

## 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（2）

鴻池組 正会員 市川 太郎

名古屋工業大学 正会員 長谷部 宣男

中部電力 正会員 上田 念 佐藤 正俊

### 1. はじめに

前述の研究（1）[文献1]により，原位置一面せん断試験より得られるせん断応力とせん断方向変位の関係は以下の理論式で表すことが出来る．この式から任意の初期鉛直応力  $N$  でのせん断変位挙動を求めることが出来る（図3）．

$$\begin{aligned} x &= \frac{a(\kappa+1)}{G} \left\{ \mu \alpha_1 \tau^n (c_1 \sigma^m + c_2 \sigma) + (\beta_1 \tau^l + \beta_2) \tau \right\} \\ &\equiv A \tau^n \sigma^m + B \tau^n \sigma + C \tau^{l+1} + D \tau \\ &= A \tau^n (N + \tau \tan \theta)^m + B \tau^n (N + \tau \tan \theta) + C \tau^{l+1} + D \tau \end{aligned} \quad (1)$$

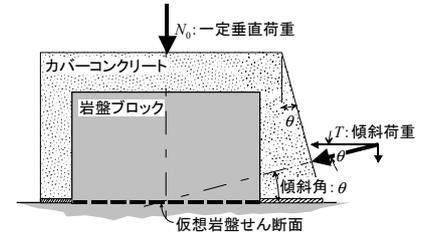


図1

しかし，試験の目的であるせん断強度を算定するには破壊基準が必要である．また，従来試験の整理において用いられている破壊基準には，問題点が多く存在することが分かっている．そこで，本研究では，新しい破壊基準を提案し，従来の方法との比較を行う．

### 2. 従来の試験結果の整理方法

原位置一面せん断試験には，全く同一地点での試験が行えないことなどから，試験結果にばらつきが大きいことや，経済的，地形的制約が大きく十分な試験個数が行えないことなど，硬質岩盤の原位置試験特有の問題点が存在する．また，従来の整理方法では，得られるせん断破壊点を以下の Mohr-Coulomb の破壊包絡線により直線近似して純せん断強度  $\tau_0$  や内部摩擦角  $\phi$  などの特性値を算定している．

$$\tau_p = \tau_0 + \sigma_p \tan \phi \quad (2)$$

しかし，試験の方法上低い垂直応力でのせん断破壊を実現できないため，得られる特性値は算定式の近似の精度に大きく影響を受けてしまい信頼性が乏しい．試験で得られるせん断破壊点の値から上式の係数を最小二乗法で求められた値を図2に破壊基準1として示す．

式（2）の Mohr-Coulomb の破壊基準は，試験体が破断した直後を想定して不連続面の摩擦強度の理論により導かれているが，破断後の試験体を用いて行われる摩擦強度試験の結果からも，本載荷試験から得られる強度は摩擦強度よりも大きな値を示すことが分かっており，試験体中のクラックの進展を考慮した破壊基準が必要であると考えられる．また，式（2）より得られる純せん断強度  $\tau_0$  は，地点によっては物理的に考えられない負の値として算定され，小さく見積もられてしまうことが分かっている．

### 3. 変位による破壊基準の提案

式（1）の基本式により，任意の初期鉛直応力による試験結果を求めることが出来る．また，以下の純せん断変位曲線により，せん断面に垂直応力が働いていない場合の純せん断変位挙動も求めることが出来る（図3）．

$$x \equiv C \tau^{l+1} + D \tau \quad (3)$$

異なる初期鉛直応力のもとで行われた試験結果をせん断面に働くせん断応力とせん断方向変位の関係で考えると，図3に示すようにせん断破壊の点はほぼ直線的に変化している．そこで本研究では，従来の破壊基準に代わって，以下の式によって定義されるせん断応力 - せん断方向変位での直線式を新しい破壊基準として提案する．

$$x_p = \alpha_1 \tau_p + \alpha_2 \quad (4)$$

キーワード 硬質岩盤 せん断試験 せん断強度 破壊基準 応力拡大係数 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

試験で得られるせん断破壊点の値（◆印）から，最小二乗法を用いて式（4）の係数を決定し図3に示す．図3において式（4）と式（1）の交点の値から $\sigma$ ， $\tau$ を求め，せん断面に働く応力状態（図2）を考えると，図2の破壊基準2の下凸の曲線が得られる．得られる純せん断強度（図2のせん断応力切片）は式（2）によるものと比較して大きな値を示すことが分かる．

4. 応力拡大係数を用いた破壊基準

ここまでクラックの進展を考慮してせん断変形挙動とせん断破壊強度を考えたが，せん断破壊のしくみについて破壊力学的に考察してみる．クラックの進展により試験体が破断に至る硬質岩盤のせん断破壊の過程において，クラック先端での応力拡大係数は岩盤の破壊靱性値に達していると考えられる．クラック先端での応力拡大係数  $K_{II}$  は，クラックの先端に寄与するせん断応力を  $\tau_y$  とし，次式で表すことが出来る．

$$K_{II} = F\tau_y\sqrt{2\pi a} \tag{5}$$

ここで  $F$  は形状による関数， $a$  はクラック長である．硬質岩盤の破壊靱性値を  $K_{IIC}$  とおき，クラックの先端に寄与するせん断応力  $\tau_y$  は外力としての  $\tau$  とクラック面に働くせん断応力  $f_t = \mu(c_1\sigma^m + c_2\sigma)$  [文献1]よりせん断応力の方向を考慮して  $\tau_y = \tau - f_t$  と表せるので，応力拡大係数を用いた破壊基準として次式が導かれる．

$$K_{IIC} = F\{\tau - \mu(c_1\sigma^m + c_2\sigma)\}\sqrt{2\pi a} \tag{6}$$

ここで式（6）内の係数  $m$  は式（1）を導いたときに導入した  $m$  と同一であり，予備载荷試験，原位置一面せん断試験共通の  $m$  [文献2]と考えられる．式（6）を書き直して，各項の係数を  $p$ ， $q$ ， $r$  と置き換えそのときの  $\tau$ ， $\sigma$  にサフィックス  $p$  をつけると，次式で表される．

$$\tau_p = p\sigma_p^m + q\sigma_p + r \tag{7}$$

式（7）を用いて，せん断面の応力状態（図1）において破壊基準2にフィッティングするように最小二乗法により係数を求めると，図2のようによくあう破壊基準線を描くことが出来る．

5. まとめ

原位置一面せん断試験において，様々な問題が存在する従来の破壊基準に変わって，式（4）で定義される変位による破壊基準を提案した．また，式（7）で定義されるクラックの進展を考慮して応力拡大係数を用いて導かれた破壊基準により，変位による破壊基準とよくあう破壊基準線を描けることから，両者は同様の破壊現象を表していると考えられる．

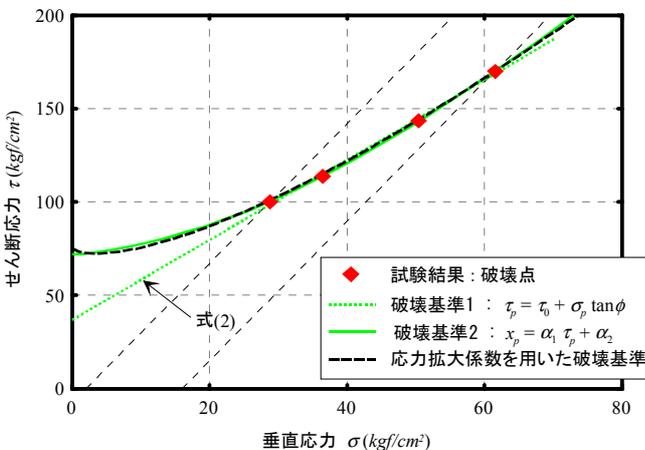
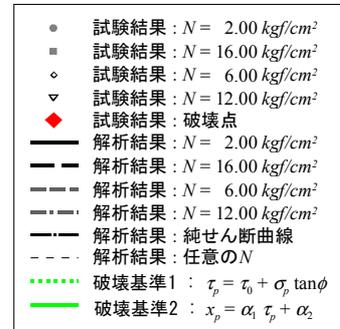


図2 せん断面の応力状態

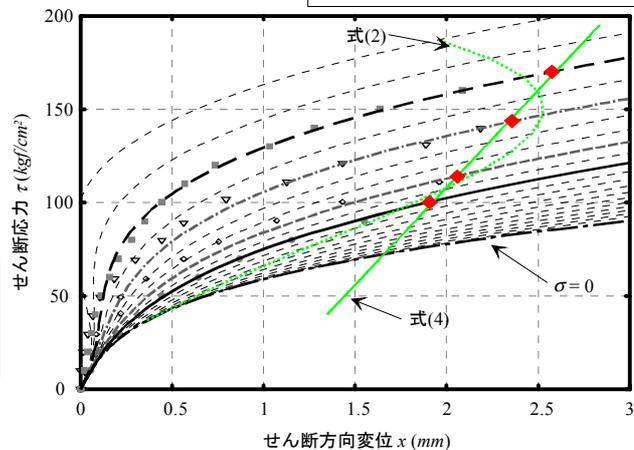


図3 せん断応力とせん断方向変位の関係

参考文献

[1] 長谷部，市川等 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）  
土木学会第57回年次学術講演会概要集 第三部  
[2] 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