

資料 - 7 汚濁防止膜を地形条件として表現した数値シミュレーション手法

(1) 汚濁防止膜の取り扱い

汚濁防止膜の効果を拡散計算に反映させる方法として、従来は除去率を考慮することが多く行われてきた。すなわち、「5.4 濁り発生量の算定」で述べた手法により得られる負荷量に汚濁防止膜効果として期待される除去率を乗じた値を実際の濁り発生量とするものである。

一方、効果的な汚濁防止膜の展張方法などを検討する場合には、現地実験によって各種展張方式の除去率を求めた上で、その値を用いることができる。しかし各種展張方式の除去率を現地実験で求めることは費用がかかり容易ではない。

この場合、汚濁防止膜を地形条件として考慮し、それによる流れの変化を計算し、その流れと地形条件の変化が汚濁拡散の抑制にどう効果があるかを拡散シミュレーションによって検討することも行われている。

このような汚濁防止膜の拡散抑制効果について、数値シミュレーションを用いた体系的な検討を行ったのは堀江(1980)¹⁾である。汚濁防止膜の設置方法には、垂下式や自立式、その組み合わせなどがある²⁾。多層モデルを用いる場合、これらの垂下式や自立式の構造物設置によって、どの層の流れが完全にあるいは部分的に遮断され、それが流れに及ぼす影響や汚濁拡散に及ぼす効果がある程度量的に評価可能である。

図 7-1 に汚濁防止膜の地形条件による表現を示す。汚濁防止膜は水平格子間隔の大きさと比較すれば、厚さを持たない構造物であり、防波堤等の地形表現で用いられている線境界としての取り扱いが必要である。すなわち格子の辺に沿ってその位置を定義する。また図に見られるように垂下式防止膜や自立式防止膜があり、全水深に満たない長さである場合、その海水通過部の深さを考慮する必要がある。

¹⁾ 堀江 毅、沿岸海域の水の流れと物質拡散に関する水理的研究、港湾技研資料、No.360、1980

²⁾ (財)港湾空港建設技術サービスセンター、海洋工事汚濁防止協会、汚濁防止膜技術資料、平成15年8月

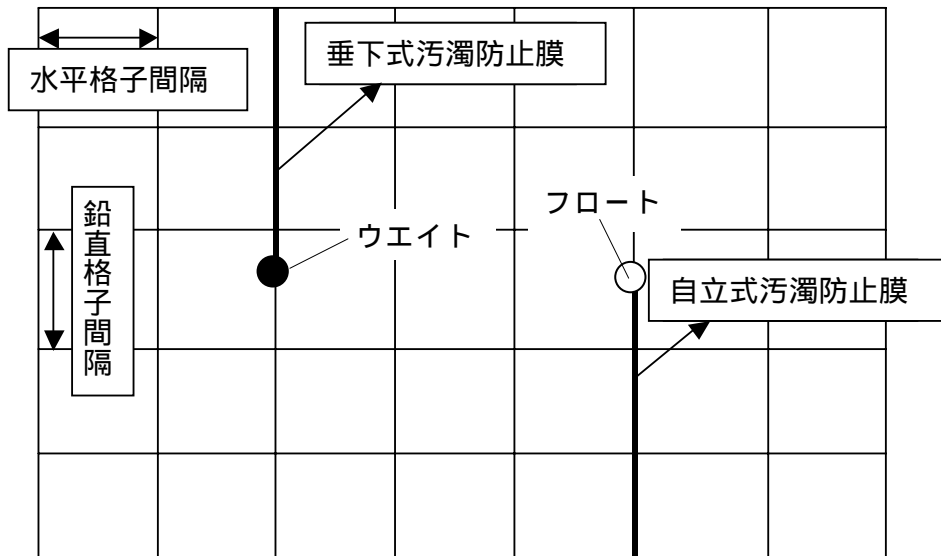


図 7-1 汚濁防止膜の線境界による表現

任意の長さの汚濁防止膜と水深の組み合わせに対して、海水通過部の深さを正確に考慮できるためには、まず鉛直多層モデルを用いる必要がある。そして汚濁防止膜によって完全に海水通過が阻害される層についてはその層の海水通過率をゼロとする。一方、層の一部を汚濁防止膜が占める場合は、その層内において層厚に対する海水通過部分の深さの比率を海水通過率とする。海水通過率は連続の式を通して以下の方法で扱える。

$$w_i = -\frac{\partial Q_{xi} h_i \lambda_{xi}}{\partial x} - \frac{\partial Q_{yi} h_i \lambda_{yi}}{\partial y} - w_{i-1}$$

ここで、

- w_i, w_{i-1} : 第 i 層およびその下層の鉛直流
- Q_{xi}, Q_{yi} : 第 i 層の線流量
- h_i : 第 i 層の層厚
- $\lambda_{xi}, \lambda_{yi}$: 第 i 層の海水通過率

なお、汚濁防止膜が存在しない層の海水通過率は当然ながら 1 とする。

この考えは濁りの拡散を扱う拡散方程式においても同様であって、移流項および拡散項において、連続の式におけると同様、海水通過率を乗じる。

(2) 汚濁防止膜による損失

汚濁防止膜の周辺には渦が形成されて平均流のエネルギーが奪われるため、損失が生じる。ここではその扱いについて述べる。運動方程式に平均流が減速する効果を加えることで損失を扱う。(独立行政法人)港湾空港技術研究所では、海岸に設置された植樹帯が津波減災に及ぼす効果を数値計算によって検討している。この中で海岸に設置された植樹帯の流水抵抗を考慮する方法で平均流の減速や津波高の減衰を取り入れており、ここでもその方法を準用することで汚濁防止膜の平均流の減速を考慮している。

$$F_{Dx} = \frac{1}{2} C_d \frac{A}{\Delta x^2} \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{D}$$
$$F_{Dy} = \frac{1}{2} C_d \frac{A}{\Delta x^2} \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{D}$$

ここで、

- F_{Dx}, F_{Dy} : x, y 方向の膜による損失
- x, y : 直交座標系、上向きを正
- u, v : x, y 方向の流速成分
- A : 1格子内の汚濁防止膜の投影面積
- Δx : 格子間隔
- C_d : 杭による流水への抵抗係数
- D : 層厚

である。

ここでは多層モデルを使用することを考えており、1格子内の汚濁防止膜の投影面積はその格子の海水通過部分の全層に適用する。 C_d の値は、2次元円柱の場合に通常用いられる値は $C_d = 1.2$ とされており¹⁾、現状ではこの程度の値を用いることを基本とする。

(3) 汚濁防止膜のふかれ

汚濁防止膜が流水抵抗によって傾くことをふかれという。汚濁防止膜が全水深を覆う長さを持っていたとしても、ふかれによって膜と海底のあいだに隙間が生じ、流れや濁りのもれだしが生じうる。この効果が無視できないと考えられる場合、汚濁防止膜のふかれによる海水通過率を考慮する必要がある。

¹⁾ 土木学会, 水理公式集(平成11年度版), p102.

概略的にふかれ高さを求める方法として、近似的には以下を用いる。流体力と膜の傾きによる重力からの抗力の釣り合いによって、

$$m l g \sin \alpha = \rho C_d U^2 l \cos \alpha$$

から

$$\tan \alpha = \rho C_d U^2 / m g$$

ここで、

α : 膜と鉛直軸との傾き	ρ : 海水密度
C_d : 抵抗係数(1)	U : 流速
m : 膜の単位面積当たりの質量	g : 重力加速度
l : 膜の長さ	

である。このように膜は剛体としてふかれるものとする、膜の流水による傾きは、抵抗係数、流速、膜の単位面積当たり質量によって決まる単純な関数である。なお、このうち流速は潮時によって変化するものであるが、平均流など代表的な値を用いることで簡易的にふかれの高さを求めることができる。

(4) 汚濁防止膜の水平配置と格子間隔

垂下式と自立式防止膜が併用される場合、その配置における距離は 10m ~ それ以下程度の場合がある。これに対して汚濁拡散シミュレーションにおける格子間隔は小さくて 50m 程度のことが多い。この場合、2つの防止膜の位置は一つの格子の中に入る。その場合高さ方向に一部重合がある垂下式と自立式防止膜の構造表現がモデル上では隙間のない不透過な表現となってしまう、実態と合わない。この場合、一格子離れた位置に垂下式と自立式防止膜を配置する。このときには垂下式と自立式防止膜を実際の距離より離して配置したことになる。垂下式と自立式防止膜の実際の距離をモデル上でも正しく表現するためには、その距離に合わせた最低格子間隔を設定する必要がある。このような小さい格子間隔を領域全体に適用すると、たいいていの場合大変多くの格子を持つ計算となり、大きなコンピュータ能力が必要になる。そこで粗い格子と細かい格子の併用法 (nested grid model) を用いることが適当である。