

(株) 関西土木技術センター 正会員 ○中村 均史

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重

関西大学工学部 正会員 西田 一彦

サンコーコンサルタント(株) 正会員 酒井 崇

### 1. はじめに

岩盤の工学的特性に対して支配的な影響を与えるとされる問題には、岩盤内に存在する不連続面の性状が挙げられる。我々は、岩盤不連続面の開口状況に着目し、人工的な不連続面を有する供試体を用い、不連続面の凹凸形状を計測することにより、開口状況を定量的に表す方法を先に提案した<sup>1)</sup>。

本研究では、この指標を風化の著しい自然な不連続面を有する供試体を対象として、本指標の適用性について検討を行うと共に、自然な不連続面のせん断特性についても考察を行った。

### 2. 供試体及び不連続面形状計測方法

本研究には、宮津花崗岩のボーリングコア(MG1~MG4)4本を供試体として用いた。この岩石の単位体積重量は  $25.45 \text{ kN/m}^3$ 、一軸圧縮強度及び圧裂強度はそれぞれ  $70.26 \text{ MPa}$ 、 $4.19 \text{ MPa}$  であり、 $JRC$  は  $6.36 \sim 8.99$  の範囲である。供試体は図-1 に示すように、不連続面を中心にして高さ  $100 \text{ mm}$  に整形し、コア軸に対する不連続面の角度を測定した。この供試体を不連続面とせん断面の方向が平行となるように、石膏を用いて供試体とせん断箱に収めた。なお、せん断面の過去の応力履歴を考慮するため、不連続面のスリッケンラインを観測したが、スリッケンラインは見られず、したがって、せん断方向は不連続面の長径方向とした。不連続面の形状計測システムは先に報告<sup>1)</sup>したものと同様である。ただし、不連続面の形状はコア軸との角度により円または楕円となり、せん断方向と直交する方向の計測本数は49本と一定であるが、せん断方向は断面形状により49~60本まで計測本数が異なる。

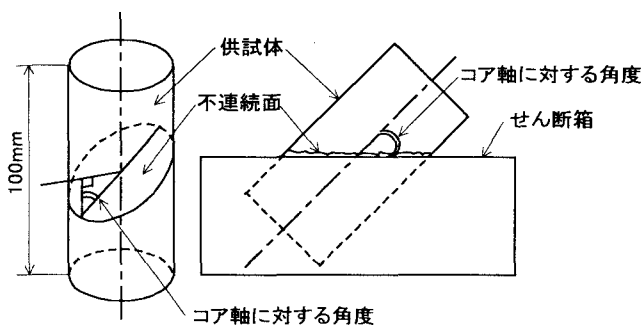


図-1 不連続面の角度とせん断方向

石膏を用いて供試体とせん断箱に収めた。なお、せん断面の過去の応力履歴を考慮するため、不連続面のスリッケンラインを観測したが、スリッケンラインは見られず、したがって、せん断方向は不連続面の長径方向とした。不連続面の形状計測システムは先に報告<sup>1)</sup>したものと同様である。ただし、不連続面の形状はコア軸との角度により円または楕円となり、せん断方向と直交する方向の計測本数は49本と一定であるが、せん断方向は断面形状により49~60本まで計測本数が異なる。

### 3. 実験方法

本研究では、自然な不連続面を含むコアを供試体としているため、完全に同一な不連続面形状を有する供試体を多数作成することは不可能である。したがって、不連続面形状を極力変化させずに、1つの供試体より破壊包絡線を求めるため、低い垂直応力から順にせん断試験を行った。垂直応力は  $0.2$ 、 $0.5$ 、 $1.0$ 、 $2.0 \text{ MPa}$  の4段階とした。せん断試験は垂直応力一定、せん断速度  $0.1 \text{ mm/min}$  でせん断変位が  $5 \text{ mm}$  に達するまで行った。また、不連続面の形状計測は、せん断試験前及び各せん断試験後に行った。

### 4. 不連続面間の開口状況の評価手法

図-2 のように、供試体の片面を A 面、もう一方の面を B 面とし、凹凸の基準線からの座標をそれぞれ  $a_i$ 、 $b_i$  ( $i=1, 2, \dots, 60$ ) とする。式(1)に示すように  $a_i$  と  $b_i$  を加えたものを  $c_i$  とし、 $c_i$  の最大値を  $c_{max}$  とする。 $c_{max}$  は両不連続面が最初に接触する点とみなせる。

$$c_i = a_i + b_i \quad \dots\dots(1)$$

これより、不連続面の各点における開口幅  $e_i$  は式(2)のように表される。

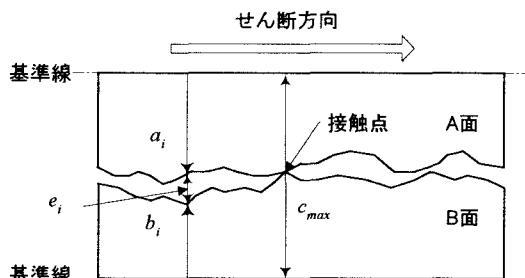


図-2 A面とB面の接触状況(断面図)

Hitoshi NAKAMURA, Harushige KUSUMI, Kazuhiko NISIDA, Takashi SAKAI

$$e_i = c_{max} - c_i \dots\dots(2)$$

各測線における開口幅  $e_i$  の平均値を  $e_s$  とし、これらのうち最も小さい平均開口幅を  $e_{smin}$  とする。この  $e_{smin}$  は最も開口幅の小さい測線であると考えられる。式(3)に示すように、せん断方向の最小値  $e_{smin}$  を全開口幅の平均値  $e_{ave}$  で割ったものを開口係数  $k(0 < k \leq 1.0)$  と呼ぶことにする。

$$k = \frac{e_{smin}}{e_{ave}} \dots\dots(3)$$

## 5. 実験結果および考察

開口係数  $k$  を考慮し

た提案式<sup>1)</sup>は Ladanyi らの式を下記に示すパラメータにより修正したものである。

$$i_0 = i_{ave} + \sqrt{2} \cdot SD_i \dots\dots(4)$$

$$\dot{\nu}_p = \left\{ 1 - \left( \frac{\sigma_n}{b \cdot \sigma_T} \right)^a \right\} \cdot \tan(i_0 \cdot k) \dots\dots(5)$$

$$a_s = \frac{(\sigma_n / \sigma_T)}{c + d \cdot (\sigma_n / \sigma_T)} \dots\dots(6)$$

ここで、 $i_0$ : 不連続面の粗さ

$i_{ave}$ : 不連続面せん断方向において、隣接する座標データ間の平均角度

$\sigma_T$ : 岩盤実質部の遷移応力であり一軸圧縮強度で近似される

$$a = 0.45 - 5.1 \times 10^{-3} \cdot i_0 \cdot k \quad b = 0.18$$

$$c = 0.35 - 1.07 \times 10^{-2} \cdot i_0 \cdot k \quad d = 0.8$$

図-3 は MG1 供試体( $JRC=7.99$ )における提案式の計算曲線と実験値を比較したものである。計算曲線と実験値は 1.0MPa までは比較的良好に一致しているものの、それ以上の垂直応力下では実験値が計算値よりも低い値を示している。これは自然な不連続面の劣化に起因していると考えられ、不連続面のアスぺリティがせん断試験を

繰り返すことにより破壊し、本来のせん断強度よりも低い値を示したためと推測される。表-1 は MG1 供試体に関して、各垂直応力下でのせん断試験後の  $i_{ave}$  の変化を示したものである。垂直応力 2.0MPa で実施した試験後の  $i_{ave}$  の低下が顕著に見られることから、アスぺリティが破壊していると考えられる。図-4 は低い垂直応力から実験を繰返し実施した MG1 と、2.0MPa から実験を実施した MG4( $JRC=6.36$ )のせん断応力-せん断変位曲線を比較したものである。この図より MG4 は、せん断応力にピークが現れているのに対し、MG1 ではせん断応力にピークは見られず、応力履歴によりせん断強度が低下する傾向を示すことが認められる。

## 6. まとめ

自然な不連続面に対して開口係数を用いた提案式の適用性に関しては、低い垂直応力下において、実験値と比較的良好に一致した。しかし、高い垂直応力下では、あまりよい一致を示さなかった。これに関しては、風化の影響が現れていると考えることから、今後、この点に関して検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 楠見晴重, 酒井崇, 西田一彦, 中村均史: 岩盤不連続面の噛み合わせの定量的評価とそのせん断強度式への適用性, 第 29 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.131-134, 1999.

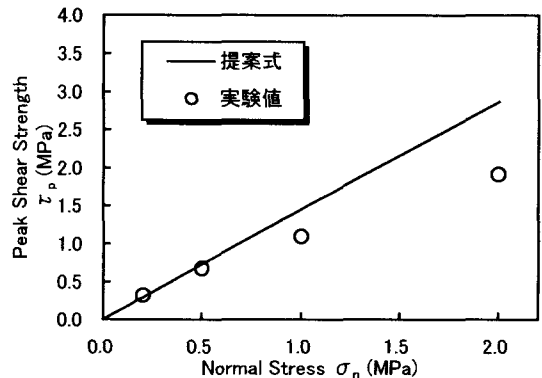


図-3 MG1供試体の計算値と実験値の比較

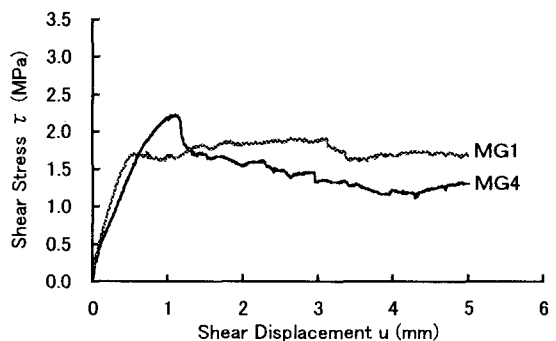


図-4 せん断応力-せん断変位曲線 ( $\sigma_n=2.0\text{MPa}$ )

表-1 せん断方向における座標間平均傾斜角( $i_{ave}$ )

| 供試体名 | A, B面の不連続面の平均傾斜角(°) |                |        |        |        |
|------|---------------------|----------------|--------|--------|--------|
|      | せん断試験前              | 各垂直応力によるせん断試験後 |        |        |        |
|      |                     | 0.2MPa         | 0.5MPa | 1.0MPa | 2.0MPa |
| MG1  | -0.35               | -0.68          | -0.75  | -0.90  | -1.29  |