

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13311 号
------	---------------

氏 名 Ardiansyah Fauzi

### 論文題目

STUDY ON REAL-TIME TSUNAMI INUNDATION,  
WAVEFORMS, AND WAVEFIELD FORECASTING  
(津波の波形, 流動場および津波浸水域のリアルタイム予測に関する研究)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	水谷 法美
委員	名古屋大学	教授	戸田 祐嗣
委員	名古屋大学	准教授	中村 友昭
委員	名古屋大学	教授	富田 孝史
委員	名古屋大学	教授	鈴木 康弘

## 論文審査の結果の要旨

Ardiansyah Fauzi君提出の論文「STUDY ON REAL-TIME TSUNAMI INUNDATION, WAVEFORMS, AND WAVEFIELD FORECASTING (津波の波形, 流動場および津波浸水域のリアルタイム予測に関する研究)」は, 海溝型地震に引き起こされる津波の予測, 特に陸上に遡上する津波の浸水状況の予測について, 観測網が充実しておらず高性能な計算機環境も先進国に比べて十分ではない途上国においても適用可能な地震発生後に即座に津波浸水域を津波の波形や内部流動場とともに予測する手法の構築を目的としたもので, 6章から構成される. 本論文の概要は以下の通りである.

第1章では本研究の背景と津波リアルタイム予測の現状について述べ, 日本のように観測網やスーパーコンピュータのような高性能な計算機環境が整っていない途上国における津波リアルタイム予測に関する課題を明らかにし, 本研究の目的を明らかにしている.

第2章では, 津波浸水域のリアルタイム予測のベースとなる津波のデータベースを活用した浸水域の予測について考究した. この方法では, 精度より即時性を優先し, 非線形津波モデルを実行せずに津波浸水予測を提供することを目的とした. データベースは複数の断層シナリオとそれによる津波波形, および浸水域で構成される. 本予測は2段階で構成され, まず第1段階として, 初期の地震情報から最もそれに近いシナリオのデータを選出する. ついで, 第2段階として津波波形のリアルタイム予測を実施する. この計算された津波波形とデータベース内の津波波形の間の誤差を最小化することにより, 最良のシナリオを見いだす. この方法による1944年の東南海地震の津波浸水域の予測を行った結果, 短時間で良好な津波浸水の予測が可能であることが確認された. ただし, 津波波形については報告されている波形データとの差が無視できず, それにともなう浸水域の差も認められ, 津波波形の予測が重要であることを指摘した.

第3章では, 津波浸水予測の精度向上のため, 機械学習の導入について考究した. 本研究では畳み込みニューラルネットワーク (CNN) と多層パーセプトロン (MLP) の二つの手法を採用し, 津波浸水域の即時予測におけるそれらの有効性を検討した. まず, 非線形津波シミュレーションを第2章で使用した断層モデルを使用して実施した. データベースには低解像度格子による津波高とそれから得られる高解像度格子による浸水結果を蓄積した. CNNでは, 低解像度格子を用いた線形シミュレーションの結果をインプットとした浸水域と事前に計算したデータベース内の浸水域の比較から浸水域を予測した. MLPではCNNとは異なり, 機械学習による浸水域の予測値を直接求めた. 両手法について, 将来想定される南海トラフ巨大地震津波による仮想津波による尾鷲と新鹿の浸水域を対象に有効性を検証した. その結果, 両手法は計算時間が非常に短いにもかかわらず, 非線形津波シミュレーションに匹敵する結果を提供しうることが確認され, リアルタイム予測に有効であることが示された. ただし, 第2章と同様, 入力となる津波高にともなう差異は認められ, 津波波形のより精度高い予測が必要であることも確認された.

第4章では, 浸水域の予測精度を向上させるため, 沿岸での津波波形のリアルタイム予測について3種類のデータ駆動型モデルを対象に検討を行った. すなわち, 確率的正則化極値学習モデル (PRELM) とそれに本研究で提案した微調整を加えるモデル (PRELM-FT); 及びサポートベクターマシン (SVM) の3つのデータ駆動型モデルを対象とした. これらの手法は, 2004年の紀伊半島地震 (M7.5) と2011年の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) による津波を対象に有効性を検証した. その結果, PRELM-FTが, 従来の津波インバージョンや他のデータ駆動型モデルと比較してより高い精度で予測できることが確認された. また, SVMも最大津波高の予測は他のモデルよりも観測に近い, 有効な方法であることも確認された. さらに, 提案したデータ駆動型モデルは従来の波形インバージョンと比較してより妥当な予測値を提示できることも確認され, 提案された方法は, 津波波形のリアルタイム予測に有効な手法であることを示すとともに, 津波発生時の警告システムを構築する上での重要な要素となることを明らかにした.

第5章では, さらに精緻な予測を行うためにデータ同化の手法を導入した予測手法について考究した. 観測データが入手でき次第, 継続的に観測データを用いた波動場の予測を行う従来のデータ同化に基づく手法とは異なり, この先の予測に対して, 前の段階で同化が施された波動場の値を使用する手法を提案した. この手法による予測は行列の乗算によって行われるため, 非常に短時間での予測が可能となる. この手法の妥当性を2011年の東北地方太平洋沖地震津波に適用し, 検討した結果, 本手法では, 従来のデータ同化に基づく予測に近い結果を非常に短時間の間に得られることが確認された. したがって, 本手法によるデータ同化を組み入れた即時予測については非常に計算負荷を軽減できる有効な手法であることを明らかにした.

第6章は本研究の成果をまとめて結論としている.

以上のように, 本研究では, 観測網や高性能な計算機環境が整っていない東途上国において, 地震発生時の津波浸水予測をリアルタイムに予測する手法について, まずはデータベースに基づく予測を行い, 地震の詳細や津波の観測値が入手でき次第予測精度を向上させながらより信頼性の高い予測値を継続的に提供していく手法を提案し, その有効性を示したもので, 本研究の成果は防災面で極めて意義のある研究であるとともに, その手法は工学上極めて有意義であり, 工学の発展に寄与するところが大きい. よって本論文の提出者Ardiansyah Fauzi君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した.