

波浪場における非対称没水構造物群周りの流れ

九州大学大学院工学府 学生会員 武田 宜紘 吉海 宏祐
九州大学大学院工学研究院 正会員 押川 英夫 藤田 和夫
国土交通省下関港湾空港技術調査事務所 正会員 石貫 國郎 添田 宏 中村 嘉邦
九州大学大学院工学研究院 フェロー 小松 利光

1. 緒論

著者らは、波浪エネルギーを用いた有効な海岸侵食防止技術であり、かつ積極的な砂浜の創出技術である *BaNK*(: *Beach and Navigation Keeper*) システムを提案している¹⁾。本システムは非対称な形状を有する構造物を海底に複数個設置することで海底付近に一方向流れを生成し、任意の方向への底質輸送を可能とするものである。これまでの研究において、規則的な進行波、あるいは振動流場を対象とした室内実験や数値シミュレーションで本システムの有効性を検討してきた^{1)~3)}。本報告では *BaNK* システムの更なる効率化を目指して、ブロックの横断方向の適切な設置間隔について検討した。

2. 実験概要

実験には全長 1900cm、幅 25cm、高さ 60cm の鉛直 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 $k=1.5\text{cm}$ の半円柱型のブロックが用いられた。ブロックの縦断方向 (X 方向) 間隔は 6.0cm で、横断方向 (Y 方向) 間隔は $s=1.5D, 2D, 2.5D, 3D$ の 4 ケースについて実験を行った。その際、ブロックの横断方向の設置個数は各々 5, 4, 3, 3 個である。また過去の研究³⁾ でブロックの敷設長 l_B と波の波長 L が $l_B/L = 0.22$ の場合において底面付近に最大の残差流が得られたことから、この結果を考慮してブロックの縦断方向の設置個数 (N) を決定している (表-1 参照)。なお、用いた波浪は静水深 $h=30\text{cm}$ 、波高 $H=5.0\text{cm}$ の規則的な進行波である。周期 T は 0.8, 1.0, 1.3, 1.5(s) の 4 ケースについて行い、微小振幅波理論から沖の一樣水深部におけるブロック高さでの流速振幅 U_0 と波長 L を求めた。

構造物設置領域付近の流速を超音波式流速計により測定した。縦断方向の流速の測定断面は、構造物の設置位置から沖側 3cm の位置を原点とするデカルト座標系において、敷設長のほぼ中央と敷設長中央の断面から沖側に 3cm の 2 断面とした。横断方向の測定断面は水路中央を $Y=0$ として、0, 3.0(cm) の 2 断面であり ($Y=3.0\text{cm}$ は横断方向に隣接するブロッ

クの中央)、鉛直方向には水路床を $Z=0$ として 0.1, 0.375, 0.75, 1.5, 2.25, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0(cm) の 12 断面について測定を行った。各点毎に得られた約 100 波分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等を求めた。

3. 実験結果および考察

残差流の空間分布の例を図-1 に示す。このベクトル図は周期 $T=1.5\text{s}$, $Y=0$ における鉛直断面を示している。また図中の $\square$ は構造物の位置と大きさを示している。横軸は X/D 、縦軸は Z/D であり、流速ベクトルは波の振幅 a と角周波数 σ で無次元表示されている。これより、ブロックの横断方向間隔が広い $s=3D$ の場合を除いて、ブロックの 3 倍程度の高さまで強い正 (岸向き) の残差流が生成されていることがわかる。また $s=1.5D$ と $2D$ を比較すると、ベクトルの方向は概ね一致するものの、底面付近に生成される正の残差流は間隔が狭い $s=1.5D$ の時に大きくなっていることが分かる。一方、 $Z/D > 2$ の中層付近においては、構造物によって生じた底面付近の残差流、ならびに波の進行方向に生じる表層付近の強い残差流の補償流として負 (沖向き) の残差流が生じている。

次に構造物周辺の局所的な X 方向の平均残差流速 U_m を図-2 に示す。その際、 Y 方向には計測された 2 点と、鉛直方向には $Z=3.0\text{cm}$ までの 6 点の残差流速値を平均して U_m を算出した。横軸の横断間隔 s はブロックの直径 D で、縦軸の U_m は波の振幅 a と角周波数 σ でそれぞれ無次元表示されている。これより、 s/D が小さくなるにつれて $U_m/a\sigma$ の値がほぼ増加していることから、横断間隔が狭まるに伴って底面付近に生成される残差流が強くなることが分かる。概ね $U_m > 0$ であることから判断すると、横断間隔を $2.5D$ 程度にまで広げることが可能である。なお、本実験条件においては、周期の減少に基づく KC 数の減少に伴って残差流が弱まっている。押川ら²⁾ によると非対称構造物設置により底面付近に発生する残差流は KC 数の減少に伴って増加することが明らかになっている。この差異の理由については、周期の減少に伴い (l_B/L を固定していることから) 敷設長 l_B が短くなることで X 方向に設置されているブロックの個数が減少していることから、岸側方向への残差流の発達¹⁾ が不十分なことが挙げられる。またレイノルズ数の影響²⁾ 等も考えられる。

表-1 実験条件

周期 $T(\text{s})$	0.8	1.0	1.3	1.5
波長 $L(\text{cm})$	96.1	137	197	234
$N(\text{個})$	4	5	7	9
l_B/L	0.25	0.22	0.21	0.23
KC 数 ($\equiv U_0 T/D$)	1.51	2.85	4.71	5.86

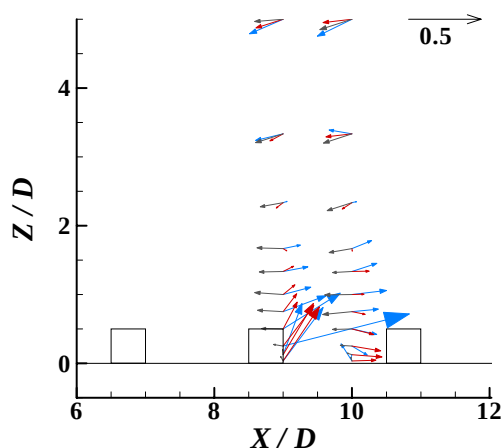


図-1 残差流ベクトルの鉛直分布($T=1.5s$, $Y=0$)
[青: $s=1.5D$, 赤: $s=2D$, 黒: $s=3D$]

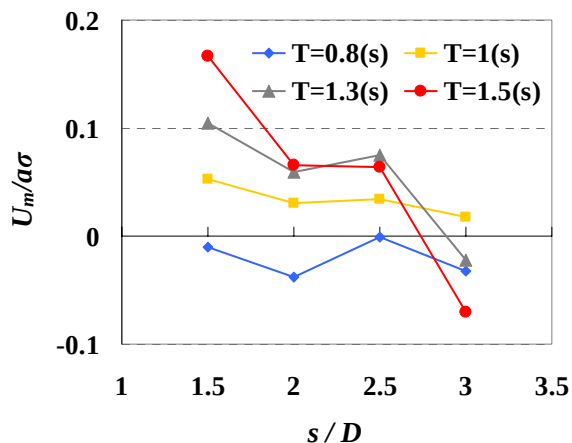


図-2 ブロックの横断間隔と残差流速の関係

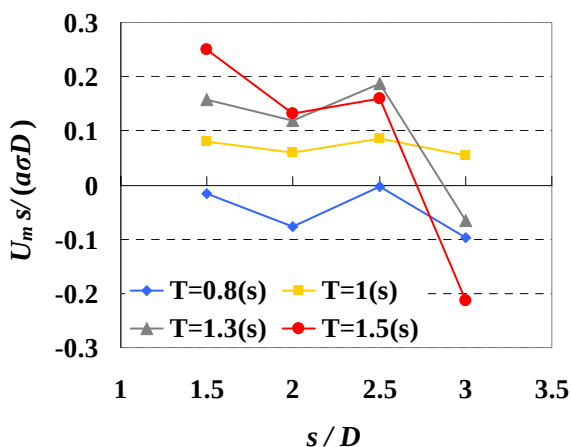


図-3 ブロックの横断間隔と
残差流速 $U_m s/(aσD)$ の関係

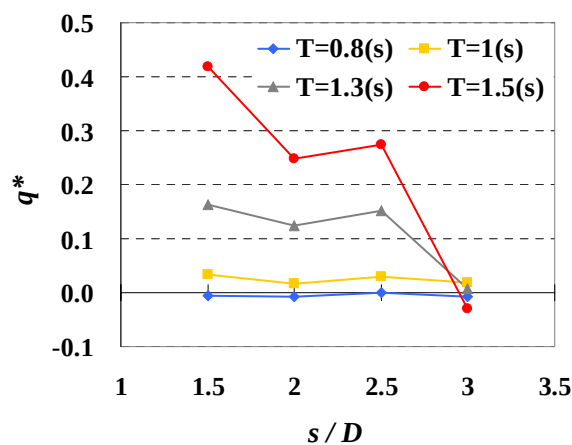


図-4 ブロックの横断間隔と
3次モーメント(q^*)の関係

図-2 よりブロックの横断方向間隔は狭いほうが底面付近に強い残差流が得られることが明らかになった。しかしながら、 s が小さくなるとブロック（突起部）の個数が増えることになるため、BaNK システムとしては非効率となる。そこで、横断方向のブロック一個あたりに生成される残差流を無次元化した $U_m s/(aσD)$ を指標として、効率を含めて適切な s を評価した。これより、 $T=1.5s$ に見られるように $s/D=1.5$ において最大値が得られている場合もあるものの、全ての条件において $s/D=2.5$ で極大値（ $T=1.5s$ 以外では最大値）が存在していることから、効率的な横断方向間隔は $s/D=2.5$ 程度と判断される。

Russel and Huntley⁴⁾によると流速の3次モーメントが底質輸送能力の指標となる事が知られている。そこで、 X 方向流速の3次モーメントを U_m と同様に空間平均して、 a および $σ$ により無次元化した q^* を求めて図-4 に示す。これより q^* はほぼ正の値を取っており、残差流の結果（図-2）と併せて考えると、底面付近において強い底質輸送促進効果が期待される。

4. 結論

BaNK ブロックの適切な横断方向設置間隔につい

て室内実験に基づく検討を行った。その結果、横断間隔が狭まるにつれて、生成される正の残差流は強まることが分かった。しかしながら効率までを含めて判断すると、適切な横断方向間隔は $2.5D$ 程度となる。

参考文献

- 1) 小松利光・齋田倫範・小橋乃子・安達貴浩・柴田卓也(2001): 方向抵抗特性をもつ海底小規模構造物を用いた海底近傍の物質輸送の制御, 水工学論文集, 第45巻, pp.1087-1092.
- 2) 押川英夫・柴多哲郎・小松利光(2004): 非対称没水構造物群による波浪残差流生成特性, 水工学論文集, 第48巻, pp.1255-1260.
- 3) 押川英夫・武田宜紘・吉田秀樹・田中克己・大波田昌志・小松利光(2007): 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.
- 4) Russel, P.E. and Huntley, D.A. (1999): A Cross-Shore Transport "Shape Function" for High Energy Beaches, Journal of Coastal Research, Vol. 15, No. 1, pp.198-205.