

九州大学本部第一庁舎および第三庁舎を構成する煉瓦組積体の圧縮載荷実験

山口, 謙太郎

九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 : 准教授

蜷川, 利彦

九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 : 教授

村上, 公志

九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 : 修士課程

石原, 義高

九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 : 修士課程修了生

他

<https://doi.org/10.15017/1785661>

出版情報 : 都市・建築学研究. 28, pp.101-108, 2015-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

バージョン :

権利関係 :

九州大学本部第一庁舎および第三庁舎を構成する煉瓦組積体の圧縮載荷実験

Compressive Loading Test of Brick Masonry which Constitutes the Kyushu University Headquarters Building 1 and 3

山口謙太郎*, 蛭川利彦*, 村上公志**, 石原義高***, 崔 星***

Kentaro YAMAGUCHI, Toshihiko NINAKAWA, Koshi MURAKAMI,
Yoshitaka ISHIHARA and Xing CUI

The objective of this study is to grasp the mechanical characteristics to compressive loading about the unreinforced brick masonry extracted from the Kyushu University Headquarters Building 1 and 3. Core and prism specimens for the compressive loading test were extracted from the walls of the two unreinforced brick masonry buildings, and were made with the bricks and mortar whose strength were similar to those of the actual masonry structure's components.

As a result of the loading tests, some basic mechanical characteristics to compressive loading about the brick masonry were clarified, for instance, compressive strength, stress-strain relations, apparent Young's modulus and so forth. And it was found out that the compressive strength of the actual brick masonry can be affected from the filling condition of the mortar joint.

Keywords : *Unreinforced Masonry, Brick, Core, Prism, Loading Test, Compressive Strength*

無補強組積造, れんが, コア, プリズム, 載荷実験, 圧縮強度

1. 序

本研究は、1925年に建築された九州大学本部第一庁舎および同第三庁舎を構成する無補強煉瓦組積体の力学特性を調べ、両庁舎の耐震安全性を確認するための基礎データを得ることを目的として行っている。

本論文では、両庁舎を構成する組積造壁体から採取したコアおよびプリズム試験体と、それらと同程度の強度を有する煉瓦および目地モルタルを用いて組積し作製したパイロット試験体（コアおよびプリズム試験体）の圧縮載荷実験を行って、圧縮強度や材軸方向の変形性状などを調べた結果を述べる。

2. 九州大学本部第一庁舎および同第三庁舎の概要

福岡市東区箱崎に位置する九州大学本部第一庁舎は、1925（大正14）年に建築された地上2階建て、延床面積2,881m²の煉瓦造建築物である¹⁾。同庁舎の外観を写真1に、平面図を図1に示す。同庁舎を構成する壁体は無筋

煉瓦造で、壁厚は1階が煉瓦の長手方向2枚分、2階には煉瓦長手2枚分の箇所のほか、多くの内壁に煉瓦長手1.5枚分の箇所がある。各階の床スラブは鉄筋コンクリート造で、小梁や壁頂部に臥梁を有し、これらも鉄筋コンクリート造である。

九州大学本部第三庁舎は前述の第一庁舎の南隣に位置し、第一庁舎と同じ1925（大正14）年に建築された地上3階、地下1階建て、延床面積788m²の煉瓦造建築物である²⁾。同庁舎の外観を写真2に、平面図を図2に示す。同庁舎を構成する壁体は第一庁舎と同様の無筋煉瓦造で、壁厚は地階と1階が煉瓦の長手方向2枚分（地階の階下のみ煉瓦長手1.5枚分）、2階には煉瓦長手2枚分の箇所のほか、一部の内壁に煉瓦長手1.5枚分の箇所がある。各階の床スラブ、小梁、壁頂部の臥梁は鉄筋コンクリート造である。

3. 試験体の概要

3.1 庁舎から採取した試験体の概要

第一庁舎1階の壁体上部から直径約218mmの円柱状のコアを3体、高さが煉瓦10段分で奥行が壁厚に等し

* 都市・建築学部門

** 空間システム専攻 修士課程

*** 空間システム専攻 修士課程修了生

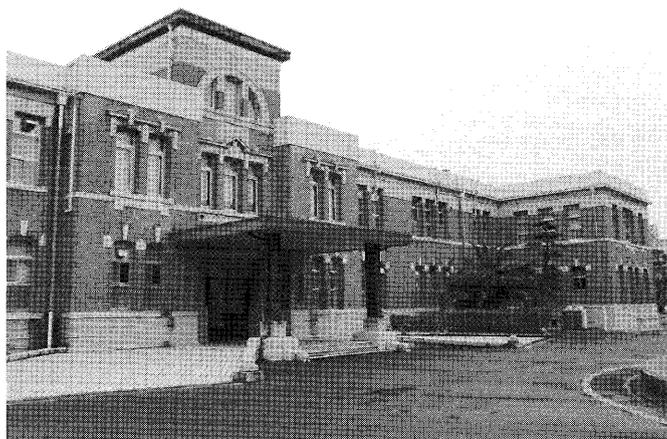


写真1 九州大学本部第一庁舎の外観

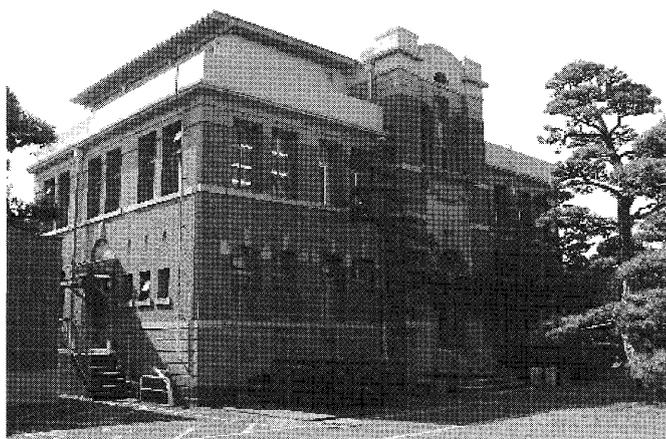


写真2 九州大学本部第三庁舎の外観

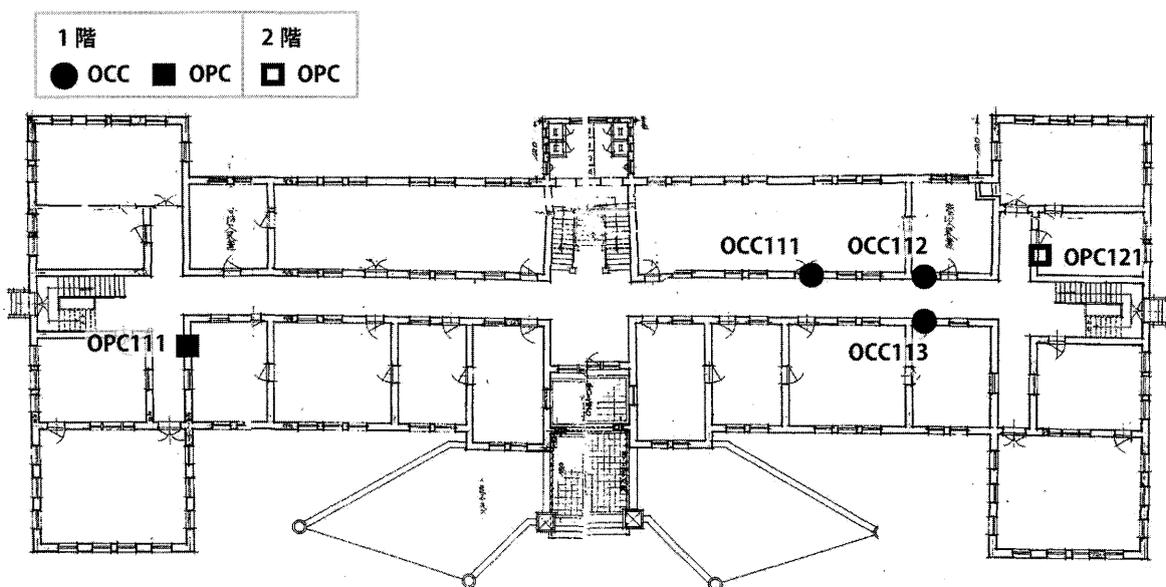


図1 九州大学本部第一庁舎平面図（試験体採取位置）

い角柱状のプリズムを各階1体ずつ計2体採取した。第三庁舎の壁体からも同様の形状のコアを3体（うち2体を地階上部，1体を1階上部から），プリズムを地階から1体採取した。コア試験体（OCC）は，採取する壁体の上部の床位置から鉛直下向きにコアを削孔し，上下面を平行，平滑に，かつ側面（円筒面）と垂直になるように切断して整形した。プリズム試験体（OPC）は，採取位置で水平方向に直径約103mmのコアを連続的に採取することによって，その内部に試験体とする部分を確保した。そして，上下面，左右面，前後面をそれぞれ平行，平滑に，かつ全体が直方体となるように切断してOPC試験体を整形した。試験体の採取位置を図1～図2に，採取状況を写真3に示す。

3.2 パイロット試験体の概要

建物本体から採取できる試験体数が限られることから，圧縮実験用に，本庁舎の材料と同程度の強度を有する煉

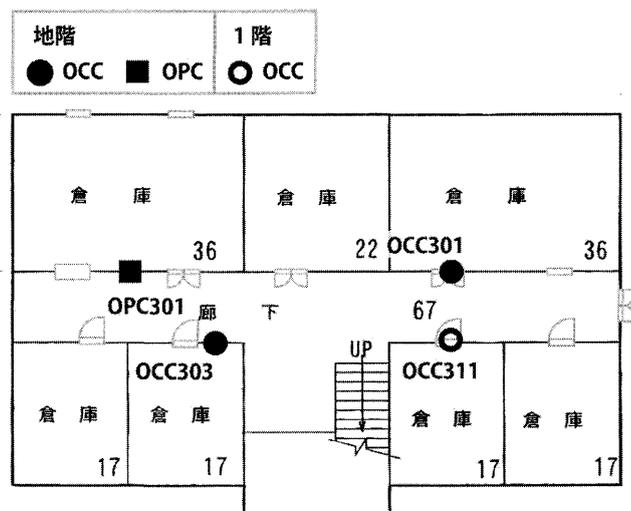
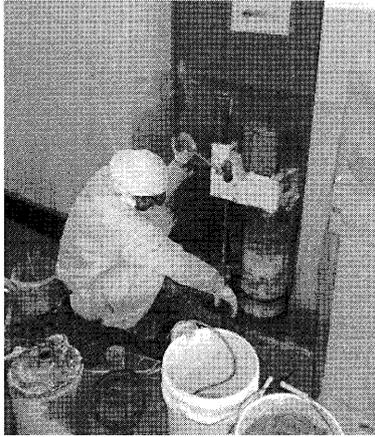


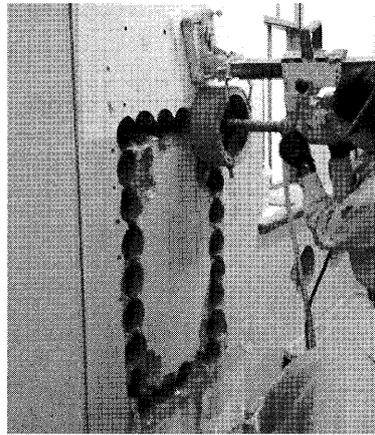
図2 九州大学本部第三庁舎平面図（試験体採取位置）

瓦および目地モルタルを用いて小壁体を組積し、上記 OCC 試験体と同様に鉛直方向のコア抜きと整形を行って確保したパイロットコア試験体 (PCC) 4 体と、角柱状に 10 段組積して作製したパイロットプリズム試験体 (PPC) 3 体を用意した。

建物本体の材料の強度は、第一庁舎の OCC 及び OPC 試験体を整形する過程で生じた残材から底面の短辺方向：高さの比がなるべく 1:2 に近くなるように、角柱状の煉瓦 4 体と目地モルタル 5 体のクーポン試験体を作製し、圧縮载荷実験を行って調べた。その結果得られた煉瓦の圧縮強度の平均値 19.2 N/mm² を目標値として焼成した煉瓦と、目地モルタルの圧縮強度の平均値 29.5 N/mm² に近い値が得られるように調合したモルタルをパイロット試験体に用いた。なお、煉瓦については上記の残材から切り出した半ますの大きさの試験体 5 体 (全形煉瓦 3 個弱から採取) の圧縮载荷実験も行ったが、そのうち全形煉瓦 1 個から切り出した試験体 B11, B12 は焼き締まりが良好で圧縮強度も高かったのに対し、他の 2 個から切り出した試験体 B21, B22, B31 はクラック等が観察され、圧縮強度の平均値はクーポン試験体の圧縮強度

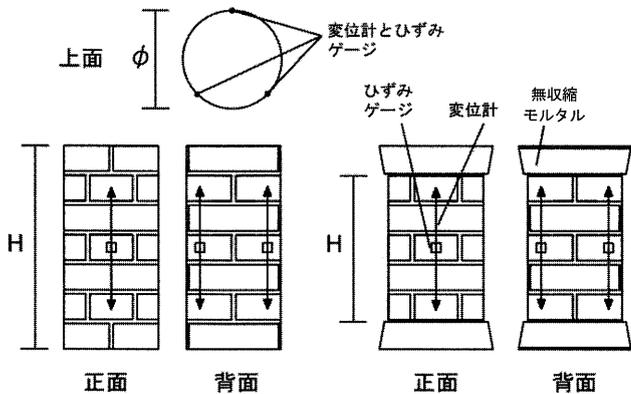


コア試験体 (OCC)

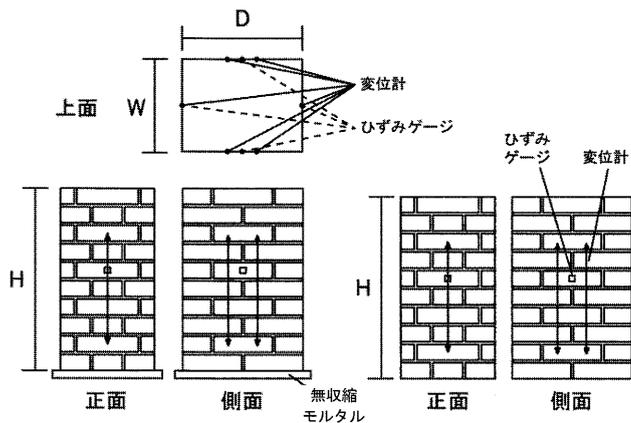


プリズム試験体 (OPC)

写真 3 試験体の採取状況



圧縮コア試験体 (左 : PCC, 右 : OCC)



圧縮プリズム試験体 (左 : PPC, 右 : OPC)

図 3 圧縮実験の試験体の形状と変形の測定位置

表 1 組積体圧縮実験の試験体の種類

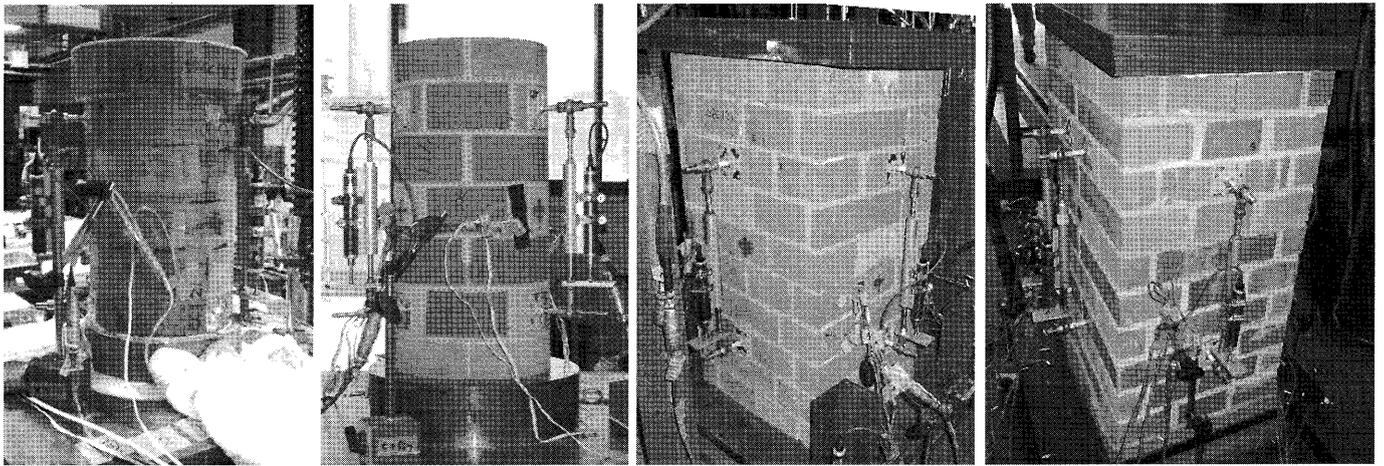
コア試験体 (OCC, PCC)

試験体名	採取した庁舎	煉瓦の段数	高さH (mm)	直径φ (mm)	目地モルタル		
					圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)	
OCC	111	第一庁舎	328.4	218.4	29.5*	-	
	112		339.3	217.7			
	113		325.3	218.4			
	301		338.5	218.6			
	303		337.4	217.9			
PCC	311	第三庁舎	330.3	218.6	28.9	2.65 × 10 ⁴	
	711		7段	456.7			218.8
	712			457.8			218.6
	721			455.7			217.5
	722			456.4			218.6

プリズム試験体 (OPC, PPC)

試験体名	採取した庁舎	煉瓦の段数	高さH (mm)	幅W (mm)	奥行D (mm)	目地モルタル	
						圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)
OPC	111	第一庁舎	671.1	344.0	444.0	29.5*	-
	121		666.1	341.5	317.9		
	301		666.8	347.9	435.8		
PPC	101	-	690.3	345.0	464.8	29.0	2.42 × 10 ⁴
	102		689.3	345.5	464.5		2.43 × 10 ⁴
	103		689.5	345.0	464.8		2.42 × 10 ⁴

* 建物本体から採取したクーポン試験体の圧縮载荷実験結果



OCC 試験体

PCC 試験体

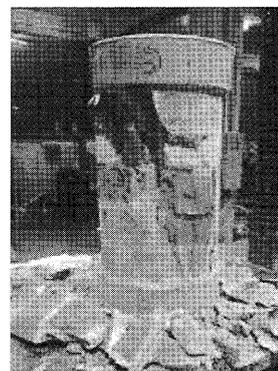
OPC 試験体

PPC 試験体

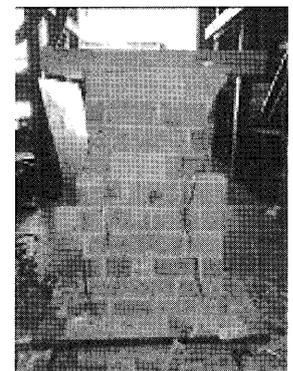
写真4 組積体圧縮実験の状況

表2 材料圧縮実験の試験体の種類と結果

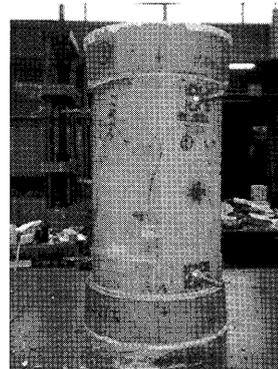
種類	試験体名	長さ L (mm)	幅 W (mm)	高さ H (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均値 [標準偏差] (N/mm ²)
煉瓦 クーポン	BC1	38.8	33.0	56.6	15.3	19.2 [3.9]
	BC2	46.2	31.0	52.5	24.4	
	BC3	47.2	37.7	51.2	19.2	
	BC4	45.9	37.6	51.4	17.8	
目地 モルタル クーポン	MC1	53.0	34.8	66.1	26.8	29.5 [6.3]
	MC2	43.9	35.2	59.0	20.7	
	MC3	35.9	22.2	50.3	35.1	
	MC4	39.9	23.9	55.9	35.9	
	MC5	29.8	26.7	56.5	29.2	
煉瓦圧縮 試験体 (半ます)	B11	109.8	98.0	61.7	48.3	-
	B12	107.6	102.4	61.9	56.0	
	B21	106.0	101.7	61.0	17.6	
	B22	106.3	98.8	57.8	20.1	
	B31	110.1	107.9	61.5	22.6	



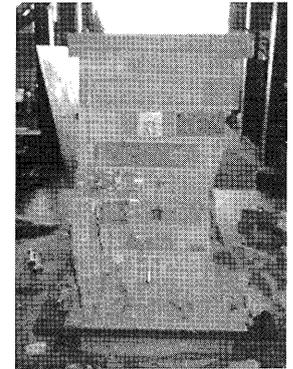
試験体 OCC111



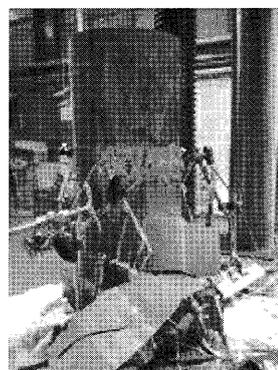
試験体 OPC121



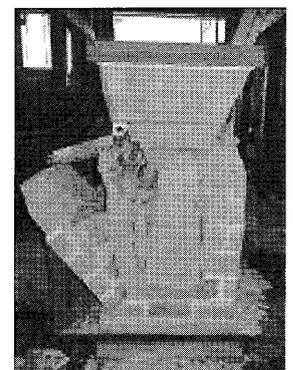
試験体 OCC311



試験体 OPC301



試験体 PCC722



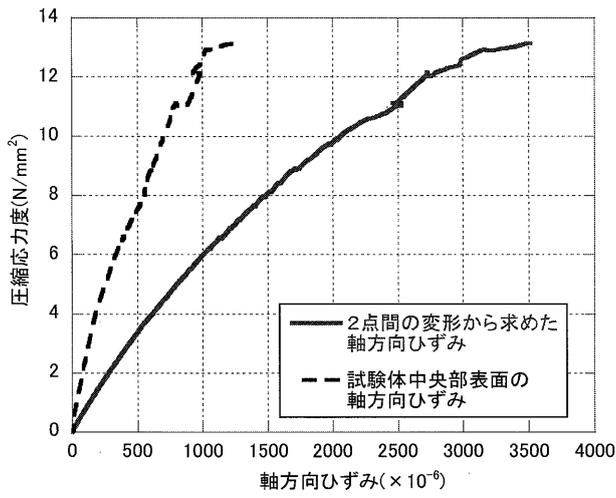
試験体 PPC103

写真5 組積体圧縮実験の試験体破壊状況

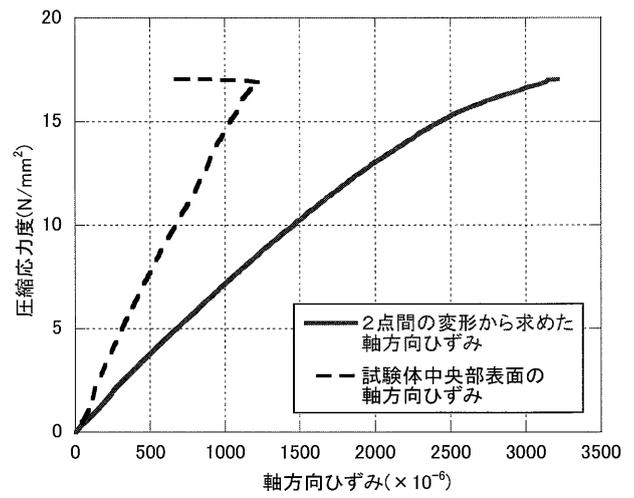
の平均値に近かった。組積体圧縮実験の試験体の種類を表1に、煉瓦と目地モルタルのクーポン圧縮試験体ならびに煉瓦圧縮試験体の寸法と圧縮強度を表2に示す。

4. 実験概要

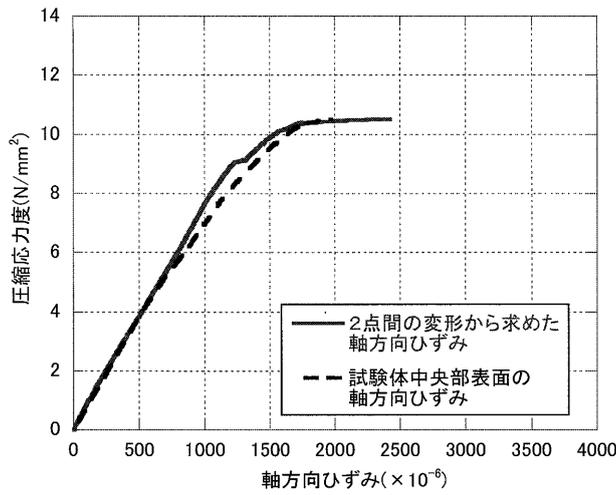
各試験体の形状と変形の測定位置を図3に示す。PCC試験体の高さは直径の2倍以上となる煉瓦7段分を確保したが、OCC試験体は採取できた最も短いものに揃えて煉瓦5段分の高さとし、試験体の上下に煉瓦1段分の高さのモルタル製円柱を1個ずつ設置して圧縮载荷実験を行った。同円柱は主にグラウトに用いられるプレミックスタイプの特殊セメント系無収縮モルタル材に標準添加量の水を加えて練り混ぜ、打設して製作した。同円柱は組積体部分よりも高い圧縮強度が得られる材料で製作した。打設時期と養生期間の影響で、第一庁舎試験体用のモルタルの平均圧縮強度は63.3 N/mm²、第三庁舎試験体用のモルタルの平均圧縮強度は59.7 N/mm²となり、いずれも組積体部分より圧縮強度が高いことを確認した。各試験体は中央部の鉛直および水平方向のひずみと、図3に示す2点間の相対変位を測定し、試験体の変形性状を



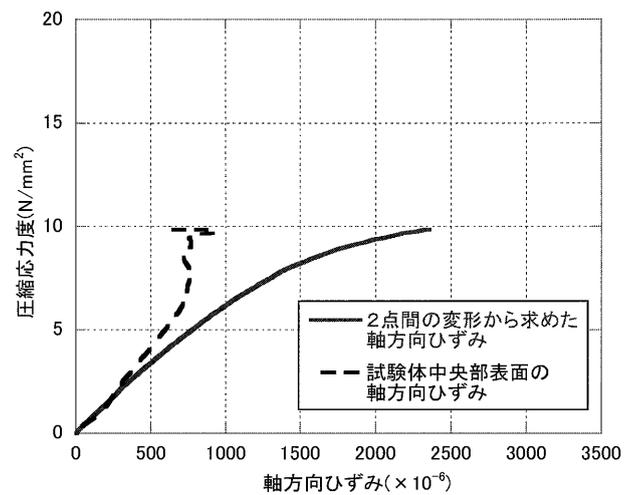
試験体 OCC111



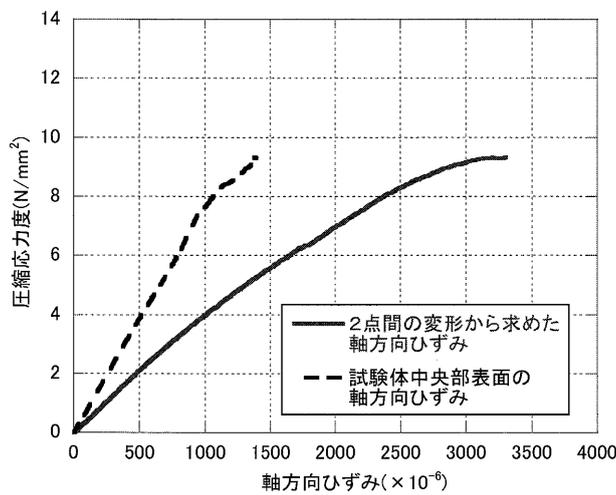
試験体 OCC301



試験体 OCC112

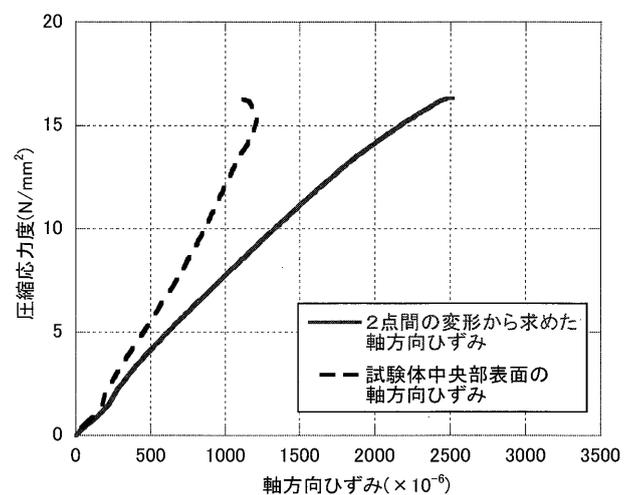


試験体 OCC303



試験体 OCC113

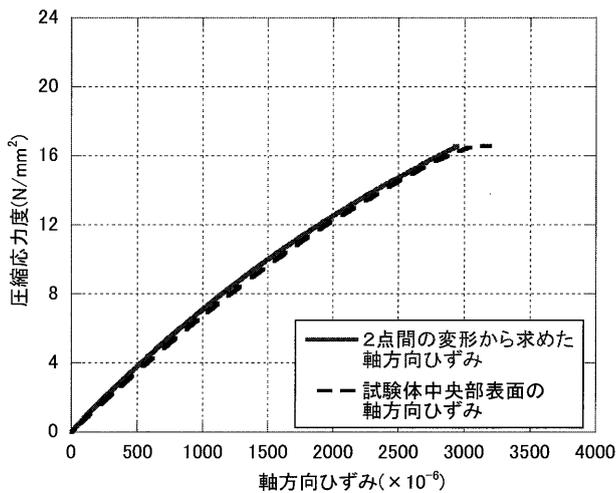
(a) 第一庁舎コア試験体 (OCC)



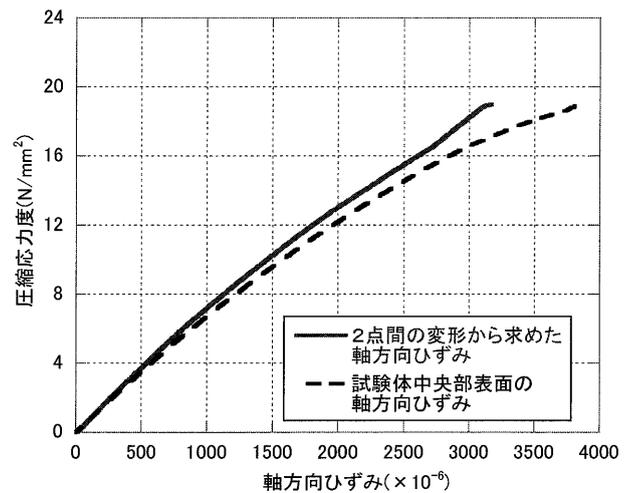
試験体 OCC311

(b) 第三庁舎コア試験体 (OCC)

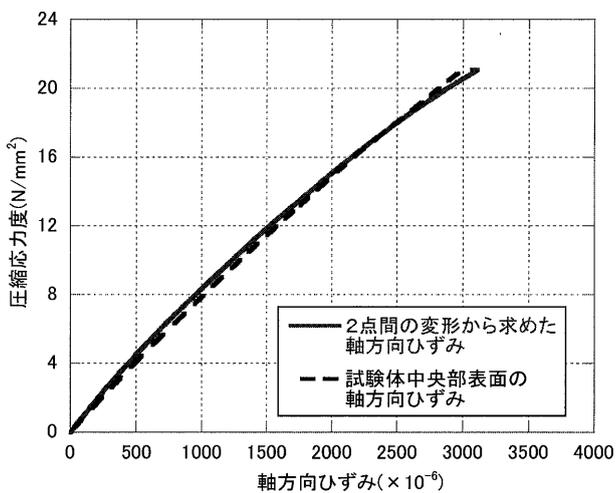
図4 圧縮応力と軸方向ひずみの関係



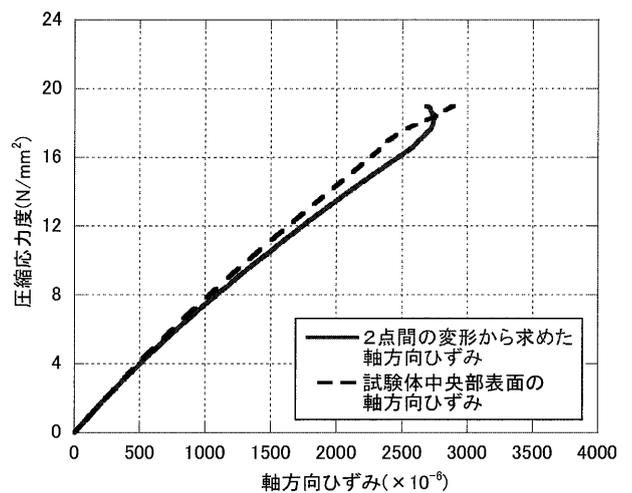
試験体 PCC711



試験体 PCC721



試験体 PCC712



試験体 PCC722

(c)パイロットコア試験体 (PCC)

図4 圧縮応力と軸方向ひずみの関係 (つづき)

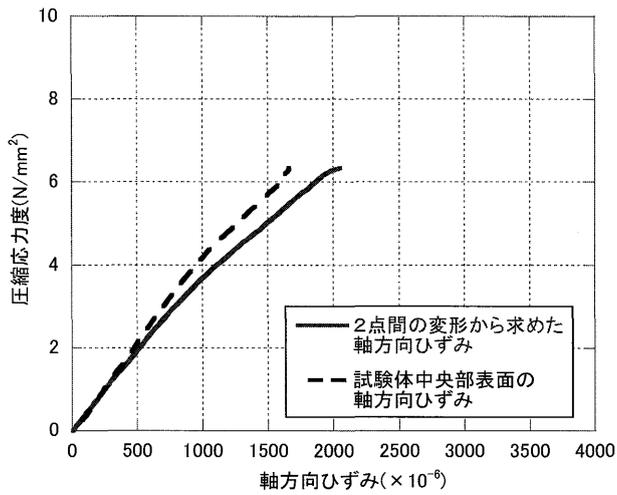
調べた。実験の状況を写真4に示す。

5. 実験結果および考察

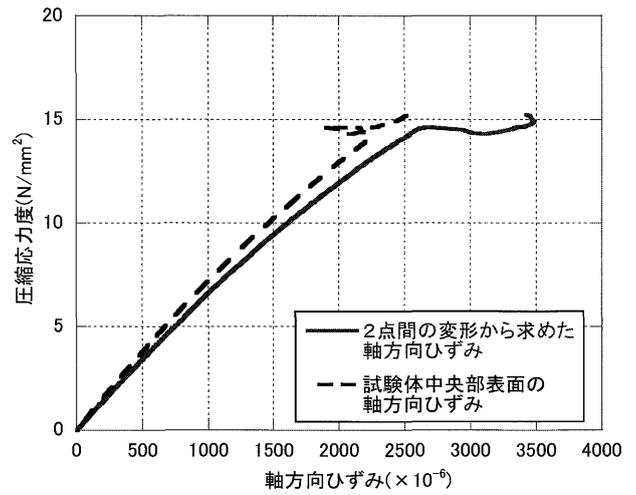
各試験体に生じた圧縮応力と軸方向ひずみの関係を図4に、試験体の破壊状況を写真5に示す。軸方向ひずみは試験体の中央部表面に貼り付けたひずみゲージの値(圧縮ひずみ)と、図3に示す2点間の相対変位(縮み)を標点距離で除して得られる平均のひずみの両者を示している。PCC試験体についてはいずれも2種類の軸方向ひずみがほぼ一致していたが、OCCおよびOPC試験体についてはひずみゲージによる測定値が相対変位から算定した値に比べてかなり小さいものが見られた。これは実構造物から採取した試験体の目地モルタルの充填が十分でなく、ひずみゲージを貼り付けた箇所への応力伝達が妨げられたことが一因と考察される。また、PPC試験

体でも高応力下においてひずみゲージによる測定値が平均のひずみより小さくなる傾向が見られたが、これは試験体が写真5のような角錐状の破壊モードを示すことにより、ひずみゲージを貼り付けた部分が外側に崩れ、圧縮力を負担しなくなるためと考察される。

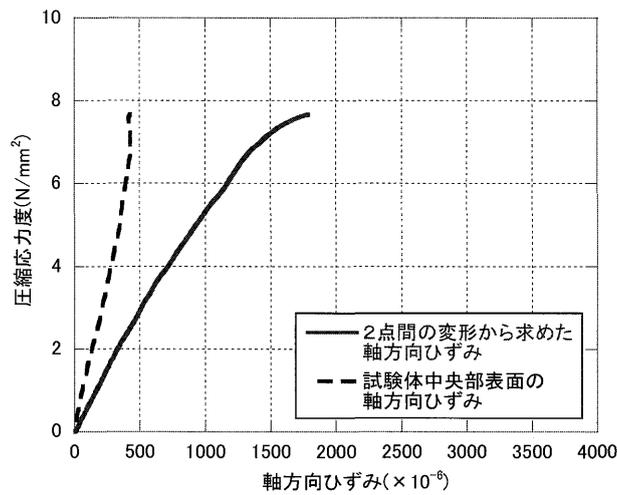
組積体の圧縮載荷実験の結果を表3に、各試験体の圧縮強度の比較を図5に示す。表3中のヤング率は、図3に示す2点間の相対変位を標点距離で除して得られる平均のひずみから算定した値である。実構造物から採取した試験体は同形状のパイロット試験体に比べて圧縮強度の平均値が低い。また、特に仕様書等における指示は確認されていないが、第三庁舎から採取した試験体は第一庁舎から採取した試験体に比べて、圧縮強度が若干高い傾向が見られる。加えて、PPC試験体の圧縮強度の平均値はPCC試験体の圧縮強度の平均値の83%程度である



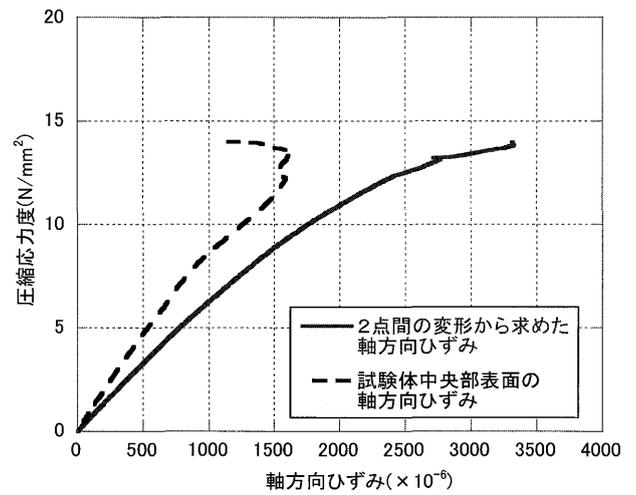
試験体 OPC111



試験体 PPC101

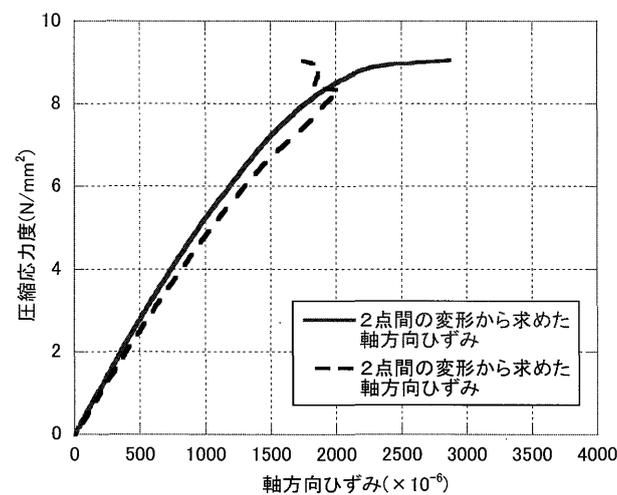


試験体 OPC121

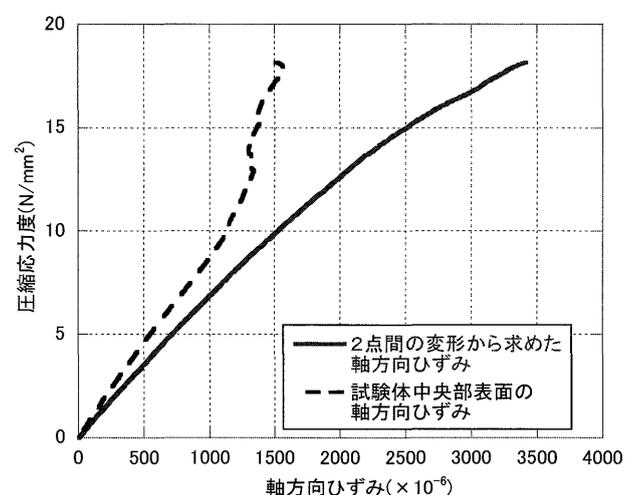


試験体 PPC102

(d) 第一庁舎プリズム試験体 (OPC)



試験体 OPC301



試験体 PPC103

(e) 第三庁舎プリズム試験体 (OPC)

(f) パイロットプリズム試験体 (PPC)

図4 圧縮応力と軸方向ひずみの関係 (つづき)

表 3 組積体の圧縮载荷実験結果

試験体名		最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度平均 (N/mm ²) (標準偏差)	ヤング率 (×10 ³ N/mm ²)
コア	OCC	111	492.7	13.2	11.0 (1.96)
		112	391.6	10.5	
		113	349.5	9.33	
		301	639.0	17.0	
		303	614.0	16.5	
	PCC	311	369.0	9.83	14.4 (4.00)
		711	624.2	16.6	
		712	792.8	21.1	
		721	709.2	19.1	
		722	713.5	19.0	
プリズム	OPC	111	969.6	6.35	7.01
		121	832.3	7.68	
		301	1373.1	9.06	
	PPC	101	2448.6	15.3	15.8 (2.14)
		102	2246.2	14.0	
		103	2907.2	18.2	

のに対し、OPC 試験体の圧縮強度の平均値は OCC 試験体の圧縮強度の平均値の 63%程度であった。写真 4 の OCC 試験体の写真にも現れているが、実構造物から採取した試験体は目地モルタルの充填が十分でないものが多かった。このことが、実構造物から採取した試験体の圧縮強度が同形状のパイロット試験体の圧縮強度に比べて低いことの一因になっていると考察される。

6. まとめ

本研究では、九州大学本部第一庁舎および同第三庁舎から採取した無補強煉瓦組積体と、それらと同程度の強度を有する煉瓦および目地モルタルを用いて組積し作製したパイロット試験体の圧縮载荷実験を行って、圧縮強度や材軸方向の変形性状などを調べた。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 第一庁舎から採取したコア試験体とプリズム試験体の圧縮強度の平均値はそれぞれ約 11 N/mm², 7.0 N/mm², 第三庁舎から採取したコア試験体とプリズ

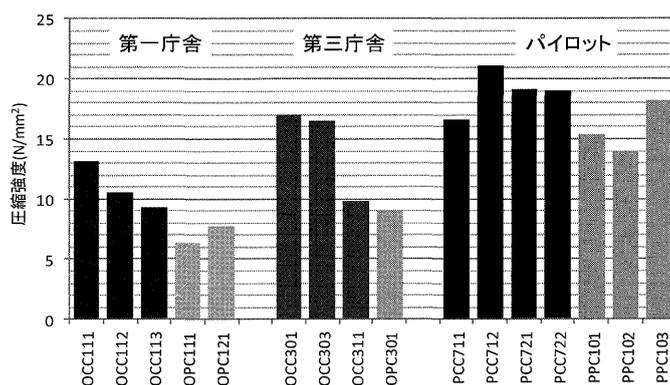


図 5 組積体の圧縮強度の比較

ム試験体の圧縮強度の平均値はそれぞれ約 14 N/mm², 9.1 N/mm²であった。

- (2) 試験体の軸方向ひずみは試験体内部 2 点間の鉛直相対変位を測定して求めると、試験体の軸方向変形の概要を把握しやすい。

本研究では並行して、九州大学本部第一庁舎および同第三庁舎から採取した無補強煉瓦組積体のせん断载荷実験も行っており、今後はその実験で得られた成果を精査し、知見をまとめる。

謝辞

本研究は九州大学統合移転事業の一環として行ったものである。また、本研究の遂行にあたり、大分大学の菊池健児教授、黒木正幸助教（現 崇城大学准教授）からご助言をいただいた。末尾ながら記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 九州大学箱崎キャンパスにおける近代建築物の調査ワーキンググループ：九州大学箱崎キャンパスにおける近代建築物の評価報告書， pp.26-27, pp.32-33, 2012 年 12 月。

(受理：平成27年 6 月11日)