

本研究は、沿岸地域単位の詳細なレベルで津波到達時刻・津波高・浸水状況を即時的に予測する手法を開発し、現地に適用したものである。ここで「即時的」という用語は、津波が予測対象の沿岸地域に到達する前に浸水予測を完了し、その結果を減災に活用し得る程度の時間スケールを表している。すなわち、即時的津波浸水予測は、地震発生後 2～3 分程度で発表される現行の津波警報を補完し、例えば、水門・陸閘の閉鎖や住民の避難誘導のため止むを得ず海岸近くで活動しなければならない防災要員の安全確保、より安全な避難路の指示、夜間等の目視困難時における浸水・被災状況の把握等に活用が期待されるものである。

本研究で開発した即時的津波浸水予測手法は、次の 3 ステップで浸水予測を行う。(1) GPS 波浪計等の沖合津波観測から「津波波形インバージョン」で初期水位分布を推定、(2) 初期水位分布の推定結果から「グリーン関数の重み付け線形和」により、沿岸（概ね水深 50m 程度）の津波波形を予測、(3) 沿岸の津波波形の予測結果から「越流量推定モデルとレベル湛水法」あるいは「GPU による津波伝播・遡上計算」のどちらかの手法により浸水状況を予測、である。

第 1 章の序論で、津波警報の現状と課題、即時的津波浸水予測手法に関する既往研究について整理を行った後、第 2 章では、即時的津波浸水予測手法のステップ (1) と (2) に関し、「津波波源は震央の周囲に分布する」という先験情報を利用することにより、既往の津波波形インバージョンの予測精度を向上させた。また、南海トラフを対象として歴史地震を再現する数値実験で精度検証を行った結果、沖合津波観測点 (GPS 波浪計) 5 点が地震発生後 15 分間で津波の第 1 波の最大水位偏差を観測すると、その観測津波波形から、即時的に沿岸の津波波形を予測し、特に第 1 波の押し波の最大値や水位変動開始時刻がある程度正確に予測できることを確かめた。

第 3 章では、上記ステップ (3) のうち、「越流量推定モデルとレベル湛水法」を用いて浸水状況を予測する手法を開発した。越流量推定モデルとレベル湛水法の特徴は、複雑な数値計算を必要とせず、回帰式等の単純な計算で浸水状況を予測できることである。予測手法の開発にあたっては、沿岸の津波波形の予測結果は完全反射の線形長波モデルと同等であるため、既往の越流量推定モデルを改良し、越流継続時間に関するパラメータ以外に、津波高に関するパラメータと越流量と最大浸水量を関係付けるパラメータを考慮した。また、数値実験で再現した歴史地震へ適用した結果、沖合津波観測点 (GPS 波浪計) 5 点が地震発生後 15 分間で津波の第 1 波の最大水位偏差を観測すると、その観測津波波形から、即時的に津波浸水を予測できることを確かめた。浸水状況の予測結果は、浸水面積を過大評価し、最大浸水深を過小評価する傾向があったが、

浸水状況がある程度正確に予測することができた。

第 4 章では、上記ステップ (3) のうち、「GPU による津波伝播・遡上計算」を用いて浸水状況を予測する手法を開発した。GPU による津波伝播・遡上計算の特徴は、浅海域の津波伝播と陸上遡上を物理法則に基づいてモデル化しているため、高精度に浸水状況を予測できることである。予測手法の開発にあたっては、主に画像処理用の演算装置である GPU (Graphics Processing Unit) の利用により、数十万格子を対象とした 1 時間の津波数値計算を約 1 分で完了することが可能になった。また、数値実験で再現した歴史地震と実測値を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の両方へ適用した結果、沖合で津波の第 1 波の最大値を観測する程度まで観測時間を確保すると、観測終了後 5 分以内に、第 1 波の到達時刻・高さ・浸水状況を概ね正しく予測できることを確かめた。

第 5 章では、上記ステップ (1) と (2) に関し、予測結果の不確実性を定量的に評価する手法を開発した。具体的には、津波波形インバージョンを、条件付き自己回帰事前確率分布に基づく階層ベイズ逆問題モデルへ再構築した。未知のパラメータの条件付き同時事後確率分布は解析的に求めることができないため、各パラメータの条件付き事後確率分布を、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (ハイブリッド・ギブス・サンプリング) により近似的に求めた。また、数値実験で再現した歴史地震へ適用した結果、90%ベイズ信頼区間 (BCI) を用いることにより、予測結果の不確実性を定量的に評価できることを確認した。

第 6 章は結語であり、主要な結論を総括するとともに、即時的津波浸水予測手法の更なる予測精度向上と将来的な実務への適用を想定し、今後の課題が整理されている。

以上、要するに、本研究では、波源のインバージョン、高速津波伝播計算、陸上への津波遡上計算などを組み合わせて、実用的なレベルで即時的な、津波浸水予測手法が開発されている。さらに、実際の海岸への適用手法を示すとともに、ベイズ統計モデルを用いて、予測の不確実性の評価手法を提案している。これらの手法は、津波の発生・伝播・遡上を、波源の想定などを用いずに高速かつ実用的に予測するとともに、予測結果の不確実性を客観的に評価するものであり、工学的・学術的意義が高い。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。