

豊橋ハリストス正教会聖使徒福音者馬太聖堂における石積 基礎の石材（花崗岩）及び目地の材料試験

- 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：豊橋ハリストス正教会聖使徒福音者馬太聖堂

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（平成 20 年 6 月 9 日）

所在地：愛知県豊橋市八町通三丁目 15 番地

所有者（管理団体）：豊橋ハリストス正教会

構造形式：木造、建築面積 182.03 m²、一階建、正面八角鐘楼付、銅板葺、聖障付

建築年：大正 2 年（1913 年）

事業名称：重要文化財 豊橋ハリストス正教会聖使徒福音者馬太聖堂保存修理工事

事業期間：令和 2 年 9 月 1 日～令和 6 年 9 月 30 日

工事種別：保存修理

事業者：豊橋ハリストス正教会

設計監理：（公財）文化財建造物保存技術協会

実験計画者：（株）計測リサーチコンサルタント

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：令和 3 年 5 月～7 月

引用・参考文献：

●実験に至る経緯と目的

建物の土台を受ける石積基礎が、耐震診断において地震時の荷重を地盤まで伝達が可能か検討するため石材及び目地の強度試験を行った。

● 姿図・寸法

【使用材料】

石材：花崗岩（建物床下よりコア採取4本）



採取コア



採取コア部の補修完了状況

【試験体】

試験体

試験項目	試験数量
石材-目地モルタルの要素圧縮強度試験	2体
石材の単体圧縮試験	1体
目地モルタルの単体せん断強度試験	2体



要素圧縮強度試験体
(断面積 70×70 程度)

単体圧縮強度試験体
(34×34×66)



目地単体せん断強度試験体
(断面積 50×35 程度)

●実験方法

【石材-目地モルタルの要素圧縮強度試験】

供試体は、供試材からコンクリートカッターを使用して採取及び整形したのち、試験に供した。

圧縮強度試験は、3000kN 圧縮試験機を用いて、JIS R 1250 の 7.5 圧縮強度試験に準じて行った。

圧縮強度は次式によって算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸めた。また、目地コンクリートについては破壊後に目地モルタルの充填率を目視観察で求めた。

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

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

圧縮弾性係数は、圧縮強度試験時に変位量を測定して行った。変位量の測定は、圧縮試験機上側の加圧板の 4 方向に電気式変位計(検長:25 mm)を設置し、デジタルひずみ測定器を用いて行った。圧縮弾性係数は次式によって算出し、四捨五入によって有効数字 3 けたに丸めた。

$$\varepsilon = \frac{(DG1+DG2+DG3+DG4)}{4h}$$

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 500 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

- ここに、 ε : 供試体の縦ひずみ
 $DG1 \sim DG4$: 各変位計の変位量（供試体の圧縮変位）（mm）
 h : 供試体の高さ（mm）
 E_c : 圧縮弾性係数（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 500×10^{-6} のときの応力（N/mm²）
 ε_1 : S_1 の応力によって生じる供試体の縦ひずみ

【石材の単体圧縮強度試験】

供試体は、供試材からコンクリートカッターを使用して整形したのち、試験に供した。圧縮強度試験は、500kN 万能試験機を用いて、JIS A 1107（コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法）に準じて行った。

圧縮弾性係数は、圧縮強度試験時に JIS A 1149（コンクリートの静弾性係数）に準じて行った。供試体のひずみの測定は、ひずみゲージ（検長：縦 60mm，横 30mm，抵抗値：120Ω）を供試体に貼り付け、デジタルひずみ測定器を用いて行った。圧縮弾性係数及びポアソン比は、次式によって有効数字 3 けたまで求めた。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 100 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

- ここに、 E_c : 圧縮弾性係数 (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 100×10^{-6} のときの応力 (N/mm²)
 ε_1 : S_1 の応力によって生じる供試体の縦ひずみ

【目地モルタルの単体せん断強度試験】

供試体は、供試材からコンクリートカッターを使用して整形したのち、試験に供した。せん断強度試験は、圧縮応力を載荷しながら行う一面せん断試験とした。圧縮力は試験器具の自重分となる 200N の他に、1 回目は側圧無載荷設定のための 3 mmの緩衝材を挟み試験実施、2 回目は緩衝材無しで試験機の最小載荷重である 20N を追加載荷した。

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。

せん断強度は次式によって算出し、四捨五入によって有効数字 3 けたに丸めた。

$$\tau = \frac{P}{2 \times W \times L}$$

- ここに、 τ : せん断強度 (N/mm²)
 P : 最大荷重 (N)
 W : 供試体破壊面の幅 (mm)
 L : 供試体破壊面の長さ (mm)

静弾性係数は、以下の式にて算出した。

$$E_s = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 \times 10^{-6}} \times 10^{-3}$$

- ここに、 E_s : 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 100×10^{-6} 時に相当する応力 (N/mm²)
 ε_1 : 応力 S_1 によって生じる供試体の縦ひずみ
 ε_2 : 応力 S_2 によって生じる供試体の縦ひずみ

●特性値

【石材+目地モルタルの要素圧縮強度試験】

石材+目地圧縮強度

供試体 番号	上面の寸法 (mm)		下面の寸法 (mm)		平均 高さ (mm)	目地 厚さ (mm)	加圧面積 (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			
1	68.8	71.6	68.3	71.4	70.9	19.7	4926.1	4876.6	4901.4	178	36.3	100
2	72.3	71.2	72.2	70.7	72.8	24.4	5147.8	5104.5	5126.2	110	21.5	100
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28.9	—

石材+目地 要素圧縮弾性係数

供試体 番号	最大荷重の1/3に 相当する応力:S ₁ (N/mm ²)	縦ひずみ 500×10 ⁻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)
1	12.1	0.966	5561	2.20
2	7.16	0.508	4398	1.71
平均	—	—	—	1.96

【石材の単体圧縮強度試験】

石材圧縮強度

供試体の寸法 (mm)			最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)
縦	横	高さ		
33.7	33.9	65.9	134	117

石材 単体圧縮弾性係数

最大荷重の1/3に 相当する応力:S ₁ (N/mm ²)	縦ひずみ 100×10 ⁻⁶ のときの応力:S ₂ (N/mm ²)	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)	圧縮弾性係数 (kN/mm ²)
39.1	2.50	1232	32.3

【目地モルタルの単体せん断強度試験】

目地せん断強度

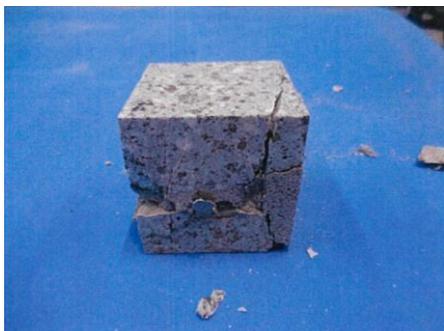
	右上①	左上①
平均コア長さ L(mm)	50.3	49.3
コア幅 d(mm)	34.7	34.6
せん断面積 A (mm ²)	1745.4	1705.8
破壊荷重 P (kN)	10.86	15.46
目地せん断強度 τ (N/mm ²)	6.22	9.06
側面載荷応力 (N/mm ²)	0.115	0.129
破壊形態	目地	目地
		
目地充填率 (%)	100	100

目地 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_1 N/mm ²	縦ひずみ 1000×10^{-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
右上①	2.016	0.365	4668	0.450
左上①	3.021	0.490	6608	0.451

●破壊形状

【圧縮強度試験】



石材-目地モルタル



石材単体

【せん断強度試験】



目地モルタル単体



目地モルタル単体

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

- ・石材の単体圧縮強度試験において、圧縮強度は 117 N/mm^2 であり、破壊形状は圧壊を示している。
- ・石材-目地モルタルの要素圧縮試験において、圧縮強度は平均で 28.9 N/mm^2 であった。破壊形状は石材の目が圧縮方向と平行に入っており、目地部の圧壊に応じて剥離する様に石材が破壊された。石材の破壊は、石目が圧縮方向に平行に入っていたためモルタルの圧壊に応じて剥落したと考えられる。
- ・目地の単体せん断試験結果によるせん断強度は平均値で 7.64 N/mm^2 を示した。