

令和元年6月12日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01249

研究課題名(和文) 波源を含む広域解析と陸域での三次元解析を連動させた津波被害全体像予測モデルの開発

研究課題名(英文) Development of a numerical prediction model for the whole image of tsunami disaster linking wide area 2DH analysis and 3D analysis in coastal area

研究代表者

米山 望 (YONEYAMA, NOZOMU)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：主に沿岸域で発生する津波被害メカニズムの検討には、詳細な三次元数値解析(3D解析)が必要である。一方、海底で発生し沿岸域まで到達する津波挙動の予測には広域の平面二次元解析(2DH解析)を行う。津波発生時、複数の波が沿岸に押し寄せ、沿岸からの戻り波と干渉するため、3D解析と2DH解析は同時並行的に行う必要がある。そこで本研究では波源を含む広域2DH解析と沿岸域の3D解析を連動させた津波被害全体像予測モデルを開発するとともに、湾口防波堤に作用する津波波力評価、陸上鉄筋コンクリート構造物の転倒原因の評価および巨大津波発生時の塩分遡上に伴う浄水場被害予測に適用し、災害メカニズムとその対策を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、津波被害の全体像を明らかにするため、実際に被害が発生する沿岸部を対象とした詳細な三次元解析と津波が発生し沿岸部に達するまでの津波伝播解析を連動できる解析コードを開発した。これにより、繰り返し沿岸に襲来する津波が、沿岸からの戻り波と干渉してその波形が変化していく様子を適切に再現することが可能になった。開発したコードは、湾口防波堤に作用する津波波力や避難タワーなどが想定される陸上の鉄筋コンクリート構造物の津波耐力の検討、また、津波の河川遡上に伴う浄水場被害検討など、津波対策強化に資する検討を行った。今後は、開発したコードを用いて、地滑り津波評価を行っていく予定である。

研究成果の概要(英文)：A three-dimensional numerical analysis (3D analysis) is required to study the mechanism of tsunami damage that occurs mainly in the coastal area. On the other hand, a horizontal two-dimensional numerical analysis (2DH analysis) is required to predict the behavior of the tsunami that occurs on the seabed and reaches the coastal area. Predicting the tsunami disaster, it is necessary to carry out 3D and 2DH analysis simultaneously, as waves rushing to the coast and the return waves from the coast affect each other. Therefore, we develop a numerical prediction model for the whole image of tsunami disaster linking wide area 2DH analysis and 3D analysis in coastal area. The model was applied to the following three damages at the time of the huge tsunami occurrence, and those mechanisms were discussed.

(1) Damage to the offshore breakwater. (2) Overturning damage of on-shore reinforced concrete structures. (3) Damage to water purification plants caused by the salinity transport in a river.

研究分野：水理学

キーワード：津波 三次元数値解析 平面二次元解析 連動解析 防潮堤 塩分遡上

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、陸上部に津波が押し寄せ、氾濫し、引いていく過程において構造物被害（橋梁、防波堤）、漂流物被害、河川遡上など様々な災害が発生した。これらに対応するため、それぞれの津波被害要素の解明や被害予測に関する研究が広く行われているが、まだ始まったばかりであり、今後とも災害要素の再現に関する研究を継続的に行っていく必要がある。一方、津波災害は、波源域から沿岸域までの全体地域に、複合的な被害を引き起こす災害であり、上記の災害要素がそれぞれ津波挙動を変化させ、それが他の現象に影響を与える。また、構造物の存在による反射波を含めた第一波引き波と第二波以降の波形変化等も考慮する必要があり、注目する要素のみの解析では津波の全体像を把握できない。

2. 研究の目的

津波が引き起こす様々な災害要素に対する被害メカニズムの予測・解明および、それらの災害要素が交互に影響を及ぼし合った複合災害としての全体像を把握できる数値シミュレーション手法の開発を目的とする。津波により発生する災害要素のうち、津波氾濫、構造物被害、河川遡上を取り上げ、これまでに行ってきた研究を深化させることでできるだけ精度よく現象予測を行う。また、津波被害の全体像を把握するため、波源を含む津波挙動シミュレーションと上記の災害要素の三次元解析をそれぞれの解析精度を損ねることなく同時並行的に解析できる数値シミュレーション手法（津波災害全体像予測モデル）を開発・整備する

3. 研究の方法

(1) 津波災害全体像予測モデルの開発

モデルの開発は以下の三点を中心に行った。

ネスティング可能な平面二次元解析コードの開発整備

本手法では、津波波源を含む広大な領域のグリッド間隔はキロメートルオーダーであり、沿岸域における詳細三次元解析でのグリッド間隔はメートルオーダーであるため直接接続することができない。そこで、ネスティングを行って、グリッド間隔の小さい平面二次元解析領域を複数内包させて、グリッド間隔を小さくしていき、最内部の平面二次元解析領域を三次元解析領域と接続する。

平面二次元解析コードと三次元解析コードの連動解析手法の開発

平面二次元解析と三次元解析を相互にデータを交換しながら連動して行う TWO-WAY カップリング手法を開発する。この際、空間次元や計算時間間隔、グリッド間隔などの違いを調整しながら解析する。

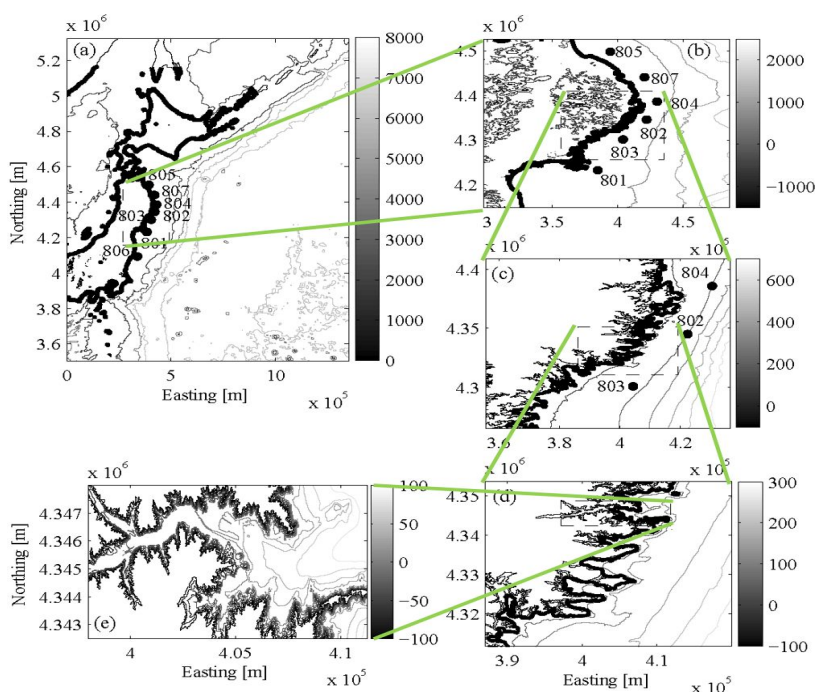


図1 ネスティングの例（釜石湾）

### 三次元解析コードの高度化

詳細解析を行う三次元解析コードは、これまで、津波の詳細な挙動や津波波力の予測評価が可能であることが分かっている。本研究では、津波により河川を遡上する塩分の挙動を適切に予測評価できる解析手法を開発する。具体的には、塩分濃度の移流拡散方程式に基づいて塩分を移動させ、塩分による河川水の密度変化を考慮した密度流解析を行う。

### (2) 津波災害全体像予測モデルの適用

開発したモデルを用いて津波被害のメカニズム解明を行った。検討対象は、釜石湾湾口防波堤の損傷被害、女川町の陸上鉄筋コンクリート建造物の転倒被害、津波の淀川河川遡上に伴う浄水場の取水被害とした。

## 4. 研究成果

津波災害全体像予測モデルを開発し、以下の津波被害に適用して、災害メカニズムの解明と対策の検討を行った。

### (1) 釜石湾湾口防波堤の損傷被害

東北地方太平洋沖地震津波により被災した釜石湾湾口部に設置されている巨大防波堤を対象として、開発したモデルを用いて、同地震津波により作用した流体力を再現した。同津波の波源を含む大領域から釜石湾へ、複数の平面二次元解析領域を設定したネスティングを行うとともに(図1)、巨大防波堤の開口部に三次元解析領域を設定した。その結果、解析により算定された同津波による流体力は開口部の潜りケーソンの抗力の限界値を上回っていることが分かった(図2)。同潜りケーソンは実際に損傷していることから、本モデルによりケーソンの損傷被害を予測可能であることが分かった。

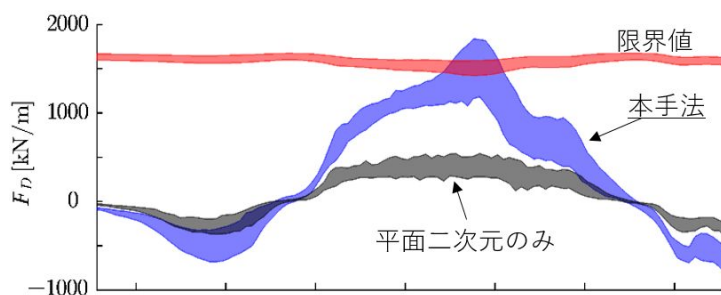


図2 潜りケーソンに作用する流体力の解析結果  
(本手法の計算結果は限界値を超えている)

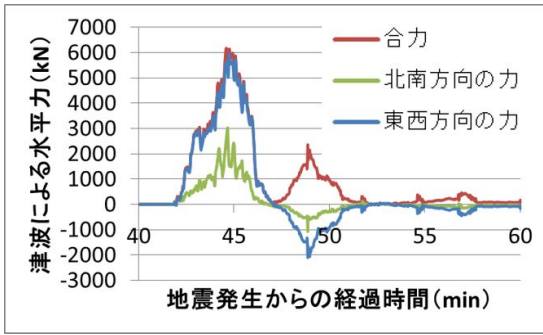
### (2) 女川町の陸上鉄筋コンクリート建造物の転倒被害

東北地方太平洋沖地震津波により女川町で発生した鉄筋コンクリート構造ビルの倒壊現象に開発したモデルを適用した。震源域を含む領域から女川町中心部までのネスティングを行い、女川町中心部を三次元解析領域とした。

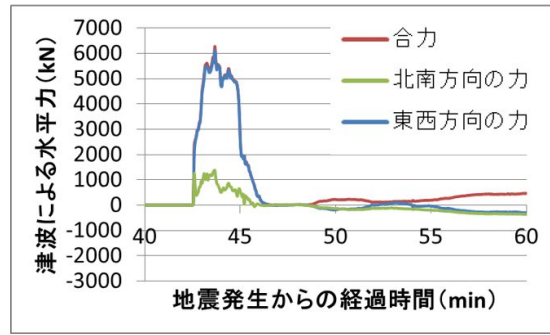
まず、本モデルの津波流動に関する妥当性を平面二次元のみの解析と比較して検証した。その結果、本モデルと平面二次元解析では、建物に作用する水平力の時間変化に図3に示すような差異があることが分かり、詳細に予測するためには、本モデルが必要であることが確認された。図4には女川中心部の三次元解析領域、図5には本モデルにより求めた建物に作用する単位幅当たりの最大水平力を示す。

次に、解析結果を踏まえて災害メカニズムの推定を行った。その結果、津波が来襲しただけでは、ビルの倒壊が起きず、杭の欠損や地盤の液状化が伴ったことによって倒壊が生じたと推定された。





建物に作用する水平力



建物に作用する水平力

図3 建物に作用する水平力の時間変化（左：本モデル、右：平面二次元解析）

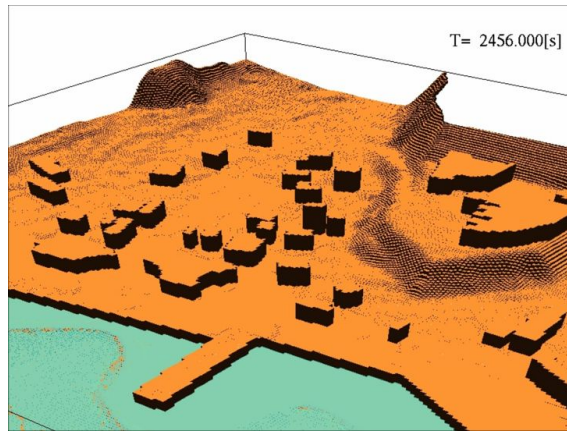


図4 三次元解析領域の外観

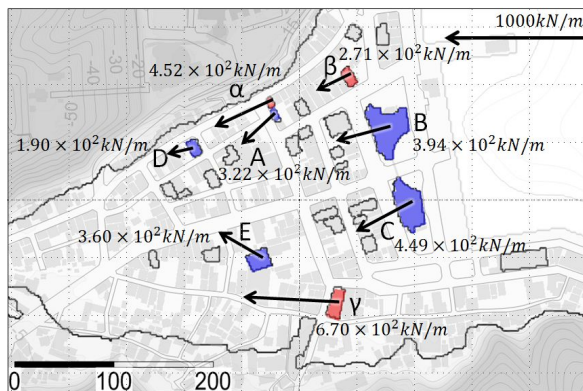


図5 建物に作用する単位幅当たりの最大水平力の解析結果

(3) 津波の淀川河川遡上に伴う浄水場の取水被害

淀川の河口から約 10km 上流に設置されている淀川大堰の上流には多くの浄水施設があり、それらは河川水の取水を前提としている。このため、津波により遡上した塩水を取水すると、浄水施設の運用に支障を来す恐れがある。そこで、南海トラフ巨大地震発生時の津波河川遡上に伴う淀川大堰周辺の塩水遡上現象に開発したモデルを適用し、取水する塩分濃度の挙動把握を試みた。海洋や河川内での津波挙動は従来平面二次元解析のみで行われることが多い。しかし、塩分の挙動を考慮する場合には、塩分の存在による河川水の密度変化が鉛直方向の流れを生じさせるため、三次元解析を行う必要がある。

まず、津波波源を含む広域の平面二次元解析と淀川大堰周辺の三次元塩分挙動解析を結合した解析を本モデルを用いて行い、平面二次元解析との比較により妥当性を検証した(図6)。次に、大堰直上流に位置する浄水場の塩水被害の予測を行って河川流量ごとに異なる取水口前面塩分濃度の時間変化を予測した(図7)。さらに、塩分濃度の時間的空間的な挙動の特徴を把握

した上で、被害低減案を提案した。

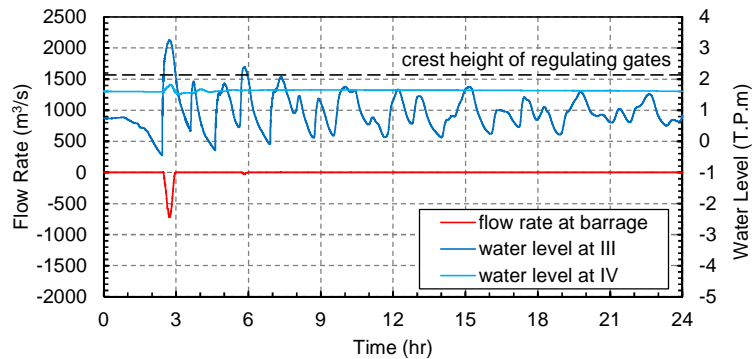


図6 解析された淀川大堰周辺の流況  
(III:大堰直下流、IV:大堰直上流、流量は流下が正)

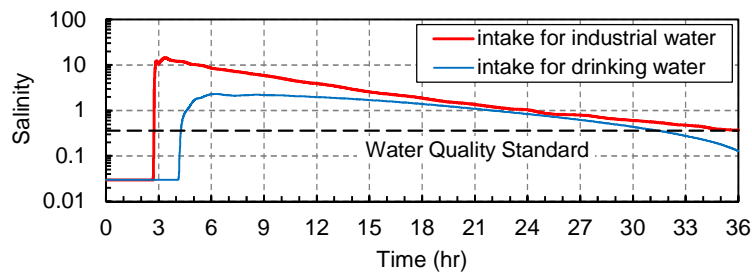


図7 淀川河川流量 62 m³/s 時の取水口前面塩分濃度

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

William J. Pringle, Nozomu Yoneyama, Nobuhito Mori, Two-way coupled long wave - RANS model: Solitary wave transformation and breaking on a plane beach, Coastal Engineering, 査読有、114 巻、2016、99 - 118  
<http://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.04.011>

佐藤祐子, 米山 望, 奥村 与志弘, 清野 純史, 杭基礎建物の津波転倒メカニズム検討のための三次元津波氾濫解析、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、72 巻、2016、I\_961-I\_966  
[http://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_961](http://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_961)

William J. Pringle, Nozomu Yoneyama, Nobuhito Mori, Multiscale coupled three-dimensional model analysis of the tsunami flow characteristics around the Kamaishi Bay offshore breakwater and comparisons to a shallow water model、COASTAL ENGINEERING JOURNAL、査読有、60(2)巻、2017、99 - 118  
<https://doi.org/10.1080/21664250.2018.1484270>

奥村 与志弘, 坂東 直樹, 米山 望, 清野 純史, 2011 年東北津波によって流出した女川町の RC 建物に対する周辺建物群の影響、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、73 巻、2017、I\_913-I\_918  
[https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I\\_913](https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_913)

永島 弘士, 米山 望、津波来襲時の河道内塩水遡上に関する数値解析手法の提案、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、73(1)巻、2017、19-32  
<https://doi.org/10.2208/kaigan.73.19>

佐藤祐子, 奥村 与志弘, 米山 望, 渡辺 健, 清野 純史, 杭基礎建物の被災況を踏まえた 2011 年東北地震津波による女川町の地盤 答特性の推定、土木学会論文集 A1(構造地震工学)、査読有、74(4)巻、2018、I\_777-I\_787  
[https://doi.org/10.2208/jscejsee.74.I\\_777](https://doi.org/10.2208/jscejsee.74.I_777)

Hiroshi Nagashima, Nozomu Yoneyama, High Resolution Numerical Model for Salinity Transport in Rivers During a Tsunami Attack, JOURNAL OF DISASTER RESEARCH, 査読有、13(4) 巻、2018、99 - 118  
<https://doi.org/10.20965/jdr.2018.p0767>

## 6 . 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。