

津波遡上計算のための SGS 建物抗力モデルの開発
 Sub Grid Scale Drag Force Model for Numerical Modeling of Tsunami Inundation

○福井信気・森 信人・Katsuichiro GODA

○Nobuki FUKUI, Nobuhito MORI, Katsuichiro GODA

Numerical simulation of tsunami using ultra high-resolution topography (resolution is less than 1m) enables to consider the effect of structures on wave run-up. However, numerical simulation with medium resolution (resolution is around 100m) is still used and important for practical use due to computational cost. This study develops Individual Drag Force Model (IDFM) as upscaled urban roughness parameterization to obtain acceptable accuracy in medium resolution tsunami model based on Drag Force Model (DFM). DFM contains only one representative subgrid scale structure information while it can consider the effect of the flow direction and inundation ratio. Therefore, the computational result depends on the mesh size. To reduce the mesh size dependency, we developed the IDFM, which contains the individual structure information by multiplying the number of the structures in the grid by the representative drag force. The validation using the tsunami flume experiment and real scale tsunami simulation are done and the results of them will be presented at the meeting.

1. はじめに

津波による沿岸災害のハザードを理解するには、浸水深や浸水範囲そして津波到達時間の正確な評価が必要である。

一般的に、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、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。

一方で、近年ではリモートセンシング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われるようになってきている。しかし、建物を解像する高解像度のシミュレーションは、非常に長い計算時間を要するため、実務レベルや多数のアンサンブルを必要とする確率津波ハザード評価では、中解像度の粗度モデルによるシミュレーションが行われている。

本研究では、高解像度の都市地形データを中解像度に粗視化、すなわち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を維持するための市街地の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) 建物抗力モデル (DFM: Drag Force Model)

DFM (福井ら, 2018) は、流水から建物から受ける力 F_D を建物の投影面積 A_x, A_y を用いて 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。抗力は時間によって変化し、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。また、抗力係数 C_D は、流れの Re 数に依存すると仮定し、指数関数を用いた経験式を作成して計算を行う。これらにより、DFM では (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。

(2) 個別建物抗力モデル (IDFM: Individual Drag Force Model)

DFM では、計算結果が空間解像度 Δx に依存することが問題である。これは、計算格子内スケール (ここではサブグリッドスケールと呼ぶ) の建物群が一つの代表的な建物として扱われているためである。個別建物抗力モデルでは、格子内の建物数 N_b を格子内の建物一つ当たりの抗力 F_D に乗ることによって、サブグリッドスケールの建物一つ一つの影響を考慮している。DFM との大きな相違点として、格子内の建物一つ一つを投影面積や個数として反映させているため、奥行きを含めた建物の影響を考慮することができることがあげられる。

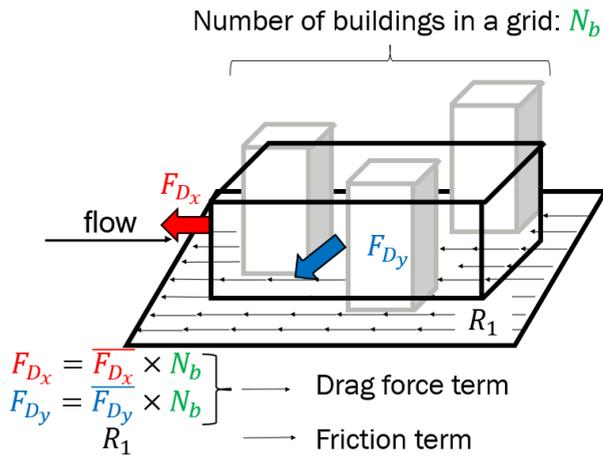


図-1 個別建物抗力モデルの概念図

建物の個数 N_b は高解像度の都市地形データより得られた建物の高さの平面分布図から画像認識を用いて計算する。

(3) 簡易的な地形を用いた理想数値実験

まず、理想数値実験として、10m 四方で高さが6m の建物をランダムに配置した地形で、水深が5m で一定の場合の抗力を $\Delta x = 10\text{m}$ から200m で計算し、抗力の値が安定する Δx の範囲を求めた。図-3 は建物一つ当たりにかかる抗力と Δx の関係を示したものである。DFM では Δx が大きくなると、抗力の値が小さくなる傾向が見える一方で、IDFM では、 Δx の値が50m を超えると安定することがわかる。しかし、建物の投影面積から直接求めた抗力よりは小さくなる傾向がある。

(4) 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。こ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、DFM と IDFM 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。投影面積と建物高さの計算に当たっては、空間解像度10cm, 20cm, 40cm 四方の計算メッシュを用意した。

(5) 実際の地形を用いた津波の伝播・遡上計算
続いて、同じく女川町を対象領域として、東北地方太平洋沖地震における津波の再現計算を行った。津波浸水計算は、4または3段階のネスティングスキーム(領域1:1350m から領域5:10m, あるいは領域4:50m) を適応して行った。

(4) と (5) の結果は、発表にて明らかにする。

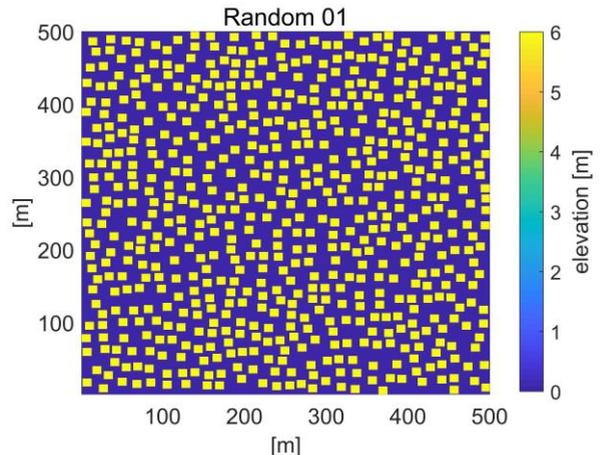


図-2 簡易的な地形の標高の平面分布 (単位 m)

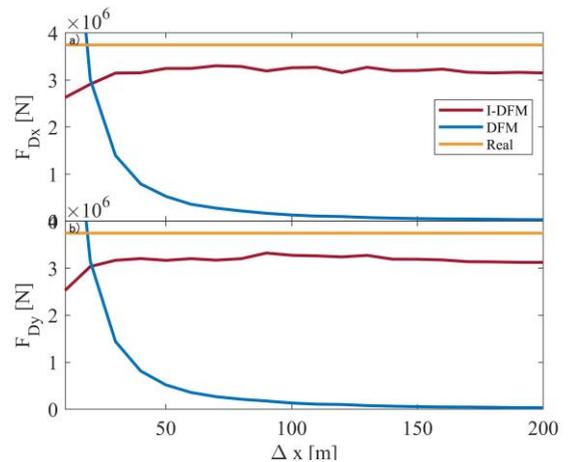


図-3 Δx と建物一つ当たりにかかる抗力の関係 (赤: IDFM, 青: DFM, 橙: 真値)

参考文献

福井信気, 森信人, Katsuichiro GODA: 都市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計算の検証 —2011年東北地震津波・女川町—, 土木学会論文集 B2, Vol.42(2), pp.I_187-I_192
Prasetyo, A: Physical and numerical modeling of tsunami inundation in a complex coastal city, Ph.D. Thesis Kyoto University, 2017