

岩盤不連続面のせん断特性の評価に関する実験的研究

京都大学工学部 正会員 谷本親伯
 東京電力株式会社 正会員 森岡宏之
 京都大学大学院 学生員 ○ 梅澤孝行

1. はじめに

岩盤不連続面のせん断特性が、その表面形状（ラフネス）に大きく影響を受けることはよく知られている。ここでは、自然状態の不連続面と同じラフネスを有するモルタル供試体を多数作成し、一面せん断試験を行い、この結果をもとに実際の岩盤不連続面の一面せん断特性の推測について検討を行う。また、この実験結果について一般に広く採用されているBartonの破壊規準式により検討したところ、十分合理的であることが判明した。

2. 実験方法と実験結果

実験供試体には、ボーリングコアの中から不連続面を含む部分を直径約 5cm、高さ約10cmの円柱として切り出した6種類（これをA～F型とする）の岩石供試体とこれらの岩石供試体と同様のラフネスを有するモルタル供試体を採用した。モルタル供試体は、岩石供試体の不連続面をシリコンゴムで型取りし、その型にモルタルを充填することによって作成したものである。実験はこれらの供試体について垂直拘束圧一定条件で行った。図1～

2にB, E型の実験結果を示す。ここで、ピーク強度、残留強度は、せん断荷重～せん断変位曲線のせん断荷重の最大値、せん断荷重が一定になったときのせん断荷重値をそれぞれ採用した。また、同時にこれらの供試体のラフネスを測定した。測定結果を一例ずつ図3に示す。

実験結果からわかるように、B, E型とも、モルタル供試体と実際の岩石供試体の値の差は小さいが、表面形状が異なればピークせん断強度が変化することがわかる。また、硬度の影響を調べるために、シュミットハンマー試験を行った。この結果を表

1に示す。実験結果より、モルタル供試体と岩石供試体には硬度の差が認められ、低拘束圧状態では硬度が一面せん断特性に与える影響は少なく、ラフネスの影響が支配的であることが確認された。これらの結果より、実際の岩石供試体のせん断特性（本研究では残留強度とピークせん断強

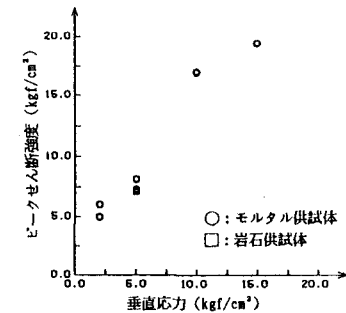


図1 (a) 垂直応力～ピークせん断強度の関係（供試体B）

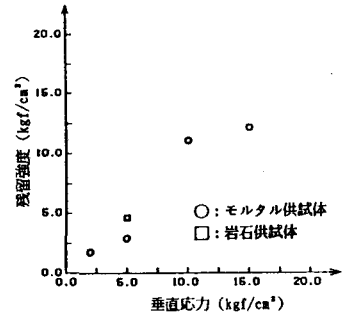


図1 (b) 垂直応力～残留強度の関係（供試体B）

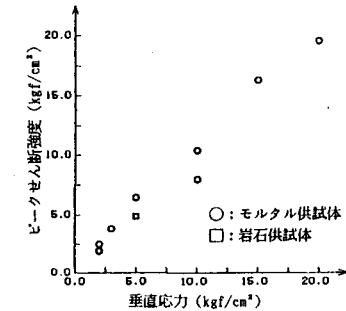


図2 (a) 垂直応力～ピークせん断強度の関係（供試体E）

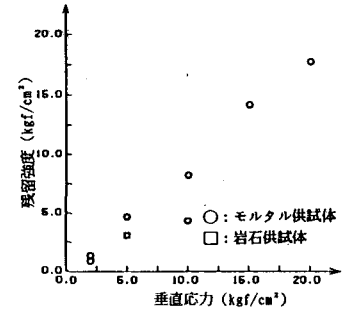


図2 (b) 垂直応力～残留強度の関係（供試体E）

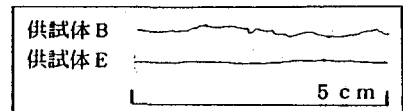


図3 ラフネス測定結果

度)は、その岩石供試体と同様のラフネスを有するモルタル供試体を作成し一面せん断試験を行うことにより、推測することが可能であることがわかった。

3. Bartonの破壊規準式による強度の推定

一般にせん断強度を推定する際には、Bartonの破壊規準式¹⁾

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \{ JRC \cdot \log_{10} (JCS / \sigma_u) + \phi_u \}$$

が利用される。この式はJCS, ϕ_u を実際に求め、JRC値を視覚的判断により決定しせん断強度を推測する式であるが、ここでは、モルタル供試体の実験結果(垂直応力～せん断荷重曲線)に、JCS, ϕ_u 一定のもとで最小自乗法を用いて近似させ、低拘束圧状態でせん断特性に強く影響を与えているラフネスつまりJRC値を求めた。ここで、 ϕ_u にはモルタルの残留摩擦角 $\phi_r=37^\circ$ を採用し、JCSの値は、モルタル供試体の表面においてシュミットハンマー試験を行い、Millerによって提案されているJCS値の推定式を用いて決定した。その結果JCS値=234であるとした。最小自乗法による近似結果を図4～5に、それにより求めたJRC値、その時の相関係数を表2に示す。

また、このJRC値と比較するために、測定したラフネスの形状をもとに視覚的判断によりJRC値を決定した。測定結果を表3に示す。これら2つの結果より、JRC値はせん断試験結果をもとに求めたJRC値の方が大きな値を示している。

この原因としては、BartonのJRC値に関する図を利用しJRC値を決定する際の視覚的判断によるばらつきが考えられる。その他の原因としては寸法効果が考えられる。Bartonによれば、実験に用いる供試体の寸法が大きくなればなるほど、ピークせん断強度が低下することが確認されている。本実験で一面せん断試験に用いた供試体は、Bartonが破壊規準式を決定するために用いた供試体より小さいものである。そのために実験結果が高い値を示しJRC値が大きくなったものと考えられる。この問題についてはさらに研究を進める必要がある。これらの結果より、視覚的判断により求めたJRC値を利用し、Bartonの破壊規準式からせん断強度を推定すると、せん断強度を過小評価してしまうことがわかる。この問題を解決するために、ラフネスの定量的評価の手法の確立が望まれる。

4. 結言

これらの実験結果をまとめると、①実際の岩石供試体のせん断特性は、その岩石供試体と同様のラフネスを有するモルタル供試体を作成し、一面せん断試験を行うことにより推測することが可能であることが認められた。②低拘束圧状態においては、硬度がせん断特性に与える影響は少なくラフネスの影響が支配的であることが確認できた。③Barton破壊規準式を利用する際には、JRC値の決定に十分注意を払う必要がある。今後この問題を解決するために、JRC値つまりラフネスの定量化の研究を進めていきたい。

<参考文献>

1) N. Barton and V. Choubey(1976): The Shear Strength of Rock Joint in Theory and Practice, Rock Mechanics, Vol. 10/1-2, pp. 1-54, Springer-Verlag.

表1 シュミットハンマー試験結果

	B	E	モルタル
反発係数	23.6	31.1	19.9

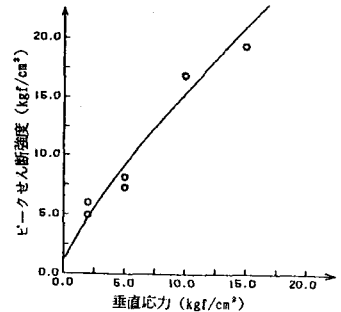


図4 最小自乗法による近似結果(供試体B)

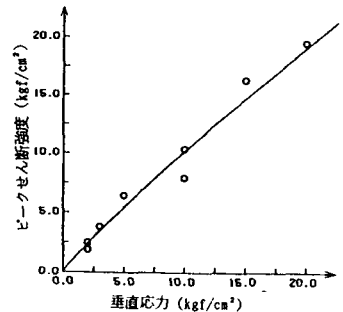


図5 最小自乗法による近似結果(供試体E)

表2 近似結果

	B	E
JRC	14.5	6.1
相関係数	0.97	0.98

表3 ラフネス測定結果から求めたJRC値

	B	E
JRC	9.3	5.9