

京都大学防災研究所 フェロー 高山 知司
 京都大学防災研究所 正会員 吉岡 洋
 京都大学大学院工学研究科 学生員 ○大栗 剛

1.はじめに

従来型(不透過型)の防波堤は、港湾内の静穏度を保ち、外海から来襲する波浪から港湾構造物や停泊中の船舶を守ることをその主要な目的としてきた。その一方で、港湾内の海水循環を妨げ、海水交換を抑制して水質を悪化させてしまう恐れもある。そこで、近年では港湾内の静穏度を保つとともに、湾内環境の改善を可能とする透過型防波堤が数多く提案・実用化されている。

本研究では、防波堤の透過流量を考慮に入れた3次元 Baroclinic モデルによって透過型防波堤が周辺海域の海水交換に及ぼす効果について調べ、効果的に海水交換を促進する透過型防波堤の配置方法について検討している。

2.数値モデル

2.1 基礎方程式

本計算は以下の基礎方程式を用いている。計算時間間隔は 1.0s、水平方向には 150×30 メッシュ、上下2層で行っている。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla_H \mathbf{u} + w \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} + f \mathbf{k} \times \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla_H P + \nu_H \nabla_H^2 \mathbf{u} + \nu_z \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (2)$$

$$\nabla_H \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

式(1)、式(2)はそれぞれ水平方向と鉛直方向の運動方程式、式(3)は連続式である。 P は圧力、 $\mathbf{k}$ は鉛直単位ベクトル、 ρ は密度、 H は水深、 f はコリオリパラメータである。また、水平渦動粘性係数 ν_H については1方程式モデルより算出しており、鉛直渦動粘性係数 ν_z は $1.0(\text{cm}^2/\text{s})$ としている。

2.2 透過流速計算

透過型防波堤の通水部を管路状に見立て、通水部の流速は管路の非定常流に関するエネルギーの次式(4)で求めている。

$$\frac{l}{g} \frac{du_p}{dt} + \left(1 + f \frac{l}{d} + f_e + f_o + f_b\right) \frac{u_p |u_p|}{2g} - \Delta \zeta = 0 \quad (4)$$

このとき、 l :防波堤の幅、 d :管径、 u_p :透過流速、 f :摩擦損失係数、 f_e :流入損失係数、 f_o :出口損失係数、 f_b :曲がり損失係数とする。

3.計算結果

3.1 流速場

地形条件には、北に向かって開いた矩形の掘込み型の港湾を用いており(図 1)、港湾の外では東西方向に潮流が卓越している。この基本地形に設置する防波堤のうち、東西堤防のみを透過型にした case1 と北堤防のみを透過型にした case2 の比較を行い、透過型防波堤の配置による海水交換特性を調べている。

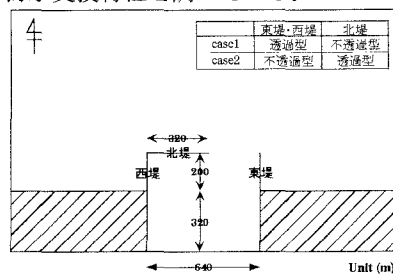


図 1. 地形条件

まず、case1 と case2 の流速場について比較してみる。図 2.はそれぞれ case1 と case2 の上げの最強流時における上層での流速場である。このとき、case2 の港湾内に生じる循環流が case1 のものと比べて大きく、より湾奥にまで達している。これは、case1 で西堤から流入する透過流がこの循環流を弱めているのに対

して、case2 で北堤から流出する透過流は、逆に循環流を促進させているからである。

3.2 粒子追跡結果

流速場の変化が、海水交換にどのような影響をもたらすか、粒子追跡によって調べている。また、1 周期後の粒子追跡結果から港湾内外へ流入・流出した粒子数をカウントし、海水交換率を求めた結果が表 1.である。

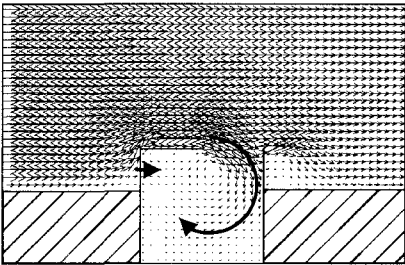
表 1.

	不透過型	case 1	case 2
海水交換率	0.255	0.275	0.310

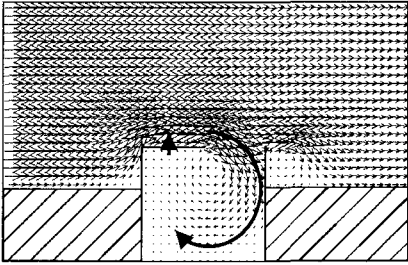
防波堤をすべて不透過型にした場合と比べて case1、case2 の海水交換率は共に高い値を示しており、透過型防波堤を設置することによる海水交換の向上が確認できる。また、case1 と case2 を比べると case2 でより高い海水交換率を示している。

3.3 港湾内滞留時間率分布

水質が最も悪化していると予想される港湾奥部など港湾内の局所的な海水交換について評価することも重要である。そこで、粒子追跡を 6 周期間行い、その期間に対する各粒子が港湾内に存在した時間の割合の分布(上層)を図 3. に示す。

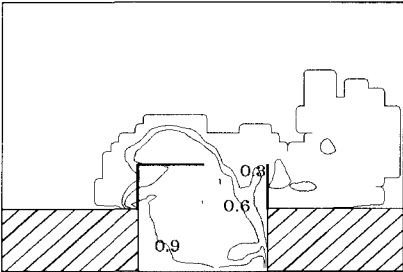


a) case1(東西堤透過型)

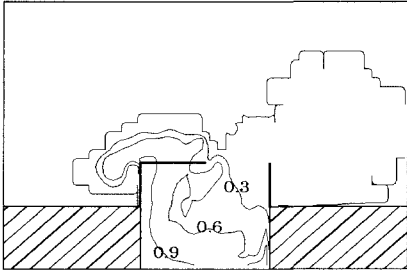


b) case2(北堤透過型)

図 2. 流速場(上げの最強流時、上層)



a) case1(東西堤透過型)



b) case2(北堤透過型)

図 3. 港湾内滞留時間率分布(上層)

case2 の湾奥部において滞留時間の長い粒子の分布面積が case1 と比べて小さくなっている。つまり、case2 の方が湾奥部での海水交換も活発であることを示している。

以上のように港湾内全体としての海水交換も港湾内の局所的な海水交換も case2 でより効率的に向上できた。これは、case2 における透過型防波堤の配置が、港湾内の海水交換を支配する循環流を促進するものであったため、海水交換が効果的に向上されたからである。

4.まとめ

本研究で得られた主要な結論は、以下の通りである。

- ・3次元 Baroclinic モデルに非定常流のエネルギー式を用いた透過流計算を取り入れることで、透過型防波堤を考慮した流速場の計算が可能である。
- ・透過型防波堤によって湾全体としての海水交換能力も局所的な海水交換能力も向上する。
- ・透過型防波堤を湾内の海水交換を支配する循環流(流れ)を促進するような配置することで、海水交換を効果的に向上できる。