

CLT を使用した在来軸組構法木造床構面の面内せん断性能における緩衝材の影響

岡山理科大学工学部建築学科 小林正実
銘建工業（株） 孕石剛志、渡部 博
（有）サンライズ 大谷 孝志
谷岡建築設計事務所 谷岡龍哉

1. はじめに

CLT（クロス・ラミネイティド・ティンバー）はひき板の各層を繊維方向が互いに直交するように積層接着した木質材料である。CLT は欧米で中層大規模建築を中心に様々な建造物に活用され、急速に普及してきており、我が国でも国産材需要拡大の為、CLT の研究開発が進められている。欧州では CLT を構造材料とする木造建物において、通常遮音等を目的とした緩衝材を耐力壁または梁上の床との間に施工している。一方、我が国では、CLT を利用した建物で緩衝材を施工した例が極めて少ない³⁾。

本研究では、在来軸組構法木造建物で使用する CLT 床構面^{1), 2)} について、接合部に緩衝材を施工し、面内せん断試験を行い、荷重変形関係をまとめ、床倍率の算定を行う。また、試験時の緩衝材の影響および破壊性状を調べ、緩衝材を使用しない場合との比較を行う。

2. 予備試験

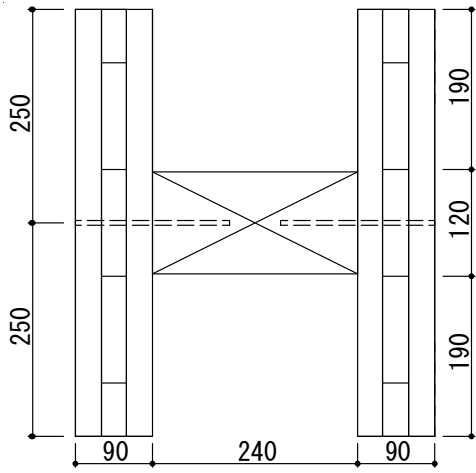
2. 1 試験方法

CLT の接合に使用するビスのせん断試験を行い、緩衝材を配した接合部についてのせん断性状を調べる。CLT 床と梁の接合部の仕様として、表 2-1 の 5 つのパターンを試験対象とする。図 2-2 に示すように、表 2-1 のそれぞれの接合部の仕様に対して、アムスラー試験機を使用し、圧縮型せん断試験を実施する。

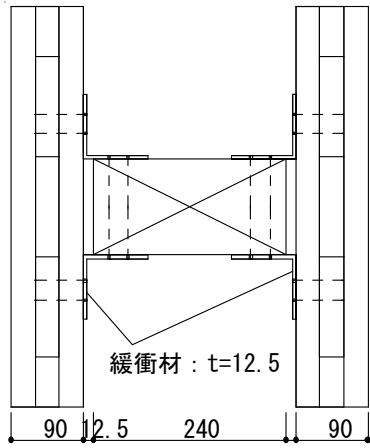
CLT 床はスギの厚 90 の 3 層 3 プライ、梁材はスギ製材（無等級）、緩衝材は getzner 社製のシロディン（Sylo-dyn）NB（ピンク）、厚 12.5mm 標準ポリウレタン防振材を使用する。ビスは試験体 1 に Rothoblass 社製 HBS-6180、試験体 2, 3 に（有）天野製作所製タッピンねじ STS-C65 を、試験体 4, 5 に東日本パワーファスニング社製 パネリード X PX8-200 を使用した。各試験体の詳細図を図 2-1 に示す。

表 2-1 予備試験の試験体の仕様

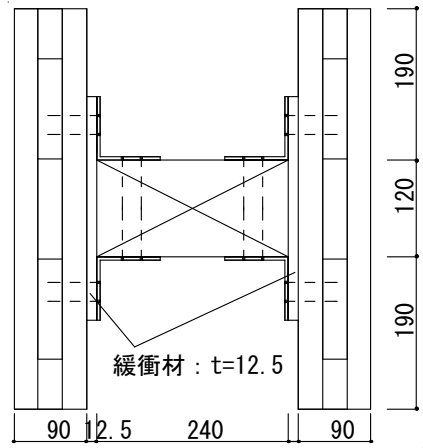
	緩衝材	ビスかアングルか	その他の仕様
試験体1	なし	ビス 径6mm, 長さ180mm, ネジ部75mm	鉛直打ち, 片面2本
試験体2	あり	L-80×80×4.5 長さ210	緩衝材は梁上のみ
試験体3		タッピンねじ STS C65 (径6.5mm, 長さ65mm) 12本	緩衝材がアングル上まで
試験体4		ビス 径6mm, 長さ200mm, 全ネジ	鉛直打ち, 片面2本
試験体5			打込角度30°, 片面4本



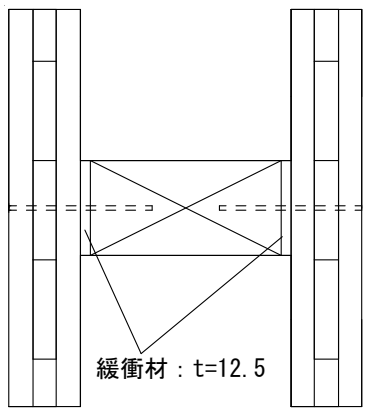
試験体 1



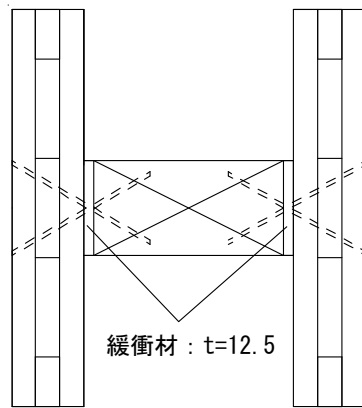
試験体 2



試験体 3



試験体 4



試験体 5

図 2 - 1 予備試験における試験体

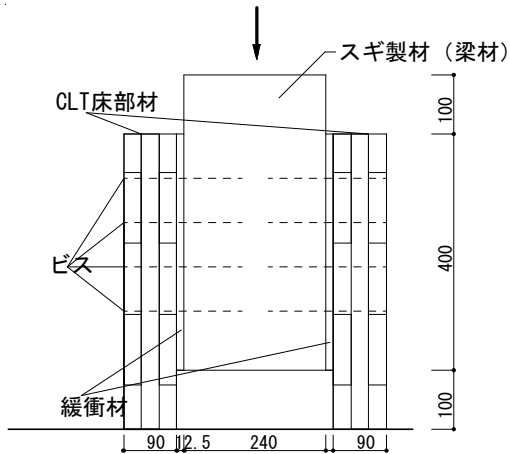


図 2-2 予備試験の加力方法

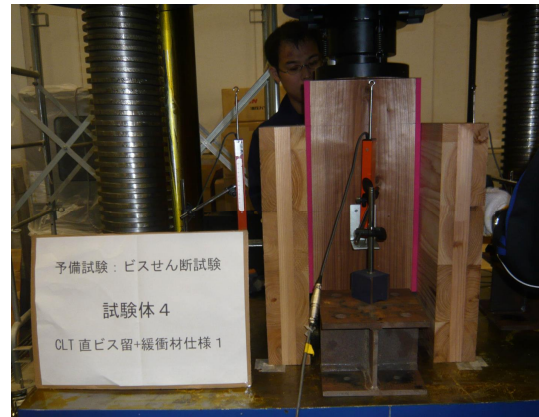


写真 2-1 予備試験の加力方法

2. 2 試験結果

各試験体の荷重変形関係を図 2-3 に示す。ここで変形は、床材と梁材の相対変位とした。試験体 3~5 は試験体 1, 2 と比べて初期剛性が低いことがわかる。これは、試験体 1 は CLT 床と梁が直接接しており、試験体 2 では、CLT 床とアングル、梁とアングルそれぞれが接し、CLT 床と梁がアングルを介して接している。それに比べて、試験体 3~5 は緩衝材に材料がめり込んだ影響と思われる。写真 2-2 に試験体 3 の破壊状況を示す。試験体 2,3 においては、このように床材からビスが抜けていき、アングルが床材からはずれていき、それにつれて荷重が低下していった。試験体 4, 5 においては、写真 2-3 に示すように、ビスに大きな曲げ変形が生じた。床材と梁材のすき間で曲がり、梁材にめり込む形で、曲げ変形した。

図 2-3 の荷重変形関係について、図 2-4 に示すように、文献 4) の仕口、継手の評価方法に従って、初期剛性を求めた。試験体 1, 4, 5 においてはビス 1 本当りの値を、試験体 2, 3 においてはアングル 1 箇所当りの値を、最大耐力も含めて、表 2-2 に示す。



写真 2-2 試験体 3 の破壊状況



写真 2-3 試験体 4 におけるビスの曲げ変形

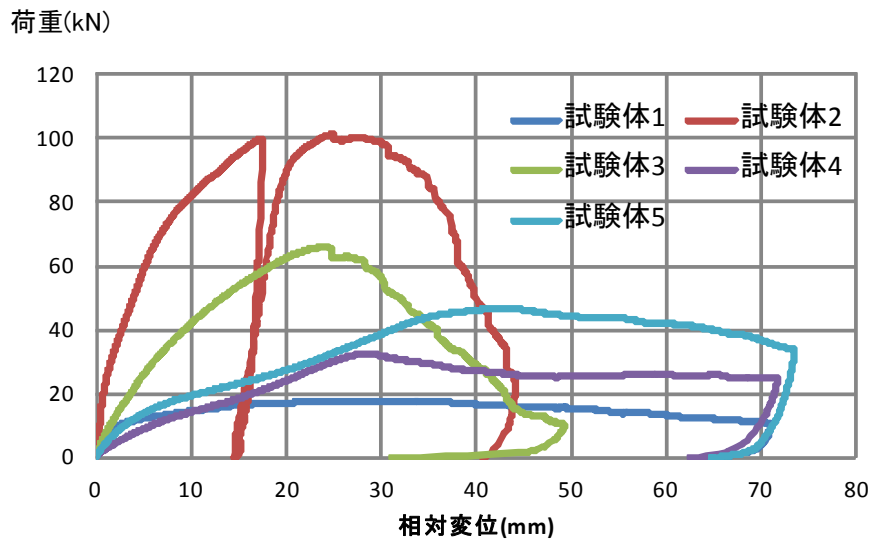
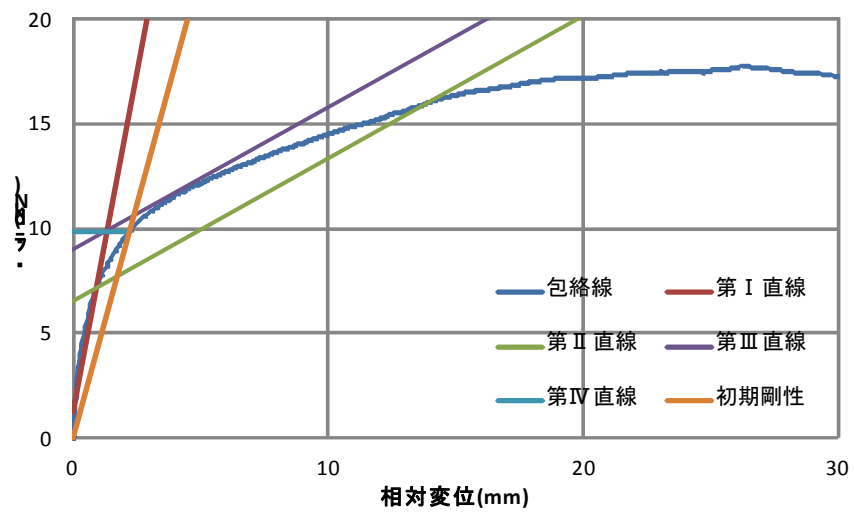


図 2 - 3 予備試験における荷重変形関係

・ 試験体 1



・ 試験体 2

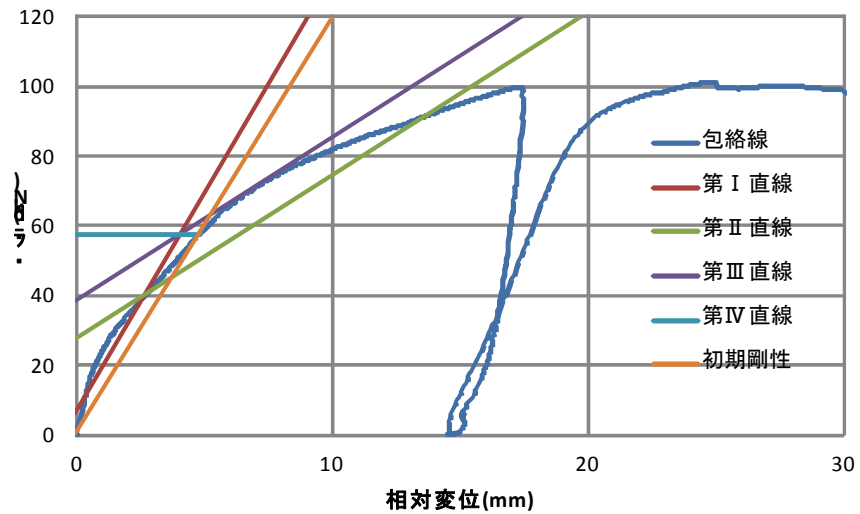
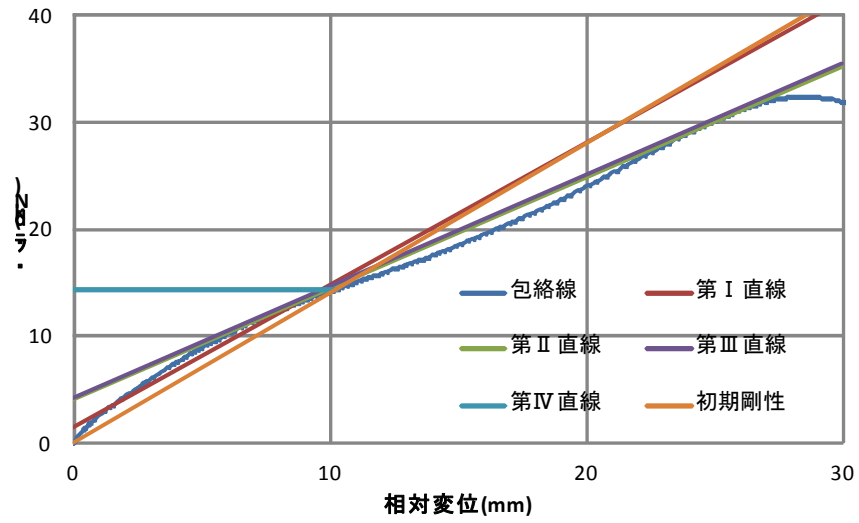


図 2 - 4 予備試験における荷重変形関係に基づく各仕様の初期剛性の算定

・試験体 4



・試験体 5

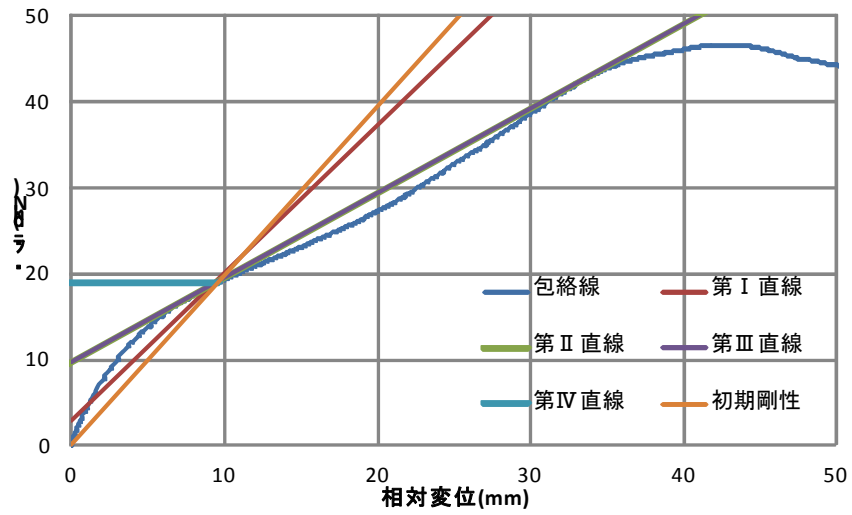


図 2-4 予備試験における荷重変形関係に基づく各仕様の初期剛性の算定 (続き)

表 2-2 予備試験の結果

	初期剛性 (ビス 1 本またはアングル 1 箇所当り)	最大耐力 (ビス 1 本またはアングル 1 箇所当り)
試験体 1	1 本当たり 1.11kN/mm	1 本当たり 4.43kN
試験体 2	アングル 1 箇所当たり 2.98kN/mm	アングル 1 箇所当たり 25.28kN
試験体 3		アングル 1 箇所当たり 16.51kN
試験体 4	1 本当たり 0.35kN/mm	1 本当たり 8.08kN
試験体 5	1 本当たり 0.25kN/mm	1 本当たり 5.82kN

3. 床構面試験

3. 1 試験体

図3-1、図3-2のように、CLTを床面材として緩衝材を施工した2.7m角の床構面の面内せん断試験を行う。CLTを横張りした試験体2.7HCと縦張りした試験体2.7VCの2体を試験する。詳細図をそれぞれ、図3-1、図3-2に示す。

梁材との接合部の仕様は、予備試験の試験体4とし、ビスピッチを150mmとする。ビスピッチは、床倍率が、文献1)の緩衝材を施工しない場合と同等となることを目標に次のように定めた。すなわち、初期剛性から求まる特定変形時耐力に着目し、後述の表4-2に示すように、緩衝材を施工しない場合の短期基準せん断耐力は特定変形時耐力の半分程度である。よって、表2-2の結果を用いて、文献4)の面材張り大壁の詳細計算法により算定した特定変形時耐力が緩衝材を施工しない場合の半分以上となるピッチを算出し定めた。

CLT床材は幅1.35mのものを2枚貼り付け、中央に継手を設ける。継手においては、CLT床材に溝を設け、これに目地材をはめ込み、タッピンねじSTS-C65を打ち込み固定する。タッピンねじSTS-C65のピッチについては、2.7VCにおいては、120mmピッチとしたが、見かけの変形角が $1/30\text{rad}$ に達するまでの変形がそれほど大きくない段階で、継手の破断が起こった。そのため、2.7HCにおいては、変形能力を確保するため、100mmピッチとし、継手の両端にパネリードX PX8-200を打ち込み固定した。

3. 2 試験方法

加力方法を図3-3に示す。複動式油圧ジャッキ（理研機器、容量100kN、ストローク500mm）により加力し、同ステップで3回の繰り返しとし、見かけのせん断変形角制御で1/450、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50radの正負交番加力を行った。2.7VCにおいては、続いて、引き側に加力したが、1/30radに達するまでに最大耐力に達したため、最大耐力の80%に降下するまで一方向加力し、加力を打ち切った。2.7HCにおいては、1/50radの正負交番加力後に、引き側に加力したが、治具の耐力の不足により1/40radまでしか加力できなかったため、その後、反対向きに一方向加力し、最大耐力の80%に降下するまで加力した。

計測した変位は、加力梁・固定梁の変位、直交梁（加力と直交方向の梁）脚部のY方向変位、継手の相対変位、下側パネル脚部両端のY方向変位、各パネル左辺における梁とのX方向相対変位である。変位計の配置、および変位・回転角の正の向きを図3-4に示す。

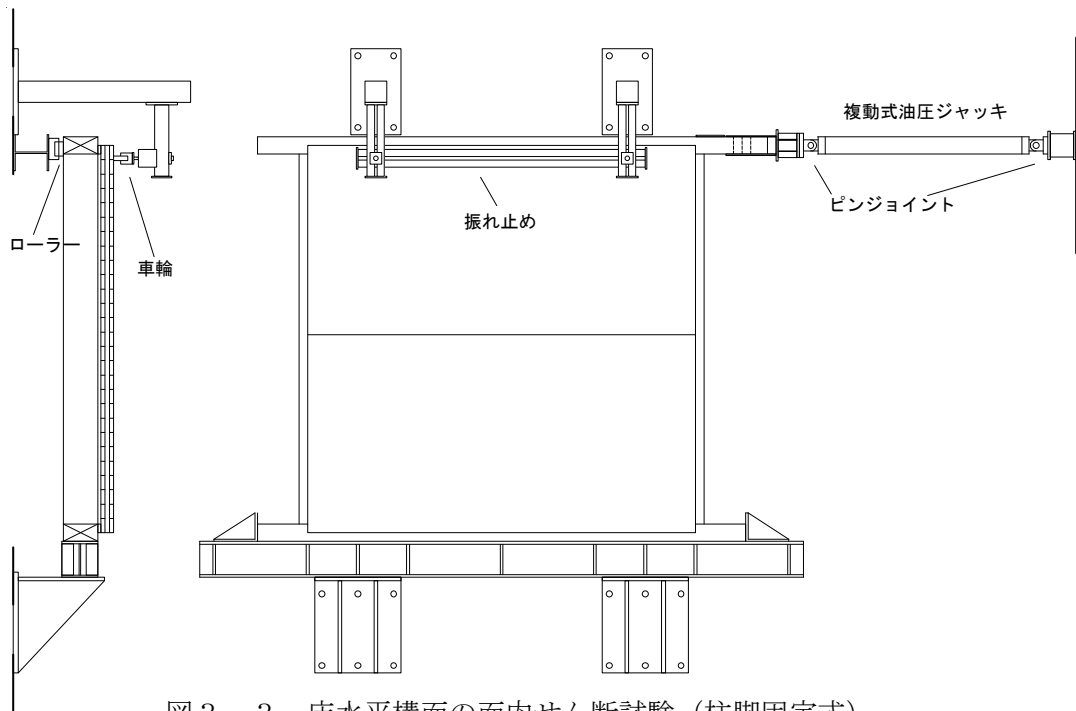
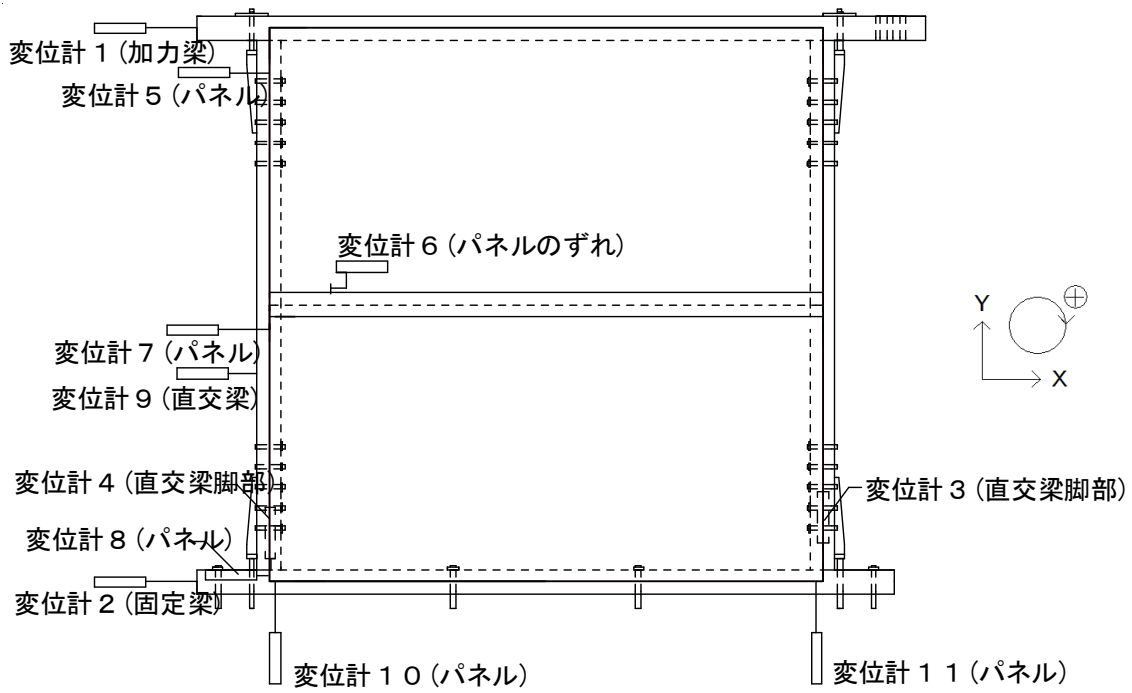


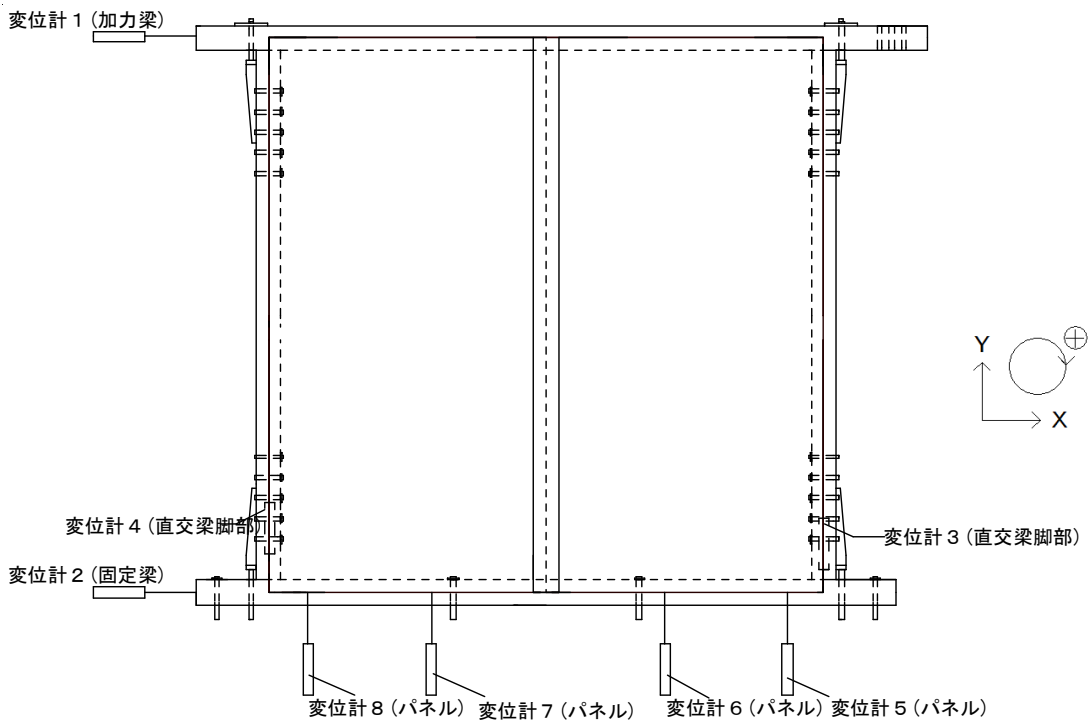
図3-3 床水平構面の面内せん断試験（柱脚固定式）



写真3-1 床水平構面の面内せん断試験



(a)2.7HC



(b)2.7VC

図 3 - 4 床水平構面の面内せん断試験における計測変位

3. 3 試験結果

図3-5、図3-6に、それぞれ、2.7HC、2.7VCにおける荷重と見かけのせん断変形角の関係を示す。両試験体とも、写真3-2に示すように継手の破壊により耐力が低下し終局変位に達した。図3-7～図3-11に、両試験体における、荷重と計測した種々の変形量の関係を示す。パネル相互の相対変位は、2.7HCで、最終的に70mm程度に達した。パネルと梁の相対変位も、2.7HCで、最大40mm程度生じているが、写真3-2に見られるようにビスによる床材の小さな割れが継手端部に起こっているだけで、その他の部分で梁の割れやビスの破断は見られなかった。2.7VCにおいても、同様の変形性状を示していた。

図3-12、図3-13に示すように、終局加力側の荷重－見かけのせん断変形角曲線より包絡線を作成し、文献4)の手順に従って、床倍率の算定を行った。結果を表3-1、表3-2に示す。

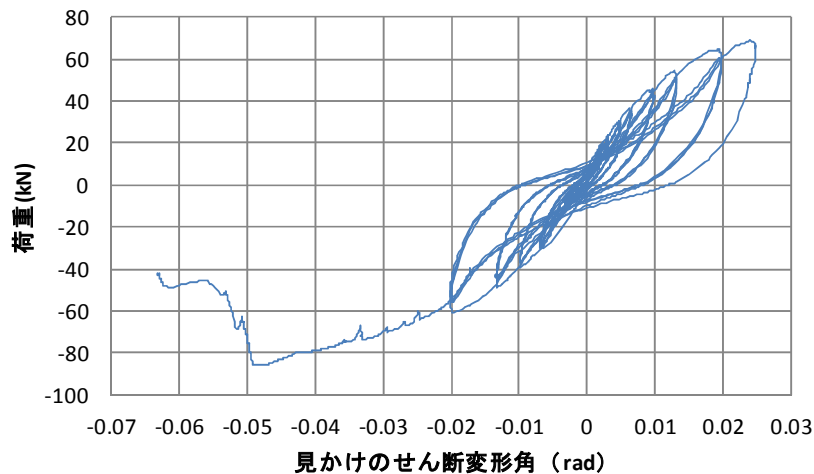


図3-5 荷重－せん断変形角関係：2.7HC

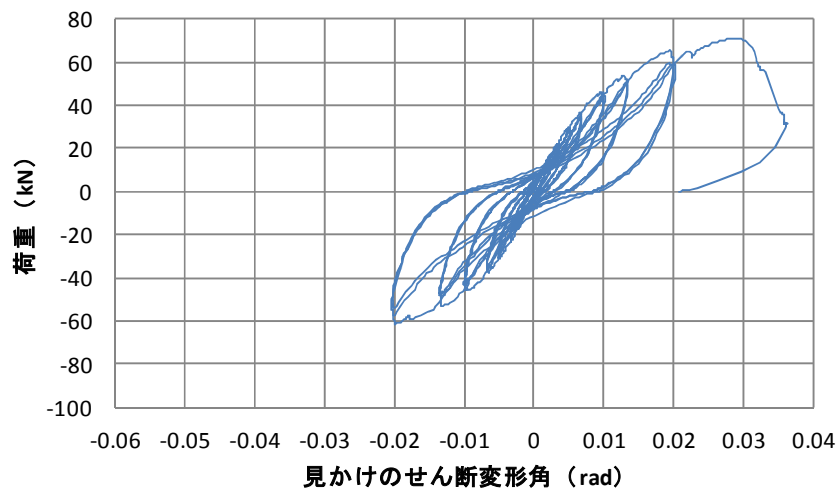


図3-6 荷重－せん断変形角関係：2.7VC

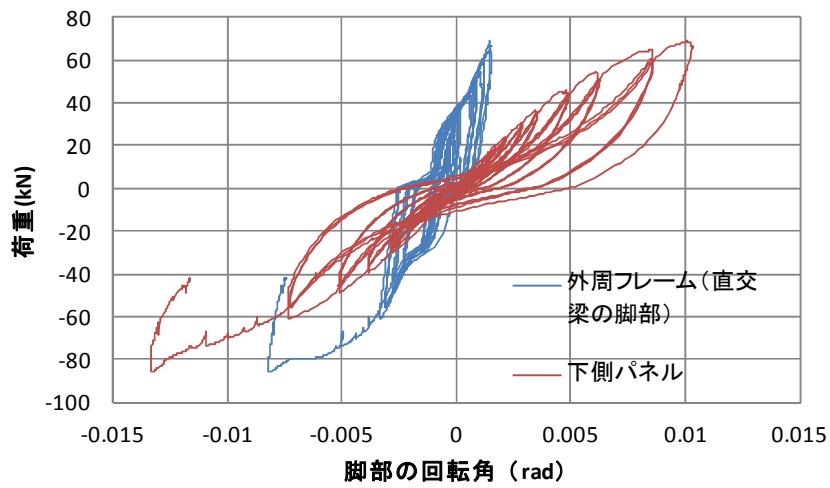


図 3 - 7 荷重—脚部回転角関係：2.7HC

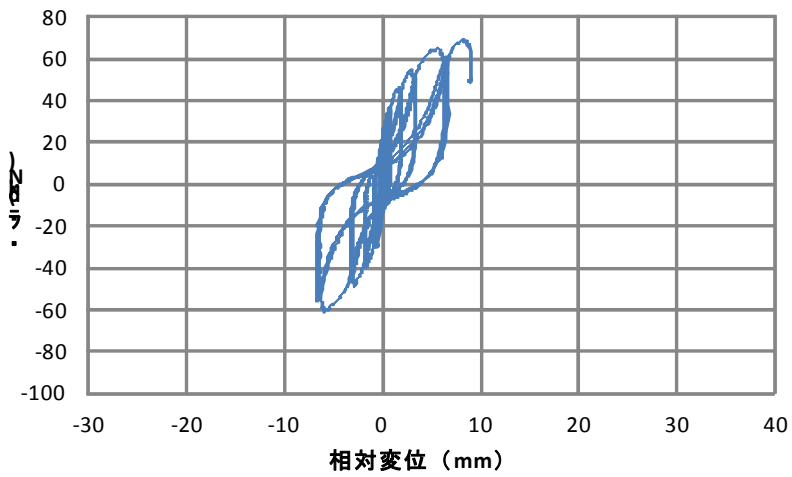


図 3 - 8 荷重—パネル相互の相対変位関係：2.7HC

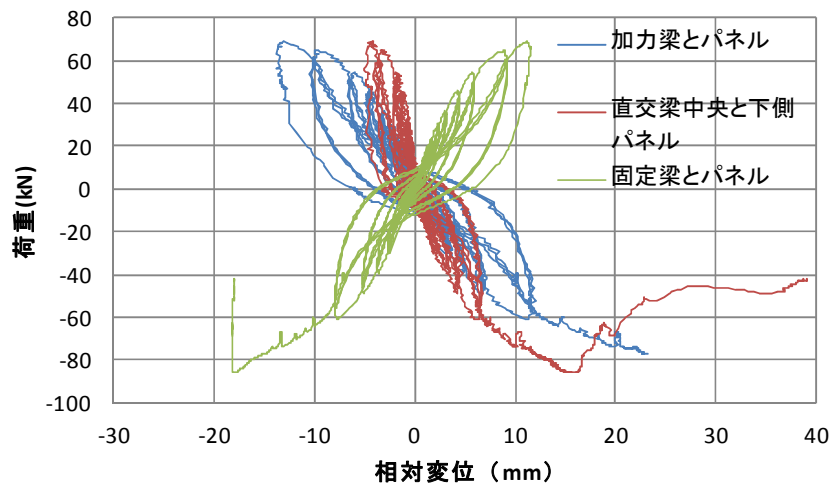


図 3 - 9 荷重—パネルと梁の相対変位関係：2.7HC

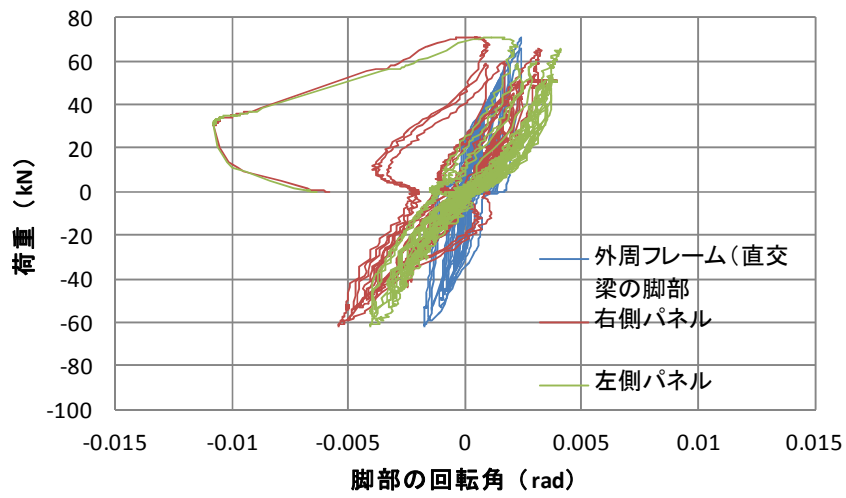


図 3 - 1 0 荷重-脚部回転角関係 : 2.7VC

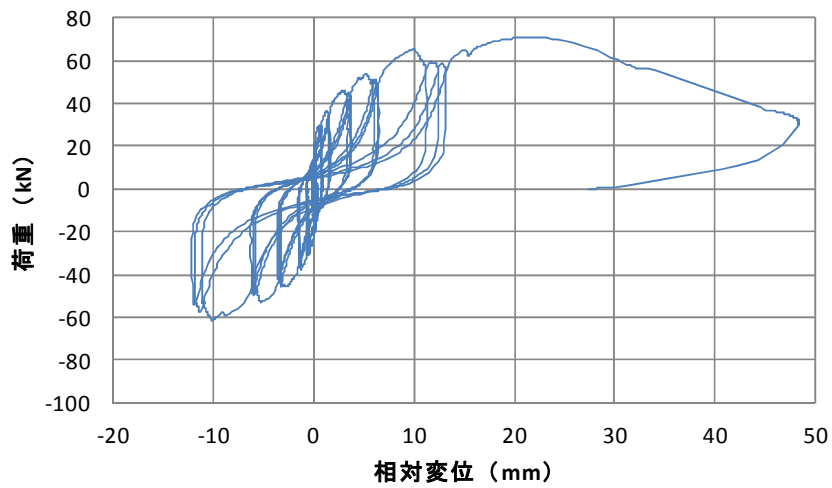


図 3 - 1 1 荷重-パネル相互の相対変位関係 : 2.7VC

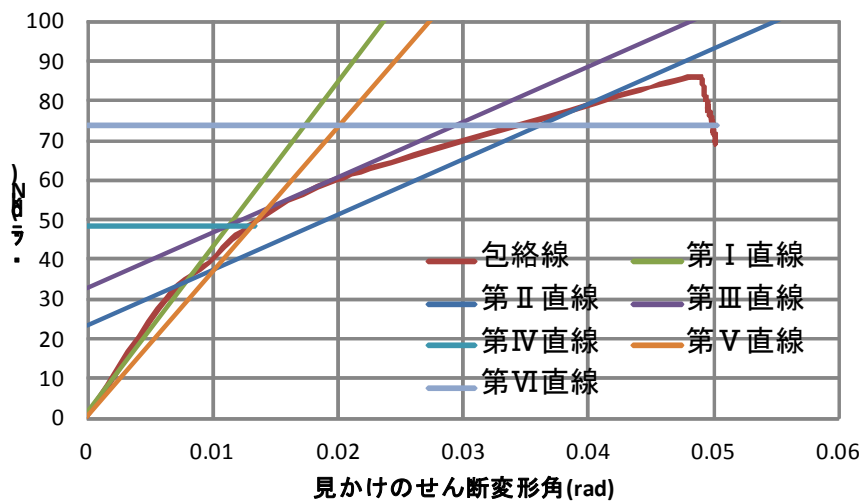


図 3 - 1 2 荷重-せん断変形角包絡線 : 2.7HC

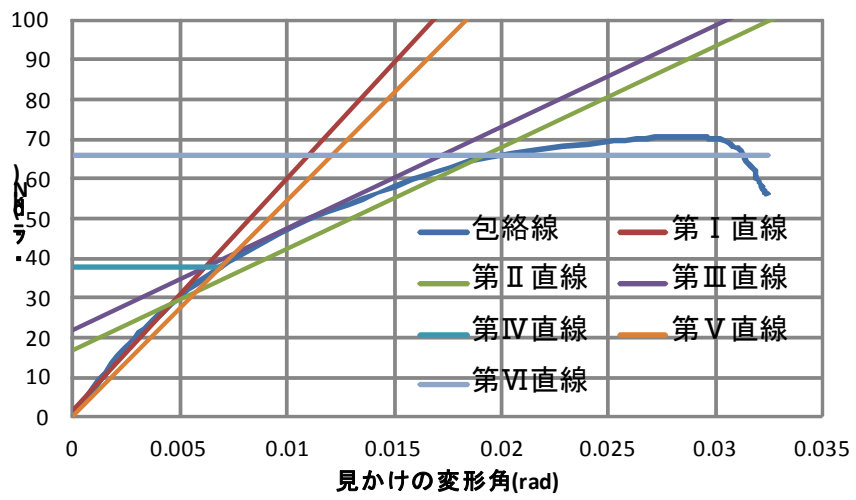


図 3 - 1 3 荷重一せん断変形角包絡線 : 2.7VC



写真 3 - 2 継手の破壊状況 : 2.7HC



写真 3 - 3 パネル相互のずれ : 2.7HC

表 3 - 1 床倍率の算定結果 : 2.7HC

各特性値

降伏変形角 δ_y rad	終局変形角 δ_u rad	降伏点変形角 δ_v rad	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
0.0133	0.0503	0.0202	2.49	0.5

床倍率

単位長さ当たりの各種耐力 kN/m				短期基準 せん断耐力 kN/m	倍率
P_y	$P_u*(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	P120		
17.95	10.89	21.22	13.04	10.89	5.5

(ただし、試験体数が 1 のため、ばらつき係数を乗じておらず、また、低減係数も乗じていない)

表 3 - 2 床倍率の算定結果 : 2.7VC

各特性値

降伏変形角 δ_y rad	終局変形角 δ_u rad	降伏点変形角 δ_v rad	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
0.0070	0.0324	0.0122	2.67	0.48

床倍率

単位長さ当たりの各種耐力 kN/m				短期基準 せん断耐力 kN/m	倍率
P_y	$P_u*(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	P120		
13.96	10.19	17.48	15.63	10.19	5.2

(ただし、試験体数が 1 のため、ばらつき係数を乗じておらず、また、低減係数も乗じていない)

4. 緩衝材を使用しない床構面との比較

文献 1)において、緩衝材無しの本試験体と同樹種同厚の CLT を使用した床構面の面内せん断試験が実施されている。試験体の芯々寸法を 4m×4m とし、CLT パネルを加力方向と平行に 4 枚横張りに配置したものである。接合部の仕様は、予備試験の試験体 1 であり、ビスピッチは 250mm である。梁材は、断面寸法 105×180 の構造用集成材（スギ、E65-F225）である。加力方向と直交方向に小梁が設けられており、CLT パネルは小梁にも外周部と同仕様の接合がされている。その他の仕様は図 3-1 の 2.HC と同様である。

破壊状況は、本試験体と異なり、パネル相互の相対変位は最大 6mm 程度しか生じず、ビスによる梁の割れ破壊、ビスの破断、小梁の曲げ破壊等により終局変位に達している。

試験体数は 3 体で、平均値にばらつき係数を乗じて求められた短期基準せん断耐力および床倍率を表 4-1 に示す。本試験体の方が、床倍率が大きくなっており、また、ばらつき係数を乗じない各種耐力の平均値と比較しても、P120 以外は大きくなっている。緩衝材を施工することによりビス 1 本当たりの初期剛性は下がるものの、本試験体程度にピッチを小さくすれば、緩衝材無しの場合より大きい倍率となることがわかる。

表 4-1 緩衝材を施工しない床水平構面の床倍率

各特性値				
降伏変形角 δ_y rad	終局変形角 δ_u rad	降伏点変形角 δ_v rad	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
0.00452	0.02459	0.00766	3.21	0.43

単位長さ当たりの各種耐力 kN/m					短期基準 せん断耐 力 kN/m	倍率
	P_y	$P_u*(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	P120		
平均値	11.7	9.15	14.8	16.3	/	/
ばらつき 係数	0.972	0.976	0.976	0.984		
50% 下限値	11.4	8.93	14.5	16.0	8.93	4.5

(ただし、低減係数を乗じていない)

5. まとめ

在来軸組構法木造建物で使用する CLT 床構面について、緩衝材を施工した床構面の面内剛性および耐力における影響について、予備試験の結果、緩衝材を施工することで初期剛性に顕著な低下が起こることがわかった。これに基づき、ビスピッチを算定し、ビスを密に配置した床構面とし、面内せん断試験を実施した。床倍率を算定し、ビスピッチを狭くすることで、緩衝材をはさまない場合より大きい倍率を示した。

謝辞

本研究は「平成 27 年度森林整備加速化・林業再生事業 林業・木材産業関連整備の内真庭シティホテルサンライズ CLT 棟新築工事」（事業主体：有限会社サンライズ）による研究費を得て実施されたものである。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 銘建工業(株)：平成 25 年度岡山県森林整備加速化・林業再生事業「CLT の利用開発・試験研究」2014 年
- 2) 鈴木圭、早崎洋一、青木謙治、腰原幹雄：軸組構法に面材として CLT を使用した構面のせん断性能の検証、第 65 回日本木材学会年次大会、H18-10-1400、2015 年
- 3) 松本和行、三宅辰哉、渡邊拓史、鈴木圭、原田浩司、河合直人：CLT 実物件のための構造設計に関する研究（その 1）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、構造Ⅲ、pp.557-558、2015 年
- 4) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計、2008 年