

今村天主堂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：今村天主堂

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (平成 27 年 7 月 8 日)

所在地：福岡県三井郡大刀洗町大字今 707 番地

所有者 (管理団体)：カトリック福岡司教区

構造形式：三廊式教会堂、煉瓦造及び木造、建築面積 582.15 m²、一部二階建、
正面塔屋二基及び両側面出入口付、棧瓦葺

建築年：大正 2 年 (1913)

事業名称：重要文化財 今村天主堂 耐震診断事業

事業期間：平成 29 年 6 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

工事種別：耐震診断

事業者：カトリック福岡司教区

設計監理：(公財)文化財建造物保存技術協会

実験計画者：(公財)文化財建造物保存技術協会

実験機関：(一財)建材試験センター中央試験場 (要素せん断試験以外)
(株)計測リサーチコンサルタント (要素せん断試験)

実験年月日：平成 29 年 10 月 13 日～12 月 8 日

引用・参考文献：－

●実験に至る経緯と目的

今村天主堂は、双塔を有する煉瓦造の教会堂である。建物の耐震診断にあたり、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、煉瓦単体と煉瓦要素 (煉瓦・目地からなる組積体、コア) の強度を実験的に調査した。

● 姿図・寸法

表 煉瓦要素（コア）採取一覧表（mm、コア径 80mm）

名称	採取位置	削孔深さ	試験可能長さ	試験方法
塀-1	塀部東側	100	100	せん断
塀-2		100	100	せん断
塀-3	塀部北側 (納骨堂裏)	100	×	
塀-4		100	100	せん断
塀-5	塀部北側	100	100	せん断
小-1	小屋裏	350	200	せん断
小-2		350	100	せん断
小-3		250	×	
小-4		250	×	
小-5		250	×	
壁-1	壁部北側	350	200	せん断
床-1	床下	470	200+100	せん断及び引張
床-2		500	200+100	せん断及び引張
床-3		500	×	
床-4		500	200+100	せん断及び引張
床-5		500	200+100	せん断及び引張

表 煉瓦要素（組積体）採取一覧表（mm）

名称	採取位置	試験	概略寸法
小-1	小屋裏	圧縮	230×110×130
小-2		圧縮	230×110×130
小-3		圧縮	230×110×130

表 煉瓦単体採取一覧表（mm）

名称	採取位置	試験	概略寸法
塀-1	塀部東側	圧縮	230×110×60
塀-2			230×110×60
塀-3			230×110×60
塀-4		密度 吸水率	230×110×60
塀-5			230×110×60
塀-6			230×110×60
小-1	小屋裏	圧縮	230×110×60
小-2			230×110×60
小-3			230×110×60
小-4		密度 吸水率	230×110×60
小-5			230×110×60
小-6			230×110×60
小-7		引張	230×110×60
小-8			230×110×60
小-9			230×110×60
小-10		曲げ	230×110×60
小-11			230×110×60
小-12			230×110×60
小-13		せん断	230×110×60
小-14			230×110×60
小-15			230×110×60

●実験方法

(1)煉瓦単体試験

①密度・吸水率試験

密度については、試料の寸法を計測し、気乾状態での質量を測定して気乾密度（見かけの比重）を求める。気乾密度は、以下の式にて算出する。

$$\text{気乾密度}(g/cm^3) = \frac{\text{気乾質量}(g)}{\text{供試体の幅}(mm) \times \text{供試体の長さ}(mm) \times \text{供試体の高さ}(mm)} \times 1000$$

吸水率については、JIS R 1250（普通れんが及び化粧れんが）に従うものとする。試料を 105℃～120℃の空气中で 24 時間乾燥し、室温まで放冷後、秤量しこれを乾燥質量 m_1 (g) とする。この試料を直ちに 20±5℃の水中に 24 時間静置する。試料上部と水面間の距離は、50～60mm とする。これを水中から取り出し、手早く湿布で表面の水分をぬぐい取り、直ちに秤量し、これを飽水質量 m_2 (g) とする。

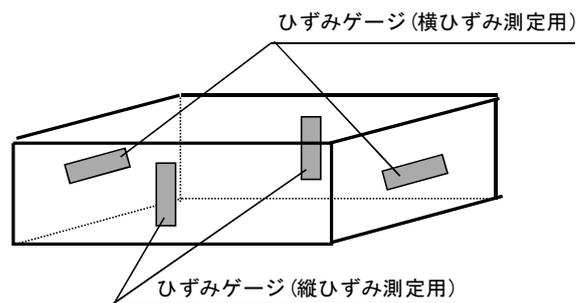
$$a = (m_2 - m_1) / m_1 \times 100 (\%)$$

②煉瓦単体圧縮

JIS R 1250（普通れんが及び化粧れんが）に従うものとする。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 A を求める。加圧面及び底面をせっこうを用いてキャッピング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/mm² とし、試料が破壊した時の最大荷重 bP_{cm} を測定する。

$$\delta_c = bP_{cm} / A$$

また、あらかじめ試験体厚さ t (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。



静弾性係数は、以下の式にて算出する。

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

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 400×10^{-6} の時の応力 (N/mm^2)

ε_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、 ν : ポアソン比

ε_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力における縦ひずみ

ε_2 : 最大荷重の1/3に相当する応力における横ひずみ

ε_3 : 縦ひずみ 400×10^{-6} の時の応力における横ひずみ

③煉瓦単体引張

試験方法は、長手方向に平行な向きに載荷する引張試験とする。平面に引張用治具を接着し、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した。また、荷重の増加量 ΔP とともに、ひずみゲージを設置してひずみの変化量を測定し、静弾性係数を求める。

引張強度は、以下の式にて算出する。

$$\text{引張強度}(N/mm^2) = \frac{\text{最大荷重}(kN)}{\text{破壊部の幅}(mm) \times \text{破壊部の厚さ}(mm)}$$

静弾性係数は、以下の式にて算出する。

$$Ec = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 25 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm^2)

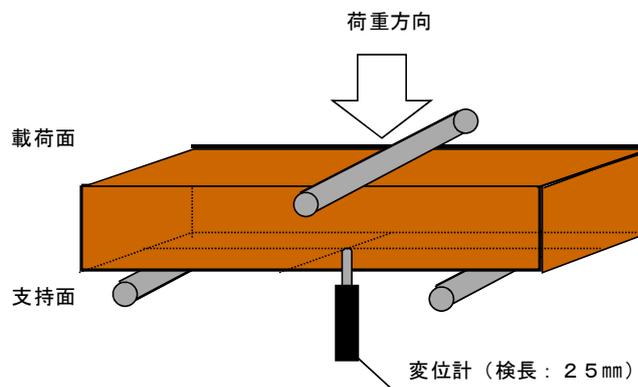
S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm^2)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 25×10^{-6} の時の応力 (N/mm^2)

ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ

④煉瓦単体曲げ

試験方法は、平面を加圧面とする1点載荷曲げ試験とする。支点間距離を厚さの3倍以上(180mm)とし、その中央に集中荷重を加える。曲げ強度は、試料が破壊した時の最大荷重を測定する。また、中央でたわみ量を測定し、静弾性係数を求める。



曲げ強度は、以下の式にて算出する。

$$f_b = \frac{3 \times P \times l}{2 \times b \times h^2}$$

ここに、 f_b : 曲げ強度 (N/mm²)

P : 最大荷重 (kN)

l : スパン (mm)

b : 破壊面の幅 (mm)

h : 破壊面の高さ (mm)

静弾性係数は、以下の式にて算出する。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 200 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 200×10^{-6} の時の応力 (N/mm²)

ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ

⑤煉瓦単体せん断

せん断試験は直接二面せん断による繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法 (JCI-SF6) で行う。

試験機は JIS B 7733 (圧縮試験機) に従った。せん断試験装置は供試体に常に垂直な荷重が作用するような構造で、所定の幅のエッジをもつものを標準とし、上下のエッジのずれ (δ) は 0~1mm の範囲でなければならない。エッジの間隔 ($H=100\text{mm}$) は供試体高さ (h) と同じ寸法とし、エッジ幅はエッジ間隔 (H) の 1/10 とする。

供試体の 2 つの破壊予定面の高さ及び厚さをそれぞれ 2 ヶ所で 0.2mm まで測定し、それぞれの平均値を供試体の高さ及び幅とする。供試体は載荷装置の中央に置いて上部加圧装置を接触させ、煉瓦の幅方向に載荷する。載荷速度は毎秒 0.06~0.1N/mm² とし、試料が破壊した時の最大荷重 P を有効数字 3 桁まで読む。また、ひずみゲージを設置してひずみの変化量を測定し、静弾性係数を求める。

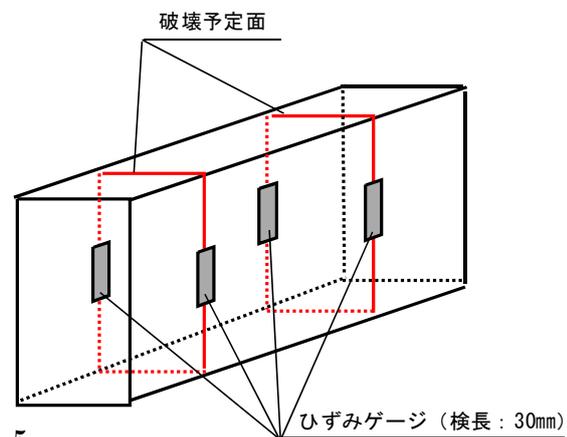
$$\tau = P / (2bh)$$

τ : せん断強度 (N/mm²)

P : 最大荷重 (N)

b : 供試体の厚さ (mm)

h : 供試体の高さ (mm)



静弾性係数は、以下の式にて算出する。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm^2)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm^2)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 50×10^{-6} の時の応力 (N/mm^2)

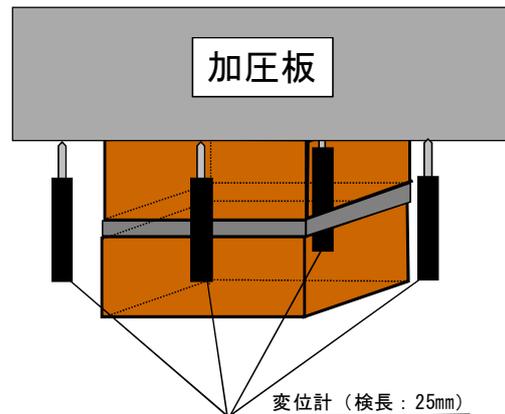
ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ

(2) 煉瓦要素試験

① 煉瓦要素圧縮

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 ($100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 120\text{mm}$ 程度) を用いる。

試験方法は、煉瓦の平面を加圧面として載荷を行う。上下面には、せっこうを用いてキャッピングして平面調整を行い、均一に加圧する。試料が破壊した時の最大荷重 P_{cm} 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、静弾性係数を求める。



圧縮強度は、以下の式にて算出する。

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

静弾性係数は、以下の式にて算出する。

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

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm^2)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm^2)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 1000×10^{-6} の時の応力 (N/mm^2)

ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ

②煉瓦要素引張

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とし、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、試料が破壊した時の最大荷重 eP_{tm} を引張強度とする。



③煉瓦要素せん断

試験体には、直径80mm、長さ煉瓦1枚分の円柱形を基本とし、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。

煉瓦目地せん断試験は、圧縮応力を載荷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載荷する。床下から採取した供試体には建物の荷重を想定(0.40N/mm²)して設定した。それ以外の側圧を想定しない供試体の場合には、治具が載荷中に不要に動かないように、軽く上部から押さえ試験を実施する。

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

静弾性係数は、以下の式にて算出する。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^{-3}$$

ここに、 E_c : 静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 縦ひずみ200 (もしくは60、30) × 10⁻⁶の時の応力 (N/mm²)

※縦ひずみは勾配の立ち上がり方によって調整

ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ

ε_2 : 応力 S_2 によって生じる供試体の縦ひずみ

※ S_2 の値は応力-ひずみ曲線の勾配が供試体により違うため、供試体毎に設定した。

●結果

(1)煉瓦単体試験

①密度・吸水率試験

表 煉瓦単体密度試験結果

記号	供試体の寸法 mm			乾燥質量 g	密度 g/cm ³
	平均幅	平均長さ	平均厚さ		
塀-4	106.2	147.0	62.0	1687	1.74
塀-5	103.8	202.1	59.9	2276	1.81
塀-6	103.0	206.1	58.4	2240	1.81
小-4	110.6	234.2	60.7	2568	1.63
小-5	108.9	229.9	59.0	2467	1.67
小-6	110.1	231.5	59.6	2470	1.63

表 煉瓦単体吸水率試験結果

記号	乾燥質量 g	飽水質量 g	吸水率 %
塀-4	1687	1897	12.4
塀-5	2276	2518	10.6
塀-6	2240	2498	11.5
小-4	2568	3076	19.8
小-5	2467	2881	16.8
小-6	2470	2950	19.4

②煉瓦単体圧縮

表 煉瓦単体圧縮強度試験結果

記号	供試体の寸法 mm			加圧面積 mm ²	最大荷重 kN	圧縮強度 N/mm ²
	平均幅	平均長さ	平均厚さ			
塀-1	99.4	106.0	66.5	10536.4	454	43.1
塀-2	100.8	104.6	64.7	10543.7	714	67.7
塀-3	99.1	95.5	65.2	9464.1	405	42.8
小-1	103.9	106.7	67.9	11086.1	263	23.7
小-2	106.9	105.8	68.3	11310.0	168	14.9
小-3	103.4	105.9	67.7	10950.1	157	14.3

表 煉瓦単体圧縮弾性係数試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に 相当する応力:S ₁ N/mm ²	縦ひずみ 400×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ N/mm ²	応力 S ₁ によって 生じる縦ひずみ ×10 ⁻⁶	圧縮弾性係数 kN/mm ²
塀-1	14.4	4.06	1436	9.98
塀-2	22.6	5.08	1652	14.0
塀-3	14.3	6.28	1055	12.2
小-1	7.90	1.56	1226	7.68
小-2	4.97	1.12	1906	2.56
小-3	4.77	1.21	1498	3.24

表 煉瓦単体ポアソン比試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に 相当する応力に おける縦ひずみ (ε ₁) ×10 ⁻⁶	最大荷重の 1/3 に 相当する応力に おける横ひずみ (ε ₂) ×10 ⁻⁶	縦ひずみ 400×10 ⁻⁶ のときの応力に おける横ひずみ (ε ₃) ×10 ⁻⁶	ポアソン比
塀-1	1436	-226	-72	0.149
塀-2	1652	-222	-67	0.124
塀-3	1055	-285	-151	0.205
小-1	1226	-293	-5	0.349
小-2	1906	-241	-70	0.114
小-3	1498	-206	-50	0.142

③煉瓦単体曲げ

表 煉瓦単体曲げ強度試験結果

記号	供試体の寸法 mm		支点間距離 mm	最大荷重 kN	曲げ強度 N/mm ²
	平均幅	平均厚さ			
小-10	113.8	61.0	180	6.12	3.90
小-11	107.1	61.0	180	3.74	2.53
小-12	112.1	60.9	180	5.89	3.83

表 煉瓦単体曲げ弾性係数試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に相当する応力:S ₁ N/mm ²	曲げひずみ 200×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ N/mm ²	応力 S ₁ によって生じる曲げひずみ ×10 ⁻⁶	曲げ弾性係数 kN/mm ²
小-10	1.30	0.383	565	2.51
小-11	0.843	0.324	542	1.52
小-12	1.28	0.375	559	2.52

④煉瓦単体引張

表 煉瓦単体引張強度試験結果

記号	供試体の寸法 mm		最大荷重 kN	引張強度 N/mm ²
	平均幅	平均厚さ		
小-7	62.4	58.2	4.76	1.31
小-8	63.1	57.3	3.68	1.02
小-9	63.0	58.1	8.29	2.26

表 煉瓦単体引張弾性係数試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に相当する応力:S ₁ N/mm ²	縦ひずみ 25×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ N/mm ²	応力 S ₁ によって生じる縦ひずみ ×10 ⁻⁶	引張弾性係数 kN/mm ²
小-7	0.437	0.130	83	5.29
小-8	0.340	0.149	64	4.90
小-9	0.753	0.3180	60	12.4

⑤煉瓦単体せん断

表 煉瓦単体せん断強度試験結果

記号	供試体の寸法 mm		最大荷重 kN	せん断強度 N/mm ²
	平均厚さ	平均幅		
小-13	108.1	64.0	30.8	2.23
小-14	104.6	59.4	31.0	2.49
小-15	108.4	61.0	24.4	1.85

表 煉瓦単体せん断弾性係数試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に 相当する応力:S ₁ N/mm ²	縦ひずみ 50×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ N/mm ²	応力 S ₁ によって 生じる縦ひずみ ×10 ⁻⁶	せん断弾性係数 kN/mm ²
小-13	0.743	0.236	169	4.26
小-14	0.830	0.0848	456	1.84
小-15	0.617	0.0404	712	0.871

(2)煉瓦要素試験

①煉瓦要素圧縮

表 煉瓦要素（組積体）圧縮強度試験結果

記号	上面の寸法 mm		下面の寸法 mm		平均 高さ mm	目地 厚さ mm	断面積 mm ²			最大 荷重 kN	圧縮 強度 N/mm ²	目地モ ルタル 充填率 %
	平均 幅	平均 長さ	平均 幅	平均 長さ			上面	下面	平均			
小-1	93.5	95.1	95.6	97.0	131.8	12.8	8891.9	9273.2	9082.6	87.2	9.60	100
小-2	93.8	85.0	95.3	85.9	138.9	16.3	7973.0	8186.3	8079.7	71.2	8.81	100
小-3	98.8	88.5	98.4	90.2	138.1	12.1	8743.8	8875.7	8809.8	91.9	10.4	100

表 煉瓦要素（組積体）圧縮弾性係数試験結果

記号	最大荷重の 1/3 に 相当する応力:S ₁ N/mm ²	縦ひずみ 1000×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ N/mm ²	応力 S ₁ によって 生じる縦ひずみ ×10 ⁻⁶	圧縮弾性係数 kN/mm ²
小-1	3.20	1.66	2245	1.24
小-2	2.94	1.38	2811	0.860
小-3	3.47	2.12	1959	1.41

②煉瓦要素引張

表 煉瓦要素（コア）引張強度試験結果

記号	整形後の 供試体の寸法 mm		目地部の寸法 mm			目地面積 mm ²	最大荷重 N	引張強度 N/mm ²	目地 モルタル 充填率 %
	平均 直径	平均 長さ	平均 幅	平均 長さ	平均 厚さ				
床-1	79.3	102.2	76.1	101.1	10.6	7693.7	20 ^{a)}	0.0026 ^{a)}	80
床-2	79.1	101.0	77.1	100.5	11.7	7748.6	483	0.0623	90
床-4	79.6	102.8	78.0	101.3	9.9	7901.4	401	0.0508	85

注^{a)} 載荷開始直後に目地部で破断したため、正確な引張強度を測定できなかった。

③煉瓦要素せん断

表 煉瓦要素（コア）せん断強度試験結果(塀部)

	塀-2	塀-4	塀-5
平均コア長さ L (mm)	108.8	106.6	107.2
目地幅 d (mm)	79.6	80.0	80.0
せん断面積 A (mm ²)	8660.5	8528.0	8576
破壊荷重 P (kN)	15.17	0.42	27.44
目地せん断強度 τ (N/mm ²)	1.75	0.05	3.04
側面載荷応力 (N/mm ²)	0.00	0.00	0.00
破壊形態	煉瓦+目地	目地+境界面	目地+境界面
目地充填率 (%)	748.9	29.7	52.0

表 煉瓦要素（コア）せん断弾性係数試験結果(塀部)

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力 S_1 N/mm ²	縦ひずみ 200×10^{-6} の時の応力 S_2 N/mm ²	応力 S_1 によって 生じる縦ひずみ $\times 10^{-6}$	せん断弾性係数 kN/mm ²
塀-2	0.58	0.07	5429	0.10
塀-4	0.02	0.04	-	-
塀-5	0.12	0.05	2401	0.03

※塀-4 は応力-ひずみ曲線が正常に取れなかったため弾性係数の算出は行わなかった。

表 煉瓦要素（コア）せん断強度試験結果（小屋裏部及び壁部）

	小-1	小-2	壁-1
平均コア長さ L (mm)	211.1	101.4	210.5
目地幅 d (mm)	76.5	77.4	77.6
せん断面積 A (mm ²)	16149.2	7848.4	16334.8
破壊荷重 P (kN)	1.55	1.77	3.58
目地せん断強度 τ (N/mm ²)	0.10	0.23	0.22
側面載荷応力 (N/mm ²)	0.00	0.00	0.00
破壊形態	目地+境界面	目地	目地+境界面
目地充填率 (%)	87.5	100.0	97.7

表 煉瓦要素（コア）せん断弾性係数試験結果（小屋裏部及び壁部）

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に相当する応力 S_1 (N/mm ²)	縦ひずみ 60×10^{-6} の時の応力 S_2 (N/mm ²)	応力 S_1 によって生じる縦ひずみ $\times 10^{-6}$	せん断弾性係数 (kN/mm ²)
小-1	0.03	0.02	182	0.08
小-2	0.08	0.05	681	0.05
壁-1	0.07	0.03	1277	0.06

※小-2 は縦ひずみ 60×10^{-6} 時が、応力-ひずみ曲線の勾配が立ち上がる前の領域に位置するため縦ひずみ 100×10^{-6} 時の応力 S_2 から算出した。壁-1 も同様に 600×10^{-6} 時の応力 S_2 から算出した。

表 煉瓦要素（コア）せん断強度試験結果(床部)

	床-1	床-2	床-4
平均コア長さ L(mm)	199.8	201.6	201.9
目地幅 d(mm)	77.9	77.9	79.5
せん断面積 A (mm ²)	15564.4	15704.6	15748.2
破壊荷重 P (kN)	7.40	10.84	8.53
目地せん断強度 τ (N/mm ²)	0.48	0.69	0.54
側面載荷応力 (N/mm ²)	0.40	0.40	0.40
破壊形態	目地+境界面	目地+境界面	目地
目地充填率 (%)	100.0	100.0	100.0

表 煉瓦要素（コア）せん断弾性係数試験結果(床部)

供試体 No.	最大荷重の 1/3 に 相当する応力 S_1 N/mm ²	縦ひずみ 30×10^{-6} の時の応力 S_2 N/mm ²	応力 S_1 によって 生じる縦ひずみ $\times 10^{-6}$	せん断弾性係数 kN/mm ²
床-1	0.16	0.08	206	0.45
床-2	0.23	0.14	664	0.19
床-4	0.18	0.11	320	0.32

※床-2 は縦ひずみ 30×10^{-6} 時が、応力-ひずみ曲線の勾配が立ち上がる前の領域に位置するため縦ひずみ 200×10^{-6} 時の応力 S_2 から算出した。床-4 も同様に 100×10^{-6} 時の応力 S_2 から算出した。