

# 地盤大変形解析への SPH 法の適用

## Application of SPH method for large ground deformation analysis

### ① はじめに

数値解析は、地盤工学において地震や地滑り、土砂崩れといった自然災害の予測と対策に極めて重要な役割を果たしています。従来の FEM(有限要素法)などに基づく解析手法は、その精度と信頼性の面では有用ですが、複雑な地盤の形状変化や大変形に対しては要素形状や大ひずみに関わる難点があります。これに対し、近年注目されているのが SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法です。

SPH 法は、解析対象を粒子の連携でモデル化するメッシュフリーの手法であるため、地盤の大変形、破壊および流動現象を表現しやすい特徴があります。一方、比較的計算コストがかかることや境界条件の設定の難しさなど実用面での課題もあります。本稿では、そうしたことを踏まえた SPH 法の地盤大変形解析への適用について紹介します。

### ② 地盤解析における代表的な解析手法

図1は、地盤解析における代表的な解析手法を体系的に整理したものです。地盤モデルは連続体と非連続体に大別され、前者には FEM 解析や SPH 解析、後者には DEM(離散要素法)解析があります。

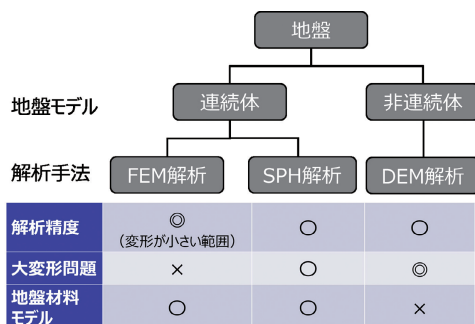


図1 地盤解析における代表的な解析手法の分類

FEMは、地盤の変形が小さい問題には有効な手

法ですが、大変形問題への適用では図2で示すように要素のひずみが著しく増大し解析精度が低下するという問題があります。

また、DEMでは粒子間をばねでモデル化するため、地盤工学の力学的な材料モデルが適用できず、ばねモデルの調整に多くの試行錯誤を要するという問題があります。そこで、両手法の特長を有する SPH 法の適用に取り組みました。

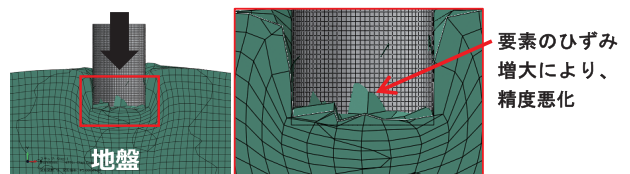


図2 大変形問題における FEM 解析の課題

### ③ SPH 法の概要と課題

SPH 法は、FEM のように節点と要素で解析対象をモデル化するのではなく、独立した粒子の集合体として表現する手法です。図3に示すように、粒子とその近傍(影響半径内部)の他の粒子の間で力のやり取りを計算するため、要素のひずみが発生せず、大変形に対して非常に強いという利点があります。

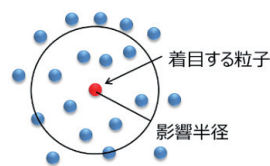


図3 SPH 法における粒子と影響半径

ただ、SPH 法にもいくつかの課題があります。図4に示すように SPH 法には粒子数が多いほど解析精度は向上するが計算時間は著しく長くなるというトレードオフの関係があります。

そのため、実用的な解析モデルを構築するためには、粒子数の適切な調整など、解析パラメータの試行錯誤が必要となります。

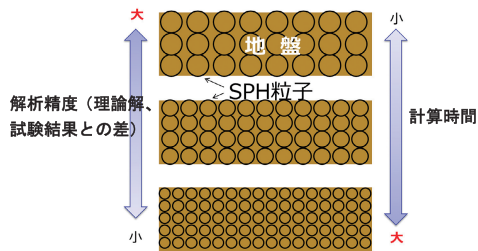


図4 SPH 解析の課題

こうした課題に対処するため、構造解析ソフトウェア“Abaqus”(\*)と最適化計算ソフトウェア“Isight”(\*)を連携させ、粒子数や複数ある解析パラメータを最適化することで、パレート解(解析精度と計算時間のバランスがよい計算結果)が得られましたので、以下に紹介します。

#### ④ SPH 法による地盤大変形解析事例

検討対象は、図5に示す約15cmの模型地盤に円形の棒を貫入させた実試験の再現解析モデルです。

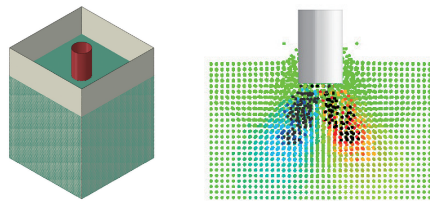


図5 SPH 解析モデルと解析結果

パラメータ最適化結果が図6です。横軸に計算時間、縦軸に試験値との差をとってプロットしています。計算時間が短く、かつ試験値との差が小さいことが望ましいため、赤丸部が解析精度と計算時間の両方のバランスが良い解析パラメータとなります。

図7に支持力の結果を示します。試験結果<sup>1)</sup>と解析結果の比較より、以下のことが確認できました。

1. 支持力の一致：試験結果と SPH 解析結果の最大支持力はほぼ一致しており、SPH 解析の信頼性と解析パラメータの妥当性を確認しました。なお、一般に地盤を対象とする試験結果にはバラつきが多いこともあり、今回は最大支持力を捉えることに注力しました。
2. 材料特性の差異：材料 A、B の材料特性違いをよく反映しており、SPH 解析での有効性を確認しました。

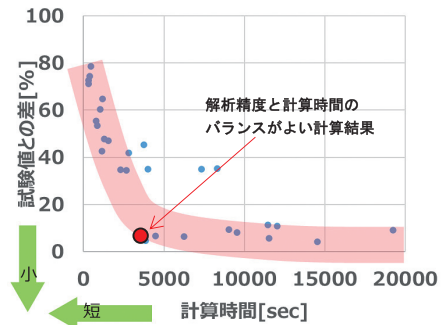


図6 パラメータ最適化結果

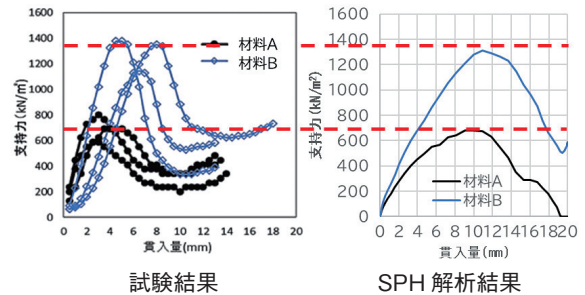


図7 支持力結果

3. 大変形解析の有効性：FEM 解析では表現が難しい大変形領域でも SPH 解析を用いることで実用的な解析が可能となりました。

#### ⑤ おわりに

今回、SPH 法の地盤大変形解析への適用を紹介しました。しかし、まだ解析対象が模型または数メートル規模に留まっており、実際の構造物を想定した数十メートル規模の大規模解析が課題として残っています。今後は、大規模モデルに対する地盤解析手法の確立に向けて取り組む予定です。

##### 参考文献

- 1) 森洋, 木村一登：貫入試験用モールド径を変化させた場合の支持力とすべり面破壊形状について, H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集[8-10]pp. 598~599

※) Abaqus および Isight は、©Dassault Systèmes Simulia Corp. の商標です。

お問い合わせ先  
デジタルトランスフォーメーションセンター  
CAE ソリューション部

TEL (093)588-7234