

京都大学	博士 (工学)	氏名	福井 信気
論文題目	Subgrid-scale Modeling of Tsunami and Storm Surge Inundation in Coastal Urban Area (沿岸市街地を対象としたサブグリッドスケール津波・高潮浸水モデルの開発)		

(論文内容の要旨)

我が国は、歴史的に津波や高潮による甚大な被害が数多く生じている。このため、津波や高潮による被害軽減のための様々な研究が進められてきた。近年、これまで進められてきた外洋から沿岸までの津波や高潮の水位推計に加えて、陸上の浸水による影響、特に地域毎の構造物や人的被害の推計に向けて研究が進展している。このため、建物スケールの被害を予想するための津波・高潮による浸水モデルの開発や精度検証が必要とされている。

本研究では、長期的な津波や高潮浸水評価の発展に向けて、沿岸市街地の浸水シミュレーションのベンチマークとなる浸水実験を実施し、時空間データの取得を行っている。さらに、高解像度の浸水モデルに比べて計算精度を保ちつつも計算負荷を減らす市街地浸水数値モデルの開発、さらに開発されたモデルを用いて津波と高潮の浸水シミュレーションを実施し、その特性を評価している。

具体的には、沿岸市街地縮小模型を用いた津波・高潮浸水実験を実施し、浸水範囲と流速の時空間分布データを取得している。ついで、非線形長波モデルをもとに、粗い計算格子の中で複数建物群に加わる抗力を総和として表現するサブグリッドスケールモデルである平均化個別建物抗力モデル(iDFM: individual Drag Force Model)を開発している。このモデルを用いて、理想化数値実験や実際の津波浸水イベントである2011年東北地震津波の再現計算を行い、浸水深や流速などの精度を検証し、モデルの有用性を明らかにしている。さらに、提案された数値モデルを支配方程式が類似する高潮へ適用した。2013年台風Haiyanによるレイテ島都市域の浸水再現計算を行い、建物情報による風応力項へのフィードバックの有無が浸水範囲や浸水深、流速にもたらす差異を明らかにしている。最後に、数値モデルに解適合格子法を用いた高潮モデルを結合することにより、日本広域での高潮の発生から市街地の浸水まで効率的に計算する手法を確立している。この数値モデルを用いて、東京の沿岸部である墨田区や江東区を対象に温暖化を想定した台風を用いて高潮浸水計算を行い、建物が密に配置される大都市での浸水深や流速等の浸水特性を明らかにしている。

以上のように、本研究結果は新規の知見を多く含み、かつ実務に対して有益なものとなっている。

本論文は7章で構成されている。各章の論文の要旨を以下に示す。

第1章では、本研究の背景と目的を示している。計算負荷を低減しつつも建物形状を考慮した浸水モデルの開発と、浸水モデル検証のための実験的研究の必要性について概説し、本論文の構成および各章の概要を示している。

第2章では、市街地を対象とした津波や高潮浸水計算におけるベンチマークデータの構築として、大型津波再現水槽と和歌山県海南市の沿岸市街地を縮小した模型を用いて、津波・高潮浸水実験を行っている。実験により、陸上の浸水波の伝播を可視化し、浸水範囲と流速の平面時系列を推定し、数値モデル検証のベンチマークデータを取得し

京都大学	博士 (工学)	氏名	福井 信気
<p>ている。</p> <p>第 3 章では、4 つの異なる 2 次元非線形長波理論モデルをもとに建物を高解像度地形として入力した浸水計算を実施し、実験結果との比較により、その精度検証を行っている。その結果、いずれの 2 次元非線形長波理論モデルもは広域的な浸水過程は再現可能であるものの、建物の周りの流速や合流による水位上昇のような局所的な浸水過程の再現は、モデル間によってばらつきが現れることが明らかにされている。</p> <p>第 4 章では、建物を地形として直接解像する高負荷な計算に代わって、粗い計算格子の中で複数建物群に加わる抗力の総和として表現するサブグリッドスケールモデルである iDFM を提案し、簡易地形を用いた理想化数値実験や実際の津波浸水イベントである東北地震津波の再現計算を行い、精度検証を行っている。遡上先端や最大水位、最大流速の解像度依存性を、既存の粗度モデルや抗力モデルよりも減少させることに成功している。</p> <p>第 5 章では、iDFM を高潮モデルに適用し、検証として、2013 年台風 Haiyan によるレイテ島都市域の再現計算を行っている。高潮の生起要因の一つである風応力項に着目し、建物情報による風応力項へのフィードバックの有無が氾濫域や浸水深、流速にもたらす差異を検討している。計算結果は、痕跡調査結果による浸水深や浸水範囲と比較され、既存の粗度モデルと比べて再現性が向上することが示されている。</p> <p>第 6 章では、前述の高潮モデルと iDFM に解適合格子法を用いた高潮モデルを結合することにより、日本広域での高潮の発生から市街地の浸水まで効率的に計算する手法提案している。このモデルを用いて、東京の沿岸部である墨田区や江東区を対象に温暖化を想定した発達した台風を用いて高潮浸水計算を行い、大都市の密集市街地における iDFM の計算特性を明らかにしている。さらに、東北地震津波の再現計算、台風 Haiyan による高潮の再現計算、墨田区や江東区を対象とした仮想高潮実験について、移流項に対する抗力項の寄与率をもとにメッシュ内の建物密度によって鋭敏に変化する津波や高潮の計算結果の分析を行っている。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の研究の展望について論じている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本研究では、大規模な津波や高潮浸水評価の発展に向けて、沿岸市街地の浸水シミュレーションのベンチマークとなる浸水実験を実施し、時空間データの取得を行っている。さらに、高解像度の浸水モデルに比べて計算精度を保ちつつも計算負荷を減らす市街地浸水数値モデルの開発、さらに開発されたモデルを用いて津波と高潮の浸水シミュレーションを実施し、その特性を評価している。以下に本研究で得られた結果の要旨を示す。

第1章では、本研究の背景と目的を示している。計算負荷を低減しつつも建物形状を考慮した浸水モデルの開発と、浸水モデル検証のための実験的研究の必要性について概説し、本論文の構成および各章の概要を示している。

第2章では、市街地を対象とした津波や高潮浸水におけるベンチマークデータの構築として、和歌山県海南市の沿岸市街地を縮小したモデルを用いて、津波・高潮浸水実験を行っている。実験により、陸上の浸水波の伝播を可視化し、浸水範囲と流速の平面時系列を推定し、数値モデル検証のベンチマークデータを取得している。

第3章では、建物を高解像度地形として入力した浸水計算を実施し、実験結果との比較により、その精度検証を行っている。その結果、いずれの2次元非線形長波理論モデルも広域的な浸水過程は再現可能であるものの、建物の周りの局所的な浸水過程の再現は、モデル間によってばらつきが現れることが明らかにされている。

第4章では、粗い計算格子の中で複数建物群に加わる抗力の総和として表現するサブグリッドスケールモデルである iDFM を提案し、理想化数値実験や実際の津波浸水イベントである 2011 年東北地震津波の再現計算を行い、精度検証を行っている。

第5章では、iDFM を高潮モデルに適用し、検証として、2013 年台風 Haiyan によるレイテ島都市域の再現計算を行っている。痕跡調査結果による浸水深や浸水範囲と比較され、既存の粗度モデルと比べて再現性が向上することが示されている。

第6章では、日本広域での高潮の発生から市街地の浸水まで効率的に計算する手法提案している。このモデルを用いて、東京の沿岸部である墨田区や江東区を対象に温暖化を想定した発達した台風を用いて高潮浸水計算を行い、大都市の密集市街地における iDFM の計算特性を明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の研究の展望について論じている。

以上のように、本論文は、津波や高潮を対象とした沿岸市街地の浸水シミュレーション手法の提案とその精度評価を行っている。本論文で得られた成果は今後の海岸工学における浸水リスク評価に対して重要な知見であり、学術上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

令和4年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日：2022年4月1日以降