

文化財煉瓦造建築物における目地欠陥部 注入補修による改善効果に関する研究

馬場明生 (感性デザイン工学科) 守明子 (名古屋工業大学)

長谷川直司 (国土交通省) 河原利江 (感性デザイン工学科)

堀江真一 (感性デザイン工学専攻)

A Study on the Improvement Result by Injecting Repair Materials into the Defective Portion of the Joint Between Two Bricks in a Cultural Property Brick Building

Akio BABA (Department of Perceptual Design and Engineering) Akiko Mori (Nagoya Institute of Technology) Naoji HASEGAWA (National Institute for Land and Infrastructure Management) Rie KAWAHARA (Department of Perceptual Design and Engineering) Shinichi HORIE (Division of Perceptual Design and Engineering)

In this research, it carries out for the purpose of establishing the evaluation method for selecting a suitable repair material to the repair work of a future cultural property masonry structure by clarifying the long-term dynamic performance and long-term quality of brick and masonry structure. Then, some kinds of repair material was poured into void joint which are often seen to a cultural property brick structure, and it evaluated by conducting a compression experiment and a permeability experiment.

Key Words: *Masonry buildings, Preservation, Cultural property, Pouring repair materials, Compression action*

1. はじめに

本研究では長期間経過した煉瓦（以下ユニットと呼ぶ）および組積体（以下プリズムと呼ぶ）の力学的性能および性状を明らかにすることにより、文化財組積構造物の補修工事に対して適切な補修材料を選定するための評価方法を確立することを目的に実施するものである。

一般に煉瓦造の耐久性はユニットの物理的性質によって影響を受け、構造耐力は、目地を含めたプリズムの各種強度によっても決定されるが、ユニットのみでなく目地を含めたプリズムが構造耐力に与える影響は非常に大きいことが知られている。また、明治・大正期の同構造体は密実な充填を確保するための最小壁厚さである 2 枚半未満のものが多く、

不可避免的に目地部に空隙を生じていることが多い。

また、煉瓦造の防水性は煉瓦造を外壁など雨漏が問題となる部位に用いるときに問題となることはもちろん、地盤面からの吸水の場合、外壁面からの吸水、パラペットの吸水などの場合によく観察される煉瓦の吸水膨張によるひびわれなどの故障防止、寒冷地における吸水による凍害など、煉瓦造の性能に大きな影響をもたらしている。

そこで、本研究では目地空隙部の充填による改善効果を明らかにするため、目地部の間隙部分に補修材料を注入した後、煉瓦および組積体の圧縮挙動に関する実験および透水性能に関する実験の 2 種類の実験を行った。

2. 試験体概要

使用材料およびその力学特性を Table1 に、試験体の種類および概要を Figure1 に示す。試験体は煉瓦（100×100×60mm）3 体を高さ 210mm となるように目地幅 15mm で目地詰めし、横目地を 2 ヶ所含む、3 段積みのプリズムを作成した。

目地部の材料には、石灰とセメント、珪砂を明治・大正期によく用いられた調合比だと考えられている 1:3:12 にて混合した石灰セメントモルタルを用いた。また、目地部は、全面接着目地、充填不良部のある状態を想定した部分接着目地、また、部分接着目地の間隙部分に補修材を注入したもの 3 種類を使用した。

注入材料概要を Table2 に示す。注入材料には、低粘度エポキシ樹脂、湿潤専用エポキシ樹脂、高粘度エポキシ樹脂、SBR セメントスラリー A、SBR セメントスラリー B の 5 種類を使用した。また、低粘度エポキシ樹脂および SBR セメントスラリー A に関しては、試験体が気乾状態にある場合と湿潤状態にある場合の 2 種類において注入した。注入方法は、目地部の間隙以外の 3 面をシールし、残りの 1 面から空気が入って空隙が出来ないように底の方から圧をかけながら注入した。また、注入後室内常温で 2 週間気中養生した。

3. 実験概要

3.1 透水性能に関する実験

全面接着目地と、部分接着目地および部分接

Table 1 Use material and the dynamics characteristic

	終局強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比
ユニット	44.30	14.74	0.18
目地	0.27	0.86	0.30
ユニット	粘度 吉名原土		
目地	容積調合 セメント：石灰：砂=1：3：12 セメント T社製：普通ポルトランドセメント 石灰 T社製：塩焼消石灰 砂 豊浦珪砂		

Table 2 The kind of poured-in material

	施工条件	注入量 (g)	ヤング係数 (GPa)
低粘度エポキシ樹脂	気乾状態	40.8	0.41
低粘度エポキシ樹脂	湿潤状態	34.2	0.41
湿潤専用エポキシ樹脂	湿潤状態	42.1	0.68
高粘度エポキシ樹脂	気乾状態	31.1	0.36
SBR セメントスラリー A	気乾状態	65.3	19.0
SBR セメントスラリー A	湿潤状態	62.3	19.0
SBR セメントスラリー B	湿潤状態	53.1	3.48

着目地に補修材を注入した場合とを比べ、透水性にどのような相違があるかを調べるために、補修材注入後に透水性能に関する実験を行った。

Figure2 に示すように、地盤面からの吸水を仮定して、気乾状態のプリズムの下端を常に 10mm だけ水中に浸漬しているようにして、ある時間間隔での水分の吸上げ高さを測定した。なお、吸上げ高さは煉瓦が濡れ色になっている地点の最長寸法までの高さを測定するものとした。水中に 14 日間程度浸漬し 30 分、1・3・6 時間、1・3・7・14 日後の吸上げ高さおよび質量を測定した。そして、測定した質量を用いて吸水率を算出した。そして 14 日間経過後、試験体を容器から取り出し気中に放置し、放置後 30 分、1・3・6 時間、1・3・7・14 日後の質量を測定した。そして、測定した質量を用いて放湿率を算出した。

3.2 煉瓦および組積体の圧縮挙動に関する実験
注入材の有無、または注入材の種類によって破壊のプロセスおよび圧縮強度にどのような相違があるかを調べるために補修材注入後に煉瓦および組積体の圧縮挙動に関する実験を行った。

100t 容量の油圧式アムスラを使用した。Figure1 に示すように、載荷面は上下面とし、試

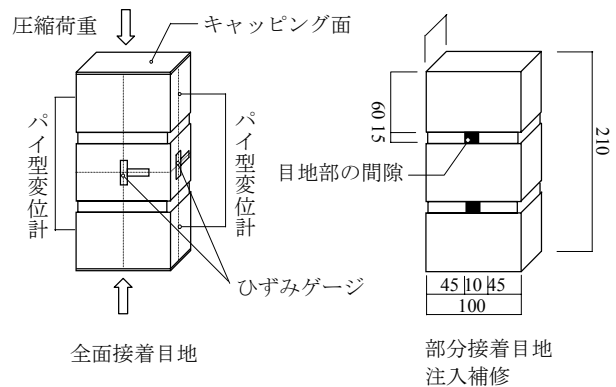


Figure 1 The kind of examination object

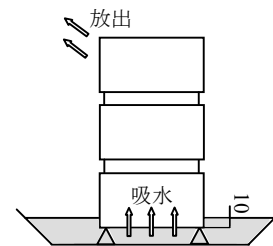


Figure 2 The water penetration experiment method

験体上下面に不陸調整のため石膏キャッピングを行った。

測定方法は、中段のユニットの中心に縦横2枚のひずみゲージを組み合わせて貼り、さらにプリズムの圧縮挙動を測定するため2面に2本の変位計を設置した。そして、測定した実験結果から応力ひずみ関係、ヤング係数、ポアソン比等を算出した。

4. 実験結果および考察

4.1 透水性能に関する実験

水中浸漬時間と吸水率および気中放置時間と放湿率の関係をそれぞれ Figure3、Figure4 に示す。

そして、Figure3 および Figure4 から目地部に間隙が有るものが最も吸水し、その分最も放湿した。これは煉瓦自体の方が目地部の構成材料である石灰セメントモルタルよりも透水性に優れているので、目地部の石灰セメントモルタルの量が多い全面接着目地よりも部分接着目地が吸水率、放湿率ともに高くなったと考えられる。低粘度エポキシ樹脂や SBR セメントペーストを注入したものは、吸水および放湿が低くなった。これはこの2つの注入材の流動性が高いため目地部の細部にある空隙まで流れ込み、含浸し、吸水および放湿を妨げたものと思われる。これに対して高粘度エポキシ樹脂は、流動性が低いため目地部の細部の空隙に流れ込むことができなく、部分接着目地よりは低い全面接着目地より高い吸水率および放湿率となったと考えられる。

4.2 煉瓦および組積体の圧縮挙動に関する実験

強度・弾性係数等の実験結果および圧縮実験から得られる応力とひずみとの関係における、破壊が始まると考えられる破壊開始点、崩壊が始まると考えられる破壊臨界点をそれぞれ Table3、Figure5 に示す。応力ひずみ曲線を Figure6 に、プリズム、ユニットおよび目地部における破壊開始時のひずみと破壊限界時のひずみを Table4 に示す。

また、プリズムの圧縮強度とヤング係数との関係およびプリズムの圧縮強度とポアソン比との関係をそれぞれ Figure7、Figure8 に示す。また、Table3 のプリズムのヤング係数 E_m 、ポアソン比 μ については、最大強度の 1/3 における割線弾性係数とした。

Table3 から、圧縮強度が最も高いのは低粘度

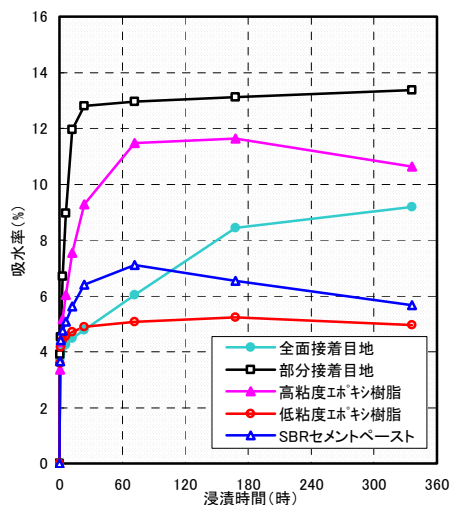


Figure 3 Relation between the rate of water absorption and underwater immersing time

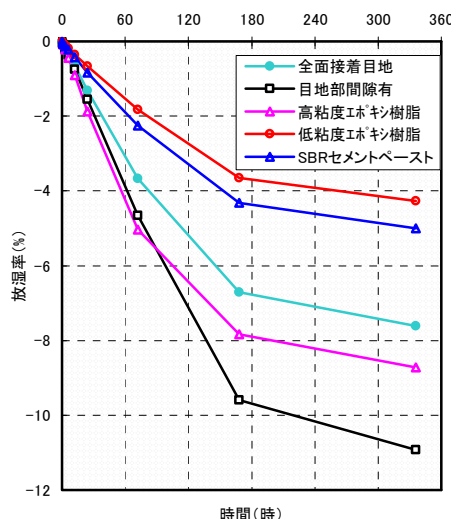


Figure 4 Relation between the rate of discharge water and neglect-among mind time

エポキシ樹脂 (気乾状態) を注入補修した場合となり、20.50MPa を示した。次に、低粘度エポキシ樹脂 (湿潤状態) および SBR セメントスラリーA (気乾状態) を注入補修した場合が高く、18.67MPa を示し、つづいて同程度の圧縮強度で高粘度エポキシ樹脂を注入した場合が 18.54MPa を示した。そして次に、湿潤専用エポキシ樹脂を注入補修した場合の圧縮強度が 17.80MPa を示し、次に SBR セメントスラリーA (湿潤状態) が 17.64MPa となった。ここまでは、全面接着目地の圧縮強度の 15.57MPa を上回る結果となった。そして、SBR セメントスラリーB は 15.20MPa と全面接着目地の圧縮強度をわずかに下回った。最も低い圧縮強度

を示したのが部分接着目地で、13.87MPa を示した。

この結果から、低粘度エポキシ樹脂を注入補修した場合、気乾状態においても湿潤状態においてもその圧縮強度は高く、また、高粘度エポキシ樹脂や湿潤専用エポキシ樹脂を注入補修した場合も全面接着目地の圧縮強度を上回る結果となったことから、エポキシ樹脂は強度の面において優れているということが分かった。

SBR セメントスラリーA を注入補修した場合は、気乾状態および湿潤状態ともに全面接着目地の圧縮強度を上回った。SBR セメントスラリーB を注入補修した場合は、少し低めの圧縮強度を示したが、部分接着目地の圧縮強度と比べると注入補修したことにおける効果は出ていたと言える。

そして、部分接着目地の圧縮強度は極端に低い実験結果となったことから目地部に充填不良部のある場合の弱さが明らかになった。

また、今回用いた低粘度エポキシ樹脂、湿潤専用エポキシ樹脂、高粘度エポキシ樹脂およびSBR セメントスラリーに限っては注入補修することの効果は如実に出ていたと言える。

Table3 に示すように、補修材を注入したもののプリズムのヤング係数は、SBR セメントスラリーB 以外は部分接着目地のヤング係数を上回った。それに伴いSBR セメントスラリーB 以外の補修材を注入したものでは大幅な圧縮強度の向上がみられた。

また、Figure8 に示すように、プリズムのヤング係数のデータは、既往の研究²⁾の通り、概ね直線的に並んだ。

Figure7 および Table3 から、部分接着目地のポアソン比が 0.26 で最も高く、次に低粘度エポキシ樹脂（気乾状態）を注入補修した場合が 0.24、SBR セメントスラリーB を注入補修した場合が 0.22 となり、低粘度エポキシ樹脂（湿潤状態）および湿潤専用エポキシ樹脂を注入補修した場合で 0.19、そして高粘度エポキシ樹脂を注入補修した場合が 0.17、全面接着目地および SBR セメントスラリーA（気乾状態）を注入した場合は 0.16 となった。そして、最も低かったのが SBR セメントスラリーA（湿潤状態）を注入した場合で 0.15 を示した。

Table4 から、プリズムの破壊開始・破壊臨界

点ともに全面接着目地のひずみが最も大きい。そして、部分接着目地を基準にとり、目地部に充填不良部がある状態から補修材料を注入することで、どのように破壊までのエネルギー吸収能力において改善効果があったのかという観点から考えると、目地部に補修材料を注入したもの全てにおいて部分接着目地のプリズムの破壊開始点におけるひずみを上回った。そして、部分接着目地のプリズムの破壊臨界におけるひずみを上回ったのは高粘度エポキシ樹脂および SBR セメントスラリーA（気乾状態）のみだった。

よって、破壊までのエネルギー吸収能力において明確な改善効果があったといえるのは高粘度エポキシ樹脂およびSBR セメントスラリーA（気乾状態）の2種類といえる。

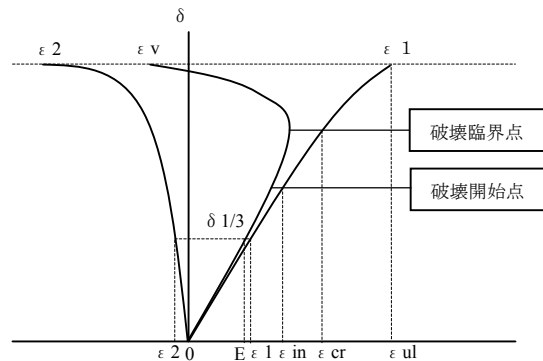


Figure 5 The example of a stress distortion curve

Table 3 Experiment result

	最大強度 (MPa)	最大ひずみ (μ)	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比
全面接着目地	15.57	5481	6.63	0.16
部分接着目地	13.87	4808	6.23	0.26
低粘度エポキシ樹脂(気乾)	20.50	4808	7.56	0.24
低粘度エポキシ樹脂(湿潤)	18.67	4039	8.70	0.19
湿潤専用エポキシ樹脂	17.80	3942	8.04	0.19
高粘度エポキシ樹脂	18.54	5769	6.48	0.17
SBR セメントスラリーA(気乾)	18.67	5192	6.63	0.16
SBR セメントスラリーA(湿潤)	17.64	3558	7.62	0.15
SBR セメントスラリーB	15.20	4808	5.09	0.22

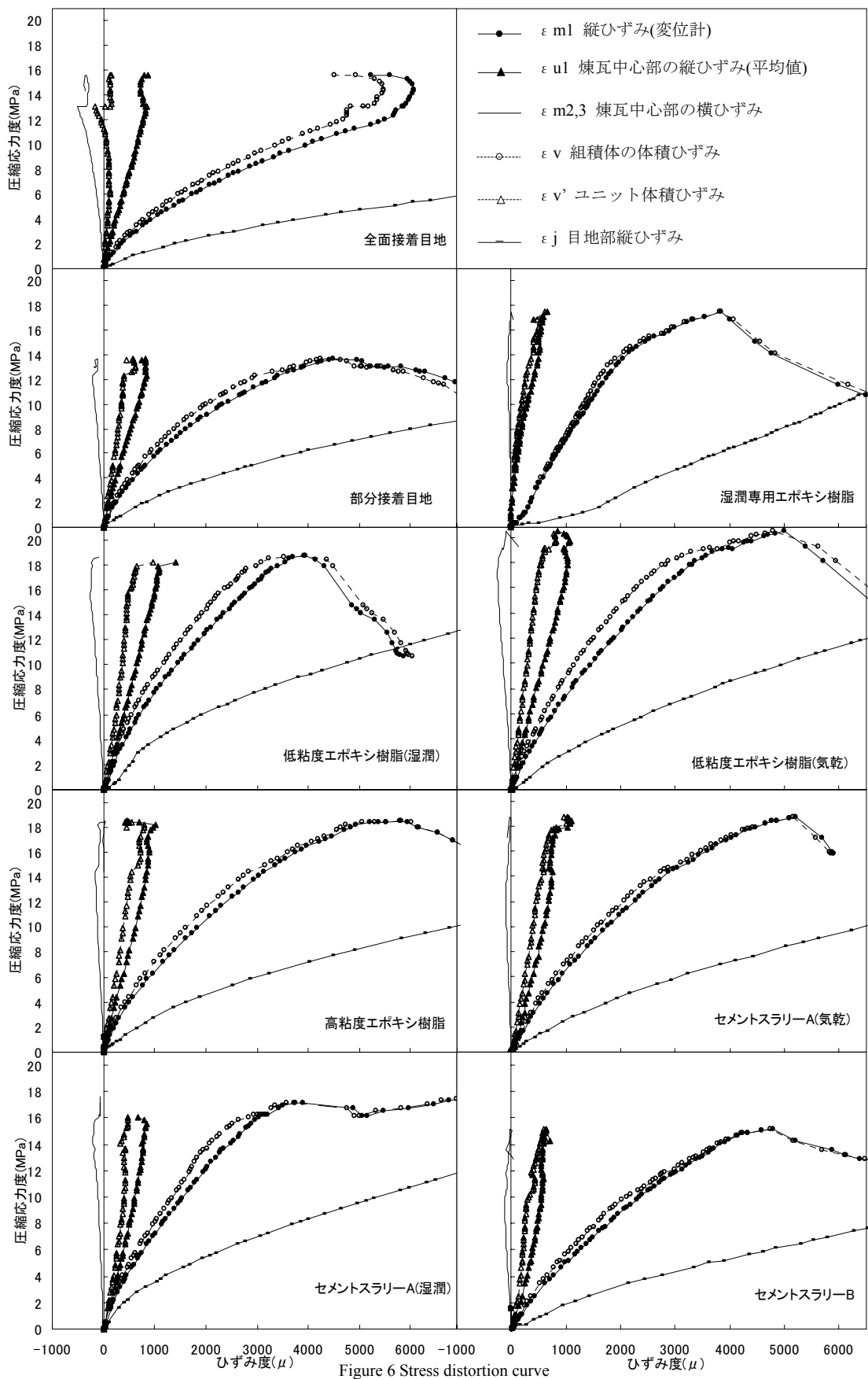


Figure 6 Stress distortion curve

Table 4 The experiment result about an axial distortion

	プリズム 破壊開始 (μ)	プリズム 破壊臨界 (μ)	ユニット※ 破壊開始 (μ)	ユニット※ 破壊臨界 (μ)	目地部※ 破壊開始 (μ)	目地部※ 破壊臨界 (μ)
全面接着目地	2404	6154	1875	2266	5769	10962
部分接着目地	1538	4808	1406	3844	2885	6346
低粘度エポキシ樹脂(気乾)	1827	4808	2766	4422	7692	12212
低粘度エポキシ樹脂(湿潤)	1827	4039	1328	2963	5769	8365
湿潤専用エポキシ樹脂	1731	3942	1203	2281	5673	8365
高粘度エポキシ樹脂	2308	5769	2328	3813	7500	11442
セメントスラリー-A(気乾)	2019	5192	2266	2938	4519	10385
セメントスラリー-A(湿潤)	1635	3558	969	1821	5962	8365
セメントスラリー-B	1923	4808	1272	2766	2596	6923

注)※は組積体中のそれを示す

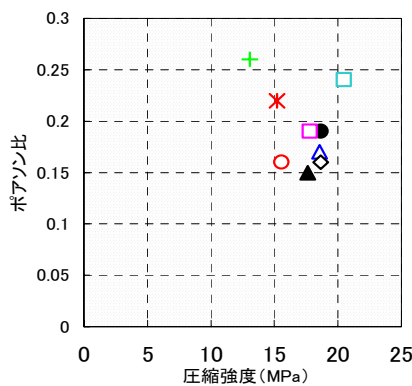


Figure 7 Relation between compression intensity and Young's modulus

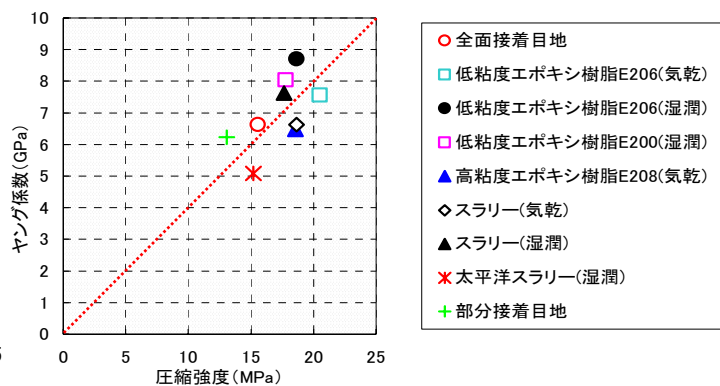


Figure 8 Relation between compression intensity and a POASON ratio

5. まとめ

本研究では目地空隙部の充填による改善効果を明らかにするため、目地部の間隙部分に補修材料を注入した後、煉瓦および組積体の圧縮挙動に関する実験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 全面接着目地か部分接着目地か、および注入材の有無によって吸水、放湿に相違があることが分かった。
- (2) 注入材の種類によって吸水、放湿に相違がでていることが分かった。
- (3) 低粘度エポキシ樹脂を注入補修した場合、気乾状態においても湿潤状態においてもその圧縮強度は高く、高粘度エポキシ樹脂や湿潤専用エポキシ樹脂を注入補修した場合も全面接着目地の圧縮強度を上回る結果となったことから、エポキシ樹脂は強度の面において優れているということが分かった。
- (4) SBR セメントスラリーを注入補修した場合は、種類によっては全面接着目地の圧縮応力度を下回る結果となったが、部分接着目地と比べると効果は出ていたことが分かった。

(5) 部分接着目地の圧縮強度は極端に低い実験結果となったことから目地部に充填不良部のある場合の弱さが明らかになった。

(6) 今回用いた補修材料に限っては注入補修することの効果は如実に出ていたと言える。

(7) 破壊までのエネルギー吸収能力において、明確な改善効果があったといえるのは高粘度エポキシ樹脂およびSBRセメントスラリーA(気乾状態)の2種類だといえる。

【参考文献】

- 1) 山下純子, 馬場明生, 渡部嗣道, 河原利江: 小野田徳利窯の保存に関する研究 その7 煉瓦および組積体の圧縮挙動, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25巻, 2003年3月, pp993-996
- 2) Akio BABA, Osamu SENBU, Mitsuyoshi WATANABE and Yasuyuki MATUSHIMA, MECHANICAL PROPERTIES OF MASONRY UNITS AND TEST METHODS FOR DETERMING COMPRESSIVE STRENGTH, Building Research Institute Ministry of Construction December, 1985 pp.1-51
- 3) 村永和生, 在永末徳: 保存と改修工事のための耐久性および耐力診断に関する報告書, 1991年10月
- 4) 堀江真一, 馬場明生, 守明子, 長谷川直司, 河原利江: 文化財煉瓦建築物の長期保存判定基準に関する研究 その3 目地非充填部注入による組積体の力学性状の評価試験方法の確立のための実験, 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, 2003年9月, A-1, pp143-144

(平成16年8月26日受理)