

粒子法による津波時の堤防崩壊シミュレーションに向けた基礎検討

九州大学	学生会員	○	森本	敏弘
九州大学大学院	正会員		浅井	光輝
九州大学大学院	正会員		園田	佳巨
日本工営株式会社	正会員		末崎	将司

1.はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、東北地方を中心に甚大な被害をもたらした。この津波により、堤防をはじめとした土木構造物周辺の地盤において多くの侵食・洗掘被害が発生した。特に、堤防では津波の越流作用によって背後地盤が洗掘され、被覆コンクリートが流されることで堤防の機能を喪失したとの報告が多くなされている。また、橋桁の流出被害のように、流体による構造物の直接的な崩壊事例もあることから、構造-流体-地盤の連成解析手法を確立し、防災・減災の検討へと活用することが求められている。本研究では、このうち流体-地盤の連成問題に焦点を絞り、侵食・洗掘現象の再現解析を行う。この際、解析手法には大変形問題の解析に適した粒子型の解法である SPH 法を選択し、地盤・流体のそれぞれに適したモデル化方法について検討した。本報告では、流体をニュートン流体、地盤を弾性体として取扱い応力を評価することにし、両者を同じ支配方程式として記述することで統合した解析を試みた事例を報告する。

2.解析手法の概要

本解析には粒子型の解法である SPH 法を用いる。SPH 法では、図-1 のように連続体を有限個の粒子点で表現し、各粒子上に解くべき物理量を与える。任意点上での補間には、距離に応じた重み関数により一種の重み付き平均を行う。ここで、粒子 j の質量 m^j 、密度 ρ^j とすると、物理量 $f(x)$ は、以下の式で表される。

$$f(x) \approx \sum_{j=1}^N \frac{m^j}{\rho^j} f(x^j) W(x - x^j, h) \quad (1)$$

本研究では、非圧縮性流体解析用に開発された Incompressible SPH (ISPH) 法を採用した。ISPH 法は SPH 法において独立変数となる圧力と速度を、それぞれ圧力は陰的に、速度は陽的に更新していることが特徴である。

運動の支配方程式としては流体、地盤ともに次の 2 式を用いる。

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{g} \quad (2) \quad \frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (3)$$

前者は固体力学において力のつりあい式(流体力学では運動量保存則の式)と呼ばれ、後者は質量保存則である。ここで、式(2)における応力の評価において流体・地盤に異なる構成式を用いる。流体はニュートン流体、地盤は歪弾性体としてモデル化し、流体はせん断応力 τ_{ij} 、地盤には有効応力 σ'_{ij} を仲介して全応力を評価することにした。

$$\sigma^F_{ij} = -p\delta_{ij} + \tau_{ij} \quad (4) \quad \sigma^S_{ij} = -p\delta_{ij} + \sigma'_{ij} \quad (5)$$

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) \quad (6) \quad \dot{\sigma}'_{ij} = 2G\dot{\epsilon}_{ij} + K\dot{\epsilon}_{kk}\delta_{ij} \quad (7) \quad K: \text{体積弾性係数}, G: \text{せん断弾性係数}$$

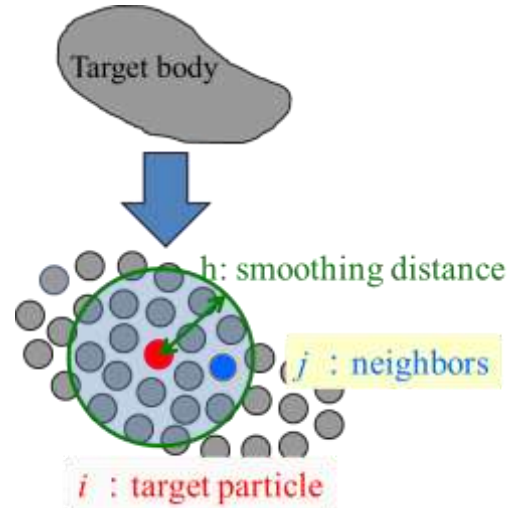


図-1 SPH法の基礎概念図

従い、次式に示す圧力ポアソン方程式を解くことで陰的に評価した.

u^* : 中間流速

3.中間層の定義

定し、両者の層をできるだけ乖離した。

(8)

(9)

 μ_f :水の粘性, μ_c :中間層の粘性

いた。

C_f : 摩擦係数, μ_T : 渦動粘性

4.解析例

デルは、粒子間隔 4cm、総粒子数約 230 万個として作成した。

計測することが可能である.

5.おわりに

ミュレーションへと発展させる予定である。

Fluid Mechanics, 461:183-228, 2002. xiv, 102, 107, 110, 111, 112

発表会講演論文集, 2012



図-2 中間層領域の定義



図-3 検証例題

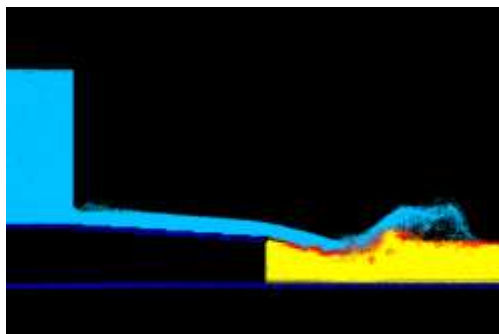


図-4 解析結果例