

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760365

研究課題名(和文) 海岸保全施設の信頼性確保に向けた土木三力連成シミュレータの基盤構築

研究課題名(英文) Development of a multi physics simulator in the civil engineering for safety shore protection facilities

研究代表者

浅井 光輝 (Asai, Mitsuteru)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90411230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：津波などの自然災害に対しても安全性を確保した海岸保全施設を実現するために、粒子法(SPH法)をベースとした土木三力(構造・水理・地盤)の連成シミュレータの開発を進めた。まず、流体と構造の連成に関しては、まずは構造物を剛体に限定することで、流体と剛体の連成解析を可能とし、また流体力を受ける構造物の変形までを予測するために、粒子法とFEMのハイブリット解法を構築した。さらに、基礎地盤の影響を同時に考慮するために、地盤をビンガム流体としてモデル化した簡易モデルにより、地盤洗掘現象を定性的には再現できることを示し、粒子法が有効な解析手段となりえることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A coupled simulator among structure mechanics, hydraulics and soil mechanics has been developed for safety shore protection facilities against natural disasters such as tsunami. The coupled simulator is based on a particle method (SPH). Firstly, fluid and rigid body coupling simulator is developed within the framework of the particle method, and fluid-structure coupling is implemented by a hybrid method between SPH and FEM. Further, in order to simultaneously consider the influence of the soil foundation, ground scour phenomena is simply modeled by using a Bingham fluid model. It founds that the particle simulation may become a effective and robust tool the ground scour phenomenon.

研究分野：計算力学， 応用力学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：流体構造連成解析 流体地盤連成解析 粒子法 マルチフィジックス

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災の津波被害の教訓から今後の津波防災の見直しが急務である。特に沿岸部に多く建設されている火力発電所、原子力発電所などの重要な施設を護る海岸保全施設（防波堤・防潮堤・水門）には、衝撃的な流体力に対しても十分な構造強度を有し、たとえ越流しても堅固な基礎地盤が耐え凌ぐ粘り強さが求められている。信頼性のある海岸保全施設の実現のためには、土木三力（構造・水理・地盤）が複雑に絡んだ連成挙動を予測する解析技術が求められている。

2. 研究の目的

信頼性のある海岸保全施設の実現のために、土木分野の3つの力学（構造・水理・地盤）が複雑に絡んだ連成挙動を予測する解析技術が必要であり、粒子法（SPH法）をベースとした新たな土木三力連成シミュレータの基盤を構築し、その応用を検討する。

3. 研究の方法

これまでに開発してきた粒子法による流体解析ツールを発展させ、解析対象を構造および地盤問題にまで拡張することで、橋梁の流失被害あるいは基礎地盤の洗堀までが再現可能となる土木三力（構造・水理・地盤）連成シミュレータの基盤を構築する。このためには以下の3点を開発した。

- a) SPH法による3次元流体構造連成解析ツールの開発
- b) SPH法による地盤浸透流と流体現象の相互作用解析手法の開発
- c) SPH法の並列化効率の向上（PCクラスター等で機能する高効率なアルゴリズム）

上記の解析ツールを用い、東日本大震災時における構造物あるいは地盤の被害事例の再現を試み、信頼性の高い海岸保全施設に向けた補強対策への応用を検討した。

4. 研究成果

- a) SPH法による3次元流体構造連成解析ツールの開発

まずは構造物に作用する流体力評価を行い、小型実験との比較を通してその精度検証を行い、良好な一致が得られることを確認した。その後、2011年の津波により流失した橋梁の3次元構造をそのまま再現し、観測された流速程度の津波を与えた際の流体力を評価した。図1には流体力評価の事例を示している。構造物表面の色が圧力分布を示しており、構造物に作用する力の表示と同時に、流跡線を表示している。

また図2には同手法に剛体解析機能を追加することで、実際に図1に示した力が作用した時に橋梁の上部構造が流失する過程を再現した。

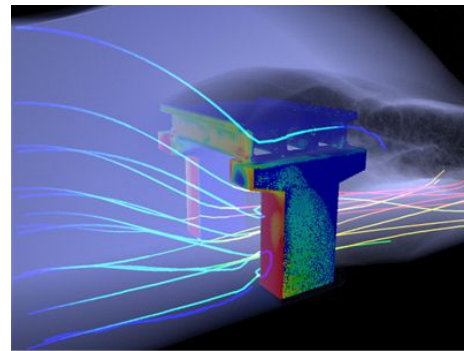


図1. 橋梁に作用する圧力評価事例

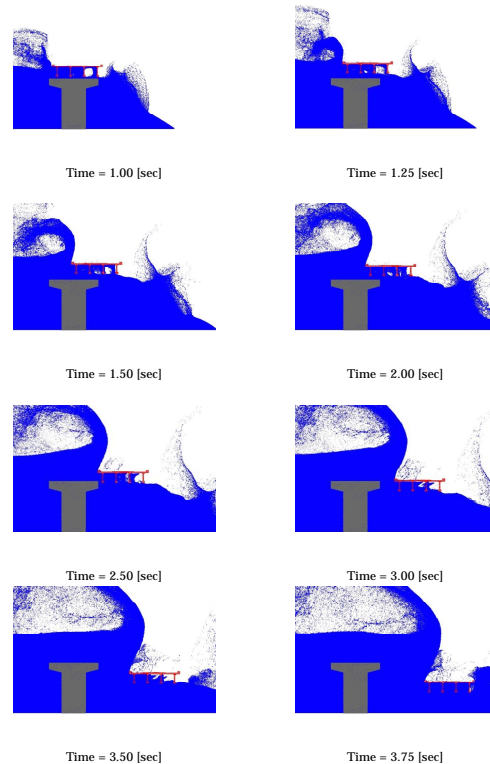


図2. 流体構造連成解析による橋梁上部構造の流失被害シミュレーション

- b) SPH法による地盤浸透流と流体現象の相互作用解析手法の開発

次に、地盤と流体の相互作用として、堤防の捨石マウンド部の浸透流解析を実施した。この解析では流体問題と地盤内部の浸透流問題を同時に解くことに成功した。その解析事例を図3に示す。

これまでは地盤浸透流はダルシー則、流体はナビエストークス方程式といったように異なる方程式を別々の手法にて解いた事例が多かったが、ここで示す解析例では、両問題の支配方程式を統一標記することで、粒子法により両者の問題を同時に解析することに成功した。現時点では、定性的な比較に留まっているため、今後はより詳細な比較検討が必要である。

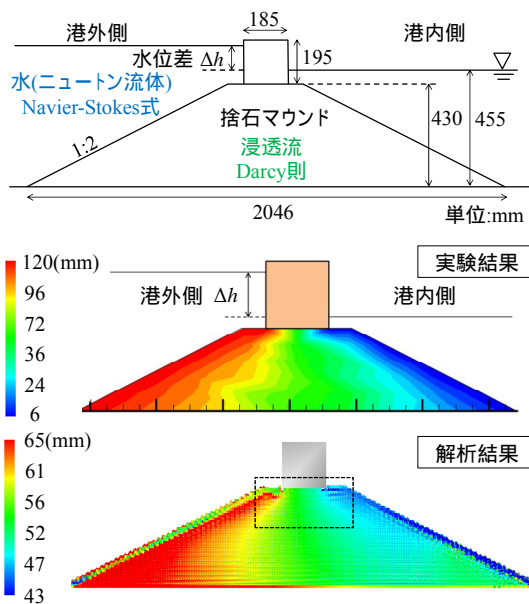


図3.捨石マウンド内の浸透流解析と実験の比較

c) SPH法の並列化効率の向上(PCクラスター等で機能する高効率なアルゴリズム)
 上記の津波に関連する問題は、3次元問題として広範囲の領域を解析することが望ましく、膨大な計算量となる。このため、スパコンでも高効率に作動する並列化コードを開発しており、1億以上の粒子を用いた解析を実施できるように改良を加えた。図4は実地形データを基にして作成した1億粒子モデルを使用して津波遡上現象を解析した事例である。

以上、当時予定していた研究がほぼ計画通りに実行することができ、多数の論文・学会発表につながる成果が残せた。

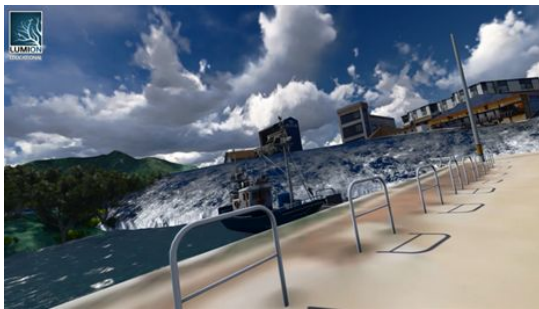


図3.捨石マウンド内の浸透流解析と実験の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6件)

田邊将一, 浅井光輝, 中尾尚史, 伊津野和行
 3次元粒子法による橋桁に作用する津波外力評価とその精度検証
 構造工学論文集, Vol.60A, pp.293-302, 2014

Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai, Yoshimi Sonoda
 Modelling of surface tension force for free surface flows in ISPH method
 International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, Vol.23, Iss.3, pp.479-498

浅井光輝, 藤本啓介, 田邊将一, 別府万寿博
 階段状の非適合境界を有する粒子法解析における仮想マーカーを用いたすべり・非すべり境界面処理法
 計算工学論文集, No.20130011

藤本啓介, 浅井光輝, 一色正晴, 館澤寛, 三上勉
 高解像度地形モデルを用いた ISPH 法による津波シミュレーション
 地震工学講演会論文集(土木学会論文集 A1 特集号), A1S-0224

浅井光輝, 別府万寿博, 石川信隆, 眞鍋慶生, 齋藤展, 丹羽一邦
 数値流体シミュレーションによる流体衝撃力評価に関する基礎的研究
 構造工学論文集, Vol.58A, pp.1021-1028

Mitsuteru Asai, Abdelraheem M. Aly, Yoshimi Sonoda and Yuzuru Sakai
 A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariance condition
 International Journal for Applied Mathematics, Volume 2012 (2012), Article ID 139583, 24 pages

[学会発表](計 13件)

Mitsuteru Asai, Shoichi Tanabe, Masaharu Isshiki
 A large scale tsunami run-up simulation and numerical evaluation of fluid force during tsunami by using a particle method
 Proceeding of the 2013 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics(ASEM13), pp. 1559-1566, Jeju Korea

Mitsuteru Asai, Keisuke Fujimoto, Masaharu Isshiki
 Large scale Tsunami Run-up Simulation by a Hybrid-parallel SPH
 COE Lecture Note Vol.45: Kyushu University (Propagation of Ultra-large-scale Computation by Domain-decomposition-method for Industrial Problems), pp.44-53, Fukuoka

Mitsuteru Asai, Keisuke Fujimoto, Abdelraheem M. Aly, Yoshimi Sonoda
 Fluid-Soil-Structure coupling analysis for tsunami disaster simulation
 Proceeding of KSME-JSME joint symposium on computational mechanics & CAE 2012, pp.11-16, Kanazawa

Shoichi Tanabe, Mitsuteru Asai, Yoshimi Sonoda
Numerical evaluation of fluid force acted on bridge girders during tsunami by using a particle method, 5th Asia Pasific Congress on Computational Mechanics & 4th International Symposium on Computational Mechanics, APCOM&ISCM2013, Singapore

Toshihiro Morimoto, Mitsuteru Asai, Yoshimi Sonoda
Fundamental study for seawall collapse simulation during Tsunami by using a particle method, 5th Asia Pasific Congress on Computational Mechanics & 4th International Symposium on Computational Mechanics, APCOM&ISCM2013, Singapore

Mitsuteru Asai, Masaharu Isshiki, Shoichi Tanabe
Large scale tsunami simulation by the incompressible SPH with real geography generated from aero-survery data, International Conference on Particle-Based Method (Particle2013), Stuttgart, Germany

Mitsuteru Asai, Toshihiro Morimoto, Masaharu Isshiki
Large scale tsunami simulation by a particle method with a real geography
Frontiers of Discontinuous Numerical Methods and Practical Simulation in Engineering and Disaster Prevention (ICADD11), pp. 539 (Abstractのみ), Fukuoka

Mitsuteru Asai
Large scale tsunami simulation by a particle method and its application to disaster prediction
12th U.S. National Congress on Computational Mechanics(USNCCM12), Raleigh(North Carolina), USA

Keisuke Fujimoto, Mitsuteru Asai, Masaharu Isshiki
Large scale Tsunami Simulation by the Incompressible SPH and its efficiency of hybrid parallel computation,
Proceeding of 4th International Conference on Computational Methods, paper ID 43,Gold Coast, Australia

Mitsuteru Asai, Keisuke Fujimoto, Masaharu Isshiki
3D Tsunami Simulation by the parallelized incompressible SPH
Proceeding of 2nd International Conference on Computational Design in Engineering, pp. 133, Jeju, Korea

Mitsuteru Asai, Keisuke Fujimoto, Masaharu Isshiki
A large scale tsunami simulation by a stabilized incompressible SPH
Proceeding of International Workshop on Information & Computation in Civil & Environmental Engineering (ICCEE2012), pp. 23-24, Ehime, Japan

Masaharu Isshiki, Mitsuteru Asai
Visualization of large-scale particle data with different material profiles
Proceeding of International Workshop on Information & Computation in Civil & Environmental Engineering (ICCEE2012), pp. 25-26, Ehime, Japan

Mitsuteru ASAI, Keisuke Fujimoto, Takashi Mikami, Hiroshi Tatesawa
「High performance incompressible SPH method and its application to Tsunami disaster simulation」, 10th World Congress on Computational Mechanics, Sao Paulo, Brazil

〔図書〕(計 1 件)
浅井光輝, 橋梁と基礎, 第 47 巻, 第 8 号
想定外な巨大津波被害を事前予測するための試み, pp.74-76

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 光輝 (ASAI, Mitsuteru)
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 90411230

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし