

平成 27 年度

CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業
【住宅等における新たな製品・技術開発】

事業報告書

平成 28 年 3 月



日本合板工業組合連合会

目 次

住宅等における新たな製品・技術開発

1. 事業の目的	1
2. 1 事業の内容及び実施概要	1
2. 1. 1 委員会の開催	1
2. 1. 2 部材開発等の方法	3
2. 1. 2. 1 柱脚金物の改良	3
2. 1. 2. 2 開口壁の再試験	11
2. 1. 2. 3 高強度耐力壁の評価	19
2. 1. 3 成果の取りまとめ、普及方法	25
3. 今後の課題	25

中層・大規模木造建築物への合板利用マニュアル

1. 開口を有する耐力壁の設計方法	27
2. 開口を有する水平構面の設計方法	30
3. 開口を有する耐力壁の実験データ	34
4. 耐力壁の認定評価機関における試験結果	38
5. 開口を有する床構面の試験結果	43
6. 釘接合部のせん断強度	46

1. 事業の目的

CLT等新たな製品・技術の開発・普及促進事業のうち住宅等における製品・技術開発

森林・林業基本計画に掲げられた合板用国産材需要 500 万 m³ の目標を達成するには、住宅のみならず中層大規模建築物での構造用合板の需要を開拓し、新たに 200 万 m³ の市場を創出する必要がある。

中層大規模建築物の床・屋根・壁として、平成 25 年度には住宅用の構面の 10 倍程度の強度を有する床・耐力壁が実現可能であることを示し、平成 26 年度には開口を有する実用的な床構面の設計法を完成させ、耐力壁についても開口を有する設計法を検討したところであるが、耐力壁については、学校用 JIS 用に開発された柱脚金物を使用したところ、構造計算では安全な断面を有しているものの柱脚金物付近で引張破壊等を生じた構造が見られた。そこで、中層大規模建築物用の床・屋根・壁の開発の最終段階として、耐力壁の柱脚金物接合部の改良・開発を行うものとする。

また、これまでの耐力壁の強度試験では、合板は全層スギを、柱には主にスギ製材を使用してきたが、建築確認においては材料の品質の違いを考慮した強度評価が必要となるため、設計実務と経済性の観点から優先度の高い合板・柱・横架材の各樹種の組合せによる耐力壁について強度評価を行うものとする。

2. 1 事業の内容及び実施概要

2. 1. 1 委員会の開催

○開催回数及び開催時期

開催回数（3回）（WGを含む）

開催時期

第1回委員会（平成 27 年 8 月）

第1回WG（平成 27 年 10 月）

第2回委員会（平成 28 年 2 月）

○議事録は別冊参照

○委員会の構成員

委員	神谷 文夫	セイホク株式会社 技師長（CTO） 国立研究開発法人森林総合研究所 フェロー
委員	渋沢 龍也	国立研究開発法人森林総合研究所 複合材料研究領域複合化研究室 室長
委員	杉本 健一	国立研究開発法人森林総合研究所 構造利用研究領域 チーム長
委員	青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻木質材料科学研究室 講師
委員	鈴木 秀三	（独）高齢・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校 名誉教授
委員	槌本 敬太	国立研究開発法人建築研究所 上席研究員

委員	岡田 恒	(公財) 日本住宅・木材技術センター 試験研究所 所長
委員	鴛海 四郎	(公財) 日本住宅・木材技術センター 試験研究所 特別研究員
委員	平野 茂	株式会社一条工務店 特建設計部 次長
委員	照井 清貴	株式会社ポラス暮らし科学研究所 構造G グループ長
委員	谷川 信江	セイホク株式会社 スーパーバイザー
委員	山野寺博紀	丸玉産業株式会社 茨城工場生産技術部 開発グループ長 副部長
委員	小松 友彦	石巻合板工業株式会社 取締役 営業部長
委員	熊谷 政英	セイホク株式会社 営業部チーフ
委員	佐藤 祥裕	西北プライウッド株式会社 品質保証部課長
委員	林 孝彦	ホクヨープライウッド株式会社 専務取締役
委員	北澤 英人	東京ボード工業株式会社 研究開発室 課長
委員	李 元羽	株式会社キーテック 開発部 部長
委員	山口 雄司	新潟合板振興株式会社 常務取締役工場長
委員	落合 靖彦	林ベニヤ産業株式会社 取締役企画部部长
委員	神前 忠央	島根合板株式会社 東京事務所 所長
委員	多田羅健一	株式会社 日 新 営業部長
委員	古澤 憲司	新栄合板工業株式会社 常務取締役兼営業部長
委員	佐々木理司	アイプライ株式会社 営業部 課長

(敬称略、順不同)

事務局長	川喜多 進	日本合板工業組合連合会専務理事 (事務局長)
事務局	徳山 勝義	〃 調査部長
〃	宮本 友子	〃 総務・企画課長
〃	佐々木祐子	東京・東北合板工業組合 業務統括室長
〃	大嵩 洋	中日本合板工業組合 常務理事
〃	渡邊 隆	西日本合板工業組合 専務理事

2. 1. 2 部材開発等の方法

2.1.2.1 柱脚金物の改良

1) 方法

耐力壁形式の構造では、大きな台風や地震の力が加わると、耐力壁が転倒しようとして耐力壁を構成する柱の下端（柱脚）には、大きな引き抜き力が発生する。これを防止するため住宅ではホールダウン金物を使用されるが、中・大規模構造になるとその力が大きいため、住宅用よりはるかに強度の高い柱脚金物が必要となる。

そこで、昨年度の高強度耐力壁の強度実験においては、学校JIS用に開発された柱脚金物を使用したところ、柱が破壊し、予想した強度が発揮されなかった。この原因は、金物の基礎への固定度合いが高くて金物が回転せず、そのために、柱に曲げの力（2次応力）が発生して、本来の引張力だけの筈が、曲げ・引っ張り応力を生じたためと推察された。そこで柱が破壊しないように、専門家からなる委員会を開催し、アイデアを出し合う方法で柱脚金物を改良することとした。



図1. 前年度に見られた柱の破壊

2) 開発結果

最終的に以下の方法を考案した（図2、3参照）。

- ① 金物を回転しやすくするために、柱脚金物の底部の固定ボルトを2本から1本とし、底部の下にワッシャーを挟む。
- ② 柱の応力分布を緩やかにするために、金物上部でビス間隔を徐々に間隔を広げる。
- ③ 鋼板上部に丸味を付ける。

また、耐力壁が終局に達した後に韌性を持たせるためには、柱一桁接合部を、一般的なホゾに変えて、柱大いれ+ホゾとするのが良いという経験的知見から、この方法も採用することとした（図4）。

改良の効果を検証するため、当初は接合部のみの引張破壊実験を行う予定であったが、回転を伴わない接合部だけの実験では効果の検証が不十分であるとのことから、接合部の引張実験に替えて、実際的な耐力壁の強度試験を行うこととした。

ビス: L=65, $\Phi 7$ 70本
 平鋼: 790×65×t9 2本
 120×150×t25 1本
 ボルト: T10 M30 1本
 座金: 軟鋼 2枚

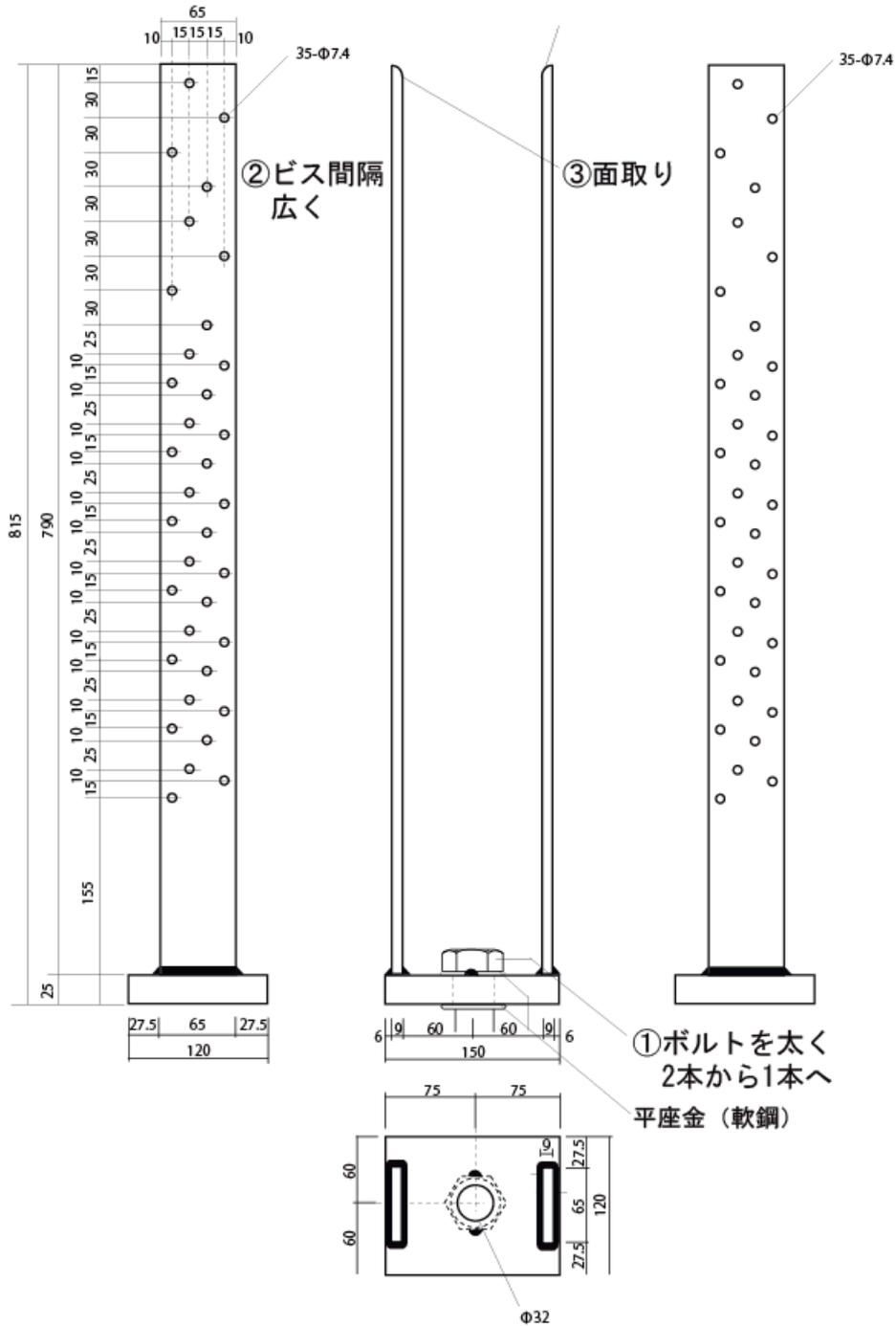


図 2. 柱脚金物の改良

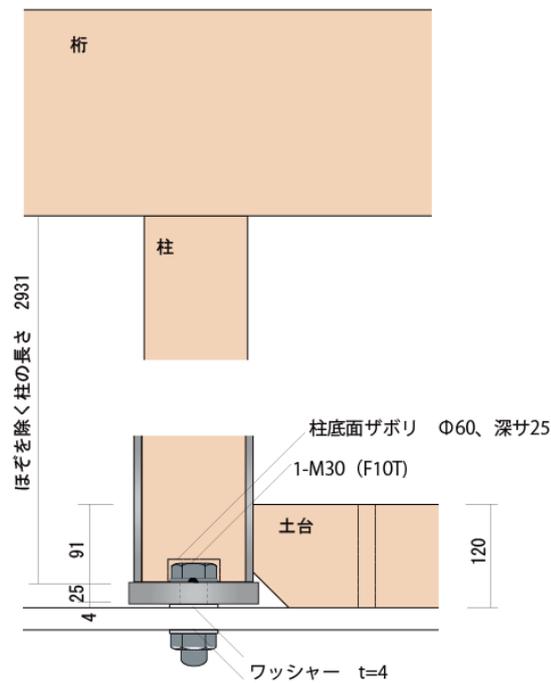


図3. 柱脚金物底部にワッシャーを入れる



図4. 柱-桁仕口の改良 左：通常のホゾ、右：柱大入れ+ホゾ

試験体の仕様は2種類で、共通仕様は以下の通りである。試験体を図5、6に示す。

壁高さ：2730mm（土台芯～加力芯までの高さ）

部材：桁材 JAS構造用集成材（対称構成E120-F330、120×240mm、ベイマツ）

土台・柱・胴つなぎ JAS構造用製材（E70以上、SD20、120角、スギ）

合板 JAS構造用合板（特類2級、24×910×1820mm、全層スギ）

柱仕口は短ほぞ+2-N90、胴つなぎ端部は10mm大入れ+2-N90斜め打ち

接合具：CN75釘（釘打ち間隔：@50×2列）縁距離、列間隔は20mm。

予備試験体-1
柱頭仕口：短ほぞ（通常仕様）

総研試験体 15年 2BY-1		1 体
桁	ベヤ製材（又は集成材）	120×240
柱、土台、胴つなぎ	スギ製材（又は集成材）	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層スギ

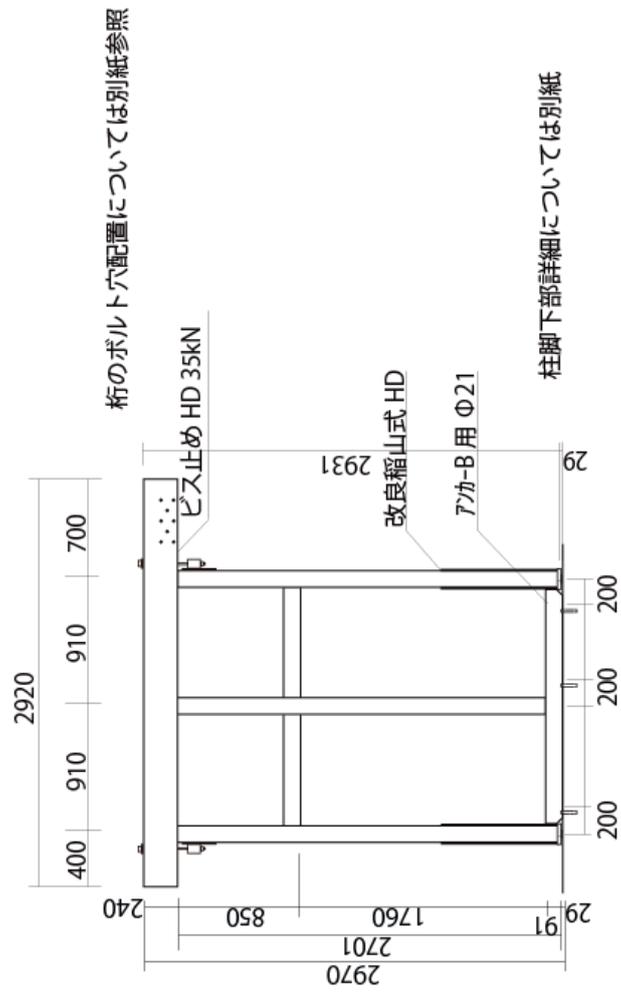
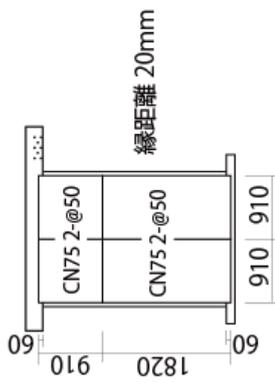


図 5. 柱脚金物評価用試験体（柱頭—桁仕口はホゾ）

予備試験体-2 柱頭仕口：柱大入れ

総研試験体 15年 2BY-2		1 体
桁	H 型鋼製材 (又は集成材)	120×240
柱、土台、胴つなぎ	S 型鋼製材 (又は集成材)	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層貼*

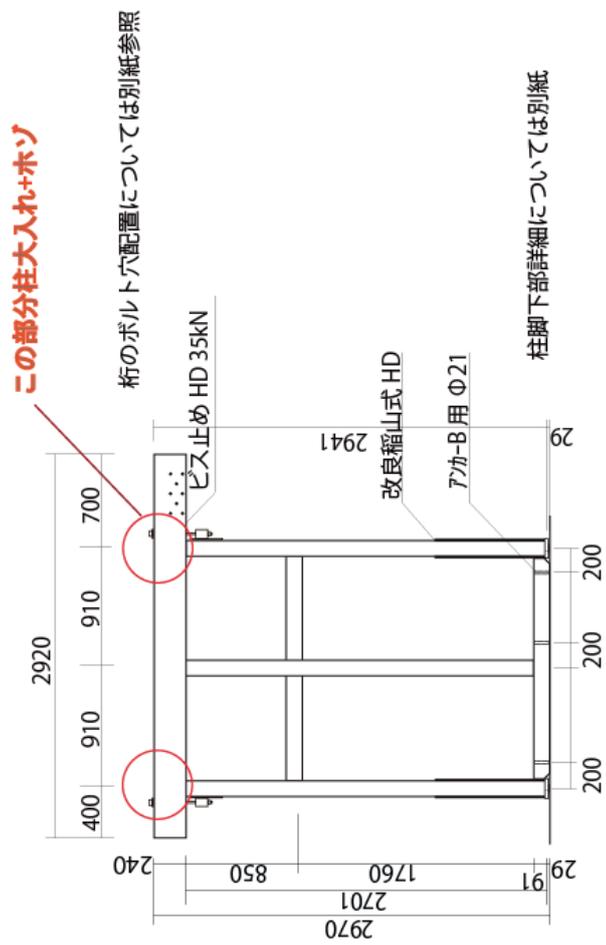
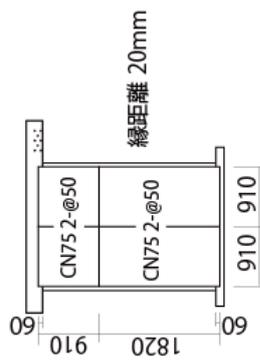


図 6. 柱脚金物評価用試験体 (柱頭一桁仕口は柱大入れ+ホゾ)

図7に荷重-変形角関係を、表1、2に試験特性値と倍率評価結果を示した。
 両仕様はほぼ同じ履歴を辿っており、終局域で柱頭の仕様の違いが見られるかと予想していたが、それより先に合板のせん断破壊が生じ、柱頭の破壊は生じなかった。

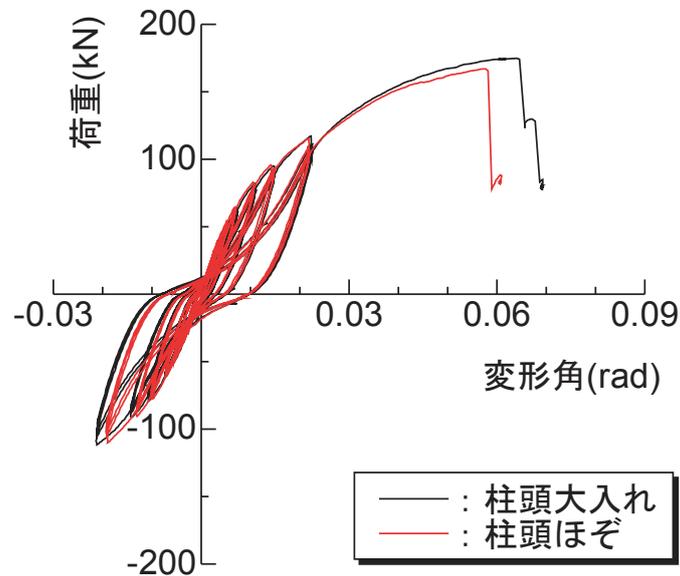


図 7. 改良金物検証のための耐力壁試験における荷重—変形関係

表 1. 試験特性値 (壁長 2P 当たりの荷重に換算してから算定した値)

	P_{max} (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	K (kN/rad)	$Energy$ (kN·rad)	μ	$\gamma_{P_{max}}$ (10^{-2} rad)	γ_y (10^{-2} rad)	γ_u (10^{-2} rad)
大入れ	167.0	83.0	143.2	7916	7.04	3.22	5.75	1.05	5.82
ほぞ	174.9	86.5	152.7	7134	8.23	3.02	6.38	1.21	6.46

表 2. 基準せん断耐力と評価倍率 (壁長 2P 当たりの荷重に換算してから算定した値)

	短期基準せん断耐力(kN) (2P 当たり)				倍率
	P_y	$P_u(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$	
大入れ	83.0	<u>66.8</u>	111.3	72.6	18.7
ほぞ	86.5	<u>68.5</u>	116.6	70.1	19.2

開口壁と同様、全層スギ合板の面内せん断性能が低かったために、このような結果が生じたと考えられる。最大荷重の低い方は167 kNであるから、合板の有効長さを釘打ち線間距離を $(910 - 2 \times 40\text{mm}) = 830\text{mm}$ とすると、合板のせん断応力 τ は、

$$\tau = 167000 / (830 \times 2 \times 24) = 4.2\text{kN/mm}^2$$

合板のJAS規格によると、構造用合板2級にはせん断強度の規定はないが、1級にはあり

、合格水準が 3.2N/mm^2 であり、試験に使用した合板はこれを31%上回っている。従って、試験体は合板のせん断破壊で最大荷重に達したものの、理論通りであったと言える。

倍率評価結果では目標性能の20倍（ 40kN/m ）には届かなかったが、合板以外に目立った損傷は見られないことから、合板樹種や単板構成を変化させて面内せん断剛性を確保することにより、更に高強度の耐力壁になると考えられる。

実験の結果、前年に見られた柱の曲げ変形は見られず（図8）、柱脚金物が底部から回転を生じ、柱の2次応力は目論見通り低下していることが観察され、金物改良の効果が認められた。

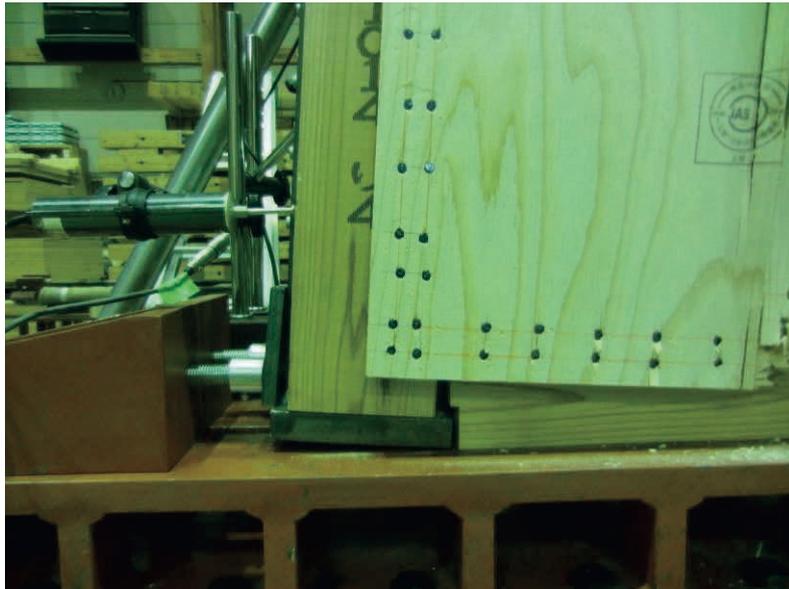
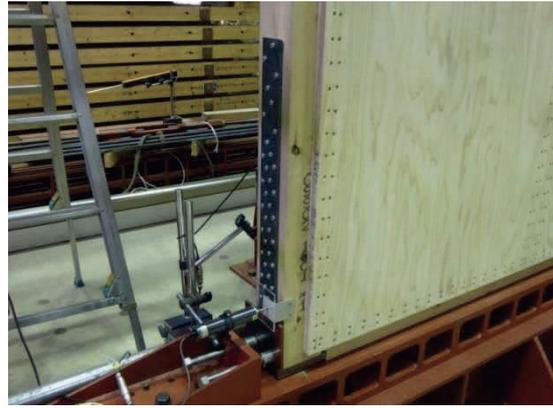


図8. 柱脚金物の回転（金物は底部から回転しており、柱の曲げ応力は小さい）

開口壁の破壊形態は、補強した部分での合板のせん断で破壊であった（図9）。最大耐力は 162kN 、合板の有効長さ（合板外周の釘打ち線間距離）が $830\text{mm} \times 2$ 枚、合板厚さは 24mm であるから、合板のせん断応力度は、 $162000 / (830 \times 2 \times 24) = 4.07\text{N/mm}^2$ となる。合板のJAS規格によると、構造用合板2級にはせん断強度の規定はないが、1級にはあり、合格水準が 3.2N/mm^2 であり、試験に使用した合板はこれを27%上回っている。従って、試験体は合板のせん断破壊で最大荷重に達したものの、理論通りであったと言える。



柱頭大入れ仕様 試験前



柱脚金物の納まり



柱頭の大入れ部分



試験終了時（合板のせん断破壊）



せん断破壊の様子



せん断破壊の様子

図 9. 改良金物検証のための耐力壁試験の様子と破壊状況

2.1.2.2 開口壁の再試験

1) 方法

試験体の仕様は全6種類あり、共通仕様としては以下の通りである。昨年度は表3に示す6仕様全てを各1体実施したが、今年度は表3中の“2B-2” “8H-2” の2仕様（図10、11）を1体ずつ実施した。

壁高さ：2730mm（土台芯～加力芯までの高さ）

部材：桁材 JAS構造用集成材（対称構成E120-F330、120×240mm、ベイマツ）

土台・柱・胴つなぎ JAS構造用製材（E70以上、SD20、120角、スギ）

合板 JAS構造用合板（特類2級、24×910×1820mm、全層スギ）

柱仕口は短ほぞ+2-N90、胴つなぎ端部は10mm大入れ+2-N90斜め打ち

接合具：CN75釘（釘打ち間隔：標準仕様@100、開口付きは部分的に異なる間隔）

縁距離は20mmで共通

表 3. 開口壁試験体一覧（昨年度分を含む）

No.	壁長(mm)	開口部	概略
2B 2B-2	1820	無し	
4H	3640	掃き出し	
4M		窓型	
6F	5460	掃き出し+窓型	
8B	7280	無し	
8H 8H-2		掃き出し	

試験方法は、(公財)日本住宅・木材技術センターが定める耐力壁の試験方法（方法書）に準拠し、アクチュエータを用いた正負交番加力（同一変形角3回繰り返し）とした。加力速度は1mm/secとした。試験特性値や基準耐力の算定も方法書に準拠した。

総研試験体 15年 2B		1 体
桁	ハ型鋼製材 (又は集成材)	120×240
柱、土台、胴つなぎ	スギ製材 (又は集成材)	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層スギ

昨年と同じ

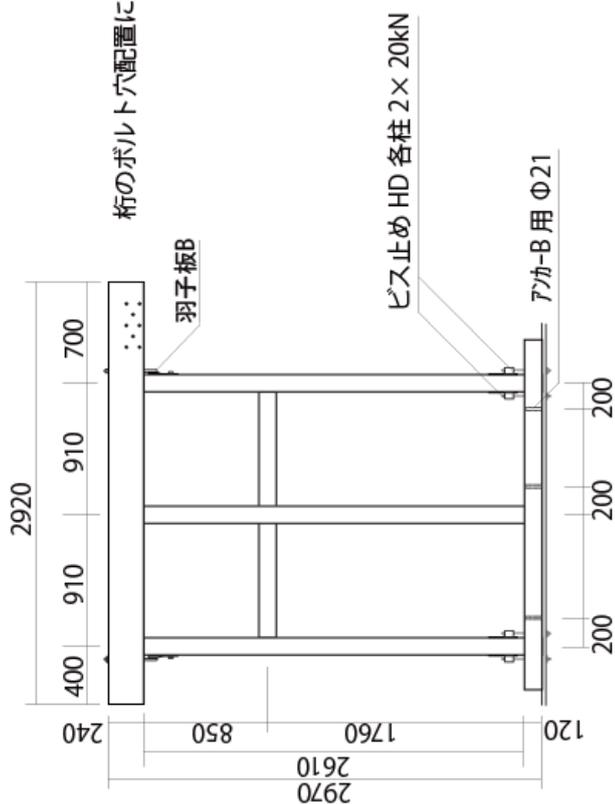
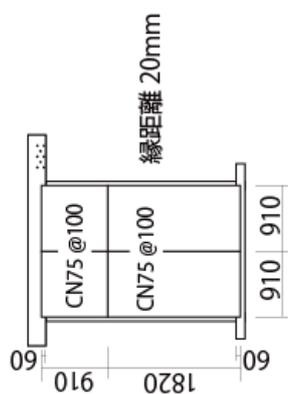


図 10. 開口壁試験のコントロール試験体 2B-1

総研試験体 15年 8H		1体
桁	パイプ製材 (又は集成材)	120×240
柱、土台、胴つなぎ	スチール製材 (又は集成材)	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層スチール

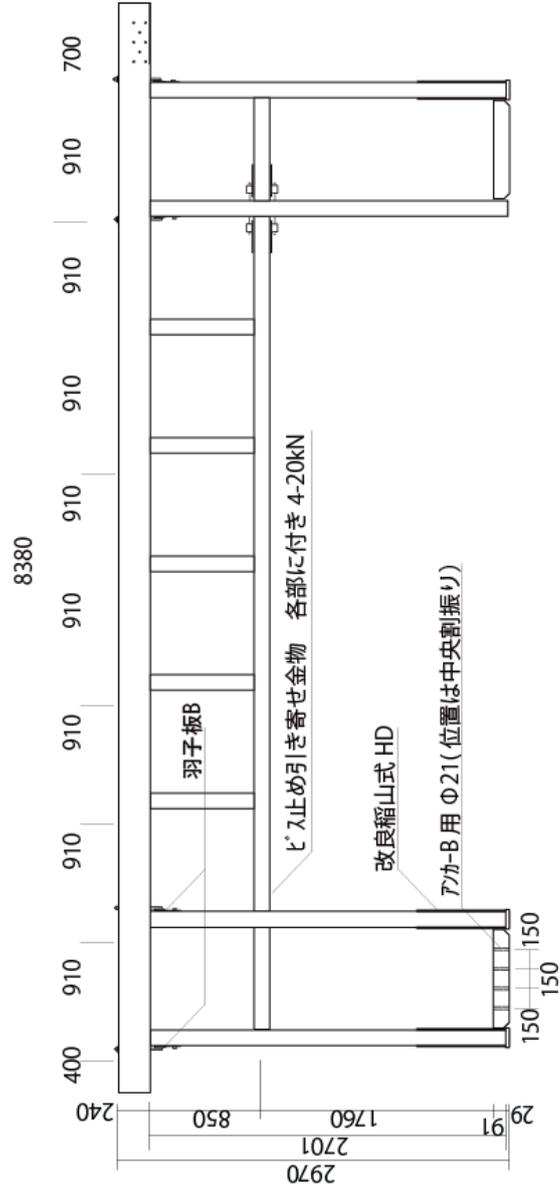
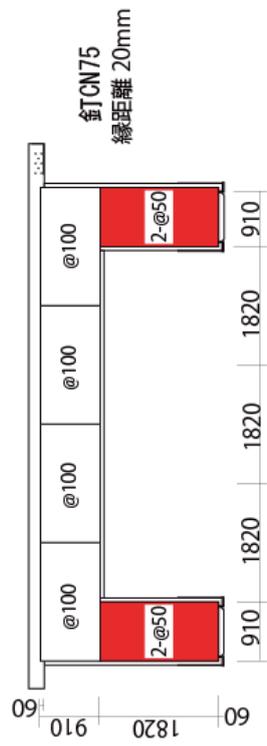


図 11. 開口部試験体 8H-1

2) 開発結果

図12には試験で得られた荷重と見かけのせん断変形角の関係のうち第1象限の包絡線を示した。なお、荷重は各試験体の耐力を壁長2P（1820mm）あたりに換算したもので、変形角は得られた値そのままである。

今年度実施した2B-2と8H-2に着目すると、2B-2については2Bに比べて剛性・耐力共に高

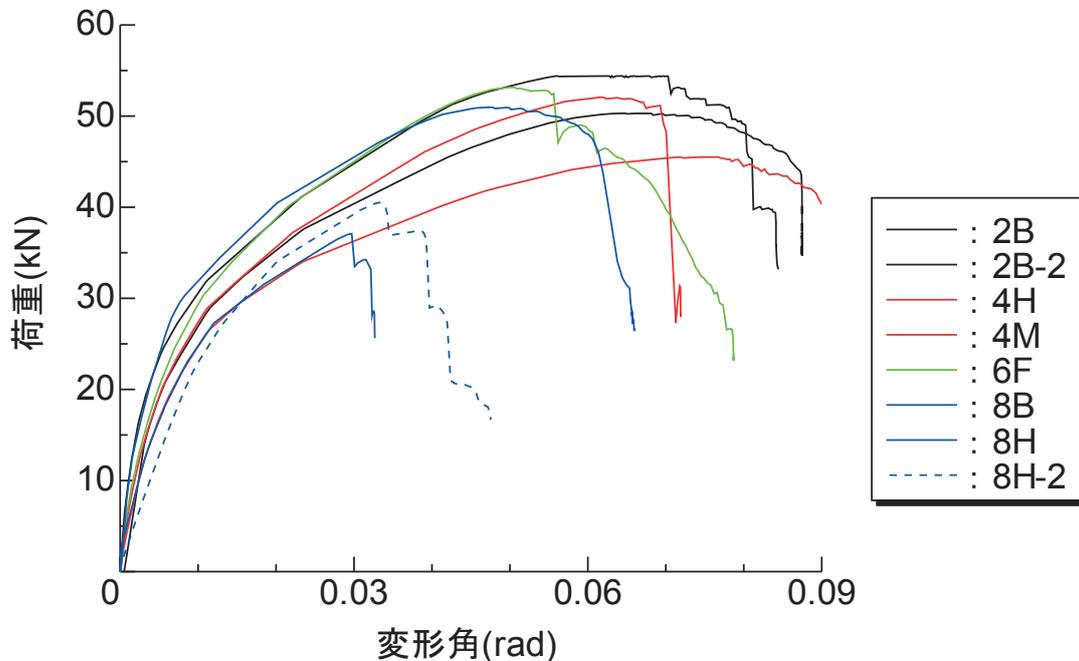


図 12. 開口壁試験の荷重—変形関係（昨年度分を含む）

いが、他の仕様と同等の範囲に入っており、バラツキの範囲と考えられる。8H-2については、柱脚金物を変更したために8Hに比べ剛性が若干低下しているが、履歴曲線は他仕様と同等の上昇を見せている。しかし、40kN/2Pあたりで合板のせん断破壊が起き、耐力が頭打ちとなった。今回用いた合板は全層スギの厚物合板（24mm）で、昨年と同様であるが、昨年度は全ての試験仕様でせん断破壊は生じていないにもかかわらず、今年度の合板ではせん断破壊が生じた。材料強度のバラツキであろうが、破壊荷重から計算すると、 4.07N/mm^2 で、JAS 1級のせん断強度 3.2kN/mm^2 より27%高い値となっており、JAS1級の値を満たしている。

次に、包絡線を完全弾塑性モデル化して特性値を求め表4に示した。

表 4. 開口壁試験における特性値（昨年度分を含む）

	P_{max} (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	K (kN/rad)	$Energy$ (kN·rad)	μ	γ_{Pmax} (10^{-2} rad)	γ_y (10^{-2} rad)	γ_u (10^{-2} rad)
2B	50.3	26.3	45.3	2748	3.59	5.31	6.47	0.96	8.75
2B-2	54.5	27.5	48.7	3669	3.63	6.11	6.02	0.75	8.11
4H	45.5	25.2	40.9	2436	3.53	5.64	7.18	1.04	9.48
4M	52.1	26.5	45.7	2826	2.83	4.33	6.17	0.94	7.00
6F	53.2	27.7	46.7	3093	2.83	4.51	5.06	0.89	6.81
8B	51.0	27.5	45.6	4276	2.59	5.81	4.73	0.64	6.20
8H	37.1	21.4	33.1	2803	0.87	2.73	2.97	0.76	3.22
8H-2	40.5	22.8	36.2	2303	1.14	2.50	3.32	0.99	3.93

また、荷重に関する特性値の比較を図13に示した。想定通りの結果が得られなかった8H、8H-2を除き、その他の仕様は概ね一定の性能を示した。最後に、倍率評価した結果を表5に示した。

最後に、試験前の全景と試験後の主な破壊の様子を図14に示した。

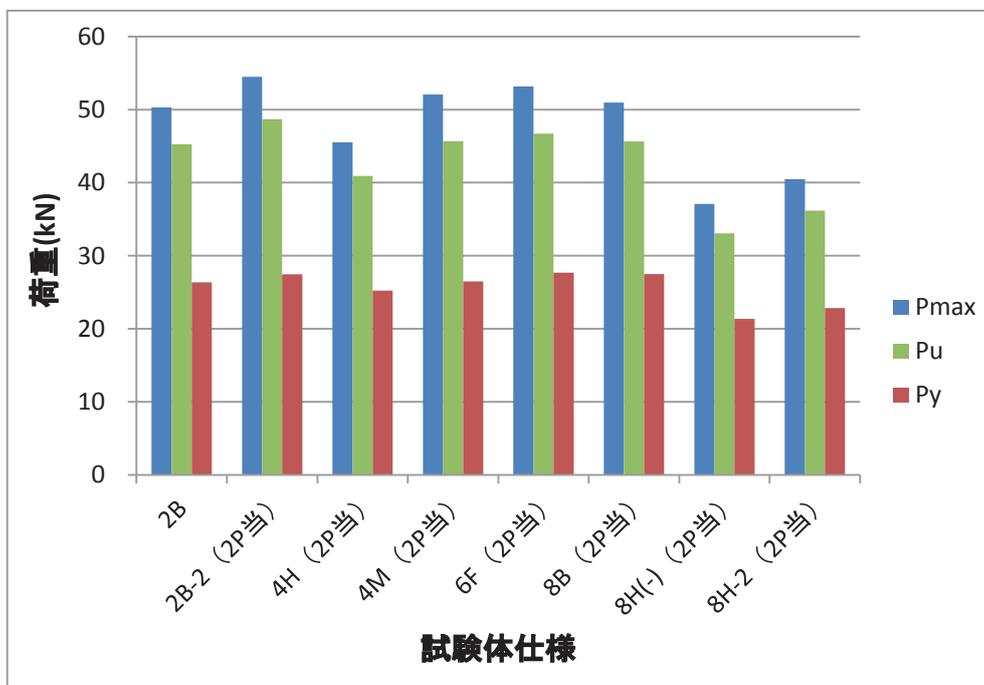


図 13. 開口壁試験における特性値の比較（昨年度分を含む）

表 5. 開口壁試験における基準せん断耐力（昨年度分を含む）

	短期基準せん断耐力(kN) (2P 当たり)				倍率
	P_y	$P_u(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$	
2B	26.35	28.08	33.54	<u>24.58</u>	6.89
2B-2	<u>27.45</u>	32.62	36.33	28.50	7.69
4H	25.23	26.24	30.34	<u>22.48</u>	6.30
4M	26.47	25.30	34.72	<u>24.98</u>	7.00
6F	27.67	<u>26.45</u>	35.44	26.69	7.42
8B	<u>27.49</u>	29.74	33.98	30.34	7.71
8H	21.37	<u>13.96</u>	24.73	22.58	3.91
8H-2	22.83	<u>14.47</u>	27.00	20.05	4.06



2B 試験前



2B 合板のずれと釘接合部の変形



4H 試験前



4H 試験後の変形の様子



4M 試験前



4M 釘接合部の破壊後に柱が横引張で割裂

図 14. 開口壁試験の様子と破壊状況



6F 試験前



6F 開口部周りの接合部の破壊



8B 試験前



8B 面材の変形の様子



8H 試験前



8H 釘接合部の破壊後の面外への変形

図 14. 開口壁試験の様子と破壊状況（続き）



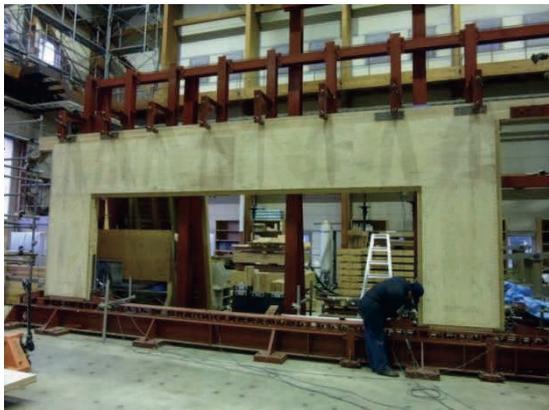
2B-2 試験前



2B-2 試験終了時



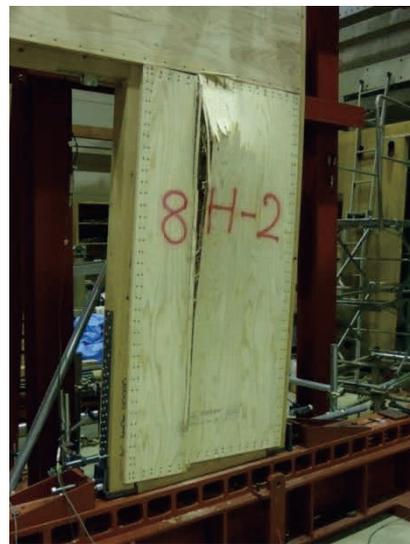
2B-2 HD 金物部の集合型破壊？



8H-2 試験前



8H-2 試験終了時



8H-2 合板のせん断破壊

図 14. 開口壁試験の様子と破壊状況 (続き)

2.1.2.3 高強度耐力壁の評価

1) 方法

高強度耐力壁の強度評価を行った。試験体は2種類各3体。共通仕様は以下の通り。

合板：厚さ24mm全層アカマツ

釘：CN75

釘間隔：2列-@50mm

断面寸法：柱・土台は120mm角、桁は120×240mm

柱-桁仕口：柱大入れ+ほぞ

種類の違いは軸材で、柱・土台・桁のすべてカラマツ集成材のものと、柱・土台がスギ製材、桁がベイマツのものである。試験体の詳細を図15-17に示す。

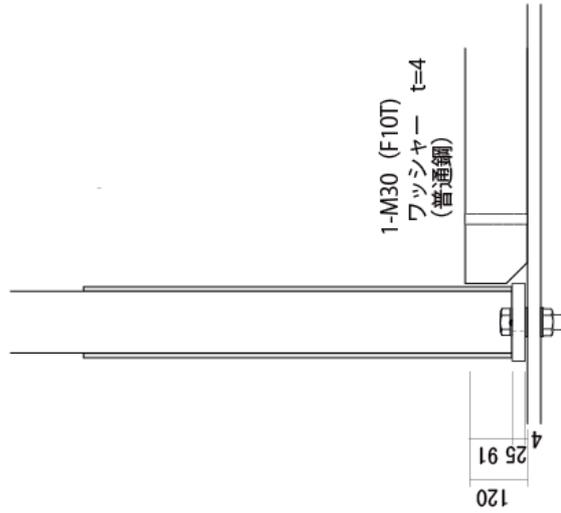
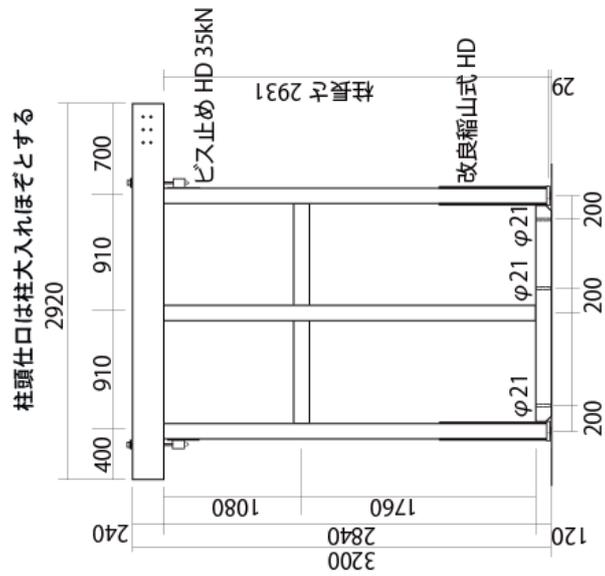
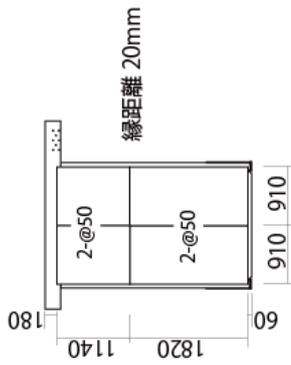
荷重-変形関係を図18、19に、評価結果の概要を表6に示す。最大荷重は軸材がカラマツの試験体の方が、軸材がスギの試験体より高かったが、破壊形態が脆性的で靱性が乏しかったため、ばらつきが大きく昨年より強度が低い結果となった。

改良した柱脚金物は底部から回転し、柱の曲げは特に顕著ではなかった。ただし、土台の横滑りが見られた。破壊形態は、柱脚の割裂あるいは引張破壊であった（図20）。土台のすべりによって、合板を柱に留めている釘に水平方向の力が加わり、これが柱を引き裂いた可能性がある。

表 6. 高強度耐力壁の特性値と基準せん断耐力

仕様	P_y	$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu-1}$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$	P_o
カラマツ	66.5	40.6	86.4	72.6	40.6
スギ	86.2	52.2	109.8	82.1	52.2

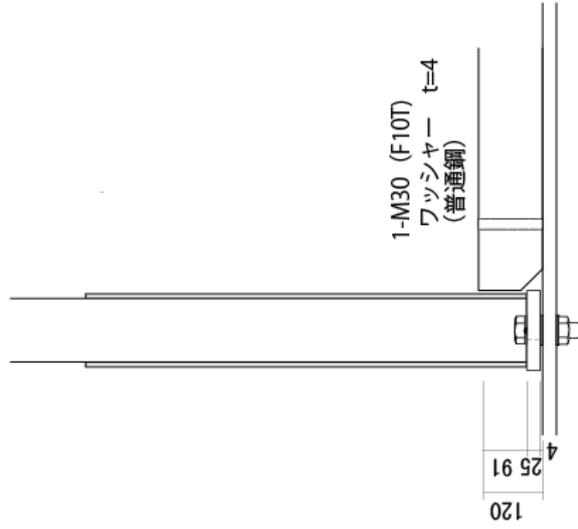
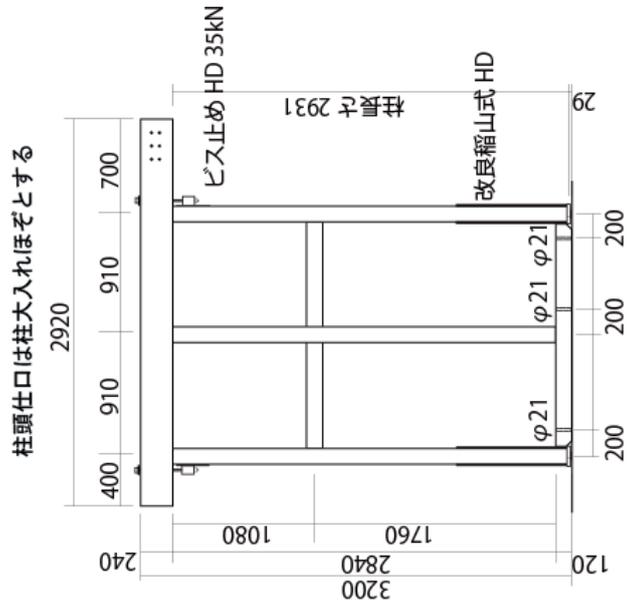
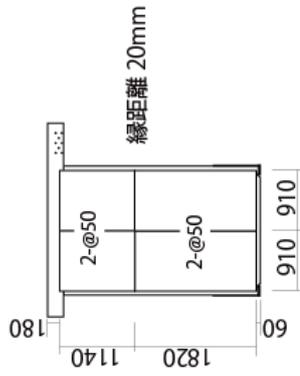
住木試験体 2B-1 CN75 2-@50 3体		
桁	カラマツ集成材	120×240
柱、土台、胴つなぎ	カラマツ集成材	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層7がツ



ボルト穴が大きすぎで試験装置基台に止められないので
基台に箱型金物を取り付け、これに柱脚金物を取り付ける
基台に土台を置き、これに試験体の土台部分を載せる

図 15. 高強度耐力壁 その-1 カラマツ仕様

住木試験体 2B-2 CN75 2-@50 3体		
桁	バイマツ製材	120×240
柱、土台、胴つなぎ	スギ製材	120×120
合板	JAS2 級構造用 24mm	全層7かマツ



ボルト穴が大きすぎで試験装置基台に止められないので
基台に挿型金物を取り付け、これに柱脚金物を取り付ける
基台に土台を置き、これに試験体の土台部分を載せる

図 16. 高強度耐力壁 その-2 スギ仕様

2-@50 の釘打ち詳細

基本的に昨年と同じ

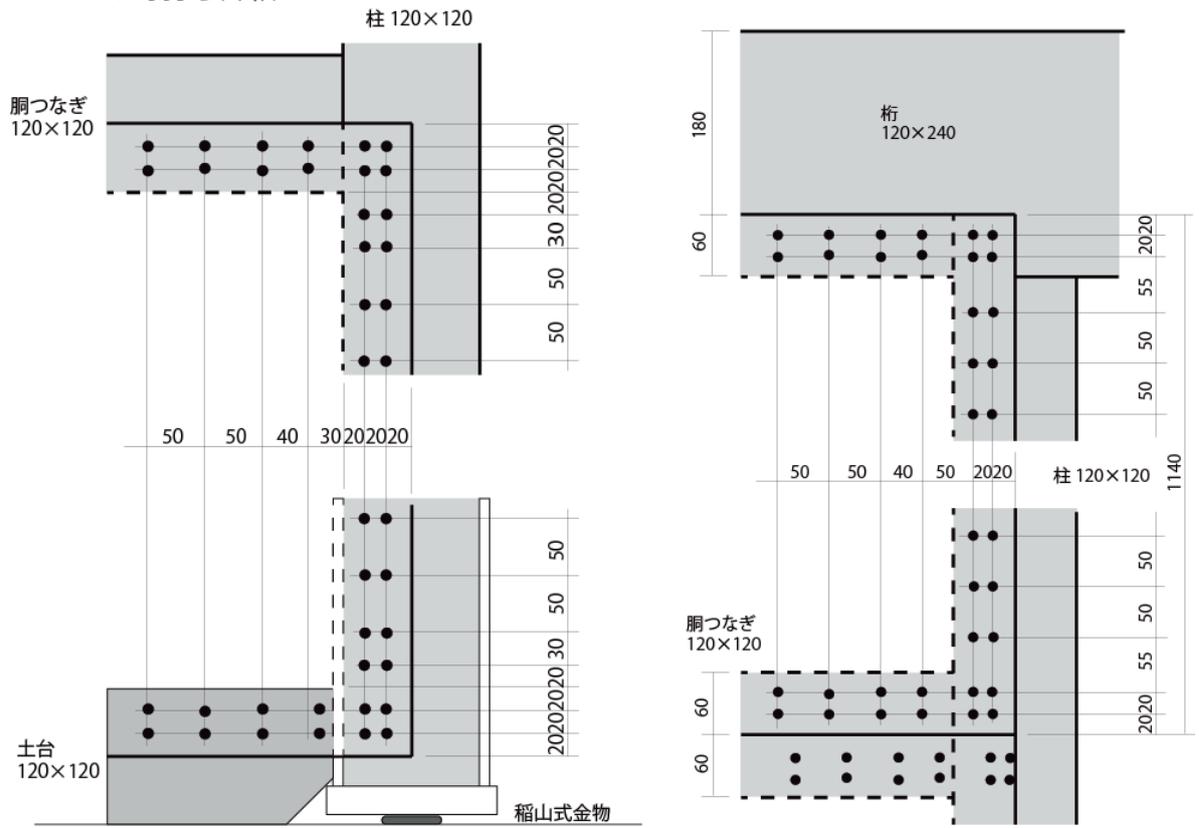


図 17. 高強度耐力壁の釘打ち

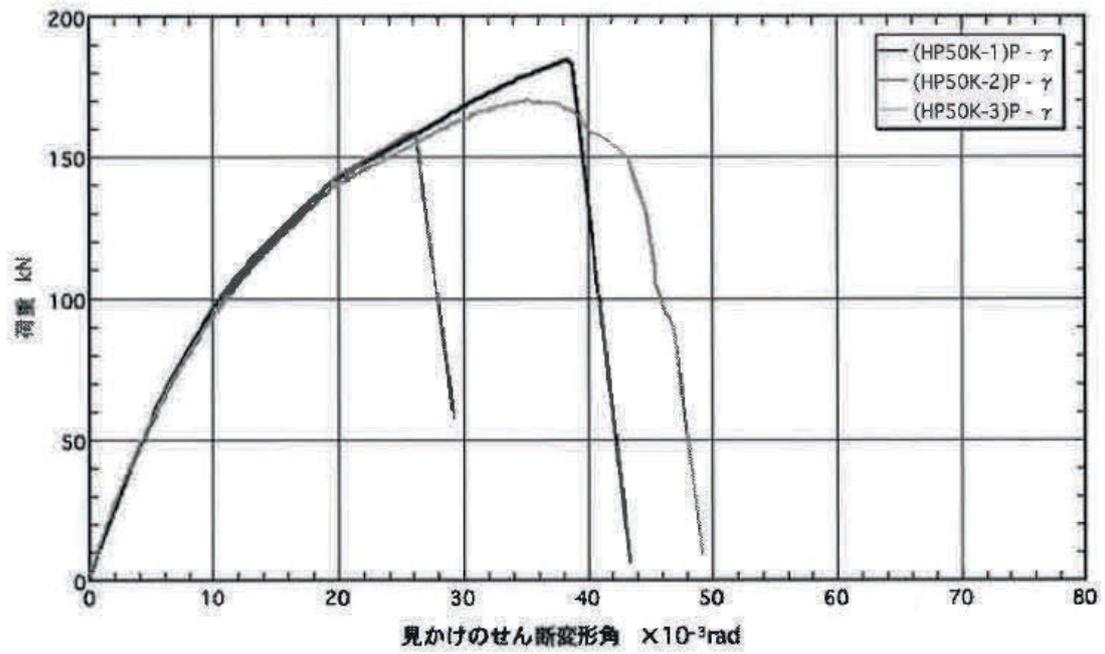


図 18. 高強度耐力壁の荷重－変形関係（カラマツ仕様）

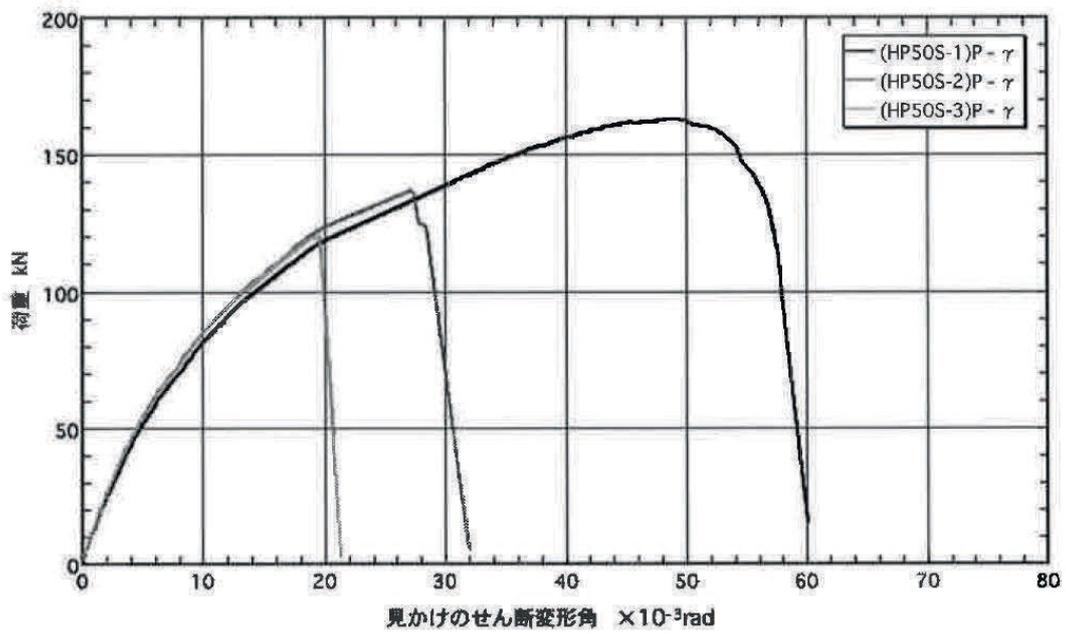


図 19. 高強度耐力壁の荷重－変形関係（スギ仕様）



図 20. 高強度耐力壁の破壊形態

2.1.3 成果の取りまとめ、普及方法

①設計マニュアルの補強及び普及

昨年度発行した「中層・大規模木造建築物への合板利用マニュアル」に本年度の成果を加える形で補強した。

- ・新たにマニュアルに追加した内容は、
- ・開口を有する耐力壁の実験データ（既往のデータに追加）
- ・開口を有する床構面の設計方法（開口種類の追加）
- ・開口を有する床構面の実験データ（既往のデータに追加）
- ・高強度耐力壁の公的評価機関による評価
- ・釘接合部のせん断強度

である。

補強したマニュアルは、構造設計事務所等へ頒布するとともに、日本合板工業組合連合会のホームページに掲載する。

②その他

本事業の成果をとりまとめた報告書を作成し、事業関係者等へ配布したほか、設計者向け講習会や建築・建材展を通じて成果の普及に努めた。

3. 今後の課題

今後は普及促進が重要課題になる。普及段階では、実設計においては、問題点、改良点、新たな開発課題等が出てくるはずである。実設計毎の調査を積極的に行い、それらを検証・抽出し、必要に応じて強度データ、設計用データ等を整備することが肝要である。

中層・大規模木造建築物への 合板利用マニュアル

目 次

1. 開口を有する耐力壁の設計方法	27
2. 開口を有する水平構面の設計方法	30
3. 開口を有する耐力壁の実験データ	34
4. 耐力壁の認定評価機関における試験結果	38
5. 開口を有する床構面の試験結果	43
6. 釘接合部のせん断強度	46

中層・大規模木造建築物への合板利用マニュアル

1. 開口を有する耐力壁の設計方法 (マニュアルの 2.3 を補強)

1.1 設計の基本と解析の方法

開口を有する耐力壁の設計は次を基本とする。

- ①開口によってせん断応力が増加するエリアでは釘の打ち増しを行うこと
- ②すべての主要な柱脚を応力に応じてホールダウン金物で接合すること
- ③開口上下の横架材は、隣接するエリアへの延長戦に胴つなぎを設置し、当該横架材と胴つなぎを存在応力に対して接合すること。

せん断応力解析は、ブレース置換 (図 1) により剛性マトリックス法による骨組解析プログラムによって行う。ブレース剛性は合板張りユニットの等価剛性としてもよいが、解析目的が、変形ではなく、せん断応力を求めるだけであれば、適当に仮定してもよい。ただし、ブレース以外の骨組みの剛性 (EA) はブレースの剛性 (EA) に対して十分に大きく (例えば 1000 倍) する。

計算された変形は、等価剛性を用いない限り正しくないので無視すること。

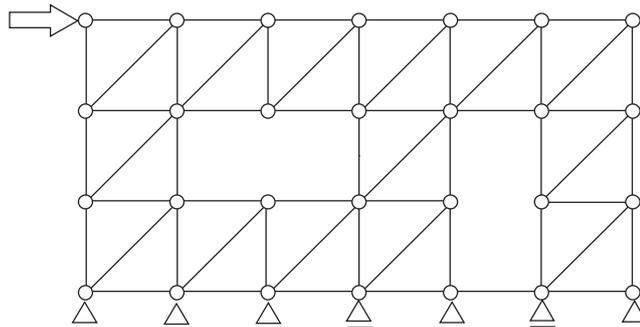


図 1. ブレース置換の例

1.2 ブレース応力からせん断応力への変換

計算したブレース応力(軸力)に $\cos \theta$ (ただし θ はブレース角度) を乗じてせん断応力を求める。図 2 に試験体 6F (後述) の計算結果を示す。

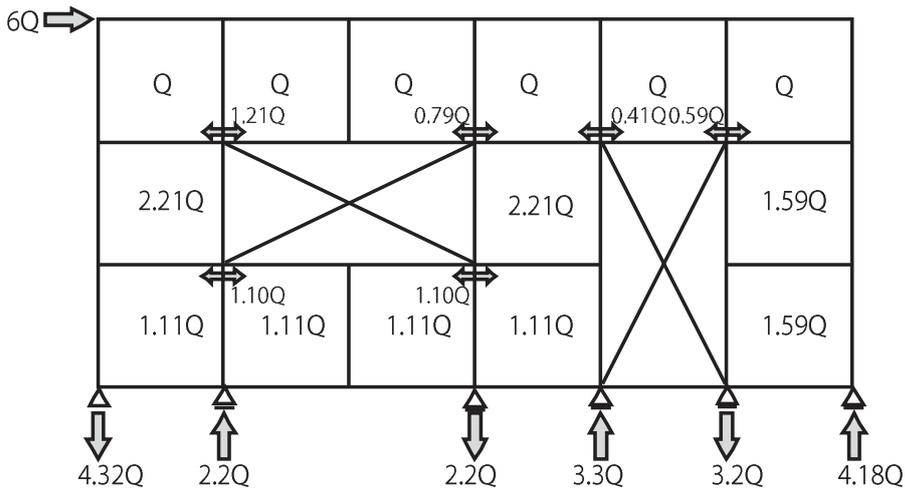


図.2 ブレース置換による各エリアのせん断応力の計算結果

1.3 柱脚応力の求め方

、 柱ごとに柱を挟む両エリアのせん断力の総和として計算する (図 3)。

① $Q+2.21Q+1.11Q=4.32Q$

② $Q+(-Q)+2.21Q+1.11Q+(-1.11Q)=2.2Q$

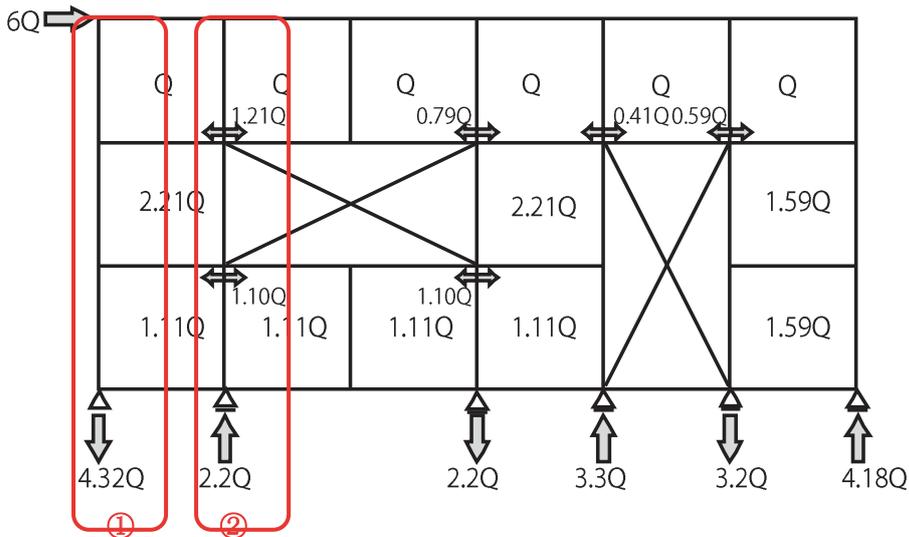


図 3. 柱脚応力の計算方法

1.4 開口隅部接合応力の求め方

開口隅部の接合応力は、横方向軸材の両側のせん断力の総和として求める (図 4)。

① $2.21Q-Q=1.21Q$

② $Q+Q+Q-2.21Q=0.79Q$

④ $1.59Q-Q=0.59Q$

③ $Q-0.59Q=0.41Q$

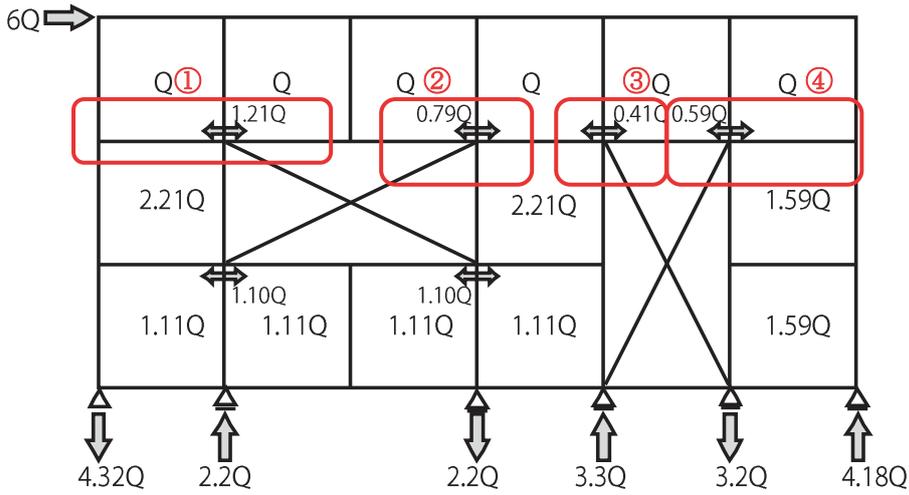


図 4. 開口偶部接合応力の計算方法

なお③は左端から次のようにも計算できる。

③ $2.21Q - 0.79Q - Q = 0.42Q$ (上記の方法では $0.41Q$ であるが四捨五入による差)

(開口を有する耐力壁試験体の解析)

試験体のせん断力分布と開口偶部の接合応力を図 5 に示す。

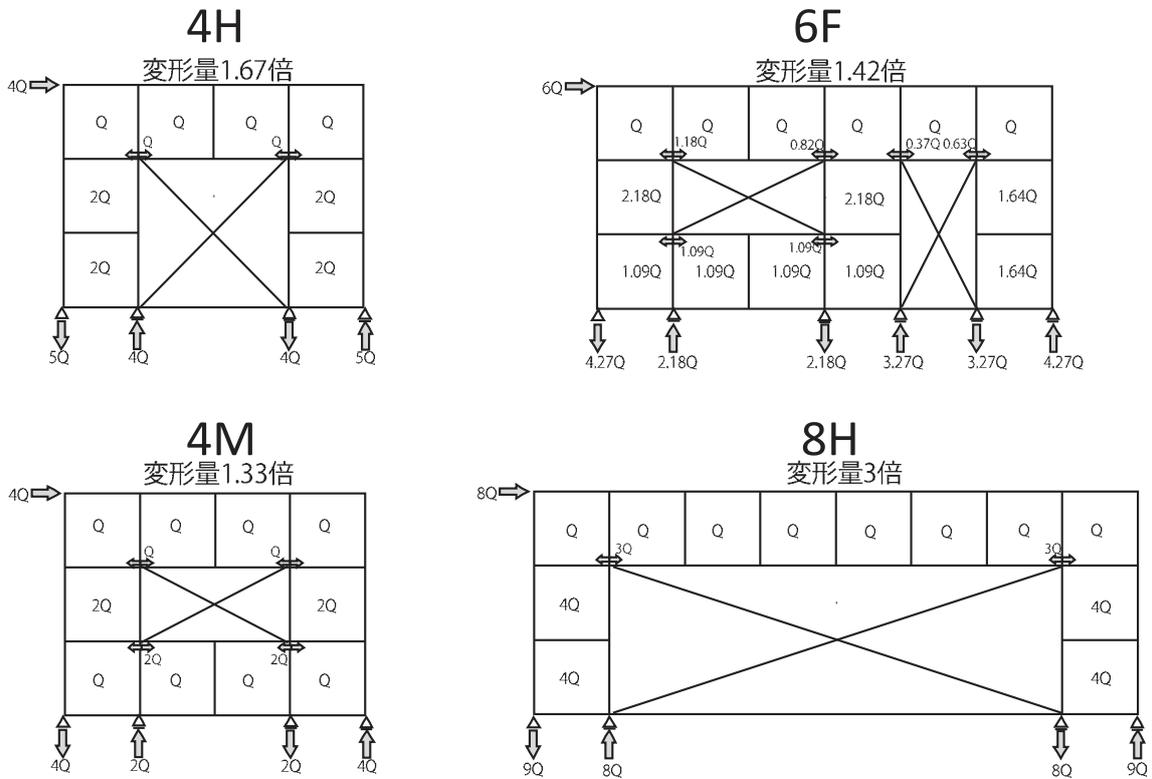


図 5 開口を有する耐力壁試験体の応力

2. 開口を有する水平構面の設計方法 (マニュアルの 2.4 を補強)

せん断応力の集中と開口隅部の軸力(図 6)

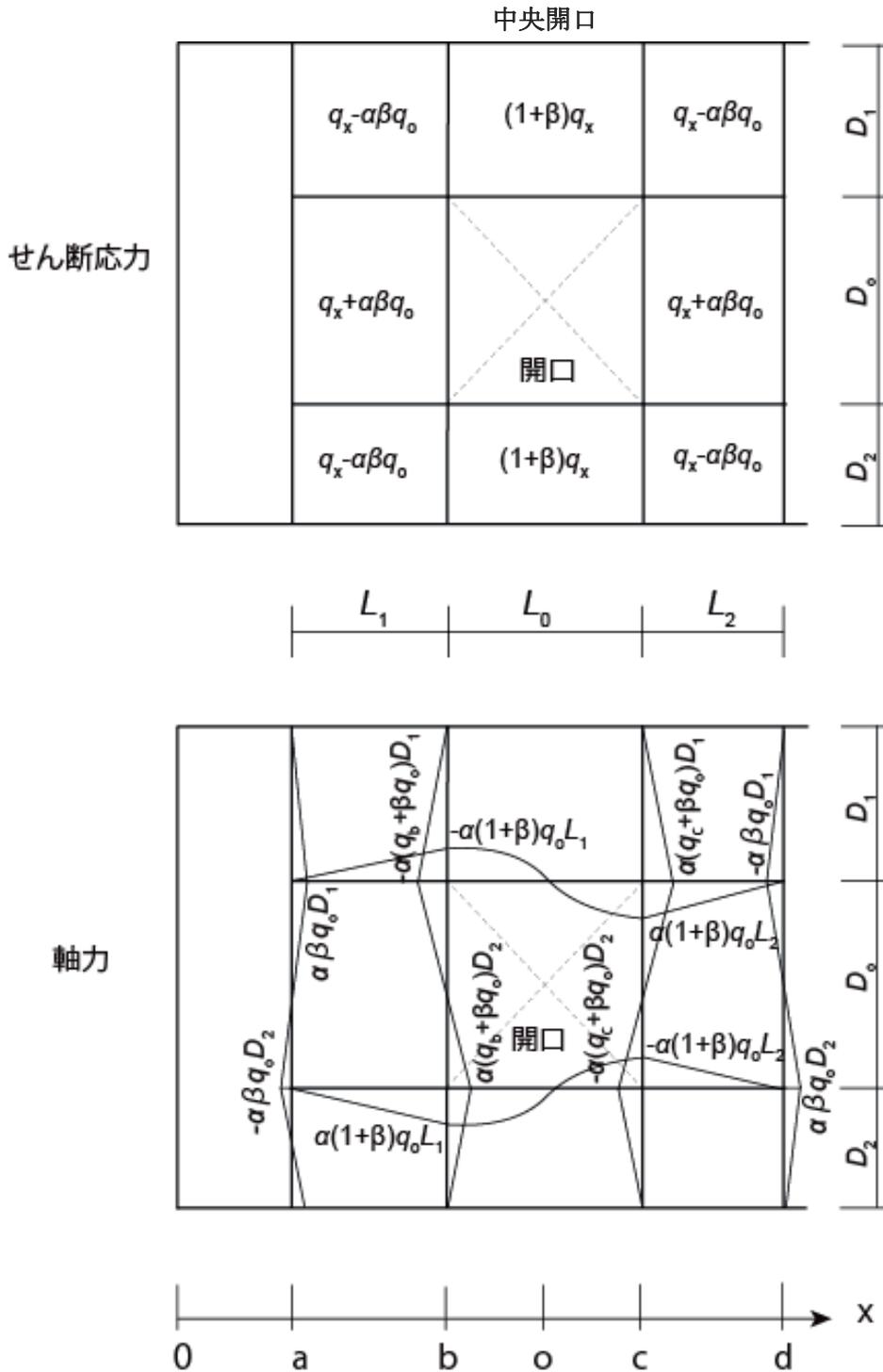


図 6. せん断応力の集中と開口隅部の軸力

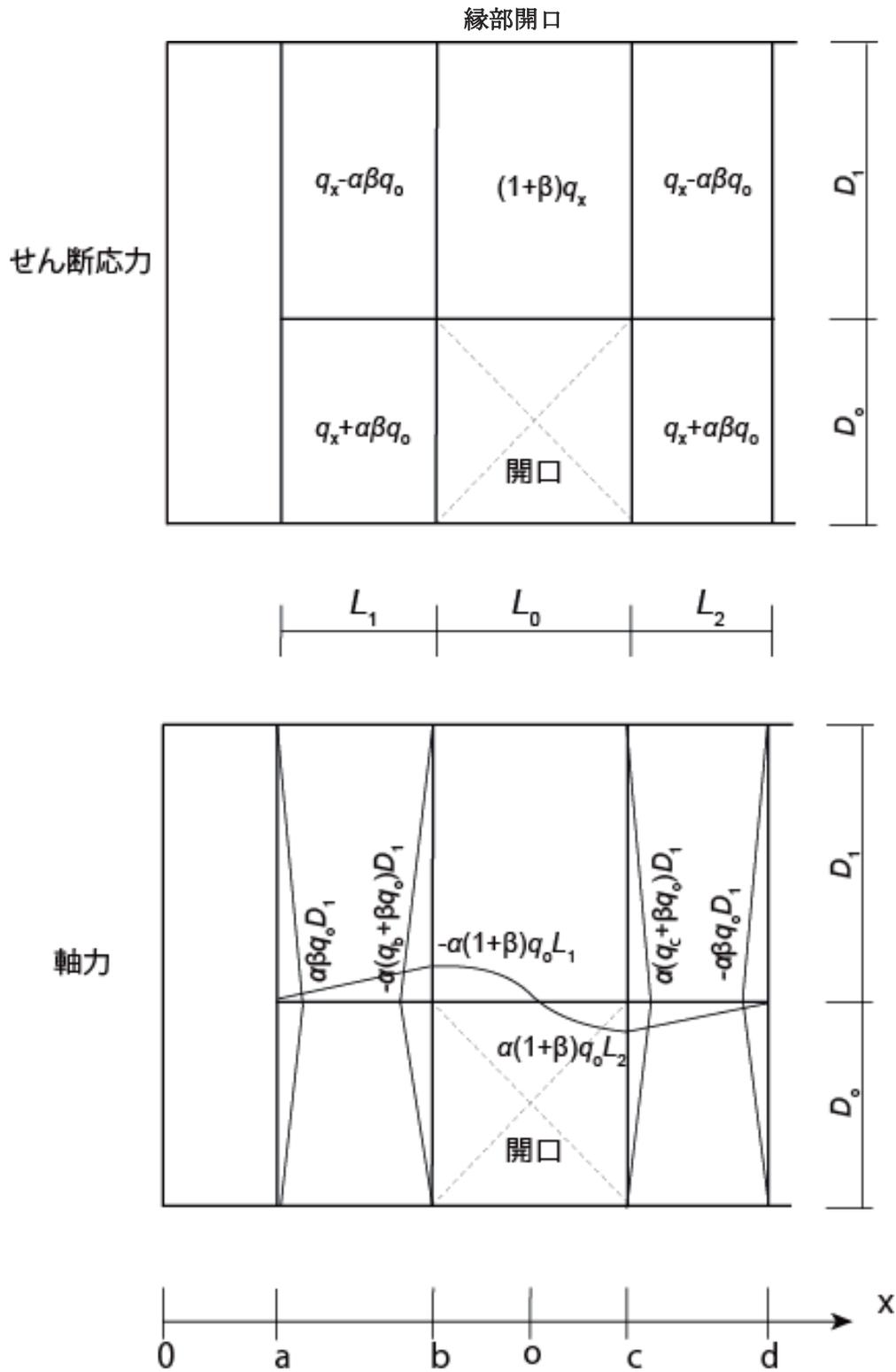


図 6. (続き) せん断応力の集中と開口隅部の軸力

切欠き型開口

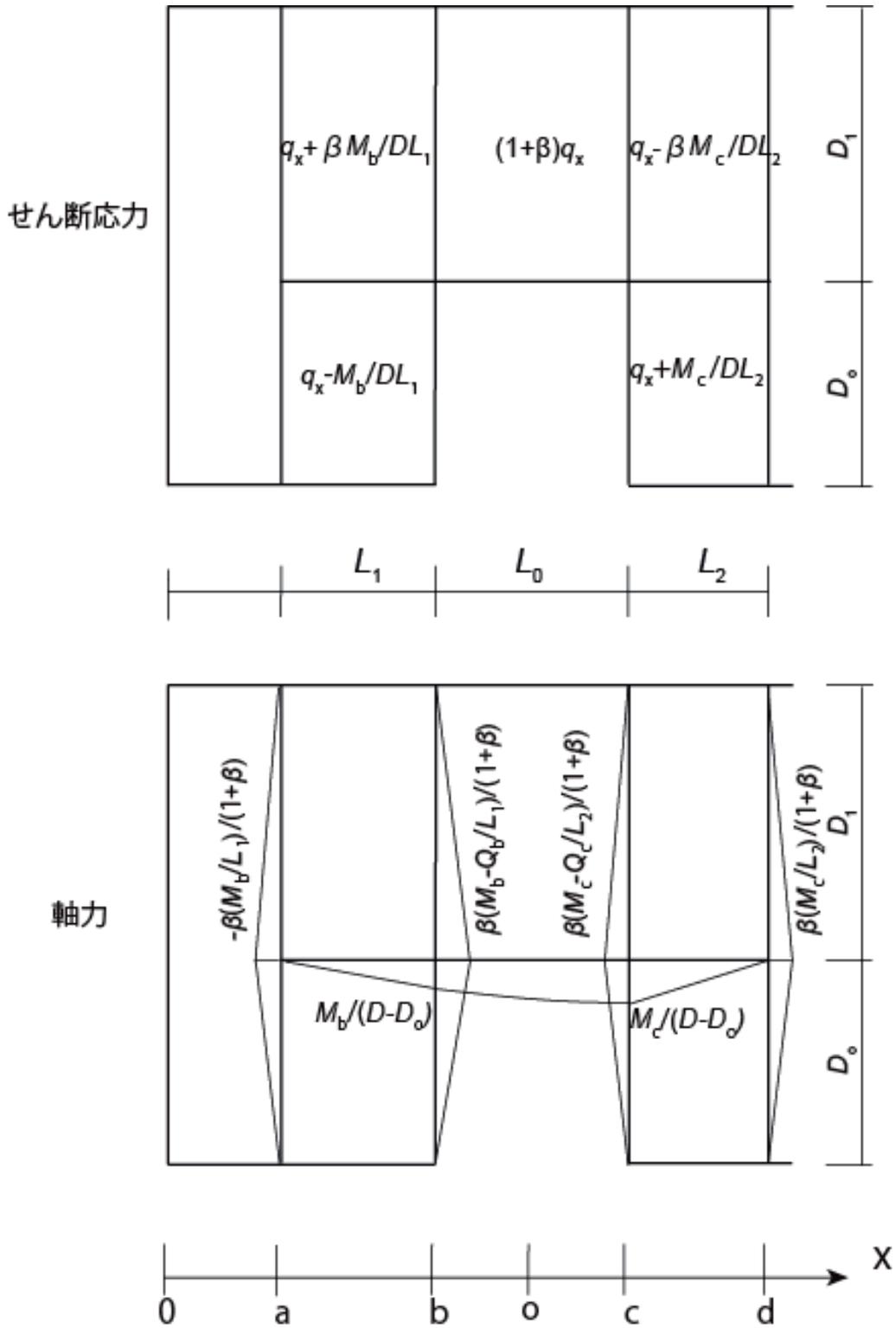


図 6. (続き) せん断応力の集中と開口隅部の軸力

端部切欠き型開口

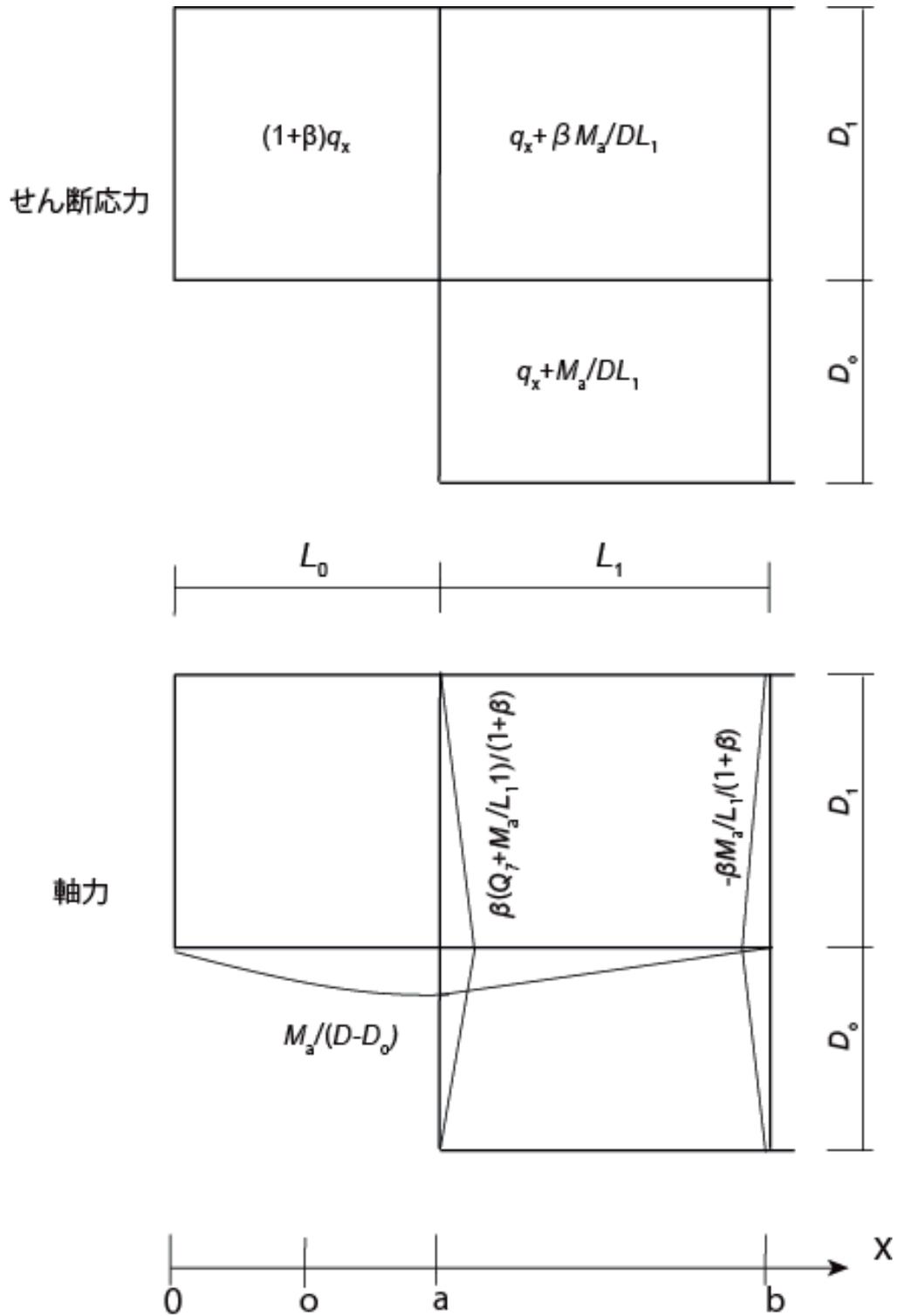


図 6. (続き) せん断応力の集中と開口隅部の軸力

3. 開口を有する耐力壁の実験データ（マニュアルの 3.1 を補強）

3.1 試験体の概要

厚さ 24mm の全層スギの JAS2 級構造用合板を、くぎ CN75 で打ち付けた高さ 2730mm×長さ 1820、3640、5460、7280mm の耐力壁 6 体。試験体 2B、8B は無開口の比較対照試験体。試験体 4H、4M、6F、8H は開口を設け、本マニュアルに従って開口周りの合板のくぎ打ちを補強している（図 7）。釘打ち間隔は基本@100mm で、補強部分は@90mm、@60mm、@50mm、@45mm、2 列 50mm である。

開口上下のレベルでは無開口部分に胴つなぎを配し、横架材偶部の接合は解析結果に基づいて 1 対のホールダウン金物とボルトで引き寄せる方式で構成した。この際、設計応力に応じてビス本数を減らした（ビス本数と耐力とが比例関係にあるとみなした）。

桁材は JAS 構造用集成材（対称構成 E120-F330、120×240mm、ベイマツ、土台・柱・胴つなぎは JAS 構造用製材（E70 以上、SD20、120 角、スギ）、合板は JAS 構造用合板（特類 2 級、24×910×1820mm、全層スギである。

柱仕口は短ほぞ+2-N90、胴つなぎ端部は 10mm 大入れ+2-N90 斜め打ちとした。

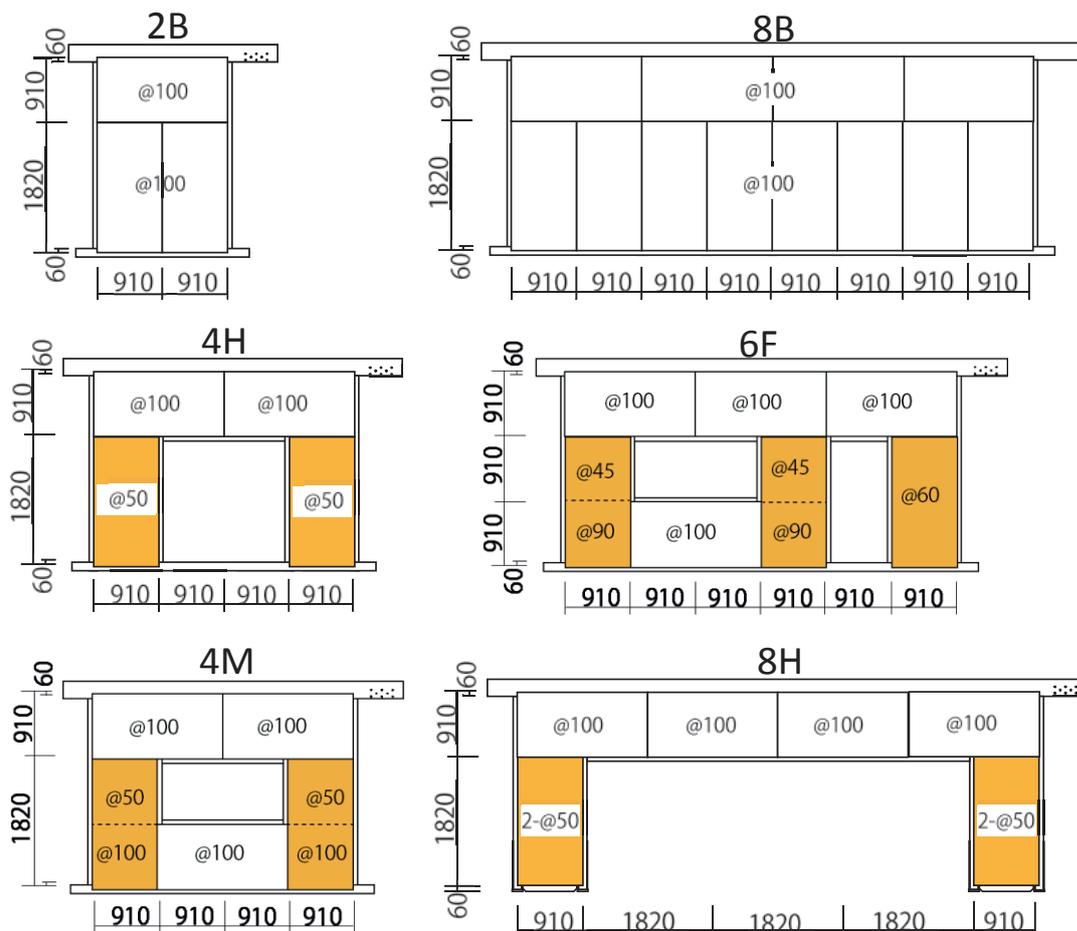


図 7 開口を有する耐力壁試験体

3.2 加力方法

加力方法は、(公財)日本住宅・木材技術センターが定める耐力壁の試験方法(方法書)に準拠し、アクチュエータを用いた正負交番加力(同一変形角3回繰り返す)とした。加力速度は1mm/secとした。試験特性値や基準耐力の算定も方法書に準拠した。

柱脚のホールダウン金物は、試験体8H以外では市販のものを使用し、試験体8Hでは鋼板と多数のビスによる特別に設計したものを使用した。

3.3 破壊形態

試験体8H以外は、合板を留めている釘接合部で破壊した。8H-1は土台の留めつけが不完全であったためか、柱が裂けた。また、再試験を行った8H-2では、合板自体がせん断破壊を生じた。この時の合板のせん断応力度は、 4.07N/mm^2 で、JAS 1級のせん断強度 3.2kN/mm^2 より27%高い値となっており、JAS1級の値を満たしている。従って、試験体8Hは設計で期待した強度が得られなかったが、構造設計では、合板のせん断強度を検定すべきである。(図8)。



試験体 4H 全景



試験体 6F 上部



試験体 6F 全景



試験体 8B



試験体 8H 柱の破壊



試験体 8H 合板のせん断破壊

図 8 開口壁の試験と破壊の状況

2.4 耐力

荷重—変形角関係を図 9 に、評価した耐力を表 1、図 10 に示す

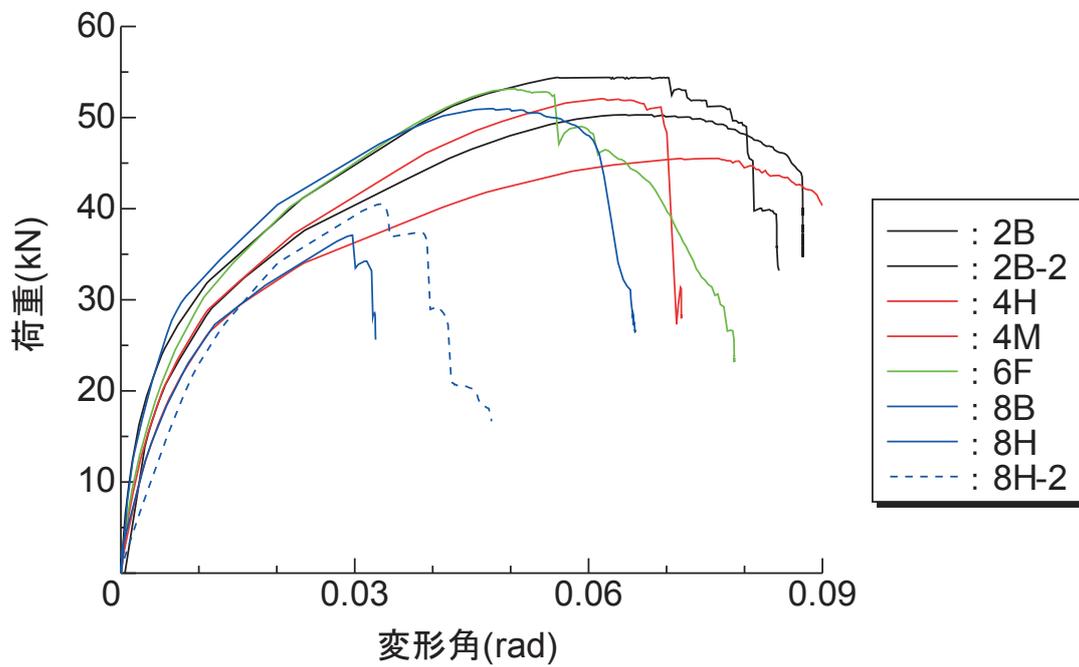


図 9 開口壁の荷重-変形角関係の比較

表 1 開口壁の試験特性値と倍率評価

	短期基準せん断耐力(kN) (2P 当たり)				倍率
	P_y	$P_u(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$	
2B	26.35	28.08	33.54	<u>24.58</u>	6.89
2B-2	<u>27.45</u>	32.62	36.33	28.50	7.69
4H	25.23	26.24	30.34	<u>22.48</u>	6.30
4M	26.47	25.30	34.72	<u>24.98</u>	7.00
6F	27.67	<u>26.45</u>	35.44	26.69	7.42
8B	<u>27.49</u>	29.74	33.98	30.34	7.71
8H	21.37	<u>13.96</u>	24.73	22.58	3.91
8H-2	22.83	<u>14.47</u>	27.00	20.05	4.06

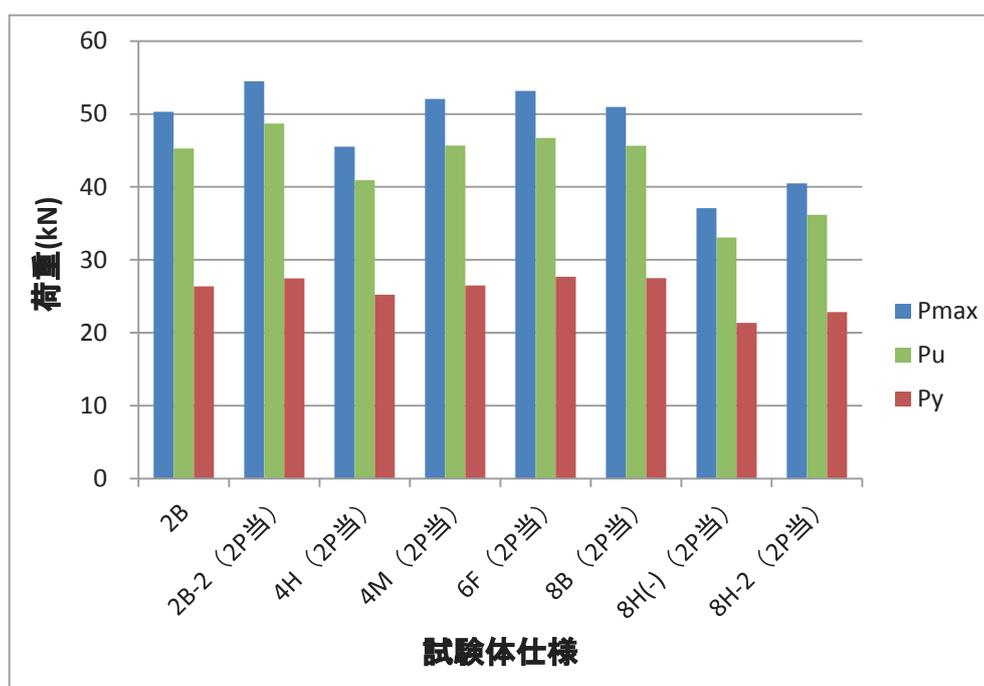


図 10 開口壁の試験特性値の比較 (P_{max} 、 P_y 、 P_u)

試験体 8H を除き、壁長さによらず、開口壁は無開口壁とほぼ同じ耐力があった。なお、試験体 8H も破壊直前までの荷重-変形関係は無開口とほぼ同じであった。これにより、開口を設けても無開口と同じ耐力を持たせる設計方法が安全であることが確認された。

4. 耐力壁の認定評価機関における試験結果（マニュアルの3.1を補強）

4.1 26年度評価

4.1.1 験体の概要

厚さ 24mm の表層アカマツ・内層スギによる JAS2 級構造用合板を、くぎ CN75 で 2 列 @50mm 又は 2 列@75mm に打ち付けた壁長 1820mm×壁高 2960mm（貼り付けた合板の寸法）の耐力壁各 3 体（図 11）。

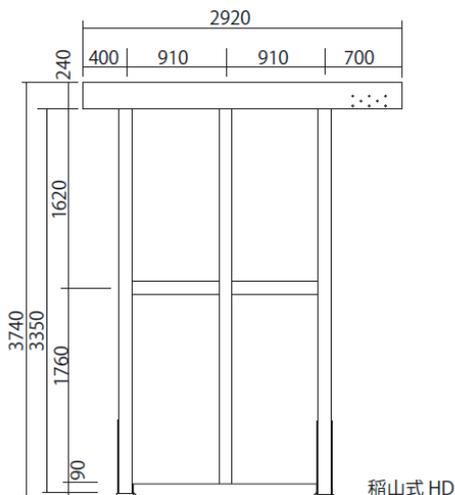


図 11 耐力壁試験体



図 12 試験方法

軸材は、断面寸法が柱、間柱、土台、胴つなぎ：120×120mm、桁：120×240mm の JAS 構造用集成材（カラムツ対称異等級構成、E95-F270）である。

試験方法はビスによる柱脚固定方式とし、柱脚金物には、鋼板と多数のビスからなる特別設計のものを使用した。

試験は、（公財）日本・住宅・木材技術センターにて実施した（図 12）。

なお、本試験成績書は、日本合板工業組合連合会のホームページよりダウンロードすることができる。

4.1.2 破壊形態

くぎ 2 列@75mm 仕様では、3 体中 1 体は、釘接合部が破壊し、それにとまって柱頭仕口が破壊した。この試験体の柱頭接合部では羽子板ボルトを使用していなかった。残りの 2 体（羽子板ボルトを取り付け）は、釘接合部が破壊し、引き続いて中央柱又は同つなぎが割裂した(図 12)。

くぎ 2 列@50mm 仕様では、3 体中 1 体は、柱脚接合部で柱が引張破壊を生じた（図 13）。そこで当該試験体を除外し再試験を行った。その結果、釘接合部が破壊し、引き続いて柱及び胴つなぎがくぎ応力によって割裂した。他の 2 体も同様な破壊形態であった。



図 12 通常の破壊形態



図 13 柱の引張破壊

4.1.3 耐力

荷重－変形関係を図 14 に、結果の概要を表 2、3 に示す。

軸組構法住宅と同様の基準耐力評価を行うと、くぎ 2 列@75mm 仕様では 33.1kN/m (16.9 倍相当)、くぎ 2 列@50mm 仕様では 37.6kN/m (19.2 倍相当) となり、許容耐力に対して、それぞれ 43%、8%の余裕があった。くぎ 2 列@50mm 仕様での余裕が少ないのは、柱の引張破壊によるもので、柱断面を大きくすれば余裕は増えると推定される。

3 体平均の最大荷重は、くぎ 2 列@75mm 仕様では 79.8kN/m で許容耐力 23.2kN/m に対して 3.41 倍、くぎ 2 列@50mm 仕様では 100.8kN/m で許容耐力 34.8kN/m に対して 2.89 倍であった。

表 2 試験耐力壁の倍率評価 (評価機関による試験)

合板釘打ち	試験荷重(kN/m)				短期基準せん断耐力 (kN/m)	倍率
	P_y	$0.2P_u/D_s$	$2/3P_{max}$	$P_{(1/120)}$		
CN75 2 列@75mm	40.9	33.1	52.6	34.9	33.1	16.9
CN75 2 列@50mm	52.7	37.6	66.3	41.8	37.6	19.2

表3 耐力壁試験の結果の概要（評価機関による試験）

合板釘打ち	計算値		実験値		②/①	④/③
	① 許容耐力 (kN/m)	② 許容耐力 時の変形 (10^{-3} rad)	③ 最大耐力 (kN/m)	④ 最大耐力 時の変形 (10^{-3} rad)		
CN75 2列@75mm	23.2		79.8		3.41	
CN75 2列@50mm	34.8		100.8		2.89	

合板は24mmアカマツスキ複合、軸材はアカマツ集成材

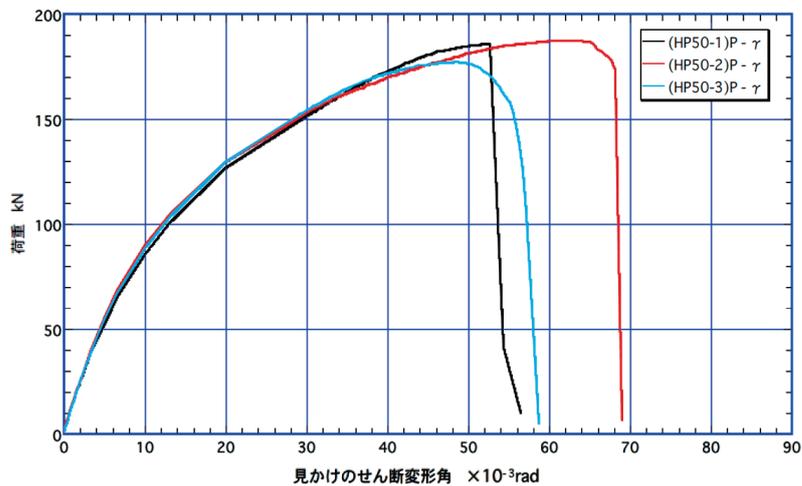
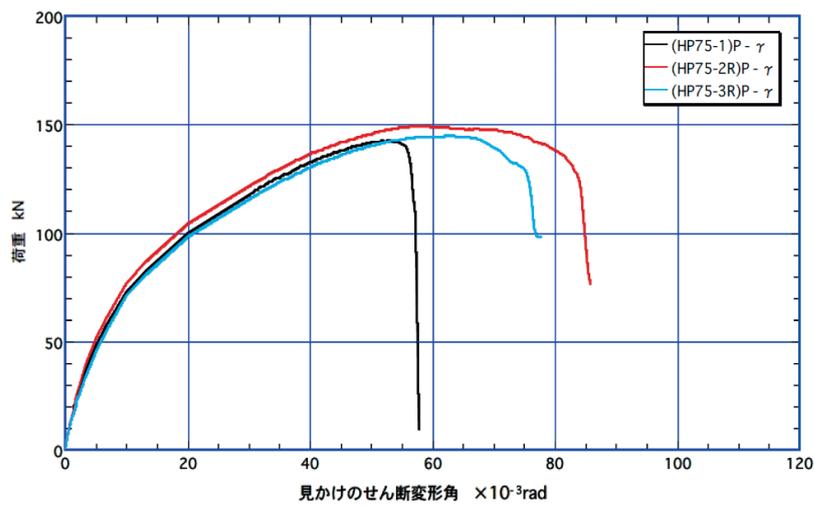


図14 荷重—変形関係

上：くぎ2列@75mm仕様

下：くぎ2列@50mm仕様

4.2.1 26年度評価

試験体は2種類で、共通仕様は以下のとおりである。

合板：厚さ24mm全層アカマツ

釘：CN75

釘間隔：2列-@50mm

断面寸法：柱・土台は120mm角、桁は120×240mm

柱-桁仕口：柱大入れ+ほぞ

種類の違いは軸材で、柱・土台・桁のすべてカラマツ集成材のものと、柱・土台がスギ製材、桁がベイマツのものである。試験体の形状は26年度評価と同じである。ただし、柱脚金物は柱に曲げ応力が発生しないように回転しやすくしたものである。詳細を図15-17に示す。試験は、（公財）日本・住宅・木材技術センターにて実施した

4.2.2 破壊形態

破壊形態は、柱脚の割裂あるいは引張破壊であった（図15、16）。土台のすべりによって、合板を柱に留めている釘に水平方向の力が加わり、これが柱を引き裂いた可能性がある。



図16. 柱の引き裂き・引張破壊



図15. 柱の引張破壊

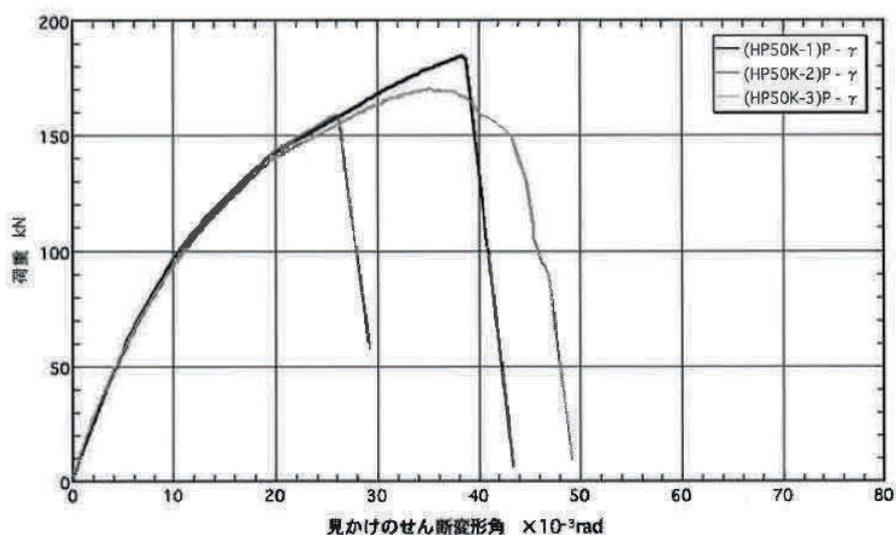


図 17. 高強度耐力壁の荷重－変形関係（カラマツ仕様）

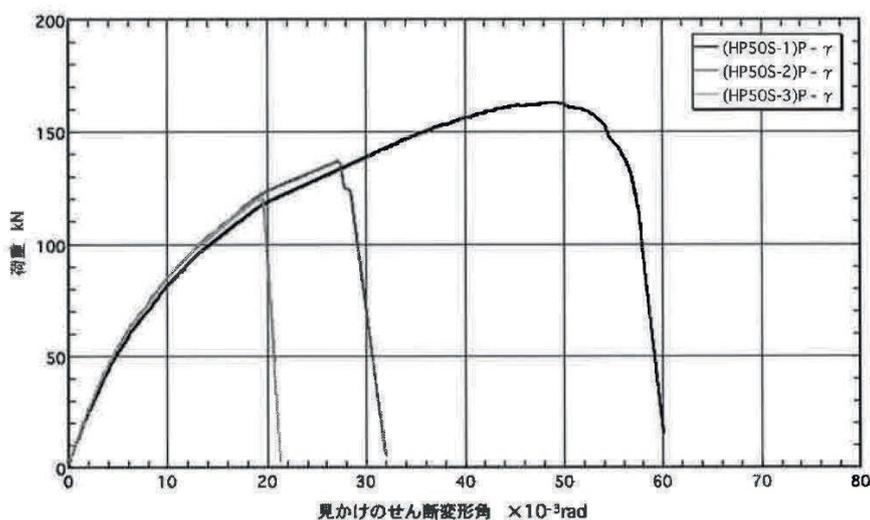


図 18. 高強度耐力壁の荷重－変形関係（スギ仕様）

4.2.3 耐力

荷重－変形関係を図17、18に、評価結果の概要を表4に示す。最大荷重は軸材がカラマツの試験体の方が、軸材がスギの試験体より高かったが、破壊形態が脆性的で靱性が乏しかったため、ばらつきが大きく昨年より強度が低い結果となった。

なお、改良した柱脚金物は底部から回転し、柱の曲げは特に顕著ではなかった。ただし、土台の横滑りが見られた。

表 4. 高強度耐力壁の特性値と基準せん断耐力

仕様	P_y	$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{(2\mu-1)}$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$	P_o
カラマツ	66.5	40.6	86.4	72.6	40.6
スギ	86.2	52.2	109.8	82.1	52.2

5. 開口を有する床構面の試験結果 (マニュアルの 3.3 を補強)

5.1 試験体の概要

厚さ 24mm の全層スギの JAS2 級構造用合板を、くぎ CN75@75mm で打ち付けた長さ 7280mm×奥行き 3640mm の床構面 4 体。試験体 A は無開口の比較対照試験体。試験体 B、C、D は 1820mm×1820mm の開口を設け、本マニュアルに従って開口周りの合板のくぎ打ちを補強している (図 19)。

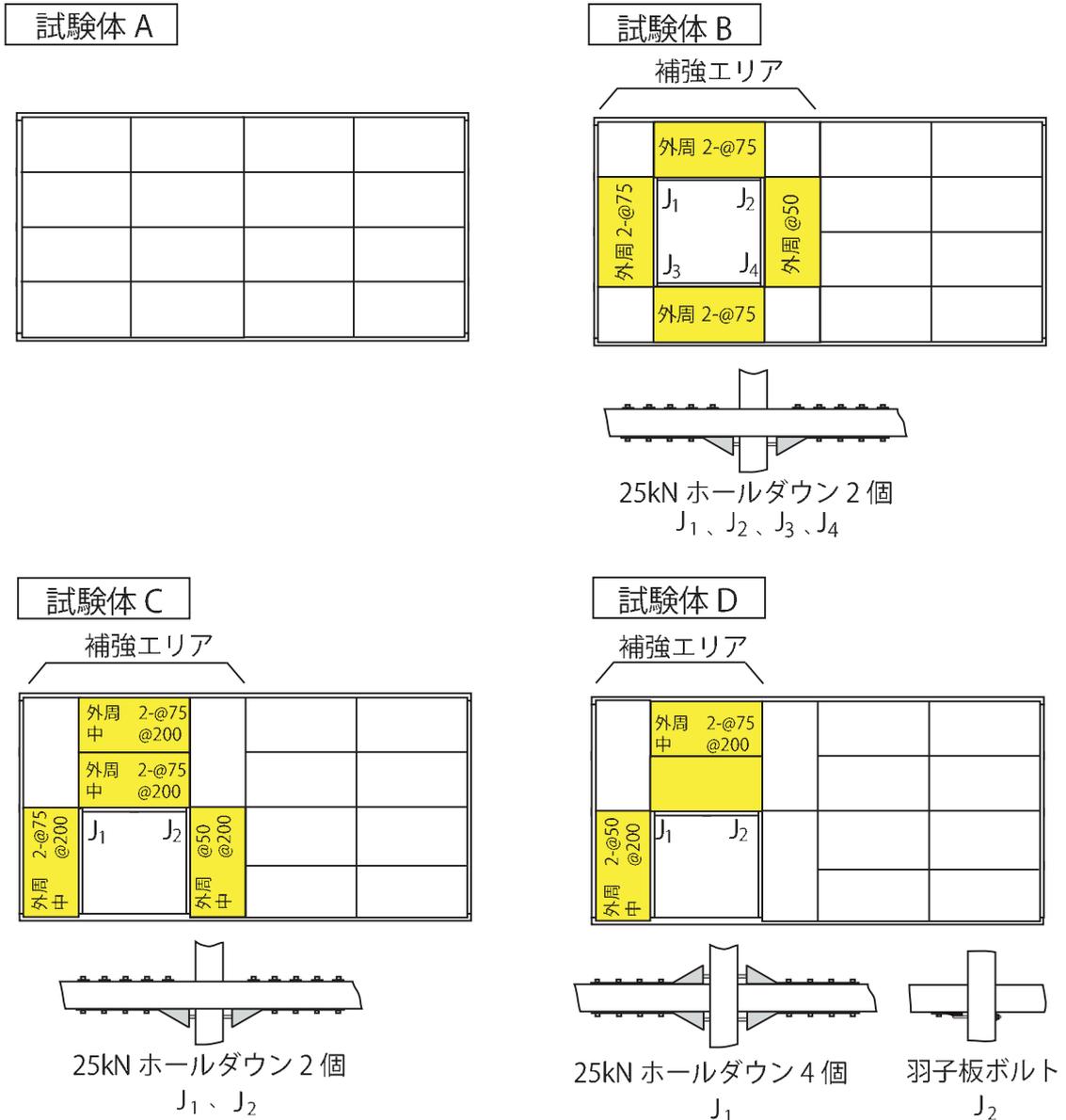


図 19 床構面試験体

くぎ打ち補強エリアは、試験体 A、B では開口の左右の 910mm 区間にとり、試験体 C では開口より端部側の 910mm 区間とした。開口隅部における接合部は本マニュアルに従って設計し、引き寄せ金物を使用した。

軸材は、本文の試験体の場合と同じとし、断面寸法がはり・桁：120×240mm、小はり：120×120mm の JAS 構造用集成材（カラマツ対称異等級構成、E105-F300）を用いた。

試験方法は、本文の試験体の場合と同じとし、両端を水平方向に単純支持し、中央及び中央から 910mm の 3 カ所に水平力を加えた。

試験体 A、B は、補強エリア以外の部分のくぎ間隔（@75mm）[を間違えて@100mm とした本文の試験（試験体 No.1 と No.2）](#) のやり直しである。

5.2 破壊形態

試験体 A（無開口）と試験体 B、C は無開口部分の合板を留めている釘接合部が釘の引き抜けで破壊した。試験体 D では、開口隅部の羽子板ボルトが引張破断を生じ、ついで、釘によるはり・桁の集合破壊を生じた（図 20）。

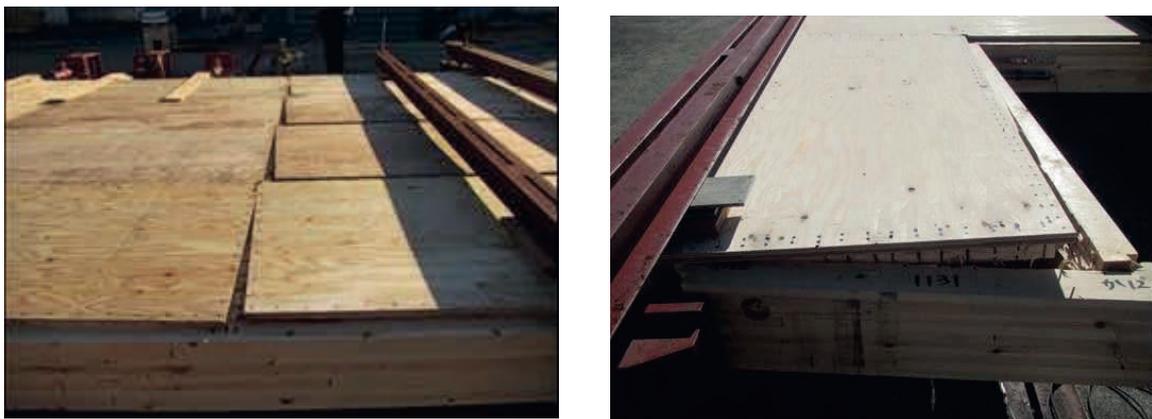


図 20 床構面試験体の破壊形態 左：無開口部の破壊、右：開口側の破壊（試験体 D）

5.3 耐力

荷重－変形関係を図 21 に、結果の概要を表 5、6 に示す。最大耐力は開口の有無にかかわらずほぼ同じで、くぎ間隔が@ 75mm の時の許容耐力に対して平均で 3.2 倍であった。No.2 は開口隅部の接合を正しく設計していないにもかかわらず他と同様の性能が出たが、これは、設計では見込んでいない仕口の蟻と合板を留めているくぎが軸力を負担したためと推定される。

これから、補強エリアは少なくとも設計耐力の 3.2 倍以上の耐力を有しており、本マニュアルの開口付き水平構面の設計法が安全であるといえる。

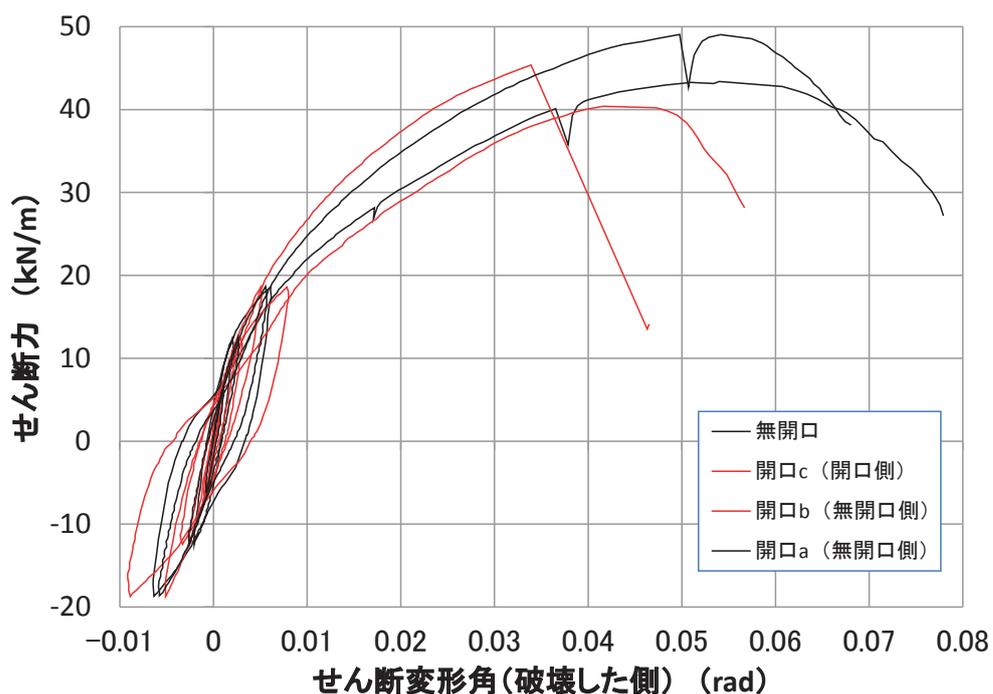


図 21 床構面試験体の荷重－変形関係

表 5 床構面試験体の基準強度評価

試験体	試験荷重(kN/m)				短期基準せん断耐力 (kN/m)	倍率
	P_y	$0.2P_u/D_s$	$2/3P_{max}$	$P_{(1/150)}$		
A(無開口)	20.0	24.6	28.9	17.7	17.7	9.0
B(開口)	25.0	18.3	32.7	19.7	18.3	9.3
C(開口)	18.3	17.9	26.9	17.4	17.4	8.9
D(開口)	22.9	16.3	30.2	21.9	16.3	8.3

表 6 床構面試験結果の概要

試験体	計算値		実験値			③/① 基準耐力 に対する 余裕	④/① 最大耐力 に対する 余裕
	① 許容耐力 (kN/m)	② 許容耐力 時の変形 (10^{-3} rad)	③ 基準耐力 (kN/m)	④ 最大耐力 (kN/m)	⑤ 最大耐力 時の変形 (10^{-3} rad)		
A(無開口)	11.6	2.57	17.7	43.4	52.6	1.5	3.7
B(開口)	11.6	2.57	18.3	49.1	48.4	1.6	4.2
C(開口)	11.6	2.57	17.4	40.4	40.7	1.5	3.5
D(開口)	11.6	2.57	16.3	45.4	33.7	1.4	3.9

6. 釘接合部のせん断強度 (マニュアルの 5.3 を補強)

合板： 厚さ 9mm~18mm の JAS2 級構造用合板で、生産実態調査を基に代表的な樹種・単板構成によるもの。

加力方法： 合板を側材とするいわゆるロケット型 (図 22)。

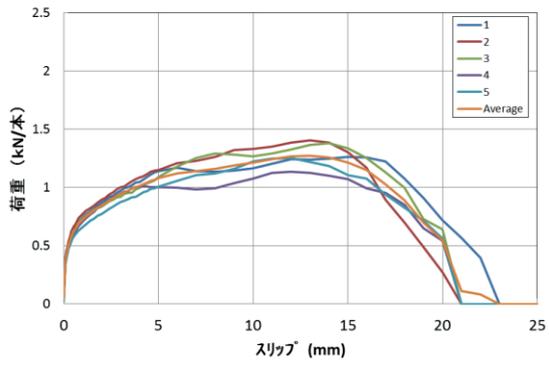
荷重-変形関係のデジタルデータ： 日本合板工業組合連合会のホームページからダウンロードできます。



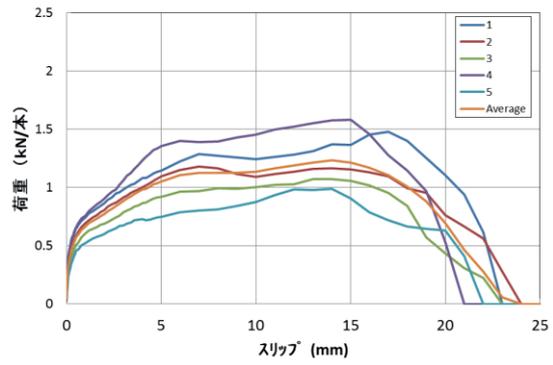
図 22 釘接合部のせん断試験

合板: 9mm 主材: カラマツ 釘: C N

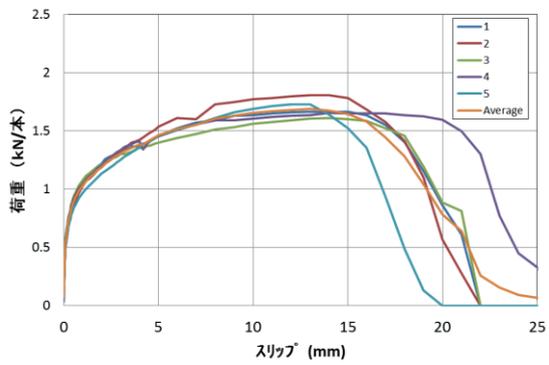
合板: 9mm全層スキA社 製材: カラマツ CN釘



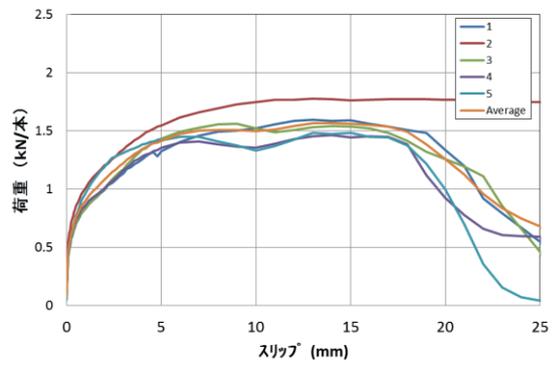
合板: 9mm全層スキB社 製材: カラマツ CN釘



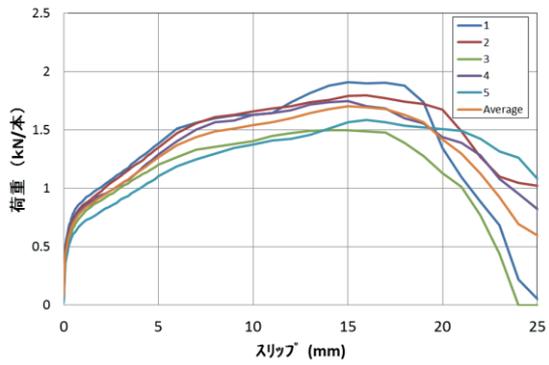
合板: 9mm全層ラワン 製材: カラマツ CN釘



合板: 9mm全層ヘイマツ 製材: カラマツ CN釘

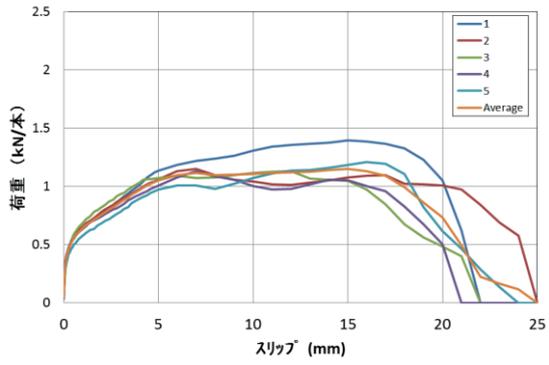


合板: 9mm全層ヘイマツ・スキ複合 製材: カラマツ CN釘

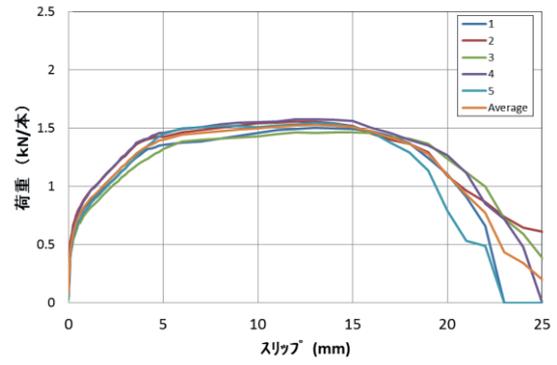


合板: 9mm 主材: カラマツ 釘: N

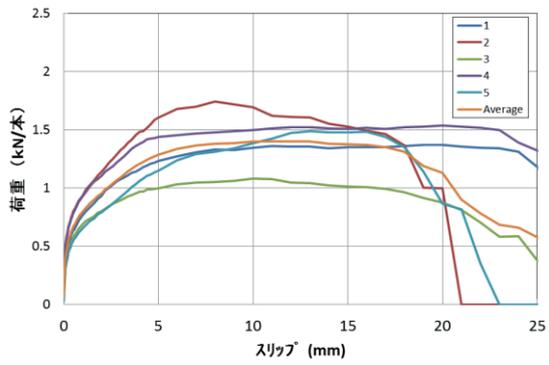
合板: 9mm全層スギA社 製材: カラマツ N釘



合板: 9mm全層ラワン 製材: カラマツ N釘

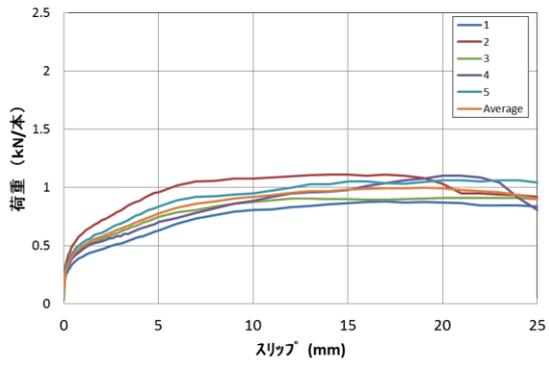


合板: 9mm全層ヘイマツ 製材: カラマツ N釘

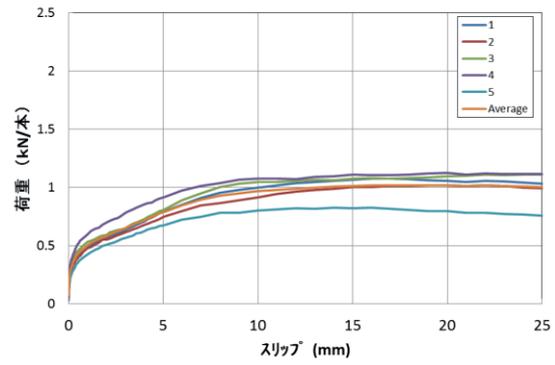


合板：9mm 主材：スギ 釘：CN

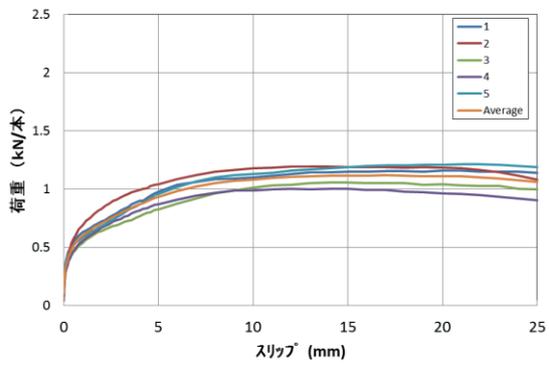
合板：9mm全層スギA社 製材：スギ CN釘



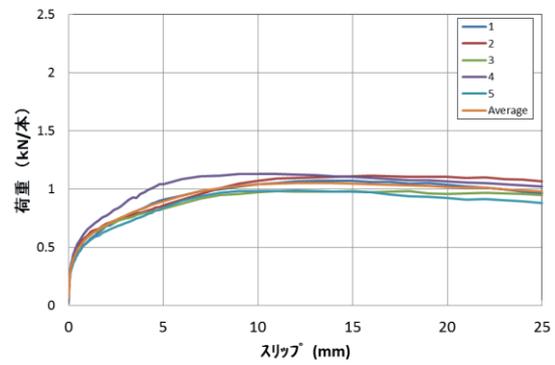
合板：9mm全層スギB社 製材：スギ CN釘



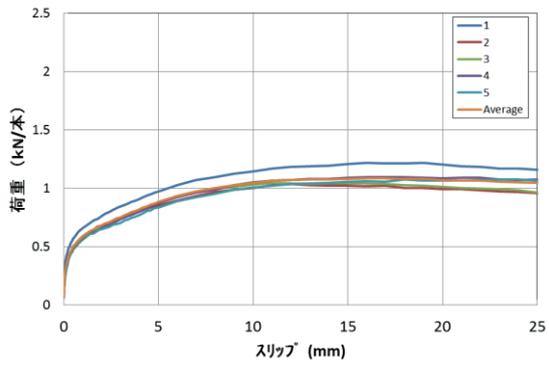
合板：9mm全層アワン 製材：スギ CN釘



合板：9mm全層ヘイマツ 製材：スギ CN釘

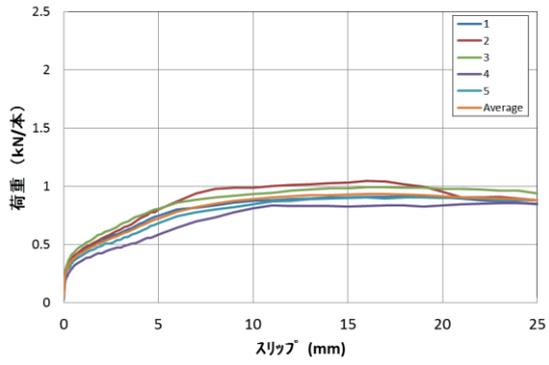


合板：9mm全層ヘイマツ・スギ複合 製材：スギ CN釘

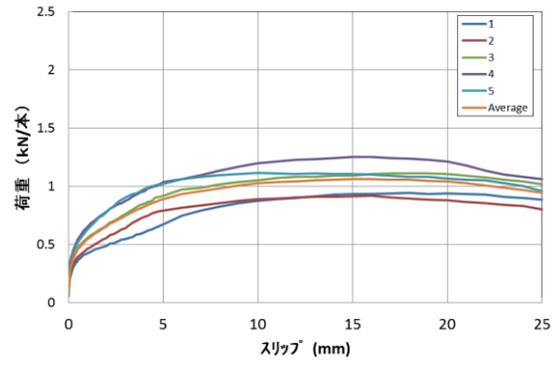


合板: 9mm 主材: スギ 釘: N

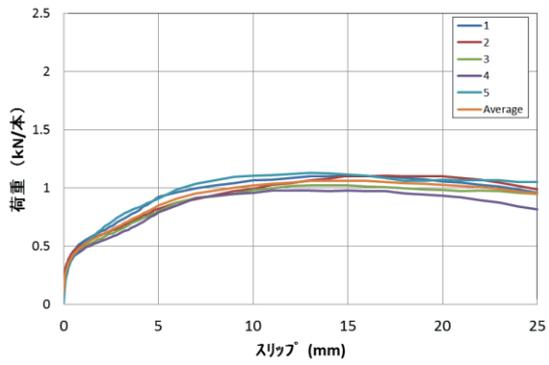
合板: 9mm全層スギ 製材: スギ N釘



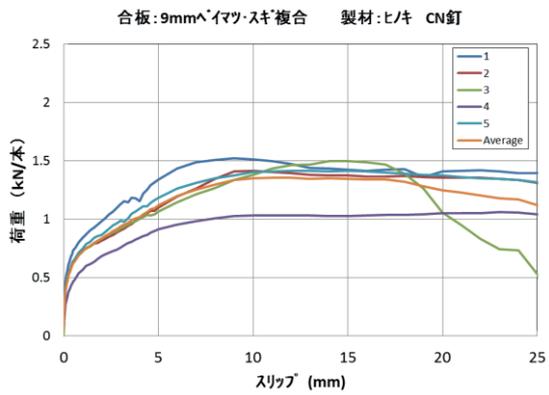
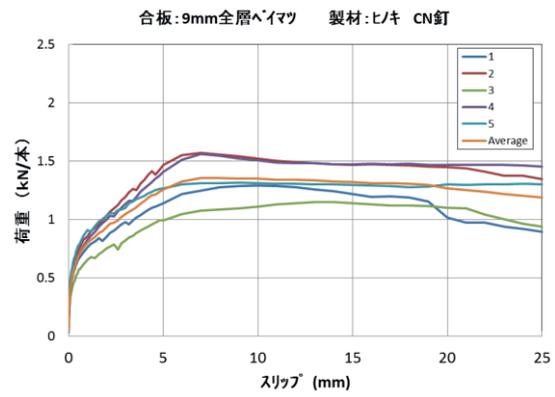
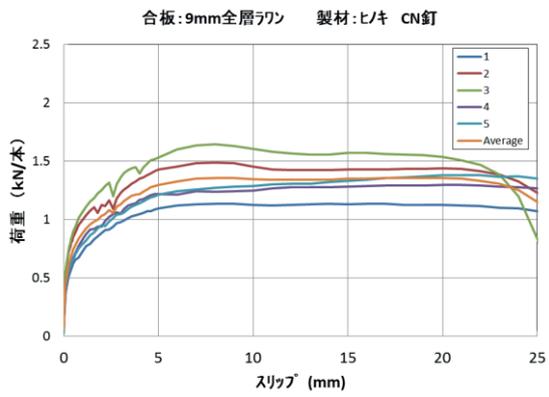
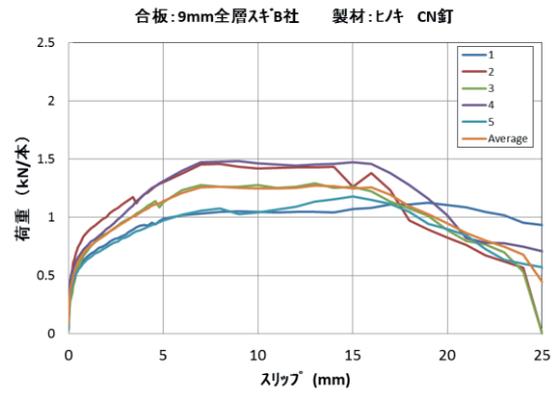
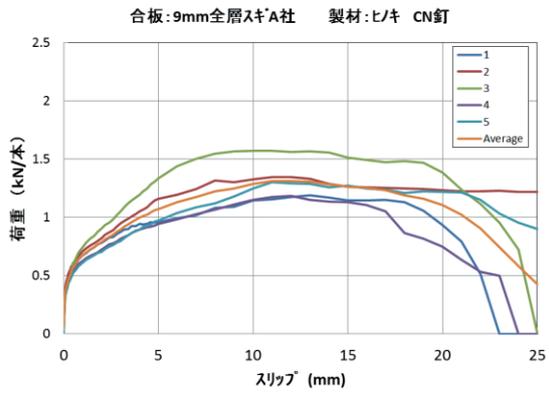
合板: 9mm全層ラワン 製材: スギ N釘



合板: 9mm全層ヘイマツ 製材: スギ N釘

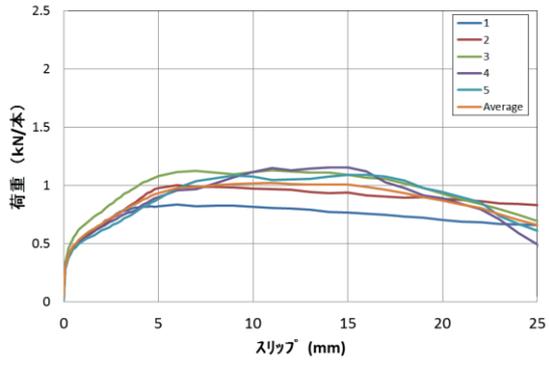


合板：9mm 主材：ヒノキ 釘：CN

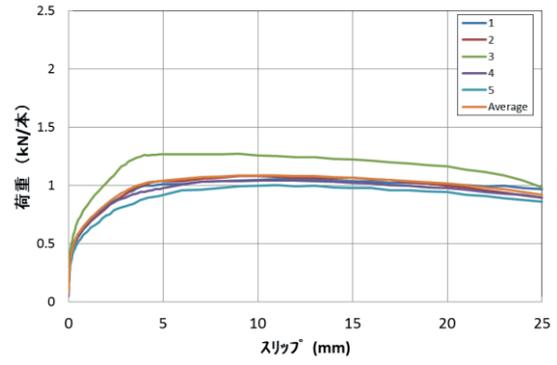


合板: 9mm 主材: ヒノキ 釘: N

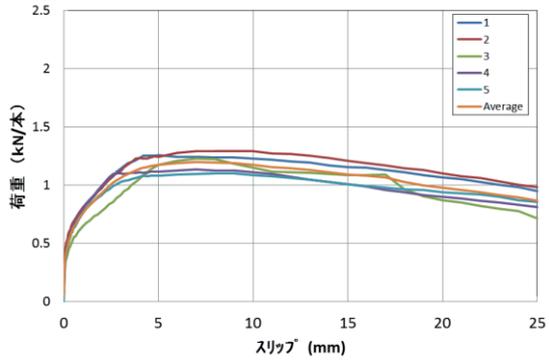
合板: 9mm全層スギA社 製材: ヒノキ N釘



合板: 9mm全層ワツ 製材: ヒノキ N釘

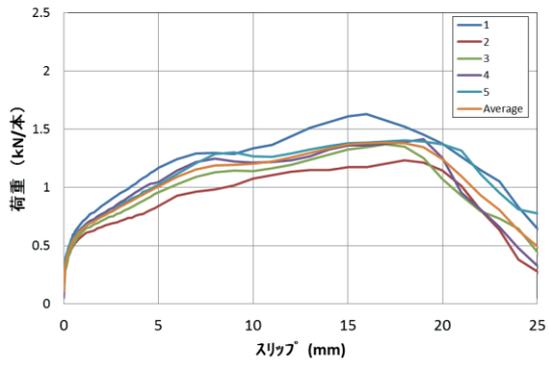


合板: 9mm全層ヘイマツ 製材: ヒノキ N釘

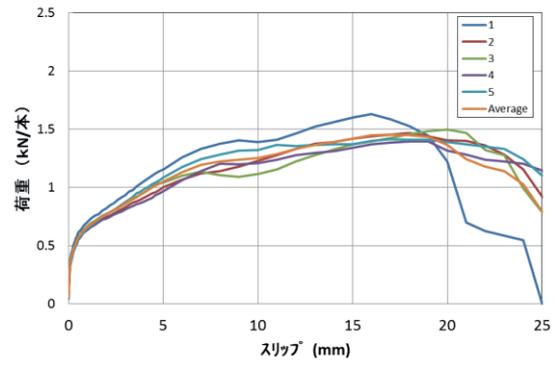


合板: 12mm 主材: カラマツ 釘: C N

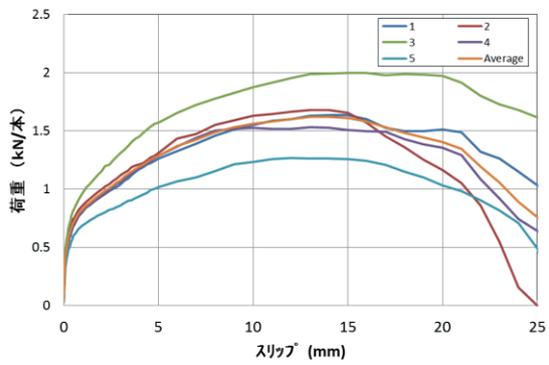
合板: 12mm全層スキ` A社 製材: カラマツ CN釘



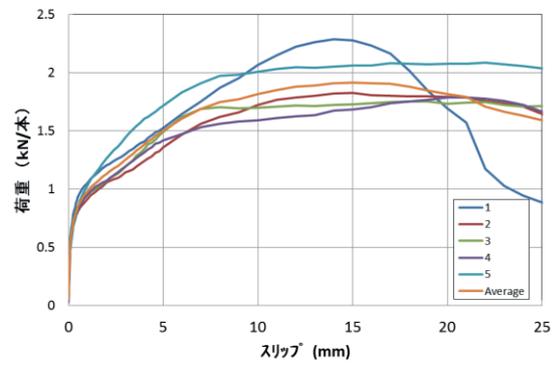
合板: 12mm全層スキ` B社 製材: カラマツ CN釘



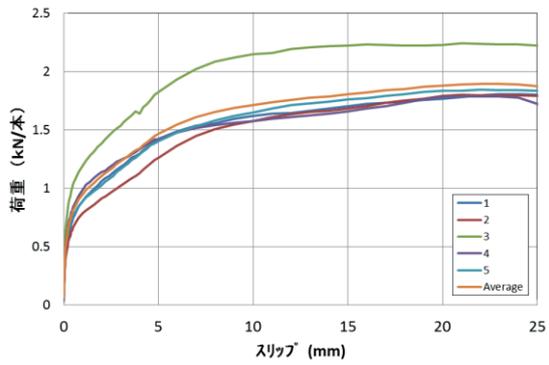
合板: 12mm全層アワン 製材: カラマツ CN釘



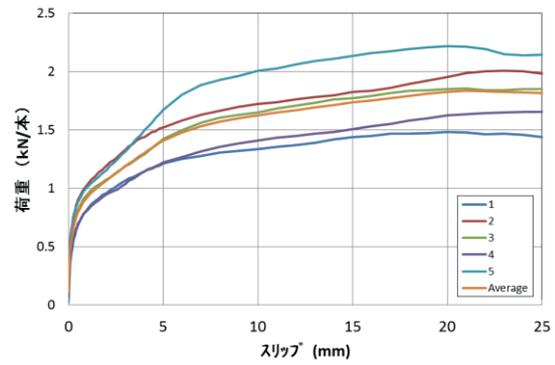
合板: 12mm全層カラマツ 製材: カラマツ CN釘

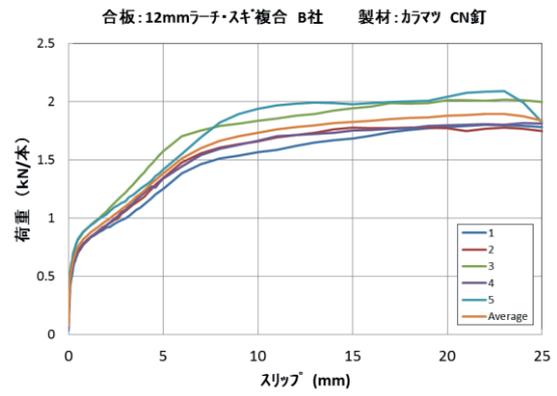
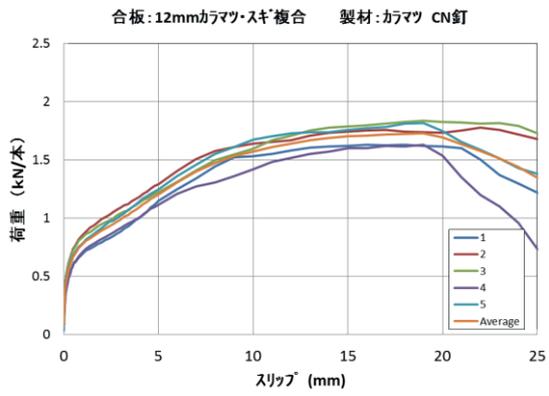
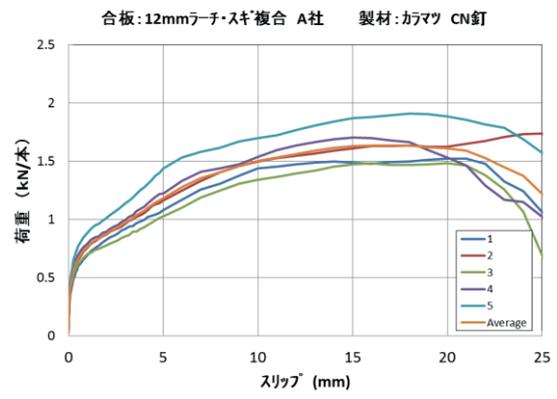
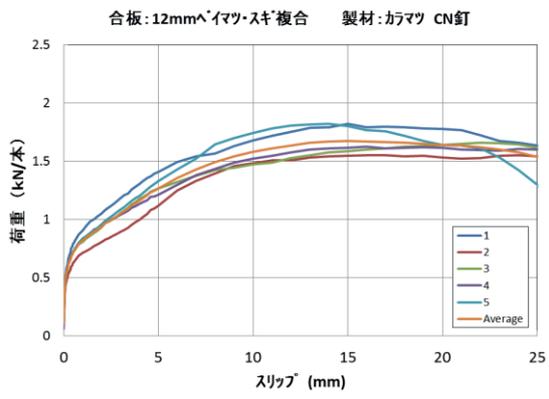


合板: 12mm全層チ 製材: カラマツ CN釘



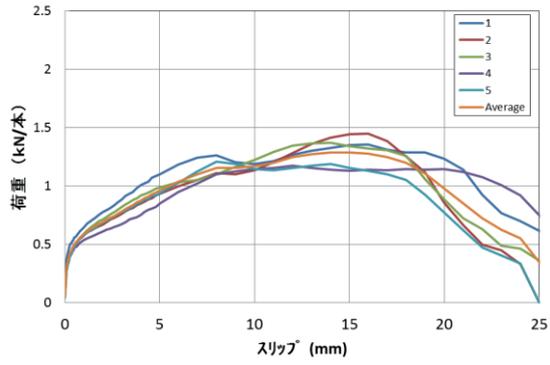
合板: 12mm全層ヘイマツ 製材: カラマツ CN釘



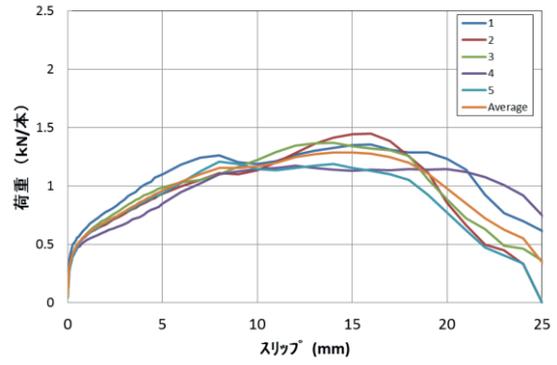


合板：12mm 主材：カラマツ 釘：N

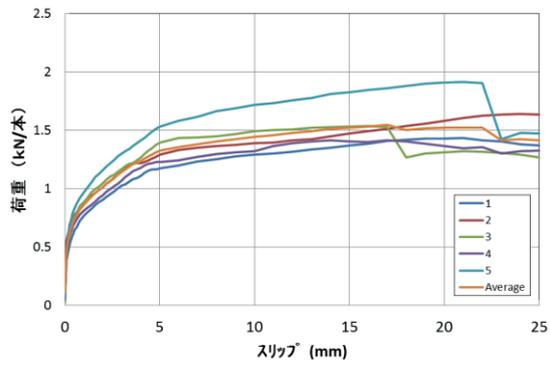
合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘



合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘

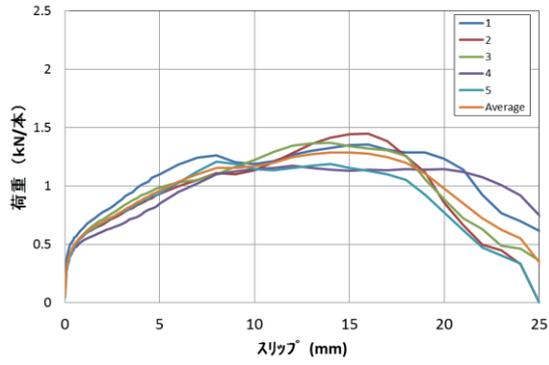


合板：12mm全層ヘイマツ 製材：カラマツ CN釘

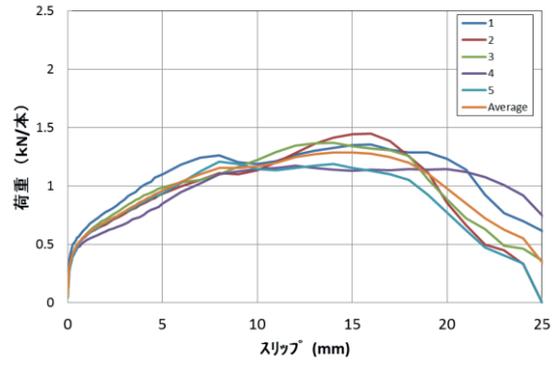


合板：12mm 主材：カラマツ 釘：N

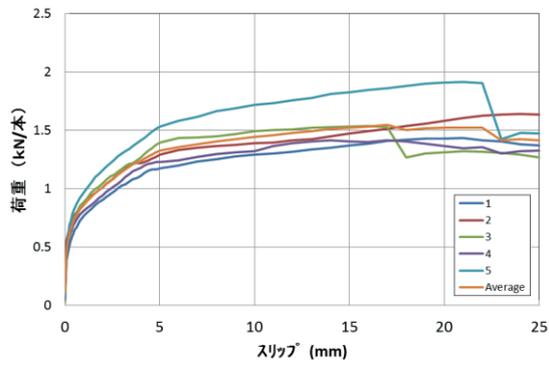
合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘



合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘

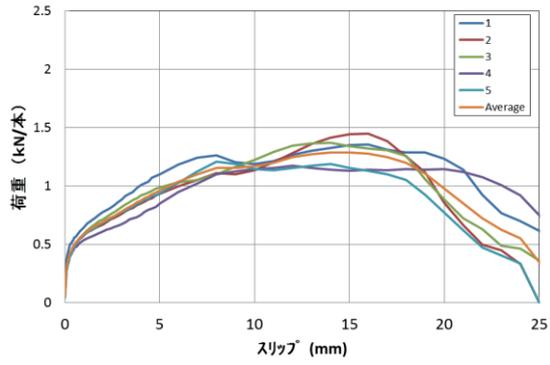


合板：12mm全層ヘイマツ 製材：カラマツ CN釘

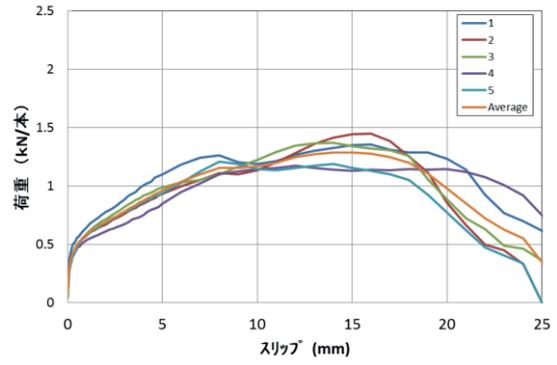


合板：12mm 主材：カラマツ 釘：N

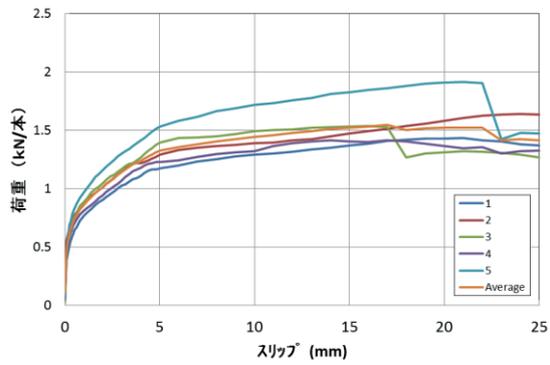
合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘



合板：12mm全層スギ A社 製材：カラマツ N釘

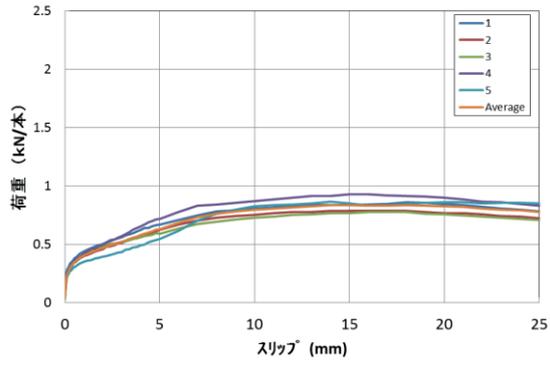


合板：12mm全層ヘイマツ 製材：カラマツ CN釘

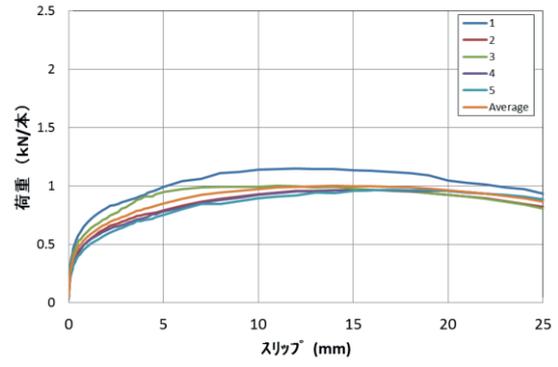


合板: 12mm 主材: スキ 釘: N

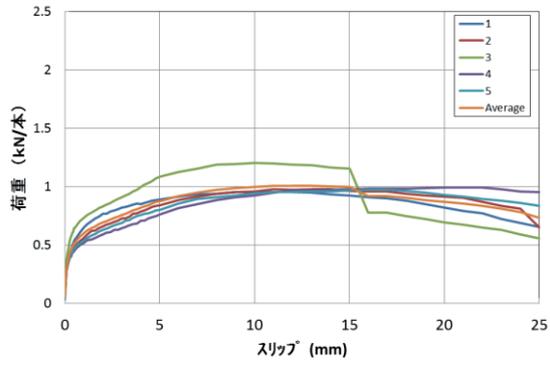
合板: 12mm全層スキ A社 製材: スキ N釘



合板: 12mm全層ラワン 製材: スキ N釘

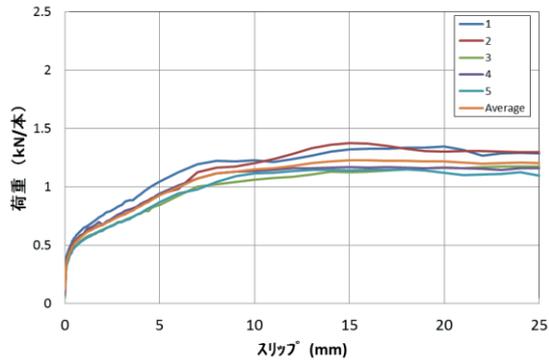


合板: 12mm全層ヘイマツ 製材: スキ N釘

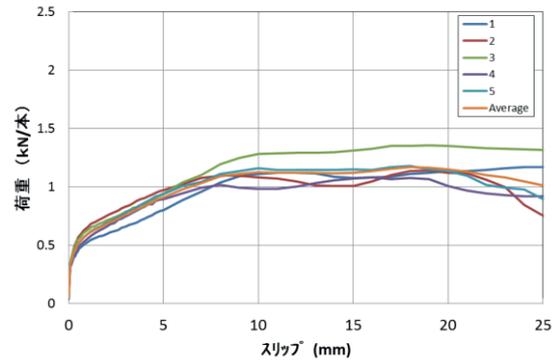


合板: 12mm 主材: ヒノキ 釘: C N

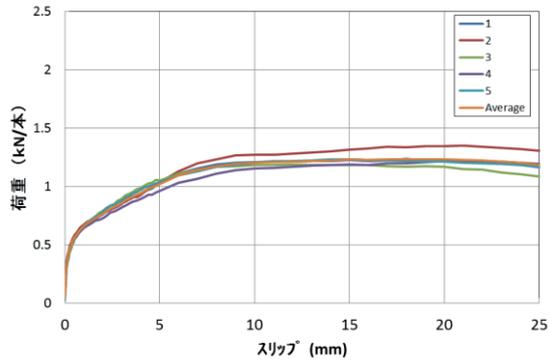
合板: 12mm全層スギA柱 製材: ヒノキ CN釘



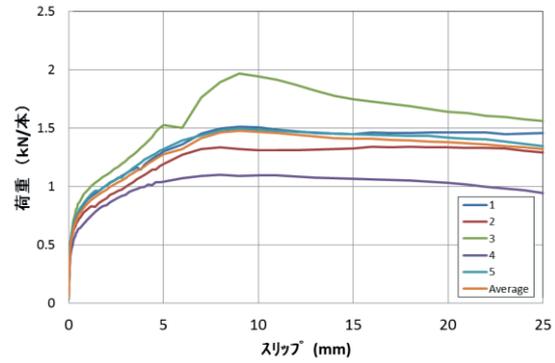
合板: 12mm全層スギB柱 製材: ヒノキ CN釘



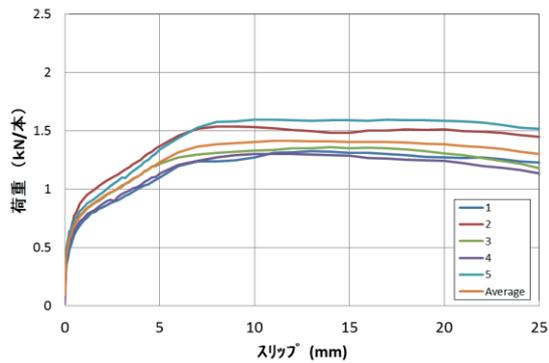
合板: 12mm全層アワ 製材: ヒノキ CN釘



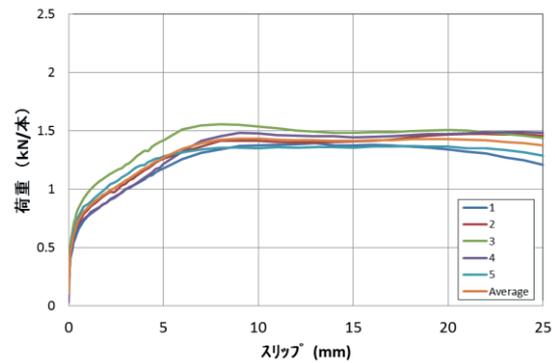
合板: 12mm全層カマツ 製材: ヒノキ CN釘

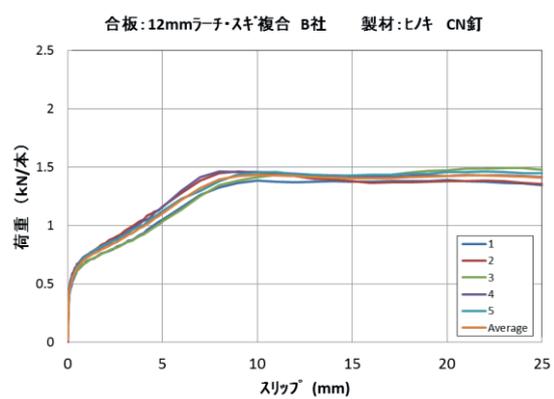
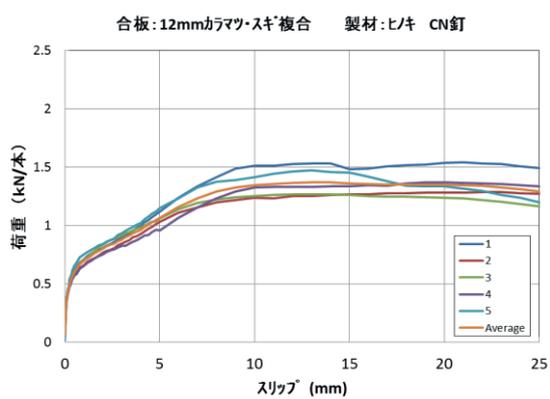
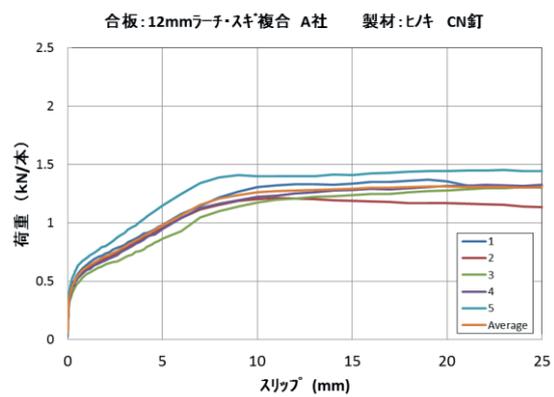
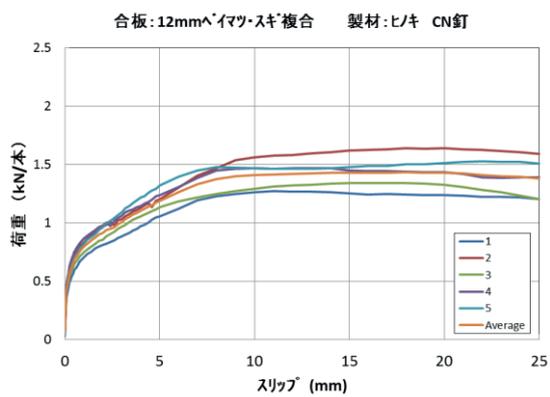


合板: 12mm全層フナ 製材: ヒノキ CN釘



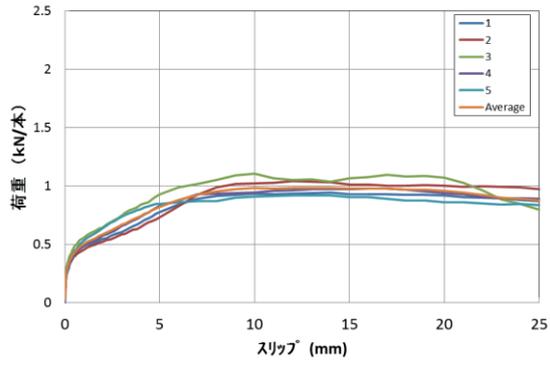
合板: 12mm全層ヘイマツ 製材: ヒノキ CN釘



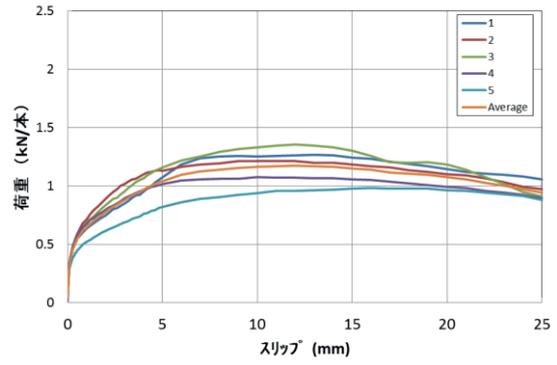


合板: 12mm 主材: ヒノキ 釘: N

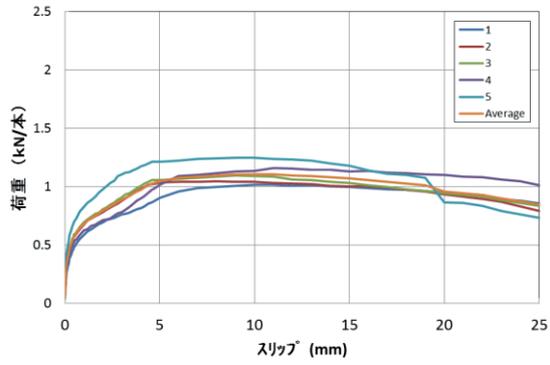
合板: 12mm全層スギA社 製材: ヒノキ N釘



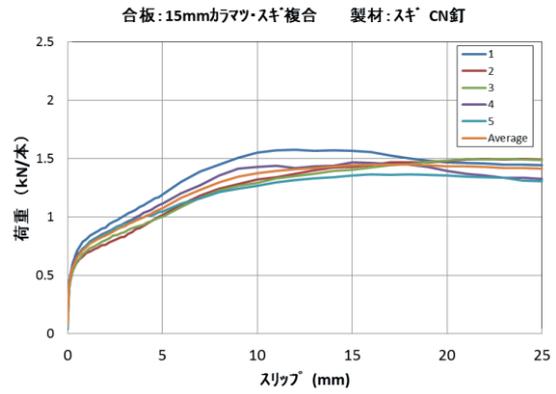
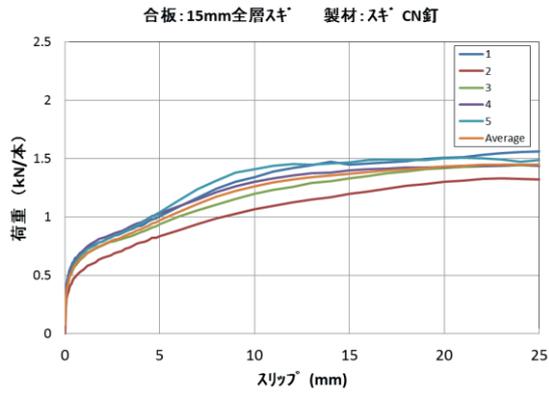
合板: 12mm全層アワン 製材: ヒノキ N釘



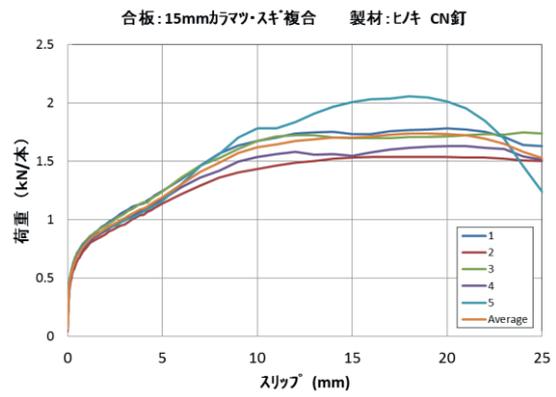
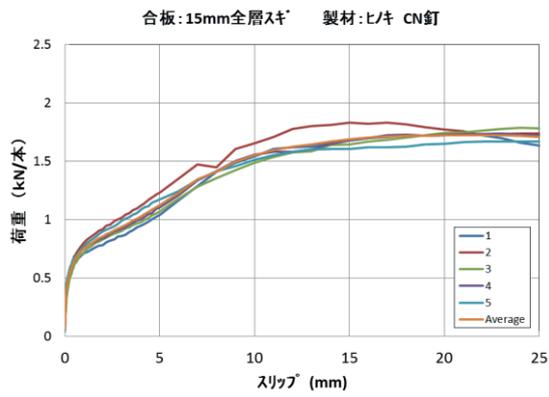
合板: 12mm全層ヘイマツ 製材: ヒノキ N釘



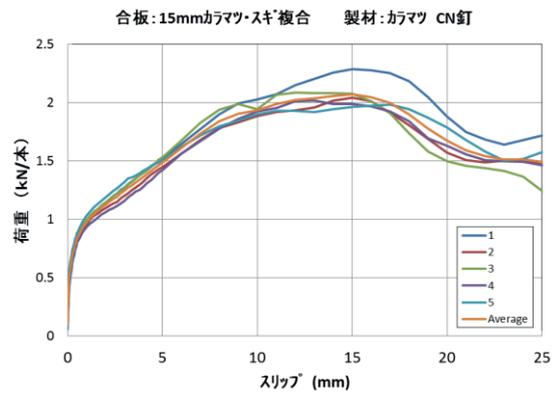
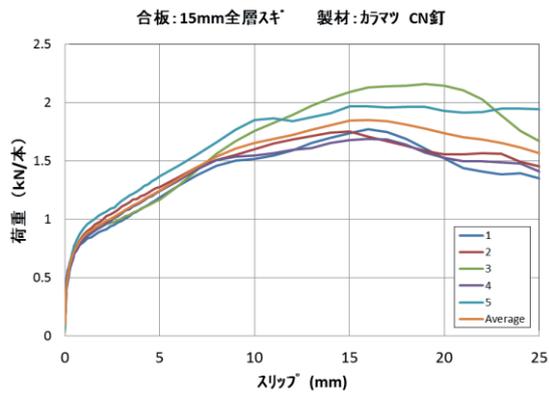
合板：15mm 主材：スギ 釘：CN



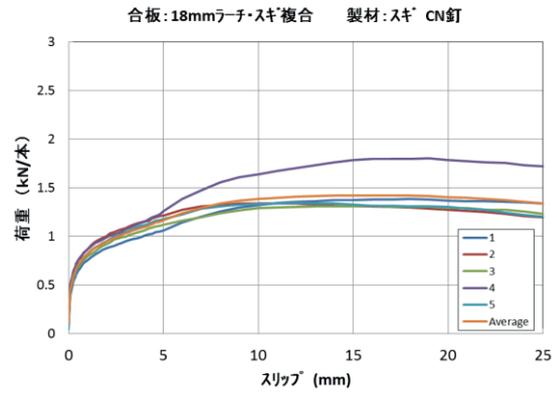
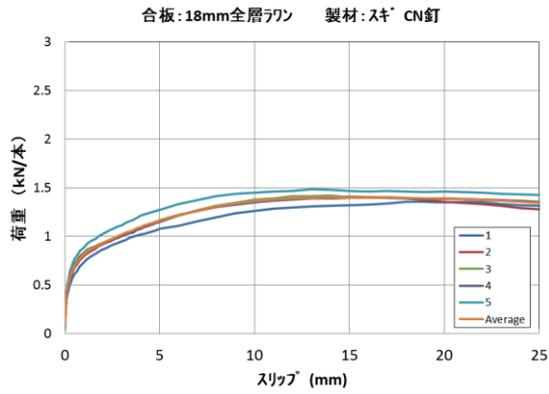
合板：15mm 主材：ヒノキ 釘：CN



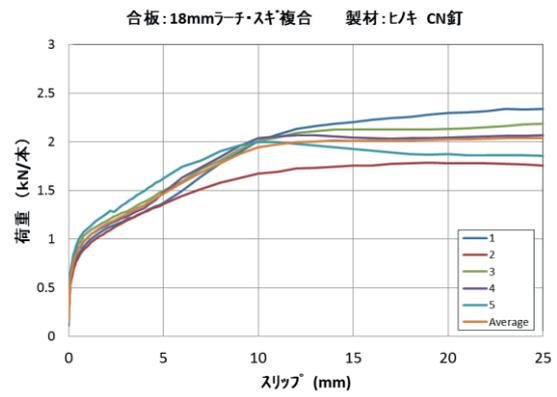
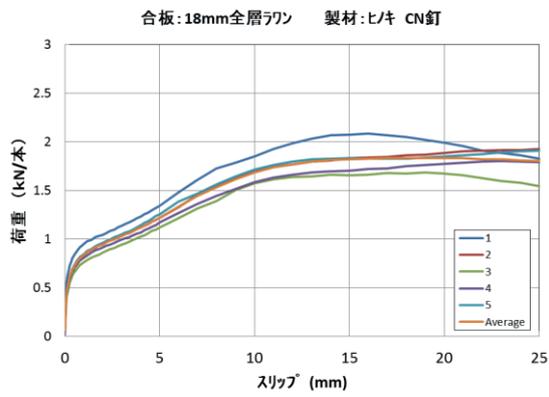
合板：15mm 主材：カマツ 釘：CN



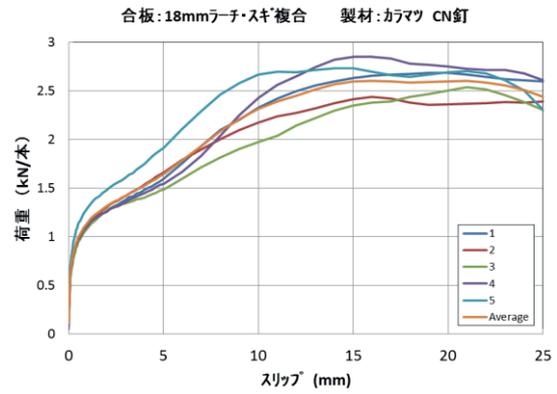
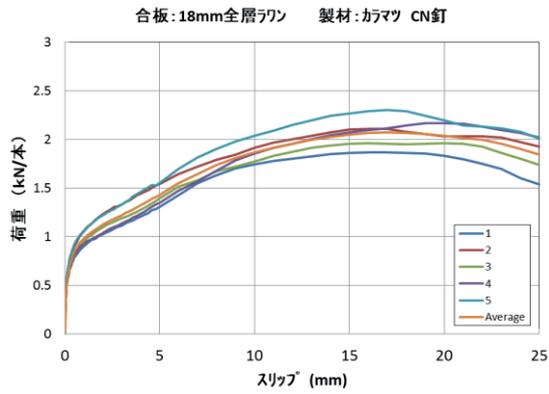
合板：18mm 主材：スギ 釘：CN



合板：18mm 主材：ヒノキ 釘：CN



合板：18mm 主材：カラマツ 釘：CN



日本合板工業組合連合会

〒101-0061 東京都千代田区三崎町2-21-2
TEL:03(5226)6677 FAX:03(5226)6678
URL:<http://www.jpma.jp/>
E-mail: info@jpma.jp