

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の提案  
Numerical modeling of tsunami inundation using subgrid scale urban roughness parameterization

○福井信気・森 信人・Adi Prasetyo

○Nobuki FUKUI, Nobuhito MORI, Adi PRASETYO

The importance of accurate numerical modeling of tsunami inundation in an urban area has clearly realized due to the devastating damage from 2011 Tohoku Earthquake Tsunami. Although, numerical inundation simulations using high resolution topography data ( $O(1m)$ ), the medium resolution tsunami inundation model ( $O(10m)$ - $O(100m)$ ) needs and useful for tsunami hazard assessment. This study develops and validates a numerical model of tsunami inundation using upscaled urban roughness parameterization: Drag Force Model (DFM) which deals with the effect of structures as drag force acting on flow based on physical modeling. The validation of the DFM reveals that the DFM can express the effect of the flow direction and inundation ratio. However, the estimation of the drag coefficient and mesh size dependency are challenges

## 1. 研究目的

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震により発生した想定外の巨大津波は、東北地方や関東地方に甚大な被害をもたらした。このため、沿岸災害の正確な評価を行うためには、陸上での津波の正確な把握が必要である。沿岸部での津波を想定する手段には津波浸水計算があげられる。津波浸水計算では、陸上の建物の影響を考慮する際に、建物そのものは数値的に扱うことが難しいため、土地利用に応じた建物を代表する摩擦係数（Manningの粗度係数）を建物の代わりに入力して計算が行われる。このため、実務的な計算では陸上を遡上する津波の計算精度の低さが問題になっている。近年では、測地技術の向上により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うことができるが、建物を解像する高解像度の浸水計算は、非常に長い計算時間を要するため、実務レベルでは、中解像度の粗度モデルによる計算が行われている。

本研究では、高解像度の都市地形データを解像し、アップスケールすることにより、解像度を落とすとしても計算精度を維持するための粗度パラメタリゼーションを提案し、精度検証を行う。

## 2. 研究内容

### (1) 市街地粗度パラメタリゼーションの概要

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: Composite Equivalent

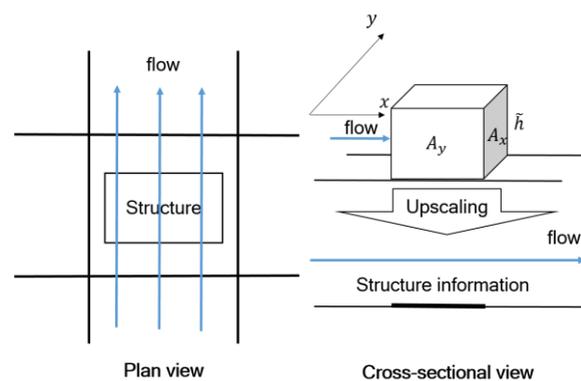


図-1 建物抗力モデルの概念図

Roughness Model) と建物抗力モデル (DFM: Drag Force Model) を検証する。

CERM（油屋・今村，2002）では、底面摩擦力と建物から受ける抗力の合力を考える。合力は運動量保存式内の底面摩擦項に相当するため、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  $k$ 、計算メッシュ内の建物占有率  $\theta$  を粗度パラメータとして用いる。

DFM では、流水が建物から受ける抗力  $F_D$  を  $x, y$  方向にそれぞれ定義し、運動量保存則に建物抗力項として追加することで、建物の影響を評価する。さらに、全水深  $D$  と建物高さ  $h$  の大小により場合分けを行い、抗力に上限を設定する。これらによ

り、DFMではCERMと異なり、(1)建物の没水の程度(没水率)が津波の遡上に与える影響と(2)流水の向きの効果を浸水計算に取り入れることができる。DFMでは、建物の投影面積 $A_x$ 、 $A_y$ と建物高さ $h$ を粗度パラメータとして用いる。

### (2) 市街地模型を用いた水槽実験の再現計算

Prasetyo (2017) は、宮城県女川町の1/250スケールの沿岸市街地模型を用いて東北地方太平洋沖地震により生じた津波再現実験をおこない、津波浸水計算の結果と浸水深や流速、波力などの観点で比較を行った。その結果、他の津波浸水モデルの精度検証にも用いることができることを示した。

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をもとに、非線形長波理論を支配方程式として、CERMとDFMの2つを用いて再現計算を行った。入力波は段波とソリトン波の2種類を用意し、実験時の沖での水位を用いた。今回は紙面の都合上、よりモデル間の差が大きく見られたソリトン波の結果に着目した。粗度パラメータの計算に当たっては、10cm、20cm、40cm四方の計算メッシュを用意した。

### (3) 計算結果

水槽実験で得られた結果を真値とし、建物を含む地形を高解像度で解く建物解像モデル：SRM (Structure Resolving Model)、建物を考慮せず一様に粗度を与える一様粗度モデル URM (Uniform Roughness Model) と CERM、DFM の計算結果を相互比較した。

第1に、面的な評価として最大浸水範囲を、点的な評価として最大浸水深を比較検討した。図-2に最大浸水範囲のモデル間比較を示す。CERM以外の全モデルが実験よりも広い浸水範囲を示しており、CERMは建物の影響を過大評価する傾向があることがわかる。DFMはやや危険側の評価をしているが、実験結果との整合性は良好である。続いて図-3に各地点での最大浸水深のモデル間比較を平均建物高さ $h$ と標高とともに示す。CERMやDFMは沿岸部の建物高さの大きい地点で津波の遡上が抑えられ、内陸まで浸水しない傾向が見える。DFMは没水率の影響を考慮できるため、CERMより内陸部で実験結果と近い結果を示す。

## 3. 主な結論

市街地模型を用いた津波水槽実験の結果を真値として、CERMと今回新たに開発したDFMの2モデルの相互精度検証を行った。DFMでは流れの

向きや没水率が遡上に与える影響をある程度再現でき、SRM・CERMに対して最大水位、到達時間についての精度が向上することがわかった。一方で、抗力係数の与え方や都市地形データのアップスケール法にはまだ課題が残っている。

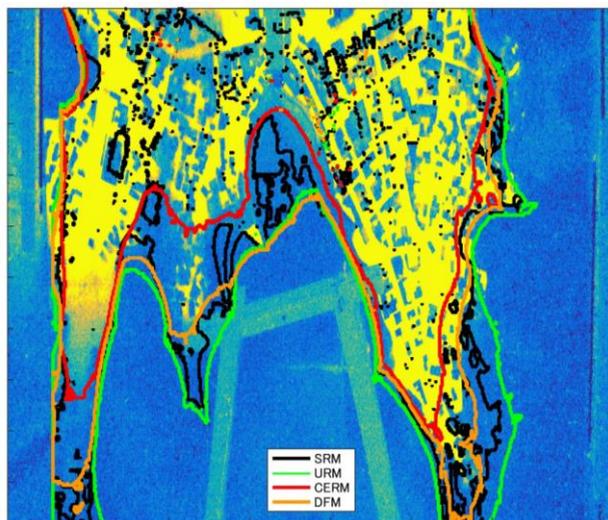


図-2 最大浸水範囲のモデル間比較

(黒：SRM，緑：URM，赤：CERM，橙：DFM，コンター：実験結果)

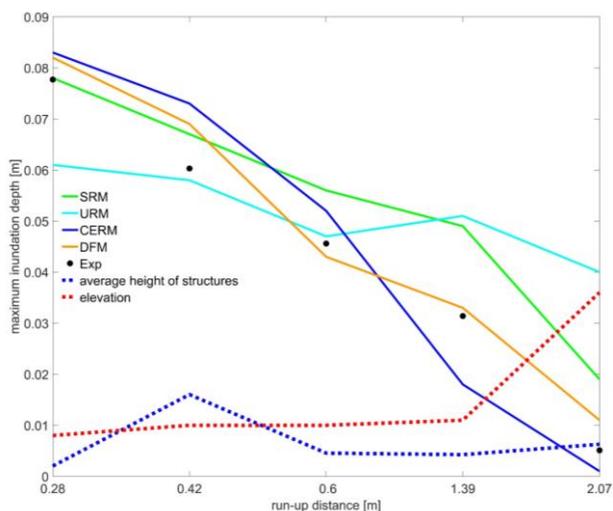


図-3 各地点での最大浸水深のモデル間比較

(緑：SRM，シアン：URM，青：CERM，橙：DFM，黒点：実験結果，青点線：平均建物高さ $h$ ，赤点線：標高)

### 参考文献

- Prasetyo, A: Physical and numerical modeling of tsunami inundation in a complex coastal city, Ph.D. Thesis Kyoto University, 2017  
 油屋貴子，今村文彦：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，No.49，pp.276-280，2002。