

第 I 部門

SPH 法による盛土の崩壊解析

京都大学工学部 学生員 ○西田 真悟

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野 祐輔

京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史

1. はじめに

土構造物の地震時挙動解析には有限要素法が広く用いられているが、破壊を伴うような大変形問題を解析するには難点も多い。本研究では、連続体の大変形を含む解析に適した数値解析手法である SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を盛土の崩壊解析に用いることを試みた。

2. SPH 理論

SPH 法は連続体に多数の粒子を配置し、粒子個々に物理量を評価する。その際、近傍粒子の影響を考慮するために以下の Kernel 近似の概念を用いる。

$$f(x) = \int f(x') W(x - x', h) dx'$$

ここで W は重み関数と呼ばれるものであり、評価点と近傍粒子との距離 $x - x'$ と影響半径 h との関数である。影響半径は、評価点が影響を考慮する粒子の位置範囲を指定するものであり、粒子の初期配置における最近傍粒子との粒子間距離の 2.5~3.0 倍の値が用いられることが多い。

ラグランジアン座標系における粒子の運動方程式と恒等式を用いることにより、Kernel 近似を用いた粒子 a の運動方程式は次のように表される。

$$a_a^i = \sum_b m_b \left(\frac{\sigma_a^{ij}}{\rho_a^2} + \frac{\sigma_b^{ij}}{\rho_b^2} \right) \frac{\partial W}{\partial x^j} + g^i$$

一方、ひずみ速度テンソルは次式で表される。

$$\dot{\epsilon}^{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v^i}{\partial x^j} + \frac{\partial v^j}{\partial x^i} \right)$$

Kernel 近似を用いれば、粒子 a において

$$\frac{\partial v_a^i}{\partial x^j} = - \sum_b \frac{m_b}{\rho_a} (v_a^i - v_b^i) \frac{\partial W_{ab}}{\partial x^j}$$

となるので、これらを用いて各粒子、各時間ステップごとに物理量を評価していく。

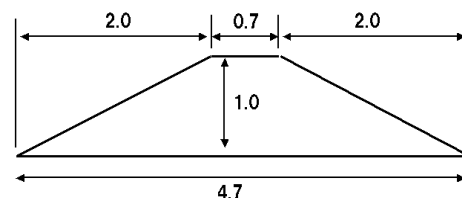


図1: 模型盛土の平面図(単位:m)

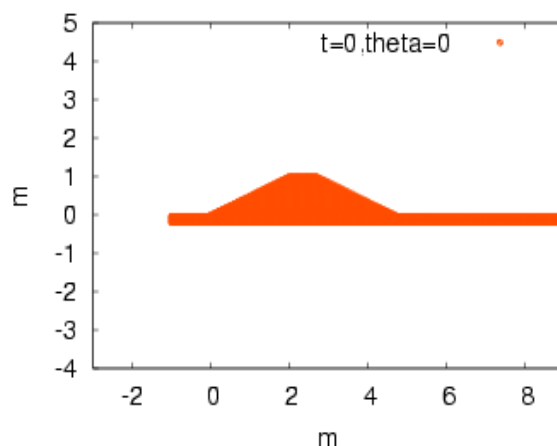


図2: 模型盛土の粒子による表現

3. 解析モデルと解析結果

本研究では実際に行われた模型盛土斜面の傾斜破壊実験¹⁾に従った解析を行った。実験で用いられたモデル盛土の平面図を図1に示す。実験では模型盛土の底面の傾斜角を徐々に上げていき、斜面の滑り破壊が生じた角度を測定した。数回の実験結

果より $36\sim 37^\circ$ が盛土の崩壊に対する傾斜角となった。

この実験結果を対象として SPH 法による再現解析を行った。モデル盛土を粒子間距離を 0.05m として粒子により配置したものが図2である。影響半径を 0.13m 、総粒子数を 2439 個、解析時間間隔を 0.001 秒、総解析ステップ数を 908000 回として解析を行った。解析結果を図3に示す。図3より、傾斜角が 34° までは盛土のすべり破壊は起こらず、傾斜角が 35° になると盛土が崩壊を起こした。実験結果と比較して、限界傾斜角がほぼ同じ値となった。また、すべり線の生じる位置や天端が形状を保ったまますべり破壊を起こすなど、実験結果を良好に再現することができた。

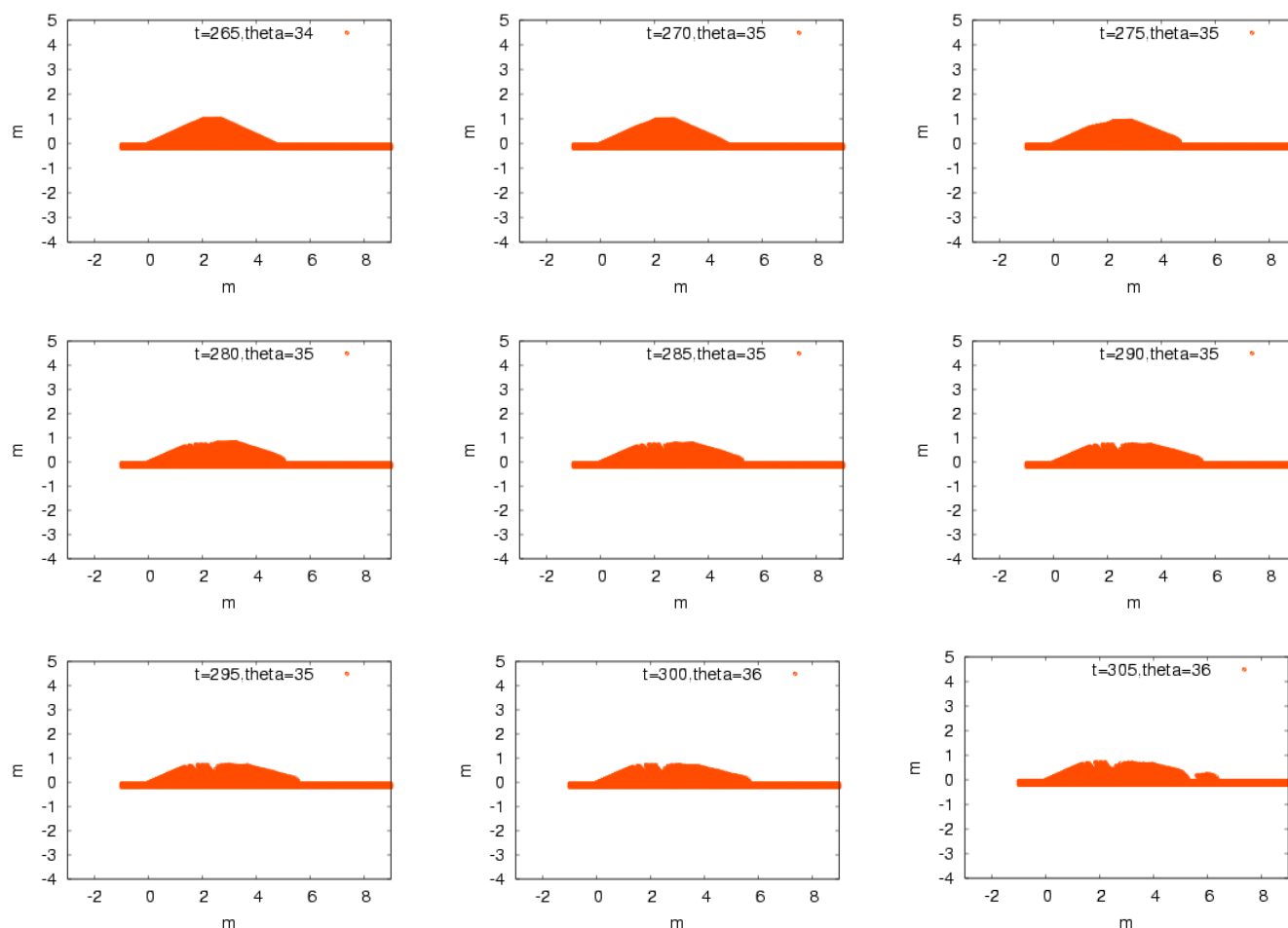


図3:解析結果

4. まとめ

本研究により、SPH 法により崩壊に至るような土構造物の地震時挙動解析が可能であることが示されたと考えられる。今後の課題として、より動的な現象を解析することや弾塑性構成則の導入、解析対象に最適な初期粒子配置の距離間隔や解析時間間隔の決定法を開発することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 伊藤洋・渡辺啓行・今出博：原子力発電所大規模斜面の地震時安定性-模型盛土斜面の傾斜破壊実験, 電力中央研究所報告, 第 381030 号、1982.