

## 京都府庁旧本館における煉瓦の材料試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、  
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、  
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

### ●基本情報

文化財名称：重要文化財京都府庁旧本館

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (平成 16 年 12 月 10 日指定)

所在地：京都市上京区下立売通新町西入藪之内町

所有者 (管理団体)：京都府

構造形式：煉瓦造一部石造、建築面積 2822.43 m<sup>2</sup>、二階建、正面及び背面車寄付、スレート葺

建築年：明治 37 年 (1904 年)

事業名称：重要文化財 (建造物) 京都府庁旧本館 耐震診断事業

事業期間：令和 4 年 4 月～令和 6 年 3 月

工事種別：耐震診断

事業者：京都府

設計監理：-

実験計画者：一般財団法人 建築研究協会

実験機関：株式会社計測リサーチコンサルタント

実験年月日：令和 4 年 12 月

引用・参考文献：(財) 文化財建造物保存技術協会

「歴史的煉瓦造建造物の構造検討のための調査方法」

### ●実験に至る経緯と目的

構造検討上必要となる、構造要素の力学的特性や材料特性などの物性を把握するため、煉瓦や目地の材料強度や組積体としての強度を実験的に調査した。

●寸法

採取位置 名称	サイズ	供試体番号			
		組積体			単体
		圧縮試験	引張試験	せん断試験	圧縮試験 密度吸水試験
A-1	φ 80×360mm	-	-	A-1	-
A-2	φ 80×230mm	-	A-2	-	-
A-3	φ 80×355mm	-	-	A-3	-
A-4	φ 80×430mm	-	A-4	-	-
A-6	φ 80×230mm	-	-	A-6	-
A-7	φ 80×320mm	-	-	A-7	-
A-8	φ 80×460mm	-	A-8	-	-
A-9	φ 80×350mm	-	-	A-9	-
A-10	φ 80×230mm	-	-	A-10	-
B-1	φ 195×590mm	B-1	-	-	B-1-1, B-1-2
B-2	φ 195×585mm	B-2	-	-	B-2-1, B-2-2
B-3	φ 195×580mm	B-3	-	-	B-3-1, B-3-2
試験数量		3 検体	3 検体	6 検体	6 検体

●実験方法

試験方法は、基本的に（財）文化財建造物保存技術協会「歴史的煉瓦造建造物の構造検討のための調査方法」に準じて実施した。

1. 煉瓦単体試験

①密度及び吸水率試験

密度及び吸水率試験に用いる供試体は、付着モルタルを除去後試験に供する。

密度及び吸水試験は、試料を 105℃±5℃の乾燥機内で 24 時間以上乾燥し、室温まで放冷後に秤量しこれを乾燥質量 (g) とする。この試料を直ちに 20±3℃の水中に 24 時間以上浸せきする。吸水後、供試体の水中質量 (g) を測定したのち、手早く表面の水分をぬぐい取り直ちに飽水質量 (g) を測定する。

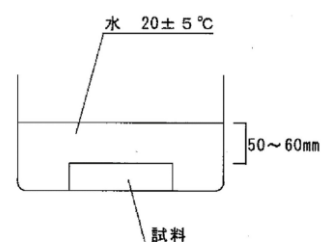
密度および吸水率は、次式によって算出し、四捨五入によって小数点以下 2 けた（密度）又は小数点以下 1 けた（吸水率）に丸める。

（密度試験は JIS Z 8807 8 液中ひょう量法による密度及び比重の測定方法に準拠）

（吸水試験は JIS R 1250 7.4 吸水率試験に準拠）

$$\text{密度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{乾燥質量 (g)} \times \text{水の密度 (g/cm}^3\text{)}}{\text{飽水質量 (g)} - \text{水中質量 (g)}}$$

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{\text{飽水質量 (g)} - \text{乾燥質量 (g)}}{\text{乾燥質量 (g)}} \times 100$$

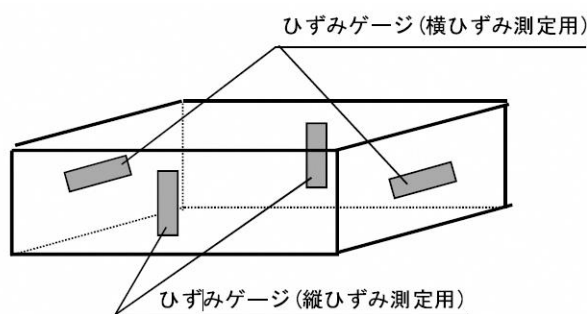


## ②圧縮強度試験

JIS R 1250（普通れんが及び化粧れんが）に従う。圧縮強度を求める場合には、煉瓦の平面を加圧面とし、予め試料ごとに加圧面積を求めた。加圧面及び底面をキャッピング（石膏およびセメントを使用）して平面調整を行い均一に加圧する。加圧速度は毎秒 0.49～0.98N/mm<sup>2</sup>とし、試料が破壊した時の最大荷重を測定する。

$$\text{圧縮強度(N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重(N)}}{\text{加圧面積(mm}^2\text{)}}$$

また、あらかじめ試験体厚さ  $t(\text{mm})$  を求め、圧縮強度と同時にひずみゲージを設置してひずみの変化量を 2 方向測定することにより、静弾性係数とポアソン比を求める。



\*試験体には煉瓦の平面の長さ方向を半分にしたものを用いた

静弾性係数は、以下の式にて算出する。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 400 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

ここに、 $E_c$ ：静弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

$S_1$ ：最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_2$ ：供試体の縦ひずみ  $400 \times 10^{-6}$  の時の応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_1$ ：応力  $S_1$  によって生じる供試体の縦ひずみ

ポアソン比は、以下の式にて算出する。

$$\nu = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - 400 \times 10^{-6}}$$

ここに、 $\nu$ ：ポアソン比

$\varepsilon_1$ ：最大荷重の 1/3 に相当する応力における縦ひずみ

$\varepsilon_2$ ：最大荷重の 1/3 に相当する応力における横ひずみ

$\varepsilon_3$ ：縦ひずみ  $400 \times 10^{-6}$  の時の応力における横ひずみ

## 2. 煉瓦組積体試験

### ①圧縮強度試験

試験体には、煉瓦の平面の長さ方向を半分に切断したものに目地 1 段を介して 2 段に積んだものを用いる。煉瓦切断の際に目地部が濡れたり剥離したりすることが考えられる場合は、煉瓦は切断せず断面積は重なり部の寸法から算出して試験するものとする。

試験方法は、煉瓦の平面を加圧面として载荷を行う。加圧面には必要に応じて紙片を挟むか、石こうによる平面調整を行って均一に加圧する。試料が破壊した時の最大荷重を測定する。また、圧縮強度と同時に、縦方向に変位計を設置して、変位量を測定することにより、弾性係数を求める。

$$\text{加圧面積}(\text{mm}^2) = \frac{\text{供試体上面積}(\text{mm}^2) + \text{供試体下面積}(\text{mm}^2)}{2}$$

$$\text{圧縮強度}(\text{N}/\text{mm}^2) = \frac{\text{最大荷重}(\text{N})}{\text{加圧面積}(\text{mm}^2)}$$

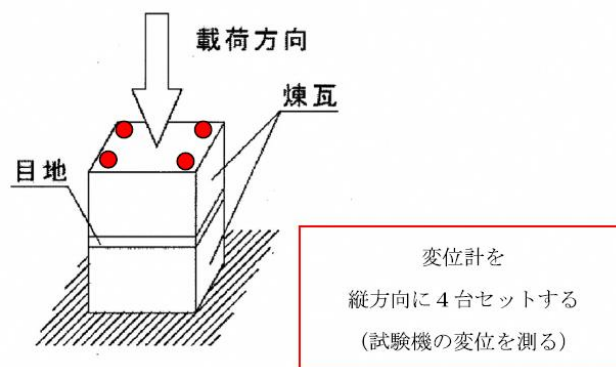
$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 1000 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

ここに、 $E_c$  : 圧縮弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

$S_1$  : 最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_2$  : 供試体の縦ひずみ  $400 \times 10^{-6}$  の時の応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_1$  : 応力  $S_1$  によって生じる供試体の縦ひずみ



## ②引張強度試験

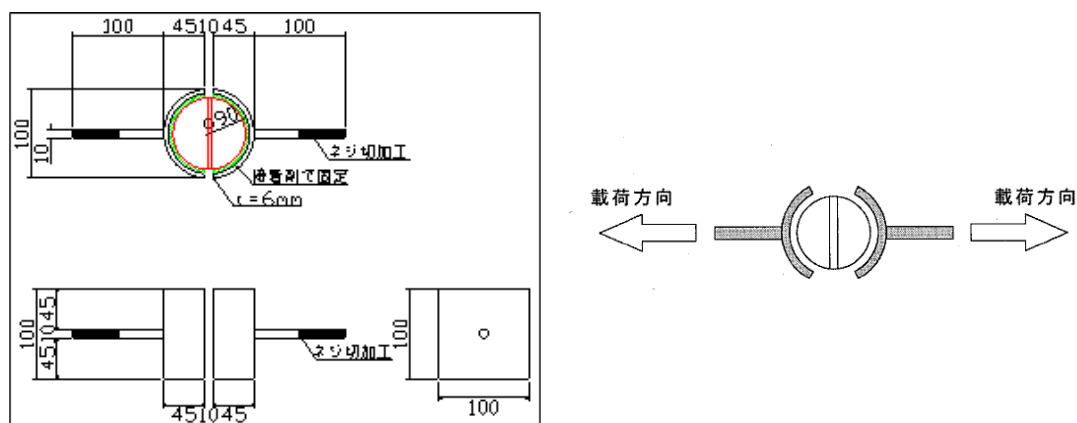
試験体には、φ80mm×100mm 程度の円柱形で、1本の目地がそれぞれの底面の円の中心を通るものを用いる。

試験方法は、直接引張試験を採用する。予め試料ごとに試験体の長さ、幅、目地の幅を計測する。円柱の側面に治具を接着し、引張治具を介して引張力を加える。引張強度は試料が破壊した時の最大荷重を測定するものとする。

$$\text{引張強度(N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重(N)}}{\text{破断面積(mm}^2\text{)}}$$

試験体の加工は以下の通りである。

- 1) 煉瓦コアをグラインダー等により、必要長さにカットする。
- 2) 煉瓦と引張り試験用治具をエポキシ樹脂等により固定する。



## ③せん断強度試験

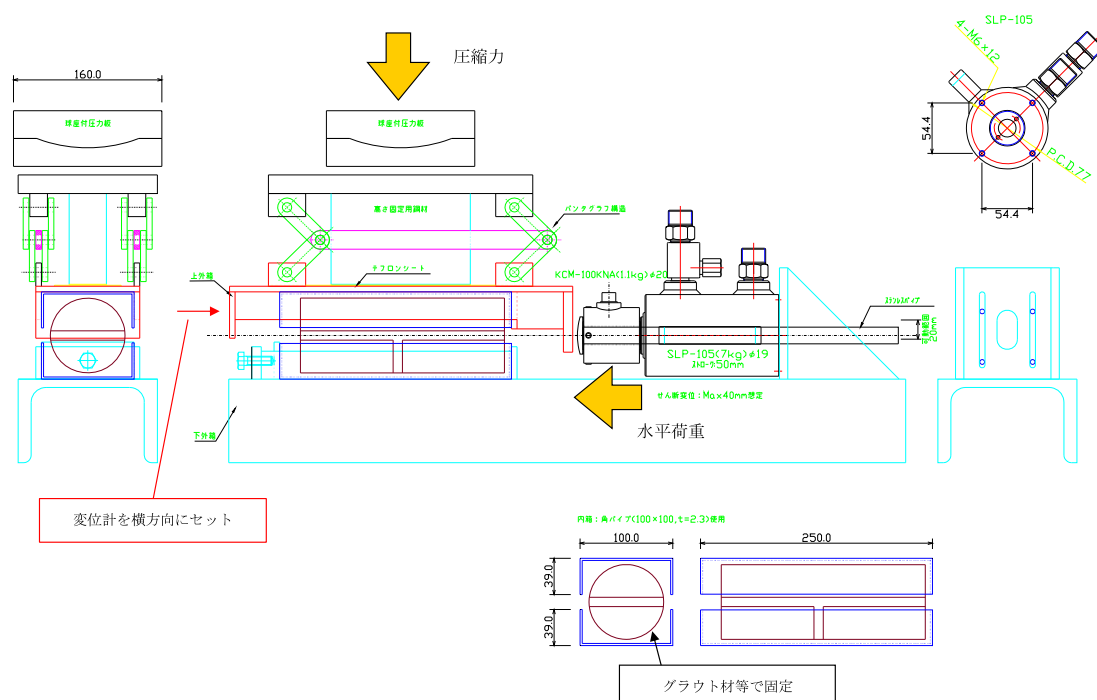
試験体には、φ80mm×200mm 程度の円柱形で、1本の目地がそれぞれの底面の円の中心を通るものを用いる。

組積体せん断試験は、圧縮応力を荷重しながら行う一面せん断試験とする。あらかじめ試験体の径、長さ、目地の幅を計測する。目地を水平に設置し、煉瓦上部と下部にそれぞれ治具を設置して、目地に直角になるように圧縮力を荷重する。圧縮力は、建物の荷重を想定して設定するものとする。

圧縮力を荷重した状態で、目地に水平な荷重を荷重し、試料が破壊した最大荷重を測定する。また、変位計を設置して変位量を測定し、弾性係数を求める。

試験体の加工は以下の通りである。

- 1) 煉瓦コアをグラインダー等により、必要長さにカットする。
- 2) 煉瓦をせん断試験用治具(内箱)の中にセットし、グラウト材等により固定する。
- 3) 内箱を外箱にセットする。



●結果

1. 煉瓦単体試験

①密度

供試体 No.	乾燥質量 g	水中質量 g	飽水質量 g	密度 g/cm <sup>3</sup>
B-1-1	1,267.1	723.3	1,358.7	1.99
B-1-2	2,635.5	1,507.7	2,850.7	1.96
B-2-1	2,747.6	1,549.6	2,920.7	2.00
B-2-2	2,821.7	1,610.1	3,049.9	1.96
B-3-1	1,348.8	768.3	1,476.5	1.90
B-3-2	2,951.0	1,650.2	3,113.8	2.01

[備考]水の密度は、0.998704g/cm<sup>3</sup> とした。(水温 17.4℃)

②吸水率

供試体 No.	乾燥質量 g	飽水質量 g	密度 g/cm <sup>3</sup>
B-1-1	1,267.1	1,358.7	7.2
B-1-2	2,635.5	2,850.7	8.2
B-2-1	2,747.6	2,920.7	6.3
B-2-2	2,821.7	3,049.9	8.1
B-3-1	1,348.8	1,476.5	9.5
B-3-2	2,951.0	3,113.8	5.5

③圧縮強度

供試体 No.	供試体の寸法 mm			断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重 kN	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>
	平均幅	平均長さ	平均厚さ			
B-1-1	93.2	94.7	62.7	8,826.0	689	78.1
B-1-2	101.0	101.0	62.8	10,201.0	466	45.7
B-2-1	102.4	102.7	60.2	10,516.5	945	89.9
B-2-2	102.0	99.6	62.6	10,159.2	667	65.7
B-3-1	98.6	100.4	63.6	9,899.4	526	53.1
B-3-2	102.6	99.9	63.7	10,249.7	908	88.6

④圧縮弾性係数

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力 S <sub>1</sub> N/mm <sup>2</sup>	縦ひずみ 400×10 <sup>-6</sup> の時の応力 S <sub>2</sub> N/mm <sup>2</sup>	応力 S <sub>1</sub> のよって 生じる縦ひずみ ×10 <sup>-6</sup>	圧縮弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>
B-1-1	26.00	12.30	1,004	22.7
B-1-2	15.20	7.30	936	14.7
B-2-1	30.00	23.10	648	27.8
B-2-2	21.90	10.70	986	19.1
B-3-1	17.70	6.85	1,165	14.2
B-3-2	29.50	11.40	1,068	27.1

⑤ポアソン比

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力に おける縦ひずみ (ε <sub>1</sub> ) ×10 <sup>-6</sup>	最大荷重の 1/3 に 相当する応力に おける横ひずみ (ε <sub>2</sub> ) ×10 <sup>-6</sup>	縦ひずみ 400×10 <sup>-6</sup> のときの応力に おける横ひずみ (ε <sub>3</sub> ) ×10 <sup>-6</sup>	ポアソン比
B-1-1	1,004	-252	-155	0.161
B-1-2	936	-180	-114	0.123
B-2-1	648	-413	-368	0.181
B-2-2	986	-222	-135	0.148
B-3-1	1,165	-175	-95	0.105
B-3-2	1,068	-136	-60	0.114

2.煉瓦組積体試験

①圧縮強度

供試体 No.	供試体の寸法 mm					目地幅 mm	平均 断面積 mm <sup>2</sup>	最大 荷重 kN	圧縮 強度 N/mm <sup>2</sup>	目地モルタル 充填率 %
	上面寸法		下面寸法		平均 高さ					
	平均幅	平均長さ	平均幅	平均長さ						
B-1	104.5	108.2	106.1	106.9	129.00	8.8	11,324.5	257	22.7	-1)
B-2	108.3	105.2	108.1	107.1	130.80	8.7	11,485.4	420	36.6	-1)
B-3	110.8	103.5	108.7	103.2	133.70	9.9	11,342.8	373	32.9	-1)

1) 目地部で破壊しなかったため、目地充填率は確認できなかった。

②圧縮弾性係数

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力 $S_1$ N/mm <sup>2</sup>	縦ひずみ $400 \times 10^{-6}$ の時の応力 $S_2$ N/mm <sup>2</sup>	応力 $S_1$ のよって 生じる縦ひずみ $\times 10^{-6}$	圧縮弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>
B-1	7.57	1.06 <sup>1)</sup>	3,366	4.77 <sup>2)</sup>
B-2	12.20	2.02	2,589	6.41
B-3	11.00	2.13	2,403	6.32




1) B-1 は、縦ひずみ  $2000 \times 10^{-6}$  の時の応力  $S_2$  とした。

2) B-1 は、縦ひずみ  $2000 \times 10^{-6}$  の時の応力  $S_2$  と最大荷重の 1/3 に相当する応力  $S_1$  および  $S_1$  によって生じる縦ひずみ  $\epsilon_1$  から圧縮弾性係数を算出した。

③引張強度




供試体 No.	供試体の寸法 mm		目地部の寸法 mm			付着面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重 N	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	目地モルタル 充填率 %
	平均 幅	平均 長さ	平均 幅	平均 長さ	平均 厚さ				
A-2	79.7	102.0	79.2	101.4	10.4	8,031	8,760	1.090	100
A-4	79.8	99.8	79.7	99.5	11.4	7,930	3,480	0.439	100
A-8	80.0	100.3	79.9	101.2	7.3	8,086	900	0.111	90

④せん断強度 (その 1)

	A-1	A-3	A-6
平均コア長さ L(mm)	201.0	199.3	202.3
目地幅 d(mm)	77.4	78.0	79.0
せん断面積 A(mm <sup>2</sup> )	15,557.4	15,545.4	15,981.7
破壊荷重 P(kN)	13.65	8.06	21.53
目地せん断強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.88	0.52	1.35
側面載荷応力 (N/mm <sup>2</sup> )	0.10	0.10	0.10
破壊形態	目地 + 境界面	目地 + 境界面	目地 + 境界面
			
目地充填率 (%)	100.0	68.9	89.1



⑤せん断強度 (その 2)

	A-7	A-9	A-10
平均コア長さ L(mm)	200.9	202.3	204.0
目地幅 d(mm)	79.0	78.2	78.5
せん断面積 A(mm <sup>2</sup> )	15,871.1	15,819.9	16,014.0
破壊荷重 P(kN)	29.76	7.38	29.62
目地せん断強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.88	0.47	1.85
側面載荷応力 (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.18	0.18
破壊形態	目地 + 境界面	目地 + 境界面	目地 + 境界面
			
目地充填率 (%)	100.0	95.4	96.9

⑥せん断弾性係数

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力 S <sub>1</sub> N/mm <sup>2</sup>	縦ひずみ $\epsilon_0$	縦ひずみ $\epsilon_0 \times 10^{-6}$ の時の応力 S <sub>2</sub> N/mm <sup>2</sup>	応力 S <sub>1</sub> のよって 生じる縦ひずみ $\times 10^{-6}$	せん断弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>
A-1	0.292	100	0.054	933	0.286
A-3	0.173	100	0.060	471	0.305
A-6	0.449	200	0.103	2,002	0.192
A-7	0.625	900	0.141	3,155	0.215
A-9	0.156	80	0.054	683	0.169
A-10	0.611	100	0.119	1,848	0.281

※目地モルタル充填率 100%とした場合の値を適用した。