

河川を遡上する津波の粒子法によるシミュレーション

東北工業大学 学生会員○渡邊英武

東北工業大学 正 会 員 菅原景一・高橋敏彦

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震で発生した河川遡上津波が観測されたことにより、河川遡上津波について注目されている¹⁾。しかし、河川遡上津波は頻繁に起こる現象ではないため実際に観測されたデータが少なく、その研究はシミュレーションに頼るところが大きい。そこで、本研究では河川遡上津波を粒子法によって再現し、水理模型実験結果と比較することでその再現性について検討を行うこととした。

2. 数値解析モデルと計算条件

2.1 解析モデルの概要

本研究では以下の式²⁾を用いて流体シミュレーションを行う。

流体の移動や質量の計算に次のナビエ―ストークス方程式、連続の式を用いる。

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 u + g \quad (1)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = +\rho \nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

ここで、 t は時間、 ρ は密度、 P は圧力、 ν は動粘性係数、 u は速度、 g は重力加速度を表す。

ある粒子の近傍に存在する複数の粒子の粒子間相互作用の計算に次の重み関数を用いる。

$$w(r) = \begin{cases} \left(\frac{r_e}{r}\right)^3 - 1 & (r < r_e) \\ 0 & (r \geq r_e) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 r は粒子間の距離、 r_e は影響半径を表す。

今回、河川遡上津波を再現する粒子法は半陰解法で計算を行い、粒子間距離は0.02mに設定した。

解析は水路長さ10m、幅0.6m、水深 $h=0.04$ m、勾配 $i=1/1000$ の水槽を作成し、河川の流速として0.3m/sの流れを維持した状態に、下流に設置した造波装置から遡上津波を発生させた。造波装置の貯留水深 H_u は0.1m、0.4mの2種類で解析を行った。図1に示した流れ場の模式図において、地点No.1からNo.4までの4か所の波高と地点No.2、No.4の2か所の流速を実験の結果と比較した。

2.2 河川流の設定

本シミュレーションにおいて河川流は水路下流端から流れ出た水粒子を、上流から水路内へ戻すことで水が流れる様子を再現した。しかし、水粒子を流し続けると流速が加速してしまうため、水粒子を戻す際に、流れ出る水粒子を減速し、流入させることで加速を抑えた。図2に加速を抑えた流速の経過を示す。

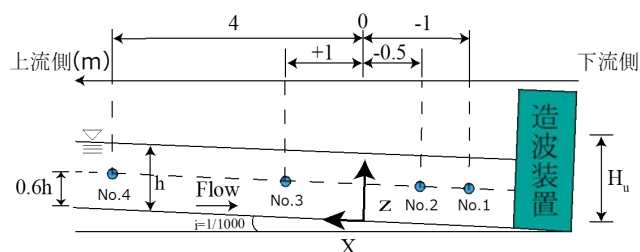
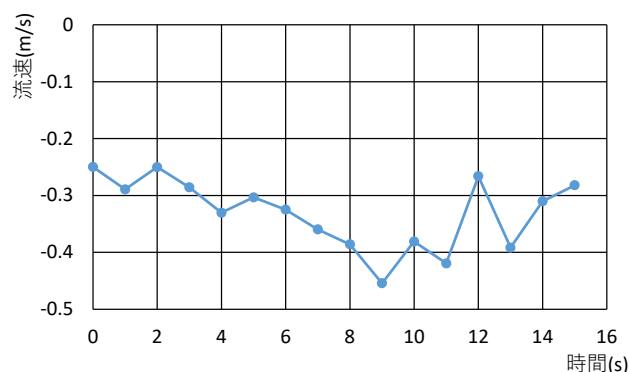
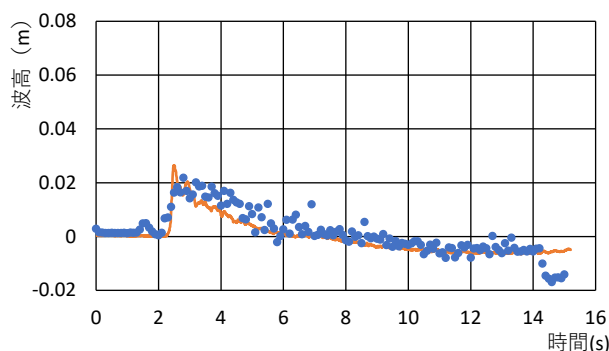
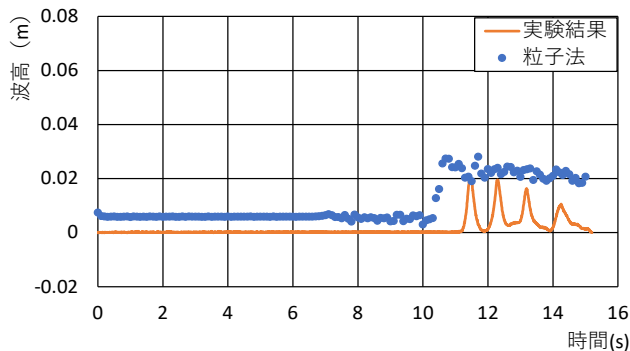


図1 流れ場の模式図

図2 減速させた水粒子の流速
平均流速0.330(m/s)

(a) 地点No.2の波高

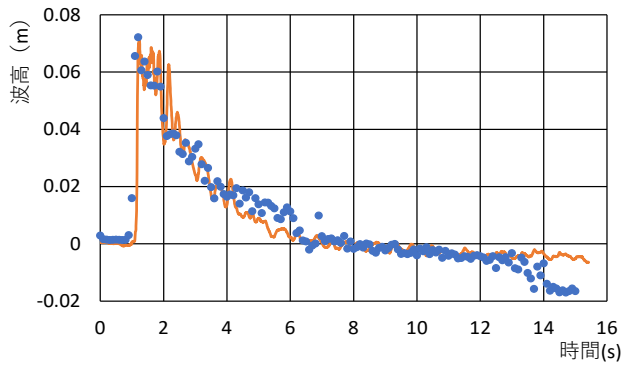


(b) 地点No.4の波高

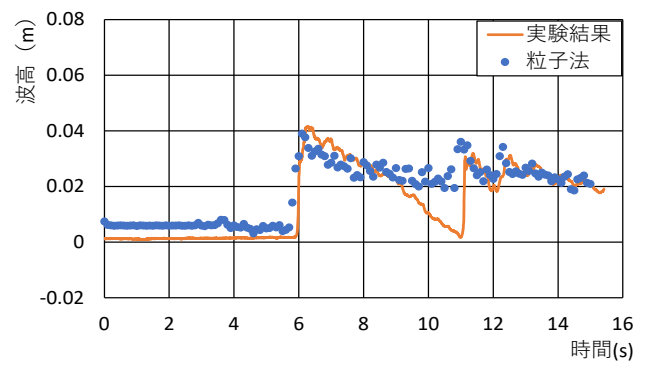
図3 実験結果と粒子法の波高の比較（貯留水深0.1m）

キーワード: 粒子法, 河川遡上津波, 数値解析

〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1 東北工業大学 都市マネジメント学科 TEL:022-305-3550



(a) 地点 No. 2 の波高



(b) 地点 No. 4 の波高

図 4 実験結果と粒子法の波高の比較（貯留水深 0.4m）

3. 実験結果と粒子法の値の比較

波高の再現性について：

図 3(a)、(b)に貯留水深 0.1m の地点 No. 2 と No. 4 の波高の時系列変化を実験結果と共に示した。同図によると地点 No. 2 では波の立ち上がりやピーク、減衰について良好に再現できている。一方、地点 No. 4 では、波の立ち上がり及びピークは概ね再現できているがピーク後のソリトン分裂の様子については再現できていない。

また、図 4(a)、(b)に示した貯留水深 0.4m では、地点 No. 4 のピーク後の減衰が小さいが、どちらの地点においても良好に再現できている。

流速の再現性について：

貯留水深 0.1m の場合の流速の計算結果を実験結果と共に図 5(a)に示した。同図によると、どちらの地点においても大まかな変化の傾向は再現できているが、ばらつきが大きい。特に地点 No. 4 では波高同様ソリトン分裂による流速の変動は再現できていない。

また、貯留水深 0.4m の結果を同図(b)に示したが、地点 No. 2 ではピークが若干小さいものの流速が低減する様子まで良好に再現できている。地点 No. 4 では流速の増加までは実験結果と一致しているが、ピーク値や低減は再現できていないことが確認できる。

以上のことから、貯留水深が高い 0.4m では波高や流速が実験結果と概ね一致しているため遡上津波を再現できているといえる。一方、貯留水深が低い 0.1m では波高や流速のピークの時間はほとんど一致しているが、ピーク後の値にばらつきがみられているため、十分に再現できているとはいえない。

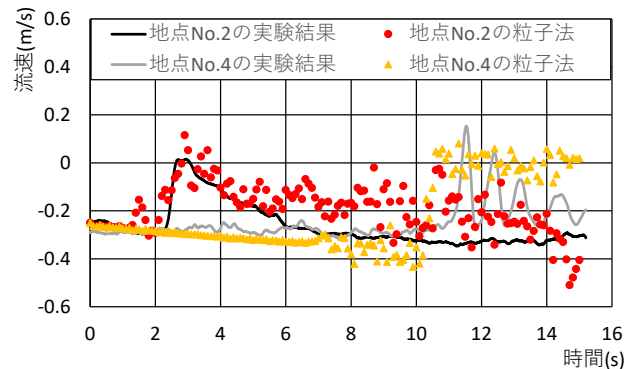
特にソリトン分裂や流速の再現においては、今回の計算条件である。水深 0.04m、粒子間距離 0.02m では、当該時刻、当該位置の粒子が 1 粒子のみになってしまうことがあるため再現性が低くなっていることが考えられる。従って、遡上津波を粒子法でより良く再現するためには粒子間距離をもっと小さく、水粒子の密度を高くすることで再現度も高くなる可能性があることが分かった。

4. おわりに

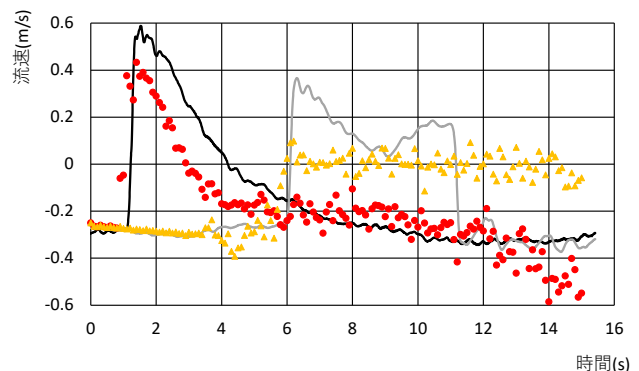
本研究では粒子法を用いて河川遡上津波のシミュレーションを行った。その結果、粒子法を用いて河川を遡上する津波という変動の大きい場を再現できることが確認できた。また、今回は半陰解法で計算を行ったが、半陰解法は計算に要する時間が陽解法と比べ、圧倒的に時間がかかる。今後は実用的な意味でも陽解法によるシミュレーションに取り組む必要がある。

参考文献

- 1) 河川津波対策検討会(2011):河川への遡上津波対策に関する緊急提言, <https://www.mlit.go.jp/common/000163992.pdf>.
- 2) 越塚ら(2014):粒子法入門, 丸善出版, P24-30.



(a) 貯留水深 0.1m の流速



(b) 貯留水深 0.4m の流速

図 5 実験結果と粒子法の流速の比較