

フラップゲート型構造物の回転運動に伴う波動場の数値解析に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 川崎浩司

1. はじめに

海域環境・利用に配慮した新しい高潮防潮堤の一つであるフラップゲート型高潮防潮堤の耐波機能が現在検討されている。同防潮堤の主な特徴として、通常時は海底面に格納することで景観や海水交換性に優れ、高潮等の高波浪時にはゲートを立ち上げることで沿岸域を防護できることなどが挙げられる。川崎ら(2003)は、数値波動水路 CADMAS-SURF (Super Roller Flume for Computer Aided Design of Maritime Structure) (財団法人沿岸開発技術研究センター, 2001) の構造物形状入力方法を改良することにより、静止状態におけるフラップゲート型高潮防潮堤の波動場および作用波力・波圧を解析した。しかし、フラップゲート型高潮防潮堤の動的挙動を考慮していないなど検討の余地が残されていた。そこで、川崎・島(2005a, 2005b)は、構造物の並進・回転運動を考慮した VOF (Volume Of Fluid) 法に基づく数値波動水路を構築し、モデルの妥当性を検証した。しかし、来襲する波と移動中の構造物の相互干渉については検討していない。

本研究では、構造物の並進・回転運動を考慮した VOF 法に基づく数値波動水路を用いて、フラップゲート型構造物の回転運動に伴う波動場の数値解析を行い、波と運動する構造物の相互干渉について議論する。

2. 断面 2 次元数値波動水路

本研究で活用する数値波動水路 CADMAS-SURF は、海岸構造物の耐波設計に適用可能な断面 2 次元数値波動水路であり、自由表面が多価関数となる複雑な水理現象に対しても高精度に解析できる VOF (Volume Of Fluid) 法に基づいている。基礎方程式は、下式のとおり、透過性構造物の空隙率、流体抵抗を導入した Porous Body Model に基づいて拡張した非圧縮性・粘性流体に対する連続式(1), x , z 方向の Navier-Stokes 運動方程式(2), (3), 流体の体積率を表す VOF 関数 F の保存式(4)である。なお、式中の記号の定義は財団法人沿岸開発技術研究センター(2001)を参照されたい。

数値波動水路の改良に関しては、川崎・島(2005a, 2005b)と同様、任意形状構造物の設定手法を導入し、構造物の並進・回転運動を計算できるようにした。また、構造物内外における流速と圧力の連続性を保持するために、構造物内部に対しても解析することにした。これにより、構造物の境界条件を設定することなく、従来の Donor-Acceptor 法を用いて、運動する構造物と流体の相互干渉を数値解析することが可能となった。

$$\frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = S_p \quad (1)$$

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x u u}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w u}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - D_x u + S_u - R_x \quad (2)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x u w}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w w}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - D_z w + S_w - R_z - \gamma_v g \quad (3)$$

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = S_F \quad (4)$$

3. 計算結果と考察

図-1 はフラップゲート型構造物の回転運動に伴う水位と水粒子速度場の時系列変化を示す。ここで、(a), (b)は、初期傾斜角度を 30 度と設定した構造物が角速度 $\pi/26$ rad/s (π : 円周率) でそれぞれ反時計回り、時計回りに回転する場合である。なお、川崎・島(2005b)は、構造物の回転運動の取り扱い方として、①構造物底面の隅角部 2 点を支点とする方法、②構造物中心線と底面の交点 1 点を支点とする方法を提案し、構造物の幅が一定になる方法②の方が実現に近いことを確認した。したがって、本研究では、構造物の回転運動

の取り扱い方として、方法②を採用することにした。計算領域は水平方向に 50.0m、鉛直方向に 10.0m で、 x 、 z 方向のメッシュ間隔はともに 0.25m である。構造物形状は幅 2.0m、高さ 8.0m とし、波浪条件は波高 2.0m、周期 3.0s、静水深 5.0m とした。また、計算領域左側に造波境界を配置し、右側境界には開境界処理として Sommerfeld の放射境界を採用した。図-1(a)に示すように、フラップゲートが反時計回りに回転し始めると、水位が構造物前面で上昇し、構造物背後で低下する。また、構造物の回転運動の影響により進行波が碎ける様子もみられ、構造物には大きな波力・波圧が作用すると推察される。一方、構造物が時計回りに回転運動する場合を示す図-1(b)をみると、構造物前面の水位低下と構造物が岸側に倒れ込む影響から、図-1(a)とは大きく異なる水位変動が認められる。このことから、構造物の動的挙動が波動場に及ぼす影響は極めて大きいことがわかり、また本研究で使用した数値波動水路の有用性が確認できる。

4. おわりに

本研究では、構造物の動的挙動を考慮した VOF 法に基づく数値波動水路を用いて、回転運動するフラップゲート型構造物と来襲波の相互干渉について検討・考察するとともに、本研究で使用した数値波動水路の有用性を確認した。今後は、数値計算の面から、可動中におけるフラップゲート型防潮堤の越波と作用波力・波圧などの諸特性を詳細に解明していく予定である。

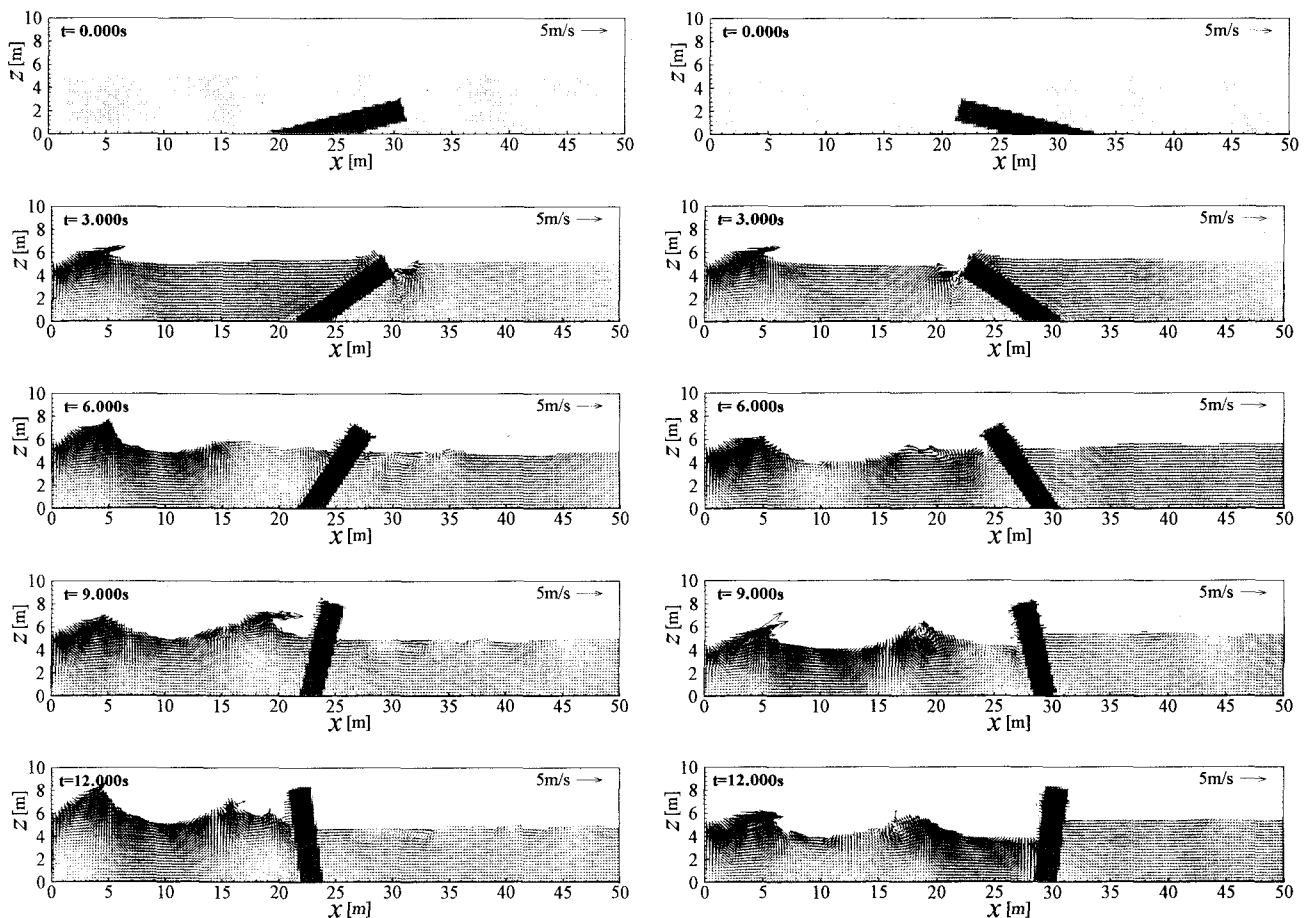
【参考文献】

川崎浩司・島知宏(2005a)：土木学会中部支部平成 16 年度研究発表会講演概要集，pp.185-186.

川崎浩司・島知宏(2005b)：土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 2-144，pp287-288.

川崎浩司・富田孝史・下迫健一郎・高野忠志・熱田浩史(2003)：海岸工学論文集，第 50 巻，pp.791-795.

財団法人沿岸開発技術研究センター(2001)：沿岸開発技術ライブラリーNo.12，457p.



(a) 反時計回りの場合

(b) 時計回りの場合

図-2 フラップゲート型構造物の回転運動に伴う水位と水粒子速度場の時系列変化