

抵抗に方向特性を持つ底面粗度の開発について

九州大学工学部 学生員○和田真人 鞠承淇 小橋乃子

九州大学工学部 正会員 小松利光 矢野真一郎 藤田和夫 柴田敏彦

1. はじめに 近年、我が国の沿岸域における内湾や漁港などの、いわゆる閉鎖性海域において湾内水の停滞が引き起こす水質悪化が大きな社会問題となっている。この問題に対処するために、人工構造物を用いて湾内の流れを制御し、海水交換を活性化させることによって水質の改善を図ろうという様々な方法が提案されている¹⁾。著者らも流れの向きにより抵抗特性の異なる構造物（以下、底面粗度とよぶ）を海底面に並べて沈設する方法を提案している²⁾。これは底面粗度を配置することにより、対象海域の広範囲にわたる流況パターンを自由にデザインするという発想に基づいており、海水交換を促進するようなパターンを持つ潮汐残差流が生成できるものと期待されている。

これまで、研究の第一段階としてどのような粗度形状がより大きな抵抗差を発生し得るかを実験的に検討しており、幾つかの知見が得られている³⁾。本研究では、その結果を基にして改良を加えた形状について実験を行い、より効果的な粗度形状について検討した。

2. 実験装置と実験方法

2・1 実験装置 本実験に用いた水路はアクリル製直線開水路で、側壁、水路床の両方に二重構造を有しており、水路のほぼ中央に抗力測定装置が設置されている。また、下流端にある可動堰によって水深の調節が可能となっている。水路概略図を図-1に示す。抗力測定装置は小松ら³⁾が用いたものと同様の装置を使用し、流れが粗度に及ぼす抗力の直接測定が可能となっている。

2・2 抗力係数 C_d の算定 実験により得られる抗力から各粗度の抗力係数 C_d は次式により求められる。

$$C_d = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho AU^2}$$

ここで、 τ :粗度の抗力、 ρ :水の密度、 A :粗度の流れ方向の投影面積、 U :断面平均流速(=Q/hB、Q:流量、h:水深、B:水路幅=42.4cm)

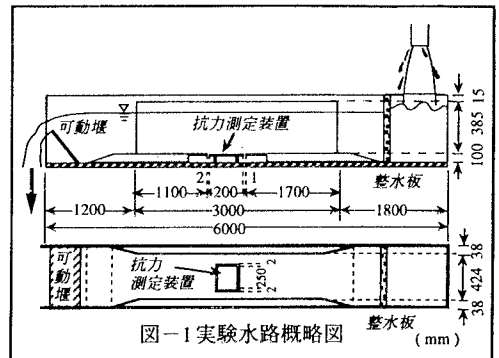


図-1 実験水路概略図

整水板 (mm)

水深 h は抗力測定装置の前後1mの2箇所ですーボ式水位計を用いて測定し、2点の水深を平均したものをを用いた。粗度にかかる抗力 τ は、粗度を設置した状態の全抵抗 D から粗度を取り除いた設置板のみの抗力 F を差し引いた $\tau=D-F$ とした。また、粗度の設置方向を変えることによって水の流れやすい方向（順流方向、添え字 f ）と流れにくい方向（逆流方向、添え字 b ）の抗力係数を算定し、その抗力係数差を ΔC_d とした。

3. 実験内容と結果

3・1 粗度形状について これまでの実験結果³⁾から、1)円筒に関しては水路床に寝かせた場合は開口角度 180° 付近で、立てた場合(以下、垂直円筒粗度)は開口角度 210° 付近で最大の抵抗差を発生し、2)球形に関しては $1/2$ 球が最大の抵抗差をもつという知見が得られていた。また、これらの基本形状を基にした幾つかの粗度形状を比較したところ、 $1/4$ 球粗度、ロート型粗度が有利な形状であるということがわかっている。本研究では、これらの形状を更に改良した新しい粗度を提案し、比較を行なった。実験に用いた粗度を図-2に示す。粗度1,2,3は従来の研究より有力と思われる $1/4$ 球、ロート型、 $1/2$ 球の形状を持つ粗度である。粗度4は径の異なる垂直円筒粗度(開口角度 $\theta=210^\circ$)を3個並べたものであり、順流方向の流れに対して3個の粗度が形作る輪郭が流線型を形成するように配置することで、境界層の剥離を少なくする工夫をした粗度である。粗度5は粗度4と同様の考え方を高さ方向にも適用したもので、高さの異なる垂直円筒粗度($\theta=210^\circ$)を2個並べた。粗度6は垂直円筒粗度($\theta=210^\circ$)の鉛直断面を $1/2$ 円にした $1/2$ 円筒U字型粗度、粗度7は粗度6の上に $1/4$ 球の上部を付設した形状である。粗度8は柵状の垂直 $1/2$ 円筒粗度に $1/4$ 球上部を重ねた粗度であり、比較的小さい底層の流速は抵抗差の

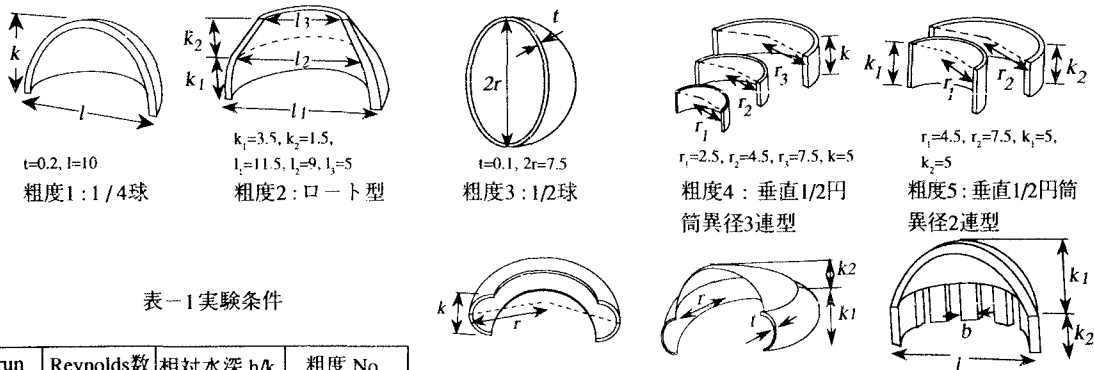


表-1 実験条件

run	Reynolds数	相対水深 h/k	粗度 No.
1	6×10^4	4,5,6	1~8
2	7×10^4	4,5,6	1~8
3	8×10^4	4,5,6	1,3~5,7,8

粗度6: 1/2円筒U字型
粗度7: 1/4球上部 + 1/2円筒U字
粗度8: 1/4球上部 + 垂直1/2円筒型

図-2 各粗度の概略図(粗度は奥から手前に向かって順流方向:単位:cm)

生成には大きく寄与していないと考え、粗度内への土砂の堆積を防ぐために粗度の下部を通水型にしたものである。最適形状の選定にあたり行なった実験条件は表-1に示す。

3・2 実験結果の評価 海水交換を活発にするためには既存の潮流流速を維持した状態で大きな抵抗差が獲得できることが望ましい。よって、 ΔC_d が同程度の値ならば、順流方向の抗力係数 C_{df} が小さい粗度の方が有利であると考えられる。そこで粗度の総合評価として有効性、 ΔC_d の他に $\Delta C_d/C_{df}$ を使って比較した。各粗度の ΔC_d を図-3に、 $\Delta C_d/C_{df}$ を図-4に示す。今回の実験では、粗度7,8が ΔC_d に関して大きな値をとっており、粗度8は $\Delta C_d/C_{df}$ に関しても大きな値が得られている。以上のことから、粗度7と粗度8がこれまでに検討された粗度のうち最も効果的であると考えられる。また、粗度1,3のような単純な形状の粗度でも、比較的大きな ΔC_d 、 $\Delta C_d/C_{df}$ をとることがわかった。

4. 終わりに 粗度7と粗度8が大きな抗力係数差を生じることが明らかとなった。しかし、データにばらつきがあることや、実際に海底に粗度を沈設する際の施工性の問題など、更に検討されるべき問題は数多く残っている。今後はこれらの問題を念頭におきつつ、更なる粗度の改良を行っていきたい。

参考文献

- 1)例えば、村上和男,他:潮汐エネルギーを利用した海水交換促進に関する水理模型実験,水工学論文集,No.37,pp.411~418, 1993.
- 2)小松利光,他:方向性を持つ底面粗度を用いた潮汐残差流の創造と制御,水工学論文集,41,1997.(印刷中)
- 3)小松利光,他:流れの方向により抵抗特性の異なる人工粗度の開発,水工学論文集,41,1997.(印刷中)

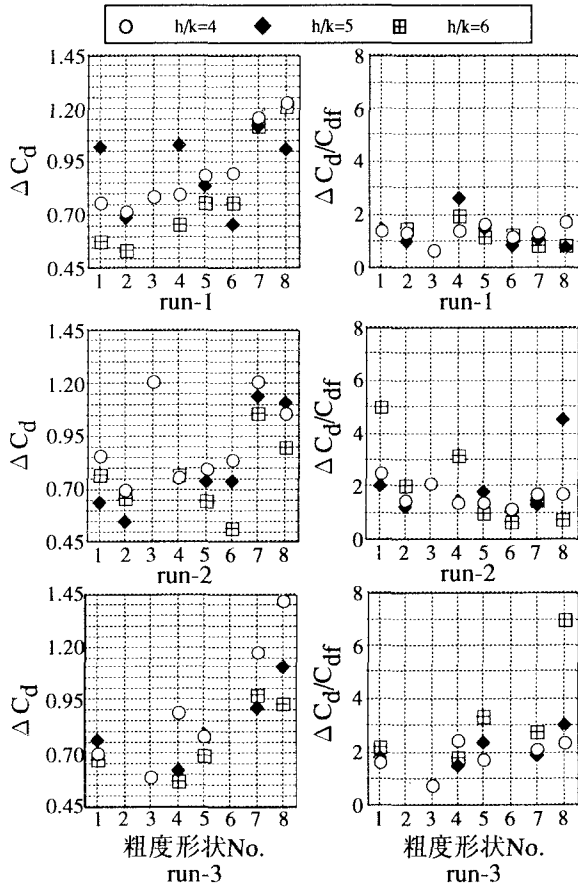


図-3 各粗度の抗力係数差

図-4 各粗度の $\Delta C_d/C_{df}$