

粒子法による静水域への津波打ち上げシミュレーション

東北工業大学 学生会員 ○東尚輝

東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、大規模な津波が発生し、河川を遡上し、甚大な被害をもたらした。岩手、宮城、福島の前北三県では、沿岸部に高さ10mを超える津波が到達した。一般的に、河川津波は陸地を伝播する津波に比べて、伝播速度が速く上流まで波のエネルギーを維持して伝播する。そのため、高さも大きく、海岸から離れた上流まで広がった事例もあった。この河川遡上津波は発生頻度が低く、発生すると観測装置をも破壊する甚大な被害をもたらすため、実際の観測データが少ないのが実情である¹⁾。したがって河川遡上津波の研究は、数少ない現地観測結果と数値解析を中心に取り組まれている。粒子法を使って精度の高い再現をすることで、河川遡上津波以外の実験水路で再現の難しいような事例にも用いて検討できる可能性があると考ええる。また、本研究で用いる粒子法は従来用いられている数値解析の手法である格子法とは違い、計算格子の生成が不要なため、自由表面の動きにおいて格子による歪みが起きないという利点がある。

そこで本研究では、今回粒子法を用いて静水域に打ち上げる津波のシミュレーションを行い、実験水路での計測結果と比較することで解析精度を検証することを目的とした。

2. 数値解析の方法

2.1 数値解析モデルの概要

非圧縮性流体の支配方程式は、質量保存を表す連続の式と、運動量保存を表すナビエ・ストークス方程式とする。

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

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

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

粒子間相互作用モデルを重み関数に基づいて計算する。重み関数は次のように定義する。

$$w(r) = \begin{cases} \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 - 1 & (r < r_e) \\ 0 & (r \geq r_e) \end{cases} \quad (3)$$

ここでは、 r は粒子間距離、 r_e は影響半径を表す²⁾。また、今回は粒子法の半陰解法を用いて再現を行う。

2.2 解析の条件

解析は長さ10m、河床勾配1/1000で鉛直2次元開水路を再現（図1）し、計算時間間隔0.01秒、粒子間

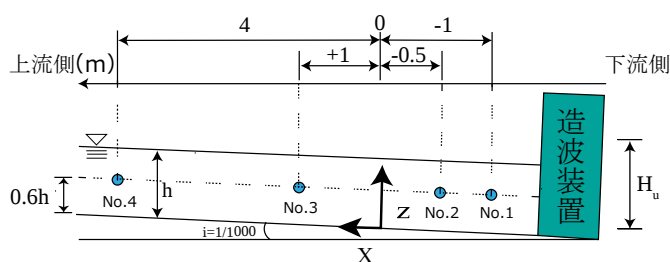
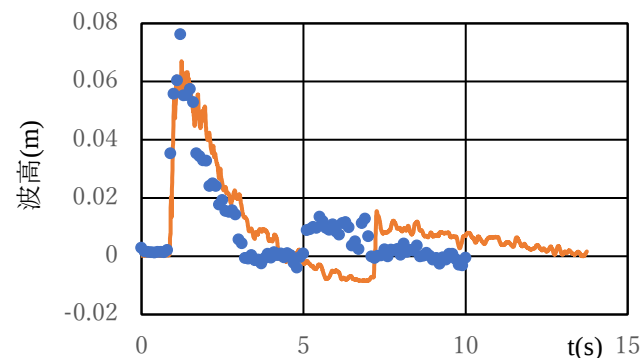
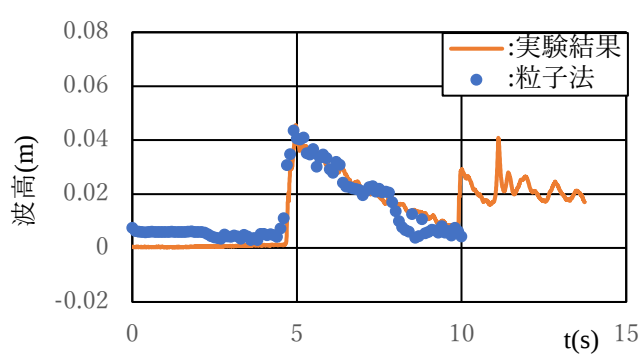


図1 流れ場の模式図



(a)No.2 地点の波高



(b)No.4 地点の波高

図2 Hu=0.40mの計算結果と実験結果の比較

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

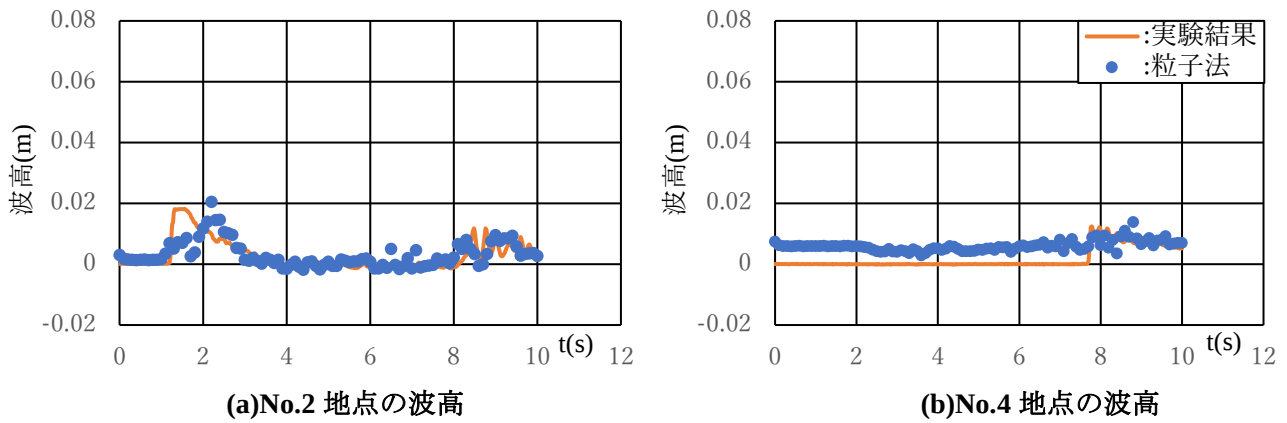


図3 $Hu=0.10m$ の計算結果と実験結果の比較

距離 0.02m、造波装置の貯留水深は 0.10m と 0.40m の 2 パターンで行った。静水域の水深 $h=0.04m$ 、総粒子数は、0.10m は 3268 個、0.40m は 3568 個である。

3. 波高の再現結果

図2、3は、波高計 No.2、No.4 における波高の計算結果と実験結果それぞれ示したものである。計算結果を青色で示し、実験結果を橙色で示した。同図より、水面変化が大きい $Hu=0.40m$ の場合は造波装置から最も離れている No.4 でも良好に再現されている。一方水面変化が小さい $Hu=0.10m$ の場合は、造波装置に近い No.2 ではおおむね再現できているが造波装置から離れた No.4 の地点での再現性はあまり高くない。これは、 $Hu=0.10m$ では水面の変化が小さいため計算上の減衰が大きく再現性が低くなったと考える。

4. 流速の再現結果

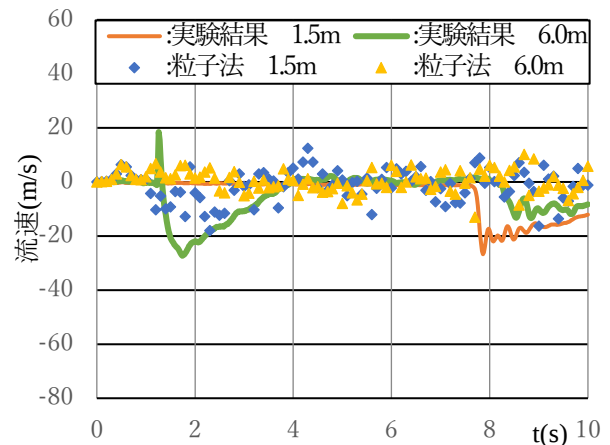
図4は、地点 No.2、No.4 における流速の変化を示したものである。同図(a)に示した、 $Hu=0.10m$ では、流速が負と正の値を行き来し、ピーク流速も再現できてない。しかし、(b)に示した $Hu=0.40m$ の場合は実験結果より少し早く流速の変化は起こるが最大流速は実験結果と同程度の値を求めることができている。これも波高の再現結果と同じように計算上の減衰が大きく、流動の小さい現象がうまく再現できてないと考える。

5. おわりに

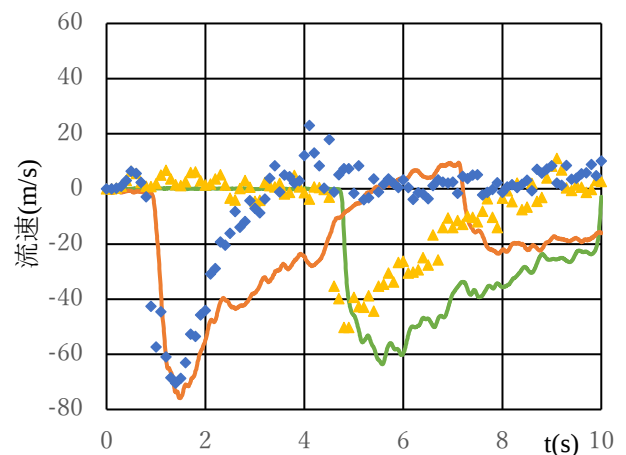
本研究では、静水域を遡上する津波の粒子法を用いたシミュレーションについて検証を行った。その結果、粒子法による数値解析によって静水域を遡上する津波の挙動を再現できることが確認できた。しかし、流動が小さい場合の再現性、特に流速については課題が残された。また、小さい変化を再現できなかったのは粒子間距離の影響が大きいと考える。粒子間距離をより小さくすると、粒子数が増え、計算時間が大きくなってしまいが、動きの小さな現象も再現できるようになると考えられる。水面変化のない貯留水深 0.10m でも、粒子法で再現できると考える。

参考文献

- 1) 中村 祐輔ら(2017)：河川を遡上する津波の数値解析 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol.73,No.2,pp.I_331-336.
- 2) 越塚 誠一ら(著)(2014)：粒子法入門 丸善 pp24-30



(a) $Hu=0.10m$ の流速



(b) $Hu=0.40m$ の流速

図4 計算結果と実験結果の流速の比較