

(7) 岩盤不連続部の強度変形特性

埼玉大学	正会員	浜島良吉
埼玉大学	大学院	バレリオ・グティエレス
法政大学	正会員	山下清明
間組技術研究所	正会員	草深守人

1. はじめに

岩盤の強度・変形特性は不連続面に有するラフネスによって大きく変化する。こうした岩盤不連続面の強度、変形特性に対し、Barton²⁾JRC (Joint Roughness Coefficient) を指標とした評価を行っている。ただしせん断強度に対する構成則は拘束圧が小さい場合にしか適用できず、ラフネスのアスペリティーがせん断される拘束圧領域に対してはLadanyi & Archambault³⁾の構成則が適用されうる。しかしこの構成則は規則的な波形のラフネスについてのみ適用されうるため、一般の任意形状のラフネスを有する不連続面のせん断強度については用いることができない。

本研究は、任意形状のラフネスを有する不連続面を規則波形を有する不連続面に変換し、Ladanyi & Archambaultの構成則の適用性についての考察をおこなったものである。

2. ラフネスのあるジョイント面に対する一面せん断強度変形特性

図-1aは規則的な波形を有するラフネスのタイプであり、スムーズなジョイント面に対するタイプAから最も粗いラフネスを有するタイプFまで6タイプである。

図-1bはこれらの供試体に対する一面せん断試験から得られた τ - σ 曲線であり、これから次のことが明らかである。最も粗いラフネスを有するタイプFのピーク強度はジョイント面のない母材の残留せん断強度にほぼ等しい。これより任意形状を有するラフネスのせん断強度はスムーズジョイントの強度と母材の残留強度の間に入ると考えられる。

ラフネスのあるジョイントを有する岩盤の強度変形特性についてはBartonが詳細な検討をおこなっており以下の式を提案している。

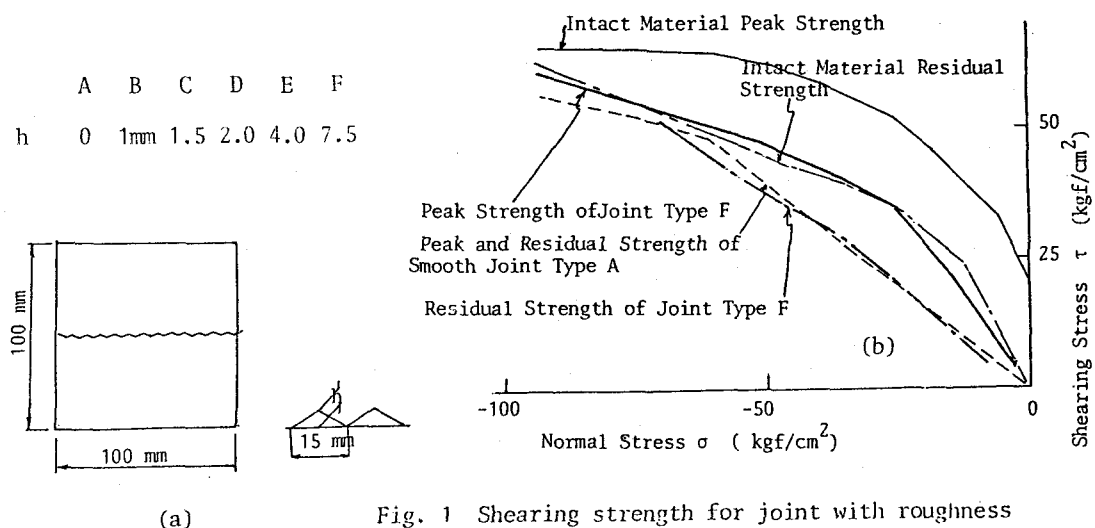


Fig. 1 Shearing strength for joint with roughness

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\text{JRC} \log_{10} \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right], \quad \sigma_n < \text{JCS} \quad (1)$$

ここでJRCはジョイント粗さ係数であり、Bartonはこの指標JRCを基にジョイント面のせん断剛性 k_s 、垂直剛性 k_n 、さらに寸法効果についての検討をおこなっている。

しかし、式(1)は拘束圧の比較的小さな領域に対してしか適用することができずラフネスのアスペリティーがせん断される領域については別の考察を必要とする。これに対してLadanyi & Archambaultは、こうしたアスペリティーがせん断される領域にも適用しうる次式を提案している。

$$\tau = \frac{\sigma_n (1 - \alpha_s) (\dot{\nu} + \tan \theta_r) + \alpha_s \eta \sigma_c^{\frac{m-1}{n}} (1 + \eta \frac{\sigma_n}{\eta \sigma_c})^{\frac{1}{2}}}{1 - (1 - \alpha_s) \dot{\nu} \tan \phi_r} \quad (2)$$

上式を用いることにより進行性破壊を取り扱うことが可能となる。ただし上式はBartonの提案式(1)がジョイントラフネスJRCを指標として任意波形を有するジョイントに適用できるのに対し、規則的な波形に対してしか適用できない欠点を有する。

実際の岩盤のジョイント面のせん断強度に対して式(2)を用いる際には不規則な波形を規則的な波形に変換することが必要となる。

Tse & Cruden³⁾はBartonのJRCに関連する物理量として以下で定義される Z_2 を用いている。

$$Z_2 = \sqrt{\frac{1}{L} \int_{y=0}^L \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx} \quad (3)$$

ここで L はジョイント長さであり、 dy/dx はアスペリティー角度を表す。この Z_2 によりJRCは

$$\text{JRC} = 32.2 + 32.47 \log Z_2 \quad (4)$$

で表すことができる。

ところで図-2に示される規則的な波形に対して Z_2 を計算すると

$$Z_2 = \tan \theta_i \quad (5)$$

となり、不規則波の Z_2 と規則波から得られる上式を等値することにより θ_i が得られる。

又、図-3aに示される不規則な波形に対してスペクトル密度を計算すると図-3cのような卓越周波数が得られる。これより、規則波の波長4cmを得ることができる。

上式で示される方法を用いることにより不規則な波形を規則波形に変換することができ、これより式(3)の構成式を適用することができる。又、式(4)において Z_2 からJRCが得られ、これを用いることによりBartonにより得られた k_s, k_n さらに寸法効果に対する評価を適用しうることになる。

以下に、不規則波形を有するジョイント面と、これを規則的な波形に変換したジョイント面に対して一面せん断試験を行い、その物理的特性について考察する。

不規則な波形についてはDight & Chin⁴⁾によって行われたせん断試験供試体の波形と同一のものを使用する。図-4a, bは不規則波形(Type A)と規則波形(Type B)に対する一面せん断試験結果である。各供試体共一個しか実験結果がないため、実験結果のバラツキはあるが荷重・変形曲線(τ - u 曲線)はほぼ一致しているといえよう。次に図-5a, bはType A, Bに対する τ - σ 曲線である。ここで実線及び破線は一個の供試体の繰り返し載荷から得られたピーク強度、残留強度線である。又×印は各拘束圧 σ に対して行われた個々のピーク強度である。これより一個の繰り返し載荷から得られたピーク強度は個々の σ に対するピーク強度に一致していることがわかる(ただし残留強度は変形量が小さいためここでは得られていない)。これらの結果からType

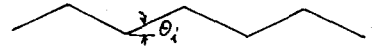


Fig.2

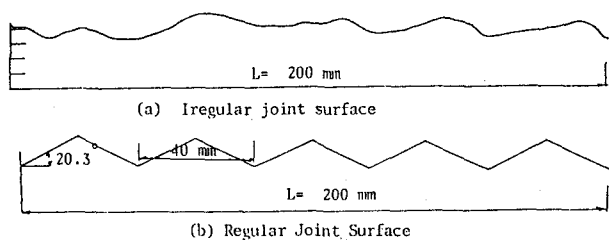
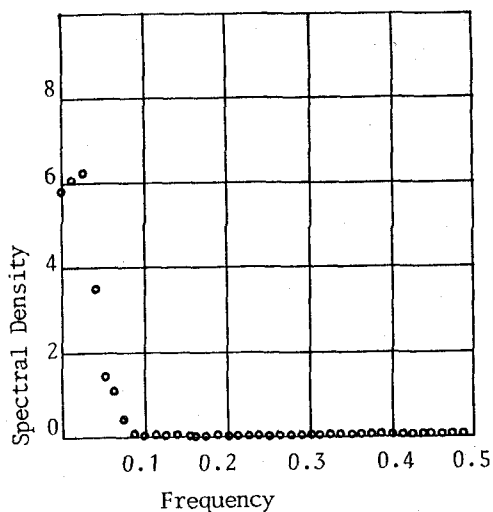


Fig.3 Joint surface profile and spectral density



(c) Spectral density of Irregular joint

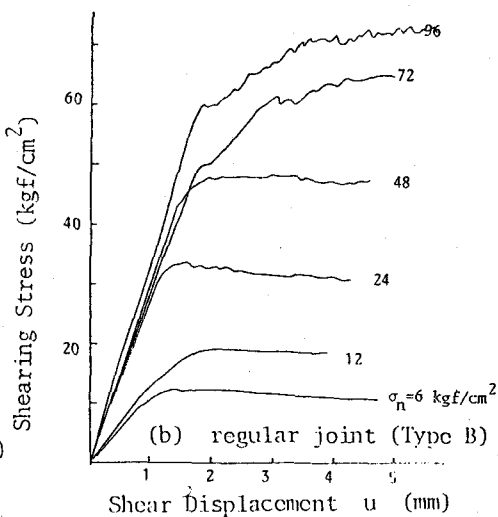
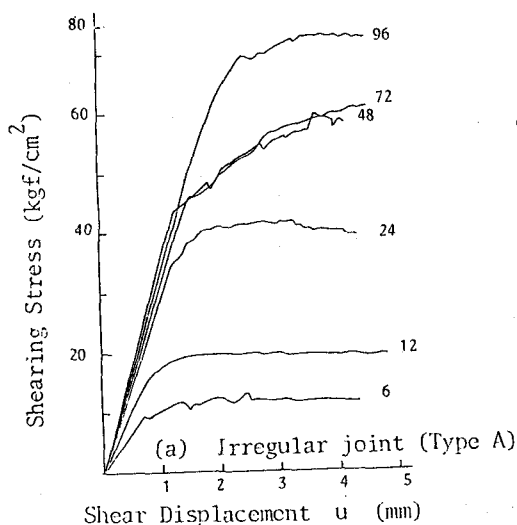


Fig.4 Shearing strength-deformation relationship

A, B 共 τ - σ 曲線がほぼ一致していることがわかる。図-6a, bはType A, Bの供試体において繰り返し載荷後のラフネスの形状を示しており Type A においては $Z = 0.23$, $\theta_i = 12.7^\circ$, $JRC = 11.2$, Type B については $Z = 0.24$, $\theta_i = 13.7^\circ$, $JRC = 12.3$, とほぼ一致している。次に図-7 はせん断剛性及びダイラタンシー特性についての比較であり両者共ほぼ一致していることがわかる。

3. まとめ

不規則な波形のラフネスを有するジョイント面のせん断強度特性について、これと力学的に等価な規則的な波形を有するラフネスのジョイント面に変換可能かどうかについて検討を行い以下の結果を得た。

(1) 不規則波形のラフネスを有するジョイント面が1個の卓越周波数を有する場合、これを規則的な三角波のラフネスを有するジョイント面に変換する。

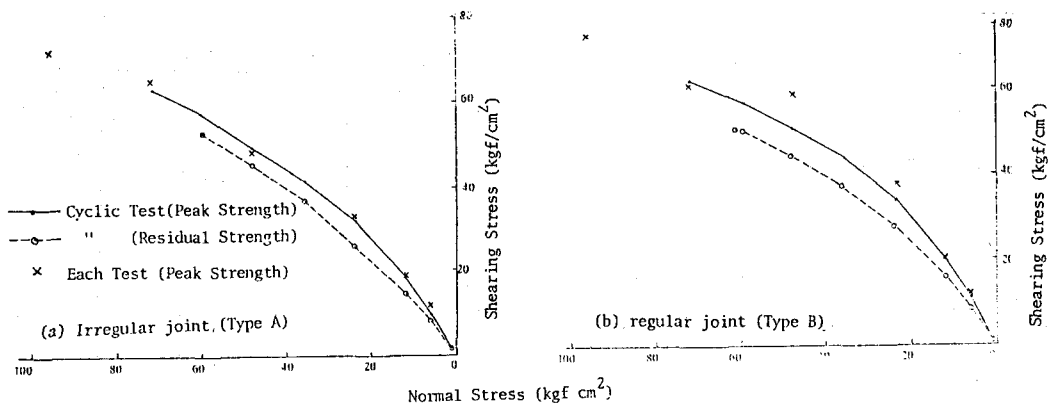


Fig.5 Normal stress- Shearing stress curve

(2) これらの供試体について一面せん断試験を行いそのせん断特性については

- a) せん断強度-せん断変位曲線は両者共良く一致する。これより τ - σ 曲線もピーク強度、残留強度共良い一致を示す。
- b) せん断剛性についても良い一致を示す。
- c) ダイラタンシー特性も良く一致する。

不規則波形のラフネスを有するジョイントに対して1個のタイプしか検討していないので、これから結論を述べることは難しいが、不規則波形を規則波形に変換して、これによってせん断強度特性を調べることは、ある程度可能と思われる。

参考文献

- 1) Barton N., The shear Strength of Rock and Rock Joints, Int. J. Rock Mech. Min. Sti. & Geomech. Abstr. 13, p. 225-279, (1976)
- 2) Ladanyi B. & Archambault G., Direct and Indirect Determination of Shear Strength of Rock Mass, Preprint 80-25 AIME (February, 1980)
- 3) Tse R. & Cruden D.M., Estimating Joint Roughness coefficients, Int. j. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 16, p. 303- 307, (1979)
- 4) Dight P.M. & Chin H.K., Prediction of Shear Behaviour of Joints Using Profiles, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. vol18, pp. 369-386, (1981)

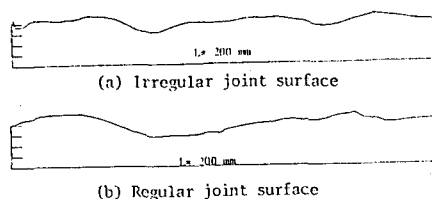


Fig. 6 Joint surface profile after cyclic shearing test

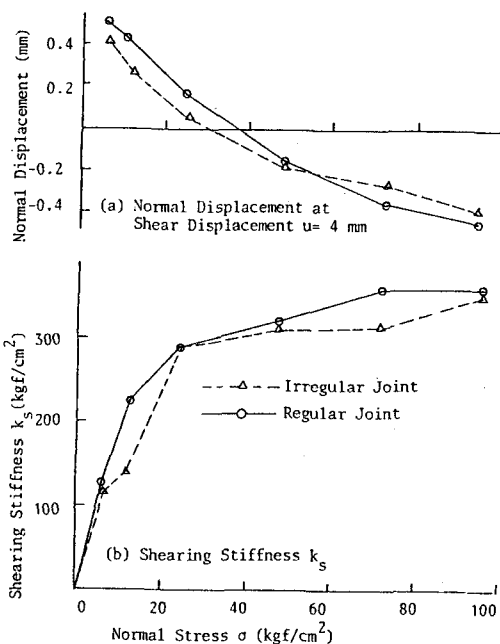


Fig.7 Normal displacement and shearing stiffness for irregular and regular joint

(7) STRENGTH-DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ROCK JOINTS

by Ryokichi HAMAJIMA*
Morito KUSABUKA**
Kiyooki YAMASHITA***
Valerio GUTIERREZ*

*Saitama University
**Hazamagumi, Ltd.
***Hosei University

SUMMARY

The mechanical characteristics of a rock mass is influenced by the discontinuities of the joints and faults normally contained in it. Especially the roughness characteristics of the discontinuous part determine the strength-deformation characteristics.

Although many researchers had been studying these mechanical characteristics of joint roughness, Barton indicated the influence of the JRC (Joint Roughness Coefficient) upon the shearing strength, shearing stiffness and normal stiffness in the case it is related to the size effect. However, the Barton's constitutive equation is applicable for small values of the confining pressure. Ladanyi & Archambault considered a constitution of the asperities of roughness in the condition of sheared off and producing progressive failure. Nevertheless, this constitution can be applied only for regular asperities shape.

In this work the prevailing frequency of an irregular asperity roughness was transformed into a piece of a triangular asperity roughness. In both models was performed direct shear tests in order to obtain the plot of the $\tau - \sigma$ curves of the peak and residual shear strength, as well as the mechanical characteristics of direct shearing strength, shearing stiffness, dilatancy, etc. Clearly it is appreciated good agreement in the results.

In the case of resulting many prevailing periods it is thought possible to use a revision of it, and so the equation of Ladanyi & Archambault could be applied for joint surfaces having irregular asperity roughness.