

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22651068

研究課題名（和文） 津波リアルタイム予測とフラップゲートによる津波被害防止・軽減

研究課題名（英文） Real-time tsunami prediction and disaster prevention &amp; reduction by flap-gate barrier

研究代表者

間瀬 肇 (MASE HAJIME)

京都大学 防災研究所・教授

研究者番号：30127138

研究成果の概要（和文）：地震発生後、海象情報をもとに、ニューラルネットワーク法や逆解析法により数分～数十分で行えるリアルタイム津波予測法を構築した。実際に逆解析法を用いて、東北地方太平洋沖地震による津波の想定波源域推定と津波予測の可能性について検討した。加えて、臨海部における津波挙動解明に向けての流体解析、津波・フラップゲート運動の水理模型実験による把握、流体・構造物の相互作用解析を行い、津波防御システム構築の可能性を検討した。

研究成果の概要（英文）：Real-time tsunami prediction methods by a neural network method and an inverse estimation method, which can be performed in several tens of minutes at most, were developed based on ocean-site-observed information after occurrence of an earthquake. The possibility of tsunami prediction for the Tohoku Earthquake was actually examined by the inversion method. In addition, computer fluid simulation techniques were developed and applied to analyses of interaction between tsunami fluid motion and tsunami barrier named as flap-gate. The possibility of the flap-gate to protect and reduce tsunami motion was verified from the numerical simulations and laboratory experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	0	1,700,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	390,000	3,390,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：津波、リアルタイム予測、流体解析、津波防御ゲート、フラップゲート、ニューラルネットワーク法、逆解析法、津波実験

## 1. 研究開始当初の背景

2004年12月26日にスマトラ沖地震が発生し、地震と津波によって死者が30万人を超える甚大な被害が生じた。このような被害を軽減するために、津波予測システム構築の必要性は高い。

現在の気象庁の津波予報は、速報性を重視し、実際に波源を予測せずにデータベースから推定する方法であり、高い精度の予測は難しい。東南海・南海地震においては、波源に近い和歌山県南部では、住民は気象庁の津波予報を受けていち早く安全な場所に避難せ

ざるを得ないが、和歌山下津港や大阪湾内の各港では、津波の到達まで1～2時間の猶予があるため、この間に的確な津波情報を得ることができれば、諸対策を適切に講ずることが可能となる。

そこで、気象庁の予報を補完する目的で、地震後の観測情報を利用して逐次津波伝播を修正するリアルタイム津波予測システムの開発・検討を行う。この方法は、日本のみならずインド洋にも適用可能である。

津波予測研究と同時に、津波の伝播変形や流動現象の解明に向けての流体解析、津波による海底・海浜地形変化のメカニズムの解明、および、津波被害の防止・軽減対策の一つの方策として、ベネチア・モーゼ計画に似た、フラップゲート防潮堤を提案し、作用津波力とゲート運動に関する水理模型実験と流体・構造数値解析を行う。

## 2. 研究の目的

津波のリアルタイム予測の研究はこれまで申請者らが行ったものが最初で、最近では港湾空港技術研究所が我々の手法に基づいた研究を始めたところであり、実用化に向けて今後の進展が期待できる。

沿岸部に津波が来襲すると、地形により津波の挙動は複雑になるが、数値流体力学に基づく解析法を開発し、詳細な挙動をシミュレートすることにより、波動方程式では難しかった遡上時の挙動予測が可能となる。フラップゲートは実際に実海域・港湾に設置することを目的とするもので、ゲートの運動と津波力の実態把握は、今後の現地実験を進めるための基礎研究として重要である。

研究目的は大きく2つに分けられる。1つはリアルタイム予測法の開発、他の1つは可動式津波防護施設の開発である。具体的な内容は、以下の通りである。

1) 海岸工学におけるニューラルネットワーク法の応用研究として、京都大学防災研究所白浜海象観測塔で得られる20分間の津波観測波形を用いて、大阪湾内に到達する津波の規模予測ができるかどうかを検討する。

2) 逆解析法による大阪湾内に来襲する津波の予測に対する精度向上と、東北地方太平洋沖地震津波への適用性について検討する。

3) CPU（中央演算処理装置）より大規模な並列数値計算が実行可能なGPU（画像処理装置）を使用して、一般に用いられている浅水理論の数値計算を、大規模並列化して高速に解析する手法を開発する。

4) フラップゲートに作用する津波力の解析、また、津波とフラップゲートの相互作用の影響を検討できる数値モデルを開発する。

5) ゲートあるいは漂流物を剛体として取り扱い、剛体を移動する境界と見なした流体解析モデル（物体境界移動法）を開発する。

6) フラップゲートに作用する津波力の水理実験およびフラップゲートの動揺実験を行い、実験で得られたデータを提供あるいは使用して、構造物・流体解析モデルの検証を行う。

## 3. 研究の方法

1) ニューラルネットワーク法によるリアルタイム津波予測研究においては、種々の波源域に対して、白浜での津波波形と大坂湾内での津波波形の関係を、ニューラルネットワークで学習させ、別の新たな入射津波波形に対して大阪湾内で正しい津波高を推算できるかを、数値計算により確かめる。

2) 逆解析法による大阪湾内に来襲する津波の予測に対する精度向上（観測機器の設置場所、用いる観測機器の数、波源域を分ける単位領域の大きさによる影響評価）と、東北地方太平洋沖地震津波への適用性について検討する。

3) GPU（画像処理装置）を使用して、一般に用いられている浅水理論の数値計算を大規模並列化して高速に解析する手法により、東海・東南海・南海地震で発生する津波に対して、高速化された津波数値解析手法を用い、波源特性を十万ケースほど変化させた津波の数値解析を行い、波源の変化による沿岸での津波の特性の変化を分析する。

4) フラップゲートに作用する津波力、津波とフラップゲートの相互作用の影響を解析できるように、ゲート周りの計算領域を流体解析対象領域より詳細な格子網を用いる重合格子法を用いて、ナビア・ストークス方程式を解く。

5) ゲートや漂流物を剛体とし、その剛体を移動する境界と見なした流体解析モデル（物体境界移動法）として、物体の境界形状を適切に取り扱うことができるFAVOR (Fractional Area Volume Obstacle Representation) と水面追跡にVOF (Volume Of Fluid) の考え方を利用する。

6) フラップゲートに作用する津波力の水理実験およびフラップゲートの動揺実験データと数値計算による結果を比較・検討する。

## 4. 研究成果

地震発生後、海象情報をもとに、ニューラルネットワーク法や逆解析法により数分～数十分で行えるリアルタイム津波予測法を構築した。

実際に、逆解析法により、東北地方太平洋沖地震による津波の想定波源域推定と津波予測の可能性について検討した。

また、東海・東南海・南海地震により発生する津波に対して、GPU（画像処理装置）により高速化された津波数値解析手法を用いて、波源特性を十万ケースほど変化させて津

波の数値解析を行い、波源の変化による沿岸での津波の特性の変化を分析した。

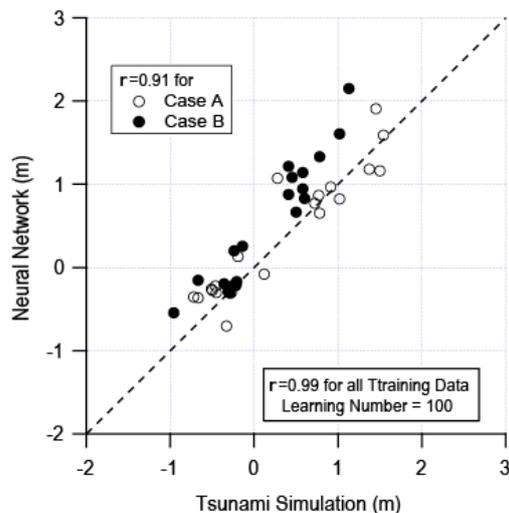


図1 推定される津波高と観測津波高との比較

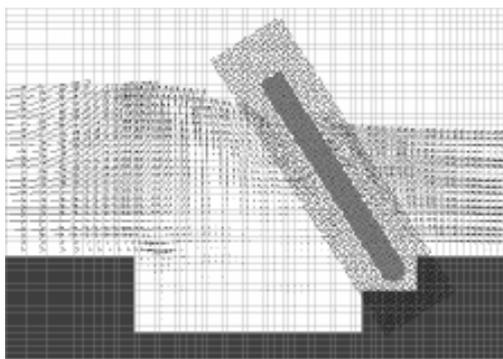


図2 数値解析におけるフラップゲート周囲の流速ベクトルのスナップショット

図1は、ニューラルネットワーク法により推定される津波高と、数値的にシミュレートされた仮定の観測津波高を比較したものであるが、両者は良く一致しているのがわかる。

リアルタイムの津波予測に加えて、津波来襲に備えるフラップゲートの性能を検討した。すなわち、臨海部における津波挙動解明に向けての流体解析、津波・フラップゲート運動の水理模型実験による把握、流体・構造物の相互作用解析を行い、1) ゲートの構成部材の連成を考慮した重合格子法を用いた、ゲート本体と流体抵抗板と流体の運動特性、および作用波力の解析、2) 剛体を移動する境界と見なした流体解析モデル(物体境界移動法)による東北地方太平洋沖地震による釜

石湾での津波挙動解析、また、フラップゲートの現地への設置による基礎データの取得を行った。

図2に数値解析におけるフラップゲート周囲の流速ベクトルのスナップショットを示す。図中、直線は計算格子、ベクトルを表示した領域は液相、下方の濃灰色の領域は海底床(函体;扉体格納部)を示す。また、灰色で表示した扉体の周りに配置された格子が補助格子である。こうした結果は水理模型実験結果と比較し、良い一致が見られることを確かめた。このような数値流体解析モデルを用いて、津波防護施設の設計が可能になる。

## 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 14 件)

1. 木村雄一郎・柳 浩敏・森西晃嗣・森 信人・間瀬 肇, 複数構造体の連成運動を考慮したフラップゲートの段波応答に関する数値解析, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 67 巻, 論文番号 97, 査読有, JOI JST. JSTAGE/jscejoie/67.I\_619, 2011.
2. 安田誠宏・小西秀誉・間瀬 肇・森 信人・Clive G. Mingham, カルテシアン・カットセル法による津波伝播計算, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第 67 巻, pp.92-105, 査読有, doi:10.2208/kaigan.67.92, 2011.
3. Mase, H., Yasuda, T. and Mori, N., Real-Time Prediction of Tsunami Magnitudes in Osaka Bay, Japan, Using an Artificial Neural Network, Jour. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASCE, pp.263-268, 査読有, 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000092, 2011.
4. Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T. and Yanagisawa, H., Survey of 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Inundation and Run-up, Geophysical Research Letters, Vol.38, 査読有, doi: 10.1029 /2011GL049210, 2011.
5. Kimura, Y., Yamakawa, Y. and Mase, H., FIELD SURVEY OF SUFFERING APPEARANCES DUE TO TOHOKU EARTHQUAKE TSUNAMI, Proc. of 6th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts (APAC 2011), 査読無, pp.83-90, 2011.
6. Kimura, Y., Inui, M., Nakayasu, K., Yamakawa, Y., Hiraishi, T. and Mase, H., RISING SEAWALL FOR PRE-

VENTION OF TSUNAMI AND STORM SURGE, Proc. of 6th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts (APAC 2011), 査読無, pp.1575-1582, 2011.

7. 間瀬 肇, 東北地方太平洋沖地震による津波災害特別調査委員会 —南海・東南海地震津波に備えて— の設立に当たって, 土木学会誌, 査読無, pp.82-84, 2011.
8. 米山 望・中島健輔・永島弘士, 巨大津波発生時におけるフラップゲート式可動防波堤の挙動予測手法の開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 67 巻, 査読有, doi:10.2208/kaigan.67.I\_281, pp. 281-285, 2011.
9. 鈴木進吾・古林智宏・奥村与志弘・河田恵昭, 海溝軸付近のすべり等を考慮した東海・東南海・南海地震津波シミュレーション, 日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 第 30 巻, 査読無, pp. 65-66, 2011.
10. 木村雄一郎・柳浩敏・森西晃嗣・森 信人・安田誠宏・間瀬 肇, 重合格子法を用いた流体-構造体連成解析モデルによるフラップゲートの波浪応答解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 57 巻, 査読有, JST.JSTAGE/kaigan/66.811, pp. 811-815, 2010.
11. 木村雄一郎・柳 浩敏・森西晃嗣・森 信人・安田誠宏・間瀬 肇, フラップゲート型構造物の流体連成解析モデルの構築とその検証, 海洋開発論文集, 第 66 巻, 査読有, pp. 237-242, 2010.
12. 安田誠宏・間瀬 肇, 沖合津波情報を用いたリアルタイム津波予測法 —逆解析法とニューラルネットワーク法—, 沿岸域学会誌, 第 22 巻, 査読有, pp. 51-61, 2010.
13. Kimura, Y., Nakayasu, K., Morii, T., Mase, H., Development of new structures for real-time Tsunami protection -FLAPGATE and NEORISE-, Proc. Indian Ocean Tsunami Modelling Symposium, 査読有, pp.54-57, 2010.
14. 木村雄一郎・新里英幸・仲保京一・安田誠宏・間瀬 肇, フラップゲート式可動防波堤の波浪・津波応答に関する模型実験, 京都大学防災研究所年報, 第 53 号, 査読無, pp.403-416, 2010.

[学会発表] (計 2 件)

1. 米山望, 巨大津波発生時における湾口防波堤の有効性に関する数値解析的検討, 平成 23 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2012.2.22
2. 中島健輔・米山望・永島弘士 三次元数値解析を用いたフラップゲート式防波

堤の挙動に関する検討, 第 24 回数値流体力学シンポジウム, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 2010.12.22.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

間瀬 肇 (MASE HAJIME)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 30127138

### (2) 研究分担者

米山 望 (YONEYAMA NOZOMU)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号: 90371492  
鈴木 進吾 (SUZUKI SHINGO)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号: 30443568  
森 信人 (MORI NOBUHITO)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号: 90371476  
安田 誠宏 (YASUDA TOMOHIRO)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号: 60378916

