

煉瓦組積造壁のエポキシ樹脂補強効果

BRICK WALL STRENGTHENED WITH EPOXY RESIN INJECTION METHOD

荒木秀夫 — *1 八十島 章 — *2

Hideo ARAKI — *1 Akira YASOJIMA — *2

キーワード：
煉瓦壁, 補強, エポキシ樹脂, 曲げ強度, せん断強度,
歴史的建造物

Keywords:
Brick wall, Strengthening, Epoxy resin, Flexural strength, Shear strength, Historic building

When strengthening historic unreinforced masonry structures, it is important to preserve their appearance. Considering that mortar joints are the weakest part of a brick wall, we proposed a new repair technique using the injection of epoxy resin into these joints. The proposed method is to inject low viscous epoxy resin into the mortar using a very low pressure. This paper presents the results of the fundamental loading tests with brick elements and brick walls. Based on the test results, the following conclusions were made.

(1) An increase in the strength of the element was observed in each test.
(2) The effects of epoxy resin injection were confirmed in the brick wall without the axial force.

1. はじめに

明治から大正にかけて建設された現存する多くの組積造建築物は、歴史的および文化的重要性から長期的に保存し有効活用させることが求められている。しかし、このような歴史的組積造建築物の補修・補強においては、建物固有の特性をよく理解し、その歴史的価値および意匠的価値を損ねることがないようにすることが重要である。歴史的組積造建築物の特に意匠的価値を損なうことなく補強できる方法として、免震装置の取り入れや、煉瓦壁体内へのポストテンション導入、エポキシ樹脂注入などが挙げられている¹⁾。前者2つは補強効果や意匠性に優れているものの補強工事が大規模になり、経費も増大する恐れがある。一方、エポキシ樹脂注入は意匠性、コスト性、施工性に優れているものの補強効果にばらつきがあることが指摘されている。これは煉瓦壁体の構造性能を支配している目地モルタルの材質や施工精度が大きくばらついているためであると思われる。本報告では目地部分にエポキシ樹脂を注入することによって煉瓦壁体の構造性能向上を目指すものである。

本研究では、エポキシ樹脂注入した組積造壁の一部を想定した要素試験体を用いて、拘束力を変動させた実験を行い、その力学的特性について検討を行った。さらにエポキシ樹脂注入した組積造壁の実験を行い、その補強効果について検討を行った。

2. 組積要素試験

2.1 使用材料

2.2.1 煉瓦

試験体に使用する煉瓦は、建設当時のものを想定し、現在入試可能なものとして普通れんが並焼2等品 (JIS規格外品) を使用している。煉瓦単体の圧縮強度および曲げ強度はそれぞれ 33.1MPa, 4.66MPa であり、吸水率は 16.4% であった。試験方法は JIS R1250 によった。

2.2.2 目地モルタル

明治期に建設された歴史的建築物の躯体に使用されている目地モルタルの多くは石灰セメントモルタルであり、調合比も示されている²⁾。しかし、目地モルタル強度は、使用材料の産地や成分、練混ぜ時の気温・湿度などの影響を受ける。現在の普通ポルトランドセメントの品質と比較して対象建築物建設時のセメントは相当低品質であり、建設当時の調合比を参考にしても目標とする強度は得られない。上記に加えて、施工者の技能も大きく強度に関係しているものと思われる。本試験においては、既往の調査・実験結果を参考にし、目標とする強度が得られるか確認実験を行って表1に示す3水準を決定した。表2に目地モルタルの力学特性を示す。割裂強度は圧縮強度の約 1/10 となっている。

2.2 組積要素実験概要

組積要素の試験は圧縮試験, 2面せん断試験, 3点曲げ試験, の3種類を行った。圧縮試験は煉瓦半個3段積み, せん断試験は煉瓦3段積み, 曲げ試験は煉瓦5段積みとしている。一般に既存組積壁体では 10mm 前後が多いが, 本試験では作業者の熟練度を加味して整形に煉瓦を積める目地幅として 15mm としている。

表1 目地モルタル調合表 (1m³)

呼び強度	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	水セメント比 (%)
Fc10	308	308	1538	100
Fc20	315	300	1514	95
Fc30	400	296	1479	74

表2 目地モルタルの力学特性

呼び強度	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
Fc10	10.7	0.97	13.7
Fc20	20.5	2.12	18.0
Fc30	29.8	3.05	20.6

¹⁾ 広島大学大学院工学研究院 准教授
(〒739-8751 東広島市鏡山1-4-1)

²⁾ 筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教

¹⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ.

²⁾ Assistant Prof., Graduate School of System and Information Engineering, Tsukuba Univ.

表 3 組積要素試験体一覧

試験種類	煉瓦断面 (mm)	目地呼び強度	軸方向応力度 σ_n (MPa)
1 軸圧縮試験	100×100	Fc10,	0, 0.2, 0.4, 0.6
2 面せん断試験	210×100	Fc20,	
3 点曲げ試験	210×100	Fc30	

各シリーズ,各変数で3体ずつ用意している。

2面せん断試験および3点曲げ試験における軸力による応力度は 0, 0.2, 0.4, 0.6MPa の4水準とした。いずれのシリーズの各変数においてばらつきを考慮して3体ずつ試験を行った。試験体一覧を表3に示す。また、後述するエポキシ注入用として同種の試験体を同数別途用意している。

2.3 加力方法

① 1 軸圧縮試験

1 軸圧縮試験は 100MPa 耐圧試験機を用い、ロードセルを介して行った。煉瓦の加力端面は平滑でないために石膏でキャッピングを行っている。また、組積要素体の両側面にエポキシ系接着材を使用して測定用ビスを固定してPI型変位計を設置し、軸変形を計測した。図1に加力概要を示す。

② 2 面せん断試験

せん断試験は1面せん断試験と2面せん断試験があるが、本研究ではこれまで一般的に採用されている2面せん断試験とした。せん断試験も1軸圧縮試験と同様に100MPa耐圧試験機を用い、ロードセルを介して行った。軸力の载荷は、揚力が同じオイルジャッキ3台をジャッキ分岐金具に接続し2台は、試験体の両端に設置し溝形鋼を用いてPC鋼棒で挟み込み固定した。1台を軸力加力用ジャッキとし、軸力測定用の枠の中に20kNロードセルと共に設置して軸力をモニタリングしつつ試験体への軸力を一定に制御して加力した。図2に2面せん断試験の加力概要を示す。

③ 3 点曲げ試験

加力方法は2面せん断試験と同様に行った。図3に3点曲げ試験の加力概要を示す。

2.4 エポキシ樹脂注入方法

エポキシ樹脂注入による補強は、施工時に煉瓦と目地モルタルの間にできた空隙部分に、超低粘度のエポキシ樹脂を一定の圧力を加

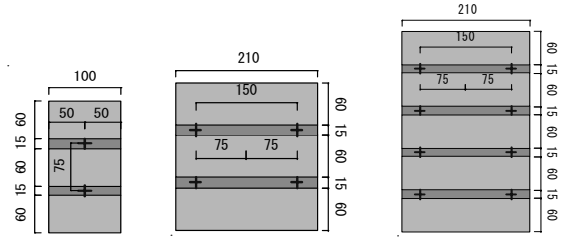


図 4 エポキシ樹脂注入位置

えることによって、空隙部分に樹脂を浸透させるように注入し補修するものである。作業工程は、図4に示すように目地位置に注入箇所(+印)を決め、同箇所ハンドドリルを用いて孔径6.5mm、深さ50mmで穿孔し、樹脂を0.06MPaの極低圧で注入し、加圧状態で72時間の養生・硬化させるという手順である。エポキシ樹脂注入は試験体製作の28日後に行った。エポキシ樹脂の注入量については注入孔からの漏出等もあり特に計測していない。目地モルタルの呼び強度が10MPaの試験体は片面に注入したが、曲げおよびせん断試験の試験結果は、煉瓦と目地モルタルの接着強度の上昇率が予測より低かったため、Fc20, Fc30の試験体は両面から樹脂を注入した。エポキシ樹脂は100~200mPa.sの低粘度で硬化後は約60N/mm²の曲げ強度を発揮するものである。

2.5 実験結果

① 1 軸圧縮試験

各試験体は同様の破壊性状を呈し、煉瓦に縦ひび割れが発生した後、徐々にひび割れが目地モルタルまで伸長し、目地モルタルが破壊し最大耐力達して以降、急激に耐力が低下し破壊に至った。表4に1軸圧縮試験結果一覧を示す。また、図5に目地モルタル強度と要素試験体の圧縮強度の関係を示す。図中に目地のモルタル強度と煉瓦強度によって決まる破壊線(点線)を示す。補修前試験体においてモルタル強度が上昇するにしたがって圧縮強度が上昇する。煉瓦単体の圧縮強度と比較すると、Fc10シリーズでは約40%、Fc20, Fc30シリーズでは、約60%となっている。Fc20, Fc30では目地モルタルの圧縮強度程度まで耐力が上昇することはない。

一方、エポキシ樹脂注入による補修後は圧縮強度、弾性剛性とも

表 4 1 軸圧縮試験結果

呼び強度	補修前		補修後	
	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
Fc10	13.3(40)	5.05	22.2(67)	5.86
Fc20	18.8(57)	5.39	24.6(74)	9.53
Fc30	19.7(59)	3.84	29.3(89)	8.84

() 内は煉瓦単体圧縮強度に対する比率 (%)

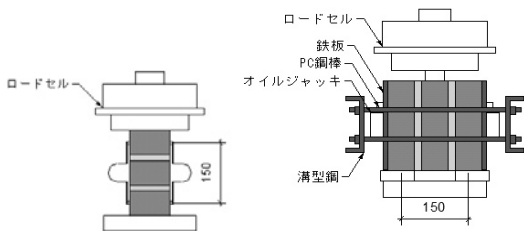


図 1 1 軸圧縮試験

図 2 2 面せん断試験

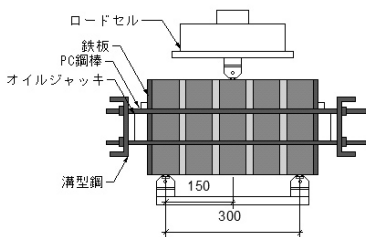


図 3 3 点曲げ試験

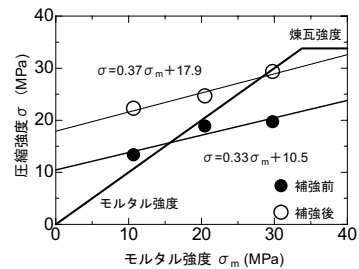


図 5 圧縮試験結果

に上昇し、圧縮強度はモルタル強度程度またはそれ以上となる。また補修前の圧縮強度と比較すると約 1.5 倍に上昇し、補強効果が期待できる。補強することによってモルタル強度限界程度または煉瓦強度限界値近くの値にまで補強できることが分かる。

② 2面せん断試験

最大耐力に到達するまでは変形は殆ど見られず、最大耐力後、煉瓦と目地モルタルの界面が剥離し、急激に耐力が低下し破壊に至った。図 6 に補強前の軸方向応力度と最大耐力時のせん断応力度（以下せん断応力度）の関係を示す。せん断応力度は支点反力(=P/2)を煉瓦断面積で除して基準化したものである。全体的な傾向はモルタル強度に拘わらずほぼ同様であり、軸方向応力度が 0 で 0.64MPa ~0.80MPa の値となる。軸方向応力度が増加するに従って徐々にせん断応力度が上昇する傾向を示す。その傾きは 0.85~0.99 である。ここで、2面せん断試験のせん断応力度は基本的に2つ破壊形式から求められるものとされている^{3), 4)}。1つは図 7-1 に示す2面せん断試験において必然的に発生する曲げモーメントによる曲げ破壊である。図 7-1 における危険断面で発生する曲げモーメント M および最外縁引張応力 σ は次の(1)式、(2)式によって示される。

$$M = \frac{P}{2} \times L_1 \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (2)$$

P : 集中荷重 (N) Z : 断面係数 (mm³)

L_1 : 支点反力から曲げ判定断面までの距離(=45mm)

曲げひび割れが発生する時の緑応力 σ を $\sigma_n + \sigma_t$ としてせん断応力度 τ と軸方向応力度 σ_n の関係に置換すると(3)式ようになる。

$$\tau = \frac{P}{2} \frac{1}{bD} = \frac{1}{L_1} \frac{1}{bD} \frac{bD^2}{6} (\sigma_n + \sigma_t) = 0.78\sigma_n + 0.72 \quad (3)$$

τ : せん断応力度

b : 煉瓦幅 (=100mm) D : 煉瓦せい (=210mm)

σ_n : 軸方向応力度(MPa) σ_t : モルタル曲げ強度(MPa)

ここで、式中の定数項 0.72 は軸方向応力度 $\sigma_n=0$ における実験値の平均値としている。(3)式から推定される目地と煉瓦界面の曲げ強度は(4)式に示す値となる。

$$\frac{1}{L_1} \frac{1}{bD} \frac{bD^2}{6} \sigma_t = 0.72 \Rightarrow \sigma_t = 0.72 \frac{6L_1}{D} = 0.92 \quad (4)$$

この値は文献 2) および文献 3) に示される 0.9MPa および 0.94MPa とほぼ等しい値である。各文献での目地モルタルの圧縮強度はそれぞれ 17.9MPa, 38.7MPa となっており、目地の曲げ引張強度は、

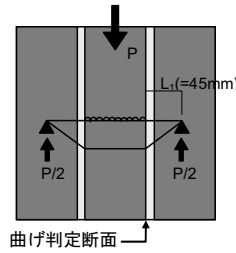


図 7-1 曲げ破壊

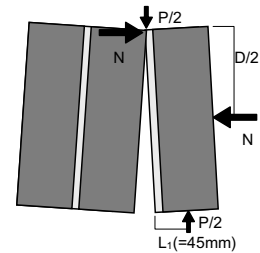


図 7-2 曲げ破壊後断面の釣り合い

目地モルタルの圧縮強度にあまり影響を受けないことがわかる。次に2つ目の破壊形式は図 7-2 に示す界面において曲げひび割れ後おける断面の釣り合い状態であり、(5)式で表すことができる。

$$\frac{P}{2} \times L_1 = N \times \frac{D}{2} \quad (5)$$

N : 軸方向力 (= $\sigma_n \times b \times D$)

(5)式を用いて平均せん断応力度 τ を軸方向応力度 σ_n で表すと(6)式ようになる。

$$\tau = \frac{P}{2} \frac{1}{bD} = \frac{\sigma_n b D}{L_1} \frac{D}{2} \frac{1}{bD} = 2.33\sigma_n \quad (6)$$

(3)式、(6)式を図 6 中に示す。軸方向応力度 0~0.4MPa は曲げひび割れによって耐力が決定し、軸方向応力度 0.6MPa がひび割れ後の耐力と考えることができる。しかし軸方向応力度 0.6MPa の実験値は、断面釣り合い式を若干下回り曲げ決定式に近い値となっている。実験値を最小二乗法により直線回帰すると(7)式ようになり、(3)式とほぼ近似した式となっている。

$$\tau = 0.85\sigma_n + 0.72 \quad (7)$$

次に補強後のせん断応力度と軸方向応力度の関係を図 8 に示す。補強によって Fc20, Fc30 シリーズのせん断応力度は 2~3 倍程度に上昇し、両シリーズに大きな相違は見られない。一方、Fc10 シリーズは Fc20, Fc30 よりも上昇率は低い。これはエポキシ樹脂の注入が片面からのみであることに原因があると思われる。F20 と F30 の軸力のない場合のせん断応力度を実験値から定数項を決定し、せん断応力度と軸方向応力度の関係を推定すると(8)式ようになる。

$$\tau = 0.78\sigma_n + 1.48 \quad (8)$$

この式の定数項 1.48 から(4)式と同様にして推定されるエポキシ注入した煉瓦と目地モルタルの界面の曲げ強度は 1.90MPa となり、無補強の 0.92MPa に比べて約 2 倍の曲げ強度となっている。エポキシ樹脂を壁両面から注入した Fc20, Fc30 試験体は軸方向応力度が増加するに従って推定値よりも大きなせん断応力度になる。

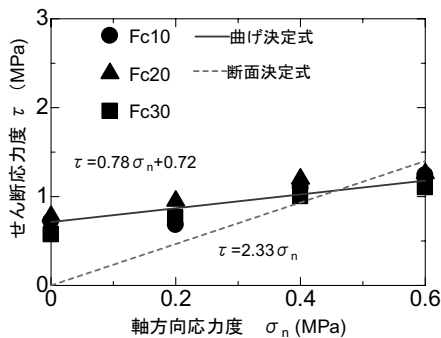


図 6 2面せん断試験結果 (補強前)

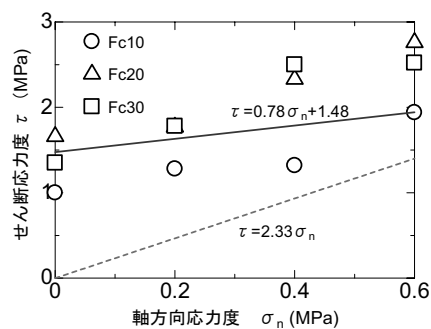


図 8 2面せん断試験結果 (補強後)

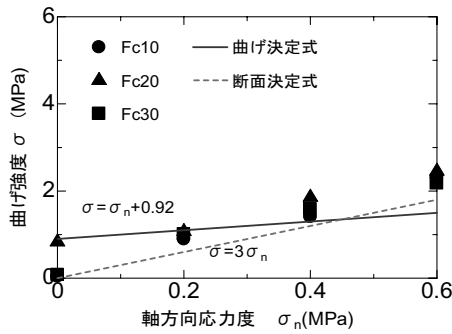


図9 3点曲げ試験結果 (補強前)

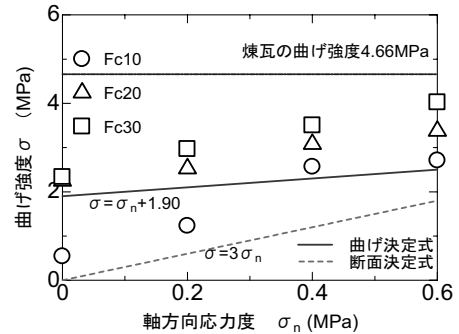


図11 3点曲げ試験結果 (補強後)

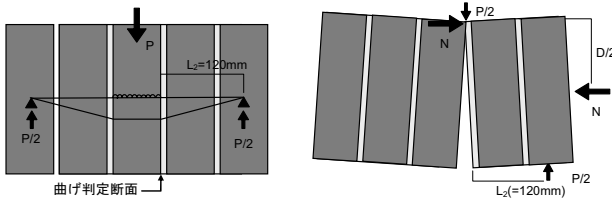


図10-1 曲げ破壊 図10-2 曲げ破壊後の断面の釣り合い

③3点曲げ試験

3点曲げ試験における破壊性状は試験体中央部に近い目地モルタルと煉瓦界面で肌分かれであった。2面せん断試験と同様にモルタル強度の違いによる相違は見られない。図9に補強前の曲げ強度と軸方向応力度の関係を示す。縦軸はせん断試験と同じく危険断面を試験体中央部に最も近い煉瓦目地境界部とし、ここで発生する曲げモーメントを断面係数で除して求めたもので(9)式で表される。

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{P}{2} \times L_2 \times \frac{1}{Z} \quad (9)$$

P: 集中荷重 (N) Z: 断面係数 (mm³)

L₂: 支点反力から曲げ判定断面までの距離(=120mm)

図10-1, 10-2に示す曲げ破壊による計算値と断面の釣り合いによる計算値を求めると、それぞれ(10)式, (11)式ようになる。

$$\sigma = \sigma_n + 0.92 \quad (10)$$

$$\sigma = 3\sigma_n \quad (11)$$

ここで軸方向応力度0の曲げ強度の0.92MPaは2面せん断試験のときに推定した値を採用している。実験値との関係をみると軸方向応力度が小さい範囲では曲げ決定式に近い値を示し、軸方向応力度が増加すると断面の釣り合いによる式と整合性が良い。破壊性状においても軸方向応力度が増大しても界面における滑り現象は見られなかった。図11に補強後の曲げ強度と軸方向応力度の関係を示す。図中に示す曲げ強度推定式(12)式はせん断試験において得られた煉瓦と目地モルタルの補強後の曲げ強度1.90MPaを用いている。

$$\sigma = \sigma_n + 1.90 \quad (12)$$

Fc20とFc30をみるといずれのモルタル強度においても曲げ決定式を上回っている。これは煉瓦と目地モルタルの界面の接着強度がエポキシ樹脂により高くなり、目地モルタルにひび割れが入っても進展しないことが考えられる。また、補修後の試験体においては中央部に近い目地モルタルの界面における肌分かればかりでなく、支点反力に近い位置での目地モルタル界面の割れや煉瓦本体の割れといった異なった破壊性状が見られた。

図中に試験体中央部の煉瓦自体が曲げ強度に達するとして、その上限値4.66MPaを記入している。2面せん断試験により煉瓦と目地モルタルの界面引張強度は1.90MPaと想定したがエポキシ樹脂注入状況によってはそれより高い強度に達していることが想像される。図11からは提案する(12)式は安全側の評価になると考えられる。

3. 組積壁試験

3.1 組積壁実験概要

①試験体概要

壁試験体は要素試験体と同様に製作し、積方はイギリス積みとした。使用材料は要素試験体で用いたものと同じである。目地強度はFc10, Fc20で、目地厚さは要素試験体と同じ15mmとした。壁厚さ210mm(長辺方向に煉瓦1枚分)、壁内法高さ890mm、加力点高さは1020mmである。上下に鉄筋コンクリート製スタブを設置し、試験体固定用および水平加力補強用として用いた。図12に試験体の形状および寸法を示す。作成した試験体は同形状の3体で変数は加力方向(面外, 面内)と軸力の有無である。3体とも破壊実験後、エポキシ樹脂を注入し、再度、同様の加力を行った。表5に試験体一覧を示す。試験体W1-06-Iに載荷する軸力は、3階建ての組積造構造物において1階壁が負担する軸力程度とし、応力度換算値で0.6MPaを想定している。

表5 組積壁試験体一覧

試験体	加力方向	目地強度 (MPa)	軸方向応力度 (MPa)
W1-00-O	面外	Fc10	0.05 (自重)
W1-00-I	面内	Fc10	0.05 (自重)
W1-06-I	面内	Fc20	0.6 (自重含む)

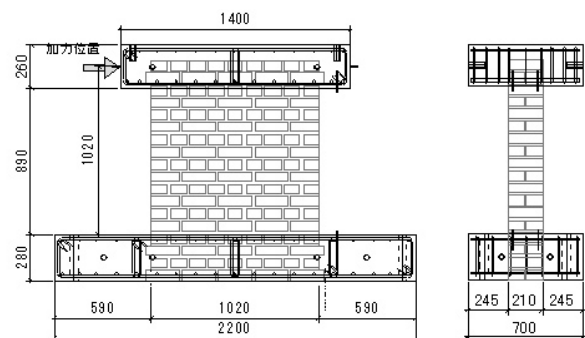


図12 組積壁試験体

②加力概要

加力装置図を図13に示す。水平力は上スタブにH形鋼をPC鋼棒で挟み込み固定し500kN油圧ジャッキで荷重した。また、下スタブの固定はPC鋼棒を使用し反力床に固定した。鉛直力は200kNオイルジャッキを用い、上スタブにH形鋼を介して加力した。加力方法は繰り返し漸増荷重とし、軸力荷重を行う試験体は一定軸力を加えた後、正負交番繰り返し荷重を行った。加力サイクルは変位制御で $R=1/800, 1/400, 1/200, 1/100, 1/50rad.$ を各2回荷重した後、 $R=1/33, 1/25rad.$ を1回ずつ荷重した。

3.2 実験結果

①破壊性状(補修前)

いずれの試験体も最初の1/800の荷重時に最下層の目地に貫通ひび割れが発生して最大耐力に至る壁脚部の曲げ破壊であった。図14に軸力のない試験体の破壊性状について例示する。ひび割れ発生以後は剛体回転(ロッキング)挙動を示す。

②荷重変形関係(補修前)

図15に荷重変形関係を示す。軸力のないW1-00-OとW1-00-Iはひび割れ発生直後に荷重が一気に低下しており、目地部の曲げ破

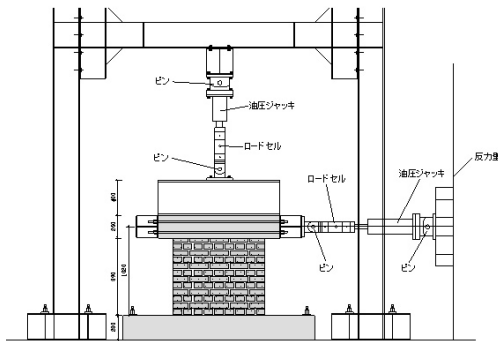


図13 加力装置図(W1-06-I)



(a) W1-00-O (面外) (b) W1-00-I (面内)

図14 破壊性状(補強前)

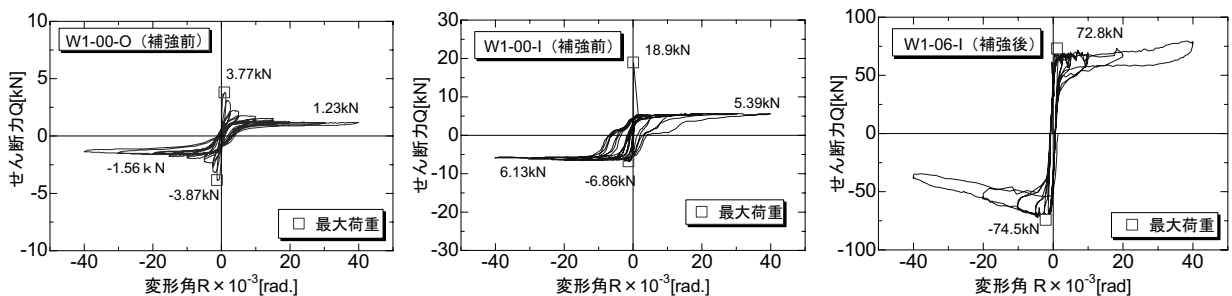
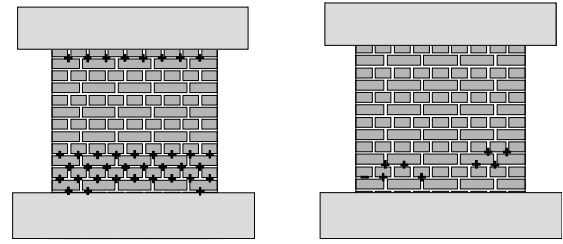


図15 荷重変形関係



(a) W1-00-O (面外) (b) W1-00-I (面内)

図16 エポキシ注入位置

壊で最大耐力が決定しているものと考えられる。変形が進行するとせん断力は一定値に収斂する。これはロッキング時における断面の釣り合いによって決定されるせん断力となる。一方、軸力あるW1-06-Iもひび割れ断面での釣り合いによって最大耐力が決定しているものの軸力の影響を受けて最大耐力以降も荷重は低下しない。なお荷重変形関係が若干非対称となっているのは片側からの押し引きによる影響が出ているためと考えられる。

③補修位置

図16に例示するように軸力のないW1-00-OとW1-00-Iはひび割れ発生した下層部分を中心に試験体の両面から注入した(+は注入位置)。軸力のあるW1-06-Iは壁体全面に両面から注入した。

④破壊性状(補修後)

図17に補修後の破壊性状を示す。軸力のない試験体W1-00-Oはエポキシ樹脂に注入した直上の目地部にひび割れが貫通し耐力が決定した。変形はひび割れより上の壁の剛体回転によって発生している。W1-00-Iは加力スタブ下部(3段目)に水平にひび割れが貫通し、最大耐力に至り以後、この部分で滑り挙動を示し、ロッキング等は見られなかった。両試験体ともにエポキシ注入部での破壊は見られなかった。一方、壁前面に注入した軸力のあるW1-06-Iは補修前と同様、壁最下部の目地にひび割れが貫通した。

⑤荷重変形関係(補修後)

図18に補修後の荷重変形関係を示す。軸力のないW1-00-Oは補修前とほぼ同様の荷重変形関係を示すが、最大耐力のみ異なっている。一方、W1-00-Iは最大耐力以降、一定値で推移するまでは同様であるが、一定値の耐力および復元力に違いがみられる。これは補修前では曲げ破壊以後剛体回転運動し、壁自重による抵抗力が支配的であったのに対し、補修後はひび割れ面が壁上部に発生しすべり変形をするため摩擦による抵抗となっているためと考えられる。軸力のあるW1-06-Iはほぼ同形状の荷重変形関係であり、最大耐力も大きな違いはない。これは壁最下部曲げ破壊という同じ破壊形状

となっていることから、抵抗機構は変わらず、軸力による断面での釣り合いで破壊形式が決定しているためと考えられる。

⑥最大耐力と補修効果

壁試験体の最大耐力一覧を表6に示す。最大耐力を(9)式を用いて最下層部の曲げ強度に換算して比較した結果を図19に示す。図中には要素試験のより求めた(10)式および(11)式を示す。補強前の曲げ強度は軸力のない2試験体(試験体重量は考慮)は0.531MPaと0.529MPaとなり、要素試験の0.9MPaの約6割にとどまった。壁試験体となると煉瓦数も格段に多くなり、ばらつきがより拡大する結果と推察される。エポキシ注入による増大率は約1.5倍程度を示している。この値は破壊性状からもわかるようにエポキシ注入によってひび割れ位置が移動したためによる増大であり、全面に注入した場合には更に増大率は上昇するものと考えられる。いずれにしても要素試験の結果とは乖離しており、要素試験の適用にあたってはスケール効果等による考察も必要と考えられる。一方、補強前の軸力のある試験体の曲げ応力2.09MPaとなり、断面決定式近くの値をとっている。この試験体は図からもわかるように断面決定式で耐力が決まるため、補強効果が期待できず、補強後もその増大率は1.05倍にとどまり、補強効果はあまり見られない。

6. 結論

煉瓦組積壁体のエポキシ樹脂注入による補強に関し組積要素および組積壁の載荷試験を実施し、以下の知見を得た。

組積要素試験

- 1) 圧縮強度は補強によって1.5倍程度に上昇した。
- 2) 曲げおよびせん断試験はいずれも目地の曲げひび割れ先行による曲げ破壊か断面釣り合いによって耐力が決定し、軸力なしの場合、エポキシ樹脂注入によって曲げ強度が2倍程度に上昇する。また、目地モルタルの強度が曲げおよびせん断強度に与える影響は小さい。

組積壁試験

- 1) いずれの組積壁試験体の破壊性状は、試験体の下部の目地部分に曲げひび割れが発生し、最大荷重に達した。軸力なしの試験体は曲げひび割れによって耐力が決定し、軸力のある試験体では断面の釣り合いによって耐力が決定した。軸力なしの試験体の耐力は要素試験から求められる計算値の6割程度であった。
- 2) エポキシ注入による補強効果は軸力なしの試験体において約1.5倍程度の補強効果が見られたものの、要素試験のエポキシ注入の増大効果をそのまま壁試験体に適用するまでには至らなかった。要素試験と壁試験との関係については試験体のスケールも考慮した検討が必要と考えられる。

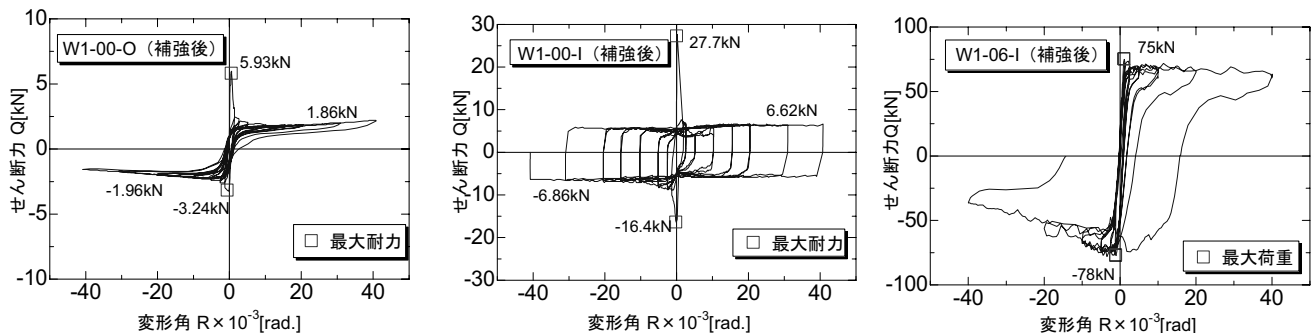


図18 荷重変形関係(補強後)



(a) W1-00-O (面外) (b) W1-00-I (面内)

図17 破壊性状(補強後)

表6 最大耐力一覧

試験体名	補強前	補強後	増大率
	Q_{max} (kN)	Q_{max} (kN)	
W1-00-O	3.87	5.93	1.54
W1-00-I	18.9	27.7	1.47
W1-06-I	74.5	78.0	1.05

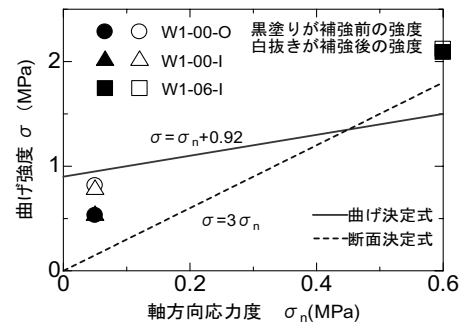


図19 壁の最大耐力時曲げ強度

謝辞

本研究を行いにあたり、広島大学大学院谷岡洋介氏(現大成建設)に協力いただいた。また実験遂行にあたり呉工業高等専門学校寺岡勝教授に御助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 多幾山法子, 他5名: ステンレスピン挿入による歴史的組積建造物の耐震改修-その1 補強煉瓦壁の繰り返し面外曲げ実験-, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 第635号, pp.167-176, 2009.1
- 2) 宮谷慶一: 明治期組積造建築の目地モルタルにおける石灰の使用について, 日本建築学会計画系論文集, pp.169-176, 2004.11
- 3) 岩下善行, 他7名: 三菱一号館の復元に伴う構造耐力試験 その3, 学術講演梗概集, C-2, pp.815-816, 2006.9
- 4) 山本正人, 他5名: プレストレス導入により補強したレンガ造壁の構造性能に関する実験的研究 その1, 学術講演梗概集, C-2, pp.971-972, 2009.8