

北上川を対象とした河道域・陸域における河川遡上津波の数値計算

東北大学工学部 学生会員 ○青山 恭尚

東北大学大学院工学研究科 正会員 Mohammad Bagus Adityawan

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

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河口や河道内に津波が侵入し、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挙動を解析し、把握することが重要である。津波河川遡上に関する研究は多くなされているが、その正確な挙動は未だに明らかになっていない部分が多い。特に本研究では地形や堤防が津波遡上に与える影響を調査していく。既往の研究で北上川を対象とした河川遡上津波を実験的に検討しているが¹⁾、本研究では北上川を対象として、河道内および陸域を遡上する津波の挙動を調査・評価していく。

2. 研究方法

(1) 研究対象について

本研究の研究対象は北上川であり、固定床にて計算を行う。入力波としては実際の津波と波形は異なるが、単純な波形のもの（図-1）を採用する。最大波高は東北太平洋沖地震を模擬している。地形および堤防条件を右に示す（図-2）。地形および堤防は実際のものを用いている。2011年の東北太平洋沖地震では河道内から津波が堤防を越流し堤内地に被害をもたらしたため、堤防設置による、河道内・陸域の津波遡上の挙動を考察していく。

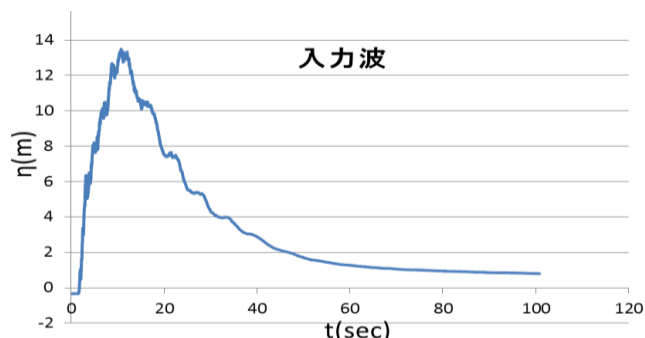


図-1 入力波形

(2) シミュレーションについて

計算方法は二次元浅水流方程式モデルを用いて、McCormack法^{2),3)}により離散的に解く。

$$\text{連続式} : \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \cdots \cdots (1)$$

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

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

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

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

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。McCormack法にて、空間差分を用いる。10mメッシュで10km*8kmを含む範囲で計算している。計算条件として、地形データは海域では日本水路協会から海底地形デジタルデータ、河道内では東北太平洋沖地震前の定期横断測量結果にそれぞれ基づいた。マンニングの粗度係数は海域0.025陸域0.03、境界条件は、右側は入力条件である。

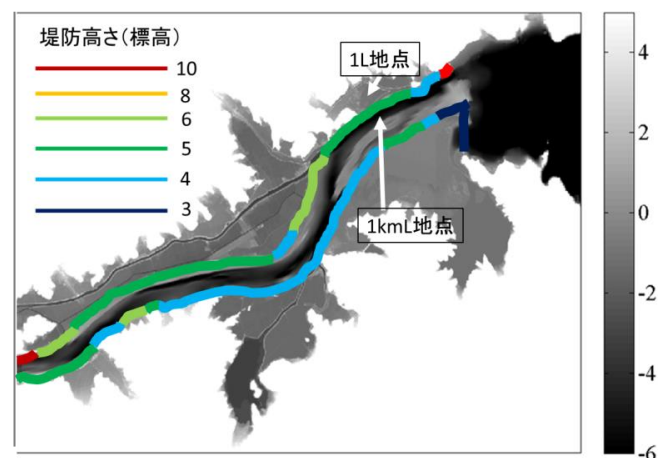


図-2 堤防条件, 計測地点

キーワード ; 河川遡上津波, 実験, 数値計算

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

(3)実験について

本研究では実際の津波の測定がなされていなく測定値がないため、実験での測定値を計算値と比較してモデルの再現性の検討を行う。測定値として国土技術政策総合研究所で行われた北上川河口津波遡上実験の測定値を用いる。スケールは 1/330, 計算範囲や計算条件はモデルと同様に設定している。

3. 結果および考察

水位 $\eta = h + z[\text{m}]$ と定義する。また再現性を下記の平均二乗誤差を用いて議論する。

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (\eta_{cal,i} - \eta_{exp,i})^2} \quad [\text{m}] \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

s は誤差[m], N は時間ステップの総数, $\eta_{cal,i}$ は計算値の水位, $\eta_{exp,i}$ は実験値の水位をそれぞれ表す。時間ステップは津波により水位が上昇し始める時間から, $t=120[\text{sec}]$ の範囲で計算する。

図 2 に示した, 左岸の河道内 (1kmL 地点)・陸域 (L1 地点) の二点の水位変化を右に示す (図-3)。実験値と計算値の平均二乗誤差は 1kmL 地点で 0.36m, L1 地点で 0.48m となっている。再現性があると言える値であり, 差は波の非定常性を考慮できていないためであると考えられる。また, 水位が堤防を大きく超えているので最大水位に大きな差はない。河道内では津波通過後に水位がすぐに小さくなるのに対し, 陸域では堤防により水位が引くのが遅くなっている。これは越流した津波が堤防の影響により, 水が流れ出るのを妨げ水位が小さくなるのが遅くなっているためである。

図-4 は最終的な浸水範囲を示している。上流では, 近接の堤防を越流していない部分 (黄緑線部) でも陸域を波が伝わって, 浸水する部分があった。

4. おわりに

本研究では, 北上川を対象とし浅水流方程式モデルを用いて津波の河川遡上における地形による影響を調査した。北上川における浅水流方程式の再現性を確かめることができた。計算値と実験値の差は波の非定常性を考慮していないためであるといえる。

堤防を越流した津波の挙動として, 陸域に浸水すると堤防により水位の引きが遅いことや, 近接の堤防を直接越流していなくとも陸域を流れて浸水することなどが明らかになった。

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。

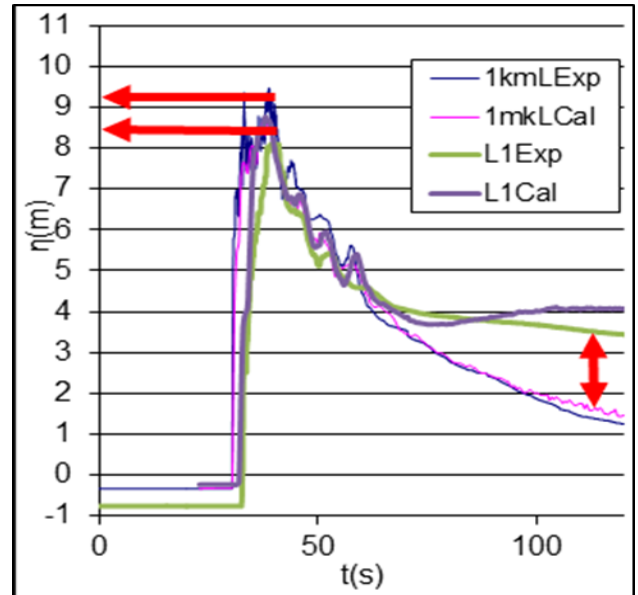


図-3 時間-水位グラフ

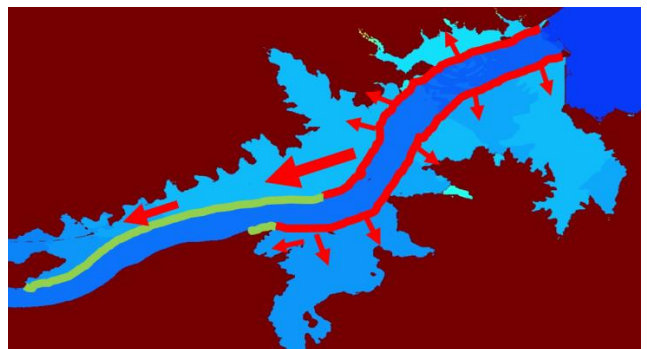


図-4 浸水範囲

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) M.S.B. Kusuma, M.B. Adityawan, and M. Farid: 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.
- 3) S.A. Yost, P. Rao: A non-linear filter for one- and two-dimensional open channel flows with shocks, Advances in Water Resources, 24, pp.87-193, 2001.