

越流・破堤などの堤防条件が河川遡上津波の数値計算精度に与える影響

東北大学大学院環境科学研究科 学生会員 ○青山 恭尚

東北大学大学院工学研究科 非会員 Mohammad Bagus ADITYAWAN

東北大学大学院工学研究科 学生会員 Wahyu WIDIYANTO

東北大学大学院工学研究科 正会員 三戸部 佑太

東北大学大学院工学研究科 フェロー会員 田中 仁

東北大学大学院環境科学研究科 正会員 小森 大輔

1. はじめに

2011年3月宮城県沖で発生した東北地方太平洋沖地震津波により沿岸部だけでなく河口や河道内に津波が侵入し、河川堤防を越流し堤内地へ流れ込み、堤内地で多くの被害が生じた。被害を最小限に抑えるためにも河川遡上津波の数値計算の再現精度を向上させ、正確に予測することは重要である。過去にも河川遡上津波に関する研究は多くなされているが^{1), 2)}、河川形状を考慮し、堤防の越流が再現数値計算の精度に与える影響に関する研究は少ない。本研究では、平面二次元での再現計算上で越流や破堤の堤防条件が計算精度に与える影響を検討する。

2. 研究方法

(1) 研究対象について

本研究の研究対象は宮城県北部に位置する北上川河口部であり追波湾と河口部から上流10km地点を含む10km×8kmを対象領域とする(図-1)。また、計算データを比較するために、国土技術政策総合研究所にて行われた1/330のスケールの模型実験のデータを用いた。入力波は実験装置の造波装置の関係で実際の津波の波形とは異なる単純なものを使用しており、最大水位は2011年東北津波を模擬している(図-2)。

(2) 数値計算について

計算方法は浅水流方程式を用い、MacCormack法³⁾により離散的に解く。

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial(hu)}{\partial x} + v \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \cdots (1)$$

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -ghS_{fx} \cdots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial y} = -ghS_{fy} \cdots (3)$$

$$S_{fx} = n^2 u (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} / h^{\frac{4}{3}} \cdots (4)$$

$$S_{fy} = n^2 v (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} / h^{\frac{4}{3}} \cdots (5)$$

h は水深[m], u は x 方向の速度[m/s], v は y 方向の速度[m/s], t は時間[s], g は重力加速度[m/s²], S_{fx} は x 方向の摩擦勾配, S_{fy} は y 方向の摩擦勾配, z は地盤高[m], n はマンニングの粗度係数をそれぞれ表す。計算条件とし

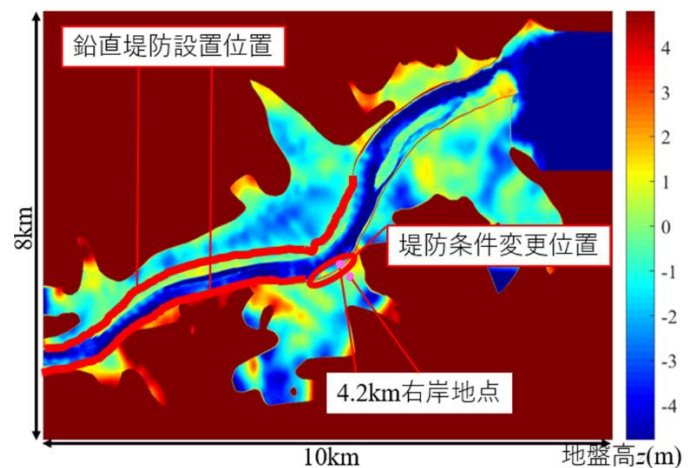


図-1 計算領域

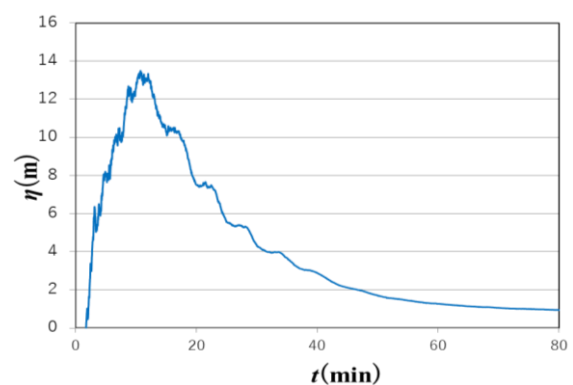


図-2 入力波形

キーワード ; 河川遡上津波, 浅水流方程式, 数値計算, 堤防

連絡先〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室 Tel 022-795-7453 Fax 022-795-7453

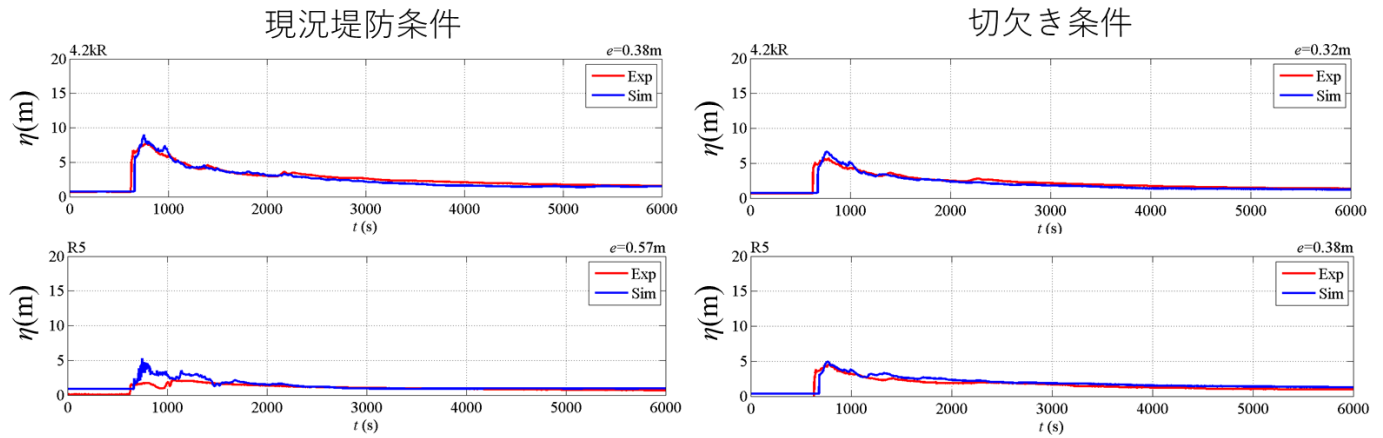


図-3 水位時系列

ては 10m メッシュ，固定床でマンニングの粗度係数は $n=0.03$ を用いる．検討するケースは二つで「現況堤防条件」と「切欠き条件」であり，図-1 に示したように右岸の 5km 地点にて現況堤防を越流するケースと破堤を想定したケースを検討している．

3. 結果および考察

以後現地スケールにて単位を示す．再現性を論ずるために水位の RMSE(e)を用いる．

図-3 に二つのケースそれぞれの右岸 4.2km 地点での隣接した河道内と堤内地の水位時系列を示した．4.2kR が河道内の地点名であり，R5 が堤内地の地点名である．河道内の地点で二つのケースを比較すると，切欠き条件のほうが堤内地へと流れ出る水量が多いので河道内の最大水位の差はあるものの波形の再現性や RMSE はどちらも同程度になっている．これは河道内の他の地点での挙動と同じである．一方，隣接した堤内地での二つのケースを比較すると，切欠き条件のほうでは河道内と波形や RMSE はほぼ同じ値になっているのに対し，現況堤防条件では最大水位の過大評価など波形の再現性が低くなっており，RMSE も $e=0.57$ と相対的に大きくなっている．これより考察をすると，堤内地での水が存在しない地点に津波が浸入することよりも，堤防を越流するという現象を計算では再現できていないといえる．また，河口部の砂州や中州といった比較的高さの小さい凸地形を通ることにより再現性が低くなる現象は生じていない．そのため，津波に対して比較的高さのある現況堤防を越流するといった現象を再現する際に計算精度が低くなっている．

4. おわりに

本研究では，河川遡上津波の数値計算精度に対して越流条件や破堤条件という堤防条件がどのように影響を与えるかを検証した．結果としては破堤条件では堤内地での計算精度の低下は確認されずに，現況堤防条件での越流を伴う際に計算精度の低下が確認された．

謝辞：本研究で使用した水理実験データは国土技術政策総合研究所河川研究室より提供を受けたものである．また，本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発の助成を受けて実施された．ここに記して深甚なる謝意を表する．

参考文献

- 1) 福島雅紀，松浦達郎，服部 敦：河川津波の特性把握に関する実験的検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.69, No.2, pp.I_261-I_265, 2013.
- 2) 松井大生，内田龍彦，中村賢人，服部 敦，福岡捷二：非静水圧準三次元解析法による北上川の津波河川遡上・氾濫流の一体解析，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.71, No.2, pp.I_181-I_186, 2015.
- 3) Kusuma, M. S. B., Adityawan, M. B. and Farid, M.: Modeling two dimension inundation flow generated by tsunami propagation in Banda Ache City, *International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation*, pp.407-414, 2008.