

振動流場における非対称構造物の抵抗特性に関する研究

九州大学工学部 学生会員 ○深田剛教 九州大学大学院 フェロー 小松利光
九州大学大学院 正会員 押川英夫

1 はじめに

全国に約 19,000 haある砂浜は、最近 15 年間でその約 13%に当たる約 2,400ha が失われるなど、侵食被害が深刻化している。海岸侵食は陸域への波の侵入の増大、臨海施設などの機能低下の要因となるほか、貴重な国土の縮小にもつながるため、早急な対策が必要な重要課題となっている。

著者らは小規模非対称構造物を海底に設置することにより底質の移動を制御し、海岸侵食等の諸問題に対処する技術 (Beach and Navigation Keeper : BaNK 工法) を提案している。本研究は BaNK 工法の研究の一環として、その特長のひとつと成り得る「任意の方向に任意の大きさで底質輸送を制御可能」を実現すべく、波浪場のように周期の短い往復流場の振動流場において非対称構造物の方向抵抗特性について検討を行ったものである。

2 実験方法及び条件

実験には図-1に示すピストン駆動式 U 字管振動流装置 (高さ 120cm × 長さ 300cm × 奥行き 30cm) を用いた。小型三分力計を取り付けた直径 $D=12\text{cm}$ の球を 4 等分した形状の粗度を水槽の中央に設置して、1/4 球型粗度に作用する抵抗力の X、Y 成分 (図-1 下参照) を測定した。また図-1 左上に示されたように水位変動 ζ を容量式波高計により測定している。実験は表-1 に示した 6 ケースそれぞれにおいて、粗度の主流方向 (X 方向) に対する角度 θ を 0 から 180° まで 10 度づつ傾けた、計 $6 \times 19 = 114$ 条件について行った。表中の Re 数、 KC 数はそれぞれ $U_0 D / \nu$ 、 $U_0 T / D$ で定義されており、 T はピストンの周期、 a はピストンの振幅、 U_0 は断面平均流速の最大値、 ν は水の動粘性係数 ($= 0.01\text{cm}^2 / \text{s}$) である。但し、図-1 から分かるように水槽の両サイドと粗度のある中央部では水槽の管径が異なるため、本報告では実際のピストンの振幅および波高計による水位変動を $4/3$ 倍している (即ち、水槽両サイドの管径を 30cm と考えることに相当する)。測定ではサンプリング周波数を 50Hz とし、 120 周期分のデータを取得した。

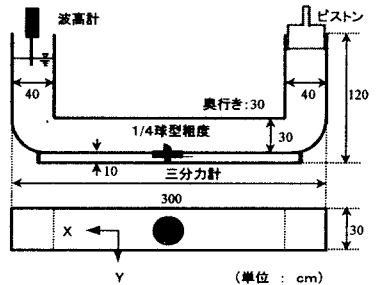


図-1 実験装置概略(上:側面図 下:平面図)

片側のみ駆動するピストン式の振動流では、非対称構造物を設置しない場合でも流速波形に若干の非対称性が生じる。本研究では対称構造物を用いた予備実験を行い、それが小さくなる条件を選定して実験を行っている。しかし厳密に対称とは言えない為、 θ が 0 から 90° までの結果と対応する 180° から 90° までの結果を平均することで、この問題を更に軽減している (但し、後述の時系列波形の議論ではこの平均は行っていない)。粗度の設置角度 θ の定義を後述の記号も含めて図-2 に示す。

表-1 実験条件

| | case1 | case2 | case3 | case4 | case5 | case6 |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $a(\text{cm})$ | 16 | 16 | 16 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |
| $T(\text{s})$ | 5.0 | 4.4 | 4.0 | 3.3 | 3.0 | 2.7 |
| KC 数 | 8.4 | 8.4 | 8.4 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| Re 数 | 2.4×10^4 | 2.7×10^4 | 3.0×10^4 | 2.4×10^4 | 2.7×10^4 | 3.0×10^4 |

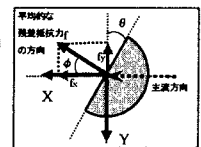


図-2 角度の定義

3 結果および考察

X、Y 方向の抵抗力 F_x 、 F_y および水位変動 ζ の時系列データに位相平均を施し、それらの平均的な波形を無次元化した一例を図-3 に示す。参考のために、図中には ζ を時間差分することに

より算出した X 方向の断面平均流速 u 、及び u を更に時間差分した X 方向の加速度 α の波形も示している。凡例中の ω は角周波数、 A_0 は $\theta = 0$ のときの粗度の X 方向の投影面積、 ρ は水の密度 ($= 1\text{g}/\text{cm}^3$) である。これより水位変動および断面平均流速は正弦波形、抵抗力 F_y は殆ど 0 を示しているのに対し、 F_x は非対称構造物の設置に起因して大きく歪み位相は u よりも明らかに進んでいることが分かる。モリソン公式を考慮し加速度 α が慣性力、 u と同位相の $u \cdot |u|$ がいわゆる抗力を代表できると仮定すれば、抵抗力 F_x の位相が α と $u \cdot |u|$ の間にあることは妥当と考えられ、 F_x への慣性力の寄与が伺える。BaNK 工法ではこの抵抗力波形の歪みに起因した力 (これが以下の残差抵抗力である) により、底質輸送を制御することとなる。

次に粗度の非対称性に起因する一周期平均的な抵抗力である残差抵抗力

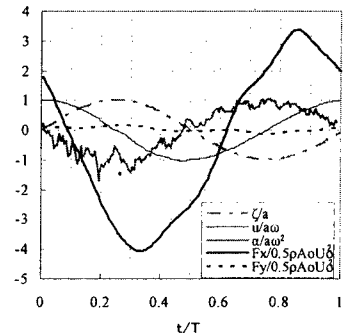


図-3 case1 ($\theta = 0$) の位相平均波形

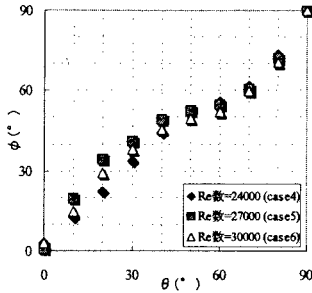


図-4 θ と ϕ の関係(KC数=5.6)

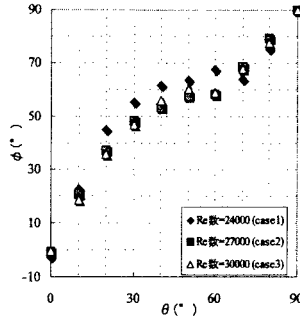


図-5 θ と ϕ の関係(KC数=8.4)

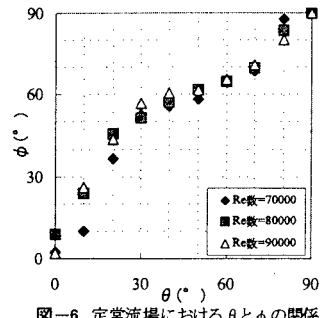


図-6 定常流場における θ と ϕ の関係 (小松らより引用)

の方向特性について調べた。 F_x , F_y の時系列データを平均した f_x , f_y を成分としてもベクトル f を残差抵抗力として求め、 f のX軸からの角度を ϕ とした(図-2参照)。粗度の設置角度 θ と ϕ の関係を R_c 数をパラメータとして示したものが図-4、5であり、それぞれKC数=5.6, 8.4の場合である。参考として、KC数が無限大に相当する定常流場において、1/4球型粗度を傾けて残差抵抗力の評価を行った小松ら⁹⁾の実験結果を図-6に示す。図-4、5は先述のように慣性力と抗力が共に寄与した結果であり、図-6は抗力のみによる結果と解釈できる。これらの図は非常によく似ていることから、 θ と ϕ の関係には R_c 数やKC数および慣性力はあまり影響していないことがわかる。条件が少ないので明確ではないが、特にKC数が大きい図-5、6の一致が良いことから、KC数が大きくなるとともに θ と ϕ の関係は若干変化し、KC数が6~8程度で変化しなくなるとも考えられる。いずれにしても ϕ は0から90°まで単調に増加しており、周期の短い往復流場においても1/4球型粗度の設置角度を変えることにより、任意の方向に残差抵抗力を生成可能なことが分かった。

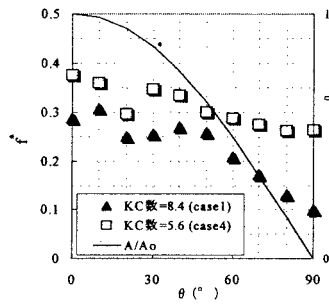


図-7 θ と ϕ^* の関係(R_c 数= 2.4×10^4)

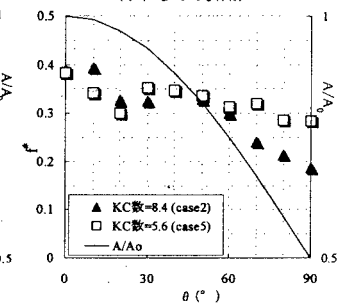


図-8 θ と ϕ^* の関係(R_c 数= 2.7×10^4)

図-4、5は先述のように慣性力と抗力が共に寄与した結果であり、図-6は抗力のみによる結果と解釈できる。これらの図は非常によく似ていることから、 θ と ϕ の関係には R_c 数やKC数および慣性力はあまり影響していないことがわかる。条件が少ないので明確ではないが、特にKC数が大きい図-5、6の一致が良いことから、KC数が大きくなるとともに θ と ϕ の関係は若干変化し、KC数が6~8程度で変化しなくなるとも考えられる。いずれにしても ϕ は0から90°まで単調に増加しており、周期の短い往復流場においても1/4球型粗度の設置角度を変えることにより、任意の方向に残差抵抗力を生成可能なことが分かった。

BaNKブロックを傾けることによる残差抵抗力 f の変化の例をKC数をパラメータとして R_c 数毎に図-7、8に示す。縦軸は f を $\rho A_0 U_0^2 / 2$ で無次元化した f^* で示されており、また参考として、 θ に伴うx方向投影面積 A の A_0 に対する割合が実線で示されている。今回の条件の範囲では全てのケースにおいて、 $\theta = 20^\circ$ 付近で極小値をとっており、それ以外では θ の増加に伴い f^* はほぼ単調に減少していた。この極小値の物理的要因は今後の課題である。 R_c 数依存性は図-7、8の比較からわかるように顕著ではなかったが、全体としてKC数の増加に伴い残差抵抗力は減少しており、その傾向は θ が大きいところで顕著であった。KC数が増えると慣性力が減少するため、トータルとしての抵抗力が減少するのは妥当と考えられる。実線とプロットの θ に伴う変化率を比較することで、 f^* の変化に及ぼす投影面積の効果を評価できる。前述のように θ とともに f^* はほぼ単調に減少してはいるが、その変化率は A/A_0 と一致していないため、抵抗力の大きさに粗度形状等の効果も大きく寄与していることが推測される。KC数が大きい場合の方が θ に伴う f^* と A/A_0 の曲線の変化率が類似している点は、慣性力が小さくなるため相対的に投影面積が影響する抗力が卓越したものと考えられ、逆にKC数が小さい場合には粗度の体積(θ に対して一定)が影響する慣性力の効果が大きくなり、 θ に伴う f^* の変化は小さくなったものと考えられる。

4. 結論

本研究の結果、周期が短く慣性力が影響する流れの場合においても、主流方向に対してBaNKブロックの角度を変えることによって任意の方向に残差抵抗力を創造できることが明らかになった。ブロックの設置密度や形状、大きさ等を変えることにより、残差抵抗力の大きさを任意に変えることは容易と考えられるので、本工法は任意の方向に任意の大きさで底質輸送が制御可能な手法である。

参考文献

- 1) 小松利光・小橋乃子・和田真人・藤田和夫・矢野真一郎・安達貴浩：任意の方向に潮汐残差流を創造するための偏流型粗度の開発、水工学論文集、第43巻、PP.833-838、1999