

波浪場における非対称構造物群による残差流の生成特性

佐賀大学理工学部 学生会員 山上未羽斗
 佐賀大学理工学部 正会員 押川 英夫

1. 緒論

著者らは、波浪エネルギーを利用して底質の輸送の自在な制御を可能とする BaNK (Beach and Navigation Keeper) システムについて検討している^{1)~4)}。これは非対称な形状を有する小規模な構造物（以下ではブロックと呼ぶ）を海底に複数個設置して残差流（ここでは、波の1周期間でオイラー平均された流速）を発生させることで、任意の方向への底質の輸送を可能とする技術である。

BaNK システムにおいては、[往復流-非対称構造物（に働く流体力）-流れの生成（残差流）-底質移動制御]といったプロセスによって漂砂制御が行われることになるが、ここでは残差流生成までのプロセスに着目する。従来の研究成果により、BaNK ブロックとしては半円筒（柱）型構造物が有利であることが明らかとなっているが^{1),2)}、半円柱型構造物に関しては、振動流場における抵抗力の測定に基づいた検討が主であり、これまでに本システムの基本となる残差流に関する検討が十分になされているとは言い難い。本研究では、非対称構造物（半円柱）と対称構造物の周囲の流れの比較に基づいて BaNK システムにおける残差流の生成機構について検討を行った。対称構造物としては、投影面積だけでなく体積まで半円柱と同一となる（つまり、縦、横、幅の各代表長さが一致する）楕円柱を用いた。

2. 実験概要

実験には図1に示す全長 1700cm、幅 25.0cm の 2次元吸収式造波水槽を用いた。設置する非対称構造物としては直径 $D=3.0\text{cm}$ 、高さ $k=1.5\text{cm}$ の半円柱と比較対象として長径（幅） 3.0cm 、短径（奥行き） 1.5cm 、高さ $k=1.5\text{cm}$ の楕円柱を用いた。ブロックは等方格子状に配置されており、近接するブロックの中心間隔は、縦断 (X) 方向、横断 (Y) 方向ともに $2D$ である。また過去の研究³⁾によると、ブロックの敷設長 l_b と波の波長 L が $l_b/L \approx 0.22$ の場合において底面付近に最大の残差流速が得られていることから、この結果を考慮してブロックの縦断方向の設置個数を 6 個としている ($l_b/L=0.24$)。波浪条件としては静水深 $h=26.0\text{cm}$ 、波高 5.0cm 、周期 $T=1.1\text{s}$ の規則波を作用させており、本条件は $KC=4.0$ 、 $k/h=0.058$ 、レイノルズ数 $Re (\equiv U_0 D/\nu) = 3.3 \times 10^3$ に相当する。ただし、 U_0 はブロック高さ k における波運動に伴う流速振幅で、ここでは微小振幅波理論から求められている。また、 $\nu (=0.010 \text{ cm}^2/\text{s})$ は水の動粘性係数である。

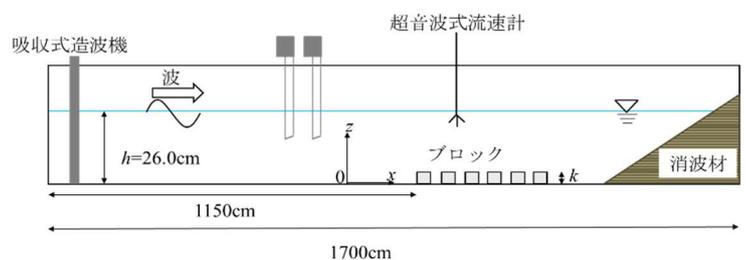


図1 実験装置の概略

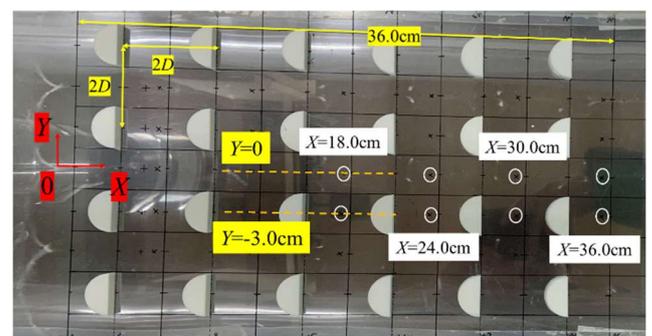


図2 座標系と水平面内の測定位置（白丸）

図2に示したブロックを貼り付けた薄いステンレス板を水路床に固定して、ブロック付近の流速を超音波式流速計 (Nortek 社製, Vectrino) により測定した。縦断方向の流速の測定断面は、図2中に示したようにブロックの設置位置（沖側の楕円柱の中心）から沖側 $3.0\text{cm} (=D)$ の位置を原点とする右手系のデカルト座標系（波の進行方向を X 軸、横断方向を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸）において、 $X=18.0, 24.0, 30.0, 36.0\text{cm}$ の4点とした。横断方向の測定断面は水路中央の $Y=0$ 、および -3.0cm の2断面であり、鉛直方向の測定位置は水路床を $Z=0$ として $Z=0.1, 0.375, 0.75, 1.5, 2.25, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0\text{cm}$ の11点である。サンプリング周波数は 100Hz 、計測時間は2分程度で各点毎に得られた約110波の流速の時系列データを平均することで、底質輸送制御効果の指標となる残差流速、位相平均波形を求めた。

3. 実験結果および考察

瞬時流速の測定結果の例として、ブロックの半分の高さである $Z=0.75\text{cm}$ における X 方向流速 u の位相平均波形を図3および図4に示す。水平面内の測定位置については、図3はブロックを配置していない列の水路幅中央 ($Y=0$) で $X=24.0\text{cm}$ 、図4はブロックが配置されている列の $Y=-3.0\text{cm}$ で $X=36.0\text{cm}$ となっている。なお、両図の横軸は周期 T で無次元した t/T 、縦軸は u を U_0 で無次元化した $u^*(=u/U_0)$ となっている。ただし、両図のゼロアップクロス瞬間を時刻 ($t=0$) として揃えて表記しているため、半円柱と楕円柱の位相差については

考慮できていない。

まず、**図3**を見ると、対称構造物である楕円柱では歪が殆ど無い正弦波に近い波形となっている。これは、 $Y=0$ の断面では縦断方向にブロックが設置されていないことから、構造物の影響が小さいためである。実際、この位置の流速の平均値は -0.003cm/s となっており、残差流は発生していない。一方、半円柱の波形は正弦波から歪んでおり、流速の絶対値が大きい瞬間に楕円柱との流速の差異が大きいことが分かる。特に負の流速の絶対値が大きい $t/T=0.8$ 付近で差異が大きいことから、半円柱の非対称面に流れが作用する際の影響が顕著である。この場合の流速の平均値は 0.58cm/s となっており、楕円柱との差異を通して見ること、構造物の非対称性に起因した残差流が発生していることが理解できる。

次に、縦断方向にブロックが配置されている $Y=-3.0\text{cm}$ の**図4**を見ると、楕円柱と半円柱の波形は**図3**の差異と比較しても大きく異なっており、ブロックによる顕著な効果が見取れる。特に $t/T=0.2\sim 0.8$ 程度の長期間に渡って半円柱と楕円柱の差異が認められることが特徴的である。半円柱と楕円柱の平均流速を求めるとそれぞれ 2.2cm/s と 0.46cm/s となっており、半円柱では顕著な岸向き残差流が発生することが理解できる。

得られた残差流の結果の例として、 X 方向の4点の結果を平均した $Y=0$ と $Y=-3.0\text{cm}$ の縦断面における半円柱周りの X 方向の残差流速 $\langle u \rangle$ の鉛直分布を**図5**に示す。なお、横軸は U_0 で無次元化された $\langle u^* \rangle = [\langle u \rangle / U_0]$ で、縦軸はブロック高さ k で無次元化されている。これより、どちらの縦断面においても底面付近に顕著な岸向き残差流が発生しているものの、特にブロックが配置されている $Y=-3.0\text{cm}$ の縦断面の残差流が顕著なことが理解できる。

押川ら(2011)⁴⁾は、本研究と同様な2次元波浪場に設置された半円柱型構造物周りに発生する岸沖方向の残差流速および残差流量を予測するための経験式を提案している。そこで、本研究で得られた実験結果を用いて当該経験式の精度を確認した。**図5**で得られた鉛直分布を幅方向に平均することでブロック設置領域の平均的な残差流速を求め、当該経験式による直線分布で近似された残差流速の予測結果と併せて**図6**に示す。

図6より、岸向き残差流速の最大値 $\langle u^* \rangle_{\max} = 0.14$ 、岸向き残差流速の高さ $Z_0/k = 2.6$ が得られ(Z_0 は $\langle u \rangle = 0$ となる Z の値)、正の領域の面積から無次元単位幅残差流量 $Q^* = 0.16$ が得られた。一方、本実験の波浪とブロックの条件である $KC = 4.0$ 、 $k/h = 0.058$ を当該経験式に適用すると、 $\langle u^* \rangle_{\max} = 0.26$ 、 $Z_0/k = 2.4$ が得られ、三角形近似の面積として無次元単位幅残差流量 $Q^* = \langle u^* \rangle_{\max} \cdot (Z_0/k) / 2 = 0.31$ が得られた。したがって、今回の実験条件からは、押川ら(2011)⁴⁾による経験式が5割程度の精度で残差流量を予測出来ることが分かった。

4. 結論

本研究により、波浪場に非対称構造物を設置することで、構造物形状の非対称性に起因した残差流が発生することが改めて示された。特に、縦断方向に半円柱が配置されている鉛直断面では、半円柱と楕円柱周りの流速の位相平均波形に長期間に渡って差異が認められ、顕著な岸向き残差流の発生に寄与していることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 押川英夫, 國澤義則, 鞠承洪, 小松利光: 振動流場における非対称没水構造物の抵抗特性, 海岸工学論文集, 第51巻(1), pp.671-675, 2004.
- 2) 押川英夫, 小松利光: 振動流場における非対称没水構造物周りの流動解析, 水工学論文集, 第50巻, pp.817-822, 2006.
- 3) 押川英夫, 武田宜紘, 吉田秀樹, 田中克己, 大波多昌志, 小松利光: 波浪と流れの場における非対称没水構造物群による残差流生成特性, 海洋開発論文集, 第23巻, pp.877-882, 2007.
- 4) 押川英夫, 本村航平, 小松利光: 波浪場における小規模非対称構造物群による残差流の定量評価, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, pp.I_52-I_57, 2011.

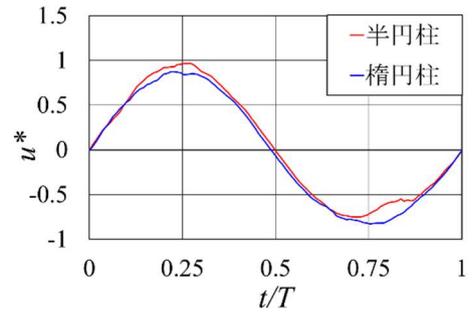


図3 岸沖方向流速 u の位相平均波形 ($X=24.0\text{cm}$, $Y=0$)

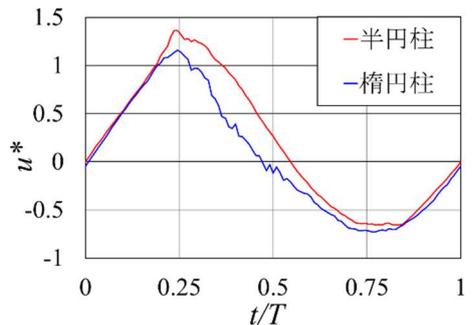


図4 岸沖方向流速 u の位相平均波形 ($X=36.0\text{cm}$, $Y=-3.0\text{cm}$)

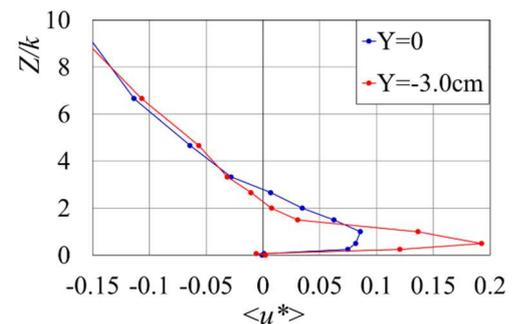


図5 半円柱周りの岸沖方向残差流速の鉛直分布

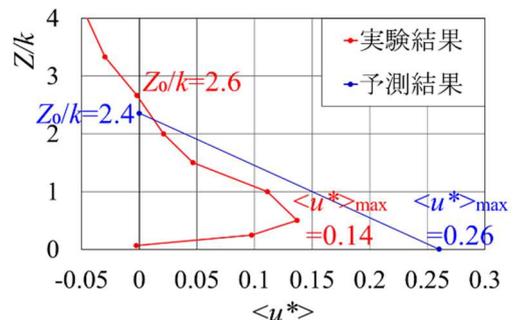


図6 実験と経験式による残差流の比較