

関西大学大学院 学生員○辰巳 新太郎
 (株)大林組 正会員 今井 哲也
 京都大学大学院 正会員 松岡 俊文

応用地質(株) 正会員 杉野 友通
 関西大学工学部 正会員 楠見 晴重

1. はじめに

従来、岩盤不連続面のせん断挙動に対して実験的手法から様々な考察がなされている。しかし、実験によるせん断前後における岩盤不連続面の破壊状況を評価することは可能であるが、せん断中に起こる不連続面の变形状況を観察することは不可能である。そこで本研究では、岩盤不連続面のせん断挙動を個別要素法を用いてシミュレーション解析を行い、せん断時の不連続岩盤に対するその有用性について検討した。

2. 解析概要

個別要素法では、シミュレーション対象を粒子の集合体と考え、各粒子ごとに運動方程式を立てる。各粒子間には仮想ばねが設定されており、粒子間の距離が変化することでフックの法則から復元力が生じる。この運動方程式を解くことで各粒子の挙動を追跡し、集合体全体の力学的挙動を把握する手法である。ただし、本研究では岩盤を対象としているため、距離に比例したボンディング（引張力）を定義している。¹⁾

3. せん断試験シミュレーション結果

本研究では、ソーカット供試体モデルおよび、規則的な歯形形状を有する供試体モデルの直接一面せん断試験について解析を行い、そのシミュレーション結果を考察する。

3.1 ソーカット供試体のせん断試験シミュレーション

図-1 はソーカット供試体モデルのせん断試験解析結果である。平滑な不連続面に沿ってせん断が進行していることがわかる。図-2 はせん断試験解析結果から得られたせん断応力-せん断変位曲線を示している。せん断応力はピークに達した後にほぼ一定の値となっていることがわかる。このことより、摩擦によるせん断抵抗が発揮されていると考えられる。また、垂直応力の増加に伴うせん断応力の増加から、垂直応力の依存性が個別要素法を用いて表現され、本個別要素法モデルの有効性が認められた。

3.2 規則歯形供試体のせん断試験シミュレーション

図-3 は、歯型傾斜角 $i=15^\circ$ の規則歯形供試体のせん断試験シミュレーション結果を示す。この図より、規則的なラフネスに沿って滑り上がりが生じている様子が明瞭に表現されている。図-4 は、歯形歯型傾斜角 $i=15^\circ$ の供試体によるせん断応力-せん断変位曲線を示している。ソーカット供試体の場合と同様に、せん断応力はピークに達した後にほぼ一定の値となっていることから、同一の供試体モデルを用いた実験

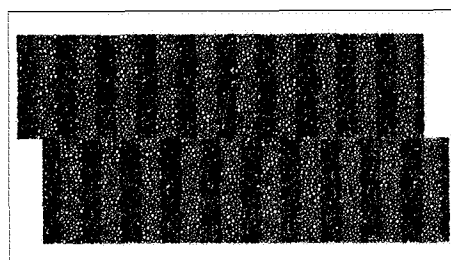


図-1 ソーカット供試体せん断解析

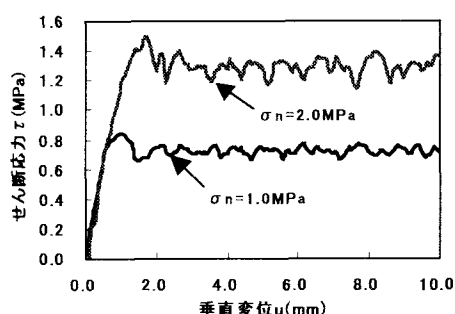


図-2 ソーカット供試体モデルによるせん断応力-せん断変位曲線

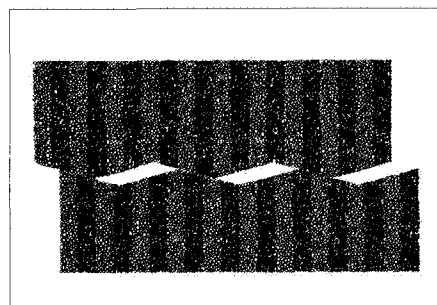


図-3 規則歯形供試体せん断解析 ($i=15^\circ$)

結果¹⁾とよく一致していることがわかる。

3.4 ダイレーション挙動

図-5 は、歯型傾斜角 $i=15^\circ$ 及び $i=30^\circ$ を有する供試体モデルの垂直変位-せん断変位曲線を示す。初期の段階では、いずれの条件下においても圧縮の挙動とり、さらにせん断変位が進むに伴い圧縮から膨張へと変化していることが認められる。これは、せん断変位が進むに伴って、歯形に沿って滑り上がりが生じたことを精度良く表現できたものと考えられる。また、垂直応力が大きくなるほどダイレーション挙動が小さくなる傾向が見られ、垂直応力の依存性を有効に表現できていることがわかる。さらに、低拘束圧下ではダイレーション角が歯形傾斜角とほぼ一致し、歯型傾斜角 $i=15^\circ$ 及び $i=30^\circ$ を比較すると歯形傾斜角と同様に約2倍になっていることがわかる。これより、個別要素法を用いて歯形傾斜角の影響をよく表現できていると考えられる。

3.3 破壊基準線

図-6 は、ソーカット供試体及び、規則歯形供試体のせん断試験解析より得られた破壊基準線を示す。歯型傾斜角 i の規則歯形供試体において、不連続面に生じるせん断強度 τ_p と垂直応力 σ_n は次式で与えられる。

$$\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_b + i) \quad (1)$$

せん断解析により得られた破壊基準線のそれぞれの内部摩擦角 ϕ を求め、歯形傾斜角 i と式(1)より基本摩擦角 ϕ_b を求めた。表-1 は、この結果より得られた基本摩擦角 ϕ_b を示す。それぞれのモデルにおいて基本摩擦角 ϕ_b がよく一致していることがわかる。このことより、本解析は不連続面を有する岩盤のせん断破壊機構を有効に表現できていると考えられる。

4. まとめ

個別要素法を用いてモデル化した、ソーカット供試体及び規則歯形供試体のせん断試験シミュレーションを行った結果、その挙動をほぼ定性的に表現することができた。このことより、岩盤に対する個別要素法の有意性が確認できた。今後は、JRC 供試体などのさらに複雑な表面形状を持つものについてシミュレーション解析を行う。

参考文献

- 1) 杉野友通、楠見晴重、芦田譲：ボンディングを用いた個別要素法による岩石供試体のせん断解析, 平成 13 年度土木学会関西支部年次学術講演概要集, III-40, 2001
- 2) 楠見晴重、寺岡克己、谷口敬一郎：規則的な不連続面のダイレーション特性, 土木学会論文集, No, 430/III-15, pp125-133, 1991

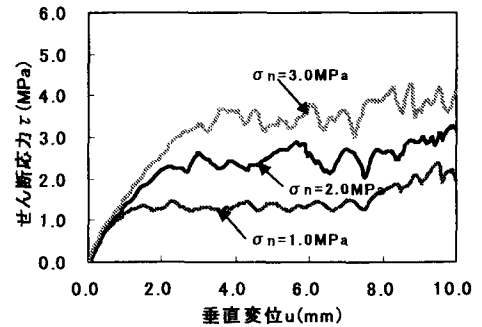


図-4 規則歯形供試体 ($i=15^\circ$) におけるせん断応力-垂直変位曲線

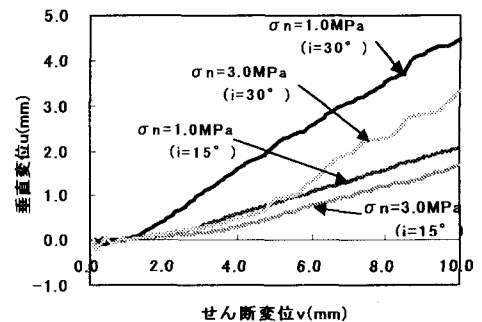


図-5 垂直応力-せん断変位曲線 ($i=15^\circ, 30^\circ$ 、 $\sigma_n=1.0, 3.0\text{MPa}$)

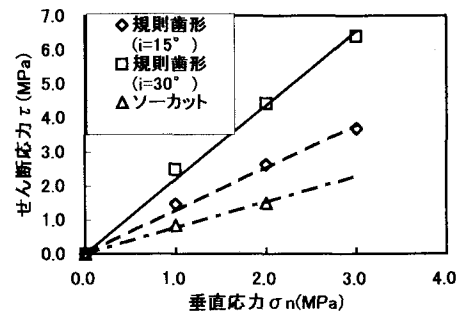


図-6 破壊基準線

表-1 基本摩擦角 ϕ_b

	$\phi (= \phi_b + i) (^\circ)$	$\phi_b (^\circ)$
ソーカット	—	37.5
規則歯形 ($i=15^\circ$)	51.7	36.7
規則歯形 ($i=30^\circ$)	65.4	35.4