

原位置一面せん断試験による硬質岩盤のせん断強度の研究 (1)

名古屋工業大学 正会員 長谷部 宣男
 鴻池組 正会員 市川 太郎
 中部電力 正会員 上田 念 佐藤 正俊

1. はじめに

硬質岩盤上や内部にダムや地下発電所などの社会的に重要な構造物が建設されるとき、構造物を建設する原位置において原位置岩盤試験が実施される。代表的な原位置岩盤試験の1つとして、硬質岩盤のせん断強度を算定することを目的とした原位置一面せん断試験がある。しかし、原位置一面せん断試験には問題点が多く存在し、得られる岩盤特性値は信頼性を持って評価することが難しいと言われている。そこで、本研究では、クラックの進展を考慮して、原位置一面せん断試験よりせん断応力とせん断方向変位の関係の基本式を導く。

2. 基本式

基本式 (式 (9)) の誘導の考えかたを述べる。図1の原位置一面せん断試験の試験体の形状を半無限体として2次元的に扱う。図1の形状を単位円内に写像する有理写像関数は次式の形で表される。

$$z = \omega(\zeta) = \frac{E_0}{1-\zeta} + \sum \frac{E_k}{\zeta_k - \zeta} + E_{-1} \tag{1}$$

この写像関数はパラメーターである単位円の座標 B, C, D 等を与えることによって任意のクラックの長さを表すことができ、応力関数を $\phi(\zeta)$, $\psi(\zeta)$ として外力境界条件式は次式で与えられる。 σ_1 は単位円上の座標である。

$$\phi(\sigma_1) + \frac{\omega(\sigma_1)}{\omega'(\sigma_1)} \overline{\phi'(\sigma_1)} + \overline{\psi(\sigma_1)} = i \int (p_x + ip_y) ds = H(\sigma_1) \tag{2}$$

外力として、図1に示すせん断応力 τ , 垂直応力 σ , クラック面に働く垂直応力 f_n , せん断応力 f_t を考える。 f_n はクラック面の接触による垂直応力を表し $f_n = c_1 \sigma^m + c_2 \sigma$ で、 f_t はせん断応力で摩擦係数を μ として $f_t = \mu f_n$ で表される[文献1]。 a をクラック長とすると af_n , af_t は合力を表す。式 (2) に $d\sigma/(\sigma - \zeta)$ を乗じ、単位円周上でコーシー積分すると

$$\phi(\zeta) + \sum \frac{B_k \overline{A_k}}{\zeta_k - \zeta} + const = \frac{1}{2\pi i} \int \frac{H(\sigma)}{\sigma - \zeta} d\sigma \equiv A(\zeta) \tag{3}$$

と表される。ここで外力による右辺の項は荷重の種類により

$$A(\zeta) = af_n A_1(\zeta) + af_t A_2(\zeta) + \tau A_3(\zeta) + \sigma A_4(\zeta) \tag{4}$$

の形で表される。 $A_1(\zeta), \dots, A_4(\zeta)$ は各荷重項の関数である。また、自由境界が存在することにより $\psi(\zeta)$ は次式で表される。

$$\psi(\zeta) = -\overline{\phi(1/\zeta)} - \frac{\overline{\omega(1/\zeta)}}{\omega'(\zeta)} \phi'(\zeta) \tag{5}$$

変位成分 u, v は次式で表される。

$$u + iv = \frac{1}{2G} \left\{ \frac{3-\nu}{1+\nu} \phi(\zeta) - \omega(\zeta) \frac{\phi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)} - \overline{\psi(\zeta)} \right\} \tag{6}$$

ここで ν, G はポアソン比及びせん断剛性係数である。上式に $\zeta = \sigma_1$ として式 (5) を代入すると

$$u + iv = \frac{\kappa + 1}{2G} \phi(\sigma_1) \tag{7}$$

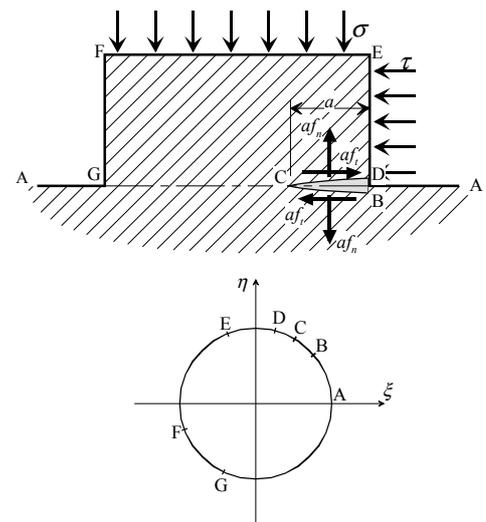


図1 クラックを有する原位置一面せん断試験の試験体の形状と単位円

キーワード 硬質岩盤 せん断試験 クラック せん断強度 岩盤ブロック

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TELL 052-735-5482

を得る。κ=3-4ν（平面ひずみ）である。上式に式（3）を代入して図1の変位を求める注目点に相当する座標を代入する。また図1の垂直応力σ，クラック面に働く垂直応力の合力af_nはせん断方向変位（水平方向変位）に寄与しないことから除くと，せん断方向の変位uは次式の形で表される。

$$u = \frac{\kappa + 1}{2G} (\phi_1 f_t + \phi_2 \tau) \tag{8}$$

さらにφ₁，φ₂はクラックの進展と共に値が変化する関数である。これをせん断応力τの関数としφ₁ = α₁τⁿ，φ₂ = β₁τ^l + β₂と仮定すると，次の一連の式を得る。ここでqは試験の傾斜荷重の傾き角である。

$$u = \frac{a(\kappa + 1)}{G} \{ \mu \alpha_1 \tau^n (c_1 \sigma^m + c_2 \sigma) + (\beta_1 \tau^l + \beta_2) \tau \} \equiv A \tau^n \sigma^m + B \tau^n \sigma + C \tau^{l+1} + D \tau \tag{9}$$

$$= A \tau^n (N + \tau \tan \theta)^m + B \tau^n (N + \tau \tan \theta) + C \tau^{l+1} + D \tau$$

2. 解析結果

試験結果のせん断応力とせん断方向変位の値を用いて，最小二乗法により式（9）の係数A，B，C，Dを決定する。図2，3は試験結果と解析結果の例を示す。その際，異なる初期鉛直応力で実施された2個所の試験結果を用いる（図内のa，b）。2個所の試験結果のせん断方向変位x₁，x₂より変位差x₁ - x₂を考えると，式（9）よりx₁ - x₂は以下のようにA，Bの項のみで表され，最小二乗法により係数A，Bを決定する。

$$x_1 - x_2 = A \{ (N_1 + \tau \tan \theta)^m - (N_2 + \tau \tan \theta)^m \} + B (N_1 - N_2) \tau^n \tag{10}$$

次にa，bどちらかの試験結果の値を用いて再び最小二乗法より係数C，Dを決定する。ここで，最大の初期鉛直応力に対して行われた試験結果を用いた方がより精度よい解析結果が得られることが分かった。また，図2，3のように同じ岩盤に対して行われたと見なせる試験結果が3個以上得られた地点では，最大と最小の初期鉛直応力に対する試験結果を用いた。

以上により，図2，3のように試験結果とよくあうせん断方向変位曲線を描くことが出来る。また，任意の初期鉛直応力のせん断方向変位曲線を求めることができ，中間の初期鉛直応力の試験結果（図内のc，d）に対してもよくあう曲線が描かれていることが分かる。

また，式（9）よりせん断面に働く垂直応力の影響の項（σの項）を除けば以下の式が導かれる。

$$x = \frac{a(\kappa + 1)}{G} (\beta_1 \tau^l + \beta_2) \tau \tag{11}$$

$$\equiv C \tau^{l+1} + D \tau$$

上式は，垂直応力を作用させていないせん断応力のみによるせん断変形挙動を表しており，純せん断曲線と呼ばれる。この式を用いて，試験結果より純せん断のみが作用する場合のせん断方向変位曲線を求めることが出来る。

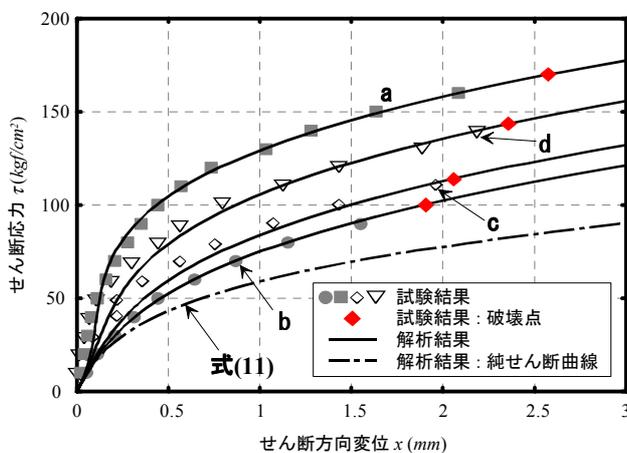


図2 せん断応力せん断方向変位の解析結果：例1

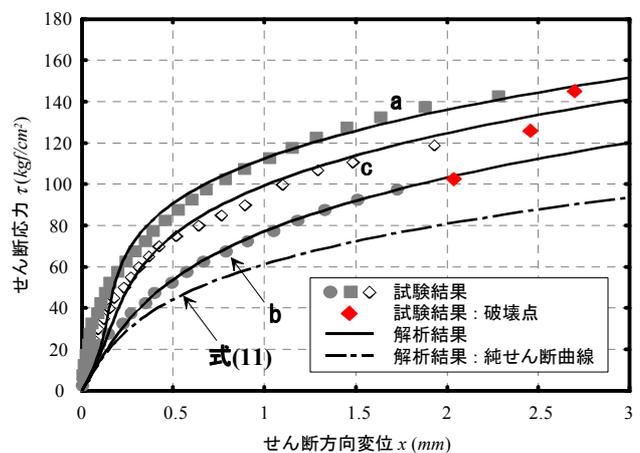


図3 せん断応力せん断方向変位の解析結果：例2

参考文献

[1] 川平，長谷部等 土木学会第56回年次学術講演会概要集 第三部 2001，pp.552-555