

15-NA22

## 流体・固体連成を考慮する防災計算力学

牛島 省 (京都大学)

本研究では、海溝型地震による巨大な津波災害や、極端気象と呼ばれる条件下で発生する台風・集中豪雨と土砂災害、冬期の豪雪災害など多様な自然災害に対して、実際に人的・物的被害が発生するレベルの時間・空間スケールの力学現象に着目した解析手法を確立することを目的とする。津波災害に関しては、粒子法による広域から遡上域までを扱うマルチスケール解析と、多数の津波漂流物の輸送を再現するマルチフェイズ解析、さらに津波漂流物による建物破壊を扱う有限被覆法に基づく有限要素法解析までの一連の大規模解析法を構築した。また、津波災害に加えて、非ニュートン流体モデルを用いた安定化有限要素法による雪崩の解析を進めた。以上のように、本研究では、複合的な力学現象に対する計算力学研究者の共同研究を進めるとともに、構成拠点の計算機科学者との緊密な連携を基盤として、新たな防災計算力学の展開を図った。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同研究を実施した拠点名

京都大学

#### (2) 共同研究分野

- 超大規模数値計算系応用分野
- 超大規模データ処理系応用分野
- 超大容量ネットワーク技術分野
- 超大規模情報システム関連研究分野

#### (3) 参加研究者の役割分担

参加研究者

牛島 省	(京都大学：代表者)
檜山 和男	(中央大学)
寺田 賢二郎	(東北大学)
浅井 光輝	(九州大学)
森口 周二	(東北大学)
高瀬 慎介	(東北大学)
松本 純一	(産業技術総合研究所)
小山田 耕二	(京都大学)
米山 望	(京都大学)
深沢 圭一郎	(京都大学)
鳥生 大祐	(京都大学)
柳生 大輔	(京都大学)
凌 国明	(中央大学)

### 2. 研究の目的と意義

(研究の目的)

防災に対するインフラ整備が進んだわが国においても、依然として数多くの自然災害が発生し、大きな社会問題となっている。例えば、2011 年の東日本大震災のような海溝型地震による巨大な津波災害、近年活発化している火山活動、また極端気象と呼ばれる条件下で発生する台風・集中豪雨と土砂災害や、冬期の豪雪災害などは、今後も想定を越える規模で発生し続ける可能性が高い。このため、自然災害による被災規模を適切に把握し、被災状況を軽減する方策を事前に提案することは、社会的に極めて重要な課題である。

本研究では、このような多様な自然災害に対して、実際に人的・物的被害が発生するレベルの時間・空間スケールの力学現象に着目し、災害発生メカニズムを合理的に扱う解析手法を確立するとともに、大規模計算資源を活用することによって、従来の手法では困難であった詳細かつ正確な災害予測と評価を行うことを目的とする。

本研究で着目する自然災害は、複合的な力学現象であり、その解明には流体力学や固体

力学などの幅広い専門分野の知見を必要とする。このため、当拠点公募型共同研究では、土木学会の分野横断的な計算力学研究者をメンバーとする共同研究体制を設定し、さらに大規模計算に必要な理論と実装に精通した構成拠点の計算機科学者との緊密な連携を基盤として、新たな防災計算力学の展開を図る。

#### (研究の意義)

本研究により、人的・物的災害を引き起こす自然災害現象を流体・固体連成問題として定式化し、大規模な計算資源を活用することによって、従来不可能であった詳細かつ高精度な災害予測を行う解析手法を構築する。その結果、被災規模を適切に把握し、災害対策を事前に提案するための情報を得ることができるので、本研究の社会的な意義は極めて大きいと考えられる。

自然災害現象は、従来土木工学の専門分野ごとに個別に研究が進められてきたが、当拠点公募型研究を通じて、分野横断的な計算力学研究者の連携が実現し、新たな展開が進められる。この連携により、これまで取り扱いが困難であった複合的な現象と位置づけられる災害発生メカニズムをより合理的に表すモデルの構築など、防災計算力学の学術的な進展にも寄与すると考えられる。

るように、本研究の対象となる自然災害を合理的にモデリングするためには、圧縮性・非圧縮性流体、材料の構成則、固体の変形と破壊などの知識や、流体・固体連成現象を扱う理論をベースとした定式化が必要であり、さらに基礎方程式の特性を考慮した離散化手法や計算アルゴリズムを構築する必要がある。このためには、当拠点公募型研究で求められている分野横断型の計算力学研究者の共同研究体制が不可欠である。

上記に加えて、計算力学では、力学法則に基づいて複雑な現象の素過程を可能な限り忠実に扱うため、導出された基礎方程式系の計算負荷は一般に膨大なものとなり、大規模計算資源を有効に活用することが研究遂行のキーポイントとなる。このような理由から、本研究を推進するには、当拠点公募型研究で設定されている構成拠点の計算機科学者との協調的・相補的な研究体制が必要である。さらに、本研究で実施する計画の成果が得られれば、高性能な計算機アーキテクチャおよび大規模・高速計算技術の社会的な有用性を示すことができるため、計算機科学者にとっても意義があると考えられる。計算力学分野の研究者と構成拠点の計算機科学者が連携する体制に基づく本研究により、上記の展開が実現し、将来にわたり双方の協力がより緊密に維持されると期待される。

### 3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本研究で対象とする時間・空間スケールの自然災害に対して、土木工学では、地盤工学、構造工学、水工学などの専門分野において独立に研究が進められてきた。しかし、自然災害現象は、これらの各専門分野内で完結する問題ではなく、その発生メカニズムを解明するためには、専門分野間の横断的な協力が不可欠である。例えば、津波漂流物の衝突による建造物の破壊過程、豪雨や地震により誘発される斜面崩壊や土石流、雪崩などに見られ

### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

当拠点公募型研究については、平成 21 年度後期の試行段階から、土木学会の分野横断的な複数の計算力学研究者と構成拠点の計算機科学者の協調的な体制のもとで、平成 26 年度まで継続的に共同研究を展開している。申請課題名等は研究の進展とともに変遷しているが、いずれも「計算力学」をキーワードとして、順調に発展的な成果が得られている。

平成 23 年度から 26 年度までの報告書によれば、少なくとも学術論文 5 件、国際会議プ

ロシーディングス 9 件，国際会議発表 4 件，国内会議発表 12 件の研究成果を公開している。初期(平成 22 年度)の拠点公募型共同研究では，計算力学研究者が各自のプログラムを並列化する際の技術の共有や，利用するシステム等の特性に関する基本的な検討が行われた。また，平成 25 年度より 2 課題（他方は平成 26 年度における jh140005）に展開し，各研究課題のもとで共同研究を進めた。

平成 25 年度および平成 26 年度の当拠点公募型共同研究では，津波に伴う流体现象に焦点を絞り，広範囲の自由水面流れを扱える平面 2 次元ブシネスク方程式と，局所的に詳細な計算を行える 3 次元解法を連成させる有限要素法・流体解法を提案し，その高速化を行った。また，津波漂流物輸送に着目し，固体間および流体・固体間の力学連成を考慮できるマルチフェイズ解法に基づき，質点や球体などの単純形状物体ではなく，四面体要素で表現される多数の任意形状物体運動を扱う連成解法の並列化を行った。特に，平成 25 年度には，100 万個の回転楕円体（1 つの回転楕円体は 121 個の四面体要素により表現されている）を含む，動的負荷分散を考慮した自由水面流れと構造連成並列計算を行った。さらに，平成 26 年度には静止構造物と漂流物の衝突を考慮した，4,096 並列の流体・構造連成計算を京都大学の CRAY XE6 で実施している。

## 5. 今年度の研究成果の詳細

### (1) 粒子法によるマルチレベル津波遡上解析（浅井）

都市部の津波遡上解析を実施するには，事前に広域の津波伝搬解析を実施した上で，その結果を基にしたマルチスケール解析が必要不可欠である。そのため，広域の 2 次元解析は浅水長波理論に基づいた 2 次元差分法で解き，局所的な 3 次元津波解析は粒子法にて行うこととし，各解析を連成するための境界処理方法を開発実装した(図-1

にその概念図を示す)。特に 2015 年度は，各レベルの連成を可能とする仮想造波板を開発したことで，東日本大震災時の津波遡上被害の再現を通してその妥当性を確認することができた(図-2 参照)。また今後危惧される南海トラフ地震を想定した高知市津波被害予測へ向けて，津波遡上解析に必要な空間解像度についても議論した。以下にはその要点を説明する。

津波伝播解析(2D解析) レベル0解析	津波遡上解析(3D解析) レベル1解析	構造物周辺流れ(3D解析) レベル2解析
解像度10m~100m	解像度1m~5m	解像度5cm~50cm
震源~湾口	湾口~内陸部	構造物周辺

図-1 マルチスケール解析手法の概念図とレベルの定義

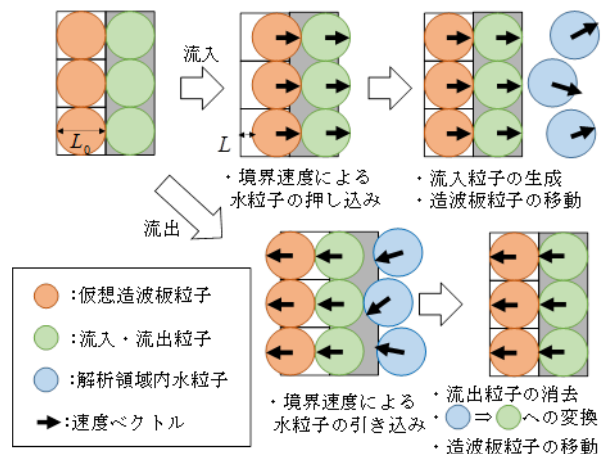


図-2 マトリックスアレイ状の仮想造波板境界処理の概念図

モデル作成手順：図-1 に示す都市部の津波遡上解析を粒子法にて解析するため，都市域の建物形状および微地形を詳細にモデル化する必要がある。そこで GIS データを有効活用し，半自動で都市全体の解析モデルを作成するツールを構築した(図-3)。同ツールでは一旦 GIS データより 3 次元 CAD データへとの変換が実施できれば任意の解像度の粒子モデルへと変換することができる。以降で示す高

知市津波遡上解析例では、都市部を 50cm・1m・2m・4m の解像度の計算結果を比較することで、街区遡上問題の予測に必要なとなる解像度についてと数値収束性についてを議論した

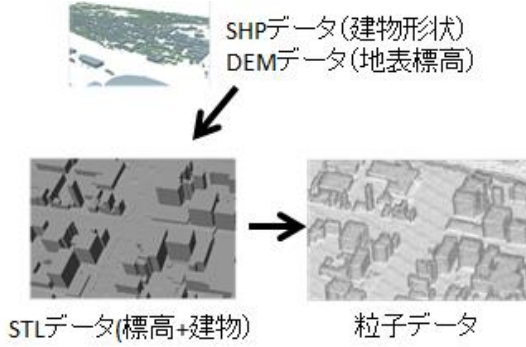


図-3. GIS から粒子作成までの流れ

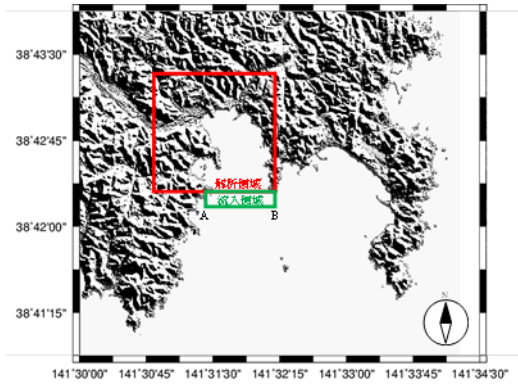


図-4 解析領域

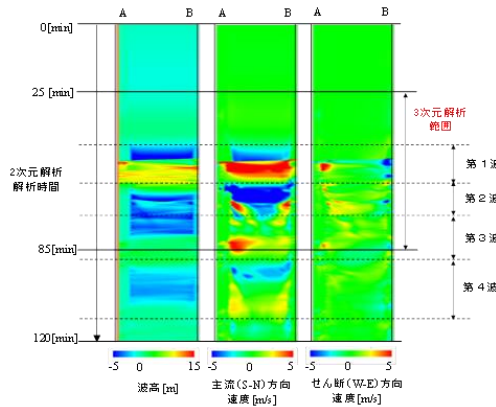


図-5 2次元解析からの入力情報

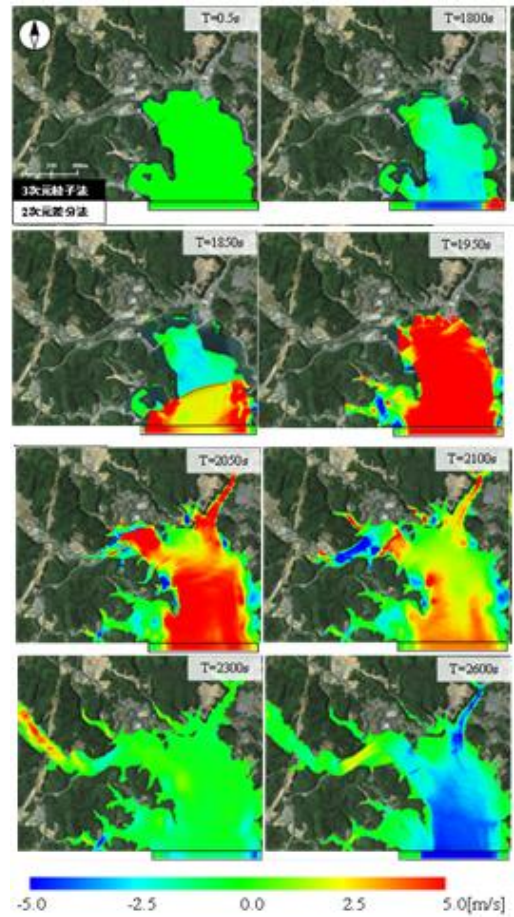


図-6 連成解析結果



図-7 被害報告書と数値解析結果の比較



宮城県三陸町歌津地区での被害状況再現による妥当性確認を行った。まずは構築したマルチスケール解析技術の信頼性を示すため、レベル 0 解析（浅水長波理論に基づく 2 次元解析）とレベル 1 解析（粒子法による 3 次元津波解析）の連成解析を実施した。解析対象地としては宮城県南三陸町歌津地区を選定した。図-4 に解析領域（2.4km×2.7km）と流入領域を示す。レベル 0 解析としては、東北大学・今村文彦教授らより提供していただいた東日本大震災の津波の再現解析結果を用いた。具体的には、津波第一波が到達した津波発生から 25 分後～85 分後までの 1 時間の結果を用いて、流入領域において観測した波高、水平方向流速よりレベル 1 解析の流入条件を設定した（図-5 参照）。レベル 1 解析の粒子法による 3 次元津波遡上解析では、粒子間隔を 2.0m、時間を 0.01s とし、壁面の境界条件としてはすべり条件を採用した。図-6 に各時刻における津波遡上解析結果を示す。なお、コンターは主流（S-N）方向の流速を示しており、流入領域において押し波ならば赤色、引き波であれば青色を示す。同図より 2 次元解析の結果と同様に、解析開始時から引き波が生じ、その後押し波の到達により浸水域が広がり、最終的に 2 度目の引き波の発生により浸水域が減少していることが確認できる。図-7 には歌津地区における震災時の浸水範囲（赤線）と解析結果の比較を示す。同図より、主流方向である図上向き（S-N 方向）だけでなく、図左向き（E-W 方向）への浸水も同様に再現されており、実際の浸水範囲と良好な一致が見られた。

## (2) 多数の津波漂流物輸送の数値解析

（牛島・鳥生・柳生）

3 次元固気液多相場のマルチフェイズ解法（MICS）の適用性を確認するため、京都大学防災研究所の津波再現水槽と沿岸市街地模型を

用いて漂流物輸送の水理実験を行った（京都大学防災研究所・一般共同研究・課題番号：27G-04）。本研究課題で扱う数値計算手法の検証を行う際の計算条件にも関係するため、この水理実験の概要を述べておく。

実験で使用した東北地方 X 地点の沿岸市街地模型と漂流物および計算の対象領域を写真-1 に示す。模型のスケールは 1/250 である。漂流物は 10×20×10 [mm] の ABS 樹脂である。写真-1 に示すように、この漂流物を模型の沿岸部に 42 個配置し、津波再現水槽に水を流入させて漂流物が構造物間を輸送されていく状況をビデオカメラで上方から撮影した。なお、実験は同様の条件で 3 回行った。

計算対象は写真-1 の黄線で囲まれた領域とし、図-8 のような計算領域を設定した。なお、計算では図-8 に示されるように、底面の一部から鉛直上向きに単位時間当たり  $4.45 \times 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>] の水を流入させた。流入量については、水のプロントの進行速度が実験と一致するように設定した。底部以外の流速の境界条件としては、側面は全て non-slip 条件とし、上部境界について自由流出条件とした。圧力の境界条件については、上部および底部では重力加速度を考慮して定め、その他の境界では勾配 0 のノイマン条件を課した。

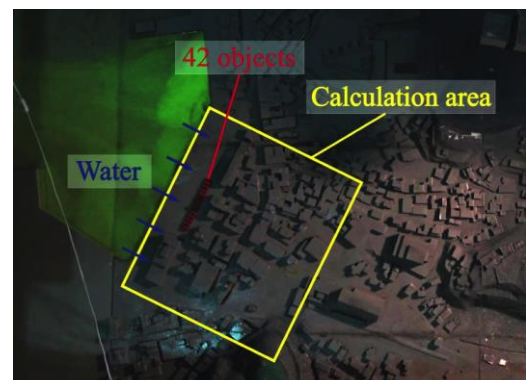


写真-1 実験で使用した沿岸市街地模型と漂流物および計算対象領域

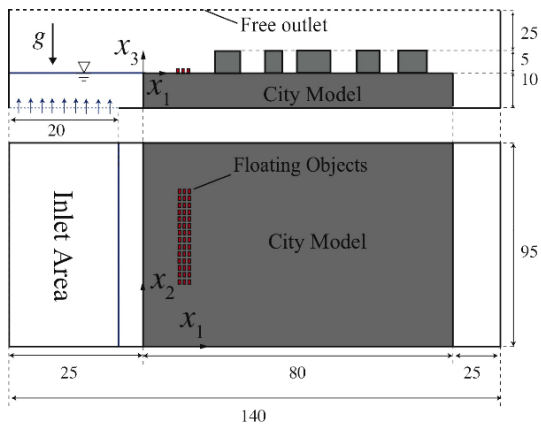


図-8 計算領域の概要 (単位 : [cm])

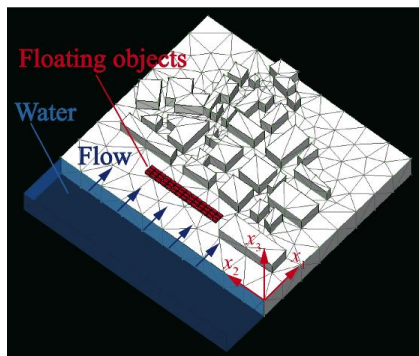


図-9 計算における漂流物の配置

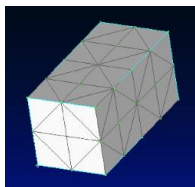
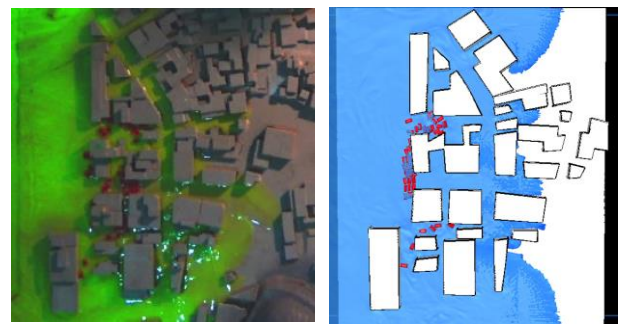


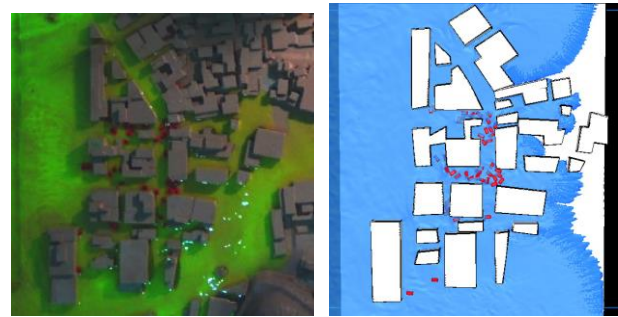
図-10 漂流物モデル(四面体数 : 134)

計算では、漂流物は実験と同様の大きさの直方体とし、合計 42 個を図-9 のように配置した。漂流物の密度は実験と同様の  $893 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  とした。各漂流物は図-10 に示されるように、合計 134 個の四面体要素の集合体として表され、その表面に接触判定球を配置した。一方、沿岸市街地モデルの表面は図-9 のように三角形要素の集合体として表され、この三角形要素と漂流物の接触判定球を用いて接触力の計算を行った。

計算格子数は各方向に  $350 \times 270 \times 250$  であり、計算格子幅は各方向に  $3.43 \times 3.51 \times 1.2 \text{ [mm]}$  である。本計算では 3 次元領域分割法に基づき、flat MPI による演算の並列化を行っている。



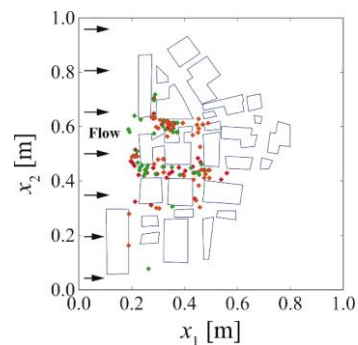
(a)  $t' = 3.0 \text{ [s]}$



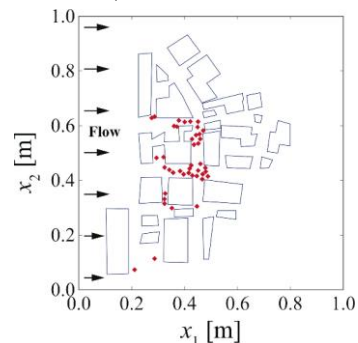
(b)  $t' = 6.0 \text{ [s]}$

図-11 漂流物の輸送状況の比較

(左 : 実験, 右 : 計算)



(a) 実験結果 (実験 3 回分をすべて表示)



(b) 計算結果

図-12 漂流物の重心点分布 ( $t' = 6.0 \text{ [s]}$ )

この計算では、並列プロセス数は各方向に  $10 \times 6 \times 5$  として、合計 300 並列で計算を行った。漂流物全体の重心点座標が所定の距離だけ移

動した時刻を  $t' = 0.0$  [s] とし、各時刻における実験および計算結果を図-11 に示す。図-11 に示されるように、構造物間への水の流入に伴って漂流物が複雑な流路を輸送されていく状況が数値計算で再現されていることがわかる。また、実験で撮影した画像と計算結果を比較し、漂流物の主な輸送経路が実験と計算で良く一致することも確認した。

実験および計算の  $t' = 6.0$  [s] における漂流物の重心点分布を図-12 に示す。図-12 では、3 回の実験結果をすべて表示している。図-12 に示されるように、計算で得られた各時刻の漂流物の重心点分布は、実験結果と概ね一致することを確認した。

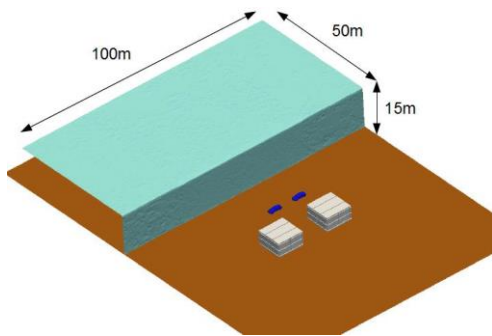
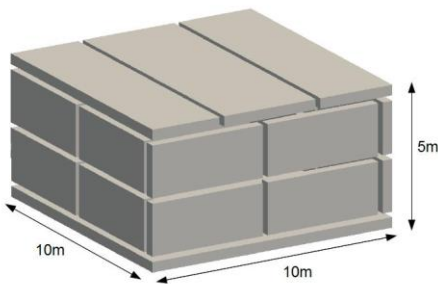
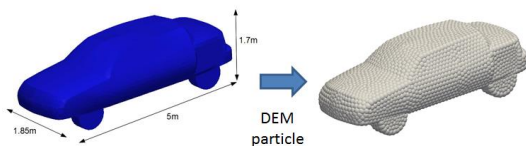


図-13 計算領域

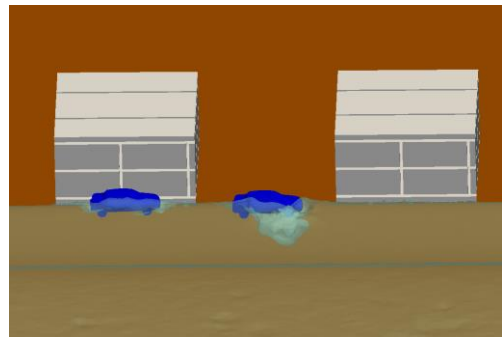


(a) 建物モデル

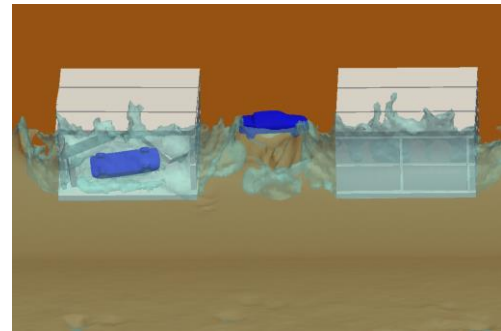


(b) 車モデルと DEM の球要素

図-14 構造物寸法と粒子モデル



(a) 建物破壊前



(b) 建物破壊後

図-15 計算結果

### (3) 津波漂流物および流体力による構造物の破壊過程の解析 (高瀬・寺田・樫山・松本)

安定化有限被覆法に基づく構造流体連成解析手法により、ダムブレイク流れによって流体力を受ける構造物の破壊解析を行った。計算領域は図-13 に示すように高さ 15m の水柱を建物前方に配置している。また、図-14 に建物寸法と車の粒子モデルを示す。この図に示すように構造物の破壊・接触は個別要素法 (DEM) を用いて解析を行っている。破壊モデルには Cohesive model を用いている。流体解析には約 3320 万要素、構造解析には約 6 万 4 千の球要素を用いている。時間増分  $\Delta t$  は流体解析が 0.001 [s]、構造解析はその 1000 分の 1 の値を用いている。

図-15 に建物の破壊前後の解析結果を示す。この図より、車が衝突することにより、左の建物の壁面が壊れる様子が再現できた。以上の結果により、津波流体力および漂流物の衝突による構造物の変形・破壊過程と、その過



程がさらに 2 次的な構造物の被害を引き起こす災害の再現が可能であることが確認できた。

#### (4) 土石流・雪崩災害の数値解析

(森口・高瀬・寺田)

非ニュートン流体モデルを用いた安定化有限要素法による雪崩の解析を行った。解析対象は図-14 に示すように 2011 年に山形県月山沢の国道 112 号沿いで発生した雪崩の再現解析を行った。図-16 に実際の雪崩発生後の全景および地形の再現メッシュを示す。雪崩発生時は高さ 5.3m の既設防護壁のみ設置されている状態であったが、現在は道路側に高さ約 5m の仮設防護壁が追加されている。パラメータ設定は、表-1 に示す値を用い、地形全面については non-slip 境界を与えた。なお、雪の密度は現地での測定された平均値、内部摩擦角など値は、既往の研究を参考に決定した。現地調査により、対象区域の平均積雪深が 2.7m と報告されているため、発生区の積雪深さは 3m に設定した。

数値解析例として、既設防護壁のみ設置した条件で、雪崩発生時の再現計算を行った。図-17 (左) に示す結果より、雪崩が防護壁を乗り越えて道路全幅に渡って体積しており、実際の状況と近い結果が得られたことから、本手法の再現性が確認できた。次に、仮設防護壁が追加で設置された条件での雪崩解析を行い、仮設防護壁の影響について調査した。図-17 (右) に示す結果より、仮設防護壁を追加したケースでは、既設防護壁のみのケースと比較して道路への流出量は非常に少なく、雪崩災害のリスクは回避されていると思われる。これより、防護壁の設置による効果が再現されたと考えられ、従来の雪崩解析でよく用いられている深さ方向に静水圧近似をした 2 次元解析とはことなり、3 次元による解析を行っているため、複雑な地形上での雪崩の挙動を表現することができている。

表-1 雪崩解析における各種パラメータ

パラメータ	雪	空気
密度 $\rho$ (kg·m <sup>-3</sup> )	400	1.25
粘性係数 $\eta$ (Pa·s)	-	$1.81 \times 10^{-5}$
最大粘性係数 $\eta_{max}$ (Pa·s)	$1.0 \times 10^{10}$	-
最小粘性係数 $\eta_0$ (Pa·s)	1.0	-
内部摩擦角 $\phi_1$ (°)	22	-
内部摩擦角 $\phi_{2(min)}$ (°)	10	-
粘着力 $c$ (N)	100	-
式 (11) パラメータ $\gamma_p$ (s <sup>-1</sup> )	30	-
時間増分 $\Delta t$ (s)	$5.0 \times 10^{-3}$	

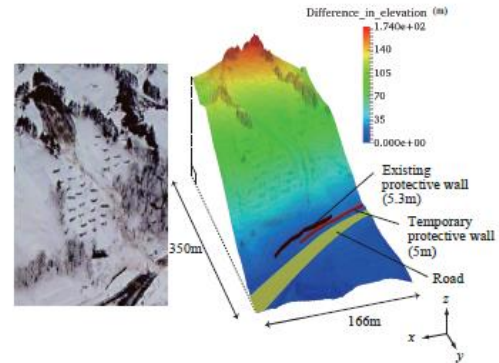


図-16 雪崩発生状況と解析モデル

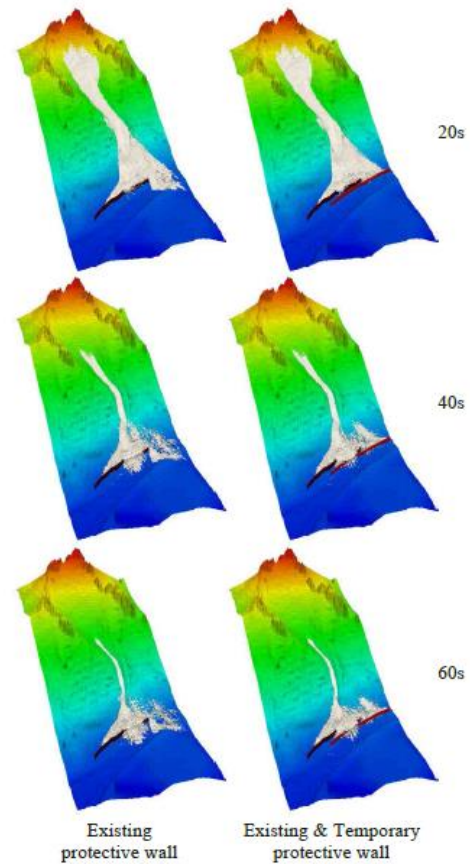


図-17 解析結果



## 6. 今年度の進捗状況と今後の展望

### (1) 粒子法によるマルチレベル津波遡上解析 (浅井) :

上記で開発した解析結果は、2011 年の津波被害の一例の再現を通して妥当性確認し、また同形状の解析モデルを使用して数値解の収束性 (必要最低限の空間解像度の見積もり) を計算例を通して確認した。ただし、対象としている問題の複雑さからまだ粒子法そのものの検証を実施したとは言い難い。今後、より適切な検証例題を通して数値解析手法の信頼性を確保し、妥当な数値予測例を提供できるように努めたい。

### (2) 多数の津波漂流物輸送の数値解析

(牛島・鳥生・柳生) :

今年度は、3次元固気液多相場の解法 MICS を京都大学防災研究所の津波再現水槽と沿岸市街地模型を用いて行った漂流物輸送の水理実験に適用し、複雑な形状の構造物間を輸送される漂流物の分布を概ね再現できることを確認した。この結果、従来数値実験が中心であった本解析手法の適用性の検証が行われたと考えられる。今後は漂流物の個数や大きさ、初期配置等の影響について検討するとともに、実スケールに近い現象を再現するためのモデルや解法の改良を進める予定である。

### (3) 津波漂流物および流体力による構造物の破壊過程の計算 (高瀬・寺田・檜山・松本) :

漂流物、構造物を増やし、より実現象に近い状態での津波による構造物の破壊・接触を含む連成解析を行うため、コードのさらなるチューニングを行い、大規模計算への適用、を行う予定である。

### (4) 土石流・雪崩災害の数値解析

(森口・高瀬・寺田) :

実際の災害に適用し再現計算を行い、精度検証を行う。そのためには、災害発生領域全

体にわたる計算領域を高解像度でモデル化する必要があるため、大規模計算技術を用いて実施する予定である。

### (5) 災害解析結果の視覚的理解と評価

(共同研究者全員) :

本年度得られた一連の津波災害解析手法と土石流・雪崩解析手法の力学モデルや離散化手法、高速演算技術などの知見を共有するとともに、計算結果に対する視覚的理解を進め、共同研究者を中心とする会合や公開セミナー等を開催する。また、本共同研究の趣旨に沿うよう、本研究課題参加者の活動を通じて、成果の公開と社会貢献を図る。

## 7. 研究成果リスト

### (1) 学術論文

1. 青木一真, 牛島省, 柳生大輔, 鳥生大祐, 井唯博士: 構造物および地表面との衝突を伴う多数の津波漂流物輸送の数値実験, 土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol. 71, No. 2, I\_379-I\_388, 2015.
2. Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai : Three-dimensional incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics for simulating fluid flow through porous structures, *Transport in Porous Media*, Vol.110, pp.483-502, 2015.
3. Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai A. Chamkha : Analysis of Unsteady Mixed Convection in Lid-Driven Cavity Included Circular Cylinders Motion Using an Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics Method, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, Vol.25, 2015.
4. Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai.: Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics Simulations of Fluid-Structure Interaction on Free Surface Flows, *International Journal of Fluid Mechanics Research*, Vol.41,

- pp.471-484, 2015.
5. 江口史門, 浅井光輝, 大谷英之, 一色正晴 : 建物群を含む地表面詳細モデルを用いた粒子法による三次元津波遡上解析, 地震工学講演会論文集 (土木学会論文集 A1 特集号), 2016.
  6. 宮川欣也, 浅井光輝, Abdul Muhari, 今村文彦 : 仮想造波板による平面 2 次元解析と 3 次元粒子法の連成型津波遡上解析, 地震工学講演会論文集 (土木学会論文集 A1 特集号), 2016.
  7. 宮川欣也, 浅井光輝 : 粒子法による多段階ズームイン津波解析に向けたマトリックスアレイ状仮想造波板, 土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol. 71, p. I\_267-I\_277, 2015.
  8. 野村怜佳, 高瀬慎介, 寺田賢二郎, 森口周二 : 防潮林の減災特性評価を目的としたマルチスケール数値実験, 土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol. 71, No. 2, I\_193-I\_201, 2015.
  9. 高瀬慎介, 森口周二, 寺田賢二郎, 小山直輝, 金子賢治, 車谷麻緒, 加藤準治, 京谷孝史 : 構造物の破壊を考慮した有限被覆法に基づく構造流体連成解析, 土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol. 71, No. 2, I\_193-I\_201, 2015.
- (2) 国際会議プロシーディングス  
該当なし.
- (3) 国際会議発表
10. K. Aoki, S. Ushijima, H. Itada and D. Toriu : Parallel computations for many floating objects transported by tsunami flows : PANACM2015, pp.611-622, Buenos Aires, Argentina, 2015.
  11. D. Yagyu, S. Ushijima, D. Toriu and H. Itada : Parallel computation method for many floating debris caused by Tsunami flows, IAHR-APD2016, Colomba, Sri Lanka, 2016. (2016 年 8 月発表予定, 発表採択済)
  12. S. Takase, S. Moriguchi, K. Terada, K. Kashiyama, M. Asai, and M. Kurumatani : Fluid-Strucutre Interaction analysis with finite cover method, The 18<sup>th</sup> International conference on Finite Elements in Flow Problems, Taipei, Taiwan, 2015.
  13. S. Takase, S. Moriguchi, K. Terada, M. Muramatsu : Finite Cover based FSI analysis with tsunami impact loading, 13<sup>th</sup> U.S National Congress on Computational Mechanics, San Diego, 2015.
  14. Mitsuteru Asai, Shimon Eguchi, Nur Ain Binti Idris : Multi-Scale and -physics tsunami simulation from earthquake center to infractructures, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Violent Flows, Osaka, Japan, 2016.
  15. Yoshiya Miyagawa, Mitsuteru Asai, Multi-scale bridge wash out simulation during tsunami by a stabilized ISPH method : The 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering for Sustainability (IConCEES2015), Melaka Malaysia, 2015.
  16. Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa : Multi-scale and -physics particle simulation for tsunami disaster mitigation, Analysis of Continuum Mechanism and Industrial Applications (CoMFoS15), Fukuoka, Japan, 【基調講演】, 2015.
  17. Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Tomotaka Nogami : Multi-scale and -physics tsunami disaster simulation for disaster mitigation, IWAC OM-III(International Workshops on Advanced of Computational Mechanics), Tokyo 【招待論文】, 2015.
  18. Junichi Matsumoto, Kazuo Kashiyama : A coupling method using stabilized MINI element of 2D shallow water flow and 3d gas-liquid two-phase flow, The 6th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2015), 2015.
  19. Junichi Matsumoto, Naoki Takada : Gas-liquid-solid three-phase flow analysis based on

- multi-phase-field model using implicit finite element method, The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), CD-ROM, 2015.
20. G. Ling, K. Kashiwama, J. Matsumoto : A 2D-3D hybrid model based on stabilized finite element method for tsunami runup simulation, CODE2015, pp.49, 2015.12.
- (4) **国内会議発表**
21. 青木一真, 牛島省, 柳生大輔, 鳥生大祐, 井唯博吏 : 構造物および地表面との衝突を伴う多数の津波漂流物輸送の数値計算 : 土木学会第 18 回応用力学シンポジウム講演概要集 (ポスター), pp. 271-272, 2015.
22. 青木一真, 鳥生大祐, 牛島省, 井唯博吏 : 多数の津波漂流物輸送と衝突防止工の効果に関する大規模並列計算 : 土木学会第 69 回年次学術講演会, CS8-002, 2015.
23. 鳥生大祐, 牛島省, 井唯博吏, 柳生大輔, 森信人, Adi PRASETYO, 安田誠宏, 平石哲也, 間瀬肇 : 構造物群との衝突を伴う多数の漂流物輸送の模型実験に対する多相場解析手法の適用性 : 平成 27 年度防災研究所研究発表講演会, C35, 2016.
24. 井唯博吏, 牛島省, 鳥生大祐, 柳生大輔 : 沿岸市街地モデル内を輸送される津波漂流物の水理実験に対する並列数値解法の適用性 : 土木学会第 19 回応用力学シンポジウム, 2015. (2016 年 5 月ポスター発表予定, 発表採択済)
25. 高瀬慎介, 森口周二, 寺田賢二郎 : 安定化有限要素法を用いた土砂流動解析手法の構築, 計算工学論文集, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
26. 野村怜佳, 高瀬慎介, 寺田賢二郎, 森口周二 : 防潮林による津波減衰効果を評価するためのマルチスケール数値実験, 計算工学論文集, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
27. 蛭間雄大, 森口周二, 高瀬慎介, 寺田賢二郎 : 個別要素法を用いた土砂流動解析における粒子特性の影響, 計算工学論文集, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
28. 凌国明, 松本純一, 榎山和男 : 有限要素法に基づく 2 次元・3 次元津波解析とそのハイブリッドモデルの構築, 計算工学論文集, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
29. 太田真貴子, 凌国明, 榎山和男 : LES に基づく安定化有限要素法を用いた自由表面流れの精度検証, 計算工学論文集, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
30. 一色正晴, 浅井光輝 : 粒子法による大規模津波遡上解析結果の津波防災・減災に資する可視化手法, 日本計算工学会, Vol. 20 CD-ROM, 2015.
31. 松本純一, 高田尚樹 : 非構造格子を用いた陰的有限要素法による Multi-Phase-Field モデル流体解析, 第 20 回計算工学講演会, CD-ROM, 2015.
32. 松本純一, 高田尚樹 : 陰的有限要素法による Multi-Phase-Field モデル三相流れ解析, 第 28 回計算力学講演会, CD-ROM, 2015.
33. 凌国明, 松本純一, 不室太希, 榎山和男 : 安定化有限要素法に基づく 2 次元・3 次元ハイブリッド津波解析モデルの構築, 第 18 回応用力学シンポジウム, 100046, 2015.5.
- (5) **その他 (特許, プレス発表, 著書等)**  
該当なし.