

機関番号：26402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710202

研究課題名(和文) 漂流物を考慮した実用的な津波シミュレーションシステムの開発

研究課題名(英文) Simulation of Tsunami Simulation System Considering Effects from Debris

研究代表者

ボンコグゲサクル ナタコーン (BONGOCHGETSAKUL, NATTAKORN)

高知工科大学・公立大学の部局等・講師

研究者番号：10436553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は漂流物を考慮した津波シミュレーションシステムの構築を目的とした。津波が遡上し街が呑み込まれる範囲を想定し、大規模な街モデルと漂流物の移動を対象としている。開発した解析システムはナビエ-ストークス方程式をSPH法(Smooth Particles Hydrodynamics)の手法で解くという構成になっている。最新の超並列計算技術(GPGPU)を導入したことによって、本来のCPU計算より10倍ほどの計算時間を短縮ことが確認できた。この手法により流体(津波)と個体(漂流物)を同時にシミュレーションすることが可能になり、流体しか考慮できない従来の津波解析より新たな被害を想定が想定し易くなる。

研究成果の概要(英文)：This research is aimed to construct the simulation system of tsunami while considering debris. The scope of the simulation covers the large-scale tsunami running up the ground supporting houses, buildings, and vehicles. The developed simulation is based on the SPH method (smooth particles hydrodynamics) solving the Navier-Stokes equations. The latest massive parallel computing technology was introduced to equations solver. Calculation speed is approximately increased about 10 times over the CPU computing. By the SPH method, both liquid (tsunami) and solid (debris) can be simultaneously simulated, which brings a possibility to evaluate the damage from both tsunami and debris attack that cannot be done by traditional simulation method.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：津波 シミュレーション 漂流物 GPU CUDA SPH 粒子法 災害

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では震災前の想定を著しく上回る津波被害が発生し、日本の防災計画の根本的な見直しの必要性を痛感させた。中でも、津波が家屋や自家用車、船舶などを押し流しながら沿岸より数 km の範囲までに及ぶ様子は、今まで防災計画中で余り注目されていなかった津波による漂流物の影響と対策の必要性を劇的な形で明らかにした。

1995 年の阪神淡路大震災による死者の 8 割が家屋の倒壊を原因としたのに対し、東日本大震災の死者の 9 割は津波による水死であった。巨大な津波に対する認識の甘さなど多くの要因が被害の拡大を招いたと考えられるが、津波と共に押し迫る家屋の瓦礫や自家用車に衝突、また押し流されて水死したケースも多い。また、漂流物は津波による海水流入経路に影響を及ぼした。これにより避難路が漂流物で遮断されたり、避難場所が漂流物によって破壊、使用不可能になった。こうした漂流物の影響は従来の防災計画ではほとんど検討されていなかった。とくに木造構造物が多数を占める地方の市町村では、今後漂流物の発生や漂流物の発生自体を最小限に留めるための防災計画が必要となる。

津波シミュレーション研究では、津波の発生から沿岸流入までの過程、規模の推定を対象としてきた。海岸から内陸部への海水流入の解析は、国内では十年以上前から東京大学や東北大学などで行われている。しかし、今回の災害で認識された津波による漂流物の影響、すなわち海水移動に伴う物体移動をシミュレートするシステムは確立されておらず、現状では防災計画に漂流物の影響を反映することは困難である。

津波解析における漂流物の検討が遅れている理由として以下の 2 点が挙げられる。

解析が東京などの拠点都市を対象とすることが多く、津波により倒壊する恐れのある木造構造物が少なく、港湾整備も充実しているため漂流物の影響は少ないと考えることができた。

シミュレーション開発当時、計算機技術が十分に発展しておらず市町村レベルの大規模モデルを流体だけでなく固体の挙動を加えて解析することは困難であった。

現在、シミュレーションシステムとして稼働している津波解析の多くは、流体移動のみを扱う浅水方程式を基本に構築されている。これは当時の計算環境、解析技術下においてシステム確立を優先した結果である。この十年で計算環境、特にハードウェア環境 (CPU や GPGPU やネットワークなど) は格段に進歩し、新たな解析技術 (粒子法) の応用による津波解析の進化が始まっている。粒子法とは流体でも固体でもまるで原子のように、粒子と粒子の相互作用として表現する比較的に新しい解析手法で、流体中の固体、すなわち水中の漂流物体の移動を同時計算することが可

能である

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究は粒子法による漂流物の移動や衝突を再現可能な津波シミュレーションシステムの構築を行う。解析実行の高速化のため、画像処理ユニットによる汎用計算技術 (GPGPU) を導入する。

災害予測や防災計画の検討に津波シミュレーションを活用するには、市町村規模となる数 km から数十 km 四方範囲という大規模解析が求められる。また、流体および固体の移動解析、総合的防災計画に必要な家屋倒壊、避難シミュレーションとの相互解析を念頭におくと、かなり高速かつ安定した高度計算環境が必要となる。これを実現するには通常の PC やワークステーションでは時間的にも計算規模的にも不可能であり、スパコンを用いることが必要条件となる。

一方、現時点ではスパコンの計算能力を十分に活かし、かつ安定した津波解析を行うことのできるシミュレーションシステムは開発されていない。本研究はこうしたスパコン環境下でのシステム開発への挑戦である。

3. 研究の方法

粒子法は約 30 年前開発されて、改良を重ねて進化し続けてきた。本研究で採用した粒子法は Liu (2003), Monaghan (2005) らに基づいたものである。主な近似関数は以下に示す。

$$A(r) = \int A(r') W(r - r', h) dr' \\ = \sum m \frac{A}{\rho} W(r - r', h)$$

W は近似関数 (カーネル関数) と呼ばれ、シミュレーションの結果を大きく左右するものである。ここでは最大精度の四次関数を用いることにした。その他に運動量関数、連続関数、状態の関数、粒子密度の再初期化などを組み込まれている。

C++ と FORTRAN で書かれた津波解析を高知工科大学のスパコン (GPU 並列計算機) 環境で実行することでシステムの効率化を図る。具体的には、スパコンの性能をフルに引き出すためにスパコン内の各計算ノード間のデータやり取りとメモリのマネージメント技術 (MPI)、計算ノード内のマルチ CPU 計算技術 (OpenMP)、GPGPU 計算技術 (CUDA) からなる GPU ハイブリッド並列計算法を導入する。これら 3 つの技術を用いた津波シミュレーションは存在せず、本研究独自の挑戦である。システム設計では、大規模解析を念頭に解析の安定性、拡張性に重点をおく。

4. 研究成果

本研究で開発したシステムの基本的なシミュレーション結果は例として以下の図に示す。立つ細長い3個の個体ブロックに、ブロックの半分の高さまでの流体を放す時系列のスナップショット図を示す。

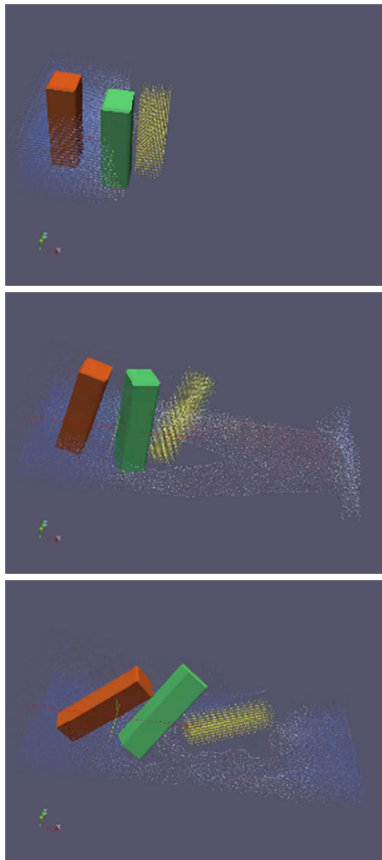


図1．流体・個体の相互関係のシミュレーション結果

個体の密度（コンクリート材、木材等）によって、個体の移動・動きが異なる。流体の働き力によって、個体が流される、個体が倒れ、別の個体に衝撃することも再現できることを確認できる。

流体と個体は粒子の集合体で構成されているため、シミュレーション範囲に入っているすべての物体を粒子で置き換える必要がある。その数は解析の規模によるが、数百～数億個の粒子が必要となる。すべての粒子は連動で働いているため、既に各粒子の情報（位置、速度、密度等）を計算機のRAM（メモリー）に保存する必要がある。特に、GPU上に計算する上にGPUのメモリー容量が決定的な要にならざるを得ない。スーパーコンピュータクラスの計算機を用いた場合でも街規模のスケールを細部まで再現するシミュレーションは困難なことが分かった。

以下の図は高知県須崎市の一部を20mの津波が到来したときの様子を示す。計算機の処理能力を超えたため、粒子の表面レンダリングが上手くいかない箇所もある。

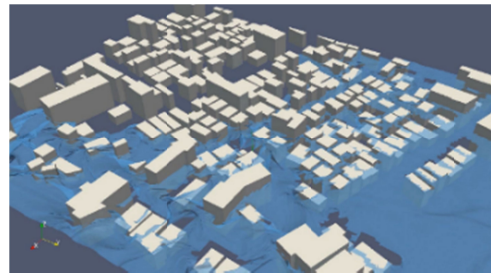


図2・高知県須崎市の一部の20m津波シミュレーション結果

粒子法による大規模シミュレーションの限界が分かった上で、以下の活用方法は検討が可能な範囲と思われる。

- 街規模の計算は粗い解像度の粒子を用いて全体の津波の流れと大きい漂流物（家屋や船舶）を把握する。
- 細部のエリアの検討が必要な場合、エリア全体の粗いシミュレーション結果を初期条件として対象をした小規模エリアを細かい解像度の粒子で計算を行う。この場合の漂流物対象物は車より小さいものを検討することが可能になる。

本シミュレーションは高知県が半地下津波非難シェルターの地上構造物の形状を検討することにも活用でき、建物の形状は流れの速度に影響を及ぼすことが確認できた。丸みのある形状の建物の方は流れを回避する力が高いが、四角い形状より周辺の流れが速く、漂流物に衝突された場合に大きな衝撃力が発生することが分かった。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ボンコッゲサクル ナタコーン
(BONGOCHGETSAKUL, NATTAKORN)
高知工科大学・社会マネジメント研究シ
ステムセンター・特任講師
研究者番号：10436553

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：