

3次元主応力に関する岩石のクーロン破壊基準

首都大学東京 正会員 吉嶺 充俊

これまでに、クーロンの破壊基準 ($\tau = R\sigma + C$) を主応力に対して色々な方向をもつ基準面に適用することによって3次元応力に関する土の破壊基準を提案してきた。本文では、これを既往の岩石の強度試験結果に適用してみた。

これまでに提案している破壊基準は以下のような非常に簡単なものである。最大・中間・最小主応力成分 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ の方向に対するクーロンの破壊基準を適用する基準面の方向余弦成分をそれぞれ s_1, s_2, s_3 としたとき、クーロンの基準は

$$\tau = R\sigma + C \quad [1]$$

$$\sigma = s_1^2 \sigma_1 + s_2^2 \sigma_2 + s_3^2 \sigma_3 = (\alpha + \beta + 1)^{-1} (\alpha \sigma_1 + \beta \sigma_2 + \sigma_3) \quad [2]$$

$$\tau = (s_1^2 \sigma_1^2 + s_2^2 \sigma_2^2 + s_3^2 \sigma_3^2 - \sigma^2)^{1/2} = (\alpha + \beta + 1)^{-1} [\alpha \beta (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \beta (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + \alpha (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad [3]$$

と表される。ここに、 R と C はそれぞれ材料の摩擦係数と粘着力であり、また $\alpha = (s_1/s_3)^2$, $\beta = (s_2/s_3)^2$ である。等方性材料のみを考えることにすると、 $\sigma_2 = \sigma_3$ のとき $s_2 = s_3$ すなわち $\beta = 1$ であり、また $\sigma_2 = \sigma_1$ のとき $s_2 = s_1$ すなわち $\beta = \alpha$ である必要があるので、このことを考慮して、

$$\alpha = [(R\sigma_3 + C)/(R\sigma_1 + C)]^k, \quad \beta = [(R\sigma_2 + C)/(R\sigma_1 + C)]^k \quad [4]$$

とおくことを提案している (Yoshimine, 2006)。 k は破壊基準面の方向を決定するモデルパラメータである。このようにおくと、 $R = 0$ の材料に対しては常にフォンミーゼス基準となり、 $k = 0$ に対して拡張フォンミーゼス基準となる。また、 $C = 0$, $k = 1$ は松岡・中井の基準を与える。

茂木清夫先生は1960年代に3主応力条件下での岩石の力学試験を多数行われ、最近出版された書籍で実験データを詳細に報告している (Mogi, 2006)。そこで、ある方向パラメータ k に対して個別の実験での破壊時の主応力成分 ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) のデータを式[2][3][4]に適用して破壊時の σ および τ を計算し、一連の実験での σ と τ の組み合わせが式[1]の線型相関を最もよく近似できる R と C を最小自乗法により求めることができる。ただし式[4]の中にも R と C があるので、繰り返し計算が必要である。図1は色々な方向パラメータ k に対して関係式[1]の相関係数をプロットしたものである。このような作業により、各実験データに対して最も適切なモデルパラメータ k, R, C を決定した。図2は最適な基準面方向パラメータに対する σ と τ の関係をプロットしたものであり、概ね適切に式[1]の線型性が確保されていることがわかる。しかし一軸圧縮条件 ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) を含む低圧部では精度はあまりよくない。また、図3は破壊基準を $\sigma_1 - \sigma_2$ 平面上にプロットしたものである。

なお、破壊基準面の方向パラメータ k を摩擦係数 R と粘着力 C に関連づけることができれば通常の三軸圧縮試験のみで3次元破壊条件が求まることになり便利であるが、今回の考察ではそのような相関を見つけることはできなかった。

参考文献

- Generalized Coulomb's Criterion for 3-dimensional stress conditions, Yoshimine, M., *Soils and Foundations*, Vol.46, No.2, pp.259-266, 2006.
- Experimental rock mechanics, Mogi, K., *Geomechanics Research Series*, Vol. 3, Taylor & Francis, 2006.

キーワード 破壊基準, 3次元応力, 岩

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市基盤環境工学専攻 TEL 0426-77-2773

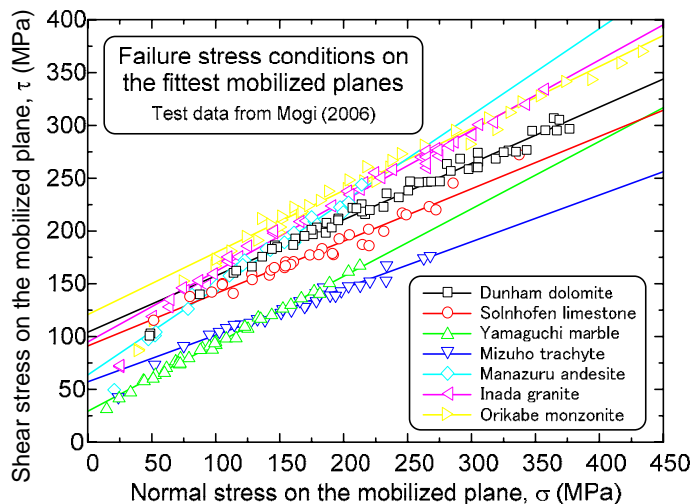
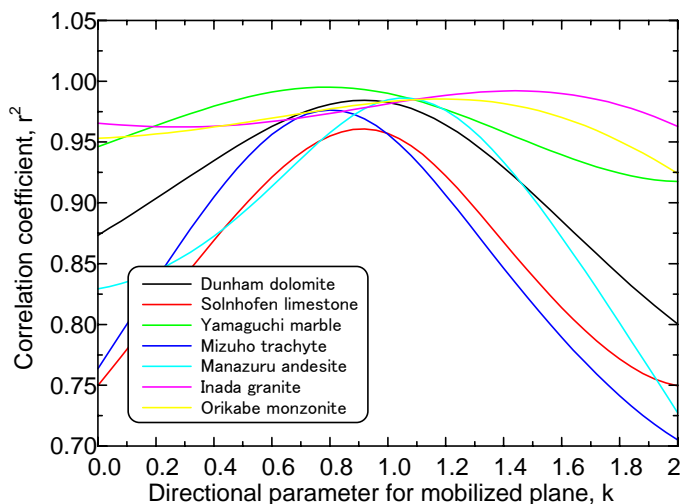


図1 基準面方向に対するクーロン基準の相関係数

図2 最適な破壊基準面に関する σ と τ の相関

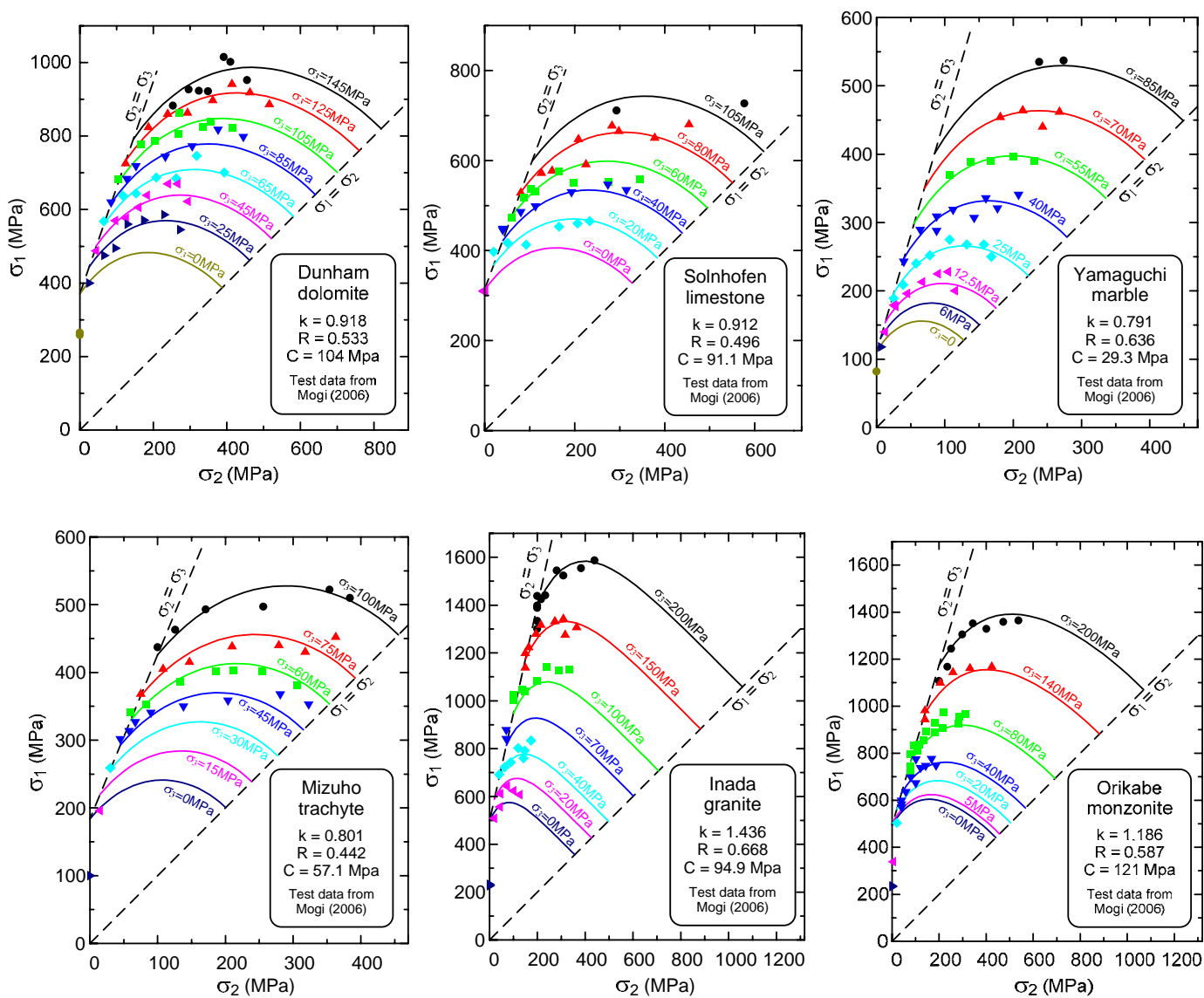


図3 いろいろな岩石の $\sigma_1 - \sigma_2$ 平面上での破壊基準