

3次元個別要素法の入力パラメタと発揮される強度の関係について

武蔵工業大学 学生会員 ○柴 広和
 東電設計㈱ 正会員 中瀬 仁
 東京電力㈱ 正会員 末広俊夫
 東京電力㈱ 正会員 高橋 聡
 武蔵工業大学 正会員 吉田郁政

1. はじめに

近年の設計法では限界状態の照査が重要視される傾向にあり、変形性能照査の重要性が増している。変形量が小さければ有限要素法も有効であるが、ある程度大きくなると適応性に限界が生じる。本研究では、比較的簡単な構成式で複雑な大変形挙動を再現できる可能性がある個別要素法¹⁾に注目する。難点としては時間刻み Δt を小さくする必要があり一般に計算時間が膨大になるという問題がある。また、入力パラメタと発揮される変形特性・強度特性の関係が明らかでないという問題もある。前者については最近の計算機能力の飛躍的向上により克服されつつある。そこで、本研究では個別要素法を用いた三軸圧縮試験シミュレーションを行い、粒径、均等係数、摩擦角、転がり摩擦等の入力パラメタと発揮される強度の関係について基本検討を行う。

2. DEMによる三軸圧縮試験のシミュレーション

実施した三軸圧縮試験のシミュレーションの手順を簡単に述べる。1)平均半径、及び均等係数に従って要素を発生させる。2)重力を作用させて安定するまで放置する。これをパッキングと呼ぶ。3)拘束圧 50KPa を供試体に作用させる。4)軸力を作用させる。要素発生から重量落下にいたる様子を図-1 に示す。DEM 解析に用いるパラメタには、平均粒径(直径)、均等係数、法線方向バネ係数、接線方向バネ係数、摩擦角、転がり摩擦角など様々なものがある。このうちパッキング時のパラメタである摩擦角 ϕ_p 、転がり摩擦 μ_p の値を大きくすると粗な供試体ができ、小さくすると密な供試体ができる。つまり、パッキング時の入力パラメタを変化させることで初期間隙比を調整することができる。これらに加え、強度との関係が深いと考えられる平均粒径、均等係数、圧縮時摩擦角、圧縮時転がり摩擦角に注目し、表-1 に示す範囲で入力パラメタを設定して45ケースの解析を行い発揮される強度(ひずみ1.5%以下で発揮される最大軸差応力)との関係を調べた。

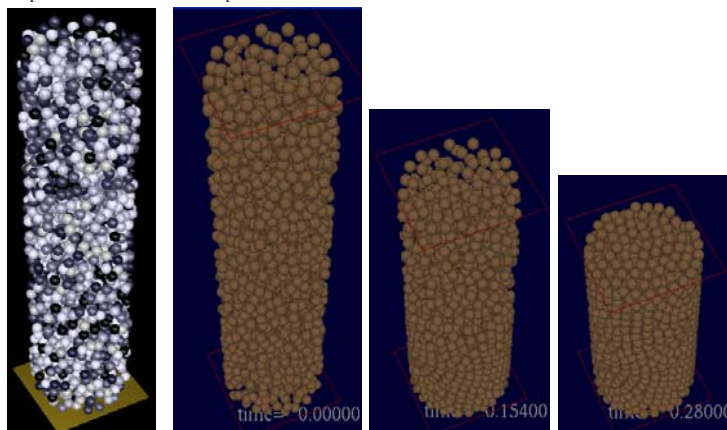


図-1 重力落下の様子

表-1 設定したパラメタの値

粒径 (cm)	均等 係数	パッキング時		圧縮時	
		摩擦角	転がり摩擦	摩擦角	転がり摩擦
2	1.2	0, 10, 20, 30	0, 0.05, 0.1	30	0.1
1.5	1	0, 10, 20, 30	0, 0.05, 0.1	30	0.1
1	1.2	0, 10, 20, 30	0, 0.05, 0.1	30	0.1
1	1.2	0, 10, 20, 30	0, 0.05, 0.1	0, 10, 20, 30	0, 0.05, 0.1

3. 発揮される強度と入力パラメタの関係

初期間隙比 e は強度への影響が大きいと予想されることから、まずパッキング時の入力パラメタと初期間隙比 e との関係を調べた。パッキング時摩擦角 ϕ_p と間隙比 e との関係を図-2 に示す。図より均等係数の影響は小さいことがわかり以下の検討ではその影響は無視した。図-2 の粒径1cm 均等係数1、摩擦角0のケースを基準とし、各転がり摩擦ごとに間隙比の比を求めた。この間隙比の比と転がり摩擦 μ_p の関係を図-3 に示す。おおよそ線形に右上がりの関係があるため、最小二乗法を用いて図中に示す1次式を求めた。次にこの近似式を用いて転がり摩擦の影響を除去した基準化間隙比を算定し、粒径 D との関係を図-4 に示す。これについてもほぼ線形で右上がりの傾向がみられており、図中の1次式でモデル化する。これら2つの式を用いて転がり摩擦、粒径の影響を除去した基準化間隙比と摩擦角 ϕ_p の関係を図-5 に示す。これについては非線形の関係が見られたため図中に示す非線形関数を用いてモデル化した。以上、まとめると転がり摩擦 μ_p 、粒径(直径) D 、摩擦角 ϕ_p と初期間隙比 e の関係式を求めることができる。これを式(1)として示す。

キーワード：個別要素法、強度特性、間隙比、三軸圧縮試験

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 都市工学科 TEL.03-3703-3111

$$e = (1.0746\mu_p + 0.9333)(0.7889D + 0.2157)(0.0713\phi_p^{0.347} + 0.787) \quad (1)$$

式(1)を用いてパッキング時の入力パラメタから初期間隙比を推定した結果と実際の間隙比の関係を図-6に示す。大変よい重相関係数が得られており、設定した範囲であればほぼ適切に間隙比を推定できることがわかる。

次にDEMシミュレーションから得られた軸差強度と間隙比の関係を図-7に示す。軸差強度 P に関しても間隙比の場合と同様に入力パラメタとの関係式を求めた。間隙比、圧縮時摩擦角 ϕ_c 、圧縮時転がり摩擦 μ_c と軸差強度 P との関係式を以下に示す。

$$P = (22.59\mu_c + 1.08)(0.15\phi_c^{0.83})(-34.16\ln(e) + 11.03) \quad (2)$$

図-8に式(1)及び(2)を用いて入力パラメタから推定した軸差強度と実際の値の比較を示す。おおむね良好な推定となっており入力パラメタから発揮される軸差強度の推定も可能であることがわかる。

5. まとめ

入力パラメタに関するDEM解析のパラメタスタディの結果より供試体の初期間隙比及び発揮される強度との関係式を求めた。しかし、パラメタスタディの検討範囲、ケース数は十分ではなく今後さらに入力パラメタに関する検討ケースを増加させて解析を実施し、有効範囲を広げる必要がある。

参考文献 1) 伯野元彦：破壊シミュレーションー拡張個別要素法で破壊を追うー，森北出版株式会社，1997

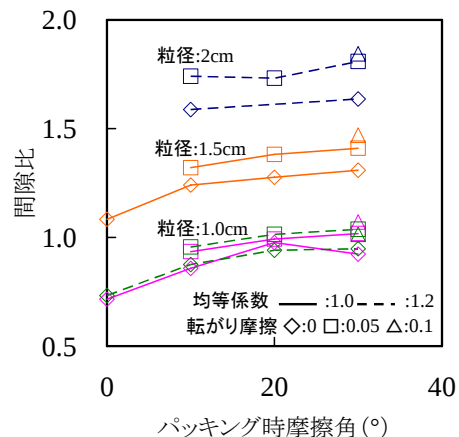


図-2 摩擦角と間隙比の関係

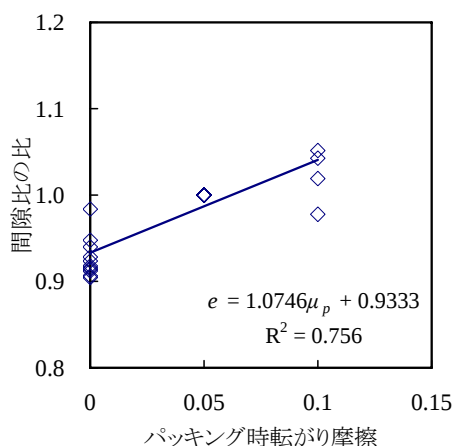


図-3 転がり摩擦と基準化間隙

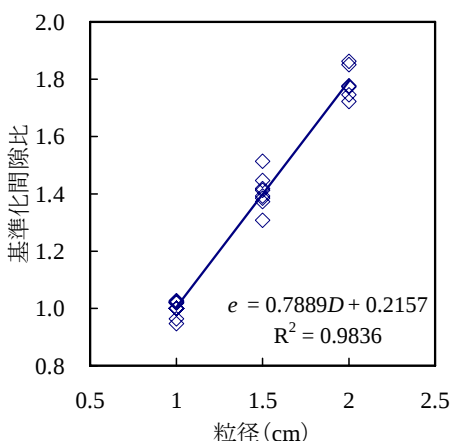


図-4 粒径と基準化間隙比

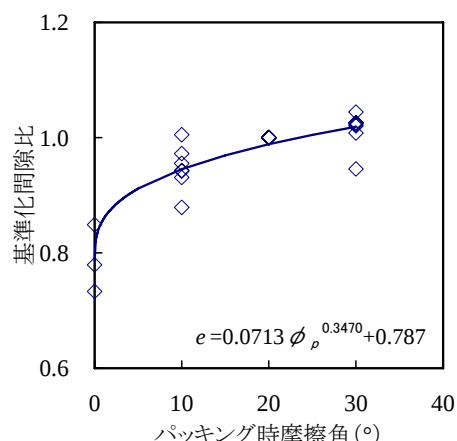


図-5 摩擦角と基準化間隙比

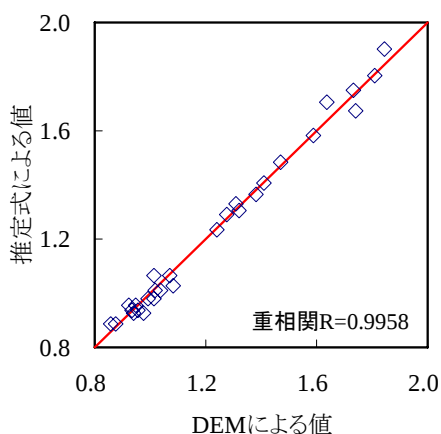


図-6 間隙比推定式の再現性

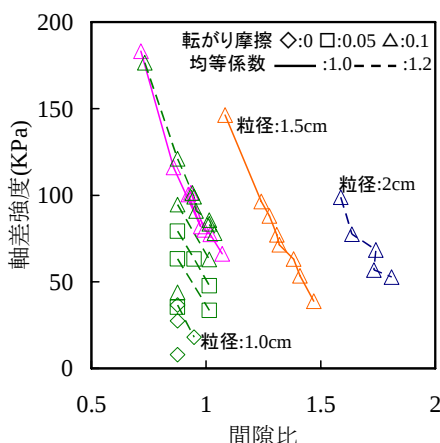


図-7 軸差強度と間隙比

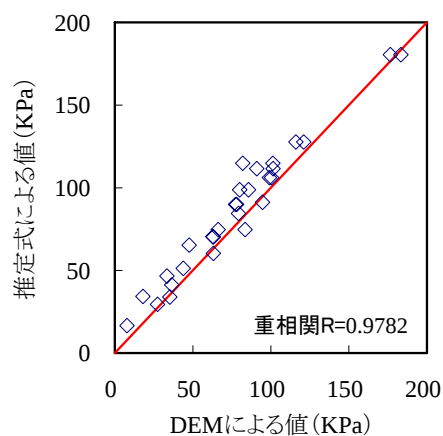


図-8 強度推定式の再現性