

浮泥・底泥の移動における囲繞堤の効果に関する数値解析検討

佐賀大学低平地研究センター 正会員 柴 錦春・林 重徳・山西博幸
九州大学大学院工学研究院 正会員 小野信幸

1. まえがき

“宝の海”と呼ばれた有明海では、近年底棲生物の生息数が激減した。その原因の一つは底質の悪化と指摘されている。改善材（砂等）を入れて海底耕耘することは底質改善の効果的な方法である。しかし、海底の浮泥・底泥が常に流動しており、これが耕耘域に流入・堆積すると耕耘効果がなくなる。このような状態を防ぐ一手法として、耕耘域を海底囲繞堤で囲むことが考えられる。囲繞堤の構成に浚渫された底泥を用いる。図 1 に有明海西部深水域（水深 10 m 程度）で試験が予定されている耕耘域（タイラギ養殖）の形状を示す。本研究は 2 次元の移流・拡散・沈降解析で、浮泥・底泥の流動における囲繞堤の効果と合理的な囲繞堤高さを検討する。

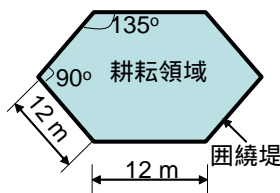


図 1 計画している現場試験の形状

2. 基本式とパラメータの決定

浮泥・底泥移動の主なメカニズムは移流、拡散と沈降である。これらのメカニズムをコントロールする基本式は (a) 水流の連続式、(b) 運動方程式と (c) 物質輸送の基本式である。これらのメカニズムを同時に考慮できる解析は移流・拡散・沈降解析である。必要なパラメータは濃度と沈降速度との関係、浮泥・底泥渦動粘性係数と拡散係数である。

(1) 濃度 (c) 沈降速度 (w_f) 関係: Mehta (1986)¹⁾ が提案した以下の経験式を用いた。

$$w_f = 0.11c^{1.6} \quad c < 2g/l \quad (1)$$

$$w_f = 0.33(1 - 0.01(c - 2))^5 \quad c \geq 2g/l \quad (2)$$

ここで w_f の単位は mm/s、 c の単位は g/l である。

(2) 渦動粘性係数と拡散係数: 渦動粘性係数は通常垂直と水平方向の値が違う。垂直方向の渦動粘性係数 (N_z) について、Bowden and Gilligan (1971)²⁾ の式を用いた。

$$N_z = N_{z0}(1 + 10Ri)^{-0.5} \quad (3)$$

ここで N_{z0} は均一流体の渦動粘性係数（摩擦速度と水深の関数）で、 Ri は Richardson 数である。水平方向

の渦動粘性係数について、Fisher が広水路に対して提案した式³⁾を用いた。

$$N_x = 5.9u_*h \quad (4)$$

ここで、 u_* は摩擦速度、 h は水深である。拡散係数について、本研究では、拡散係数が渦動粘性係数と等しいと設定した。

3. 解析モデル

図 1 に示す現場試験の状況を考慮して、図 2 のような解析モデルを設定し、表 1 にリストしている各影響要因を検討した。シナリオ 1（有限底泥）の場合は、初期で長さ 10m、高さ 0.1m の範囲に濃度 30g/l の底泥があると仮定した。その後解析範囲に底泥が流入しない。シナリオ 2 の場合は、初期条件はシナリオ 1 と同じであるが、解析期間中に高さ 0.1 m、濃度 30g/l の底泥を常に流入させた。

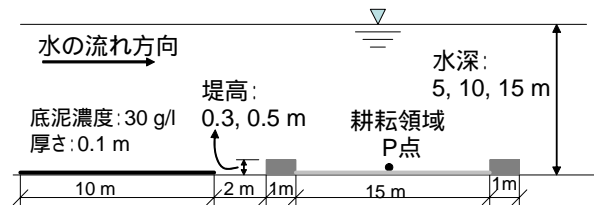


図 2 二次元解析モデル

表 1 解析条件

シナリオ	底泥状況	流速(m/s)	水深(m)	堤高(m)	耕耘域堤高(m)
1	有限底泥	0.05 0.3	5, 10, 15	0.3, 0.5	0-0.5
2	一定濃度流入	0.1, 0.2	10	0.3, 0.5	0 0.5

4. 解析結果

(1) シナリオ 1 の結果: 囲繞堤内外の標高が同じ場合の囲繞堤効果について、耕耘域中央 P 点の底泥濃度の経時変化を対象に比較検討し、その結果を図 3 に示している。図中の濃度比 (C/C_0) は、P 点時刻 t の濃度と初期濃度 (30g/l) との比である。図 3 により囲繞堤高 0.3 m、0.5 m の場合、P 点の最大濃度はそれぞれ囲繞堤なしの場合の 5.5% と 2.3% になり、囲繞堤の効果が大きいことが分かった。また、最大濃度の低減に対して、堤高 0.3 m よりも 0.5 m の方が効果的であることを示している。

一方で長期的に浮泥・底泥の流入によって耕耘域が

底泥で埋没する可能性がある。これを抑制する一手法として、耕耘域をマウンド状にすることが考えられる。

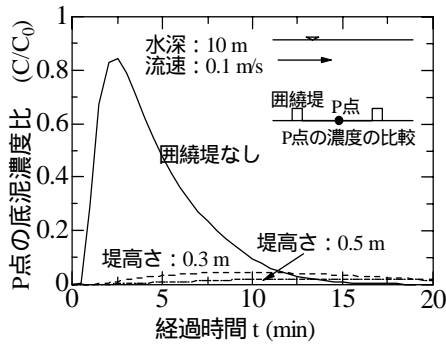


図 3 P点底泥濃度における圍繞堤の効果

図 4 に P 点の底泥濃度における耕耘域内の圍繞堤高の影響を示す。耕耘域の標高が高くなるほど、P 点のピーク濃度が高く、ピーク値の到達時刻も早くなる傾向にある。しかし、P 点濃度の最大値が初期濃度の 4% 以下であり、マウンド状でも、十分な効果があると考える。

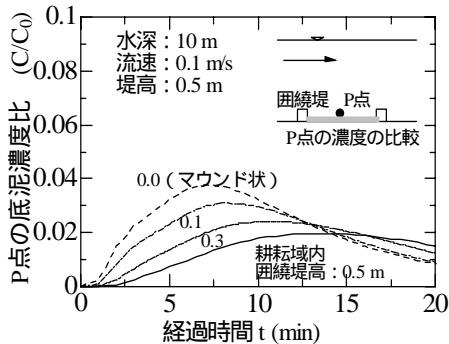


図 4 耕耘域内圍繞堤高の影響

図 5 に流速の影響を示している。図より検討された範囲では、流速が早い程 P 点のピーク濃度が高く、通過時間が短いことが分かった。

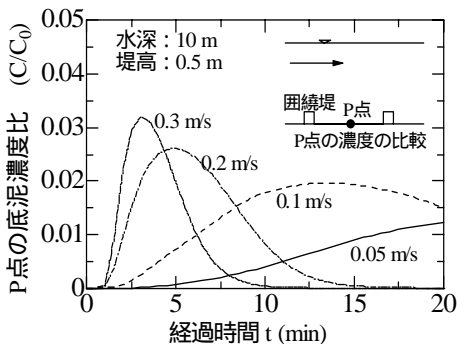


図 5 P点底泥濃度における流速の影響

水深の影響について、検討された範囲（5～15 m）で水深の増加によって、浮泥・底泥と混合する水の量が増加し、耕耘域内の底泥濃度が減少する。

（2）シナリオ 2 の結果：圍繞堤高 0.5 m、流速 0.1 m/s の場合における耕耘域中央 P 点の底泥濃度の比較検討を図 6 に示している。圍繞堤内外の標高が同じ場合には、経過時間 t が 40 min 以下の場合では、圍繞堤に

より P 点の底泥濃度を低減する効果があるが、それ以降は P 点の濃度が圍繞堤なしより高くなる。これは圍繞堤のブロック効果で耕耘域表面付近の流速が減少し、沈降量が増えたと考える。しかし、圍繞堤内の標高が高くなることによって、P 点の濃度は低下する。マウンド状の場合では、経過時間 1 時間時点で P 点の濃度は初期濃度の約 25% である。これは圍繞堤前面での渦によって流入する浮泥・底泥の大部分が浮遊させられ、耕耘域を通過したと考える。従って、一定濃度の浮泥・底泥が長期流入する場合には、マウンド状の耕耘域が有利であることが分かった。また、図 6 中の P 点濃度の振動的な変化は、下流側の圍繞堤の影響と推測している。解析結果によって、流速の増加に伴ってこの振動現象が減少する。

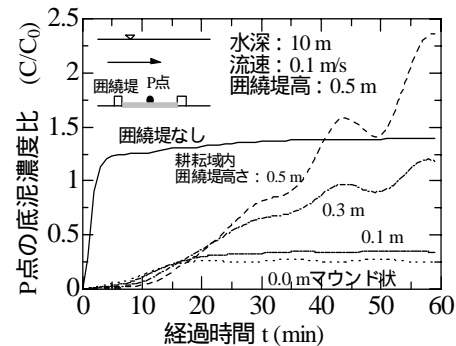


図 6 P点底泥濃度比の比較（シナリオ 2）

5. まとめ

浅海域における浮泥・底泥の移動に対する海底圍繞堤の効果をも、2次元移流・拡散・沈降解析で検討した。検討した範囲で有限底泥の場合（シナリオ 1）圍繞堤が耕耘域表面の底泥濃度を低減させる効果が大きい。また、0.5 m の圍繞堤の方が 0.3 m のものより効果的であった。底泥が常時流入する場合（シナリオ 2）圍繞堤だけの効果は限界が示されるものの、耕耘域全体をマウンド状にすることで改善される。

謝辞：本研究は生物系特定産業技術研究機構による地域コンソーシアム「有明海における底質改善と底棲生物回復のための技術開発」と題する研究の一部である。

参考文献

- 1) Mehta, A. J. (1986). Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries, in Mehta, A. J. (Ed), *Estuarine Cohesive Dynamics, Lec. Notes Coastal Estuarine Study*, 14, pp. 290-325.
- 2) Bowden, K. F. and Gilligan, R. M. (1971). Characteristic features of estuarine circulate as represented in the Mersey estuary, *Lim and Ocean*, Vol. 16, No. 3.
- 3) 日本流体力学会編、流体力学ハンドブック、第 5 章 乱流拡散、丸善出版。