

第II部門 構造物間に浸入する自由水面流れの数値計算法に関する研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○ 牧野 統師
 京都大学大学院工学研究科 正会員 牛島 省
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 禰津 家久

1. はじめに

洪水や津波等によって生ずる氾濫流に対しては、近年より局所的かつ微視的なスケールの現象、すなわち破堤部付近の氾濫流による家屋の倒壊や、建物や道路配置の細部に着目した氾濫水の挙動、また地下空間への浸水過程などに対する現象解明と評価方法の確立が重要な検討課題とされている。

そのため、本論文では建物の配置や構造物を単純に模擬した小規模な模型を用いて、自由水面流れが道路部分や建物の間に流入して、模型内に広がっていく非定常的な過程を把握する。そしてこの結果を対象として、3次元固気液多相場の数値解法(MICS)による数値計算を行う。MICSでは気相と液相を計算対象として3次元計算が行われる。実験結果との比較により解法の適用性を検討する。

2. 数値解析手法

2.1 基礎方程式

MICSで用いられる基礎方程式は、Euler表記、およびLagrange表記された質量保存則と非圧縮条件、そして水、空気の混合体に対する運動方程式から構成される。

2.2 計算手順の概要

基礎方程式の計算手順は、コロケート格子を用いる非圧縮性流体の計算法¹⁾と同様である。セル中心に定義された流速成分 u_i を用いて、保存系の運動方程式の圧力項を除く部分からセル中心における流速の推定値を計算する。移流計算を行うためのセル境界のフラックスは5次精度の手法により、数値振動を抑制するためのフラックス制御を行って求めるものとし²⁾、計算時間を短縮化するために陰的解法であるC-ISMALC法³⁾を用いる。

保存形表示となっている式も運動方程式と同様に有限体積法で離散化され、セル境界のフラックスは5次精度のTVDスキームで求めるものとした。運動方程式と同じ時間ステップで計算できるように、時間方向にC-ISMALC法を同様に用いて離散化した。

次に、圧力計算段階では、セル境界に空間内挿された流速の推定値に圧力勾配を考慮した流速成分を用いて、C-HSMALC法⁴⁾により連続性を満足するような流速成分と圧力場を求める。本研究の計算では、3次元計算セルの大きさを単位とする不透水性の構造物(ボックス)を計算領域内の任意の位置に置くことができるように、ボックスも計算範囲に含めた。

3. 河川を遡上する津波流れの実験と考察

3.1 実験の概要

造波装置により生じた波が河川を遡上し、発生する段波について考察するとともに、現象に対する3D MICSを用いた数値計算の適用性を検討した。

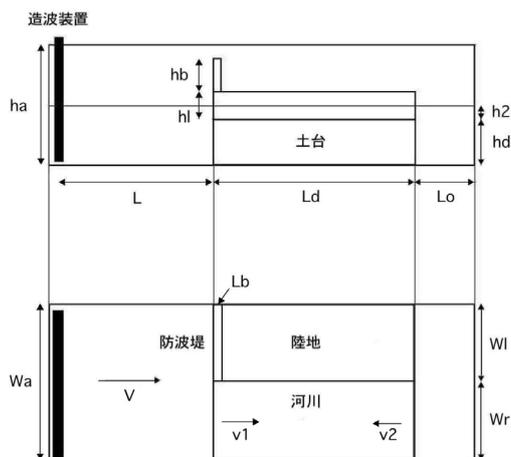


図1 実験装置(側面図と平面図) $h_d=10.5\text{cm}$, $h_l=6.8\text{cm}$, $h_b=5.0\text{cm}$, $W_a=19.3\text{cm}$, $W_l=9.6\text{cm}$, $W_r=9.6\text{cm}$, $L=63.8\text{cm}$, $L_d=76.8\text{cm}$, $L_o=44.2\text{cm}$, $L_b=8.0\text{cm}$

本実験で使用した造波水槽および、実験模型の概略図を図1に示す。実験水槽はアクリル製で、水路長2.0m、奥行き0.19m、高さ0.4mである。この水槽の下流側には取り外し可能なアクリル製のステップを設置し、その上にプラスチック製の直方体の模型ピースを組み合わせて作成した実験模型を設置した。実験模型は陸地部分・河川部分・防波堤部分から成り立っている。ビデオカメラで撮影を行い、画像解析ソフトを用いて波速と波高を計測した。

実験条件としては、河川部の静止水深 h_2 、造波水槽の移動速度 V 、河川流量 Q を変化させ、合計27ケースについて実験を行い、各ケースごとに波速と波高を計測した。代表的なケースを表1に示す。

表1 実験ケース名(太字は計算を行ったケース,*は砕波が顕著なケース)

h2(cm)	V=10(cm/s)		V=40(cm/s)	
	Q=0.0(ml/s)	Q=137.6	Q=0.0(ml/s)	Q=137.6
1.0	h1q0v10	h1qlv10*	h1q0v40*	h1qlv40*
3.0	h3q0v10	h3qlv10	h3q0v40	h3qlv40

3.2 波速に関する考察

計測した段波速度の結果を，河川流量 Q ごとに理論解と比較した．段波速度の理論解は次式で与えられる． h_1 は河川部上流側水深である．

$$w = v_2 \pm \sqrt{gh_2 \cos \theta} \sqrt{\frac{h_1(h_1 + h_2)}{2h_2^2}} \quad (1)$$

結果を図2に示す．点が実験結果，線が理論値曲線を示している．全体的に実験値と理論値が一致している．

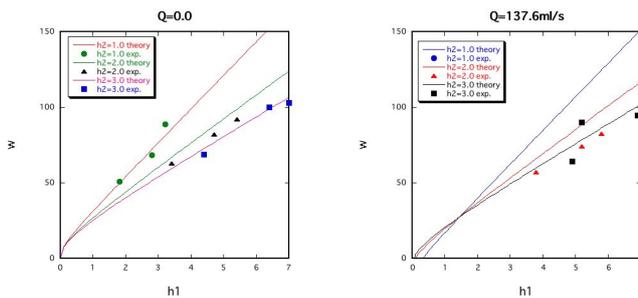


図2 段波速度 w と h_1 の関係

3.3 波高に関する考察

波高の増加，減少が顕著な例として， $h1q0v40$ と $h3qlv10$ の2ケースについて，進行方向各点で計測された最大波高 H_{max} と流下距離の関係を図3に示す．波高は入射波高 H_0 で，進行方向座標はステップ高さ h_d で無次元化している．波高の増加傾向，減少傾向をほぼ再現できた． $h1q0v40$ の計算結果を図4に示す．

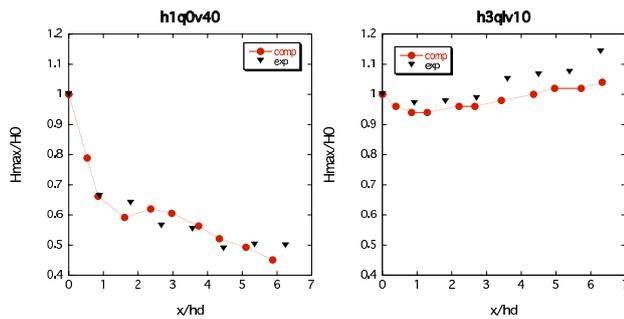


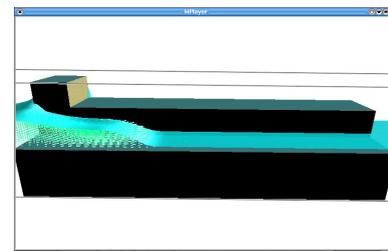
図3 最大波高と流下距離の関係 (実験結果と計算結果の比較)

4. 結言

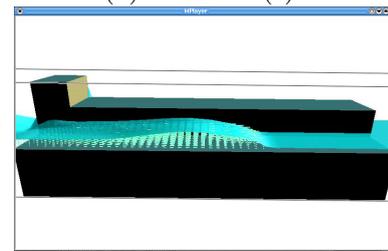
本論文では，河川や堤防を単純に模擬した小規模な模型を用いて，自由水面流れが河川に浸入して河川を遡上する過程を把握し，この実験結果を対象としてMICSによる3次元数値計算を行った．その結果，実験結果と計算結果は良好に一致しており，実験結果を再現可能であることが確認された．

参考文献

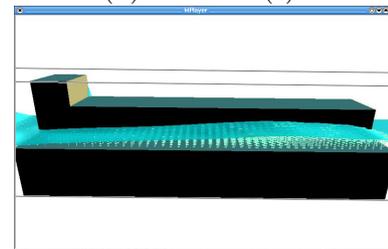
- 1) 牛島省, 竹村雅樹, 禰津家久. コロケート格子配置を用いたMAC系解法の計算スキームに関する考察. 土木学会論文集, No. 719/II-61, pp. 11-19, 2002.
- 2) 牛島省, 吉田 圭介, 竹村 雅樹, 禰津 家久. フラックス制御を利用する移流方程式の5次精度保存形スキーム. 土木学会論文集, No. 747/II-65, pp. 85-94, 2003.
- 3) 牛島省, 禰津 家久. 陰解法を用いたコロケート格子による高次精度の流体解析手法の提案. 土木学会論文集, No. 719/II-61, pp. 21-30, 2002.
- 4) 牛島省, 奥山洋平, 藤田学, 禰津家久. C-HSMAC法を用いる3次元非構造コロケート格子上の並列流体計算法. 応用力学論文集, Vol. 7, pp. 347-354, 2004.



(a) $t = 0.80$ (s)



(b) $t = 0.92$ (s)



(c) $t = 1.16$ (s)

図4 $h1q0v40$ の計算結果