

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760361

研究課題名 (和文) 海洋開発新時代に向けた構造設計援用・流体構造連成シミュレータの開発

研究課題名 (英文) Development of a fluid-structure interaction simulator for design of newly developed coastal structures

研究代表者

浅井 光輝 (Mitsuteru ASAI)

九州大学・工学研究院・建設デザイン部門

研究者番号：90411230

研究成果の概要 (和文)：

国土の狭い我が国においては、人工島、メガフロートなどの沿岸地域の開発を積極的に行う時代 (海洋開発新時代) にあり、津波・高潮・防波浪などの極限事象に対しても安全・安心な沿岸構造物を創造していく必要がある。特に、暴波浪時に流体力が作用する構造物の挙動を正確に評価することが必要となるため、流体解析手法としては飛沫、砕波などの離散表現に優れている粒子型解法 (SPH 法) を選択し、構造解析には実績のある FEM を用いた新規の連成シミュレータを構築した。高精度・高効率な連成シミュレータの構築を目標とし、流体解析手法として採用した SPH 法においては圧力評価の精度向上を目的とした安定化手法を提案し、また構造解析用 FEM においては縮約化法を導入することで動的過渡応答解析の高速演算を可能とした。以上の基礎検討の結果を踏まえて、SPH-FEM の双方向に連成させた新たなハイブリット型流体構造連成解析法を提案した。

研究成果の概要 (英文)：

Recently, risk of flood disasters, such as Tsunami and high tide, in coastal areas have been increasing because of the global warming, and flood disaster prevention and/or reduction is one of the important issue. In Japan, many of the existing design codes for coastal structure are based on an experimental law aimed at vertical wall, and it is difficult to be directly applied the design code to arbitrary shaped structures. In this context, a new Fluid-Structure Interaction (FSI) simulator is necessary to improve the design code for coastal structures.

A FSI simulator by coupling an ISPH and the large deformed FEM is developed in this paper. In addition, we have developed a fast FEM solver for structural dynamics using a reduction method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：計算力学

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：粒子型解法，流体構造連成解析，高速化構造動的解析，圧縮性流体用 SPH 法

1. 研究開始当初の背景

国土の狭い我が国においては、人工島、メガフロートなどの沿岸地域の開発を積極的に行う時代(海洋開発新時代)にあり、津波・高潮・防波浪に対しても安全・安心な沿岸構造物を創造していく必要がある。このためには、流体と構造の連成問題を正確に解く高度なシミュレータが望まれている。

2. 研究の目的

沿岸構造物の合理的な設計法の確立に向け、以下の3項目を本研究の目的とした。

(1)沿岸物の構造設計に向け、まずは水深と流速を精緻に予測可能な広域氾濫シミュレーションが求められる。本研究では暴波浪時の水の挙動を的確に再現するため、粒子型解法を採用し、その適用性について考察する。

(2)将来的には、広域の氾濫シミュレーションより流体力を推定し、構造設計を実施することが目標となる。このためには、まず流体力の評価の精度検証を実施し、精緻な流体解析を確立する必要がある。(1)で開発する粒子型解法と実験との比較検証より、粒子法が流体力の定量的評価の精度検証を実施する。

(3)流体構造連成解析時における構造解析部の効率化を考察する。特に、計算の安定性と計算効率の両面から、構造問題のFEMにおいては陰的時間積分法を採用した。本研究では、陰的時間積分法と相性がよく、計算効率が良いとされる新たな縮約化法を導入し、その計算効率を検証する。

3. 研究の方法

(1) SPH 法による広域氾濫シミュレータの開発

沿岸域の構造物を設計には、まずは高潮・津波時の広域な氾濫シミュレーション技術により、平均的な水深と流速の分布を的確に捉える必要がある。まずは数値地図を参照し、海底・地表面の標高データをできる限り正確に反映した大規模な数値解析モデルを構築した。次に、大規模解析に耐え得る解析ツールの開発を行った。本研究では、暴波浪時の流体・構造連成問題の数値解析を対象とするため、砕波、飛沫などに伴い自由表面が激しく変動することが予想されるため、流体解析手法としては粒子型解法(SPH法)を選択し、OpenMPによるメモリ共有型並列計算に対応させることで計算効率の向上させる方針とした。

(2) 改良型 SPH 法による流体力評価の精度向上

合理的な海岸構造設計には、流体力を高精度に見積もる必要がある。従来型のSPH法によると虚偽の圧力振動が介入するため、より安定した圧力評価が可能な改良法の提案した。精度検証としては、文献に示された実験データとの比較検証を実施し、提案手法の有意性を検証する。

(3) 改良型 SPH 法と有限要素法による流体構造連成解析技術の確立

高精度な圧力評価を可能とした改良型SPH法を流体領域の解析手法とし、構造解析をFEMで実施する弱連成型の流体構造連成解析手法を開発する。

(4) 動的FEM解析の効率化に向けた新規の縮約化解析技術の導入

今後実施予定の大規模な流体構造連成解析に向け、構造解析ツールの効率化を検討する。本研究では、数学の分野において近年注目されている縮約化技術(Krylov部分空間法)を動的FEM解析に導入することで計算効率の向上を検討する。

4. 研究成果

前述の研究の方法に記載した4つの項目に対する成果を項目ごとに示す。

(1) SPH 法による広域氾濫シミュレータの開発

沿岸地域の津波時氾濫解析を実施するために、数値地図を活用した地形の数値モデリングと粒子法による3次元解析ツールを統合したシミュレータを構築した。その適用例として、福岡百道浜地区の氾濫解析へと適用した際の解析例を図-1に示す。現在、津波の入力方法にはまだ課題を残すものの、定性的には妥当な氾濫解析が可能であることを確認した。また、計算結果の出力においては、航空写真を地表面データに貼り付けるテキストチャマッピング技術を用いることで結果に臨場感を与えることができた。

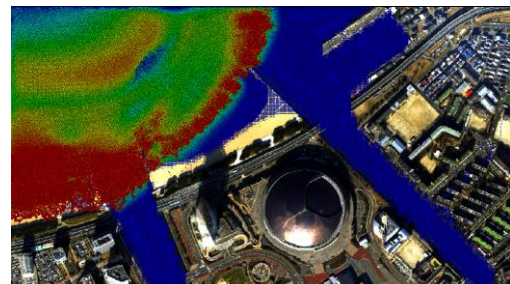


図-1 SPH法による津波氾濫解析例

(2) 改良型 SPH 法による流体力評価の精度向上

(1)での SPH 法による広域氾濫シミュレーションを通して、流体圧の評価には精度上問題があることを確認した。そこで、改良型解法の開発に取り組み、一定の成果を挙げることができた。図-2には検証例題の問題設定を示し、図-3には圧力の時系列変化を実験値と比較した結果を示している。改良前には、全体的に低い圧力値となる(体積が保存されず減少する)、虚偽の圧力振動が介入するなどの問題が生じていたが、こうした問題点を克服し、精度のよい流体圧を評価できる解析ツールを構築できた。

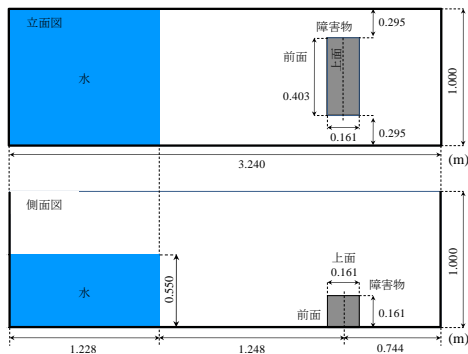


図-2 水柱崩壊時の障害物に作用する流体圧実験

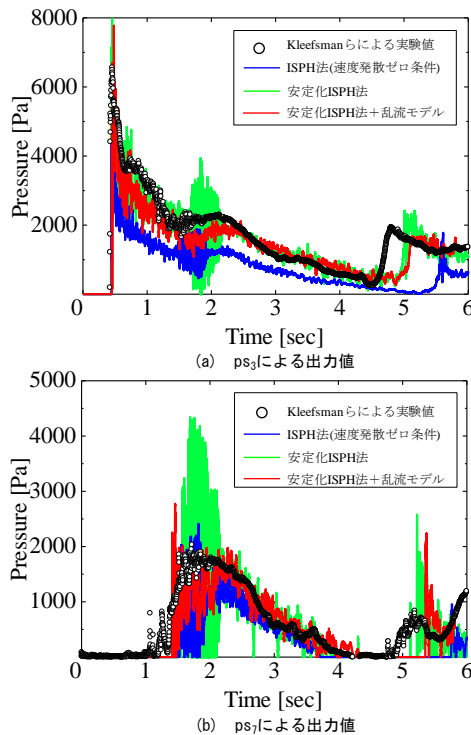


図-3 障害物前面(a)と上面(b)に作用する流体圧の実験と計算結果の比較検証

(3) 改良型 SPH 法と有限要素法による流体構造連成解析技術の確立

流体解析法としては(2)で開発した安定化 ISPH 法を用い、構造解析手法としては FEM を用いた時差式連成解析ツール(図-4を参照)を開発した。なお、内製の FEM 解析ツールは大変形問題まで対応可能であるため、図-5、図-6に示すようなゴム壁の大変形解析も可能である。

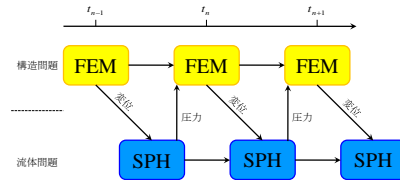


図-4 時差式解法による連成解析

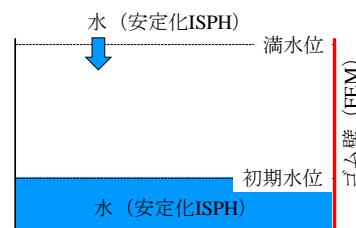


図-5 2次元流体構造連成解析の例題

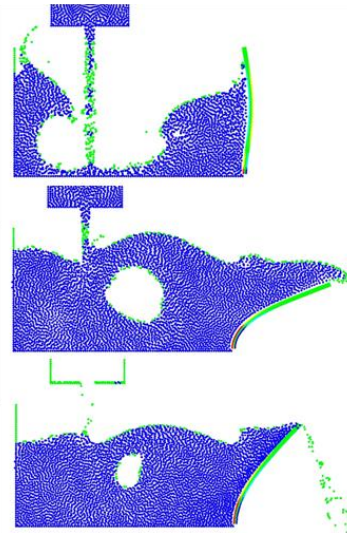


図-6 流体構造連成解析結果の例

(4) 動的 FEM 解析の効率化に向けた新規の縮約解析技術の導入

今後、(1)で示した広範囲の解析領域内に存在する構造物の解析を同時に実施するには、構造解析における計算コストを低減しないことには非現実的である。そこで、Krylov 部分空間法による縮約解析法について調査し、図-7に示すような3次元詳細 FEM モデルを用いて、動的過渡応答解析時の精度と計算効率を検証した。図-8には、橋桁中央上部

でにおける変位の時刻歴応答結果を、縮約化あり・なしで比較検証した。図に示すように、縮約なし（通常のFEM解析）と全く同等な近似結果が得られ、また計算効率は通常のFEMと比べ30倍ほど高速であることを確認した。

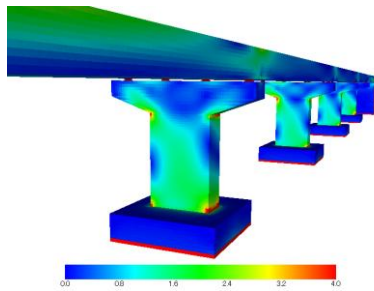


図-7 支承を含む詳細なFEM解析例

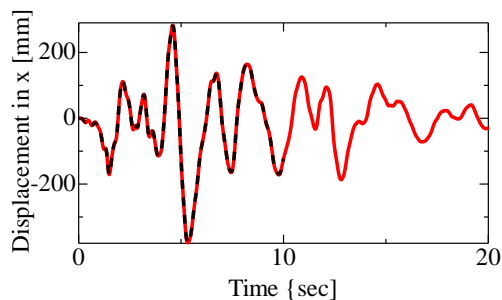


図-5 支承を含む詳細なFEM解析例
(赤実線：縮約化，黒破線：縮約なし)

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7件)

① 浅井光輝, Norliiyati Mohd Amin, 園田佳巨

「大規模な動的有限要素解析の高速化に向けた取り組み」

第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010.12 (査読なし)

② 林高德, 浅井光輝, Abdelraheem M. Aly, 園田佳巨

「安定化 ISPH 法を用いた流体衝撃力評価と精度検証」

第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010.12 (査読なし)

③ Norliiyati Mohd Amin, Mitsuteru Asai, Yoshimi Sonoda

「Application of a model order reduction based on the Krylov subspace to finite element transient analysis imposing several kinds of boundary condition」

IOP conf. Ser.: Material Science and Engineering, Vol.10, 012118, 2010.8 (査読あり)

④ Norliiyati Mohd Amin, Mitsuteru Asai, Yoshimi Sonoda

「Fast transient structural FE analysis imposing prescribed-displacement condition by using a model order reduction method via Krylov subspace」

応用力学論文集, Vol.13, pp. 159-167, 2010.8 (査読あり)

⑤ 林高德, 浅井光輝, 上坂隆志

「陽的 SPH 法による沿岸域の水害シミュレーション」

日本計算工学会 計算工学講演会論文集, Vol.15, 483-486, 2010.5 (査読なし)

⑥ Norliiyati Mohd Amin, Sho Nonaka, Mitsuteru ASAI, Yoshimi SONODA

「Fast solver for large scale dynamic analysis using a model order reduction method」

日本計算工学会 計算工学講演会論文集, Vol.15, 701-704, 2010.5 (査読なし)

⑦ Mitsuteru ASAI, Takanori HAYASHI, Yoshimi SONODA

「Numerical estimation of water-induced impact pressure by using a smoothed particle hydrodynamics for incompressible flow」

Proceeding of Protect2009, 2009.8 (査読なし)

[学会発表] (計6件)

① Takanori HAYASHI, Mitsuteru ASAI

「Development of a design aid simulator for structures subject to hydrodynamic impact pressure」

9th World congress on Computational Mechanics (WCCM2010), 2010.7, Sydney

② Norliiyati Mohd Amin, Mitsuteru ASAI, Yoshimi SONODA

「Application of a model order reduction method based on the Krylov subspace into large scaled finite element simulations imposing several kinds of boundary condition」

9th World congress on Computational Mechanics (WCCM2010), 2010.7, Sydney

③ Mitsuteru ASAI, Takanori HAYASHI

「Development of a new fluid structure

interaction simulator for design of coastal structures]
2nd International Workshop on Advanced Computational Mechanics, 2010.3, Yokohama

④林高德, 浅井光輝

「流体衝撃力を受ける構造解析に適した SPH-FEM 連成シミュレータの開発」
土木学会平成 22 年度全国大会, 2010.9, 札幌

⑤Mitsuteru ASAI, Norliyati Mohd Amin, Yoshimi SONODA

「Efficient large scale FE dynamic analysis using model order reduction via Krylov subspace」
土木学会平成 22 年度全国大会, 2010.9, 札幌

⑥林高德, 浅井光輝, 園田佳巨

「数値地図による沿岸地域モデリングと SPH 粒子法による流体解析」
土木学会平成 21 年度全国大会, 2009.9, 福岡

[図書] (計 0 件)

[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 (Mitsuteru ASAI)

研究者番号: 90411230

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携協力者

園田佳巨 (Yoshimi SONODA)

研究者番号: