

建物倒壊を考慮した津波解析手法の有効性の検証

| | | | |
|--------------|-----|----|----|
| 中央大学 | 学生員 | 金澤 | 功樹 |
| 中央大学大学院 | 学生員 | 凌 | 国明 |
| (株)エイト日本技術開発 | 正会員 | 大川 | 博史 |
| 中央大学 | 正会員 | 榎山 | 和男 |

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって、沿岸部は甚大な被害を受け多くの人命が失われた。この災害によって、津波による被害を事前に予測することの重要性が再認識された。一般的に遡上域における津波解析では、マンシ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、建物倒壊を考慮した手法と建物をマンシングの粗度係数で表現する手法それぞれにおける津波遡上域の解析結果を比較し、本手法の有効性の検証を目的とする。

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。

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

ここで、 \mathbf{U} は未知数ベクトルであり、 \mathbf{A}_i 、 \mathbf{K} 、 \mathbf{R} 、 \mathbf{N}_{ij} 、 \mathbf{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¹⁾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。移動境界手法、流体力評価手法、及び構造物倒壊手法の詳細は参考文献²⁾を参照されたい。

3. 数値解析例

(1) 複数構造物を有する津波解析例

a) 解析条件

図-1に示すモデルを用いて本手法の妥当性の検証を行う。図中の構造物は10m × 10mの正方形の形状と仮定し、12棟の建物を配置している。構造物の抗力は飯塚ら³⁾にならない、木造構造物の場合は38.0kN/m、RC造構造物の場合は468.0kN/mとし、流体力がそれらの値を超えた場合に倒壊と判断する。また、倒壊によって生じる漂流物の密度は災害廃棄物の発生量の原単位⁴⁾を参考にし、構造物が倒

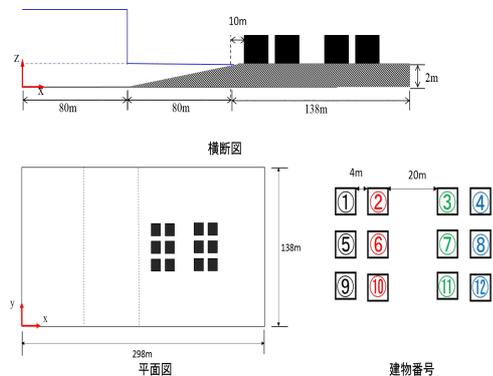


図-1 複数構造物を有する津波解析例題

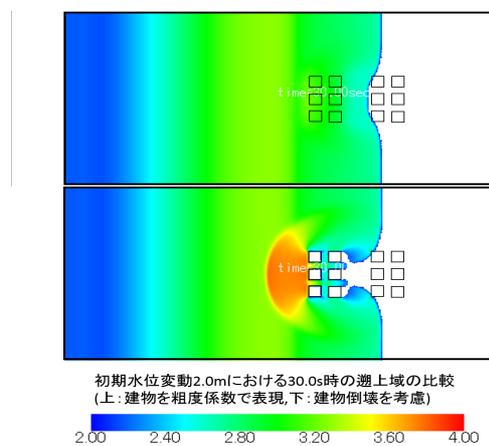


図-2 遡上の様子の比較 (case A)

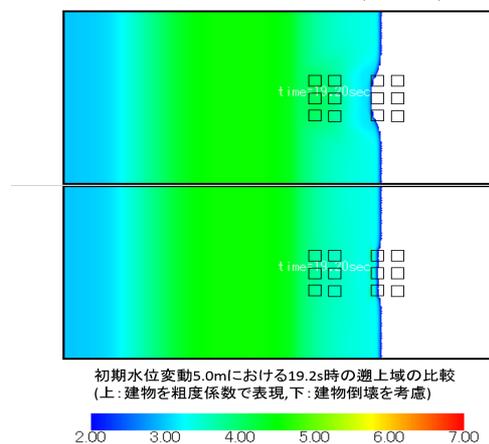


図-3 遡上の様子の比較 (case B)

壊した場合、木造であれば、 $1.44t/m^3$ 、RC造であれば、 $1.98t/m^3$ の瓦礫が発生すると仮定する。マンシングのマンシングの粗度係数は小谷ら⁵⁾にならない水域は $0.025m^{1/3} \cdot s$ 、建物部分は中密度（住宅密集率20～50%）と仮定しているため、 $0.060m^{1/3} \cdot s$ 、建物以外の陸域部分は $0.020m^{1/3} \cdot s$ としている。なお、時間増分量は0.01sとしている。

KeyWords： 津波，マンシングの粗度係数，建物倒壊，安定化有限要素法

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

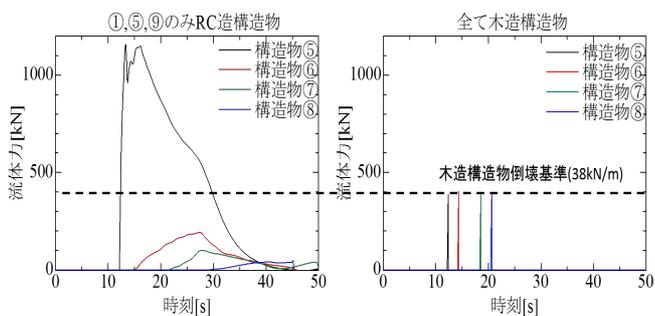


図-4 構造物に作用する流体力の比較 (case C)

本研究では、以下の3パターンの条件で解析を行い、それぞれ遡上域の解析結果の比較及び検討を行った。

- case A: 初期水位変動が2.0mの場合(全てが木造)
- case B: 初期水位変動が5.0mの場合(全てが木造)
- case C: 前方の建物(①, ⑤, ⑨)がRC造, 他の建物は木造, また初期水位変動が5.0mの場合。

b) 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建物が倒壊せず、残存したことによって建物周辺の遡上域及び波高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の解析結果である。Case Aと同様に、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。このケースでは建物が倒壊したため、両者の遡上域にはあまり差異が生じていないことが確認できる。また、図-4はCase Cの津波解析で各構造物に作用する流体力の時刻歴変化を示したものである。前方の建物の耐浪性を向上させることによって後方の建物に作用する流体力が大きく低減することが確認でき、その結果今回の場合、倒壊する建物が減少する。

(2) 実地形適応例

a) 解析条件

高知県中土佐町久礼市における津波遡上解析を行う。先ほどの数値解析例と同様に、建物倒壊を考慮する手法と建物をマニングの粗度係数で表現する手法との解析結果の比較を行う。図-5に解析領域を示す。本研究では初期条件として久礼湾内に発生させた26mの仮想段波を初期水位変動として用いている。また、境界条件として沖合には開境界条件を、海岸線及び陸域の境界にはno-slip条件を与える。なお、時間増分量は0.1sとしている。

b) 解析結果

遡上域の解析結果を図-6に示す。実地形においても、建物をマニングの粗度係数で表現する手法と建物倒壊を考慮する解析手法における津波遡上域の解析結果に差異が生じ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の解析結果を比較し、以下の結論を

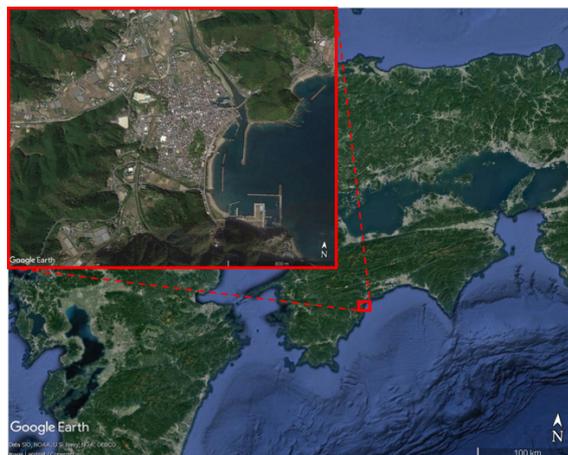
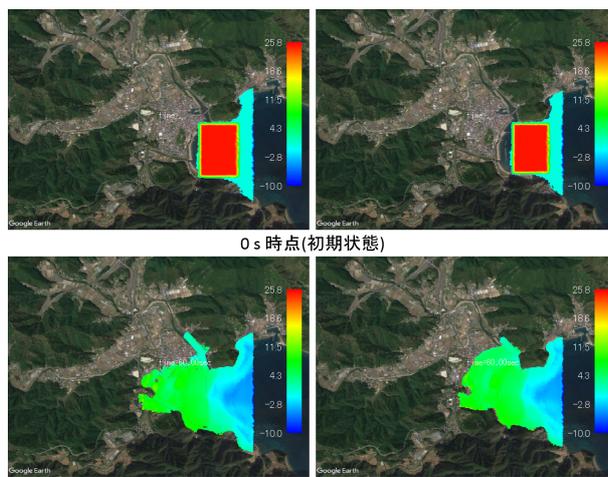


図-5 解析領域(高知県中土佐町)



建物倒壊を考慮した場合(左),粗度係数で表現した場合(右)

図-6 遡上の様子の比較

得た。

- 津波による建物倒壊を考慮することによって、建物が残存する場合は、本手法とマニングの粗度係数を用いて建物を表現する手法における遡上域の解析結果の差異が顕著に見られた。
- 津波による被害を軽減させるために建物の耐浪性を向上させることの重要性を数値解析シミュレーションの面からも確認できた。

今後の課題として建物倒壊を考慮した津波解析手法の有効性の定量的な検証や断層パラメータによって算出された初期水位変動を用いた津波解析などが挙げられる。

参考文献

- 1) 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, 丸善出版株式会社, 2017.
- 2) 利根川大介, 榎山和男: 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, 2009, pp. 127-134 土木学会.
- 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, 2000, pp. 381-385.
- 4) 国立環境研究所: https://www.nies.go.jp/shinsai/enpdf/genntanni_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, 1998, pp.356-360.