

III-97

個別要素法による落し戸実験のシュミレーション

千葉工業大学（院） ○梶山 孝司
 千葉工業大学 清水 英治
 千葉工業大学 渡辺 勉
 前田建設工業㈱ 松井 幹雄

1. はじめに

Cundall による個別要素法（Distinct Element Method 以下、DEMと略す）¹⁾は、砂のような粒状体の変形問題の解析法として有効であると考えられる。本研究は、砂質土（豊浦標準砂）を用いて落し戸実験を行い、地盤の緩みとともに生じるアーチ作用について研究を行っている。そこで、DEMによるシュミレーションを試み、実験値と比較しDEMの妥当性を検討してみた。

2. 解析モデルと解析条件

図-1に落し戸実験の解析モデルを示す。実験に使用している土槽寸法は、幅150cmであるが、モデルでは円要素数を減らすため幅110cmとした。土槽の側壁は線要素⑭⑮、底版は線要素①②⑫⑬および落し戸は線要素③～⑪とし、線要素③～⑪を同時に降下させることにより落し戸実験をモデル化する。実験では土圧計を図-4に示すように設置しており、それぞれ線要素②③⑤⑦⑨⑪⑫と土圧計①②③④⑤⑥⑦が対応している。円要素は図-1に示すように規則的に配置し、実験において試料は密な状態であるので、円要素の配列も間隙が最も少なくなるように円要素間の接触角を 60° とした。表-1に解析に用いた材料定数を示す。これらの定数は、演算時間を考慮し文献を参考²⁾にしながら決定した。また、密度は単位体積重量が実験値と等しくなるようにした。表-2に解析条件と実験条件の比較を示す。最初に、円要素を配置し無載荷状態でパッキングを行い、全ての円要素が安定状態になるのを確認してから線要素③～⑪を同時に降下させる。また、時間増分は $1.0 \times 10^{-5}(\text{sec})$ とした。

3. 解析結果と実験値との比較

図-2(a), (b)および図-3(a), (b)は、それぞれDEMおよび実験値における落し戸降下量と増加・減少割合の関係を示している。増加・減少割合とは、落し戸降下時の値を初期土被り荷重（静止土圧）で除し、無次元化したものである。また、全作用力とは落し戸に作用する全荷重のことで、解析モデルでは線要素③～⑪の合計である。解析モデルは規則的な配列のため、線要素②と⑫、③と⑪、⑤と⑨は等しく、図-2では線要素⑤と⑨は省略してある。図-2(a)(DEM)より、落し戸に作用する荷重は落し戸の降下とともに急激に減少し、落し戸上の土圧分布は、落し戸中心か

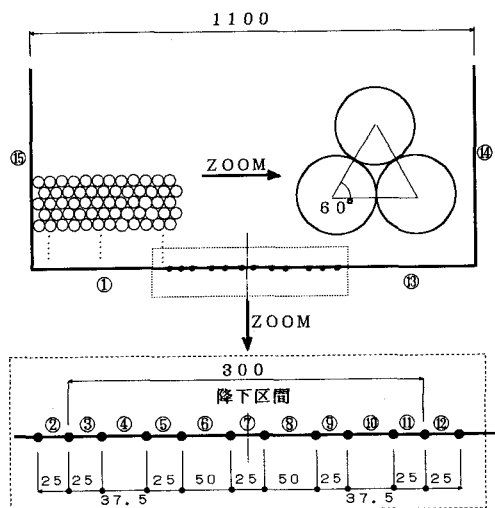


図-1 落し戸実験解析モデル

表-1 解析に用いた材料定数

	円-円要素	円-線要素
ばね係数 $K_n(\text{gf/cm})$	1.0×10^5	2.0×10^5
ばね係数 $K_s(\text{gf/cm})$	2.5×10^4	5.0×10^4
粘性係数 $\eta_n(\text{gf}\cdot\text{s/cm})$	5.27×10^2	10.54×10^2
粘性係数 $\eta_s(\text{gf}\cdot\text{s/cm})$	2.64×10^2	5.27×10^2
摩擦係数 $\tan \phi$	0.57735	0.26795
密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$	1.7676	

表-2 解析条件と実験条件との比較

	DEM	実験
落し戸幅 $B(\text{cm})$	30.0	30.4
試料高さ $H(\text{cm})$	30.44	30
単位体積重量 (gf/cm^3)	1.62	1.6
落し戸降下速度 (cm/min)	10	0.1
円要素半径 (cm)	0.5	平均0.02
円要素個数	3833	—

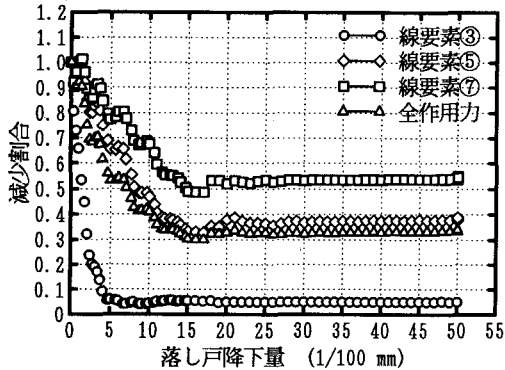


図-2 (a) 落し戸降下量と減少割合

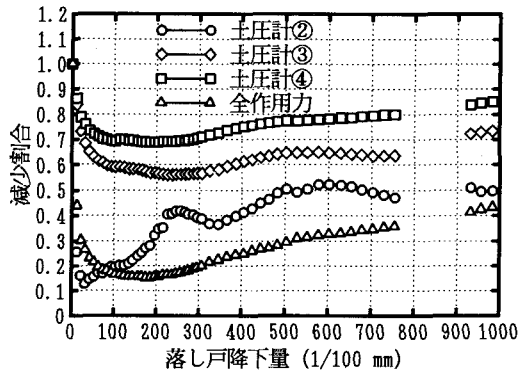


図-3 (a) 落し戸降下量と減少割合（実験値）

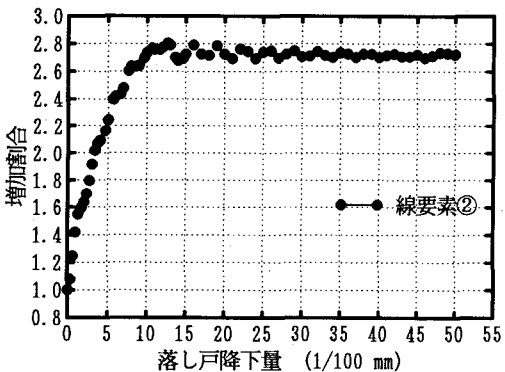


図-2 (b) 落し戸降下量と増加割合（DEM）

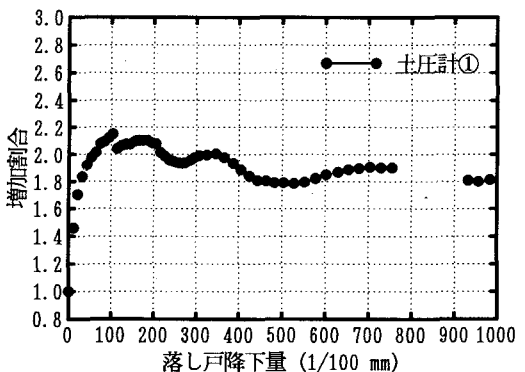


図-3 (b) 落し戸降下量と増加割合（実験値）

ら端部に行くにしたがって減少している。図-2 (b) (DEM) より、落し戸外側に応力が集中している。これらのことは、図-3 (a), (b) (実験値) と同様な傾向を示し、DEMが落し戸実験の解析法として有効であると考えられる。また、DEMにおける落し戸降下時の円要素の速度分布（図は省略）より、作用荷重

が最小値を得た以降（降下量=10/100mm以上）では、落し戸と等速度で移動する円要素の領域は、落し戸を底辺とする正三角形にはほぼ等しい領域であり、落し戸降下量50/100mmまでは、その3角形の形状変化はなかった。また、落し戸に作用する全荷重（線要素③～⑪）は、等速度で移動する領域（3角形）の円要素の重さの約76%であった。これは、落し戸と同一沈下する移動領域の試料の重さが落し戸に作用するという前報³⁾の結果と異なり、今後の検討課題としたい。

4. おわりに

DEMによる落し戸実験のシュミレーションを試み、DEMが有効であると確認できた。しかし、図-2, 3より、落し戸作用荷重が最小値を得た時の落し戸の降下量と荷重の減少割合曲線形状は、実験値と比較して差異がみられる。これは、円要素半径や粒子配列、落し戸降下速度、材料定数などの影響であると考えられ、それらの影響をさらに調べて行きたい。

なお、本解析は前田建設工業(株)情報システム部の大型電子計算機を用い、個別要素法（2次元円要素）システムを用いて行った。

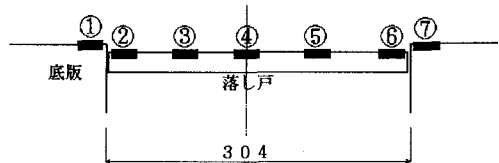


図-4 土圧計配置図

<参考文献> 1) Cundall, P.A & Strack, O.D.L.: A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies, Geotechnique 29, No.1, pp.47-65, 1979
2) 例え、木山、藤村、二木：粒状体地盤の離散円要素法解析と模型実験，材料，第35巻 第392号 pp.2-7, 昭和61年5月
3) 植山，清水，渡辺：落し戸実験による地盤の変位と土圧分布について，第28回土質工学研究発表会，平成5年6月