

木質ブロックを用いた組積造の構造性能に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON MASONRY STRUCTURE USING THE WOODEN BLOCKS

山本 明日加

Asuka YAMAMOTO

米子工業高等専門学校 専攻科 建築学専攻

Yonago National College of Technology, Advanced course,
Department of Architecture

In recent years, effective use of timber from thinning is demanded strongly. Then, the wooden blocks made of the plywood using timber from thinning were devised to make good use of them. However, the masonry structure using such wooden blocks had been not used in Japan. Because structural characteristics on wooden blocks are unknown, the basic structural characteristics of wooden blocks are clarified by the experiment. The structure characteristics from these experimental results are summarized below.

- (1) Axial ultimate strength of the wooden blocks becomes equal with local part strength of bottom of the wooden blocks.
- (2) The restoring characteristics of the wooden blocks subjected to lateral load presented typical slip characteristics.

The experiment for two or more wooden block specimens and the experiment for the wooden blocks subjected to lateral loading perpendicular to the block plate must be conducted for next stage.

Key Words: wooden blocks, masonry structure, structural characteristics

1. 緒言

近年、貿易自由化や建材の変化等により、日本の木材自給率は低下の一途をたどっている。このため地場産の木材は、輸入材に対する価格競争力をなくしており、林業は益々衰退の状況にある。一部では人工林が管理できずに倒木となり、それが放置されているという危機的状況にある。放置された山は貯水機能が低下し、日本の急勾配の山では大量の雨が降り続けると、山はえぐられ、雨水は汚濁水となり一斉に流れ出し、水害をもたらす事となる。このような状況を改善するためには地場産材の需要を喚起するとともに、間伐材の有効利用が強く望まれるところである。そこで考案されたのが、間伐材を用いた合板から作製される木質ブロックである。本木質ブロックは、積層していくことにより壁を構成することができることから、仮設壁や間仕切壁としての利用が期待されているとともに、建築構造要素（耐力壁）としても使用できる可能性が期待されている。しかし、このような木質ブロックによる組積造は、国内では前例がなく、その設計体系は存在していないのが現状であり、木質ブロックによる積層壁がどのような構造性能を有しているのかは不明である。そこで、本研究は建築構造要素としての耐力壁をこの木質ブロックを用いて構築できるかどうかの最も基礎的な構造性能を、実験により明らかにし、本木質ブロックによる組積造が成立するかどうかの実現可能性評価を行うことを目的としたものである。本報告では、最初に行った木質ブロック単体の基本構造性能評価実験の結果について報告する。

2. 木質ブロックの概要

木質ブロックは、間伐材を含む地場産木材から製造された合板（標準合板厚； $t=7\text{mm}$ ）を用いて、図1に示すような形状に製造されたものである。木質ブロックの標

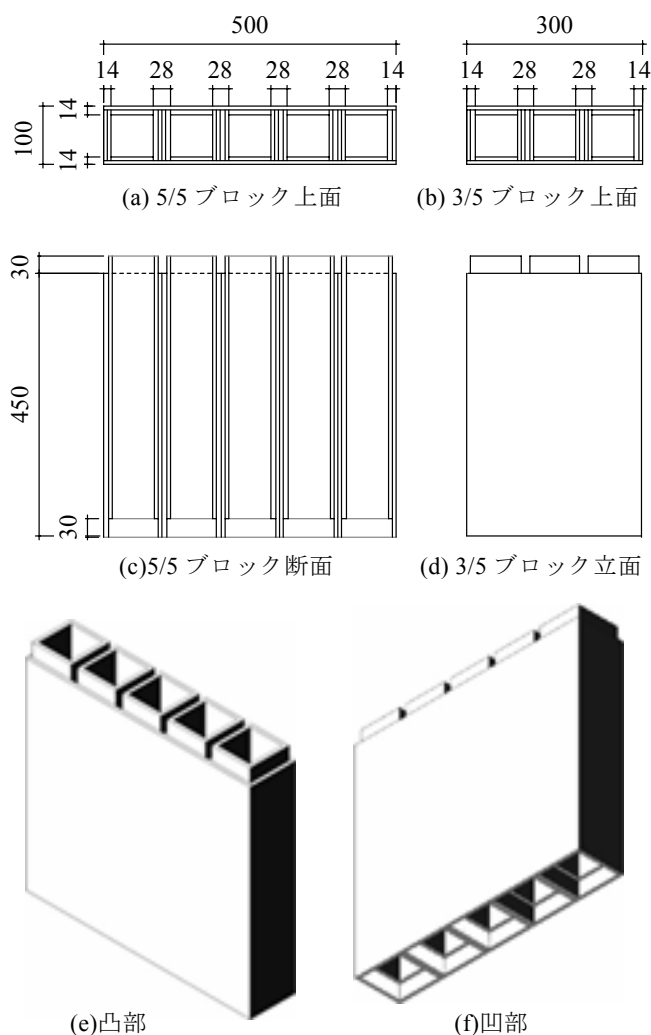


図1 木質ブロックの概要

準形（以下 5/5 ブロックと呼ぶ）は合板 1 枚から製造され、5 個のボックスから構成され、 $W \times H \times T = 500 \times 450 \times 100$ のサイズである。なお、ブロックを構成するボックスの個数を変えることにより、標準形以外のブロックが製造可能であり、3 個から 9 個の計 7 種類が製造されている。図 2 には、本木質ブロックを用いた組積造による建築構造物の壁面の構成イメージを示している。即ち、本組積造は、建設・解体の容易性や再利用を可能にするため、木質ブロックの下部凹部を、下部ブロックの上部または土台上部の凸部にはめ込むとともに、積層したブロックの最上部には臥梁に相当する頭つなぎ梁を渡し、ボックス内に挿入した長ネジボルトで各ブロックを締め付け大面積の壁面を構成する構造をとる。よって、重機などの特別な設備を要することのない構法であることが特徴である。

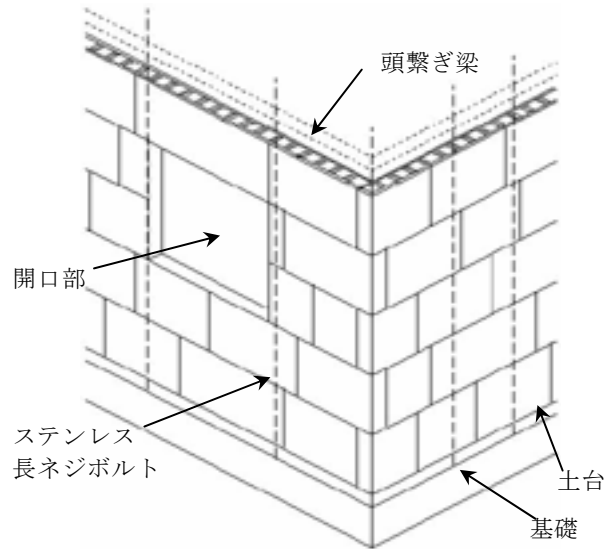


図 2 木質ブロックによる壁面構成イメージ

3. 実験装置

3. 1 実験装置の概要

写真 1 に示すような、木質ブロックを実験供試体とした鉄骨造の反力架構（反力フレーム）を作製した。反力フレームは設置する実験室の天井高さを勘案し、最高高さ 2200mm として計画している。アングル (Ls-90×90×6) 2 枚を背あわせに使用し、柱として用いる。接合部はベースプレート (t=12mm) を用い、M20 の中ボルトにより締め付ける（機械締め）。反力フレームの組み換えは全て人力のみで行うため、各部材要素は 2 名程度でも持ち運びのできる重量とし、アングルは最長寸法 (1.825m) の部材で、重量は約 $1.48 \times 10^4 \text{ kN}$ (15.111kg) である。また、床に 400mm ピッチで孔が開いており、290mm 厚の床スラブ下面で柱脚部を固定している。荷重装置は正負交番荷重を可能とする複動シリンダー（ストローク 250mm）、100kN の荷重性能をもつオイルジャッキを使用する。

本実験で使用する反力フレームを図 3 に示す。オイルジャッキは上下 2 箇所を設置可能なように設計してある。なお、反力フレームは前述したように組み替えが可能であり、鉛直方向からの加力も可能である。

3. 2 反力フレームの耐力

反力フレームの部材要素は、アングル 2-Ls-90×90×6 を用いるため、接合に用いるボルトは縁端距離が確保できるボルト径で最大の M20 とした。又、重量を抑えるために、1 部材に 1 本での使用となることから、反力フレームの耐力はボルトの二面せん断で決まり、55.37 kN の能力を有する。

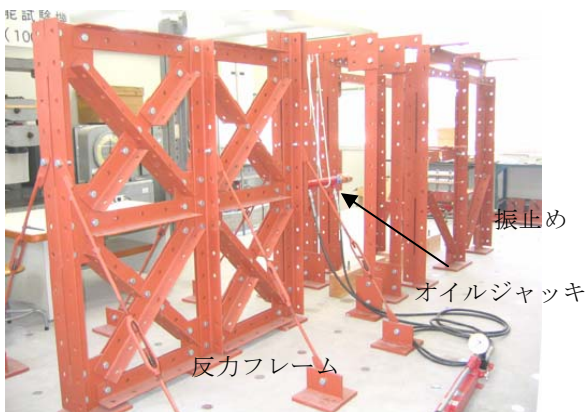


写真 1 本実験で用いた反力フレームと振れ止め

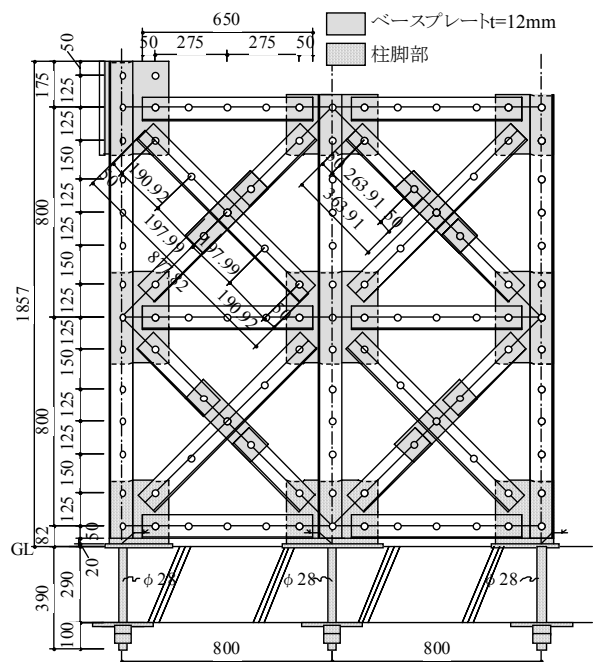


図 3 反力フレーム正面

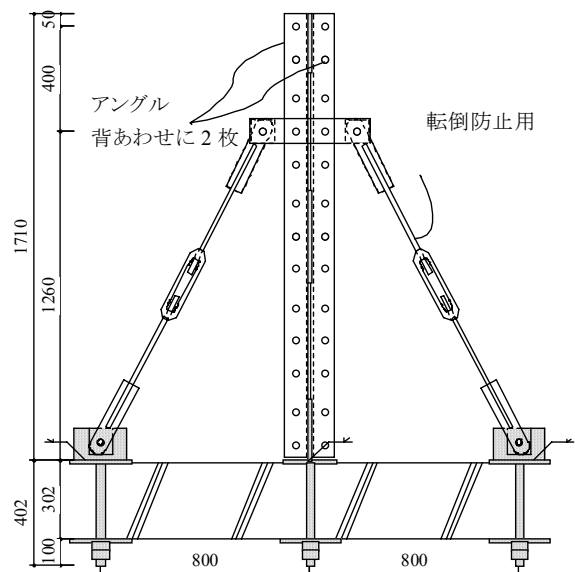


図 4 反力フレーム側面

4. 鉛直載荷実験

4. 1 実験目的と方法

鉛直載荷実験は、木質ブロック単体の軸方向の強度、変形に関する基本的特性および破壊形式を調べることを目的とする。載荷は万能試験機で行う。各供試体は凸部をカットし、凹部には、はめ合わせて使用する実際の状態に近づけるため木片（杉：72×72×30mm）をはめ込んだ。更に、ブロックの上部に鉄板（600×150×90mm）を設置し、荷重が均等にかかるようにする。荷重はピーク値まで段階的に増していき、荷重が増加しなくなったところで載荷を中止し、破壊形式を確認する。

実験は平成17年6月13日に3/5ブロックを1体（3/5ブロック①）、11月25日に5/5、3/5ブロックをそれぞれ2体ずつ（5/5ブロック①②、3/5ブロック②③）行う。

4. 2 実験結果および考察

表1には圧縮強度、ヤング係数およびJAS基準値を示す。表中の基準圧縮強度は、JAS規格¹⁾にある板厚6mm、積層数3における、最大値（12.0N/mm²）と、最小値（10.5N/mm²）を示している。なお、供試体は7mmの合板を用いているが、JAS規格がないため、6mm厚の基準許容応力度としている。一方、同表中のヤング係数はJAS規格¹⁾にある「構造用合板（1級）の基準弾性係数」の板厚6mm、積層数3における値（4.5kN/mm²）である。

実験より得られた強度を有効断面積（図5(a)参照）で除して求めた圧縮強度は11.90～18.57 N/mm²であり、JAS基準値の上限値を上回る値となった。このような結果になった理由としては、基準特性値が材の欠陥による強度低下や劣化の影響等を勘案して小さめに決定されているからである。（一般に基準強度特性値の決定は、“標準試験体に対する標準試験（JIS、ASTM規格などがある）により得られる強度分布の信頼水準75%における5%下側許容限界値とされる。”¹⁾）

表1に示すヤング係数は、応力-歪曲線における圧縮強度の1/3と2/3を結んだ直線の勾配から算定し、ヤング係数計算結果は2.65～6.85kN/mm²と大きなばらつきを示したが、平均を取ると4.01kN/mm²でありJAS基準値（4.5kN/mm²）を若干下回る結果になった。

なお、はめ込んだ木片は杉材であり圧縮基準材料強度は合板の強度を大きく上回っているため、はめ込んだ木片は合板より先に破壊することはないと考えられる。

図6、図7には各ブロックの応力-歪関係を示す。それぞれの図から明らかなように応力レベルが低い領域では勾配がゆるく、その後応力の増加に伴い一定値となっていることがわかる。これは図8に示すように、荷重レベルの増大に伴って外側の面材のみが荷重を負担している部分断面有効状態から、内側の面材も荷重を負担する全断面有効状態になり生じたと考えられる。すなわち、供試体の凹部は、合板2枚で構成されているうちの内側材が延長されていないため、載荷後最初に外側の面材が力を受け、変形が進んだ後、内側の面材に力が伝わったと考えることができる。

最終的な破壊モードは、凹部の局部圧縮破壊モードとなった。この理由としては、本木質ブロックは合板2枚を貼り合わせたパネルを主構造としているが、凹部は、はめ合い構造をとるため1枚で構成されているとともに、はめ合わせを良くするための切込みが設けられている。したがって、この部分が弱点となっていると考えられるためである。

表1 実験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	JAS 基準値 (N/mm ²)	ヤング 係数 (kN/mm ²)	JAS 基準値 (kN/mm ²)
3/5ブロック①	18.57	12.0～ 10.5	2.65	4.5
3/5ブロック②	16.64		3.41	
3/5ブロック③	16.64		3.34	
5/5ブロック①	11.90		3.81	
5/5ブロック②	13.44		6.85	
平均	15.438		4.01	

(注)有効断面積

圧縮強度(図5(a)) 3/5: 78.12cm² 5/5: 130.20cm²
ヤング係数(図5(b)) 3/5: 144.48cm² 5/5: 240.80cm²

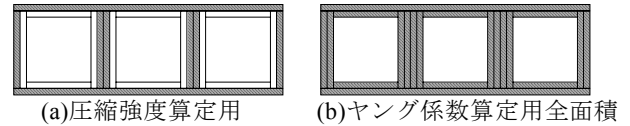


図5 有効断面積（3/5ブロック）

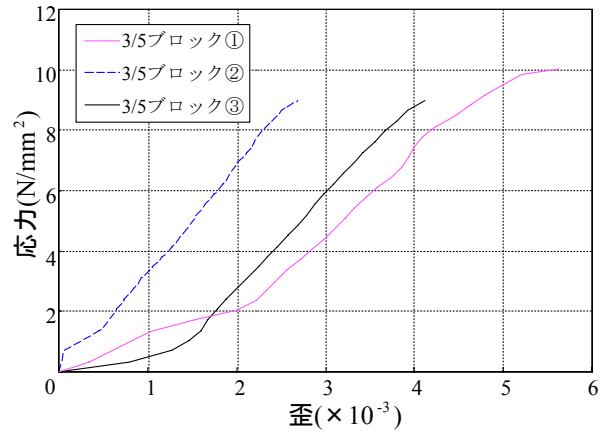


図6 3/5ブロック 応力-歪関係

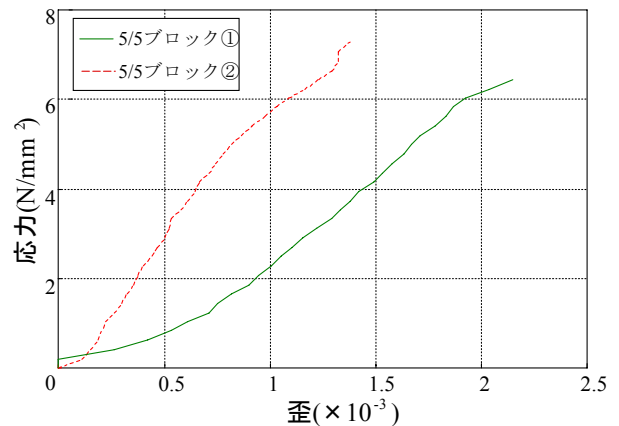


図7 5/5ブロック 応力-歪関係

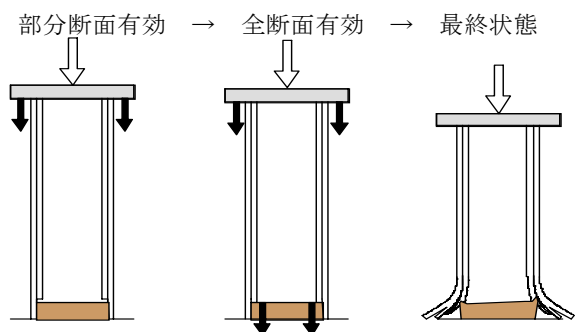


図8 荷重の伝達(供試体断面)

5. 水平荷重実験

5. 1 実験目的

水平荷重実験は、木質ブロック単体の水平方向の荷重変形関係および破壊モードを求め、基本的特性を明らかにすることを目的とする。図9に供試体5/5ブロックの設置状況を示す。供試体は杉材の土台と頭つなぎ梁で挟み、ブロックのボックス(縦孔)に通したステンレス長ネジボルト(φ10)で締め付ける。荷重は、オイルジャッキにより行う。この時オイルジャッキに曲げモーメント及びせん断力が作用しないよう2ヶ所のピン支点で接合している。なお、 δ_u は変位計④の変位を示す。実験は平成17年7月30日に行った実験を実験(1)とし、12月3日に行ったものを実験(2)と記す。

5. 2 水平荷重実験 (1)

5. 2. 1 実験方法

変位計は図8に示すように1~5までの計5箇所に設置し(δ_6, δ_7 は測定していない)、荷重は荷重制御により、2kN刻みで各1回の正負交番加力とする。

5. 2. 2 実験結果と考察

図9に荷重-水平変形関係を示す。 δ_3 と δ_4 は測定間距離の差が少ないにも関わらず、ずれが生じている。また、 δ_5 は加力時に、変形の幅は少ないが除荷時は変形したままであり、荷重が反転すると一気に元の位置に戻る。これは、供試体がすべっていることを表している。図10は荷重-鉛直変形関係を示したものである。各測定点での計測結果から、 δ_1, δ_2 共に(-)と(+)側で加力時の浮き上がりに違いが見られた。各変形、測定間距離を図11に示すとおりである。供試体が剛性変形したと仮定した場合の回転角は

$$\theta = \frac{\delta_3}{h_3} = \frac{\delta_4}{h_4} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{l} \quad (5.1)$$

となるが、実験結果の θ とは一致しない。以上のことから、図12に示すように変形したと考えられる。即ち、全変形は曲げ変形とせん断変形、すべり(梁部、供試体、土台それぞれのずれ)、剛体回転変形をたしたものである。今回の実験では、鉛直方向の変位測定点が2箇所しか設置していなかったため、ブロック脚部と頭つなぎ梁でロッキング変形が異なっているかどうかの明確な結果が得られなかった。以上から、実験(2)では鉛直変位測定点をブロック脚部に2箇所増やして行う必要がある。

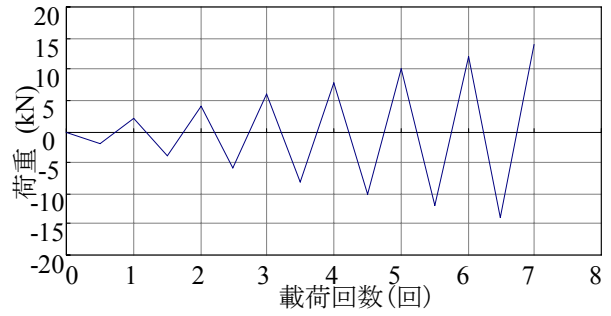


図9 荷重制御による荷重履歴

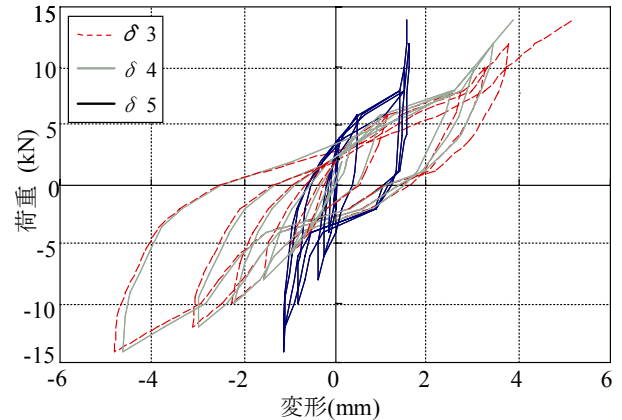


図10 荷重-水平変形関係

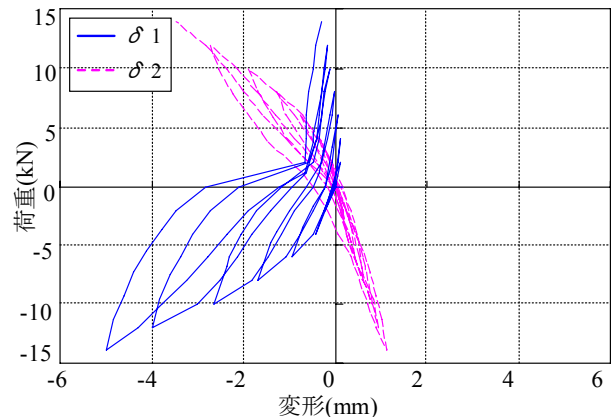


図11 荷重-鉛直変形関係

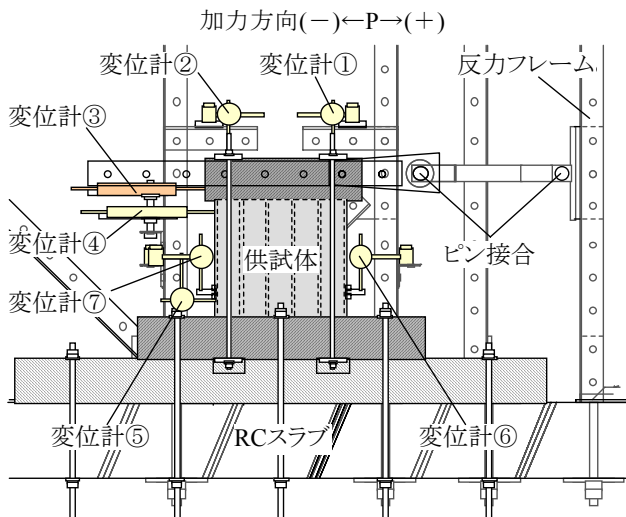


図8 供試体設置図

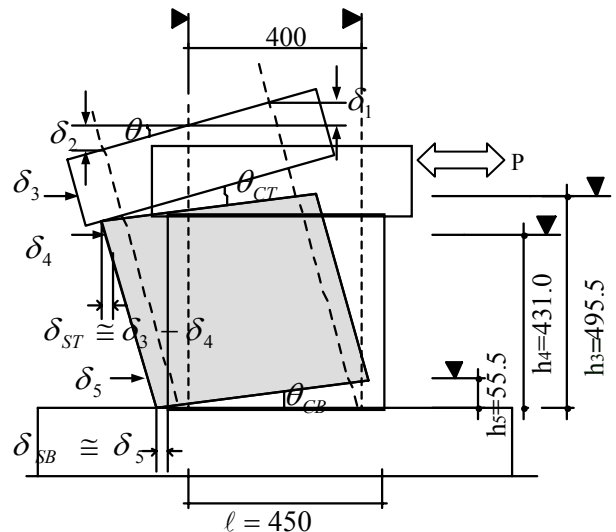


図12 供試体のせん断変形

5. 3 水平載荷実験 (2)

5. 3. 1 実験方法

実験 (1) の結果を踏まえて、12 月 3 日に行った実験 (2) では、鉛直変位測定点を 1~7 までの計 7 箇所に増やし、載荷は変位制御により行い、載荷履歴 (各 2 回の正負交番加力) は図 13 に示すとおりである。

5. 3. 2 実験結果および考察

本実験で測定した結果を図 14, 図 15 に示す。図 14 は荷重—鉛直変位関係を示したものである。荷重と (δ_1, δ_2), 荷重と (δ_6, δ_7) の関係を見るとロッキング変形が生じていることがわかる。図 14 は $\delta_3, \delta_4, \delta_5$ の荷重-水平変位関係を示したものである。各々の復元力特性は逆 S 字型の典型的なスリップ型となっている。

図 16, 図 18 は本実験で測定した変位成分を、曲げ・せん断変形 ($\delta_M + \delta_Q$), ロッキング変形 (δ_θ) およびすべり変形 (δ_S) の成分に模式的に分解したものである。いずれも木質ブロックは剛体と仮定している。図 16 は、図 14 から見て取れた、ロッキング (回転) である。以下の式から各所の回転角を求めることができる。

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 \quad (5.2)$$

$$\theta_1 \equiv \frac{\delta_6 - \delta_7}{L_3}, \quad \theta_2 \equiv \frac{\delta_1 - \delta_2}{L_2} \quad (5.3)$$

$$\delta_\theta = \theta_1(h_1 + h_2) + \theta_2 h_2 \quad (5.4)$$

図 17 に荷重—ロッキングによる水平変位関係を示す。同図からわかるように、塑性変形の割合が非常に小さいことがわかる。即ち、このロッキングによる水平変位は、長ネジボルトの伸びによって生じたと考えられる。図中に示した計算値は以下の式によって求めたものである。

$$P = K_R \cdot \delta_R = \frac{E_S A_S D^2}{\ell_S h^2} \cdot \delta_R \quad (5.5)$$

ここに、 ℓ_S は長ネジボルトの長さ、 E_S は長ネジボルトのヤング係数、 A_S は長ネジボルトの有効断面積である。実験結果が上式による計算値を下回ったのはブロック脚部の土台へのめり込みと、ブロック脚部の局所的な圧壊のためと推測できる。図 18 は、図 15 から見て取れた、すべり変位の成分を模式的に分解したものである。木質ブロックは、施工性を上げるため、各ブロックの接合部である凹凸部に隙間を設けている。そのため水平力によるすべりは大きくなる。

図 19 荷重—すべり関係を示したものである。図中の S_1 はブロック脚部のすべり量、 S_2 は頭つなぎ梁とブロック間のすべり量である。

$$S_1 = \delta_5, \quad S_2 = \delta_3 - \delta_4 \quad (5.6)$$

$$\delta_5 = S_1 + S_2 \quad (5.7)$$

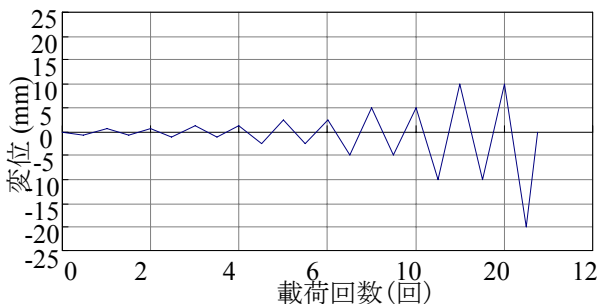


図 13 変位制御による載荷履歴

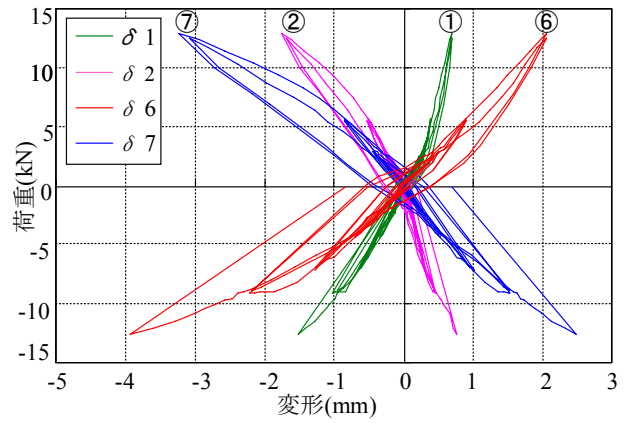


図 14 荷重—鉛直変位関係

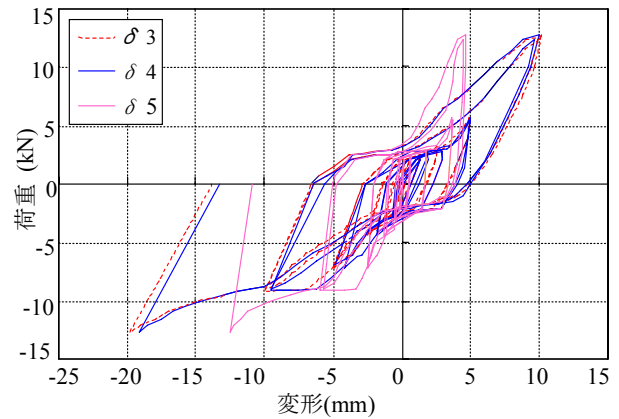


図 15 荷重—水平変位関係

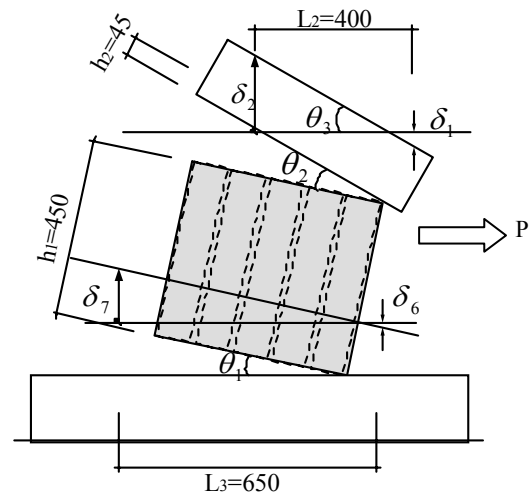


図 16 ロッキング変位成分の分解

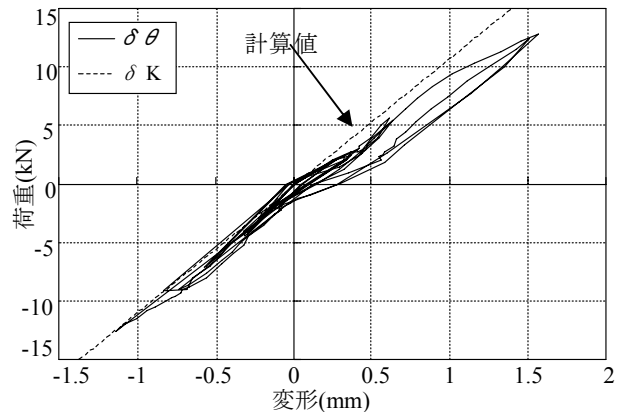


図 17 荷重—ロッキングによる変位関係

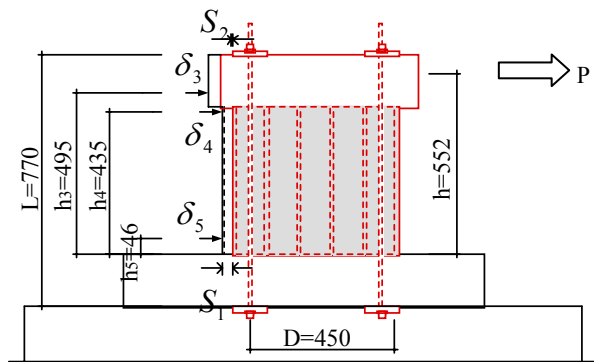


図 18 すべり変位成分の分解

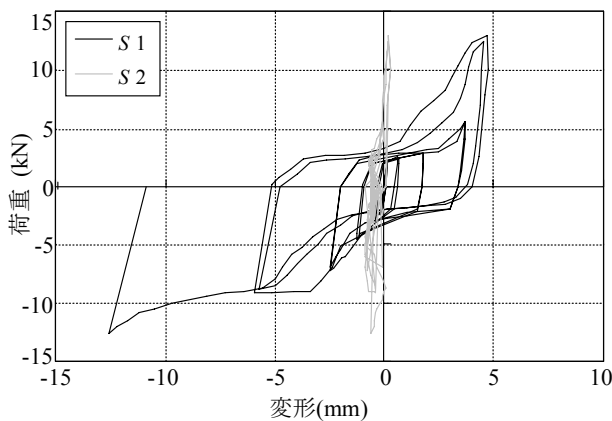


図 19 荷重—すべり関係

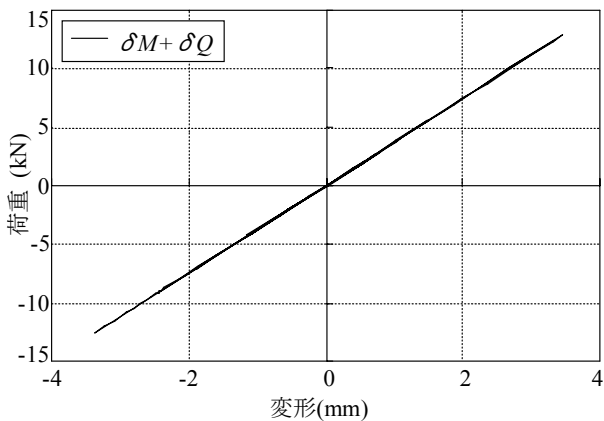


図 20 荷重—曲げ・せん断変形関係

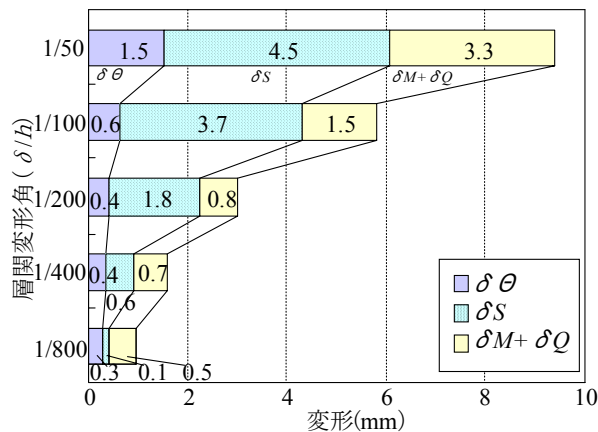


図 21 変位の成分分解

同図よりブロック脚部のすべりによる変形が全変形の復元力特性を支配していることがわかる。すなわち、荷重- δ_S (S_1) 関係において明らかなように除荷時は変形が一定であるが、荷重が反転するとすべりが生じ元の位置に戻っていることがわかる。全すべり δ_S は S_1 と S_2 の和となるが、 S_2 はきわめて小さいため、ここでは無視し、次式が成立するものとする。

$$\delta_S = S_1 \quad (5.6)$$

図 20 はブロックの全変形から曲げ変形とせん断変形（全水平変形からロッキング変形とすべり変形を引いたもの）のみを取り出したものである。同図よりグラフがほぼ線形関係にあることから、曲げ変形とせん断変形は弾性状態であるということがわかる。

図 16, 図 18 に示した変形の成分と全変形 δ は下式の関係で表すことができる。

$$\delta = \delta_\theta + \delta_S + (\delta_M + \delta_Q) \cdots \quad (5.7)$$

ここに、

$$\delta_M = \frac{Ph_3}{3EI}, \quad \delta_Q = \frac{Ph}{GA} \quad (5.8)$$

であり、() 内はパネルのみの変形である。図 21 に各層間変形角のピーク時における割合の推移を示した。同図よりロッキング変形は変形量が増えるにつれ全変形量中に占める割合が小さくなっていることがわかる。すべり変形は変形量が増えるにつれ全変形量中に占める割合が大きくなっている。曲げ・せん断変形は層間変形角が小さい部分では全変形中に占める変形の割合が大きく、最終的には全変形量中に占める割合の 1/3 程度と小さくなっていることがわかる。

6. 結語

今回行った鉛直荷重実験、水平荷重実験により、以下のことが明らかとなった。

- 1) 鉛直荷重を受ける木質ブロックは、はめ合わせるための凹部が弱点となり、ブロックの耐力はこの部分の耐力で決まる。
- 2) 水平荷重をかけた場合、木質ブロックそれ自体の耐力は充分あったが、締め付けの不足、ブロック脚部支圧による部分的な圧壊が起こった。
- 3) 木質ブロックと頭つなぎ梁・土台部分との間ですべりが生じたため、復元力特性は逆 S 字型となった。

今回行った鉛直荷重実験、及び水平荷重実験は木質ブロック単体で行ったものであり、ブロック単体の特性のみを明らかにした。本ブロックを建築構造体として使用することを勧奨すると、今後は、供試体を複数ブロックによる面内せん断実験、および単体・複数ブロックによる面外せん断実験を行っていく必要がある。

7. 謝辞

本研究を行うにあたり木質ブロックを提供していただきました (株) つみつく代表三島晶彦氏に敬意を表します。

参考文献

- 1) 杉山英男編著、菊池重昭他：木質構造、共立出版、2002
- 2) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-, 丸善、2002