

II-120

側岸境界の移動により生じる波の伝播の数値解析

京都大学大学院 学生員 内倉 嘉彦 京都大学工学部 正 員 長田 信寿
 京都大学工学部 正 員 細田 尚 京都大学工学部 正 員 村本 嘉雄

1. はじめに：本研究は、貯水池における側岸土砂の崩落あるいは河岸侵食等、側岸の移動を伴う開水路非定常流れを取り扱う基本的数値解析モデルの構築を目的としている。ここでは、水路の側岸の移動の際に生じる波の伝播現象を対象として、実験及び数値解析を行った結果について述べ、移動一般座標系を用いたモデルの適用性について検討する。なお、このような現象に対して、道上・檜谷・松田¹⁾が、座標系を移動させず、河床高のみ時間的に変化させる方法を用いて解析を行っている。そこで、このような従来のモデルと本研究で用いた移動一般座標系のモデルの適用性についても考察を行う。

2. 計算方法：流れの基礎式は、平面2次元流れの基礎式および運動方程式で構成される。ここでは移動一般座標系を用いて表示する。運動方程式に関しては、スタッガードスキームの有限体積法に適合するように反変成分で表示し、 η 方向のみ以下に示す。

〔連続式〕

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{h}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \xi}\left((\xi + U)\frac{h}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \eta}\left((\eta + V)\frac{h}{J}\right) = 0$$

〔運動方程式〕 〈 η 方向〉

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q^\eta}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \xi}\left((\xi + U)\frac{Q^\eta}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \eta}\left((\eta + V)\frac{Q^\eta}{J}\right) - \frac{M}{J}\left(\frac{\partial \eta}{\partial \alpha} + (\xi + U)\frac{\partial \eta}{\partial \xi} + (\eta + V)\frac{\partial \eta}{\partial \eta}\right) - \frac{N}{J}\left(\frac{\partial \eta}{\partial \alpha} + (\xi + U)\frac{\partial \eta}{\partial \xi} + (\eta + V)\frac{\partial \eta}{\partial \eta}\right) \\ & = -g\eta\left(\frac{\xi\eta + \xi\eta_z}{J}\frac{\partial z}{\partial \xi} + \frac{\eta^2 + \eta_z^2}{J}\frac{\partial z}{\partial \eta}\right) - \frac{\tau_\eta}{\rho J} + \frac{\xi\eta}{J}\frac{\partial}{\partial \xi}\left(-\overline{u'^2}h\right) + \frac{\eta^2}{J}\frac{\partial}{\partial \eta}\left(-\overline{u'^2}h\right) + \frac{\xi\eta}{J}\frac{\partial}{\partial \xi}\left(-\overline{v'^2}h\right) + \frac{\eta^2}{J}\frac{\partial}{\partial \eta}\left(-\overline{v'^2}h\right) + \frac{\xi\eta + \xi\eta_z}{J}\frac{\partial}{\partial \xi}\left(-\overline{u'v'h}\right) + \frac{2\eta\eta_z}{J}\frac{\partial}{\partial \xi}\left(-\overline{u'v'h}\right) \end{aligned}$$

ここに、 h ：水深、 (M, N) ：流量フラックス、 $-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$ ： $x-y$ 座標系の水深平均レイノルズ応力の成分、 (U, V) ：流速ベクトルの反変成分、 J ：座標変換のヤコビアン、 ξ_t, η_t ：座標の時間微分、 Q^η ：流量フラックスの反変成分、 τ_η ：底面せん断応力の反変成分、 z_s ：水位である。

3. 実験の概要：用いた水路は、長さ400cm、幅15cm、高さ28cmの水平なアクリル製の水路である。境界移動に用いる側壁は同じくアクリル製で、水路内壁と同じ幅の角柱である。その側壁のスロープは、 30° 、 90° のタイプを用意した。実験ケースをTable 1に示し、模式図をFig. 1に示す。

Table 1 実験ケース

実験 NO.	側壁				初期水深
	角度 θ	移動方向	移動距離	移動時間	
RUN1	30°	内：①	13.8cm	0.7sec	6.3cm
RUN2	30°	外：②	16.1cm	0.6sec	7.5cm
RUN3	90°	外：②	21.4cm	0.5sec	7.5cm

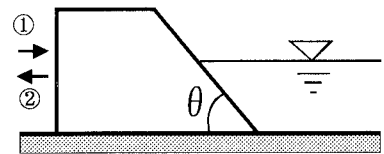


Fig. 1 実験の模式図

4. 計算結果および考察：RUN1の計算結果および実験結果を、Fig. 2に水面形状の時間変化について示し、Fig. 3に、Fig. 2における0cmの位置での水位の時間変化について示す。側岸が水路内の方向に移動するに従い、側岸付近の水位が上昇し、それが右方向へ伝播していく様子が再現されており、実験結果との適合性は非常に良い。

Fig. 4、Fig. 5は、RUN2の計算結果と実験結果である。本ケースは、側岸が水路の外方向に移動しているため、まず、初期の段階では側岸付近の水位が下がる。続いて側岸移動の減速、停止により、側岸近傍の水位が上昇し、右方向へ伝播している様子が再現されている。本ケースにおいては、水位上昇時に実験結果と比較して、計算結果の方がやや早く水位が上昇する傾向にあるが、全体的な両者の適合性は良い。

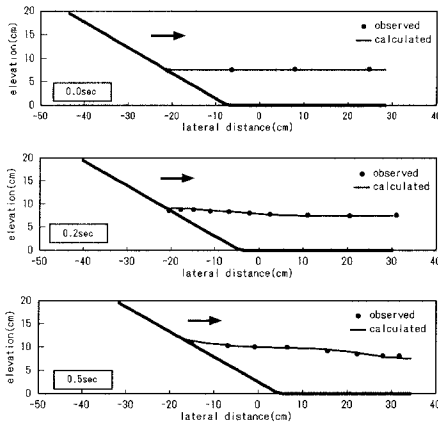


Fig. 2 水面形状の時間変化 (RUN1)

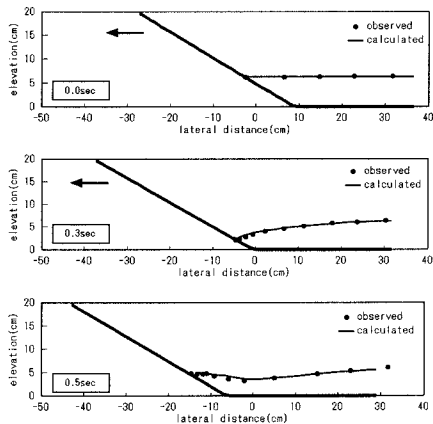


Fig. 4 水面形状の時間変化 (RUN2)

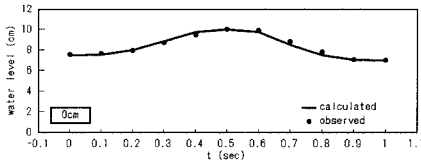


Fig. 3 水位の時間変化 (RUN1: 0.0m地点)

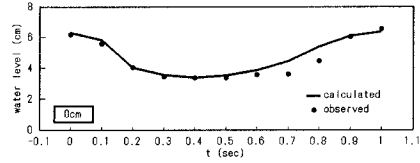


Fig. 5 水位の時間変化 (RUN2: 0.0m地点)

Fig. 6, Fig. 7 は, RUN3 を対象に, 道上ら¹⁾のモデルと本計算手法でそれぞれ計算を行った結果について示したものである。

前述のように道上らは, 境界の移動現象に対して, 座標軸は時間的に固定したままで, 河床高のみ変化させることによって境界移動を表現している。このような手法は, 側岸のスロープが緩やかでその移動が急激でない場合においては有効であるが, スロープが急勾配となった場合等については適用が難しくなると考えられる。ここでは, その点を明確にするため, 側岸が 90° のケースを対象として計算を行った。

Fig. 6 は従来のモデルを用いた計算結果と実験結果の比較である。同図より, 従来のモデルでは, 側岸移動中の境界付近で水深が過小になっており, 現象がうまく表現されていないことが分かる。これに対して Fig. 7 に示す移動一般座標系を用いた計算結果では, 側岸境界の移動に伴う側岸付近での水位低下が良好に再現されており, このことは, 本モデルの適用性の広さを示すものと考えられる。

5. まとめ：本研究は, 側岸の境界移動を伴う開水路非定常流に対して移動一般座標系を用いた数値解析モデルを提案し, ここでは, 側岸の移動により生じる波の伝播現象に適用した。従来の河床高のみを時間的に変化させるモデルでは, 急激な境界の移動を伴う現象への適用が難しいのに対して, 移動一般座標系を用いた本モデルは, そのような現象に対しても妥当な結果が得られることが示された。

参考文献：1) 道上正規・檜谷 治・松田信彦：貯水池内での斜面崩壊に伴う水面波に関する研究, 水工学論文集, 第 39 巻, pp. 459-464, 1995。

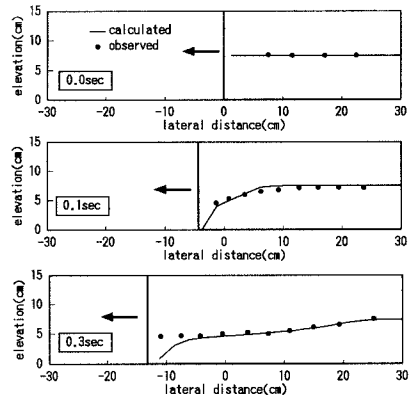


Fig. 6 従来の手法による計算結果と実験結果の比較

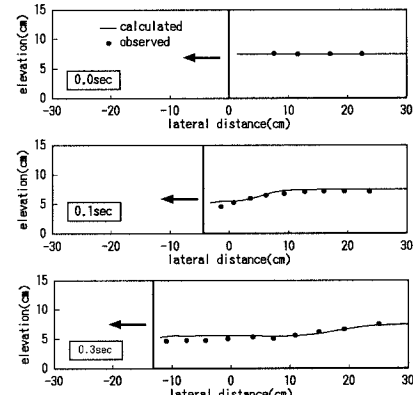


Fig. 7 移動一般座標系による計算結果と実験結果の比較