

旧集成館機械工場における石積壁の石材（溶結凝灰岩）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：旧集成館機械工場

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（昭和 37 年 6 月 21 日）

所在地：鹿児島県鹿児島市吉野町 9700 番 1

所有者（管理団体）：株式会社島津興業

構造形式：石造、建築面積 979.8 m²、一階建、棧瓦葺

建築年：慶応元年（1865 年）

事業名称：重要文化財 旧集成館機械工場耐震診断事業

事業期間：平成 29 年 4 月～平成 31 年 3 月

工事種別：耐震診断

事業者：株式会社島津興業

設計監理：（公財）文化財建造物保存技術協会

実験計画者：日本診断設計株式会社 長谷川哲也

実験機関：国立大学法人 三重大学 工学研究科

実験年月日：平成 30 年 6 月～9 月

引用・参考文献：

●実験に至る経緯と目的

建物の主な耐震要素は石材であり、耐震診断に必要な各石材強度を把握するために石材・石材+目地の圧縮、引張、せん断強度試験、石材同士・石材と木材の摩擦強度試験を行った。

● 姿図・寸法

【使用材料】

石材：溶結凝灰岩（建物よりコア採取） 石材単体：4本、石材+目地 3本

目1-1 下側



石材+目地コア



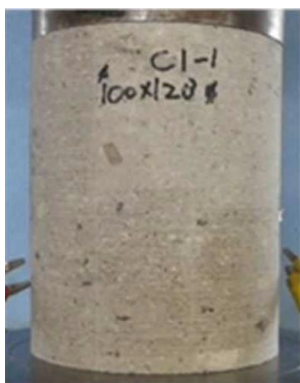
コア採取孔内部

【試験体】

・ 圧縮強度試験	No.1	石材単体	圧縮強度試験	3体
	No.2	石材+目地	圧縮強度試験	5体
・ 引張強度試験	No.3	石材単体	割裂引張強度試験	3体
	No.4	石材+目地	引張強度試験	3体
・ せん断強度試験	No.5	石材単体	せん断強度試験	3体
	No.6	石材+目地	せん断強度試験	4体
・ 摩擦試験	No.7	石材-石材	摩擦試験（割裂面*1）	4体
	No.8	石材-石材	摩擦試験（切断面*2）	2体
	No.9	石材-木材	摩擦試験（切断面*2）	4体

*1：石材の割れによる摩擦面

*2：機械カットによる摩擦面



No.1 石材単体 圧縮強度試験
($\phi 100 \times 120$)



No.2 石材+目地 圧縮強度試験
($40 \times 40 \times 50$)



No.3 石材単体 割裂引張強度試験
($\phi 100 \times 120$)



No.4 石材+目地 引張強度試験
($40 \times 40 \times 50$)



No.5 石材単体 せん断強度試験
($220 \times 70 \times 70$)



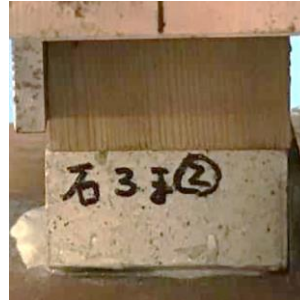
No.6 石材+目地 せん断強度試験
($40 \times 40 \times 50$)



No.7 石材-石材 摩擦試験（割裂面）



No.8 石材-石材（切断面）

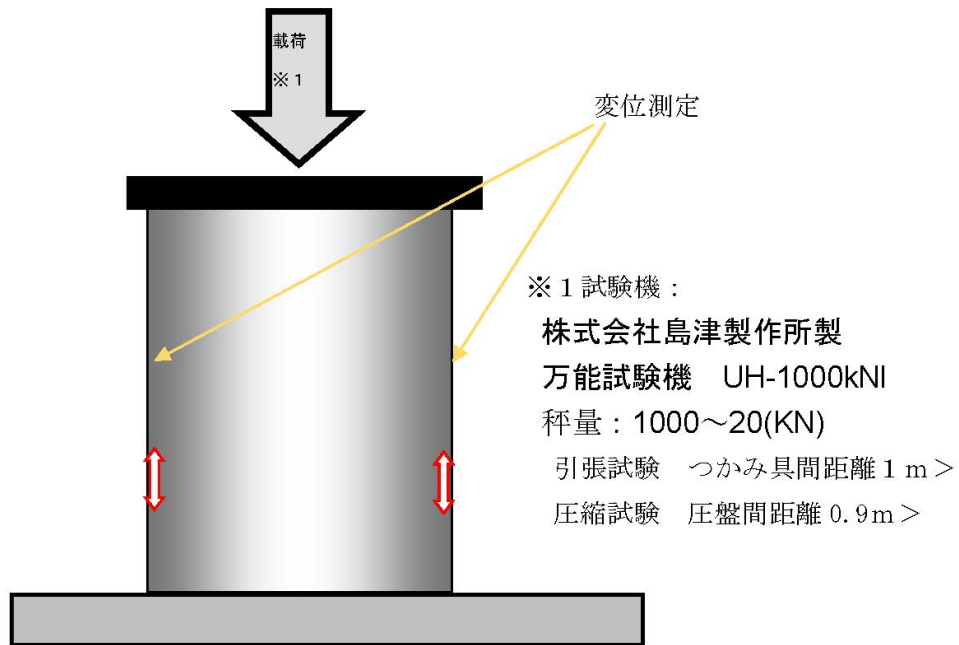


No.9 石材-木材（切断面）

●実験方法

No.1 石材単体 圧縮強度試験 (JIS A 1107 準拠)

石材の圧縮試験のイメージ図を下記に示す。



圧縮試験イメージ図



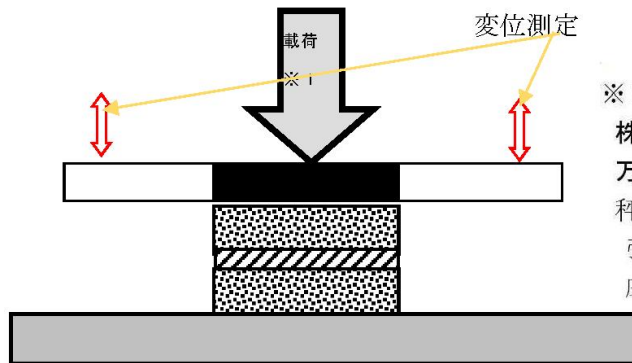
試験状況

破壊状況



No.2 石材+目地 圧縮強度試験 (JIS R2206-1 準拠)

目地+石材の圧縮試験のイメージ図を下記に示す。



圧縮試験イメージ図



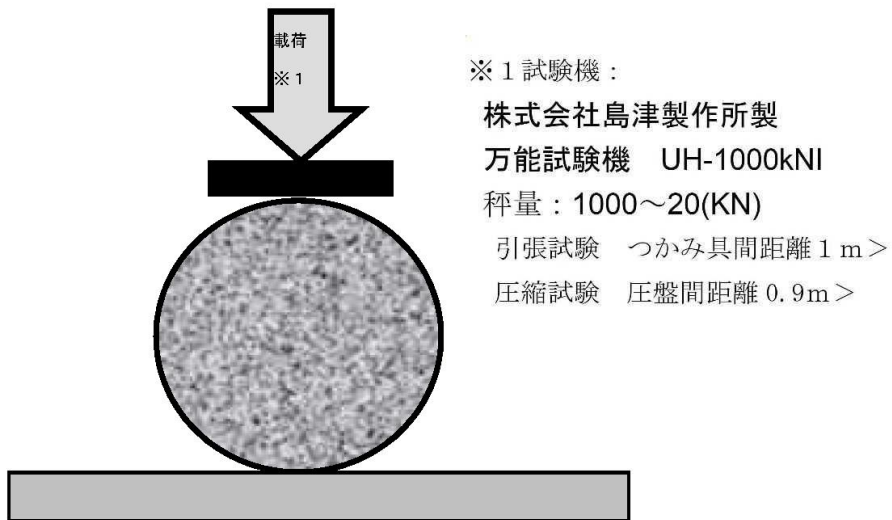
試験状況



破壊状況

No.3 石材単体 割裂引張強度試験 (JIS A 1113 準拠)

石材の割裂引張試験のイメージ図を下記に示す。



圧縮試験イメージ図



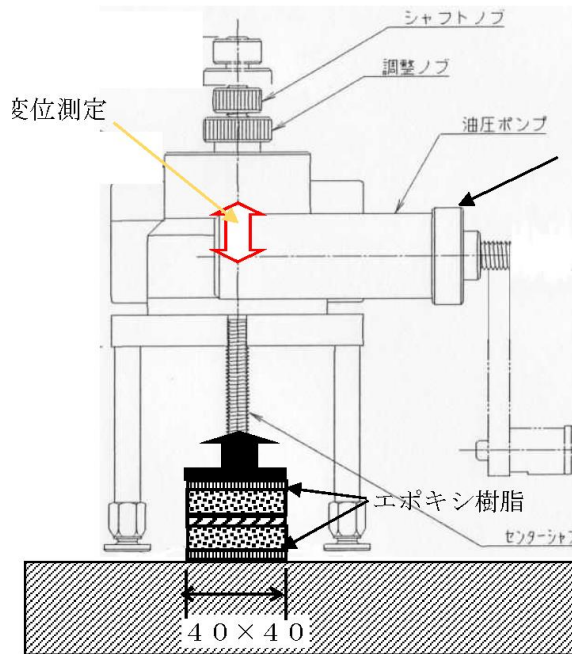
試験状況



破壊状況

No.4 石材+目地 引張強度試験 (JASS19 引張試験方法・JIS A 5548 準拠)

目地の引張（接着力）試験のイメージを下記に示す



※ 2 試験機：
サンコーテクノ（株）製
簡易型引張試験機テカスター RT-1000LD
測定範囲 荷重:0～10.00KN
変位:0～18 mm
最小表示 荷重:0.01KN
変位:0.05 mm
(巻末に RT-1000D の校正証明書を
添付：現地にて RT-1000LD と同じ
試験値である事を確認)
コンクリート版



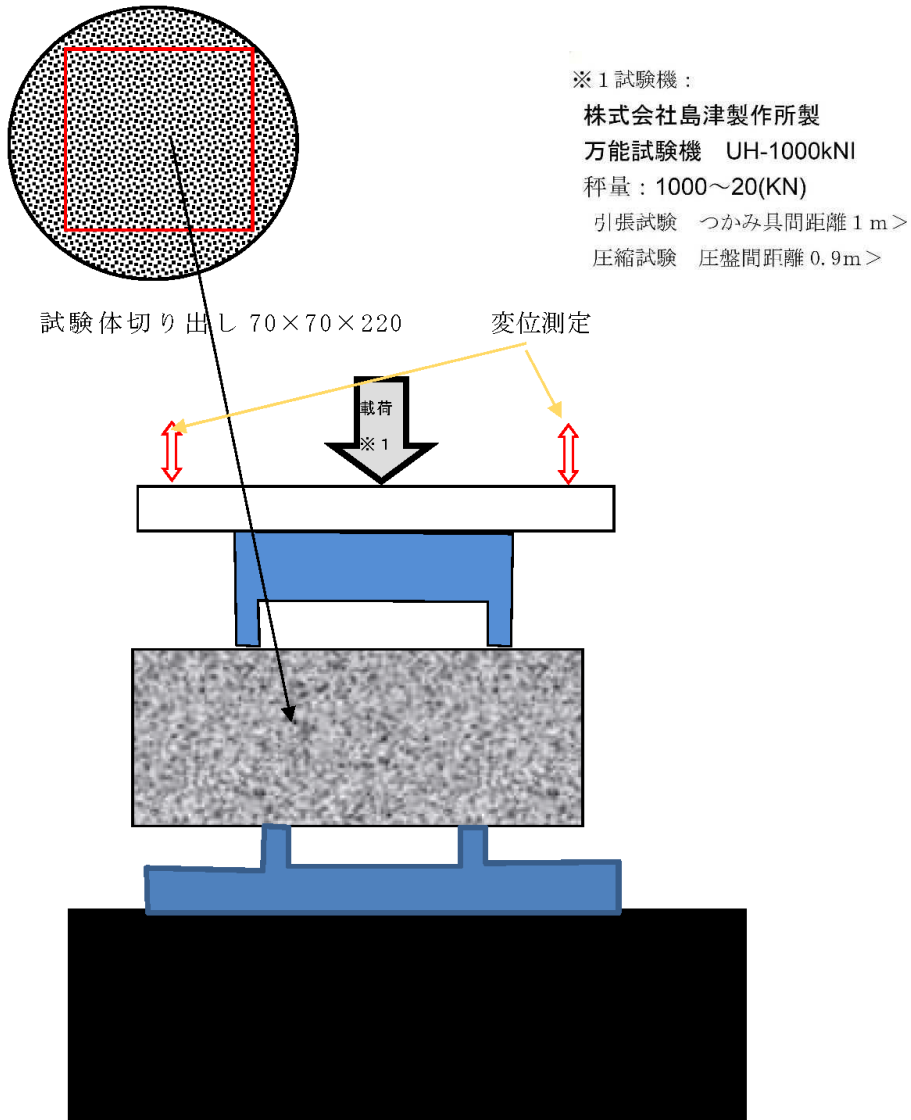
試験状況



破壊状況

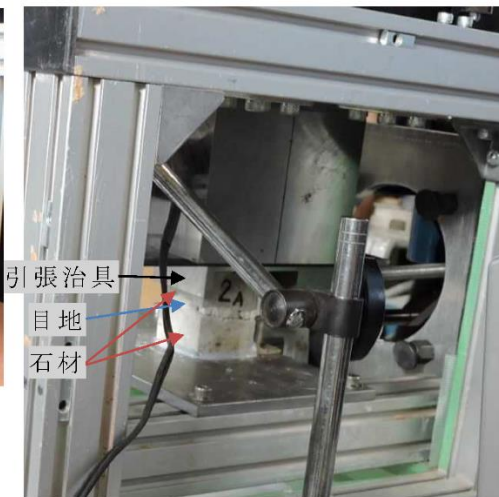
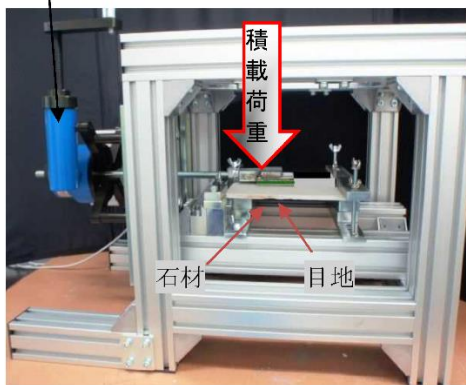
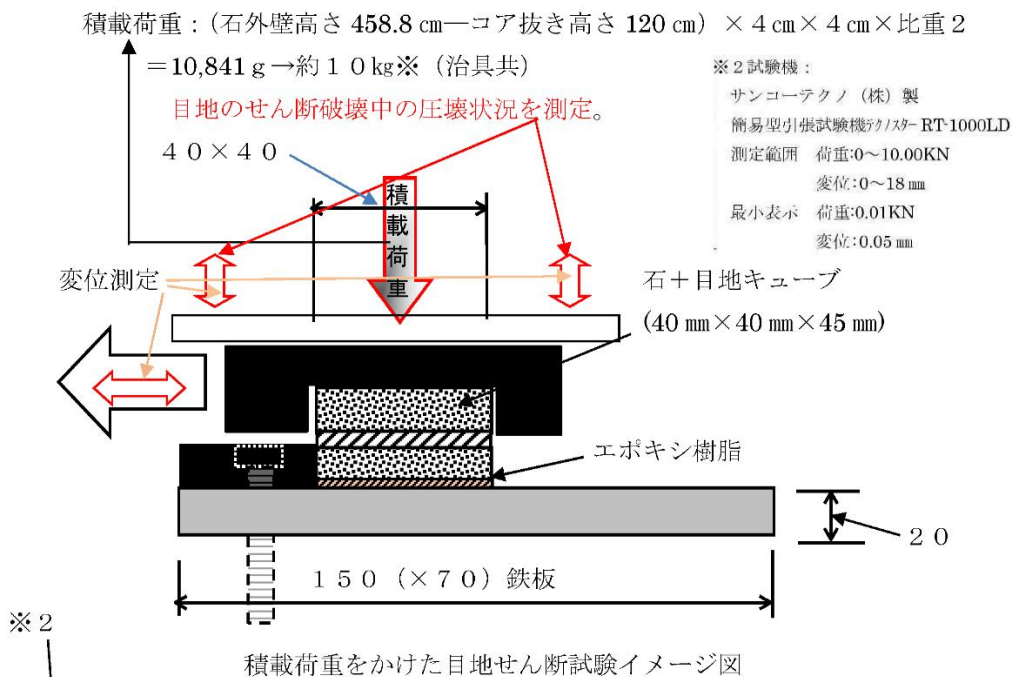
No.5 石材単体 せん断強度試験（土木学会基準 JSCE-G553 準拠）

下写真のようなせん断試験を行う。



No.6 石材+目地 せん断強度試験

目地（水平）せん断強度試験のイメージ図を下記に示す。



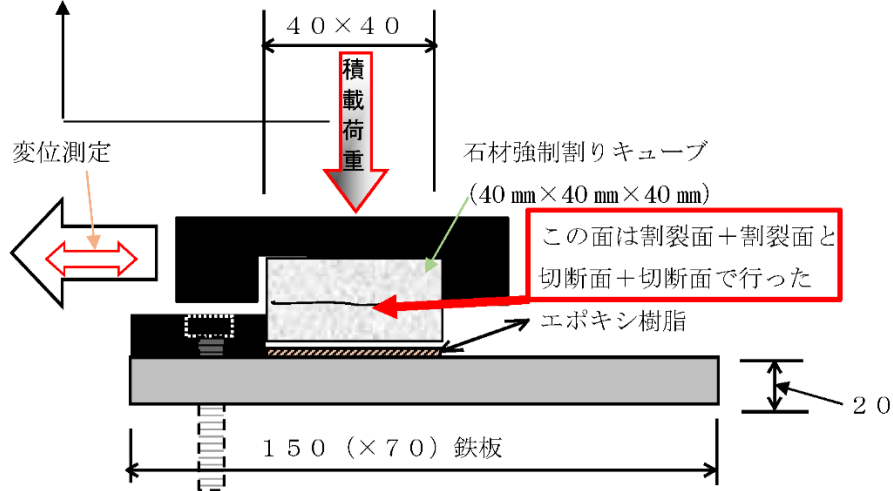
No.7 石材-石材 摩擦試験（割裂面*1）、No.8（切断面*2）

*1：石材の割れによる摩擦面

*2：機械カットによる摩擦面

摩擦測定試験（石材+石材）のイメージ図を下記に示す。

積載荷重：約3.5 kgで行う（治具共）



積載荷重をかけた摩擦測定試験イメージ図

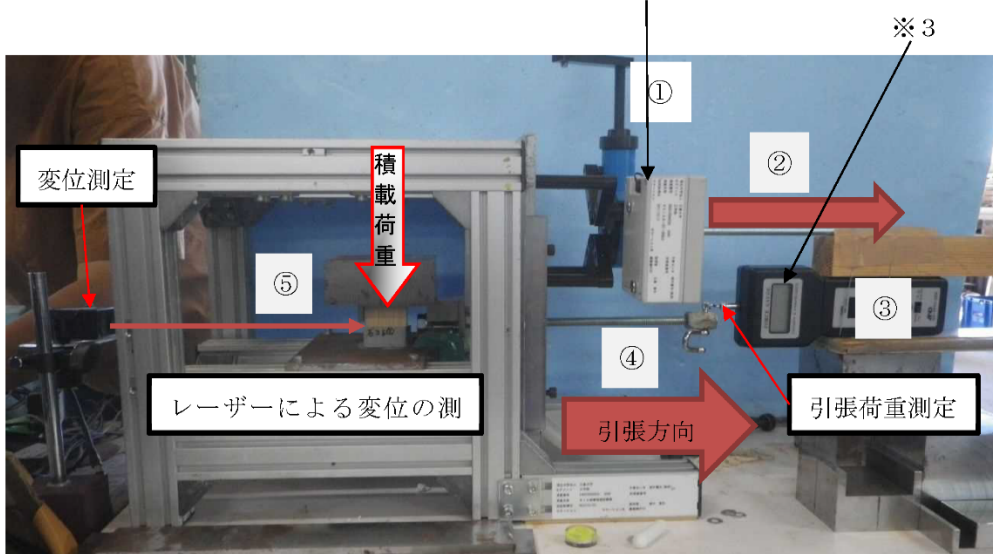
試験全体写真及び試験パーツ写真と载荷手順を述べる

【载荷手順】

- ①：ハンドルを回転（※2）
- ②：ジグが引張方向に移動
- ③：ジグと一体化した荷重測定器が引張方向に移動
- ④：さらに供試体と繋がるジグが引張方向に移動
- ⑤：供試体が引張方向の力を受ける

※2 試験機：

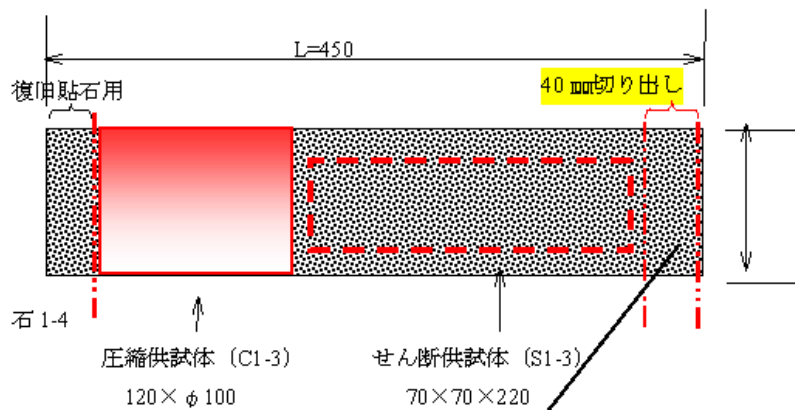
サンコーテクノ（株）製
簡易型引張試験機テラスター RT-1000LD
測定範囲 荷重:0~10.00KN
変位:0~18 mm
最小表示 荷重:0.01KN
変位:0.05 mm



※割裂面の作成手順

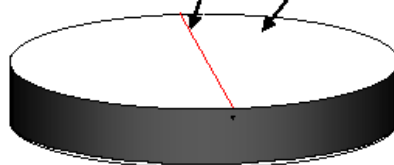
※₁ 摩擦係数用切出し手順

手順①：厚さ4cmの円版を切り出す

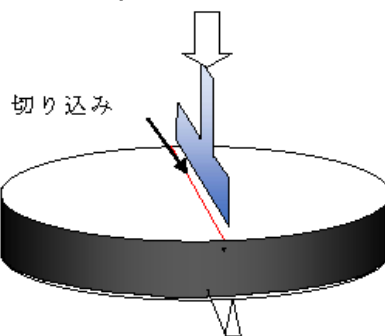


手順②：厚さ40mmの円版の平面の中心を通る直線状に深さ1mmの溝を入れる。この溝は裏表同じ位置に入れる。

切り込みを入れる（表裏同じ位置）

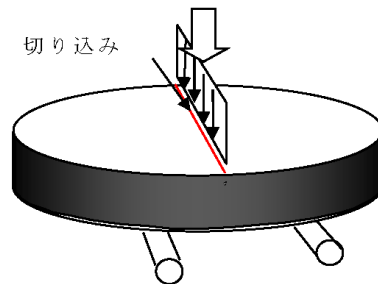


手順③の1：下側の溝の下にくさびを入れ、上の溝から垂直方向に幅広タガネを使って円板の直径方向に割れ面を作る。

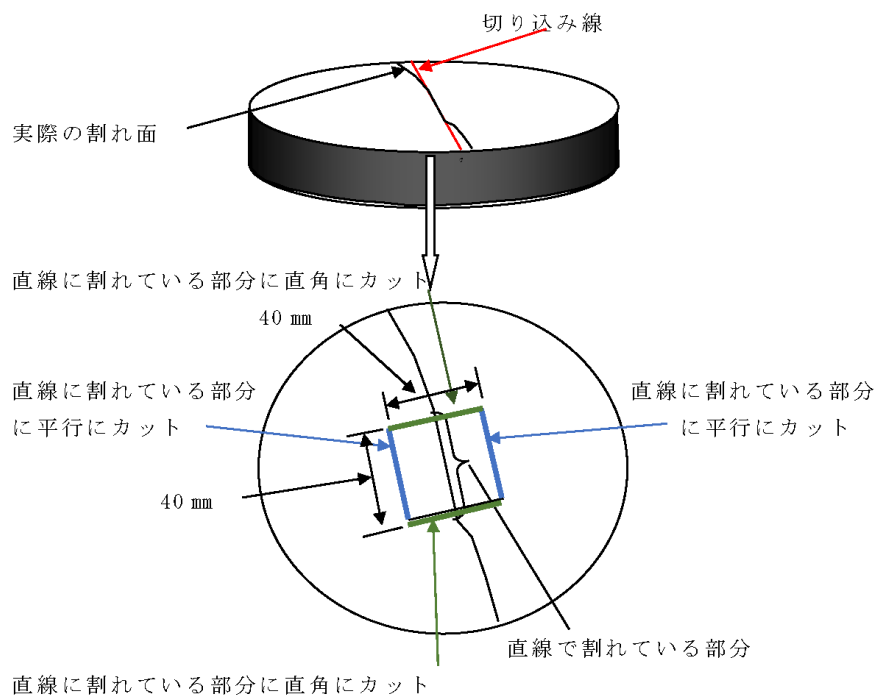


手順③の2（前述手順③の1が出来なかった場合）

：円板下面に切り込みに平行な反力を置き、切り込みの上から線荷重をかけ、切り込み線の延長上に曲げの破断面を作る。

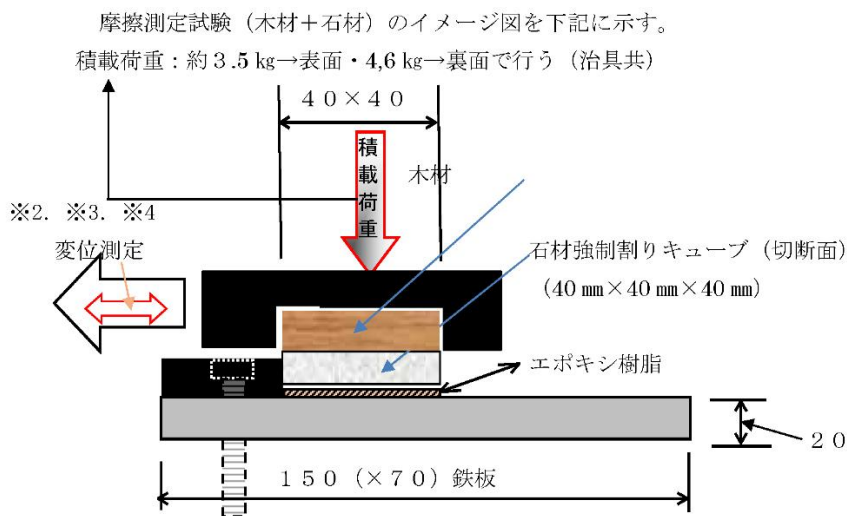


手順④：実際の割れ面で直線に割れた部分を中心に40 mmのキューブを作成する。



No.9 石材-木材 摩擦試験（切断面*2）

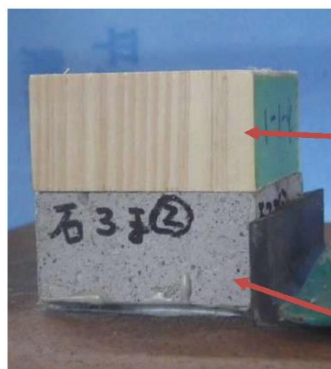
*2：機械カットによる摩擦面



積載荷重をかけた摩擦測定試験イメージ図

試験全体及び試験パーツ写真と載荷手順は7) 摩擦測定試験（石材+石材）と同じ

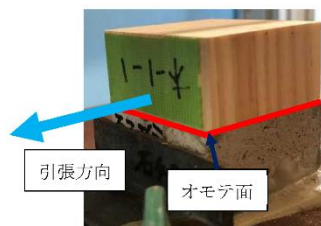
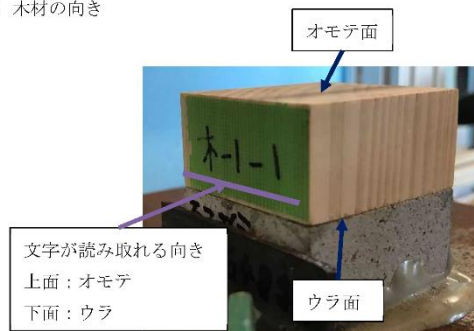
a) 試験体 概要



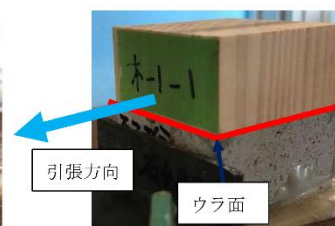
木材の種類	向き	積載荷重
木 1-1：ヒノキ	オモテ	3.5kg
	ウラ	4.6kg
木 2-1：スギ	オモテ	3.5kg
	ウラ	4.6kg
木 3-1：ツガ	オモテ	3.5kg
	ウラ	4.6kg
木 4-1：マツ	オモテ	3.5kg
	ウラ	4.6kg

石材：3ま②（切断面：上端平滑）

b) 木材の向き



オモテ面 せん断試験



ウラ面 せん断試験

●特性値

【No.1 石材単体 圧縮強度試験】

石材圧縮強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	面積 (mm ²)	荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	補正後強度 (N/mm ²)
C1-1	100.0	99.9	120.0	1838	1.95	7842	414.0	52.8	48.0
C1-2	100.0	99.9	120.0	1839	1.95	7842	346.0	44.1	40.1
C1-3	99.9	99.9	120.0	1812	1.93	7834	320.5	40.9	37.2
								平均値	41.8

【No.2 石材+目地 圧縮強度試験】

石材+目地圧縮強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	平均 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	面積 (mm ²)	荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均強度 (N/mm ²)
1A	39.8	40.1	40.0	49.5	141.4	1596	22.9	14.3	12.6
4A	39.9	39.9	39.9	49.5	136.5	1592	16.0	10.1	
5A	39.7	40.0	39.9	49.8	138.5	1588	20.5	12.9	
6A	40.1	40.0	40.1	49.4	140.5	1604	20.9	13.0	
8A	40.1	39.7	39.9	49.7	141.8	1592	20.0	12.5	

【No.3 石材単体 割裂引張強度試験】

石材引張強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	平均 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	
T1	100.0	100.0	100.0	119.9	1841	1.96	76.2	4.05	
T2	100.0	99.9	100.0	119.4	1823	1.95	54.3	2.90	
T3	99.9	100.0	100.0	120.3	1765	1.87	53.2	2.82	
								平均値	3.26

【No.4 石材+目地 引張強度試験】

石材+目地引張強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	面積 (mm ²)	荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	
1B	39.8	36.7	49.5	133.3	1461	0.30	0.21	
2B	40.0	36.6	50.1	130.3	1464	0.23	0.16	
3B	39.8	39.5	49.7	136.2	1572	0.18	0.11	
							平均値	0.16

【No.5 石材単体 せん断強度試験】

石材せん断強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	面積 (mm ²)	荷重 (kN)	せん断強度 (N/mm ²)
S1-1	69.9	70.0	220.0	2074	1.93	9786	53.3	5.4
S1-2	69.9	69.4	220.5	1978	1.85	9702	53.1	5.5
S1-3	69.9	69.4	220.5	2019	1.89	9702	59.0	6.1
							平均値	5.7

【No.6 石材+目地 せん断強度試験】

石材+目地せん断強度

試験体名	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	破壊時の荷重 ^{※2} (kN)	破壊時の変位 ^{※2} (mm)
2A	39.8	40.0	49.8	142.8	0.32	1.4
3A	39.7	30.4	49.5	107.6	0.30	1.1
7A	40.0	40.0	49.6	135.8	0.38 [※]	1.5 [※]
9A	40.6	40.2	50.3	145.8	0.32	1.2

特異点（始めのピーク）を目視で判断し、破壊時の荷重としその変位をグラフから読み取った。[※]参考値（載荷 10 kgの前に 4.5 kg他を行ったため、この試験時にモルタルの破壊があった可能性がある。）

【No.7 石材-石材 摩擦試験（割裂面）】

石材-石材（割裂面） 摩擦係数

面の状況	供試体 No.	載荷 (g)	滑りだし荷 重 (g)	静止摩擦 係数	滑り時の平均 荷重 (g)	動摩擦係 数	備考
割裂面	1 ま①	3561.2	4201	1.18	3893	1.09	—
		4661.2	4549	0.98	4691	1.01	—
		平均	—	1.08	—	1.05	—
	2 ま②	3560.2	4622	1.30	3122	0.88	—
		4660.2	—	—	—	—	機器計測範囲超え
		平均	—	1.30	—	0.88	—
	3 ま①	2058.1	3881	1.89	2724	1.32	—
		3558.1	—	—	—	—	機器計測範囲超え
		平均	—	1.89	—	1.32	—
	4 ま①	2059.9	2110	1.02	1304	0.63	—
		3559.9	4355	1.22	3342	0.94	—
		4659.9	4889	1.05	4520	0.97	—
平均		—	1.10	—	0.85	—	

【No.8 石材-石材 摩擦試験（切断面）】

石材-石材（切断面） 摩擦係数

切断面	3ま②	3557.7	1726	0.49	1716	0.48	—
		6557.7	3037	0.46	3162	0.48	—
		平均	—	0.47	—	0.48	—
	4ま②	3559.9	1619	0.45	1617	0.45	—
		7259.9	3940	0.54	3873	0.53	—
		平均	—	0.50	—	0.49	—

【No.9 石材-木材 摩擦試験（切断面）】

石材-木材（切断面） 摩擦係数

供試体No.	樹種	面	載荷 (g)	滑りだし荷重 (g)	静止摩擦係数	滑り時の平均荷重 (g)	動摩擦係数
木1-1	ヒノキ	表	3500	1616	0.46	1728	0.49
		裏	4600	2801	0.61	2482	0.54
		平均	—	—	0.54	—	0.52
木2-1	スギ	表	3500	1883	0.54	1560	0.45
		裏	4600	3318	0.72	2842	0.62
		平均	—	—	0.63	—	0.53
木3-1	ツガ	表	3500	1886	0.54	1773	0.51
		裏	4600	2123	0.46	1914	0.42
		平均	—	—	0.50	—	0.46
木4-1	マツ	表	3500	1024	0.29	758	0.22
		裏	4600	1602	0.35	994	0.22
		平均	—	—	0.32	—	0.22

試験後の状況



●理論式

—

●モデル化

—

●考察

- ・耐震診断に必要な石材の各強度を把握した。
- ・採取コアより、上下の石材が目地により充填されている範囲は壁表面から 5～10 cm程度であることが分かった。
- ・石材の強度は圧縮強度比で普通コンクリートに対して 1.5～2 倍の強度を持つことが分かった。
- ・石材の各強度よりも目地強度の方が値が小さい結果となった。
- ・石材と石材の滑り面が平滑な場合の摩擦係数は静摩擦と動摩擦はほとんど変わらず、これは積載荷重を変えても変わらなかった。これに対し石材と石材の滑り面が粗面であった場合は静摩擦が動摩擦より大きくかつ積載荷重が小さい方が摩擦係数は大きい傾向があった。木材と石材に関しては両材料とも滑り面が平滑であったためか動摩擦の方が小さかった、しかし木材の樹種の違いによって摩擦係数はかなりバラついていた。