

不規則波浪場における非対称没水構造物群周りの流れ

佐賀大学理工学部 学生会員 津野智彬
 佐賀大学教育研究院 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（平均流速）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⁾、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。また、従来は規則波に基づく検討が主であったことから^{1),2),4)}、本研究では不規則波作用下で対称構造物との比較に基づいて非対称構造物（半円柱）周りの流況について検討を行った³⁾。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。実験では、静水深 $h=30.0\text{cm}$ 、有義波高 $H_{1/3}=4.8\text{cm}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=1.0\text{s}$ の不規則波を作用させており、Bretschneider-Mitsuyasu 型のスペクトルの係数を修正した合田のスペクトルを目標としている⁵⁾。

水槽の沖側端から1025cmの位置で容量式波高計（図1に示した2つの内の沖側）により計測された水面変位の時系列とその周波数スペクトル

$F(f)$ をそれぞれ図2と図3に示す。 f は周波数(Hz)である。図2で最大波高が8cm程度の不規則波が発生しているとともに、図3の周波数スペクトルではほぼ目標とする不規則波が発生していることが分かる。

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。本条件は $KC (\equiv U_0 T_{1/3} / D) = 2.84$ 、 $k/h=0.050$ 、レイノルズ数 $Re (\equiv U_0 D / \nu) = 2.6 \times 10^3$ 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で有義波により求めている。また、 $\nu (= 0.010 \text{ cm}^2/\text{s})$ は水の動粘性係数である。

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²⁾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 ($l_B/L=0.26$)。ただし、波長 L は分散関係式より有義波を用いて算出している。

図4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4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、

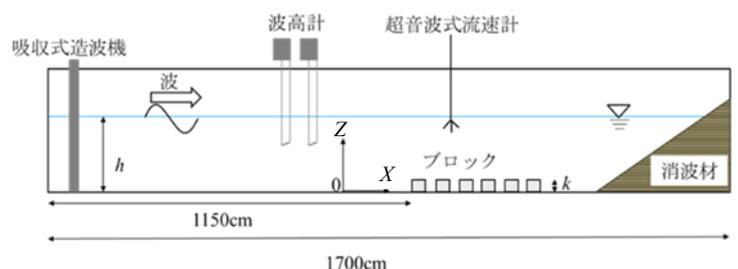


図1 実験装置の概略

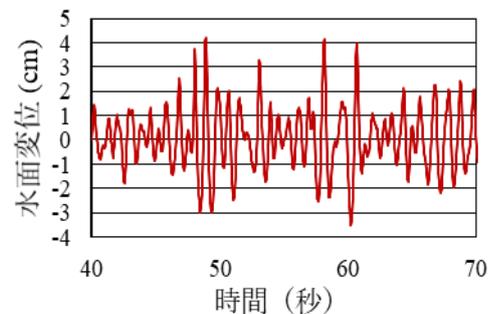


図2 不規則波による水面変位の時系列

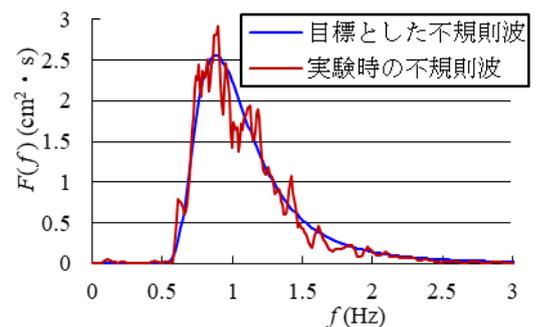


図3 水面変位の周波数スペクトル

$X=18.0, 24.0, 30.0, 36.0\text{cm}$ 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 $-3.0(\text{cm})$ 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 $Z=0.1, 0.375, 0.75, 1.0, 1.5, 3.0, 5.0, 7.0, 11.0, 13.0, 17.0\text{cm}$ 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流速の時系列データを用いることで, 底質輸送制御効果の指標となる残差流速などを求めた。

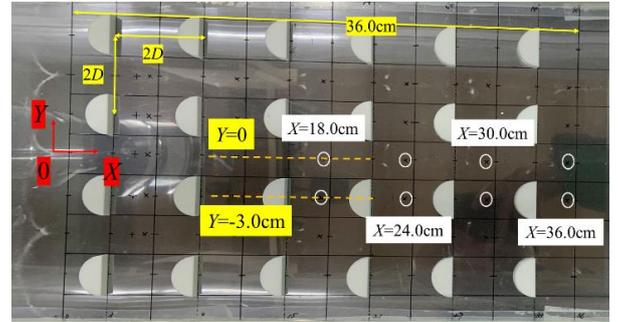


図4 座標系と水平面内の測定位置 (白丸)

3. 実験結果および考察

楕円柱もしくは半円柱が設置された場合について, $X=24.0\text{cm}$, $Y=-3.0\text{cm}$, $Z=1.5\text{cm}$ における X 方向流速 u のスペクトル $F_u(f)$ を

図5に示す。これより, 非対称構造物の半円柱では不規則波のピーク付近を除くと乱流の $-5/3$ 乗則に従うスペクトル形状となっており, ブロック高さ付近では乱れが発達して乱流となっていることが分かる。一方, 対称構造物の楕円柱では, ピーク後のスペクトルの傾きが $-5/3$ 乗則よりも緩くなっており, 半円柱と比較して乱れが発達が弱いことが見て取れる。

$X=18.0\text{cm}$, $Y=-3.0\text{cm}$ における鉛直方向の測定位置に応じた半円柱周りの X 方向流速のスペクトルの例 ($Z=0.75, 1.5, 3.0\text{cm}$) を図6に示す。これより, 不規則波のピーク後のスペクトルは, $Z=0.75\text{cm}$ と 1.5cm では図5と同様に $-5/3$ 乗則に従う形となっており, 乱れが発達していることが分かる。一方, $Z=3.0\text{cm}$ では, 傾きが $-5/3$ 乗則よりも若干緩く, スペクトルのパワーも1オーダー程度小さい。したがって, ブロックによる乱れの影響が及ぶ範囲は $Z=1.5\sim 3.0\text{cm}$ の高さにあることが分かる。

残差流の結果の例として, ブロックが配置されている列の $Y=-3.0\text{cm}$ で $X=36.0\text{cm}$ における X 方向の平均流速 U の鉛直分布を図7に示す。これより, 底面付近において半円柱周りに顕著な岸向き残差流が発生していることが分かる。また, 構造物無しと比較すると対称構造物の楕円柱では底面付近に残差流速が発生しているものの, 半円柱と比較すれば顕著に小さいことから, 構造物形状の非対称性により残差流が発生していることが理解される。また, 半円柱において残差流が正值をとる範囲は $Z=4\text{cm}$ 迄であり, ブロック高さの約3倍であった。これは, 従来の規則波による実験結果と同程度となっている⁴⁾。

4. 結論

本研究により, 不規則波浪場の海底付近に非対称構造物群を設置することで, 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。更に, 対称構造物の楕円柱と非対称構造物の半円柱周りの流れの比較より, 半円柱付近の乱流の発達が悪化することが分かった。また, 本研究の不規則波の実験条件における乱流の発達は半円柱の高さの1~2倍であるとともに, 岸向き残差流速が生成する範囲は半円柱の3倍程度までであることが分かった。

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, 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.883-888, 2007.
- 3) 押川英夫, 武田宜紘, 吉田秀樹, 田中克己, 大波多昌志, Andi Rusdin, 小松利光: 不規則波浪場における非対称没水構造物周りの流れ, 水工学論文集, 第52巻, pp.1417-1422, 2008.
- 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.
- 5) 合田良實: [増補改訂] 港湾構造物の耐波設計 波浪工学への序説, 鹿島出版会, 333p., 1990.

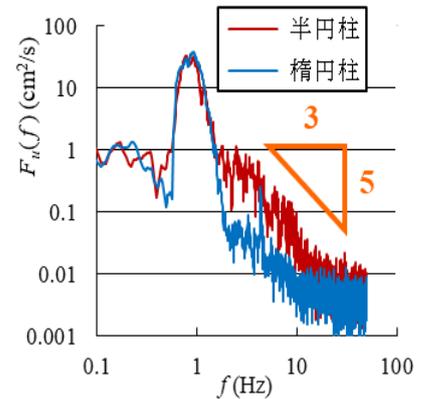


図5 構造物形状に応じた X 方向流速のスペクトル

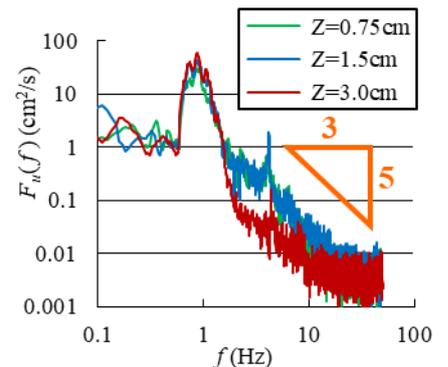


図6 測定高さに応じた半円柱周りの X 方向流速のスペクトル

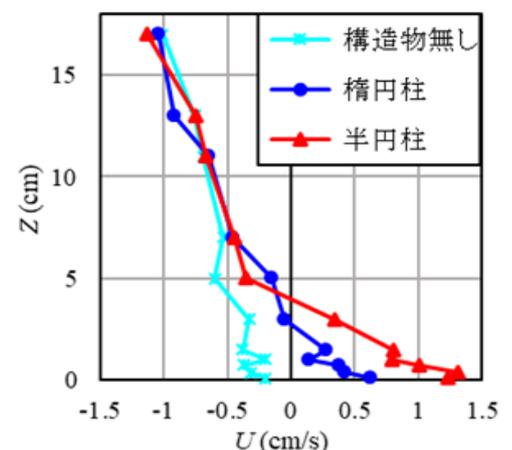


図7 X 方向の残差流速の鉛直分布