

大阪大学大学院 学生会員 ○北村 義宜
大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
大阪大学大学院 正会員 川崎 了

1. はじめに

不連続性岩盤のせん断特性は、垂直拘束圧、材料強度、不連続面の表面形状、かみ合わせなどの要因に依存する。特に不連続面の表面形状が不連続面を有する岩盤のせん断強度に大きく依存する。そこで本報告では、まず不連続面の表面形状に着目し、不連続面の表面粗さを定量化する手法について述べる。次に別途実施した不連続面を有する供試体の一面せん断試験の結果を用いて、定量化された粗さを示す指標とせん断強度の関係について報告する。

2. 不連続面表面形状の定量化手法について

図 a) に見た目に粗いと感じる表面形状と滑らかであると感じる表面形状の一例を示す。粗いと感じる表面形状においては、突起やくぼみの部分において単位区間 ΔX あたりの高さの差 ΔZ が大きくなる。また、滑らかであると感じられる表面形状においては、突起やくぼみが少ない分、高さの差 ΔZ が小さい。よって、測定点ごとに計測された高さの差を測定点間隔で割って算出される傾きに注目し、傾きが大きいものが粗く、小さいものが滑らかであると定義した。ここで以下の式より、表面の粗度のパラメータ Am 値を算出する。

$$Am = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \left| \frac{Z(X_{i+1}) - Z(X_i)}{\Delta X} \right| \quad (1)$$

ただし、図 b) に示すようにせん断させる方向に対して有効である正の傾きと、無効である負の傾きとが存在するので、上式 (1) においてせん断に対して有効である正の傾きのみを抽出して算出されるパラメータを Sm 値と名づける。

$$Sm = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{Z(X_{i+1}) - Z(X_i)}{\Delta X} \quad (2)$$

ただし $A = \frac{Z(X_{i+1}) - Z(X_i)}{\Delta X} \leq 0$ のとき $A=0$ とする。

この Sm 値を、計測された測線の長さに対して重み付けを行い、平均化することで 3 次元的なラフネスを評価することとする。

3. 3 次元的な不連続面表面形状の定量化

2) で示した手法では計測した測線と直交する方向へのアスペリティーの広がりを考慮できないため、3 次元的なラフネスの評価手法としては不適当であると考えた。そこで 3 次元的な不連続面の定量化手法を提案する。レーザ変位計で得られたデータは

$$X = \begin{bmatrix} X(1,1) & \cdots & \cdots & X(1,m) \\ & X(i-1,j) & & \\ & X(i,j-1) & X(i,j) & X(i,j+1) \\ \vdots & & X(i+1,j) & \ddots & \vdots \\ & & & \ddots & \vdots \\ X(n,1) & \cdots & \cdots & X(m,n) \end{bmatrix}$$

のように m 行、 n 列の行列式で表される。そこで $X(i,j)$ 番目の点と前後、左右の点との傾きを合計すると下の式 (3) で表される。

$$A_{ij} = \left| \frac{X(i,j) - X(i,j-1)}{\Delta j} \right| + \left| \frac{X(i,j) - X(i,j+1)}{\Delta j} \right| + \left| \frac{X(i,j) - X(i-1,j)}{\Delta i} \right| + \left| \frac{X(i,j) - X(i+1,j)}{\Delta i} \right| \quad (3)$$

(ただし、 $\Delta i, \Delta j$ はそれぞれ i 方向、 j 方向の計測間隔を示す。) この傾きをすべての点において合計する。

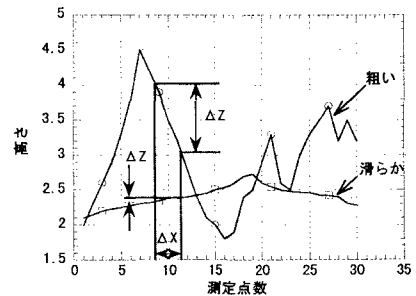


図 a) 計測された表面形状の一例

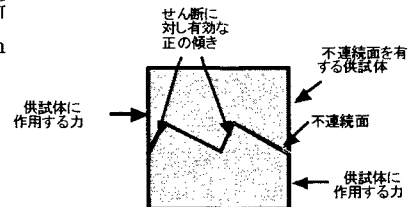


図 b) せん断に有効な傾き

なお同じ傾きが2回たしあわされるので、合計した値を2で割り、一般化のために測定点数Nで割ると

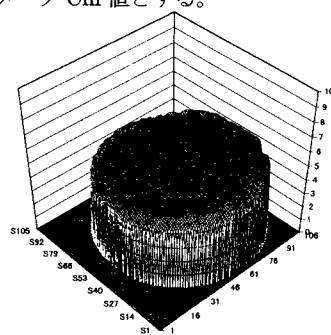
$$C_m = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m A_{ij} \right) \quad (4) \quad \text{となる。これを3次元的な表面粗さを示すパラメータ } C_m \text{ 値とする。}$$

4. 一面せん断試験

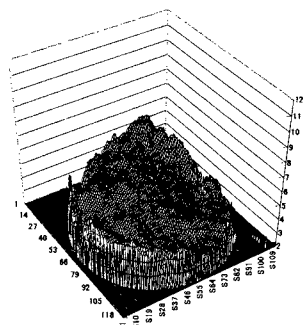
定量化された粗さを示すパラメータとせん断強度との関係調べのため、自然の不連続面を持つ供試体を用いて一面せん断試験を行った。本研究では材料が均質である石膏を用いて、直径5cm、高さ4cmの円柱形の供試体を製作した。不連続面同士は隙間なくみ合っている。まず、表面粗さの異なる供試体を3種類作成し(図c,d,e)、表面粗さとせん断強度との関係を調べた。次に図d)の供試体と同じ凸凹形状を持つ供試体を1個、図e)と同じ凸凹形状を持つ供試体を3個製作し、図d)の供試体においては初めにせん断させた方向から90度方向を変えて、図e)の供試体は初めにせん断させた方向から45度、90度、135度方向を変えてせん断試験を行い、せん断する方向とせん断強度との関係を調べた。なお、垂直拘束圧は0.52Mpaで、せん断速度は0.1mm/minである。また、表面形状の計測はレーザー変位計を用いた。計測間隔はi方向に0.1mm、j方向に0.5mmで、せん断する方向と測線を平行に合わせて計測した。図f)にSm値とせん断強度の関係、図g)にCm値とせん断強度の関係を示す。

5. 考察

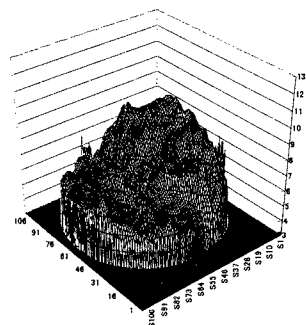
図f)から分かるように、せん断させる方向に平行に計測した測線のみで算出した粗さのパラメータSm値は、特に粗いC供試体では方向によって値が大きく異なった。これは同じ凸凹形状を持つ供試体でも、方向により粗さが異なることを示す。一方図g)から3次元的に定量化を行ったCm値は方向を変えても大きな値の違いは認められないことがわかる。また、B、C供試体においても、せん断する方向とせん断強度に大きな違いは認められなかった。さらに、図g)ではCm値とせん断強度との間に高い相関が得られた。



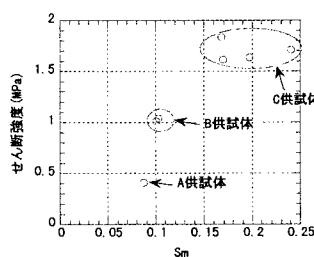
図c) A供試体



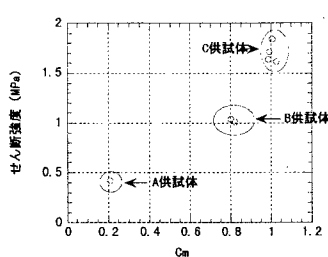
図d) B供試体



図e) C供試体



図f) Sm値とせん断強度の関係



図g) Cm値とせん断強度の関係

6. 終わりに

岩盤不連続面の表面粗さは、特に粗い表面を持つものは、せん断する方向に対して粗さが異なることがSm値から把握できた。今回用いたB、C供試体からは、せん断強度はせん断する方向、その方向の粗さに関係なく似通ったせん断強度を示した。計測する方向によって値が大きく異なるSm値は、せん断方向の粗さを把握する場合において有用であるが、せん断強度はせん断方向の粗さに大きく依存しないとの実験結果から、せん断強度を推定する指標として十分ではなかった。それに対しCm値はせん断方向と関係なく、ばらつきの少ない粗さ指標を算出できるのでせん断強度を推定する上で有用であると考えられる。

参考文献: 谷本親伯, 岸田深: 3次元非接触式ラフネスプロファイラーと最大エントロピー法を用いた岩盤不連続面ラフネスの定量化, 土木学会論文集, No511/III-30, pp. 57~67, 1995.