

III-154

岩盤不連続面の強度特性について

埼玉大学 正員 吉中 龍之進 腰塚 憲一
 磯熊谷組 正員 清水 昭男 新井 元
 磯熊谷組 蟻坂 俊英

1. はじめに

岩盤不連続面の強度が不連続面の形状に依存することはよく知られている。ここでは不連続面に規則的な歯型およびBartonのJRC 縦断面図に基づく二次元不定形歯型を用いたモデル実験を行い、岩盤不連続面のせん断強度について検討したので、その概要を報告する。

2. 規則歯型モデルのせん断強度

実験供試体は図-1に示すようなモルタル製で、不定形歯型モデルは、不連続面を下の二つの縦断面図で置き換えたものである。定形歯型モデルのせん断挙動は、歯型にそって滑る場合と歯型が切断される場合の二つの型に大別される。不連続面の相対的垂直応力 σ_n / σ_c が小さいときは歯型にそって滑り、 σ_n / σ_c が大きくなってある限界値を超えると滑りの発生以前に歯型の切断がおこる。歯型にそって滑る場合の不連続面のせん断強度はPattonの式で表現され、歯型切断時のそれは、歯型の局部応力状態に対し極限平衡理論を適用することにより求めることができると思われる。歯型切断時の計算方法は、図-2に示すように垂直応力 σ_n から一つの歯型の接触面にかかる垂直力 V を求め、せん断方向とせん断力 H を仮定し力のつり合い条件より切断面に働く反力 R とせん断抵抗力 S を求める。 S がモルタルのせん断強度に等しくなるような H を求め、せん断方向の変化の過程で最小となる H を用いて、不連続面のせん断強度を算定する。ここで直線的切断を考えたのは、円弧すべりより小さいせん断力を与えるからである。モルタルの強度は、モルタルの一軸圧縮強度と圧裂引張強度をもとにしたFairhurstの式で表現されることが多いが、三軸圧縮試験より求めた破壊包絡線は直線であった。図-2に計算によるせん断強度曲線と実験値並びにモルタル強度曲線を示した。図-2の計算によるせん断曲線のうち、実線は接触面である傾斜角 $i = 20^\circ$ の面にもみ垂直応力が分布すると仮定し、Fairhurstの式を用いて計算したものであり、一点鎖線は傾斜角 10° の面にも垂直応力の38%が分布するとし、三軸圧縮試験より求めたモルタルの強度を用いて計算したものである。もとにしたモルタルの強度曲線と計算されたせん断強度曲線で形状に類似性が認められる。

実験結果はモルタルの強度によって二つのグループに分かれ、強度の大きいものが下側の線、強度の小さいものが上側の線にのっている。これは歯形の変形に起因するものであり、モルタル強度の大きいものは歯形の変形が比較的小さく、歯型の背面の拘束がほとんどないために、二軸状態で破壊したのに対し、モルタル

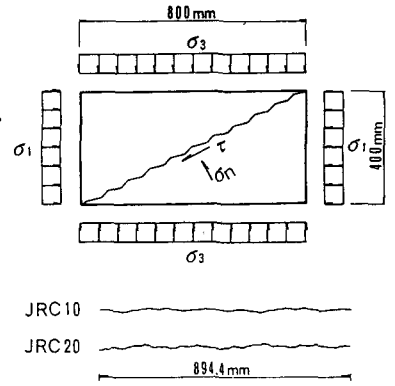


図-1 実験供試体と不連続面

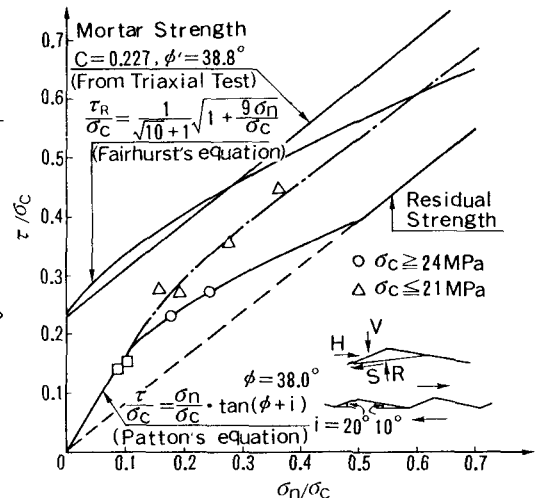


図-2 規則歯型モデルのせん断強度

ル強度の小さいものは、歯形の変形が大きいために歯型背面がはらみ出して接触し拘束力が発生し三軸状態で破壊したためと考えられる。ピーク強度発生時のせん断変位は後者の方が大きくなっており上記の推定を裏付けていると思われる。

3. 不定形歯型モデルのせん断強度

実験に用いた不定形歯型の不連続面はBartonのJRC粗さ縦断面図の50cmのモデルを基に一部反復使用して作成したものである。岩盤不連続面のせん断強度式としてBartonの式とLadanyi-Archambaultの式がよく知られているので、この両式と実験結果との関係を検討する。Bartonの式と実験結果との比較を図-3に示す。モルタルの一軸圧縮強度 σ_c が23MPaより大きい場合、JRC=20ではBartonの式より0~20%小さめ、JRC=10では5~15%大きめとなっており、不連続面の粗さによるせん断強度の差が比較的小さい実験結果となっている。 σ_c が13MPaより小さい場合は、粗さの違いによるせん断強度の差がBartonの式と同程度になったものの、せん断応力の絶対値はBartonの式より10~25%大きめの実験結果となっている。モルタルの強度によるこのようなせん断強度の違いは、規則歯型モデルと同様の原因によるものと思われ、モルタルの変形特性が不連続面のせん断強度に影響を及ぼすことを示唆している。

Ladanyi-Archambault の式の運用に当っては、母岩の強度 τ_R に Fairhurst の式を用い、歯型の切断面積 A_s には図-5の式で k を 1.5 としピークダイレイション変化率 $\dot{v}$ は、初期ダイレイション角 i_o をもちいて $\dot{V} = (1 - \sigma_n / \sigma_c)^4 \tan i_o$ が推奨されている。図-4は $\dot{v}$ の実測データで●の値が異常に小さいのは、乾燥収縮による歯型のかみ合せの悪さがその一因かと推測される。規則歯型モデルから類推し実切断面積 A_s' を導入して、Ladanyi 式の修正が可能である。

図-5に修正強度曲線と実測値の比較を示す。 $\dot{v}$ には図-4の実験式を用い、Ladanyi 式中の最後の項の A_s のかわりに A_s' 、 τ_R の式の σ_n のかわりに σ_n' を用い、他の条件は図中に示した。一軸圧縮強度のバラツキを考えれば、傾向的にはよく合っていると思われる。

参考文献

Barton, N. & Choubey, V. 1977 The shear strength of rock joint in theory and practice, Rock Mechanics, 10, P1-54

Ladanyi, B. & Archambault, G. 1970. Simulation of shear behaviour of a jointed rockmass, Proc. 11th Symp. on Rock Mechanics, AIME, P105-125

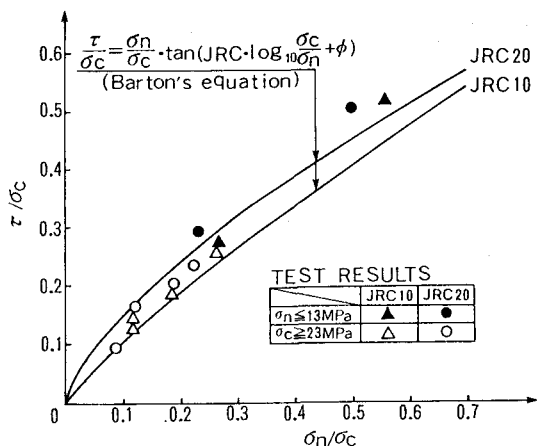


図-3 不定形歯形モデルのせん断強度
(Barton式との比較)

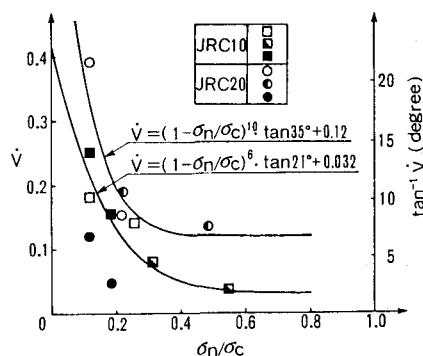


図-4 ピークダイレイション変化率

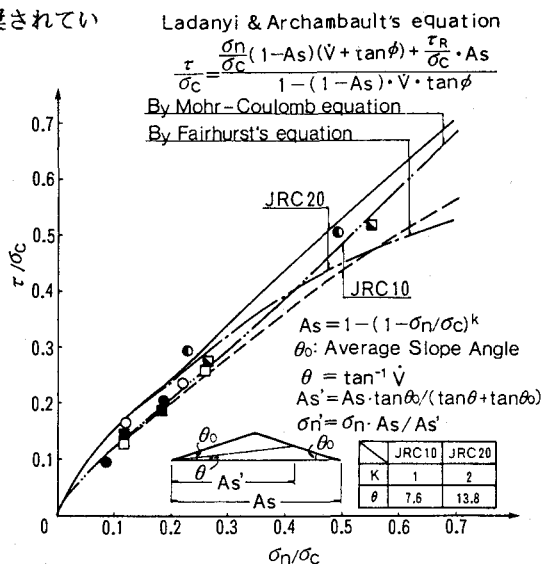


図-5 Ladanyi-Archambault 式の修正式と不定形歯形モデルのせん断強度