

岩盤不連続面に関するダイレイタンスー一定の条件下でのせん断特性

大阪大学大学院 学生員 ○鈴木淳也 大阪大学大学院 学生員 北村義宣
 大阪大学大学院 正会員 谷本親伯 大阪大学大学院 学生員 宮田健治朗
 大阪大学大学院 正会員 川崎 了 ハイテック(株) 舩屋 直

1. はじめに

亀裂性岩盤の破壊は岩盤基質部の破壊によることは少なく、主に不連続面に沿ったせん断破壊によって生じることが多い。実際、トンネル切羽周辺の岩盤ブロックを考えると、地山強度比が大きい、または支保工によって剛に固定されている場合には、周辺の非弾性領域は狭くなり、ダイレイタンスーが拘束された状態でのせん断を受けると考えられる。そこで、ダイレイタンスー一定の条件下でのせん断特性の把握が必要であると考え、本研究ではダイレイタンスー一定の条件下での一面せん断試験を行った。また、このせん断特性に大きく影響する要素としてせん断によって破壊されるアスペリティーの体積を推定する手法を新たに考案し、その適用性について検討した。

2. ダイレイタンスー一定一面せん断試験

自然の不連続面を有する供試体を、材料が均質な石膏(4種類のラフネス A,B,C,D)およびモルタル(2種類のラフネス A,B)を用いて製作した。供試体の表面粗度を表す C_m 値¹⁾はラフネス A が 0.391、B は 0.347、C は 0.595、D は 0.531 である。それらの重量配合比、一軸圧縮強度を表 1 に示す。供試体は直方体形(5cm × 5cm × 8cm)で、不連続面同士は完全に噛み合っている。

その供試体を一面せん断試験機にセットし、せん断試験を実施した(せん断速度 0.2mm/min)。最初は、垂直拘束圧一定(0.5MPa)の状態でせん断試験を開始し、事前に設定したダイレイタンスーが生じたところで垂直拘束圧を増加させることによってダイレイタンスーを拘束し、さらにせん断を続けた。

図 1 にダイレイタンスー拘束値 - 最大せん断強度比の関係を示す。最大せん断強度比とは、ダイレイタンスーの拘束によるせん断強度の増加率を示したもので、ダイレイタンスー一定の条件下での最大せん断強度を垂直拘束圧一定での最大せん断強度で除して表される。

ダイレイタンスー拘束値の微小な変化で、そのせん断強度が大きく異なることがわかっているが、全ての試験ケースにおいてそのことが表れた。また、供試体 A, B に関して、モルタルの供試体の最大せん断強度比(図 1 の白抜きの記号)は石膏のデータ(黒塗りの記号)と比較して大きく表れ、さらに拘束値の減少によるせん断強度比の増加傾向もモルタル(図 1 の点線の傾き)の方が石膏(実線)より大きい。つまり、ダイレイタンスーを拘束することによるせん断強度の増加率は、石膏と比較してモルタルの方が大きい。これはダイレイタンスーを拘束すると、アスペリティーを破壊しながらせん断が行われるため、材料強度が大きいモルタルの方が、せん断強度が大きく発揮されるものと考えられる。

このことより、ダイレイタンスー一定の条件下でのせん断特性は、すべり挙動よりせん断によるアスペリティーの破壊挙動による影響の方が大きいと考えられる。

表 1 供試体の材料特性

	重量配合比	qu(MPa)
石膏	石膏:水=1:0.24	10.1
モルタル	セメント:砂:水=1:1:0.5	23.7

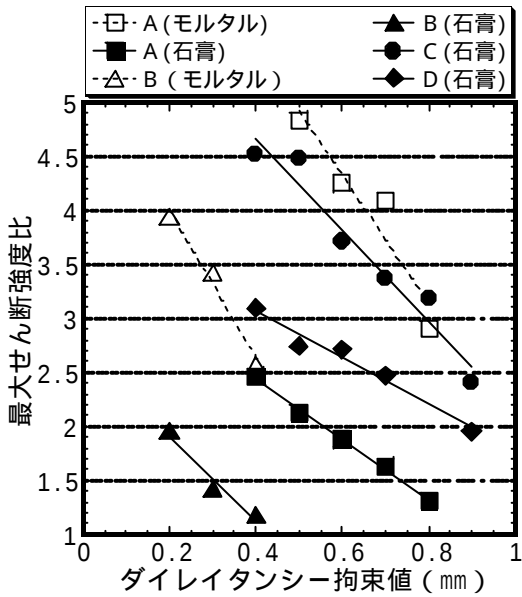


図 1 ダイレイタンスー一定せん断試験結果

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

3. せん断によって破壊されるアスペリティー体積の推定法

ここでは、せん断によって破壊されるアスペリティーの体積の推定法について以下に述べる。レーザー式表面形状測定装置で計測された不連続面の基準点からの高さデータは式(1)のように行列式で表される。次に、ダイレイタンシー一定の条件下において、せん断によって破壊されるアスペリティーの高さを単位面積に関して求める。

すなわち、上下の供試体の座標を足し合わせた値($X+Y$)が、ダイレイタンシーを a [mm] 許した供試体の高さより大きい場合、アスペリティー同士がぶつかり合い、その部分が破壊されると考えた。このとき、アスペリティーは上部供試体と下部供試体のどちらかが破壊されることになるが、それをアスペリティーの平均傾斜角 γ ($\gamma = (\alpha + \beta)/2$, α : 凹凸部の前方傾斜角, β : 後方傾斜角) の大きい方が破壊されるとした。(図2では水平方向に b mm せん断した状態であるが、 $\gamma_x > \gamma_y$ より、下部供試体のアスペリティーが点線の位置まで破壊されるとする)。

この値に単位面積 (Δi^2) を乗ずることにより以下の式によって破壊体積を求める。

$$V = \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{j+c} \{z(i, j) \times \Delta i^2\} \right] \left\{ \begin{array}{l} H : \text{供試体の高さ [mm]} \\ \Delta i : \text{せん断方向の計測間隔 [mm]} \\ c = b / \Delta i \end{array} \right\} \quad \text{式(2)}$$

$$z(i, j) = \{X(i, j) + Y(i, j+c)\} - (H + a)$$

以上の計算方法に基づき、0.5mm 単位の区間毎におけるアスペリティーの破壊体積の計算値を図3に示す。図中のラフネスA～Dは図1で用いた供試体A～Dに対応している。同じラフネスにおいては、拘束値の小さいほどせん断変位が小さい段階からアスペリティーの破壊が始まり、その破壊体積は大きくなる。図中に加筆した白抜きの円(○)は実際のせん断試験において、それぞれ設定したダイレイタンシーに達したときのせん断変位を示している。これらとアスペリティーの破壊体積の発生し始める変位は、ラフネスDを除きほぼ一致していることから、考案した手法がダイレイタンシー一定の条件下でのアスペリティーの破壊挙動を十分に表現できると考えられる。また、同じダイレイタンシー拘束値に関しては図1において、ラフネスDを除きせん断強度が大きくあらわれたラフネスの方が、その破壊体積は大きくなることがわかった。

4. まとめ

ダイレイタンシー拘束値の微小な変化で、そのせん断強度が大きく異なる。また、材料強度の大きいモルタルの方が石膏と比較して、そのせん断強度比が大きく表れ、拘束値の減少によるせん断強度比の増加傾向もモルタルの方が大きい。

せん断によって削られたアスペリティーの体積を推定した結果、同じラフネスでは拘束値の小さいほどその破壊体積が早期から大きく発生し、同じ拘束値ではせん断強度が大きくあらわれたラフネスほどその破壊体積は大きくなる。また、考案した手法はせん断によるアスペリティーの破壊挙動を十分に表現できた。

参考文献 1) 北村義宣、谷本親伯、川崎了、舩屋直：岩盤不連続面の表面形状の定量化とせん断特性, 土木学会第54回

年次学術講演会講演概要集, 第3部(A) pp.650～651, 1999.

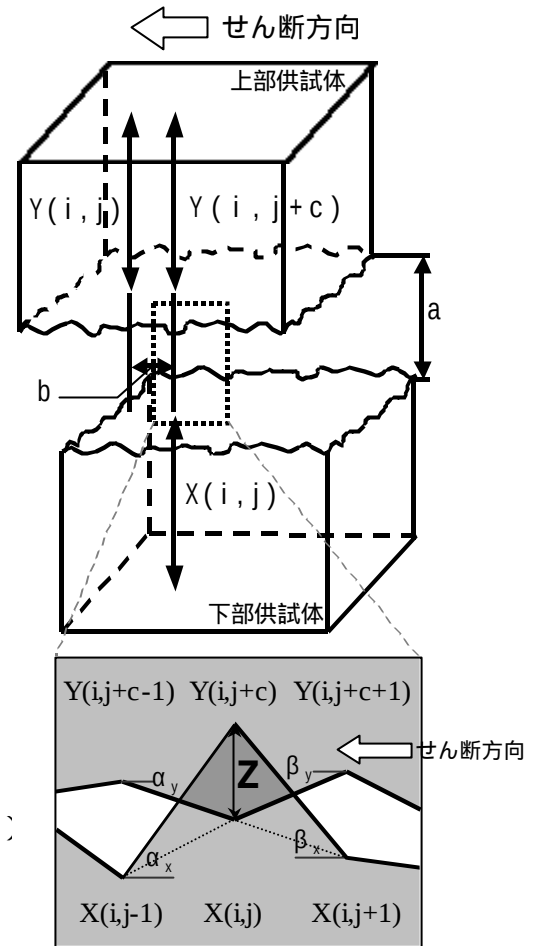


図2 せん断後の供試体

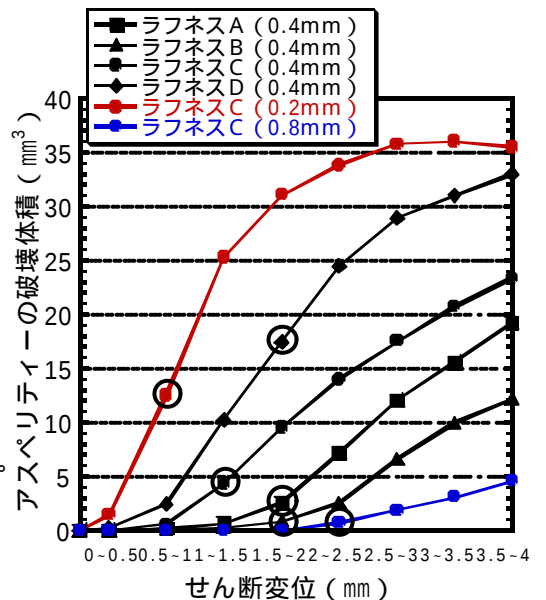


図3 単位区間ごとのアスペリティー破壊体積