

石造アーチ橋に用いられる溶結凝灰岩の力学定数を求める実験

熊本大学 ○学生員 岡崎邦広 学生員 田中朝一

学生員 持田拓児 正員 崎元達郎

1. はじめに 近年、現存する石造構造物の健全度評価や維持管理に関する技術的検討が必要となっている。ここでは歴史的石橋に多用されている溶結凝灰岩（小野石）の垂直バネ定数及びせん断バネ定数を応力解析や安定解析に用いられる形で表すことを目的として実験を行ったので報告する。表-1 比重試験結果

2. 実験概要 全ての実験に使用する小野石は風化の状態によって強度が異なるため軟質部、硬質部の2種類について行うこととし採取された。

①比重試験：軟石5体、硬石4体の供試体片(500~2500cm³)を用いてJISA1110に従って行った。結果は表-1に示す。

②表面測定：表面の粗さが不連続面圧縮試験、せん断試験の結果に影響すると思われるためこれらの試験に使用する全ての供試体について行った。方法は図-1に示すようにレーザー変位計(精度1/1000mm)を4mm間隔で走査しサンプリング間隔0.13mmで測定した。結果の一例を図-2に示す。この結果より表面粗さをある程度把握することができる。表面粗さを表す指標の一つとして $Z_2 = (\text{勾配の二乗平均})^{1/2}$ を選び不連続面圧縮試験、せん断試験における挙動との関連を見ることにした。

③圧縮試験：圧縮試験は軸力に対する石のバネ定数を求めるために行った。このとき石の内部と不連続面ではバネ定数が著しく異なると予想されるために角柱圧縮試験と不連続面圧縮試験を行った。まず角柱圧縮試験は、高さ240mm、断面積110×110mm²の角柱供試体を硬石4体、軟石3体について行った。方法は図-2のように変位計を取り付けるための固定金具をネジで固定しその4つの側面の変位計(精度1/1000mm)により測定長 l の間のひずみ Δl を測定する。このときのヤング率を E_1 としてさらにこの結果を次式に当てはめることにより内部バネ係数 k_n が求まる。

$$P/A = k_n \Delta l \quad \text{----- (1)}$$

次に不連続面圧縮試験は2つの不連続面を有する石材を重ね合わせたとき高さ240mm、断面積110×110mm²の供試体を硬石3体、軟石3体について実施した。方法は図-3のように載荷し4つの側面に取り付けた変位計により測線長 L の変位を測りのひずみと変形係数 E'_1 を求める。この結果と角柱圧縮試験の結果を合わせて不連続面のバネ定数 k'_n は近似的に(2)式で表せる。

$$k'_n = E_1 E'_1 / (E_1 - E'_1) L \quad \text{----- 2)}$$

E_1 : 角柱圧縮試験より求まるバネ定数

E'_1 : 不連続面圧縮試験より求まるバネ定数

④せん断試験：供試体は硬石、軟石についてそれぞれ表-2のような組み合わせについて行った。方法は図-4に示す様な装置を作成し鉛直方向に上載圧(10, 20, 30kgf/cm²)を荷重制御で加えた状態で上箱に引っ張りロードセルを取り付け反力壁に固定し下箱を水平サーボ(変位制御)で最初の5mmまでを1/200(mm/sec)で5~25mmまでを1/100(mm/sec)の速度で動かす。このときの水平及び鉛直変位を変位計で読む。また水平方向は引っ張りロードセル、鉛直方向はサーボの荷重を読む。

	乾燥	湿潤
硬石	1.93	2.09
軟石	1.75	1.94

(g/cm³)

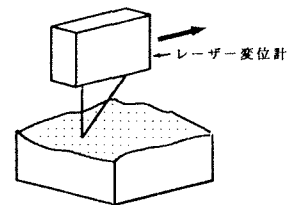


図-1 表面測定模式図



図-2 表面測定結果

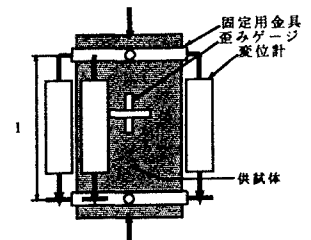


図-3 角柱圧縮試験装置

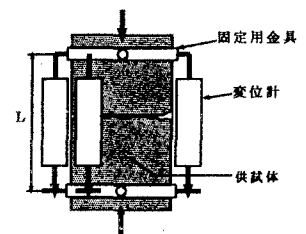


図-4 不連続面圧縮試験装置

表-2 供試体数量表

供試体種類	上載圧(kgf/cm ²)		
	10	20	30
乾燥不連続面	2	2	2
湿潤不連続面	2	2	2
乾燥平滑面	1	1	1

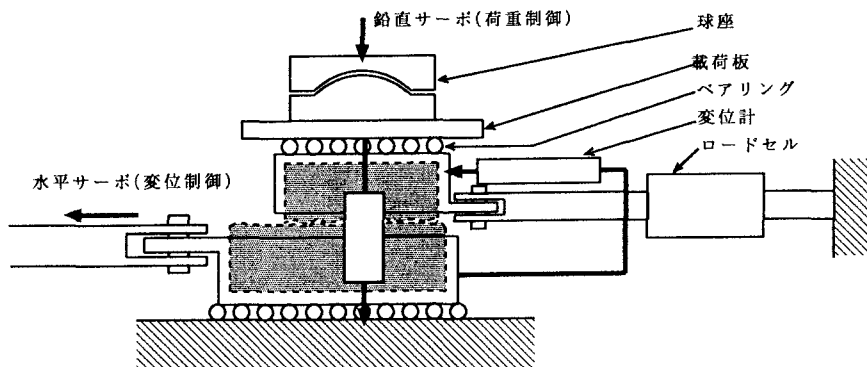


図-5 せん断試験装置模式図

3. 結果と考察 角柱圧縮試験の結果を表-3に示す。この中で $E_1 \sim E_3$ 、 $\nu_1 \sim \nu_3$ は破壊応力 σ_{max} を $1/3 \sigma_{max}$ ごとに3つに分けそれぞれに対応する値を求めた。このとき圧縮強度は軟石に比べ硬石の方が高い値を示し、破壊ひずみについては軟石に比べてわずかに硬石の方が大きな値を示した。不連続面圧縮試験の結果を表-4に示す。不連続面圧縮試験においては硬石、軟石との間で変形係数、圧縮強度、破壊ひずみ等について顕著な差は見られなかった。圧縮強度は角柱試験と比較して硬石でその25%、軟石でその40%に低下する。これは、接触面の応力集中が原因であると考えられる。不連続面の粗さの指標Z2と不連続面圧縮試験の破壊強度との関連はあまり見られなかった。応力-ひずみ関係の一例を図-6に示す。角柱圧縮試験結果と不連続面圧縮試験の結果の違いを見ることができる。なおせん断試験の結果については後日発表する。

表-3 角柱圧縮試験結果

		変形係数($\times 10^4$)			圧縮強度 kgf/cm ²	破壊 歪み	ポアソン比		
		E_1	E_2	E_3			ν_1	ν_2	ν_3
硬石	CSS1	4.78	4.85	3.75	350.5	7972	0.108	0.163	0.333
	CSS2	4.52	5.14	3.69	383.8	8778	0.087	0.153	0.367
	CSS3	4.63	5.17	3.98	383.7	8514	0.115	0.167	0.375
	CSS4	4.48	5.06	4.17	388.5	8556	0.103	0.157	0.335
	平均	4.60	5.06	3.90	377.4	8455	0.103	0.160	0.353
軟石	CHS1	7.00	3.60	2.60	275.9	7328	0.127	0.103	0.112
	CHS2	6.15	3.80	2.30	273.9	7667	0.113	0.140	0.248
	CHS3	7.06	4.28	3.00	264.8	6194	0.094	0.101	0.108
	平均	6.74	3.89	2.63	271.5	7063	0.111	0.115	0.156

表-4 不連続面圧縮試験結果

		変形係数($\times 10^4$)※20kgf/cm ² 刻みで求めた					k' n	圧縮強度 kgf/cm ²	破壊 歪み
		E'_1	E'_2	E'_3	E'_4	E'_5			
硬石	CSD01	0.35	0.71	1.10	0.81	1.12	180	103.8	17882
	CSD23	0.41	0.87	0.89	0.92	1.43	212	133.6	19388
	CSD45	0.67	1.10				375	59.1	9771
	平均	0.48	0.89	1.00	0.87	1.28	255	98.8	15680
軟石	CHD45	0.46	0.82	1.22	0.89	1.26	238	123.0	15639
	CHD67	0.38	0.74	0.82	0.95		200	91.6	20592
	CHD89	0.39	0.93	1.21	1.63	1.27	196	104.6	15989
	平均	0.41	0.83	1.08	1.16	1.27	210	106.4	18291

※k' nの単位は(kgf/cm²/cm)

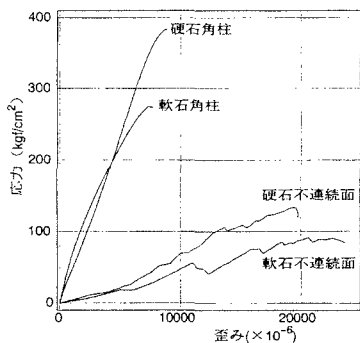


図-6 圧縮試験結果

本研究の実施に当たって貴重な意見とご指導いただいた九州大学教授（環境システム工学センター）江崎哲郎先生に謝意を表します。