

埼玉大学工学部 正員 山辺 正

埼玉大学工学部 正員 吉中 龍之進

1. はじめに

軟岩では破壊時のモールの包絡線は、強い非線形性を示すものが多い。このような軟岩の強度関係の非線形性の表現にべき関数形の破壊規準が適用しうる事は、すでに発表した通り^{1), 2)}である。本報告では、この破壊規準に基づいて軟岩の排水強度を推定する方法について考察する。

2. 材料定数 β の推定

泥岩, シルト岩, 凝灰質岩, 風化花崗岩など、各種軟岩の乱さなひ試体について実施した力学試験結果から求めた破壊規準は、次式で表わされるべき関数³⁾で、表現しうる¹⁾。

$$\tau_m / \tau_{mo} = d (\sigma'_m / \sigma'_{mo})^\beta \quad \dots (1)$$

$$\text{ここに } \tau_m = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2, \sigma'_m = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) / 3 \quad \dots (2)$$

更に、 τ_{mo}, σ'_{mo} は、それぞれ(2)式において $\sigma'_2 = \sigma'_3 = 0$ の時の値である。なお、 d, β は材料定数で、 q_u にして 21.0 kgf/cm^2 の過圧密粘土から 2600 kgf/cm^2 の硬ドロマイトについての三軸圧縮試験結果を検討した結果、 d は1に近く、 $0.94 \sim 1.23$ 、 β は $0.44 \sim 0.91$ の値をとることが判明した¹⁾。この材料定数 β を推定するためには以下の実験を行なった。

岩石材料においては、引張試験の代りに圧裂引張試験が良く行なわれる。この試験による荷重中心線上の破壊時の応力は、岩石の引張強度を σ_t とすれば、 $\sigma_1 = 3\sigma_t, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -\sigma_t (< 0)$ である。この試験をJaegerら³⁾の行なったように一定拘束圧 $\sigma_2 > 0$ で実施することにより、より一般的な三主応力下での強度関係を求めることができる。すなわち、三軸圧裂試験(confined Brazilian test)である。

図1, 2は、シルト岩($e_0 = 0.94, q_u = 21.0 \text{ kgf/cm}^2$)

と、凝灰質砂岩($e_0 = 0.42, q_u = 138 \text{ kgf/cm}^2$)に

ついて求めた三軸圧縮試験結果と、圧裂試験

結果を(1)式による表現としたものである。図

1, 2より、 $d \approx 1$ の岩石については上述の引張

応力状態で(1)式が、ほぼ成立すること

がわかる。

以上の実験結果から、(1)式における材料定

数 β の推定を行なう。上述した圧裂引張試験

時($\sigma_2 = 0$)の応力状態は、(1)式から次式で表

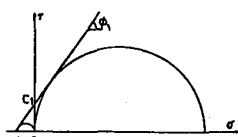


図3 一軸圧縮と一軸引張

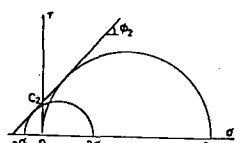


図4 一軸圧縮と圧裂引張

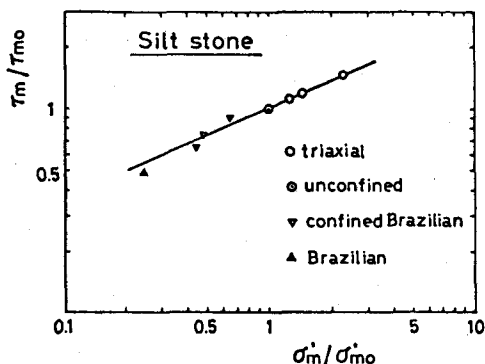


図1 シルト岩の強度

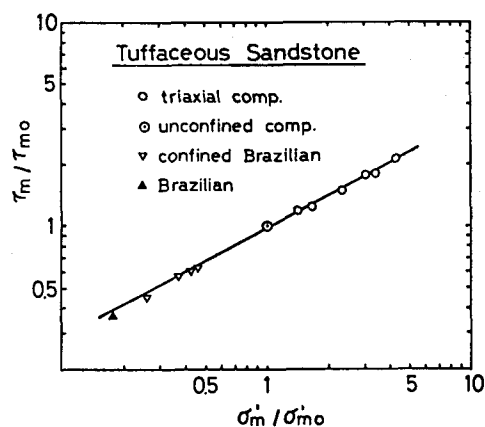
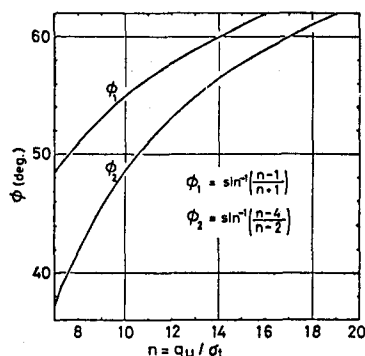


図2 凝灰質砂岩の強度

図5 ゼン性度 m と摩擦角 ϕ

現できる。 $(4\sigma_t/q_u) = \alpha(2\sigma_t/q_u)^\beta$ ここで、 α は 1 に近い岩石が多いので、上式をゼイ性度 $n(=q_u/\sigma_t)$ で整理し、 $\alpha=1$ とすれば次の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \beta^* &= \log(n/4) / \log(n/2) \\ n &= q_u/\sigma_t, \alpha=1 \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

(3)式により、ゼイ性度 n を用いて β の推定値 β^* を求めることが可能である。

3. 破壊強度の推定

q_u と σ_t が既知のとき図3及び図4に示す二円の共通接線の勾配を ϕ_1 , ϕ_2 とすれば、これらはゼイ性度 n に対して図4の関係にある。この中の推定値が過大な値を与えることは図7~9の実験結果から明らかである。

次に、三軸圧縮試験時 ($\sigma_2 = \sigma_3$) に Mohr の破壊包絡線が非線形となることを考慮した排水強度の推定を行なう。 $\sigma_2 = \sigma_3$ の時、破壊時の平均有効主応力 σ_3^f が変数 m を用いて次式で与えられるとすれば

$$3\sigma_3^f = (\sigma_1 + 2\sigma_3)_f = m q_u \dots (4)$$

(1),(4)式から最大軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は次式で与えられる。

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = \alpha q_u m^\beta \dots (5)$$

その時、(4),(5)式から σ_3^f を求めると次式となる。

$$\sigma_3^f = q_u (m - \alpha m^\beta) / 3 \dots (6)$$

(6)式において $\alpha=1$ とし、(3)式で得られた β の推定値 β^* を用いる事により次式が得られる。

$$m^{\beta^*} - m + 3(\sigma_3^f/q_u) = 0 \dots (7)$$

(7)式から、 $(q_u, \sigma_t, \sigma_3)$ を与えた時の intact な岩石の排水強度を推定できる。これらの関係を、 m をパラメータとして図6に示す。図6を用いて実験値との比較を行なうと図7~9となる。これらの実験値のうち図7,9では全領域において応力-歪関係が歪硬化を示した。また、図8では歪硬化を示したが、図8中のモール円(570)は、全主軸差 $\varepsilon_1 = 15\%$ の時の値である。

4. まとめ

べき関数破壊規準を用い材料定数 α を 1 と仮定して $(q_u, \sigma_t, \sigma_3)$ を与えた時の intact な軟岩の排水強度を推定し実験値と比較した。但し、 $\alpha=1$ であっても三軸圧縮応力下の強度関係と圧裂引張状態が必ずしも連続しない場合があり本推定法の適用範囲を明確にする必要がある。

5. 参考文献 1) 吉中・山辺 (79) 才12回岩盤力学に関するシンポジウム, 31~35 2) 吉中・山辺 (80) 才13回岩盤力学に関するシンポジウム, 16~20 3) Jaeger & Hoskins (66) Journal of Geophysical Res., vol. 71, 2651~2659

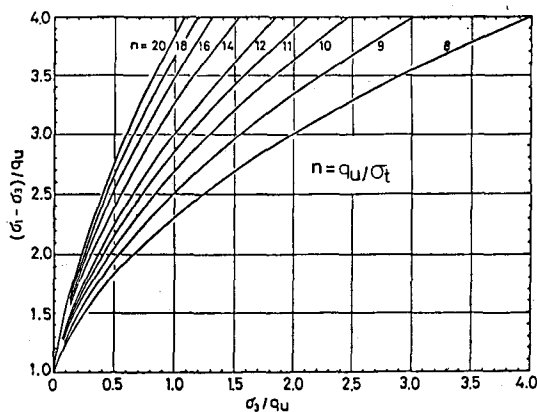


図6 排水強度の推定曲線

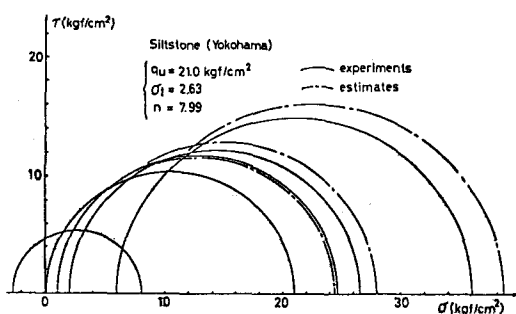


図7 シルト岩の実験値と推定値

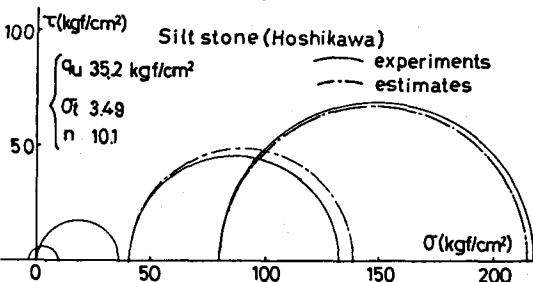


図8 シルト岩(厚川)の実験値と推定値

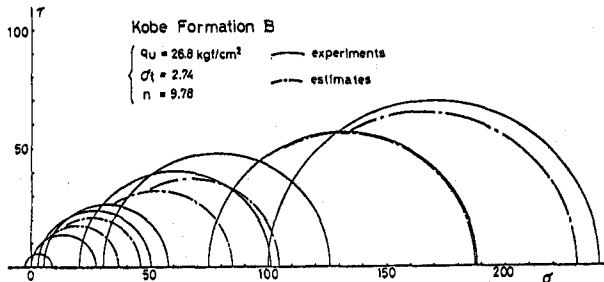


図9 神戸層泥岩の実験値と推定値