

Ⅲ - B341

個別要素法による地盤の切削シミュレーション

日立造船(株) 技術研究所

(株)CRC総合研究所

日立造船(株) 技術研究所

正会員 清水 賀之

正会員 梶原 辰雄

正会員 佐々木加津也

1. はじめに

地盤解析技術のひとつとして、個別要素法を地盤（土）の切削解析に適用した。従来から、地盤の切削問題に関しては、切削理論を用いた推定法や、FEMを用いた解析が行われているが、これらは地盤を連続体として扱っているため、切削による地盤のせん断破壊後の挙動あるいは力学的な特性まで十分に追従することが難しい。個別要素法は、個々の粒子をひとつの要素として考え、それぞれの粒子に作用する力からその運動を追跡していくため、解析に用いるパラメータを対象とする地盤に合わせることができれば、その地盤（粒子群）の切削破壊挙動を追従することが可能と考えられる。そこでまず、計算パラメータを系統的に変えた圧縮試験シミュレーションを行い、解析結果を地盤試料の3軸圧縮試験結果と比較し適切な計算パラメータを求めた。次に、得られたパラメータを用いて切削シミュレーションを行った。切削シミュレーションでは、ビットのすくい角を変えて切削特性を検討するとともに、実験結果との比較を行った。なお解析は汎用個別要素法解析コードPFC-2Dを使用した。

2. 圧縮試験シミュレーション

図1に解析モデルならびに解析手順を示す。解析モデルは2次元で、幅および高さをそれぞれ実際の試料の直径および高さ（幅5cm、高さ10.95cm）とした。解析では、まず直径が1.0ないし1.4mmの粒子（粒子数：4114個）を空隙率0.150で充填し、さらに所定の側圧となるように四方の壁を制御し初期状態を作成した（図1（a））。実際の試料は、ゴムスリーブに覆われた状態で側圧が作用している。この状況を再現するために、載荷時には壁の代わりに左右側面に存在する粒子群を接着力でつなぎ、その粒子群の最外部分に存在する粒子に側圧に相当する力を作用させた（図1（b））。載荷は、最外部の粒子群に側圧に相当する力を与えながら、上下の壁を一定の載荷速度（2cm/s）で押した（図1（c））。

表1に、解析と比較した実験地盤の物性を示す。また表2に、作成した地盤の3軸圧縮試験結果を示す。地盤は、不飽和であり粒子間の空隙水により見かけの粘着力が発生する。この粘着力は、接着力で与えた。また、粒子間ばね定数は、解析結果が試験結果の変形係数 E_0 に良く一致するように設定した。なお粒子間摩擦係数は0.5とした。

図2に、解析結果および応力歪み特性を示す。また表3にこのときの計算パ

表1 実験地盤の物性

比重量	2641kgf/m ³
d ₅₀	130μm
均等係数	1.8
間隙比	0.763
空隙率	0.433
飽和度	47.1%

表2 3軸圧縮試験結果

側圧 kgf/cm ²	0.5	1.0	2.0	3.0
E_0	168.3	255	300	350
E_{50}	87.4	212.3	259.9	327.1

粘着力C	0.8kgf/cm ²
内部摩擦角φ	33°
tan φ	0.649

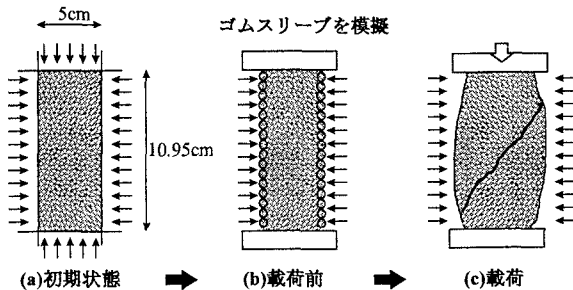


図1 解析モデルおよび手順

キーワード：個別要素法，切削シミュレーション，圧縮試験シミュレーション

連絡先： 〒551 大阪市大正区船町2-2-11 TEL 06-551-9424 FAX 06-551-9849

〒541 大阪市中央区久太郎町4-2-1 TEL 06-241-4123 FAX 06-241-4257

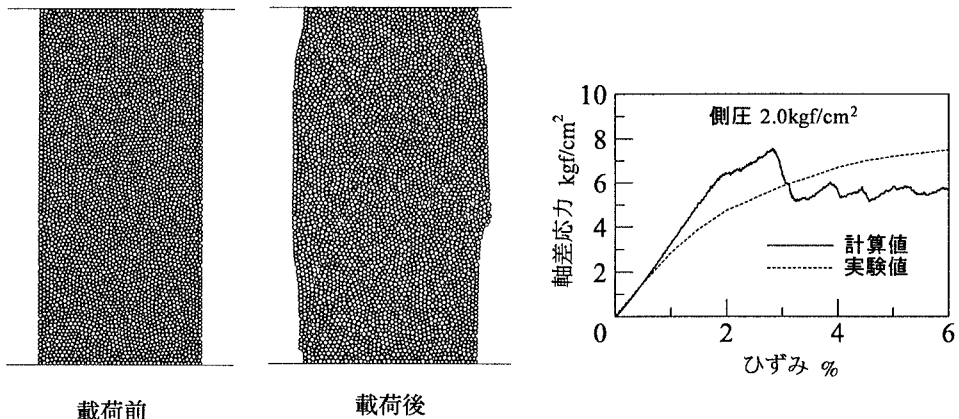


図2 圧縮試験シミュレーション解析結果（側圧 2.0kgf/cm²）

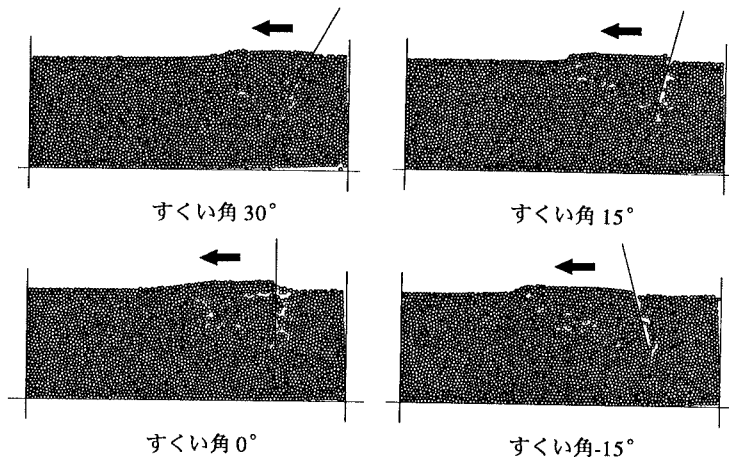


図3 切削シミュレーション解析結果

表3 計算パラメータ

粒子径	1.0-1.4mm
比重量	2641kgf/m ³
ばね定数 kn	1000kgf/cm
ばね定数 ks	300kgf/cm
粒子間摩擦係数	0.5
接着力 bn	0.3kgf
接着力 bs	0.5kgf

表4 実験結果との比較

実験結果	計算結果
23.5	ピーク値 29.2 平均値 6.7(1s)

単位：gf/mm²
（単位幅，単位切込深さ当たり）

ラメータを示す。

3. 切削シミュレーション

計算パラメータは、上述の圧縮試験シミュレーションにて決めた値（表3）を用いた。解析モデルは、幅120mm、高さ40mmの領域に、粒子群（約3600個）を空隙率0.150で充填した。切削ビットの刃に相当する壁は、あらかじめ初期位置に設置した。初期状態を作るために、圧縮試験シミュレーションと同じ方法で、周囲を壁で拘束し0.05kgf/cm²の側圧を作用させた。この状態で上部の壁を取り外し、切削ビットを所定の速度で動かして、そのときの粒子群の挙動並びに切削ビットに作用する力を追跡した。計算は、すくい角を変えて計算を行った。切削速度は、実験での切削ビットの速度とほぼ同じ2cm/sとした。切削深さは、粒子径が実物より大きいことを考慮し20mmとした。

図3に、すくい角がそれぞれ30、15、0、および-15°の場合の解析結果を示す。粒子塊が切削ビットにより破断している状況がわかる。粒子塊の破断角（水平面に対する）は、すくい角が小さくなるにつれ小さくなっていく。また、表4に実験結果と計算結果の比較を示す。ピーク値で見ると実験結果と解析結果はほぼ同じ値を示す。

4. まとめ

個別要素法を地盤（土）の切削解析に適用し、実験結果との比較を行った。その結果、地盤の力学的・強度特性等のデータから個別要素法に用いる計算パラメータを適切に選ぶことができれば、切削力等の負荷特性を推定できることがわかった。また本解析手法は、切削破壊後の挙動を追跡できる点および複雑な形状の切削ビットにも適用ができる等の長所を持っており、種々の機械の地盤切削問題に対して適用できるものとする。