

Ⅲ - A317

均質化法による岩盤構造物の支持力解析

応用地質東北支社 正会員 長田 隆信
 東北大学工学部 正会員 京谷 孝史
 同上 正会員 岸野 佑次

1. はじめに

本研究は、均質化法と極限支持力解析法を組み合わせ、岩石の力学特性と不連続面分布をもとに岩盤構造物の支持力を評価する方法を提案するものである。古典的な極限支持力解析の枠組みを利用して、均質化法によって、岩盤を等価な異方弾性体に置き換えるとともに、不連続面の存在を反映した巨視的な破壊条件を導入することにより分布不連続面を含む岩盤の構造物の破壊強度評価を行う。こうした枠組みで、岩盤の構造物の破壊強度がどの程度評価し得るのか、不連続面を配置した供試体の強度試験を解析を行ってその適用性を検討した結果を報告する。

2. 極限支持力解析法の枠組み

弾完全塑性体に対し、図1に示すように荷重を比例載荷する問題は、降伏関数を区分線形近似し、有限要素法による離散化を行うことによって、「与えられた節点単位荷重ベクトル $\mathbf{F}$ とそれに対応する弾性応力分布ベクトル $\tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e$ ($\mathbf{B}^T \tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e = \mathbf{F}$) に対して、線形制約条件

$$\begin{cases} \mathbf{N}^T (\alpha \tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e + \tilde{\boldsymbol{\sigma}}^r) - \mathbf{R} \leq \mathbf{0} \\ \mathbf{B}^T \tilde{\boldsymbol{\sigma}}^r = \mathbf{0} \end{cases} \quad (1)$$

のもとで、荷重係数 α を最大にする」線形計画問題となる¹⁾。ここに、 $\mathbf{N}$ は区分線形された降伏面の外向き単位法線ベクトルから成るマトリックス、 $\mathbf{R}$ はそれらに至る距離、 $\mathbf{B}$ は有限要素モデルにおいて全要素応力ベクトル $\tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e$ 、 $\tilde{\boldsymbol{\sigma}}^r$ と外荷重とのつり合い式を表すマトリックスである。したがって、単位荷重系 $\mathbf{F}$ に対する基本弾性応力分布 $\tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e$ と破壊基準さえ適切に決定できれば、不連続性岩盤に適用することができる。

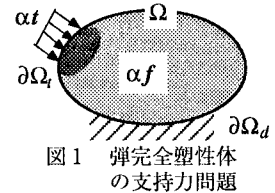


図1 弾完全塑性体の支持力問題

3. 均質化法による岩盤のモデル化と基本弾性応力分布の評価

均質化法によれば、岩盤中に存在する不連続面を薄い弱層として理想化して岩盤の周期的微視構造と捉えることにより、岩盤の巨視的弾性係数は次式で与えられる²⁾。

$$E_{ijkl}^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y \left(E_{ijkl}(y) - E_{ijpq}(y) \frac{\partial \chi_p^{kl}(y)}{\partial y_q} \right) dY \quad (2)$$

上式は微視構造の単位（ユニットセル）についての式であり、 $E_{ijkl}(y)$ はユニットセル内の弾性係数の分布、 $\chi_p^{kl}(y)$ は特性変位関数と呼ばれ、ユニットセルに関する方程式

$$\int_Y E_{ijpq}(y) \frac{\partial \chi_p^{kl}}{\partial y_q} \frac{\partial v_l}{\partial y_j} dY = \int_Y E_{ijkl}(y) \frac{\partial v_l}{\partial y_j} dY \quad \text{for } \forall v_l \in H_0^1(Y) \quad (3)$$

を解くことによって得られる。この均質化弾性係数を用いて与えられた単位荷重系に対するつり合い式を解けば、所望の基本弾性応力分布 $\tilde{\boldsymbol{\sigma}}^e$ が得られることになる。

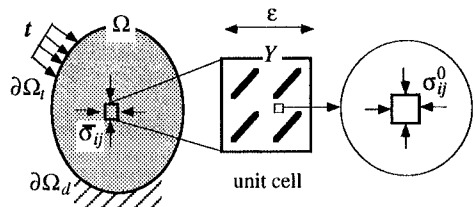


図2 岩盤のユニットセルと局所応力

4. 巨視的降伏基準の導入

不連続面を含む材料の巨視的破壊基準を定める一つの方法を著者らは提案しているが³⁾，ここでは図3に示すように，岩盤基質部の降伏と不連続面方向のせん断による破壊の二種類の破壊を考えた複合破壊曲面として表すことにする。基質部については岩石供試体の室内試験から得られるDrucker-Prager型降伏基準を，不連続面方向のせん断破壊にはMohr-Coulomb型降伏基準を用いている。

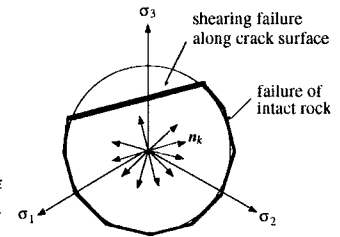


図3 複合破壊基準

5. 数値解析および考察

図4に示す川本ら⁴⁾による石膏供試体の一面せん断試験に提案法を適用した。実験結果を図5に，解析結果を図6に示す。 $c = 10.0 \text{ kg/cm}^2$ ， $\phi = 20^\circ$ としたときの解析結果が拘束圧250kgの場合を除いて実験結果をよく表現している。また， $c = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ ， $\phi = 20^\circ$ と不連続面方向の強度を小さくした時には，不連続面が完全につながった積層体の実験結果に非常に近い結果が得られている。

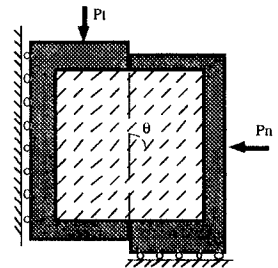


図4 一面せん断試験

6. 結論

不連続面を含む材料の降伏基準を合理的に設定できれば，本提案法は分布不連続面を含む材料の巨視的破壊強度を十分に評価し得ると考えられる。

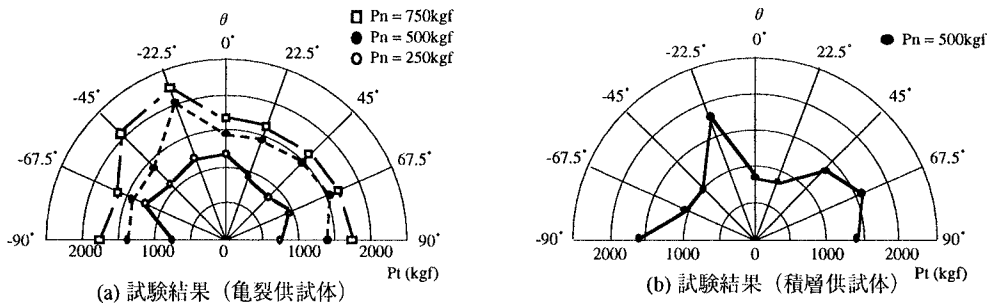


図5 試験結果

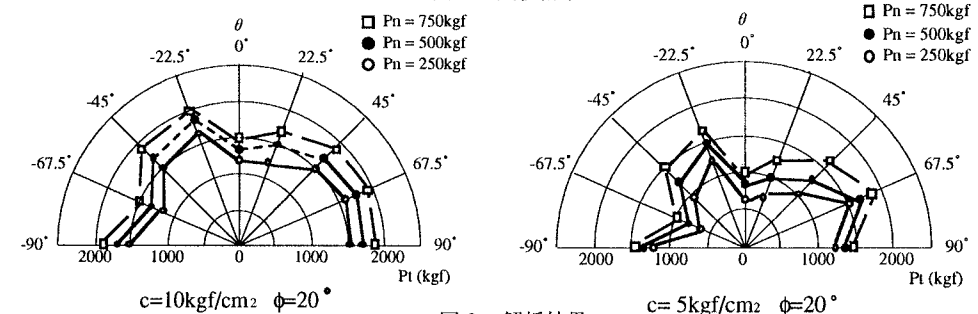


図6 解析結果

参考文献 1) Grierson, D. E., Engineering plasticity by mathematical programming, Proc. NATO ASI, Pergamon Press, pp.93-105, 1977. 2) Guedes, J. M. et al., Computer Method in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 83, pp.143-198, 1990. 3) Kyoya, Terada, Kishino, Proc. Int. Symp. Deformation and Progressive Failure In Geomech., IS-Nagoya, 1997. 4) 川本, 吉田, 材料, 17(181), pp.42-49, 1968.