

第 II 部門 地形アップスケーリングによる市街地粗度パラメタリゼーションを用いた津波遡上モデルに関する研究

京都大学工学部	学生員	○福井 信気
京都大学防災研究所	正会員	森 信人
京都大学工学研究科	学生員	Adi Prasetyo
京都大学防災研究所	正会員	間瀬 肇

1. 研究目的

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震における津波による壊滅的な被害や、南海トラフ地震をはじめとする大規模な地震によって生じる巨大津波への危惧から、高精度の津波遡上モデルの必要性が大きくなっている。最近では、高解像度地形データが得られ、建物の影響を直接取り入れた浸水計算が行われているが、計算負荷やコストの問題もあり、依然として中解像度の計算は重要である。本研究では、高解像度の地形データをアップスケールすることにより、解像度を落としても計算精度が落ちないような都市地形表現に対するパラメタリゼーションを 2 種類提案・比較する。

2. 市街地粗度パラメタリゼーション

市街地粗度パラメタリゼーションとして、合成等価粗度モデル CERM と、建物抗力モデル DFM を検証する。

合成等価粗度モデルでは、底面摩擦力と建物抗力の合力を考える。合力は運動量保存式内の底面粗度項に相当するため、建物抗力の影響を取り入れた Manning の係数として合成等価粗度を定式化することができる。合成等価粗度モデルでは、建物代表幅 l 、計算メッシュ内の建物占有率 θ を粗度パラメータとして用いる。

建物抗力モデルでは、図 1 のように、底面摩擦力を底面粗度項で評価し、建物抗力を直接運動量保存式で評価する。 x , y 各方向の建物投影面積 A_x , A_y とメッシュ内の建物平均高さ $\bar{h}$ を粗度パラメータとして用いる。合成等価粗度モデルとの相違点は、このモデルでは、 x , y 各方向についてのパラメータを用いて流れの向きの効果を考慮できるという点である。

3. アップスケールされた地形を用いた津波浸水計算

Prasetyo は、宮城県女川町の沿岸市街地模型を用いて東北地方太平洋沖地震での津波再現実験を行い、浸水シミュレーションと浸水深や流速、波力などの観点で比較

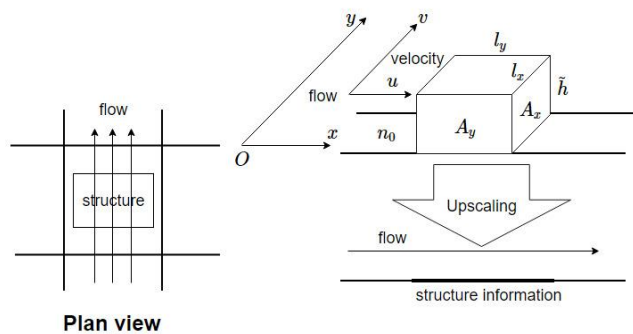


図 1 建物抗力モデルの概念図

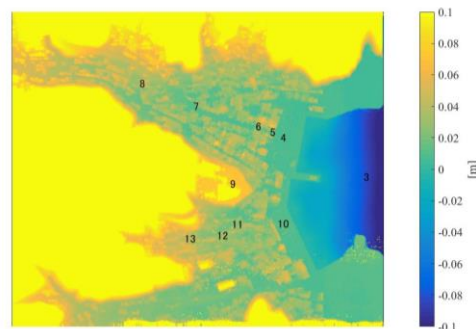


図 2 計算に用いた高解像度地形データ
(図中の数字は波高計 WG の番号を表す)

を行い、他の津波遡上モデルの精度検証にも用いることができることが示した。

本研究では、女川町の市街地模型をスキャンして得られた高解像度の地形データ（図 2）をもとに、合成等価粗度モデルと建物抗力モデルの 2 つの市街地粗度パラメタリゼーションを用いて津波再現計算を行った。初期条件として、実験時の沖での水位を用いた。実験での津波伝播モデルには TUNAMI-N2 を用い、支配方程式には非線形浅水方程式を leap-frog 法を用いて差分化し、差分格子には staggered 格子を用いた。粗度パラメータの計算にあたっては、10cm, 20cm, 40cm 四方の計算メッシュを用意し、 l , A_x , A_y そして $\bar{h}$ は各メッシュ内で平均値を与え、 θ は各メッシュで直接計算した。また、建物抗力モデルでは抗力係数 C_D を 1.0, 3.0, 円柱にかかる抗力の実験式の 3 つを用意し、抗力係数の影響を調べた。

4. 計算結果と考察

計算結果は、建物の影響を地形条件として考える地形モデルを用いた計算結果と、実験結果、調査結果をベンチマークとして、浸水範囲、最大浸水深、津波到達時間の観点で相互比較を行った。図3はメッシュサイズが20cmで抗力係数が3.0のときの病院が浸水するときの浸水範囲の端の比較である。合成等価粗度では水位が均一の状態に浸水するのに対し、建物抗力モデルでは浸水範囲の端では水位がほかの部分よりも低いまま浸水していた。これは建物抗力モデルでは抗力を過大評価し、局所での建物の影響が大きくなるためであると考えられる。また、局所では建物抗力モデルでの再現性が高かった。図4は各 wave gauge (WG) での最大浸水深と津波到達時間の比較である。道路部 (WG4 から 7) では最大浸水深、到達時間ともに合成等価粗度モデル CERMの方が建物抗力モデル DFM よりも実験と地形モデル SRM に近い結果を示した。一方で密集地 (WG8) と病院 (WG9) では、建物抗力モデルの方が実験と地形モデルそして、調査結果に近い最大浸水深を示したが、到達時間については合成等価粗度モデルの方がよい結果を示した。メッシュ依存については、両パラメタリゼーションにおいて、占有率が大きいところでは大きくなった。また、図は省略するが、抗力係数が結果に与える影響も無視できず、さらなる評価の必要性を示唆している。

5. 結論

占有率が小さいところでは合成等価粗度モデルが優れているが、占有率が大きくなるにつれて誤差も大きくなった。建物抗力モデルでは建物の影響を過大評価する傾向が見られたが、流れの向きの効果を考えられるため浸水範囲の先端部では、合成等価粗度モデルよりも優れていた。しかし、メッシュ依存性や抗力係数の影響は大きいので、一般建物群に対して、抗力係数の評価を正確に行う必要があることが分かった。

参考文献

- 1) 油屋貴子, 今村文彦 (2002): 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.276-280
- 2) Prasetyo, A. (2017): Physical Modeling and Numerical Analysis of Tsunami Inundation in a City Scale, Ph.D Thesis, Kyoto University

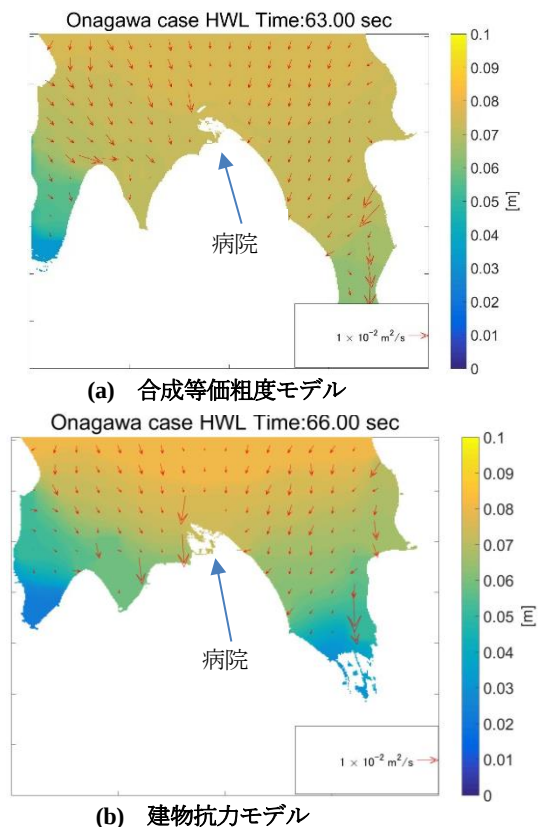


図3 WG9 (病院) の浸水開始のスナップショット

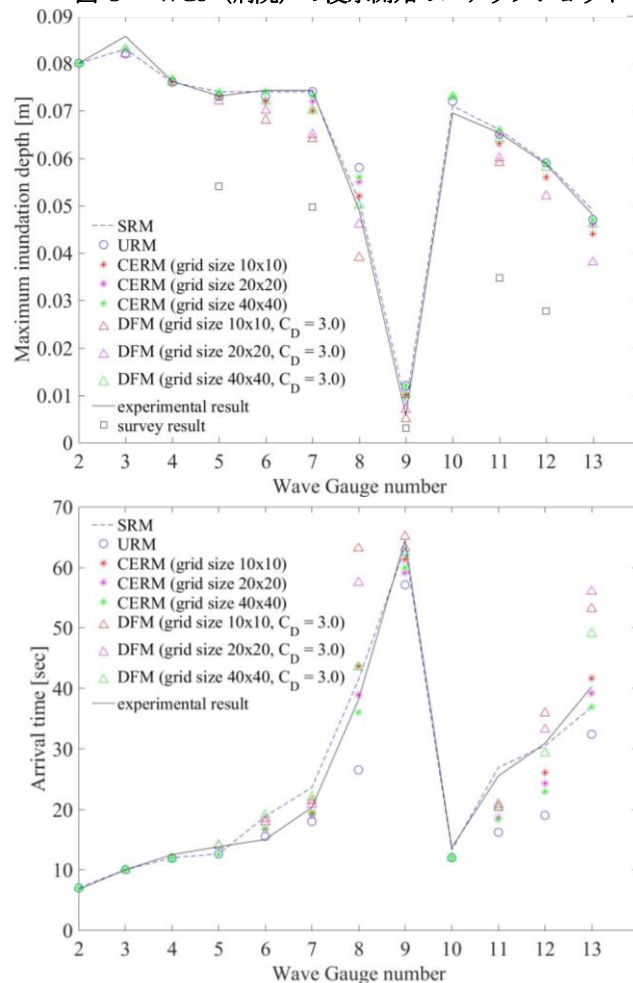


図4 最大浸水深と津波到達時間のモデル間比較