

構造物の回転運動を考慮した2次元数値波動水路の構築

名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 川崎浩司

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○島 知宏

1. はじめに

現在、海域の景観・環境と利用に配慮した高潮防潮堤の一つとして、フラップゲート型防潮堤が検討されている。その特徴としては、通常時はゲートを海底面に格納しているため景観や海水交換性に優れ、一方、高潮時にはゲートを立ち上げて水域を閉鎖することにより沿岸域を防護可能であ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) の構造物形状入力方法を改良することにより、静止状態のフラップゲート型高潮防潮堤に作用する波圧・波力を精度よく解析した。しかしながら、静止した場合のみを取り上げており、フラップゲート型高潮防潮堤の特徴である構造物の移動中における波浪解析は行われていない。一方、川崎・島(2005)は、構造物の並進移動を考慮した VOF 法に基づく数値波動水路を構築し、構造物の水平移動に伴う水位変動と流速場の計算結果からモデルの有用性を確認した。しかし、回転運動する構造物と流体の相互干渉については未解析である。そこで、本研究では、フラップゲート型高潮防潮堤のように回転運動する構造物と流体の相互干渉を解析できる、VOF (Volume Of Fluid) 法に基づく数値波動水路を構築することを目的としている。また、海底面を支点に回転運動する任意形状構造物周辺の水位変動特性を考察し、本モデルの有用性を検証する。

2. 数値波動水路の概要

本研究で活用する数値波動水路 CADMAS-SURF は、海域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、自由表面が多価関数となる場合でも解析可能な VOF 法を採用している。基礎方程式は、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 2 次元非圧縮性・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 の移流方程式(4)から構成されている。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。構造物の並進・回転運動が解析できるように、図-1 に示すような任意形状構造物の設定方法を構築・導入した。さらに、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流体解析可能な計算アルゴリズムを提案・構築した。これにより、構造物の境界条件を設定せずに、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解析できるようになった。

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

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

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

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

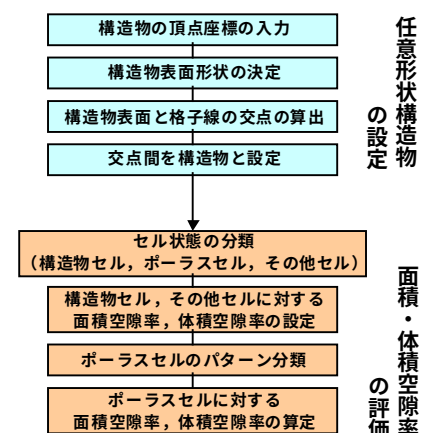


図-1 任意形状構造物の設定方法

キーワード 数値波動水路, フラップゲート型高潮防潮堤, CADMAS-SURF, VOF 法, 回転運動

連絡先 〒464-8603 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 052-789-4632

3. 計算結果と考察

本研究では、フラップゲート型高潮防潮堤の回転運動として、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取り上げる。図-2 と図-3 は、それぞれ構造物の回転運動の取り扱い方法①と②の場合で、初期傾斜角度を 30 度と設定した着底型矩形構造物の回転運動に伴う水位と流速場の時間変化を同時に図示したものである。ここで、構造物が垂直になったときの構造物形状（構造物幅 $B=2.0\text{m}$ 、高さ $H=8.0\text{m}$ ）が一致するように、構造物の初期形状を決定した。また、構造物の角速度は反時計回りに $\pi/26\text{rad/s}$ （ π ：円周率）とし、 x 方向と z 方向のメッシュ間隔をともに 0.25m とした。

図-2 と図-3 を比較すると、方法①では、回転軸を2点設けているため、構造物長を一定に保つことはできるが、長さが固定されるためワイパーを動かしたときのような構造物形状となり、構造物幅が回転運動とともに大きく変化している。一方、方法②では、構造物隅角部2点の midpoint に回転の支点を置き、構造物幅を一定に回転させている。そのため、構造物長が固定されておらず、構造物の傾斜角度によって構造物底面の形状が変化する。また、両図より、フラップゲートが反時計回りに回転運動し始めると、構造物の移動の影響により流体が持ち上げられ構造物前面の水位が上昇し、構造物背後では水位が低下している。Tomita et al.(2003)は、フラップゲート防潮堤の回転移動に伴う構造物前後面での水位差を考慮できるように、数値波動水路 CADMAS-SURF を改良したが、本計算では、構造物の回転運動を遅くすることにより、構造物による造波の影響を少なくしながら構造物前後面で水位差を生じさせることができる。構造物の角速度が大きい場合には、フラップ型造波装置のように造波させることも可能である。なお、紙面の制約上ここでは図示しないが、構造物近傍のポラスセルにおいて構造物内外の圧力と速度は連続性を保っていること、同条件で構造物を時計回りに回転運動させた場合の計算結果は図-2 と図-3 の計算結果と全く対称であり計算手法に方向依存性がないことも確認している。

4. おわりに

本研究では、構造物の回転運動を考慮した VOF 法に基づく数値波動水路を構築し、構造物の回転運動に伴う水位変動と流速場の計算結果から本モデルの有用性を確認した。今後は、可動時におけるフラップゲート型防潮堤と波の相互干渉、越波や作用波力などの諸特性を解明していく所存である。

[参考文献]

- 川崎浩司・島知宏(2005)：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・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。
 Tomita, T., Shimosako, K., Takano, T. (2003): Proc. of the 30th ISOPE Conference, pp.639-646。

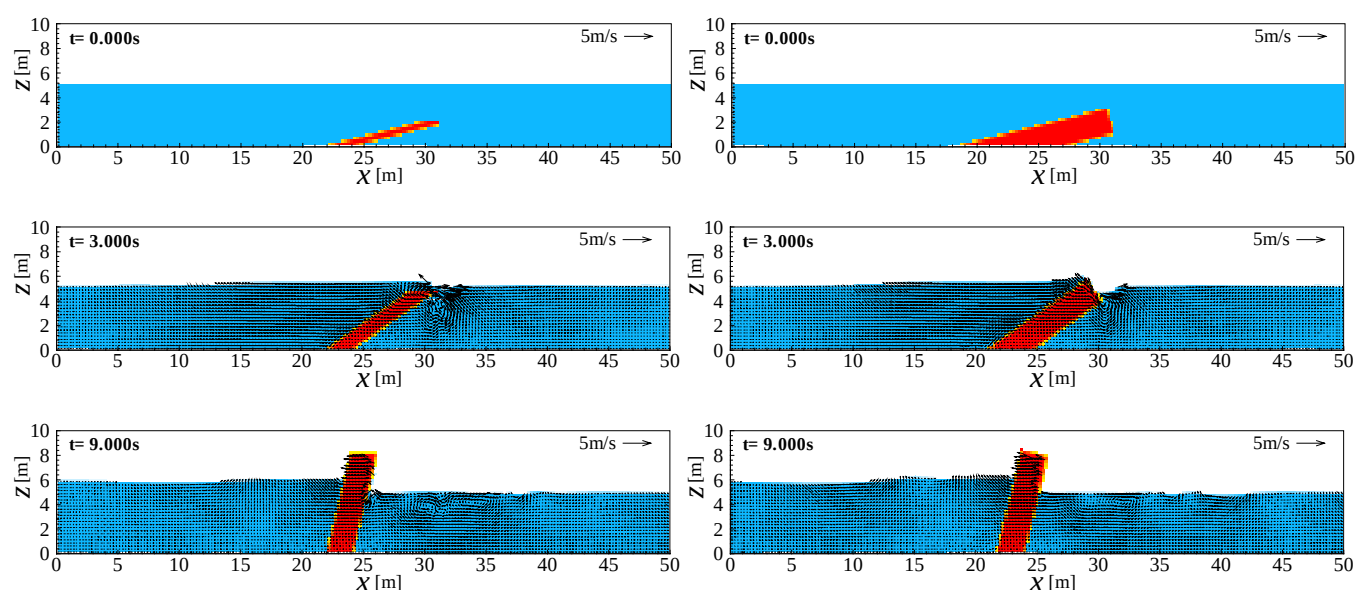


図-2 フラップゲート型構造物の回転運動（方法①）

図-3 フラップゲート型構造物の回転運動（方法②）