

蝶形CLT成形ブロックを用いた耐震壁の開発と適用

Development and Application of Seismic Shear Walls Using CLT Butterfly-Shape Blocks

福原 武史 Takeshi Fukuhara*¹ 掛 悟史 Satoshi Kake*²
井戸裕 勇樹 Yuki Idosako*³ 大橋 義徳 Yoshinori Ohashi*⁴
石川 裕次 Yuji Ishikawa*⁵ 植松 武是 Takeyoshi Uematsu*⁶

梗概

本技術は蝶形の木質のブロックをエポキシ樹脂接着剤で接着しながら積み上げて耐震壁を構築する耐震補強工法で、本工法では従来のコンクリートブロックの代わりに木質材を用い、木質材の加工の自由度および軽量であることによる施工性の良さを活用した。

本報では、ブロックの加工方法の検討、材料試験によるブロックの材料特性の把握、構造実験による複数の施工方法による補強性能の検証および実大施工試験について報告する。

キーワード：耐震補強, RC構造, CLT, 要素実験, 構造実験

Summary

CLT blocks of butterfly-shape, which are made of lightweight and easy to process woody material, were used as shear walls, instead of precast concrete. The walls are constructed by piling up wooden blocks, glued with epoxy resin.

This paper presents the method of processing CLT into the blocks, test results of CLT material properties, experimental study on a seismic retrofit method of RC frame using shear walls made up of the CLT blocks, and full-scale construction experiment.

Keywords: seismic retrofitting, RC structure, CLT, material test, structural test

1 はじめに

2013年に改正耐震改修促進法が施行され、不特定多数の利用者や避難に配慮を要する病院・ホテル・学校等の建築物に耐震診断が義務づけられた。しかしながら、従来の耐震補強工事では、施工に伴う騒音・振動・粉塵の発生、大型部材の搬入・養生のため、工事する階や区画が使用できず、耐震補強が見送られるケースも多い。これらの課題を解決する従来技術の一つとして、蝶形のコンクリートブロックを用いた耐震補強技術¹⁾ (Fig. 1参照)がある。

また近年、平成22年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律²⁾」が制定され、さらに平成25年には国土交通省および林野庁より「CLTの普及に向けたロードマップ³⁾」が示されるなど、木質材料を積極的に建築物に使用し、林業の活性化およびCO₂の固定化による環境配慮のニーズが高まっている。

本技術は、前述した蝶形のコンクリートブロックによる耐震補強技術において、ブロックに木質 (CLT) を利用したものであり、CLT板を蝶形ブロックに加工した後、現場にてブロック同士を接着接合しながら積み上げて一枚の壁を構築し、最終的に既存躯体との間に接着剤を圧入することで既存躯体と一体の耐震壁を構築する耐震補強構法である (Fig. 2参照)。なお、ブロックはCLT板を分割し手製作するため、CLTパネル成形時にマザーボードから発生する端材活用が可能である。

コンクリートブロックを用いた従来の補強における蝶形のブロック形状は、ブロック同士が噛み合うことによる効果的な応力伝達を意図している。CLTブロックを用いる本工法は、ブロック間の接着力を主たる応力伝達機構として期待しているが、蝶形とすることで矩形と比べて接着面積が広く確保できることや、ブロックの位置決めをし

*1 技術研究所 主任研究員 博士 (工学) Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

*2 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute

*3 技術研究所 研究員 博士 (工学) Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

*4 北海道立総合研究機構 林産試験場 研究主幹 博士 (農学) Forest Products Research Institute, Hokkaido Research Organization, Dr. Arg.

*5 芝浦工業大学 システム理工学部 教授・博士 (工学) Prof., Dr. Eng., Shibaura Institute of Technology

*6 北海学園大学 工学部 教授・博士 (工学) Prof., Dr. Eng., Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

やすい施工的なメリットを鑑みて同様の蝶形のブロック形状を用いることとした。

本技術は木質材の積極活用という社会的要請に沿い、さらに軽量な木質材の特徴を限られたスペースで作業が求められる耐震補強工事の施工性改善に活用することができる。さらに、あらわしで利用すれば、木材特有の温かみやテクスチャーも生かすことが可能である。

本報は、本技術を開発し実用化するまでに実施した蝶形の木質ブロックの加工方法の検討、異方特性を含む木質材の強度の把握、および架構実験による補強性能の検証結果について述べる。

2 ブロック材について

2.1 加工

本工法の施工は接着剤を塗布しながらブロックを積層する方法であるため、積層後の壁の精度確保の観点から、特殊な形状である蝶形の木質ブロックを施工誤差1mm程度の高い精度で製作する必要がある。さらに、耐震壁を構築するために多くのブロックを用いるため、量産できる加工方法の工夫も必要であった。

Fig. 3に、CLTブロックの加工手順の概要を示す。ブロックの製作は、まず3軸式NC加工機に特注した角度付きルータービット（刃物）を取り付けて製作したところ、加工精度は良好であった。しかしながら、角度付き刃物では切削量を大きく設定できず加工時間が長くなり、切削面も粗くなる等の課題も挙げられた。このため、角度のついていない通常刃物でも切削量と仕上がり精度を高められるように5軸以上のNC加工機を利用することで解決を図った。加えて、一回転あたりの切削量を増やすことができるように直径を大きくした特殊



Fig. 1 既往工法（蝶形コンクリートブロック壁補強）¹⁾
Existing method (reinforcement using concrete butterfly-shape blocks)



(a)補強イメージ（縮小試験体）



(b)ブロック形状

(c)施工イメージ

Fig. 2 CLT蝶形ブロック壁補強
Reinforcement using CLT butterfly-shape blocks



(a)ブロック形状加工の
切削状況



(b)クロスカットのための
墨出しの溝加工



(c)製作したブロック

Fig. 3 CLT蝶形ブロックの加工手順の概要
Outline of CLT butterfly-shape processing method

刃物を試作し、ブロックの精度を確保しつつ加工速度の向上を実現した。

2.2 材料特性

本節では、補強部材である蝶形ブロックに用いたCLT材の圧縮強度、せん断強度およびCLT材同士の接着強度の試験結果を、既報⁴⁾の結果も含めて示す。材は国産材の活用観点から北海道などで多く生産されるカラマツを用いた。カラマツはCLT材に多用されるスギよりも一般に剛性が高いため、効果的な補強性能が得られることを期待した。材料試験には、接着せん断試験で追加試験を行ったものを除き、各構造実験に使用したCLTを用いた。

1) 圧縮特性

本工法の蝶形ブロックの壁と周囲の柱・梁との間は、モルタルあるいは接着剤で充填する。付着力が期待できないモルタル充填の場合、および接着剤充填の場合の接着破壊後は主に壁対角方向の圧縮束で応力伝達されると考えられるため、圧縮強度はCLTの外層ラミナの傾斜角を変えて確認した。Fig. 4にMx120で5層5プライ（3章のB701, B801, B802に使用）およびS90で3層3プライ（3章のB901に使用）における試験結果を示す。アスペクト比1で実施した試験体を見ると、圧縮強度は外層ラミナの角度に影響を受け、3層3プライでは30°、5層5プライでは45°で最小となった。なお、アスペクト比1で実施した5層5プライ試験体はラミナの比率から0~45°で圧縮強度が最小になると考えて60°および75°の実験を省略したが、3章の構造実験でのストラット角度は60°に近いため、同図に同材のアスペクト比2で実施した結果を参考として記載し、3.3節の評価では角度の近いこのデータを線形補間して用いた。

2) せん断特性

Fig. 5に2種類のせん断試験の概要を示す。ブロックせん断実験⁴⁾はMx120/5層5プライのCLTを対象に外層ラミナの傾斜角を変数として実施し、各角度で得られた平均せん断応力は4.5N/mm²が最小であった。また、Table 1にS90/3層3プライのCLTを対象に実施した大野式加力によるせん断試験の結果を示す。試験体B901で幅はぎ部の接着が無い材を用いたことから幅はぎ部の有無の影響も確認するため、Fig. 5に示すやや大型の加力を実施している。試験体の高さの中央にラミナ境界が配置されるよう製作した試験体KJは若干せん断強度が小さい傾向が確認されたが、それらの平均でも約4.6N/mm²の強度が確認された。

3) 材間の接着特性

本工法に用いる蝶形のCLTブロック同士の上下間の接着面は、ラミナ方向に対して角度が生ずる。このため、構造実験で用いたMx120のCLTに関して外層ラミナの傾斜角を変数として接着せん断強度を確認した。その実験結果⁴⁾をFig. 6に示す。接着強度は角度ごとに若干ばらつきは見られたが、圧縮強度と比べて角度の影響は小さい結果であった。また、実施工におけるCLTブロック間の接着面積の欠損を想定し、前述と同規格（別ロットで製造）のCLTのラミナ5層のうち内側3層のみ接着して0°および90°方向において加力した結果を、同図に追記した。この結果、部分的な接着強度は全面接着強度と概ね同程度であることを確認した。こ

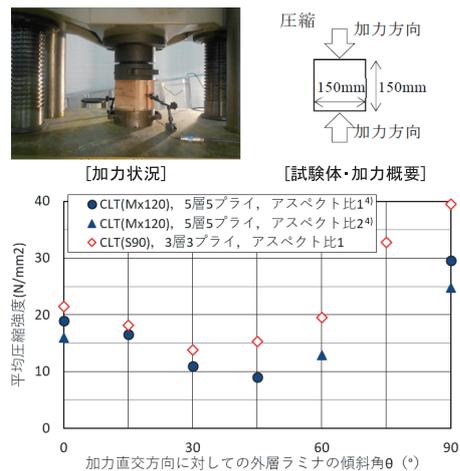


Fig. 4 圧縮試験の概要と結果
Outline of compression tests

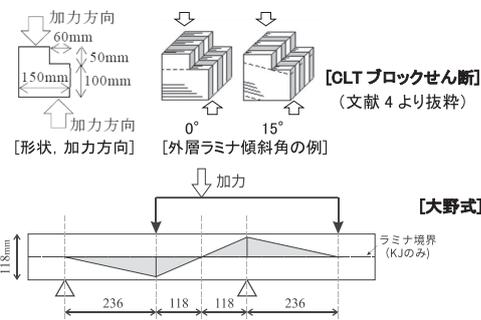


Fig. 5 せん断試験の概要（ブロックせん断⁴⁾、大野式）
Outline of shear test

Table 1 せん断試験（大野式）の結果
Results of shear tests

試験体名	平均せん断応力 τ ave-max[N/mm ²]	平均値 [N/mm ²]	
表層に ラミナ境界なし	K01	5.73	5.81
	K02	5.75	
	K03	5.95	
表層中央に ラミナ境界	KJ00	4.16	4.61
	KJ01	4.56	
	KJ02	4.63	
	KJ03	5.09	

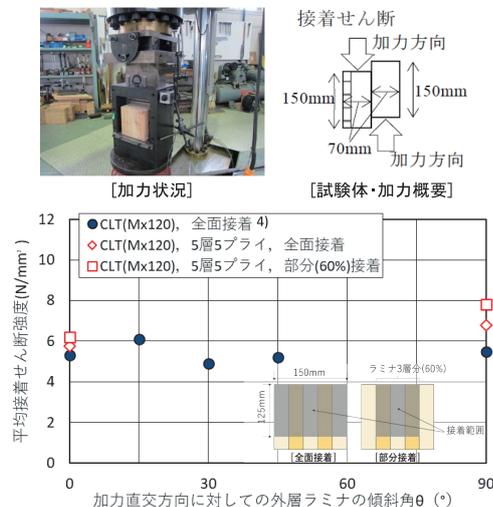


Fig. 6 接着せん断試験の概要と結果
Outline of bond-shear tests

の知見を参考に、後述の躯体とCLT間を接着接合している試験体B901においては、想定される躯体とCLT間の接着強度を下回らない範囲でCLT同士の接着面積の欠損を設けて構造実験を実施している。

3 構造実験

3.1 実験計画（実験変数、試験体概要、加力）

Fig. 7に試験体の形状および断面詳細を、Table 2に試験体一覧を示す。試験体は計4体で、いずれの試験体も約1/3縮小モデルとし、既存部を模擬したRC骨組を蝶形のCLTブロックによる壁で補強したものである。RC骨組に用いたコンクリート圧縮強度はTable 2中に、鋼材の機械的性質はTable 3に示す。試験体B802はコンクリートタイプ¹⁾の

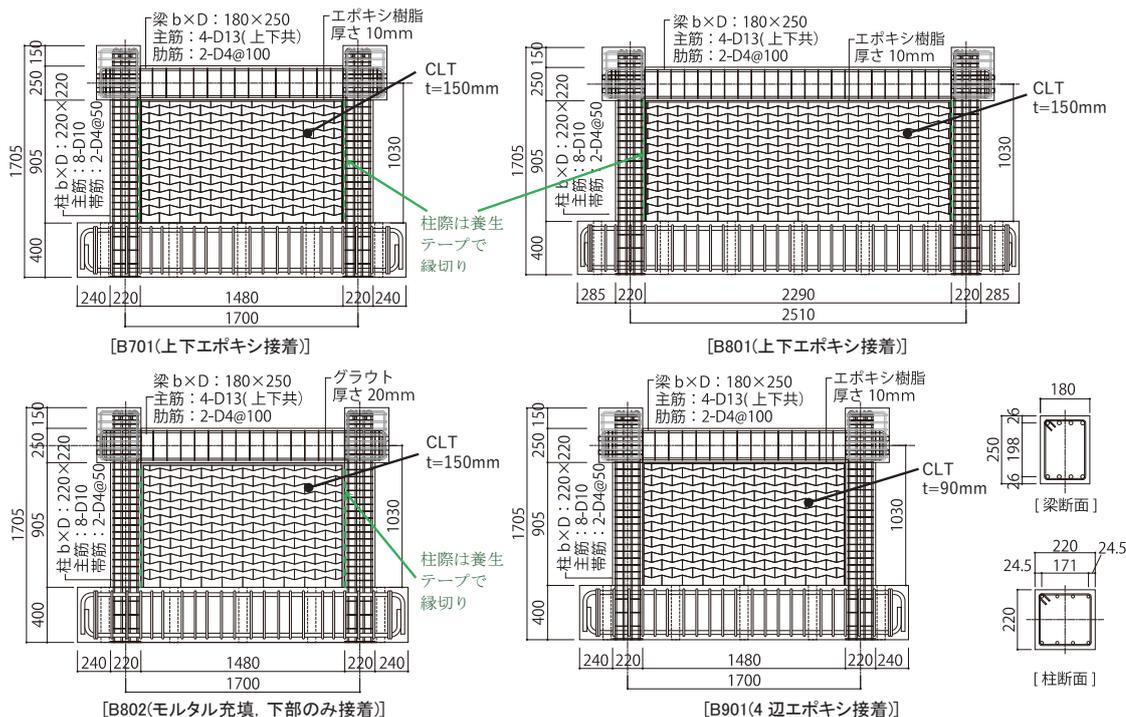


Fig. 7 試験体
Details of the test frames

Table 2 試験体一覧
Outlines of the test frames

試験体	特徴	RC骨組		コンクリート 圧縮強度, σ_B	柱軸力 比 n	CLTブロック
		柱	梁			
B701	上下接着	断面 $b \times D$: 220 × 220mm	断面 $b \times D$: 180 × 250mm	20.2	0.1	Mx120, 5層5プライ t=150mm
B801	〃, スパン大	主筋 8-D10	主筋 4-D13	27.6		
B802	モルタル充填	帯筋 2-D4@50	肋筋 2-D4@100	27.0 (モルタル 73.1)		
B901	4辺接着			24.6		S90, 3層3プライ t=90mm

Table 3 鉄筋の機械的性質
Results of tensile tests of rebars

試験体	径	部位	降伏強度 (N/mm ²)
B701	D4	帯筋/あばら筋	377
	D10	柱主筋	348
	D13	梁主筋	345
B801 B802	D4	帯筋/あばら筋	396
	D10	柱主筋	354
	D13	梁主筋	334
B901	D4	帯筋/あばら筋	401
	D10	柱主筋	357
	D13	梁主筋	361

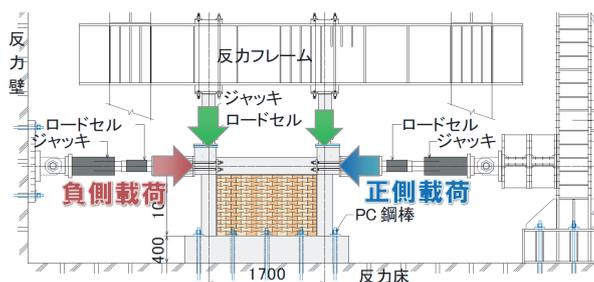


Fig. 8 構造実験の加力装置
Test apparatus

補強と同様に壁とRC骨組の間をモルタル充填としたもので、主に圧縮束による応力伝達を期待したものである。試験体はグラウトの水分がCLT小口から吸われることを防止するため、エポキシ接着材を事前に小口に塗布して硬化後に施工した。試験体B701とB801はグラウトの水分の吸収を避けることに加え、接着部のせん断応力伝達に期待してエポキシ樹脂を充填したもので、スパンを実験変数とした。なお、前記3つの試験体はコンクリートタイプと同様に柱側を養生テープで縁切りを行っている。試験体試験体B901は4辺とも接着接合し、壁へのせん断力がより効率よく伝達されることを期待した。CLTブロック形状は蝶形とし、ブロック間のかみ合いに加え、ブロック間に用いるエポキシ接着材の接着面積を増すことによる効果的な応力伝達を期待した。ブロックの板厚は試験体B701, B801, およびB802は制作の都合により実大に近い150mm(5層5プライ)としたが、その後実施した試験体B901は縮小を意図した90mm(3層3プライ)とした。CLTブロック間は2液混合のエポキシ樹脂をミキシングノズルのガンで塗り、押し付けることで接着した。なお、試験体B901では施工時の接着欠損を想定し、ブロック小口の1/3に養生テープを貼り付けた。

加力はFig. 8に示すように、柱に一定軸力を加えた後、水平に繰り返し载荷を行った。

3.2 実験結果 (荷重変形関係, 補強性能)

Fig. 9に試験体の最終破壊状況を、Fig. 10に水平荷重-層間変形角関係を示す。

モルタル充填タイプの試験体B802は壁の対角方向の圧縮力に応力伝達がなされたと考えられ、 $R = 10 \times 10^{-3}$ rad以

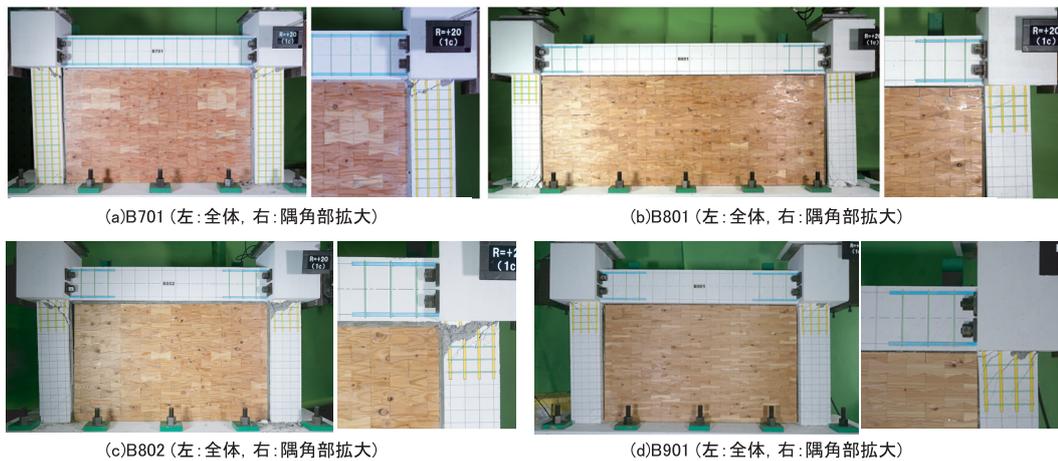


Fig. 9 試験体損傷状況 ($R = 20 \times 10^{-3}$ rad時)
 States of test frames ($R = 20 \times 10^{-3}$ rad)

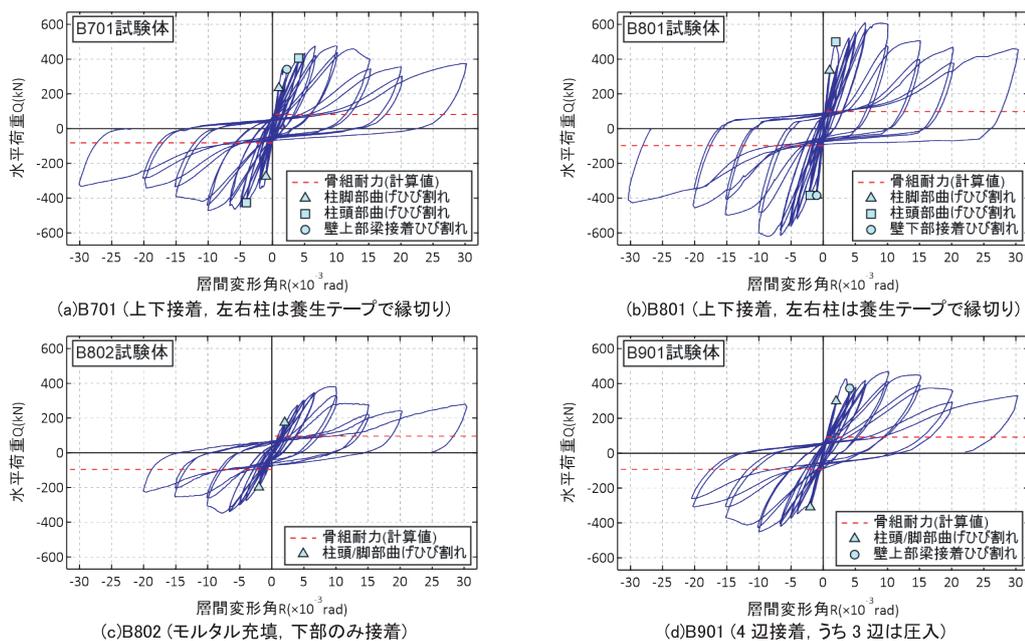


Fig. 10 水平荷重Q-層間変形角R関係
 Lateral load Q versus inter-story drift ratio R relationships

降に柱に顕著なパンチングシアによる損傷が生じて耐力が決定した。上下接着タイプの試験体B701およびB801は $R = 1.0 \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ から接着接合部（B801は壁上側の梁下、B802は壁下側）のコンクリート側にひび割れの発生が確認されたが、その後も耐力は上昇した。最終的に、接着接合部のずれの進行とともに壁が柱へ押し付けられ、最終的に柱へのパンチングシアによる損傷が生じて顕著な耐力低下が生じた。

上下接着タイプの試験体B701の耐力が同スパンのモルタル充填タイプの試験体B801と比べて高い耐力を発揮していたことは、接着剤による躯体（梁）と壁の間のせん断伝達の寄与があったことを示唆している。また、上下接着タイプの試験体B801と同タイプでロングスパンのB802において、最大耐力時に試験体B802が高い耐力を発揮した原因は、上下の躯体との接着面積の差および木質材のストラット角度による柱との接触部におけるCLTの圧縮降伏強度の差（2章参照）が想定されるが、接着接合部のずれ変形が顕著であったことおよび木質材の端部の圧縮降伏がほぼ見られなかった観察結果より、接着面積の差による影響によるものであったと推測される。

4辺接着した試験体B901は $R = 4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ から壁上側の接着接合部のコンクリート側にひび割れの発生が確認されたが、上下接着タイプのB801試験体と同様にその後も耐力は上昇し、その後、接着接合部のずれの進行とともに耐力が頭打ちし、 $R = 20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に柱のパンチングシアによる損傷が顕著となった。この試験体も最大耐力については接着接合部の耐力で決定したと考えられる。B901はCLT壁厚が他の試験体より薄いため直接比較することは難しいが、同スパンで上下接着のみの試験体B801と比べて躯体との接着面積が3/5倍で小さいにもかかわらず同程度の耐力を発揮していることが分かる。これは、試験体B901は4辺接着していることから、壁上下だけでなく左右の柱側からも接着によるせん断伝達が行われるため、壁全体に均一に近いせん断応力分布となることで、上下接着のみの試験体と比べて効率的にせん断力が伝達されたと推測される。また、試験体B901はCLTブロック間の接着面積の1/3を縁切りにより欠損させているが、CLTブロック間の接着部分の損傷は確認されなかった。これは、CLTブロック間の接着強度が躯体とCLT間の接着接合部耐力を上回っていたためと考えられる。

3.3 耐力評価

本節では、前節で確認された破壊状況を参考に補強耐力の評価方法を検討する。破壊状況よりモルタル充填タイプ試験体B801は柱パンチングシア破壊により耐力が決定したと想定すると、文献⁵⁾に示されるRC壁補強の接合部破壊型の補強耐力を参考に梁下面の接合材のせん断耐力の項を0とした(1)式で評価できると考えられる。

$$Q_{u1} = Q_c + p_c Q_c \quad (1)$$

ただし、パンチングシア破壊が生ずる前に壁板が対角方向で圧縮破壊に至った場合はその圧縮強度が補強効果の上限となる可能性がある。そこで、Fig. 11に示す対角の圧縮ストラットを仮定し、対角方向の圧縮耐力を算定し、その水平方向成分が補強効果の上限とした。CLTの圧縮強度は2.2節の実験から角度依存性が確認されており、B701、B802はMx120/5層5プライ/60度加力/アスペクト比2の試験（Fig. 4）で得られた強度を用い、スパンの長いB801は同アスペクト比の角度60度、90度の結果から線形補完で対角方向の圧縮強度を算定した。また、S90/3層3プライのB901は60度方向の試験結果を用いた。上記の計算では、いずれの試験体でもパンチングシア破壊が先行する結果であった。

接着タイプの試験体は、文献^{6),7)}を参考に既存躯体コンクリートとCLTブロック壁の接着接合部強度から算定した接合部耐力に左右の柱耐力を累加した(2)式により算定する。ただし、上下のみ接着した試験体B701およびB801については、柱側面と壁の縁を養生テープで縁切りしているため、梁下の壁のせん断応力分布が一様でないと考え、パラボラ状の応力分布を仮定し平均接着強度を2/3倍として算定した。

$$Q_{u3} = 2 \times Q_c + Q_{ja} \quad (2)$$

Table 4に、これらの計算結果および実験結果との比較を示す。いずれも実験結果と計算結果の比は1.10~1.67であり比較的精度良く評価できていることが確認される。なお柱耐力は、軸力変動を無視し柱主筋は1段筋のみ考慮して、文献⁸⁾を参考に算定した。

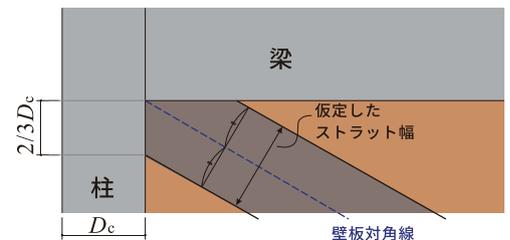


Fig. 11 仮定した対角の圧縮ストラット
 Assumed diagonal compression struts

4 施工方法

施工方法を検討するにあたり、まず縮小試験体の製作時に施工手順を検討し、最終的に実大サイズにて施工試験を実施して確認した（Fig. 12, Fig. 13）。施工手順は、最初に1段目のCLTブロック底面に接着剤を塗布し、既存躯体

Table 4 実験結果および計算結果
 Measured and calculated results

試験体	実験値 ^{※1} (kN)	計算値 (kN)	実験値 /計算値 ^{※1}	実験値 /(2×Q _c) ^{※1}	個別計算値				
					Q _c (kN)	_p Q _c (kN)	Q _{ja} (kN)	Q _w (kN)	Q _{ws} (kN)
B701	476 (-473)	334	1.42 (1.42)	5.85 (5.81)	40.7	143.6	252.8 ^{※2}	413.1	985.5 ^{※3}
B801	610 (-621)	555	1.10 (1.12)	6.24 (6.35)	48.9	182.6	457.2 ^{※2}	618.3	1532.3 ^{※3}
B802	381 (-347)	228	1.67 (1.52)	3.95 (3.60)	48.2	179.5	-	413.1	972.0 ^{※3}
B901	470 (-451)	343	1.37 (1.32)	5.12 (4.92)	45.9	167.4	251.0	372.8	605.8 ^{※4}

Q_c: 柱耐力, _pQ_c: パンチングシア耐力, Q_{ja}: 接合部接着耐力, Q_w: CLT対角圧縮耐力時水平力, Q_{ws}: CLTせん断耐力
 ※1: 括弧内は負側, ※2: 上下のみ接着のため2/3低減, ※3: 壁板の水平断面積×4.5N/mm², ※4: 壁板の水平断面積×4.61N/mm²

体と接合する。次に、CLTブロック上面に接着剤を塗布してCLTブロックを積層し、一枚のCLTブロック壁を構築する。実大の施工試験においてはCLTブロック間の接着範囲は試験体B901で設けた接着欠損の割合をふまえ、接着面積が全面積の2/3以上を目標として積み上げた。積層時に一度ブロックを取り外して接着面を目視確認したところ目標としている接着面積が確保されていることが確認できた。柱際および上部の梁底面の3辺は最終的にエポキシ樹脂を圧入するためのクリアランスを設けており、CLTブロックの積層が完了すると、既存躯体と接合されていない3辺にエポキシ樹脂を充填して接着接合にて既存躯体と一体化する。なお、充填するエポキシ樹脂は圧入できる液体状のものとし、充填するために木製の型枠をしたのち、ポンプにて圧入を行う。これらは文献⁷⁾と同様の方法であり、試験体および実大施工試験いずれにおいても既往の樹脂の粘性や型枠のノウハウを活用することで大きな問題なく施工することができた。



Fig. 12 施工状況 (縮小試験体)
 Construction status (small-scale test frames)



Fig. 13 実大施工試験を実施したモックアップ
 Mock-up of a full-scale construction test

5 おわりに

以上の一連の実験および施工試験の結果を元に、本工法は尾鷲市役所への耐震補強プロジェクトにおいて適用された。この耐震改修は、耐震性能の向上に加えて地域の特徴を生かしたりリニューアル⁹⁾が期待され、その一つとして地産材である尾鷲産ヒノキが本工法のブロックに活用された (Fig. 14)。尾鷲産ヒノキは比較的良質であり、前述したカラマツに近いグレードのラミナが得られることから、本実験結果による構造的な確認試験の知見を活用して設計された。さらに、2章で述べた3軸式NC加工機を活用してブロック表面にも凹凸が設けられ、意匠的なテクスチャーを有する耐震壁として適用された (Fig. 15)。これは、当初に期待していた木質材の軽さによる施工性向上に加え、加工の容易さという木質材のもう一つのメリットが積極的に生かされた事例である。

耐震改修促進法の改正や補助金の助成制度により耐震化は着々と進んできているが、一方で建物ごとの様々な制約条件により未だ耐震補強に踏み出せていない建物も多く残されている。本技術は耐震改修の制約条件の一つである施工性に関して、木質材の軽さを利用して作業性を高めることで採用できる条件が広がるだけでなく、前述した

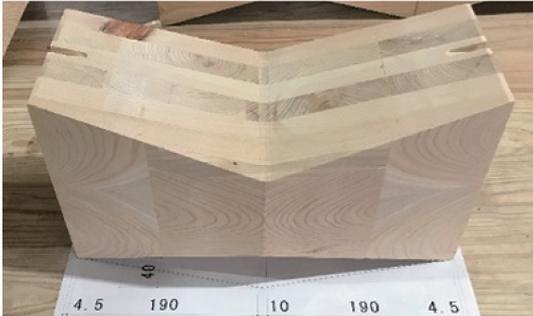


Fig. 14 尾鷲産ヒノキを用いたブロック
Blocks made of Japanese cypress from Owase



Fig. 15 適用事例
Examples of application

適用事例のように意匠性が活かされることにより、従来は補強部材を取り付けることが好まなかった箇所への利用も期待される。環境配慮のための木材活用や地域活性のための地場材利用を耐震補強の動機づけとして訴求していくことで、一層の耐震化率向上へ貢献していきたい。加えて、本工法を通じて木材活用やその高度な加工技術に触れ、意匠的な木材の様々な活用アイデアが喚起され、一層の木材活用がなされていくことに繋がれば幸いである。

昨今、建設業の施工分野においては少子高齢化に伴う労働人口不足が課題となりつつあるが、本技術を通じてブロックの製造が機械により自動化されること、さらに1ピースあたりのブロック重量はコンクリートと比べて約1/4と軽量化されて少人数かつ短工期で施工することができた。これらの知見は、労働人口不足という今後の社会問題への活用を検討していきたい。

謝辞

本工法は竹中工務店と道総研林産試験場、芝浦工業大学、北海学園大学の共同研究により開発を実施しました。ブロックの加工技術においては道総研林産試験場の職員の方にご協力をいただきました。CLT材の要素試験においては、北海学園大学植松研究室の学生の皆様のご協力をいただきました。芝浦工業大学石川研究室の学生の皆様にはブロック精度の調査にご協力いただきました。共同研究関係者各位に厚く御礼申し上げます。さらに、本ブロックの実適用にあたっては、ブロックの製品化はびえいからまつ協同組合の皆様のご多大なご助力をいただくとともに、施工方法検討においては(株)TAKリビング、ボンドエンジニアリング(株)およびコニシ(株)のご協力をいただきましたので、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 石川裕次, ウサレムハッサン, 川野翔平, 掛悟史: 蝶形ブロックを用いたRC耐震壁の耐震性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1081-1086, 2016年
- 2) 林野庁: 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律, 2010年5月
- 3) 林野庁: CLTの普及に向けたロードマップについて, 2014年11月
- 4) 横山梓織, 植松武是, 石原亘, 大橋義徳, 高梨隆也, 掛悟史: ブロック状の道産カラマツCLTにおける繊維方向が各種強度に及ぼす影響, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.91, pp.79-82, 2018年6月
- 5) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建物の耐震改修設計指針・同解説, 2017年7月
- 6) 宮内靖昌, 福原武史, 毛井崇博: 低強度コンクリートRC部材の耐震補強性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1015-1020, 2009年7月
- 7) 福原武史, 栗原高明, 須賀順子: 木質材料 (CLT, LVL) を耐震壁として用いたRC造建築物の耐震改修工法, コンクリート工学, Vol.54, No9, pp.953-958, 2016年9月
- 8) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, 2017年7月
- 9) 竹中工務店: HPリリース「尾鷲ヒノキを活用した尾鷲市役所本庁舎の耐震改修工事が完了～新開発部材「CLT エストンブロック」を初適用するなど、様々な耐震補強工法を採用～」, <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/04/05/>, (最終確認日2021.7.19)
- 10) 石川裕次, 掛悟史, 井戸裕勇樹, 福原武史, 大橋義徳, 石原亘, 植松武是: 蝶形ブロックを用いたCLT耐震壁の耐震性能に関する実験的研究 (その1) ~ (その2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.19-22, 2019年9月