建物倒壊を考慮した浅水長波流れ解析

1. はじめに

東日本大震災を契機として,津波に対する被害予測は従 来の浸水域の予測のみだけではなく,構造物の被害予測も 含めたものが求められるようになってきている.一般に津 波遡上解析では,マニングの粗度係数を変えることによっ て土地利用及び構造物の影響を考慮しているが,その手法 では建物の倒壊及び,倒壊によって発生する瓦礫が津波遡 上域に与える影響を考慮することはできない.

そこで本研究では,著者らが提案した建物の倒壊を考慮した手法¹⁾を津波遡上解析に適用し,建物をマニングの粗 度係数で表現する従来の手法との比較により,本手法の有 効性の検証を行う.

- 2. 支配方程式と解析手法
- (1) 支配方程式

支配方程式には,以下に示す非線形性と分散性を考慮した Boussinesq 方程式(非線形分散波方程式)を用いる.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A}_i \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_i} - \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_i} \left(\mathbf{N}_{ij} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_j} \right) \\ = \frac{\partial^2}{\partial t \partial \mathbf{x}_i} \left(\mathbf{K} \right) + \mathbf{R} - \mathbf{G} \mathbf{U}$$
(1)

ここで, U は未知数ベクトル (全水深,断面平均流速)であ り, A_i, K, R, N_{ij}, G はそれぞれ移流項,分散項,水底 勾配項,拡散項,摩擦項に対する行列である.

(2) 解析手法

空間方向の離散化には SUPG 法に基づく安定化有限要素法²⁾を,時間方向の離散化として,2次精度を有する Crank-Nicolson 法を用い,連立一次方程式の解法には, Element-By-Element 処理による Bi-CG STAB 法を用い る.また,本手法では,各時間ステップにおいて建物に作 用する流体力を求め,その流体力が建物の種類別抗力を超 えた場合に,建物領域が海水に比べて密度の高い流体に置 き換わり,移流方程式に従い移流すると仮定する.本建物 倒壊手法の詳細については,参考文献¹⁾を参照されたい.

3. 数值解析例

(1) 解析条件

図-1 に示すモデルを用いて本手法の遡上域における妥当 性の検証を行う.図の構造物は10m × 10mの正方形の形 状と仮定し,36 棟の建物を配置している.流体力が建物の 抗力を超えた際に建物は倒壊と判定する.また,倒壊時に は建物部分に漂流物が発生すると仮定する.建物は木造と 仮定し,抗力値は既往の研究³⁾⁴⁾を参考にし,38.0 kN/m,

中央大学大学院	学生員	金澤友	功樹
中央大学	非会員		国明
(株) エ1 ト日本技術開発	止会員	ア川樫山	傳史
中央大学	正会員		和男



図-1 複数構造物を有する津波解析例題





建物倒壊時に発生する漂流物の密度は 1.44 t/m^3 としている.マニングの粗度係数は既往の研究⁵⁾を参考にし,海域は $0.025\text{m}^{-\frac{1}{3}} \cdot s$,陸域は $0.020 \text{ m}^{-\frac{1}{3}} \cdot s$,建物部分は $0.080 \text{ m}^{-\frac{1}{3}} \cdot s$ としている.なお時間増分量は 0.01sとしている.

本例題では,以下の3パターンの条件で解析を行い,そ れぞれ遡上域と流体力の解析結果の比較及び検討を行った.

- Case A:初期水位が 2.0m の段波と仮定
- Case B:初期水位が 5.0m の段波と仮定
- Case C:初期水位が 5.0mの段波と仮定,3列目中 央の建物のみ RC 造と仮定.

(2) 解析結果

図-2 は Case A の解析結果である.上段は建物をマニン グの粗度係数で表現する手法を用いており,下段は本手法 を用いている.両者の解析結果を比較すると,このケース

KeyWords: 建物倒壊,津波,マニングの粗度係数

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1815 E-mail:a14.sgns@g.chuo-u.ac.jp



図-3 Case Bの遡上域 (全水深)の比較 (28.8s 時点)



図-4 Case B の流体密度の比較 (28.8s 時点)

では建物が倒壊しないことによって建物周辺の遡上域及び 水深分布に顕著な差異が生じていることが確認できる.続 いて,図-3 は Case B における遡上域の解析結果である. 図より,このケースでは全ての建物が倒壊し,両者の遡上域 には大きな差異が生じていないことが確認できる.図-4 に Case B における流体密度分布の比較を示す.本手法では建 物が倒壊したことによって瓦礫が生じ,密度が大きい流体 が移流している様子が確認できる.図-5 は Case C におい て 3 列目の中央の RC 造の建物に作用する流体力がピーク となるの流体密度の分布を示す.図-6 に RC 造の建物に作 用する流体力の時刻歴変化を示す.図より,本手法におけ る流体力の解析結果に比べてピーク時に流体力が約倍 程度大きくなっていることが確認できる.

4. おわりに

本手法とマニングの粗度係数によって建物を考慮する手 法における津波遡上域及び流体力の解析結果を比較し,以 下の結論を得た.

•本手法は,建物が倒壊しない場合は,従来手法と比較



図-5 Case C の流体密度の比較 (19.4s 時点)



図-6 Case C の流体力の時刻歴変化

して津波浸水域の時間的変化に大きな差異が見られた.一方,建物が倒壊する場合には,両者にほとんど 差異が見られず,従来法と同様の結果が得られることが確認できた.

本手法は、従来法と比較して漂流物の影響が反映されて後方の建物に作用する流体力に大きな差異が生じることが確認できた。

今後は,建物が倒壊した場合の流れ場への連成について の検討,大規模計算に向けて並列化計算の導入を行う予定 である.

参考文献

- 利根川大介,樫山和男:安定化有限要素法による非線形分散波 理論に基づいた津波遡上解析手法の構築研究,応用力学論文 集,12, pp. 127-134,2009.
- 2) 日本計算工学会:第3版 有限要素法による流れのシミュレーション,丸善出版,2017.
- 3) 飯塚秀則,松富英夫:津波氾濫流の被害想定,海岸工学論文集,47,pp. 381-385,2000.
- 国立環境研究所: https://www.nies.go.jp/shinsai/enpdf/gen ntanni_no1_110628.pdf (2018 年 1 月 15 日閲覧).
- 5)小谷美佐,今村文彦,首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算 と被害推定法,海岸工学論文集,45, pp.356-360,1998.