

微視構造極限解析による岩盤の巨視的強度評価システムの開発

東北大学 学生会員 ○若竹 亮
東北大学 正会員 京谷 孝史
東北大学 正会員 寺田 賢二郎

1. はじめに

岩盤は非均質な材料でありその力学特性は内部の微小要素に支配されている．そのため内部微視構造を考慮した強度評価法が必要であるといえる．その一つとして均質化理論を用いた強度評価法¹⁾が提案されているが，強度を過小評価してしまう傾向がある．

本研究では，微視構造に対して極限解析を行うことで，より実際の岩盤に即した破壊基準を作成し，それを用いた巨視的強度特性評価法を開発する．

2. 本解析法の概要

均質化理論を用いた強度評価法では材料の力学挙動を決める微視構造についてミクロスケール解析を行うことにより，マクロスケールの破壊基準（降伏基準）を評価するというように2つのスケールについて解析を行う．

本研究ではこのようなマルチスケール解析のミクロ解析において極限解析法を適用する．この解析法は剛塑性材料が荷重経路によらず崩壊状態にいたることを利用し，直接崩壊荷重を求める方法である．極限解析には静的可容応力場に基づき最適解を求める下界法と，運動学的可容速度場に基づき最適解を求める上界法があるが，本研究ではこの上界法と下界法を同時に解き最適解を求める混合型剛塑性有限要素法²⁾を用い，微視構造の崩壊荷重（極限荷重）を求める方法を構築した．

このような極限解析法を用いることにより，従来法では微視構造の破壊基準を「ユニットセルのどれか1つの破壊」としていたのを「ユニットセル全体の崩壊」とすることができる．この崩壊状態が発生するときの荷重（極限荷重） $\alpha^* E$ を求めればよい．そして求めた崩壊時のマクロひずみとマクロ応力 Σ^* の関係からマクロ破壊基準を作成し，それを用いて巨視的強度特性評価を行った．またその際，ユニットセルの不連続面は，亀裂のかみ合わせによる剛性上昇を考慮した連続体弱層モデル³⁾を用いた．ミクロ解析のアルゴリズムを図-1に示す．

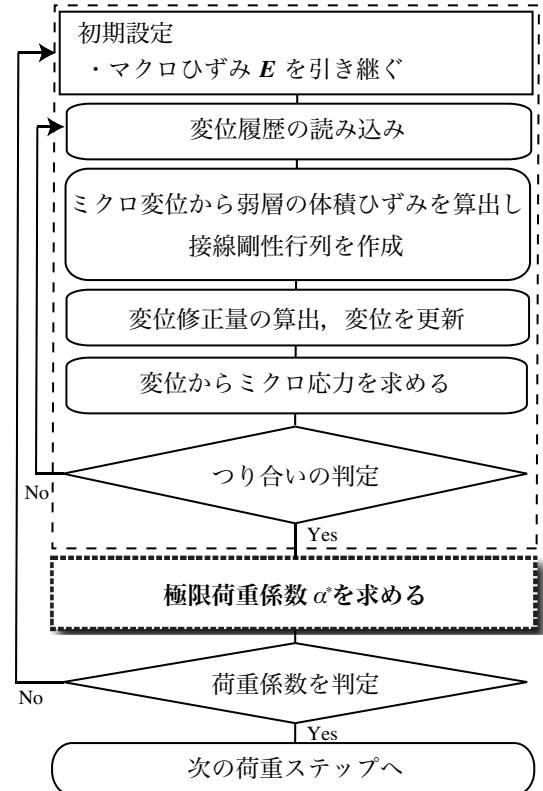


図-1 ミクロ解析アルゴリズム

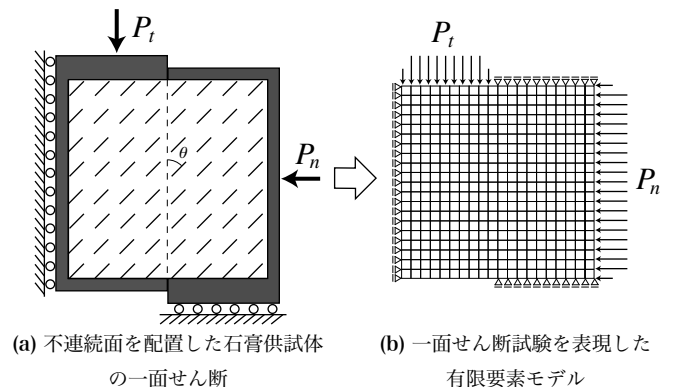


図-2 一面せん断試験とそれをモデル化した有限要素モデル

3. 不連続面を有する石膏供試体の強度特性評価

本解析法を検証するために数値シミュレーション試験を行い，実験値との比較検討を行う．数値試験として図-2(a)に示すような規則的な不連続面を有する石膏供試体の一面せん断試験を行う．

規則的な不連続面を有する微視構造を図-3のよう

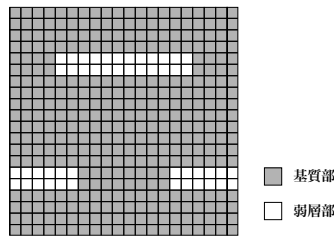
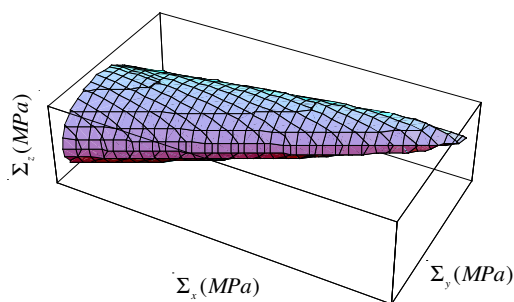


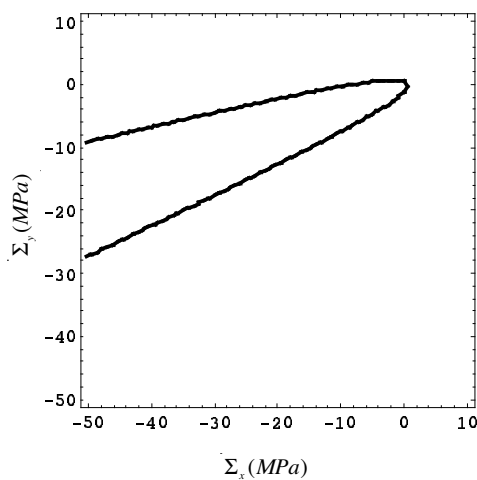
図-3 石膏供試体の解析に用いたユニットセルモデル

表-1 一面せん断試験の解析に用いた基質部の材料物性値

ヤング率	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角
3650 MPa	0.16	3.26 MPa	56.3 °



(a) 3次元曲面

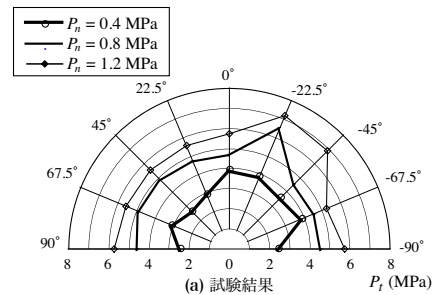


(b) $(\Sigma_x - \Sigma_y)$ 平面

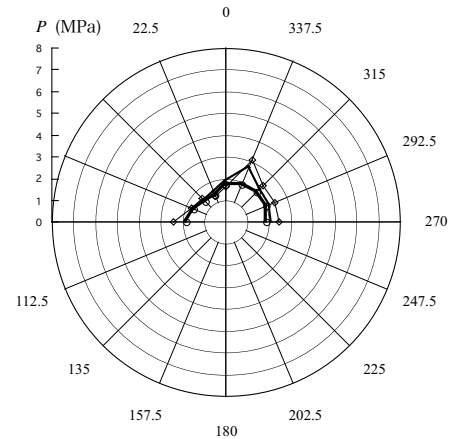
図-4 石膏のマクロ破壊基準

なユニットセルにモデル化し、この微視構造に対してミクロスケール極限解析を行った。その結果、巨視的破壊基準は図-4のようになった。この曲面は二葉双曲面であり破壊基準として妥当であると言える。

一面せん断試験を図-2(b)のような有限要素モデルとし、求めた巨視的破壊基準を用いてマクロスケール極限解析を行った。その結果と実際の石膏を用いた試験を比較したものを図-5に示す。石膏供試体を用いた



(a) 試験結果



(b) 解析結果

図-5 不連続面の角度によるせん断破壊荷重の変化

試験では -22.5° 付近で強度が途出している。これは不連続面の方向が材料内部のせん断応力の方向に沿っているからであると考えられる。一方数値解析の結果を見ると、試験結果と同様の異方性が見受けられる。しかしながら全ての角度において試験結果よりも小さく、また拘束圧による依存も見受けられなかった。

4. おわりに

本解析法では微視構造の破壊を考慮しながら岩盤の巨視的強度を評価する数値解析手法の有効性を示した。しかし応力状態によっては十分に評価しきれていない場合も多々見受けられるため、解析手法のさらなる検討が必要であるといえる。

参考文献

- 1) 京谷孝史, 寺田賢二郎, 欧陽立珠: 岩盤の力学特性と不連続面画像情報による岩盤の変形強度特性評価土木学会論文集, Vol. III-48, No 631, pp.131-150, 1999.
- 2) 小林俊一: 主双対内点法による混合型剛塑性有限要素法の開発, 応用力学論文集, Vol. 6, pp.95-106, 2003.
- 3) 小早川博亮, 京谷孝史: 亀裂に対する連続体弱層モデルを用いた均質化法による岩盤の強度特性評価, 土木学会論文集 C, Vol. 63, No 2, pp.428-440, 2007.