

海底構造物による湧昇流惹起効果の可視化実験

九州大学大学院 工学研究科 学生員○田嶋 健太郎 フェロー 小松 利光
正会員 藤田 和夫 学生員 小橋 乃子

1. はじめに 閉鎖性海域の富栄養化に伴う水質問題を解決するために、著者らは方向抵抗特性をもつ底面粗度を用いて潮汐残差流を創造・制御し、停滞性海域の海水交換を活性化させる方法を提案している¹⁾。これまでに有効な粗度形状が開発され、室内実験および数値シミュレーションによって底面粗度の海水交換促進効果が確認されている。このような底面粗度の海水交換促進機能のみに着目するのではなく、沈設する底面粗度に魚礁・魚巢、藻場の育成、湧昇流生成等の付加機能をもたせることで、より良好な水圏環境の創造が可能になる。例えば、付加機能の1つである湧昇流惹起効果は海水の鉛直混合を促進し、成層化がもたらす貧酸素化を抑制する方向に働くため、夏季の青潮等の被害を軽減できると考えられる。

湧昇流生成効果をもつ形状としては浅枝ら²⁾の提案するV字形がよく知られているが、より効果的な形状や底面粗度としても活用できる形状が開発されると、本手法の汎用性がより高まるものと考えられる。そこで本研究では、染料による可視化実験および小型三分力計による抗力測定を行い、方向抵抗特性に加え強い湧昇流惹起効果も併せもつ底面粗度の形状開発を行った。

2. 実験内容と結果 (1) 実験1 本実験では、長さ6m、幅0.5m、高さ0.5mの亚克力製直線開水路³⁾を用い、染料(ウォーターブルー)による湧昇流惹起効果の可視化実験を行った(図-1)。まず予備実験として湧昇流惹起効果に対する流速や水深の影響を調べた。この結果、湧昇流惹起効果に相違がほとんど見られなかったため、本実験では湧昇流の効果が見やすいように、水深30cm、流速10cm/sと固定して実験を行った。各粗度の湧昇流惹起効果を比較するために、粗度の頂部から20cmおよび40cm下流側の地点で水路床からの染料の上昇高さ(h_{20} 、 h_{40})を計測した。

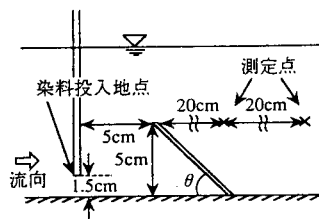


図-1 可視化実験の概略図

まず最初に鉛直方向の形状の違いに着目し、底面からの角度を $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ と変化した平板および1/2円筒、1/4円筒(全て高さ5cm、流幅15cm)という6種類の2次元形状について、抵抗の小さい順流方向と抵抗の大きい逆流方向の湧昇惹起効果を計測した(図-2)。

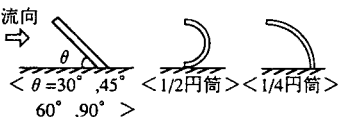


図-2 実験1で用いた2次元粗度(逆流方向時の配置状況)

図-3に可視化実験の結果を示す。なお、湧昇流の効果は染料の湧昇高さ h_{40} を粗度高さ k で割った h_{40}/k により評価した。実験時の観測から、順流方向には粗度形状に沿った流れが比較的スムーズに形成されている様子が見ら

れた。このような現象を反映して、例えば、平板については θ が大きくなるにつれて平板が上方に起き上がるため、それに沿った流れによって湧昇流効果も僅かに増加するという結果が得られている。一方、逆流方向の可視化からは、粗度上に放出される間欠的な渦の影響を受けて、数秒おきに特に強い湧昇流が生成される様子が全ての粗度に共通して見られた。このような間欠渦の効果は、順流方向の鉛直流速生成効果よりも大きく、結果的に全ての粗度において逆流方向の湧昇高さが高くなっている。

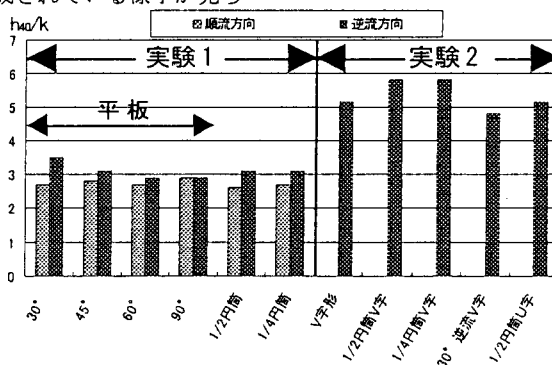


図-3 湧昇流計測結果(40cm地点)

(2) 実験2 上記の実験結果から、流れを阻害した後

方に強い渦を発生させる粗度、つまり抵抗の大きい形状がより強い湧昇流惹起効果をもつと推測される。ところで、これまでの研究から実験1で対象とした2次元的な粗度よりも3次元的な粗度の方がむしろ大きな抵抗差をもつことが分かっている³⁾。そのため実験1の知見を基に、浅枝ら²⁾の提案するV字形構造物の直立平板を平板30°逆流、平板90°、1/2円筒逆流、1/4円筒逆流としたものと1/2円筒U字形の計5つの底面粗度を考案し(図-4)、実験1と同様の可視化実験(水深30cm、流速10cm/s)を行った。次に小型三分力計を用いた抗力測定を行い(Reynolds数を60000、水深を18cm)、抗力係数 $C_d (= D/(1/2 \rho AU^2))$ ；ここでD：粗度に働く抗力、 ρ ：水の密度、A：粗度の投影面積、U：断面平均流速)を求めた。更に、順流方向(C_{df})と逆流方向(C_{db})の抗力係数差($\Delta C_d = C_{db} - C_{df}$)を算出した。

図-3の結果を見ると、実験2の3次元的な形状を持つ粗度は全て、実験1の粗度よりも強い湧昇流惹起効果をもつことが分かる。V字形を変形した4形状について着目すると、V字形、1/2円筒V字形、1/4円筒V字形については実験1の結果と良い対応が見られるものの、30°逆流V字形では逆にV字形よりも効果が小さくなっている。また、これまでの実験³⁾から抵抗が大きいことが分かっている1/2円筒U字形は、4種類のV字形構造物とはほぼ同程度の湧昇流惹起効果をもつことが明らかとなった。なお、いずれの粗度においても順流方向の湧昇流惹起効果はごくわずかであることが確認された。

次に抗力の測定結果から算出した抗力係数 C_{df} 、 C_{db} および ΔC_d について見ると(図-5)、1/2円筒U字形、1/4円筒V字形の抗力の係数差 ΔC_d は比較的大きく、底面粗度としての残差流生成能力が期待できることが分かった。

以上の結果から、残差流生成能力と湧昇流惹起効果の両方を兼ね備えるといった意味で、1/4円筒V字もしくは1/2円筒U字が有効な底面粗度であると言える。また、形状が異なる場合、抵抗の大きさは必ずしも湧昇流惹起効果の大きさを意味しないが、粗度形状が類似しているものでは抗力係数が大きいものの方が湧昇流惹起効果も大きくなる傾向が見られた。

3. 結論 本研究から以下のような知見が得られた。

- 1) 粗度形状が類似しているものでは、流れに対する抵抗が大きい方が湧昇流の惹起効果も大きくなることが分かった。また、実験時の観察から後方に強い渦を発生させ、さらにそれらを集約して放出する粗度がより強い湧昇流惹起効果をもつことが分かった。
- 2) 今回検討を行った粗度の中では1/4円筒V字型もしくは1/2円筒U字型粗度が抗力係数差 ΔC_d が大きく、また湧昇流惹起効果も大きいため、最も有効な形状であると言える。

参考文献 1) 小松ら, 水工学論文集. 第41巻. pp323-328. 1997

2) Asaeda, T., Pham H., Armfield S., (1994), J. Hydr. Engrg., ASCE, 120(11), 1274-1291

3) 小松ら, 水工学論文集. 第42巻. p p 577-582. 1998

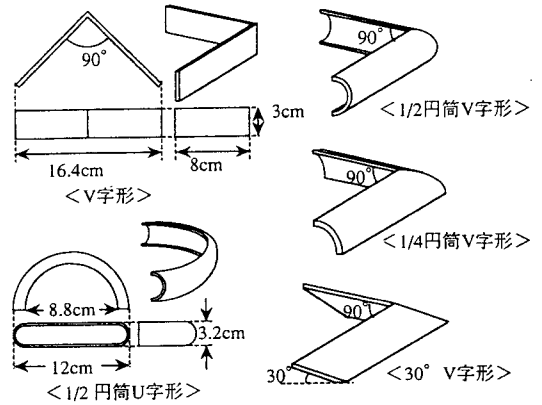


図-4 3次元底面粗度の形状

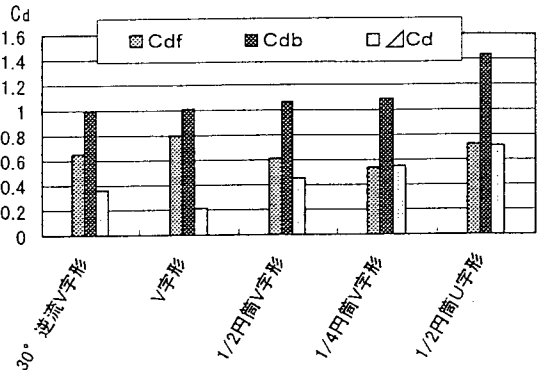


図-5 抗力測定結果(実験2)