メーソンリーユニットの力学的試験方法の改善 および圧縮性状に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON METHODS FOR CLARIFYING MECHANICAL BEHAVIORS OF MASONRY UNITS UNDER UNIAXIAL LOADINGS

馬場明生*, 千歩 修**, 河原利江***, 守 明子****, 高橋和雄*****

Akio BABA, Osamu SENBU, Rie KAWAHARA,
Akiko MORI and Kazuo TAKAHASHI

This paper deals with a proposal on a standard experimental test method for clarifying compressive strength and deformation characteristics of masonry units mainly focused on quality control. As a result, small prism specimens with height to width ratio of 2.00 are proposed for performing the exact measurements of their elastic modulus. Furthermore, the following technical items are clarified;

- 1) The relationships between compressive strength and Young's modulus in the cases of burnt clay and concrete units.
- 2) Critical and initiation stress value under compressive loadings on the basis of volumetric strain features
- 3) Predictive methods of three dimensional strains on the basis of Young's modulus and Poisson's ratio changes under the process of uniaxial loadings

Keywords: masonry units, mechanical characteristics, standard method

メーソンリーユニット, 物理的特徴, 標準試験方法

1. はじめに

メーソンリー構造（組積造）¹⁾は、世界中で最も多くの人々が居住する建築構造であるにも関わらず、地震被害において多くの人々の命が失われてきている。しかし、この伝統的な建築構造に関しては、耐震性能が明確でなく、その性能を確保するために、最も基本的な建築材料であるメーソンリーユニット（組積単位とも呼称するが、ここでは以後ユニットと呼称する。）に求められる性質、すなわち構造設計における材料強度の試験方法についてすら明確でないのが現状である。一方、諸外国における品質規格の不統一および矛盾を放置した状態としてだけでなく、その結果、同種構造の構造性能の向上を遅らせる結果とすらなっている。我が国においても、メーソンリー構造のユニットの JIS 規格²⁾における試験方法は統一されておらず、同構造を安定して生産する支障となっている。また、メーソンリー構造の耐久性における利点を注目して耐震性・耐久性に優れた耐火造である鉄筋コンクリート組積造の普及が行われているが、そのための型枠状ユニットの試験方法についても統一されておらず、各種材質のユニットに関する共通な情報の普及が妨げられている。さらに、最近重要となりつつあるコンヴァージョン的な改修の代表としての明治・大正期の焼成粘土煉瓦³⁾を用いた文化財建造物として無筋メーソンリー構造の耐震性評価方法の確立が

求められており、この場合においても不正確な材料強度評価が実施されていることが多く、評価方法の定式化が強く望まれている。

したがって、ここでは標準的な試験方法について提案し、その結果として得られた圧縮強度・ヤング係数・ポアソン比およびそれらにおける関連性などについて明確とすることを目的としている。その結果、より性能の安定したメーソンリー構造を普及することに貢献できると考える。

2. 既往の研究

ユニットは適用する建築構工法によって中実・穴あき・空洞および型枠状と各種の形状に分けられるだけでなく、粘土焼成（セラミックス質と呼称する）・コンクリート・珪酸カルシウムなど各種の材質にも分類されており、このような現状が圧縮強度などの力学試験を混沌とした状態としている。すなわち、既往のユニットの圧縮強度試験方法について調査すると、ユニットの圧縮試験法はメーソンリー構造における最も重要な構造材料に関する試験法であるにもかかわらず、旧 JIS 規格および各国規格においては空洞部を含めたユニットの全形または半裁を圧縮する形態の試験方法が基本的に採用されてきた。この試験方法は構造耐力上有効ではない空洞や細孔を包含してユニットの全断面の強度（全断面強度と呼称する。）を評

本研究は、これまで BRI Research Paper¹⁾および日本建築学会大会学術講演梗概集¹⁾に発表したものを編集して取りまとめたものである。

* 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博

** 北海道大学大学院工学研究科建築材料研究室
教授・工博

*** 山口大学工学部感性デザイン工学科 助手・修士(工学)

**** 名古屋工業大学大学院つくり領域 教授・博士(工学)

***** 太陽セメント工業(株)

Prof., Dept. of Perceptual Design and Engineering, Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Asiss. Prof., Dept. of Perceptual Design and Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., M. Eng.

Prof., Tsukuri Collage, Graduate School of Eng., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Taiyo Cement Corporation

価するのには一定の意味は有しているが、ユニットの実質部を構成している材料そのものの力学的な性質などの構造設計上の必要な物理的諸性質を解明する観点からは不十分であり、特に形状とは一様独立した強度・ヤング係数・ポアソン比などの構造設計にとって不可欠な力学的性質を求めることができないだけでなく、扁平なユニットを活用する試験法では圧縮強度すら求めることができないのが現状である。

Table1に現行の代表的なユニットの圧縮強度試験法の概要を示す^{*)}。同表においては主として以下の点で異なっている。

- 1) 全形および切り出しの差異
- 2) 試験体の形状
- 3) キャッピングの方法
- 4) 異方性と使用方法との関連
- 5) 試験に必要なその他の資材の影響

3. 研究方法

3. 1 圧縮試験方法の比較検討

既往のユニットの圧縮強度試験方法について調査の結果、ユニットの材質を同定するための以下に示すような標準的な試験体を用いる方法としては、以下の要素を含むようにした。

- 1) 試験体は高さとし底辺の長さとの比は、中心部の破壊に端部拘束の影響が小さいように2:1とする。
- 2) 試験体の底辺長さは、実際のユニットから採取可能な限りにおいて大きくする。
- 3) キャッピング材は、試験体の強度より大きい材料を選択して可能な限り薄く用いる。
- 4) 試験体は、現実の使用状態における鉛直方向を加力方向とする。
- 5) 試験体は、軸方向ひずみのみでなく横方向ひずみを測定できるような寸法および表面形状とする。

結果としてユニットの圧縮試験体は、Figure1のように高さの小さい煉瓦では試験体の高さをユニットの高さとするように、また空洞

および型枠状ユニットの場合はフェイスシェル厚さを試験体の底辺の長さとするように採取することとなる。ここで試験体が小さい場合には強度値の変動を考慮して適宜試験体の本数を増大することとなる。ここでは、シリーズ1で5本、その他では基本的に3本の平均を採ることとした。荷重速度は圧縮応力度が0.1MPa/sとなるようにした。

実験は、底辺の長さを3cmで高さを6cmとする標準試験体を基準として、Table1に示す種類の試験方法に多いユニットの半裁をキャッピングしたものと比較した。そのとき各部のひずみの分布に変化を観察した。標準的な試験体の圧縮状態をPhotograph1に示す。その他、実験はTable2に示すように加圧盤の厚さ・異方性・含水状態などの影響を解明できるように、シリーズ1および2とした。

3. 2 変形状の測定

構造設計に必要な各種弾性係数を求めるために、我国の代表的な市販のセラミックス質14種、コンクリート質27種のユニットについてのシリーズ3の実験を実施した。ここではFigure2に示すようにワイヤーストレインゲージを貼付した。軸方向ひずみは相対する2面の値の平均、横方向ひずみも相対する値の平均とした。ここで、文化財建造物に多い小口面をダイ開口とする押出成形粘土焼成煉瓦のような異方性のある場合には、横方向ひずみの測定は2対の相対する面に対しても測定する必要がある。

これらの測定の結果、ヤング係数およびポアソン比を求めることができるだけでなく、それらの軸方向ひずみに対する体積ひずみ

Figure 1 Method for making specimens from actual units

Table1 Past methods for determining the compressive strength of masonry units^{*)}

Code	JIS R 1250-1981 Common Clay Bricks ²⁾	JIS R 2206-1977 Fireproof Clay Bricks	JIS A 5406-1979 Hollow Concrete Blocks ³⁾ JIS A 5210-1975 Ceramics Blocks ⁴⁾	ASTM C 67-81 Sampling and Testing Clay Masonry Units ⁵⁾	ASTM C 140-75 Sampling and Testing Concrete Masonry Units ⁶⁾	BS 3921 74 Clay Bricks and Blocks ⁷⁾
Shape of direction of Loading	 half size	 cubic (60×60×60mm)	 full size	 half size (quarter)	 full size	 full size
Condition of Specimen	—	absolute dry (105°C-120°C)	wet (more than 2h)	absolute dry (105°C-115°C) and cool 24±8°C (30-70%RH)	air dry	• wet(more than 24h) • saturated under vacuum • saturated by boiling
Capping	• no-capping • paper • rubber	• no-capping • paper	• mortar • gypsum+cement • gypsum (no-capping)	• gypsum • sulfur-filler • mortar	• sulfur • gypsum	• mortar • plywood sheet

Figure2 Method for measuring uniaxial and biaxial strain of units under axial loading and for identifying initiation and critical point of fractures

Photograph 1 Actual feature of test methods

どの変化を観察することによって、ユニットの内部破壊点や破壊臨界点の指標を得ることができる。さらに、メーソニー構造を構成する基本的な複合材料であるユニットを目地モルタルで組積した組積体（組積プリズムと呼称する。）についても同様に変形状を測定することによって、組積プリズムの圧縮強度だけでなく、ヤング係数およびポアソン比などを求めることができる。

3. 3 ユニットの破壊プロセスの同定手法

シリーズ3におけるユニット圧縮試験における各種ひずみの測定から体積ひずみを測定することによってユニットの破壊開始応力度および破壊臨界応力度を求めることができる⁵⁾。ここでは、Figure2に示すように体積ひずみと縦応力度との関係が比例関係から膨張側に移行し始めるときを破壊開始応力度、体積ひずみの極値を破壊臨界応力度と定義する。また、これらの応力度における縦ひずみを破壊開始ひずみおよび破壊臨界ひずみと呼称することとした。

3. 4 実験に用いたユニット

実験に用いたユニットは、Table2に示すように各種の断面形状および材質を尽くすことができるようにするとともに、研究の目的から以下の3つの実験シリーズに位置づけた。

シリーズ1：強度範囲の広いセラミックス質のユニットを用いて、圧縮強度試験にとって前提的な条件であるキャッピングおよび乾湿状態について検討

シリーズ2：試験体の形状および加圧盤の条件の影響

シリーズ3：圧縮強度のみならずヤング係数・ポアソン比、破壊プロセスの同定、ならびに圧縮系複合応力状態の構成方程式の確立

4. 実験結果

4. 1 圧縮強度に対する試験方法の影響

シリーズ1の5種類の粘土から製造された標準形中実断面形状のユニットの圧縮強度に関してキャッピングの有無・試験時の水分状態および押出成形方向という3つの影響の組合せで5体の平均値で評価した結果を、それぞれFigure3・4および5に示す。

Figure3に示すようにキャッピングしないで研磨したユニットの圧縮強度は吸水率が小さくなると大きくなるが、イオウキャッピングしたユニットは高強度ユニットではキャッピングなしより強度が

Table2 Brief expression of experimental procedures in the study

No. of Series	Kind of materials	Number of unit kinds	Nominal size of specimens (mm)	Main parameter of experiments
Series 1	clay	five	30×30×60	capping, isotropic and moisture conditions
Series 2	clay	three	30×30×60, full size	shapes of specimens
	concrete	ten	30×30×60, full size	shapes of specimens
Series 3	clay	fourteen	30×30×60	strength level of materials
	concrete	twenty seven	30×30×60	strength level of materials

小さかった。また、50MPa以下ではキャッピングの効果があり、前者の変動係数が11.83%に対して後者は18.80%と概ね変動の少ない結果が得られた。したがって、高強度のものを除けば、キャッピングによって正しい強度が求められるが、概ね50MPaより大きいときはキャッピング材料よりユニット強度が大きくなり、精密な結果が得られない。また、試験時の水分状態の影響に関してFigure4に示すように一部の低強度のものを除いてほぼ同一となった。さらに、押出成形方向との関連では、一部押出成形方向の圧縮強度が幾分か大きくなる結果となった。

4. 2 全形圧縮試験と比較

シリーズ2の全形試験結果とここで提案している試験方法、すなわち小型プリズム試験体との比較をFigure6に示す。ここで、キャッピングありの場合は、操作性より高強度の α 石膏を用いた。また、ここでは加圧盤の厚さの影響⁶⁾についても比較している。同様の試験を研究対象ユニットの製造会社で実施した結果も示している。ここで、この試験体も含めて α 石膏キャッピングに厚めの加圧盤を用いた。同図に示すように本提案の標準試験法で得られる圧縮強度に対して、他の方法では強度が大きくなるにつれて小さめの圧縮強度となっている。その傾向は、標準試験体による圧縮強度が概ね40MPaより大きくなると著しく全形試験高品質ユニットの圧縮強度には不適切であることが示されている。

一方、同シリーズの全形試験におけるひずみ並びにフェイスシェル表(a)裏(b)およびウェブにおける破壊発生例をそれぞれFigure7および8に示す。全形試験は、前図に示すように粘土焼成ユニットの全形試験ではキャッピングおよび加圧盤を工夫してもひずみは正確に測定できなかった。また後図に示すようにユニットの形状による固有の局所的な破壊が進行することから材質試験としては不適切である。

Figure3 Effects of capping in relation to water absorption ratio (Series1)

Figure4 Effects of moisture conditions (Series1)

Figure5 Effects of directions of extrusion moulding (Series1)

Figure6 Comparison between small prism and whole shape tests (Series2)

Figure7 Experimental results of measuring strain of whole shape specimens (Series2)

Figure8 Experimental results on fracture features in whole shape specimens (Series2)

4. 3 圧縮変形状および弾性係数

シリーズ 3 の標準試験によって得られた応力ひずみ関係の実験結果の例を Figure9 に示す。Figure9 に示すように、コンクリート系ユニットは、一般的な現場打設のコンクリートと同様に初期においては弾性的な挙動を示すが、より高応力レベルにおいてはより大きなひずみとなった。一方、セラミックスユニットではほぼ終局強度まで概ね弾性的な挙動を示した。また、同シリーズにおける圧縮強度とヤング係数との関係および圧縮強度とポアソン比との関係をそれぞれ Figure10 および 11 に示す。詳細に観ると前者は比較的強度が小さい範囲 (約 50MPa 以下) ではヤング係数は強度とともに急激に増大し、高強度の範囲では強度とともに緩慢にしか増大しないといういわゆる現場打設コンクリートにおける同関係と同様の傾向となるが、後者におけるヤング係数は圧縮強度とともにほぼ直線的に増

大する傾向となり、結果として最も構造体として用いられている 50MPa 以下の低強度では同一強度のときのヤング係数はセラミックスユニットがコンクリートユニットと比較してより小さいことが明確となった。すなわち、コンクリートユニットの場合には、グラウトメーソニーとして使用するときユニットとグラウトとが同一ひずみとなると仮定すると、内部のコンクリートなどのグラウトに強度比以上に応力を生じユニット破壊することになると考えられる。さらに、高強度のセラミックスユニットの場合はヤング係数が大きくなり、それに適合する目地材料が得られ難いために組積状態における強度が得られにくい結果となると考えられる。

次に圧縮強度とポアソン比との関係を Figure11 に示す。同図に示すように、圧縮強度が大きくなるにつれて概ね 0.20 程度の安定した値となるが、20MPa の以下の低強度では極端に大きなポアソン比や

Figure9 Stress and strain relationship of concrete and clay units under uniaxial compressive load

小さなポアソン比となる傾向となった。特にその傾向はセラミックスユニットにおいて著しく、低強度の同材質においては混練・焼成などの製造プロセスにおける押出成形による異方性が大きく現れるなど材質の不均質さによるものと考えられる。

5. 考察

5. 1 圧縮応力下における破壊プロセス

圧縮強度は他強度と比較して試験し易く、構造設計の場合には脆

Figure10 Relationships between young's modulus and compressive strength of masonry units

Figure11 Relationships between poisson's ratio and compressive strength of masonry units

性構造材料を用いた建築構造の基本的な材料強度として活用されている。ユニットを圧縮するときの破壊は圧縮強度時に突然生じる訳ではなく、圧縮応力がより小さいレベルから微細ひび割れ等の破壊が発生することが一般的には考えられる⁹⁾。すなわち、同一の圧縮強度であっても破壊が早期に発生しているものとそうでないものがあるということとなり、各種外力作用に対する許容応力度を確定するためには、このような破壊プロセスについて把握しておくことが求められる。ここでは、圧縮加力時の縦ひずみ・横ひずみおよびそれらから計算される体積ひずみと縦ひずみとの実験結果から 3.3 で述べた破壊プロセスの同定方法による破壊臨界応力度を求めた。この破壊臨界応力度と終局圧縮強度との比（破壊臨界応力度比と呼称する。）を縦軸とし、終局圧縮強度を横軸とした関係を Figure12 に示す。同図に示すようにコンクリートユニットでは破壊臨界応力度比すべての実験結果が 0.8 以上となっているのに対して、セラミックス系ユニットでは 0.27 から 0.96 と広範囲となっており、このことは構造設計における許容応力の設定において考慮すべきである。同図に参考のための一般的な強度のコンクリートと目地モルタルおよびグラウトモルタルとして最も一般的な強度の材料⁷⁾について比較している。グラウトコンクリートでは 0.72、グラウトモルタルでは 0.84、さらに目地モルタルでは 0.95 となった。それに比較してコンクリートユニットでは 0.82 から 0.96 と大きな値となったのは、振動加圧成形によるコンクリートの最大寸法が 10mm 程度と比

Figure 12 Experimental relationships between critical stress ratio and ultimate strength of masonry units (Note; Ordinary concrete and mortar are plotted in the this diagram in comparison with masonry units.)

Figure 13 Experimental relationships between critical stress and critical strain of masonry units (Note; Ordinary concrete and mortar are plotted in the this diagram in comparison with masonry units.)

較的小さくモルタルに近いコンクリートであるため、上述のモルタルとコンクリートの間となったと考えられる。

さらに、破壊臨界応力度とそのときの縦ひずみ、破壊臨界ひずみとの関係を Figure13 に示す。同図に示すように一般的なコンクリートの破壊臨界ひずみは、 1000μ 程度であるのに対してここでの各種モルタルでは 3000μ 程度となり、コンクリートユニットはその間の値となっている。それに対してセラミックスユニットは 600μ から 3300μ までと広範囲となっており、構造材料として用いる場合、臨界状態の応力とひずみとを把握することが望まれる。これらの関係は概ね臨界ひずみが増大するにしたがって臨界応力度が大きくなる傾向はあるが、その下限域に位置する材料から上限域に位置する材料までと幅があり、それは畑の底土すなわち雑粘土を原料とするものと精製粘土を原料とするものの差であると考えられる。コンクリートに関しては上述の関係の中程度以下から下限の間に位置している。

Figure14 Relationships between young's modulus and uniaxial strain of concrete units and clay units under uniaxial compressive load

Figure15 Relationships between poisson's ratio and uniaxial strain of concrete units and clay units under uniaxial compressive load

5. 2 ヤング係数およびポアソン比の変化の定量評価

シリーズ 3 の実験結果よりヤング係数と縦ひずみとの関係を Figure14 に、ポアソン比と縦ひずみとの関係を Figure15 に示す。同図に示すようにコンクリートユニットのヤング係数は縦ひずみとともに徐々に低下する傾向となるが、セラミックスユニットではほぼ一定となる。また、ポアソン比は両材質とも初期においては一定であるものの縦ひずみの増大とともに増大する傾向となる。以上をまとめると下式で表現できる。

$$E = E_0 \cdot (1 - a \cdot \varepsilon_1)$$

$$\mu = \mu_0 - b / (\varepsilon_1 - \varepsilon_\infty)$$

ここで、 E : ヤング係数、 μ : ポアソン比、 ε_1 : 縦ひずみ、 E_0 : $\varepsilon_1=0$ 時のヤング係数、 a, b, E_0, μ_0 および ε_∞ : 実験定数

また、弾性係数は押出成形セラミックス材料の場合は異方性を考慮して求める。

6. まとめ

実験結果および考察から以下の事項が結論できる。

- 1) ユニットの用いる材料の圧縮強度は、全形試験では求めることはできない。
- 2) 圧縮強度および変形性状を明らかにするためには、実際のユニットから切り出した小形の試験体によることが有効である。
- 3) コンクリートおよびセラミックスユニットの圧縮強度は、ヤング係数に対して放物線および直線で表される。また、ポアソン比は圧縮強度の上昇とともに一定値に安定する。
- 4) コンクリートユニットの圧縮時における臨界応力度およびひずみ度は、一般的な現場打設コンクリートより優れているが、モルタルよりは劣っている。
- 5) セラミックスユニットの圧縮時における臨界応力度とひずみ度との関係は、広範囲であり、終局圧縮強度に加えて臨界応力度とひずみ度とを確認することが必要である。
- 6) 押出成形によるセラミックスユニットは、圧縮強度・ヤング係数およびポアソン比において異方性があり、その傾向は低強度となるほど著しい。
- 7) ヤング係数およびポアソン比は縦ひずみに対して直線および双曲線によって定量的に表現できる。

注

- *1 メーソンリー構造という用語は最もグローバルであり、日本建築学会建築工事標準仕様書においても採用されている。
- *2 粘土焼成煉瓦の JIS は、JIS R 1250 (普通煉瓦) と JIS A 5210 (建築用セラミックスメーソンリーユニット) とでは、全く異なる試験法が採用されており、どちらを採用すべきが明確でないだけでなく、当然結果も不統一となる。
- *3 煉瓦は、一部に粘土焼成したユニットの意味で用いられるが、国際的には長さモジュールが 300mm 以下のユニットの意味で使用されているので、ここでは後者の定義によった。また、300mm 以上はブロックと呼称され、両方を総称してユニットという。
- *4 Table 1 は一部最近改定されたものについては、制定年を明記して旧基準を示している。
- *5 セラミックスやコンクリートといった脆性材料が圧縮加力されるときは、ひび割れの進展を伴う破壊となることを前提として、破壊開始状態や不

安定破壊への臨界状態は体積膨張によって観察されると仮定して、変位計やひずみゲージを破壊検知センサーとして用いる手法として位置づけできると考える⁹⁾。

- *6 ここで、加圧盤が厚いという状態は付図に示す条件を満たすということであり、このもより加圧盤厚さが小さいと現実の圧力分布が中央部においてより大きい状態となり、圧縮割裂状態となって試験体に縦割れを生じることによってより小さい強度値となることが既往の研究で示されている¹⁰⁾。

付図 加圧盤の厚さの最小値の求め方

- *7 ここで、グラウトコンクリートとしては水セメント比 57%、スランプ 21 の川砂・川砂利を用いた (ともに鬼怒川岸) 普通コンクリート、目地モルタルとしては骨材最大寸法を 2.5mm の川砂 (鬼怒川岸)、細骨材セメント比 (S/C) 2.5 のフロー 170 とし、グラウトモルタルは骨材最大寸法を 5.0mm の川砂 (鬼怒川岸) S/C を 2.5、コンクリートスランプを 24 とした。
- *8 Figure12 におけるセラミックスユニットは、穴あき断面形状であり、各種強度および応力度は、穴を含めた評価となっているため、ここでは一般的な材質の傾向と同一で取り扱うことができないと考えられる。

謝辞

この研究は、組積造の耐震性に関する日米共同研究および文化財建造物の耐震調査において実施された研究を取りまとめたものであり、ご協力をいただいた多くの人々に感謝いたします。また、本研究の一部は故渡辺光良氏、松島泰幸氏の協力によるものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Akio Baba, Osamu Senbu, Mitsuyoshi Watanabe and Yasuyuki Matsushima, Mechanical Properties of Masonry Units and Test Methods for Determining Compressive Strength, BRI Research Paper No.118, Dec. 1985
- 2) 日本工業規格 普通煉瓦 JIS R 1250-1981
- 3) 日本工業規格 空洞コンクリートブロック JIS A 5406-1979
- 4) 日本工業規格 セラミックブロック JIS A 5210-1975
- 5) "Sampling and Testing Clay Masonry Units" ASTM C 67-81
- 6) "Sampling and Testing Concrete Masonry Units" ASTM C 140-75
- 7) "Clay Bricks and Blocks" BS 3921-74
- 8) "Mauerwerk" DIN 1045
- 9) S. P. Shah and S. Chandra, "Critical stress, volume change and micro cracking of concrete," ACI Journal Sept., 1968
- 10) M. W. Self, "The structural properties of load-bearing concrete masonry," EIES Project D-622, Engineering and Industrial Experimental Station, University of Florida, March 1974
- 11) 河原利江, 馬場明生, 守 明子, 長谷川直司, 高村功一: 文化財煉瓦造建築物の長期保存判定基準に関する研究 その2 煉瓦および組積体の圧縮性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), A-1, pp.141-142, 2003.9

(2003年5月9日原稿受理, 2003年7月2日採用決定)