

3次元 SPH 法解析を用いた円柱供試体の崩壊挙動の検討

立命館大学大学院 学生会員 ○岡野 哲也
 大成建設(株) 角 由紀子
 立命館大学 正会員 松尾 勉
 立命館大学 国際会員 深川 良一

1. はじめに:

現在、地盤における代表的な応力-変形解析法として FEM 解析がある。FEM 解析は各小領域内を一次関数で補完し、その小領域が組み合わさることで離散的に物体を表現する連続体解析手法である。一般的には FEM 解析が用いられる事例が多いが、大変形問題を表現するには他の解析手法が用いられることも多い。中でも SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法解析は大変形や崩壊挙動を表現することのできる連続体解析手法の1つであり、地盤分野においても2次元での SPH 法解析を用いた解析事例が多く報告されている^{1),2)}。

本研究では、比較的解析事例の少ない3次元 SPH 法解析を用いて、円柱供試体が崩壊するときの挙動を解析し、変形・崩壊形状を実験結果と比較することで、3次元 SPH 法解析の妥当性を検討した。

2. 実験条件および解析条件:

(1) 実験 図1に実験概要図を示す。実験に使用する材料は信楽産真砂土で、内径5cm、高さ10cmの円筒状の容器に詰め、円柱供試体を作製した。この円筒容器を引上げることで供試体を円錐状に変形、崩壊させる。円錐状に広がった供試体の底面の直径を最大拡散直径とし、解析で検証した。また、円錐の高さを最大高さとして解析と比較した。底板は、底面摩擦の影響を考慮して、摩擦が生じにくいとされる UHMAPE(超高分子量ポリエチレン)板と一般的な表面塗装が施された化粧板の2種類を使用した。円筒容器の引上げは手動で行ったため引上げ速度にはばらつきがある。そのため、計測に用いたビデオカメラ画像で実験後に円筒容器の経時変位を読み取り、引上げ速度とした。なお、円筒容器の引上げ速度を大きくし過ぎると供試体側面との間の摩擦が無視できないほど大きくなるため、本研究では引上げ速度を50cm/sまでとし、その範囲内で4回ずつ実験を行った。

(2) 解析 図2に解析モデル図を示す。モデルは、XZ面、YZ面を対称面とする1/4円柱モデルとし、対称境界にはゴースト粒子、底面境界には固体境界粒子を配置した。また、1/4円柱の外周面にはゴースト粒子を配置し引上げ速度に応じてゴースト粒子を下

方から順次除去した。真砂土の固有の地盤物性パラメータは三軸試験より求めた値を用い、湿潤単位体積重量: $\rho_t=14.7 \text{ kN/m}^3$, ヤング率: $E=2.309 \text{ MN/m}^2$, ポアソン比: $\nu=0.33$, 粘着力: $c=0 \text{ kN/m}^2$, 内部摩擦角: $\phi=32.0 \text{ deg}$, ダイレイタンシー角: $\psi=0.0 \text{ deg}$ とした。なお、解析には、Bui¹⁾が作成した SPH 法解析プログラムを使用した。

3. 結果と考察

図3に、引上げ速度に対する最大拡散直径の実験値と解析値を示す。実験値は緑色▲印が UHMWPE 板、赤色■印が化粧板での値を示し、解析値は青色●印で示す。また、図中にはそれぞれの引上げ速度と最大拡散直径との相関関係として回帰曲線を付け加えた。

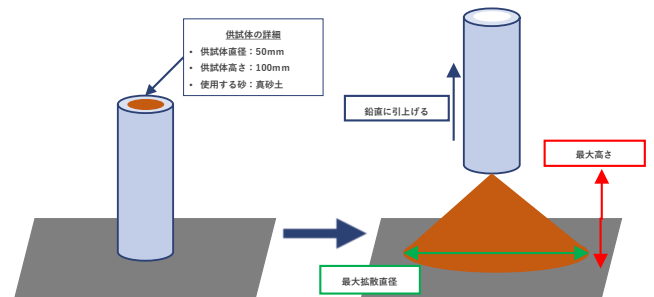


図1 円筒容器引上げ実験の概要図

ゴースト境界粒子

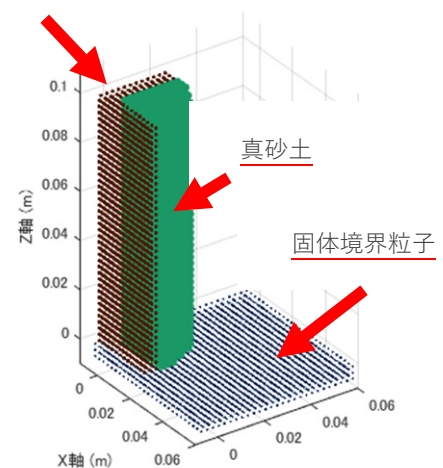


図2 解析モデル図

SPH 法解析, 円柱供試体, 崩壊挙動, 真砂土

滋賀県草津市野路東1丁目1番地1 トリシア2階 ジオメカニクス研究室

090-5177-1026

図では、実験値、解析値ともに、引上げ速度が大きくなるにしたがい最大拡散直径も大きくなっており、正の相関がある。また、底面材質の違いによる2つの実験値では、UHMWPE 板の値のばらつきが大きい。回帰曲線は化粧板の場合とほぼ一致している。解析値も引上げ速度の増加に伴い増加している。実験値と解析値の回帰曲線もほぼ一致している。

図 4 に、引上げ速度に対する最大高さの実験値と解析値を示す。プロットおよび回帰曲線の凡例と色は図 3 と同じである。図より、10cm/sec 以上の引上げ速度では底面材質によらず最大高さはほぼ一定であるが、回帰曲線で比較すると底面摩擦の小さい UHMWPE 板の方が、最大高さが小さいことが確認できる。解析値も実験値と同様に 10cm/sec 以上の範囲では最大高さはほぼ一定であるが、全体的に実験値より小さくなっている。解析では底面摩擦は無視しているため、この結果より底面の摩擦が小さいほど最大高さが小さくなる傾向があることが推察される。

以上より、定量的には若干差異がある結果も得られたが、定性的には SPH 法解析が今回行った実験挙動をほぼ再現できているものと考えられる。

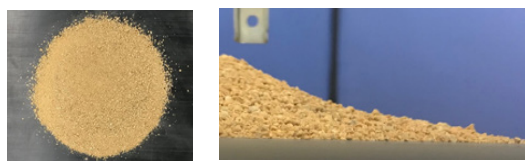


写真 1 実験結果（崩壊後形状;Case-7）

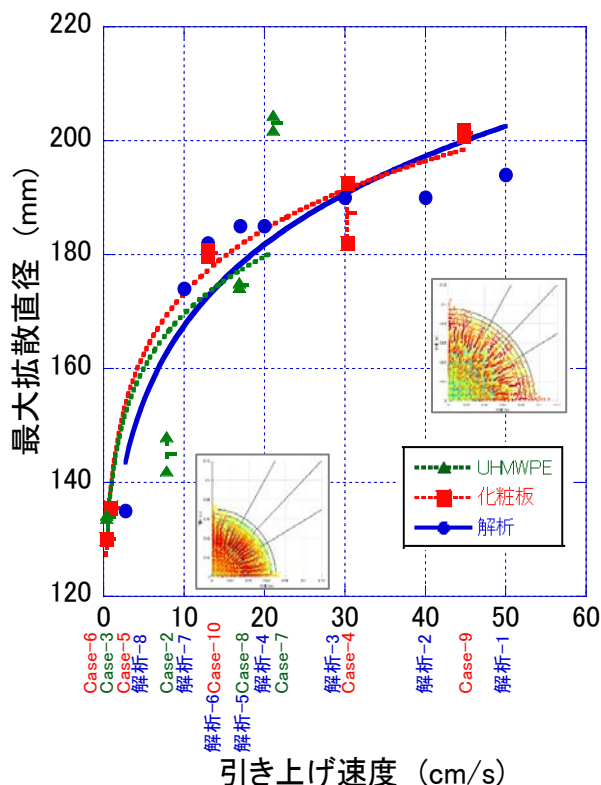


図 3 引上げ速度と最大拡散直径の関係

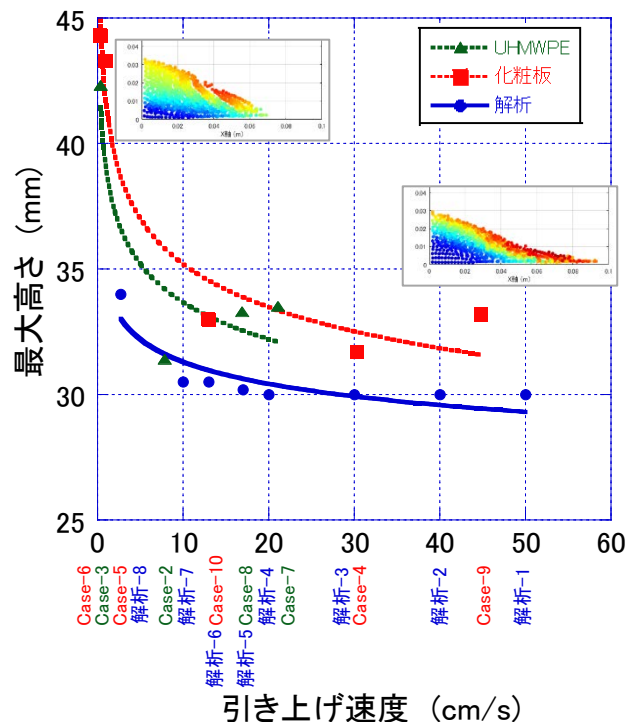


図 4 引上げ速度と最大高さの関係

5. おわりに

本研究では、真砂土円柱供試体が崩壊する時の挙動を 3 次元 SPH 法で解析し、実験結果と比較することで妥当性を検証した。

今後は、使用材料や底板等の摩擦条件等の異なる条件でも検討するなどしてさらに検証をすすめるとともに、斜面やトンネル等を対象とした解析にも取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) Bui H.H.: Lagrangian mesh-free particle method(SPH) for large deformation and post-failure of geomaterial using elasto-plastic constitutive models, 2007.
- 2) 松尾勉, 森邦夫, 平岡伸隆, 孫夢霞, 深川良一: 小土被りトンネル坑口部切羽の崩壊現象への SPH 法解析の適用性に関する基礎的研究, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.4, pp.569-582, 2015.12.