

ブロック形状および支持条件がインターロッキング組積造壁の 斜め圧縮試験結果に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 古川愛子・増田景也・清野純史

Effect of block shape and supporting condition of interlocking masonry walls
on the results of diagonal compression test

Aiko Furukawa, Keiya Masuda, Junji Kiyono
Kyoto University

要旨：開発途上国で多く建設されている耐震性の低い組積造構造物の地震時の倒壊による人的被害が多く報告されている。そこで、人的被害を軽減することを目的として、新設の組積造構造物に対して、煉瓦同士のインターロッキング（噛み合い効果）を利用した工法が提案されている。噛み合い効果のあるブロック形状としては、I型や波型など様々なものが考えられるが、ブロック形状と耐震性の関係に関する研究はほとんどなされていない。そこで本研究は、インターロッキングブロックの形状が組積造壁の荷重-変位関係および破壊性状に及ぼす影響について検討するために、斜め圧縮試験を行った。また、試験体を載荷治具と接着した場合と接触させただけの場合の2通りを比較し、支持条件の影響についても検討を行った。

1. はじめに

世界の自然災害による死者の約60%は地震により亡くなっており、地震による死者の大多数は開発途上地域に多く建設されている耐震性の低い組積造構造物の倒壊により亡くなっている¹⁾。組積造構造物は煉瓦や石材などを積み上げることで建設され、地震動の揺れに対して非常に脆弱である。しかしながら、材料が安価である点、施工が容易である点、断熱性や保湿性に優れているなどの理由のために、開発途上地域を中心に、今日においても世界中で建設されている。人的被害軽減のためには、組積造構造物の耐震性向上が重要であり、安価で施工容易な組積造構造物の耐震補強方法が望まれている。

組積造構造物の耐震補強方法に関する既往研究としては、鋼棒を用いたもの²⁾、強化繊維プラスチックを用いたもの³⁾、廃タイヤを用いたもの⁴⁾、荷造りで使われるポリプロピレン製の紐であるPP-bandを用いたもの⁵⁾などが提案されている。いずれも材料の引張抵抗に期待するものであり、補強材を要する。経済的な理由で脆弱な組積造構造物が住み続けられていることを鑑みると、耐震補強方法も安価である必要があり、補強材はできるだけ安価であることが望ましい。

補強材を全く用いない組積造構造物の耐震対策に関する研究も行われている。凹凸のある煉瓦同士の噛み合い（インターロッキング）を利用したもので⁶⁾、補強材を用いることなく煉瓦に加工を施すだけで、従来の組積造壁を上回る耐震性能を期待するものである。

真田らは⁶⁾、直方体煉瓦を積み上げた組積造壁とI型煉瓦を積み上げた組積造壁を用意し、面内方向への正負交番載荷試験を行い、インターロッキングによる耐震性向上効果について検討を行った。その結果、I型煉瓦の組積造壁は直方体煉瓦の組積造壁よりも水平耐力が1.5倍以上も上回ることを確認した。

しかし、I型煉瓦の組積造壁では、噛み合い部分に局所的な応力集中が発生し、部材角 1/200 程度以降では大きく耐力が降伏したことも報告している。インターロッキングによる効果は限定であったが、水平耐力の向上には成功したことが報告されている。

木村⁷⁾は、直方体煉瓦から構成される2種類の組積造壁と、「土」および「I」の形状をした凹凸のある煉瓦から構成される2種類の組積造壁、計4種類の組積造壁に対して斜め圧縮試験を実施して、破壊挙動と荷重-変位関係を調べ、凹凸のある煉瓦を用いることで耐力を向上できるかどうかを調べた。その結果、煉瓦同士の噛み合い部分に破壊が生じて、凹凸のある煉瓦の組積造壁の方が耐力が小さくなる傾向が確認された。静的有限要素解析により検討した結果、噛み合い部に応力集中が生じて破壊し易くなっていることがわかった。

以上の問題点を踏まえ、本研究では、凹凸の形状を見直し、応力集中の生じにくい噛み合い形状にすることで耐力を向上できないかと考えた。具体的には、I型煉瓦でも角度を直角でなく鈍角にしたり、砂時計型のようななだらかな形状にすることで、噛み合い効果は低減するものの応力集中を軽減し、耐力を向上できないかと考えた。これを検証するため、I型（直角その1）、I型（直角その2）、I型（鈍角）、砂時計型（直線状）、砂時計型（波状）の5種類のブロックから構成される組積造壁試験体を作成し、斜め圧縮試験を実施し、ブロックの形状によって荷重-変位関係と破壊形態がどのように変化するかを調べる。また、治具と試験体を接着したときと、接触したときの実験結果を比較することで、境界条件が試験結果に及ぼす影響についても分析を行うことを目的とする。

2. 斜め圧縮試験

2.1 試験体概要

(1) インターロッキングを利用した組積造壁

組積造構造物は、直方体の煉瓦をモルタル等の目地材を用いて積み上げるのが一般的である。組積造構造物では一般に、目地で破壊が発生・進展する。直方体の煉瓦では、例えば図1(a)のように目地が破壊すると、摩擦力以外の抵抗を失うため、非常に脆弱な状態となる。組積造構造物の耐力向上策として、凹凸を有する煉瓦を用いて、煉瓦同士の噛み合わせ（インターロッキング）を利用する方法が研究されている。煉瓦が破壊しないと仮定すれば、目地で破壊が生じて、煉瓦同士の噛み合いにより、摩擦力に加えて図1(b)のように抗力が発生する。この抗力により、組積造構造物全体としての耐力を向上できるのではないかと考えられている。

(2) 先行研究で明らかになったこと⁷⁾

木村は、図2に示す「土」および「I」の形状をした土型とI型の煉瓦を積み上げた組積造壁と、直方体煉瓦を積み上げた組積造壁の試験体を作成し、斜め圧縮試験を実施した。その結果、直方体煉瓦から構成される組積造壁は主に目地で破壊が生じる

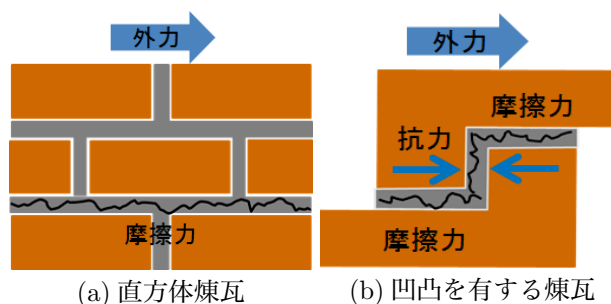


図1 目地破壊後の抵抗力の比較

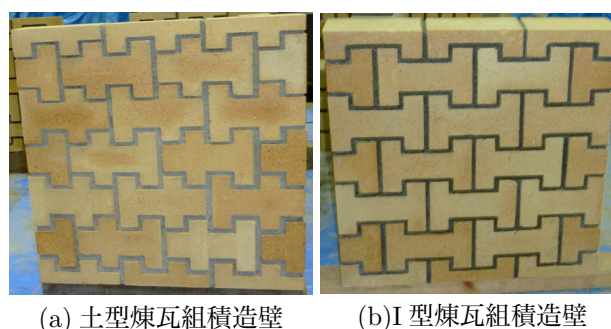


図2 先行研究で用いた組積造壁試験体⁷⁾

のに対し、土型やI型のように噛み合いのある組積造壁は煉瓦にも破壊が起こり、耐力向上効果を確認できなかった、2次元有限要素解析の結果、噛み合い部分に応力集中が発生し、煉瓦が破壊し易くなっていることが原因であると判明した。

(3) 本研究で用いる組積造壁試験体

本研究では、応力集中の生じにくい形状のブロックを用いることで、耐力を向上できないかと考えた。そこで、図3に示す、I型（直角その1）、I型（直角その2）、I型（鈍角）、砂時計型（直線状）、砂時計型（波状）のブロックから構成される5種類の組積造壁を比較する。組積造壁の寸法はいずれも、高さ18cm、幅18cm、奥行き10cmであり、上段、中段左、中段右、下段の4つのブロックから構成される。ブロックの数が多いと破壊箇所の候補が多くなり現象が複雑になるため、現象を単純化するためにブロックの数は4つとした。

ブロック形状の影響を調べるには、形状以外のばらつき（個々のブロックの物性値・強度のばらつき等）を極力抑える必要があるが、煉瓦の場合は窯のどこで焼かれたかによって物性値や強度がばらつくこと7)がわかったので、煉瓦の代りにモルタルブロックを使用することとし、ブロックの数だけ型枠を作成し、同時に打設し、同じ条件で養生することで、形状以外の差異を抑えるようにした。モルタルの配合は、砂60%、水15%、早強ポルトランドセメント25%とした。また、ブロック同士を目地材で接着する場合は、施工精度によって目地強度がばらつき実験結果に影響を及ぼすため、目地材は用いずに、ブロックを接触させるだけとした。そのため、自立しない直方体ブロックから構成される組積造壁は実験の対象としないこととした。

図3(a)のI型（直角その1）は、Iの形をしたブロックではないが、I型ブロックで構成される組積造壁の一部を切り出したものである。上下段のブロックはIの文字を90度回転させたものを横方向に半分にカットしたもの、中段左右2つのブロックは、Iの文字を90度回転させたも

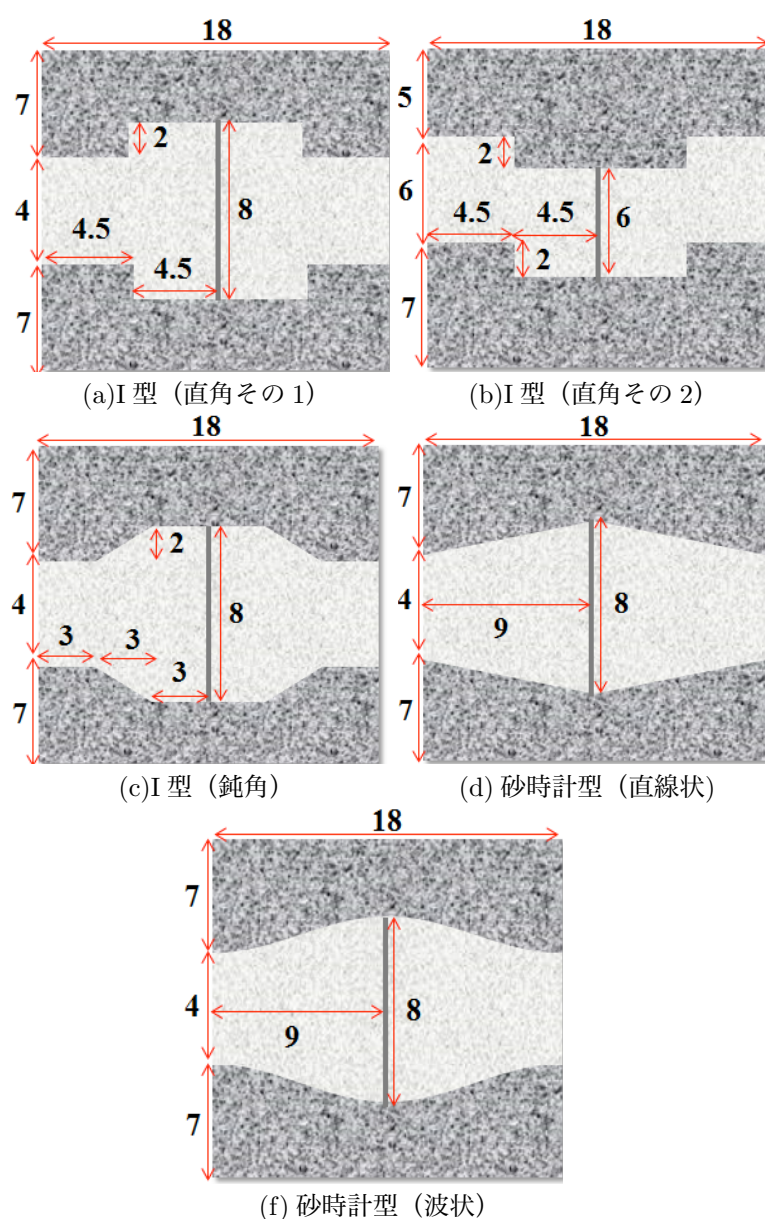


図3 試験体の寸法（単位 cm、奥行きは 6cm）

のを縦方向に半分にカットしたものである。他の試験体についても同様である。砂時計型（直線状）と砂時計型（波状）の違いは、ブロック同士の界面が直線状か波状かの違いである。波状の形状には $\cos$ 関数を用いた。

(4) 試験体の物性値・強度

斜め圧縮試験の試験体ブロックと同時に打設されたテストピースを用いて要素試験を実施した。表 1 に要素試験結果を示す。

表 1: 要素試験結果

ヤング率 (N/m ²)	ポアソン 比	圧縮強度 (N/m ²)	引張強度 (N/m ²)	摩擦 係数
2.50×10^9	0.216	3.49×10^7	7.434×10^6	0.49

ブロックの弾性係数、ポアソン比、圧縮強度は、幅 10cm、高さ 10cm、奥行き 6cm の直方体ブロックに対する圧縮試験により求めた。載荷重を載荷面積で割ることで応力を求め、ブロックの半分の高さ（5cm）の位置に設置したひずみゲージによって鉛直方向と水平方向のひずみを読み取った。ヤング率は載荷（鉛直）方向の応力－ひずみ関係から、ポアソン比は鉛直方向と水平方向のひずみの比から求めた。圧縮強度は、最大荷重時の応力とした（図 4(a)）。

ブロックの引張強度は、幅 30cm、高さ 10cm、奥行き 10cm のブロックを用いた 4 点曲げ試験により求めた。4 点曲げ試験治具の支点間長さは 25cm、上部の載荷点間隔は 10cm であり、曲げ破壊時の荷重から下縁の引張応力を求め、引張強度とした（図 4(b)）。

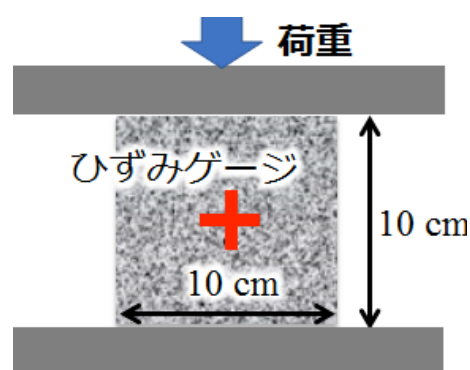
ブロック間の摩擦特性は、2 面せん断試験により求めた。図 4(c) のようにブロック 3 つを水平方向に並べて軸力を与えて固定し、両端のブロックの底面を鋼ブロックで支持した状態で中央のブロックに鉛直荷重（せん断力）を載荷し、滑動が生じたときの直応力とせん断応力を求めた。軸力の大きさを変えて、直応力が約 0.1 (N/mm²)、0.2 (N/mm²)、0.3 (N/mm²) の 3 パターンとなるようにした。滑動時の直応力とせん断応力の関係から最小二乗近似により、摩擦係数 0.49 を得た。

2.2 斜め圧縮試験の試験方法

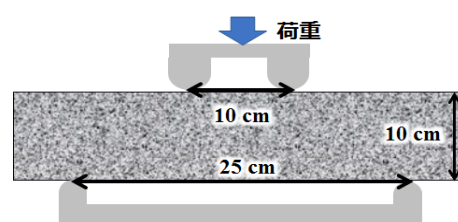
5 種類の組積造壁試験体に対して、斜め圧縮試験を実施し、ブロックの形状によって、荷重－変位関係と破壊挙動がどのように異なるのかを調べた。

試験方法の概略を図 5 に示す。万能材料試験機の上下の載荷版に M 字型の治具を装着し、治具の間に組積造壁を設置した。

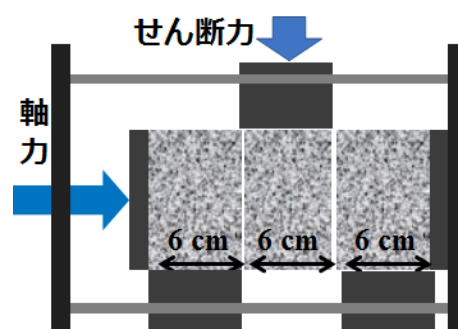
M 字型の治具と組積造壁の間の拘束条件は、2 通りとした。今回新たに実施した実験の拘束条件は「接触」であり、治具とブロック間は接しているのみである。これに対して、先に実施した実験の拘束条件 8) は「接着」であり、速乾性のセメントを流し込むことで、治



(a) 圧縮試験



(b) 4 点曲げ試験



(c) 2 面せん断試験
図 4 要素試験

具の表面全体で組積造壁に荷重を伝達するようにした。なお、全てのブロック間に目地材は使用せず、接しているのみである。

载荷条件は、上端が固定で、下端に $2.5 \times 10^{-3} \text{mm/s}$ の割合で静的に強制変位を与えた。载荷（鉛直）方向の荷重と変位を計測し、载荷時の挙動をデジタルカメラで撮影した。先に実施した治具と組積造壁の拘束条件が「接着」の実験については、1 台のデジタルカメラを用いて载荷時の挙動の動画を撮影した⁸⁾。今回新たに実施した治具と組積造壁の間の拘束条件が「接触」の実験では、2 台の高速度デジタルカメラとデジタルコリレーションシステムを用いた画像計測を実施した。

デジタルコリレーションシステムとは、2 台の高解像度デジタルカメラで被計測物の表面の変形を対象物中の着目点の移動を追跡することによりリアルタイムで記録し、記録されたデータから特殊な画像相関法によって、面外方向の変形も含めた 3 次元変形およびひずみ分布の計測が可能となるシステムである（図 6）。株式会社レーザー計測 Correlated Solutions 社のデジタル 3D コリレーションシステム VIC-3D⁹⁾ を用いた。デジタルコリレーションシステムでは、本研究では、対象物に着目点をつけるために、市販のスプレーで組積造壁にまだら模様塗布した（図 6 右）。今回実施した試験の回数を表 2 に記す。

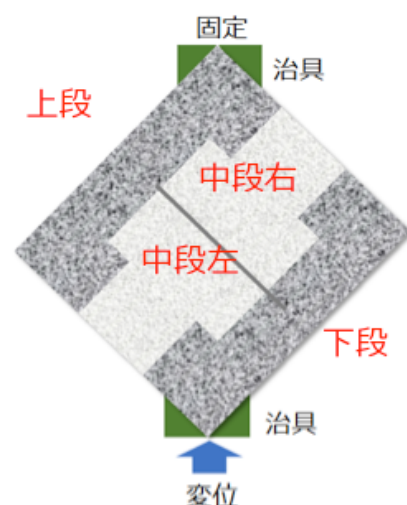


図5 試験方法および境界条件

2.3 試験結果

(1) I 型（直角その 1）

I 型（直角その 1）の荷重-変位関係を「接着」と「接触」とで比較したものを図 7(a) の左に示す。また、図 7(a) の右に、デジタルコリレーションシステムを用いて計測した载荷時の様子を示す。結論から言うと、直角タイプ 1 では、治具と試験体を接着した場合も、接触状態で接着してない場合も、結果にほとんど違いがみられなかった。

直角タイプ 1 の挙動の特徴は、次の通りである。まず、上段と下段のどちらかのブロックに破壊が生じ、荷重が急激に低下した。その後、再び荷重が上昇し、もう片方のブロックに破壊が生じ、荷重がほぼ 0 まで低下するとともに、全体崩壊に至った。接着、接触ともに、荷重-変位関係は 2 つのピークを有し、最初のピークも、2 つ目のピークも、ほぼ同じタイミングで生じた。「接着」の破壊時の写真は示していないが、「接触」とほぼ同じ位置に No.1, No.2 とともに亀裂が生じた。

「接触」のケースのみ、デジタルコリレーションシステムを用いて計測を実施している。デジタルコリレーションシステムを用いた計測結果は、水平方向ひずみの大きさを色の濃淡で示している。色が赤色になっている箇所は、大きな水平方向ひずみが生じている地点であり、大きな水平方向ひずみが生じ

表 2: 斜め圧縮試験の試験数 (*は先行研究の成果⁸⁾)

	接着	接触
I 型（直角タイプ 1）	2 体*	1 体
I 型（直角タイプ 2）	2 体	1 体
I 型（鈍角）	2 体*	1 体
砂時計型（直線状）	2 体*	2 体
砂時計型（波状）	2 体*	2 体

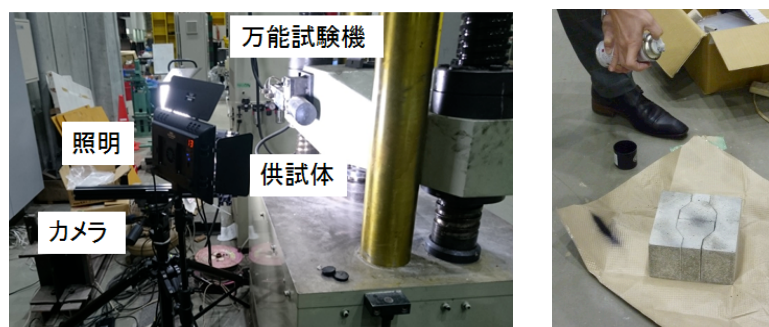
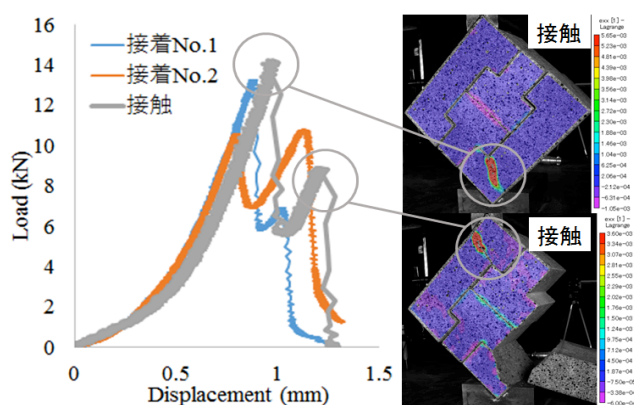


図6 試験方法および境界条件

た後に、破壊が生じた。上段、下段のブロックは、ポアソン効果により圧縮力に直交する方向に生じた引張りひずみにより、引張破壊したものと推察される。また、中段の左右のブロック間には、摩擦が生じて相対変位が生じていることも確認できる。

直角タイプ1では、「接着」と「接触」とで結果にほとんど違いが見られなかったが、この理由は、ブロック同士の噛み合いが強いため、治具と試験体の間の接着条件の影響を受けにくいのではないかと推察される。



a) I 型 (直角その 1)

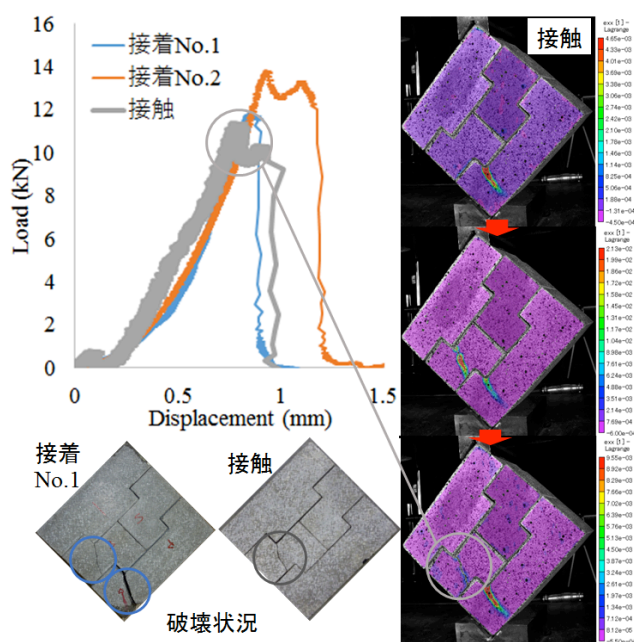
(2) I 型 (直角その 2)

I 型 (直角その 2) の荷重-変位関係を「接着」と「接触」とで比較したものを図 7(b) の左上に示す。また、図 7(b) の右に、デジタルコリレーションシステムを用いて計測した載荷時の様子を示す。

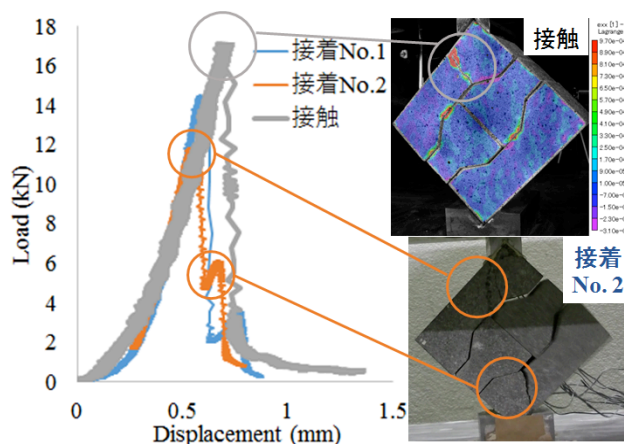
図 7(b) 左下は、接着 No.1 と接触の試験体の破壊状況の比較である。接着 No.2 の破壊状況は、接着 No.1 とほぼ同じであるため、図示を省略する。

荷重-変位関係に関しては、「接着」と「接触」とで違いが見られなかった。I 型 (直角その 1) ではピークが 2 つ見られたのに対して、I 型 (直角その 2) ではピークは 1 つとなった。破壊状況に関しては、「接着」と「接触」とで違いが見られた。接着の場合、図 7(b) のように、まず最初の下段のブロックに大きな水平方向ひずみが生じた (右上の図)。しかし、下段ブロックは破壊せず、次に中段右のブロックに水平方向ひずみが生じ始めた (右中の図)。最終的に、中段右のブロックに破壊が生じ、全体崩壊に至った。下段ブロックには大きなひずみが生じたが、破壊しなかった。

これに対して「接着」は、2 体とも、左下の図のように、中段右だけでなく下段のブロックにも破壊が生じた。先に中段右に破壊が生じたが、供試体が治具に接着されているため、中段右ブロックの破壊だけでは全体崩壊に至らず、下段ブロックの破壊によって全体崩壊に至った。これに対して、「接触」の場合は中段が破壊した段階で、試験体が不安定になり全体崩壊に至った。このように、破壊の発生状況は「接着」と「接



b) I 型 (直角その 2)



c) I 型 (鈍角)

図 7 斜め圧縮試験の荷重-変位関係および破壊状況

触」で異なることが確認できた。

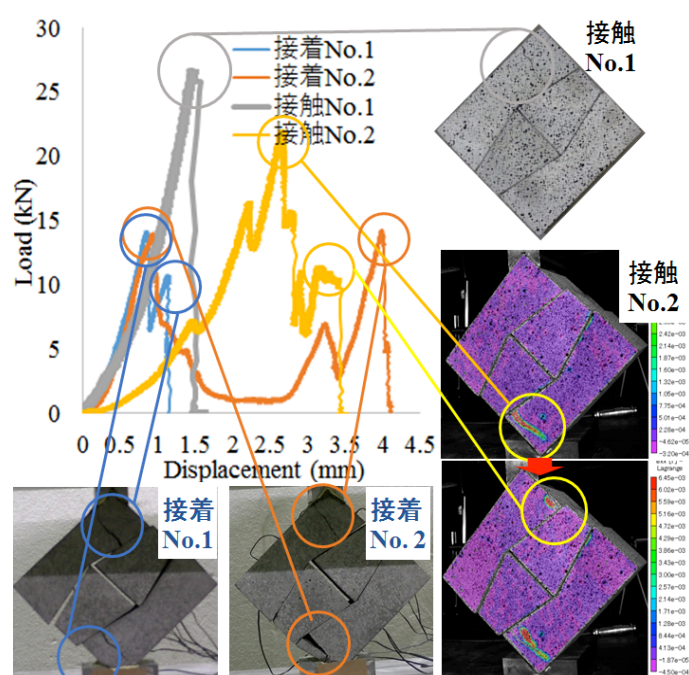
このように、「接着」と「接触」は破壊メカニズムが異なることがわかったが、荷重-変位関係は似た形となった。この理由としては、「接着」において中段右がひとたび破壊すると、噛み合いによる抵抗がなくなり、下段の破壊が引き続いて生じるため、すなわち、中段右の破壊から下段の破壊までが連続して起こるためであると推察される。

(3) I 型（鈍角）

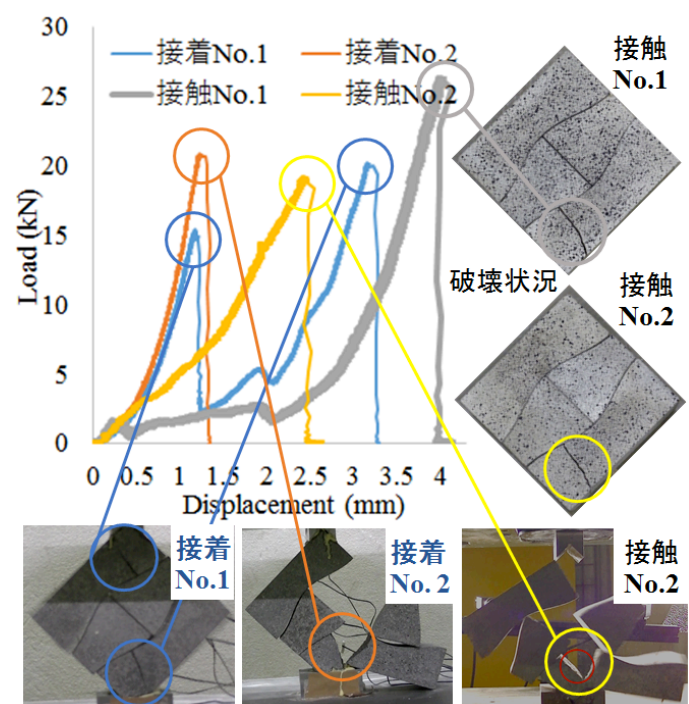
I 型（鈍角）の荷重-変位関係を「接着」と「接触」とで比較したものを図 7(c) の左上に示す。また、図 7(c) の右上は接触についてデジタルコリレーションシステムを用いて計測した結果である。左下は、接着 No.2 の破壊状況である。接着 No.1 については、接着 No.2 と同様の結果であったため、図示を省略する。

「接着」は、No.1 と No.2 の 2 体とも、上段と下段の 2 つのブロックが破壊した。まず最初に、上段または下段のいずれかが破壊する直前に荷重は最大値に達し、破壊が生じたときに荷重が一気に低下した。その後、再び荷重が増加してすぐに、もう片方のブロックが破壊して、荷重はほぼ 0 まで減少し、全体崩壊に至った。荷重-変位関係は 1 つ目の大きなピークと、2 つ目の小さなピークの、2 つのピークを持つおとがわかった。これに対して、「接触」の場合は、上段のブロックに破壊が生じたときに不安定となって全体崩壊が生じた。これは、上段ブロックと上側治具の間、下段ブロックと下側治具の間が接着されていないため、ひとたび上段ブロックに破壊が生じると不安定になるためである。このため、荷重-変位関係はピークが 1 つだけとなった。

I 型（直角その 1）のときは、「接着」と「接触」とで結果に違いがほとんど見られず、上段と下段それぞれの破壊によって全体崩壊に至ること、「接着」と「接触」いずれも明瞭な 2 つのピークを有する荷重-変位関係となった。これに対して、より噛み合い効果の弱い I 型（鈍角）では、「接着」の場合には荷重-変位関係が 2 つのピークを持つものの第 2 ピークが小さく、そして「接触」の場合はピークが 1 つしかない荷重-変位関係となることがわかった。このように、噛み合い効果が弱い



d) 砂時計型（直線状）



e) 砂時計型（波状）

図 7 続き

ほど、境界条件の影響を受けやすいことがわかった。

(4) 砂時計型（直線状）

砂時計型（直線状）の荷重-変位関係と破壊状況を図 7(d) に示す。接触 No.1 については破壊状況を写真で示している。

「接着」の場合は No.1, No.2 の 2 体とも、上段と下段の 2 つのブロックの破壊によって全体崩壊に至った。噛み合い効果が小さいため、接着 No.1 の場合は、上段下段それぞれの破壊に対応する 2 つのピークを有する荷重-変位関係となった。接着 No.2 の場合は、先に下段のブロックが破壊した後、ブロック間で滑動し、その後再び安定状態に達して荷重が増加し始め、下段ブロックの破壊によって全体崩壊に至った。接着 No.2 が接着 No.1 に比べて変位が大きくなった理由は、試験体の噛み合い程度の差が生じたと推察している。試験体には施工による差が 1mm 程度存在するため、噛み合い効果の小さい砂時計型（直線状）では、接着 No.2 に大きなすべりが生じてしまったと推察される。「接触」の場合は、接触 No.1 は上段ブロックに破壊が生じたと同時に全体崩壊に至り、荷重-変位関係のピークは 1 つとなった。接触 No.2 は、先に下段に大きな水平方向ひずみが生じて破壊したが、全体崩壊に至らなかった。この理由として、下段ブロックに破壊が生じた位置が、治部の内部であったために、治部から圧縮力を受けることによって、破壊面の両側のブロックが安定したためと考えられる。その後、上段ブロックの破壊によって、全体崩壊に至った。

以上から、砂時計型（直線状）では、接着の場合は上段と下段ブロックそれぞれの破壊によって全体崩壊に至るため、荷重-変位関係が 2 つのピークを持つこと、また、噛み合い効果が小さいためブロック間で滑動し易く変位が大きくなる傾向が見られた。接触の場合は、基本的には上段または下段の破壊によって全体崩壊に至ることがわかった。破壊面が治部の範囲内で生じた場合は、接着と同様の効果により、上段と下段 2 つのブロックの破壊によって全体崩壊に至ることがわかった。

(5) 砂時計型（波状）

砂時計型（波状）の荷重-変位関係と破壊状況を図 7(e) に示す。破壊状況は写真で示している。

荷重-変位関係を比較すると、ピークが 2 つあるのは「接着」の No.1 のみで、それぞれのピークは上段と下段のコンクリートの破壊に対応している。「接着」No.2 は、下段が破壊したタイミングで、上段ブロックが上側治具に接着したまま崩壊したため、ピークは 1 つとなった。「接触」については、No.1 と No.2 とも下段の破壊により全体崩壊に至り、ピークは 1 つとなった。変位にばらつきが大きいのは、噛み合い効果が小さいためブロック間で滑動が起きやすいためと考えられる。

(6) まとめ

噛み合い効果の最も大きい I 型（直角タイプ 1）の荷重-変位関係は、接着と接触とで似た傾向となり、2 つのピークのある形となった。それぞれのピークは、上段と下段ブロックの破壊に対応している。I 型（直角タイプ 1）よりは噛み合い効果の劣る I 型（鈍角）では、接着の場合は上段と下段の 2 か所の破壊によって全体崩壊に至ったため、荷重-変位関係に 2 つのピークが見られたが、2 つ目のピークは 1 つ目のピークに比べると非常に小さいものとなった。接触の場合は、上段の破壊によって全体崩壊に至ったので、ピークは 1 つとなった。ただし、接触の 2 つ目のピークは小さいため、荷重-変位関係は接着・接触とで大きく異なるものとなった。これに対して、噛み合い効果の小さい砂時計型（直線状）と砂時計型（波状）の荷重-変位関係は、接着と接触の結果が異なるだけでなく、同じ接着同士・

接触同士でも 2 体の結果が異なった。これは、噛み合い効果が小さいために、試験体製作時のわずかな誤差によって噛み合い効果に差が生じるためと考えられる。

以上のことから、噛み合い効果が小さいほど、境界条件や、試験体の寸法誤差により性能が大きく異なる可能性のあることがわかった。

次に表 3 に、各試験体の最大荷重の比較を示す。表 3 より、各モデルの最大荷重の平均値を比較すれば、接着の場合は「I 型（直角タイプ 1）< I 型（鈍角）< I 型（直角タイプ 2）< 砂時計型（直線状）< 砂時計型（波状）」となり、接触の場合は「I 型（直角タイプ 2）< I 型（直角タイプ 1）< I 型（鈍角）< 砂時計型（波状）< 砂時計型（直線状）」となった。噛み合い効果の小さいほど、最大荷重が大きくなる傾向が見

表 3 斜め圧縮試験による最大荷重 (kN)

モデル	接着		接触	
	No.1	No.2	No.1	No.2
I 型（直角タイプ 1）	13.2	10.8	14.10	—
I 型（直角タイプ 2）	12.12	14.16	11.02	—
I 型（鈍角）	14.5	11.9	17.07	—
砂時計型（直線状）	14.2	14.2	25.98	21.25
砂時計型（波状）	20.2	20.8	25.57	18.48

られた。また、同じタイプを接着と接触とで比較すると、I 型（直角タイプ 2）を除く 4 モデルが「接着<接触」となった。なぜ I 型（タイプ 2）のみ「接触<接着」となったのか、ばらつきによるものなのか、理由の解明には至っていないが、全体的に、接触の方が荷重の小さい傾向が見られた。接着より接触の方が、拘束がない分だけ噛み合い効果も低減されると思われるので、噛み合い効果が小さいほど応力集中も起こりにくいので、最大荷重が大きくなるのではないかと推察する。

3. 結論

本研究では、インターロッキングブロックの形状および組積造壁の支持条件が、組積造壁の荷重－変位関係や破壊挙動に及ぼす影響を調べるために、斜め圧縮試験を実施した。インターロッキングブロックの形状としては、I 型（直角その 1）、I 型（直角その 2）、I 型（鈍角）、砂時計型（直線状）、砂時計型（波状）の 5 種類を考えた。得られた知見は以下の通りである。

- I 型（直角その 1）、I 型（直角その 2）、I 型（鈍角）は噛み合い部分の角から破壊が生じること、砂時計型（直線状）と砂時計型（波状）は噛み合い効果が小さいためブロック間で滑動し易く変位が大きくなる傾向が見られた。噛み合い効果の小さい形状のブロックの方が、最大荷重が大きくなる傾向が確認できた
- 噛み合い効果の大きい I 型（直角その 1）、I 型（直角その 2）、I 型（鈍角）の荷重－変位関係は接着・接触とで大きく異ならないこと、噛み合い効果の小さい砂時計型（直線状）と砂時計型（波状）の荷重－変位関係は、接着と接触の結果が異なるだけでなく、同じ接着同士・接触同士でも 2 体の結果が異なった。噛み合い効果が小さいほど、境界条件や、試験体の寸法誤差により性能が大きく異なる可能性のあることがわかった。

本研究では斜め圧縮試験を実施したが、今後は、地震時に組積造壁が受ける荷重をより模擬した載荷方法による試験を実施して、インターロッキングの効果を検証したいと考えている。また、直方体ブロックとインターロッキングブロックを比較することで、インターロッキングブロックを用いた耐震対策の可能性について検討を行いたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K06178 の助成を受けたものです。デジタルコリレーションシステムを用いた計測にあたっては、京都大学インフラ先端技術共同研究講座の塩谷先生、西田先生、麻植先生、橋本先生にご指導及びご協力を頂きました。深く御礼申し上げます。

参考文献

1. OCHA (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) , <http://www.unocha.org/>, 2015.
2. A. Darbhanzi, M.S. Marefat, M. Khanmohammadi : Investigation of in-plane seismic retrofit of unreinforced masonry walls by means of vertical steel ties. *Construction and Building Materials*, **52**, 122 – 129, 2014.
3. Giancarlo Marcari, Gaetano Manfredi, Andrea Prota, Marisa Pecce : In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP. G. Marcari et al. / *Composites: Part B* 38, 887 – 901, 2007.
4. Ahmet Turer, Mustafa Golalm : *Scrap tire as low-cost post tensioning material for masonry strengthening. Materials and Structures*, **41**, 1345-1361, 2011.
5. 櫻井光太郎, Navaratnarajah SATHIPARAN, 目黒公朗 : PP-band 工法による石積み組積造壁の耐震補強に関する実験的研究, 第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集, 3-0053, 2009.
6. 真田靖士, 中村友紀子, 山内成人, 崔琥, 中埜良昭 : 枠組組積造壁の水平力抵抗機構から推察される無補強組積造建築の高耐震化技術, 日本建築学会論文集, 第 605 号, 159-166, 2006.
7. 木村翔汰 : インターロッキング機構を利用した組積造壁の耐震性に関する研究, 京都大学大学院修士論文, 2015.
8. 古川愛子, 増田景也, Gerry Tri Satya Daru, 清野純史 : インターロッキングブロックの形状が組積造壁の荷重-変位関係および破壊挙動に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.64A, 2018.
9. 株式会社レーザー計測 : デジタル 3D コリレーションシステム VIC-3D, <http://www.laser-measurement.com/product/correlated/vic3d.html> (2018 年 2 月 10 日閲覧)