2）新たな基準に基づく保存処理CLTの耐久性評価に資するデータ収集

2)-1. 屋外暴露試験による耐朽性評価

- ＴＬユニット試験体の劣化調査

　３つの試験地におけるＴＬユニットの劣化被害度の推移を、図２～４に示した。無処理ユニットの劣化は年進行し（写真10)、被害度は曝露開始から２～３年で耐用限界とされる2.5を越えたが、保存処理ユニットの被害度の増加は極めて緩慢で、４年目の被害度はすべて１以下であった。６種類の保存処理は、きわめて劣悪なCLTを想定したTLユニット曝露試験において、４年経過後も劣化抑制効果を維持していた。

- 屋外曝露した保存処理CLT試験体の浸潤層調査

　主な調査対象は、曝露した保存処理CLT試験体のうち、製品処理、塗装なし、木口シールなし、水平曝露の条件の５体の試験体とした。CLT試験体の中心線断面試料を採取して薬剤浸潤を呈色するとともに、曝露面に発生した干割れ等の深さや本数を目視観察した。

　各CLT試験体の干割れ等の本数を、浸潤層との関係ごとに区分して、表１に示した。保存処理CLT試験体５体は、合計18本の干割れ等が発生していたが、浸潤層を貫通して未浸潤部に到達したものは１本のみであった。これに対し無処理CLT試験体２体では、合計６本の干割れ等が発生し、当然ながら６本すべてが未浸潤部に達していた。このように保存処理CLTと無処理CLTでは、未浸潤部に到達する干割れ等の割合が大きく異なっており、浸潤層厚さと干割れ等の深さの比較から浸潤層の有効性を評価できると考えられた。

　表１には、AQ　P-1、ならびに新基準案に準じて浸潤度を検査した結果も併記した。保存処理CLT試験体はほとんどのものが基準に適合していたのに対し、無処理CLTは当然ながら不適合であった。今回の調査対象は限定的な試験体ではあったが、浸潤度基準の合否と浸潤層の有効性との間に明確な関係が認められた。浸潤層の有効性は、浸潤度基準の妥当性を判断する材料となりうると考えられる。

2)-2 • 保存処理CLTの接着耐久性評価

- 保存処理ラミナの乾燥特性

　ACQを加圧注入したラミナの乾燥速度係数は、AAC、CUAZのそれより大きいことが明らかになった（図5)。一方、高密度ラミナは低密度ラミナより、また、インサイジング無しラミナは両面インサイジングラミナより乾燥速度係数が低い傾向を示したが、確率的に有意な差は認められなかった。

- 保存処理CLTの接着耐久性評価

　CLTの場合、疑似剥離（木破を伴った接着層付近の分離）が接着剥離とみなされる可能性がある。そこで、接着剥離のみによる評価と疑似剥離を含めた場合の評価を行った。図６に基準値（全接着層10%または一接着層25%）を超えた試験体数を示す。剥離による不合格が発生したのは両面インサイジングあり同士の接着試験体であり、CUAZとPRF、AZNとAPIの組合せのものであった。疑似剥離を含めた評価を行ってもAACの不合格数は少なかった。

写真10　無処理TLユニット外層の試験材
（富山試験地に３年間曝露）

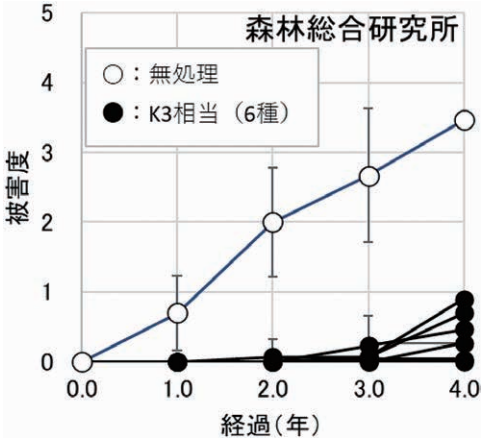


図２　TLユニットの劣化被害度
森総研試験地（つくば市）

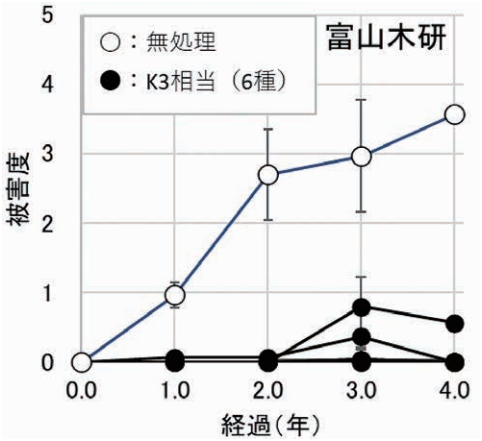


図３　TLユニットの劣化被害度
富山木研試験地（射水市）

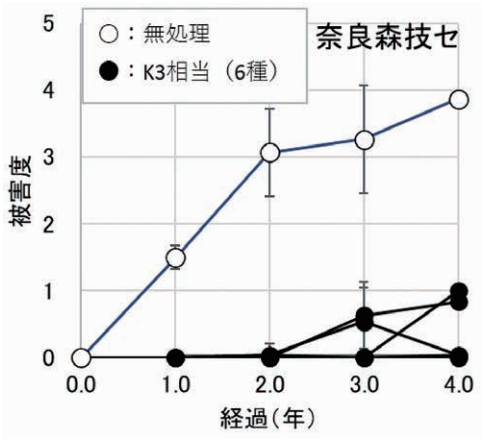


図４　TLユニットの劣化被害度
奈良森技セ試験地（明日香村）

表１　３年間屋外曝露したCLT試験体の干割れ等発生状況と浸潤度ものつくり大構内（埼玉県）

理	干割れ等（本）				浸潤度判定	
	総数	到達点の内訳				
		未浸潤部		浸潤層内	AQ　P-1	新基準案
		心材	辺材			
AAC	2本	0本	0本	2本	不適合	適合
ACQ	2本	0本	0本	2本	適合	適合
AZN	3本	0本	0本	3本	適合	適合
AZNA	3本	0本	0本	3本	適合	適合
CUAZ	8本	1本	0本	7本	適合	適合
無処理-1	6本	5本	1本	0本	不適合	不適合
無処理-2	4本	4本	0本	0本	不適合	不適合

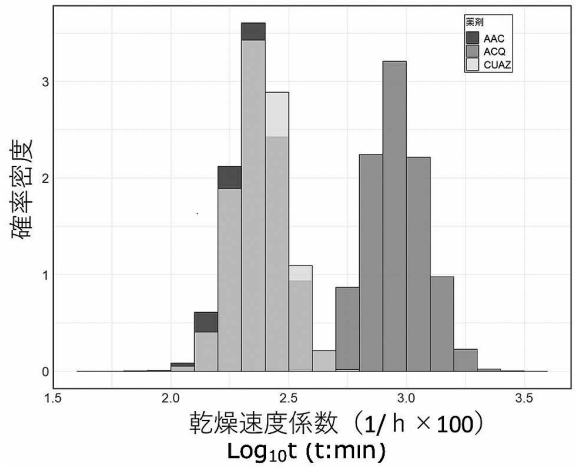


図５　薬剤別の乾燥速度係数の確率分布

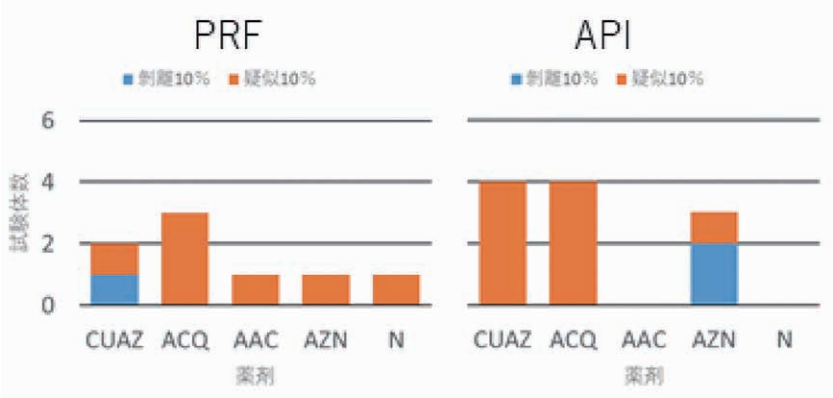


図６　薬剤別の剥離率不合格数および疑似剥離率含めた場合の不合格数

3）設計実務者が求めるCLT等木質材料の耐久性水準に関する調査

建築基準法施行令では、構造上主要な部分についてGLから1m以内に有効な防腐措置を講ずるよう定めているが、その具体的な例示仕様は示されていない。また意匠設計者の中には、外壁や軒天などに木材をあらわしで使いたいとの要望がある。そこで建築系の実務者へのヒアリングや建物調査を行い、CLT等木質系構造部材の耐久性に関する要望等について要素抽出した。

A社（意匠設計・ディベロッパー）：

- CLT等木質系構造材料への保存処理には関心があり、自社で耐久性の検証等も行っているが、現状においては過度な期待はしていない。
- 一方で木材を有効に見せたいとの意匠上の要望はあるため、交換を前提として木材をあらわしで使うことはあるが、その場合も例えば木製ルーバー等、交換可能な造作材を対象としている。
- その木製ルーバーについては、１～２年で上塗りのメンテナンス、５～10年ごとに取り外して点検をすることにしている。同じ仕様の製品を旭川、愛媛、鹿児島にて暴露試験をしている。もし、暴露試験体に異変があれば、実物にも何かが起こっている可能性がある（モニタリング）。
- 施主からの要望であっても、不具合があれば設計・施工者の責任が問われるので、対応が可能な使い方や施工を提案することになる。
- 鉄骨造や鉄筋コンクリート造であれば、メーカーが耐久性について言及（保証）してくれるが、保存処理CLTが市場に出た場合、メーカーが耐久性について言及（保証）してくれるのだろうか。設計例でもいいので、あれば設計者サイドは大変使いやすくなる。

B社（構造設計）：

- 構造設計事務所なので原則として自ら意匠設計に携わることはないが、CLT等木質系材料の初期性能が継続される使われ方が構造設計の前提となる。したがって、仮に構造部材に耐久性上の懸念が生じるような設計がなされていた場合、そのような物件は手がけない。
- 過去の物件の中で、バルコニー側外壁のCLTがあらわしになっていた事例はある。ただ建物用途が（50年などの）恒久的な使用を前提としたものではなかったこともあり、ガラス系の塗装仕上となっていた。
- また3階建て以上のCLT建物の場合は土台を使わない工法が多い。その場合、1階CLT壁脚部がRC造基礎立ち上がり部に接する仕様となるため、CLT木口に塗膜系の塗装を施した上でシール材にて保護するなどの対策を取っている。

C（研究員・有識者）

- たとえ保存処理CLTであっても、直接雨がかりするような屋外環境下に、CLTのような木質系接着積層材を配置するような建築計画はしてはならない、というのが私の立場である。
- 軒の出が十分に確保されており、外気に曝されてはいるものの、通常の状態において雨がかりがないような使い方であれば、保存処理CLTの使われ方として許容されるケースもあろう。

4）保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案の作成

現行集成材JASに規定する保存処理性能K3相当が期待できる製造方法としては、加圧注入ラミナを積層接着するラミナ処理がある。ラミナの保存処理性能の保証を保存処理メーカーが、その他の品質管理をCLT工場がそれぞれ分担することでJAS認定品の供給力が向上すると考えられる。ただし、インサイジング処理ラミナを用いる場合は、強度性能、接着性能が一定量低下するので、品質管理体制の構築と第3者機関によるその検証がポイントとなる。また、同製造方法の集成材にはJASやAQの規格が整備されてはいるものの認証品の供給がないことについて、要求性能と製品性能とのマッチング面からの分析が必要である。

従来にない長大な部材であるCLTを従来なかった中大規模木造建築の構造部材として用いる観点から、浸潤度の測定位置については、CLTに要求される耐久性能に応じたものに変更しうるものと考えられる。もちろん、従来の浸潤度の基準を科学的な根拠に基づいて変更できるかどうか検討する必要があるが、評価位置を材中央部から材端から一定距離に変更することで、保存処理CLTの製造方法の選択肢を増やすことが可能となる。その対象技術として、乾式による製品処理はこれまでの事業で製造技術や品質管理技術について十分検討さており実現の可能性は高い。湿式による製品処理は、製造技術について検討する必要がある。さらに近年実用化された深浸潤処理も対象となる。その他、CLT工場が対応できるならば、処理ラミナを必要な個所（表層や部材周辺部など）に配置する、あるいは高耐朽性樹種の心材のみのラミナを用いる製造方法なども考えられる。以上を簡単に表2にまとめる。

表2　要求される保存処理性能に対応した耐久性付与技術

保存処理性能	耐久性付与技術
集成材JAS/K3相当	ラミナ処理/全層処理ラミナ使用
新たな浸潤度基準	製品処理/乾式加圧注入 製品処理/湿式加圧注入 ラミナ処理/処理ラミナの必要箇所への配置
加圧処理以外の保存性能付与技術に対応した基準	製品処理/深浸潤処理 高耐朽樹種の心材ラミナ使用

今後の課題・展開等

1）保存処理CLTの面内せん断強度は、インサイジング処理の影響を受けていると考えられる。引き続き接着層のねじりせん断強度や木材の繊維方向のせん断強度との関係について明らかにする必要がある。また、長期性能の評価については、実施できる施設が限られており評価方法の開発とあわせて引き続き試験を行っていく必要がある。

2）劣悪状態のCLTを想定したTLユニットの曝露試験は、4年を経過している。雨水がユニット内部に侵入する過酷な条件でありながら、保存処理は劣化を抑制し続けている。今後の推移が注目される。また、3年間屋外曝露した保存処理CLT試験体の内部を観察した結果、多くの干割れが発生していたが、そのほとんどは薬剤浸潤層内で止まっていた。干割れと薬剤浸潤深さの関係は、保存処理CLTの浸潤度基準を検討する上で重要と考えられる。

　保存処理ラミナの乾燥特性とラミナ処理によるCLT製造における接着性能が明らかになった。

3）保存処理CLTの実用化に向けたJAS規格等の整備を進めるとともに、建物における使用環境、使用部位に応じた性能と、予防保全を含めたメンテナンス計画等の維持管理情報をセットで提供していくことが求められている。また例え保存処理CLTであっても想定の範囲を超えた使われ方をされないよう、情報提供していくことも重要であろう。

4）これまで検討した保存薬剤の加圧注入を基本とした保存処理技術やその他の耐久性付与技術について、要求される保存処理性能に応じた区分として分類した。各種製品の保存処理性能と建物の構造部材に要求される耐久性能の関係について科学的なデータに基づいて検討する必要がある。

執筆者

1）-1　酒井優太、1）-2　高梨隆也、井道裕史
2）-1　栗崎宏、2）-2　渡辺憲、宮武敦
3）新藤健太
4）宮武敦

事業

中大規模木造建築用の木製開口部の開発検討（継続）

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本木製サッシ工業会

〒101-0047　東京都千代田区内神田1-4-1 大手町21ビル7階

事業目的

平成30 年の建築基準法改正により、従来の耐火構造に加え、高性能の準耐火構造を用いて木造現し仕上げで各種の中大規模建築物を建築することが可能となった。これらに用いる建築物の木製などの開口部（窓、扉）の防耐火性能の向上（20分間超防火設備の遮炎性能）の必要性、設計ニーズに合わせた開閉機能の多様化に加え、中大規模木造建築物用のビルサッシの開発検討が必要である。

令和５年度においては、45分間防火設備の告示化を目指す４種の開閉形式（FIX窓、片引き窓、横すべり出し窓、たてすべり出し窓）の木製サッシについて、動風圧試験（気密性、水密性、動風圧性）に供し、うちFIX窓、横すべり出し窓及びたてすべり出し窓についてはRC造住宅相当の目標性能（ただし、たてすべり出し窓の耐水性のみS-5）を得た。また新たな開閉形式として、ドレーキップ（内倒し内開き窓）を動風圧試験及び加熱試験に供し、目標性能を得るための見通しが立った。

令和６年度においては、新たにドレーキップを含む連段窓や片開き窓を選定し、目標性能を得るよう仕様の検討を行うとともに、いずれも動風圧試験及び加熱試験に供した。合わせて、木製防火設備の壁取付けに係る標準的な施工方法の検討することにより、施工時の注意点などを抽出する。

実施した項目

木造建築関連団体の（一社）日本木造住宅産業協会、（一社）日本ツーバイフォー建築協会、（一社）JBN・全国工務店協会と連携して、以下の事業を行う。

- １時間以上の準耐火性能が要求される建築物における、防火設備の必要性能の調査
- 窓の仕様及び壁取り合い部の仕様・窓取り付け方法の調査
- 新たな開閉形式についての、各種試験の実施（気密性、水密性、耐風圧性、遮炎性等の各種性能把握）

実施体制

この事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による下記委員会を設置し、事業計画、成果の検討などを行うとともに、委員会の傘下として中層用木製開口部開発WGを設けた。

◆中層用木製開口部開発委員会（順不同・敬称略）

委員長	小見　康夫	東京都市大学　建築都市デザイン学部長・建築学科　教授
委員	信太　洋行	東京都市大学　都市生活学部　都市生活学科　准教授
	大橋　好光	東京都市大学　名誉教授
	山崎慎一郎	株式会社山崎屋木工製作所　代表取締役
	逢坂　達男	（一社）日本木造住宅産業協会　技術開発委員長
	坂口　晴一	（一社）日本ツーバイフォー建築協会　技術部長
	鈴木　晴之	（一社）JBN・全国工務店協会　理事
行政	松田　　涼	林野庁 林政部 木材産業課 住宅資材班　住宅資材技術係長
コンサル	髙田　峰幸	（一社）木を活かす建築推進協議会 研究主幹
事務局	平原　章雄	（一社）日本木製サッシ工業会

◆中層用木製開口部開発WG（順不同・敬称略）

主査	小見　康夫	（前述）
委員	信太　洋行	（前述）
	大橋　好光	（前述）
	山崎慎一郎	（前述）
	髙橋　風人	アルス株式会社　代表取締役社長
オブザーバー	大野　吉昭	（一財）ベターリビング　つくば建築試験研究センター　主席試験研究役
	橋本　乗源	東京都市大学大学院総合理工学研究科　建築・都市専攻　修士学生
コンサル	髙田　峰幸	（一社）木を活かす建築推進協議会 研究主幹
事務局	平原　章雄	（一社）日本木製サッシ工業会

実施した内容

1）耐火建築物相当の建築物における、外壁開口部防火設備の必要性能の調査

令和５年度までは、①火災時倒壊防止構造（４階以上建木造）、②避難時倒壊防止構造（中大規模特殊建築物）における外壁に設ける開口部（以下、「外壁開口部」という。）をメインに、建築物の高所に使用される木製サッシを想定して45分間防火設備を動風圧試験に供してきた。新たに令和５年度末の告示改正により、③耐火建築物内の部分（特定区画）木造における外壁開口部、④周辺危害防止構造（3,000㎡超３階建以下木造）などが加わったため、それらについても外壁開口部の防火設備の必要性能を調査した。

2）窓の仕様及び壁取り合い部の仕様、窓取り付け方法などの調査

令和４年度までの事業成果に基づき、４種の開閉形式（FIX窓、横すべり出し窓、たてすべり出し窓、片引き窓）の45分間木製防火設備が、令和元年国土交通省告示第193号（建築物の特定主要構造部の構造方法を定める件）において新たに規定された。同告示に関連して、上記木製防火設備に係る標準的な窓・壁取り合い部の仕様、窓取り付け方法なとを調査するとともに、個別の建物に応じた施工時の注意点などを抽出した。

3）新たな開閉形式の木製開口部についての各種試験の実施

今年度は新たな開閉形式として、ニーズの高い片開き窓及び連段窓（ドレーキップとFIX窓の組み合わせ）を選定した。うち片開き窓については、主に縦すべり出し窓の断面寸法を勘案して両面ハンドル取付けた分見付寸法を大きくした仕様である。また連段窓については、FIX窓部分はドレーキップの断面寸法に合わせて防火設備としての実績のある仕様よりも見込み寸法を大きくした仕様、ドレーキップ部分は昨年度屋内側加熱をした仕様よりもガラス見え掛かり寸法を小さくした仕様、かつ方立・無目の断面寸法をできるだけ小さくした仕様である。

各動風圧試験の目標性能は、中大規模建築物に設置されることを勘案して、気密性は「A-4（最高ランク）」、水密性は「W-4（中高層ビル相当）」、耐風圧性は「S-5,7（S-7は最高ランク）」（いずれもRC造住宅相当）とし、うちドレーキップ・FIX連段窓については、FIX窓単体は、A-4、W-4、S-5,7の性能確認済み、ドレーキップ単体は、A-4、S-5の性能確認済みであるため、所定の性能を有するものと判断して、試験を省略した。

また、加熱試験の目標性能は、これまでと同様いずれも45分間（余裕度を見れば約１割増しの50分間）とした。加熱面は、片開き窓については丁番側、ドレーキップ・FIX連段窓については枠・方立・無目の外押縁側からの遮炎性の確認を行うため、いずれも屋外側加熱とした。

表１に試験体仕様一覧及び目標性能を、図１に試験に供した２体の窓の屋外側姿図を示す。

表１　試験体仕様一覧及び目標性能〔単位：㎜〕

<table>
<tr><th rowspan="2">開閉形式</th><th rowspan="2">窓枠外
寸法</th><th rowspan="2">ガラス
見え掛かり寸法
［ガラスの仕様］</th><th colspan="3">動風圧試験
目標性能</th><th colspan="2">加熱試験</th></tr>
<tr><th>気密性</th><th>水密性</th><th>耐風圧性</th><th>加熱面</th><th>目標性能</th></tr>
<tr><td>片開き窓</td><td>W1,075×H2,240</td><td>W735×H1,954[2]</td><td>A-4</td><td>W-4</td><td>S-5,7</td><td>屋外側</td><td>45 分間</td></tr>
<tr><td>ドレーキップ・FIX 連段窓</td><td>W2,800×H2,400</td><td>・FIX 窓※
(1)W617.5×H1,101[2]
(2)W617.5×H1,101[2]
(3)W1,200×H2,284[2]
(4)W617.5×H442[3]
(5)W617.5×H700[3]
・ドレーキップ
W617.5×H902[3]</td><td>—</td><td>W-4</td><td>S-7</td><td>屋外側</td><td>45 分間</td></tr>
<tr><td>備考
（特記の無い限り、各試験体共通）</td><td colspan="7">※FIX(1)～(5)の配置については、図１参照
★ドレーキップ・FIX 連段窓の FIX 窓単体は、A-4、W-4、S-5,7 の性能確認済み、ドレーキップ単体は、気密性 A-4、耐風圧性 S-5 の性能確認済み

◆枠、框、方立、無目、方立押縁、無目押縁：カラマツ集成材
◆押縁（片開き窓、ドレーキップ）：カラマツ無垢材
◆ガラス仕様（上表中、[層数]の[2]は二層複層ガラス、[3]は三層複層ガラス）
・二層複層ガラス：フロート板ガラス※5mm-空気層 16mm-フロート板ガラス※5mm、アルミスペーサー
・三層複層ガラス：フロート板ガラス※5mm-空気層 16mm-フロート板ガラス 3mm-空気層 16mm-フロート板ガラス※5mm、アルミスペーサー
（同等ガラス=耐熱結晶化ガラスと同強度・同厚であるフロート板ガラス）
（※加熱試験時は、フロート板ガラスから屋外側は耐熱結晶化ガラス、屋内側は Low-E 耐熱結晶化ガラスとしたものに入れ替え）
◆ガラスまわり
・ガラスのかかり代：13mm
・下部通し：けい酸カルシウム板（製品呼び厚さ 9 ㎜（設計高さ 10mm））
・上・側部：加熱発泡材（幅 30mm）
・押縁固定ビス：φ3.5×L55mm のもの
・ガラス押え金物
・バー金物（ドレーキップ・FIX 連段窓のドレーキップの無目に当たる FIX 窓側）：PL-23×0.5mm のもの、通し
・L 金物（片開き窓、バー金物を使用した箇所以外）：L-17×17×0.5mm のもの、通し（ただし、ドレーキップの方立で木材に干渉する部分は、L 金物を加工）
（ただし、動風圧試験では、フィニッシュ釘固定なし）
・シーリング材：耐熱性を有するシリコーン系のもの
・バックアップ材：塩化ビニル系
◆加熱発泡材（遮炎措置）
・枠・框の間〔片開き窓〕：幅 10mm、3 列（丁番側のみ 2 列）
・枠・方立・無目・框の間〔ドレーキップのみ〕：幅 10mm、3 列</td></tr>
</table>

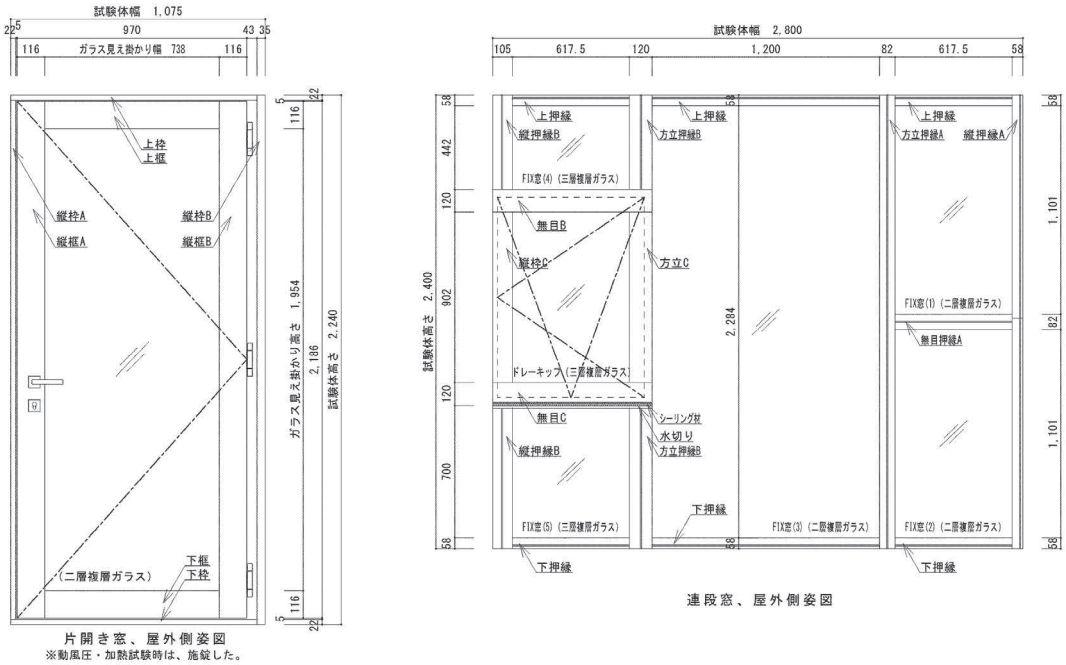


図１　試験に供した窓の屋外側姿図〔単位：㎜〕

実施した結果

1）耐火建築物相当の建築物における、外壁開口部防火設備の必要性能の調査

調査項目に基づき、①火災時倒壊防止構造、②避難時倒壊防止構造、③耐火建築物内の部分（特定区画）木造における外壁開口部、④周辺危害防止構造の各外壁において、45分間木製防火設備を設置する必要がある場合の、外壁開口部及び外壁開口部を設けた室等の構造などを整理した。

2）窓の仕様及び壁取り合い部の仕様、窓取り付け方法などの調査

調査項目に基づき、45分間木製防火設備を設置するにあたっての、外壁開口部と外壁との取り合い部などについて整理した。この調査結果の一部は、45分間木製防火設備の告示仕様に係る、令和元年国土交通省告示第193号（建築基準法第21条第1項に規定する建築物の特定主要構造部の構造方法を定める件）のマニュアルとしてWeb公開予定である。

3）新たな開閉形式の木製開口部についての各種試験の実施

表2に、動風圧試験及び加熱試験に供した試験体の試験結果を示す。

◆動風圧試験（写真1～4参照）

（1）片開き窓

気密性(A-4)、耐風圧性(S-5)は当初の目標性能をクリアしたものの、水密性(W-4)はサムターンまわり及び下框部の押縁下から漏水が確認され、耐風圧性(S-7)はピン受け（鋼製）の爪の破損、ストライクの変形及びねじ部木部割れなどにより、3,600Paの減圧中に可動部が開放されたため、クリアできなかった。うちサムターンまわりについては、框にガラス奥部や屋内側と通じる錠用孔を設けたためである(セッティングブロックのガラス取り外し時の全体湿潤状態より判断)。水密性をクリアするためには、鍵穴側を省略した短い部品に変更して框の穴加工を小さくすることや、無用な穴を補修材等で埋めことが望ましいと考える。

（2）ドレーキップ・FIX連段窓

水密性(W-4)は、方立－無目（ドレーキップ上側）取合い部、方立－下枠取合い部及び框立ち上がり部から漏水が確認され、クリアできなかった。また耐風圧性は、当初はS-7を目標性能していたが、1,800Pa（目標性能の半分の耐風圧）の加圧時点の方立の反り（中央部で30mm近く）が大きくなったため、S-7をクリアできる見込みがないと判断して中止し、方立の耐風圧性の確認に

目的を変更してS-5(最大2,400Pa)をクリアした。

うち各漏水箇所については、全てが外押縁の押縁端部からの窓内部へ浸水したものであり（ガラス取り外し時のFIX窓のセッティングブロックの全体湿潤状態より判断)、いずれの箇所もシーリング等の止水措置を行わなかったためである。また、ドレーキップ側の無目を介して周壁との間にも浸水したため、例えば外枠まわりに枠見込み寸法相当の木材料を貼り付けることが考える。また水密性をクリアするためには、外押縁の押縁端部に止水措置（経年変化しにくい材料・材質による隙間埋めや、ほぞ組などの木材の加工形状の変更などにより、内部に水が入らないようにすること）を施すことが望ましい。

またドレーキップの部分については、昨年度の改良仕様として、窓寸法縮小、水抜き孔の拡大、防水材（EPDM発泡シール材）の追加を行い、水密性(W-4)の目標性能をクリアした。

◆加熱試験（写真5,6参照）

（1）片開き窓

合格判定の45分間（余裕を考慮した50分間時点においても）火炎の噴出はなかったため、安全性に配慮して加熱を継続し、70分28秒にガラス上端と框の取り合い部から火炎が出現したため、加熱を終了した。特にガラス下端の炭化進行が、複層ガラスの半分の厚さまで達しており、ガラスの自重を支えきれずガラスと框の取り合い部の隙間が広がったことが、遮炎性の欠如を引き起こしたものと思われる。

（2）ドレーキップ・FIX連段窓

合格判定の45分間（余裕を考慮した50分間時点においても）火炎の噴出はなかったため、安全性に配慮して加熱を継続し、66分02秒にFIX窓(3)のガラス上端と框の取り合い部から火炎が出現したため、加熱を終了した。また加熱終了までに、FIX窓(1),(2)からもガラスまわりから火炎が出現した。いずれも二層複層ガラス側である。

なお、三層複層ガラスを供した、FIX窓(4),(5)、ドレーキップについては、加熱終了まで火炎の出現はなかった。中間層はフロート板ガラスで、加熱開始後の早い時間に熱割れを起こしたがその場所に留まったため、目視観察による非加熱側の状況では、FIX窓(1)～(3)よりも熱変化が遅いようであった。

各窓の動風圧試験、加熱試験の試験状況を、写真1～6に示す。

表2　試験結果一覧〔単位：㎜〕

<table>
<tr><th rowspan="2">開閉形式</th><th rowspan="2">窓枠外
寸法</th><th rowspan="2">ガラス
見え掛かり寸法</th><th colspan="3">動風圧試験</th><th colspan="3">加熱試験</th></tr>
<tr><th>気密性</th><th>水密性</th><th>耐風圧性</th><th>加熱面</th><th>遮炎性※</th><th>火炎貫通等時間</th></tr>
<tr><td>片開き窓</td><td>W1,075
×H2,240</td><td>(二層複層ガラス)
W735×H1,954</td><td>A-4
合格</td><td>W-4
不合格</td><td>S-5
合格、
S-7
不合格</td><td>屋外側</td><td>45分間
合格</td><td>70分28秒</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ドレーキップ・FIX連段窓</td><td rowspan="3">W2,800
×H2,400</td><td>・FIX窓(二層複層ガラス)
(1)W617.5×H1,101
(2)W617.5×H1,101
(3)W1,200×H2,284</td><td rowspan="3">—</td><td>W-4※1
(1)合格、
(2),(3)
不合格</td><td rowspan="3">S-5
いずれも合格、
(S-7
中止)</td><td rowspan="3">屋外側</td><td rowspan="3">45分間
いずれも合格</td><td>(1)66分38秒
(2)66分46秒
(3)66分02秒</td></tr>
<tr><td>・FIX窓(三層複層ガラス)
(4)W617.5×H442
(5)W617.5×H700</td><td>W-4※1
(4),(5)
不合格</td><td>(4)>67分
(5)>67分</td></tr>
<tr><td>・ドレーキップ
(三層複層ガラス)
W617.5×H902</td><td>W-4※1
合格</td><td>>67分</td></tr>
</table>

加熱終了時に当該窓から火炎貫通等が発生しなかった場合は、火炎貫通等時間は「>●分間(●は加熱終了時間)」で示す。

※1：FIX窓(4)の無目B上面から浸水し、FIX窓(3)の見込み面（無目Bと方立B（方立押縁Bの裏側）の突合せ面）より漏水が確認されたため、この表では原因となるFIX窓(4)のみを不合格と判定した。

写真１　片開き窓・動風圧試験
（水密性 W-4 試験時）

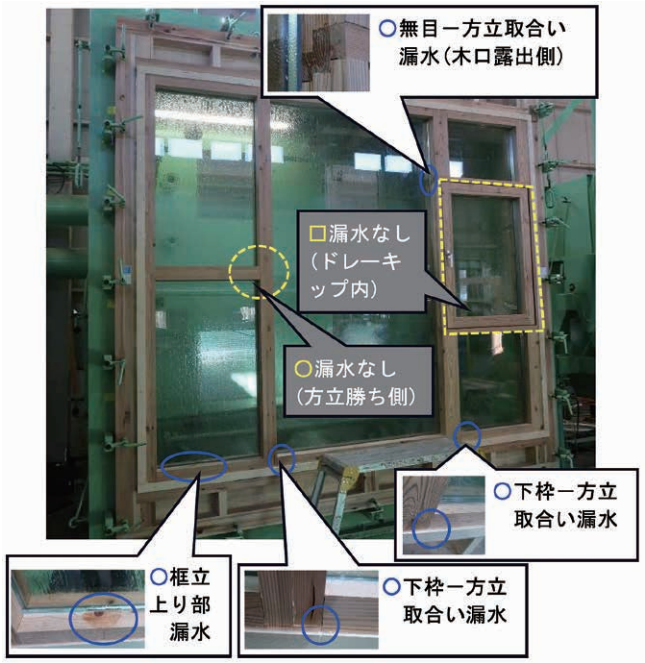


写真２　ドレーキップ・FIX 連段窓・動風圧試験
（水密性 W-4 試験時）

写真３　片開き窓・動風圧試験
（耐風圧性試験 S-7 中止時）

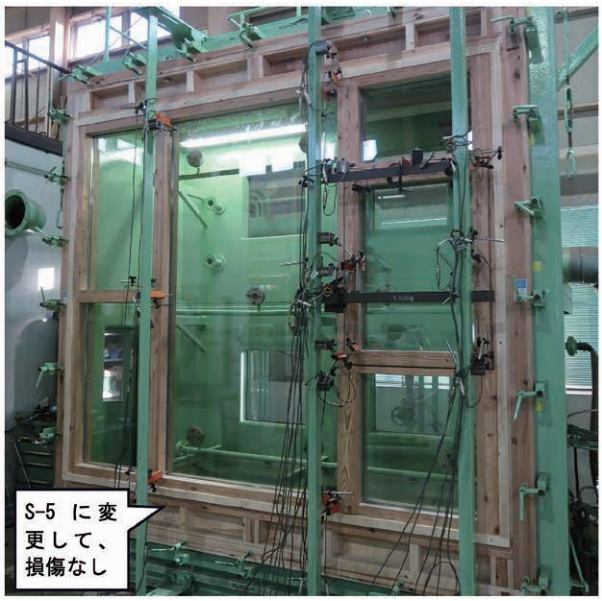


写真４　ドレーキップ・FIX 連段窓・動風圧試験
（耐風圧性試験 S-5 終了後）

写真５　片開き窓・加熱試験
（加熱開始54分時点）

写真６　ドレーキップ・FIX連段窓・加熱試験
（加熱開始51分時点）

3）これまでの成果の取りまとめ

令和元年度～６年度にかけて、これまでに加熱試験及び動風圧試験に供した試験体について、成果が得られた開閉形式を表３に取りまとめる。なお、動風圧試験では、各開閉形式で【大】の寸法の窓を選定したが、それより小さい寸法の窓を選定したとしても、建具やガラスの断面構成を変えないなどの条件を満足すれば、安全側の判断ができるものと考える。また表４に、今後の成果に向けての改善案の取りまとめ一覧を示す。

特にドレーキップの単窓については、W643.5×H988mmまたはそれ以下の寸法であれば、気密性A-4、水密性W-4、耐風圧性S-5及び45分間（余裕を考慮した50分時点においても）の遮炎性が見込める結果を得た。また方立・無目については、今年度のドレーキップ・FIX連段窓に試験体に供した断面寸法(82×153.5mm)、高さ(L=2,400mm、通し材、中間に無目)については、耐風圧性S-5及び遮炎性45分間（余裕を見て50分間）を確保できることを確認した。

表３　これまでの成果の取りまとめ一覧〔単位：㎜〕
（★太枠内は45分間防火設備告示仕様の元仕様）

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法（見え掛かり寸法）	ガラスの構成	遮炎性〔加熱試験〕	気密性（JIS A 1516）	水密性（JIS A 1517）	耐風圧性（JIS A 1515）
横すべり出し窓	【小】W690×H438	【小】W426×H276（400×250）	二層	屋外側・屋内側とも45分間			
	【大】W938×H938	【大】W726×H726（700×700）	二層		A-4	W-4	S-7
たてすべり出し窓	【小】W438×H690	【小】W276×H426（250×400）	二層	屋外側・屋内側とも45分間			
	【大】W838×H1,738	【大】W626×H1,526（600×1,500）	二層		A-4	W-4	S-5
FIX窓	【小】W316×H316	【小】W226×H226（200×200）	二層	屋外側・屋内側とも45分間			
	【大】W1,316×H2,516	【大】W1,226×H2,426（1,200×2,400）	二層		A-4	W-4	S-7

注）二層：二層複層ガラス、なおガラスの構成は、表１の備考参照

表４　今後の改善案（赤文字）の取りまとめ一覧〔単位：mm〕
（★太枠内は 45 分間防火設備告示仕様の元仕様）

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法（見え掛かり寸法）	ガラスの構成	遮炎性〔加熱試験〕	気密性（JIS A 1516	水密性（JIS A 1517）	耐風圧性（JIS A 1515
FIX 窓	W842.5×H620（縦枠・方立・無目の外法寸法）	W643.5×H468（617.5×442）	三層	屋外側 45 分間（屋内側試験実施・45 分間目標）	A-4	―（押縁配置の検討などにより W-4 目標）	S-5（S-7 目標）
片開き窓	W1,075 ×H2,240	W764×H1,980（738×1,954）	二層	屋外側 45 分間（屋内側試験実施・45 分間目標）	A-4	―（止水措置の強化により W-4 目標）	S-5（S-7 目標）
ドレーキップ	W842.5 ×H1,142（縦枠・方立・無目の外法寸法）	W643.5×H928（617.5×902）	三層	屋外側 45 分間		W-4	S-5（S-7 目標）
	【大】W1,200 ×H2,100	【大】W1,008×H1,908（982×1,882）	三層	屋内側 45 分間	A-4	―（止水措置の強化により W-4 目標）	S-5（S-7 目標）
片引き窓※1	【小】寸法未確定	【小】寸法未確定	二層	45 分間目標（各側試験実施）			
	【中】W1,862 ×H1,430	【中】可動側 W826×H1,226（800×1,198）	二層	屋外側・屋内側とも 45 分間			
	【大】W1,862 ×H2,430	【大】可動側 W826×H2,226（800×2,198）	二層	屋外側・屋内側とも 30 分間	A-4	―（仕様の再検討により W-4 目標）	―（仕様の再検討により S-5 目標）
片引き窓※2	【小】W1,862 ×H902	【小】可動側 W826×H696（800×670）	二層	屋外側・屋内側とも 45 分間	上記、鋼材を外した片引き窓の仕様で確認		
	【中】W1,862 ×H1,430	【中】可動側 W826×H1,226（800×1,198）	二層				
	【大】W1,862 ×H2,430	【大】可動側 W826×H2,226（800×2,198）	二層				

※1,2:加熱試験では、加熱面によって W1,262 又は W1,362 に縮小（屋外側・屋内側横並べで同時加熱）
【中】【大】のガラス奥部に設置した加熱発泡材は幅 10mm、【小】の同位置の加熱発泡材は幅 30mm
※1:水切り（板厚 0.8mm）以外の鋼材を外した仕様
※2:鋼材（板厚 0.3mm）、水切り（板厚 0.8mm）により、可動側の屋外側に露出する枠・框を覆う仕様
注）二層：二層複層ガラス、三層、三層複層ガラス、なおガラスの構成は、表 1 の備考参照

今後の課題・展開等

これまでに６種の開閉形式の加熱試験、動風圧試験を行い、試験結果だけでなく試験時の観察状況を通じて様々な知見を得た。次年度以降に向けて、主に開閉形式ごとの検討課題について以下に示す。

- **共通**：カラマツ以外の樹種のニーズ調査、加工機に応じた別の断面形状の検討（必要に応じて、加熱試験、動風圧試験）
- **横すべり出し窓、FIX窓**：（共通と同）
- **たてすべり出し窓、ドレーキップ**：（必要に応じて、）耐風圧性でS-7を目指すための、窓寸法、開閉金物の組み合わせなどの再検討
- **開き窓**：片開き窓以外にも、例えば両外開き窓の仕様検討（加熱試験時の弱点となりやすい、丁番、召し合わせ部及びそのまわりの仕様検討）
- **引き窓**：片引き窓の水密性、耐風圧性向上仕様検討
- **連段窓の方立、無目について**：外押縁の配置及び止水措置の検討
- 二層複層ガラスよりも遮炎性で有利な三層複層ガラスとなる条件：ガラス層厚が厚くなることによる、木部（枠・框・押縁等）の見込み寸法の検討

◆今後、木製サッシ防火設備の告示化を目指したい仕様

◎30、45分間防火設備

（1）（はめころし戸、縦すべり出し戸、横すべり出し戸、片引き窓以外の）開閉形式の仕様追加

（2）片引き窓（水切り以外の鋼材を外した仕様）…【小】45分間目標での【中】との範囲での告示化

◎20分間防火設備（例えば、耐火建築物において、延焼の恐れのある部分やスパンドレル部分に木製サッシを使用するような場合）

（1）（はめころし戸、縦すべり出し戸、横すべり出し戸以外の）開閉形式の仕様追加

（2）網入板ガラスの代わりに耐熱結晶化ガラスを使用したものの追加（告示仕様の網入板ガラスによる複層ガラスは、非常用（代替）進入口に不適なため）

事業

CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準提案に関する検討

● 実施団体 ●

株式会社日本システム設計
〒103-0013　東京都中央区日本橋人形町2-9-5

京都大学生存圏研究所
〒611-0011　京都府宇治市五ケ庄

事業目的

令和３～５年度に実施した、CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準案策定に関する検討（以下、「既往検討」）により、主として３層以下のCLTパネル工法・小幅パネル架構について、耐力壁の許容水平耐力が現行ルート１の規定の1.8倍程度以上に増加すること等が明らかとなり、それを踏まえた耐震基準緩和案の骨子が示された。一方で、耐震基準緩和案を実用化するためには、垂れ壁・腰壁-壁接合部の曲げ抵抗性能の確実化と保証条件の確立、倒壊限界におよぶ大変形時における垂れ壁脱落防止措置等の仕様規定の明確化、許容水平耐力等の定式化に向けた検討パラメータ拡充等の課題が残された。

本事業では、これらの成果と課題を踏まえ、３層以下のCLTパネル工法・小幅パネル架構建築物（以下、「対象建築物」）を主対象とする耐震基準緩和案の実用化を目的として下記の検討を実施した。

① 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ性能の確実化
② 倒壊限界を考慮した耐震基準の提案
③ 接合部の簡易化検討（木造軸組構法住宅用金物等の適用）
④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討

実施した項目

下記の検討を実施した。

① 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ性能の確実化
　①-1 接合部仕様の抽出
　①-2 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験

② 倒壊限界を考慮した耐震基準の提案
　②-1 ルート１相当
　②-2 ルート３相当

③ 接合部の簡易化検討（木造軸組構法住宅用金物等の適用）

④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討

実施体制

■事業主体（事業企画）
日本システム設計、京都大学生存圏研究所

■検討委員会（全体統括・耐震基準合理化の内容検討）
工学院大学、京都大学、東京大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、日本建築構造技術者協会、日本CLT協会、日本住宅・木材技術センター、構造計画研究所、銘建工業、日本システム設計

■実験・解析WG（実験の計画・実施・分析、地震倒壊解析）
京都大学、信州大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、構造計画研究所、日本システム設計
■行政・協力
林野庁林政部　木材産業課
国土交通省住宅局　建築指導課

実施した内容

① 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ性能の確実化

①-1 接合部仕様の抽出

既往検討により、対象建築物の倒壊限界は垂れ壁・腰壁-壁接合部の面内曲げ性能に強く依存することが明らかとなっている。当該接合部面内曲げ性能の確実化に向けて、まず、既往検討の結果を踏まえて、検討対象とする接合部仕様を抽出した（図1）。その際には、CLTパネル工法・小幅パネル架構として一般的な仕様であることに留意するほか、面内曲げ性能向上および想定外破壊防止のための補強、標準的金物（クロスマーク金物）だけでは対応できない部位への新規金物適用等も考慮した。

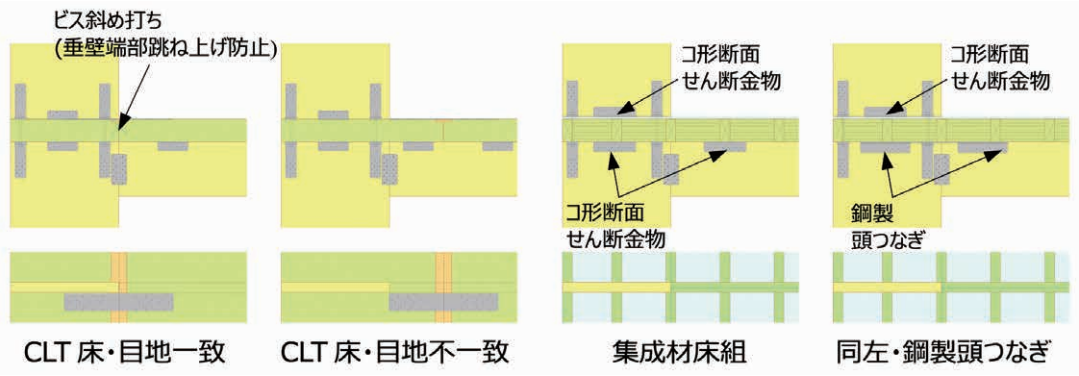


図1　対象とした垂れ壁-壁接合部

①-2 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験（図2）

下記2種類の実験を実施した。

腰壁-壁接合部面内曲げ実験（1階脚部）
垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験（各階床レベル）

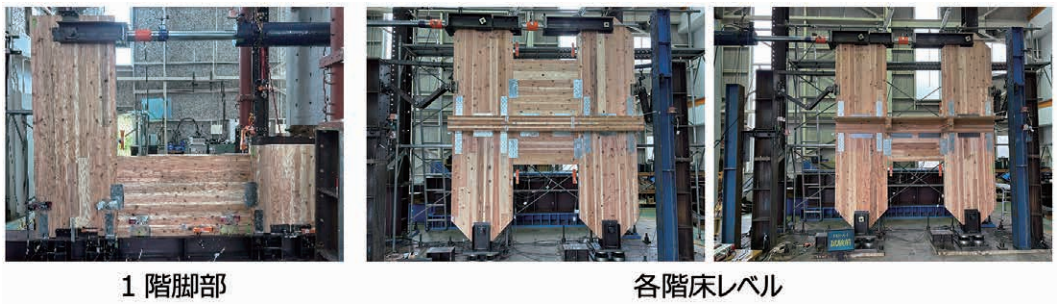


図2　垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験（一部）

✓　腰壁-壁接合部面内曲げ実験（1階脚部）

腰壁は垂れ壁より高さが大きく、それに伴って面内曲げ性能も大きいが、その分だけ周辺接合部への負荷も大きくなると考えられる。したがって、腰壁-壁接合部では垂れ壁-壁接合部に比べて周辺接合部の変形が面内曲げ性能に及ぼす影響が大きく、さらに、壁パネル・周辺接合部等の

先行破壊により終局面内曲げ性能が決まる可能性もある。これらの予測を踏まえ、壁パネル・腰壁パネル・周辺接合部で構成される試験体を用いた水平加力実験を行い、腰壁-壁接合部の面内曲げ性能及び壁パネル・周辺接合部等の先行破壊の有無を確認した。

✓　垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験（各階床レベル）

上述の１階脚部と同様に、壁パネル・垂れ壁パネル・腰壁パネル・周辺接合部で構成される試験体を用いた水平加力実験を行い、各階床レベルにおける垂れ壁・腰壁-壁接合部の面内曲げ性能及び壁パネル・周辺接合部等の先行破壊の有無を確認した。

② 倒壊限界を考慮した耐震基準の提案

②-1　ルート１相当

✓　許容転倒モーメントの定式化

耐力壁の許容水平耐力として、１階から上階に向かって連続する壁列の許容転倒モーメントの定式化を行った。そこでは、まず、第２種地盤の極稀地震動に、最大応答変位が1.5倍となる倍率を乗じたものを入力地震動とした動的Pushoverパラメトリックスタディにより、倒壊が生じないこと、及び層間変形角等のクライテリアを満足することを条件として、平28国交告第611号によるルート１の許容水平耐力に対する増大率Aqを求めた。つづいて、Aqに対応する壁列脚部の転倒モーメントを集計し、壁列が接する垂れ壁･腰壁枚数等をパラメータとして定式化した。

✓　仕様規定の検討

上述の許容転倒モーメントの保証条件として、１階壁脚部のせん断接合部仕様、せん断金物配置方法等について検討した。

②-2　ルート３相当

✓　耐力限界までの荷重変形関係の算出方法

「ルート３相当」では建物ごとに不倒壊判定を行うことを想定し､そのためには耐力限界までの荷重変形関係の算出が必要となる。令和５年度事業では小規模な３次元モデルを用いて算出の可能性を確認した。本事業ではその結果を踏まえて、実建物規模の３次元モデルへの適用性と必要な解析時間等を確認した。

✓　不倒壊判定方法

令和５年度事業では、等価線形化法をベースとした不倒壊判定方法を立案し、限定的な倒壊解析結果を対象として実行可能性を確認した。本事業では､検討対象範囲拡大として､「ルート１相当」におけるパラメトリックスタディの結果を用いて不倒壊判定方法の適用性を検討した。

✓　実用耐震基準

不倒壊判定を前提とする「ルート３相当」は、必要な終局耐震性能を確保するという目的に対して一つの妥当な方法であるが、構造特性係数Dsを耐震性能の指標とする従来のルート３とはあり方が異なる。これを考慮して、従来の耐震基準との親和性・連続性を保つために、不倒壊判定結果に基づいて構造特性係数Dsを決定する方法等について検討した。

③ 接合部の簡易化検討（木造軸組構法住宅用金物等の適用）

CLT壁パネルの引張接合部に木造軸組構法住宅用金物を適用する場合を対象として、「②-1 ルート１相当」と同様の検討を行い、許容転倒モーメントの評価等を行った。

④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討

5層5プライ・150mm厚の壁パネルを用いることを前提とし、中層建築物に適用し得る接合部に関する調査を行った。得られた情報に基づき、接合部の構造性能を推定し、モデル架構の耐震性能について検討した。

実施した結果

① 垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ性能の確実化

垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験により、同接合部の耐力保持限界変形角は1/5rad程度以上であること（図3）、CLT床・目地一致の場合に垂れ壁端部跳ね上げ防止として設けたビス斜め打ち（図1）が有効であること、集成材床組では集成材梁に曲げ折損が生じた後も耐力を保持すること、及び鋼製頭つなぎ（図1）により耐力保持能力が向上すること等が確認された。ただし、上階に腰壁が存在する架構では下階に水平変形が集中し、上下壁間の引張接合ボルト破断により耐力保持限界変形角が減少する場合があることも併せて確認された。また、これらの挙動を追跡可能な解析モデルを設定した。

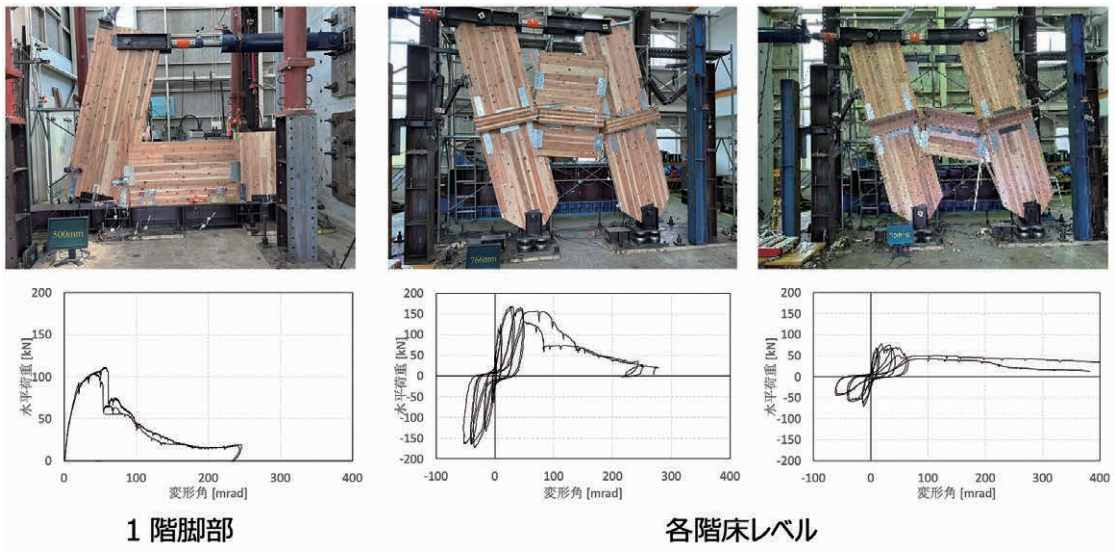


図3　垂れ壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験の結果（一部）

② 倒壊限界を考慮した耐震基準の提案

②-1 ルート1相当

✓　許容転倒モーメントの定式化

上記①の検討で設定した解析モデルを用いて1～3層架構の倒壊解析パラメトリックスタディを行い、倒壊が生じないこと及び層間変形角等のクライテリアを満足することを条件として許容水平耐力を算定した。その結果として、平28国交告第611号によるルート1の許容水平耐力に対する増大率Aqは1.5～2.0程度となった。つづいて、1階から上階に向かって連続する壁列の許容転倒モーメントの定式化を行った。

✓　仕様規定の検討

許容転倒モーメントの保証条件として、1階壁脚部のせん断接合部仕様、せん断金物配置方法等を設定した。

②-2 ルート３相当

✓　耐力限界までの荷重変形関係の算出方法

実建物規模の３次元モデルを対象とした倒壊解析により、耐力限界に至るまでの荷重変形関係の算出を試行した。wallstat を用いた場合の解析時間は１ケース当り２時間程度であった。市販汎用ソフトを用いる場合は解析時間が大幅に増大するほか、解が得られないケースもあった。その対策としてアンカーボルト破断前後で解析モデルを分けることにしたところ、解析時間は１～２時間に短縮された。また、アンカーボルト破断前後の解析による荷重変形関係の包絡線は wallstat による結果に概ね適合した。

✓　不倒壊判定方法

令和５年度事業で設定した不倒壊判定方法の汎用性確認として、「ルート１相当」におけるパラメトリックスタディの結果に対する適用性を確認した。

✓　実用耐震基準

不倒壊判定を前提とする場合は、本来、保有水平耐力の検定は不要であるが、従来のルート３との親和性・連続性を保つために、不倒壊判定結果に基づいて構造特性係数 *Ds* を決定する方法を提案した。

③ 接合部の簡易化検討

CLT 壁パネルの引張接合部に木造軸組構法住宅用金物を適用する場合を対象として、「②-1 ルート１相当」と同様の検討を行い、許容水平耐力が平 28 国交告第 611 号によるルート１の許容水平耐力と同等となることを確認した。

④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討

５層５プライ・150mm 厚の壁パネルを用いた 4, 5 層の中層建築物を対象とした倒壊解析に基づいて許容水平耐力を評価した。それらの接合部は主に鋼板挿入ドリフトピン接合として、既往の知見に基づいて応力変形関係を推定した。それを用いた倒壊解析により耐力限界に至る荷重変形関係を算定し、前記②-2 の方法による不倒壊判定、および層間変形角等のクライテリアを満足することを条件として許容水平耐力を評価した。結果として、1 階耐力壁の許容水平耐力は層間変形角制限（1/150rad 以下）によって決まり、48.3kN/m となった。また、その２倍程度まで許容水平耐力を増大しても、第２種地盤の極稀地震動に最大応答変位が 1.5 倍となる倍率を乗じた地震動に対して倒壊しないことが確認された。

今後の課題・展開等

本事業では、３層以下の CLT パネル工法・小幅パネル架構建築物を主対象として実用的な耐震基準緩和案を提示した。今後の課題・展開として以下のものが挙げられる。

接合部の簡易化検討

本事業では、３層以下の CLT パネル工法・小幅パネル架構に木造軸組構法住宅用金物を適用する場合に、許容水平耐力は現告示・ルート１と同等となる可能性が確認された。このような接合部の簡易化を行う場合についても、本事業「ルート１相当」と同様の検討を行い、許容転倒モーメントを定式化することで構造計算を可能にすれば、建設コストの削減が期待できる。

中層建築物の接合部仕様に関する検討

本事業は令和３年度から継続しており、その中では階数が多いほど倒壊しにくくなることが確認されており、本年度の「④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討」においても同様の結果が得られている。したがって、中層建築物においては、倒壊限界を考慮することによる耐震基準緩和は低層建築物

以上の効果が得られると期待できる。ただし、中層建築物における壁パネルは５層５プライ・150mm厚程度以上となり、倒壊限界の増大に大きく寄与する垂れ壁-壁接合部の面内曲げ性能は未確認である。また、耐震基準緩和を検討するためには接合部の標準化が必要である。このように、中層建築物の耐震基準緩和には課題が残されているが、元来、CLTパネルはその他の木質部材に比べて耐力・剛性が高く、木質構造の高層化に適した材料であり、耐震基準緩和がCLTパネル工法普及に及ぼす効果は大きいと考えられる。

事業

CLTパネル工法等による中層建築物に適したグラウトジョイントの開発と設計情報整備に関する検討

● 実施団体 ●

株式会社 日本システム設計

〒103-0013　東京都中央区日本橋人形町 2-9-5

事業目的

申請者を含むグラウトジョイント研究会（「実施体制」参照）では、中高層建築物にも対応可能なCLTパネル工法の中でも特に耐震性能と汎用性が高いと考えられる鉄骨梁勝ち架構への適用を前提としたグラウトジョイント（引張・圧縮・せん断接合部、以下「GJ」）開発に関する検討を2018年より実施している。GJは高耐力・高剛性であることの他に、アンカーボルト等の施工誤差吸収機能、引張・圧縮・せん断接合部兼用機能、及びグラウトモルタルによる水平構面（床面）へのめり込み抑制機能等の長所を併せ持つ。

本事業に先立ち、昨年度は建築物需要のボリュームゾーンと考えられる4, 5層程度の中層建築物に適したGJ（以下「中層用GJ」）開発検討を実施した。そこでは、GJの長所の維持とコスト削減に留意して接合部構成を設定し、種々の構造実験による構造性能・施工性の検証及び構造試設計を通して実用性を検討した。その結果として、設定した接合方法のほとんどは実用性のある構造性能・施工性を有することが確認されたが、一部の接合方法では終局性能がやや不足したほか、加工性向上のための改善の余地などが指摘された。そのほか、耐力が実験に用いた加力装置の能力を超えたために終局性能が確認できなかったものもあり、構造試設計における終局耐震性能検定に推測が含まれた。これを踏まえて、本事業では、中層用GJのさらなる改良と構造性能の確実化を目的とした検討を実施した。

実施した項目

下の項目を実施した。

① 接合部ディテールの改良・拡充
② 構造性能確認実験
③ 架構構成方法の留意点

実施体制

■事業主体（事業企画）
株式会社日本システム設計

■グラウトジョイント研究会（全体統括、検討・実験の計画・実施、検討・実験結果の評価）
近畿大学、日本スプライススリーブ株式会社、銘建工業株式会社、株式会社エヌ・シー・エヌ、株式会社日本システム設計

■行政・協力
林野庁林政部　木材産業課

実施した内容

① 接合部ディテールの改良・拡充

昨年度と同様に、既製品スリーブを用いた「スリーブ接合」と異形鉄筋を直接CLTパネルに定着する「直接グラウト接合」の２種類の中層用GJ（図１）を対象とした。

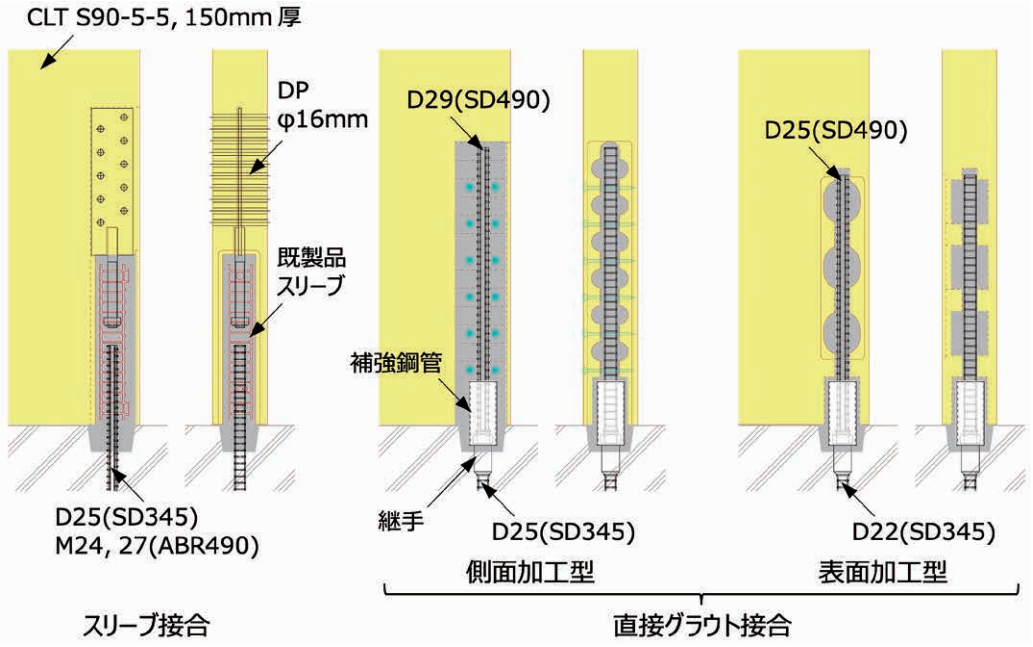


図１　対象とする接合部

● スリーブ接合

既製品スリーブに代えて中層用GJに特化した鋳造オリジナルスリーブを実現できれば、接合部のコンパクト化等のメリットが得られる（図２）。オリジナルスリーブ実現の準備検討として、昨年度は「壁パネル先付スリーブ」を対象としてFEM解析により構造性能を検証した。それに引き続き、本事業では「鉄骨梁先付スリーブ」を対象として同様にFEM解析により構造性能を検証した。

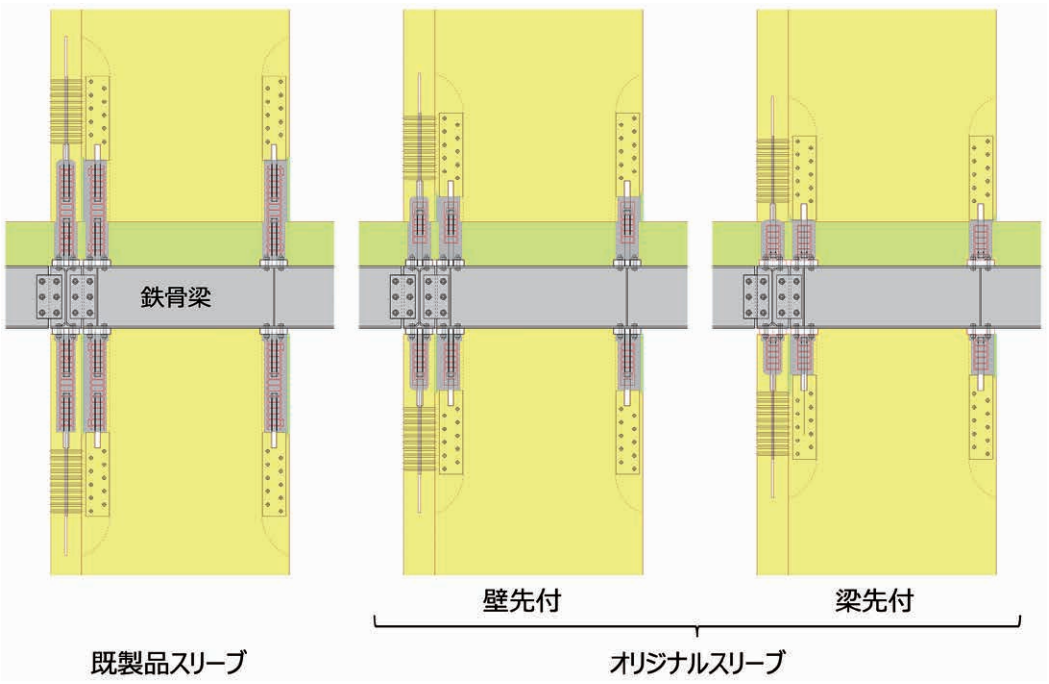


図２　オリジナルスリーブを用いた接合部構成

● 直接グラウト接合

✓ CLT側面加工型（昨年度仕様）

• 靭性の向上

昨年度仕様では、定着部内における異形鉄筋降伏によりグラウトモルタルに割裂が生じたために靭性がやや不足した。これを防止するために、高強度鉄筋と低強度鉄筋をRC造で一般的な機械式継手により繋ぎ、高強度鉄筋をCLTに定着することで、定着部内における異形鉄筋降伏を防ぐこととした（図1）。

• せん断耐力の向上

昨年度仕様では、壁パネルに作用する水平せん断力により、壁パネル下端の定着部内において異形鉄筋に曲げ変形が生じたことによりせん断耐力がやや不足した。これを防止するために壁パネル下端定着部に鋼管を設けて補強することとした（図1）。

✓ CLT表面加工型

CLTパネルの加工性向上を目的として、CLTパネルの定着部をCLT側面（厚さ面）から加工する「CLT側面加工型」のほかに、CLT表面から加工する「CLT表面加工型」を加えた（図1）。両者の加工コストには大差はないが、「CLT表面加工型」には特殊な加工機が不要というメリットがある。

② **構造性能確認実験**

● スリーブ接合

✓ 鉄骨梁ボルト接合部の引張実験（写真1）

スリーブ接合による壁-鉄骨梁接合部は鋼板挿入ドリフトピン部、スリーブ継手部、ボルト接合部によって構成され、このうち、引張性能が未確認であるボルト接合部の引張実験を行って応力変形性能を確認した。

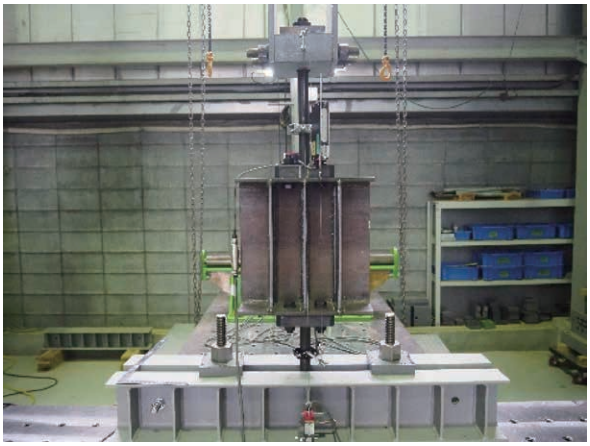


写真1　鉄骨梁ボルト接合部引張実験

✓ スリーブ接合を有する壁パネルの定軸力下水平加力実験（写真2）

圧縮と面内曲げを同時に受ける壁パネル端部ではCLT木口面における圧縮領域の広がりによる圧縮耐力増大効果がある。また、CLT壁パネルの面内曲げ耐力はスリーブ接合部を内蔵することにより増大すると期待できる。これらの効果を含めたスリーブ接合部の終局圧縮耐力とCLT壁パネルの終局面内曲げ耐力を確認するために壁パネルの定軸力下水平加力実験を行った。

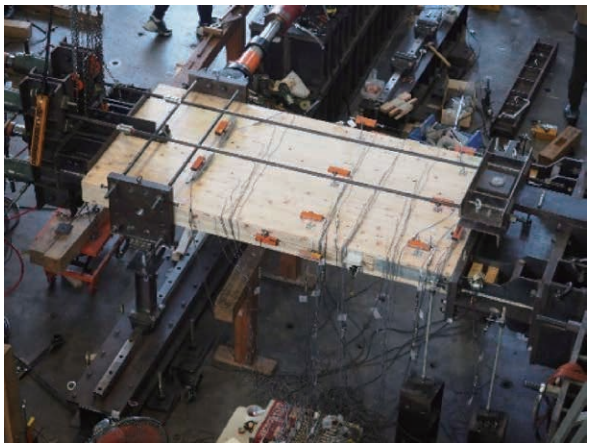


写真２　壁パネル定軸力下水平加力実験

✓　スリーブ接合部のせん断実験（写真３）

壁-床-鉄骨梁接合部、壁-鉄骨梁接合部を含めて、加力能力の高い試験装置を用いたせん断実験を行い、終局せん断耐力を確認した。

スリーブ接合　　直接グラウト接合

写真３　接合部せん断実験

● 直接グラウト接合

✓　直接グラウト接合部の引張・圧縮実験（写真４）

定着部内での鉄筋降伏防止を目的として高強度異形鉄筋を用いる場合の引張力・圧縮力に対する定着性能を実験により確認した。

✓　直接グラウト接合部のせん断実験（写真３）

グラウト部下部に補強鋼管を設置することによるせん断耐力向上効果を実験により確認した。

側面加工型　　表面加工型

写真４　直接グラウト接合部の引張・圧縮実験

● 共通

✓　鉄骨梁のせん断実験（写真5）

壁パネルが横方向に連続する場合に壁パネル間の目地位置における鉄骨梁のせん断応力が増大するが、そのような部位では上下の壁パネル端部の圧縮力により梁ウェブに圧縮ストラットが形成されることによるせん断耐力増加（図3）のほか、梁ウェブのせん断降伏による塑性変形能力が期待できる。これらを実験によって確認した。

写真5　鉄骨梁のせん断実験

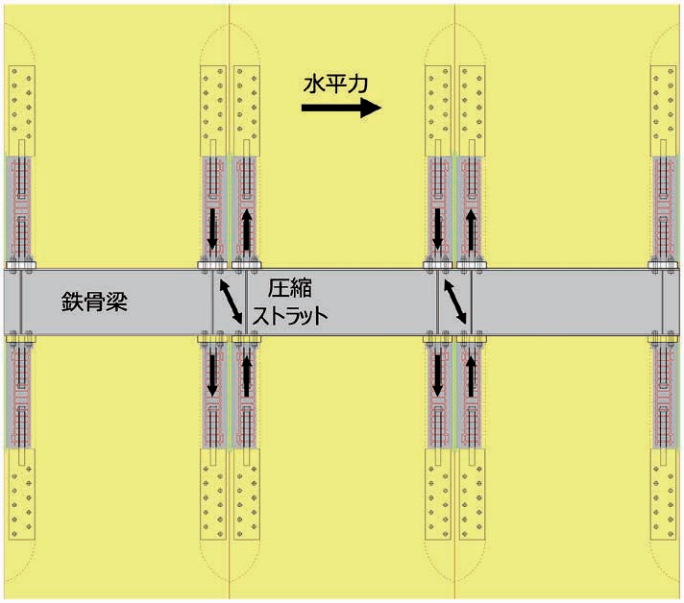


図3　壁パネル連続部の接合部構成

③ 架構構成方法の留意点

● 構造試設計結果の更新

「② 構造性能確認実験」の結果を反映して昨年度の構造試設計を更新した。その結果に基づいて、検定が厳しい箇所等を架構構成方法の留意点の一つとして確認した。

● 部材・接合部配置方法に関する検討

部材・接合部の応力は架構形状・壁パネル割付等によって変化するため、それらを変数としたパラメトリックスタディに基づいて、構造計算結果がNGとなる頻度を軽減し得る部材・接合部配置方法の留意点について検討した。

実施した結果

① 接合部ディテール改良・拡充、構造性能確認実験

● スリーブ接合

✓ オリジナルスリーブ

FEM解析により、オリジナルスリーブと梁の間に介在するベースプレート（SS400）の厚さが36mm以上であれば、定着ボルト（M27, ABR490）の破断引張耐力に対して弾性範囲に留まることが確認された。

✓ 鉄骨梁ボルト接合部の引張性能

鉄骨梁ボルト接合部の引張実験により、終局耐力が（M27, ABR490）の破断引張耐力を上回ること、及び弾性剛性がスリーブ定着部と鋼板挿入ドリフトピン接合部の直列剛性の14倍程度であることが確認された。

✓ スリーブ接合部の圧縮性能、CLT壁パネル検定位置

壁パネルの定軸力下水平加力実験結果に基づき、スリーブ接合部の終局圧縮耐力は基礎上設置で1200kN、床上設置で900kNと確認された。また、同実験におけるCLT壁パネル縁の表層ラミナ方向歪みが最大となる高さは、スリーブ接合部を構成する鋼板挿入ドリフトピン接合部の最上部ドリフトピンの位置であり、構造設計におけるCLT壁パネルの面内応力検定は同位置に対して行えば良いことが確認された。

✓ スリーブ接合部のせん断性能

スリーブ接合部のせん断実験により、同接合部の終局せん断耐力は基礎上設置で196kN、床上設置で170kN、鉄骨梁下設置で248kN、と確認された。ただし、基礎上設置では基礎梁の側方破壊によりせん断耐力が低下する場合があり、それに対しては何らかの補強が必要であることが併せて確認された。

● 直接グラウト接合

✓ 直接グラウト接合の引張力に対する靭性

直接グラウト接合部の引張・圧縮実験において、定着部に高強度鉄筋を用いることにより、それに接続されるアンカー鉄筋の上限耐力まで塑性化と剛性低下が生じないことが確認された。

✓ 直接グラウト接合のせん断性能

直接グラウト接合部のせん断実験により、同接合部の終局せん断耐力は基礎上設置で180kNと確認された。ただし、基礎上設置では基礎梁の側方破壊によりせん断耐力が低下する場合があり、それに対しては何らかの補強が必要であることはスリーブ接合と同様であった。

✓ 鉄骨梁のせん断性能

鉄骨梁のせん断実験により、スチフナを適切に設ける場合は、ウェブの終局せん断耐力は「ウェブ面積×材料のせん断降伏応力度」の1.52倍となること、及び降伏後に靭性があり、塑性率は28.5程度であることが確認された。

② 構造試設計更新の結果

接合部性能等に関する昨年度の知見及び本事業の構造性能確認実験によって確認された性能を用いて５階建て共同住宅の構造試設計を更新し、保有水平耐力計算を満足することを確認した。

③ 架構構成方法の留意点について

「魚骨モデル」を用いて、壁パネル割付等を変数とした増分解析ケーススタディを行い、壁パネルを直交壁に接して設ける場合に面内応力が大きくなることなどを確認した。

今後の課題・展開等

● ルート２の適用性

平28国交告第611号（以下「告示」）改正により、小幅パネル架構では構造計算ルート２で６階建てまで対応可能となった。ルート２の場合は増分解析が不要となるなど設計負荷が大きく軽減される。一方で、ルート２の場合は告示第八第二号ロ～トによる仕様規定、応力割増係数のほか、CLT設計施工マニュアルに記載される鉄骨梁先行降伏の保証条件（以下「保証条件」）を満足する必要がある。これに対して、本事業で対象とした鉄骨梁勝ち架構では仕様規定と応力割増係数が設計上の制約になる度合いは低いと言える。したがって、保証条件を満足するための躯体構成を設定することでルート２の適用性が確保されると考えられる。

● 耐力壁・鉄骨梁の最適断面と最適配置

本年度の「架構構成方法の留意点」として、ルート３を前提とした検討を行った。この課題に関して、検討範囲の拡充とルート２の追加が望まれる。

● マニュアル類の整備

本工法の普及促進のためには、上記課題を踏まえた設計マニュアル、及び標準工程表、施工管理基準等を含む施工マニュアルの整備が必要である。

● 集成材構造等への応用

本事業で対象としたGJは集成材・LVL等にも適用可能である。GJの有する高耐力・高剛性とアンカーボルト施工誤差吸収機能などの特長は集成材・LVL等に適用する場合にも発揮される。集成材・LVL等への適用により、構造材の選択肢が増えることで地域の事情等に即した計画が可能となり、木質構造全体の更なる普及に寄与すると期待できる。

事業

CLTパネルの標準化・規格化普及開発事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0025　東京都中央区日本橋茅場町3-9-10 茅場町ブロードスクエア２階

事業目的

令和５年度において、今後の需要が見込まれる鉄骨造の床・壁にCLTパネルを組みこむためのプロトタイプ及びシステムを検討し、CLTパネルの規格寸法を定めた。作成した設計資料においては、接合部には既存の設計手法を用いたが、普及促進のためにはさらなる合理的な接合方法の開発の必要性が検討委員会で求められた。

本事業では、昨年度作成した設計資料を元に、普及性の高い合理的な接合部の開発と性能評価等を行う。また、その成果を基にした設計手法の整備等を行い、規格化されたCLTパネルおよび開発された接合部の普及方法を検討することで鉄骨造建築物へのCLTパネル利用を促進する。

実施した項目

本事業は、学識経験者、設計実務者等により構成される検討委員会を設置し、架構開発WGから提出された合理的な接合部等の実験設計・結果について検証を行った。また、同時に規格化されたCLTパネルと開発された接合部についての普及検討を行った。

1）鉄骨造建築物における規格CLTパネルを用いた接合部の開発検討

令和５年度に作成された設計例の床、壁の接合部について、より合理的および普及性の高いディティールを検討し、試験等によりその性能検証等を行う。さらに、検証結果を基に設計手法の整備等を行う。

2）規格CLTおよびCLTを利用した鉄骨造建築物の普及検討

CLTを積極的に取り組んでいる設計者・施工者・事業者等だけでなく、木造に不慣れな設計者等に対して、規格CLTパネルおよび鉄骨造との新たな接合方法等の普及方法を検討する。

委員会設置図

令和６年度　CLTパネルの標準化・規格化普及開発事業

標準化・規格化普及開発検討委員会　委員名簿

（順不同、敬称略）

委員長	五十田　博	京都大学生存圏研究所
委員	福本　晃治	岡山大学学術研究院
	荒木　康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所
	海老澤　渉	三菱地所株式会社
	川原　重明	株式会社木質環境建築
	桐野　昭寛	山佐木材株式会社
	車田　慎介	銘建工業株式会社
	砂田雄太郎	株式会社サイプレススナダヤ
	中島　昌一	国立研究開発法人建築研究所
	桝田　洋子	有限会社 桃李舎
	安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所
	安曇　良治	銘建工業株式会社
オブザーバー	田中駿太郎	銘建工業株式会社
行政	福島　　純	林野庁 林政部 木材産業課 課長補佐
	上田　萌香	林野庁 林政部 木材産業課
	増井　　僚	林野庁 林政部 木材産業課
コンサルタント	溝渕木綿子	合同会社建設木材工学研究所
事務局	平原　章雄	木構造振興株式会社
	坂部　芳平	一般社団法人日本CLT協会
	河合　　誠	一般社団法人日本CLT協会
	中越　隆道	一般社団法人日本CLT協会
	中井　　聡	一般社団法人日本CLT協会
	谷口　　翼	一般社団法人日本CLT協会
	手島　　楓	一般社団法人日本CLT協会
	上田摩耶子	一般社団法人日本CLT協会

架構開発WG　委員名簿

（順不同、敬称略）

主査	福本　晃治	岡山大学学術研究院
委員	荒木　康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所
	中島　昌一	国立研究開発法人建築研究所
アドバイザー	五十田　博	京都大学生存圏研究所
コンサルタント	溝渕木綿子	合同会社建設木材工学研究所
事務局	坂部　芳平	一般社団法人日本CLT協会
	河合　　誠	一般社団法人日本CLT協会
	中越　隆道	一般社団法人日本CLT協会
	中井　　聡	一般社団法人日本CLT協会
	谷口　　翼	一般社団法人日本CLT協会
	手島　　楓	一般社団法人日本CLT協会
	上田摩耶子	一般社団法人日本CLT協会

実施した内容

① 鉄骨造における普及性の高いCLT耐震壁の接合方法の検討

まず、検討委員会のうち、架構開発WG（兼普及検討SWG）において、CLTの普及促進のために必要な性能項目として、木材の現しが可能で、かつ耐火性能、設計の簡便さ、施工性、意匠性に優れることが挙げられた。これらの性能項目をバランスよく満たすことを目標に、鉄骨造におけるCLT耐震壁の接合部（図1）が考案された。

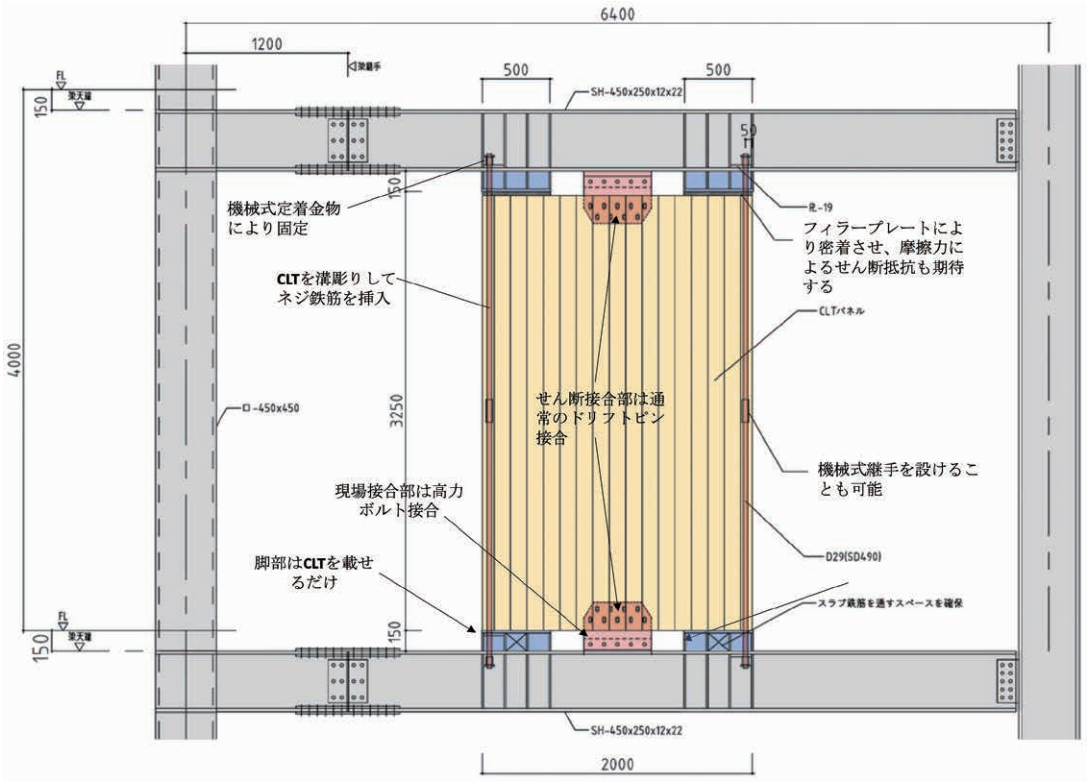


図1　提案されたCLT耐震壁の接合部

② CLTを鉄骨造の耐震壁として用いた構造システムの架構実験

①で考案された接合部を有する構造システムについて、表1に示す様に、CLT 壁幅、鉄骨梁断面、鉄筋径、せん断接合部のドリフトピン本数をパラメータとした1/2スケールの試験体を6体計画し構造実験を行った。CLTの寸法は、昨年度までに提案されたCLT規格化サイズであるパネル幅2mを想定し、試験体CLT幅は1mを基準にした。図2に試験体の一例（試験体No.1a）を示す。また、使用材料の材料試験、及びせん断接合部を模した接合部要素実験も併せて実施した。

表1　架構実験試験体一覧

鉄骨梁	試験体名	H/B≒1.5	試験体名	H/B≒1
H-194x150	No.1s	2-D16(SD295) DP18-φ12		
H-194x150	No.1a	2-D22(SD390) DP18-φ12	No.2a	2-D25(SD390) DP30-φ12
H-294x200	No.1b	2-D22(SD390) DP18-φ12	No.2b	2-D25(SD390) DP30-φ12
H-294x200	No.1f	2-D22(SD390) DP7-φ12		
CLT(共通)	S60-5-5(t=120mm) 幅はぎ接着なし			

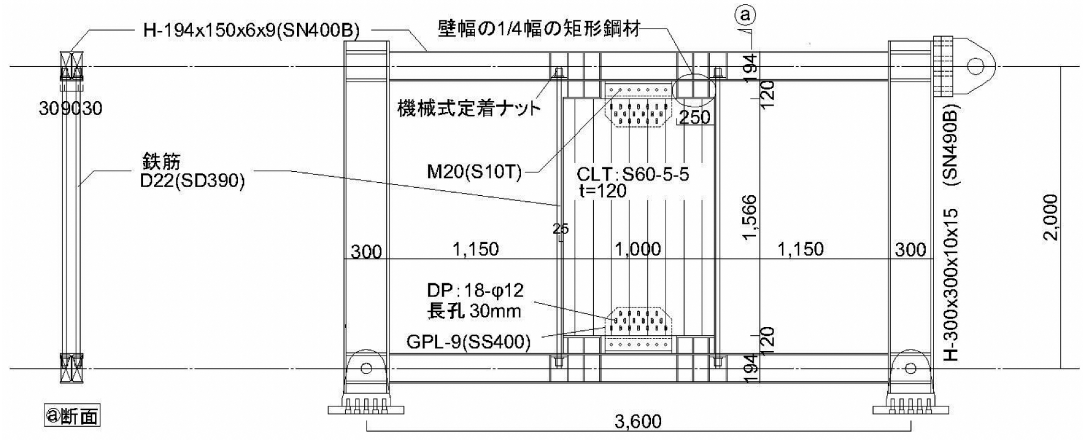


図２　架構実験試験体図 (No.1a)

また、本試験体を模擬した構造モデルとして、CLTの接合部をバネ要素に用いたバネモデル、及びCLT耐震壁全体をブレース置換したブレースモデルを構築し (図３)、静的弾塑性解析を実施した。

以上により、CLT耐震壁の剛性、耐力、変形性能、破壊性状、接合部の応力伝達性状等について実験的、解析的に検討を実施した。

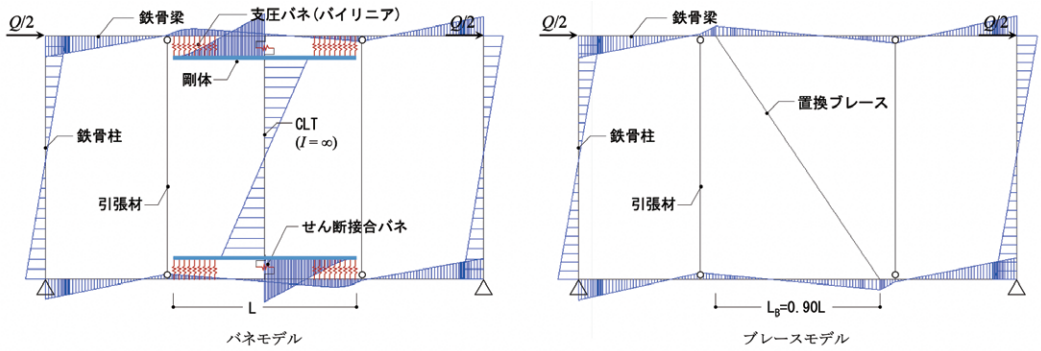


図３　解析モデル概要図

③ 鉄骨梁とCLT耐震壁の接合部に対する加熱実験

①で考案された接合部について、表２に示す様に１時間耐火構造、90分耐火構造を想定した３体の試験体による加熱実験を計画し実施した。図４、写真１に試験体の一例を示す。CLTの厚さにより加熱終了後の燃焼継続時間が異なることが想定されるため、鉄骨梁の吹付ロックウールによる耐火被覆を増厚して鉄骨梁の温度上昇を抑える計画とした。

表２　加熱実験試験体一覧

CLT	鉄骨梁	吹付ロックウール			
		1時間耐火 通常の 認定仕様	1時間耐火 試験体 仕様	90分耐火 試験体 仕様	2時間耐火 通常の 認定仕様
S60-5-5又はMx60-5-5	H-300x150x6.5x9	25mm	35mm (No.1)		45mm
S60-7-7又はMx60-7-7	H-294x200x8x12	25mm	35mm (No.2)		45mm
S60-7-7又はMx60-7-7	H-340x250x9x14	25mm		45mm (No.3)	45mm

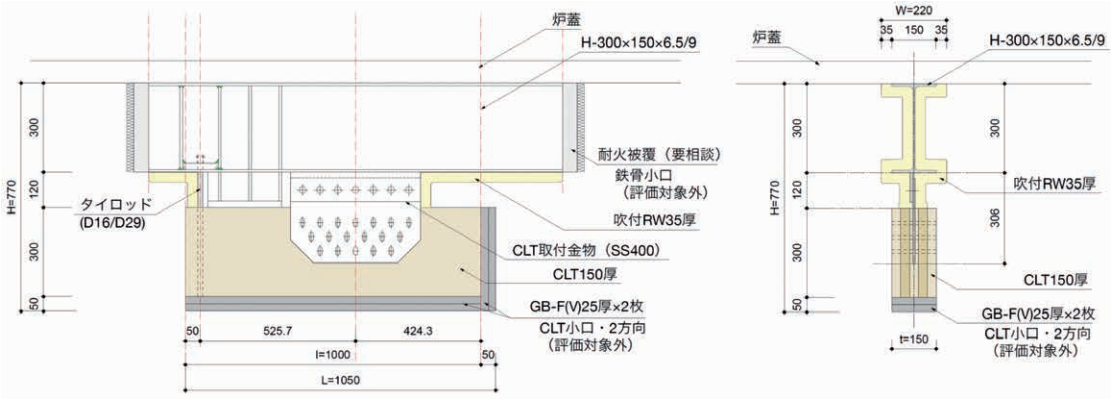


図４　加熱実験試験体図（No.1）

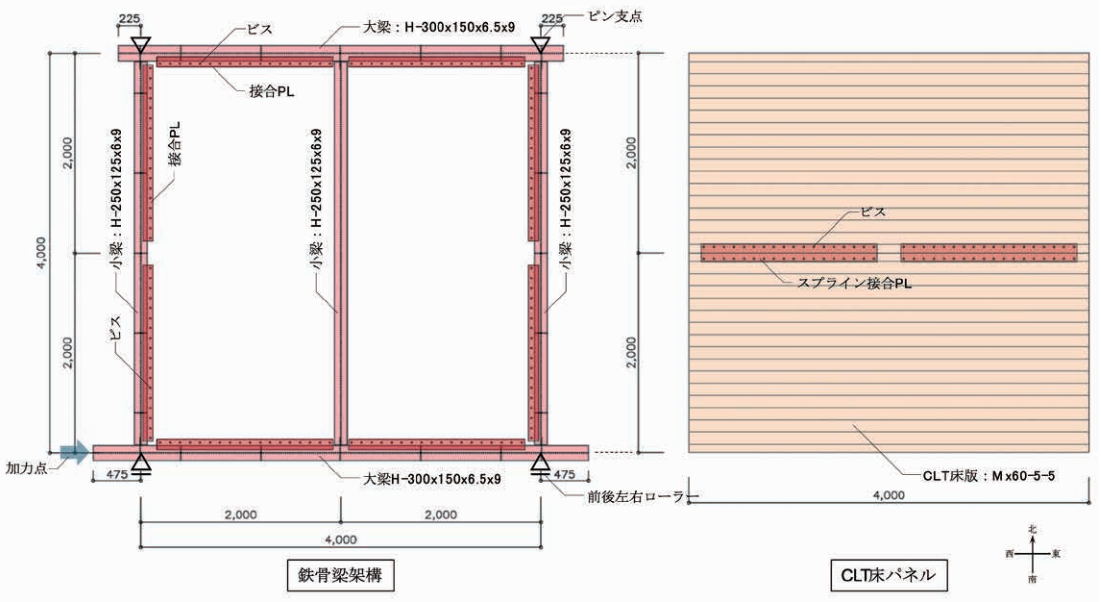
写真１　加熱実験試験体図（No.2）

④ CLTを床版として用いた鉄骨床架構の面内せん断に関する実験検討

CLTを床版として用いた鉄骨床架構の面内せん断に関する構造特性について把握するため、実大スケールの試験体による床架構の面内せん断実験を計画し実施した。普及性を高めるため、特別な精度管理が不要で、かつCLTの加工をほぼ無くすことができるビスによる接合方法とした（図５、写真２）。接合ビス１本あたりの構造特性を反映した予備構造解析を実施することで、剛性、耐力が２倍程度の差となる試験体２体を計画した（表３）。

表３　CLTを床版として用いた鉄骨床架構試験体一覧

試験体No.		No.1	No.2
試験体サイズ		4m×4m	
大梁		H-300x150x6.5x9	
小梁		H-250x125x6x9	
CLT床版		M x60-5-5(t=150)	
鉄骨梁上接合	接合鋼板	PL-9	PL-4.5
	ビス	パネリード PK8-90@100	STS・C65@100
スプライン接合	接合鋼板	PL-6	PL-4.5
	ビス	パネリード PK8-90@100	STS・C65@100



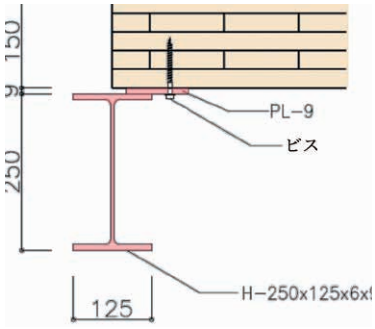


図５　CLT を床版として用いた鉄骨床架構試験体

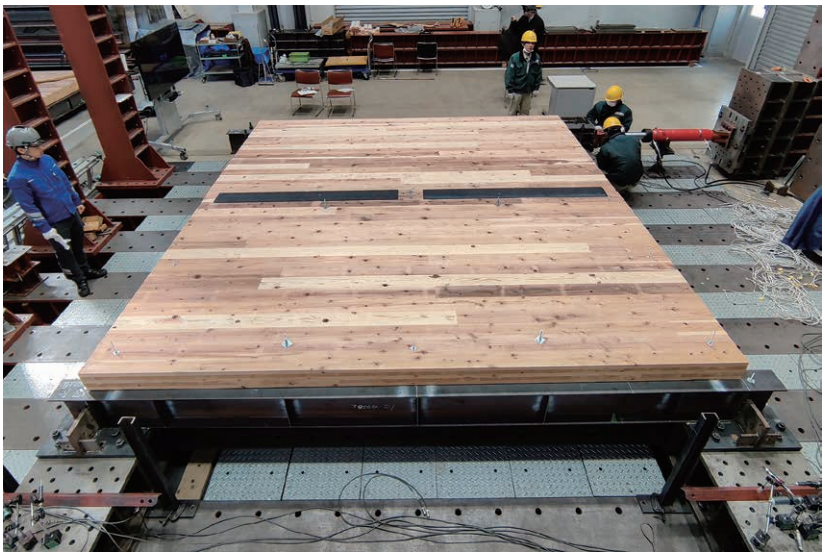


写真２　CLT を床版として用いた鉄骨床架構試験体

実施した結果

① 鉄骨造における普及性の高いCLT耐震壁の接合方法の検討

普及性の高い接合方法として、図１に示すものが考案された。CLTの接合部は、鋼板挿入型ドリフトピン接合と支圧力を伝達する支圧ブラケットのみとし、CLTの加工を最少化した。また、支圧ブラケットによりCLTと鉄骨梁を離隔し鉄骨梁の耐火被覆が可能となる。上下の鉄骨をつなぐ引張材はネジ鉄筋を用いることで、簡便に接合できるものとした。

② CLTを鉄骨造の耐震壁として用いた構造システムの架構実験

架構実験においては、図６、写真３に示す様に、1/150rad程度で鉄骨梁両端部の曲げ降伏を生じて鉄骨架構が剛性低下し、更にCLT隅角部の支圧降伏の進展によりCLT耐震壁が剛性低下した後、No.1fを除く試験体で層間変形角1/71～1/31radでCLTがせん断破壊に到達した。CLTの最大せん断応力度はτ max=2.35～2.96N/mm^{2}とRC耐震壁に匹敵する強度を発現したものの、別途実施したCLTの面内せん断試験結果より２割程度低下する結果となった。また、図６に示す様に、CLTと支圧ブラケット間の摩擦力を期待した試験体No.1fでは、摩擦係数を0.3と仮定した上でドリフトピン本数を試験体No.1bの18本に対して７本に減らしたが、剛性や耐力の減少はほとんど無く、むしろNo.1fではせん断破壊を生じず高い変形性能を発揮し、せん断接合部の合理化が可能であることが示唆された。

また、CLTの材料試験が未完のためCLTの材料強度等を仮定した上で、既往の文献に基づきCLT耐震壁の剛性、耐力を評価し構造解析を実施した。図７に示す様に、バネモデル、ブレースモデルとも良好に実験結果を再現することができ、本構造システムにおいても有用であることが確認された。更に、摩擦力の簡便なモデル化方法についても提案した。

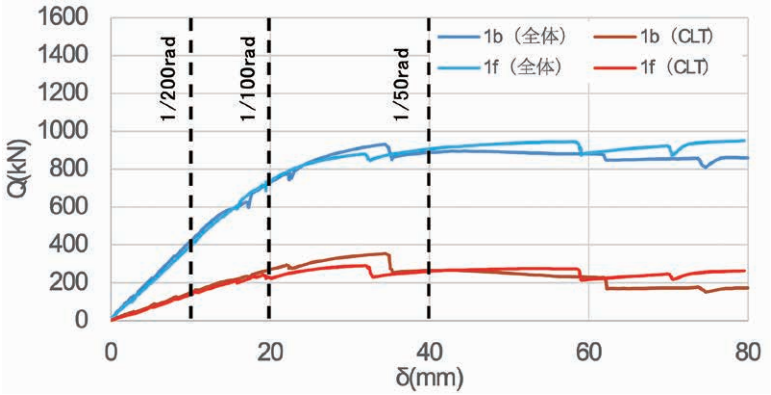


図６　荷重-変形関係(No.1b & No.1f)

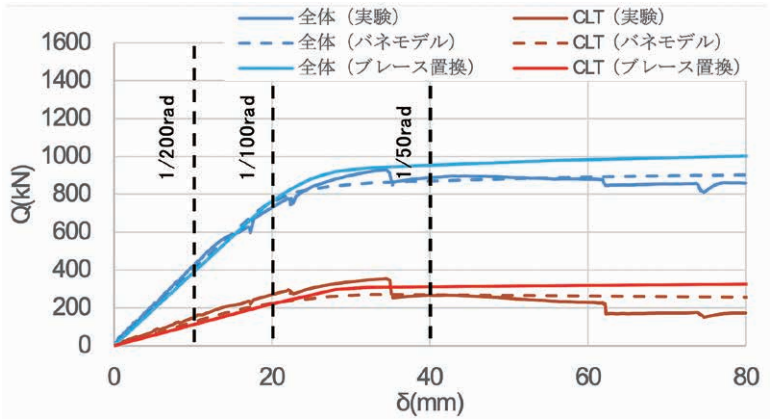


図７　荷重-変形関係(No.1b)

写真３　No.1b試験体最終破壊状況

③ 鉄骨梁とCLT耐震壁の接合部に対する加熱実験

表２に示す１時間耐火構造、90分耐火構造を想定した３体の試験体による加熱実験を実施し，各仕様における耐火性能を確認した。

④ CLTを床版として用いた鉄骨床架構の面内せん断に関する実験検討

図８に試験体No.1の実験結果を代表して示す。ビス接合部のずれ変位が増大するとともに変形角1/200あたりから徐々に剛性低下し、ビス接合部のずれが顕著となり一部のビスが連続して破断し（写真４）耐力低下した。CLTの最大せん断応力度は試験体No.1でτ max=0.7N/mm^{2}程度でCLTの面内せん断強度に対しては４倍程度の安全率があり、床としての鉛直支持能力が失われる水準にはないと考えられる。また、事前に実施した静的増分解析結果とも良く適合した。

写真４ ビスの破断

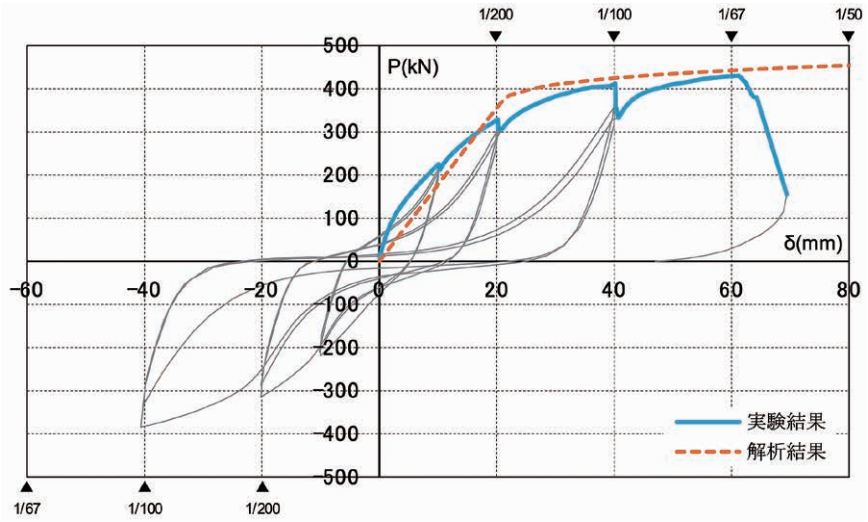


図 8 荷重 - 変形関係 (No.1)

⑤ まとめ

CLT 耐震壁については、普及性を考慮した接合部の提案した上で、架構実験と加熱実験を実施し、設計に必要となる基本的な実験データを取得することができた。また，架構実験では，摩擦力を考慮することにより、せん断接合部の更なる合理化が可能であることも示唆された。

CLT 床については、実大試験体による床架構の面内せん断実験を実施し，構造性能評価に資する実験データを取得することができた。

今後の課題・展開等

本年度の事業では、CLT 耐震壁と鉄骨梁との接合部について、木材の現しが可能で、かつ耐火性能、設計の簡便さ、施工性、意匠性、施工性に優れることを目標に開発を行った。本実験により剛性、耐力ともに既往の研究結果と同等の構造性能が発揮されることを確認されたが、以下が次年度以降の課題である。

- CLT の面内せん断試験に対して架構実験ではせん断強度が低下する傾向があり、CLT のせん断破壊を防止するための安全率の設定には更なる検討が必要である。また、保有水平耐力計算に用いる Ds 値については知見が少なく検討を要する。
- 試験体の組立において、CLT と支圧ブラケット間のフィラープレートの挿入に手間がかかったため、接合ディティールの改善による施工性の向上が求められる。
- 本実験により CLT と支圧ブラケット間の摩擦力の効果は認められたが、摩擦係数の定量化には更なる実験的検討が必要である。

また、CLT を床版として用いた鉄骨床架構の面内せん断性状については、本事業にて実験的知見が得られたが、普及促進のためには、鉄骨梁と CLT 床版の接合仕様に応じた剛性や耐力を整備し、設計に資する資料を整備する必要がある。

事業

省エネ基準及び中大規模建築物に対応したログハウス建築部材の技術開発事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本ログハウス協会

〒101-0047　東京都千代田区内神田1-4-1大手町21ビル7階

事業目的

1．省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材（JAS）の技術開発

2019(平成31)年に制定された接着合せ材のJASについて、いわゆる建築物省エネ法改正に伴う省エネ基準の強化に対応した実用性の高い規格のものを製造することを目標に課題とその解決策を検討し、それに必要な試験等を行う。

2．省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

令和３年度補正事業では寒冷地において、付加断熱材を用いずに、所定の断熱性能を確保しうる、大径材ログハウス壁の技術開発を行った。本事業では、３地域以南の地域に対応した、180mm×180mmの大径材ログハウス壁の準耐火性能等を確認し、大径材ログハウス壁の全国的な普及を図る。

実施した項目

1．省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

（1）検討委員会の開催

① **検討事項：**加工・供給体制、実用性を高めるための技術的課題とそのための試験を行う。また接着合せ材JASの接着合せ材適正製造基準案の検討と接着剤の同等性能確認における品目追加に関する検討を行う。

② **検討スケジュール**

令和６年７月10日第１回委員会
令和６年10月21日第２回委員会
令和７年 １月29日第３回委員会

（2）試験の実施

A種（梁，桁等で使用する）の継ぎ手ありの接着合せ材の開発を目的とし，ラミナの継ぎ手の構造性能確認実験を令和６年12月に鹿児島県工業技術センターにて実施。

断面形状は、ラミネートログのラミナとして一般的な幅50mm×せい160mmの矩形形状とし、継ぎ手の加工は新たに形状および加工方法を決定。

試験体は樹種をスギとし、パラメータを継ぎ手の有無とし、ラミナは２種×20本の計40体について、曲げ試験を実施。さらに、継ぎ手の位置を一致させた接着合せ材10体について、曲げ試験を実施。

2．省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

（1）検討会の開催

① **検討事項：**試験を行う木材の大きさ、断面形状、ヒノキの樹種の決定、対象地域でのログハウスの省エネ評価及び成果の実用化に向けた検討等

② 検討スケジュール

令和６年９月３日：第１回委員会
令和６年12月９日：第２回委員会
令和７年２月３日：第３回委員会

（2）試験等の実施

①対象地域でのログハウスの省エネ評価及び成果

外皮計算用のモデルプランを設定し、各地域区分ごとに検討を行った。

②防火試験

- 省エネ評価を踏まえた大きさ（180mm × 180mm等）の大径材ログハウス壁の90分の準耐火性能本試験を実施（本試験２体：ヒノキ２体）
  本試験　　令和６年12月２日、３日
- 接着材の違いによる接着合せ材の予備防火試験（スギ１体）
  接着材の性能の違いのみを判断しやすいように荷重をかけない防火試験を行った。
  レゾルシノール・イソシアネート・ポリウレタンの３種類の接着材を一段ずつ積み防火試験をおこなった。
  予備試験　令和６年12月９日

実施体制

1．省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

委員長を平松靖氏（森林総研）とし、宮武敦氏（森林総研）,宮本康太（森林総研）、槌本敬大氏（建研）、秋山信彦（建研）などの研究者をはじめ、髙岡繭子氏（構造設計）、倉持秀一（赤井製材）,尾ノ上竜次（はやし林業）、板垣悟氏（公社）合板検査会,当協会の技術委員等のメンバー

2．省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

委員長には大橋好光氏（東京都市大学名誉教授）とし、（株）綜建築研究所：五十嵐賢博・若槻泰介（省エネ）に加え、当協会の技術委員等のメンバー

実施した内容

1．省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

（1）接着合せ材適正製造基準案の検討

接着合せ材適正製造基準案の作成と、接着剤の同等性能確認における品目追加に関する要望書の提出を検討する。

（2）ラミナの継ぎ手の構造確認試験

1）スギの接着合わせ材をＡ種として使う場合の強度試験

樹種はスギとし、継ぎ手の有無をパラメータとした曲げ試験を計画し、鹿児島県工業技術センターにて実施した。

- ラミナの継ぎ手方法は、新たに工作機材と圧締治具を開発し、フィンガーの形状や加工方法について試作を重ねて決定。
- 材料によるばらつきをなるべく減らすべく、同じ原木から採取したラミナより継ぎ手ありとなしの試験体を製作。
- 試験体製作時には今後の開発の基礎データを取得するために、グレーディング時のヤング係数や含水率を記録。
- 加力実験では曲げ強度と曲げヤング係数、破壊性状を取得。

2）接着合せ材の構造確認実験

樹種はスギとし、継ぎ手の位置を一致させた２枚ラミナの接着合せ材を試験体とし、鹿児島県工業技術センターにて実施した。

- 試験体製作時には今後の開発の基礎データを取得するために、グレーディング時のヤング係数や含水率を記録。
- 加力実験では曲げ強度と曲げヤング係数、破壊性状を取得。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

（1）対象地域でのログハウスの省エネ評価及び成果

モデルプランにて、地域区分ごとに外皮計算を行った。

（2）検査関係

①180mm製材

- 試験材料の検査

材料検査：材料の節やヒビやかけの検査を行った。

令和６年10月４日

高周波工場視察

令和６年10月４日

- 製品検査：ログ加工後の寸法の検査を行った。

令和６年11月11日

②接着合せ材

- 試験材料の検査

材料検査：材料の節やヒビやかけの検査を行った。

令和６年10月２日

- 製品検査：ログ加工後の寸法の検査を行った。

令和６年11月11日

- 接着材検査：接着材の検査を行った。

令和６年11月17日

（3）180mm ×180mm 大径材ヒノキ本試験

大径材のログ壁の開発を目的とし、

1）大径材のログ材の仕様（樹種、形状、等）の選定

2）材料管理記録の作成

3）試験体の施工方法の決定後、実大の試験体を２体製作し

4）75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験（ヒノキ２体）の実施

（4）接着剤の違いによる接着合せ材の予備防火試験

接着材の性能の違いのみを判断しやすいように

1）レゾルシノール・イソシアネート・ポリウレタンの３種類の接着材を一段ずつ積み、荷重をかけない防火試験をおこなった。

2）90分準耐火性能認定時間の108分加熱を行い、燃焼後の接着材の違いを観測する。

実施した結果

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

（1）接着合せ材適正製造基準案の検討

接着合せ材適正製造基準案を作成した。また接着剤の同等性能確認における品目追加に関する要望書を提出した。

（2）ラミナの継ぎ手の構造確認実験

1）スギの接着合わせ材をＡ種として使う場合の強度試験

試験方法、試験体を図 1.2-1 に示す。

2）接着合せ材の構造確認実験

試験データを図 1.2-2 に示す。

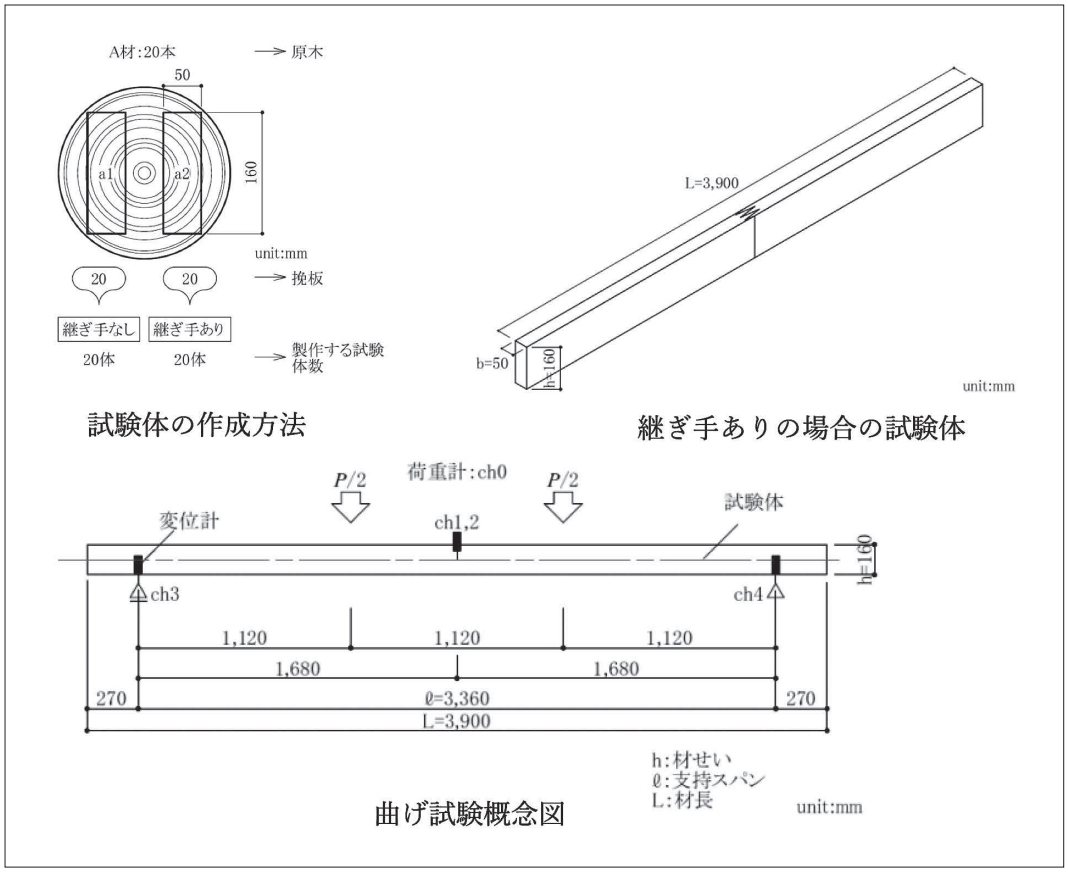


図 1.2-1　試験方法、試験体

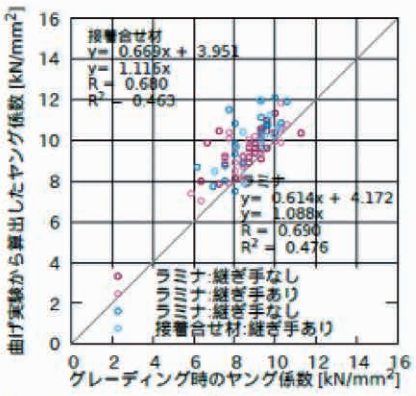


Fig.19: グレーディング時と曲げ実験時のヤング係数の比較

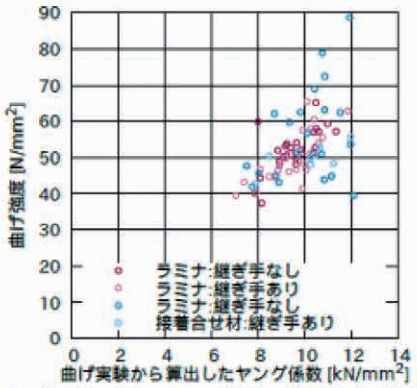


Fig.20: 曲げ実験時のヤング係数と曲げ強度の比較

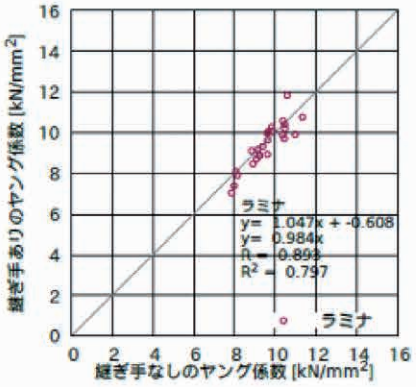


Fig.21: 曲げ実験時のヤング係数の継ぎ手の有無による比較

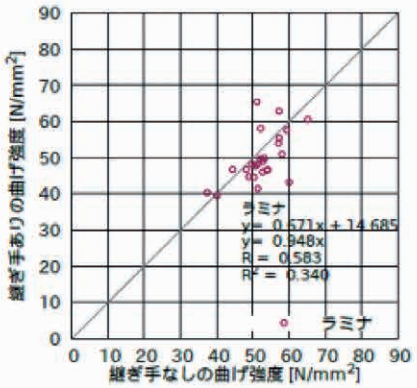


Fig.22: 曲げ強度の継ぎ手の有無による比較

ラミナの破壊写真

接着合せ材の破壊写真

図 1.2-2　試験データ

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

（1）対象地域でのログハウスの省エネ評価及び成果

各地域区分ごとの外皮計算結果を表 2.1-1 に、モデルプランを図 2.1-1 に示す。ＵＡ値は最高で 0.37（5 地域以南の断熱性能等級 6）を確認した。

項目/No.	1	2	3	4	5	6
ログ厚さ	114	180	180	180	180	180
断熱外皮	アンケート	アンケート	1-2基準	1-2基準	強化仕様	強化仕様
開口部	アンケート	アンケート	アンケート	B	C	D
UA値	0.71	0.59	0.52	0.44	0.38	0.37

凡例：断熱外皮

アンケート	ログ協アンケート相当
1-2基準	1-2仕様基準相当
強化仕様	等級7外皮相当

開口部

アンケート	ログ協アンケート相当
B	樹脂+PG　LIXIL「EW」U値1.3レベル
C	樹脂+3層　LIXIL「EW」U値0.8レベル
D	樹脂+5層　LIXIL「レガリア」U値0.55レベル

地域別断熱性能等級別　住宅の所要UA値

等級	1地域	2地域	3地域	4地域	5地域	6地域	7地域	備考
4	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	義務化
5	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	ZEH
6	0.28	0.28	0.28	0.34	0.46	0.46	0.46	HEAT20　G2
7	0.20	0.20	0.20	0.23	0.26	0.26	0.26	HEAT20　G3

表 2.1-1　地域区分ごと、断熱仕様ごとの外皮計算結果

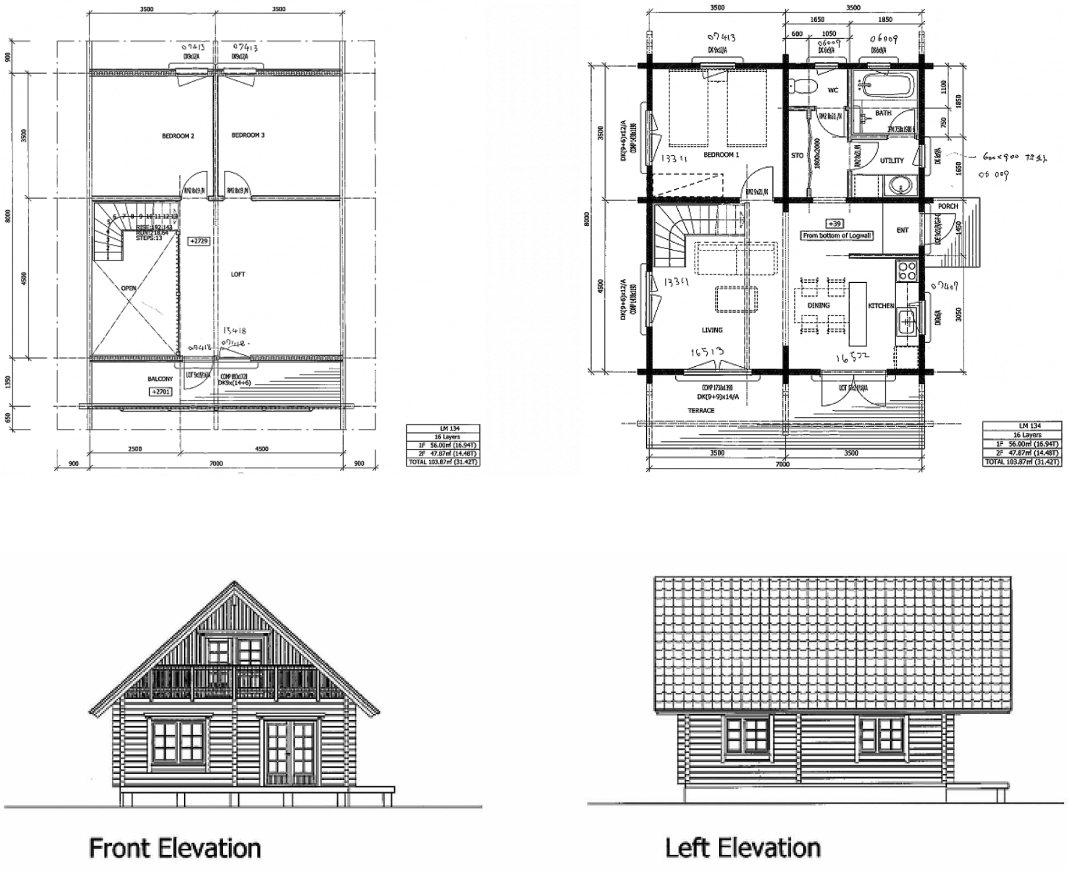


図 2.1-1　外皮計算に用いたモデルプラン

（3）180mm × 180mm 大径材ヒノキ本試験

1）大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定
ログ材の仕様概要を図 2.3-1 に示す。

2）試験体の材料管理の記録作成

3）実験における載荷荷重の提案
実建物の実体に応じた荷重計算表を表 2.3-1 に示す。

4）試験体製作方法の提案

試験体製作の様子を写真 2.3-1 に示す。

5）90 分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱実験

実験結果の概要を表 2.3-2, 写真 2.3-2 に示す。1 体目、2 体目とも 90 分準耐火性能（108 分加熱）の性能を確認できた。

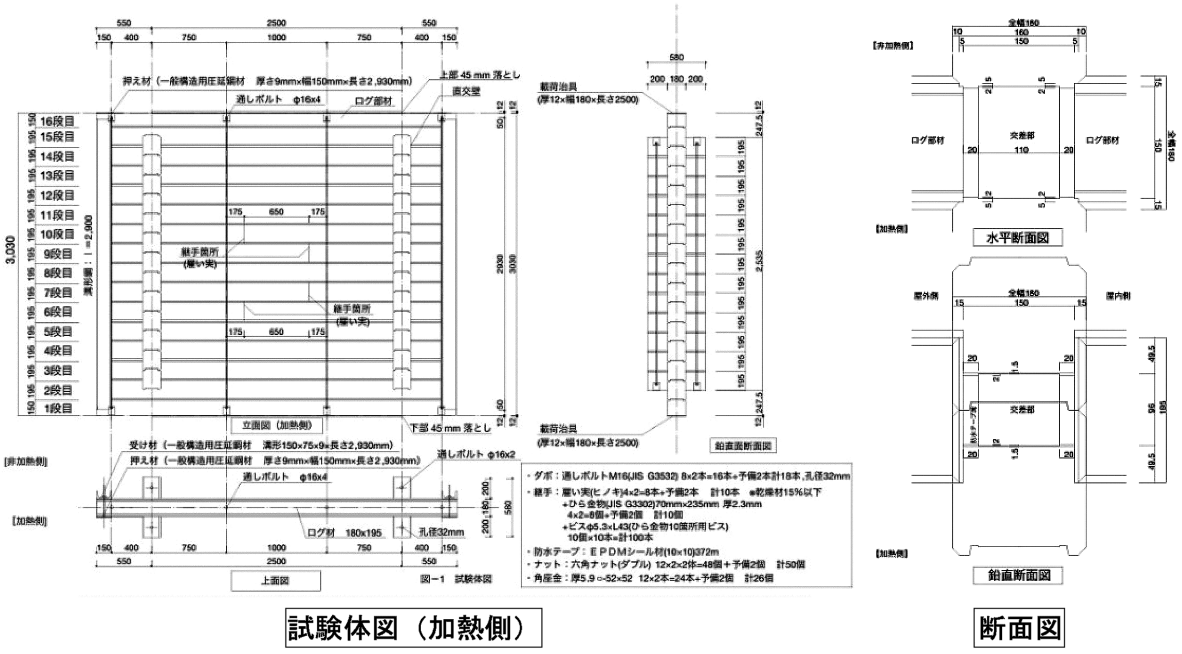


図 2.3-1　ログ材の仕様概要

4. 試験体載荷重量の算出

3.にて算出した荷重支持幅から、すだれ壁の長期許容座屈荷重、すなわち載荷荷重量を算出する。

試験に用いる載荷荷重量は、構造耐力上主要な部分である丸太組構法壁について、平成13年国土交通省告示第1024号（木材のめりこみ及び圧縮材の座屈の許容応力度等）に基づき（但し、前面横圧縮の材料強度は、圧縮に対する基準強度に0.125を乗じて得た数値とする）、次の表に示す各式から求めた長期許容座屈荷重を採用する。

項目	記号・数値等	数値	単位	
荷重支持部面積	A= 120 × 2500 =	300000	[mm2]	※A=幅(荷重支持部幅)×長さ
丸太重なり巾	B=	120.0	[mm]	※荷重支持幅とした。告示411号より、B≧70mm
最大開口高さ	h=	3030.0	[mm]	※試験体高さとした
丸太材圧縮強度	Fc=	20.7	[N/mm2]	※普通構造材 針葉樹 II 類の場合
座屈長さ	lk=h=	3030.0	[mm]	※試験体高さとした
断面2次半径	i=B/3.46 =	34.682	[mm]	※長方形断面の場合
有効細長比	λ=lk/i=	87.4	[mm]	※30<λ≦100
座屈低減係数	η	0.426		※有効細長比λにより決まる係数
圧縮強度	$F_{c\perp}$ = (1/8)・F_c =	2.59	[N/mm2]	
長期許容圧縮応力度	${}_Lf_{c\perp}$ = 1.1・$F_{c\perp}$/3 =	0.95	[N/mm2]	
長期許容座屈応力度	${}_Lf_k$ =η・${}_Lf_{c\perp}$ =	0.404	[N/mm2]	
長期許容座屈荷重（＝載荷荷重量）	N=A・${}_Lf_k$ =	121.35	[kN]	

※材料強度は、平12年建設省告示1452号（木材の基準強度Fc、Ft、Fb及びFsを定める件）に基づき、木構造設計基準・同解説[日本建築学会編]に記載されている、木材の繊維方向の圧縮応力度に0.125の係数を乗じて許容横圧縮応力度に変換したものを用いる。

以上より、載荷荷重量は　121.35　[kN]となる。当数値は、1.で算出した軸力110kNを満足するため、当該数値を採用する。

表 2.3-1　荷重計算表

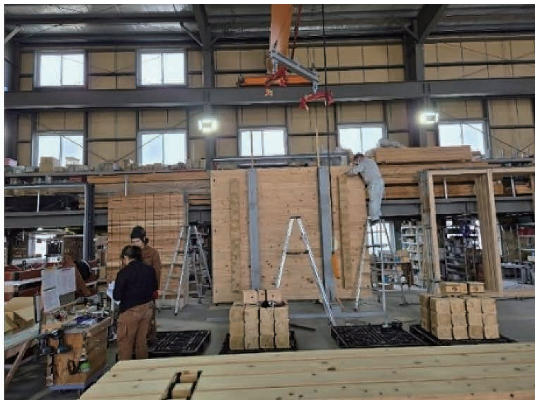


写真 2.3-1　試験体製作の様子（左：治具を用いての積上げ作業、右：積上げ後の全景）

写真 2.3-2　本実験の様子　１体目（左：実験前、右：実験後　ともに加熱側）

１体目ヒノキ	１０８分	載荷荷重 121.35 ｋＮ
２体目ヒノキ	１０８分	載荷荷重 121.35 ｋＮ

表 2.3-2　載荷加熱実験結果の概要

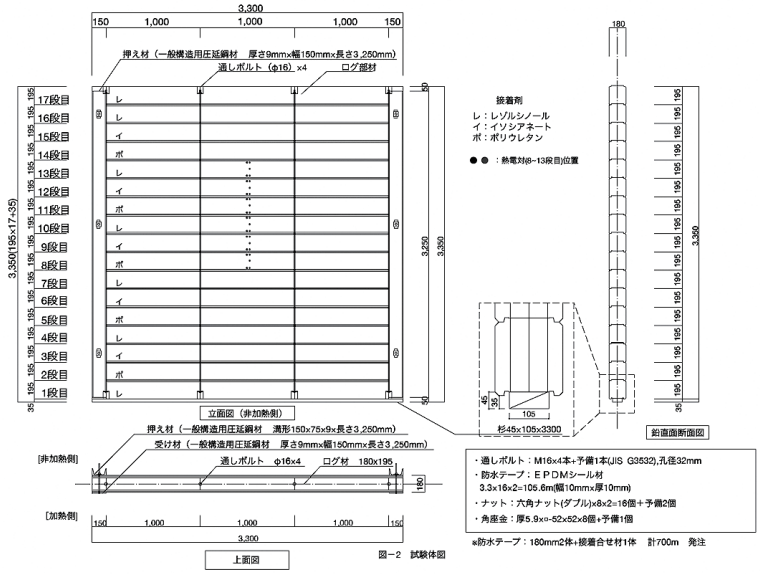
（４）接着剤の違いによる接着合せ材の予備防火試験

１）大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定
　接着合せ材の仕様概要を図 2.4-1 に示す。

２）材料管理の記録作成

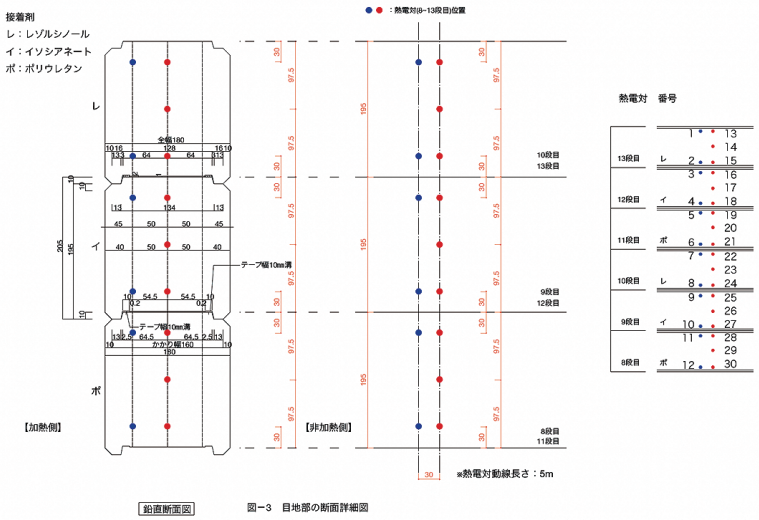
３）試験体製作方法の提案
　試験体製作の様子を写真 2.4-1 に示す。

４）90 分準耐火性能を目標とした予備加熱試験
　実験の結果、90 分加熱の確認する結果が得られた。



図－2　試験体図

試験体図（非加熱側）



鉛直断面図

図－3　目地部の断面詳細図

熱電対図

図 2.4-1　ログ材の仕様概要

写真 2.4-1　試験体製作の様子（左：治具を用いての積上げ作業、右：積上げ後の全景）

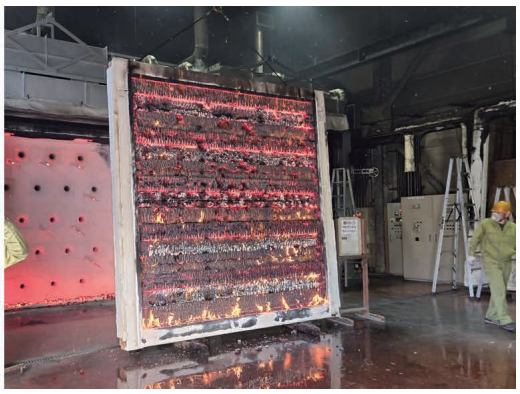


写真 2.4-2　　本実験の様子　１体目（左：実験前、右：実験後　ともに加熱側）

１体目スギ	108分

表 2.4-1　予備加熱実験結果の概要

今後の課題・展開等

本事業では、大径材の活用を目的として、昨年度のスギ製材に続いて、ヒノキ製材のログ壁について、90分準耐火性能の試験を行った。

さらに、接着合せ材についても、接着材の違いによる燃焼度合いの違いを確認し、接着性能の違いを見るために、防火試験時に荷重をかけずに、レゾルシノール・イソシアネート・ポリウレタンを一段ずつ変えたログ壁で、防火試験を実施し、燃え残りの多い順にレゾルシノール＞イソシアネート＞ポリウレタンの順との結果が得られた。

これらにより、防火地域内の３階建て以下の住宅（延べ面積 200㎡以下）、３階建て以下の事務所や２階建て以下の店舗・保育所（延べ面積 3000㎡以下）などが設計可能となる。

また、180mm × 180mm よりもさらに小径のログ材を使った壁や、断面形状を変えた壁についても、75分準耐火性能の検討を進めて、郊外だけでなく市街地に適した安全性を有するログハウスを提案していきたい。

省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材（JAS）の利用促進には、曲げ実験などの構造実験と共に、建築物に使用するのに不可欠である接着合せ材の防火性能を確認する必要がある。

1．ラミナの曲げ実験より、継ぎ手ありの場合、継ぎ手で破壊し、継ぎ手なしの場合より耐力が下がることが確認されたが、設計では十分に利用できる性能を有していると考えられる。一方で継ぎ手位置を一致させた、接着合せ材による曲げ実験では、耐力はあるものの脆性的な破壊が確認された。今後は継ぎ手の配置間隔および継ぎ手の加工向きを検討し、曲げ実験による構造性能を確認し、基準化に向けた整理をする。
2．レゾルシノールやイソシアネート接着剤などを使用した、防火性能試験を行い、実用化に向けた検討を行う。
3．1、２地域において断熱等性能等級６、７に対応しうるログ壁（２つのログ壁で断熱材を挟んだ構造の検討）の 技術開発を行う。
4．約150mm厚スギ・ヒノキのログ壁で、省エネ地域区分４、５、６、７地域において、断熱等性能等級４、５に対応可能なログ壁の60分防火性能試験を行い、全国対応で建設可能な検証を行う。
5．今までに準耐火構造の大臣認定を受けた大径材ログ壁の普及資料を作成し、普及を図る。

事業

木材の基準強度の再検証
～特に“せん断強度”に着目して～

● 実施団体 ●

一般社団法人 き塾
〒102-0072　東京都千代田区飯田橋3-4-3　7階

東京大学 大学院 農学生命科学研究科
〒113-0032　東京都文京区弥生1-1-1

事業目的

【目的】

本事業では、木材の現状のせん断強度が無欠点小試験体のデータに基づく点を踏まえ、近年の非住宅木造建築物での木材の使われ方などを反映した試験評価法の検討を主に行う。これまでにも類似の問題意識を持った研究者が各地にて独自に検討を進めている例が存在することから、それらの収集・情報共有を行い、試験方法の候補を絞り込み、試験方法の検討、試験体の採取方法などのルールの統一を行ったうえで、実大試験データに基づく強度特性の取得より、木材の応力状態に応じたせん断強度を明らかにすることを目的とする。

【背景】

木造建築物の中大規模化に伴い、木材・木質材料への要求性能も高くなり、材料に加わる応力もこれまでより格段に大きくなっているのが実態である。一方、木材の基準強度は実大材の強度試験に基づく数値で設定されているとされているが、せん断強度とめり込み強度については未だに無欠点小試験体の試験結果に基づいており、寸法効果なども含めた実大材の強度との比較検証が未解決のままとなっている。

特にせん断強度に関しては構造設計におけるクライテリアになることも多く、この強度特性に関しては、現状の基準強度に加えて、建築物の応力状態に合わせた緩和等を最新の知見に基づいて設定する必要がある。現在は､建物においての実際の応力状態を考慮することなく基準強度を用いる必要があるが、ウッドショックの際に、それまで集成材や外国産材を利用していた事業者が国産材のスギ製材に切り替えを試みた際にも、せん断強度が低いことがネックとなったという背景がある。

実施した項目

1.　せん断強度の算出手法・試験方法および建築物への適用における課題についての文献調査

1-1. せん断強度に関する既往の研究について日本と海外を対象に調査を行い、せん断強度試験方法についての歴史的経緯と現状についてとりまとめた。

1-2. 収集した論文および委員でのディスカッションを通して、建築物での利用方法別のせん断強度に関する課題を整理し、以下の項目についてとりまとめた。

① 乾燥割れによる強度低下の影響
② ほぞ接合部におけるせん断強度の扱い
③ 柱梁接合部のパネルゾーンにおけるせん断強度の扱い

2.　せん断強度試験方法の検討と試験によるデータ取得

2-1. 1-1の結果より、従来のJISによる無欠点小試験体のいす型せん断試験、実大寸法のいす型せん断試験および逆対称４点曲げ試験の３つの試験方法を選択し、試験方法に関する詳細な検討を行った。

2-2. 宮崎県、愛媛県、長野県の３つの公設試験場において試験方法や試験体製作方法をそろえた上で、スギ・ヒノキ・カラマツの３樹種についてせん断試験を実施し、試験方法の妥当性の確認、データの取得を行った。

3. とりまとめと今後の課題の整理

実施体制

事業主体	担当	役割分担
一般社団法人　き塾	中山　正利	全体の運営管理
国立大学法人東京大学 大学院農学生命科学研究科	青木　謙治	全体の技術検討に関わる指導、とりまとめ
共同実施者＋委員		
長野県林業総合センター	毛受　　誠	既往のデータ収集・整理、実験の実施
宮崎県木材利用技術センター	荒木　博章	既往のデータ収集・整理、実験の実施
愛媛県農林水産研究所林業研究センター	紅谷　成昭	既往のデータ収集・整理、実験の実施
委員		
京都大学生存圏研究所教授	五十田　博	木質構造建築物での応力状態等の検討に関する助言
秋田県立大学 木材高度加工研究所准教授	岡崎　泰男	既往のデータ収集・整理・分析 試験・評価方法に関する助言
職業能力開発総合大学校教授	園田　里見	試験･評価方法に関する調査、とりまとめ
信州大学農学部助教	末定　拓時	データの精査・分析、とりまとめ補助
追手門大学准教授	青島　啓太	木質構造建築物での応力状態等の検討
森林総合研究所	井道　裕史	試験・評価方法に関する助言
森林総合研究所	宇京斉一郎	試験・評価方法に関する助言
運営補助委託先		
(株)ドット・コーポレーション		運営・各種調査・とりまとめ補助

実施した内容

1. せん断強度の算出手法・試験方法および建築物への適用における課題についての文献調査

文献調査によって、**せん断強度の算出方法・試験方法**については以下のようなことが明らかとなった。

- 現在の日本のせん断の基準強度は（1980年ごろ決定)、無欠点小試験体によるJISいす型せん断試験の基準強度値（平均値）にばらつき係数（4/5)、低減係数（0.5、材が２分されることを想定)、割裂・切欠・干割れの係数（1/1.5）を掛けることで算出されているが、低減係数と割裂・切欠・干割れの係数の両方がなぜ必要なのか等は文献調査でも明らかにならなかった。
- 日本のせん断試験に関する規格等には以下がある。**JIS Z 2101**：無欠点小試験体によるいす型せん断試験。**構造用木材の強度試験マニュアル**：実大材によるショートスパンの曲げせん断試験（中央集中荷重法、４等分５点曲げ荷重法、逆対称４点荷重法)。付録に実大材によるいす型せん断試験を掲載。

- 海外のせん断試験に関する規格には以下がある。**ASTM D143**：無欠点小試験体によるいす型せん断試験。**ASTM D198**：実大材の試験方法。ただし、せん断はせん断弾性係数のみ。曲げ試験からせん断強度を求めることは可能。**ASTM D245**：米国のせん断の基準強度に相当するもの（Design values）の誘導方法。無欠点小試験体の強度データからの誘導。**ISO 13061-8**：無欠点小試験体のせん断試験方法。具体的な方法はないが、いす型せん断試験を想定していると思われる。**ISO 13910**：実大材のせん断試験方法。ショートスパンの中央集中曲げ方式と two-rail shear 法。旧版の ISO 13910 は 5 点曲げ方式が付録で記載されていたが現行版では削除されている。その理由は文献調査では明らかにならなかった。**EN 384**：針葉樹のせん断の特性値（5% 下限値）の算出方法。3.8 N/mm^2 か 0.2($f_{m,k}$)$^{0.8}$ の小さい方。ここで $f_{m,k}$ は曲げ強度の特性値。**EN 408**：実大材のせん断試験方法。ISO 13910 の two-rail shear 法と同じ。
- 逆対称 4 点曲げ試験については、実大の横架材用のデータを得るには適した試験方法であるが、日本においても海外においても近年採用されるようになった試験法で、海外では鋼構造を参考にして引用されたものであることが分かった。日本でも同様の経緯と推測される。そのため、実績などは少ない。

文献調査・ディスカッションによって、**せん断強度が建築物の設計時に課題となる状況**について以下のようなことが明らかとなった。

- 構造計算が必要となる木造建築物では構造材に JAS 材が求められ、一般的には高温乾燥材を用いることが多いが、乾燥割れ（特に内部割れ）は製材の曲げ強度には大きな影響を与えないものの、接合部のせん断強度には影響がある。さらに、近年開発が進んでいる大径材から得られる心去り平角材では曲げ試験中に低い荷重でせん断破壊するものがみられることがあり、乾燥割れの影響があることが文献調査から示唆された。乾燥割れは乾燥方法や樹種によって異なることも考えられ、またそれらの影響度合いは試験方法によっても異なると考えられる。ただし、乾燥割れによる木材の強度低下を、実際の設計で許容応力度の低減などで反映させることが可能かどうかについては現時点では妙案はなく、現状の把握と共に、引き続き検討が必要である。
- 耐震改修において、面材耐力壁を床・天井を壊さずに柱にのみ釘で留め付ける場合、耐力壁に加わる水平せん断力を柱頭柱脚のほぞ接合部のみで伝達する必要があるため、設計上は柱のほぞのせん断で NG となることがある。しかしながら、実際はせん断強度の算定時とは異なる面（繊維を切る方向）がせん断面となることから破壊は起こらず、文献調査からは倍以上の強度がある可能性が示唆されている。ほぞ接合部の応力状態は非常に複雑で、それらを解明しようとした文献も多く存在するが、実用的な解決策を示すところまでには至っていない。
- 近年の規模が大きい木造建築物における柱梁のラーメン接合部ではパネルゾーンのせん断破壊で接合部の性能が決定する場合があるが、その際の設計で用いるせん断強度については現状の木材のせん断強度をそのまま適用してよいかどうか不明であり、実用的には課題がある。これまでに、パネルゾーンのせん断破壊を意識した実験的検討例はあるものの、具体的な提案までには至っておらず、更なる検証が必要である。

2. せん断強度試験方法の検討と試験によるデータ取得

2-1. 試験方法の検討

① 試験方法の選択

文献調査の結果より、JIS のいす型せん断試験（無欠点小試験体）、実大寸法のいす型せん断試験、実大寸法の逆対称 4 点曲げ試験の 3 つを選択し、試験方法の検討を行った。この 3 つを選択した理由は、横架材のせん断では曲げ系の試験でデータを得ること、頬杖や合掌材などで使う場合は実大寸法のいす型試験とするのが理想であり、それらと現状の基準強度算出用の JIS のいす型試験結果を比較するためである。ただし、曲げ系の試験では試験歩留まりが悪くなる（せん断

では破壊せず、曲げで破壊してしまう状況)、加力点のめり込みが大きくなり適切に試験を実施できないという問題が生じることが想定されるため、比較的その可能性が低い逆対称４点曲げ試験を選択した。

② 材料の選択

文献調査の結果より、過去に実施されたせん断試験では、試験体は天然乾燥材もしくは中温乾燥材から製作されたことが確認できたが、本事業では、実際に建築で使用される材料を想定した試験方法の検討およびデータ取得を目指すため、JAS 製材の目視等級区分材を対象とし、結果、高温乾燥を含む人工乾燥材を対象とすることとなった。また、樹種によってめりこみや高温乾燥の影響などが異なることから、スギ、ヒノキ、カラマツを対象とすることとした。

試験用に調達した材料は含水率の測定の他、TGH 法（曲げたわみ振動法で高次モードを測定し、真の曲げヤング係数とせん断弾性係数を同時に評価する方法）等にて基礎データを取得した。

③ 試験体製作方法

試験体製作は以下の図１に示すように、同一製材より３つの試験方法の試験体を製作し（曲げせん断用１体・実大いす型せん断１体・無欠点小試験体４体以上)、比較できるようにした。

また、逆対称４点曲げについては、せいとスパンの比をどう取るかなどは、めり込みを防止するための加圧板の寸法とのバランスを考慮して検討する必要があり、具体的な方法は明確にはなっていない。本事業では既往の実験結果などを参考に、隣り合う荷重点と支点間の距離をせいの２倍、荷重点と支点の長さを 200mm とした。

④ 逆対称４点曲げ試験のめり込み防止措置の検討について

予備試験を実施したところ、スギだけでなく、ヒノキ、カラマツにおいても荷重点でめり込みが発生し、めり込み防止の措置が必要であることが明らかとなった。めり込み防止は文献調査等を参考にビスによる補強を実施することとした。荷重比が端部の３倍となる中央２カ所の加力面にビス（Schmid 社 RAPID Vollgewinde φ 12.0mm × 220mm）を４本施工した。ビスは全ねじで頭部が大きいタイプ、長さは試験体のせい 240mm の 1/2 以上とすることを条件としている。

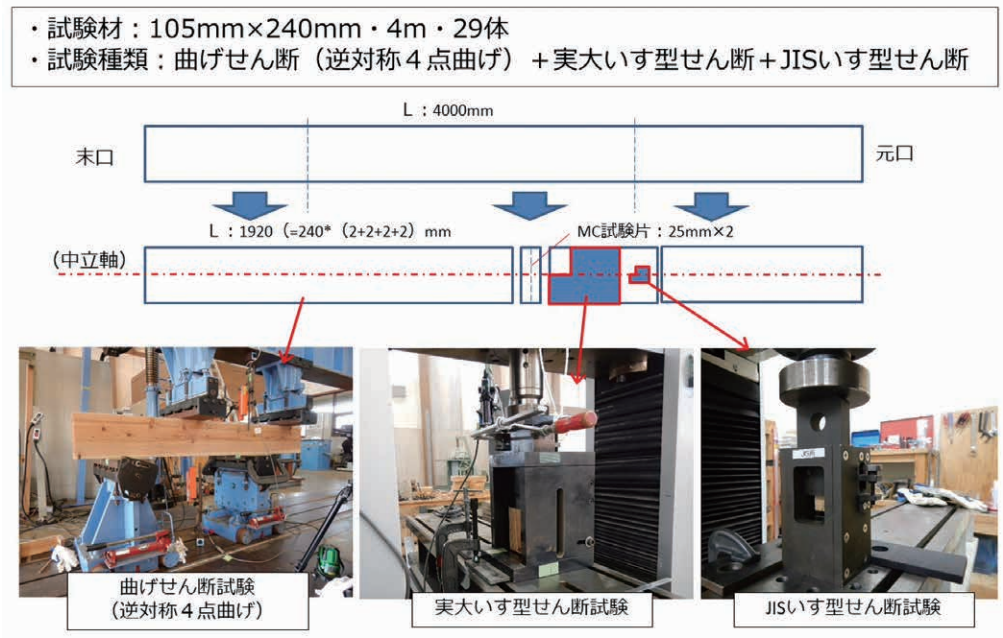


図１　試験材の作成方法

2-2. 実験の実施

実験は、宮崎県（スギを担当)、愛媛県（ヒノキを担当)、長野県（カラマツを担当）の３つの試験場にて、上記の３つの試験方法にて実施した。

実施した結果

（文献調査の結果については、上記に記載済。）

以下、宮崎県で実施したスギのせん断試験を例に１月中旬時点の実験結果の速報値を示す。

供試材は宮崎県産のスギ心持ち平角材で、仕上げ寸法は 105mm × 240mm × 4000mm であり、高温セットと高温乾燥した材である。曲げせん断試験用として長さ 1920mm にカットした試験体の概要について表１に示す。次に、縦振動法による動的ヤング係数と曲げたわみ振動法及びTGH法による曲げヤング係数の関係について図２に示す。両者には比較的高い相関関係がみられた。また、みかけの密度とTGH法によるせん断弾性係数との関係について図３に示す。両者の間には比較的相関関係がみられた。

表１　曲げせん断試験体の概要

	密度 (kg/m^3)	縦振動法のヤング係数 (kN/mm^2)	エッジワイズ方向 曲げたわみ振動法による見かけの曲げヤング係数 (kN/mm^2)	エッジワイズ方向 TGH法による真の曲げヤング係数 (kN/mm^2)	エッジワイズ方向 TGH法によるせん断弾性係数 (kN/mm^2)
個数	29	29	29	29	29
平均値	413	7.70	6.75	8.40	0.85
最大値	533	9.59	8.62	11.0	1.23
最小値	340	5.52	5.36	6.42	0.63
標準偏差	38.4	1.12	0.90	1.22	0.13
変動係数(%)	9.29	14.5	13.4	14.5	15.8

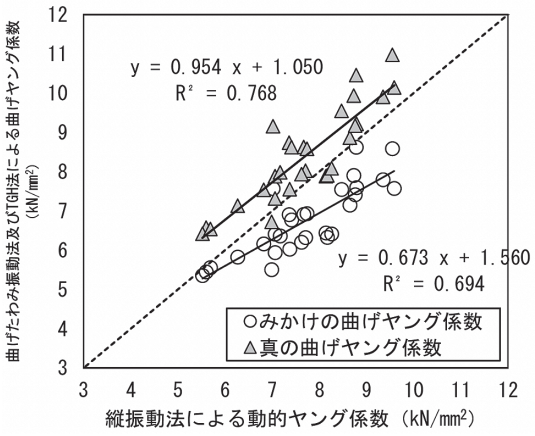


図２　縦振動法による動的ヤング係数と曲げたわみ振動法及びTGH法による曲げヤング係数の関係

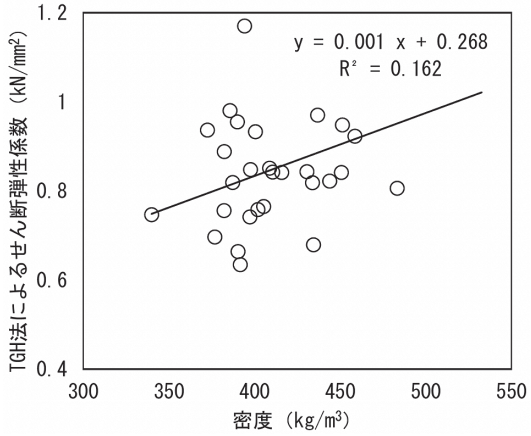


図３　密度とTGH法によるせん断弾性係数の関係

逆対称４点曲げせん断試験結果について表２に示す。せん断強さの平均値は 6.08N/mm^2（変動係数 12.3%）であった。破壊状況はせん断破壊が 29 体中 28 体、曲げ破壊が１体であり、ビス補強によって大きなめり込みが先行するのを抑制しつつ、ほとんどの試験体でせん断破壊を生じた。せん断破壊の一例について図４に示す。

次に、実大いす型せん断試験結果について表３に示す。また、せん断破壊の状況について図５に示す。なお、試験体はせん断面を平角材の中立軸付近で平行になるようにして、せん断面を幅 105mm ×長さ 105mm に加工し、せん断面と支持台のクリアランスを 4mm として試験を実施した。せん断強さの平均値は 5.00N/mm^2（変動係数 17.2%）であり、曲げせん断及び後述する JIS いす型せん断試験よりも低い値を示した。せん断破壊が木口面の割れに沿って発生したものもそうでないものもあり一概には言えないが、人工乾燥による割れの影響があるものと推察される。

表２　逆対称４点曲げ試験結果

	密度 (kg/m^3)	せん断強さ (N/mm^2)	含水率 全面 (%)	含水率 材央[1] (%)	含水率 材端[1] (%)	破壊状況	
個数	29	29	29	29	29	試験体数	29
平均値	413	6.08	16.9	19.8	13.8	めり込み	0
最大値	533	8.61	25.4	32.8	22.8	せん断	28
最小値	340	4.48	7.50	8.00	7.40	せん断＋曲げ複合	0
標準偏差	38.4	0.75	5.85	7.45	4.26	曲げ	1
変動係数(%)	9.29	12.3	34.7	37.6	30.8		

1)含水率の材端は長辺の方向の表層から60mmの平均値、材央はその内側の部分

図４　逆対称４点曲げ試験でのせん断破壊状況とめり込みの状況

次に、JISいす型せん断試験について、試験体は実大いす型せん断試験体と同様にせん断面を平角材の中立軸付近で平行になるようにして、せん断面が幅25mm×長さ25mmの試験片を幅方向に３個ずつ作製した。そのうえで目視できる程度の顕著な割れがみられる試験片は除外して試験を実施し、試験体毎の平均値を算出した。試験結果を表４に示す。せん断強さの平均値は8.02N/mm^2(変動係数11.3%)であった。試験後の状況について図６に示す。

試験方法別の密度とせん断強さの関係について図７に示す。逆対称４点曲げせん断試験及びJISいす型せん断試験については密度との相関関係は比較的高い一方で、実大いす型せん断試験では低かった。目視可能な割れに限らず、目視しにくい小さな割れの影響も顕著に出やすい試験方法であることが一因と考えられる。

表３　実大いす型せん断試験結果

	密度 (kg/m^3)	せん断強さ (N/mm^2)	含水率 (%)
個数	29	29	29
平均値	418	5.00	16.0
最大値	504	6.79	24.4
最小値	339	3.58	8.10
標準偏差	38.7	0.86	4.80
変動係数(%)	9.26	17.2	30.0

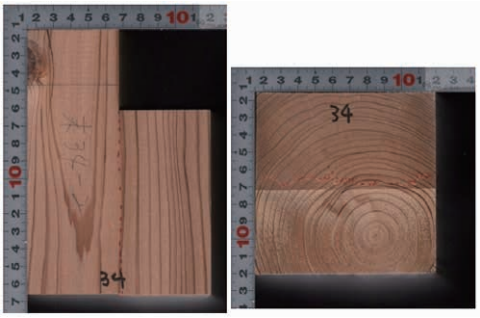


図５　実大いす型せん断試験でのせん断破壊状況

表４　JISいす型せん断試験結果

	密度 (kg/m^3)	せん断強さ (N/mm^2)	含水率 (%)
個数	29	29	29
平均値	415	8.02	11.9
最大値	507	9.89	15.0
最小値	348	6.42	7.75
標準偏差	33.7	0.91	2.14
変動係数(%)	8.1	11.3	18.0

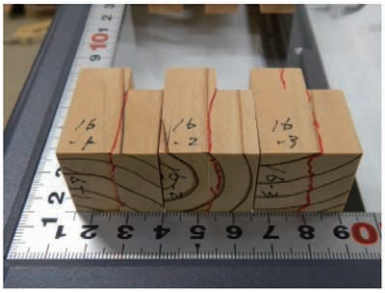


図６　JISいす型せん断試験でのせん断破壊状況

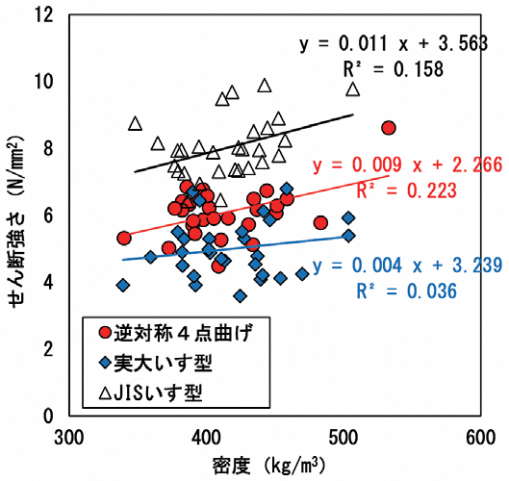


図７　試験方法別の密度とせん断強さの関係

今後の課題・展開等

本事業では、以下のような課題が明らかとなった。

- 建築における使い方で「せん断」の応力状態とされ、せん断の基準強度を使わざるを得ない具体的な事例を見ると、材料のせん断ではなく曲げや割裂の影響が大きいものも多い。使い方別の整理・分類を行い、分類に応じた試験方法や設計方法を示した上で、順次データ取得を進めていくことが必要である。
- 本事業では試験体に高温乾燥を含む人工乾燥材を用いたが、例えばスギで、天然乾燥材もしくは中温乾燥材が主の既往の研究データと比較してすべての試験法でやや低めの値が出ており、特に実大いす型試験で密度とせん断強度の相関関係が低いなどの結果から、乾燥割れの影響があることが示唆された。割れがせん断を受ける面と重なることにより、その影響が出やすくなっている可能性がある。乾燥方法との関係は引き続き情報・データを収集し、実際に建築で使用されている材料の特徴に応じた評価を検討する必要がある。
- 本事業では、曲げ系である逆対称４点曲げ試験でもめり込み防止のビスを施工したことにより、試験歩留まりは比較的高かった。しかし、最適なビスの配置や量、ビスを施工することのデータへの影響に関しては継続して検討する必要がある。
- 評価方法としては、現状では、せん断ではなく曲げで破壊したものについても、せん断の耐力は曲げの耐力よりも大きかったとみなして、すべての試験体で破壊時の荷重からせん断強度を算出している。その結果、曲げ破壊し、本来であればせん断強度がより大きかった試験体について、せん断強度を過小評価している可能性もある。せん断以外で破壊した試験体の評価をどのように行うかについて、継続して検討をする必要がある。
- 文献調査などからも、せん断の試験方法はバリエーションが多く、かつ、それぞれの試験での試験デー

タが圧倒的に不足していることが再確認された。本事業では基本的な試験方法の確認・提案ができたと考えるが、今後、設計に役立てるデータを示していくためには材料単体のデータ収集を継続して分析を深めていくとともに、建築におけるせん断応力が発生する部位を想定した接合部実験等も併用しながら、せん断強度の適用妥当性や、割増・低減の考え方を整理していく必要がある。

事業

木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動

● 実施団体 ●

株式会社 長谷萬

〒135-0047　東京都江東区富岡2-11-6

事業目的

今後の木材利用拡大を図るうえで、非住宅用途の中大規模木造建築や、木造以外の鉄骨造、鉄筋コンクリート造での木材利用の道筋が求められる。

これまでに実施したDLT-コンクリート複合化（DLT-CC）の性能検証を基に、DLT-CCの実用化を視野にさらなる性能検証を進め、DLTの用途拡大による木材の利用拡大を図る。

DLT-CCにより、以下の効果、性能向上が見込める。

① **床剛性の向上：**　コンクリート合成床版として高い床剛性の確保が可能で、床のたわみや振動の軽減が図れる。

② **居住性能の向上：**コンクリートとの複合化により、木床版単独では困難であった低音域の遮音性能が向上する。

③ **耐火性の向上：**　不燃材のコンクリートとの複合化により、床上面側からの火熱に対する耐火性能が向上する。

④ **環境性能の向上：**従来の鉄筋コンクリート床版に対し、床断面の約 2/3 が木材に置き換えられるため、CO_2を大幅に削減できる。

⑤ **広い汎用性：**　DLTに限らず、大径材やCLTとのコンクリート複合化の実用化にも寄与できる。

実施した項目

① シアコネクタのせん断性能の検証

昨年度の実施結果をふまえ、新たなシアコネクタを検討、せん断試験を実施し、せん断性能を確認する。

② DLT-CCの曲げ性能の検証

長尺材利用として、5m材にノッチ＋ラグスクリューを複数設置するタイプ（NLタイプ）と、ノッチは施さずにラグスクリューのみのタイプ（LSタイプ）の2タイプについて、DLT-CCの曲げ試験を実施し、曲げ性能を確認する。

③ DLT-CCの面内せん断性能の検証

水平面内せん断試験を通じ、水平面内せん断性能の評価、検証を行う。

実施体制

検討委員会メンバー：（敬称略）

委員長：	宮田雄二郎　（法政大学　デザイン工学部　建築学科　准教授）
委　員：	網野　禎昭　（法政大学　デザイン工学部　建築学科　教授）
	小井土義治　（小井土製材株式会社　代表取締役社長）
	花井　厚周　（株式会社竹中工務店　木造・木質建築推進本部　本部長）
	飯田　智裕　（株式会社竹中工務店　木造・木質建築推進本部　技術グループ長）
	平松　　靖　（（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長）
	大木　文明　（（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 積層接着研究室　研究員）

小林　慧　（群馬県　環境森林部　林業振興課　県産木材振興係　主任）
長谷川泰治（株式会社長谷萬　代表取締役　執行役員社長）

オブザーバー： 立花　紀之（林野庁　林政部木材産業課木材製品技術室　木材専門官）
森口　幹太（林野庁　林政部木材産業課木材製品技術室木材製品調査班　建築用木材企画係長）
川原　　聡（林野庁　林政部木材利用課　建築物木材利用促進官）
宮武　　敦（（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所　複合材料研究領域　専門研究員）
井道　裕史（（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所　構造利用研究領域　材料接合研究室長）
鈴木　賢人（（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所　構造利用研究領域　木質構造居住環境研究室 主任研究員）
平原　章雄（木構造振興株式会社　常務取締役）

事務局： 鈴木康史、小野泰宏（株式会社長谷萬）

実施主体： 株式会社長谷萬
製材供給： 小井土製材株式会社
DLT製造・加工： 株式会社長谷川萬治商店

実施した内容

① シアコネクタのせん断試験

昨年度の実施結果をふまえ、新たなシアコネクタを検討、せん断試験を実施した。シアコネクタには、1）スタッドボルト溶接金物＋ラグスクリュー4本固定、2）スタッドボルト溶接金物＋ラグスクリュー2本固定、3）鋼板挿入ドリフトピン(L=89mm)＋ラグスクリュー2本固定、4）鋼板挿入ドリフトピン(L=209mm)＋ラグスクリュー2本固定、5）ラグスクリュー45度打ち、6）円形ノッチ(φ60)＋ラグスクリュー、7）円形ノッチ(φ90)＋ラグスクリューの計7仕様で、各仕様によるせん断耐力と剛性を確認した。

試験体の基本形状と仕様、種類を図1、表1に示す。

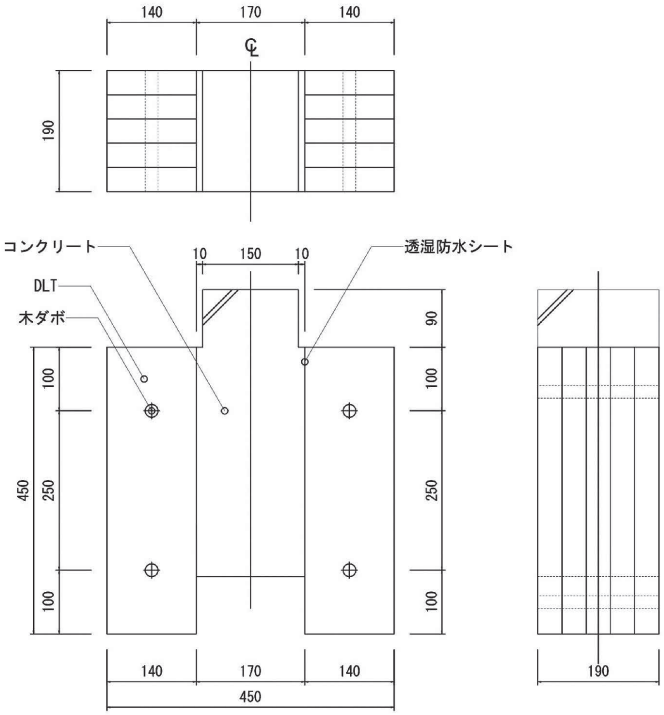


図1　試験体の基本形状

表１　試験体の仕様

試験体名	接合方法	界面処理	側材	主材
CN1	スタッドボルト溶接金物 ＋ラグスクリュー4本固定※	透湿防水シート※※※	DLT ラミナ：38×140 積層数：5層 木ダボ：欧州ブナ(φ20)	普通コンクリート
CN2	スタッドボルト溶接金物 ＋ラグスクリュー2本固定※			
EM90	鋼板挿入ドリフトピン(L=89mm) ＋ラグスクリュー2本固定※※			
EM210	鋼板挿入ドリフトピン(L=209mm) ＋ラグスクリュー2本固定※※			
LS45	ラグスクリュー45度打ち※			
NL1	円形ノッチ(φ60) ＋ラグスクリュー※			
NL2	円形ノッチ(φ90) ＋ラグスクリュー※			

※M12，首下長さ125mm
※M12，首下長さ150mm
※※※スーパーエアテックス KD30

② DLT-CCの曲げ試験

5m材にシアコネクタとして、ノッチ＋ラグスクリューを複数設置するタイプ（NLタイプ）と、ノッチは施さずにラグスクリューのみのタイプ（LSタイプ）の２タイプについて、曲げ試験を実施した。

試験体の代表例と仕様、種類を図２、表２に示す。

表２　試験体の仕様

試験体名	木質材料						RC			接合方法	界面処理
	名称	規格	幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (kg/m^3)	真の曲げヤング係数 kN/mm^2	呼び強度	幅 (mm)	高さ (mm)		
D-LS-S	DLT	ラミナ：38×140 積層数：7層 木ダボ：欧州ブナ(φ20)	266	140	372 (12)	8.72 (0.31)	24	266	70	ラグスクリュー※※※	透湿防水シート※※※※
D-NL-S					366 (4)	9.14 (0.20)				ねじ※ ノッチ※※ ラグスクリュー※※※	

( )は標準偏差を示す。
※　　パネリードX(PX8-140)
※※　　ノッチ深さ30mm
※※※　　M12，首下長さ125mm
※※※※　スーパーエアテックス KD30

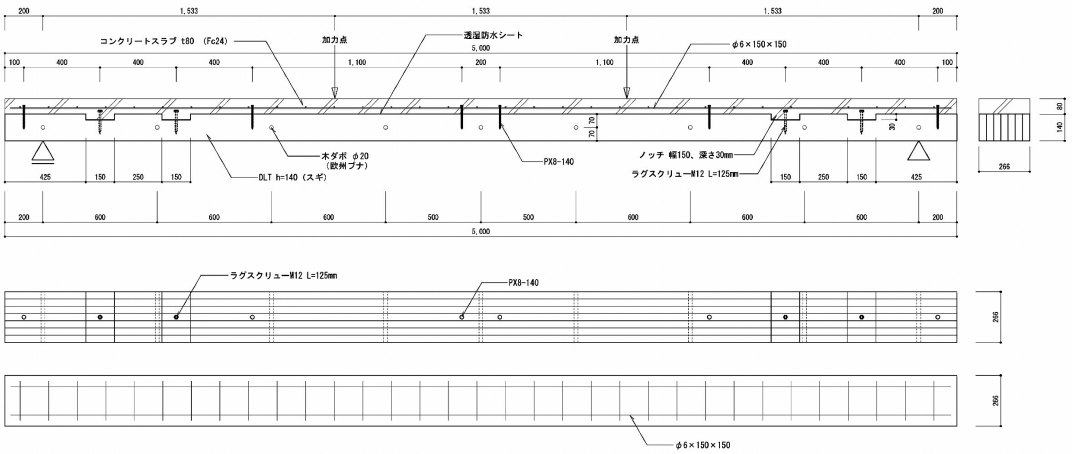


図２　試験体の代表例　(D-NL-S)

③ DLT-CCの面内せん断試験

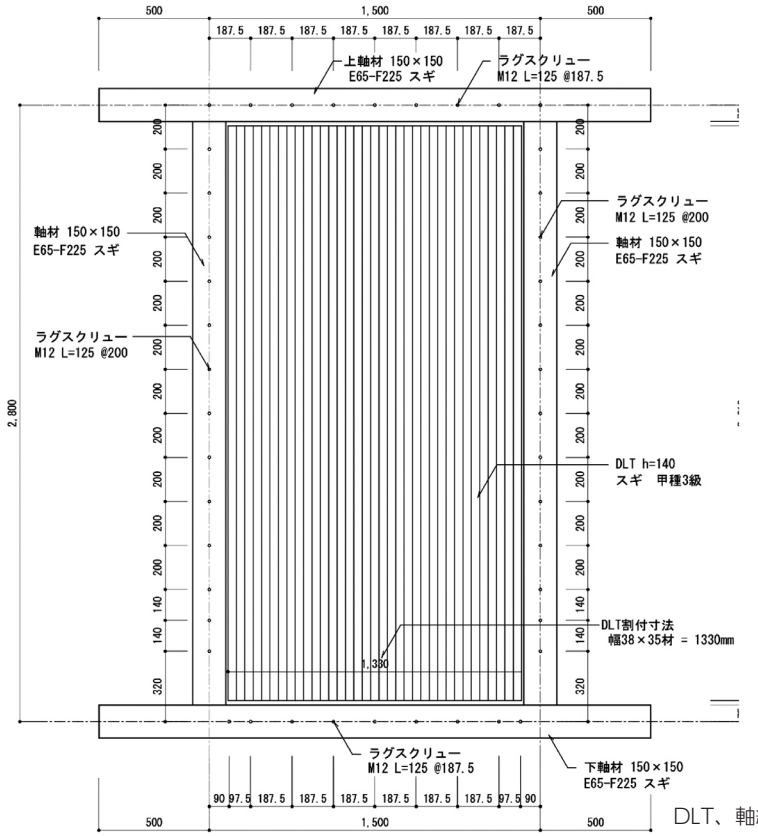
DLT-CCの水平面内せん断試験を実施した。シアコネクタとしてラグスクリューとスクリュービスを用い、ノッチを設置するタイプ（DCN）と、ノッチを設置しないタイプ（DC）の２仕様で実施した。

試験体の仕様を表３、代表例を図３に示す。

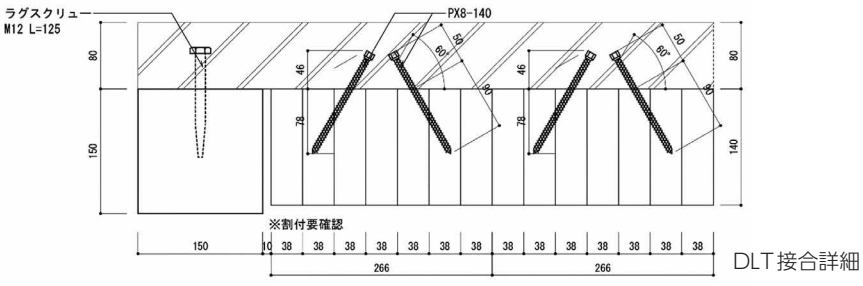
表３　試験体の仕様

試験体名	木質材料				RC			接合方法	界面処理
	名称	規格	幅（mm）	高さ（mm）	呼び強度	幅（mm）	高さ（mm）		
DC	DLT	ラミナ：38×140 積層数：7層×５パネル＝35層 木ダボ：欧州ブナ(φ20)	266×５＝1330	140	24	1650	80	ラグスクリュー※※※ ねじ※	透湿防水シート※※※※
DCN								ノッチ※※ ラグスクリュー※※※ ねじ※	

※　パネリードX(PX8-140)
※※　ノッチ巾150mm、深さ30mm
※※※　M12，首下長さ125mm
※※※※　スーパーエアテックス KD30



DLT、軸組配置



DLT接合詳細

図３　試験体の代表例

実施した結果

① シアコネクタのせん断試験

せん断試験の結果を表４に示す。

表４　力学的特性値一覧

試験体名	K (0_Py)	K (0.1_0.4)	Pp	δp	Py	δy	δu	Pu	δv	μ	Ds	Pmax	δmax
	(kN/mm)	(kN/mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)			(kN)	(mm)
CN1	16.44	19.13	32.69	1.41	41.92	2.57	30.00	66.53	4.09	7.41	0.27	74.26	26.56
CN2	9.30	10.69	18.40	1.51	22.75	2.47	30.00	35.91	3.92	7.73	0.27	41.30	25.85
EM90	28.20	29.58	80.85	2.80	86.14	3.07	30.00	124.30	4.42	6.80	0.28	133.14	17.99
EM210	27.56	27.90	73.24	2.55	77.36	2.81	30.00	137.22	5.00	6.03	0.30	147.78	25.50
LS45	71.14	78.95	36.60	0.53	33.67	0.47	7.73	52.62	0.74	10.51	0.23	59.62	1.71
NL1	15.95	15.39	17.88	1.24	16.22	1.03	24.88	22.78	1.45	17.53	0.17	24.59	7.84
NL2	22.37	25.49	25.60	1.18	24.87	1.17	27.28	34.17	1.57	17.58	0.17	37.14	6.80

試験体の破壊状況例（EMタイプ）を写真１に示す。

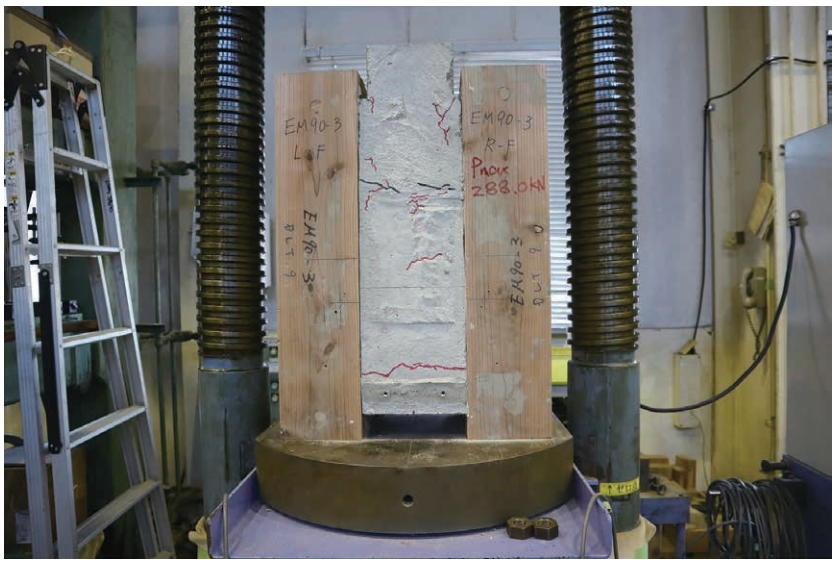


写真１　最終破壊形状（D-EM90-S-3）

試験体のP-δ曲線を図４に示す。

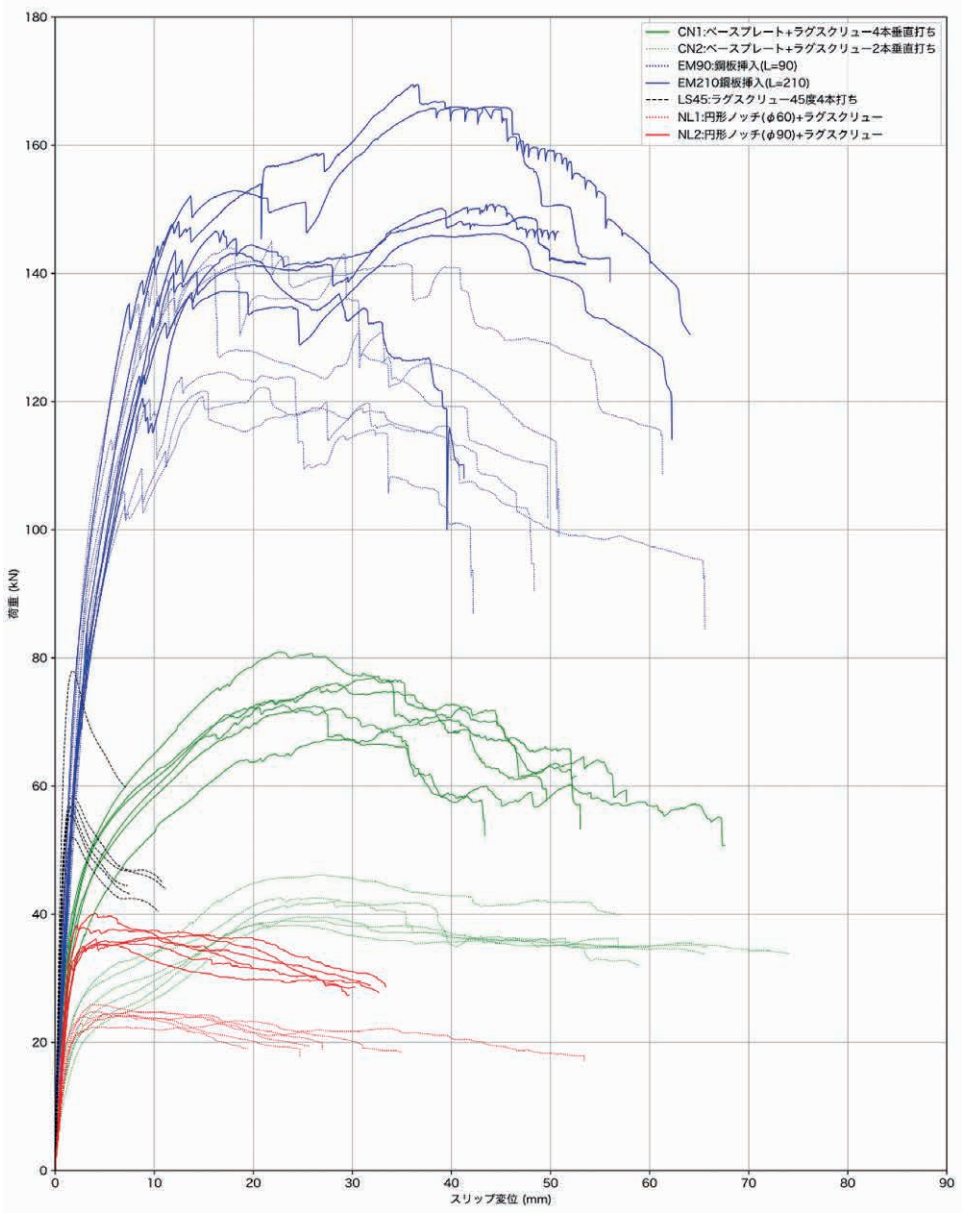


図４　シアコネクタのP-δ曲線

② DLT-CCの曲げ試験

曲げ試験の結果を表５に示す。

表５　力学的特性値一覧

	Py (kN)	Dy (mm)	Pu (kN)	Dv (mm)	Du (mm)	Pmax (kN)	Dmax (mm)	初期剛性 (kN/mm)	μ	Ds
D-LS-S-1	27.2	27.7	42.7	48.3	142.2	47.8	103.4	0.88	2.94	0.45
D-LS-S-2	28.7	28.9	46.1	52.1	164.2	53.5	127.3	0.88	3.15	0.43
D-LS-S-3	33.1	31.5	49.5	51.7	136.5	56.1	108.0	0.96	2.64	0.48
D-NL-S-1	40.6	48.9	57.9	48.5	195.7	60.9	56.7	1.19	4.04	0.38
D-NL-S-2	41.1	33.6	61.2	50.2	178.4	65.0	56.5	1.22	3.55	0.40
D-NL-S-3	48.7	38.9	57.7	46.1	164.3	62.7	61.7	1.25	3.57	0.40

試験状況を写真２に示す。

写真２　試験状況

試験体のP-δ曲線の代表例として、D-LS-S-1（ノッチ無し）、D-NS-S-1（ノッチ有り）を図５、図６に示す。

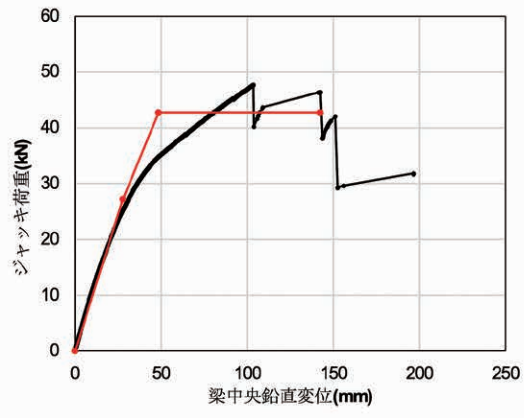


図５　試験体D-LS-S-1　P-δ曲線

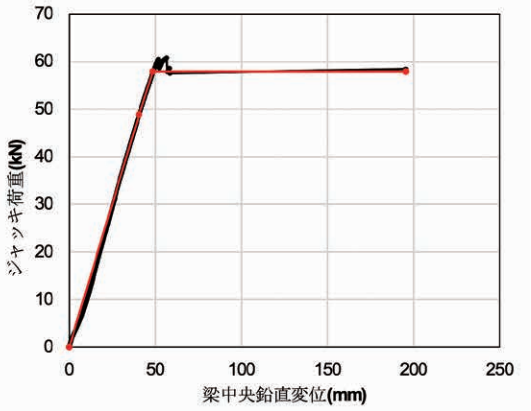


図６　試験体D-NS-S-1　P-δ曲線

③ DLT-CCの面内せん断試験

せん断試験の結果を表６、表７に示す。

表６　力学的特性値一覧

	Pmax (kN)	Pu (kN)	K (10^3kN/rad)	μ	γv (10^{-3} rad)	γu (10^{-3} rad)	Ds
DC_みかけ	125.0	103.2	8.50	4.38	12.15	53.2	0.36
DC_真	125.0	105.3	18.90	3.94	5.58	21.9	0.38
DCN_みかけ	113.5	105.7	9.86	6.01	10.72	64.4	0.30
DCN_真	113.5	105.7	18.83	9.81	5.61	55.1	0.23

表７　短期基準耐力

	特性値(kN)				
	Py	0,2/Ds*Pu	(2/3)P_{max}	P_{150}	壁倍率
DC_みかけ	75.5	57.5	83.3	65.8	19.6
DC_真	69.6	55.2	83.3	85.6	18.8
DCN_みかけ	71.8	70.2	75.7	68.9	23.4
DCN_真	70.6	91.2	75.7	84.0	24.0

試験状況を写真３に示す。

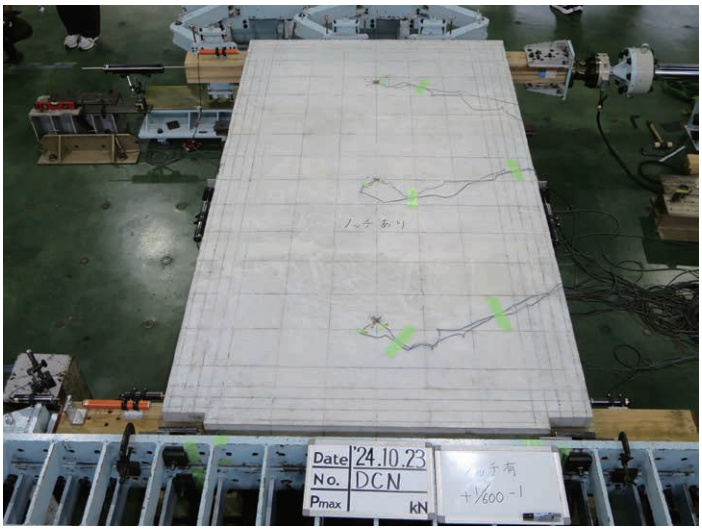


写真３　試験状況

試験体の変形角－荷重曲線を図７～10に示す。

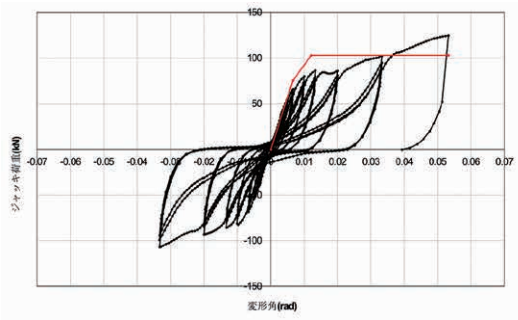


図７　試験体DC（ノッチ無し）
みかけの変形角－荷重曲線

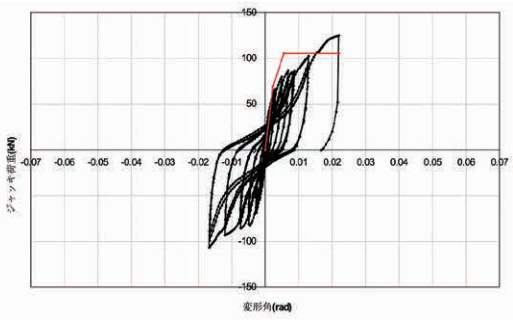


図８　試験体DC（ノッチ無し）
真の変形角－荷重曲線

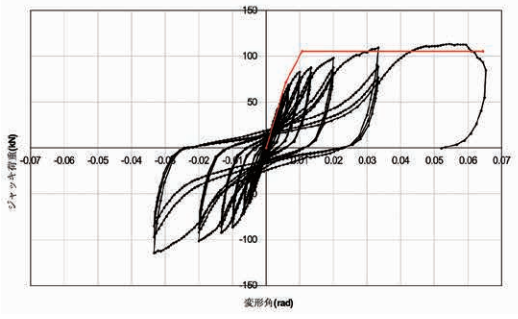


図９　試験体DCN（ノッチ有り）
みかけの変形角－荷重曲線

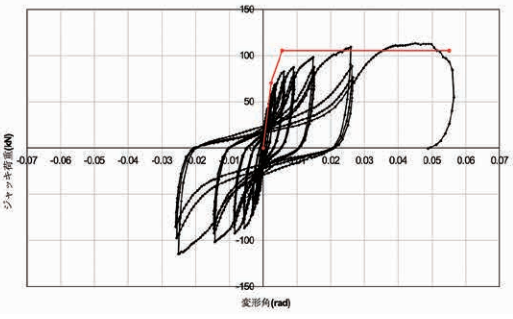


図10　試験体DCN（ノッチ有り）
真の変形角－荷重曲線

今後の課題・展開等

① DLT-CCの利用拡大に向けた課題

1）シアコネクタの最適化

今後、DLT-CCの利用拡大に向けて、剛性に影響するシアコネクタの設計を簡便にする、仕様やディティールの整備が課題である。また、シアコネクタのさらなる最適化が必要である。

2）長尺材活用にむけた構造性能の確認

本事業では5m材のDLTを使用し、またノッチ型シアコネクタを複数設置した仕様で構造性能を確認した。長尺材活用に向け、ノッチ型シアコネクタのさらなる最適化やクリープ試験等の実施による確認が必要である。

3）DLT-CC床版や壁版の最適化

床版や壁版に用いるDLT-CCの普及に向けて、木造や非木造建築のそれぞれに対応した、DLT-CC構面のさらなる最適化が必要である。

4）DLT-CCの設計方法の確立

DLT-CCの普及のため設計方法の一般化、ならびに、DLTやDLT-CCの設計ディティールの整備が必要である。

② DLT-CC　今後の展開

- DLTとコンクリートの複合化により、高い曲げ性能、剛性が確認された。木材活用と炭素蓄積の観点から、S造やRC造のコンクリートスラブ床構造にDLT-CCを活用することが期待される。
- シアコネクタのせん断性能は、DLTだけでなく製材や丸太、太鼓材でも活用が可能である。今回のシアコネクタを用いた、木-コンクリートの複合床版は、木材利用拡大に寄与すると考えられる。
- コンクリートとの複合化により、床構造で必要な遮音性能、耐火性能の向上が期待できる。
- DLTは大規模な生産設備が不要のため、地域の中小木材事業者が取り組みやすい。またコンクリートは全国で調達できるため、DLT-CCは地域材を活用した複合材として、全国での活用が期待できる。

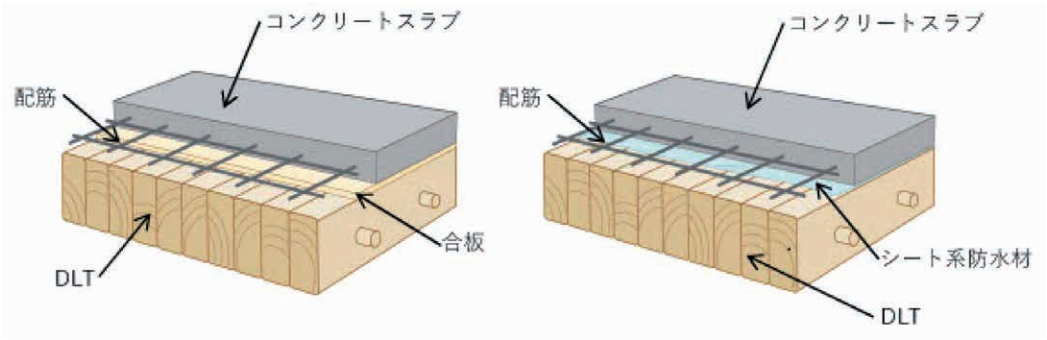


図11　木－コンクリート複合部材のイメージ図

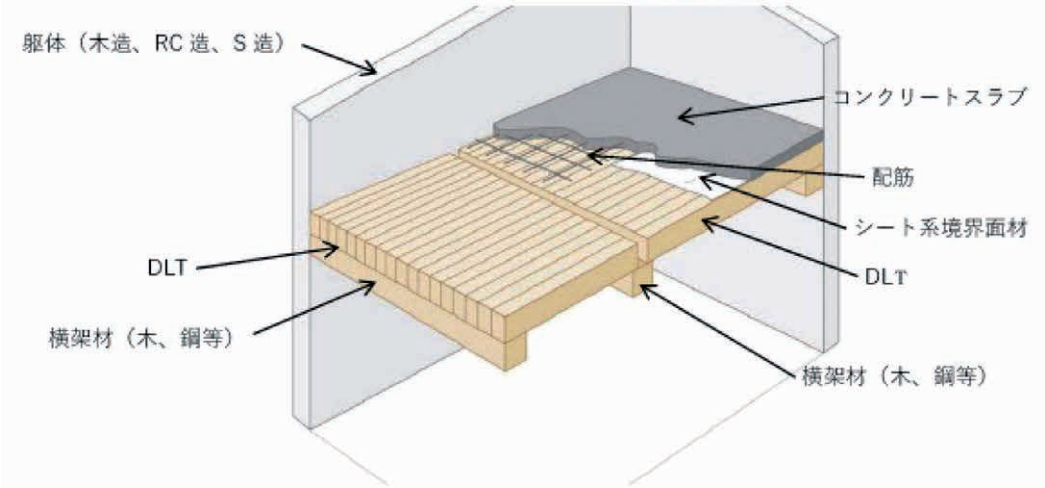


図 12　木－コンクリート複合床版活用のイメージ図

事業

木材の保存処理性能の試験方法のJAS化のための妥当性検証事業

● 実施団体 ●

公益社団法人 日本木材保存協会

〒105-0001　東京都港区虎ノ門４丁目２番５号　第３松坂ビル８階

事業目的

製材，集成材，合板およびLVLのJASでは，保存処理製品の品質基準として，性能区分に応じた浸潤度と吸収量が規定されている。このうち吸収量の試験（測定）方法は，木材保存剤の有効成分が多岐にわたるため，試料調製や機器分析を含め，多様化している。そのため，JASにおける保存処理性能の試験方法の記載が，かなりのボリュームを占めるため規格書としてアンバランスで使い難いものとなっている。また，従来の方法よりも精度や効率性に優れる測定方法が開発されているが，現行では各種材料のJASに吸収量の試験方法が記載されており，その反映に時間を要することになり，格付け検査の効率化の妨げとなっている。

本事業では，これらの課題を解決する方法として，吸収量の測定方法を“試験方法のJAS”として新たに制定することを最終目的とし，試験方法のJASに求められる，国際的なプロトコルに従った室間共同試験による妥当性の検証を行う。

実施した項目

食品分野でJAS化されている試験方法では，その妥当性を検証するためIUPAC（国際純正・応用化学連合）のガイドラインに準拠した室間共同試験が行われている。木材保存分野の室間共同試験の事例について国内外の調査を行ったところ，AWPA（米国木材保存協会）ではASTM E691（参考資料［1］）による検証が行われていることを確認した。そこで，本事業でもASTM E691準拠した室間共同試験を実施した。現在，JASの対象となっている木材保存剤の有効成分を４つのグループに分け（表１），概ね１年度につき１グループの有効成分を目標に室間共同試験を用いて妥当性を検証することとした。本年度はグループ２に属する有効成分についての検証を以下に示す項目の通り実施した。また，実施内容の事前確認，進捗状況の確認，成果のとりまとめを目的とした委員会を開催した。

表１　対象とする有効成分のグループ分け

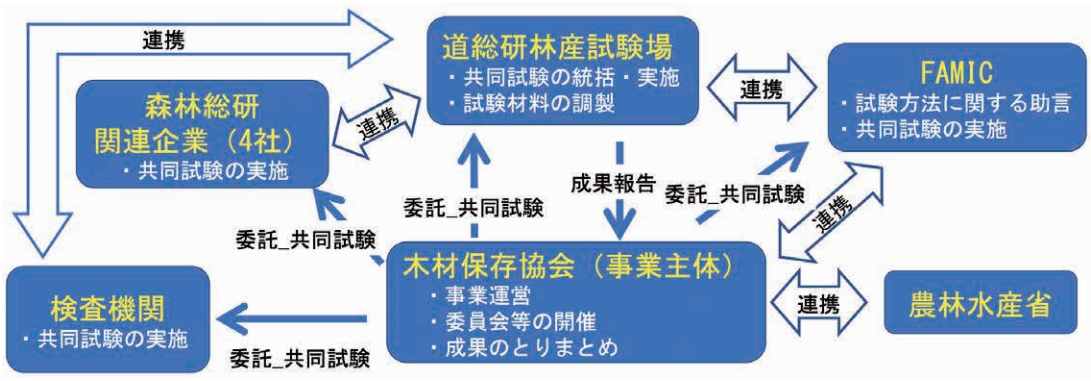
グループ	有効成分の種類	有効成分
1	第四級アンモニウム化合物	ジデシルジメチルアンモニウムクロリド（DDAC）
		N-アルキルベンジルジメチルアンモニウムクロリド（BKC）
		N,N-ジデシル-N-メチル-ポリオキシエチル-アンモニウムプロピオネート（DMPAP）
2	トリアゾール/ネオニコチノイド化合物	シプロコナゾール（CYP）
		テブコナゾール（TEB）
		イミダクロプリド（IMD）
3	ピレスロイド化合物	シラフルオフェン
		ペルメトリン
4	銅/亜鉛/ほう素化合物	銅
		亜鉛
		ほう素

1．委員会の開催
2．試験（吸収量の測定）方法に関する手順書の作製
3．配布用試料の作製
4．室間共同試験の実施
5．データの解析による精度指標の整理と妥当性の評価

実施体制

本事業は公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置く，下記の構成員による委員会を組織し，下図に示した協力体制により実施した。

	氏　名	所　属　等
委員長	鮫島　正浩	東京大学名誉教授、(公社)日本木材保存協会参事
委員(主査)	宮内　輝久	(地独)北海道立総合研究機構　林産試験場
委員	藤井　義久	京都大学名誉教授、(公社)日本木材保存協会会長
委員	祇園紘一郎	(一社)全国木材検査・研究協会
委員	南田　英樹	(一社)北海道林産物検査会
委員	小関　真琴	木質建材計画サービス（元(公財)日本合板検査会)
委員	関澤外喜夫	日本木材防腐工業組合
委員	佐野　敦子	(公財)日本住宅・木材技術センター
委員	伊藤　義直	(独)農林水産消費安全技術センター 試験規格調査課
委員	神原　広平	(国研)森林整備・研究機構　森林総合研究所
委員	山本　幸一	(国研)森林整備・研究機構　森林総合研究所
委員	五十嵐　盟	兼松サステック株式会社
委員	池田　　学	株式会社ザイエンス
委員	久保　友治	株式会社コシイプレザービング
委員	西澤　翔太	大日本木材防腐株式会社
委員	森田　珠生	越井木材工業株式会社
オブザーバー	佐藤　秀憲	農林水産省新事業・食品産業部食品製造課
オブザーバー	今村　正輝	(独)農林水産消費安全技術センター 規格調査部規格調査課
オブザーバー	松永　浩史	(国研)森林整備・研究機構　森林総合研究所
オブザーバー	青木　謙治	東京大学大学院 農学生命科学研究科　教授
オブザーバー	高木　　望	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室
オブザーバー	立花　紀之	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室
事務局	片桐　芳男	(公社)日本木材保存協会
	小林　理恵	



実施した内容

室間共同試験の主目的は対象とする測定方法について，ある分析者が，ある試験室で測定を行った場合に得られる測定値にどれだけのばらつきが生じるかを評価すること，すなわち測定方法の精度を評価することである。室間共同試験により得られる測定値は図１のような変量モデル式に基づいて解析される。ここで、μ（真値）は室間共同試験で得られた測定値の総平均により推定する。試験室内の標準偏差 σ_r，試験室間の標準偏差 σ_L は，それぞれ後述の方法により算出する“併行標準偏差（S_r）”，試験室間のばらつきの指標が後述の“室間の標準偏差（S_L）”で推定される。これらの値から“室間再現標準偏差（S_R）”の推定値が算出される。なお、S_R は，数ある１試験室で１回の測定を行った時の測定値のばらつき推定値にあたる。

室間共同試験では複数試験室が複数の試料について，対象とする測定方法の手順書に従った測定を行い，得られた結果から，この測定方法の精度指標として S_r，S_L，S_R を算出し，これらを基に試験方法の妥当性が評価される（図２は室間共同試験のイメージ）。

本事業では，主に ASTM E691 に準拠した室間共同試験を実施することで，吸収量の測定方法の精度指標を取得し，その結果を基に測定方法の妥当性を検証するため，下記の内容を実施した。

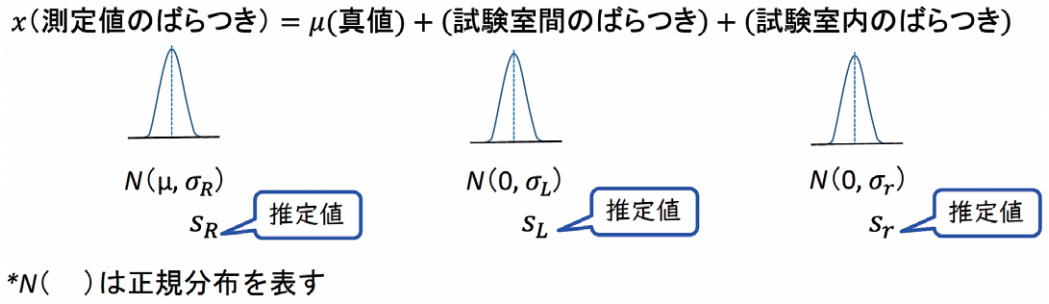


図１　室間共同試験で得られる結果の変量モデル（参考資料 [5] を基に作図）

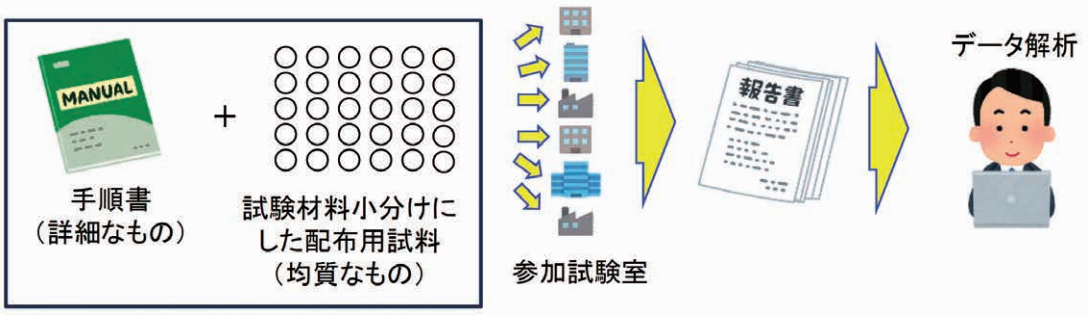


図２　室間共同試験のイメージ

１．委員会の開催

１）2024年５月10日 14:00～16：00 対面およびオンラインにて開催
事業目的の確認，実施内容および実施時期の概要を決定した。
＊事業の進捗状況の確認のため，e-mailによる情報の共有・意見交換を適宜実施した。

２）2024年１月31日 14:00～16:00 オンラインにて開催
事業成果の概要の確認と事業のとりまとめ

2．試験（吸収量の測定）方法に関する手順書の作成

参考資料［2］と［3］を基に，シプロコナゾール（CYP）、テブコナゾール（TEB）の吸収量の測定方法の手順書を作成し，室間共同試験に参加する試験室に配布した。また，必要に応じて手順書の補足資料を作成し配布した。なお，CYP と TEB の測定方法は同じであり，その手順の概要は下記のとおりである。

① 配布用試料 1g に対し，20mL のメタノールを加え，超音波抽出（のべ 2 時間照射）を行う。
② 超音波抽出後，シリンジフィルターを用いてろ過し，抽出溶液を得る。
③ 同じ配布用試料から 1g を 2 回取り，平均含水率を求める。
④ 抽出溶液の一部を取り，陽イオン交換樹脂が充填されたカートリッジを用いた固相抽出による試料精製を行ったのち，高速液体クロマトグラフ（HPLC）を用いて CYP または TEB を定量する。
⑤ HPLC による定量結果，および，配布用試料の平均含水率を用い，全乾配布用試料 1g に含まれる CYP および TEB の量（μg）を求め，吸収量の測定結果とする。なお、JAS における吸収量は単位体積当たりに含まれる有効成分量として表されるが，室間共同試験で用いた配布用試料が粉体であることから，測定結果は単位重さ当たりの有効成分量として求めることとした。

3．配布用試料の作製

現行の JAS で規定されている木材保存剤のうち CYP を有効成分とするものは，銅・アゾール化合物系（CUAZ），アゾール・ネオニコチノイド化合物系（AZN）がある。配布用試料の作製に用いる試験材料はこれらの薬剤で処理した。一方，TEB を有効成分とするものは，アゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系（AZNA）のみであるため，これを用いて試験材料の加圧注入処理を行った。

配布用試料には均質性が求められることから，加圧注入処理により浸潤むらが生じにくくなるよう，試験材料にはある程度の大きさにカットしたものを用いた。現行の JAS における CUAZ および AZN の吸収量は性能区分 K2～K4 で規定されている。性能区分毎の CUAZ および AZN の吸収量とそれぞれの木材保存剤に含まれる CYP の量から計算したところ，同じ性能区分における CYP の吸収量は CUAZ の方が少ない。そこで，CYP の吸収量が低い方の配布用試料に用いる試験材料には CUAZ を用いた 3 段階の濃度レベルの処理を，吸収量が高い方の配布用試料に用いる試験材料には AZN を用いた 3 段階の濃度レベルを目標として処理を行った。TEB を有効成分として含む AZNA については，K2～K4 の吸収量の範囲を包含するよう 4 段階の濃度レベルを目標として加圧注入処理を行った。また，加圧注入処理に用いる試験体にはいくつかの樹種・木質材料を混在させた。各濃度レベルの試験材料についてマテリアル名を付した（表 2）。

表 2　試験材料の情報

有効成分	マテリアル名	基材	目標レベル	処理時のおおよその形状
CYP	マテリアル C1	カラマツ合板	＜K2（CUAZ）	断面 12×78，長さ 250 mm
	マテリアル C2	ベイツガ	K2～K3（CUAZ）	断面 24×76，長さ 300 mm
	マテリアル C3	ヒノキ	K3～K4（CUAZ）	断面 25×80，長さ 300 mm
	マテリアル C4	カラマツ合板	K2＜（AZN）	断面 12×130，長さ 300 mm
	マテリアル C5	スギ	K3～K4（AZN）	断面 24×106，長さ 330 mm
	マテリアル C6	ヒノキ	K4＜（AZN）	断面 24×106，長さ 290 mm
TEB	マテリアル T1	ヒノキ	＜K2	断面 23×77，長さ 300 mm
	マテリアル T2	ベイツガ	K2～K3	断面 24×76，長さ 300 mm
	マテリアル T3	スギ	K3～K4	断面 23×78，長さ 300 mm
	マテリアル T4	ヒノキ	K4～K5	断面 23×77，長さ 300 mm

処理後十分に乾燥させた試験材料を裁断し，カッター式ミルを用いて目開き2㎜のふるいを通過するように粉砕した（写真1）。得られた粉砕物を帯電防止のジップ式袋に小分けしたものをマテリアル毎100個用意し，配布用試料とした（写真2）。100個の配布用試料のうちから10個を無作為に抽出し，配布用試料の均質性の評価に用いた。

配布用試料の均質性の評価は食品分野の試験方法のJAS等で用いられている“IUPACの技能試験のハーモナイズドプロトコル”に準拠して実施した（参考資料［3］、［4］）。各薬剤・濃度レベルにつき抜き出した10個の配布用試料について，1個当たり併行2回の吸収量の測定を実施し，一元配置分散分析（危険率5%）によってその均質性を確認した。

写真1　加圧注入処理された試験材料の例

写真2　カッター式ミルを用いた粉砕の様子（左）と小分けにされた配布用試料（右）

4．室間共同試験の実施

参加試験室には，各マテリアル3個ずつ濃度非明示で，ランダムな番号を付した配布用試料を送付した。各試験室では，配布した手順書に基づき，18個（6種のマテリアル × 各3個）の配布用試料についてシプロコナゾールの吸収量を，12個（4種のマテリアル × 各3個）の配布用試料についてテブコナゾールの吸収量を測定した。

5．データの解析による精度指標の整理と妥当性の評価

ここで，あるマテリアルの配布用試料についての測定結果をx_{ij}（試験室iにおけるj番目の結果）とし，下記の①～⑪を求めた。また，各試験室の結果についてマンデルの検定統計量k（下記⑥）とh（下記⑦）を求めた。マンデルのkとhの危険率0.5%の棄却限界値を用いて外れ値の有無について検討した。なお，下記の式でnは併行回数（本事業の場合は3）を，pは計算に用いた試験室数（参加試験室数または採択された試験室数）を示す。

① 試験室 i の測定結果の平均$(\bar{x}_{i.}) = \sum_j x_{ij} / n$

② 試験室 i の標準偏差$(S_i) = \sqrt{\sum_j (x_{ij} - \bar{x}_{i.})^2 / (n-1)}$,

③ 試験室の平均の平均（総平均）$(\bar{\bar{x}}) = \sum_i \bar{x}_{i.} / p$,

④ 総平均の標準偏差$(S_{\bar{x}_{i.}}) = \sqrt{\sum_i (x_{i.} - \bar{\bar{x}})^2 / (p-1)}$,

⑤ 併行標準偏差$(S_r) = \sqrt{\sum_i S_i^2 / p}$

⑥ 試験室 i のマンデルのk　$k_i = S_i / S_r$

⑦ 試験室 i のマンデルのh　$h_i = (\bar{x}_{i.} - \bar{\bar{x}}) / S_r$

⑧ 室間の標準偏差$(S_L) = S_{\bar{x}_{i.}}^2 - S_r^2 / n$

⑨ 室間再現標準偏差$(S_R) = \sqrt{S_r^2 + S_L^2}$
$(S_{\bar{x}_{i.}}^2 - S_r^2 / n$が負の場合は 0 とする）

⑩ 併行許容差$= 2.8 \times S_r$

⑪ 室間再現許容差$= 2.8 \times S_R$

ここで，上記のうちいくつかの数値について説明を加える。

⑦ **併行標準偏差 (S_r)：併行条件＊で得られた分析値又は測定結果の標準偏差のこと。**

＊　併行条件とは同一と見なされる試料の分析において，短時間に，同じ分析者が，同じ試験室で同じ機器を用いて，同一の試験・測定項目について同じ分析法を用いて，独立した分析値・測定結果を得る観測条件。

⑨ **室間再現標準偏差 (S_R)：再現条件＊＊で得られた分析値・測定結果の標準偏差のこと。**

＊＊再現条件とは同一と見なされる試料の分析において，異なる分析者が，異なる試験室で異なる機器を用いて，同一の試験・測定項目について同じ分析法を用いて，独立した分析値・測定結果を得る観測条件。

⑩ **併行許容差：併行条件で得られた２つの測定結果の差が，この値を超えると，危険率 5% で有意差ありと判定される。**

⑪ **室間再現許容差：再現条件で得られた２つの測定結果の差が，この値を超えると，危険率 5%（両側）で有意差ありと判定される。**

[参考資料]

[1] ASTM E691-23: Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method (2023)
[2] 宮内輝久ら，固相抽出-HPLC-UV 法によるタナリス CY 処理木材中のシプロコナゾールの定量分析，木材保存，33(5)，218 − 225（2007）
[3] (公社) 日本木材保存協会，「ＪＡＳ法改正に即した木材保存剤分析方法の規格化」ＪＡＳ規格化等のテーマに関する調査事業報告書，平成 30 年２月（2018）.
[4] Thompson, M., et al., The International Harmonized Protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories, Pure Appl. Chem., 78 (1),145-196 (2006)
[5] 安井明美 編集委員長ほか．食品分析法の妥当性確認ハンドブック：最新版，サイエンスフォーラム (2010)

実施した結果

1. 配布用試料の作製

配布用試料の均質性の確認のために行った測定のうちCYPの結果を図３に、TEBの結果を図４に示す。CYPの測定用であるマテリアルC1の配布用試料の測定値のひとつ（図３のマテリアルC1の“9”）が外れ値として検出されたため，均質性の評価から除外した。得られた測定値を一元配置分散分析（危険率5%）により評価したところ，すべてのマテリアルの配布用試料が均質であると判断された。

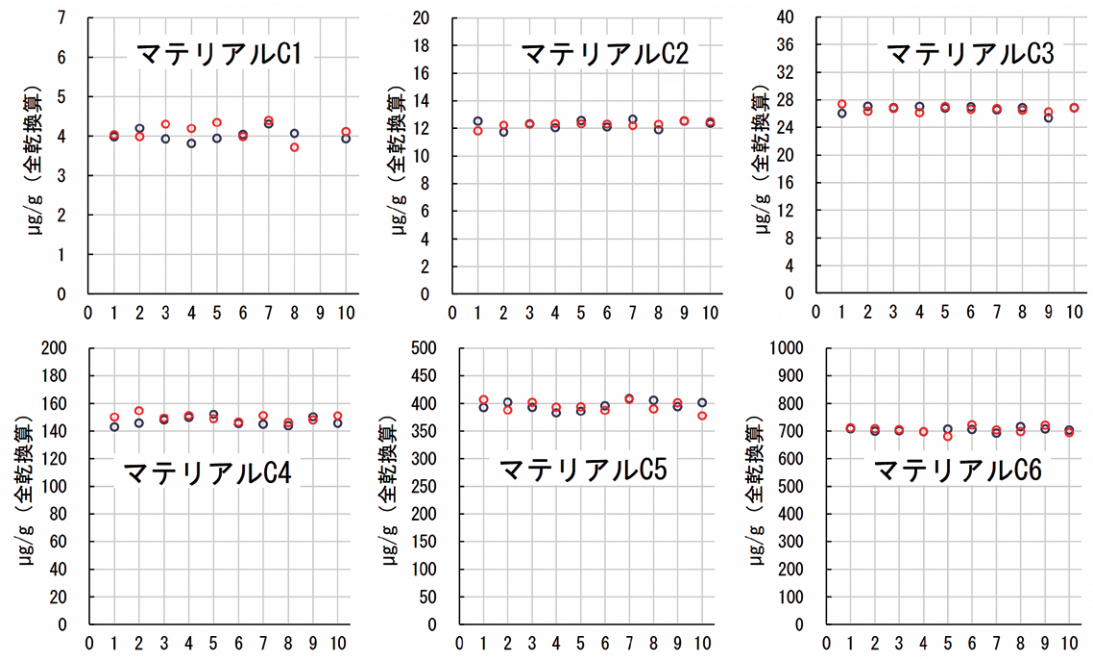


図３　均質性の確認のためのシプロコナゾール（CYP）の測定結果

＊横軸の数字は便宜的につけた配布用試料番号，それぞれ併行２回の測定結果を表示

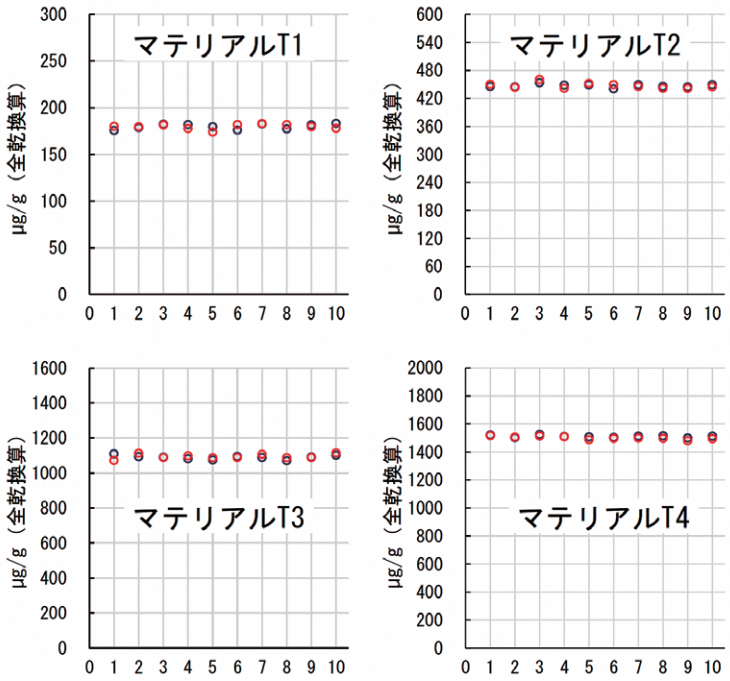


図４　均質性の確認のためのテブコナゾール（TEB）の測定結果

＊横軸の数字は便宜的につけた配布用試料番号，それぞれ併行２回の測定結果を表示

2．室間共同試験の結果と妥当性の評価

[シプロコナゾール（CYP）の結果]

各試験室から報告されたCYPの測定結果を図５に示す。事情により、現時点で試験室８の測定結果が未収のため０にプロットされている（以降，試験室８を除いた８試験室の測定結果を基に解析を行った）。試験室２によるマテリアルC1とC2の測定結果が他の試験室よりも高い傾向が（図５、青線囲み）、試験室１によるマテリアルC1と試験室２による併行間のばらつき他の場合と比較して大きい傾向が（図５、赤線囲み）見られた。

次に，各試験室の測定結果について外れ値の確認を行った。ASTM E691 ではASTMではマンデルのｋとｈが測定結果の外れ値の目安として用いられている。前者は，測定結果に対する試験室内のばらつき，すなわち併行３回の測定結果のばらつきに関する値であり，室内一致性と呼ばれる。後者は，測定結果（併行３回の平均値）が総平均（全試験室の測定結果）の平均値と比較してどの程度ずれているかを示す値で，室間一致異性と呼ばれる。ASTMではｋとｈについて危険率0.5％の棄却限界値が示されており，本検討でもこの棄却限界値を適用した。

図６にCYPの測定結果から算出したマンデルのｋとｈを示す。図５において、他よりもばらつきが大きい傾向を示した試験室１のマテリアルC4と試験室２のマテリアルC5の測定結果のマンデルのｋが棄却限界値を超えていた。また，図５において、他の試験室の測定結果よりも高い値を示す傾向にあった試験室２の測定結果のうち，C1の測定結果のマンデルのｈが棄却限界値を超えていた。これらの試験室を除外し，精度指標を求めることも可能であるが、本検討ではこれらを除外する場合としない場合の両方で精度指標を算出した。精度指標を含めた測定結果を表３に示す。

ASTMでは，得られた精度指標について，妥当性を評価するための基準が示されていない。一方，食品分野の試験方法のJASに採用されいる試験方法の妥当性の評価では，HorRatが用いられている。HorRatは，AOAC（Association of Official Analytical Chemists）で実施された多くの室間共同試験の結果から得られた式で計算される室間再現相対標準偏差の予測値（Horvitz predicted RSD_R）と室間共同試験で得られた室間再現相対標準偏差の比である（参考資料［5］）。AOACのガイドラインでは，HorRatが0.5より大きく2.0以下（0.5＜HorRat≦2.0）であるとき，その測定方法が妥当であるとしている。本事業においてもHorRatを測定方法の妥当性を評価するための参考とすること，各マテリアルについて算出したHorRatの値（HorRat value）を表３に示した。外れ値を除外しない場合のマテリアルC1を除き，HorRat valueは0.5より大きく2.0以下であった。マテリアルC1で外れ値が検出された要因について精査する必要があるが，得られたHorRat valueから，検証したCYPの測定方法が妥当であると判断された。

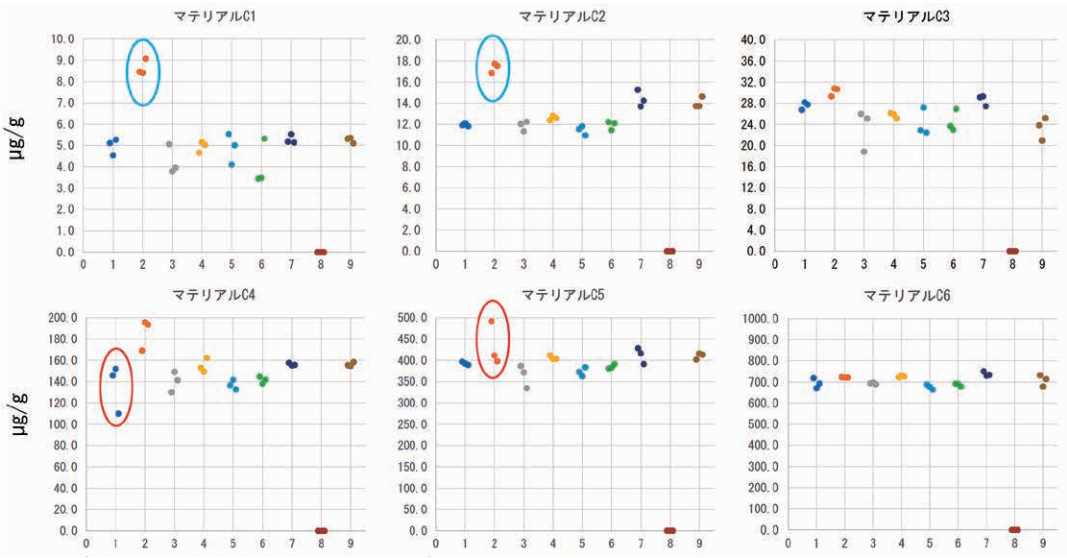


図５　参加試験室によるシプロコナゾール（CYP）の測定結果

＊横軸の数字は便宜的につけた試験室の番号、それぞれ併行３回の分析結果を表示

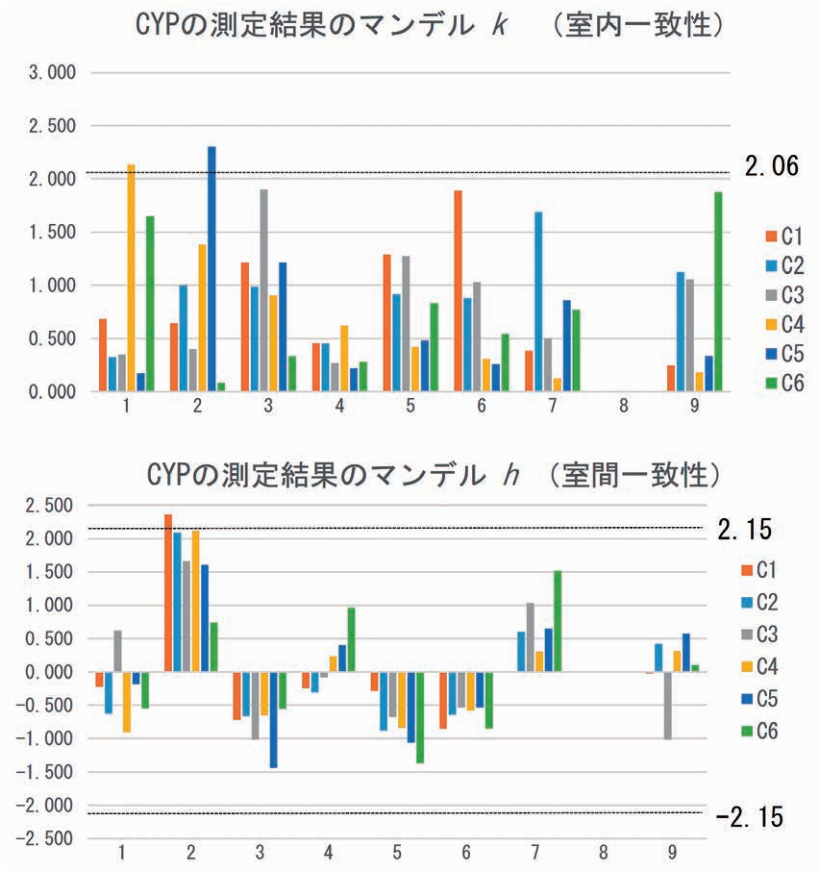


図６　シプロコナゾール（CYP）の測定結果のマンデルのｋとｈ

表３　シプロコナゾールの測定方法の精度指標

試料識別	C1	C1 [c]	C2	C3	C4	C4 [d]	C5	C5 [e]	C6
参加試験室数	8	8	8	8	8	8	8	8	9
採択された試験結果の数	7	8	8	8	7	8	7	8	8
CYP濃度の平均値, μg/g	4.81	5.3	13.3	25.9	153	151	392	397	704
併行標準偏差 S_r, μg/g	0.59	0.6	0.45	2.1	7	11	14	22	15
併行相対標準偏差 RSD_r, %	12.2	10.7	3.4	7.9	4.9	7.0	3.5	5.5	2.2
併行許容差 r (r=2.8 S_r), μg/g	1.6	1.6	1.3	5.8	21	30	38	62	43
室間再現標準偏差 S_R, μg/g	0.67	1.5	1.9	3.1	18	19	22	29	27
室間再現相対標準偏差 RSD_R, %	14	28	15	12	12	12.4	5.6	7.3	3.8
室間再現許容差 R (R=2.8S_R), μg/g	1.9	4.2	5.4	8.7	50	52	61	81	75
Horwitz-Predicted RSD_R(%) [a]	12.6	12.4	10.8	9.8	7.5	7.5	6.5	6.5	6.0
HorRat value [b]	1.1	2.3	1.3	1.2	1.5	1.7	0.9	1.1	0.6

a　Horwitz-Predicted $RSD_R(\%) = 2\times(\text{平均値} \times 10^{-6})^{-0.1505}$

b　RSD_R / Predicted RSD_R

c　試料C1の結果において、1試験室のマンデルのhが棄却限界値を超えたが、外れ値を外さず計算した場合を示した。

d　試料C4の結果において、1試験室のマンデルのkが棄却限界値を超えたが、外れ値を外さず計算した場合を示した。

e　試料C5の結果において、1試験室のマンデルのkが棄却限界値を超えたが、外れ値を外さず計算した場合を示した。

［テブコナゾール（TEB）の結果］

各試験室から報告されたTEB測定結果を図７に示す。なお，CYPの場合と同様の理由で、試験室８の測定結果が０にプロットされている。試験室１のマテリアルT2の併行間のばらつきが，他の測定結果と比べてかなり大きいこと（図７，赤線囲み）が確認された。

TEBの測定結果から算出したマンデルのｋとｈを図８に示す。図７において、他よりもばらつきが大きい傾向を示した試験室１のマテリアルT2のほか，試験室２のマテリアルT4のマンデルのｋが棄却限界値を超えていた。試験室１と試験室２のマテリアルC5の測定結果のマンデルのｋが棄却限界値を超えていた。また，試験室１のマテリルT2では，マンデルのｈも棄却限界値を超えていた。このことは，併行３回のうちのひとつの測定結果が他の二つよりも顕著に低かったため，他の測定結果よりも平均値が低くなったことによると考えられた。TEBの測定結果についても，外れ値を除外する場合としない場合について精度指標を算出した。

精度指標を含めた測定結果を表４に示す。外れ値とされた測定値を除かない場合と除く場合に係わらず，すべてのマテリアルのHorRat valueは，0.5より大きく2.0以下であった。マテリアルT2とT4で外れ値が検出された要因を精査する必要があるが，得られたHorRat valueからTEBの測定方法が妥当であると判断された。

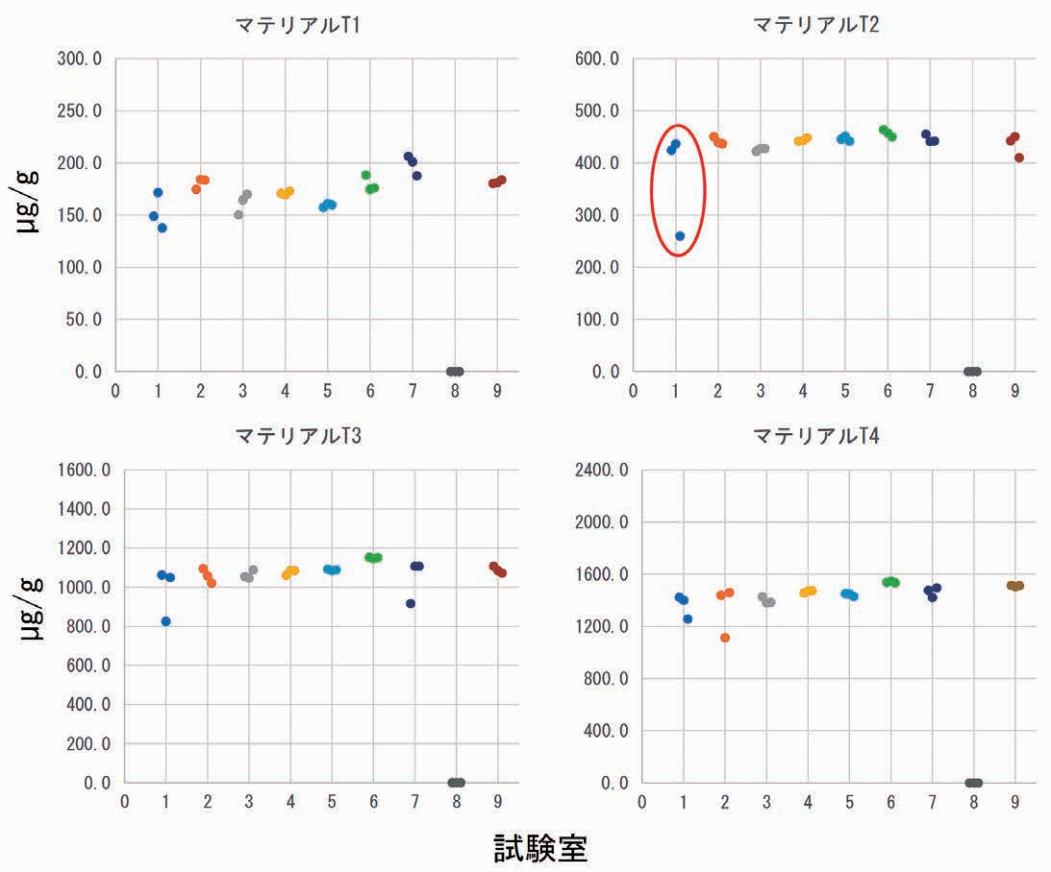


図７　参加試験室によるテブコナゾール（TEB）の測定結果

＊横軸の数字は便宜的につけた試験室の番号、それぞれ併行３回の分析結果を表示

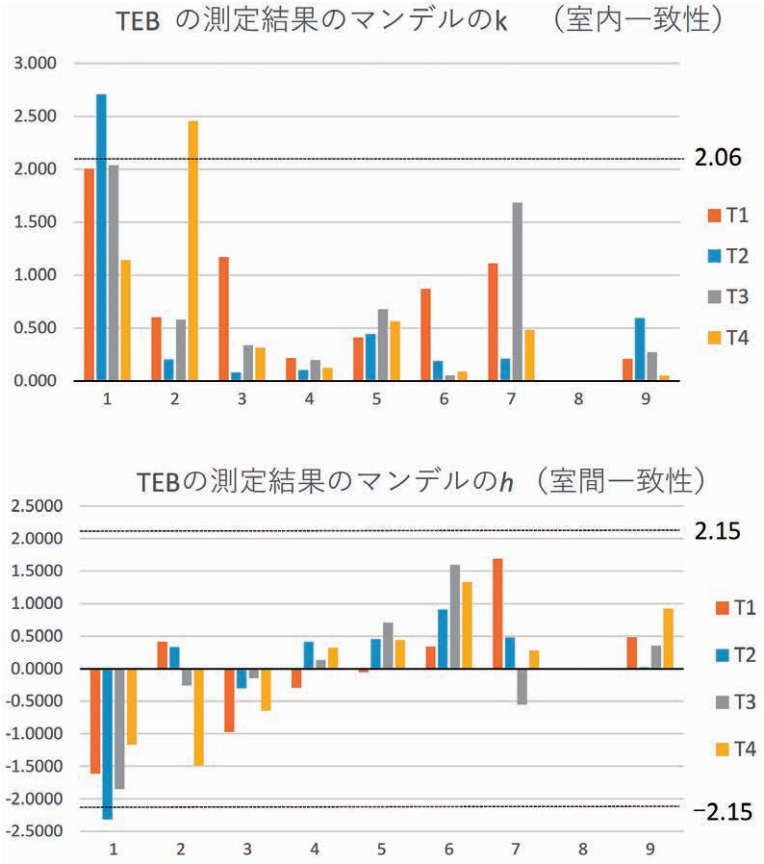


図８　テブコナゾール（TEB）の測定結果のマンデルのkとh

表４　テブコナゾールの測定方法の精度指標

試料識別	T1	T2	T2 [c]	T3	T4	T4 [d]
参加試験室数	8	8	8	8	8	8
採択された試験結果の数	8	7	8	8	7	8
CYP濃度の平均値, μg/g	175	443	434	1068	1438	1441
併行標準偏差 S_r, μg/g	8.7	10	36	64	42	78
併行相対標準偏差 RSD_r, %	5.0	2.2	8.3	6.0	2.9	5.4
併行許容差 r (r=2.8 S_r), μg/g	24.3	28	101	178	118	218
室間再現標準偏差 S_R, μg/g	16	13	39	71	89	95
室間再現相対標準偏差 RSD_R, %	8.9	2.9	9.1	6.6	6.2	6.6
室間再現許容差 R (R=2.8S_R), μg/g	44	36	110	198	250	266
Horwitz-Predicted RSD_R(%) [a]	7.4	6.4	6.4	5.6	5.4	5.4
HorRat value [b]	1.2	0.5	1.4	1.2	1.2	1.2

a　Horwitz-Predicted $RSD_R(\%) = 2 \times (\text{平均値} \times 10^{-6})^{-0.1505}$

b　RSD_R / Predicted RSD_R

c　マテリアルT1 の結果において、1試験室のマンデルのkが棄却限界値を超えたが、外れ値を外さずに計算した場合を示した。

d　マテリアルT4の結果において、1試験室のマンデルのkおよびhが棄却限界値を超えたが、外れ値を外さずに計算した場合を示した。

今後の課題・展開等

本年度の事業では，木材保存剤の有効成分に用いられているトリアゾール化合物であるシプロコナゾール，テブコナゾールの測定方法について，ASTM E691 に準拠した室間共同試験を実施し，その妥当性を検証した。その結果，これらの測定方法は，検証された濃度レベルにおいて妥当であると判断された。今後，残りの試験室のデータを含め，最終的な確認を行う予定である。また，イミダクロプリドについても室間共同試験を実施しており，得られる結果からその妥当性を評価し，グループ２の妥当性の評価を終える予定である。

本事業の最終目的は，吸収量の測定方法を“試験方法の JAS”として新たに制定することである。次年度以後，引き続き残されたグループの有効成分についても，室間共同試験による妥当性の検証を進める必要がある。その際，室間共同試験において改善の必要があると判断された場合，その改良を進めることも必要である。さらに，これらの取組みにより妥当性が確認された測定方法について，JAS 化のための規格原案を作成し，保存処理木材・木質材料に含まれる有効成分の測定方法の JAS 化を進める予定である。

事業

難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための促進劣化試験法方および燃焼試験方法の検討

● 実施団体 ●

公益社団法人 日本木材保存協会

〒105-0001　東京都港区虎ノ門４丁目２番５号　第３松坂ビル８階

事業目的

木質材料の需要拡大には、非住宅建築物や外構材への利用拡大が必須であるが、難燃処理などにより火災安全性も確保する必要がある。しかし、難燃薬剤処理木材の耐候性検証には、現状の方法では多くの時間と材料を必要とするため試験の実施数が限られ、信頼されるデータ数が得られていない。将来的には小型の促進劣化試験と燃焼試験により気象劣化後の難燃薬剤処理木材の燃焼性を評価する方法が望まれるが、それには小型の燃焼試験から実際の火災での燃えひろがり性状を予測可能とする必要がある。

これらの背景から、これまで実際の火災の様態に近い建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）と、火炎伝播試験（ISO 5658-2）等の小型の燃焼試験との関係性を検証してきたが、薬剤量の少ない場合のデータが乏しく、これを整備し、試験間の結果の関係を更に明らかにしていくとともに、試験方法の整備を進める。

実施した項目

１．難燃薬剤処理した木材の性能試験

以下の試験を実施して各種難燃薬剤処理した木材の性能を確認するとともに、試験種相互の関係性を検証した。

１）建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310:2019）
（以降、ファサード試験と表記）
２）火炎伝搬試験（ISO 5658-2:2006）
３）低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO/TS 5660-4:2016）
４）屋外暴露試験
５）紫外線劣化を加味した促進劣化試験

２．委員会および部会等の開催

実施体制

【事業の協力体制】

令和４年度補正事業に続き、公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置き、今村祐嗣氏を委員長として表１の参画者で事業委員会を形成し事業を推進した。また、同協会内に部会を組織し（表２）、本事業で実施する試験結果について検討し、委員会へ報告した。

表１　事業参画者の一覧

	氏名	所属
委員長	今村　祐嗣	京都大学 名誉教授、(公社)日本木材保存協会参事
委員(主査)	上川　大輔	国立研究開発法人森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	鮫島　正浩	東京大学名誉教授、(公社) 日本木材保存協会参事
委員	藤井　義久	京都大学 名誉教授、(公社) 日本木材保存協会会長
委員	野口　貴文	東京大学
委員	吉岡　英樹	東京大学
委員	兼松　　学	東京理科大学
委員	木口　　実	日本大学
委員	毛利　嘉一	日本大学
委員	西尾　悠平	国立研究開発法人 建築研究所
委員	高瀬　　椋	国立研究開発法人森林整備・研究機構森林総合研究所
委員	山本　幸一	国立研究開発法人森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	佐野　正洋	一般社団法人 電線総合技術センター
委員	早川　哲哉	株式会社東京システムバック
委員	杉山　和正*	株式会社プラセラム
委員	山口　秋生*	越井木材工業株式会社
委員	内藤　俊介	越井木材工業株式会社
委員	手塚　大介*	兼松サステック株式会社
委員	五十嵐　盟*	兼松サステック株式会社
委員	須貝与志明*	株式会社ザイエンス
委員	茂山　知己*	株式会社ザイエンス
オブザーバー	高木　　望	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室
事務局	片桐　芳男	(公社) 日本木材保存協会
	小林　理恵	

表２　難燃部会委員の構成

	氏名	所属
部会長	上川　大輔	国立研究開発法人森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	杉山　和正	株式会社プラセラム
委員	山口　秋生	越井木材工業株式会社
委員	樋田　淳平	株式会社オーシカ
委員	大宮　喜文	東京理科大学
委員	福田　泰孝	一般財団法人 ベターリビング
事務局	片桐　芳男	(公社) 日本木材保存協会
	小林　理恵	

【役割分担】

難燃薬剤処理試験体の作製は、委員会での仕様に基づき、㈱プラセラム、越井木材工業㈱、兼松サステック㈱、㈱ザイエンスで行った。

各試験体の難燃性能の評価に関しては、火炎伝播試験（ISO 5658-2）は電線総合技術センター、低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO/TS 5660-4）は東京システムバック、ファサード試験（JIS A 1310）は建築研究所で行った。屋外暴露試験は日本大学で、紫外線劣化を加味した促進劣化試験は森林総合研究所にて実施した。

難燃薬剤処理試験体の仕様や試験結果の解析に関する検討は及び結果の取り纏めは、事業推進委員会において行った。（図１）

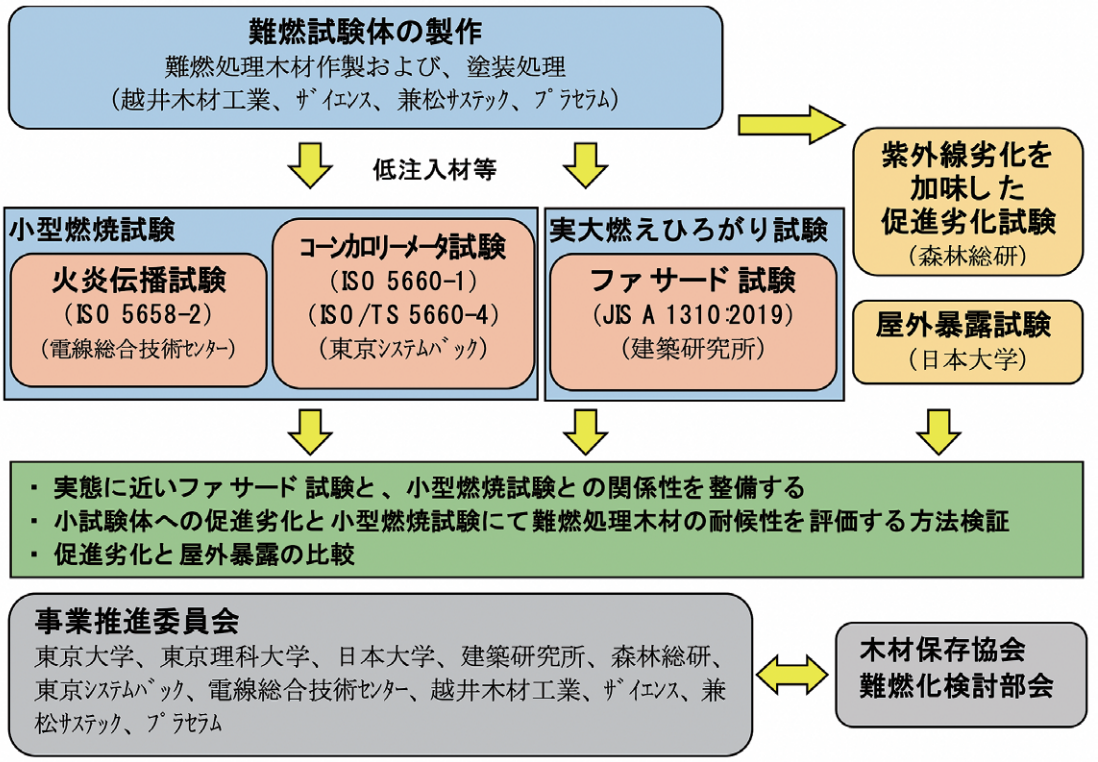


図１　事業の実施体制

実施した内容

● 試験体の作製と調整

ファサード試験（JIS A 1310）と火炎伝播試験（ISO 5658-2）および低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO/TS 5660-4）との関係性を検証することを目的に、表３に示す試験材を作製しこれら燃焼試験に供した。試験材はいずれもスギ（上小節）を基材とし、N(9)は厚さ9mm、それ以外は厚さ18mmとし、すべての試験において木おもて側を加熱面とした。

試験材Ａは、以前に低注入材として薬剤量51kg/m^{3}の試験材をファサード試験等に供した仕様[文献1)]を基に、薬剤量をその半分として作製したもので、ファサード試験においては以前の実験と同じく本実加工ありとした。試験材B_SおよびB_Rは、気象劣化により薬剤量が減った状況において、さらに材内の厚さ方向の薬剤分布が与える影響を把握する目的で意図的に薬剤が偏在するよう調整した試験材とした。これらの薬剤分布の調整は、薬剤注入後の乾燥工程の前に、木おもてを上とした状態で２枚重ねで一組として桟積みし乾燥させることで行った。これは乾燥時に外表面に向かって難燃薬剤が集積する性質を利用したもので、２枚組の上をB_S、下をB_Rとした。乾燥後、試験材内の薬剤分布を蛍光Ｘ線分析装置にて検証したところ、図２のようにB_Sでは木表側、即ち加熱側に、B_Rでは木裏側に薬剤が集積していることが確認された。試験材Ｃは、2022年度に通常濃度にて薬剤処理したもので、2022年度にファサード試験以外は実施済みのため、本年度はファサード試験のみとした。試験材N(9)は、板厚9mmの無処理のスギ材で、これまでの試験体より燃焼しやすいものとして設定した。

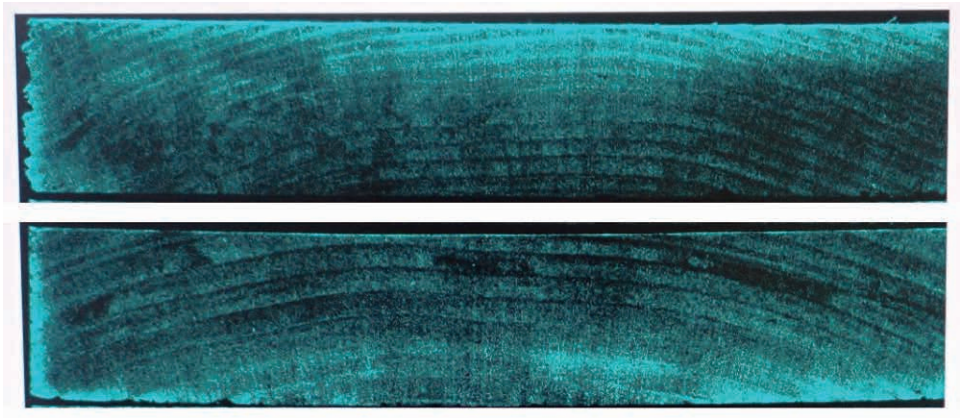


図２　試験材 B_S（上）と B_R（下）の材内薬剤分布の例
（水色が強いほどリンの濃度が高い）

表３　試験体一覧

No.	タイプ	薬剤	薬剤量 [kg/m^3]	塗装	備考
A	低注入	リン酸アミノ系	26.1	オイルステイン系	以前に51kg/m^{3}で各種試験。本実加工あり。
B_S	低注入表面集積	リン酸系	24.7	なし	
B_R	低注入裏面集積	リン酸系	25.9	なし	
C	通常処理未劣化	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	182.8	造膜型ウレタン系	2023年度に劣化材をファサード試験
N9	無処理木材（9mm）	なし	ー	なし	厚さ9mm

● 建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）

（国研）建築研究所にて、表３に示す５種の試験材について、その燃え広がり性状を確認するため、JIS A 1310:2019に準拠してファサード試験を実施した（写真１）。各試験体は、外寸、高さ4,095 mm×幅1,820 mmの鋼製枠の上に、けい酸カルシウム板（厚さ12mm×２層）を基板として張り、厚さ15mmの胴縁（無処理スギ）を固定したうえで、開口以外の部分に試験材を釘留めしてそれぞれ作製した。開口部は内寸910mm×910mmで、基板と試験材との間に厚さ15mmの通気層のある構成とした。火源の発熱速度は900kWとし、加熱時間は20分間とした。

写真１　ファサード試験の様子（試験材A）

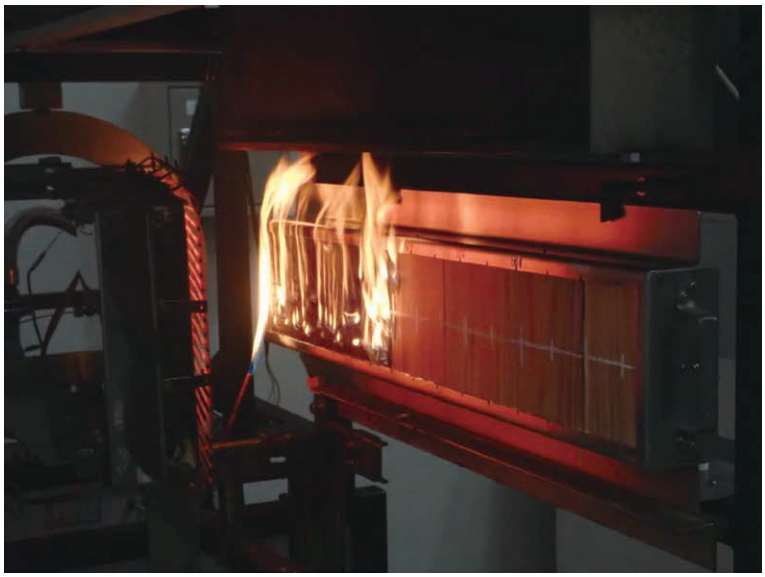


写真２　火炎伝播試験の様子（試験材 A）

● 火炎伝搬試験（ISO 5658-2）

（一社）電線総合技術センター（JECTEC）にて、表３に示すＣ以外の４種の試験材について火炎伝播試験を実施した（写真 2）。試験体は、繊維方向 155mm、幅 120mm の試験材を幅方向に並べ、縦 155mm、幅 800mm の形状となるようステンレスホルダーに配置したものとした（幅方向の端部は適宜カット）。各試験材とも繰り返し数を３体とした。

● 低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO/TS 5660-4）

（株）東京システムバックにて、表３に示すＣ以外の４種の試験材について低発熱コーンカロリーメーター試験を実施した。試験体は 150mm × 150mm で、加熱強度は 50kW/m^2、試験時間を 20 分間とし、口火の電気スパークありの試験条件とした。各試験材とも繰り返し数を３体とした。

● 屋外暴露試験および紫外線劣化を加味した促進劣化試験

日本大学生物資源科学部８号館屋上屋外暴露場において、2022 年１月から屋外暴露試験を継続している。試験片は、難燃処理薬剤を注入後、塗装無し試験片各 10 枚、塗装試験片各 15 枚（３社は造膜形塗料、１社は含浸形塗料塗装）であった。

また、森林総合研究所において、紫外線蛍光灯促進耐候性試験機（Q-Lab 社製 QUV/Spray）による紫外線蛍光ランプ法促進耐候性試験（EN927-6）について、その促進劣化特性を把握することを目的に３社の試験体について促進劣化操作を 2,500 時間まで実施した。

文献１　中村ら、建築学会技報 25(60)、2019.06

実施した結果

● ファサード試験結果

ファサード試験により、各試験材からなる外壁の燃えひろがり性状を明らかにした。表４および図３に各試験体の外装表面最高温度を、図４に炭化・燃え抜け状況を示す。ファサード試験において、燃えひろがりの危険性の評価基準として、開口上端より 2m の高さにおいて外装表面温度が 500℃以上、というのを一つの判断基準としているが、実際の判定ではそれが継続する時間も判断基準の一つとなる（30 秒以上連続して 500℃を超える、等）。表４中においては、開口上端より 2m の位置で外装表面温度が 500℃を超えたものについて、その継続時間も表記した。低薬剤量とした試験体に注目すると、試験体 A、B_R は 2m での温度が 500℃を超え、A についてはその継続時間も１分以上となっている。ただ、薬剤量の少なさを考慮すると、難燃材料で必要とされる薬剤量の 1/3 程度にて外装の燃えひろがりはかなり抑制されるといえる。試験体 A については、試験時の観測にて本実加工された横目地の部分の燃焼が目立っており、これが影響した可能性が高い。薬剤分布の差による違いを見ると、B_S の方が 2m での温度が低く抑えられており、加熱側に薬剤が多い方が燃えひろがり抑制に有利であるといえる。無処理の N(9) は、過去の 18mm 厚の N(18) と比較すると特に上部において温度がかなり高くなっており、厚さを薄くしたことで燃焼性が増したと考えられる。

表４　ファサード試験での外装表面最高温度

試験体	各高さでの最高温 [°C]						2mで500°C超の時間 [s]
	0m	0.5m	0.9m	1.5m	2m	2.5m	
A	1081.8	979.4	879.8	692.8	522.7	385.2	68
B_S	1087.1	907.1	819.9	596.4	434.3	328.4	—
B_R	1028.9	894	801.1	638.7	545.9	349.8	10
C	1055.9	815	628.7	443.3	336.4	266.9	—
N(9)	1046.5	930	894.7	817.1	754.2	695.9	542
N(18)※1	1112.6	948.7	798.4	678.9	568.2	513.9	112

※1　中村ら、建築学会技報25(60)、2019.06

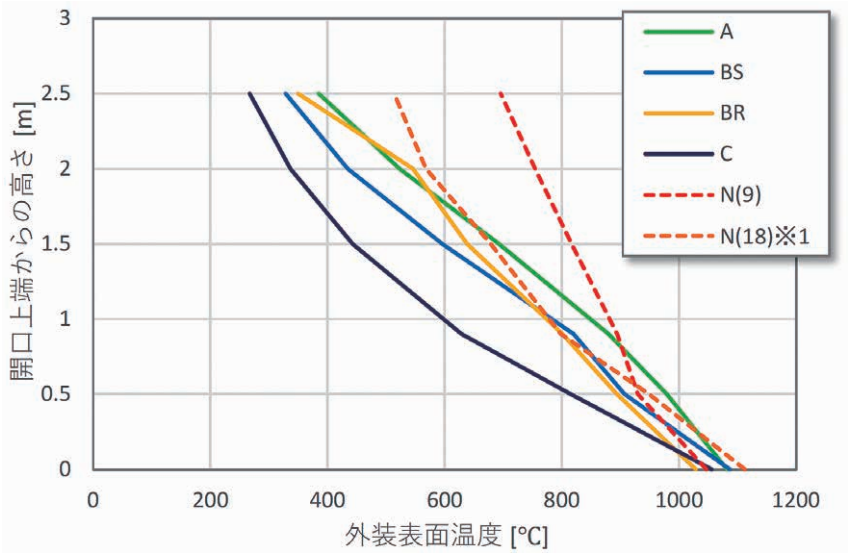


図３　ファサード試験での外装表面最高温度

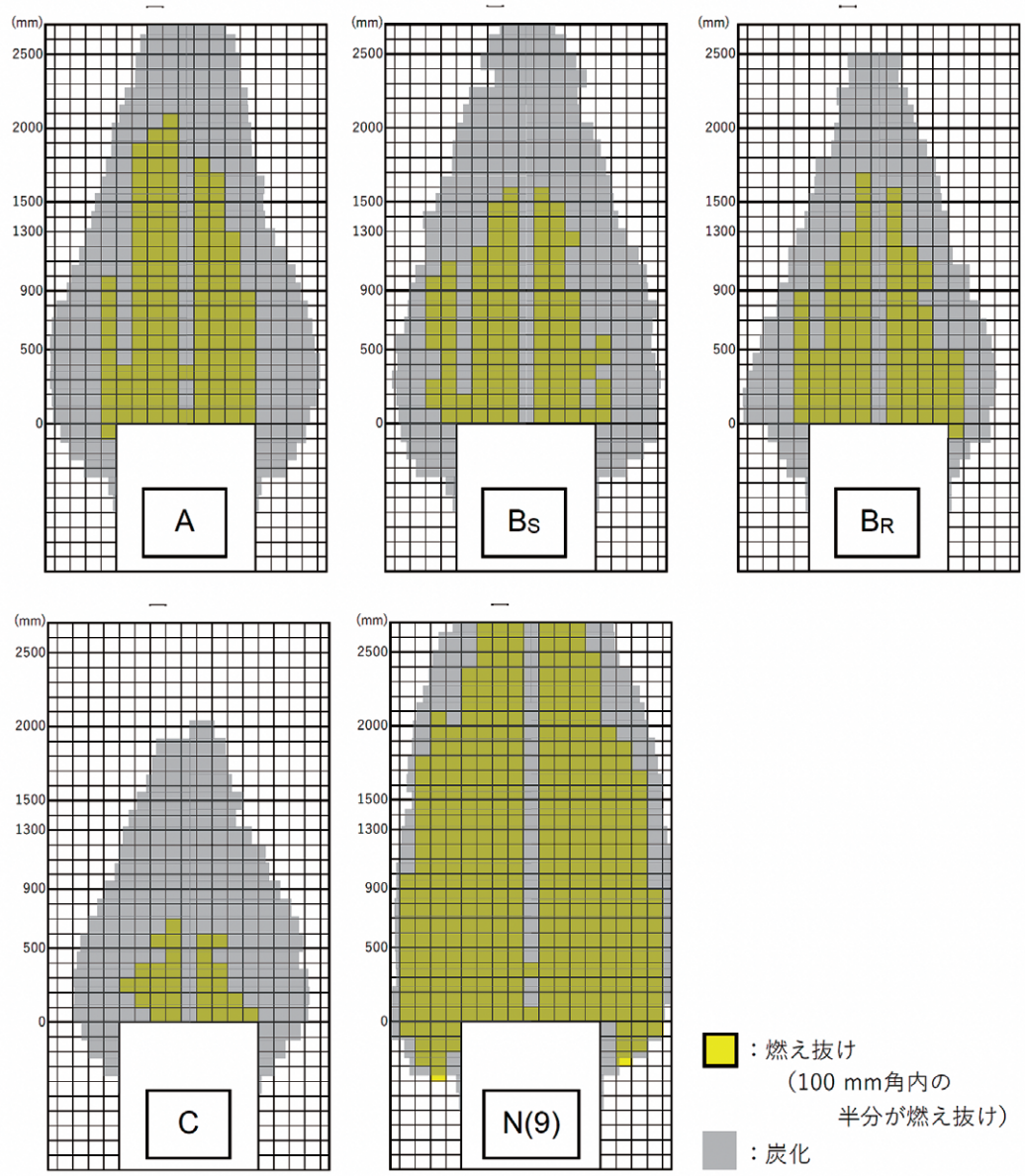


図４　ファサード試験　炭化・燃え抜け状況

● 火災伝播試験結果

表５に火災伝播試験の結果を示す。低薬剤量のA、B_S、B_Rの結果を見ると、火災伝播距離はA＜B_S＜B_Rの順となっており、ファサード試験とはやや異なる傾向となっている。無処理のN(9)とN(18)を見ると、火災伝播試験においても板厚の薄いN(9)の方がやや火災伝播しやすいという結果となっているが、数値的にはファサード試験での温度差ほどにはなっていない。

表５　火災伝播試験結果（平均値）

試料名	CFE [kW/m^2]※1	火炎伝播距離 [mm]	Qsb [MJ/m^2]※2
A	23.3	356.7	0.38
B_S	22.2	366.7	0.47
B_R	14.2	435.0	0.51
C※3	42.1	210.0	0.76
N(9)	6.2	546.7	0.70
N(18)※3	6.6	535.0	0.99

※1　CFE：消火時の臨界熱流束
※2　Qsb：持続燃焼のための平均熱量
※3　2022年度データ

● 低発熱コーンカロリーメーター試験結果

表６に、各試験体の時間経過ごとの総発熱量、最高発熱速度および最高発熱速度となった時刻を示す。また、図５に発熱速度の推移を示す（低注入および無処理の試験体）。試験体 A、B_R、N(9) は試験開始後十数秒以内に着火したが、B_S はやや着火しにくく、フラッシュを経て 40 秒過ぎに着火した。その後 N(9) は 5~6 分の間に消炎した。B_S は加熱開始直後の１次ピークが低く抑えられ２次ピークが B_R よりもやや高くなっており、B_R は逆に１次ピークでの発熱が大きかった。A はこれらの中間的な推移であった。

表６　低発熱コーンカロリーメーター試験結果（平均値）

試料名	総発熱量					最高発熱速度	最高発熱速度時刻
	THR 60 [MJ/m^2]	THR 150 [MJ/m^2]	THR 300 [MJ/m^2]	THR 600 [MJ/m^2]	THR 1200 [MJ/m^2]	[kW/m^2]	[s]
A	3.2	7.2	13.7	28.4	49.0	79.3	9.0
B_S	0.6	5.0	11.7	27.7	47.9	67.5	561.7
B_R	4.3	9.5	16.6	31.9	51.5	103.1	18.7
C※1	1.4	1.9	2.4	3.8	7.8	78.5	19.7
N(9)	4.9	11.7	27.1	38.0	44.9	165.9	223.7
N(18)※1	4.8	11.4	21.1	44.7	75.4	153.3	24.7

※1　2022年度データ

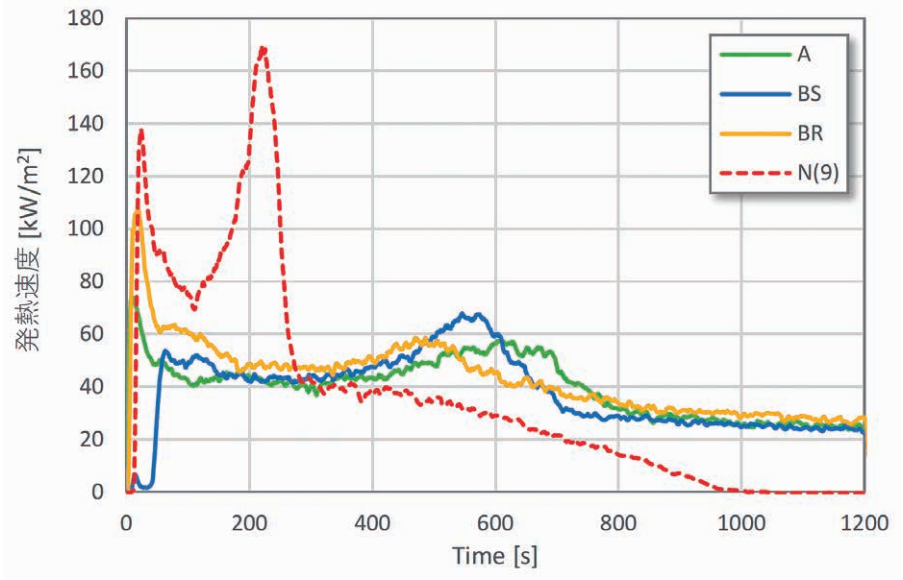


図５　低発熱コーンカロリーメータ試験での発熱速度の推移

● ファサード試験結果と小型燃焼試験結果との対応について

火災伝播試験結果、低発熱コーンカロリーメーター試験結果から導出される各種数値と、ファサード試験での開口上端より 2m 上部での外装表面最高温度との関係を検討した。その結果、低発熱コーンカロリーメーター試験での、試験開始から 300 秒までの総発熱量とファサード試験での上記温度との関係が比較的一つのライン上に沿うことが明らかとなった（図６左）。同じ総発熱量であっても、試験開始から 1200 秒までの値としたものはプロットが大きくばらけた（図６右）。また、火災伝播試験での CFE 値や火災伝播距離を横軸とした場合ある程度帯状にプロットが並ぶが、無処理材の板厚の違いによる外壁の燃えひろがりの差が火災伝播試験では小さめに評価されていた。なお、ファサード試験で見られた

本実目地部分の燃焼の影響などは現状ではコーンカロリーメーター試験では評価できていないため、例えば試験体の中央に目地を設けるなど、さらなる工夫が必要かもしれない。

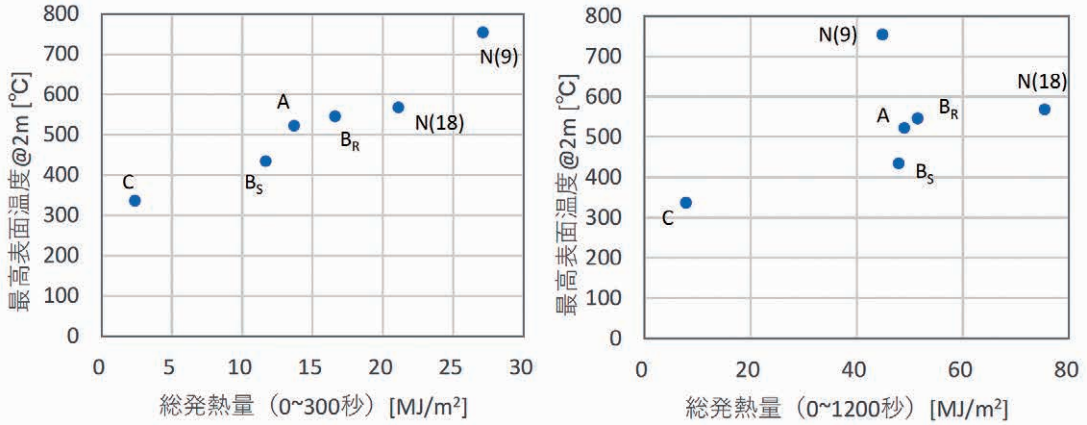


図６　ファサード試験での外装表面最高温度＠2mと低発熱コーンカロリーメーター試験での総発熱量との関係（左：300秒間の総発熱量、右：1200秒間の総発熱量）

今後の課題・展開等

ファサード試験の結果と小型燃焼試験との対応については、今後も様々な仕様を対象として検証を進め、当てはまらない仕様や状況がないかを確認し適用可能な範囲を確かめる必要がある。さらに、紫外線劣化を加味した促進劣化試験方法についても引き続き取り組んでいく必要があり、屋外暴露による劣化の測定と合わせこれも今後の課題としている。

難燃処理木材を屋外使用した場合の耐候性評価方法として、促進劣化試験（JIS A 1326：2019）を行ったうえで建築ファサードの燃え広がり試験（JIS A 1310：2019）を実施する方法がJISとして制定されているが、実製品を評価し、認証等を行う実施体制の形成が課題として残っている。それには試験体の作製、養生、試験方法のガイドラインを具体的に定めることに加え、試験での判定方法とその基準値を精査し定めなければならない。また、上記試験方法では、塗膜によって耐候性能を付与するものは対象とならないが、塗膜なしで対候性が高い場合であっても美観や維持管理上の要求から塗装が望まれる場合もあり、対応可能な検証法が望まれる。

事業

流域治水における木造住宅の水害対応技術の開発

● 実施団体 ●

国立研究開発法人 建築研究所
〒305-0802　茨城県茨城県つくば市立原１番地

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター
〒136-0075　東京都江東区新砂 3-4-2

事業目的

気候変動の影響や社会状況の変化、近年頻発する住宅地における浸水被害の状況等を踏まえ、河川の流域治水への転換が求められている。その一環である新築住宅等の浸水被害の軽減に向けて、特定都市河川の流域の浸水被害防止区域における建築規制基準が既に定められるとともに、木造住宅の耐浸水性能に関する技術的知見の蓄積が求められている。

このような状況下において、木造住宅の構造安全性の確保を図るため、洪水発生時の浸水深や流速、水位上昇速度に対応した木造住宅の構造躯体や非構造材について、流体抵抗性検証実験等により、木質構造部材等の性能検証が急務となっている。

このため、洪水時における実大木造住宅の流体力抵抗性検証実験等を行い、木質構造部材や接合金物等の要求性能を検証するとともに、所要の耐浸水性能を満たす木造住宅に係る部材開発のための資料を整備する。

実施した項目

① 検討委員会の開催等

学識経験者、関係研究機関等より構成される検討委員会を設置し、木造住宅実大模型実験の企画検討、実験結果等の成果の取りまとめ等を行なった。

② 実大木造住宅の水理実験等による性能検証

検討委員会での検討に基づき、実大木造住宅の水理実験に係る実大実験の準備・運営、実験結果の分析、性能検証を行なった。

③ 木造住宅の耐浸水性能に係る要求性能の検証、部材開発資料のとりまとめ

実験結果をもとに所要の耐浸水性能を満たす木造住宅に係る耐浸水性木質部材開発等のための資料の整備、報告書の作成を行った。

実施体制

国立研究開発法人建築研究所を代表者とし、同研究所及び公益財団法人日本住宅・木材技術センターの共同で事業を実施する。

十勝川千代田実験水路実大木造住宅水理実験検討委員会　委員名簿（順不同、敬称略）

委員長
槌本　敬大　　国立研究開発法人　建築研究所　材料研究グループ長

委　員
田村　和夫　　神奈川大学　工学研究所　客員教授
奥田　泰雄　　摂南大学 理工学部 建築学科　教授

板垣　修	国立研究開発法人　土木研究所　河道保全研究グループ長
木原　直人	一般財団法人　電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 気象・流体科学研究部門 研究推進マネージャー
木内　望	国土交通省　国土技術政策総合研究所　都市研究部　シニアフェロー
喜々津仁密	国土交通省　国土技術政策総合研究所　建築研究部　建築品質研究官
脇山　善夫	国土交通省　国土技術政策総合研究所　住宅研究部　住宅性能研究官
武内　慶了	国土交通省　国土技術政策総合研究所　河川研究部　水害研究室長
荒木　康弘	国土交通省　国土技術政策総合研究所　建築研究部　評価システム研究室長
酒井　優太	国土交通省　国土技術政策総合研究所　建築研究部 材料部材基準研究室 研究官
向井　昭義	公益財団法人　日本住宅・木材技術センター　理事兼試験研究所長

協力委員

熊谷　有理	林野庁　林政部　木材産業課　木材製品技術室　課長補佐（令和６年６月まで）
中村　誠	林野庁　林政部　木材産業課　木材製品技術室　課長補佐（令和６年７月から）
松田　涼	林野庁　林政部　木材産業課　木材製品技術室　住宅資材技術係長
秋山　信彦	国立研究開発法人　建築研究所　材料研究グループ　主任研究員
渡邊　史郎	国立研究開発法人　建築研究所　建築生産研究グループ　主任研究員
沖　佑典	国立研究開発法人　建築研究所　建築生産研究グループ　主任研究員
中島　昌一	国立研究開発法人　建築研究所　構造研究グループ　主任研究員
髙舘　祐貴	国立研究開発法人　建築研究所　構造研究グループ　研究員
平野　茂	国立研究開発法人　建築研究所　材料研究グループ　交流研究員（一条工務店）
黒田　哲也	国立研究開発法人　建築研究所　材料研究グループ　交流研究員（一条工務店）

オブザーバ

横田　康宏	一般財団法人　日本建築防災協会　企画調査部長
大西　智哲	一般財団法人　建材試験センター　中央試験所環境グループ　主査
山辺　豊彦	有限会社　山辺構造設計事務所　代表取締役
今井　信博	株式会社　現代計画研究所　代表取締役社長
佐久間順三	有限会社　設計工房佐久間　顧問

事務局

金子　弘	公益財団法人　日本住宅・木材技術センター専務理事
畠谷　忠史	公益財団法人　日本住宅・木材技術センター研究技術部長
板橋　雄一	公益財団法人　日本住宅・木材技術センター研究技術部技術主任
皆川　雄介	公益財団法人　日本住宅・木材技術センター研究技術部技術主任

実施した内容

(1) 水理実験に供する実大木造住宅の設計・建築

上流で実施される破堤実験の担当者から示された最大水位 1.2 m、流速 2.0 m/s に対して水平力、転倒モーメント等に耐えられるよう木造住宅を設計した。このときの流体力 F_H ($=0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2$) $\fallingdotseq 37.8$ (kN) であるが、抗力係数 $C_D = 7.0$ まで耐えうるような構造とした。

(2) 十勝川千代田実験水路を用いて行った水理実験において実大木造住宅に作用した水流の水位・流速・水圧の計測

実大木造住宅の水流が入射側である南面（通称：現地の方位とは異なる）18 カ所に波圧計を設置して波圧を測定した（図 1）。水位は川底に入射面南東角より水上側かつ右岸側に 1.5m ずつ離れた位置、及び南西角より水上側かつ左岸側に 1.5m 離れた位置、並びに住宅の下流側に水位計を設置して測定

し、住宅の周囲７カ所に測量ポール又は定規を設置して画像から読み取ることとした（図２）。流速は入射方向（通称南面）２カ所、下流方向１カ所、左岸側の側面（通称西面）にドップラー式流速計を設置して測定した（図３）。なお、および漏水センサを４面の外壁内部に設置し、壁体内への漏水の有無を確認した。

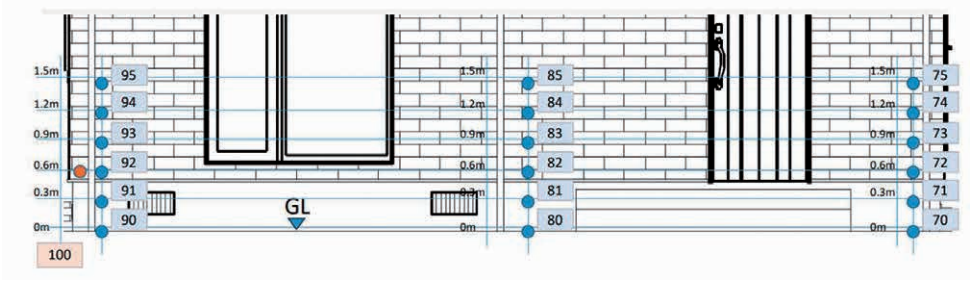


図１　波圧計（●）の設置箇所（●は熱電対）

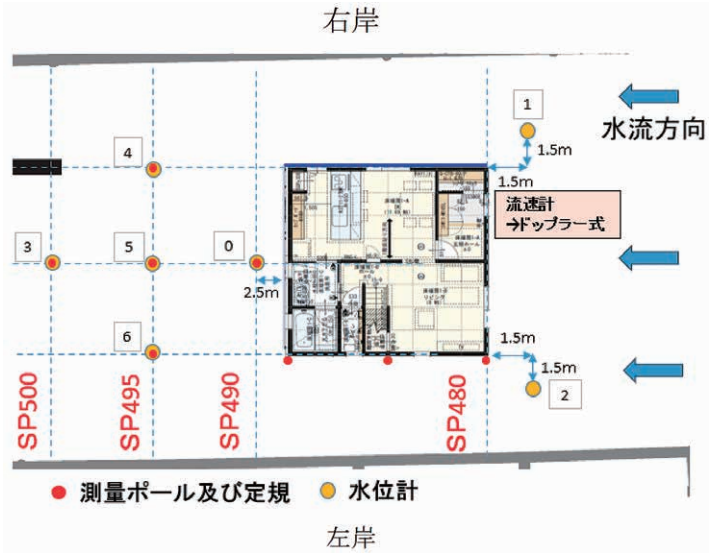


図２　水位計と測量ポール又は定規の設置箇所

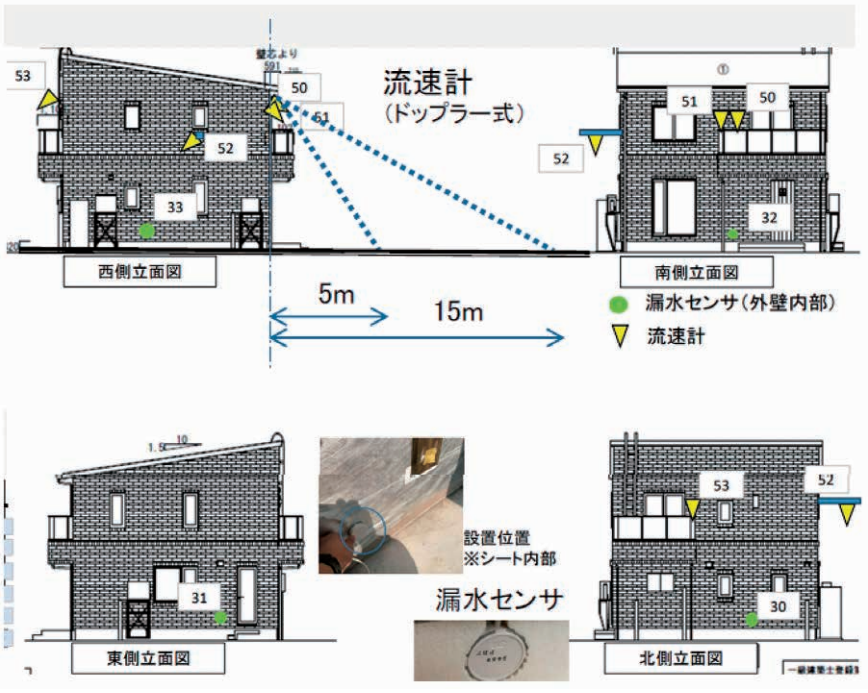


図３　流速計の設置箇所（▽）

(3) 流体力が作用した実大木造住宅の各部に作用する荷重の測定計画・計測

図４に示すように実大住宅に作用する鉛直荷重を住宅下部の上基礎と下基礎の間に設置して計測した。測定箇所は４角部と４辺の中央、および建築物の中心とした。入射側の３カ所と左岸側・右岸側の中央部は 200 kN、下流側の３カ所と建築物の中心は 500 kN のロードセルで計測した。また、入射側と側面の水平方向に作用する荷重を 100 kN のロードセルで測定した。住宅が浮上したときに備えて、浮上拘束金物を内部の入隅４カ所に設置し、その引張力も 100 kN のロードセルで測定した。念のため、室内にも入隅４カ所に水位計を設置し、水平方向の移動に備えて防水型の変位計も２カ所に設置し、室内各所に漏水センサを設置した。

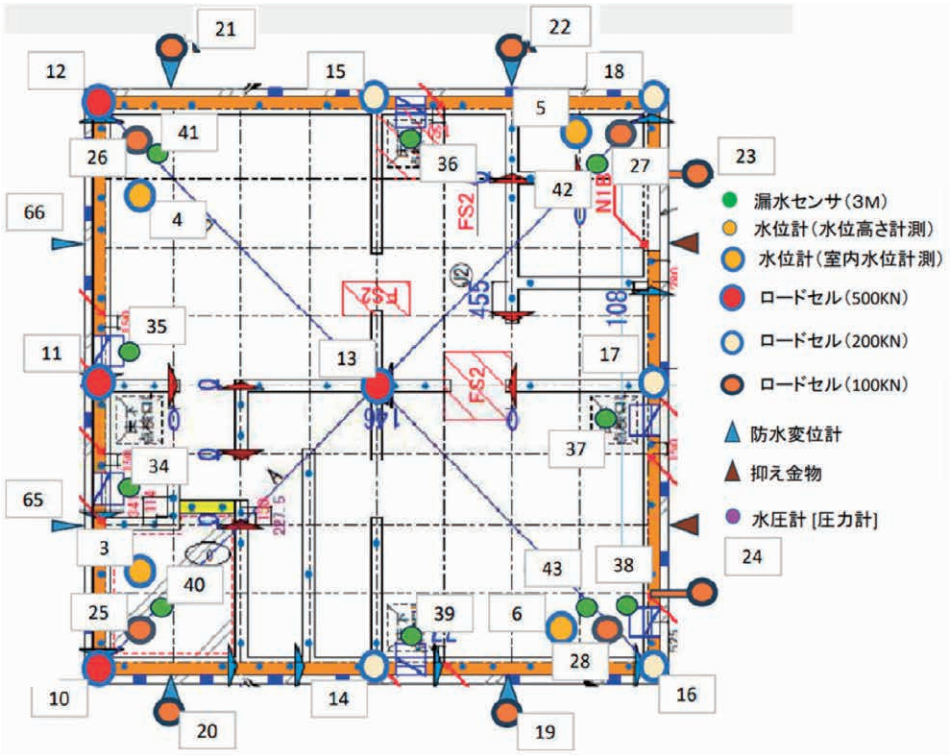


図４　住宅各部の荷重等計測箇所（入射方向は図中の右）

(4) 測定結果の分析

1) 実験結果による圧力計から流体力の算定

ｉ）圧力計測定結果からの流体力の算定

CH70~75, CH80~85, CH90~95 の位置での水圧を各 CH ごとの受圧面積より水下側の静水圧を図５のように考慮して、実験時に作用した流体力を算定した。水深については水上側の動水圧時については SP460LR, SP486LR（寒地土木研究所提供データ）の平均値を用い、水下側の静水圧算定については CH0 地点の水位を用いた。

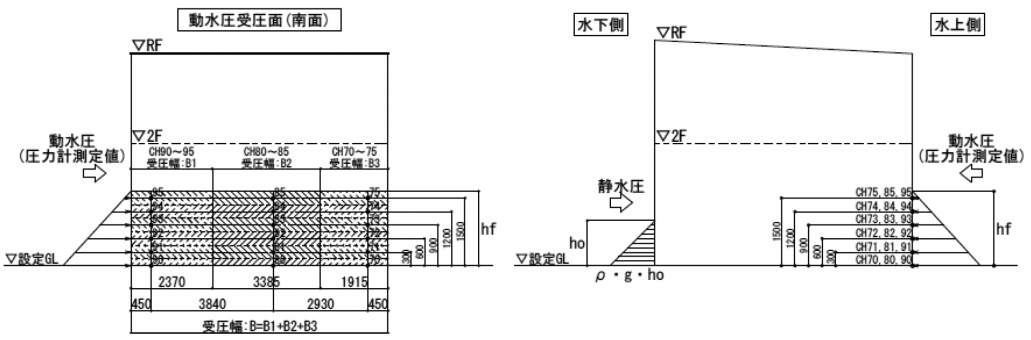


図５ 実験結果からの流体力算定

ⅱ）圧力計測定結果による流体力からの転倒モーメントの算定

i) より算定された流体力から転倒モーメントを算定した。流体力の鉛直方向分布が三角形であることを確認し、三角形の重心をモーメントアーム長さとして乗じることで転倒モーメントを算出した。

2）特定都市河川法の抗力式による外力算定

ⅰ）抗力式による流体力 F_a の算定

特定都市河川法に基づく令和３年国土交通省告示第1392号第１号ロに掲げる抗力式（ $F_H = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2$）に基づいて、式(1)によって算出した。

$$F_a = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2 \quad (1)$$

ここで、流体の密度：$\rho = 1.0$ [t/m^3]、流速：U [m/s]、抗力係数：$C_D = 2.1$、水深：h [m]、受圧面幅：7.28m + 0.2055m × 2 = 7.4855m ≒ 7.49mとし、流速については CH50, CH51 で計測された流速と PIV 解析（土壌流亡）の結果から算出した各時刻の最大値を採用した。

ⅱ）抗力式による転倒モーメント Mc の算定

流体力による転倒モーメントは次の式(2)より算出した。

$$Mc = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2 \times (h / 2) \quad (2)$$

ⅲ）浮力 Fv の算定

水深から住宅内部の空隙の容積を算出して式(3)から浮力を算出した。

$$F_v = \rho \cdot g \cdot h \cdot A \quad (3)$$

ここで、$\rho = 1.0$ [t/m^3]、$g = 9.8$ [m/s^2]、浮力計算建物幅 A = 7.28m + 0.1735m × 2 = 7.627m ≒ 7.63m とし、水深 h [m]は水上側と水下側の水位の平均値に設定 GL からの上基礎下端までの距離0.17 mを加えた数値とした。

一方、鉛直方向に設置したロードセル（CH10～CH13, CH14～CH18）の初期値の合計から、建物重量 Σ W_b = 637 [kN]とした。

実験結果による浮力算定結果は CH10～CH13, CH14～CH18 の建物重量の合計値と水深により算定された浮力F_vと比較した。

実施した結果

1）抗力式と住宅に作用する流体力の比較

波圧計から求めた流体力をF_{a1} (kN)とし、CH23, CH24のロードセルから算出された引張力合計（建物に生じた水平力）をF_{a1}' (kN)とし、表１に示す。両者はほぼ一致していることが確認され、波力として作用した流体力は過不足無く水平力として作用していることが分かった。また、抗力式から算出した流体力F_a (kN)も表１に併記したが、両者はこれより小さい値を示す場合が多いようである。水流が弱い（水深0.87 m、流速0.83 m/s程度）ときは両者が抗力式より大きくなる。

表１　波圧計、荷重計、抗力式から算出した流体力

時刻	実験結果による流体力		水深 h_f (m)	流速 U (m/s)	抗力式による流体力 F_a (kN)	抗力式と実験結果の比 F_{a1}/F_a
	F_{a1} (kN)	F_{a1}' (kN)				
16:06	56.8	56.2	1.525	2.26	62.7	0.91
16:05	52.4	56.2	1.435	2.33	62.7	0.84
16:04	25.0	27.8	1.153	1.73	27.8	0.90
16:03	9.9	12.6	0.943	1.26	12.0	0.82
16:02	8.4	7.6	0.870	0.83	4.8	1.74

2）転倒モーメントの評価

荷重計から算出された転倒モーメントをM_{ca1} (kNm) とし、抗力式から算出された転倒モーメントをM_{ca} (kNm)として表2に示す。水流が弱い（水深0.87 m、流速0.83 m/s程度）ときを除いて、実際に作用する転倒モーメントは抗力式で算出されたものより小さい。

表2　荷重計による転倒モーメントと抗力式から算出した転倒モーメント

時刻	荷重計から算出した転倒モーメント M_{ca1} (kNm)	水深 h_f (m)	流速 U (m/s)	抗力式による転倒モーメント M_{ca} (kNm)	実験結果の抗力式に対する比 M_{ca1}/M_{ca}
16:06	42.2	1.525	2.26	47.8	0.88
16:05	34.2	1.435	2.33	45.0	0.76
16:04	12.7	1.153	1.73	16.0	0.79
16:03	3.4	0.943	1.26	5.7	0.60
16:02	2.6	0.870	0.83	2.1	1.22

3）浮力の評価

浮力算定用水深h [m]を水上側と水下側の水位の平均値に設定 GL からの上基礎下端までの距離0.17 mを加えた数値として浮力求め、建物重量ΣW_b (= 637 kN) と比較した。水上側の水深1.1 mを超えたあたりから浮力が建物重量を超えたことが分かる。

表3　荷重計による浮力と水深から算出した浮力の比較

時刻	荷重計による鉛直荷重 (kN)	水上側水深 h_f (m)	水下側水深 h_o (m)	浮力算定用水深 h (m)	浮力 F_V (kN)	$\Sigma W_b - F_V$ (kN)
16:06	107.2	1.525	1.06	1.29	844	-207
16:05	74.2	1.435	0.97	1.20	792	-155
16:04	78.5	1.153	0.88	1.02	684	-47
16:03	144	0.943	0.77	0.86	592	45
16:02	171	0.87	0.71	0.79	554	83

ここで、建物重量ΣW_b = 637 [kN]。$\Sigma W_b - F_V$が負となる箇所は浮き上がりが生じたことを示す。

4）公開実験

北海道開発局の十勝川千代田実験水路における実験を公開したところ、全国から128名の見学者、並びに報道関係11社が集まった。

今後の課題・展開等

木造住宅に流体力が作用するときの現象は把握され、概ね理論通りであることがわかったが、転倒モーメントが少々低く評価された。この原因などについて数値流体解析などを通じて解明していく必要がある。

- 水害の被害現場において、開口部が先行破壊したり、土壁が溶出したりして入力低減が生じたために滑動や流失を免れたと推測される事例が散見されるため、受圧面積における開口低減の適用の可能性や先行破壊が生じる開口部の仕様や先行的に溶出する土壁等の仕様の特定に関する検討が必要である。
- 本事業における実験は住宅内部への浸水を許容しない「ドライ」対策によって災害後の居住継続を実現するものであるが、力学的安全性の確保について今回検討したが、ドライ対策を行うためには住宅各部や住宅部品等の止水性がすべて担保されている必要がある。このため、住宅各部の仕様や住宅部品の止水性を一般的な材料、資材、建材、部品を用いて確保する方策を一般化して例示する必要がある。
- 本事業のドライ対策とは別に、住宅内部への浸水を許容して復旧容易性を高めておくなどの「ウェット」対策もあるが、その住宅各部の仕様等についてはまだ提案段階であり、実際の復旧工事の施工容易性等について検証する必要がある。

事業

国産材対応中層非住宅木造建築物等に必要なCLT等部材技術開発事業及び普及事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会

〒416-0932　静岡県富士市柳島 242-2

事業目的

近年、中層非住宅木造建築物の需要が増えてきているが、特殊な架構、接合部を使用する場合、コストを抑えることができない。中層非住宅木造建築物を普及させるために、入手しやすい一般流通部材や金物でコスト競争力の高い安価な架構、接合部を開発し、標準化、マニュアル化を行う。昨年度の事業で行った36㎜CLT真壁耐力壁耐火仕様や高強度柱脚金物の開発については、国産材使用率を向上させるため、柱をヒノキ集成材、横架材をスギ集成材で対応できるよう改良し、試験を行って性能を確認する。国産材対応引きボルト＋ビス接合部の拡充として、昨年度行った20m超スパントラスの木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用した引きボルト継手を国産材対応できるように、国産材を使用した斜めビスの引張試験、継ぎ手引張試験、実大トラスの実験や、木質構造用全ねじ長ビス斜め打ちの応用として、斜めビスを併用した引きボルト式ラーメン柱脚接合部の試験を行い性能を確認することで、大空間を有する中層非住宅木造建築物を設計できるようにする。また、中層非住宅木造建築物の普及のため、意匠設計者がプランニング段階で構造を成立できるか判断するため、必要耐力壁量を試算する。

実施した項目

中高層非住宅木造建築物等に必要な国産材CLT等部材技術開発事業の検討委員会を設置し、以下の開発を行った。

① 国産材対応中層木造建築用36mmCLT耐力壁耐火仕様
② 国産材仕様中層用高耐力柱脚金物の開発
③ 木質構造用全ねじ長ビス斜め打ちを併用した木造トラスの高耐力引きボルト式継手の拡充と木質ラーメン架構への応用・展開

中層木造建築普及促進加速化事業として、在来軸組構法の４階建て木造への拡張PJを設置し、４階建て木造に必要な耐力壁の量の試算を行った。

実施体制

実施事業		担当ワーキング	ワーキング責任者
国産材対応中層木造建築物用CLT等木質建築部材技術の開発事業	① 国産材対応中層木造建築用36mmCLT耐力壁耐火仕様	構造ワーキング	稲山正弘 (㈱ホルツストラ)
	② 国産材仕様中層用高耐力柱脚金物の開発	構造ワーキング	稲山正弘 (㈱ホルツストラ
	③ 斜めビス打ちを併用した木造トラスの高耐力引きボルト式接合部の拡充と木質ラーメン架構への応用・展開	構造ワーキング	稲山正弘 (㈱ホルツストラ
中層木造建築普及促進加速化事業	在来軸組構法の４階建て木造への拡張PJ	構造ワーキング	稲山正弘 (㈱ホルツストラ
国産材CLT等木質建築部材普及事業	報告書、発表資料の作成と試験成績書の公開	構造ワーキング	稲山正弘（東京大学教授）

構造委員会委員長：川原重明((株)木質環境建築)

実施した内容

① 国産材対応中層木造建築用 36mmCLT 耐力壁耐火仕様

当協会ではこれまで36㎜CLT耐力壁の開発を行ってきた。昨年度は４階建て木造建築物で要求される１時間耐火構造の被覆を介してビス留めした36㎜CLT耐力壁の性能を確認した。今年度は、４階建て木造建築物の試設計に合わせた仕様で、予備試験１体、本試験３体について「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年度版）」に基づく壁試験を実施した。試験体は国産材利用促進のため、構成する部材は、主柱をヒノキ集成材、中柱、横架材をスギ集成材、面材をスギCLTとしてすべて国産材を利用した。210角の柱脚金物、150角の柱頭柱脚金物には、②で試験を行った高耐力柱脚金物を使用した。予備試験で１体の試験を行い、これまでのCLT耐力壁と同等の壁倍率20倍相当を確認したため、本試験として３体の試験を行い、試験成績書としてまとめた。

国産材対応中層木造建築用 36mmCLT 耐力壁耐火仕様　試験体

② 国産材仕様中層用高耐力柱脚金物の開発

当協会ではこれまで柱木口に当てた鋼板製ベースプレート越しに木質構造用ねじを打ち込んで留め付ける高耐力柱脚金物の開発を行ってきた。一昨年度、昨年度は要求される耐力を満たした金物の試験を行ったが、溶接式、組み立て式のダブルベースだったためコストダウンを見込むことができなかった。今年度は、①で使用することを想定して210角、150角の柱に対応したシングルベースの高耐力柱脚金物の性能確認のための試験を行った。目標引張降耐力を210角仕様で394kN、150角仕様で230kNとした。予備試験は単調引張加力試験とし、仕様を変えて３回行った。１回目の予備試験では210角、150角ともにスギの集成材E65-F225を使用した。210角仕様は鋼板を32mm×210mm×320mm（SS400）にM22アンカーボルト（ABR490）４本で固定し、木質構造用ねじφ8-290～320と長さを変えた。150角仕様は鋼板を28mm×150mm×264mm（SS400）にM24アンカーボルト（ABR490）２本で固定し、φ8-230mm、290mmと長さを変えて試験を行った。２回目の予備試験では１回目と同様スギ集成材を使用し、鋼板が曲がらないよう厚さ、アンカーボルトの位置、ビス穴配置を変更して試験を行った。２回目の予備試験で母材の割裂、引張破壊が生じたため、３回目の予備試験ではヒノキ集成材に変更した。鋼板も材質をSS400からSM570に変更し、鋼板の曲げが生じないようにした。ビスの長さ、配置を変更して試験を行い、目標耐力を達成する仕様を確認した。

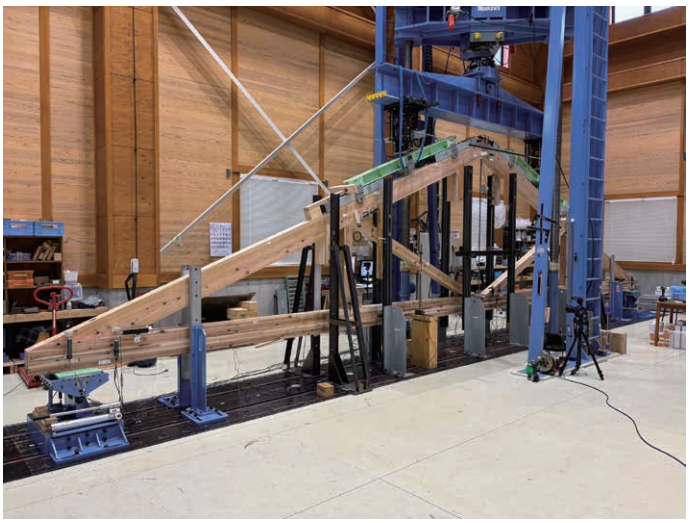
本試験では、柱をヒノキ集成材とした。210角仕様は木口に鋼板32mm×230mm×230mm（SM570）をビスφ8-230mm×45本で留めて、M22アンカーボルト（ABR490）４本で固定した。150角仕様は木口に鋼板32mm×150mm×200mm（SM570）をビスφ8-260mm×20本で留めて、M24アンカーボルト（ABR490）２本で固定した。繰り返し引張加力試験を各６体行い、柱脚接合部の性能を確認した。

国産材仕様中層用高耐力柱脚金物　150角仕様　引張試験の様子

③ 木質構造用全ねじ長ビス斜め打ちを併用した木造トラスの高耐力引きボルト式継手の拡充と木質ラーメン架構への応用・展開

• 木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用引きボルト式継手

昨年度に実施した事業の性能検証実験では、木造トラスの下弦材の引張継手に木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを併用した引きボルト式継手を用いることで、引張継手や木造トラスが、より高い剛性と耐力を得ることを確認した。今年度は、木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを併用した引きボルト式継手の汎用性を高めるため、JIS A 3301-2015:木造校舎の構造設計標準に例示仕様が示されている木造トラス（以下、JISトラス）の下弦材の継手での使用を想定し、国産材のスギ・ヒノキ等の120×240mmの平角材を用いた試験体による要素引張実験を行い、その力学的性能を把握した。また、斜め打ちされた木質構造用全ねじ長ビスの1本あたりの力学的性能を把握するため、木材の繊維45度方向に斜め打ちした試験体を用い、ねじの打込長等をパラメーターにした引抜実験を実施した。さらに、前述の継手の仕様と同じ木質構造用全ねじ長ビス併用引きボルト式継手を下弦材に用いたJISトラスの実大試験体による静的加力実験を行い、実大のトラスにおいても前述の引張継手等がその性能を発揮し、木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちが引張継手や合掌尻などの木造トラスにおける主要な接合部や、架構全体の剛性と耐力の向上に寄与することを確認した。

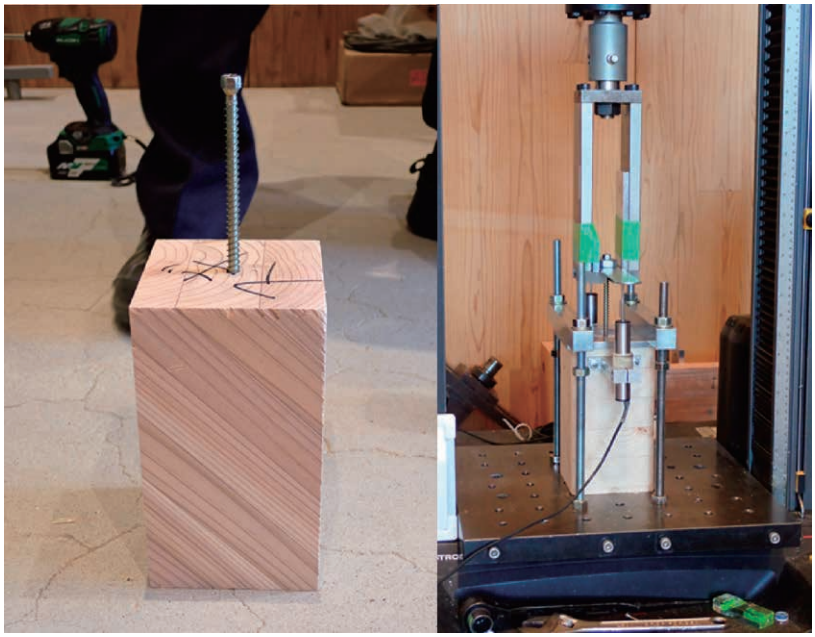


引張継手と合掌尻を木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちにより補強したJISトラスの実大試験体による静的加力実験

• 斜めビス打ち併用ラーメン柱脚接合部

狭小間口の中層木造建築物で必要なラーメン架構を、より安価に制作できるように、従来の引きボルト式接合部に斜めビスで補強して、より高耐力のラーメン柱脚接合部を開発した。昨年度行った引きボルト式接合部の引張試験より、角型鋼管を座金の代わりに使用して木質構造用ねじを斜めに打って補強した仕様が十分な引張耐力を確認できたため、角型鋼管ビス補強の仕様を使用した引きボルト式ラーメン柱脚接合部の設計を行った。予備試験では、座金を使用した従来の引きボルト式ラーメン柱脚接合部をコントロールとして、角型鋼管ビス補強仕様と各３体の試験を行った。割裂防止ビスを施した仕様で、想定する耐力を確認できたため、角型鋼管ビス補強仕様に割裂防止ビスを追加した仕様で本試験３体行い、試験成績書としてまとめた。

木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用引きボルト式継手の引張実験



木材繊維方向45°斜め打ち木質構造用全ねじ長ビスの引抜実験

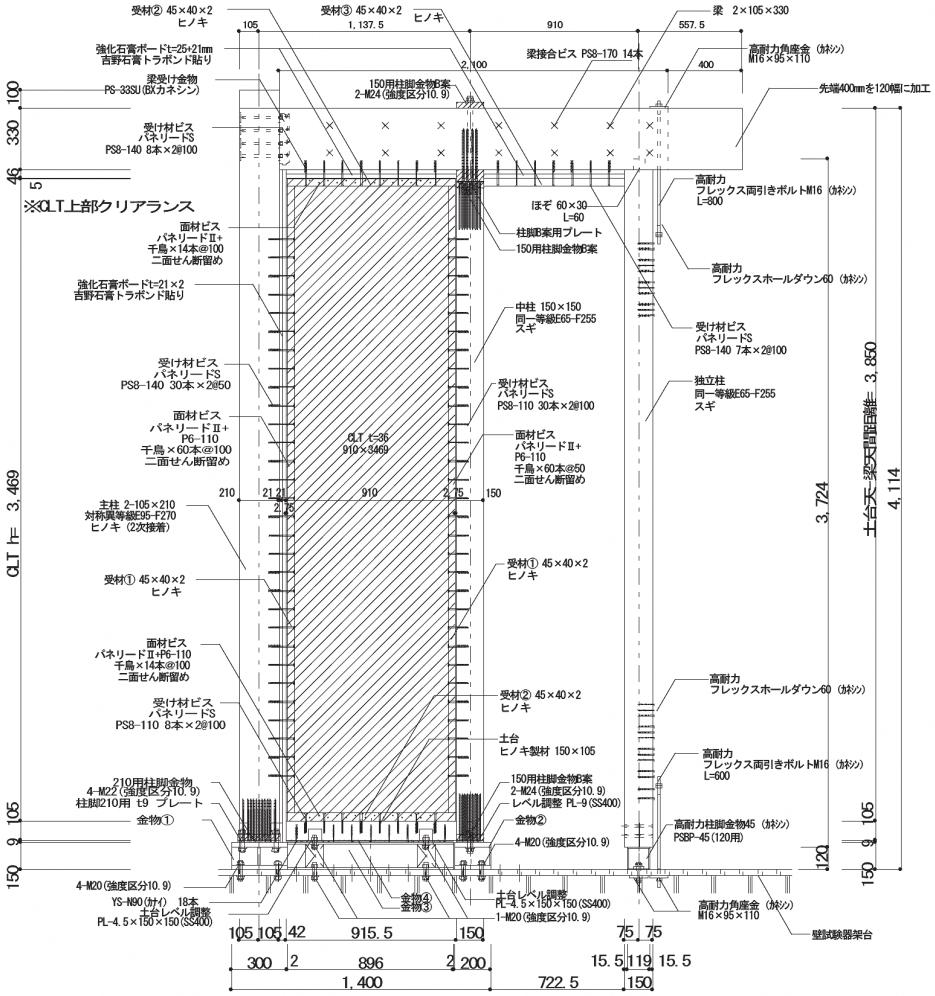
④ 中層木造建築普及促進加速化事業　在来軸組構法の４階建て木造への拡張PJ

４階建て木造建築物のプランニングをする際に、耐力壁の配置は間取りに大きく影響する。構造設計に入る前の意匠設計の段階で耐力壁がどれだけ必要か把握できるようにすることで、構造設計を考慮した意匠設計ができるようになる。４階建て耐火建築物の仕様から荷重を算定し、今年度開発した36mmCLT耐力壁耐火仕様など使用した場合にどれだけの壁量が必要か試算する。

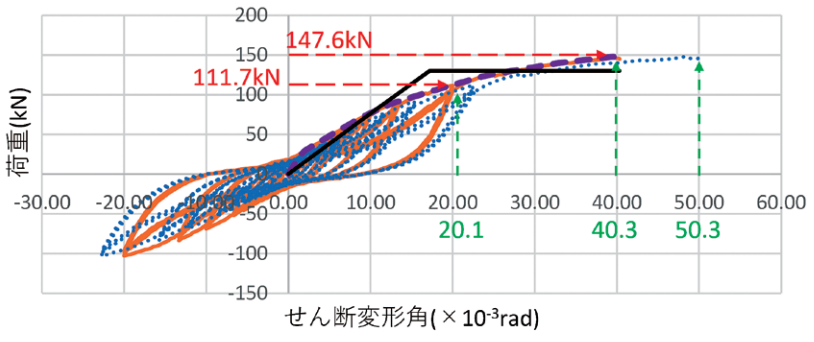
実施した結果

① 国産材対応中層木造建築用 36mmCLT 耐力壁耐火仕様

予備試験は主柱 210 角ヒノキ集成材、中柱 150 角スギ集成材、横架材スギ集成材 105mm × 300mm を 2 本抱き合わせ、土台ヒノキ製材 150mm × 105mm を使用した。主柱、横架材に 1 時間耐火被覆として強化石膏ボード t21 を 2 枚貼り、その上から 36mmCLT の受材をビスで留めてせん断力を伝達させるようにした。予備試験では真のせん断変形角 1/25rad 時に主柱柱脚部が割裂破壊しビスが引き抜けた。Py=78kN、Pmax=147kN の性能を確認した。壁倍率は (0.2/Ds) × Pu で決定し 22 倍相当だった。予備試験では主柱、半柱に割裂補強ビスを施工していなかったため、主柱が割裂し破壊に至ったと推測される。



CLT 耐力壁耐火仕様　試験体



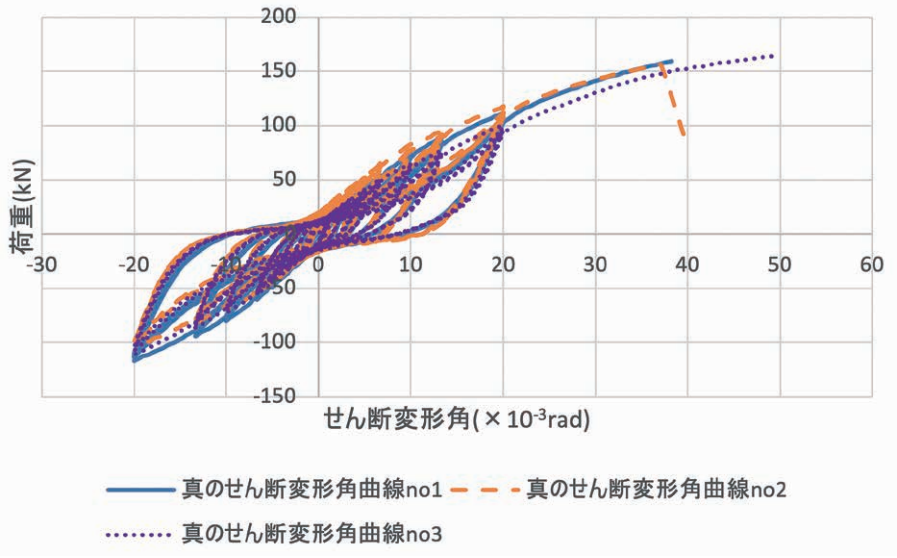
予備試験　荷重 - せん断変形角曲線

予備試験　壁倍率算定のための指標

	P_y	$(0.2/DS)\times P_u$	$2/3P_{max}$	$1/150\,\mathrm{rad}\,P$	$1/300\,\mathrm{rad}\,P$
no1	78.5	50.0	98.5	57.6	37.4
平均	78.5	50.0	98.5	57.6	37.4
ばらつき係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
基準耐力	78.5	50.0	98.5	57.6	37.4
許容耐力	78.5	50.0	98.5	57.6	37.4
壁倍率	35.2	22.4	44.2	25.8	16.8

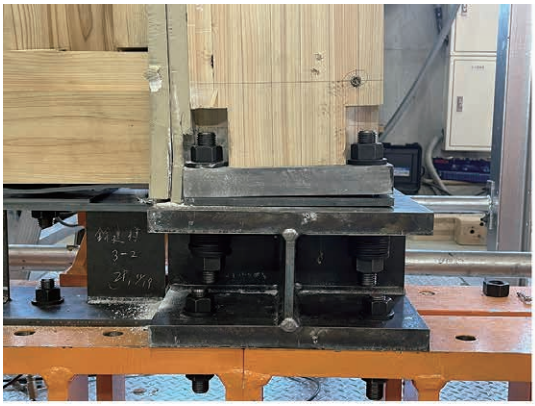
主柱　柱脚部の割裂破壊の様子

本試験では、主柱、中柱ともヒノキ集成材として、柱頭柱脚金物部に割裂防止ビスを施工した。柱脚金物を固定するアンカーボルトをABR490に変更して、アンカーボルトの伸びを期待した。本試験の結果、1体目、2体目は真のせん断変形角1/25rad程度で36mmCLTが縦にせん断破壊した。3体目は真のせん断変形角1/20radまで破壊は見られ無かった。Pyは平均で79.8kN、Pmaxは平均で159.6kNの性能を確認した。壁倍率は(0.2/Ds)×Puで決定し21倍相当だった。

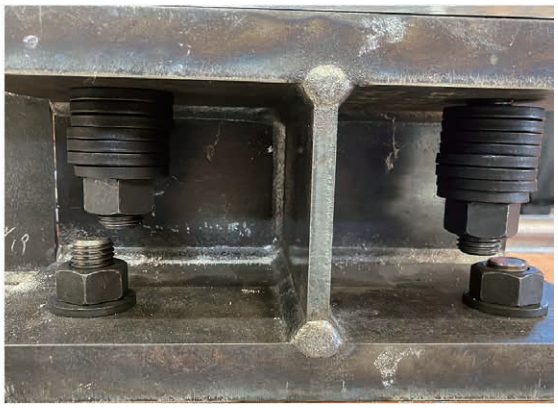


本試験　荷重-せん断変形角曲線

CLTパネルの割裂破壊の様子



主柱　柱脚部の伸びの様子



主柱　柱脚部の伸び確保のための座金

本試験　壁倍率算定のための指標

	P_y	$(0.2/DS)\times P_u$	$2/3P_{max}$	$1/150\,\mathrm{rad}\,P$
no1	79.4	46.6	106.1	53.3
no2	78.0	51.7	103.4	65.0
no3	81.9	49.6	109.7	50.0
平均	79.8	49.2	106.4	56.1
標準偏差	1.98	3.26	3.16	7.88
変動係数	0.025	0.067	0.030	0.140
ばらつき係数	0.988	0.968	0.986	0.934
基準耐力	78.8	47.3	104.9	52.4
許容耐力	78.8	47.3	104.9	52.4
壁倍率	35.3	21.2	47.1	23.5

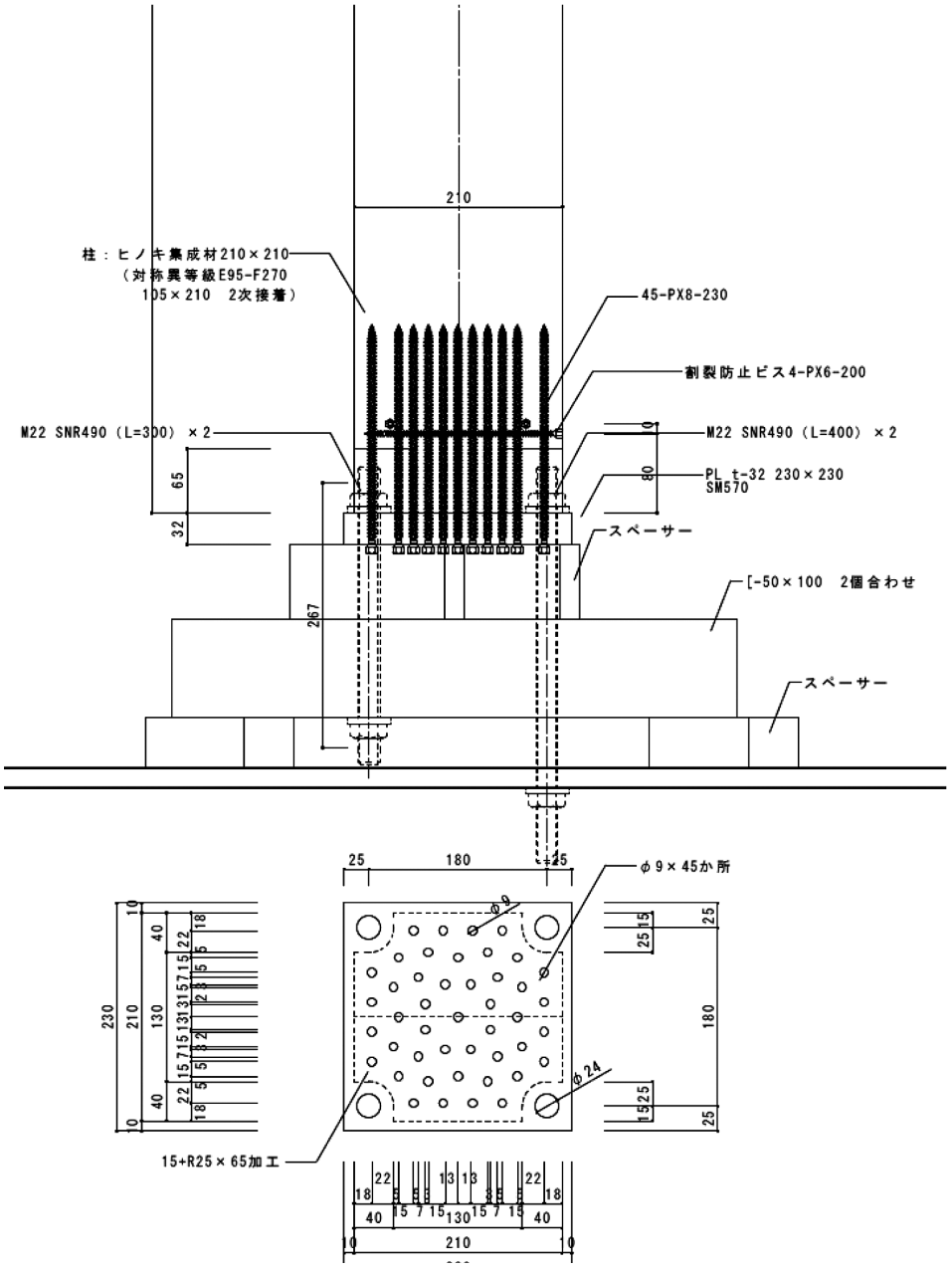
本試験　構造特性値

	降伏時 P_y (kN)	降伏時 γ_y (10^{-3} rad)	初期剛性 K (10^{-3} kN/ rad)	終局変形角 γ_u (10^{-3} rad)	降伏変形角 γ_v (10^{-3} rad)	終局耐力 P_u (kN)	塑性率 μ	構造特性 Ds
no1	79.4	11.3	7025	38.2	19.2	135.0	1.99	0.58
no2	78.0	8.87	8618	37.1	15.2	131.9	2.44	0.51
no3	81.9	13.4	5754	50.2	25.0	143.7	2.00	0.58
平均	79.8	11.2	7132	41.8	19.8	136.9	2.14	0.56

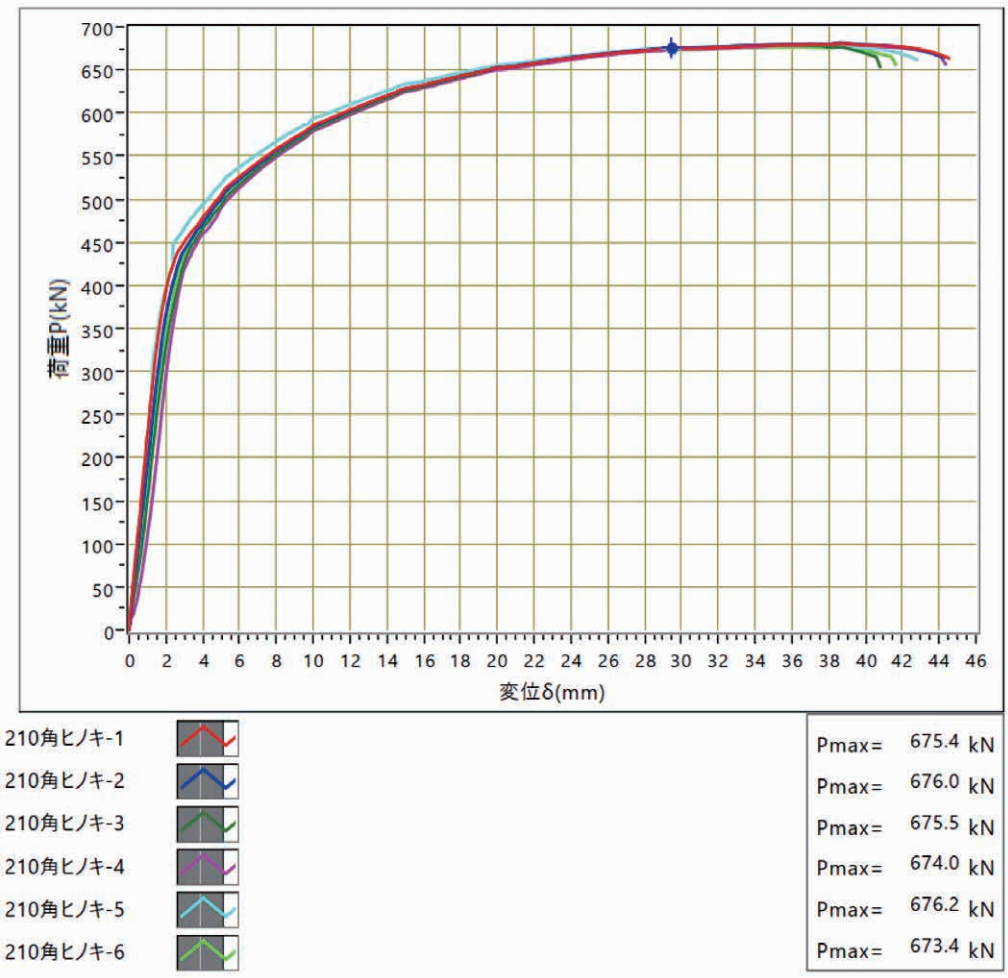
② 国産材仕様中層用高耐力柱脚金物の開発

本試験では、210角仕様、150角仕様各６体ずつ、繰り返し引張加力試験を行った。

210角仕様ではすべての試験体において木部は破壊せず、アンカーボルトが伸びてPmax=675kNに達したのち、荷重が低下し始めたため試験終了とした。基準耐力はPyで決まり、405kNで目標耐力を10kNほど上回る結果となった。SNB7のボルトに変更して木部の性能を確認したところ、Pmax=800kN～900kNでアンカーボルトより先に木部が破壊しないことが確認できた。



高耐力柱脚金物　210角仕様　試験体

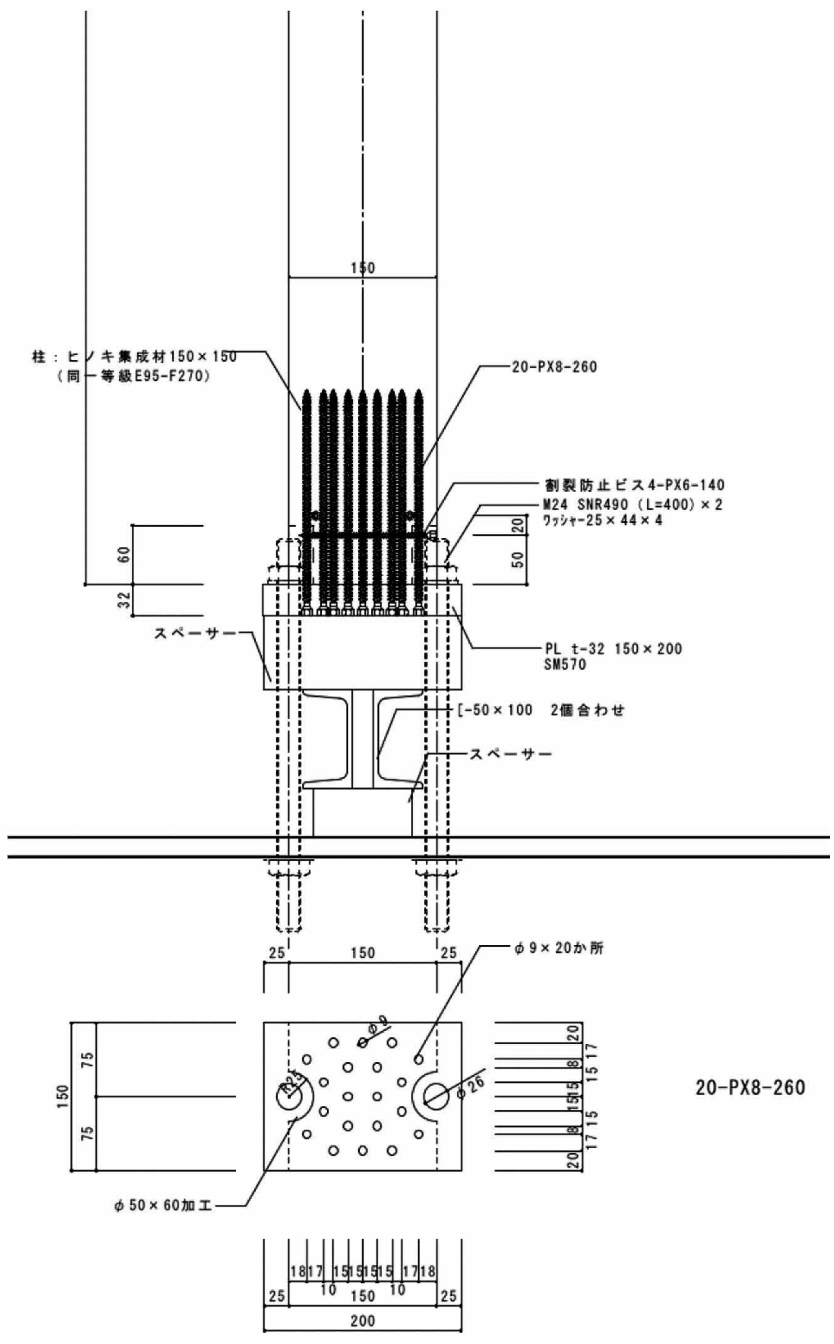


国産材仕様高耐力柱脚金物210角仕様　本試験　荷重変位曲線

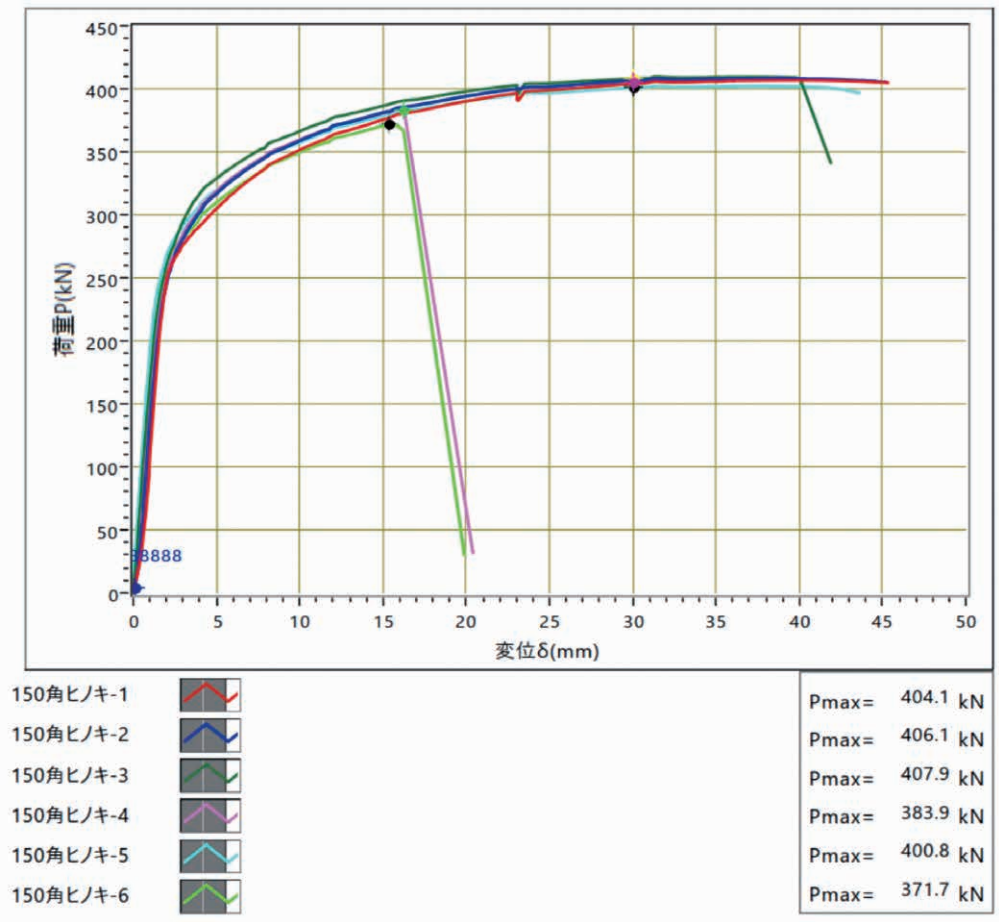
耐力算定のための基礎資料

	降伏時 Py(kN)	降伏時 δy(mm)	2/3Pmax P(kN)	2/3Pmax δ(mm)	Pmax P(kN)	Pmax δ(mm)
210角ヒノキ-1	416.87	2.28	450.25	3.00	675.37	29.47
210角ヒノキ-2	419.04	2.59	450.68	3.30	676.02	29.48
210角ヒノキ-3	420.31	2.92	450.31	3.56	675.47	29.46
210角ヒノキ-4	421.26	3.05	449.32	3.70	673.98	29.47
210角ヒノキ-5	434.31	2.38	450.79	2.50	676.19	29.47
210角ヒノキ-6	414.69	2.67	448.93	3.39	673.40	29.49
平均	421.08	2.65	450.05	3.24	675.07	29.47
標準偏差	6.90	0.30	0.75	0.43	1.13	0.01
変動係数	0.016	-	0.002	-	-	-
ばらつき係数	0.963	-	0.995	-	-	-
基準耐力	405.50	-	447.80	-	-	-

150角仕様は４体目、６体目以外は、木部で破壊せず、アンカーボルトが伸びてPmax=400～407kNに達したのち、荷重が低下し始めたため試験終了とした。４体目、６体目は、371～383kNでビスが引き抜けた。基準耐力はPyで決まり、236kNで目標耐力を達成する結果となった。ビスの引き抜けが起きなかった試験体で、ボルトをSNB7に変更して木部の性能を確認したところ、Pmax=440kN程度となった。



高耐力柱脚金物　150 角仕様　試験体



国産材仕様高耐力柱脚金物150角仕様　本試験　荷重変位曲線

耐力算定のための基礎資料

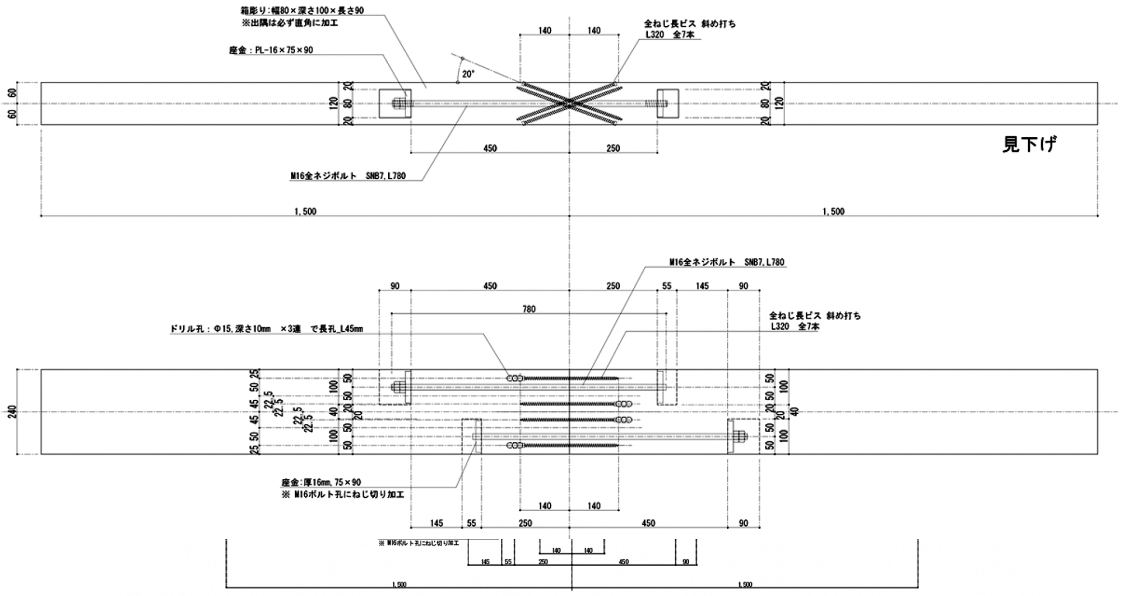
	降伏時 Py(kN)	降伏時 δy(mm)	2/3Pmax P(kN)	2/3Pmax δ(mm)	Pmax P(kN)	Pmax δ(mm)
150角ヒノキ-1	255.01	2.16	269.17	2.66	403.75	30.00
150角ヒノキ-2	257.61	2.27	270.70	2.60	406.05	30.00
150角ヒノキ-3	264.94	2.11	271.95	2.31	407.92	30.00
150角ヒノキ-4	247.89	1.98	255.93	2.11	383.90	16.27
150角ヒノキ-5	258.11	1.81	267.18	2.00	400.77	30.00
150角ヒノキ-6	243.56	1.57	247.79	1.65	371.69	15.36
平均	254.52	1.98	263.79	2.22	395.68	25.27
標準偏差	7.69	0.26	9.72	0.38	14.58	7.33
変動係数	0.030	-	0.037	-	-	-
ばらつき係数	0.930	-	0.914	-	-	-
基準耐力	236.70	-	241.10	-	-	-

③ 木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを併用した木造トラスの高耐力引きボルト式継手の拡充と木質ラーメン架構への応用・展開

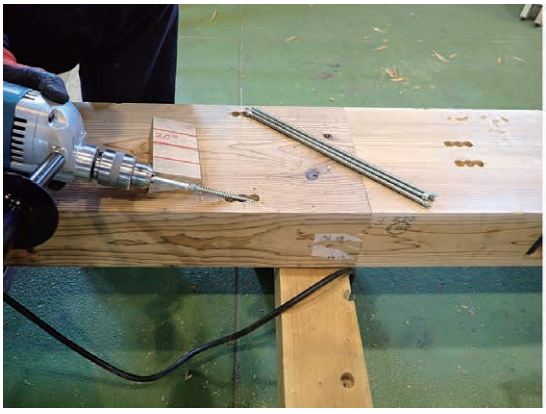
• 木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用引きボルト式継手の引張実験

JISトラスの下弦材の継手での使用を想定し、国産材のスギ・ヒノキ・カラマツの120×240mmの平角製材や平角集成材を用いた試験体による要素引張実験を行った。試験体は下図のとおり、M16丸鋼を用いた引きボルト式継手(ボルト鋼材種：SNB7)に加えて、計7本の軸径6mm,長さ320mmの全ねじ長ビスを木口に向かって斜め20°の角度で打ち込み、2材を緊結した。

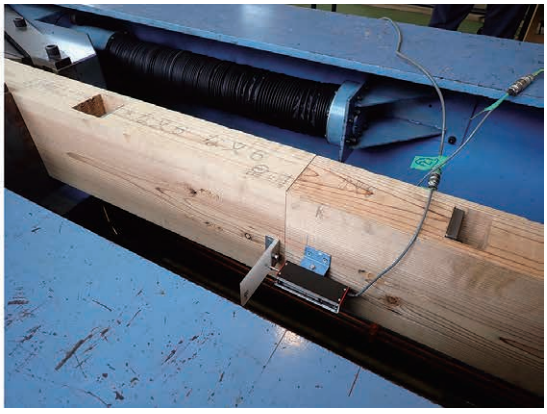
実験結果と基準耐力等は下表のとおりで、主な破壊性状は、初期の剛性が低下した後、荷重の漸増が継続する途中で、木部のせん断破壊や引張破壊、座金の支圧面からの縦割裂等が瞬時に発生する、木部の脆性的な破壊であった。既往研究による類似の試験体の実験結果との比較では、スギ製材の試験体が最大荷重等のばらつきが大幅に抑えられたこと等により、短期基準耐力が4倍程度増大した。スギ集成材やカラマツ集成材も、概ね、同等以上の耐力値が得られた。また、いずれの仕様の試験体も、初期剛性の増大が特に著しく、約2.8～4.9倍の値となった。以上の実験結果から、全ねじ長ビスの斜め打ちを引きボルト式継手に併用することで、スギ製材の継手では木部の破壊時の荷重のばらつきを抑える効果が期待でき、いずれの樹種においても継手の初期剛性を高める効果が得られると考えられる。



木質構造用全ねじビス斜め打ち併用引きボルト式継手の引張実験：試験体図



全ねじ長ビスの斜め打ち施工状況

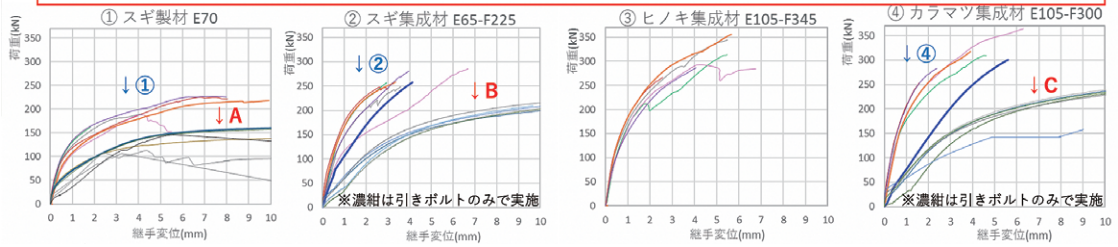


引張試験状況

・主な特性値と短期基準耐力等の算出

	樹種	強度等級	初期剛性平均 K kN/mm	最大荷重平均 Pmax kN	Pmax時変位平均 δmax mm	2/3 平均 Pmax kN	標準偏差	変動係数 %	ばらつき係数	Pmaxによる耐力 kN	降伏耐力平均 Py kN	降伏変位平均 δy mm	標準偏差	変動係数 %	ばらつき係数	Py による耐力 kN	短期基準耐力 kN	長期許容耐力 kN	※ボルトのみ 初期剛性 K kN/mm	※ボルトのみ 最大荷重 Pmax kN	※ボルトのみ 降伏耐力 Py kN
①	スギKD	E70	141.6	201.6	5.61	134.4	15.7	11.71	0.73	97.6	108.3	0.82	13.9	0.13	0.70	75.7	75.7	41.7			
②	スギEW	E65-F225	168.9	263.8	3.95	175.9	10.4	5.90	0.86	151.6	138.3	0.85	7.2	5.24	0.88	121.4	121.4	66.8	95.9	257.7	128.4
③	ヒノキEW	E105-F345	174.2	310.1	4.56	206.7	23.2	11.24	0.74	152.5	168.3	0.99	22.8	13.58	0.68	114.9	114.9	63.2			
④	カラマツEW	E105-F300	227.6	305.3	3.74	203.6	24.7	12.15	0.70	142.6	162.6	0.76	21.6	13.27	0.67	109.5	109.5	60.2	69.4	300.3	174.0
比較(※)	A. スギKD	E70	50.7	138.7		92.5			0.62	57.7	66.0				0.28	18.7	18.7	10.3	※ボルトはZマーク金物		
	B. スギEW	E65-F225	41.3	227.1		151.4			0.81	122.5	137.5				0.85	116.6	116.6	64.1	※ボルトはS45C		
	C. カラマツEW	E95-F270	46.5	236.4		157.8			0.62	97.2	143.3				0.76	109.2	97.2	53.5			

(※ 出典：田尾玄秀 他：平角製材及び集成材の引張継手に関する実験的研究, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp.643-648, 2018.6)

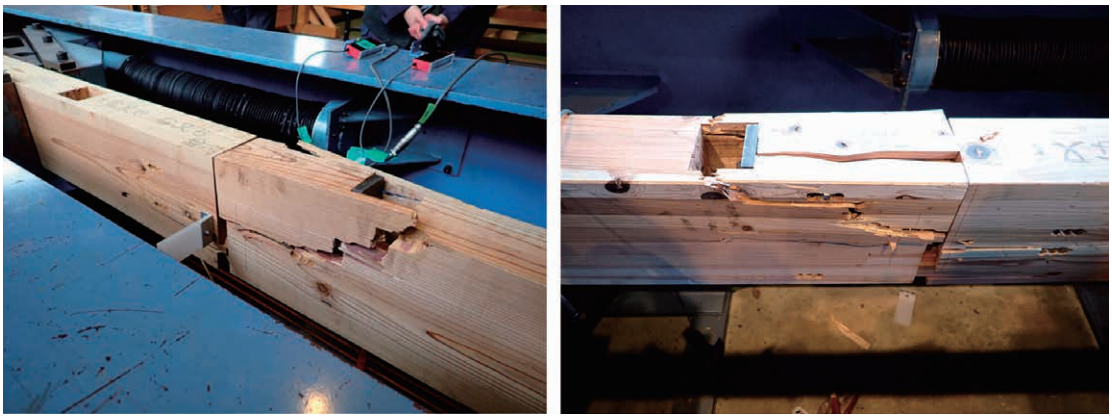


・引きボルト式継手　全ねじ長ビス斜め打ちの有無による特性値等の比較

		K：初期剛性	Pmax：最大荷重	Py：降伏耐力	短期基準耐力
スギ製材	①／A.	2.79	1.45	1.64	4.05
スギ集成材	②／B.	4.09	1.16	1.01	1.04
カラマツ集成材(※)	④／C.	4.89	1.29	1.13	1.13

※ ④は、E105-F300,　C.は、E95-F270

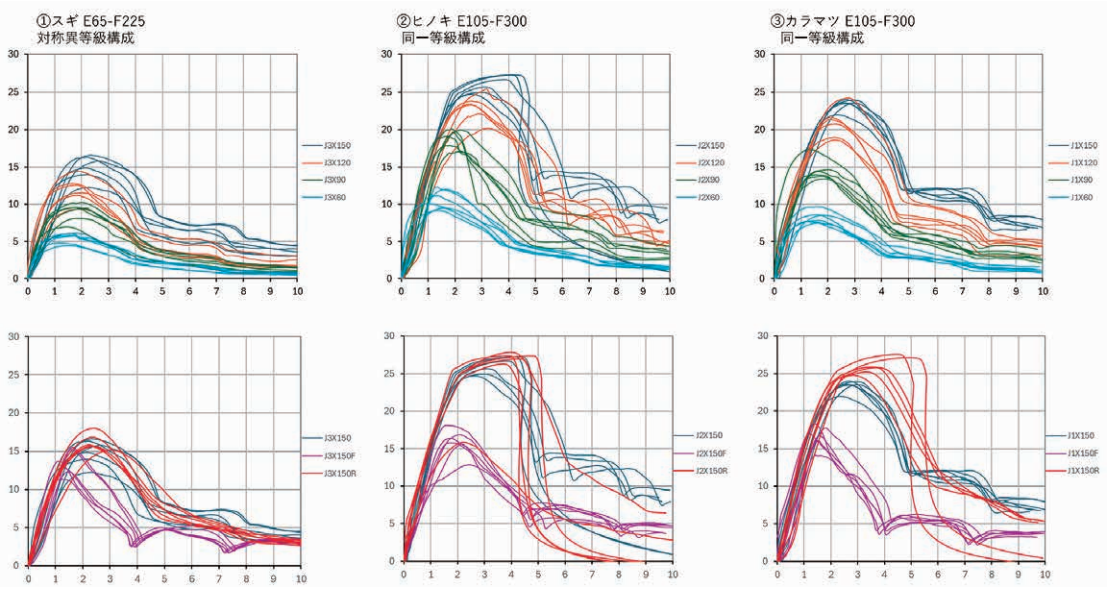
木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用引きボルト式継手の引張実験：
主な特性値と短期基準耐力および荷重ー変位関係曲線、既往研究の実験結果との比較



木質構造用全ねじ長ビス斜め打ち併用引きボルト式継手の引張実験：破壊状況

- **45°斜め打ち木質構造用全ねじ長ビス引抜実験**

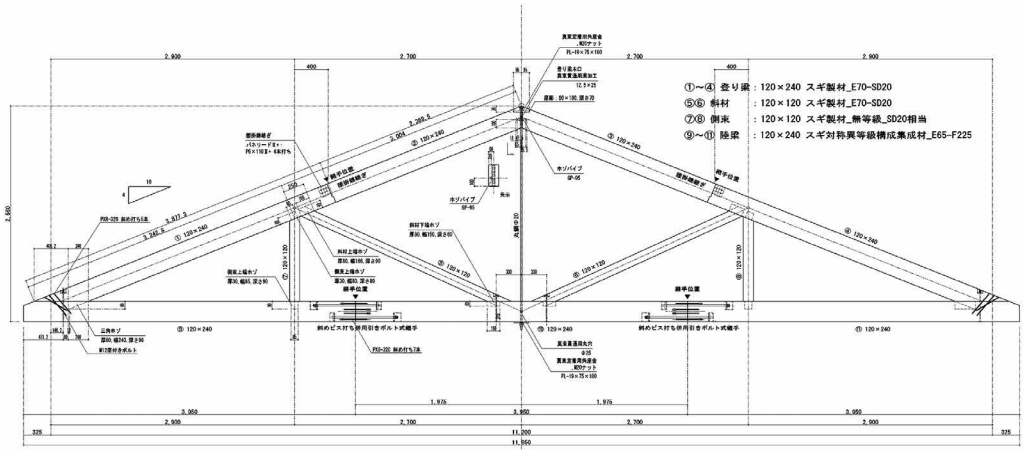
　木材に斜め打ちされた木質構造用全ねじ長ビスの１本あたりの力学的性能を把握するため、木材の繊維 45 度方向に斜め打ちした試験体を用い、ねじの打込長等をパラメーターにした引抜実験を実施した。使用する全ねじ長ビスは、国内の主要な各メーカーの市場流通品から３種を用いた。また、試験体の木材は、国産のスギ、ヒノキ、カラマツの構造用集成材を用い、全ねじ長ビスの打ち長さをパラメーターにして60,90,120,150 と変化させた。比較のため、同一の打ち込み長さで、繊維方向および繊維直交方向に打ち込んだ試験体についても引抜実験を行った。実験結果より、各試験体について､各種の全ねじ長ビスの打ち込み長さ毎の剛性値や短期基準耐力が明らかになった。また、ユーロコード (欧州構造基準) 等に記された、斜め打ちされた全ねじ長ビスの耐力推定式等との比較検証を行うための実験データが得られた。



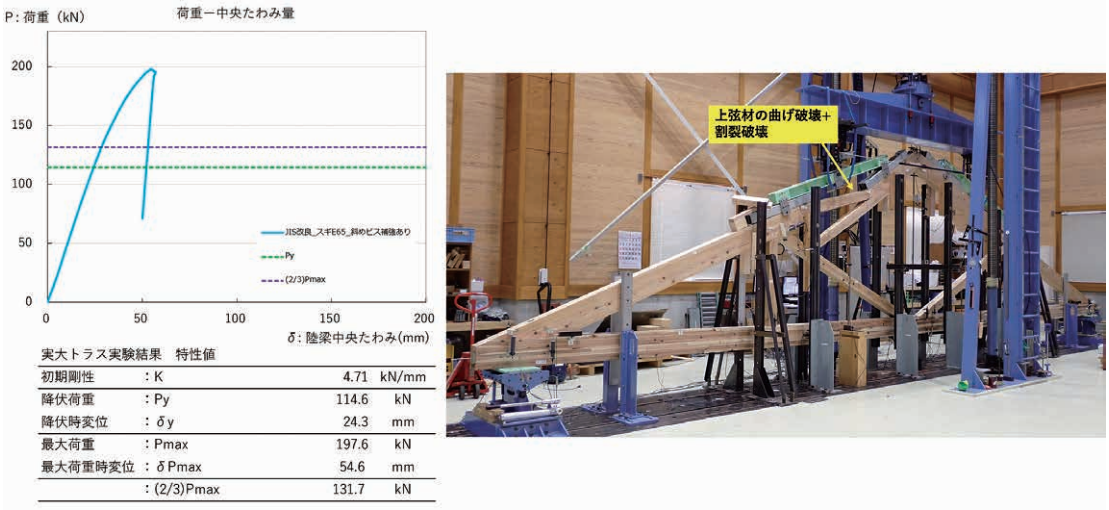
45°斜め打ち木質構造用全ねじ長ビス引抜実験：荷重ー変位関係曲線（一部）と試験体の破壊状況

• 木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部に併用したJISトラスの実大試験体による静的加力実験

前述の継手の仕様と同じ木質構造用全ねじ長ビス併用引きボルト式継手を下弦材に用いたJISトラスの実大試験体による静的加力実験を行った。初期剛性Kは4.71kN/mm、降伏荷重:Pyは約115kN、最大荷重は約198kNとなり、最終的に登り梁の曲げ破壊が生じて加力を終了した。全ねじ長ビスの斜め打ちを併用して補強を行った、下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部では、加力終了時まで目立った破壊が生じることなく、すべり量も比較的軽微であった。過去の既往のJISトラスの静的加力実験の結果との比較では、初期剛性や最大荷重等が大幅に高い値となった。また、降伏荷重の値は、JISの荷重等級が3級(多雪区域、積雪100cm)の積雪時短期荷重を上回り、最大荷重の値は、荷重等級が3級の場合の目標終局荷重を上回った。実大のトラスにおいても、木質構造用全ねじ長ビスによる斜め打ち補強がその効果を発揮し、引張継手や合掌尻などの木造トラスにおける主要な接合部や、架構全体の剛性と耐力の向上に寄与することを確認した。

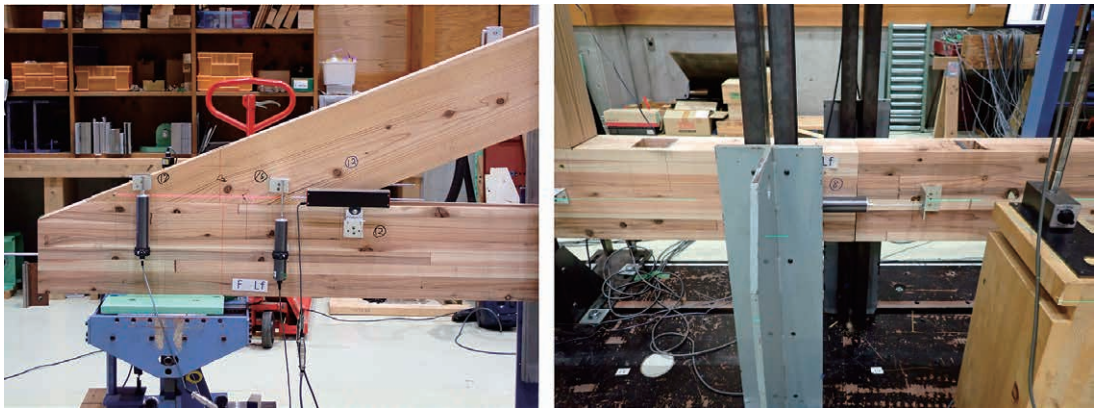


木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部に併用したJISトラスの静的加力実験：試験体図

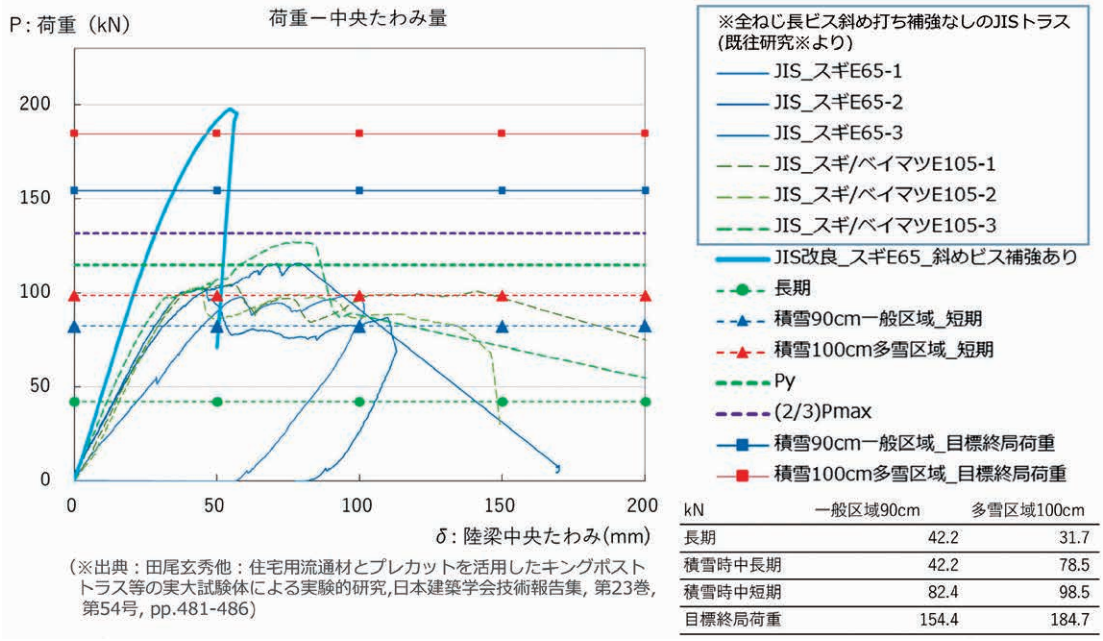


実大トラス実験結果　特性値			
初期剛性	：K	4.71	kN/mm
降伏荷重	：Py	114.6	kN
降伏時変位	：δy	24.3	mm
最大荷重	：Pmax	197.6	kN
最大荷重時変位	：δPmax	54.6	mm
	：(2/3)Pmax	131.7	kN

木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部に併用したJISトラスの静的加力実験：荷重ー中央たわみ関係曲線と特性値および最終破壊状況



木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部に併用したJISトラスの静的加力実験：加力終了時の合掌尻および引きボルト式継手の状況



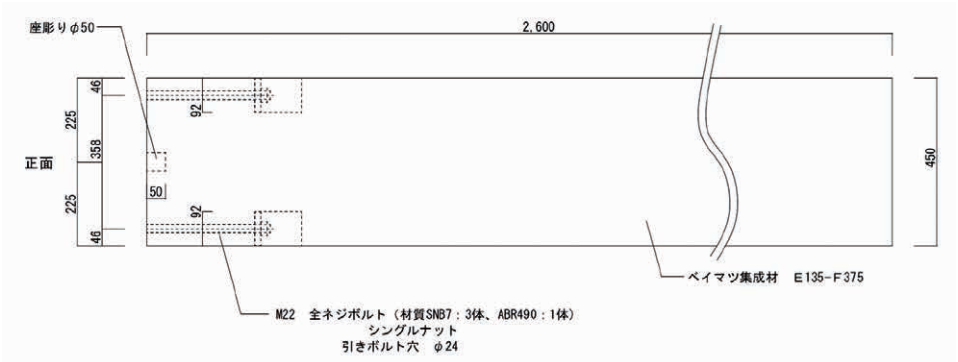
（※出典：田尾玄秀他：住宅用流通材とプレカットを活用したキングポストトラス等の実大試験体による実験的研究,日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第54号, pp.481-486）

kN	一般区域90cm	多雪区域100cm
長期	42.2	31.7
積雪時中長期	42.2	78.5
積雪時中短期	82.4	98.5
目標終局荷重	154.4	184.7

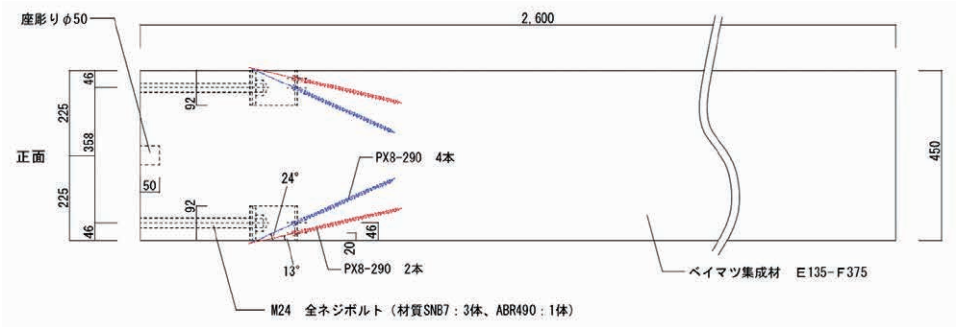
木質構造用全ねじ長ビスの斜め打ちを下弦材の引きボルト式継手や合掌尻接合部に併用したJISトラスの静的加力実験：全ねじ長ビス斜め打ち補強なしのJISトラスとの荷重ー中央たわみ関係曲線および、JIS荷重条件の２級(積雪90cm,一般区域)、３級(積雪100cm,多雪区域)における目標荷重との比較

・斜めビス打ち併用ラーメン柱脚接合部

「木造ラーメンの評価方法･構造設計の手引き」のモーメント抵抗接合部の面内曲げ試験方法に則り､ラーメン柱脚接合部の試験を行った。ラーメン柱はべいまつ集成材E135-F375　120㎜×450㎜を標準とした。接合部の仕様は、座金75㎜×90㎜×16㎜をM22のボルトで接合する引きボルト式（HB-1）をコントロールとして、角型鋼管63㎜×80㎜×9㎜にビス穴加工をして、φ8㎜長さ290㎜の木質構造用ねじ５本で補強して、M24のボルトで接合する引きボルト式（HB-2）の性能を予備試験で確かめた。ラーメン柱脚接合部の終局時保証設計として、木部がボルトより先行破壊しないことを確認するため、ボルトにSNB7を使用した試験を行い、実設計で使用するボルトABR490の引張破断上限値を超えることを確認した。想定する耐力が確認できた仕様で、ボルトをABR490に変更してボルトの伸びも考慮した試験を行った。

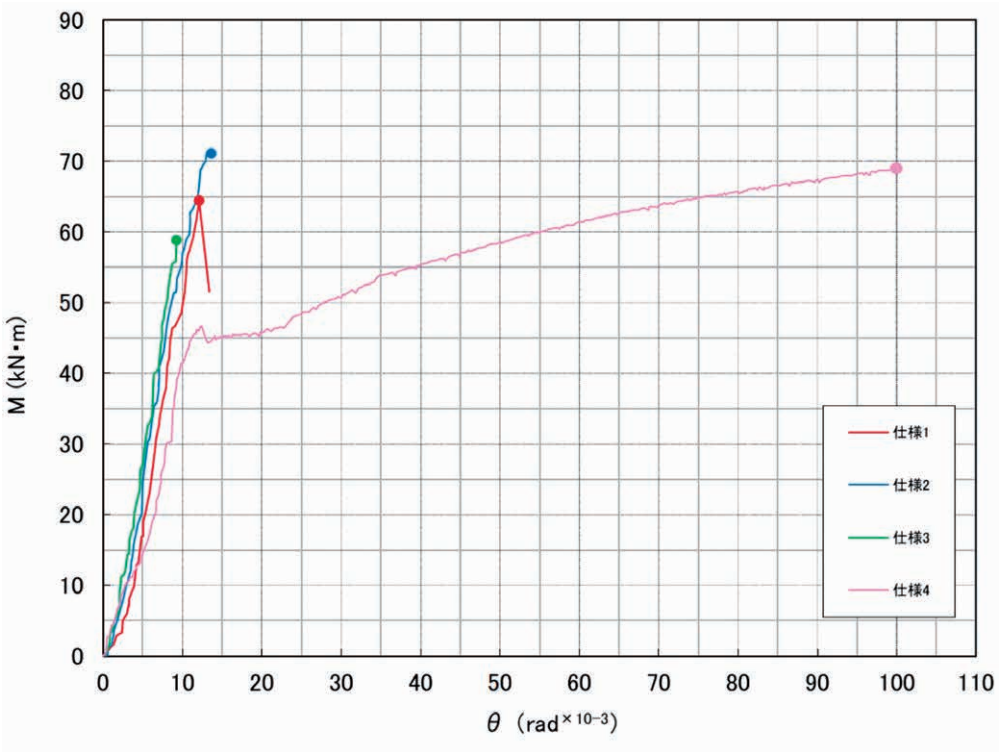


HB-1 試験体図



HB-2 試験体図

HB-1仕様の１体目は座掘部分が座金によって引っ張られ、せん断破壊したため、２体目以降割裂補強ビスを小口付近と座金付近に２本ずつ、計８本施工した。ボルトをABR490とした４体目の試験ではMmax=69kN・mという結果となった。ボルトが伸び、1/10radでも木部、ボルトの破壊はしなかった。



HB-1 仕様　M-θ曲線の包絡線

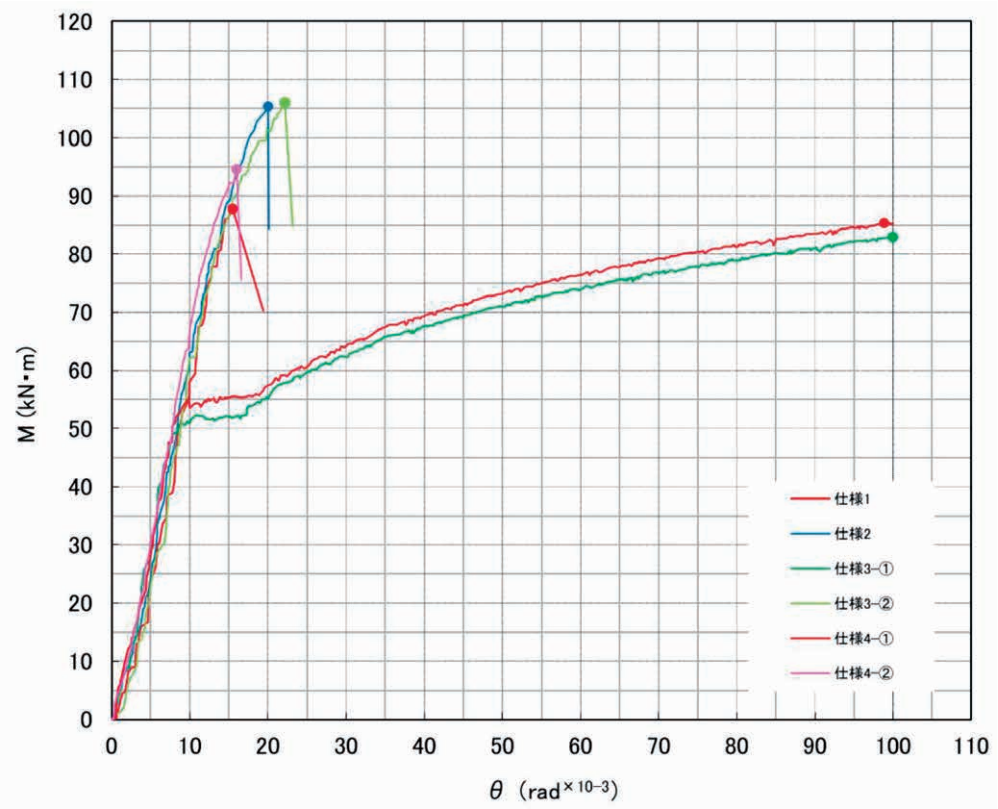
HB-1 仕様　特性値一覧

試験体記号	Mmax	θMmax	My	θy	終局耐力 Mu	終局変形角 θu	降伏変形角 θv	初期剛性 K	塑性率 μ
	kN・m	×10⁻³rad	kN・m	×10⁻³rad	kN・m	×10⁻³rad	×10⁻³rad	kN・m/rad	—
仕様1	64.46	12.10	—	—	—	13.37	—	—	—
仕様2	71.14	13.62	36.76	6.88	64.76	13.62	12.12	5,343.02	1.12
仕様3	58.88	9.24	—	—	—	9.24	—	—	—
仕様4	69.04	100.00	—	—	—	100.00	—	—	—
平均	65.88	33.74	—	—	—	34.06	—	—	—

HB-1　せん断破壊

HB-2仕様の１体目は引張によって割裂破壊したため、２体目以降割裂補強ビスを２本ずつ計４本柱木口に近い位置に施工し試験を行った。SNB7ボルトで木破した最大モーメント時のボルト軸力はいずれもABR490のM24ボルトの引張破断上限値215.33kNを上回っており、ボルトをABR490に変更して場合の終局保証設計が成立することを確認した。

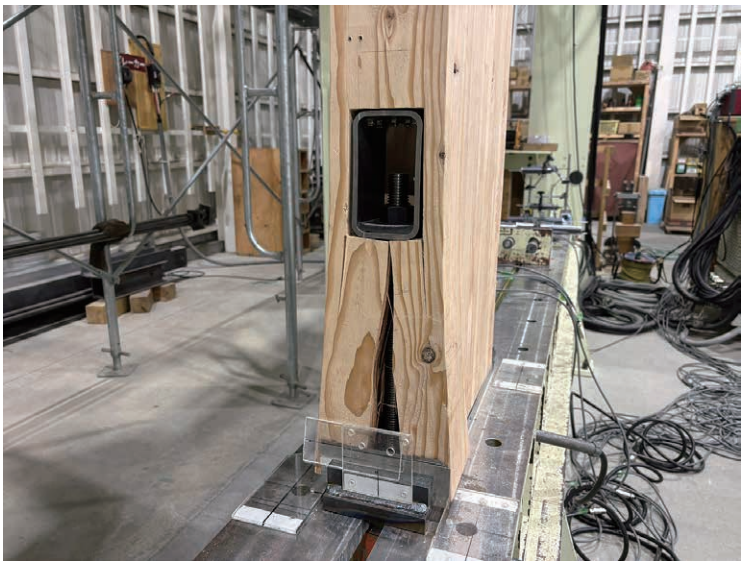
ボルトをABR490とした３体目、４体目の試験ではMmax=83kN・m、85kN・mで、接合効率は母材断面の57%になることを確認できた。



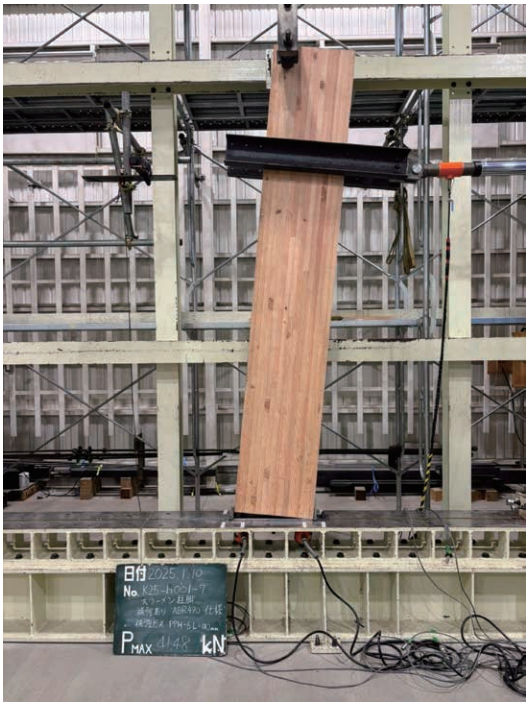
HB-2仕様　M-θ曲線の包絡線

HB-2仕様　特性値一覧

試験体記号	Mmax	θMmax	My	θy	終局耐力 Mu	終局変形角 θu	降伏変形角 θv	初期剛性 K	塑性率 μ
	kN・m	×10⁻³rad	kN・m	×10⁻³rad	kN・m	×10⁻³rad	×10⁻³rad	kN・m/rad	—
仕様1	87.76	15.49	—	—	—	19.40	—	—	—
仕様2	105.36	20.04	74.90	12.09	91.24	20.12	14.73	6,195.20	1.37
仕様3 ①	82.95	100.00	50.65	8.65	70.62	100.00	12.06	5,855.49	8.29
仕様3 ②	105.98	22.17	67.53	11.26	90.00	23.17	15.01	5,997.34	1.54
仕様4 ①	85.34	98.87	54.64	9.50	73.04	100.00	12.70	5,751.58	7.87
仕様4 ②	94.58	15.99	—	—	—	16.59	—	—	—



HB-2　割裂破壊



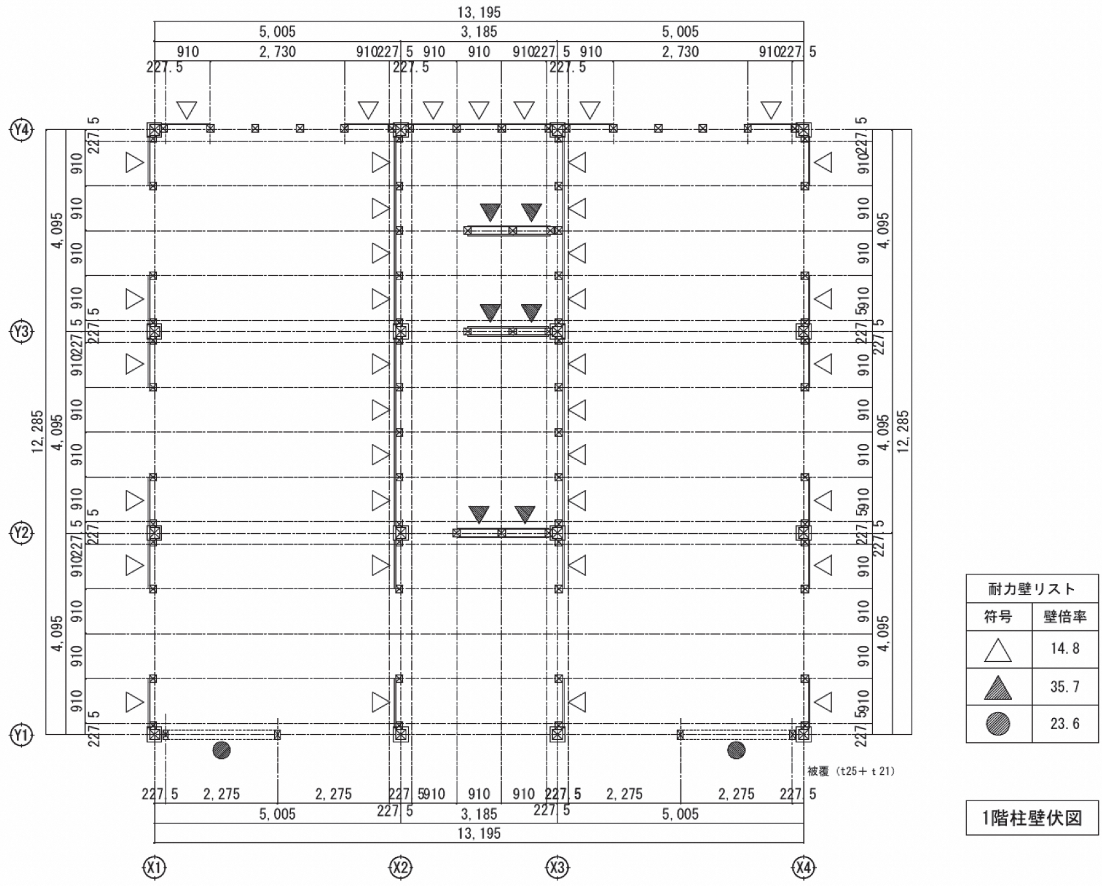
HB-2　試験終了後全体

HB-2　アンカーボルトの伸び、割裂防止ビス

④ 中層木造建築普及促進加速化事業　在来軸組構法の４階建て木造への拡張PJ

昨年度試設計した４階建て木造耐火建築物の使用材料を国産材に置き換えて、各階荷重を算出した。各階高3.2m、標準せん断力係数C0=0.2として、必要せん断耐力を算定した結果、１階507.0kN、２階419.9kN、３階303.2kN、４階137.3kNとなった。

壁倍率23倍相当の格子耐力壁や、壁倍率15倍、36倍相当の高耐力面材耐力壁を使用した場合の各階耐力壁長さと偏心率、剛性率、層間変形角、耐力壁検定比の最大値を一覧にした。参考に１階柱壁伏図を示す。耐力壁長さを参考にプランニングすることで、企画段階から実現可能な４階建て木造耐火建築物を設計することができる。



１階柱壁伏図

階	必要せん断耐力（kN）	23倍耐力壁（m）	36倍耐力壁（m）	15倍耐力壁（m）
4	137.3	4.550	0.000	2.915
3	303.2	4.550	0.000	13.005
2	419.9	4.550	4.190	8.370
1	507.0	4.550	5.165	16.910

各階　必要せん断耐力 及び 耐力壁長さ

階	偏心率		剛性率		層間変形角		耐力壁検定比	
	X+	Y+	X+	Y+	X+	Y+	X+	Y+
4	0.09	0.00	1.3	1.4	1/356	1/445	0.39	0.31
3	0.11	0.00	1.1	0.9	1/295	1/287	0.59	0.51
2	0.03	0.00	0.9	0.9	1/253	1/297	0.73	0.54
1	0.05	0.00	0.8	0.9	1/219	1/280	0.76	0.54

検定結果まとめ

今後の課題・展開等

今後の課題として、本年度試験を行ったCLT耐力壁耐火仕様、中高層用高耐力 柱脚接合部の試験結果をCLT耐力壁マニュアルに追加する。20m超スパントラス用斜めビス補強継ぎ手と実大試験については標準図、マニュアルを作成する。ラーメン柱脚接合部と同じ仕様で、柱梁接合部の試験を追加で行い、角型鋼管ビス補強仕様の引きボルトラーメン架構を中層木造建築物に使用できるようにする。作成した標準図、マニュアル、試験成績書とともに当協会ホームページに公開して、広く一般的に使用できるようにする。また在来軸組構法の４階建て木造建築物用の必要壁量算定表を公開し、中層木造建築物の普及に努める。

事業

木質ラーメン構造における柱―梁交差部のせん断耐力の評価手法の検討

● 実施団体 ●

福島県木造技術開発協同組合

〒963-0724　福島県郡山市田村町上行合字西川原35

事業目的

平成13年国土交通省告示第1024号に記載されている木材のせん断応力度は、梁せいの6倍のスパンで実施した3点曲げ試験の結果を踏まえて決められている。するとせん断破壊ではなく、曲げ破壊を含めた破壊時の荷重から決められているため、木質ラーメン工法において柱と梁が十文字で交差する部分の照査を行った場合、オーバースペックとなってしまう。そこで逆対称4点曲げ試験法等により、柱－梁の十文字交差接合部のパネルゾーンに近似した状況をつくり、せん断応力度の数値を検証することを目的とする。

実施した項目

① 委員会の開催

事業実施にあたり、3回の技術検討委員会を開催した。

② 逆対称4点曲げ試験

逆対称4点曲げ試験を行うことで柱－梁交差部のパネルゾーン検証に採用するせん断応力度を求める。

③ 柱－梁接合部（十文字）試験

十文字試験を行い、②に示す逆対称4点曲げ試験の結果と比較・検討し、パネルゾーン検証に採用するせん断応力度を求める。

実施体制

＜事業推進＞

福島県木造技術開発協同組合（幹事会社）
藤寿産業株式会社
株式会社中東
山佐木材株式会社
SMB建材株式会社
建築研究所　秋山信彦氏
株式会社エヌ・シー・エヌ　小谷竜城氏
株式会社オーシカ
株式会社ダイロック

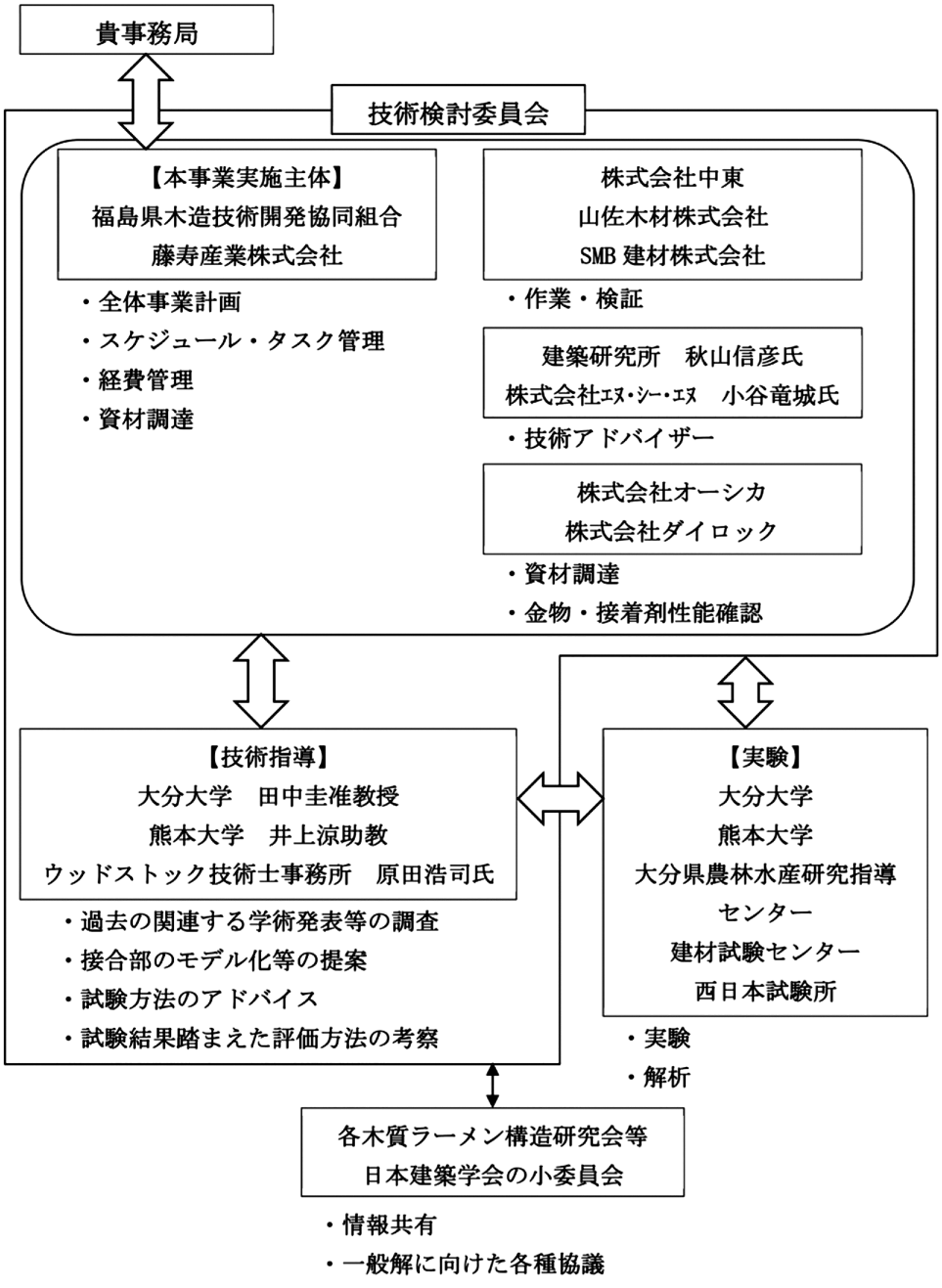
＜技術指導、支援＞

大分大学　田中圭准教授
熊本大学　井上涼助教授
ウッドストック　原田浩司氏

＜実験協力＞

大分大学
熊本大学
大分県農林水産研究指導センター林業研究部
建材試験センター西日本試験所

＜体制図＞



実施した内容

① 委員会の開催

本事業実施にあたり、技術検討委員会を設置し下記に示す３回の技術検討委員会を開催した。それぞれの立場から意見をいただき、柱－梁交差部のせん断応力度に関する現況や課題を挙げ、課題解決に必要な試験の提案をし、試験結果の確認ならびに考察を行った。

第一回委員会

日時：令和６年６月７日（金） 9:30～12:00

場所：SMB建材会議室にて（対面式）

議事内容：

1）ラーメン工法の柱－梁交差部（十文字型）のせん断応力の検討式の現況

2）実験方法の検討

第二回委員会

日時：令和６年10月30日（木） 15:00～16:30

場所：建材試験センター西日本試験所（対面＆リモート形式併用）

1）ラーメン工法の柱－梁交差部（十文字型）の実大試験の視察

2）逆対称４点曲げ試験の速報

3）上記試験結果に対する考察

第三回委員会

日時：令和７年１月９日（木） 17:00～19:00

場所：リモート形式

1）試験結果報告

2）せん断応力の検討式および採用する短期せん断応力度の提案

② 逆対称４点曲げ試験

試験体略図を図１に、図２に曲げモーメント図とせん断力図を示す。

せん断力の検討は図２の$Q_2 = Pa/(2x+a)$に対し実施した。せん断応力度は最大荷重Pmaxをもとに式（1）にて算出した。試験体はすべてスギの構造用集成材（E65-F225）とした。表１に実施した試験体の概要を示す。材長はすべて2900mmとし、試験体材幅B、材せいD、せん断スパン2Xをパラメータとし、各６体について実験を実施した。

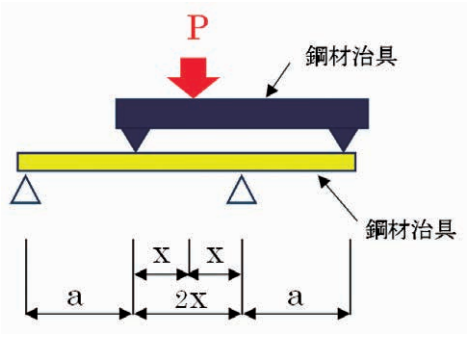


図１　試験体略図

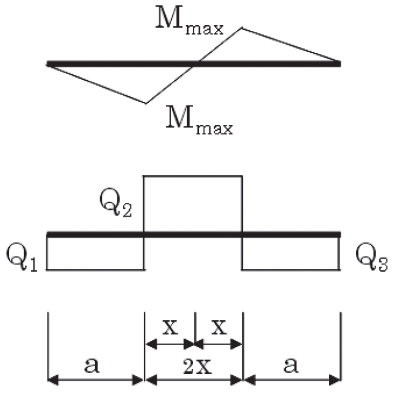


図２　曲げモーメント図（上）
せんだん力図（下）

$$f_s = \frac{3Q}{2A} = \frac{3aP_{max}}{2BD(a+2X)} \quad (\mathrm{N/mm^2}) \qquad \text{式（1）}$$

表１　試験体概要（パラメータ）

試験体断面		X	a	試験体数	Lm	Lb
幅（B）	せい（D）					
mm	mm	mm	mm		mm	mm
150	300	200	900	6	60	140
150	300	250	850	6	60	140
150	300	300	800	6	60	140
150	390	250	850	6	60	140
150	480	250	850	6	60	140
105	300	250	850	6	0	140
195	300	250	850	6	60	140

図３に加力治具の取付状況を示す。試験体への加力は、試験体に径20mmの全ねじボルト（SS400）を挿入し接着剤で試験体に固定するGIR工法を採用し、上側の加力点および下側の支点に鋼板を設け、この鋼板で直接この挿入した全ねじボルトを押すとともに、各鋼板の試験体に対し反対側の鋼板に径24mmの全ねじボルトにて力を伝え、試験体から露出する径20mmの全ねじボルトを引っ張る方法を採用した。GIRにて挿入した径20mmの全ねじボルトの本数は、事前に実施した径20mmの全ねじボルトを繊維直角方向に挿入した試験体単体での引張試験の結果を踏まえ、最も大きな試験体の梁せいを考慮し決定した。平面配置図を図４に示す。150mmおよび195mm幅試験体は２本配置、105mm幅試験体のみ１本配置とした。

計測項目を図５に示す。主な計測項目はジャッキ荷重及び変位、支点載荷点変位、2X区間におけるパネルゾーンの斜め方向変位とした。加力は大分県農林水産研究指導センター所有の1000kN試験機を用いて実施し、1mm/minでの単調加力とした。

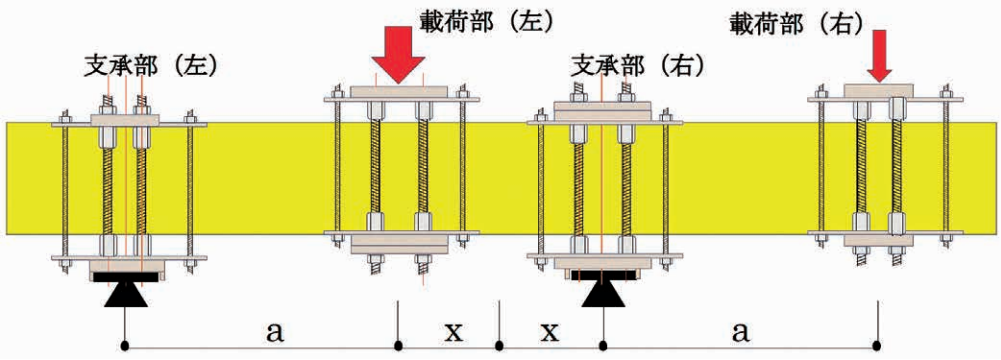
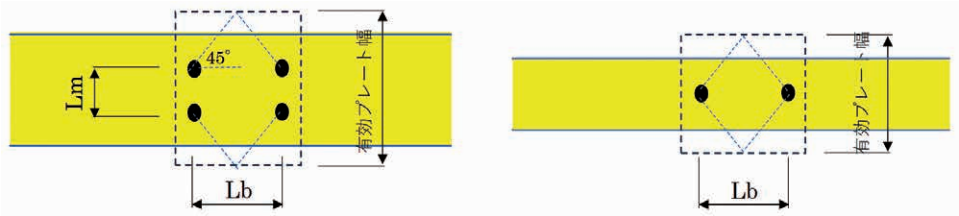


図３　加力点治具の取付状況



２本配列　　１本配列（幅105mm試験体用）

図４　加力点部の径20mm全ねじボルトの配置図

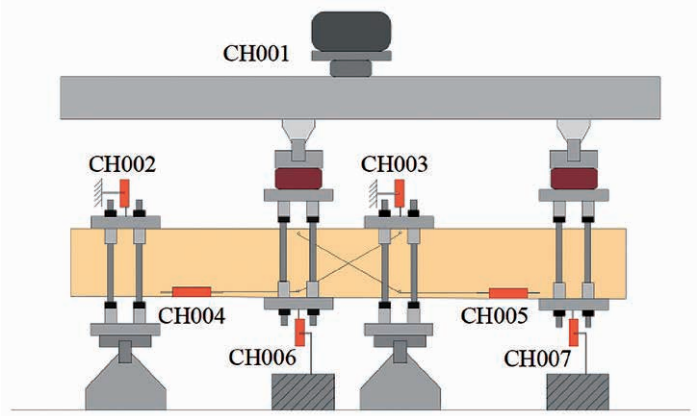


図５　計測位置

③ 柱－梁接合部（十文字）試験

図６に試験体の模式図を示す。

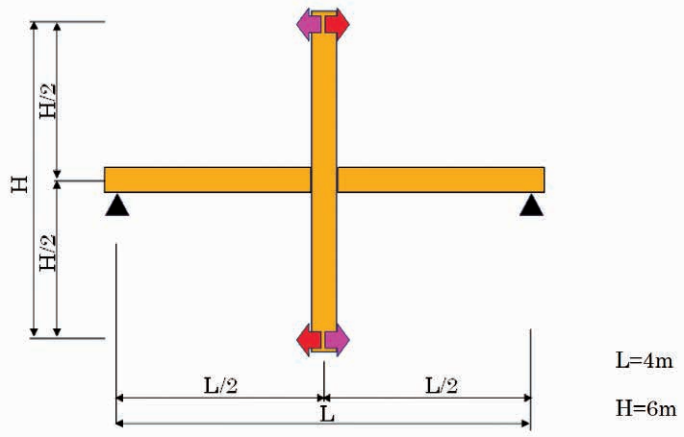


図６　十文字試験模式図

試験体はスギの構造用集成材（E65-F225）、断面寸法は柱が150mm×300、梁が150mm×740mmとした。

柱－梁接合部は、図７のように曲げモーメントの抵抗要素として径20mmの全ねじボルトと、せん断力の抵抗要素として径20mmのドリフトピン４本を配置した。試験体形状は、②逆対称４点曲げ試験の基準となる150×300（X=250）と同様の断面寸法、全ねじ配置とした。試験は建材試験センター西日本試験所にて実施する計画とし、試験方法は想定最大荷重の1/3である5kNで１回の正負加力を行った後に単調加力とした。

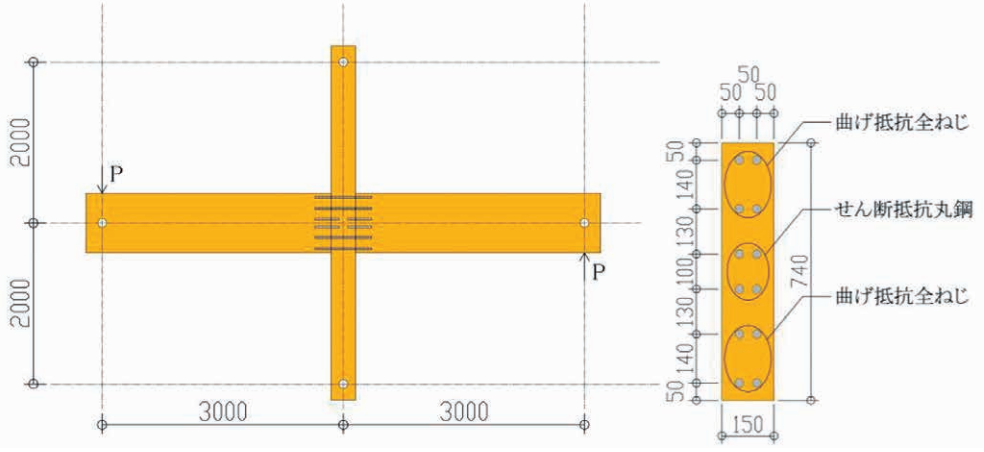


図７　十文字試験体図（全ねじ・丸鋼配置図）

実施した結果

② 逆対称４点曲げ試験

代表的な破壊性状を写真１、２に示す。一部の試験体で曲げ破壊がみられた。2X＝600mmとした試験体の約半数が曲げ破壊したほか、曲げモーメントが最大となる点の最外層ラミナにフィンガージョイントがあったものは、フィンガージョイントを起点とした曲げ破壊が発生した。また、せん断破壊したものについても、中立軸位置でせん断割れが発生するものと、そうでないものがあった。

写真１　せん断破壊の例

写真２　FJを起点とした曲げ破壊の例

試験結果の一覧を表２に示す。ここで、曲げ破壊した試験体のせん断強度には（　）をつけて示した。また、試験条件ごとのせん断強度の平均値、標準偏差、5%下限値、および全試験体の結果を基に算出した5%下限値を併せて示した。なお、曲げ破壊した試験体についてはデータから除いている。全試験体のせん断強度の平均値は5.5N/mm^2、5%下限値は4.3 N/mm^{2}となり、スギ集成材の基準せん断強度2.7 N/mm^{2}と比較して、5%下限値は1.6倍程度の値であった。

表２　試験結果一覧

幅 (B) mm	せい (D) mm	X mm	試験体番号	せん断強度 N/mm²	破壊性状	せん断強度（平均） N/mm²	標準偏差	せん断強度（5%下限値） N/mm²
150	300	200	1	5.9		5.9	0.39	5.0
			2	5.5				
			3	6.5				
			4	5.5				
			5	6.1				
			6	5.8				
150	300	250	1	5.0		5.5	0.65	3.9
			2	5.1				
			3	5.4				
			4	5.5				
			5	(5.7)	曲げ（FJ）			
			6	6.6				
150	300	300	1	(4.5)	曲げ（FJ）	5.6	0.87	3.3
			2	4.3				
			3	6.0				
			4	6.2	せん断＋曲げ			
			5	5.9				
			6	(5.8)	曲げ			
150	390	250	1	5.6		6.0	0.48	4.8
			2	6.2				
			3	6.6				
			4	5.3				
			5	6.0				
			6	6.1				

幅 (B) mm	せい (D) mm	X mm	試験体番号	せん断強度 N/mm²	破壊性状	せん断強度（平均） N/mm²	標準偏差	せん断強度（5%下限値） N/mm²
150	480	250	1	5.6		5.9	0.42	4.9
			2	6.1				
			3	6.3	せん断＋曲げ			
			4	5.2				
			5	5.7				
			6	6.2				
105	300	250	1	5.6		4.9	0.63	3.4
			2	5.3				
			3	5.0				
			4	4.8				
			5	(4.4)	曲げ			
			6	4.0				
195	300	250	1	4.6		4.7	0.31	4.0
			2	4.7				
			3	4.2				
			4	4.7				
			5	4.8				
			6	5.2				

2X=600を含める場合

n		38
K		1.84
Ave.	N/mm²	5.5
標準偏差		0.68
5%下限値	N/mm²	4.3

2X=600を含めない場合

n		34
K		1.85
Ave.	N/mm²	5.5
標準偏差		0.67
5%下限値	N/mm²	4.3

材幅、材せいが同じ条件におけるせん断スパン 2X とせん断強度の関係を図８に示す。なお、以下の検討では曲げ破壊した試験体はデータから除いている。平均的に見ると 2X が大きくなるほどせん断強度が小さく算出される傾向がみられるが、全体的に値のばらつきが大きかった。

材幅、2X が同じ条件における材せいとせん断強度の関係を図９に示す。材せい 300mm と比べ、材せい 390mm と 480mm の方が平均的にみて高いせん断強度を示したが、材せい 390mm と材せい 480mm はほとんど同じせん断強度を示した。またばらつきが大きい結果であった。

材せい、2X が同じ条件における材幅とせん断強度の関係を図 10 に示す。ばらつきがあるものの、せん断強度は小さい順に材幅 195mm、105mm、150mm となった。要因として、GIR が応力伝達できる範囲によって決まる有効幅が存在すると考える。材幅 195mm の試験体は GIR 先穴からの縁距離が 67.5mm、材幅 105mm のものは 52.5mm、材幅 150mm のものは 45mm である。縁距離の大きい順に材幅 195mm、105mm、150mm の試験体となり、せん断強度の順と対応した。

そこで有効幅を検討した。GIR の先孔の外縁から材端までの応力伝達距離を先孔径の n 倍とおき、その係数を変化させていくことで、材幅 105、150、195mm の３種類の試験体で計算されるせん断強度の値が最も近くなる係数 n（以下、有効距離係数とする）を算出した。ここで、有効幅は図 11 のように考え、挿入された GIR が２本の場合、有効幅＝ d+60+2 × nd、GIR が１本の場合は、有効幅＝ d+2 × nd で表される。ここで、GIR に挟まれた領域はせん断力を負担すると仮定した。試験条件ごとの最大荷重の平均値を用い、有効距離係数を１～２の範囲で 0.25 ごとに変化させながらそれぞれのせん断強度を求めた。算出結果を図 12 に示す。材幅が異なる３種類の試験体のせん断強度の値が最も近づくときの有効距離係数は 1.5 であった。有効幅を超えて材幅を大きくしても、パネルゾーンのせん断耐力は単純な係数倍にはならないと考えられ、GIR 配置によって決まる有効幅を勘案しつつ部材断面を決定する必要がある。

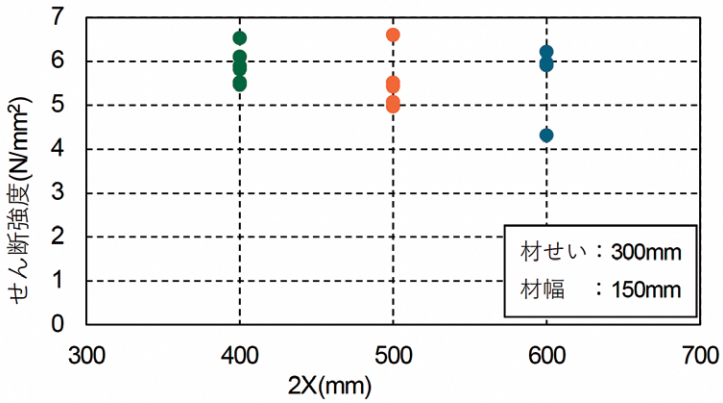


図８　せん断スパンとせん断強度の関係

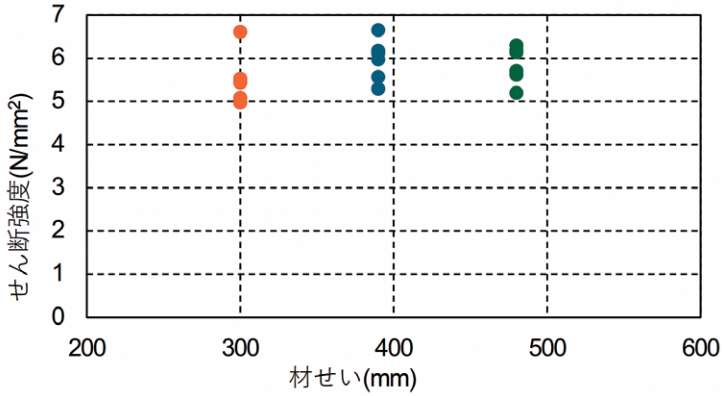


図９　材せいとせん断強度の関係

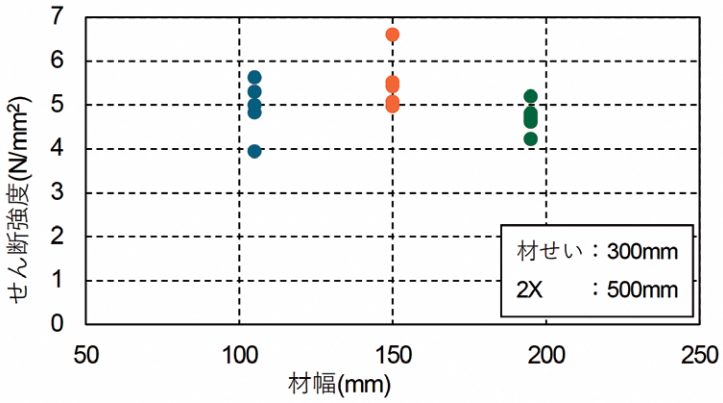


図 10　材幅とせん断強度の関係

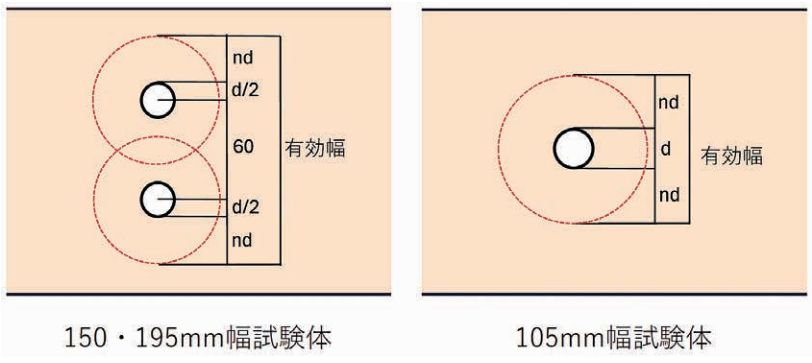


図 11　有効幅の考え方

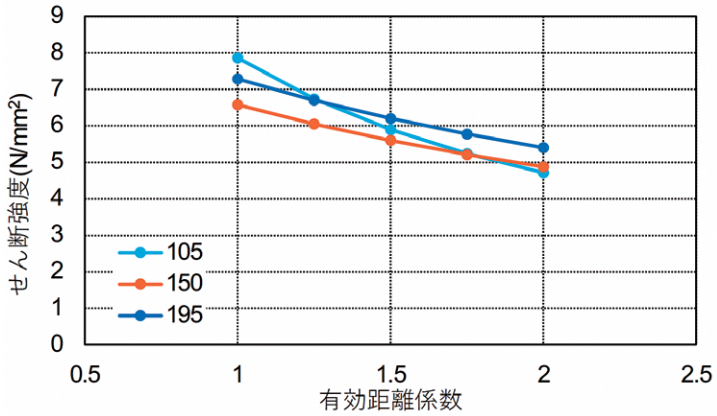


図12　有効幅とせん断強度の関係

③ 柱－梁接合部（十文字）試験

破壊性状を写真3に示す。破壊性状としては、柱のパネルゾーンのせん断破壊であり、柱の中央付近に割裂が生じ、さらに加力するとその割裂が進行した。

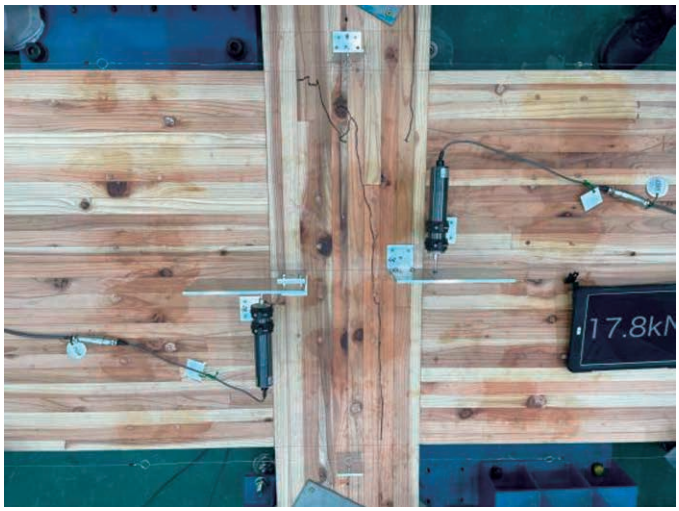


写真3　パネルゾーンせん断破壊

試験結果の荷重変形関係を図13に示す。加力は、想定最大荷重の1/3である約5kNで1回の正負加力を行った後に単調加力とした。最大荷重は17.8kNとなり、形状係数κを考慮した式（2）より算出したせん断応力度は5.73N/mm²（フェイスモーメントで計算）であった。②で示した逆対称4点曲げ試験の結果では、平均値は5.5N/mm²であり近似値を示していると考える。

$$\tau_p = \frac{\kappa}{B_C \cdot H_C}\left(\frac{M_{BL}}{j_L} + \frac{M_{BR}}{j_R} - \frac{Q_{CU} + Q_{CD}}{2}\right) \qquad \text{式（2）}$$

ここで、

τ_p：パネルゾーンに生じるせん断応力度

κ：形状係数（長方形断面 1.5）

B_C：柱幅

H_C：柱せい

M_{BL}，M_{BR}：梁端部に生じる曲げモーメント

Q_{CU}，Q_{CD}：柱端部に生じるせん断力

j_L，j_R：GIR 間距離

以上の結果から、柱－梁交差部のパネルゾーンせん断応力度は、逆対称４点曲げ試験から求められる値を採用することの妥当性を確認することができた。

ただし、十字型試験体は、梁木口の接触を介して圧縮力が伝達されるため、逆対称４点曲げ試験より高めのせん断応力度となる可能性があるため留意が必要であると考える。

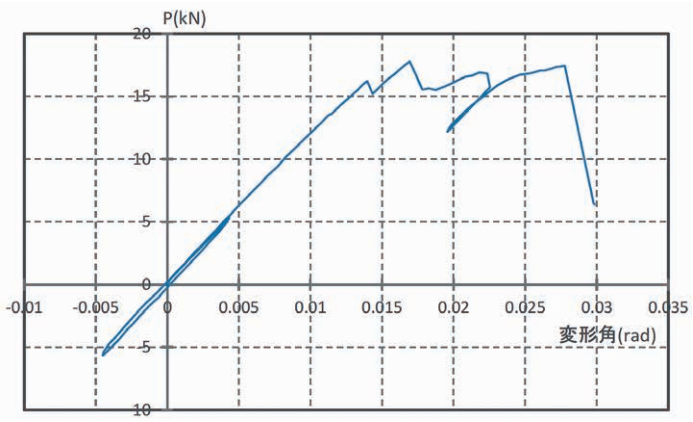


図13　荷重－変形関係

②、③の実験結果より、集成材等建築物構造設計マニュアル（日本建築センター）に記載されている式（3）でパネルゾーンを評価すれば安全側の設計となることが確認できた。

$$\tau_p = \frac{M_{BL}}{B_C \cdot H_C \cdot j_L} + \frac{M_{BR}}{B_C \cdot H_C \cdot j_R} - \frac{Q_{CU} + Q_{CD}}{2 \cdot B_C \cdot H_C} \leqq f_s \qquad \text{式（3）}$$

ここで、　τ_p：パネルゾーンに生じるせん断応力度

M_{BL}，M_{BR}：梁端部に生じる曲げモーメント

Q_{CU}，Q_{CD}：柱端部に生じるせん断力

B_C：柱幅

H_C：柱せい

j_L，j_R：LSB または GIR の応力中心間距離で、圧縮側と引張側の LSB または GIR 群の中心間距離とする

f_s：パネルゾーンの許容せん断応力度

今後の課題・展開等

- 逆対称４点曲げ試験においてばらつきを考慮するためＮ数６としていたが、曲げ破壊した試験体があるため、不足分の追加試験が必要と考えられる。
- 樹種に関して、本事業では杉集成材のみで行ったが、今後の展開を考えると、唐松や桧など別樹種での試験を行い、データの蓄積が必要となる。
- 本事業で得た知見を木質ラーメン工法に携わる研究会等と共有することや建築学会大会で発表することで、今後の木質ラーメン工法の普及に寄与できるものと考えられる。

事業

トドマツ枠組材の接合部強度データ収集

● 実施団体 ●

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構

〒080-0819　北海道札幌市北区北19条西11丁目

事業目的

枠組壁工法建築物の構造計算においては、樹種ごとに接合部等の強度性能を確認する必要がある。2023年度のトドマツ枠組材の強度データ収集事業の成果により、今後のJAS改正においてトドマツの新たな樹種区分が設定された際には、合わせてトドマツ枠組材の接合部の強度性能の明示が必要となることから、強度試験によりこれらのデータ収集を行う。

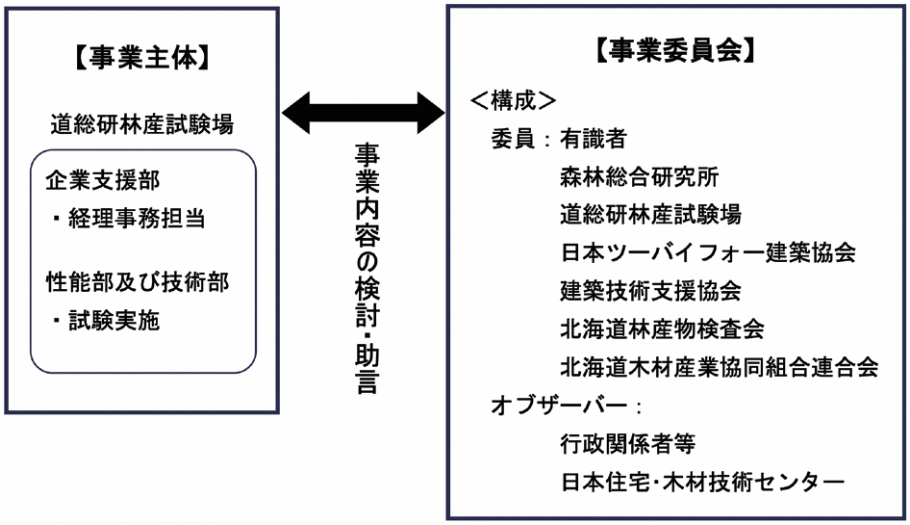
実施した項目

有識者、試験研究機関、認証機関、木材関係団体等による事業委員会を年３回開催し、本事業の全体計画及び進捗を検討すると共に、下記の強度試験によって本事業の具体的な実施内容を検討する。

① めり込み終局強度試験
② 枠組材同士の接合部一面せん断試験
③ 枠組材と面材の接合部一面せん断試験

実施体制

委員長	青木　謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科　教授
委員	加藤　英雄	（国研）森林総合研究所 木材研究部門　主任研究員
	松本　和茂	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構　部長
	戸田　正彦	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構　研究主幹
	南田　英樹	一般社団法人 北海道林産物検査会　事務局長
	坂口　晴一	一般社団法人 日本ツーバイフォー建築協会　技術部長
	清野　明	NPO法人 建築技術支援協会　技術アドバイザー
	内田　敏博	北海道木材産業協同組合連合会　副会長
オブザーバー	高木　望	林野庁 木材産業課　課長補佐
	立花　紀之	林野庁 木材産業課　木材専門官
	川原　聡	林野庁 木材利用課　建築物木材利用促進官
	佐藤　秀憲	農林水産省大臣官房　規格専門官
	田村　尭大	農林水産省大臣官房　係長
	飯島　敏夫	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター　参与
	増村　浩	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター　認証部長
事務局	渡辺　誠二	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構　主査
	大橋　義徳	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構　研究主幹



実施した内容

「2018年枠組壁工法建築物構造計算指針」（一般社団法人日本ツーバイフォー協会編）（以下、計算指針）に基づき、①～③の試験を実施した。なお使用した木材は北海道産トドマツJAS 2級の204材のうち、収集した木材の平均比重がその樹種の基準比重（ここでは0.38）以下となるよう選別したものであり、平均比重は0.35であった。なお、すべての試験体について、恒温恒湿室（気温20℃、湿度65%）で4週間以上養生した。

① めり込み終局強度試験

試験体および試験方法

試験体寸法は38×89×50mm（繊維平行方向加力）、38×89×100mm（繊維直交方向加力）である。使用したくぎは、せっこうボード用くぎGNF40（φ2.34×38.1mm）、太め鉄丸釘CN50（φ2.87×50.8mm）およびCN90（φ4.11×88.9mm）の3種類である。

試験体数は各10体である。

試験はオートグラフ強度試験機（島津製作所製）を用いて行った。めり込み変位（加力治具の移動量）を変位計（共和電業DTH-A-20、容量20mm）で、荷重は圧縮型ロードセル（東京測器CLP-NB20kN、容量20kN）を用いて計測した。加力は単調加力とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間が5分±2分となるよう、クロスヘッド移動量を毎分0.5mmとした。加力は最大荷重の80%まで荷重が低下するか、めり込み変位が接合具径に達するまで行った。

計算指針に基づき、めり込み終局強度および基準剛性を評価した。

試験実施状況を写真1に示す。

繊維平行方向　　繊維直交方向

写真1　めり込み終局強度試験の実施状況

② 枠組材同士の接合部一面せん断試験

試験体は38×89×480mmの枠組材を3枚組み合わせて釘打ちしたものであり、加力方向は繊維平行方向である。使用したくぎは太め鉄丸釘CN75（φ3.76×76.2mm）、CN90（φ4.11×88.9mm）の2種類である。試験体数は各6体である。

使用した試験機等は①と同様であるが、変位計は容量100mmのもの（共和電業DTH-A-100）を用いた。加力は一方向単調加力とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間が5分±2分となるようクロスヘッド移動量を毎分5mmとした。加力は最大荷重の80%まで荷重が低下するまで、または相対変位が30mm以上の任意の値に達するまで行った。

計算指針に基づき、基準許容応力および基準剛性を評価した。

試験実施状況を写真2に示す。

③ 枠組材と面材の接合部一面せん断試験

使用した面材は国内で生産量の多いカラマツ－スギ複合のJAS構造用合板2級とし、厚さは9mm、12mm、15mmとした。試験体は38×89×300mmの枠組材に100×300mmの合板を釘打ちしたものであり、加力方向は繊維平行方向である。使用したくぎはCN50およびCN65（φ3.33×63.5mm）の2種類であり、合板厚さ9mmおよび12mmはCN50を、同15mmにはCN65を用いた。試験体数は各6体である。

使用した試験機等は①と同様であるが、変位計は容量50mmのもの（共和電業DTH-A-50）を用いた。加力は一方向単調加力とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間が5分±2分となるようクロスヘッド移動量を毎分5mmとした。加力は最大荷重の80%まで荷重が低下するまで、または相対変位が30mm以上の任意の値に達するまで行った。

計算指針に基づき、基準許容応力および基準剛性を評価した。

試験実施状況を写真3に示す。

写真2　枠組材同士の接合部
一面せん断試験の実施状況（CN90）

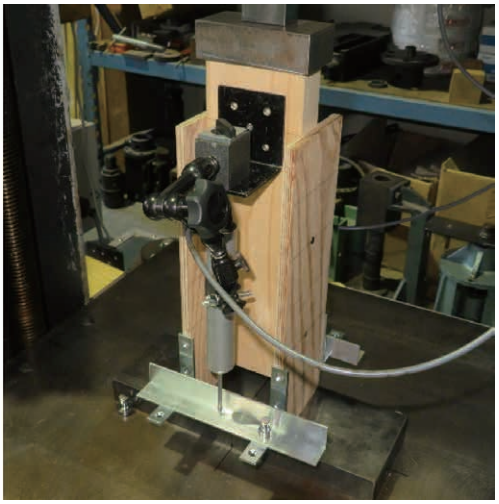


写真3　枠組材－合板の接合部一面せん断試験の実施状況（CN50、厚さ9mm）

実施した結果

① めり込み終局強度試験

荷重変位曲線を図１に示す。また試験結果を図２に示す。

繊維平行方向のめり込み終局強度は、くぎ径が大きいほど大きくなったが、めり込み剛性は逆の傾向が認められた。一方、繊維直交方向については、くぎ径とめり込み終局強度との間に明確な傾向は認められなかったが、めり込み剛性はくぎ径が大きいほど小さい傾向が認められた。

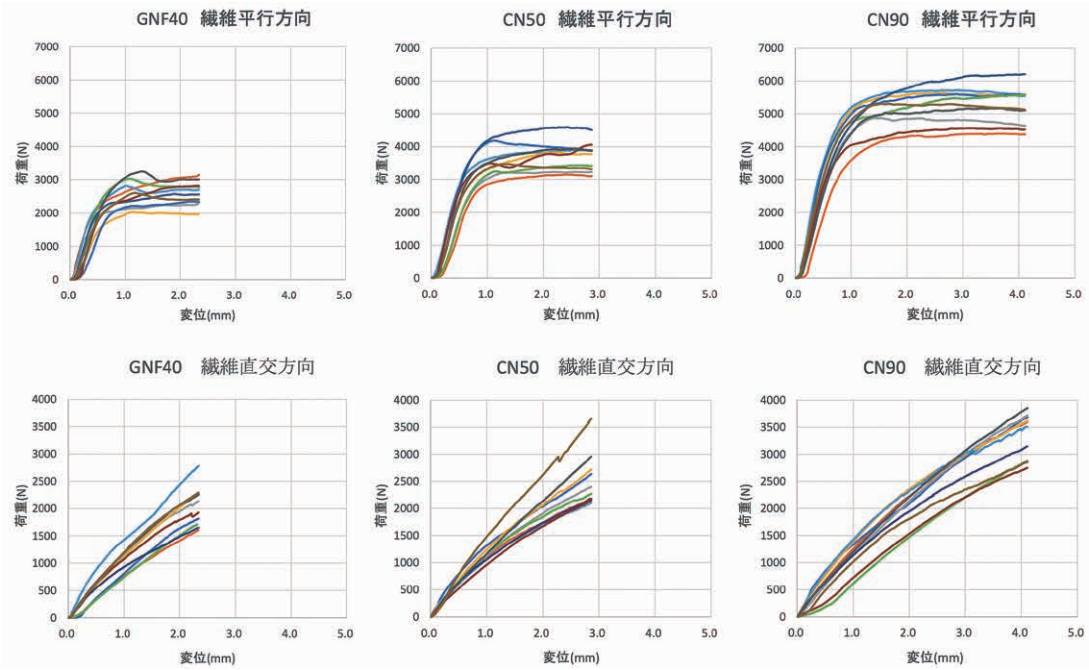


図１　めり込み試験における荷重変位曲線

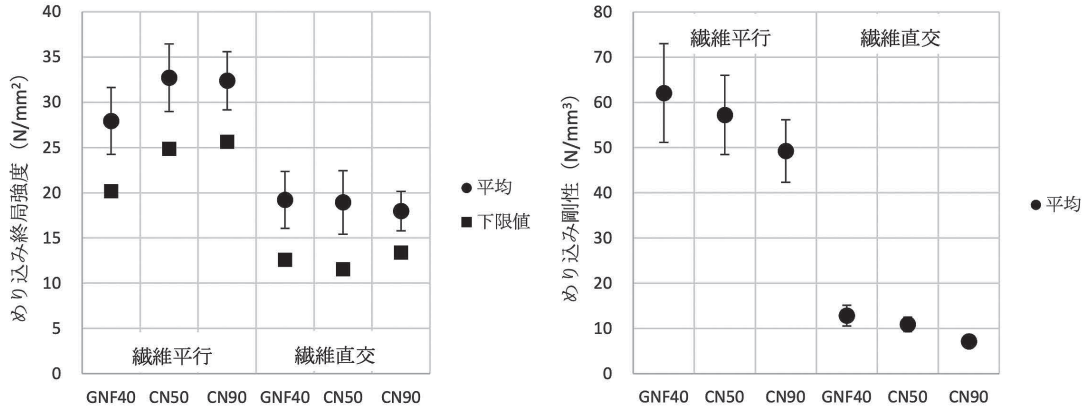


図２　めり込み終局強度およびめり込み剛性

② 枠組材同士の接合部一面せん断試験

主な破壊性状を写真４に示す。また荷重－変位曲線を図３に、試験結果を図４に示す。

主な破壊形態はくぎ頭のめり込みであり、特にCN90で大きくめり込む傾向が認められた。下限値で比較すると、降伏耐力、すべり係数ともにくぎ径が大きいほど大きくなることが確認された。ただしすべり係数の平均値はくぎ径が小さいほうが大きくなっていた。計算指針に基づき求めた降伏耐力の計算値は、CN75、CN90ともに実験下限値を上回っていた。ただし、個々の実験値は計算値を概ね上回っていたことから、概ね妥当な推定が可能であると考えられる。一方、すべり係数についてはすべて計算値が平均値を下回っており安全側に推定することが可能であった。

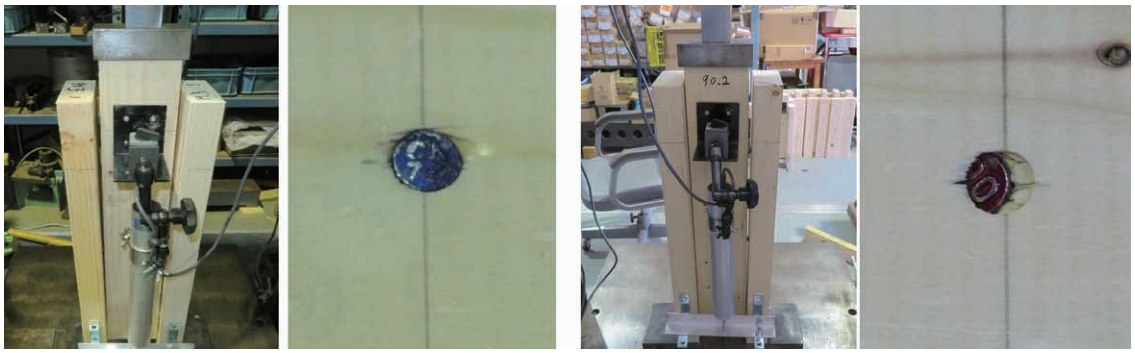


写真４　接合部一面せん断試験の破壊状況（枠組材同士）

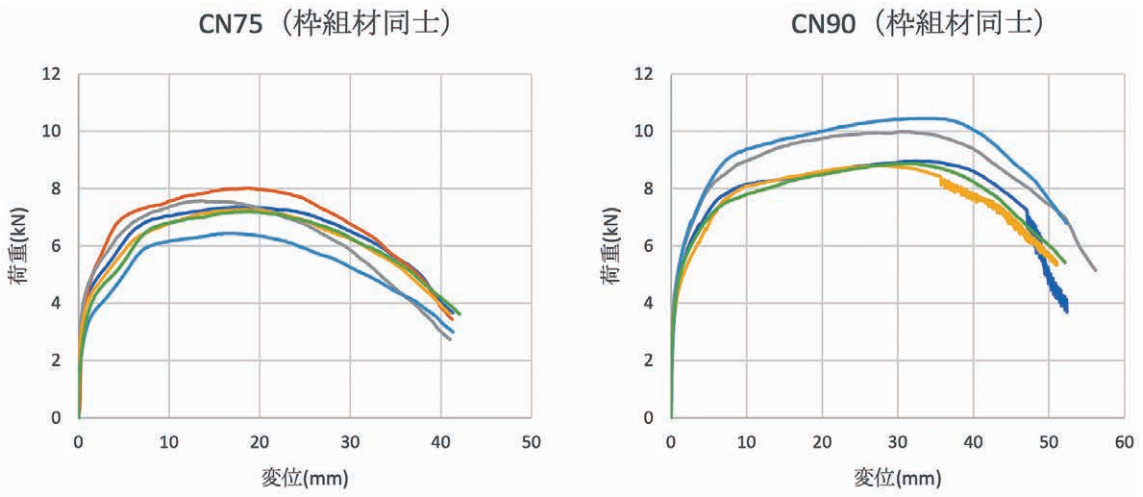


図３　接合部一面せん断試験における荷重変位曲線（枠組材同士）

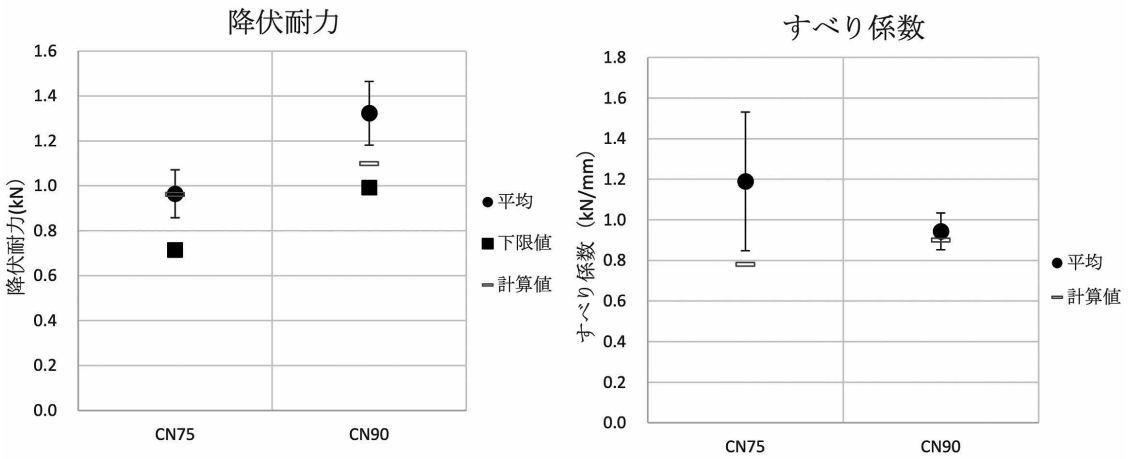


図４　接合部一面せん断試験に基づく降伏耐力およびすべり係数
（枠組材同士）

③ 枠組材と面材の接合部一面せん断試験

主な破壊性状を写真５に示す。また荷重－変形曲線を図５に、試験結果を図６に示す。

主な破壊形態は、パンチングアウトまたはくぎ頭のめり込みであり、合板厚さが薄いほどパンチングアウトとなる場合が多かった。降伏耐力およびすべり係数について、全般的にくぎ径が大きいほど、また合板厚さが大きいほど大きくなる傾向が確認された。計算指針に基づき求めた降伏耐力の計算値は、すべての条件で実験下限値を上回っていた。しかし個々の実験値はすべて計算値を上回るとともに仕様による大小関係も再現できていたことから、妥当な推定が可能であると考えられる。また、すべり係数についてはすべて計算値が平均値を下回っており安全側に推定することが可能であった。

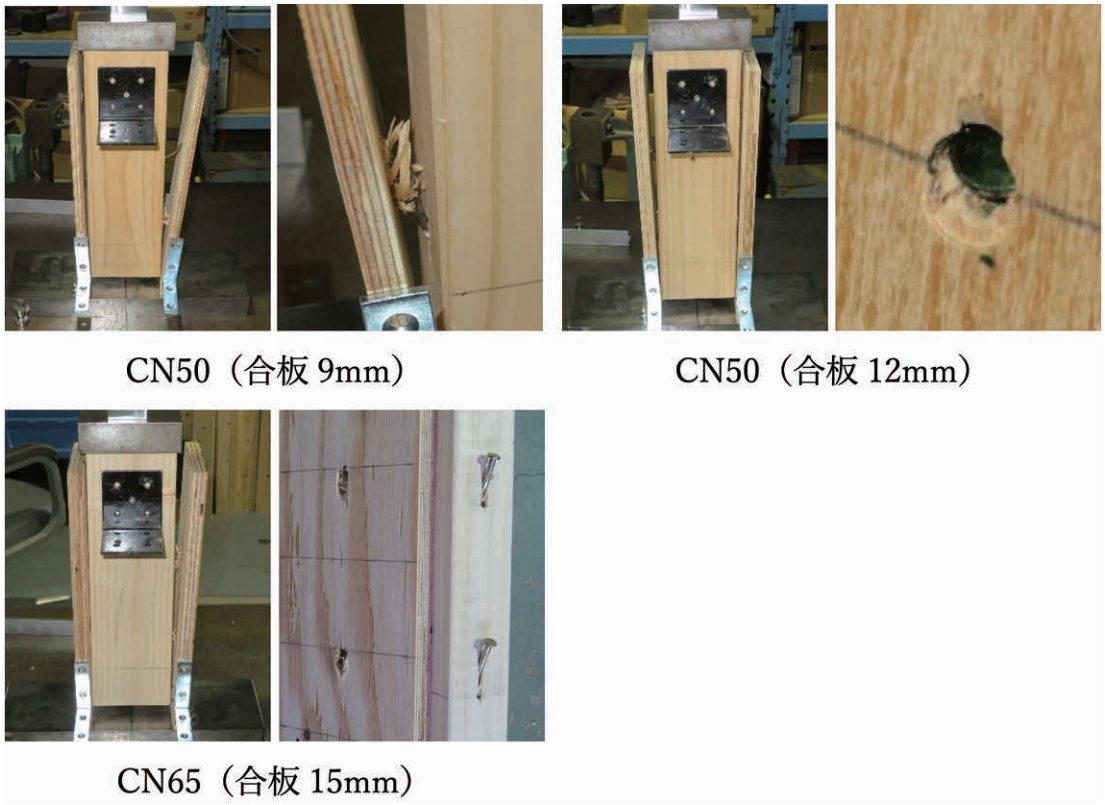


写真５　接合部一面せん断試験の破壊状況（枠組材－合板）

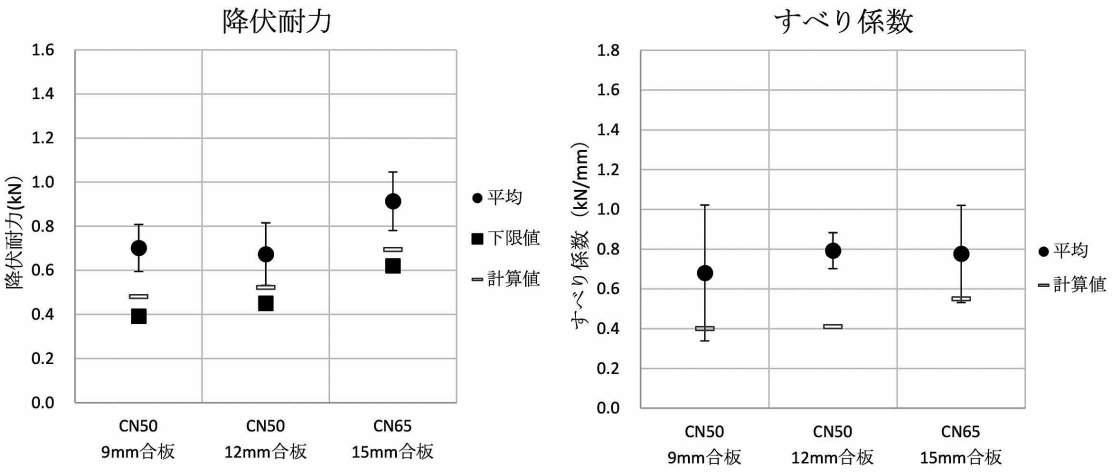


図５　接合部一面せん断試験における荷重変位曲線
（枠組材－合板）

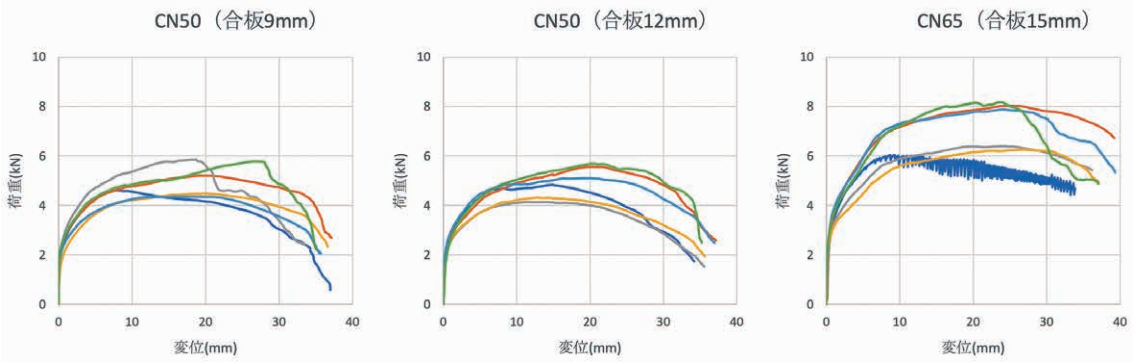


図６　接合部一面せん断試験に基づく降伏耐力およびすべり係数
（枠組材－合板）

今後の課題・展開等

枠組壁工法建築物の構造計算においては、樹種群ごとに接合部等の強度を確認することが求められており、その数値は「枠組壁工法建築物構造計算指針」に記載され、広く構造設計者ならびに確認検査機関において利用されている。今後のJAS改正においてトドマツが新たな樹種区分に設定された際には、本事業での成果をもとに、上記指針にめり込み性能値や接合部せん断性能値を盛り込む方向で検討が行われる可能性がある。

その際、本事業で得られた一連の成果は、トドマツを枠組壁工法建築物で使用する上で必要とされる構造計算に用いる接合部の強度特性の基礎データとして利活用されると考えられる。

事業

アカマツで製造した枠組壁工法部材の材料及び接合部の強度特性に関する検証

● 実施団体 ●

けせんプレカット事業協同組合

〒029-2311　岩手県気仙郡住田町世田米字田谷27-2

事業目的

スギよりもヤング係数が高いアカマツを活用するため、反りや曲がりの変形を低減する製造技術で生産した枠組壁工法構造用製材を対象に、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の構造計算で不可欠な接合部の各種強度特性を検証し、スギのヤング係数では対応が難しい部材をアカマツで対応できるようにし、国産樹種による枠組壁工法部材の需要を拡大する。

実施した項目

1. 事業検討委員会の開催

有識者及び実務者による事業検討委員会は年２回を目途に開催し、本事業の全体計画並びに具体的な試験方法等を議論すると共に、得られた試験結果と評価内容を検討した。

2. 検証試験の実施

（1）試験体の調達

これまでに実施して得られた結果に基づき、強度試験に適した試験体を調達した。

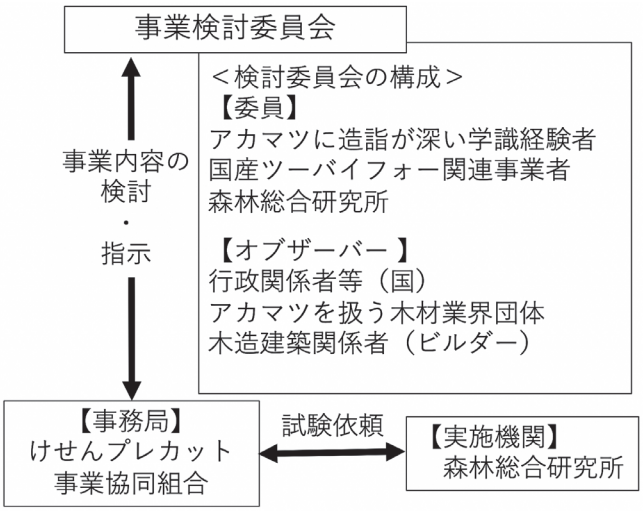
（2）強度試験

調達した試験体について、「枠組壁工法構造計算指針」（通称：緑本）で定める釘のめり込み試験及び接合部試験を行い、アカマツで製造した枠組材が「枠組壁工法建築物構造計算指針」に対応できるデータを収集した。

3. 事業報告書の作成及び成果の普及

本事業の成果を報告書として取り纏めた。また、得られた成果は学・協会等を通じて公表すると共に、強度特性に関するデータは、枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格（JAS0600）の基準検討並びに日本ツーバイフォー建築協会等の関係機関に提供できるようにした。

実施体制



【事業検討委員会】

委員長	山崎真理子	(名古屋大学)
委　員	加藤　英雄	(森林総合研究所)
委　員	小島瑛里奈	(森林総合研究所)
委　員	加藤富美夫	(大東建託（株))
委　員	泉田十太郎	(けせんプレカット事業協同組合)
オブザーバー	高木　　望	(林野庁 木材産業課)
オブザーバー	立花　紀之	(林野庁 木材産業課)
オブザーバー	森口　幹太	(林野庁 木材産業課)
オブザーバー	川原　　聡	(林野庁 木材利用課)
オブザーバー	佐藤　秀憲	(農林水産省 食品製造課)
オブザーバー	田村　尭大	(農林水産省 食品製造課)
オブザーバー	平原　章雄	(木構造振興株式会社)
事務局	温　秀輝、佐藤ひかる	(けせんプレカット事業協同組合)

実施した内容

＜事業検討委員会の開催＞

第１回事業検討委員会は、2024年６月18日（火）にオンライン形式で開催し、事業の全体概要を委員に説明すると共に、検証試験の具体的内容を検討した。その結果、強度特性に関する分析・評価は、強度特性検討WGを設けるのではなく、事業検討委員会の委員で対応することにした。次に、事務局が提案した事業の全体スケジュールについて、10月までに強度試験に必要なアカマツ試験体及び試験に用いる釘並びに構造用合板を調達することとし、11月から強度試験を開始できるように準備を進めることにした。

第２回事業検討委員会は、2025年１月17日（月）にオンライン形式で開催し、検証試験の結果を検討した。また、過去に実施したアカマツ枠組材の強度データの収集状況を元に分析・評価した強度特性値を検討した。

＜検証試験＞

(1) 試験体の調達

調達したアカマツ枠組材は全て寸法型式204で、釘のめり込み試験の繊維直交方向用(材長50mm)及び繊維平行方向用（材長100mm）がそれぞれ283体、枠組材同士の接合部用（材長450mm）が84体、枠組材と面材の接合部用（材長300mm）が224体調達できた。そして、これまでに得られた寸法型式204のアカマツ枠組材の密度の基本統計量（供試体数772）に基づき（図1）、節ありの場合（図2）となしの場合（図3）を比較検討し、平均値が小さい節なしの密度450kg/m³を基準に強度試験用の試験体を選定することにした。

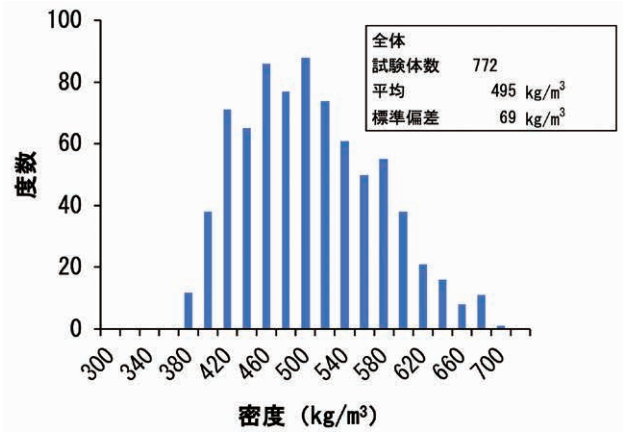


図１　採材した試験体の密度のヒストグラム

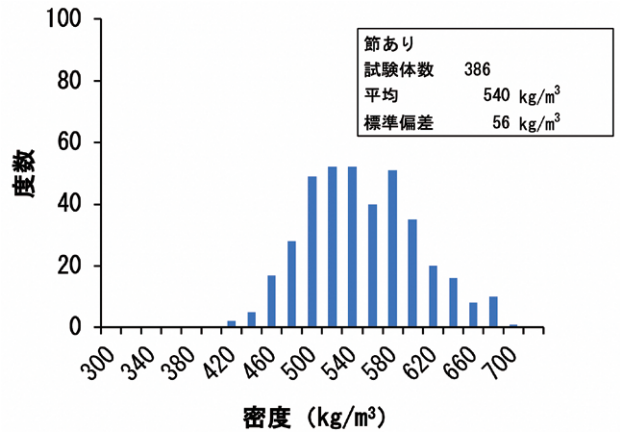


図２　節がある試験体の密度のヒストグラム

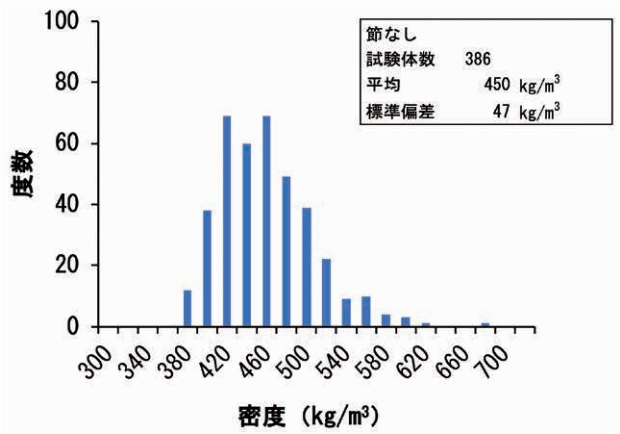


図３　節がない試験体の密度のヒストグラム

(2) 強度試験

a. 釘のめり込み試験

試験に用いる釘はせっこうボード用GNF40（φ 2.34 × 38.1mm）、太め鉄丸釘CN50（φ 2.87 × 50.8mm）、CN90（φ 4.11 × 88.9mm）の３種とした。加力は繊維直交および繊維平行方向で行い、試験体数は各10体（繊維直交方向30体、繊維平行方向30体、合計60体）とした。加力パターンは単調載荷とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間が５分±２分となるようにした。また、加力は最大荷重の80%まで荷重が低下するか、相対変位が釘の小径に達するまで行った（写真1）。

b. 枠組材同士の接合部試験

試験に用いる釘は、太め鉄丸釘CN75（φ 3.76 × 76.2mm）、CN90（φ 4.11 × 88.9mm）の２種とした。加力は繊維平行方向で行い、試験体数は各６体（CN75用６体、CN90用６体、合計12体）とした。加力パターンは一方向単調載荷とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間が５分±２分となるようにした。また、加力は最大荷重の80%まで荷重が低下するか、相対変位が30mm以上となるまで行った（写真2）。

c. 枠組材と面材の接合部試験

試験に用いる釘は太め鉄丸釘CN50（φ 2.87 × 50mm）、CN65（φ 3.33 × 65mm）の２種類とした。また、試験に用いる合板の厚さは9mm、12mm、15mmの３種類とし、試験体の寸法は幅100 × 300mmとし、300mmの方向が合板の繊維方向と一致するようにした。釘と合板の厚さとの組み合わせは、CN50-9mm、CN50-12mm、CN50-15mm、CN65-12mm、CN65-15mmの５種類設定し、試験体数は各６体とした。加力パターンは、枠組材同士の接合部試験と同じとした。

写真１　釘のめり込み試験（繊維平行方向、太め釘 CN90）

写真２　枠組材同士の接合部試験の様子

実施した結果

(1) 試験体の調達

強度試験に用いる試験体の密度の平均値について、枠組材同士の試験体以外では、節がない試験体の密度の平均値とほぼ等しかった（図 4）。また、平均値以下の試験体数は、強度試験に必要な最低数を十分上回っており、強度試験に用いる試験体を問題なく選定できた。次に、枠組材同士の試験体の密度について、接合部試験に必要な最低数 36 体を確保したときの平均値は、採材した試験体の密度の平均値よりも小さく、なおかつ、節がある試験体の平均値以下の材で対応することができ、枠組材同士の接合部試験体を問題なく選定することができた。

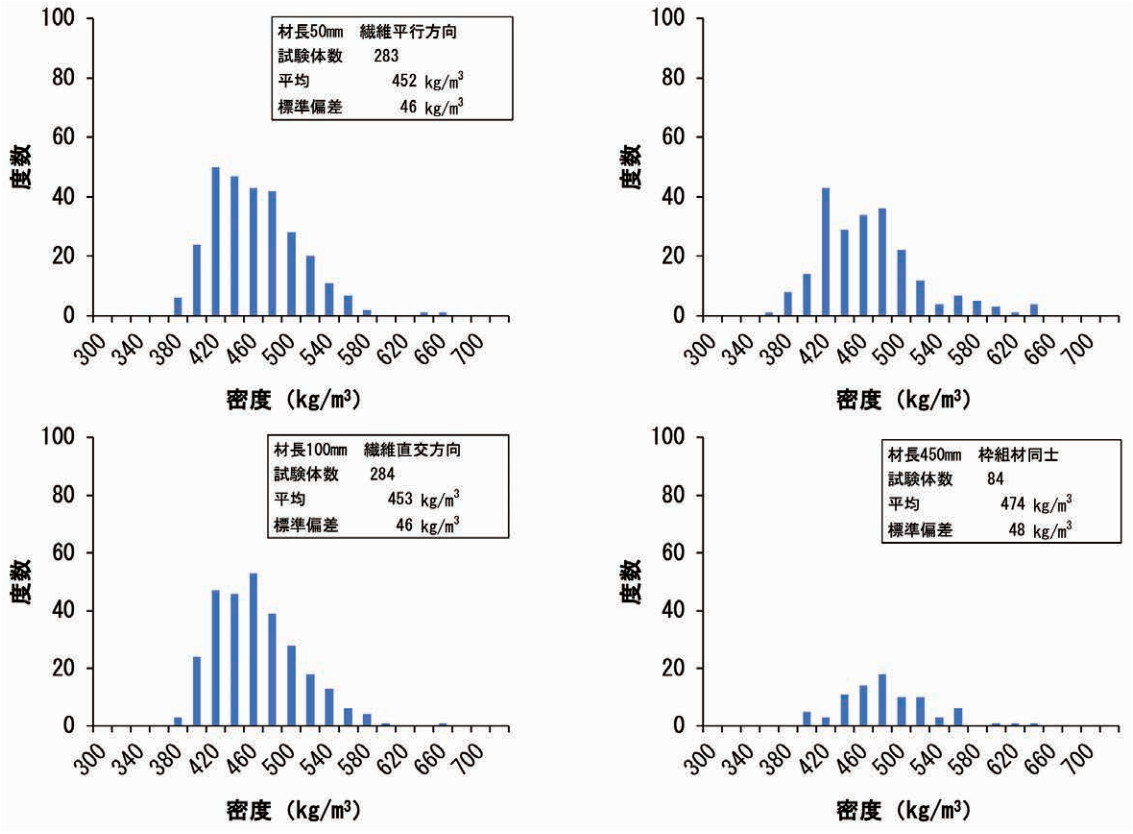


図 4　強度試験用として調達した試験体の密度のヒストグラム

(2) 強度試験

a. 釘のめり込み試験

繊維直交方向に加力した試験体の荷重変形関係は、変位が釘の小径に達するまで、荷重が増加する傾向だった。一方、繊維平行方向に加力した試験体の荷重変形関係は、変位が釘の小径に達する前に最大荷重に達し、その後は変位が釘の小径に達するまで、荷重がほぼ一定もしくは漸減する傾向だった（図 5）。また、繊維直交方向及び繊維平行方向の加力とも、釘の小径が大きくなるに従って、最大荷重並びに最大荷重時の変位が大きくなる傾向だった。逆に、剛性は釘の小径が大きくなるに従って小さくなる傾向だった（表 1）。

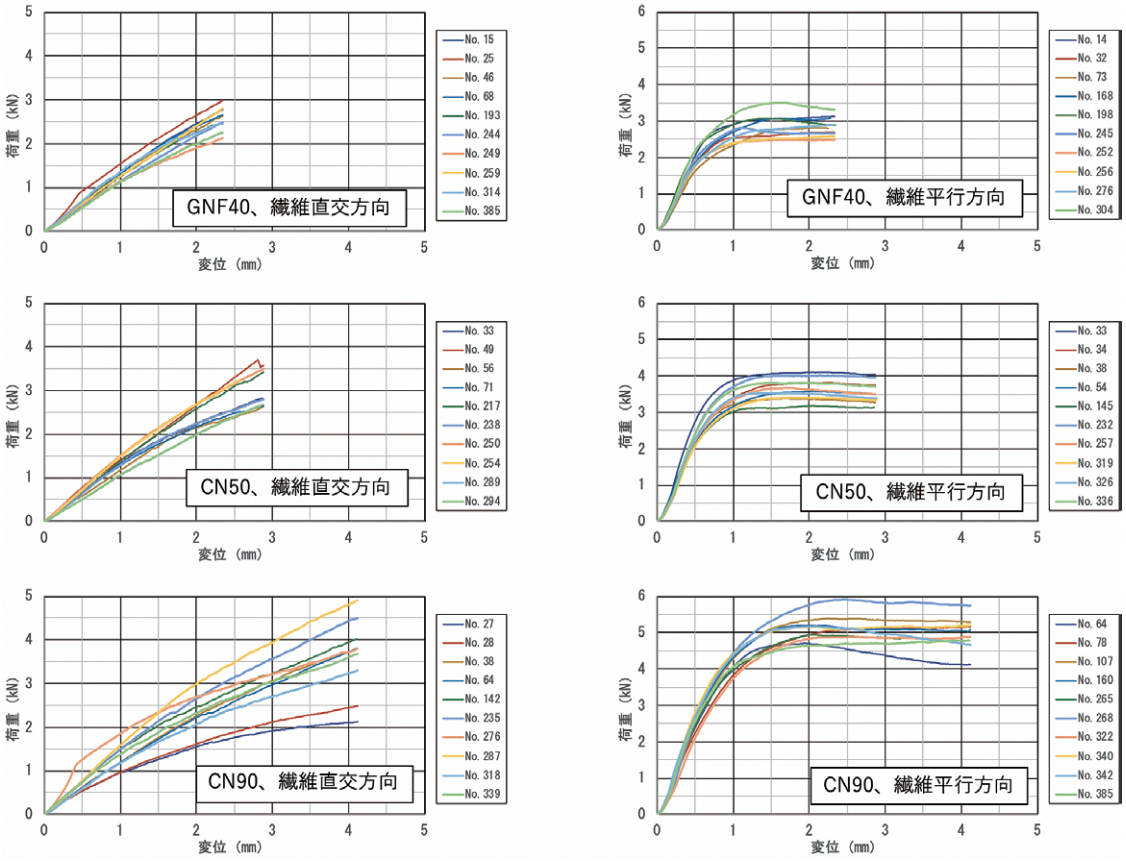


図５　釘のめり込み試験における荷重変位関係

表１　釘のめり込み試験結果

						めり込み終局強度(N/mm^2)					
	加力方向	釘種類	密度 (kg/m^3)	最大荷重 (N)	最大荷重時変位 (mm)	平均値	標準偏差	変動係数 (%)	5% 下限値 TL_{95}	50% 下限値 TL_{50}	剛性 (kN/mm^3)
アカマツ	繊維平行	GNF40(Φ2.34)	426	2904	1.82	31.37	3.07	9.80	24.90	30.68	43.73
		CN50 (Φ2.87)	426	3654	1.84	32.98	2.68	8.14	27.34	32.39	42.79
		CN90 (Φ4.11)	427	5132	2.71	32.15	2.29	7.12	27.34	31.64	31.67
		3種の平均	427			32.17			26.52	31.57	39.39
	繊維直交	GNF40(Φ2.34)	427	2562	2.34	26.01	2.90	11.14	19.91	25.37	14.64
		CN50 (Φ2.87)	427	3071	2.87	24.42	3.02	12.37	18.06	23.75	11.99
		CN90 (Φ4.11)	428	3554	4.16	19.77	3.71	18.75	11.97	18.94	7.95
		3種の平均	427			23.40			16.65	22.69	11.53

b. 枠組材同士の接合部試験

枠組材同士を釘接合した試験体の荷重変形関係は、変位が５～10mmの範囲で最大荷重に達し、その後は変位の増加に対して荷重は漸減する傾向だった。また、CN90で接合した試験体では、変位が15mmを超えたあたりから荷重の低下と再増加を繰り返しながら変位が進む傾向を示す試験体が６体中５体あった。一方、CN75で接合した試験体では、このような傾向を示す試験体は６体中３体で、変位が20mmを超えたあたりからその傾向が認められた（図6）。試験降伏耐力の平均値は、CN90の方がCN75よりも大きかったが、試験剛性の平均値は、CN90の方がCN75よりも小さかった（表2）。

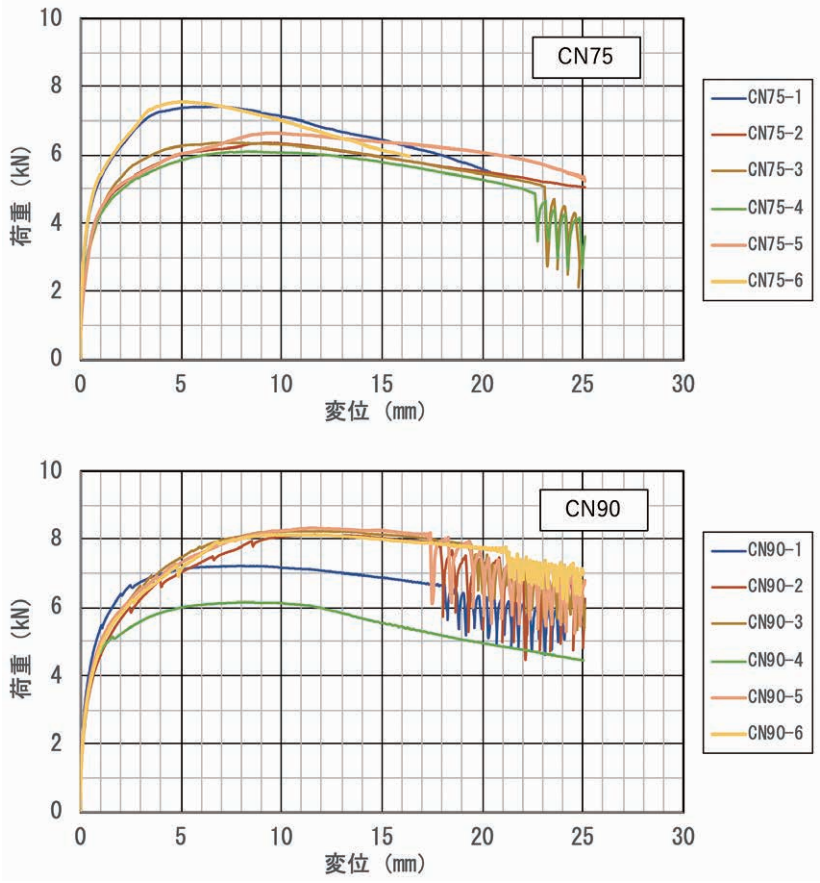


図６　アカマツ枠組材同士を釘接合した試験体の荷重変形関係
（上：太め釘CN75を用いた試験体、下：太め釘CN90を用いた試験体）

表２　枠組材同士の釘接合部試験の結果

太め釘	試験降伏耐力Py（kN）			試験剛性（kN/mm）	
	平均値	標準偏差	5%下限値	平均値	標準偏差
CN75	3.95	0.35	3.14	6.85	1.85
CN90	4.47	0.29	3.78	5.91	1.54

c. 枠組材と合板の接合部試験

枠組材と構造用合板を太め釘CN50で接合した試験体の荷重変形関係は、加力開始直後は荷重と変位が直線関係を示すものの、その後荷重の増加に伴う変形の増加割合は徐々に小さくなり最大荷重に達する傾向だった。そして、最大荷重に達した後は、変位の増加に対して荷重が低下する傾向だった。また、合板厚が厚くなるに従って荷重低下は緩やかな傾向だった（図7）。

枠組材と構造用合板を太め釘CN65で接合した試験体の荷重変形関係は、CN50と同様に加力開始直後は荷重と変位が直線関係を示すものの、その後荷重の増加に伴う変形の増加割合は徐々に小さくなり最大荷重に達する傾向だった。また、荷重の低下と再増加を繰り返しながら最大荷重に達する傾向を示す試験体が複数認められた。そして、最大化中に達した後は、荷重の低下と再増加を繰り返しながら変位が進む傾向を示した。また、この傾向は、合板厚15mmの方が顕著だった（図8）。試験降伏耐力の平均値は、合板厚が同じであれば、CN65の方がCN50よりも大きかったが、試験剛性の平均値は、逆にCN65の方がCN50よりも小さかった（表3）。

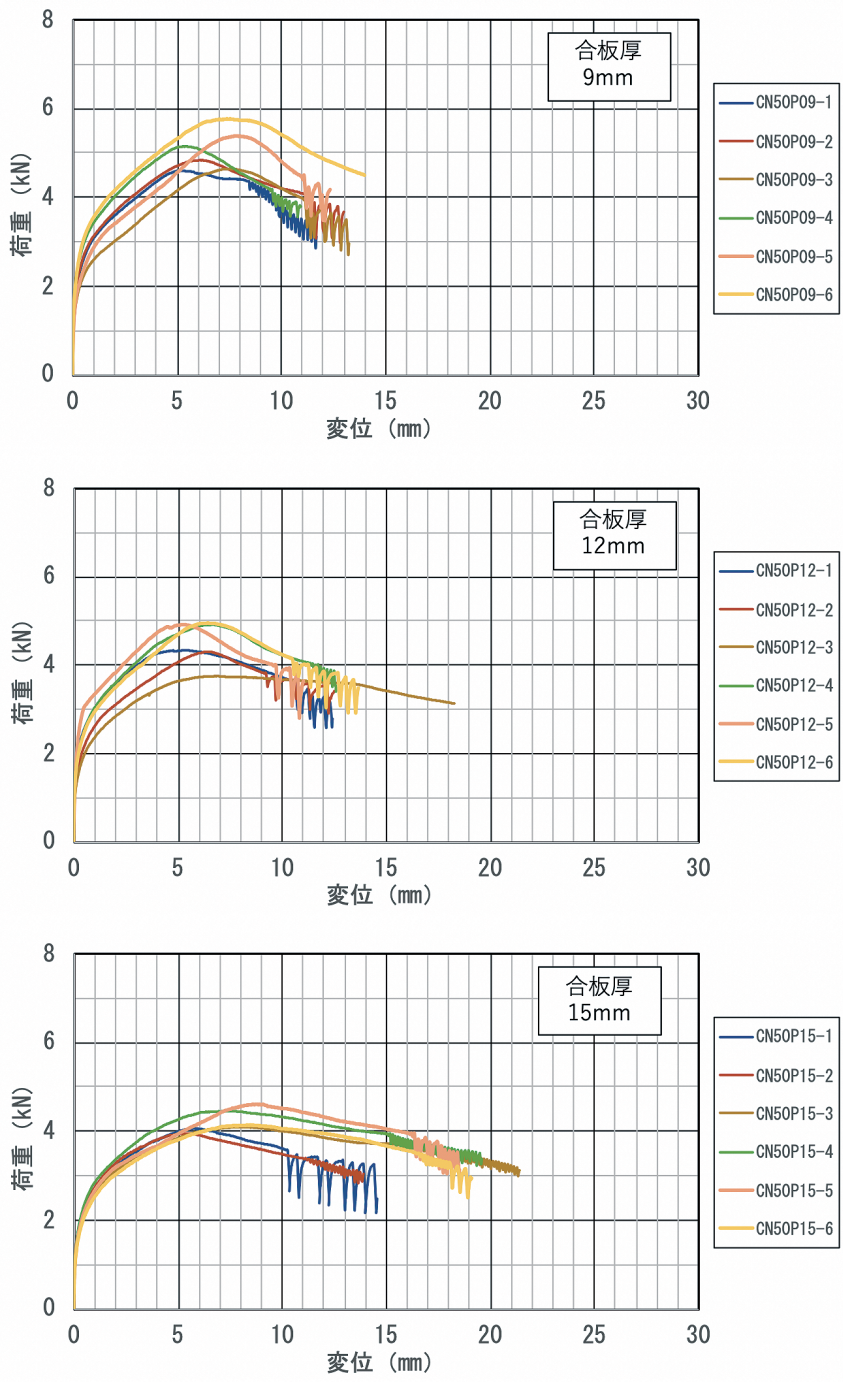


図７　枠組材と構造用合板を太め釘CN50で接合した試験体の荷重変形関係
（上：合板厚9mm、中：合板厚12mm、下：合板厚15mm）

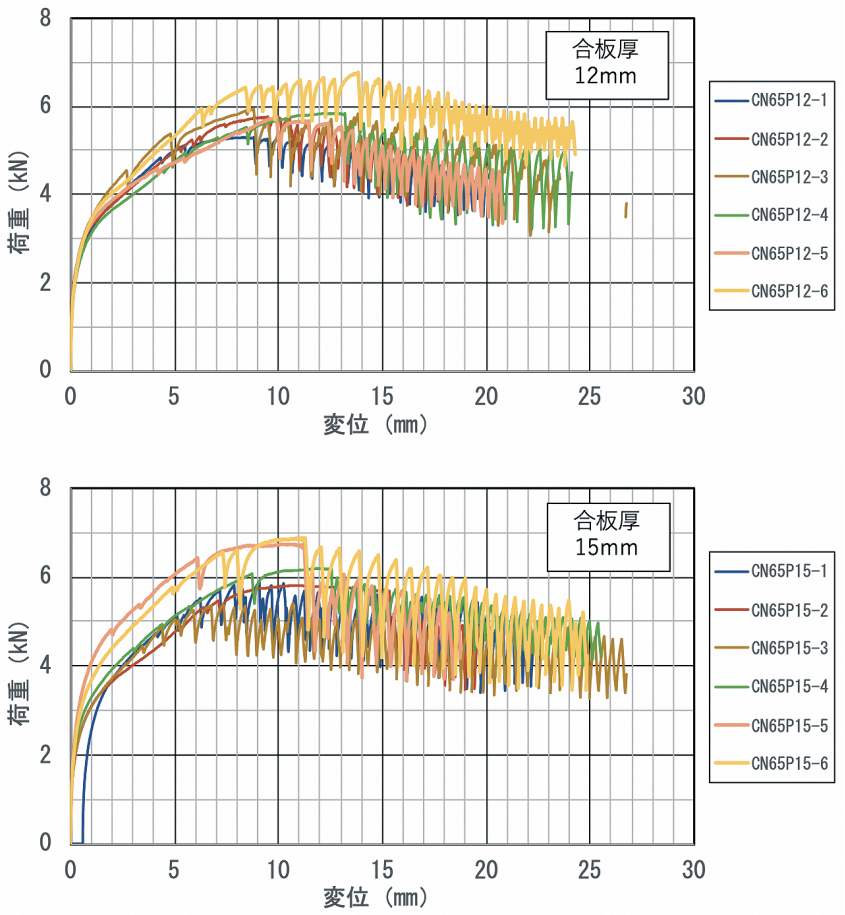


図８　枠組材と構造用合板を太め釘CN65で接合した試験体の荷重変形関係
（上：合板厚12mm、下：合板厚15mm）

表３　枠組材と合板（側材）の接合部試験の結果

太め釘	合板厚（mm）	試験降伏耐力Py（kN）			試験剛性（kN/mm）	
		平均値	標準偏差	5%下限値	平均値	標準偏差
CN50	9	2.67	0.27	2.04	4.93	1.12
	12	2.43	0.28	1.77	5.14	1.59
	15	2.32	0.14	2.00	3.94	0.17
CN65	12	3.08	0.21	2.59	4.02	0.53
	15	3.21	0.39	2.30	3.72	0.85

今後の課題・展開等

反りや曲がりの変形を低減する製造技術で生産したアカマツの枠組壁工法構造用製材を対象に「枠組壁工法建築物構造計算指針」の構造計算で不可欠な接合部の各種強度特性を実験的に検証することができた。得られた検証結果は、アカマツを枠組壁工法に用いたときの構造計算をサポートする上で活用できると考えられる。一方、材料としての各種強度特性に関する分析・評価の結果は引き続き検討中であるが、アカマツが含まれる現行の樹種群D Fir-Lに対応した基準を満足しない可能性がある。これは、アカマツの特徴の一つである輪生節による影響が大きいと考えられる。そのため、アカマツで枠組壁工法用構造用製材を生産するに当たっては、強度特性の低下に及ぼす影響が大きい輪生節を除去して、強度特性を担保したたて継ぎ材として必要な材長を確保する等の加工技術の開発に取り組むことが、アカマツによる枠組壁工法部材の需要拡大に繋がると考えられる。

事業

CLT等を用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き（案）等の作成

● 実施団体 ●

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター
〒136-0075　東京都江東区新砂 3-4-2

一般社団法人 日本CLT協会
〒103-0025　東京都中央区日本橋茅場町 3-9-10 茅場町ブロードスクエア 2 階

事業目的

令和６年４月に防耐火規制の合理化に関する建築基準法が改正・施行された。これらの法改正を活かしたCLTやその他木質部材を用いた中大規模木造建築向けの一般的な防耐火設計手引きが必要である。

このため本事業では、令和６年度施行改正建築基準法による新区分の耐火構造や防耐火設計上の弱点となる納まり等の部位について、防耐火試験による性能検証を行った。また、3000㎡を超える大規模建築物に対する燃えしろ設計法の拡大、防火区画内の木造化等、法改正によって可能となった新しいCLT防耐火設計方法の解説を作成し、性能検証を行った仕様と共に、これらの成果をまとめた防耐火設計手引きの拡充について検討を行う。

実施した項目

本事業では、学識経験者、設計実務者等で構成される検討委員会を設置し、改正防耐火規定に基づくCLT建築物への適用の考え方や留意点を整理し、下記の１～４について検討・実施した。

1. 令和６年４月法改正によって新設された区分（1.5時間耐火構造、遮熱性を有する防火設備等）のうち、CLTやその他木質部材を用いた上で告示より更に合理的となる仕様を検討した。
2. 1.以外の防耐火設計上の弱点についてヒアリングを行い、そのうち検証がなされていない部位について検討した。
3. 1.2.で検討した内容について、1.5時間耐火構造の開口小口、配管設備、告示より合理的な壁仕様について耐火試験を行い、性能を検証した。また、壁内の通気部や取り付けビス・ボルトの熱橋の影響の確認等、防耐火設計上の弱点となる部位についても試験を実施し性能を検証した。
4. 上記の性能検証結果と令和６年４月法改正の条文を基に、CLTを用いた中大規模木造建築物向けの防耐火設計手引き（案）等の基礎資料を取りまとめた。

実施体制

CLT等を用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き（案）等の作成　検討委員会（順不同、敬称略）

[委員長]

成瀬　友宏	（国研）建築研究所　防火研究グループ長

[委員]

安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所　代表／早稲田大学理工学研究所 招聘研究員
鈴木　淳一	（国研）建築研究所　防火研究グループ　主任研究員
野秋　政希	（国研）建築研究所　防火研究グループ　主任研究員
樋本　圭佑	国土交通省　国土技術政策総合研究所　都市研究部　室長
宮林　正幸	（有）ティー・イー・コンサルティング　取締役所長
山田　　誠	（一社）建築性能基準推進協会
向井　昭義	（公財）日本住宅・木材技術センター　常勤理事兼試験研究所長

[協力委員]

福島　　純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室　課長補佐

西村　紘明　　国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付　企画専門官
森田　由佳　　国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室　課長補佐
[コンサルタント]
加來　千紘　　桜設計集団一級建築士事務所
[事務局]
（公財）日本住宅・木材技術センター
（一社）日本CLT協会

CLTを用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き検討委員会WG　（順不同、敬称略）
[主査]
安井　　昇　　桜設計集団一級建築士事務所　代表／早稲田大学理工学研究所　招聘研究員
[委員]
鈴木　淳一　　（国研）建築研究所　防火研究グループ　主任研究員
野秋　政希　　（国研）建築研究所　防火研究グループ　主任研究員
樋本　圭佑　　国土交通省　国土技術政策総合研究所　都市研究部　室長
宮林　正幸　　（有）ティー・イー・コンサルティング　取締役所長
山田　　誠　　（一社）建築性能基準推進協会
佐藤　　章　　（公財）日本住宅・木材技術センター　防耐火試験室長
[アドバイザー]
成瀬　友宏　　（国研）建築研究所　防火研究グループ長
[コンサルタント]
加來　千紘　　桜設計集団一級建築士事務所
[事務局]
（公財）日本住宅・木材技術センター
（一社）日本CLT協会

実施した内容

CLTを主要構造部に用いた1時間耐火構造壁または1.5時間耐火構造壁について、3体の加熱実験を実施し、それぞれ下記の内容を検証した。

試験体①　1時間耐火構造外壁 ― ALC外壁の通気層の影響を検証
試験体②　1.5時間耐火構造壁
― 耐火被覆の軽減可能性・留め具の熱橋の影響の検証
試験体③　1.5時間耐火構造壁
― 開口小口の耐火被覆代替措置・配管貫通部の被覆措置・
耐火被覆の軽減・留め具の熱橋の検証

加熱実験は、いずれも（公財）日本住宅・木材技術センター・壁炉で実施し、ISO834標準加熱曲線に準じた所定の加熱時間の後、加熱時間の3倍を基本として炉内に放置し、耐火炉内の温度及び一酸化炭素濃度の推移、試験体内部の温度推移等をみながら実験終了を決めた。試験体仕様の詳細を下記に示す。

試験体①　1時間耐火構造外壁―ALC外壁の通気層の影響を検証

CLTパネル工法をはじめ、外壁の構造躯体を木造とする場合、耐久性確保のため、外壁の屋外側に通気層を設ける。しかし、荷重支持部の炭化が許容されない木造の耐火構造では、空気の通り道となる通気層は、納まり上、耐火性能の弱点となる可能性がある。そこで本実験では、CLTパネル工法における通気層の出入り口ついて、その耐火性能を検証する。なお、通気層は建物下層の基礎から軒下の部分と

建物上層の床上からパラペットの部分が考えられるが、本年度はまず基礎から軒下の部分を想定した実験を実施する。

試験体は、高さ2,760mm×幅1,960mmで製作し、躯体にはCLT（スギ3層3プライ）を用いて、加熱側の層構成は強化せっこうボードGB-F(V) 厚15mm＋通気層＋ALC厚50mm（H12建設省告示第1399号の耐火構造の告示仕様）とした。また、通気層については、試験体の左右で下記の2仕様に分け、目的（1）通気用胴縁の厚さ・種類による耐火被覆の性能の余力度、目的（2）通気層の出入口部の耐火被覆切り欠きに対する措置の有効性を検証した。

仕様1：通気層 厚さ15mm
給気口（壁下部）・排気口（壁上部）のALCの切り欠き高さ20mm
通気用胴縁　木材（スギ）厚15mm×幅45mm
ダイライト 厚9mm＋6mm（総厚15mm）×幅45mm
ALC切り欠きに対する補強措置　加熱発泡材厚1.6mm×幅30mm

仕様2：通気層 厚さ25mm
給気口（壁下部）・排気口（壁上部）のALCの切り欠き高さ30mm
通気用胴縁　木材（スギ）厚25mm×幅45mm
硬質木片セメント板 厚25mm×幅45mm
耐火被覆切り欠きに対する措置　加熱発泡材厚1.6mm×幅30mm

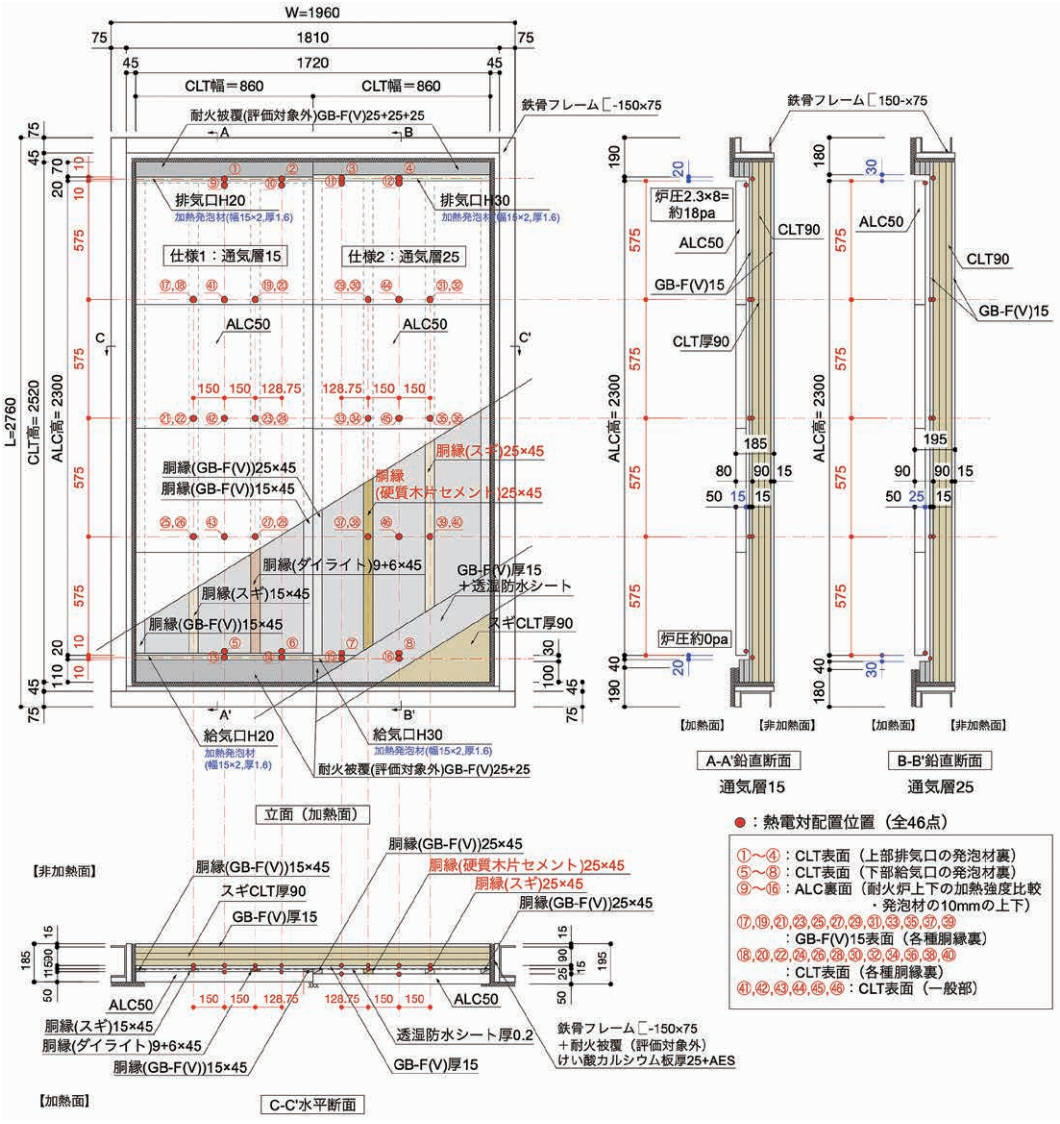


図1　試験体①の寸法・構造（単位mm）

試験体②　1.5時間耐火構造壁―耐火被覆の軽減・留め具の熱橋

H12建設省告示第1399号（耐火構造の構造方法を定める件）において、1.5時間耐火構造は、強化せっこうボードGB-F(V)総厚63mmの耐火被覆の仕様が規定されている。一方で、実設計では、不燃系の断熱材の充填やせっこうボードなどの不燃材料の仕上げを設けることが考えられ、強化せっこうボード被覆の軽減に寄与する可能性が考えられる。そこで本検証では、下記９つの仕様の比較実験により、耐火被覆の軽減の可能性を検証する。９つの仕様は、強化せっこうボードGB-F(V)2枚＋α（遮熱措置）の構成を基本とする。

また試験体②では９つ全ての仕様において、耐火被覆の上からビス、くぎ、コーチボルト等で設備機器などを取り付けた場合の金属部材からの木造躯体（CLT）への熱橋の影響もあわせて検証する。なお、実験方法やビス、くぎ、コーチボルトの仕様は昨年度の［1時間耐火構造］の実験にならう。

仕様１：　GB-F(V)厚25mm×２枚張り
仕様２：　GB-F(V)厚25mm×２枚張り＋ロックウール吸音板厚9mm
仕様３：　GB-F(V)厚25mm×２枚張り＋GB-R厚12.5mm（コンセントボックス）
仕様４：　木胴縁25×45mm（GW24K厚25充填）＋GB-F(V)厚25mm×２枚張り
仕様５：　木胴縁25×45mm＋GB-F(V)厚25mm×２枚張り
仕様６：　GB-F(V)厚21mm×２枚張り＋ロックウール吸音板厚12mm
仕様７：　GB-F(V)厚15＋21mm＋ALC35（木縦胴縁15×45mm）
仕様８：　GB-F(V)厚21mm×２枚張り＋ALC50（木縦胴縁15×45mm）
仕様９：　GB-F(V)厚21mm×２枚張り＋ALC35（木縦胴縁15×45mm）
※GB-F(V)は強化せっこうボード（ひる石入）、GB-Rは普通せっこうボード
留め具Ａ：構造用ビスΦ８×L110mm（仕様3,7,8,9 構造用ビスΦ８×L140mm）
留め具Ｂ：鉄板t=4.5×100角＋構造用ビスΦ８×L110mm
（仕様3,7,8,9鉄板t=4.5×100角＋構造用ビスΦ８×L140mm）
留め具Ｃ：コーチボルトM16×125mm（仕様3,8コーチボルトM16×150mm）
留め具Ｄ：鉄板t=4.5×100角＋コーチボルトM16×125mm＋ロックウール80K厚25×150mm角（仕様3,8鉄板t=4.5×100角＋コーチボルトM16×150mm＋ロックウール80K厚25×150mm角）

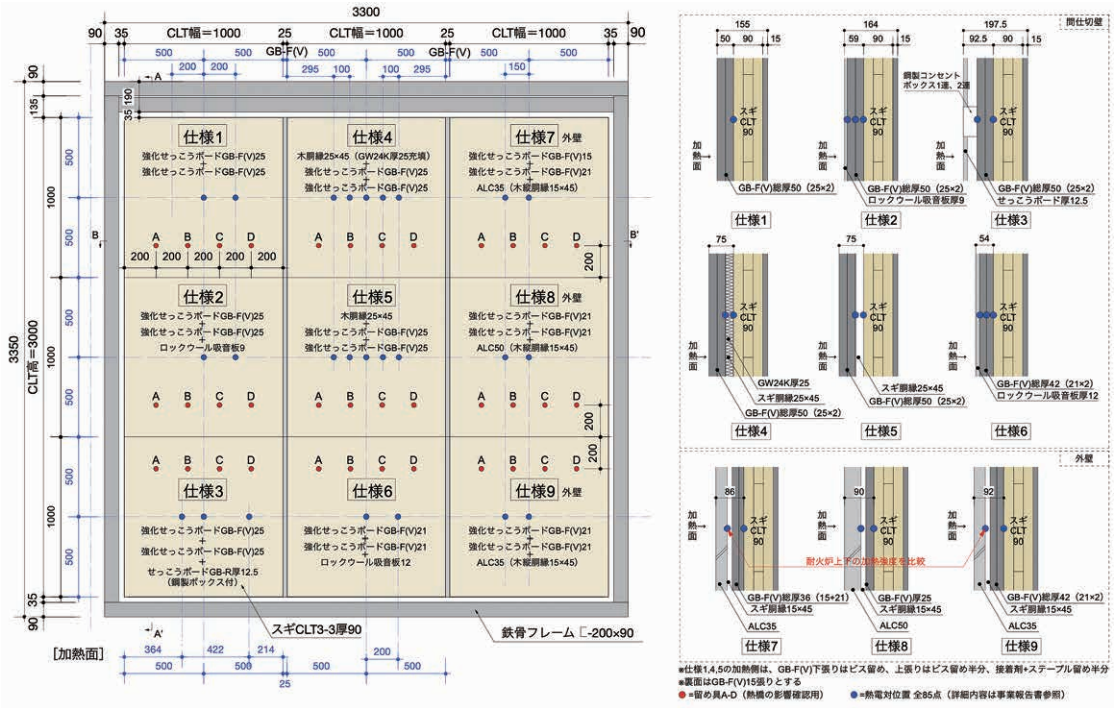


図２　試験体②の寸法・構造（単位mm）

試験体③　1.5時間耐火構造壁―開口小口の代替措置・設備貫通の被覆措置等

1.5時間耐火構造壁について、耐火性能上弱点となる可能性のある窓等が取り付く開口部小口及び設備配管が貫通する部分の被覆措置について、加熱実験を実施した。また、試験体②の耐火被覆の軽減についても、実験結果を踏まえ改良仕様を検証した。

[開口小口の被覆代替措置]

仕様1：GB-F(V)厚21mm×2枚張り＋スギ厚30mm(スギ胴縁)

仕様2：GB-F(V)厚21mm×2枚張り＋スギ厚30mm(不燃胴縁)

仕様3：GB-F(V)厚25mm＋スギ厚45mm(不燃胴縁)

[設備貫通部の被覆措置]

仕様1：VP管100にRW68mm巻き（CLT開口Φ250）被覆かぶせタイプ

仕様2：SGP管100Aに RW68mm巻き（CLT開口Φ250）被覆かぶせタイプ

仕様3：VP管100にRW68mm巻き（CLT開口Φ250）被覆増し張りタイプ

仕様4：SGP管100Aに RW68mm巻き（CLT開口Φ250）被覆増し張りタイプ

仕様5：VP管50にRW45mm巻き（CLT開口Φ150）被覆かぶせタイプ

仕様6：SGP 管50Aに RW45mm巻き（CLT開口Φ150）被覆かぶせタイプ

仕様7：VP管50にRW45mm巻き（CLT開口Φ150）被覆増し張りタイプ

仕様8：SGP 管50Aに RW45mm巻き（CLT開口Φ150）被覆増し張りタイプ

[耐火被覆の軽減]

仕様1： GB-F(V)厚21mm+25mm

仕様2：木胴縁25×45mm＋GB-F(V)厚21mm+25mm

仕様2：木胴縁25×45mm（GW24K厚25充填）＋GB-F(V)厚21mm+25mm

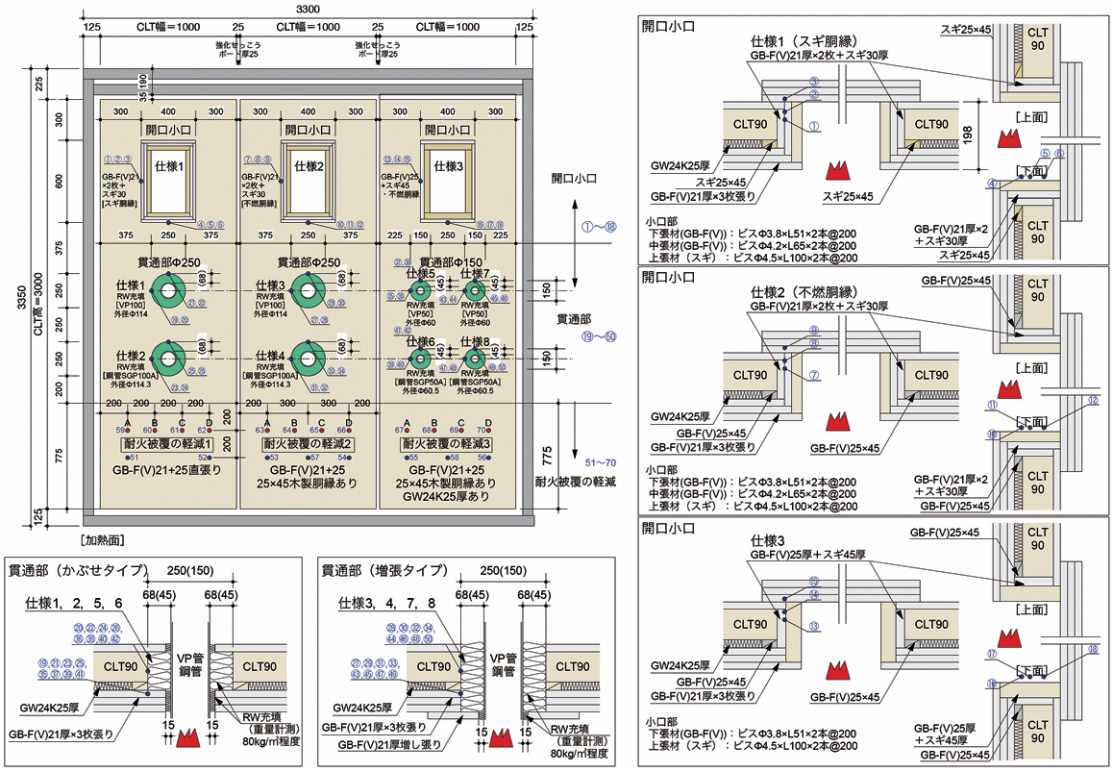


図3　試験体③の寸法・構造（単位mm）

また、3体の加熱実験に加えて、CLTを用いた防火戸について、20分防火設備、1時間特定防火設備を想定した、防火的な納まりの検討を行った。

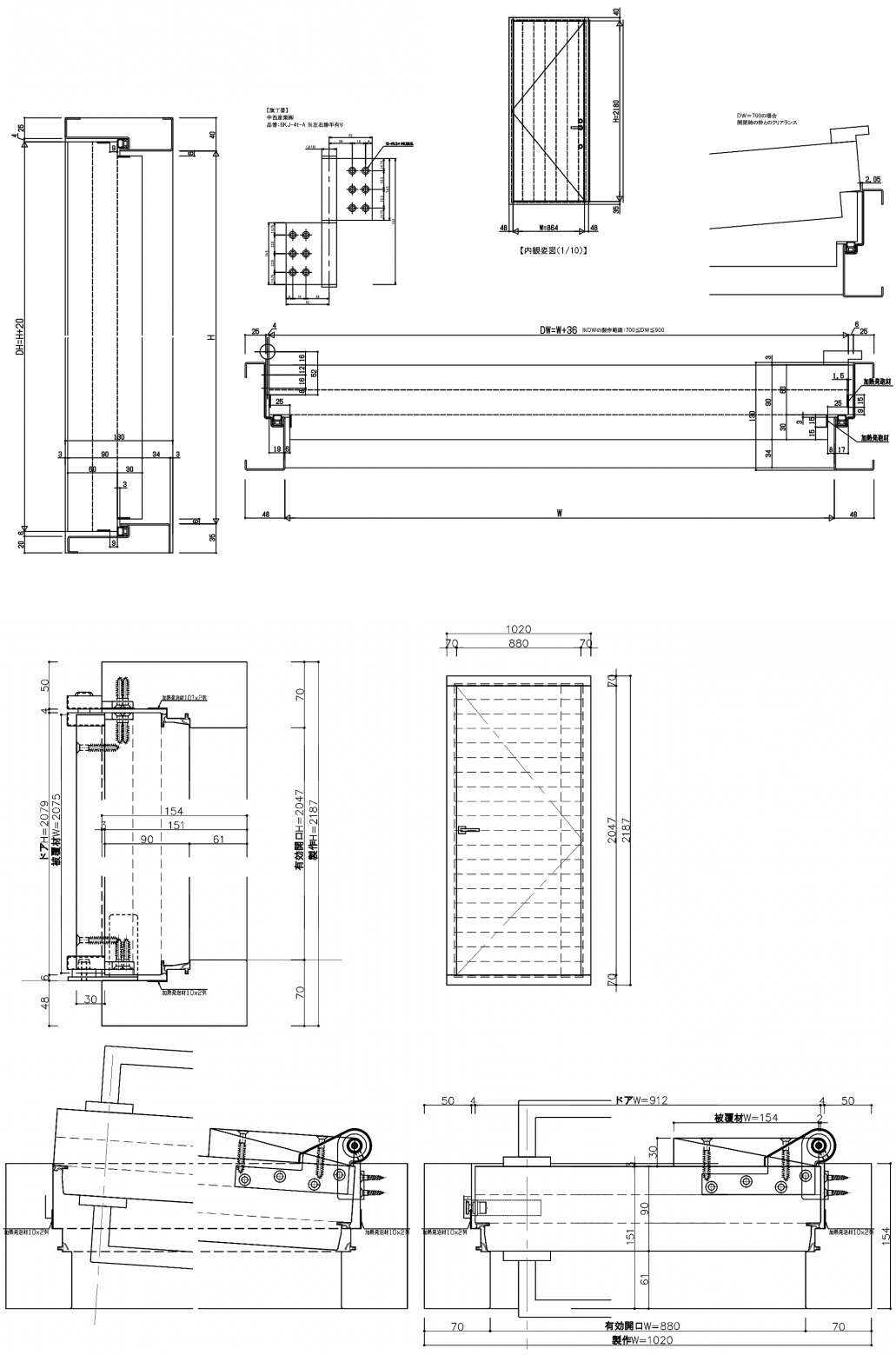


図４　CLTを用いた防火戸の検討図（単位mm）
上図：金属製枠防火戸の検討(作図：YKKAP)、下図：木製枠防火戸の検討(作図：山崎屋木工製作所)

試験体および実験装置の写真

写真-1　試験体①の加熱面全景

写真-2　試験体②の加熱面全景

写真-3　試験体③の加熱面全景

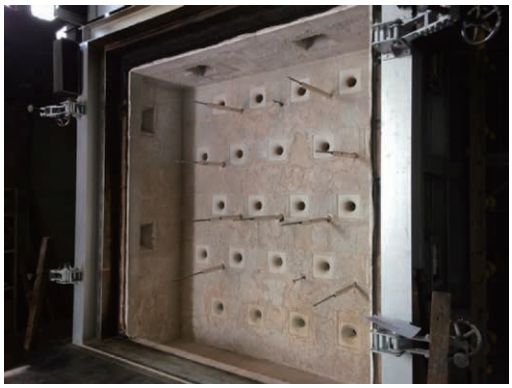


写真-4　壁炉の全景

実施した結果

前述の３体の実験結果について、結果概要を記載する。

【1時間耐火構造外壁―ALC外壁の通気層の影響の検証結果】

１時間加熱、３時間放置にて実験を終了した。外壁の非損傷性を判断するCLT表面と通気層上下部の温度推移を図５と図６に示す。

その結果、仕様１（通気層厚さ15mm、通気層上下の出入口のALC切欠き高さ20mm）については、CLT表面最高は235℃（①）に留まり、CLTの燃焼や炭化は見られなかった。実験終了後の試験体の観察によると、通気層上下部の加熱発泡材がALCの切欠き部（高さ20mm）に充てんされており、これにより熱侵入を抑制したと考えられる。

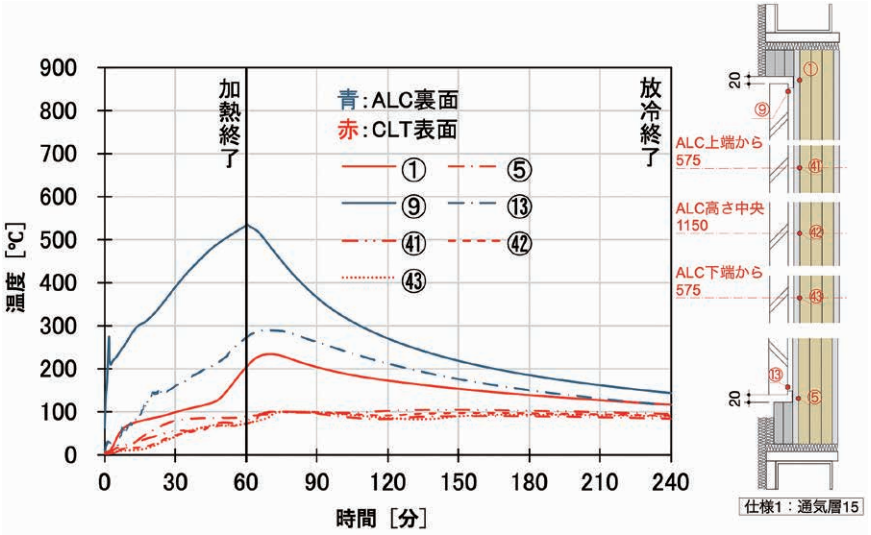


図５　仕様１（通気層厚15mm）の各部温度推移

一方、仕様２（通気層厚さ25mm、通気層上下の出入口のALC切欠き高さ30mm）については、加熱開始40分過ぎに、通気層上部のCLT表面温度（④）が木材の着火温度とされる260℃を超え、CLTの燃焼が始まったと予想される。実験終了後の試験体の観察によると、通気層上部のGB-F(V)表面に配置した加熱発泡材が残存しておらず、ALC切欠き部の被覆効果が足りずにCLTの燃焼が始まったと考えられる。なお、通気層下部については、ALC切欠き部は発泡材により充てんされてCLTへの熱侵入は抑制された。

以上より、通気層厚さや出入口のALC切欠き寸法を仕様１よりも大きくする場合は、その部分の補強措置を追加で検討する必要があるだろう。

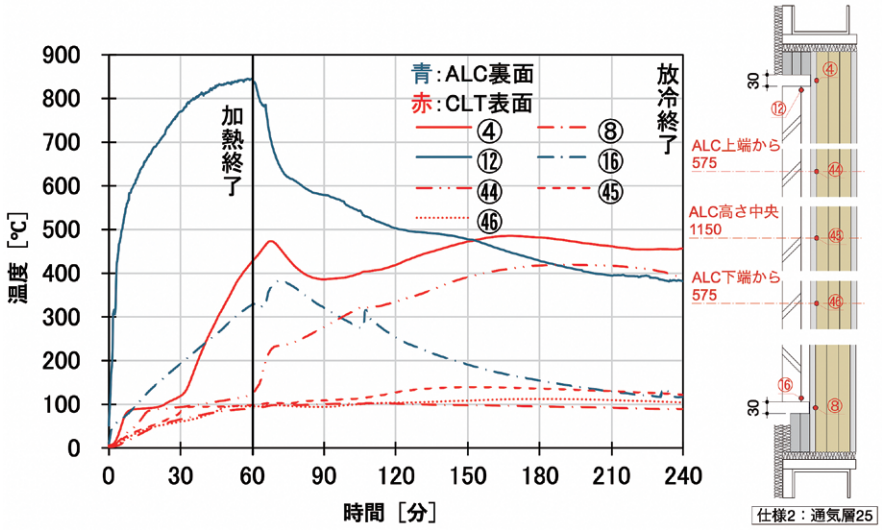


図６　仕様２（通気層厚25mm）の各部温度推移

【1.5時間耐火構造壁―耐火被覆の軽減・留め具の熱橋の影響の検証結果】

1.5時間加熱、4.5時間放置にて実験を終了した。壁の非損傷性に影響するCLT表面の最高温度を表１に示す。これによるといずれの仕様も木材の着火温度とされる260℃を越えることなく、解体後の表面観察からも燃焼や炭化は見られず、1.5時間耐火構造に必要な被覆仕様を明確にできた。また、構造用ビスΦ８の打ち込み部のCLT表面温度はすべての仕様で260℃以下となり、耐火被覆の上から8mm径以下の構造用ビスを打ち込んで、付帯物などを取り付けても耐火上の支障がないことが確認できた。一方で、コーチボルトM16の打ち込み部はいずれの仕様もCLT表面温度が260℃を越えた。ただし、すべての仕様で自消はした。

表１　仕様ごとのCLT表面の最高温度

仕様		CLT表面最高温度（℃）
仕様1	GB-F(V)厚25mm×２	136
仕様2	GB-F(V)厚25mm×２＋ロックウール吸音板厚9mm	101
仕様3	GB-F(V)厚25mm×２＋GB-R厚12.5mm（コンセントボックス）	107
仕様4	木胴縁25×45mm（GW24K厚25充填）＋GB-F(V)厚25mm×２	96
仕様5	木胴縁25×45mm＋GB-F(V)厚25mm×２	121
仕様6	GB-F(V)厚21mm×２＋ロックウール吸音板厚12mm	110
仕様7	GB-F(V)厚15＋21mm＋ALC35（木縦胴縁15×45mm）	107
仕様8	GB-F(V)厚21mm×２＋ALC50（木縦胴縁15×45mm）	102
仕様9	GB-F(V)厚21mm×２＋ALC35（木縦胴縁15×45mm）	100

【1.5時間耐火構造壁―開口小口・貫通部の被覆措置等の検証結果】

1.5時間加熱、4.5時間放置にて実験を終了した。開口小口については、仕様3の縦枠及び上下枠に炭化痕が生じたが、仕様1及び仕様2についてはCLT小口温度も260℃を越えず所定の性能を確保した。設備貫通部については、仕様3（鋼管100A）をのぞくすべての仕様で所定の性能を確保した。

また、耐火被覆の軽減については、強化せっこうボード総厚46mm（21mm＋25mm）にて、断熱材（GW24K25厚）の有無にかかわらず、CLT表面は260℃以下であり、1.5時間耐火構造壁の性能確保を良い見通しを付けた。

実験終了時の試験体全景と解体時の一例

写真-5　試験体①の加熱面全景

写真-　6試験体①のCLT全景

写真-7　試験体②の加熱面全景

写真-8　試験体②のCLT全景

写真-9　試験体③の加熱面全景

写真-10　試験体③のCLT全景

今後の課題・展開等

本事業の実験結果から以下の展開が考えられる

- 1時間耐火構造のALC外壁については、通気層を厚さ15mmとする場合は、実験仕様のように加熱発泡材等により通気層上下部のALC切欠き部を補強すれば、耐火上の弱点となることはない。一方、耐久性上、通気層の厚さを15mmよりも大きくする場合は、通気層上部のALC切欠き部の補強措置についてさらなる検討が必要と考えられる。
- 1.5時間耐火構造壁については、H12建設省告示第1399号（耐火構造の構造方法を定める件）に強化せっこうボードGB-F(V)総厚63mmが例示されているが本事業において、総厚46mm（21mm＋25mm）とできる可能性が示唆された。今後、性能評価試験を経て国土交通大臣認定取得が可能と考えられる。

また、手引きとしては令和6年4月以降に施行となった告示について新たな告示仕様や防耐火規制を解説し、上記の結果と併せてさらなる合理化の提案を行った。今後は、告示だけでない情報も絡めて総合的な内容をマニュアル化していく必要があるだろう。

事業

RP含浸処理木材の外構材等への利用拡大を図るための品質管理基準の検討とその耐久性評価試験

● 実施団体 ●

一般社団法人 高知県木材協会

〒781-0801　高知県高知市小倉町２番８号

事業目的

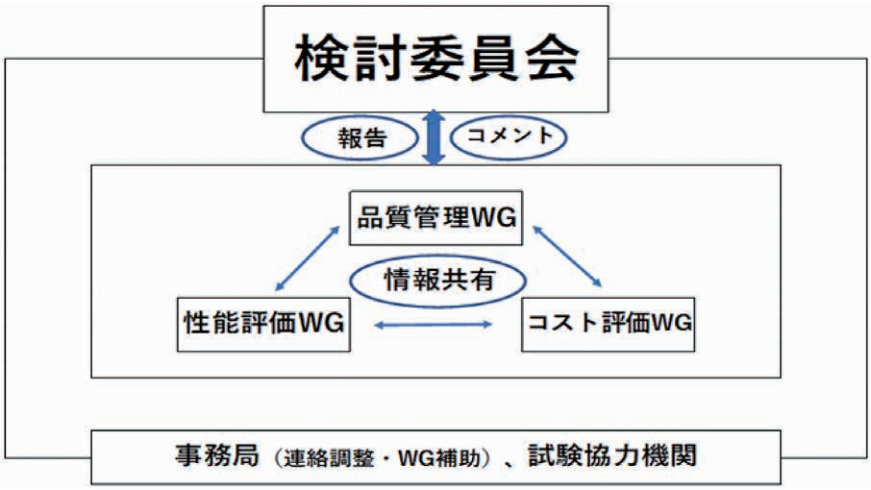
今後の木質材料の需要拡大には、非住宅建築物や外構材等への利用拡大を図ることが不可欠であり、現状、デッキ材等では、再生木材（混練型WPC）のシェアーが独占的であり、しかも生産拠点のほとんどは海外であり、国産材利用やトレーサビリティの点で課題がある。そこで、国産製材利用や合法性を担保する視点からRP含浸処理木材の品質とその性能を検証し、合理的な実用条件を検討する。

実施した項目

本事業では、学識経験者、関係団体等により構成される検討委員会及び三つのWGを設置し、下記の①～③について検討、実施した。

① RP含浸処理技術の検討
② 浸透量（含浸量）と耐久性（耐候性、耐朽性、耐蟻性、硬さ、摩耗）等の関係の検討
③ トータルコストの検討

実施体制



検討委員：

市浦　英明	（高知大学）
堀沢　　栄	（高知工科大）
板倉　修司	（近畿大学）
木口　　実	（日本大学）
梅澤　俊明	（京都大学）
栗﨑　　宏	（富山県農林水産総合技術センター木材研究所）
山本　幸一	（元（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所）
八木　敦司	（NPO法人team Timberize）

久原　　裕　（NPO法人team Timberize）
渡邉　喜六　（(株)泉化工）
中村　茂樹　（(株)中村工業）
和田　守通　（(株) eステップ）
樫尾　隆仁　（(株) eステップ）
片岡　輝芳　（(株) e２m）
小野田　勝　（高知県林業振興環境部木材産業振興課）

品質管理WG：　栗﨑　宏、渡邉喜六、中村茂樹、和田守通、樫尾隆仁、片岡輝芳
性能評価WG：　板倉修司、栗﨑　宏、渡邉喜六、中村茂樹、和田守通、樫尾隆仁、片岡輝芳
コスト評価WG：　渡邉喜六、中村茂樹、和田守通、樫尾隆仁、片岡輝芳
試験協力機関：　高知県工業技術センター、高知県立森林技術センター
事務局：　（一社）高知県木材協会

実施した内容

① RP含浸処理技術の検討

供試木材は、これまでの外構用木材の耐久性能の向上を目指して取り組みを行ってきたと同様の仕様（スギ･ヒノキ辺心材、寸法（W60×D20×L150））とし、供試RPは、３種類を基本とし、処理条件（圧力（減圧）、温度、時間）とPR浸透量（含浸量）の関係の検討を行い、重量増加率によるグループ化・パターン化による仕様選定を行った。

② 浸透量（含浸量）と耐久性（耐候性、耐朽性、耐蟻性、硬さ、摩耗）等の関係の検討

②－１ 処理材の耐候性評価試験

キセノンウエザーメーターによる耐候促進試験や暴露試験を行った。

②－２ 処理材の防腐効力及び防蟻効力試験

処理材のRP浸透（含浸）状況の化学的分析並びにJIS K1571に基づき、防腐性能及び防蟻性能の室内試験を行った。

②－３ 処理材の硬さ試験及び摩耗試験

JISZ2101に基づき、処理材のブリネル硬さ試験並びに研磨紙法による摩耗試験を行った。

③ トータルコストの検討

フローリング及びデッキ用を想定し、設計試作を行い、処理コスト（設計単価）の検討を行った。

実施した結果

① RP含浸処理技術の検討

供試木材は、これまでの外構用木材の耐久性能の向上を目指して取り組みを行ってきたと同様の仕様（スギ・ヒノキ辺心材、寸法（W60×D20×L150））とし、供試RPは、３種類を基本とし、処理条件（圧力（減圧）、温度、時間）とPR浸透量（含浸量）の関係の検討を行い、重量増加率によるグループ化・パターン化による仕様選定を行った結果を表－１に示す。

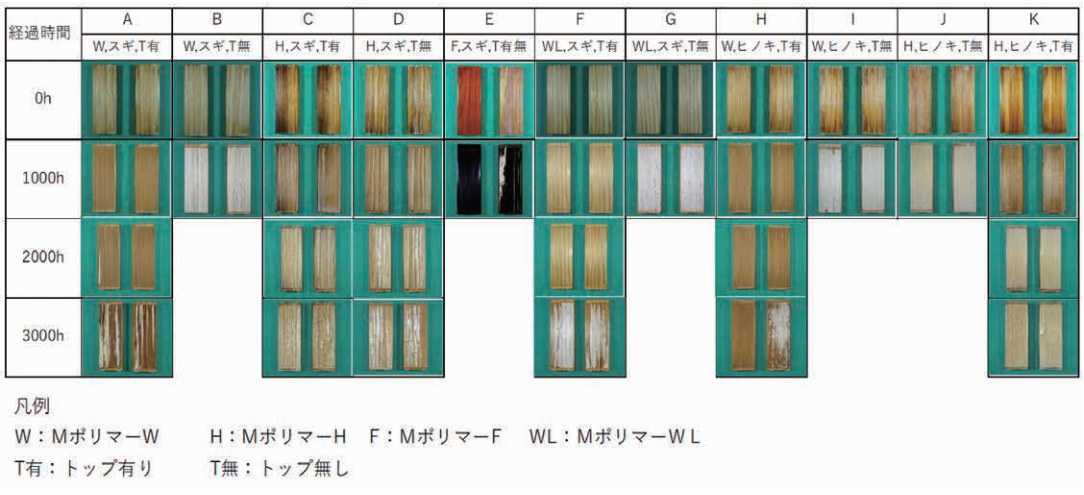
表－１　処理試験体の重量増加率によるグループ化・パターン化

タイプ	樹種	処理仕様	重量増加率
A	スギ	Mポリマー W　35%含浸　トップ有り Mポリマー W　38%含浸　トップ有り	40%程度
B	スギ	Mポリマー W　40%含浸　トップ無し Mポリマー W　40%含浸　トップ無し	40%程度
C	スギ	Mポリマー H　89%含浸　トップ有り Mポリマー H　97%含浸　トップ有り	100%程度
D	スギ	Mポリマー H　106%含浸 トップ無し Mポリマー H　110%含浸 トップ無し	100%程度
E	スギ	Mポリマー F　32%含浸　トップ有り Mポリマー F　38%含浸　トップ無し	40%程度
F	スギ	Mポリマー WL　64%含浸　トップ有り Mポリマー WL　37%含浸　トップ有り	40%程度
G	スギ	Mポリマー WL　42%含浸　トップ無し Mポリマー WL　36%含浸　トップ無し	40%程度
H	ヒノキ	Mポリマー W　61%含浸　トップ有り Mポリマー W　71%含浸　トップ有り	70%程度
I	ヒノキ	Mポリマー W　43%含浸　トップ無し Mポリマー W　46%含浸　トップ無し	40%程度
J	ヒノキ	Mポリマー H　72%含浸　トップ無し Mポリマー H　72%含浸　トップ無し	70%程度
K	ヒノキ	Mポリマー H　105%含浸　トップ有り Mポリマー H　104%含浸　トップ有り	100%程度
L	スギ	Mポリマー W　38%含浸トップ有り Mポリマー W　40%含浸トップ有り	40%程度
M	スギ	Mポリマー AW　14%含浸トップ有り Mポリマー AW　15%含浸トップ有り	20%程度
N	スギ	Mポリマー H　33%含浸トップ有り Mポリマー H　31%含浸トップ有り	40%程度
O	ヒノキ	Mポリマー W　15%含浸トップ有り Mポリマー W　26%含浸トップ有り	20%程度
P	ヒノキ	Mポリマー AW　14%含浸トップ有り Mポリマー AW　14%含浸トップ有り	20%程度
Q	ヒノキ	Mポリマー H　27%含浸トップ有り Mポリマー H　27%含浸トップ有り	40%程度

② 浸透量（含浸量）と耐久性（耐候性、耐朽性、耐蟻性、硬さ、摩耗）等の関係の検討

②－１　処理材の耐候性評価試験

キセノンウエザーメーターによる促進耐候試験の経過観察の様子を写真－１及び写真－２に示す。また、写真－１及び写真－２に示すRP含浸処理木材の仕様をそれぞれ表－２及び表－３に示す。

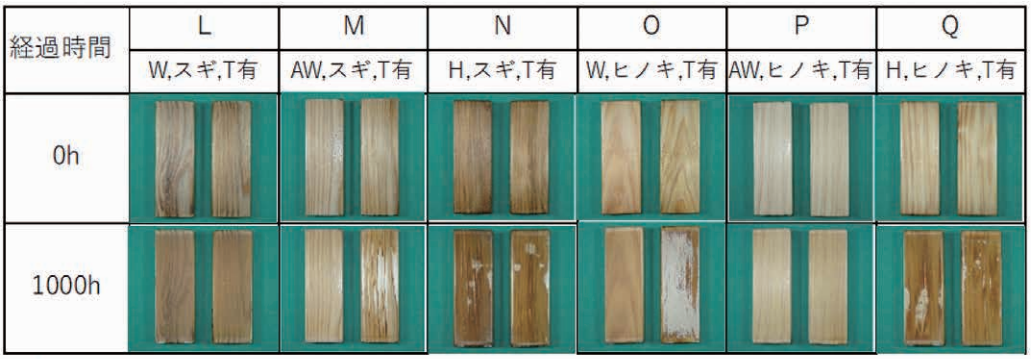


写真－１　RP含浸処理木材の耐候促進試験の観察経過

表－２　写真－１に示すRP含浸処理木材の仕様

タイプ	試験体NO	処理仕様	備考
A	S-1-1	Mポリマー W　35%含浸　トップ有り	
	S-1-2	Mポリマー W　38%含浸　トップ有り	
B	S-1-3	Mポリマー W　40%含浸　トップ無し	1000H終了
	S-1-4	Mポリマー W　40%含浸　トップ無し	1000H終了
C	S-2-2	Mポリマー H　89%含浸　トップ有り	木裏
	S-2-5	Mポリマー H　97%含浸　トップ有り	木裏
D	S-2-3	Mポリマー H　106%含浸 トップ無し	
	S-2-4	Mポリマー H　110%含浸 トップ無し	
E	S-2-10	Mポリマー F　32%含浸　トップ有り	1000H終了
	S-2-11	Mポリマー F　38%含浸　トップ無し	1000H終了
F	S-3-4	Mポリマー WL　64%含浸　トップ有り	
	S-3-7	Mポリマー WL　37%含浸　トップ有り	
G	S-3-9	Mポリマー WL　42%含浸　トップ無し	1000H終了
	S-3-10	Mポリマー WL　36%含浸　トップ無し	1000H終了
H	H-1-1	Mポリマー W　61%含浸　トップ有り	木裏
	H-1-5	Mポリマー W　71%含浸　トップ有り	木裏
I	H-1-3	Mポリマー W　43%含浸　トップ無し	1000H終了
	H-1-4	Mポリマー W　46%含浸　トップ無し	1000H終了
J	H-1-11	Mポリマー H　72%含浸　トップ無し	1000H終了
	H-2-1	Mポリマー H　72%含浸　トップ無し	1000H終了
K	H-2-2	Mポリマー H　105%含浸　トップ有り	
	H-2-3	Mポリマー H　104%含浸　トップ有り	
計	22		

試験体NOのS:スギ　H:ヒノキ



凡例
W：MポリマーW　　H：MポリマーH　AW:　MポリマーAW
T有：トップ有り　　T無：トップ無し

写真－２　RP含浸処理木材（追加）の耐候促進試験の観察経過

表－３　写真－２に示すRP含浸処理木材の仕様

タイプ	試験体NO	処理仕様	備考
L	S11-1	Mポリマー W 38%含浸トップ有り	2000H経過時から
	S11-2	Mポリマー W 40%含浸トップ有り	2000H経過時から
M	S11-5	Mポリマー AW 14%含浸トップ有り	2000H経過時から
	S11-6	Mポリマー AW 15%含浸トップ有り	2000H経過時から
N	S11-7	Mポリマー H 33%含浸トップ有り	2000H経過時から
	S11-8	Mポリマー H 31%含浸トップ有り	2000H経過時から
O	H11-2	Mポリマー W 15%含浸トップ有り	2000H経過時から
	H11-3	Mポリマー W 26%含浸トップ有り	2000H経過時から
P	H11-4	Mポリマー AW 14%含浸トップ有り	2000H経過時から
	H11-5	Mポリマー AW 14%含浸トップ有り	2000H経過時から
Q	H11-8	Mポリマー H 27%含浸トップ有り	2000H経過時から
	H11-9	Mポリマー H 27%含浸トップ有り	2000H経過時から
計	12		

試験体NOのS:スギ　H:ヒノキ

昨年度試行的に行ったRP処理木材で、5000時間経過で損傷が見られない試験体があったため、目標の5000時間達成の試験体が十分に期待できると考えられたが、3000時間で、ほとんどの試験体に損傷が発生した。特に、トップコート無しでは、1000時間経過ですべて損傷が発生した。わずかに損傷が少なく、残った試験体について、試験継続を行うが、今後、樹脂の成分構成割合やトップコートの処理方法の再検討を行い、目標時間をクリアーするための試験設計を構築しなければならない。

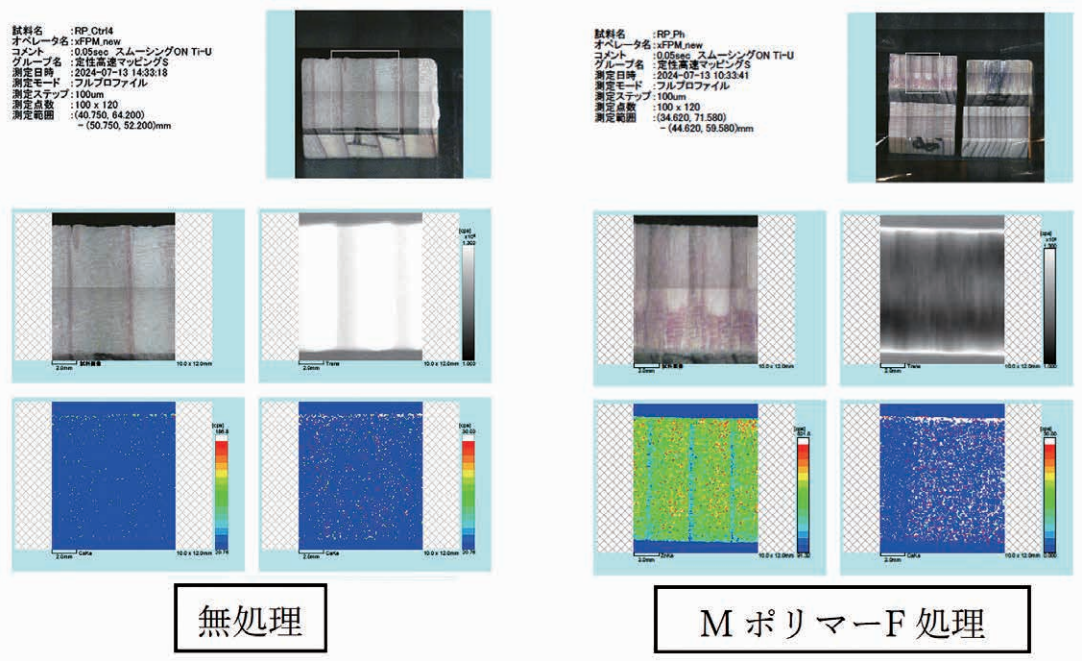
②－２　処理材の防腐効力及び防蟻効力試験

処理材のRP浸透（含浸）状況の化学的分析並びにJIS K1571に基づき、防腐性能及び防蟻性能の室内試験を行った結果を写真－３及び表－4,表－5,表－６に示す。

防腐効力試験用及び防蟻効力試験用の処理試験体の重量増加率は、表－４に示すように、約200%となっており、一方、RP浸透（含浸）状況は、写真－３に示すようにXRF分析によって、接線方向中央部の半径・繊維断面にRP樹脂が均一に浸透していることが確認できた。

表－４　RP処理による質量増加率

RP種類	質量増加率 （平均±標準偏差）
Mポリマー H	256% ±10.0%
Mポリマー W	211% ±13.3%
Mポリマー F	186% ±9.8%



写真－3　RP含浸処理試験片の断面XRF分析（マッピング画像）

防腐効力試験の結果を表－5に示す。腐朽によるRP含浸処理試験片の質量減少率は1～5%で、無処理試験片の質量減少率25～30%に対して大きく低下している。質量減少率は、JISK1571の防腐性能基準（3%以下）にやや不足しているが、試験片の外観に腐朽の形跡は全く見られず、健全であった。各樹脂により均一に樹脂化された試験片にはいずれも、高い耐朽性が認められた。

表－5　防腐効力試験結果

RP種類	質量減少率（平均±標準偏差）		
	オオウズラタケ	カワラタケ	備考
Mポリマー H	1% ±1.1%	3% ±0.2%	外観の劣化なし
Mポリマー W	5% ±0.4%	3% ±0.3%	外観の劣化なし
Mポリマー F	5% ±0.4%	5% ±0.5%	外観の劣化なし
無処理	25% ±5.7%	35% ±6.7%	外観劣化顕著（崩壊、収縮）

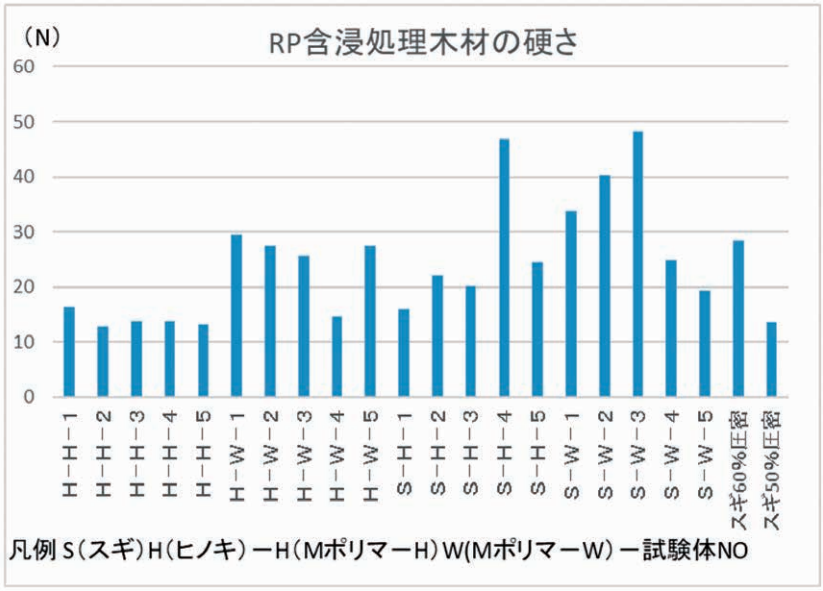
防蟻効力試験の結果を表－6に示す。イエシロアリ食害によるRP含浸処理試験片の平均質量減少率は、いずれのRPにおいても3%以下で、JISK1571の防蟻性能基準を満たした。

表－6　防蟻効力試験結果

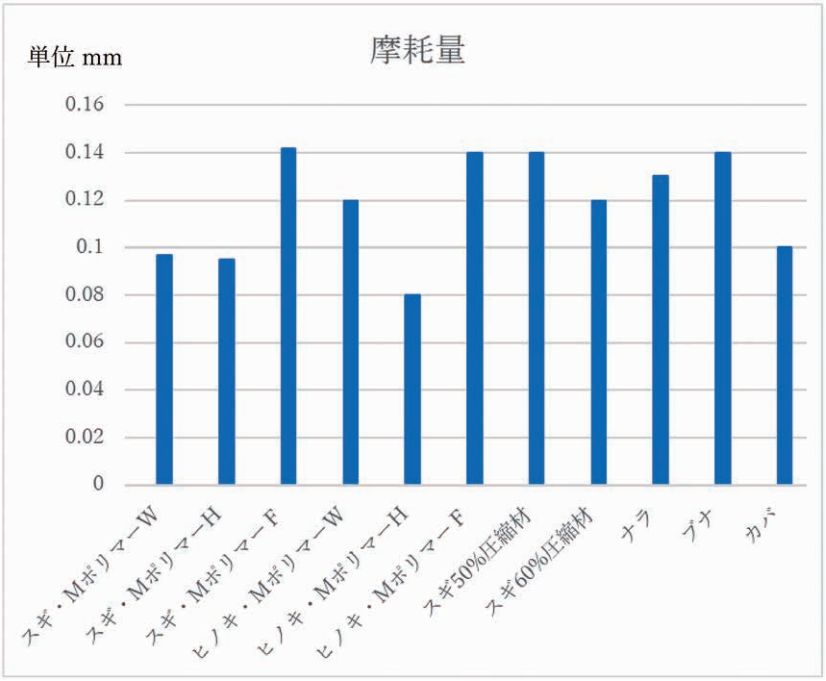
試験体	死虫率（%）		質量減少率（%）		（備考）
	平均	最小－最大	平均	最小－最大	平均質量減少量（mg）
Mポリマー F処理	30	29－34	1	0－1	20
Mポリマー W処理	20	19－23	0	0－1	0
Mポリマー H処理	19	18－22	0	0－1	13
スギ辺材（高知）無処理	21	16－28	10	9－12	159
スギ辺材（近大）無処理	23	21－27	20	15－28	160

②－３　処理材の硬さ試験及び摩耗試験

JISZ2101 に基づき行った処理材のブリネル硬さ試験結果を図－１に、研磨紙法による摩耗試験結果を図－２に示す。RP 含浸処理木材のブリネル硬さは、市販製品以上の数値を示し、特にスギのＭポリマーＷ処理材では、約２倍の数値もあった。また、RP 含浸処理木材の耐摩耗性においてもＭポリマーＦ以外で、市販製品以上の性能があることが示された。



図－１　RP 含浸処理木材の硬さ試験結果



図－２　RP 含浸処理木材の摩耗試験結果

③ トータルコストの検討

フローリング及びデッキ用を想定し、設計試作を行い、処理コスト（設計単価）の検討を行った結果を示す。

ここで、RPL成型とは、RP含浸処理を意味するメーカーの商品名称である。

（高知県産RPL成型フローリング材）
高知県産ヒノキ材　節有（埋木、パテ処理）
12㎜×108㎜×1900㎜　設計価格 29,000 円/㎡
（RPL成型用トップコート処理品）

※施工費、下地合板調整工は含まれません。

（高知県産PRL成型ウッドデッキ材）
高知県産ヒノキ材　上小節
24㎜×120㎜×1995㎜　両側スリット入　ノンビス仕様　設計価格 15,000 円/枚
4枚/㎡　設計価格 60,000 円/㎡

専用留具　50個入/袋　150円/個　設計価格 7,500 円/袋
20個/㎡　設計価格 1,000 円/㎡

鋼製下地　仕上高H200㎜程度　床材t24㎜＋根太40㎜＋大引40㎜＋束94㎜　設計価格 17,000 円/㎡
（参考値）
鋼製束@1000㎜、ハット鋼大引@1000㎜、根太@500㎜

施工費　設計価格 10000 円/㎡
（参考値）
※土間コンクリート費用は含まれません。
参考材工共　設計価格 88,000 円/㎡

今後の課題・展開等

今後の木質材料の需要拡大には、非住宅建築物や外構材等への利用拡大を図ることが不可欠である中、外構材等（特にデッキ）への用途開発として、RP含浸処理木材の浸透量（含浸量）と耐久性（耐候性、耐朽性、耐蟻性、硬さ、耐摩耗）等の関係について検討し、耐候性を除き、JISでの基準値を満足する結果や市販製品以上の高い性能が示された。

今後の課題としては、実用サイズのRP含浸処理木材についても、同様の耐朽性、耐蟻性、硬さ、耐摩耗等の性能を有するかどうかの検証・確認を行うことが求められる。

また、耐候性については、トップコートの処理方法を検討し、耐候性能を目指すことが課題である。

さらに、非住宅建築物の防火に関する内装制限に対応できる部材開発として、難燃性能の検証等も視野に入れる必要があると考えている。

事業

中大規模建築をはじめとした建築物全般に適用可能な構造・耐火性能を備える直交集成板CLTを使用した階段の開発・普及

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0025　東京都中央区日本橋茅場町3-9-10茅場町ブロードスクエア２階

事業目的

中大規模建築をはじめとした建築物全般に適用可能な、直交集成板CLTを使用した階段の開発および普及活動を行う。学識経験者、CLTパネルの製造・加工、建設、設計の各分野からの参画によりCLTを使用した階段の構造強度および防耐火性能の検証を行い、鉄骨階段の代替としての普及が見込めるものを目指す。本事業では、検討委員会を設置し、以下の事業を実施して構造性能を確保するための標準納まり・検討方法および耐火性能を確保するための標準的な納まり例をまとめる。

実施した項目

木構造振興株式会社および日本CLT 協会を事務局として、学識経験者、CLTパネルの製造･加工、建設、設計の各分野の委員で構成する開発・検討委員会を開催した。

第一回委員会：2024年７月10日
第二回委員会：2024年10月21日
第三回委員会：2025年１月28日

① 調査・検討

普及効果（本技術を開発することで見込まれる需要）やコストに関する調査・検討を行った。

② 構造性能検討・防耐火仕様調査

CLT階段と支持梁等との接合方法を調査・立案し、耐力条件を整理したうえで合理的な接合方式を検討した。また、耐火性能を確保するための方法を調査し、CLT階段を被覆する上面・下面ごとに納まり方法を立案した。

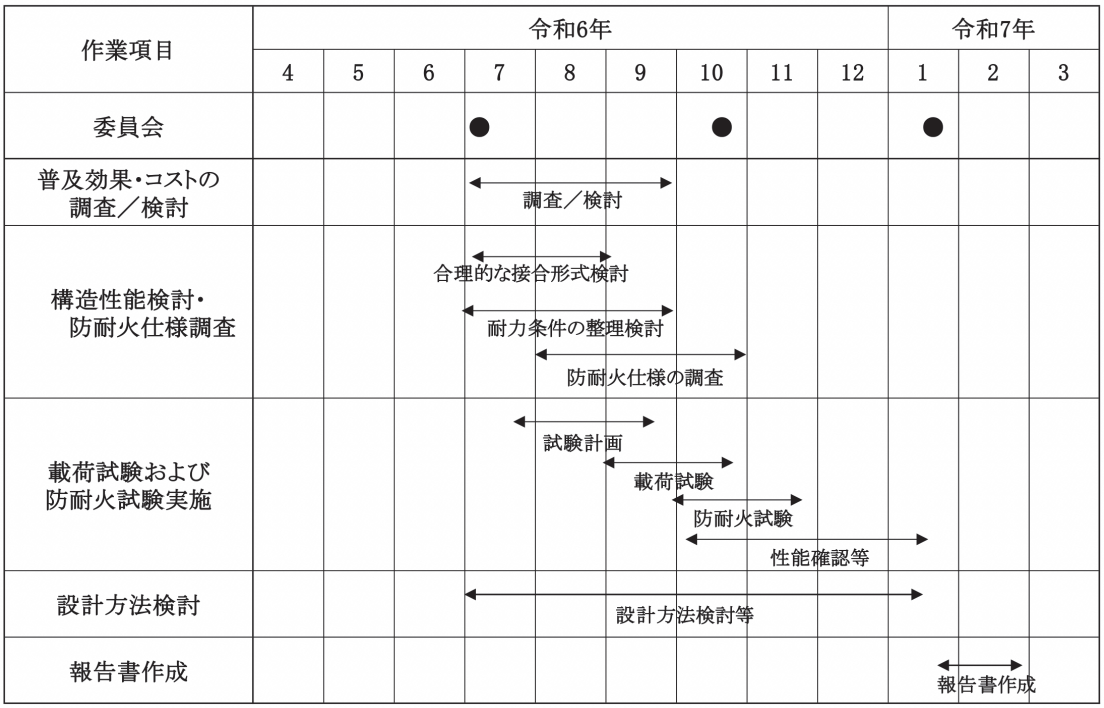
③ 試験の実施

立案したCLT階段の仕様についての構造性能等を確認するための試験を計画し、載荷試験および防耐火試験等を実施、その結果を取りまとめた。

④ 事業報告書の作成および成果の普及

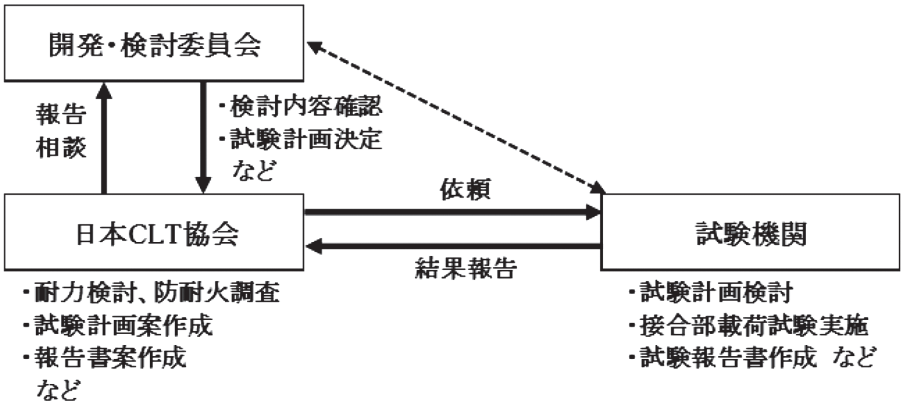
調査・検討・試験および設計方法を報告書に取りまとめた。

【令和6年度スケジュール】



実施体制

■委員長	福本　晃治	岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域 木質構造設計学研究室 准教授
■委員	森　　拓郎	広島大学 大学院先進理工系科学研究科建築学プログラム 建築材料学研究室 教授
	野田　康信	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 チーム長（接合性能評価担当）
	安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所 代表
	小関　真琴	木質建材評価サービス 代表
	平野　　晋	株式会社奥村組 建築本部建築設計統括部 担当部長
	中里　太亮	株式会社熊谷組 建築事業本部 建築技術統括部 建築構造技術部 副長
	田中　　良	大成建設株式会社 設計本部 先端デザイン部 木質建築推進室
	寺本　武史	戸田建設株式会社 建築設計統轄部 構造設計部 設計室長
	室町　瑛人	戸田建設株式会社 建築設計統轄部 構造設計部
	鳥羽　展彰	銘建工業株式会社 木質構造事業部営業部 営業推進担当 部長
■オブザーバー	藤田　和彦	藤田Ｋ林産技術士事務所 所長
	加來　千紘	桜設計集団一級建築士事務所
■コンサルタント	内海　　彩	株式会社内海彩・長谷川龍友建築設計事務所 代表取締役
	戸田　淳二	株式会社中央設計 代表取締役
	村田　　茎	株式会社中央設計
■行政	福島　　純	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐
	上田　萌香	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 企画調整係長
	増井　　僚	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 建築用木材班 建築用木材担当専門職
	川原　　聡	林野庁 林政部 木材利用課 建築物木材利用促進官
■事務局	木構造振興株式会社　一般社団法人日本CLT 協会	



実施した内容

① 構造強度に関する開発検討

本開発において開発対象とする階段は、事務所などの用途に供する中大規模建築物に設置される避難階段を想定している。構造検討においては、主に長期荷重に対して必要な強度と、地震時における安全性を確保することを目標とする。段部はMx60-5-5、踊り場はMx60-5-7とし想定される荷重条件を整理し、長期許容応力度やたわみの検討のほか、衝撃荷重や緊急避難時の積載荷重についても検討を行った。（図1、2）なお段部の上下端で踊り場との取り合いが異なっているが、これは段部の脱落防止に対する抵抗機構やフェールセーフなどを考慮した結果である。段部上下端の接合部に必要な耐力は段部を線材置換し、解析によって算出した。様々な接合形式が考えられるが、本検討においては日本住宅・木材技術センターで規格化しているX（クロス）マーク表示金物である四角穴付きタッピングねじを用いた接合部を検討した。

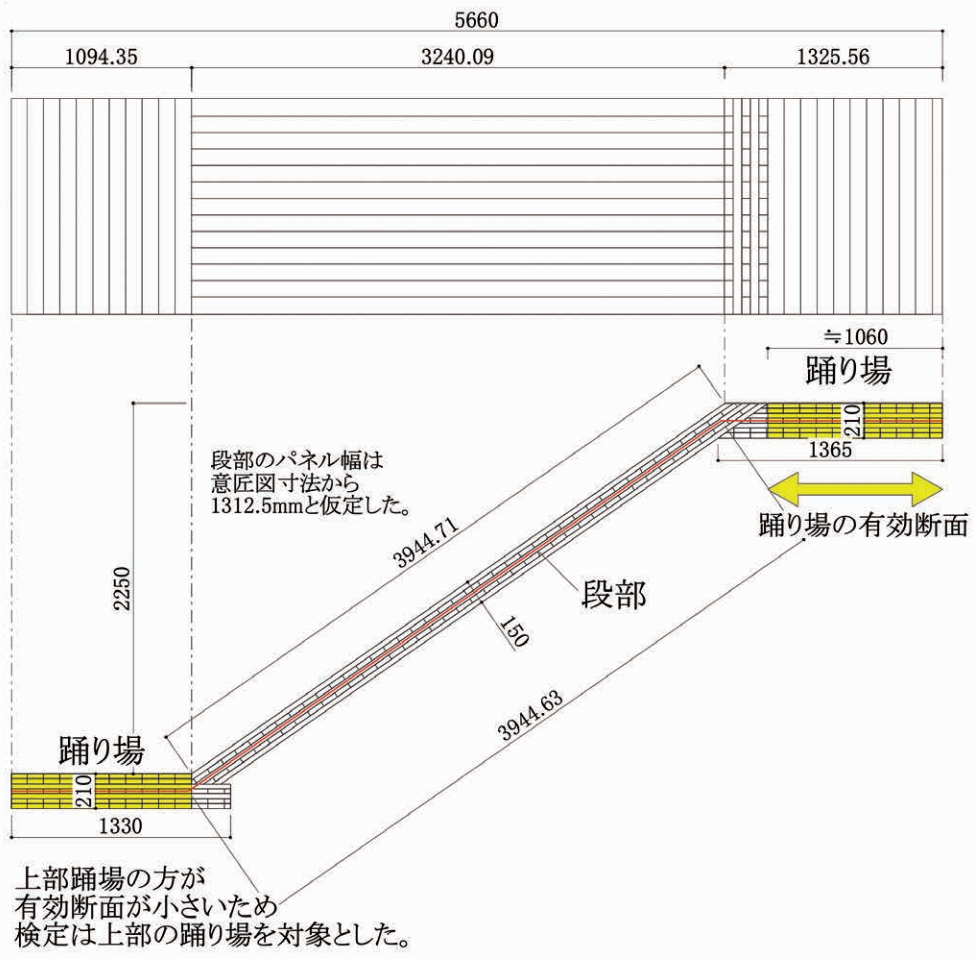


図1　階段の検討用モデル

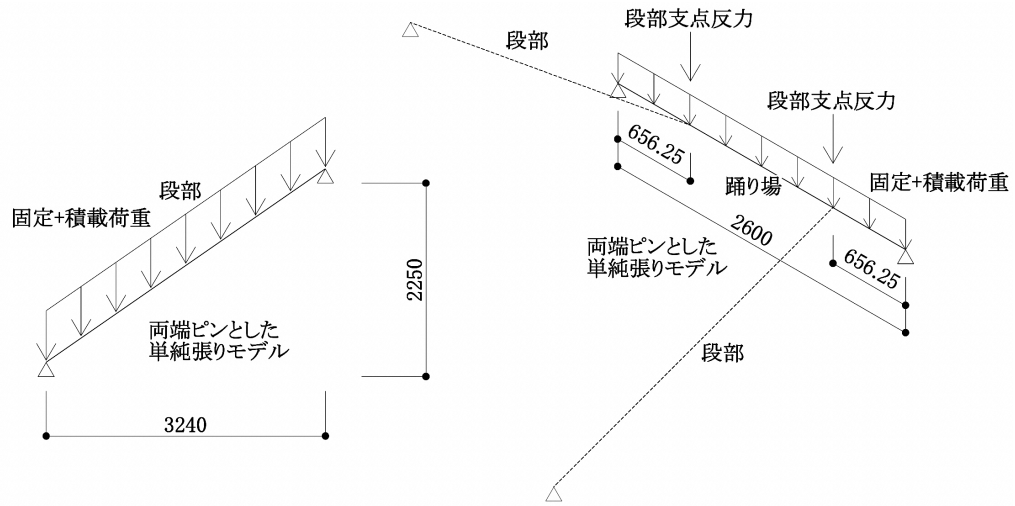


図２　力学モデル（左図：段部、右図：踊り場）

CLTパネルの段部曲げ性能や段部と踊り場の接合有無による構造特性の違いなどを把握するため、図３、図４に示すような斜め形状の試験体中央を加力する曲げ試験を行った。試験体数は段部と踊り場をビスにて緊結したものを「ビス有り仕様」とし１体、緊結しないものを「ビス無し仕様」とし１体、合計２体である。

実験日程：ビス有り仕様　2024年10月17日（木）
　　ビス無し仕様　2024年10月18日（金）
実験場所：広島県立総合技術研究所　林業技術センター

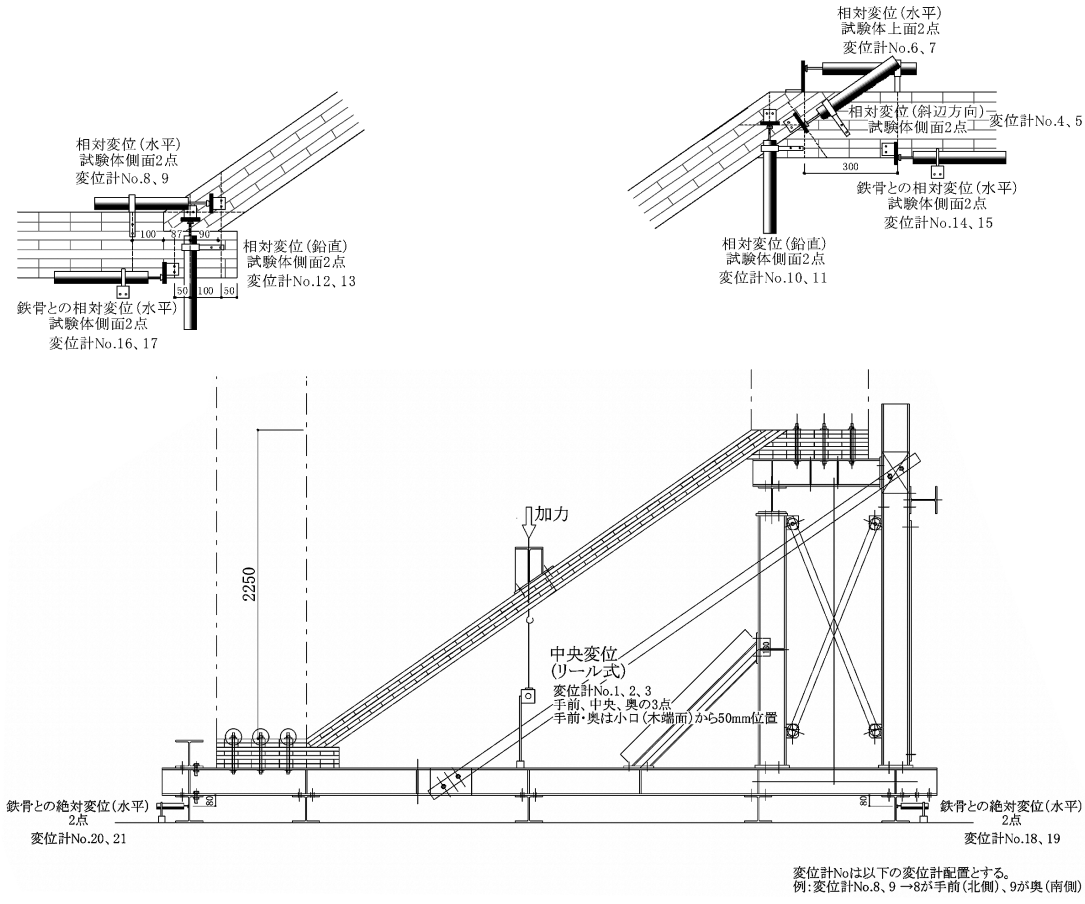


図３　計測方法

図４　加力状況

② 防耐火に関する開発検討

鉄骨造・RC造等の耐火建築物において、CLTを階段の荷重支持部材として用いる場合の耐火被覆仕様、納まり等について検討を行うため、CLT階段の段部（傾斜）、踊り場部（水平）について２体の小型試験体による加熱実験を実施した。

実験日程：試験体No.1　2024年12月11日（水）
試験体No.2　2024年12月5日（木）
実験場所：（一財）ベターリビングつくば建築試験研究センター
小型耐火炉

２体の試験体は、いずれも段部（傾斜）及び踊り場部の両方に使用可能な仕様を選定し、試験体No.1 は、不燃材料による耐火被覆の効果を確認するため、CLT上面を硬質木片セメント板 25mm厚、CLT下面を強化せっこうボード GB-F(V)25mm厚（半面）、硬質木片セメント板 厚25mm（半面）にて耐火被覆した。（図５）また、試験体No.1は、CLTの小口（木端面）の耐火被覆を強化せっこうボードGB-F(V)12.5mm厚×２枚張りとし、耐火被覆同士の取り合い部についても検証した。一方、試験体 No.2 は、木材の燃え止まりによる耐火被覆の効果を確認するため、燃え止まり易いとされる樹種を使い、CLT 上面をカラマツ製材40mm厚（半面）、ヒノキ製材 40mm厚（半面）、CLT 下面をカラマツ製材 40mm厚（半面）、ヒノキ製材 40mm厚（半面）とした。（図６）また、試験体No.1,No,2いずれの試験体も試験体上面の半分には段板を想定した鋼板 t=3.2 を配置して、熱橋の影響等も検討した。

加熱実験は、ISO834標準加熱曲線に準じた加熱を30分間実施し、その後、部材各部の温度が低下するまで耐火炉内で放置（1.5時間以上）とし、実験終了時に主要構造部であるCLTに燃焼・炭化痕がないことにより性能（非損傷性）を評価した。（図７）なお、耐火炉内の試験体の配置は、斜めと水平で実験結果に大差はないと考え、実験のしやすさを考慮して水平に配置した。

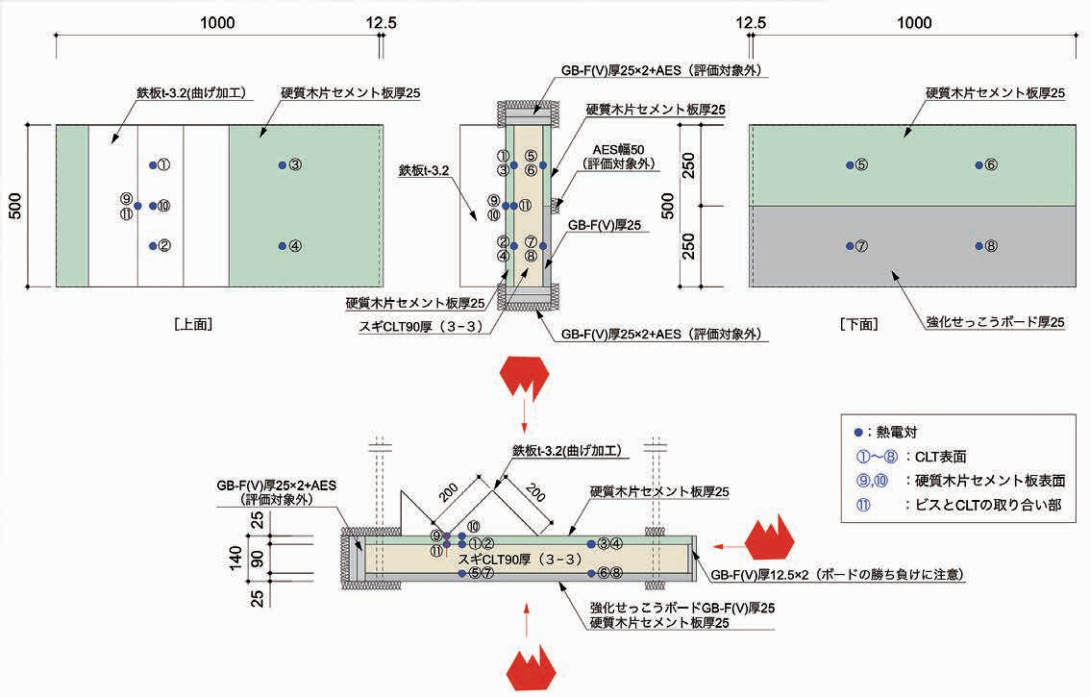


図5　加熱実験・試験体No.1（不燃被覆）の概要図

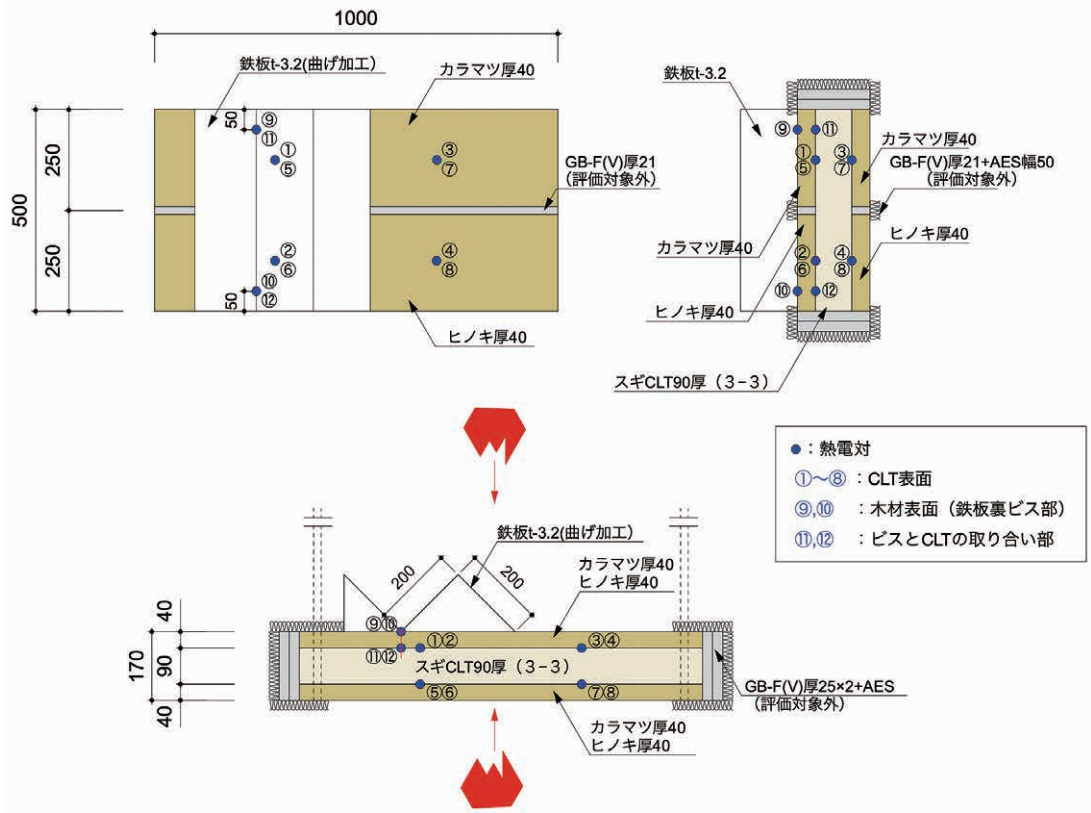


図6　加熱実験・試験体No.2（木材被覆）の概要図

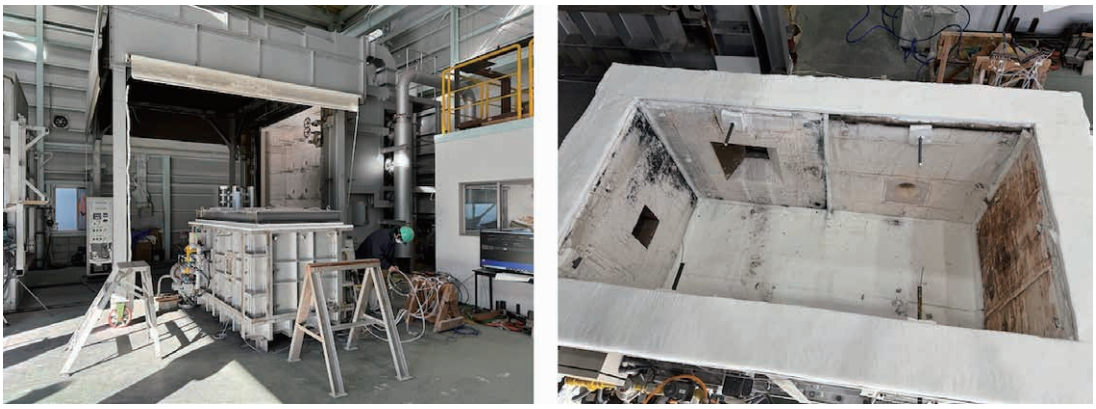


図７　小型耐火炉の全景（左：外景、右：内観）

実施した結果

① 構造強度に関する開発検討

段部や踊り場の長期許容応力度や曲げ変形とせん断変形を考慮した、たわみの検定を行い、段部はMx60-5-5、踊り場はMx60-5-7で問題ないことが確認できた。接合部の検討によって段部上下端の接合部仕様をSTS6.5F、２列の@100程度と推定し、構造実験を行った。（図８）構造実験によってビス有り・無し仕様を比較すると荷重点下の段部鉛直変位が35mm程度を超えるとビス有りの剛性が、やや低くなるが最大荷重は変わらないことがわかった。（図９）接合部の変位は、繰り返し加力の影響で残留変位が発生しているが長期設計荷重時では-1mm～1.5mm程度にとどまっており、接合部が挙動しても耐火被覆のビス接合で十分追従でき、仕上げに影響が出るような範囲ではないことが確認できた。（図10～12）

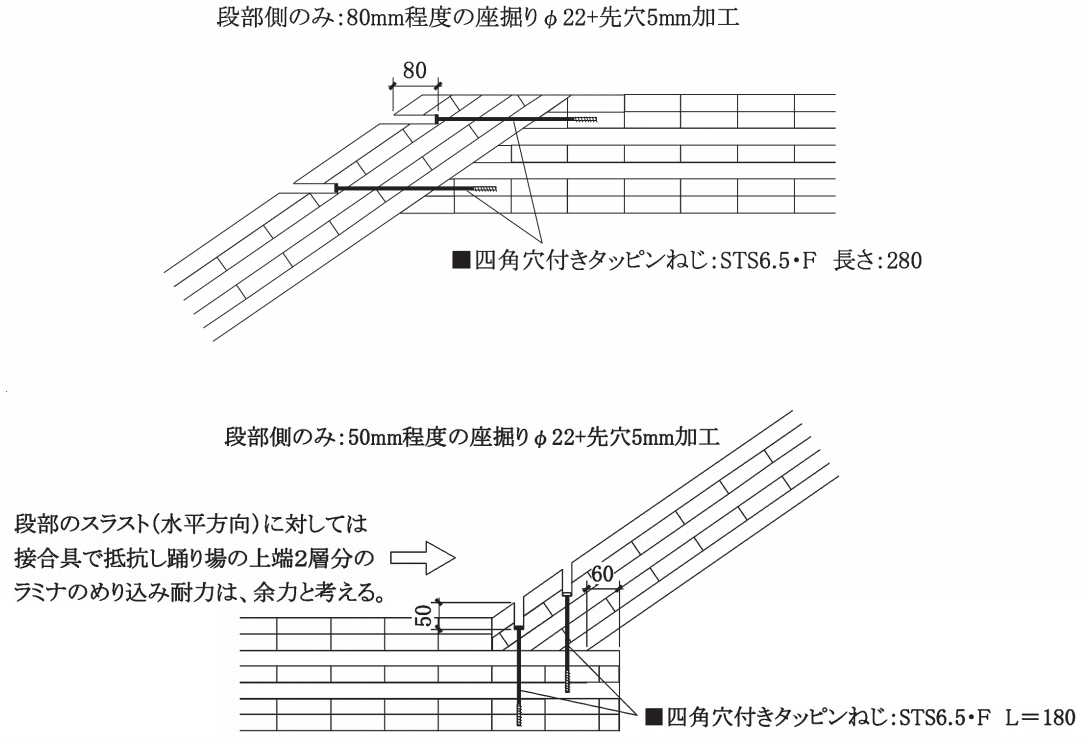


図８　接合部仕様

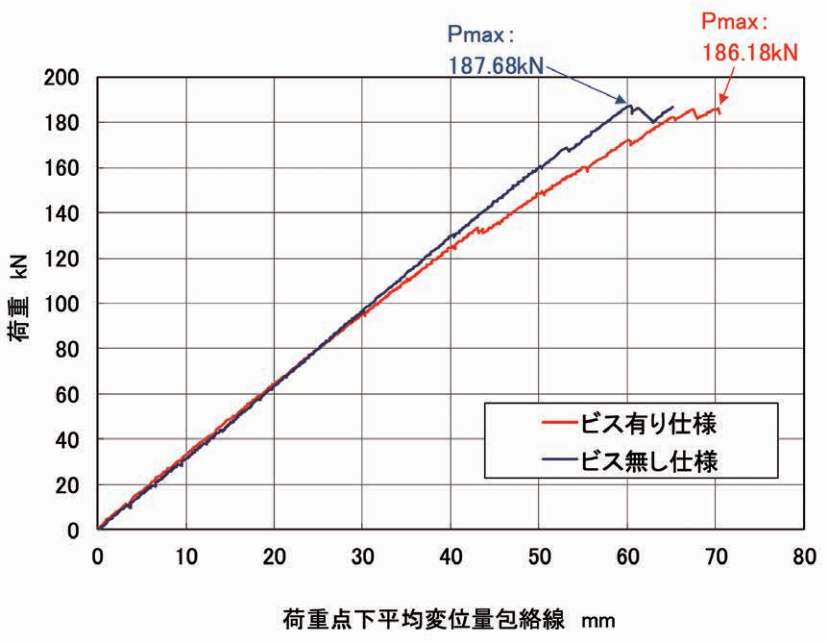


図９　包絡線

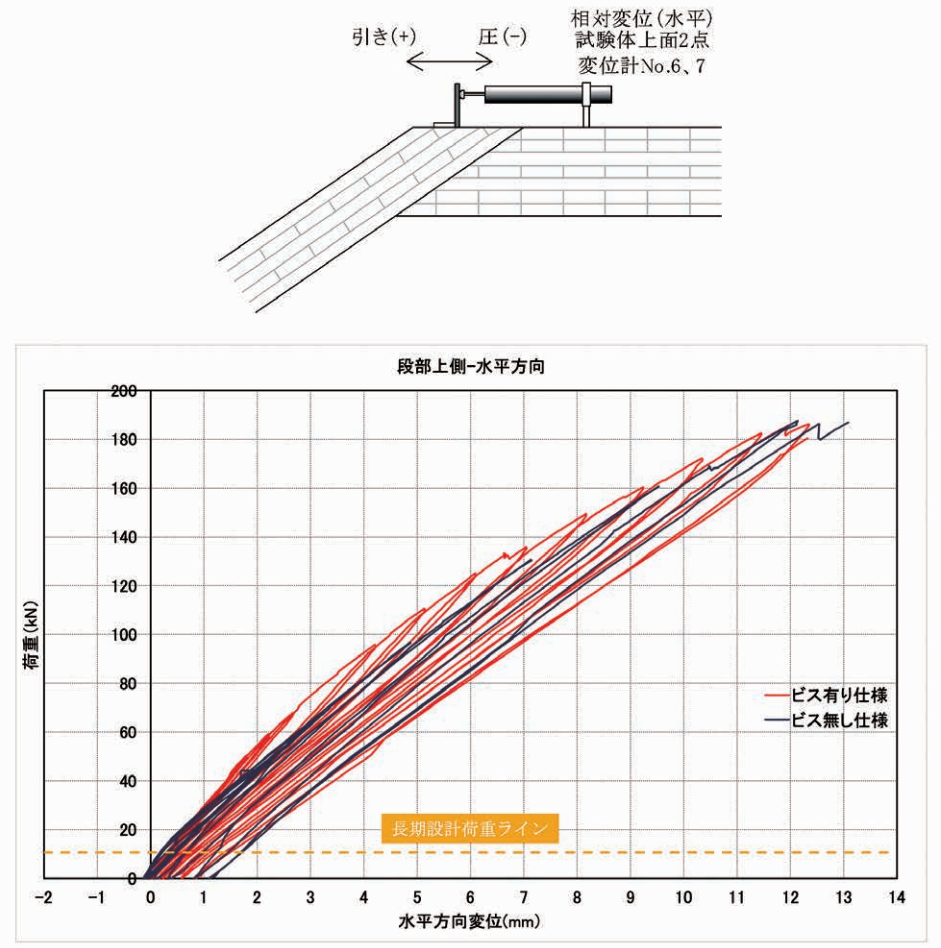


図１０　接合部荷重変位関係の一例

図 11　段部 - 踊り場（下側）浮き上がり

図 12　段部 - 踊り場（上側）浮き上がり

② 防耐火に関する開発検討

それぞれ下記の実験条件にて、試験体内部の全ての計測温度がピークに達した後、下降傾向になったため、実験終了を判断した。実験結果は表 1 に示した。

実験条件：試験体 No.1　30 分加熱＋ 1.5 時間放置

試験体 No.2　30 分加熱＋ 3 時間放置

試験体 No.1 では、試験体下面の硬質木片セメント板 25mm 厚、強化せっこうボード GB-F(V)25mm 厚は、いずれも CLT に炭化痕はみられず、耐火性能を確保した。一方、試験体上面の硬質木片セメント板 25mm 厚では、鋼板設置部周辺で CLT の一部に深さ 0.89mm の炭化痕がみられ、CLT の小口（木端面）では隅角部に炭化痕がみられたが、いずれも試験体解体時には自消していることを確認した。なお、炭化の有無の判定については、解体時の目視及び実験を実施したベターリビングつくば建築試験研究センターにて、性能評価試験時に実施される判定方法に準拠して判断した。（図 13 ～ 15）

試験体 No.2 は、上面・下面ともにカラマツ 40mm 厚、ヒノキ 40mm 厚いずれの仕様においても炉内放置中に木材被覆が燃え止まり、CLT に変色・炭化痕はみられず耐火性能を確保することを確認した。（図 16、17）

表1　実験結果

試験体の耐火被覆の仕様［mm］ 躯体：スギCLT90mm厚（3層3プライ）			実験結果	
			260℃到達時間※1 ［ ］内は熱電対番号	炭化の有無※2
No.1	上面	硬質木片セメント板25厚	56分［3］ （最高 299.0℃/91.5分［1］）	あり（自消）
	下面	硬質木片セメント板25厚	到達せず （最高 241.5℃［5］）	なし
		強化せっこうボードGB-F(V)25厚	到達せず （最高 143.2℃［8］）	なし
	小口 （木端面）	強化せっこうボードGB-F(V)12.5厚×2枚張り	-	あり（自消）
No.2	上面	カラマツ製材40厚	到達せず （最高 170.1℃［1］）	なし
		ヒノキ製材40mm厚	到達せず （最高 137.8℃［2］）	なし
	下面	カラマツ製材40厚	到達せず （最高 125.4℃［7］）	なし
		ヒノキ製材40mm厚	到達せず （最高 148.0℃［8］）	なし

※1 CLTの表面温度のうち、木材の一般的な炭化温度とされる260℃に到達した時間を記載する。

※2 実験後の解体時に確認したCLT躯体の炭化の有無を記載する。

図13　試験体No.1（不燃被覆・上面）の実験終了後の様子

図 14　試験体 No.1（不燃被覆・下面）の実験終了後の様子

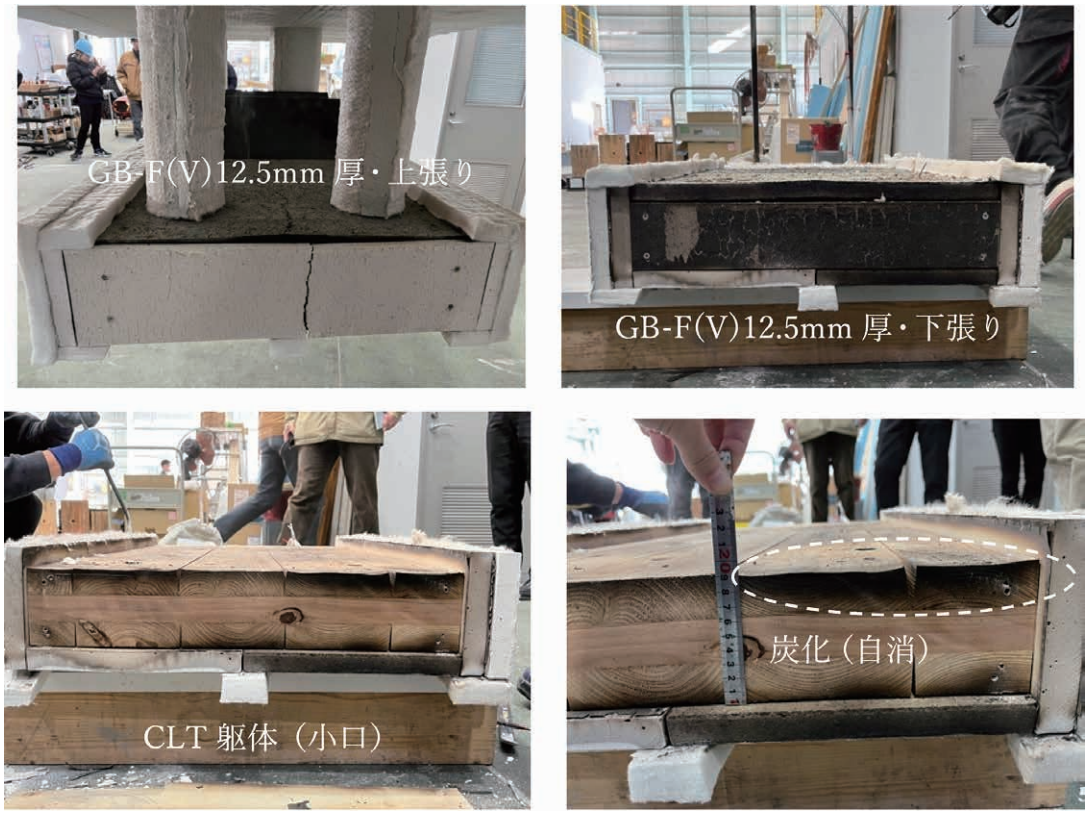


図 15　試験体 No.1（不燃被覆・小口（木端面））の実験終了後の様子

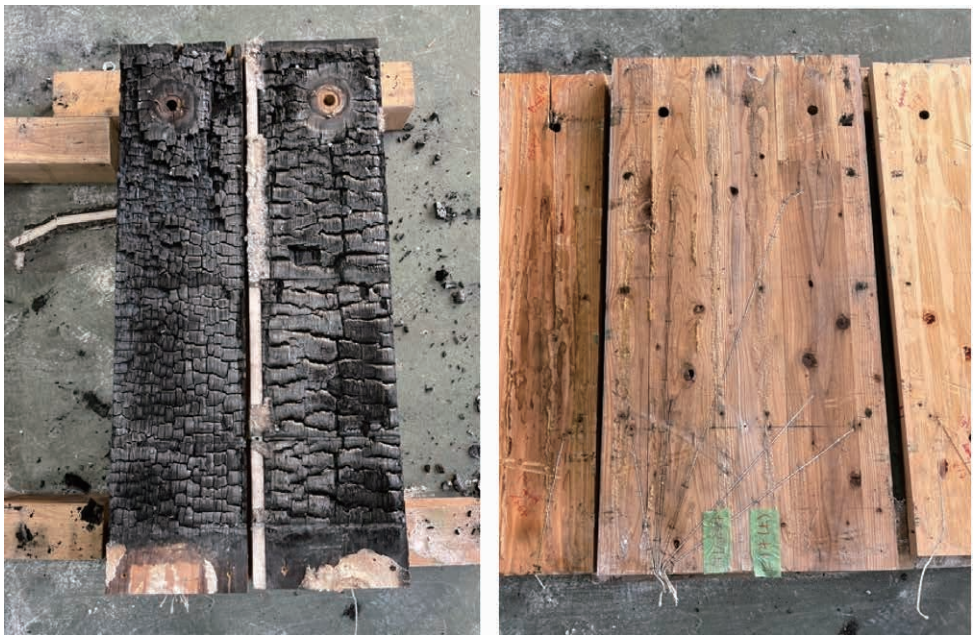


図16　試験体No.2（木材被覆・上面）の実験終了後の様子

図17　試験体No.2（木材被覆・下面）の実験終了後の様子

今後の課題・展開等

本事業では、事務所ビルの避難階段について、「CLTパネル＋鋼板」により構成される階段の仕様を立案し、構造強度および耐火仕様の検討および実験を行った。現場での施工の容易さを考慮し乾式工法で構成される「CLTパネル＋鋼板」としたが、鋼板の代わりにコンクリート系材料を用いるなど、様々な可能性がある。

今後は、実際の建物へのCLT階段設置の際に必要となる、①階段手摺の取り付け方法や防火的措置の検証、②施工時の天候対策、③鋼板の取付け手順（耐火被覆を挟んだ接合方法、工場や地組みなどの取付け時期、先行取付けした場合の耐火被覆の雨対策）、④各階の層間変形に対する階段の変形追従性、⑤耐火の性能評価試験に向けた仕様詳細等の検討・立案が必要になると考えている。

また、普及効果を高めるためには、仕様やディテールの検討を深めコスト合理性を追求するとともに、CLTを用いた階段を計画しようとする設計者や施工者が容易に構造計算や耐火仕様設定・施工計画を行えるような、検討方法や仕様に関する情報の提供を行うことも、大変有用であると認識している。

事業

木質系混構造建築物の耐震安全性確保にかかわる計算の方法に関する検討

● 実施団体 ●

一般財団法人 日本建築防災協会
〒105-0001　東京都港区虎ノ門2-3-20 虎ノ門YHKビル3F

京都大学 生存圏研究所
〒611-0011　京都府宇治市五ケ庄

事業目的

建築物における更なる木材利用の観点から木質系混構造建築物の建築基準整備が求められているが、鉄筋コンクリート造や鉄骨造にCLT 等を耐力壁等として用いる場合の技術資料が十分でなく、その整備が必要である。そのため「国土交通省基準整備促進事業：木質系混構造建築物の保有水平耐力計算の方法に関する検討S39：R4～5年」（以降、基整促S39という。）において、木質系混構造建築物の保有水平耐力計算の考え方が検討されたところであるが、一般的な設計法として整備するためのさらなる検討が必要である。

本事業ではCLT耐震壁の設計に用いる数値の一般化を進めると共に、基整促S39の成果を踏まえ適用範囲の拡大を目的として、性能指向型の耐震設計法の試行を行い問題点の抽出をおこなった。その上で、適用範囲拡大にむけた既往文献の収集整理や実験的な検討を行い、さらに保証設計を行う上で必要な実験計画の提案を行う。

実施した項目

本事業では検討委員会・WGを設置し、以下の項目について検討を行った。

① CLTと周辺架構の摩擦係数の実験的検討
② CLTの接合部形式の違いによるCLTのせん断強度の影響度検討
③ CLTの圧縮性能、および、面内せん断性能の実験的検討
④ 乾燥収縮・クリープの既往文献調査
⑤ 保証設計を行う上で必要な実験計画の提案（CLT耐震壁を有するRC構造）
⑥ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT耐震壁を有するS構造）
⑦ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT耐震壁を有するRC構造）

実施体制

学識経験者、および、関係団体による委員会を構成し、設計法WG・実験WGを設け検討を行った。なお検討は、京都大学、大阪大学、東京科学大学、岡山大学、（株）堀江建築工学研究所、国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所の委員メンバーにより行われた。

◆事業主体：（一財）日本建築防災協会、京都大学 生存圏研究所
◆関係団体：（一社）日本CLT協会、（一社）日本建設業連合会、（一社）新都市ハウジング協会、（一社）日本建築構造技術者協会
◆委員会等の委員長・主査
- 五十田博（京都大学）：委員会委員長、実験WG主査
- 勅使川原正臣（中部大学）：設計法WG主査
- 石原直（東京科学大学）：設計法WG副主査、実験WG副主査
- 真田靖士（大阪大学）：設計法WG副主査、実験WG副主査

実施した内容

① CLTと周辺架構の摩擦係数の実験的検討

CLT耐震壁を有する混構造建物の靭性を確保することを目的として、CLT壁と周辺架構の境界を剛接合しない工法（靭性型）が提案されている。本工法はCLT壁をロッキング挙動させ、壁端部を圧縮降伏させる設計を目標としている（図1参照）。上記の工法はCLT壁のロッキング挙動によるCLT壁のせん断力は摩擦力として周辺架構に伝達される。

しかしながら、その摩擦力に対する検討は十分になされていない。そこで、本検討ではCLT—RCおよびCLT－S境界面の摩擦係数を取得することを主目的として、摩擦実験を実施し（CLT—RCは図2参照）、これらの摩擦係数を実験的に取得した。

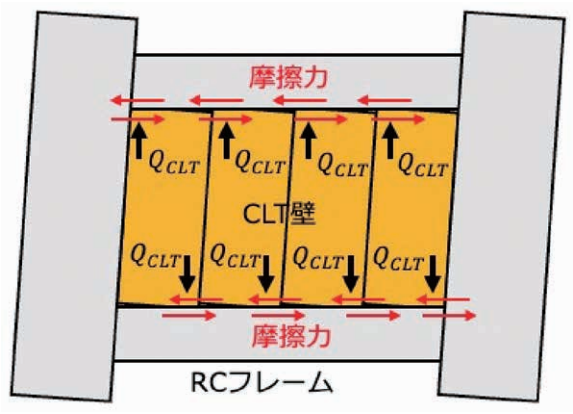


図1　靭性型の設計コンセプト

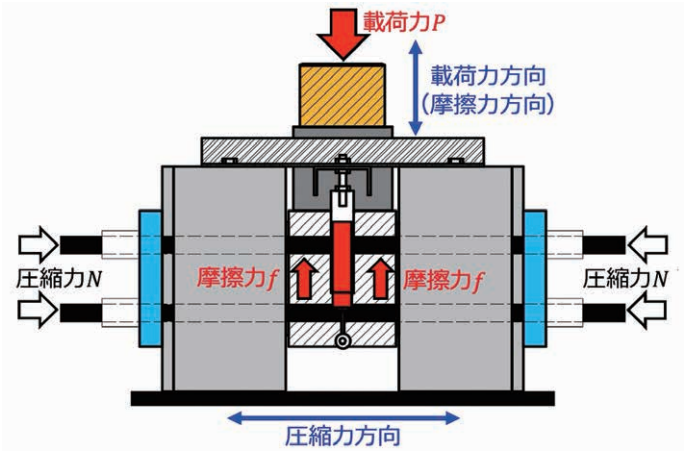


図2　摩擦実験の計画（CLT-RC）

② CLTの接合部形式の違いによるCLTのせん断強度の影響度検討

RC造やS造にCLT耐力壁を配置した場合、CLTの接合部形式の違いによって、CLTのせん断強度等が低下する。その影響度を分析するため、国内で発表されている既往文献を調査し、接合部の違いによる影響度を確認した。

③ CLTの圧縮性能、および、面内せん断性能の実験的検討

CLTを用いた建築物の設計施工マニュアルで想定している架構の破壊形式ではない、CLT自体の圧縮破壊（繊維斜め方向の破壊）や面内せん断破壊、せん断座屈を評価するため実験的検討を行った。具体的には、(a) 工形せん断試験、(b) せん断座屈試験、(c) 斜め圧縮によるせん断試験、(d) 斜め方向の圧縮試験を実施した。

(a) 工形せん断試験（図3参照）は、告示の根拠となっている工形せん断試験法である。(b) せん

断座屈試験は、せん断座屈が生じる限界幅厚比を評価することを目的としている。(c) 斜め方向の圧縮によるせん断試験（図４参照）は、CLTが開発されたヨーロッパにおいて、2021年のEN規格の改訂に伴い近年盛り込まれた、斜め方向の圧縮によるせん断試験法（EN16351:2021）で（a）との比較を行い、(d) 斜め方向の圧縮試験は、EN16351:2021の面内せん断試験法と類似の方法で、剛性・耐力の比較をした。

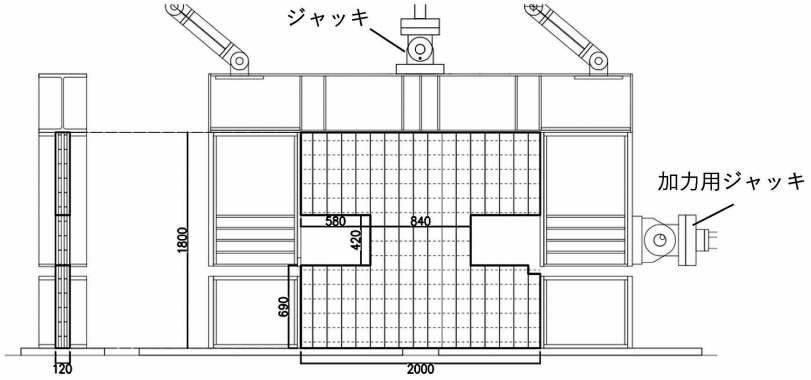


図３　(a) 工形せん断試験体図

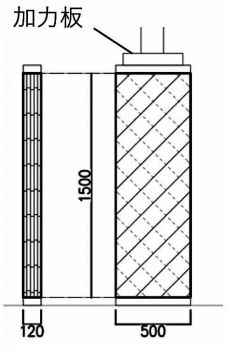


図４　(c) 斜め圧縮せん断試験体図

④ 乾燥収縮・クリープの既往文献調査

CLT耐震壁がRCや鉄骨と組み合わされた場合に乾燥収縮、経年変化などが懸念される。そこで、材料の中長期特性の影響について、海外文献も含めて収集し、設計にあたって必要な資料の有無を確認し、今後の調査計画に資することとした。

⑤ 保証設計を行う上で必要な実験計画の提案（CLT耐震壁を有するRC構造）

RC造において、耐震要素としてCLT耐震壁を活用するためには、地震時に建築物がどの程度変形するか予測する（応答評価を行う）ための知見が不可欠であるが、通常行われる静的実験では評価に必要な情報を十分に得ることができない。本検討では、部分架構試験体を用いた動的実験（図５参照）と静的実験（図６参照）によって、CLT壁板を有する鉄筋コンクリート構造の混構造建築物の保証設計と応答評価に必要な知見を収集するための実験計画の検討および提案を行った。

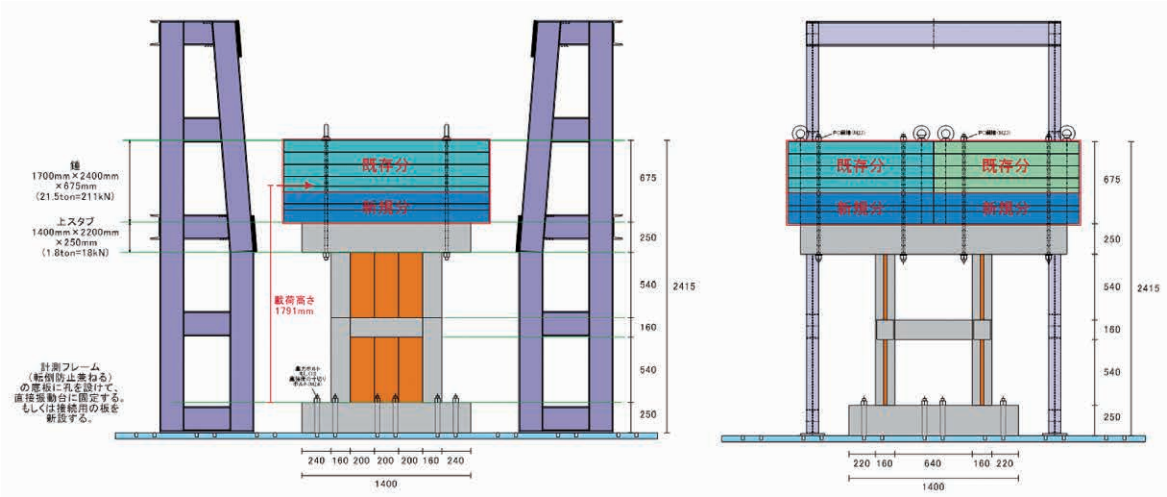


図５　動的（振動台）実験の計画

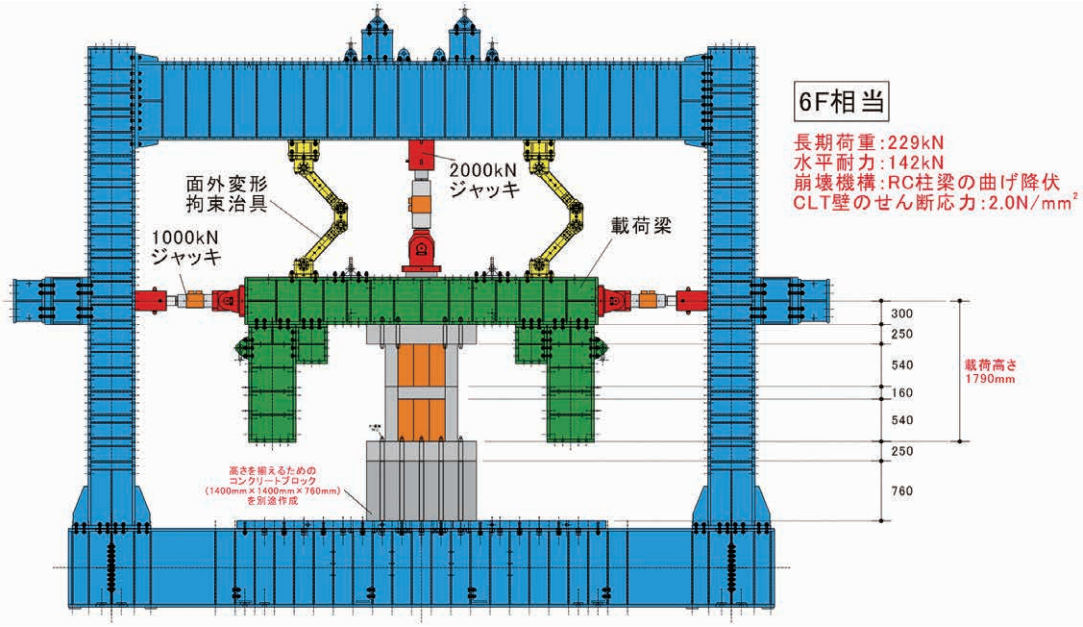


図６　静的実験の計画

⑥ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT耐震壁を有するS構造）

モデル化を含めた限界耐力計算の一例を示し、問題点・留意点を抽出した。

S造建築物に配置するCLT耐震壁は、引張ロッドと、ドリフトピンによるせん断接合部により鉄骨フレームに接合する形式を想定し（図７参照）、そのせん断力－変形関係は実験結果に基づき定めることとした。そのモデル化方法を図８に、S造建築物の構造図を図９に示す。

このCLT耐震壁モデルを、事務所ビルを想定した鉄骨造ラーメンフレームに組み込み、増分解析を実施し、各層の層せん断力(Q)－層間変形角(R)関係を定める。このQ-R関係に基づき等価線形化法により１質点縮約モデルを作成し、安全限界時の応答変位を算定する。この応答時の各層の層間変形角がR≦1/75を満足するようにCLT耐震壁の量を定めることとした。

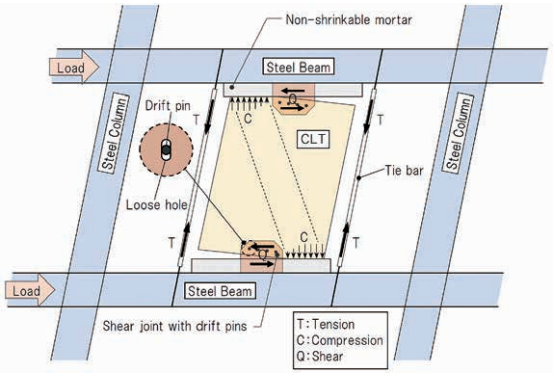


図７　CLT耐震壁（S造）

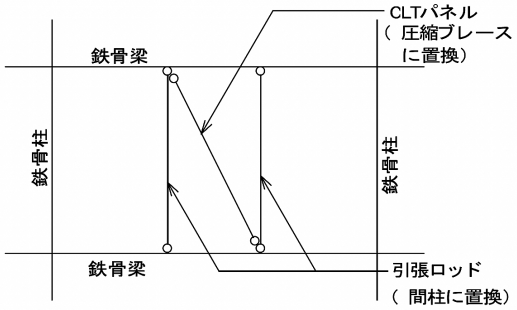


図８　CLT耐震壁のモデル化方法（S造）

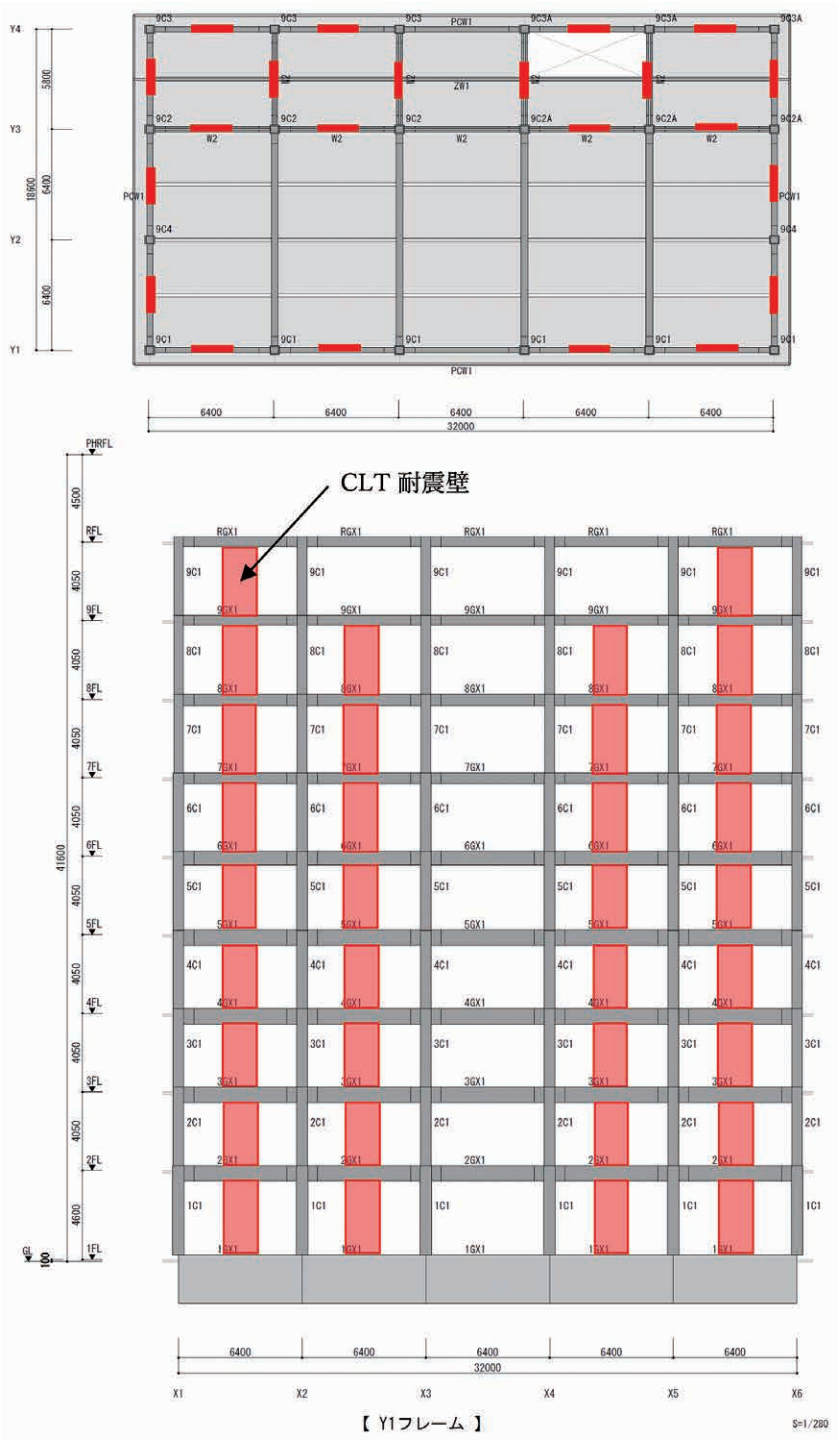


図９　試設計建築物の構造図（S造）

⑦ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT耐震壁を有するRC構造）

CLT耐震壁とRC架構のモデル化を含めた限界耐力計算法による試設計の一例を示し、問題点・留意点を抽出した。RC造建築物に配置するCLT耐震壁は、CLT壁と周辺架構の接合面に引張接合を設けない工法（圧縮ストラットによる抵抗機構）とし、CLT壁をロッキング挙動させている。そのモデル化方法を図10に、構造図を図11に示す。検討対象としてY方向にCLT耐震壁（小割ロッキングモデル）を配置し、RCラーメン架構のみを【純RCモデル】、CLT耐震壁を配置した架構を【立体RC架構（CLT壁配置）モデル】とした。

限界耐力計算法による検討では、まず、【純RCモデル】の性能曲線より、等価線形化法を用いて等価１自由度の応答点を算定し、降伏時剛性（k1=Sa'/Sd'）を求め、続いて、等価１自由度と多自由度系の最大層間変形角の比率（α）を求めた。次に、目標層間変形角を1/75として変位一定則を適用し、

目標剛性(k2=Sa/Sd)を定め、必要剛性をα×k2/k1としてCLTパネルの必要枚数を算定し、各層にCLT耐力を単純累加したモデル【質点（RCとCLT並列）モデル】で、多自由度系の各層の層間変形角が1/75以下であることを確認した。

さらに【立体RC架構（CLT壁配置）モデル】では、小割配置したCLT耐震壁を長期軸力を負担しないブレースにモデル化し、荷重増分解析を行った。なお、崩壊形は、CLT耐震壁をRCフレーム内でロッキングさせ、周辺RC架構（大梁）両端に曲げ降伏ヒンジを発生させる全体崩壊メカニズムを想定した。その結果、【立体RC架構（CLT壁配置）モデル】の損傷限界における最大層間変形角が1/200以下であること、安全限界は1/75以下であることを確認した。

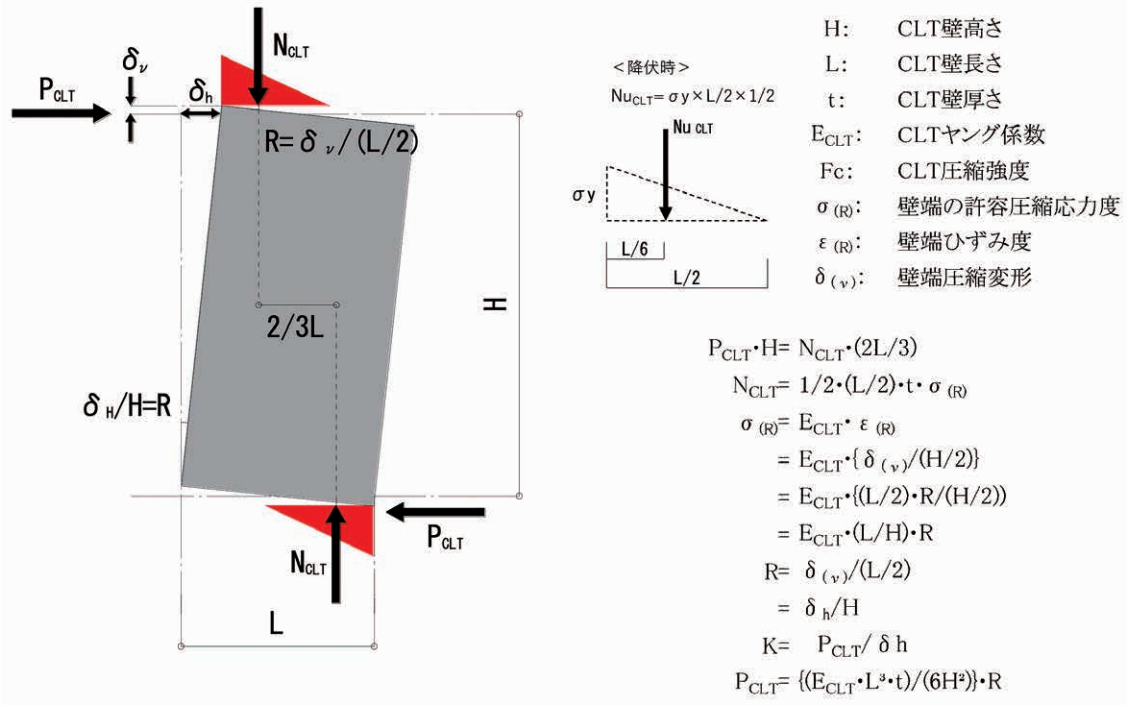


図10　CLT耐震壁のモデル化方法（RC造）

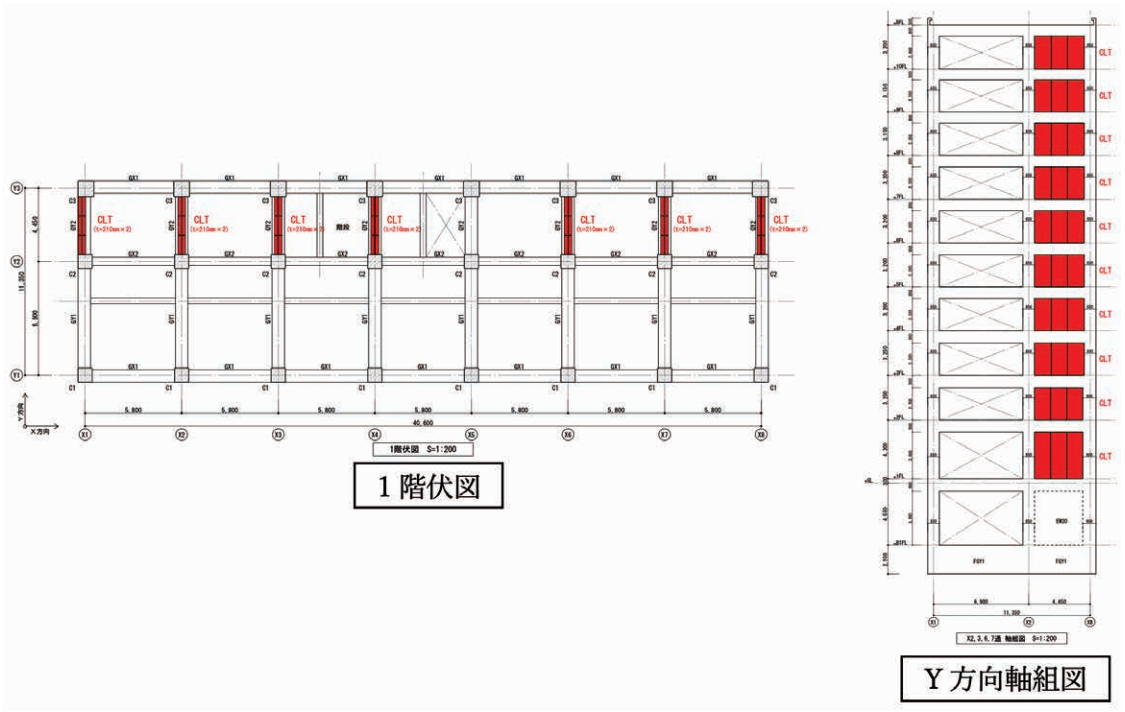


図11　試設計建築物の構造図（RC造）

実施した結果

① CLTと周辺架構の摩擦係数の実験的検討

実験は、委員が所属する施設の万能試験機（1000kN）を用いて実施し、試験体は鋼製のボックス形治具にCLTを5mm突出させて設置し（図21参照）、CLTの両側にRCブロックまたは鉄板と接合する構成とした（図22参照）。CLTは200mm×90mm×150mm、構成を5層5プライとし、ラミナは強度区分S60Aのスギ材である。変動因子はCLT摩擦面（強軸、弱軸、図23参照）、CLT摩擦面が接続する材質（コンクリートと鋼材）および摩擦面に作用する圧縮力（CLT圧縮強度の0.1倍、0.5倍、0.7倍）とした。また、同一パラメータで異なるCLT試験体を用いて3回ずつ摩擦面に対しせん断力の載荷を実施した。ただし、CLTと摩擦面を構成するコンクリートと鋼材は同一の試験体を繰り返し利用した。

実験の結果、CLT—RC境界面の最大平均摩擦係数は0.3～0.5程度、CLT－S境界面は0.4～0.8程度であった（図24参照）。ただし、いずれの場合も最初に実施した圧縮強度の0.1倍の圧縮力を与えた実験において高い摩擦係数を示したため、これを除いた場合、CLT—RC境界面の最大平均摩擦係数は0.3～0.4程度、CLT－S境界面は0.4～0.5程度であった。以上の結果により、CLT—RC境界面とCLT－S境界面の摩擦係数に関する実験データを取得した。

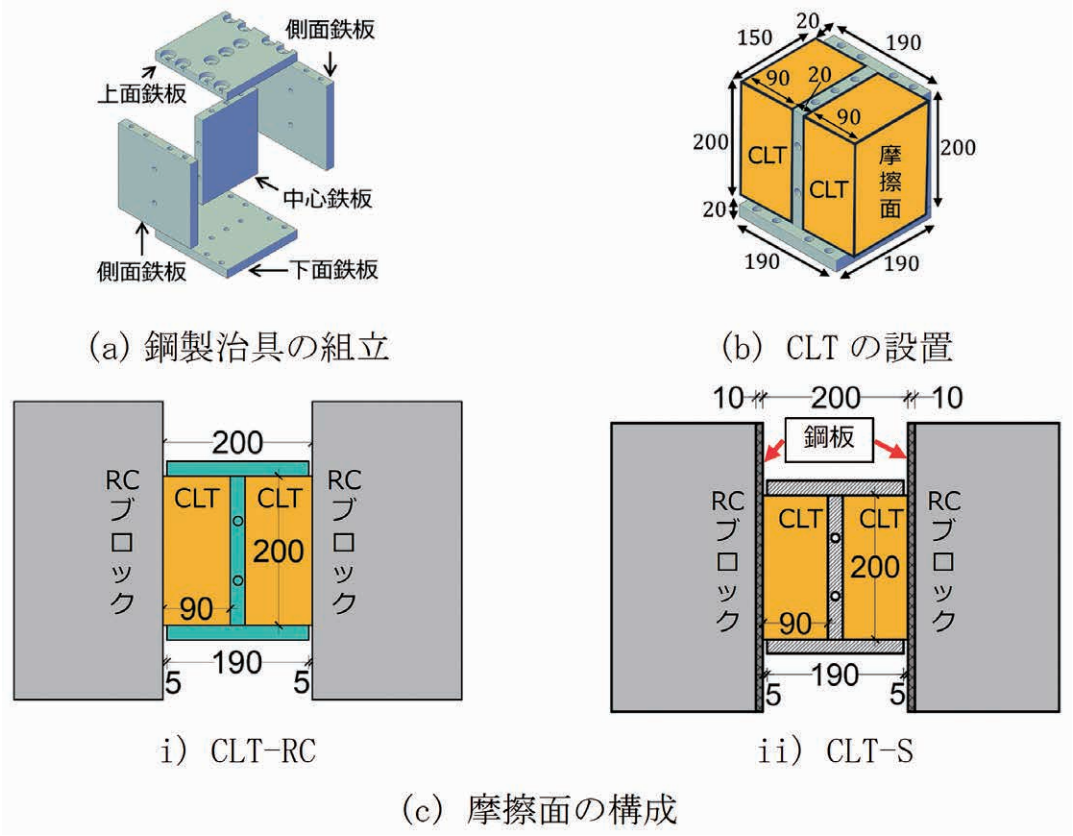


図21　鋼製ボックス治具と摩擦面の構成

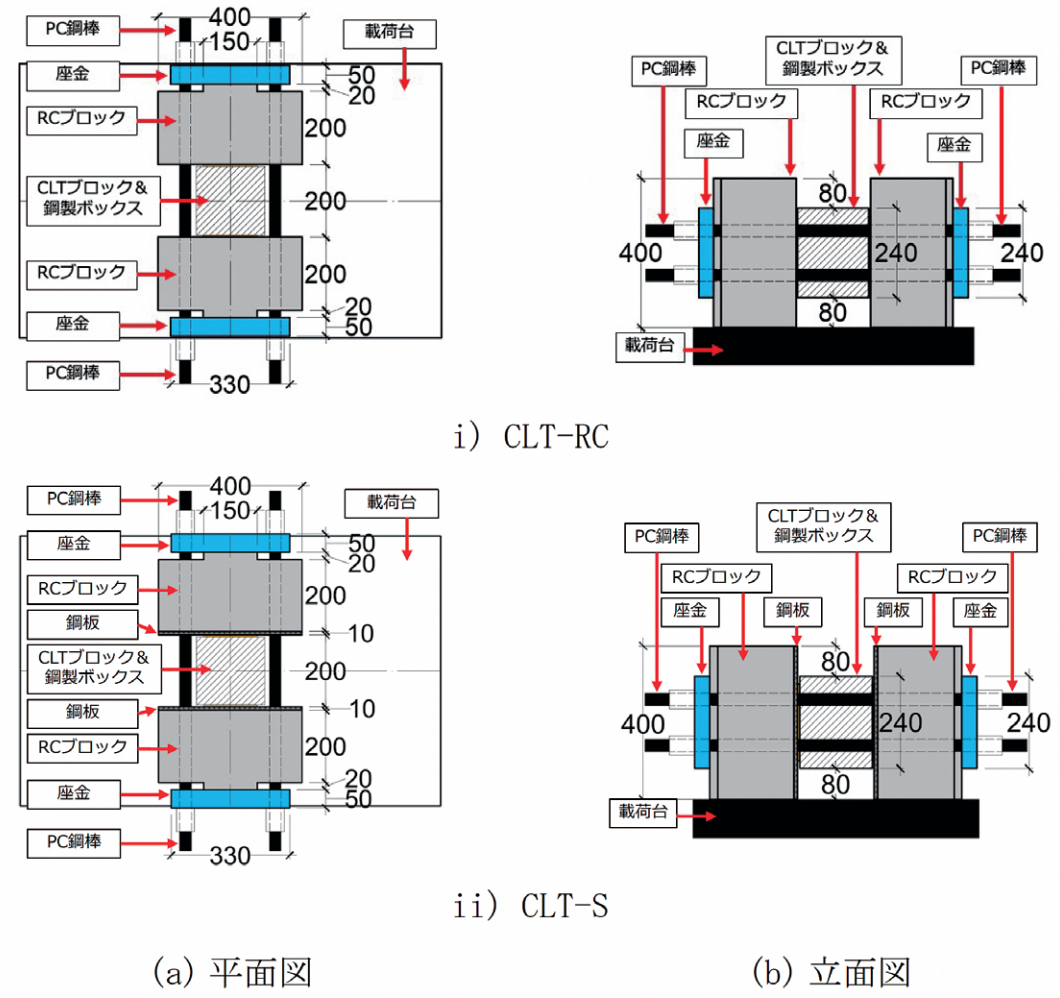


図 22　試験体の構成図

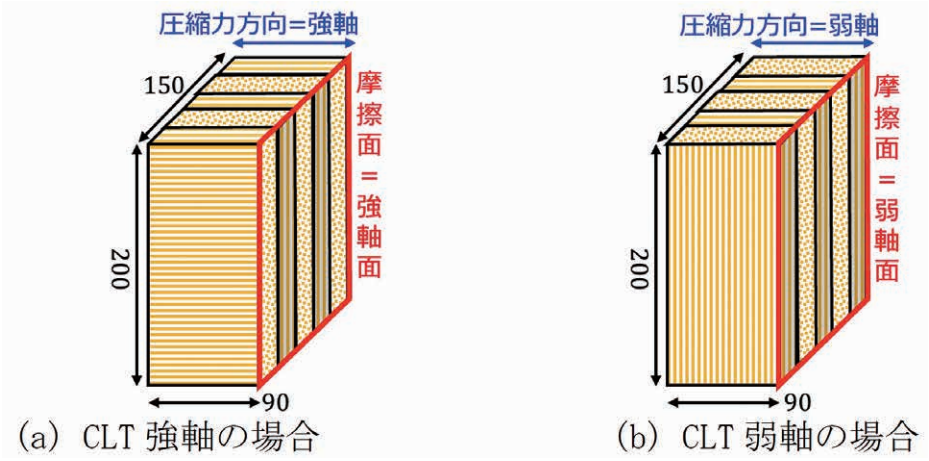


図 23　摩擦面の定義

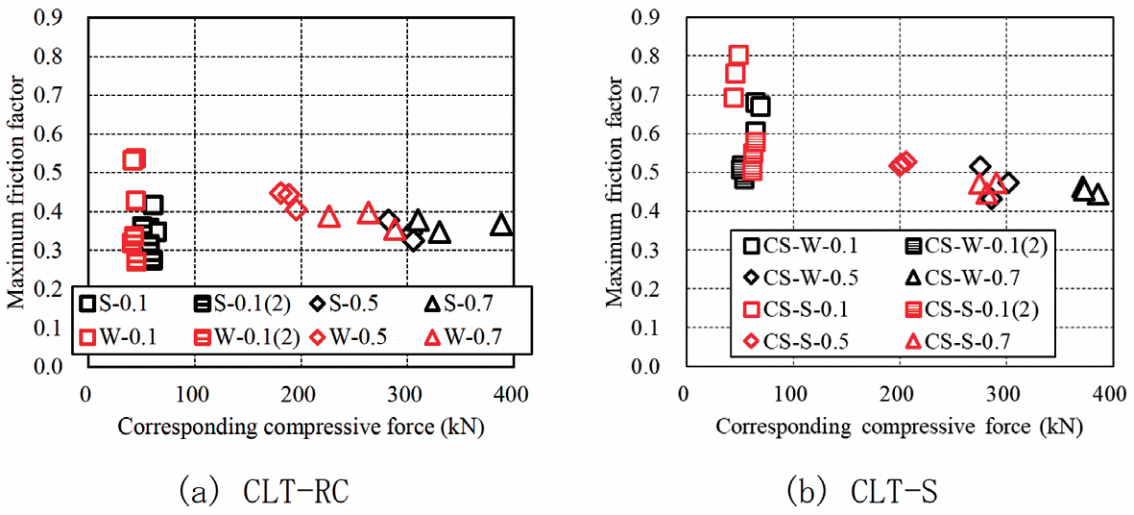


図24　最大摩擦係数と作用圧縮力の関係

② CLTの接合部形式の違いによるCLTのせん断強度の影響度検討（文献調査）

S造のCLT耐震壁の架構実験におけるCLT耐震壁の最大せん断応力度を文献により調査した。この内、せん断破壊した試験体の最大せん断応力度は、CLT面内せん断試験で得られた材料強度よりも低下する傾向があり、一部で基準強度を下回るものもあった。また、CLTに直接引張接合を設けずCLTの斜め圧縮による水平抵抗が卓越すると考えられる試験体では、引張接合を設けた試験体に比べてせん断強度が低下する傾向が認められた。

③ CLTの圧縮性能、および、面内せん断性能の実験的検討

(a) 工形せん断試験、(b) せん断座屈試験、(c) 斜め圧縮によるせん断試験、(d) 斜め方向の圧縮試験の結果のうち、(a)、(b) を以下に示す。

(a) 工形せん断試験結果（表1、図25・26参照）：工形せん断試験のせん断強度を計算する断面の厚さt、幅B、せん断強度τ max及びCLTマニュアルから算出したせん断強度Fsを示す。工形せん断試験のτ maxはFsの1.3～1.8倍程度であった。

(b) せん断座屈試験結果（図27参照）：厚さ36mm幅厚比56の試験体ではせん断座屈が生じ、厚さ60mm幅厚比33の試験体ではせん断破壊が生じた。せん断座屈試験のτ maxは既往の文献における面材のせん断座屈応力度の計算式から算出したせん断座屈応力度Fcrの1.3倍となった。

なお、試験体のケースを以降に示す。(a)(c)(d)：5層5プライCLT（S60、厚さ120mm）、3層4プライCLT（S60、厚さ120mm）、3層3プライCLT（S60、厚さ120mm）の3種類。(b)：厚さ60mm×幅1000mm×高さ2000mm、厚さ36mm×幅1000mm×高さ2000mm、厚さ60mm×幅2000mm×高さ2000mmの3種類で3層3プライ。

表1　工形せん断試験結果

	t (mm)	B (mm)	τ_{max} (N/mm^2)	Fs (N/mm^2)
5-5 強軸	120	840	4.31	2.70
5-5 弱軸	120	840	3.57	2.70
3-3 強軸	90	840	3.37	2.04
3-3 弱軸	90	840	2.61	2.04
3-4 強軸	120	840	2.67	1.53
3-4 弱軸	120	840	2.74	1.53

図 25　(a) 工形せん断試験体写真

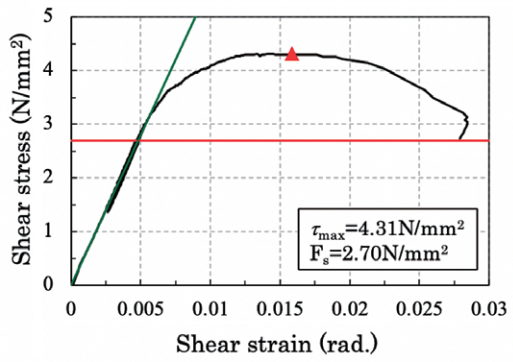
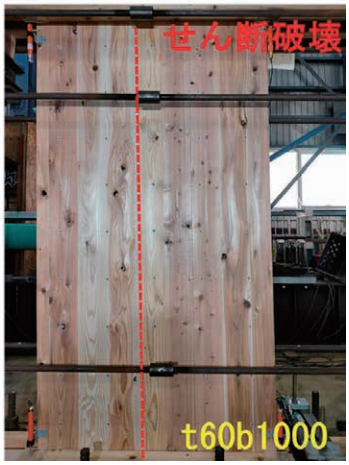


図 26　(a) 工形せん断試験結果（5-5 強軸）



（せん断座屈状況）　　（せん断破壊状況）

図 27　(b) せん断座屈試験写真

④ 乾燥収縮・クリープの既往文献調査

日本の文献、さらには海外の論文、研究報告等を調査した。なお、木材の乾燥収縮やクリープについてはすでにデータがあるため、ここではCLTに特化して文献を調査している。また、ユーロコードやCLTハンドブックなどすでに規準化されているものについても調査をおこなった。

乾燥収縮については積層数が関係することが示されており、積層数が少なくなるほど収縮率が大きくなる。3層の軸方向で2%との実験結果が示された。また高含水率では割れが発生することがあるが、15%以下に管理することにより、割れや変形が抑えられるとの方向もあった。乾燥収縮に直接的に関連する含水率の変化は木口面での含水率変化が顕著であって、木口部分の含水率変動を抑えるための処理方法なども示されていた。

クリープについては木材と同様にクリープ係数としては2.0が海外においても提案されている。

また、CLTハンドブックでは100度以下の環境でかつ乾燥環境における係数は1.0としており、大きな版として利用したとしても、乾燥収縮や強度などの変化については現段階では考慮しなくてよいようである。

⑤ 保証設計を行う上で必要な実験計画の提案（CLT耐震壁を有するRC構造）

委員が所属する施設の振動台（動的実験）及び建研式加力装置（静的実験）によって、試験機の容量等を踏まえ、縮尺20%の1×1スパン、6階建て建物の下層2層分を模擬した部分架構試験体（図28参照）を用いて、実験を実施する計画を提案した。本提案の特徴は、動的実験（計2体）と静的実験（計2体）で同一形状の試験体を載荷することであり、実験間の比較が可能な形で、RC部材の損傷や粘性減衰等に関する情報を収集できる。実験変数はCLT壁板の有無とし、CLT壁板による剛性や耐力の増大効果を直接検証する計画としている。検討では、試験体の最大耐力を仮想仕事法による簡易

な評価手法で試算すると共に、RC造の柱や梁が端部で曲げ降伏するように各部を設計（図29参照）しており、RC部材の脆性的な破壊を防止し、CLT耐力壁が安定して地震力を負担できるように配慮することで、架構全体としては靭性に富む挙動を示すことが期待される。

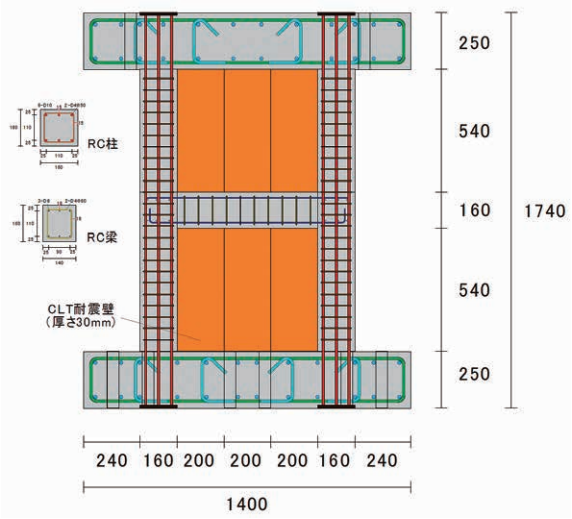


図28　試験体の各部の配筋

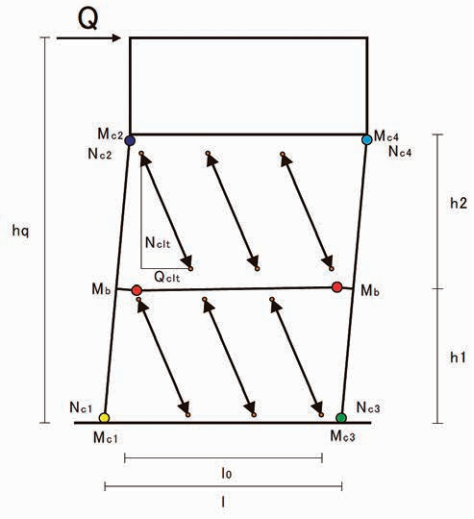


図29　試験体で想定した崩壊機構

⑥ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT 耐震壁を有するS構造）

鉄骨フレームにCLTパネルを組み込む混構造の建物を限界耐力計算法により設計することを想定して以下の手順による検討を行った。（図30・31参照）

1）CLTパネルを配置しない、鉄骨フレームのみの建物について増分解析を行った。この結果、最初に許容応力度に達する部材が生じるときのベースシアCB、及び層間変形角RはCB＝0.155、R=1/150程度であった。また、いずれかの層がR=1/75に達する時点でのベースシアはCB＝0.3程度であった。

2）鉄骨フレームのみの増分解析結果に基づき、等価線形化法を用いて1質点縮約モデルの応答値を算定した結果、安全限界時の縮約モデルの代表点変形角はX方向で1/65であった。

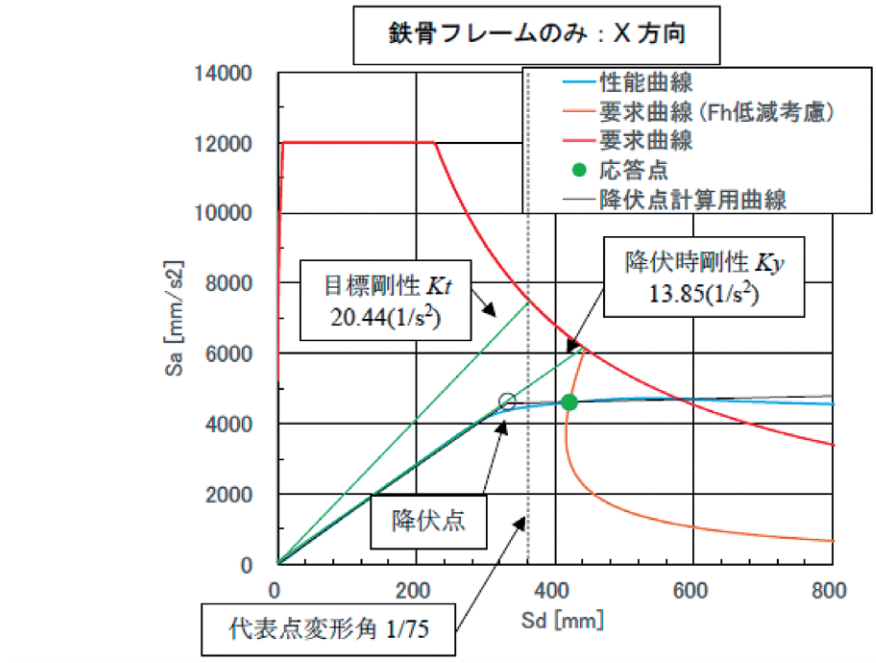
3）鉄骨フレームのみの1質点縮約モデルの応答値に基づき、安全限界時の各層の層間変形が1/75以下に納まるようにCLTパネルの必要量を推定した。この結果、必要となるCLTパネルの分担率は0.4～0.5程度となった。

4）鉄骨フレームに、圧縮ブレース置換したCLTパネルを組み込んだモデルの増分解析を行った。この結果、R＝1/75時点でのCLTパネルの分担率は、 3）で推定したものと近しいことを確認した。

5）CLTパネルを組み込んだモデルの増分解析結果に基づき、等価線形化法を用いて1質点縮約モデルの応答値を算定した。また、縮約モデルの安全限界時の応答値より、各階の層間変形角を算定した。この結果、3) で推定した必要量を満足し、かつ、下層の耐震壁量を上層と同等以上となるようにしたX方向では、各層とも安全限界時の目標変形角R＝1/75を満足することを確認した。

今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- 意匠プランと整合した現実的なパネル配置とした建物検討例の作成
- 一貫計算プログラムにおけるCLTパネルの適切なモデル化の検討



建物の代表点高さ：H=27,374(mm)，H×1/75=365(mm)
応答点：δ max=421(mm)，δ max/H=421/27,374=1/65
降伏点：δ y=331(mm)，δ y/H=331/27,374=1/83，降伏時 Sa=4,583(mm/s²)
Sd=365(mm)における Sa=7,460(mm/s²)
降伏時剛性に対する目標剛性の比 K_t/K_y=20.44/13.85=1.476

図 30　Sa-Sd 図（目標性能の算定）（S 造　X 方向）

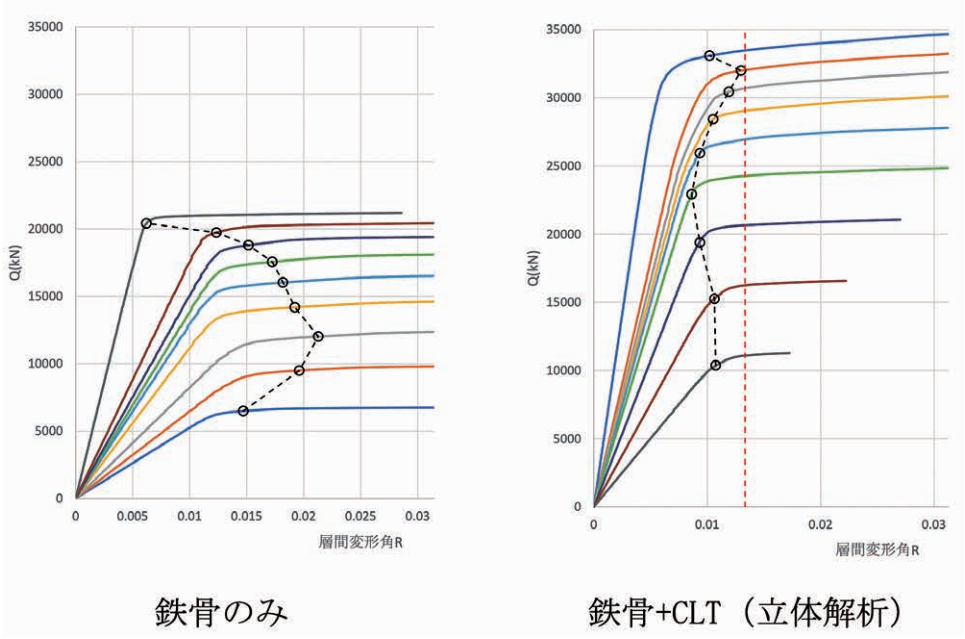


図 31　荷重―変形曲線（Q-R 図）と応答点（S 造　X 方向）

⑦ 限界耐力計算法による試設計検討（CLT耐震壁を有するRC構造）

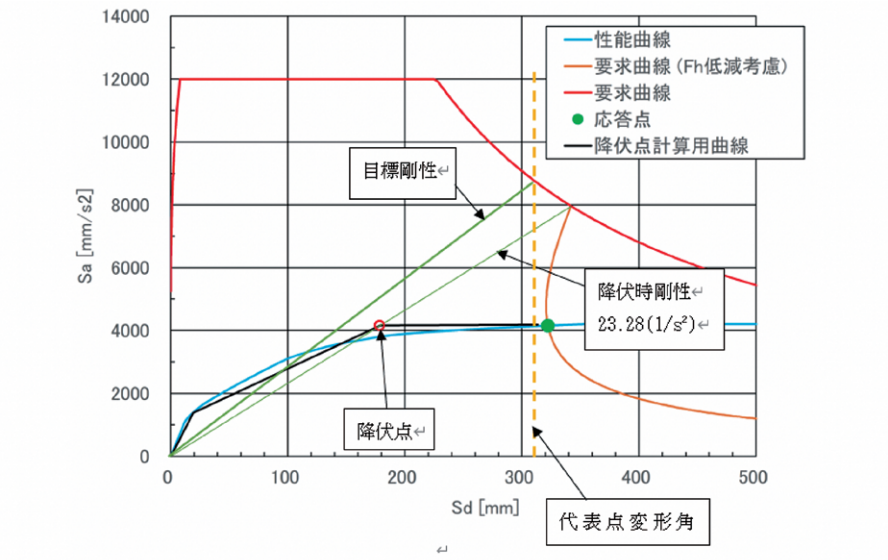
限界耐力計算法による試設計より、以下の結果が得られた。

1）【純RCモデル】では、等価1自由度の代表変位がδ=322mm、変形角=1/73、建物剛性はk1=Sa/Sd = 23.28(1/s²)となった。（図-32参照）また、多自由度の各層の層間変形角は1/56～1/227となり1/75を上回った。（図-33(a)参照）

2）CLTの必要枚数の算定では、目標剛性(k2)/降伏時剛性(k1) = k2/k1=28.44/23.28 = 1.22、等価1自由度の応答変形角と多自由度系の最大層間変形角の比率α=1.30より、各層の終局耐力がα×k2/k1= 1.30×1.22=1.59となるように必要枚数を求めた。なお、CLT耐力壁は[スギCLT S90-5-7]を採用した。

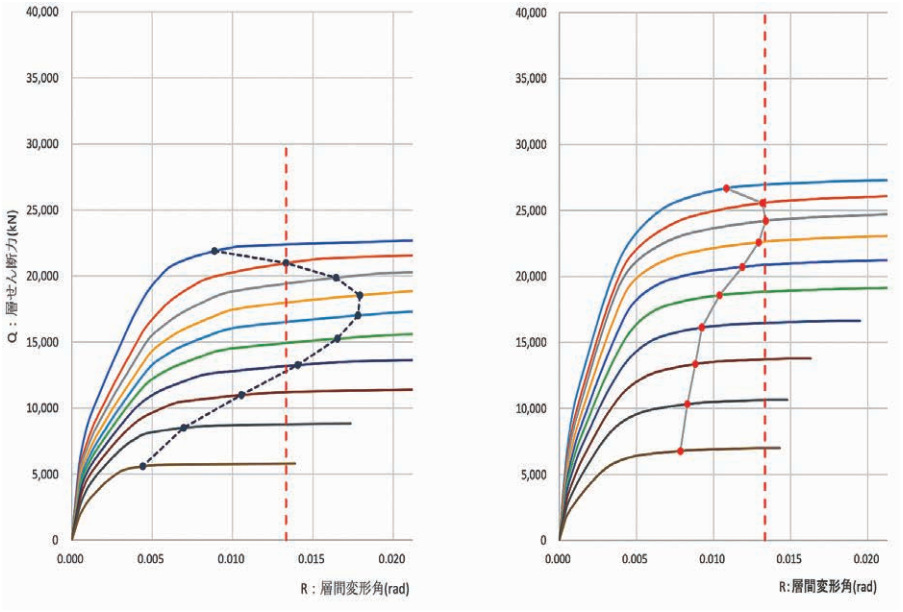
3）【質点（RCとCLT並列）モデル】、等価1自由度の代表変位はδ=239mm、変形角=1/98、多自由度の各層の層間変形角は1/76～1/282となった。

4）【立体RC架構（CLT壁配置）モデル】では、CLT耐震壁をブレースにモデル化し荷重増分解析を行い、等価1自由度の代表変位はδ=261mm、変形角=1/90、多自由度の各層の層間変形角は1/75～1/121となり、1自由度、多自由度ともに目標性能(層間変形角=1/75以下)を満足できた。（図-33(b)参照）また、崩壊形として、CLTを配置した架構部では、最上階の枠梁ではCLTからの突き上げ力による梁中間部の曲げ降伏、一般階ではCLT耐力壁の圧縮降伏や梁端の曲げヒンジの他、梁端のせん断破壊を確認した。これは、平面プランを考慮して狭い範囲にCLTを集中的に配置しCLTからの付加力が過大になりすぎた為と考えられる。なお、梁端のせん断力に対しては梁端のパンチング耐力が上回っていることを確認し、保証設計として、CLTの圧縮降伏と梁端の曲げヒンジ（Qu/Qm＞1.1）を確認しており、全体崩壊形を保証している。



建物の代表点高さ：H=23,500(mm)、H×1/75=313(mm)
応答点：δmax=322(mm)、δmax/H=322/23,500=1/73
降伏点：δy=179(mm) 、δy/H=179/23,500=1/131、降伏時：Sa＝4,168(mm/s²)
Sd=313(mm)における Sa=8,900(mm/s²)
降伏時剛性に対する目標剛性の比：目標剛性性(k2)／降伏時剛性(k1)＝28.44/23.28＝1.22
等価1自由度から多自由度に復元した際の最大層間変形角の比率 α=73/56≒1.30
各層の降伏時剛性が α×k2/k1=1.30×1.22=1.59 倍以上になるように CLT パネルを配置

図32　Sa-Sd図（目標性能の算定）（RC造 純RCモデル:Y方向）



(a) 純RCモデル　　(b) 立体RC架構(CLT壁配置)モデル

図33　荷重―変形曲線(Q-R図)と応答点（RC造　Y方向)

今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- 一貫計算プログラムにおけるCLT耐震壁のモデル化の検討（小割配置したブレース置換方法やブレース端節点の配置方法の合理化。正負加力別モデルの作成が煩雑である。）
- 保証設計応力の検討（CLT壁板の耐力増大率や梁端部のせん断力とパンチング耐力との比較方法。余耐力法を用いた崩壊形の適用）
- CLT耐震壁は靭性型でロッキング挙動としているが、CLT木材の乾燥収縮やクリープによる躯体面との間隙を考慮していないこと
- 平面・立面的なバランスを考慮した、CLT耐震壁の合理的な配置

今後の課題・展開等

CLT耐震壁をフレーム内に挿入した鉄筋コンクリート造、鉄骨造の取り合い部分を限定したうえで、設計に必要となり、これまでCLT設計施工マニュアルで対象としていない設計に必要な情報のうち、摩擦係数、CLTの面内せん断強度、乾燥収縮などについて実験、あるいは調査によって材料等の定数を得た。接合形式が変わるとさらに必要となる設計情報もあるが、基本的な情報は得られた。また、性能指向型の設計を当該建物に適用し、設計事例を作成した。限界変形、等価粘性減衰定数が不明であり、安全側に設定していることもあって、基準整備促進事業で実施した保有水平耐力計算より必要性能が大きい。そこで、現在不明で安全側に設定した情報を得るための水平加力実験を本事業の中で計画し、来年度以降実施するための準備をおこなった。性能指向型の設計において手戻りを極力なくすためには、鉄筋コンクリート造や鉄骨造に挿入されたCLT耐力壁の剛性、つまり接合部のすべりを含んだ剛性を求める手法の確立が課題として示された。設計は一貫構造計算ソフト等を用いてなされるのが一般的であるが、その際にCLTや接合部をどのようにモデル化するかについても今後の課題とされた。

本事業で対象としている構法は耐火建築物であるものの木材をみせて使えるものであり、さらに鉄筋コンクリート造や鉄骨造に慣れた設計者も取り組みやすいものと考えられる。ただ、設計に用いる情報や手順などが整備されていないため、いまのところ高度な技術を持った技術者のみが取り組める状況にある。今後、本事業のような検討を進めることにより情報が整理され、誰もが取り組みやすい環境が整うものであり、現段階では継続的な取り組みが必要との認識を実務者と共有した。

事業

準耐火構造の板倉構法の技術開発

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本板倉建築協会

〒300-4231　茨城県つくば市北条184

事業目的

戦後植林された樹齢60年以上のスギ中大径材の活用が課題となっている。板倉構法では厚30mm幅135~200mmの厚板として壁床天井を木材現わしで構成し、耐震性・耐久性・温熱環境に優れた木造の住宅や非住宅に役立つ構法として開発、普及を図っている。現在開発済の防火構造に加えて木材現わしの45分準耐火構造の板倉構法の耐力壁を開発することで、従来、板倉構法では準防火地域において宿泊施設、共同住宅、児童福祉施設等が500㎡、2階建までに制限されていたが、1500㎡、用途により3階建まで建築可能となる。

そのことにより、中大径材をA材として大断面の構造材や板材に活用することができ、その多大な需要拡大が期待できる。

また、45分準耐火構造と同様のパネルを用いた柱120角仕様の防火構造も合わせて取得できれば、開発済の防火構造と比べ高耐力の構法として新旧2つの構法を選択できるようになり、住宅向けの構法としての有用性の向上が期待できる。

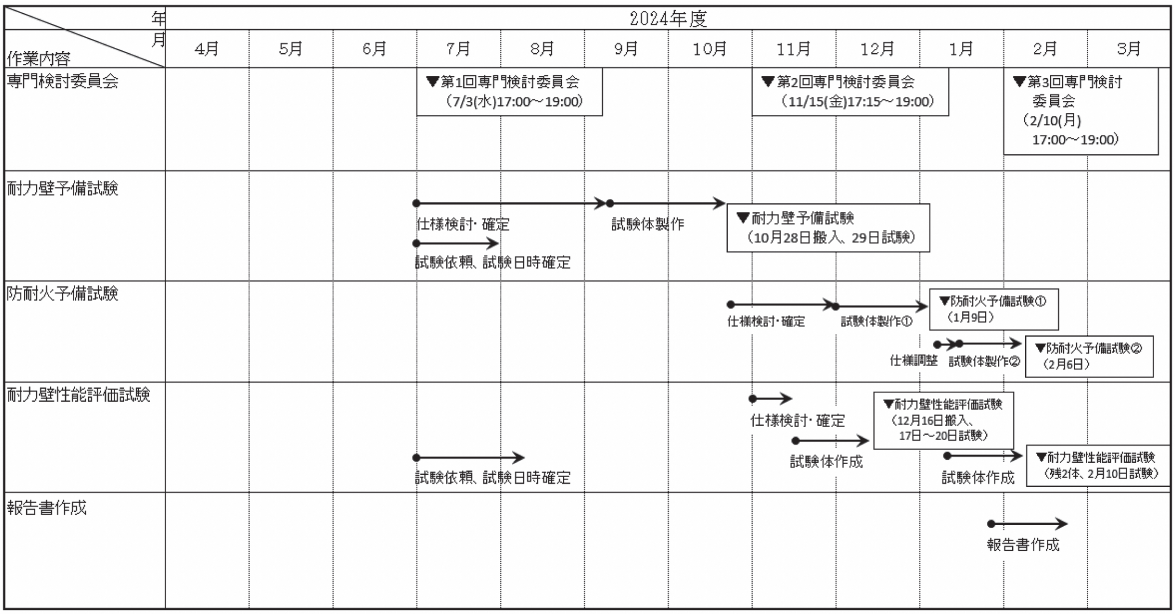


図1　事業スケジュール

実施した項目

本事業の専門検討委員会を設け、以下の耐力壁について予備試験及び性能評価試験を実施、防耐火性能について予備試験を2回実施した。

① 910幅の45分準耐火構造を想定した落とし込み壁パネルについて強度確認を行うため、柱へ留め付けるビスの本数を変えた3種類の耐力壁予備試験。（落とし板働き幅135mm）

② 耐力壁予備試験の結果をもとに45分準耐火構造の耐力壁の仕様を確定し、目標倍率4倍程度目標とした910幅と1000幅の2種類の耐力壁性能評価試験。（落とし板働き幅180mm）

③ 45分準耐火構造の防耐火性能を確認するために行う防耐火予備試験（2回）。

実施体制

日本板倉建築協会に、準耐火構造の板倉構造の開発委員会及び専門検討委員会を設け、性能表価試験機関と協力して本事業を実施する。

■日本板倉建築協会　準耐火構造開発委員会

責任者　代表理事　安藤邦廣（筑波大学名誉教授・工学博士・一級建築士）
理　事　千里泰三（那賀川すぎ共販協同組合　代表理事）
理　事　金親丈史（一般社団法人IORI倶楽部　代表理事・一級建築士）
理　事　東海林修（東海林建築設計事務所・一級建築士）
理　事　関根真紀（株式会社里山建築研究所　代表取締役・一級建築士）
理　事　大場隆博（NPOしんりん　代表理事）
事務局　岡原玄八（一級建築士）
事務局　北野祐子（一級建築士）

■専門検討委員会

設計・施工分野	安藤邦廣（筑波大学名誉教授・工学博士・一級建築士）
構造分野	河合直人（工学院大学教授・工学博士・日本板倉建築協会顧問）
防耐火分野	安井　昇（桜設計集団一級建築士事務所代表・博士（工学）・一級建築士・日本板倉建築協会顧問）
オブザーバー（防耐火）	加來千紘（桜設計集団一級建築士事務所・博士（工学））

■木材生産・供給

株式会社KURIMOKU

■試験体製作

株式会社サスティナライフ森の家
株式会社東亜理科

■耐力壁予備試験・性能評価試験実施機関、防耐火予備試験実施機関

公益財団法人日本住宅・木材技術センター

実施した内容

① 耐力壁予備試験

厚60mm縦桟挿入スギ板重ね合わせパネル（落とし板厚30mm働き幅135mmのスギを2枚合わせにし、ケヤキ桟20mm×30mmを内包する位置にコンフィットCW-51RFで複合したパネル）を柱及び横架材の溝へ落とし込み、柱（120角）際及び土台（120角）際、横架材（120×180）際にP6-100Ⅱ＋（シネジック、パネリードⅡ＋）を斜め打ちし耐力壁を構成する。

予備試験では柱際にP6-100Ⅱ＋を全く打たない、落とし板1枚おきに1本、落とし板1枚に1本の3パターンについて試験を行った。図2に試験体概要を示す。

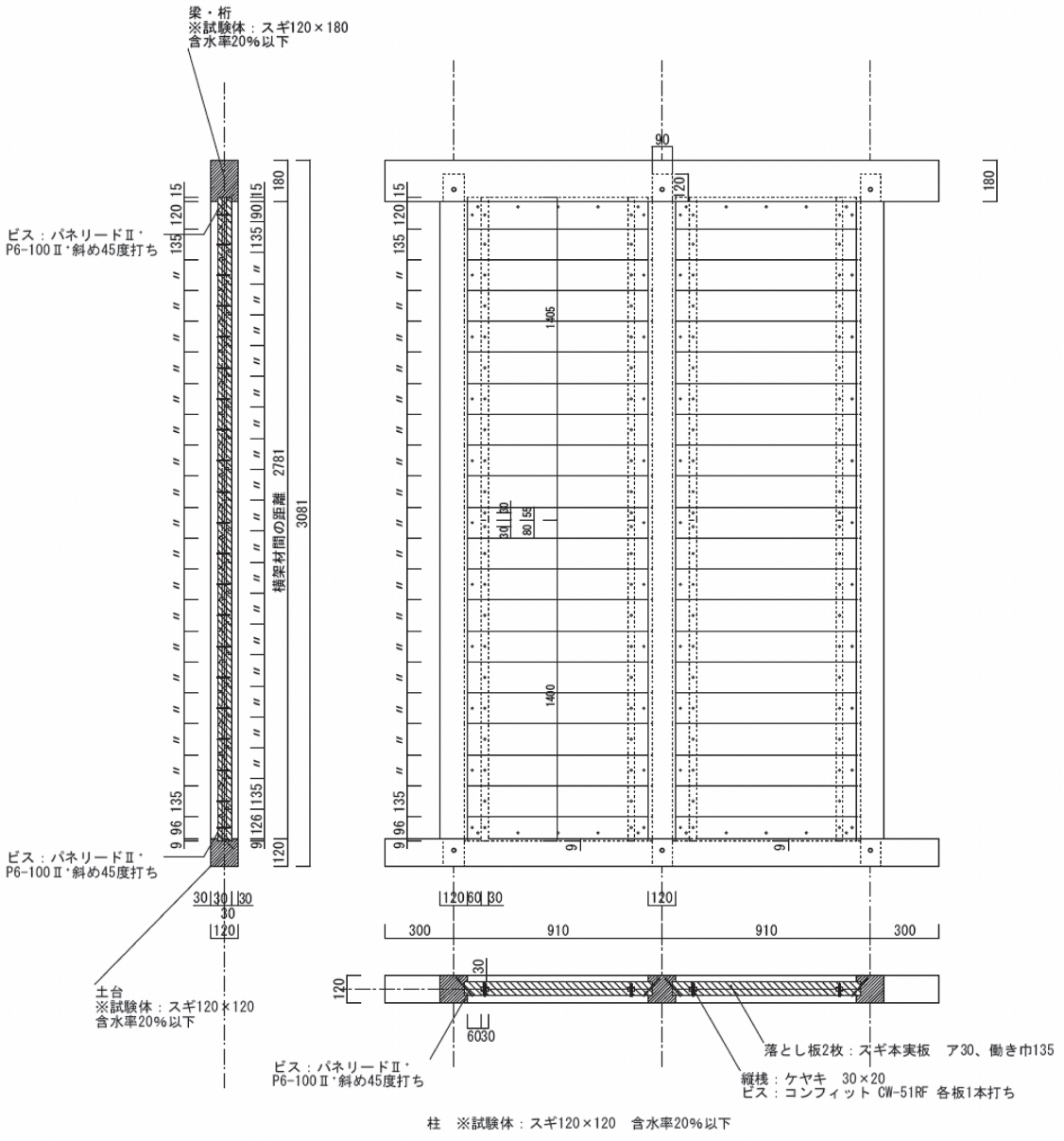


図2　耐力壁予備試験、試験体概要（落とし板1枚おきに1本）

② **耐力壁性能評価試験**

予備試験の結果、目標の壁倍率４倍に届かないことから落とし板の働き幅を135mmから180mmに変更した。柱際のP6-100Ⅱ＋斜め打ちは落とし板１枚に１本打つ仕様にて性能評価試験を行った。また、性能評価を受けるモジュールは910mmと1000mmの２種類とし、性能評価として高さ方向に幅をもたせるために、910mm高、910mm低、1000mm高、1000mm低の４種類を３体、合計12体の試験を行った。図３に試験体概要を示す。

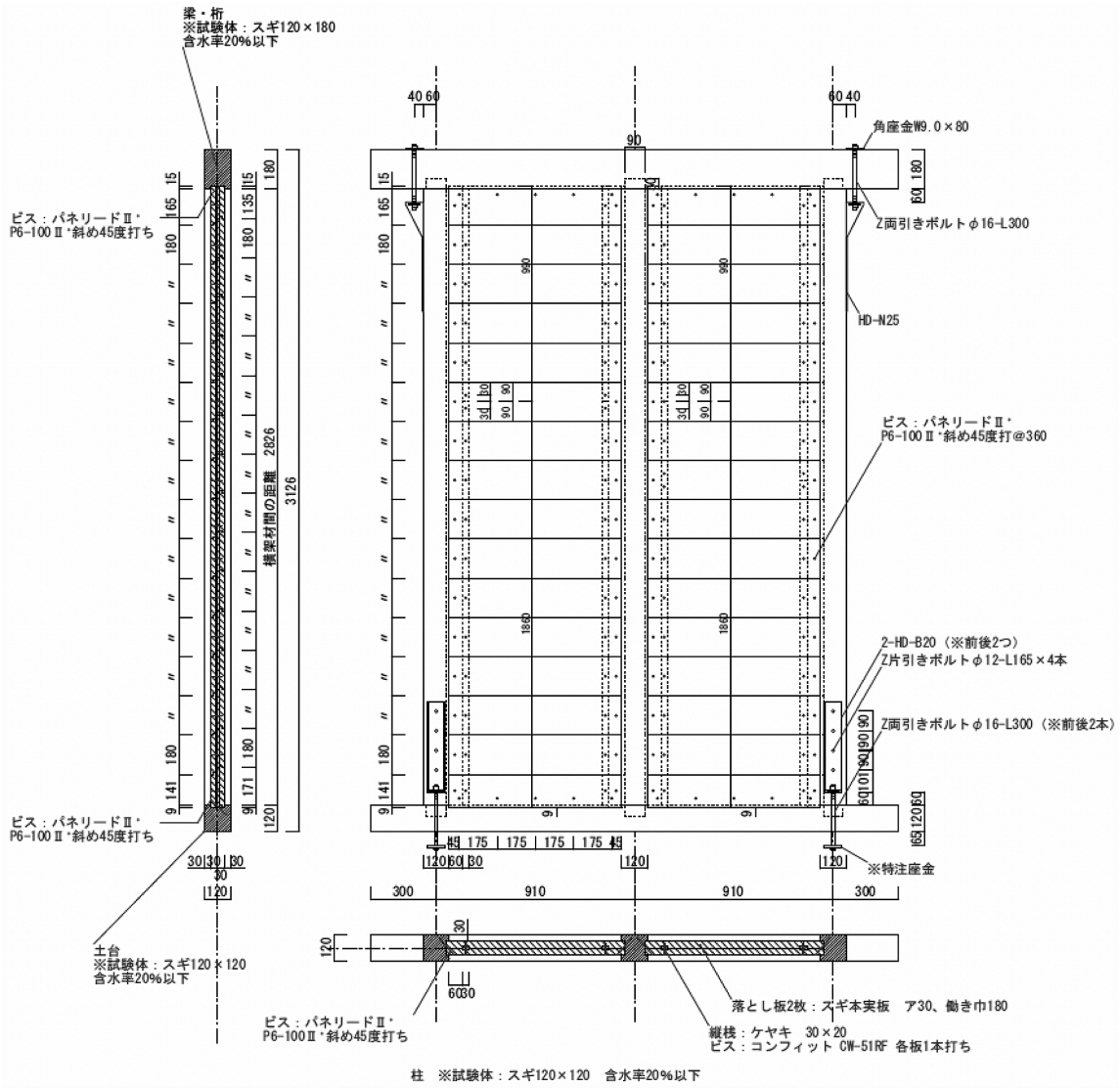


図３　耐力壁性能評価試験、試験体概要

試験体概要は、以下の通りである。

- **土台：**　スギ120角（密度0.45以下、含水率20%以下）
- **柱：**　スギ120角（密度0.45以下、含水率20%以下）
- **梁：**　スギ120×180（密度0.45以下、含水率20%以下）
- **壁パネル：**　厚60mm縦桟挿入スギ板重ね合わせパネル
  （スギ製材（本実加工）働き幅180mm×厚30mmを２枚重ね）
  ケヤキ縦桟30×20mmをコンフィットCW-51RFビスで複合、含水率15%以下
- **縦桟：**　ケヤキ20×30（含水率13%以下）
- **組立：**　柱に幅63mm×深さ16mmの溝を設けて厚60mmの壁パネルを落とし込み、パネリードP6×100で45°斜め打ちする。

写真１　性能評価試験一例（左：試験開始前、右：試験終了時）

③ 準耐火性能外壁に関する載荷加熱実験（防耐火予備試験）

耐力壁に関する①及び②において、目標の構造耐力を有することが確認された、厚さ 30mm のスギ落とし込み板を２枚重ねた総厚 60mm の壁パネルと 120 × 150mm@1000 柱で構成された壁試験体を用いた載荷加熱実験を２回実施した。試験体外寸 W3500 × H3000mm とし、国土交通大臣認定取得のための性能評価試験に従い、ISO834 標準加熱曲線に準じた 45 分間の加熱とした。載荷加熱は 120mm 角柱に長期許容応力度が生じる荷重とした。

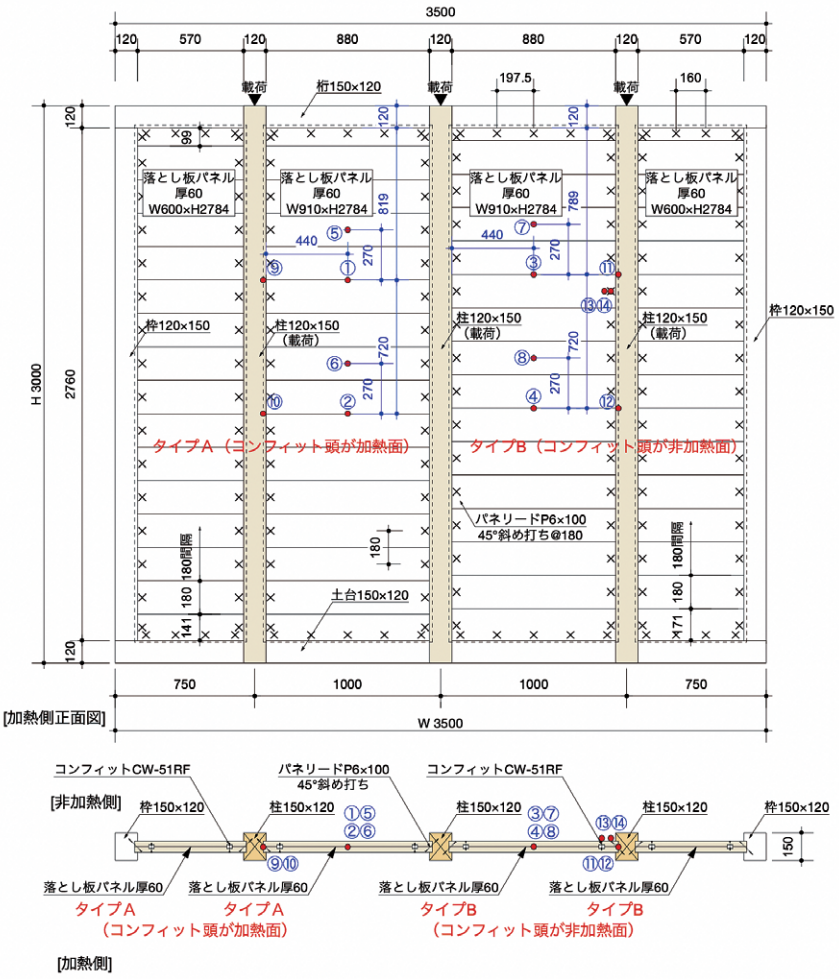


図４　１体目の載荷加熱実験の試験体概要

防耐火性能の評価は、日本住宅・木材技術センターの「防耐火性能試験・評価業務方法書」に従い、非損傷性（軸方向収縮速度9mm／分以下、軸方向収縮量30mm以下）、遮熱性（裏面温度上昇が初期温度から平均＋140K以下、最高＋180K以下）、遮炎性（目視による10秒を超える火炎貫通の有無）の３つの防耐火性能を確認することとした。

試験体概要は、以下の通りである。なお、木材の含水率は15%以下とした。

- **柱：** 同一等級構造用集成材E65-F255（スギ・使用環境B接着剤）
  120×150mm@1000
- **壁パネル：** 厚60mm縦桟挿入スギ板重ね合わせパネル
  （スギ製材（本実加工）働き幅180mm×厚30mmを２枚重ね）
  ケヤキ縦桟30×20mmをコンフィットCW-51RFビスで複合
- **組立：** 柱に幅63mm×深さ16mmの溝を設けて厚60mmの壁パネルを落とし込み、パネリードP6×100で45°斜め打ちする（耐力壁実験と同様）

写真２　１体目試験体の外観（左：加熱面、右：非加熱面（加熱開始時））

実施した結果

① 耐力壁予備試験

試験結果を図５及び表１に示す

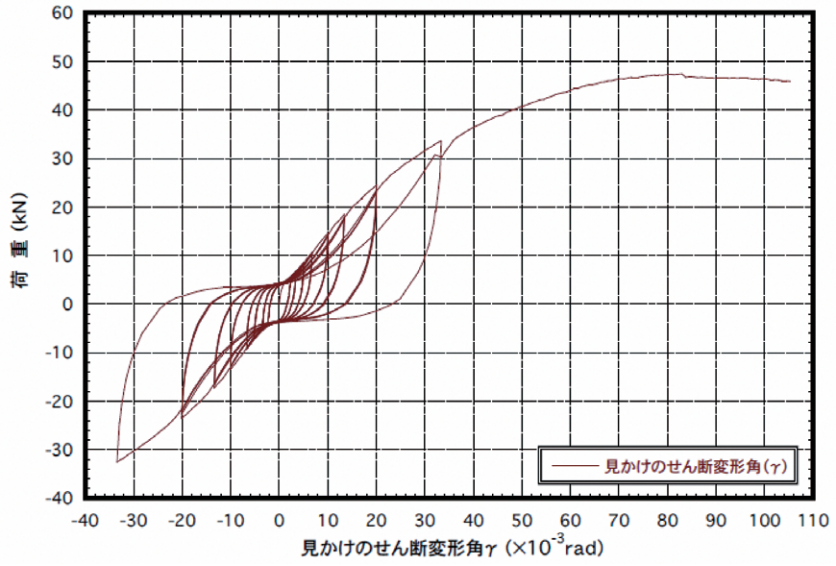


図５ 荷重-せん断変形角曲線一例（試験体IF：落とし板１枚おきに１本）

表 1 試験結果概要

試験体記号	決定因子	短期基準せん断耐力 P_0 (kN)	試算した倍率＊
IN	P120	5.4	**1.5**
IH	P120	12.7	**3.5**
IF	P120	12.4	**3.4**

＊この倍率にはばらつき係数及び低減係数αは乗じていない。

試算した倍率は低減係数αを乗じていない値で3.5倍及び3.4倍となった。今回の開発で壁倍率4倍を目指しているが、低減係数を乗じた場合、壁倍率が3倍に届かないため仕様変更が必要ということが確認できた。

② 耐力壁性能評価試験

予備試験の結果を受けて、落とし板の働き幅を180mmに変更することで壁倍率4倍を目標に性能評価試験を行った。

試験結果を図6、表2に示す。

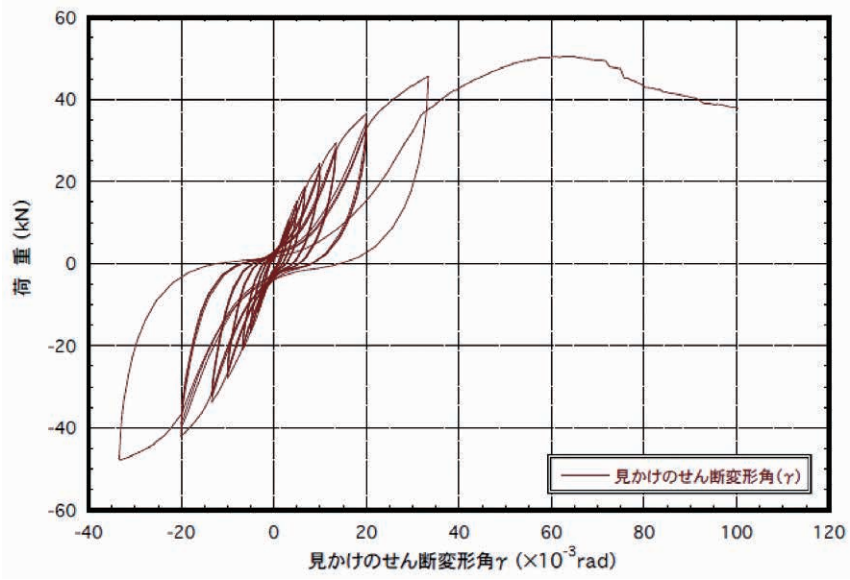


図 6　荷重-せん断変形角曲線一例（試験体：ＩMH-1）

表 2 試験結果概要一例（IML:1000mm高）

試験体記号	決定因子	短期基準せん断耐力 P_0 (kN)	倍率
IML	$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu - 1}$	19.4	**4.9**

注）この倍率には低減係数αを乗じていない。

試算した倍率は低減係数αを乗じていない値で4.9倍となった。低減係数αを乗じた値として4倍に近い数値となることが予想でき、性能評価試験として良い結果を得ることができた。

③ 準耐火性能外壁に関する載荷加熱試験

試験結果を表３に示す。

表３　試験結果概要

	非損傷性		遮熱性	遮炎性
	最大軸方向収縮量	最大軸方向収縮速度	裏面最高温度	火炎貫通
	（規定値：30mm）	（規定値：9mm/分）	（規定値：192℃）	
試験体1 （柱際板なし）	45分間超えず （最大7.9mm）	45分間超えず （最大1.3mm/分）	38分15秒	37分30秒
試験体2 （柱際板あり）	50分間超えず （最大4.1mm）	50分間超えず （最大0.4mm/分）	50分間超えず （最大121℃）	50分間なし

※載荷荷重は120mm角（E65-F255同一等級構造用集成材）柱に長期許容応力度が生じる
47.3KN×3本分＝141.9kNとした

写真３　１体目の試験の様子
（左上：加熱20分、右上：加熱35分、左下：加熱37.5分燃え抜け、右下：45分加熱終了後加熱面）

１体目の実験では、非損傷性は確保したが、遮熱性、遮炎性については、柱と落とし込み板パネルの取り合い部の燃え込みの影響で、38分で火炎貫通し、目標の45分に届かなかった。また、パネルを構成するコンフィットビス、パネルと柱を固定するパネリードビスの熱橋で裏面温度が加熱開始後19分で規定値を超えることがわかった。この２つの課題を解決するために、２体目の実験では、非損傷性を確保できた柱と落とし込み板パネルの構成は変えずに、燃え抜けとビスの熱橋の原因となった柱際に木材を当て木として追加して実験を行った。その結果、50分間、火炎貫通が生じず、さらに非損傷性及び遮熱性も規定値を超えず、十分な防火性能を確保した。

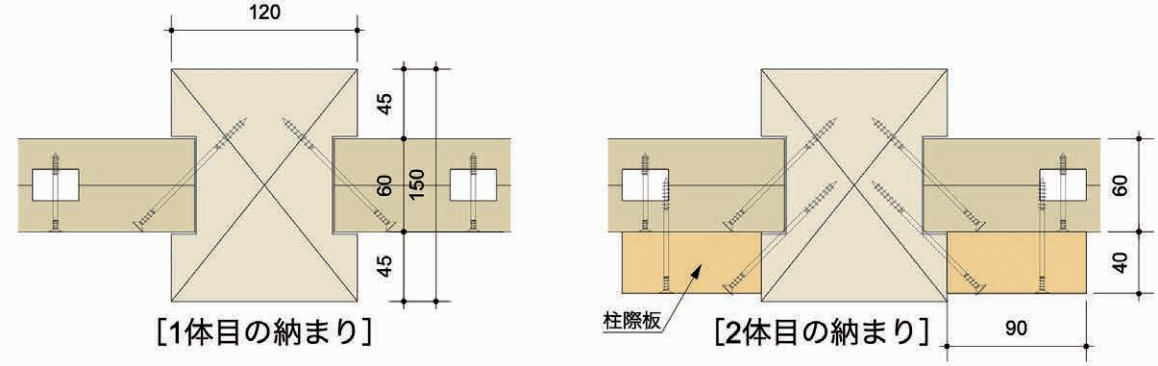


図７　１体目と２体目の改良点（遮熱性・遮炎性向上のため柱際板を追加）

今後の課題・展開等

「耐力壁性能」

本事業の結果、910幅及び1000幅の２種類について性能評価試験を行い目標壁倍率４倍に近い結果を得ることができた。今後、国土交通大臣認定取得へ向けて耐久性試験を行い実用化を目指す。

これまでの板倉構法によるラインナップに今回の壁倍率４倍に近い高耐力の仕様が実用化できれば、木材のみで構成できる中大規模木造に適用可能な構法として、より国産材の活用に繋げられる有用な構法として展開することができる。

「防耐火性能」

本事業の結果、45分準耐火構造の板倉構法の開発に良い見通しが立った。今後は、国土交通大臣認定取得に向けて、外壁及び間仕切壁の性能評価試験を実施し、実用化につなげたい。また、本結果は30分防火構造にも応用できると考えられる。30分防火構造は２階建て以下、45分準耐火構造は３階建て以下の中大規模木造に適用可能であるので、板倉構法よるラインナップを充実させて、都市部も含めた全国における国産材の活用に取り組んで行きたい。

令和5年度　木材製品の消費拡大対策のうち
CLT建築実証支援事業

CLT等木質建築部材
技術開発・普及事業

―成果概要集―

令和７年３月発行
編集　木構造振興株式会社