

Ⅲ-56 亀裂のかみ合わせを考慮した不連続性岩盤の強度特性評価法の提案

東北大学	学生会員	○神部	匡毅	正会員	京谷	孝史
	正会員	石井	建樹	学生会員	若生	和則
	学生会員	中村	正紀	フェロー	岸野	佑次

1. はじめに

岩盤構造物の設計に用いる岩盤の強度評価として、簡易で経済的な岩盤強度評価法の構築が望まれている。一つとして均質化法を用いた強度評価法¹⁾が提案されているが、亀裂のかみ合わせによる影響が考慮されていないため強度を過小評価する傾向がある。

本研究は、亀裂の垂直応力に応じて剛性を変化させることによって亀裂のかみ合わせを考慮したモデルと、それを均質化法による岩盤強度評価法に適用した結果について述べる。

2. 亀裂のかみ合わせを考慮した連続体弱層モデル

亀裂は圧縮荷重が作用することにより不連続面がかみ合い、剛性が上昇する傾向を示す。本研究で亀裂のかみ合わせを考慮したモデルを作成するにあたり、連続体弱層モデルを用いる。図-1に示すように、連続体弱層モデルは亀裂周辺の基質部を含んだ範囲を弱層として考える。この連続体弱層モデルが亀裂のかみ合わせによる剛性変化を反映する材料特性を持つ仕組みである。亀裂のかみ合わせによる剛性変化を特徴づけるには、初期剛性、剛性変化の様子、最大剛性の3点が考えられる。この3点を考慮しモデル化を行い、次式のような数値モデル化を行った。

$$E^*(e_v^*) = E_{int} + E_\alpha \times (1 - \exp(-\beta[e_v^*]^n)) \quad (1)$$

$$[e_v^*] = \frac{1}{2}(|e_v^*| - e_v^*) \quad (2)$$

ここで、 E^* は弱層の割線弾性係数、 e_v^* は弱層の体積ひずみ、 E_{int} は初期割線弾性係数、 E_α は、初期割線弾性係数 E_{int} から弱層がなし得る最大の割線弾性係数 E_{max}^* までの上昇量($E_\alpha = E_{max}^* - E_{int}$)、 β と n は剛性変化の様子を示している。これにより圧縮性の変形のみ亀裂のかみ合わせによる剛性上昇が生じ、弱層の割線弾性係数が大きくなり剛性が上昇する様子を表現することができる。

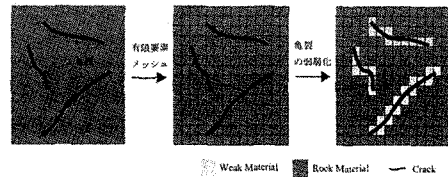


図-1 連続体弱層モデル概念図

3. 連続体弱層モデルの岩盤強度評価法の適用

(1) 解析条件

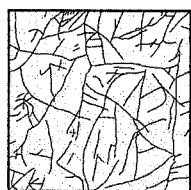
連続体弱層モデルを京谷ら(1999)が提案した均質化法を用いた均質化解析システム¹⁾に組み込み、亀裂のかみ合わせを考慮した岩盤強度評価を数値解析を行う。

解析では図-2に示すようなユニットセル画像データと物性値を用いた。弱層モデルは従来モデルを用いたケースを解析1、かみ合わせを考慮した弱層モデルを用いたケースを解析2とする極限支持力解析はブロックせん断試験を表現した図-3に示すような有限要素モデルで行った。

(2) 解析結果および考察

図-4に解析で求めた巨視的破壊基準面を示す。図-4を見ると、従来モデルを用いた解析1にくらべ、亀裂のかみ合わせを考慮した弱層モデルを用いた解析2の方が全体的に強くなり、特に圧縮側で極めて大きな増加となっている。また、解析1では楕円面であるが、解析2では等方圧縮方向に向けて広がる二葉双曲面になっている。一般に岩盤構造物は等方圧縮方向では破壊しないため、その破壊基準面は二葉双曲面が妥当であると考えられており、亀裂のかみ合わせを考慮した弱層モデルを用いることで岩盤構造物の近い二葉双曲面の破壊基準面を作成することができた。

図-5に極限支持力解析の結果を示す。図-5を見ると、解析1では実験値に比べ三分の一程度の強度であるのに対し、解析2ではほぼ実験値と同等の値を示している。また、解析1では垂直応力に対しせん断応力が低下してしまうが、解析2では垂直応力増加に伴いせん断応力も増加する実験と同じ傾向を示すことができた。このように従来のモデルに比べ、亀裂のかみ合



ユニットセル画像データ

基質部材定数

ヤング率	5680 (MPa)
ポアソン比	0.30
粘着力 c	3.39 (MPa)
内部摩擦角	60°

図-2 ユニットセルデータ

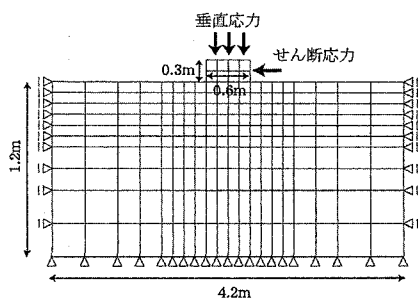


図-3 極限支持力解析有限要素モデル

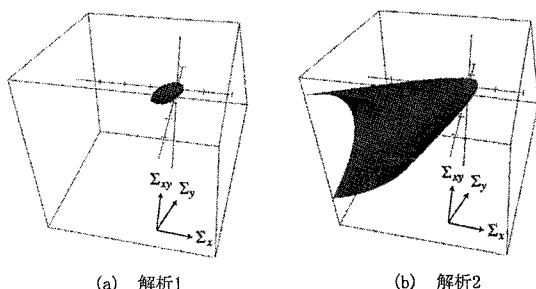


図-4 巨視的破壊基準面 (3次元曲面図)

わせを考慮することによって実験値と近い強度評価をすることができた。

4. 連続体弱層モデルの破壊進展解析

本研究で提案した連続体弱層モデルは引張性の応力には低い剛性を示し、圧縮性には高い剛性を示すという亀裂のかみ合わせによる剛性変化を表現することができる。そこで、亀裂周辺部までを表現している連続体弱層モデルを用い、ひび割れ進展した要素を弱層モデルに置き換えることでひび割れ進展と同じような破壊進展現象を表現できると考えた。これを二次元の有限要素解析に導入し、単一亀裂石膏供試体の一軸圧縮試験について解析を行い実験結果と比較する。

解析結果を図-6に示す。破壊進展の様子について、実験では開口亀裂先端より内側から荷重方向へ進

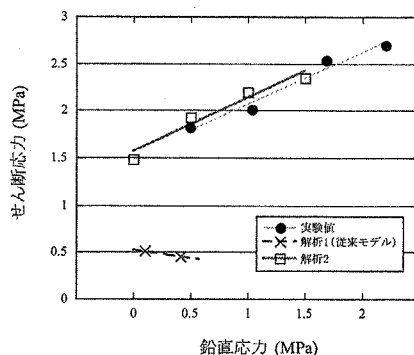


図-5 極限支持力解析結果

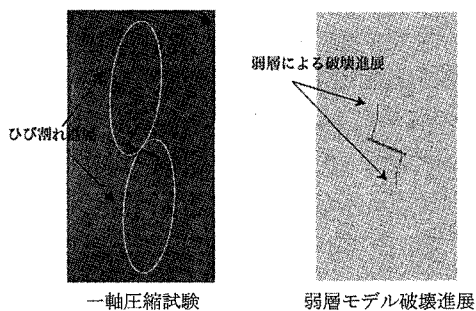


図-6 連続体弱層モデルによる破壊進展状態

展するひび割れが発生し、载荷とともに進展の様子が確認された。解析結果でも同じように開口亀裂先端内側から弱層進展が発生・進展の様子を表現することができた。このように実験におけるひび割れ進展状況について、開口亀裂からひび割れが発生する位置や進展する方向、様子といったひび割れが発生・進展する状況を連続体弱層モデルを用いて表現できる可能性を示した。

5. おわりに

本研究で提案した亀裂のかみ合わせによる剛性上昇を表現した連続体弱層モデルを岩盤構造物の強度評価に適用したことにより、従来のモデルに比べ岩盤の力学特性を正確に求めることができた。また、亀裂の影響を持つ連続体弱層モデルを用いることによって、亀裂進展解析を行える可能性も示し、破壊進展を考慮した岩盤強度評価などへの発展も考えられる。

参考文献

- 京谷孝史, 欧陽立珠, 寺田賢二郎: 岩石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, 第631号/III-48, pp.131-150, 1999.
- S.C.BANDIS: Fundamentals of Rock Joint Deformation, J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, Vol 20 No6, pp249-268, 1983.