個別要素法による固結粒状材料の一軸圧縮試験シミュレーション

- (独) 労働安全衛生総合研究所 正会員 〇吉川 直孝
- (独) 労働安全衛生総合研究所 正会員 堀 智仁
- (独) 労働安全衛生総合研究所 正会員 伊藤 和也
 - 日本大学生産工学部 正会員 三田地 利之

1. はじめに

岩石の挙動を個別要素法(DEM)にて忠実に再現するためには、パラメーターの決定方法が重要である。本研究 グループは、弾性波速度および一軸圧縮強度から、DEMの主なパラメーターである球要素の剛性、パラレルボンド の剛性と強度を決定する方法を提起している¹⁾。実験に用いた供試体は、軟岩を模擬するため、薬液により固結さ れた豊浦砂(以下、固結粒状材料と呼称)である。供試体のP波、S波速度の計測には、ベンダーエレメント試験 を用い、母材である豊浦砂と固結粒状材料の弾性波速度をそれぞれ計測した。本報では、計測結果から得られた値 を入力した一軸圧縮試験シミュレーションが、実験時の応力ひずみ関係の初期勾配をよく表現することを示す。

2. ベンダーエレメント試験および一軸圧縮試験

DEM の球要素の剛性およびパラレルボンドの剛性と強度を決定するため、ベンダーエレメント試験および一軸圧縮試験を行った。

2.1 供試体作製方法

母材の供試体は、豊浦砂 (ρ_s = 2650 kg/m³, e_{max} = 0.985, e_{min} = 0.611)を用いて、空中落下法により作製し、相対密度は D_r = 45 % (e= 0.817)となった。また、固結粒状材料の供試体は、薬液により母材を固結化させて作製した。

供試体作製方法は、予め薬液 をモールド内に入れ、そこに 母材である豊浦砂を相対密度 D_r = 40%となるよう空中落下 により試料を堆積させた。養 生日数については21日(3週 間)以上とした。供試体寸法 は直径50mm、高さ100mmで ある。同条件で供試体を4つ 作製し、ベンダーエレメント 試験および一軸圧縮試験を行 った。

2.2 ベンダーエレメント試験

ベンダーエレメント試験は, P 波および S 波速度の計測が 可能である。図 1, 図 2 に母 材および固結粒状材料の実験 結果を示す。これらの結果か ら,弾性波速度をそれぞれ求 めた。



キーワード 個別要素法,弾性波速度,ベンダーエレメント試験,一軸圧縮試験,固結粒状材料 連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 (独)労働安全衛生総合研究所 TEL 042-494-6296

表1 DEM パラメーター

$ ho_s$	2650 kg/m ³
Kn	5.1×10^{5} N/m
Ks	$2.2 \times 10^{5} \text{N/m}$
μ	0.5
α	0.7
$\overline{\lambda}$	1.0
$\overline{\kappa_n}$	$2.3 \times 10^{11} \text{ N/m}^3$
$\overline{K_s}$	$1.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^3$
$\overline{\sigma_c}$	$1.6 \times 10^{6} \text{ N/m}^{2}$
τ_c	$1.6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
	$ \begin{array}{c} \rho_s \\ \kappa_n \\ \kappa_s \\ \mu \\ \overline{\lambda} \\ \overline{\lambda} \\ \overline{\kappa_n} \\ \overline{\kappa_s} \\ \overline{\sigma_c} \\ \overline{\tau_c} \end{array} $

2.3 一軸圧縮試験

固結粒状材料に対する一軸圧縮試験は,岩石の一軸圧縮試験方法 (JGS2521-2009)に従って実施した。なお,軸ひずみ速度は1%/min とした。

3. 個別要素法(DEM)による一軸圧縮試験シミュレーション

実験結果から, DEM のパラメーターを決定し¹⁾, それらを用いた 解析を行った。解析に使用した各パラメーターを表1に示す。

3.1 供試体作製方法

母材が緩く堆積した,相対密度の低い供試体を再現するため, Shintani *et al.* (2006)²⁾を参考に,図3に示す球要素を2つ剛結させた クランプ (Clump)を1つの粒子とした。DEM 解析においても図4(a) に示すように,粒子モデルを空中落下させ²⁾,モールド内に堆積させ た後,直径50mm,高さ100mmの領域外にあるクランプ粒子を削除 し,パラレルボンドを付加することによって供試体を作製した(図 4(b))。母材の間隙比は,*e*=0.836となった。

3.2 一軸圧縮試験

下部加圧板を 0.02m/sec の速さで上昇させ、供試体を加圧した。

3.3 実験結果と解析結果の比較

図5に一軸圧縮試験の実験結果とDEMによる解析結果を示す。応 カ-ひずみ関係を比較すると、実験結果と解析結果の初期勾配がほぼ 一致している。実験結果では、軸ひずみ 0.3~0.5%の範囲で勾配が緩 やかになっている。これは上部加圧板が球座で回転できる構造とな っているため、供試体と加圧板が馴染む過程だと推察される。実験 結果から、4つの供試体の平均一軸圧縮強度は406kPaであった。DEM 解析では、パラレルボンドを変化させて、一軸圧縮強度を実験結果 と適合させた。その結果、表1に示すように、パラレルボンドの強 度は一軸圧縮強度のおおよそ4倍となった。

4. まとめ

弾性波速度から得られた球要素とパラレルボンドの剛性を入力す ると、一軸圧縮試験の初期勾配をよく表現できる。今後は、破壊後 の挙動を実験結果と対応させていく必要がある。

参考文献

1) 吉川直孝ほか:弾性波速度と一軸圧縮強度による固結粒状材料の個別要素法パラメーターの決定法に関する検討,第46回地盤工学研究発表 会講演概要集(投稿中) 2) Shintani, T. *et al.*: Parametric study on push-up loading of sand plug in open-ended pipe pile using DEM, Geomechanics and Geotechnics of Particulate Media, IS-Yamaguchi'06, pp. 253-259, 2006.



図3 2つの球要素を剛結した粒子モデル²⁾



(a) 空中落下法により粒子を堆積させる。



(b) パラレルボンドを付加後,モールド除去。図4 一軸圧縮試験の供試体作製方法

