

潮流下における濁水拡散の防止に関する数値計算

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀
 大阪市立大学工学部 正会員 ○重松孝昌

■まえがき

近年、関西新空港に代表されるような大規模な人口島の建設やウォーターフロント開発等による沿岸域での土木工事の件数は非常に多くなっている。これらの土木工事や埋立工事にともなっている浮遊懸濁物に起因する海域の汚濁は沿岸漁業などにも影響を与えている。このような場合、膜体構造物等をその周辺に設置してできる限る周辺海域に濁水が拡散しないように努めている。しかし、膜体の形状や張力等力学的な研究¹⁾は多少見られるが、その効果や最適配置等についてはほとんど研究されていないのが実状である。

本研究はこのような見地にたって、潮流下における濁水の拡散とこれを防止するための障壁の配置方法を数値シミュレーションによって解明する目的で、今回はその基礎的段階として差分法（陰解法）を用いて簡単な計算を行ったのでその結果を報告する。

■数値モデル²⁾

鉛直方向の現象の変化を捉えるため、鉛直2次元を計算対象領域とし、計算方法は基本的には堀江の方法に従った。流れのモデルの基本式は、非圧縮粘性流体の連続式および運動方程式によった。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_x \frac{\partial u}{\partial x} + \nu_z \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2)$$

$$g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

これらの式を変形し、z方向に積分して得られる式から線流量を求め、得られた線流量より水位を、更にこれを鉛直方向に配分することによって水平流速 u を求める。以上によって得られた水平流速と水位を用いて鉛直流速 w を求める。ここに、 ν_x 、 ν_z はx方向、z方向の渦動粘性係数、 p は圧力、 ρ は海水の密度である。

このようにして求められた流速の情報を用いて次の拡散方程式を数値的に解く。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (4)$$

モデルのここに、 C は濃度、 K_x 、 K_z はそれぞれx方向、z方向の拡散係数である。

表-1 計算条件

■計算条件および計算結果

図-1に示すような水平方向 600 m、鉛直方向 10 m を計算の対象領域とし、平均流速 10 cm/sec の鉛直方向に対数分布を持った一様流が流れているときに、40 kgf/hr/m の汚濁負荷量を与え続けるものとして計算を行った。表-1に計算条件を示す。図-2～5はこのような条件下で境界条件を変化させたときのほぼ定常状態時における汚濁濃度分布図である。

図-2は障壁を設けない場合計算結果である。この図によると汚濁負荷地点から下流に約 75 m 以上離れると全水深にわたって汚濁濃度は 17 mg/l となることがわかる。図-3は水底から 4 m を不透過として計算を行った結果である。障壁を設けない場合と

計算領域	600 m (水平) × 10 m (鉛直)
格子間隔	$\Delta x = 15$ m $\Delta z = 2$ m
タイムステップ	60 秒
水平渦動粘性係数	全領域で 10^6 cm ² /sec 一定
拡散係数	$K_x = 10^4$ cm ² /sec $K_z = 10^6$ cm ² /sec
汚濁負荷量	40 kgf/時/m を与え続ける
境界条件	両端で鉛直方向に対数分布を持つ平均流速 10cm/sec の一様流を与える
沈降速度	2 cm/sec

Kazuki ODA, Takaaki SHIGEMATSU

同様に、汚濁負荷地点から下流に約 110 m 以上離れると汚濁濃度は全水深で一定となるが、その値は 13 mg/l である。これは障壁を設けることによって上層部での流速が増加し、移流拡散効果により希釈されるためと考えられる。

また、図-4 は汚濁負荷地点から 75 m 下流に、水面から 4 m にわたって不透過障壁を設けた場合の計算結果であるが、汚濁負荷地点から障壁周辺に渡る広い範囲で汚濁濃度が高くなっていることがわかる。しかしながら障壁の下流側における濃度勾配も大きく、負荷地点から約 450 m 以上離れると汚濁濃度は 13 mg/l 以下となる。したがって、このように障壁を設けた場合には、汚濁負荷地点と障壁の間では汚濁濃度が大きくなるが、障壁を通過後は水平方向に著しく濃度が低下することがわかる。障壁を通過後の濃度の低下の原因としては、障壁によって生じる下向きの流速が汚濁物質の沈降作用を促進させているためと推察される。

図-5 は汚濁負荷地点から 75 m 下流に水底から 4 m に不透過障壁を設け、更にこれより 30 m 下流の水面から 4 m を不透過としたときの計算結果を示したものである。この図によると上流側の障壁によって上層部流速が大きくなるため汚濁負荷地点と上流側障壁との間では汚濁濃度はあまり大きくならず、さらに下流側の障壁によって生じる下向き流速によって土砂の沈降が促進されるので汚濁濃度はあまり大きくならず、濃度の最大値は障壁を設けない場合の一定濃度よりも低い 18 mg/l でその範囲も狭くなっており、障壁を設けた効果が現れている。

■まとめ

汚濁の拡散を防止するために設けられる障壁の効果を調べるため、簡単な境界条件下で計算を行ったが、これらの結果より次のことが推察される。

- 1) 水底から不透過障壁を設けた場合、それは上層部の流速を増大させ、このことが汚濁物質の移流拡散量を大きくし、汚濁物質を希釈する効果として現れてくる。
- 2) 水面から不透過障壁を設けた場合、それは鉛直下向き流速を発生させ、汚濁物質の沈降を促進させる効果として現れる。

今後は、効果的な障壁の配置方法についてさらに検討をする予定である。

参考文献 1) 榎木・青木・安井：波浪中に張られた自立式汚濁防止膜に発生する張力に関する水理実験、海洋開発シンポジウム VOL.4, pp.313-318, 1988.

2) 堀江毅：沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水理学的研究、港湾技研資料、No.360.

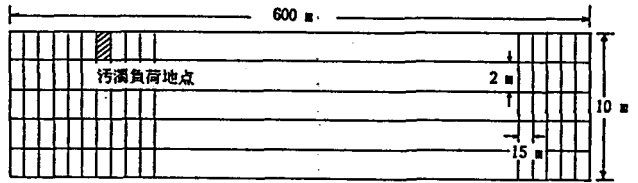


図-1 計算対象領域

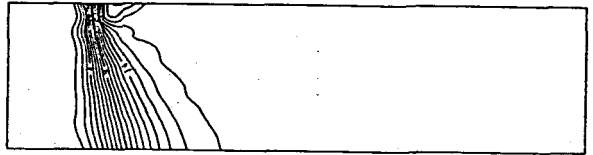


図-2 汚濁濃度分布（障壁のない場合）

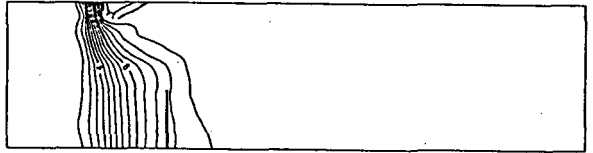


図-3 汚濁濃度分布（下部 4 m を不透過にした場合）

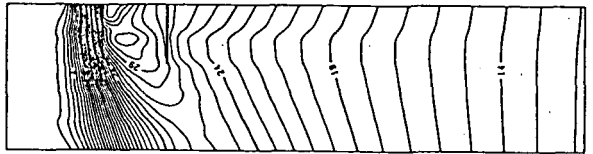


図-4 汚濁濃度分布（上部 4 m を不透過にした場合）



図-5 汚濁濃度分布（上部 4 m、下部 4 m を不透過にした場合）