

波浪による海浜変形解析における河床変動の計算間隔に関する検討

鳥取大学大学院工学研究科 学生員 ○阿部 達也
鳥取大学大学院工学研究科 正会員 梶川 勇樹

鳥取大学大学院工学研究科 正会員 檜谷 治

1. はじめに

昨年度、1次元波浪場における海浜変形実験に対して、鉛直2次元流れと河川領域でよく適用される掃流砂量式を用いた1次元海浜変形モデルにより、ある程度実験結果を再現できることが確認された¹⁾。しかしながら、波の遡上域における再現性が悪く、また、現地への適用に際しては、莫大な計算時間をどのように短縮するかが問題として残されていた。そこで、本研究では、遡上域の再現性を向上させるとともに、地形変化に対する計算時間間隔の設定について検討したものである。

2. 数値解析モデルについて

本研究で用いる数値モデルは、基礎方程式に FAVOR 法を導入し、計算格子にコロケート格子を採用したものである。渦動粘性係数の評価に関しては、従来より様々な分野で適用されている標準型 $k-\varepsilon$ 方程式モデルを採用している。地形変化に関して、本研究では流砂に一樣粒径の掃流砂のみを考慮した。流砂量式については、海域部および河川を対象とした様々な式が提案されており、河川および波浪場を含めた広範囲な領域に適用可能な流砂量式は未だに提案されていない。そこで、本研究では河川において信頼性の高い芦田・道上式を採用した。地形変化は、流砂の連続式より算出した。数値計算法はコロケート格子上における HSMAC 法とほぼ同様である²⁾。

昨年度、波の遡上域における地形変化の再現性が低かった点に関し、昨年度のモデルでは遡上域での土砂体積が保存されていないことが分かった。これは、水中安息角の補正による影響であり、本研究では土砂体積が保存されるよう修正した。

3. 実験結果と数値計算結果との比較

本研究で対象とした実験³⁾は、図-1 に示す2次元波浪水槽内で、表-1 に示す定常波を10時間作用させた実験結果である。実験条件は、図-2 に示すように、砂が一方的に沖へ移動する侵食型 (Type I) となる波浪条件である。計算条件を表-1 にまとめて示す。ここでは、流れの

<連続式>

$$\frac{\partial(A_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z w)}{\partial z} = 0$$

<運動方程式>

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x uu)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z uw)}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ 2A_x \nu_e \frac{\partial u}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z \nu_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x wu)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z ww)}{\partial z} \right\} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x \nu_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ 2A_z \nu_e \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \right]$$

< $k-\varepsilon$ 方程式>

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x uk)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z wk)}{\partial z} \right\} = \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \nu_k \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \nu_k \frac{\partial k}{\partial z} \right) \right\} + G_s - \varepsilon$$
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x u \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z w \varepsilon)}{\partial z} \right\} = \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \right\} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G_s - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$$

<芦田・道上式>

$$\frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right)$$

<地形変化>

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_B}{\partial x} = 0$$

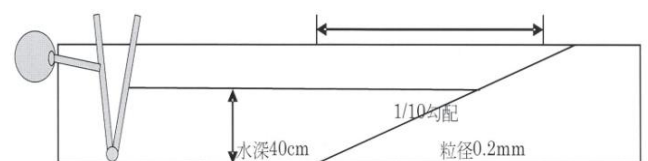


図-1 実験装置の概要

計算時間間隔 $\Delta t = 0.002 \text{ sec}$ に対し、地形変化の計算時間間隔 Δt_z をそれぞれ 1.0 sec (500 倍 : CASE1), 0.1 sec (50 倍 : CASE2), 0.01 sec (5 倍 : CASE3) として計算を行った。

まず、図-3 に各 Case における 10 時間後の流況をそれぞれ示す。図より、地形変化の計算時間間隔 Δt_z の違いにより、10 時間後の地形形状は異なるものの、波浪形状および波浪内部の流況はほぼ同様であることが分かる。この流況は、初期 ($t = 0 \text{ sec}$) から殆ど変化していない。つまり、本研究で対象とした条件下では、地形変化に伴う流れ場の変化が少ないため、実験結果を再現できるよう Δt_z を大きく設定しても問題がないことが分かる。

次に、図-4 に 10 時間波を作用させた後の地形変化の様子を示す。図より、全計算結果は実験値に見られる侵食型の傾向を示し、良好に実験結果を再現できていることが分かる。特に、波の遡上域である $x = 3 \sim 3.5 \text{ m}$ 付近の地形形状も良好に再現されており、本数値モデルの妥当性が伺える。各 CASE を詳しく見ると、流れの計算時間間隔の 500 倍に設定した CASE1 は、他の CASE に比べて $x = 2 \text{ m}$ での地形起伏が大きい。しかしながら、50 倍以下に設定した CASE2 および CASE3 に違いはほとんどみられず、計算結果は一致している。このことから、今回対象とした条件下では、地形変化の計算時間間隔 Δt_z を、流れの計算時間間隔 Δt の 50 倍程度にまで大きく設定することができ、大幅に計算時間の短縮を図ることが出来ることがわかった。

表-1 計算条件

沖波波高 (m)		0.05
周期 (s)		0.9
流れの計算時間間隔 Δt (s)		0.002
地形変動の計算時間間隔 Δt_z (s)	CASE1	1.0
	CASE2	0.1
	CASE3	0.01
メッシュ間隔	Δx (m)	0.02
	Δz (m)	0.01
マンニングの粗度係数		0.015
粒径 (m)		0.0002

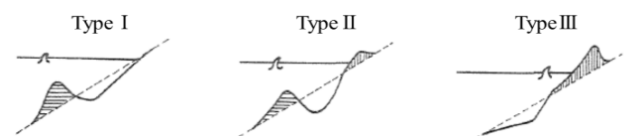


図-2 類型化された地形変化のパターン

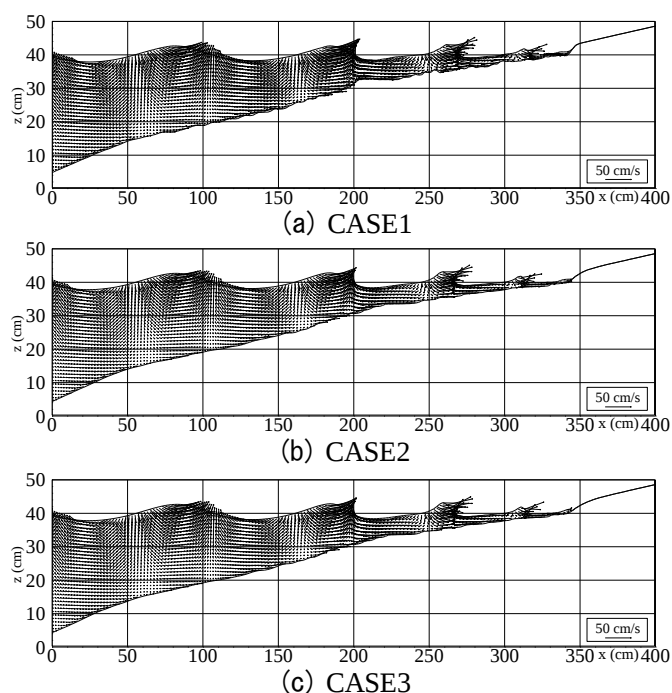


図-3 10 時間後の流速ベクトル図

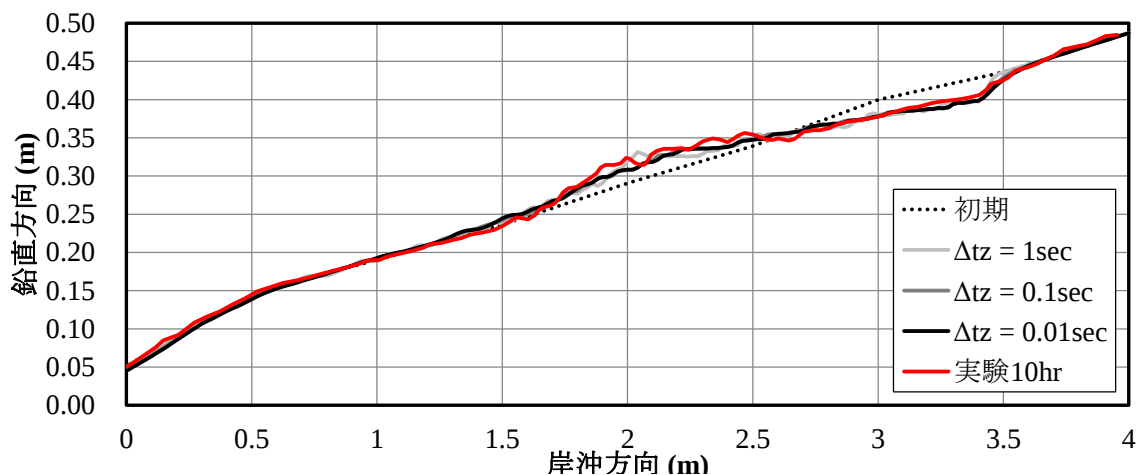


図-4 10 時間後の実験結果と計算結果との比較

4. まとめ

本数値計算モデルにより，侵食型の波浪を与えた実験条件下では，地形変化の時間間隔を流れの計算時間間隔の 50 倍程度にしても，海浜変形を精度良く再現できることが分かった．今後，堆積型の波浪条件や現地スケールの再現計算を実施する予定である．

【参考文献】1) 阿部達也，檜谷治，梶川勇樹：波浪による沿岸砂州の形成に関する数値シミュレーション，第 64 回土木学会中国支部研究発表会概要集，2012. 2) 梶川勇樹，檜谷治：幅水深比の小さな一様弯曲水路における砂堆発生時の局所流に関する 3 次元数値計算，水工学論文集，第 53 巻，pp.883-888，2009. 3) 中村友昭：沿岸砂州の形成と移動に関する基礎的研究，鳥取大学卒業論文，2007.