

## 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 正員 崎元達郎 熊本大学 ○学生員 岡崎邦広

大成建設 正員 田中朝一 熊本大学 学生員 持田拓児

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、鹿児島の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。

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(500~2500cm<sup>3</sup>)を用いてJISA1110に従って行った。結果は表-1に示す。

表-1 比重試験結果

|    | 乾燥   | 湿潤   |
|----|------|------|
| 硬石 | 1.93 | 2.09 |
| 軟石 | 1.75 | 1.94 |

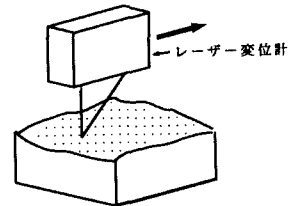
(g/cm<sup>3</sup>)

図-1 表面測定模式図

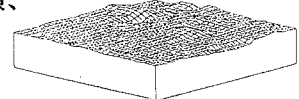


図-2 表面測定結果

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変位計(精度1/1000mm)を4mm間隔で走査させ、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 $Z_2 = (\text{勾配の二乗平均})^{1/2}$ 及び最大高低差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110×110mm<sup>2</sup>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-3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 $l$ の間の変位 $\Delta l$ を測定する。このときの変形係数を $E_1$ としてさらにこの結果を次式に当てはめることにより $k_n$ (内部バネ定数)が求まる。

$$\sigma = k_n \Delta l \quad \dots\dots(1)$$

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の高さ240mm、断面積110×110mm<sup>2</sup>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-4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定長 $L$ の変位を測り、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 $k'_n$ (不連続面バネ定数)は近似的に(2)式で表せる。

$$k'_n = \frac{E_1 E'_1}{(E_1 - E'_1)L} \quad \dots\dots(2) \quad \begin{array}{l} E_1: \text{角柱圧縮試験より求まる変形係数} \\ E'_1: \text{不連続面圧縮試験より求まる変形係数} \end{array}$$

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-5に示す様な装置を作成し、鉛直方向に上載圧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)、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

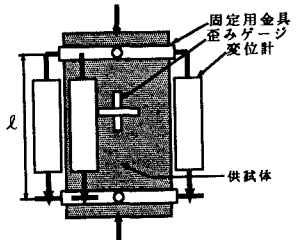


図-3 角柱圧縮試験装置

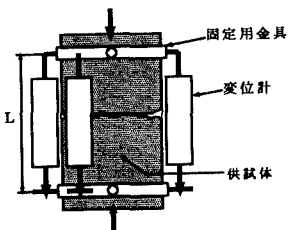


図-4 不連続面圧縮試験装置

表-2 供試体数量表

|        | 上載圧(kgf/cm <sup>2</sup> ) |    |    |
|--------|---------------------------|----|----|
| 供試体種類  | 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  |

を変位計で、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。また縦軸に水平応力、横軸に水平変位を取ると図-7(a), 8(a)の様な図が得られる。このときの立ち上がりの直線の傾きを $k$ 。(せん断バネ定数)とする。応力が一様となったときの応力(以下滑動応力と称す)を縦軸に、そのときのの上載圧を横軸にとり、各状態ごとにプロットし、原点を通る直線を引く、そのときの傾きを $\mu_m$ (動摩擦係数)とする。

3. 結果と考察 角柱圧縮試験の結果を表-3に示す。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。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。

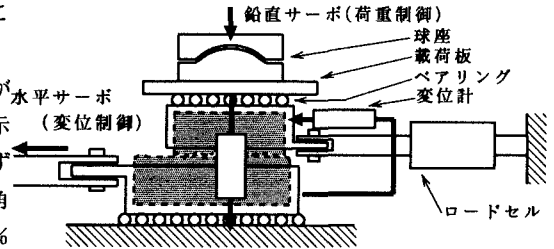


図-5 せん断試験装置模式図

表-3 角柱圧縮試験結果

| 硬軟別 | 変形係数<br>( $\times 10^{-4}$ ) | $k_n$<br>kgf/cm <sup>2</sup> /cm | 圧縮強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 破壊ひずみ<br>( $\times 10^{-4}$ ) |
|-----|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 硬石  | 4.60 $\pm$ 0.2               | 2556 $\pm$ 100                   | 377.4 $\pm$ 27              | 8455 $\pm$ 483                |
| 軟石  | 6.74 $\pm$ 0.6               | 3744 $\pm$ 327                   | 271.5 $\pm$ 7               | 7063 $\pm$ 869                |

※変形係数は0~1/3 $\sigma_{max}$ （圧縮強度）に対応する値

表-4 不連続面圧縮試験結果

| 硬軟別 | 変形係数<br>( $\times 10^{-4}$ ) | $k'_n$<br>kgf/cm <sup>2</sup> /cm | 圧縮強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 破壊ひずみ<br>( $\times 10^{-4}$ ) |
|-----|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 硬石  | 0.48 $\pm$ 0.19              | 255 $\pm$ 120                     | 98.8 $\pm$ 40               | 15680 $\pm$ 5909              |
| 軟石  | 0.41 $\pm$ 0.05              | 210 $\pm$ 28                      | 106.4 $\pm$ 17              | 18291 $\pm$ 2652              |

※変形係数は0~20(kgf/cm<sup>2</sup>)に対応する値

せん断試験の結果を表-5に示す。 $\mu_m$ は、滑動応力がどの状態でも変わらなかったため一様な値を示した。 $k_n$ については理論上、上載圧が異なる供試体でも同じ値を示すはずであるが、かなりばらつきが見られた。平均として硬石が軟石に比べ約1.5倍大きな値を示し、乾燥状態に比べ湿潤状態では若干の低下が見られた。また平滑面は接触面積が不連続面に比べ大きい約2倍大きな値を示した。図-7,8に、せん断試験の結果の一例を示す。応力-変位の図の中で応力が上昇した後いったん落ちつきその後不規則に上昇しているものが見られる。これは最初に応力が落ちついたところと、最終的に応力が落ちついたところの挙動が、類似していることから供試体の接触面が滑ったものと考えられる。垂直変位-水平変位の図は、応力-変位の図の応力に変動が生じるとき垂直変位も上昇していることから不連続面が徐々に崩れながら水平力に抵抗していると考えられることができる。不連続面と平滑面の比較をすると、平滑面においてはほとんど垂直変位が生じていないのに対し、不連続面においてはかなりの垂直変位が生じている。また表面測定指標との関連性はなかった。接触面積も結果に大きく影響すると考えられるので、サイズの異なる供試体を含めて実験データを蓄積する必要があると思われる。

表-5 せん断試験結果

| 硬軟別 | 乾湿別 | 表面  | $k_n$          | $\mu_m$ |
|-----|-----|-----|----------------|---------|
| 硬石  | 乾燥  | 不連続 | 369 $\pm$ 235  | 0.67    |
|     |     | 平滑  | 801 $\pm$ 287  | 0.64    |
|     | 湿潤  | 不連続 | 241 $\pm$ 273  | 0.68    |
| 軟石  | 乾燥  | 不連続 | 605 $\pm$ 426  | 0.65    |
|     |     | 平滑  | 1203 $\pm$ 172 | 0.63    |
|     | 湿潤  | 不連続 | 510 $\pm$ 779  | 0.64    |

※ $k_n$ の単位は(kgf/cm<sup>2</sup>/cm)

本研究の実施にあたり貴重な意見とご指導いただいた九州大学教授江崎哲郎先生に謝意を表します。

参考文献 1) 吉中龍之進ほか：岩盤不連続面の粗さの指標に

ついて、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集pp.386-390,1987 2) 江崎哲郎：Barton-Choubeyプロファイルを有する岩盤不連続面のせん断挙動、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集,1994.8.4 3) 江崎哲郎：岩盤不連続面の形状的、力学的特性とその流動機構に関する研究、(課題番号63550464)平成元年度科学研究費助成金(一般研究費c)研究成果報告書

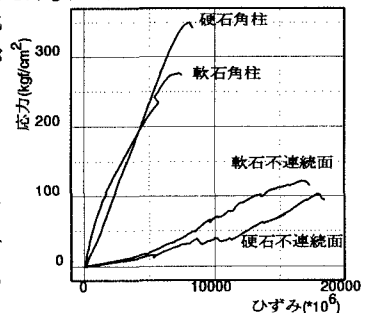
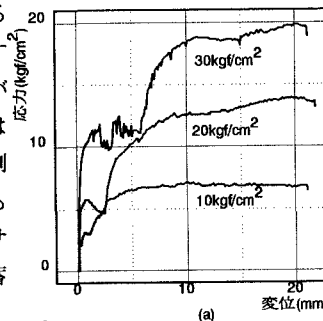
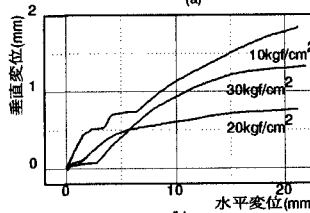


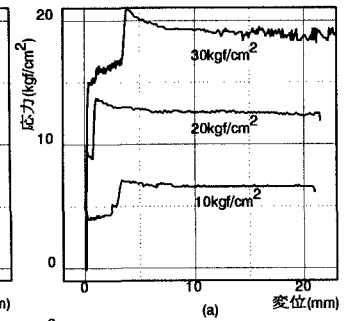
図-6 圧縮試験結果の一例



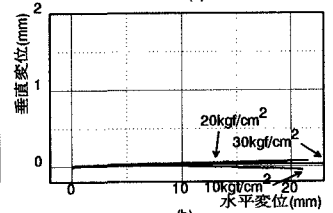
(a)



(b)



(a)



(b)

図-8 せん断試験結果の一例（乾燥平滑面）