

旧田中家住宅洋館及び煉瓦塀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：旧田中家住宅 洋館、煉瓦塀

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (2018年12月25日)

所在地：埼玉県川口市末広一丁目7番2号

所有者 (管理団体)：川口市

構造形式：洋館主体部 煉瓦造及び木造 建築面積 93.41 m² 三階建

洋館台所部 煉瓦造及び木造 建築面積 64.43 m² 二階建

煉瓦塀 煉瓦造

建築年：洋館 大正10年 (1921年)、煉瓦塀 大正後期

事業名称：重要文化旧田中家住宅洋館ほか4棟耐震診断業務委託

事業期間：令和2年5月25日～令和4年3月31日

工事種別：耐震診断

事業者：川口市

設計監理：一般社団法人 日本メインストリートセンター

実験計画者：一般社団法人 日本メインストリートセンター

実験機関：

株式会社 計測リサーチコンサルタント (目地せん断試験)

一般財団法人 建材試験センター中央試験所 (煉瓦圧縮試験、目地引張試験)

北海道生コンクリート工業組合 コンクリート技術センター道央試験所 (要素圧縮試験)

実験年月日：令和2年7月8日～8月28日、9月23日～11月05日

引用・参考文献：－

●実験に至る経緯と目的

煉瓦造建物の耐震診断を行うにあたり、材料の力学的特性を把握する目的で材料強度試験を行った。

●姿図・寸法

【使用材料】

構造体から採取した煉瓦単体供試体及び目地を含む煉瓦要素供試体

【試験体寸法】

表 1 煉瓦塀の材料強度試験体寸法

名 称	採取位置	直径(mm)	長さ(mm)	試 験
①-1	煉瓦塀控壁	45.2 φ	91.9	煉瓦単体圧縮
②-1	煉瓦塀控壁	44.9 φ	91.7	煉瓦単体圧縮
③-1	煉瓦塀控壁	45.1 φ	92.0	煉瓦単体圧縮
①-2	煉瓦塀控壁	78.4 φ	200.9	目地せん断
②-2	煉瓦塀控壁	78.4 φ	200.2	目地せん断
③-2	煉瓦塀控壁	78.4 φ	200.6	目地せん断
①-3	煉瓦塀控壁	78.5 φ	101.1	目地引張
②-3	煉瓦塀控壁	78.4 φ	101.2	目地引張
③-3	煉瓦塀控壁	78.3 φ	102.3	目地引張

表 2 洋館の材料強度試験体寸法 (煉瓦単体)

名 称	採取位置	直径(mm)	長さ(mm)	試 験
R1-1	洋館主体部・壁	44.3 φ	91.0	圧縮・静弾性係数・ポアソン比
R1-2	洋館主体部・壁	45.3 φ	91.0	圧縮・静弾性係数・ポアソン比
R1-3	洋館主体部・壁	45.4 φ	89.2	圧縮・静弾性係数・ポアソン比
R2-2	洋館台所部・壁	45.3 φ	90.5	圧縮・静弾性係数・ポアソン比

※平成 28 年に採取済みの煉瓦コアより試験体を採取した。

表 3 洋館の材料強度試験体寸法 (煉瓦要素)

名 称	採取位置	目地込み煉瓦寸法 (mm)	試 験
R1-①	洋館主体部・壁	102.1×103.2×126.4	圧縮・静弾性係数・ポアソン比
R2-①	洋館台所部・壁	107.2×106.9×123.7	圧縮・静弾性係数・ポアソン比

●概要

旧田中家住宅洋館は、以前に煉瓦材料試験が実施されているが、建物の耐震診断にあたり補足試験を実施する必要があったため、煉瓦単体の静弾性係数・ポアソン比の測定、及び煉瓦要素(煉瓦・目地からなる組積体)の強度試験を行った。

煉瓦塀については、煉瓦単体の圧縮強度試験、目地の引張試験、目地のせん断強度試験を行った。

●実験方法

(1) 煉瓦塀の材料強度試験

①煉瓦単体の圧縮強度試験

煉瓦壁体から採取したコアをコンクリートカッター及び研磨機により整形して試料とした。500kN 万能試験機を使用して、JIS A 1107(コンクリートからのコア採取及び圧縮強度試験法)に準じて煉瓦単体の圧縮強度試験を行った。圧縮強度は次式により算出した。

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

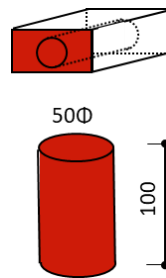


図1 煉瓦単体の圧縮強度試験体概要

②目地のせん断強度試験

煉瓦壁体から採取したコアをコンクリートカッターにて整形したのち、目地を挟んだ両側の煉瓦に箱状の治具を目地と平行になるようにモルタルで接着固定し試料とした。目地が水平になるように片方の治具(下部煉瓦)を試験機に固定して、もう片方の治具(上部煉瓦)に荷重を加えて一面せん断試験を行った。せん断力荷重方向と直行する軸力方向には、煉瓦の面外方向へのズレ防止のため固定を行うが、荷重を加えないものとした。せん断強度は次式により算出した。また、破壊後に破壊面の位置と目地モルタルの充填率を目視観察により調査した。

$$\text{目地せん断強度(N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重(N)}}{\text{付着面積(mm}^2\text{)}}$$

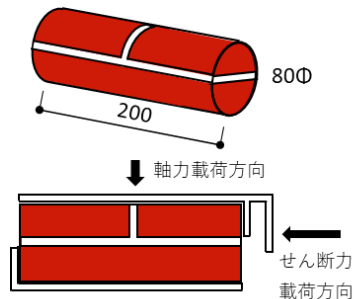


図2 煉瓦目地のせん断強度試験体概要

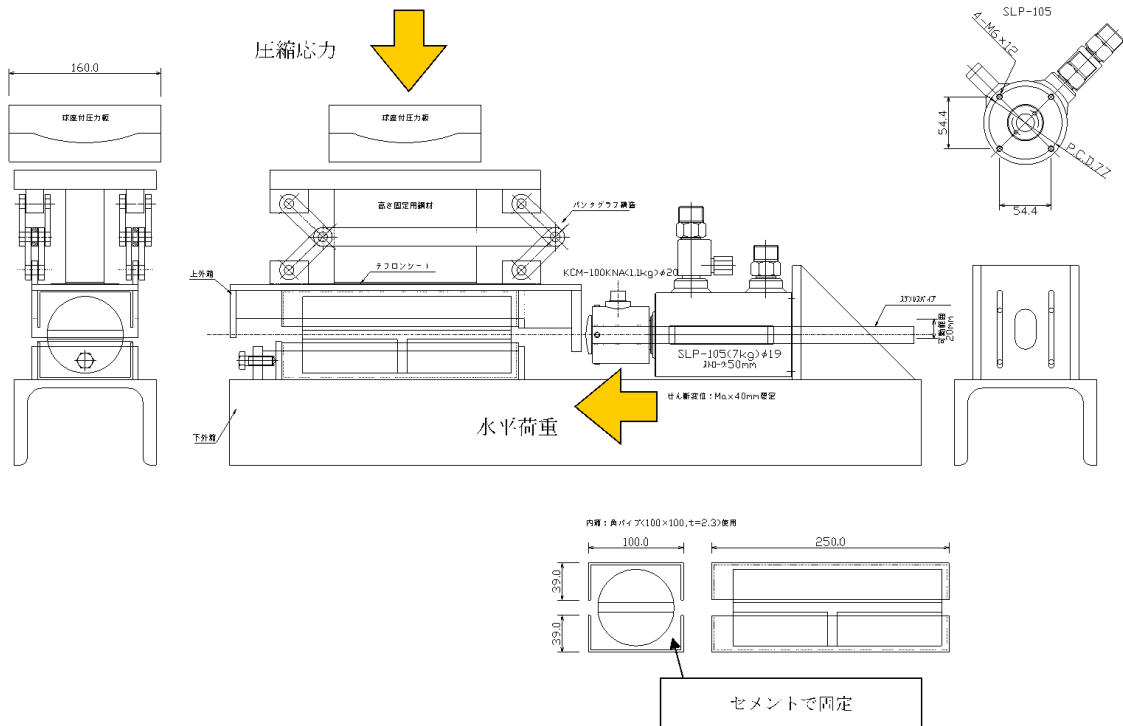


図3 煉瓦目地のせん断強度試験方法概要

③目地の引張強度試験

煉瓦壁体から採取したコアをコンクリートカッターにて整形したのち、目地を挟んだ両側の煉瓦に半円状の治具をエポキシ樹脂にて接着し、治具にユニバーサルジョイントを取り付け、20kN 定速型万能試験機を用いて目地の引張強度試験を行った。引張強度は次式により算出した。また、破壊後に破壊面の位置と目地モルタルの充填率を目視観察により調査した。

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

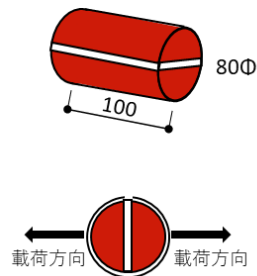


図4 煉瓦目地の引張強度試験体概要

(2) 洋館煉瓦の材料強度試験

① 煉瓦単体の圧縮強度試験・静弾性係数及びポアソン比測定

以前(平成 28 年)に実施した強度試験の残存試験体から採取した 50φ コアをコンクリートカッター及び研磨機により整形して試料とした。500kN 万能試験機を使用して、JIS A 1107(コンクリートからのコア採取及び圧縮強度試験法)に準じて煉瓦単体の圧縮強度試験を行った。圧縮強度は次式により算出した。

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

圧縮強度試験時に JIS A 1149(コンクリートの静弾性係数試験方法)に準じて供試体のひずみを測定した。ひずみゲージ(縦ひずみ 検長 30mm、横ひずみ 検長 20mm)を供試体に貼り付け、デジタルひずみ測定器を用いて、ひずみの計測を行った。静弾性係数とポアソン比は次式により算出した。

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

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 50×10^{-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

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \right|$$

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 50×10^{-6} の時の応力における横ひずみ

②煉瓦要素供試体(煉瓦・目地からなる組積体)の強度試験

目地を挟んだ2段の煉瓦コアを煉瓦壁体から採取して、コンクリートカッターにて整形し、加圧面をキャッピングして供試体とした。下図のと通りの位置にひずみゲージを貼り、圧縮強度試験と共に JIS A 1149(コンクリートの静弾性係数試験方法)に準じて各所ひずみを測定し、静弾性係数及びポアソン比の測定を行った。

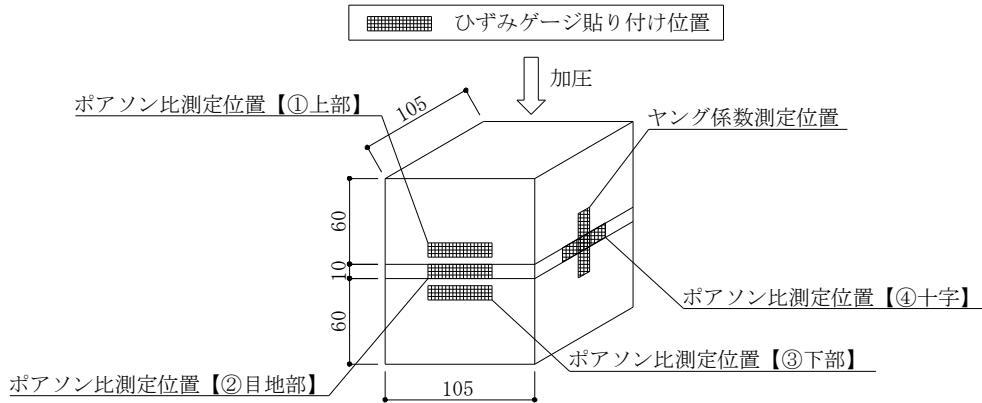


図5 煉瓦要素供試体のひずみゲージ貼り付け位置

圧縮強度、静弾性係数及びポアソン比は次式により算出した。

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

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

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 50×10^{-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

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \right|$$

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 50×10^{-6} の時の応力における横ひずみ

●特性値

表 1 煉瓦単体圧縮強度試験結果

採取箇所	試験結果		最大応力 平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	推定強度 (平均値 -σ/2) (N/mm ²)
	最大荷重	最大応力			
	(kN)	(N/mm ²)			
①-1	23.0	14.3	11.2	2.74	9.82
②-1	14.5	9.16			
③-1	16.1	10.1			

表 2 煉瓦目地のせん断強度試験結果

採取箇所	試験結果		最大応力 平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	推定強度 (平均値 -σ/2) (N/mm ²)	破壊面の分類(%)			破断位置
	最大荷重	最大応力				目地	界面	煉瓦	
	(kN)	(N/mm ²)							
①-2	46.95	3.01	2.15	0.79	1.75	10%	0%	90%	煉瓦母材
②-2	30.38	1.96				15%	55%	30%	煉瓦母材及び界面
③-2	22.63	1.47				15%	35%	50%	煉瓦母材及び界面

表 3 煉瓦目地の引張強度試験結果

採取箇所	試験結果		最大応力 平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	推定強度 (平均値 -σ/2) (N/mm ²)	破壊面の分類(%)			破断位置
	最大荷重	最大応力				目地	界面	煉瓦	
	(kN)	(N/mm ²)							
①-3	5.38	0.696	0.78	0.08	0.74	0%	0%	100%	煉瓦母材
②-3	6.66	0.841				0%	40%	60%	煉瓦母材及び界面
③-3	6.50	0.812				0%	20%	80%	煉瓦母材及び界面

表 4 煉瓦単体の圧縮強度・静弾性係数・ポアソン比

採取箇所	試験結果		圧縮強度 平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	推定強度 (平均値 -σ/2) (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	静弾性係数 平均値 (kN/mm ²)	ポアソン比	ポアソン比 平均値
	最大荷重	圧縮強度							
	(kN)	(N/mm ²)							
R1-1	23.3	15.1	11.5	4.55	9.24	8.84	5.95	0.158	0.121
R1-1	25.5	15.8							
R1-3	12.1	7.47							
R2-2	12.4	7.69							

表 5 煉瓦要素供試体(煉瓦・目地からなる組積体)の圧縮強度・静弾性係数・ポアソン比

採取箇所	試験結果		圧縮強度 平均値 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	静弾性係数 平均値 (kN/mm ²)	ポアソン比 【①上部】	ポアソン比 【②目地部】	ポアソン比 【③下部】	ポアソン比 【④十字】
	最大荷重	圧縮強度							
	(kN)	(N/mm ²)							
R1-①	71.6	6.80	6.79	4.13	4.04	0.295	0.196	0.147	0.183
R2-①	77.6	6.77							
平均値						平均値: 0.481	平均値: 0.356	平均値: 0.213	平均値: 0.231

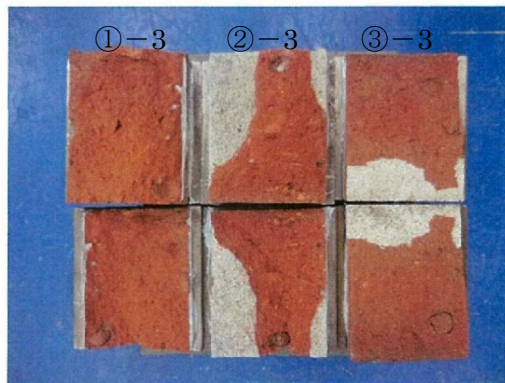
※【】内はポアソン比測定用ひずみゲージ貼り付け位置を示す。

※目視確認によると目地材の充填性は良好であり、目地充填率は100%である。

●破壊形状



煉瓦単体圧縮強度供試体の破壊状況



目地引張強度供試体の破壊状況



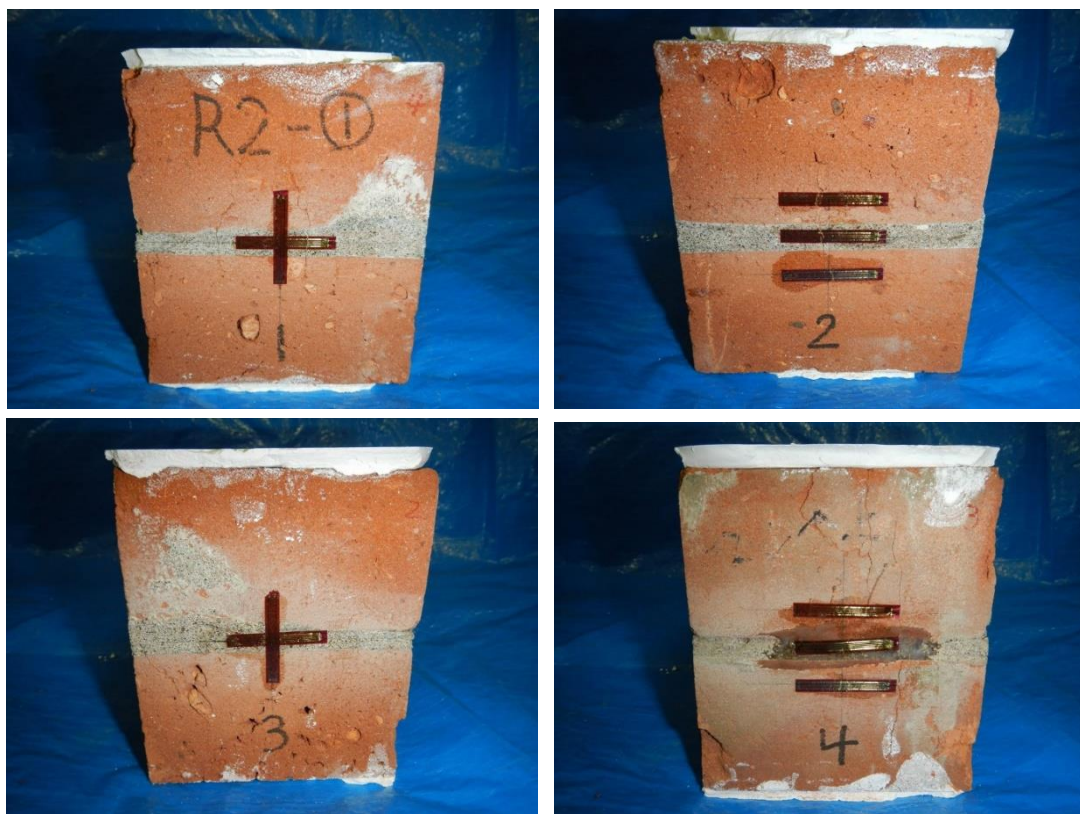
目地せん断強度供試体の破壊状況



煉瓦単体の圧縮強度・静弾性係数・ポアソン比測定供試体の破壊状況



煉瓦要素供試体の破壊状況 R1-①



煉瓦要素供試体の破壊状況 R2-①

●考察

(1) 煉瓦塀の材料強度

煉瓦単体の推定圧縮強度(平均値- $\sigma/2$)は 9.82N/mm^2 であり、煉瓦単体の圧縮強度は低い。

煉瓦目地のせん断強度(平均値- $\sigma/2$)は 1.75N/mm^2 、煉瓦目地の引張強度(平均値- $\sigma/2$)は 0.74N/mm^2 である。採取コアの目地詰めは良好であり、目地せん断・目地引張試験では、煉瓦母材または煉瓦と目地材の界面で破断する割合が高く、目地材が破断する割合は低かった。煉瓦塀の目地は強度が比較的高く施工も良好であるが、煉瓦単体の品質は低いとみられる。

(2) 洋館煉瓦の材料強度

①煉瓦単体の圧縮試験・静弾性係数及びポアソン比

煉瓦単体の圧縮強度試験値は $7.69\sim 15.8\text{N/mm}^2$ である。推定強度(平均値- $\sigma/2$)は 9.24N/mm^2 である。

静弾性係数は $3.22\sim 8.84\text{ kN/mm}^2$ (平均 5.95 kN/mm^2)で圧縮強度が高くなる程高い値となっている。

ポアソン比は $0.0809\sim 0.158$ (平均 0.121)である。

②煉瓦要素供試体の圧縮試験・静弾性係数及びポアソン比

煉瓦要素供試体の圧縮強度は $6.77, 6.80\text{ N/mm}^2$ (平均 6.79 N/mm^2)、静弾性係数は $3.94, 4.13\text{ kN/mm}^2$ (平均 4.04 kN/mm^2)である。煉瓦要素供試体の圧縮強度・静弾性係数共に煉瓦単体の値より低くなっている。また、煉瓦要素供試体は、試験体中央付近に目地を挟んで縦ひび割れが発生する形で破壊している。目地材と煉瓦面の微細な凹凸により応力差が生じて部分的な割裂破壊が生じやすくなっている影響により、煉瓦単体よりも煉瓦要素供試体の圧縮強度が低くなった可能性が考えられる。

ポアソン比については $0.147\sim 0.667$ とバラツキが大きい。試験体番号 R2-①の目地部と目地上部のポアソン比は $0.516, 0.667$ と大きすぎるため異常値と推定される。2 測点を除外するとポアソン比は $0.147\sim 0.295$ (平均 0.230)となる。