

種々の潜堤構造物による航路埋没阻止機能に関する研究

九州大学大学院 学生員 ○森本剣太郎 竹内伸夫 Rahman Hidayat
正会員 小野信幸 入江 功

1. はじめに

シルテーションとは、粘土やシルト質等の微細な底質が波や流れにより運ばれ航路や泊地に堆積することで、船舶の航路進行、岸壁への離接岸にしばしば重要な支障をもたらしている。このため熊本港では航

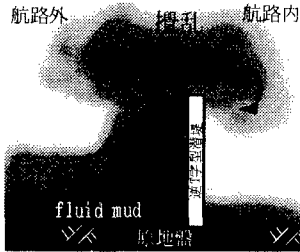


図1 逆T字型潜堤による埋没防止機構の模式図

路内に流入する fluid mud を阻止すべく、図1のような逆T字型潜堤を用いたシルテーション対策が実施されており、その有効性が認められている。昨年までの研究により埋没防止にかかわる要素として、①潜堤高が fluid mud 厚よりも高い場合には浮泥の流入を阻止すること、しかし、②波がある場合には、図1のように潜堤頂部付近で発生する大規模な渦により泥土が巻き上げられて航路内へ流入が生じることが挙げられた。一方で、③泥土の沈降速度は、濃度が薄くなるほど遅くなるという性質を持っている(Mehra¹⁾)。従って、航路外側では巻き上げが生じず、航路内側では浮泥を攪拌させるような構造物が埋没防止の観点から望ましいと考えられる。

本研究では、有限要素法を用いて種々の形状を持つ埋没対策構造物周辺の流れの数値解析を行い、浮泥の巻き上げにかかわる潜堤周辺の大規模渦の形成について検討した。

2. 数値解析の概要

2.1 基礎式

計算は非圧縮粘性流体の二次元の波動場を対象に、基礎的に Reynolds 応力を考慮した Navier-Stokes 方程式と連続の式から展開して得られる流れ関数に関するポアソン方程式および過度輸送方程式を用いた。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) = (v + v_i) \nabla^2 \omega$$

ここで、 ψ は流れ関数、 ω は過度、 n は動粘性係数、 n_i は過動粘性係数、 ∇^2 : ラプラシアンである。乱流場における Reynolds 応力は、Prandtl の混合距離理論でとり扱えるものとして次式で評価した。

$$v_i = C(kl)^{1/2} \sqrt{\frac{\partial u}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)}$$

ここで、 $\kappa = 0.41$ はカルマン係数、 l^* は底面および潜堤からの距離を示し、調整パラメータ C には 0.35 を与えた。以上の方程式から滝川²⁾らと同様の有限要素法の定式化を行い、解析を行った。

2.2 境界条件

図2は水深 40cm としたとき、縦 30cm、横 75cm 解析領域のメッシュ図の例である。波動場における解析を行うために実測水位変動波形を用いて、Dean の流れ関数理論および乱流境界層方程式を用いて解析領域境界での ψ_L および ω_L を求めた。得られた境界値 ψ_L を図2の側方と上部境界に、 ω_L を側方境界に、底面境界には $\psi = 0$ で、 ω は Thom のスキームで与え、本計算の境界条件とした。図3の断面形状を図2のように計算領域の中央に設置し、これに波高 3.0cm、5.0cm で周期 2s の波が通過する場合の解析を行った。

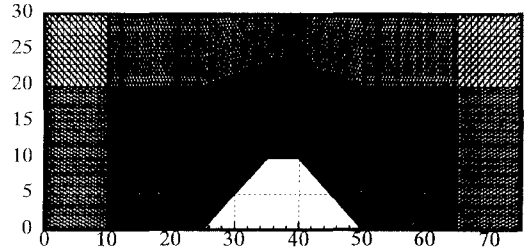


図2 解析領域のメッシュ図(unit:cm)

2.3 潜堤の断面形状

今回、解析に用いた潜堤の断面形状は、図3に示すような台形型、雨滴型および熊本港で施工されている逆T字型(直立潜堤)の3種類を用いた。雨滴型の形状は、正弦波形の上に凸な部分について、その頂部の位置が底部幅に対して 3:1 となるように歪ませたものである。

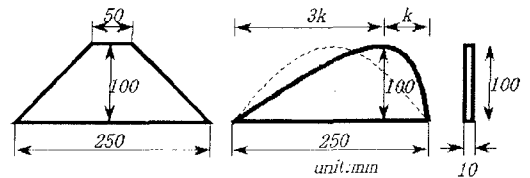


図3 潜堤の断面形状(左:台形型, 中:雨滴型, 右:逆T字型)

3. 解析結果

数値解析結果を同様の条件において、実験結果と比較検討することで妥当性を判断した。実験装置は高さ 50cm、長さ 28m、幅 30cm の二次元造波水路を用い、造波装置から 17m 離れた

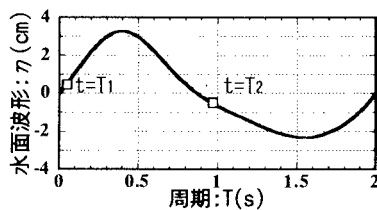


図4 実測波形

地点に潜堤を設置した。実験方法は潜堤付近に水とよく混ぜ合わせたアルミ粉末を流し入れ、波作用下の流れの挙動をビデオ撮影した。

図4は水面の実測波形であり、解析でもこの波形を用いている。図中の $t=T_1$, T_2 は実験時に渦が確認できた位相である。図5は、台形型および雨滴型において $t=T_1$ 時点でのビデオ画像と PIV 法により算定された流速ベクトルを併せて示したもので、図6と図7は数値解析結果による流速ベクトル図と流れ関数のコンター図である。なお波は、全て図面の左側から入射するものである。実験での観察によると、図5の台形型の槽内で囲まれた箇所ですれが発生し、小規模な渦が形成されているのに対し、雨滴型は曲面に沿って滑らかに水粒子が動いていた。計算では、台形型は大きな渦が形成されているものの、渦の発生箇所や流れの方向もよく一致している。雨滴型では実験と同様に潜堤に沿う流れが再現されている。

図8は、位相が $t=T_2$ における流れ関数のコンター図である。台形型では図7, 8のどちらの位相においても潜堤頂部付近で渦が発生しているが、雨滴型は図8の位相 $t=T_2$ では明確な渦が形成されるのに対し、位相 $t=T_1$ の緩勾配側には明確な渦は形成されていない。

以上のことから図中の潜堤の右側に航路が、左側に fluid mud が堆積している様な場合を考えると、台形型は航路外でも渦によって fluid mud が攪乱するが、雨滴型では、航路外のみで渦により底質を攪乱させ航路の埋没量を減らすものと思われる。しかし、雨滴型で発生する渦は規模が小さいため今のところ十分な攪乱効果は期待できず、更なる形状の検討も必要かと思われる。

逆 T 字型の実験においては、台形型および雨滴型よりもさらに大規模かつ強度な渦が航路内外で発生しており、発表時には、この結果と併せて報告する予定である。

4. 結語

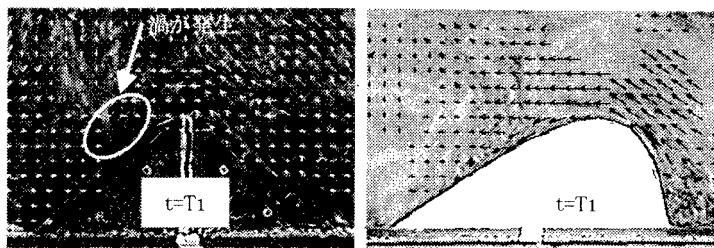


図5 $t=T_1$ 時点での実験結果

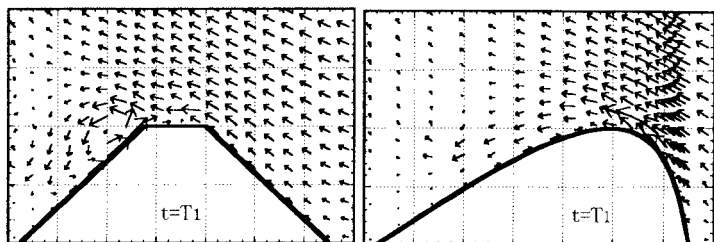


図6 $t=T_1$ 時点での数値解析結果:流速ベクトル図

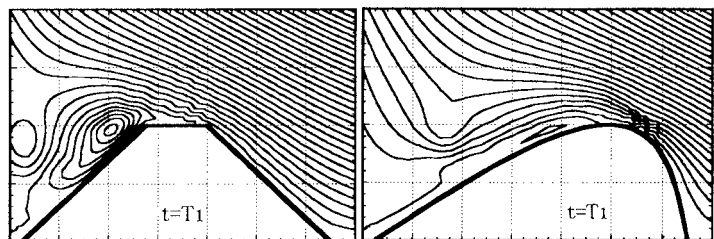


図7 $t=T_1$ 時点での数値解析結果:流れ関数のコンター図

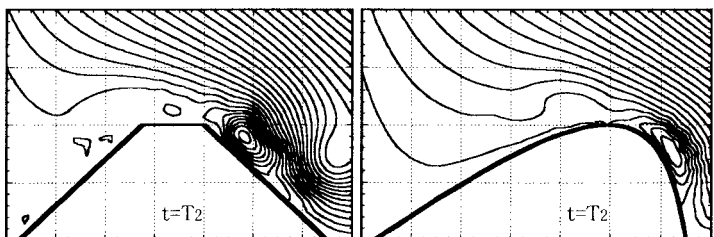


図8 $t=T_2$ 時点での数値解析結果:流れ関数のコンター図

断面形状の差異による数値解析により、潜堤頂部付近での流れの特徴をとらえることができた。今後は、渦の形成域における拡散現象を取り込んだ fluid mud の輸送モデルに取り組み、fluid mud の挙動を追求する予定である。

(謝辞) 本研究で用いたプログラムは、熊本大学工学部環境システム工学科、海岸環境工学研究室、滝川 清教授のご指導によるものである。ここに記して感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) Mehta, A.J.(1989): On Estuarine Cohesive Sediment Suspension Behavior, Journal of Coastal Research, Vol.94, No.C10, pp.14,303-14,314.
- 2) 滝川 清・米村浩介・前田孝久(1991): 砂漣形成過程における底面境界層の解析, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 1-5.