

津波防波堤開口部付近の3次元流動計算

株式会社 エス・イー・エイ 正会員 宮本 義弘

1. はじめに

津波防波堤開口部付近の流況は開口端から発生する渦と湾内に流入する際の流路拡大効果により、複雑な流動模様を呈することが想定される。従来の浅水長波式に基づく津波の流動計算は、平面流速成分と波高を未知数として解く故、複雑な流況の再現性には困難を伴う⁽¹⁾。岸付近の流動、及び防波堤開口部付近の流動の様な複雑な流況計算には3次元流動の影響を考慮することが必要となる。また、自由表面、乱流現象、非定常流動、複雑な幾何形状等を考慮した精度良い数値計算が必要となる。汎用流動解析コードFLOW-3D⁽²⁾がこれらの要求を満たす故、FLOW-3Dを用いて、藤間らの模型実験⁽¹⁾に対する3次元流動計算を行ない、3次元計算の効果について調べた。

2. 数値計算手法

流体は非圧縮性を仮定し、連続式、運動量式、流体率(VOF)の輸送式を基礎式とする。乱流モデルは、RNG(Renormalization Group)⁽³⁾モデルを用いた。このモデルは、 $K-\epsilon$ モデルの拡張法で、経験定数が少なく、強いせん断速度場の流れを精度良く解くことができる。複雑な幾何形状はFAVOR(Fractional Area Volume Obstacle Representation)関数を用いて定式化される。この手法は体積率技法の一種で、離散化コントロールボリュームに開口率関数を適用して、複雑な幾何形状をモデル化するものである。離散化は差分法により、解法は、SOLA法を拡張したADI法(SADI)を用いた。

3. 計算モデル

幅700cm、長さ1100cm、水深30cmの水槽内に防波堤模型が設置された実験系⁽¹⁾(図1)の1/2領域を計算領域とする。造波装置面は振幅0.7cm、周期20secの正弦波の水位境界を与える。振幅は開口部中央における実験値と第1波目の波高が一致する様に調整された。防波堤の開口幅は140cmで、マウンド上に幅7cm、高さ4cmの潜堤が設置されている。境界壁、及び防波堤壁はすべりなしの剛壁とし、壁面せん断応力はべき乗則に基づく壁関数を適用した。自由表面上では圧力一定の境界条件を与える。計算領域をx方向に104セル、y方向の55セル、z方向に26セルの格子に分割した。

4. 計算結果

開口部中央、及び開口部から離れた点の水位変化、流速変化は、実験値と比較的良く一致している(図2)。流速の第2波目に第1波目より大きな振幅波形が現れる現象がa,b点で再現されている。c点の第2波目の流速ピーク値の低下は、数値減衰に因るものと思われる。開口部から離れた場所で検出されている位相のずれも再現されている。第1波目の流速振幅が実験値よりも少し大きく評価されている。流速の場所による位相のずれと波形変化は開口端部から発生した渦による影響である(図3)。開口端から発生した渦の発達に伴い、開口端から離れた位置では、その点を通過する渦流の変化に対応して流れの向きの正から負への切替わりが早い時刻に起こる(図2(c))。開口部中央から離れた位置bでは、残留した渦流によって正の流れが保たれ、流速のピーク時刻を遅らせる(図2(b))。開口部中央付近の流れが負を示す時刻においても、b点の流れは正方向を示す(図3 t=36sec)。この渦流により、2次渦が形成されている(図4)。また、開口部から湾内に流入する際、流路拡大によるはく離渦が形成される(図5)。

5. まとめ

津波防波堤模型実験に対する3次元流動解析を行ない、水位、流速変化の実験値と比較的良く一致することを確認した。防波堤開口部付近の流れは3次元流れを形成する故、3次元流動計算の必要性及びそれによって多くの知見が得られることを確認した。今後、実スケールモデル解析への適用性について調査したい。

参考文献

1. 藤間 功司・重村 利幸・林建二郎・高根 徳通・松井 健一，数値計算による津波防波堤開口付近の流波の再現性、土木学会第49回年次講演会，1994.9
2. FLOW - 3D Computational modeling Power for Scientists and Engineerings, Flow Science Inc., Technical Manual
3. V. Vakhot and S. A. Orszag, Renormalization group analysis of turbulence. I. basic theory, J. Sci. Compu. 1, 3 (1986)

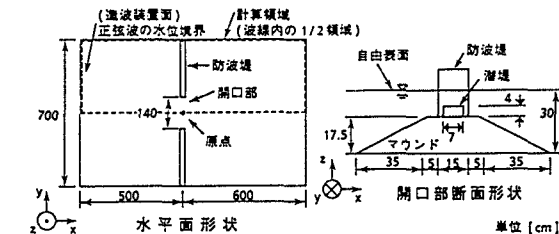
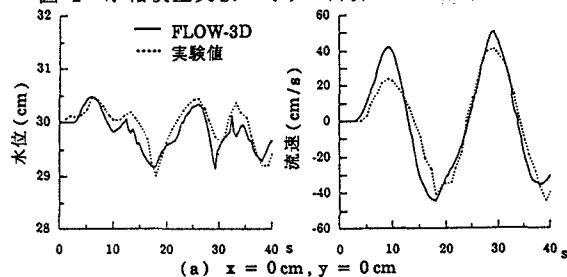
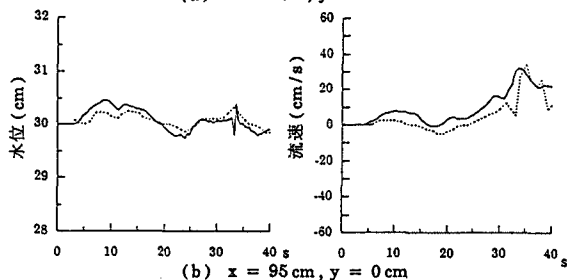


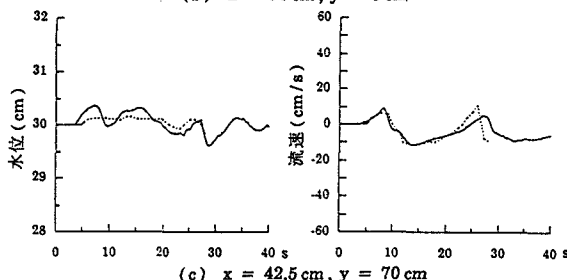
図1 水槽模型実験に対する計算モデル概略



(a) $x = 0 \text{ cm}, y = 0 \text{ cm}$

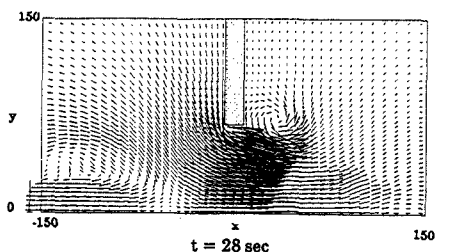


(b) $x = 95 \text{ cm}, y = 0 \text{ cm}$

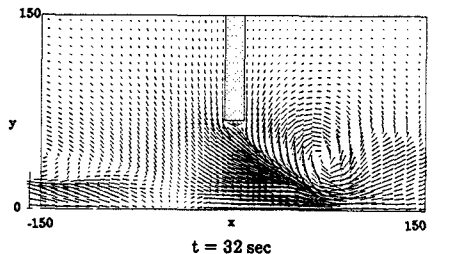


(c) $x = 42.5 \text{ cm}, y = 70 \text{ cm}$

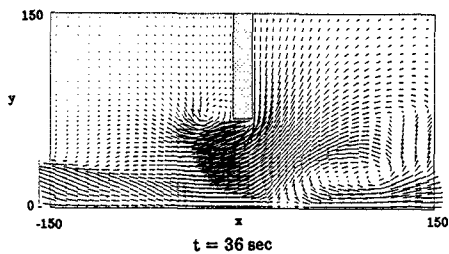
図2 水位と流速の経時変化



$t = 28 \text{ sec}$

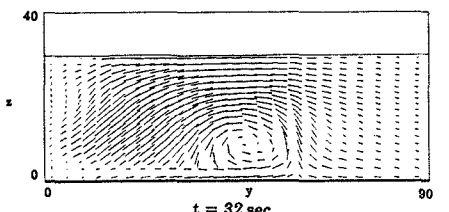


$t = 32 \text{ sec}$



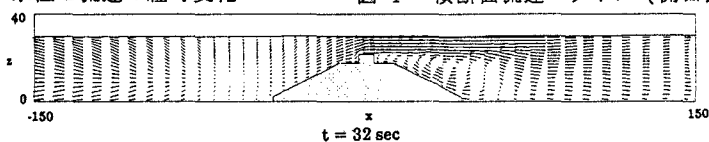
$t = 36 \text{ sec}$

図3 平面流速ベクトル（静水面下3.6cm）



$t = 32 \text{ sec}$

図4 横断面流速ベクトル（開口部から $x = 47 \text{ cm}$ ）



$t = 32 \text{ sec}$

図5 側面流速ベクトル（中央付近 $y = 1.5 \text{ cm}$ ）