

不規則波浪場における非対称没水構造物群による残差流生成特性

九州大学大学院 学生会員 武田 宜紘 九州大学大学院 正会員 押川 英夫 藤田 和夫
前国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所長 正会員 吉田 秀樹
九州大学大学院 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おり、これまで規則的な進行波あるいは振動流場を対象に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について検討を行ってきた¹⁾。しかしながら、実海域の波浪は周期(波長)、波向きともに不規則であるため、不規則波に対する十分な検討も不可欠である。本研究では、不規則波浪場に対する BaNK システムの適用性を評価する第一歩として、奥行き方向に一樣な2次元不規則波浪場における本技術の効果を検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験には全長1600.0cm、幅25.0cm、高さ60.0cmの鉛直2次元造波水槽を用いた。不規則入射波の造波には合田らの入・反射波分離推定法²⁾が用いられており、Bretschneider-Mitsuyasu スペクトルの係数を修正した合田による式²⁾を目標のスペクトルとした。

BaNK システムに用いる非対称構造物としては、半円柱型構造物を用いた。ここではブロックの縦と横の長さの割合を1/4球型と一致させている。構造物の直径は $D=3.0\text{cm}$ 、高さは1.5cmであり、中心間隔6.0cmで従来の研究成果¹⁾を踏まえて縦断方向に5列、横断方向に4列の計20個を等方格子状に配置した。

構造物設置領域およびその周囲の流速を3次元超音波式流速計(以下、流速計)により計測した。一樣水深部における静水深を $h=30.0\text{cm}$ として、目標値として有義波高 $H_{1/3}=5.0\text{cm}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=1.0\text{s}$ の不規則波を造波した。尚、実験時に得られた不規則波の水面波形をゼロアップクロス法により波別解析したところ、平均値として $H_{1/3}=5.37\text{cm}$ 、 $T_{1/3}=1.01\text{s}$ が得られており、ほぼ目標とする不規則波が発生していることが確かめられている。

流速の測定断面は構造物の設置位置の沖側端(半円柱の中心から3.0cm沖側)を原点とする右手系のデカルト座標系において、縦断方向に構造物の中間となる $X=0, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600(\text{cm})$ の11断面、横断方向には水路中央を $Y=0$ として $Y=0, -3.0(\text{cm})$ の2断面、鉛直方向には水路床を $Z=0$ として $0.1, 0.375, 0.75, 1.5, 2.25, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0(\text{cm})$ の12断面とした。また、比較のためにブロックを置かない波のみの場合において、流速の鉛直分布が原点上で測定されてい

る。流速の測定は各測点毎にサンプリング周波数50Hzで180秒程度のデータが取得されている。

3. 実験結果および考察

図-1にブロック上の鉛直断面における残差流速のベクトル図を示す。図中には構造物の位置と大きさを示している。これより、ブロックの3倍程度の高さまで強い正(岸向き)の残差流が得られていることが分かる。一方、 $Z=5\sim 20\text{cm}$ 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(ここでは計測器の制約から測定されていない)の補償流として負(沖向き)の残差流が生じている。

今回の不規則波の実験によって得られた幅平均の残差流速と、同様の方法により求められた規則波による過去の実験結果¹⁾との比較を図-2に示す。なお、本実験の有義波高・有義波周期と以前用いた規則波の波高(5.0cm)・周期(1.0s)はほぼ一致しているものの、比較を容易にするため無次元化して整理した。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 および角周波数 σ を用いて、 $a\sigma$ により正規化されている。ただし、不規則波の $a\sigma$ は有義波で求めた $H_{1/3}/T_{1/3}$ である(は円周率)。まず全体的に流れの方向を比較すると、赤いベクトルで示す規則波と黒で示す不規則波のベクトルの方向は、ブロック近傍を含めて非常に良く一致している。一方、ベクトルの大きさに関しては、不規則波の方が規則波よりもやや小さくなっている。したがって、波群の中では有義波という比較的大きな(統計)波を基準として比較していることを踏まえても、不規則波では従来の規則波によって得られている残差流生成効果よりも BaNK システムの効果(残差流の強さ等)が若干小さくなるのが推測される。

次に、乱れエネルギー $[k(\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle + \langle w'^2 \rangle)]/2$ の評価を行った。 u', v', w' はそれぞれ X, Y, Z 方向の流速変動成分であり、 $\langle \rangle$ は時間平均を意味している。ここでは、最終的にブロックにより発生した乱れエネルギーの評価を行うことが目的であるが、単純に k を求めると実験および解析の精度上ブロックの効果(後流の影響)を評価できなかった。そこでブロックの影響による乱れ(以降では後流成分と呼ぶ)を以下の便宜的な方法により抽出した。各点の流速データから周波数スペクトルを求め、ブロックの影響による後流成分と判断された下限界の周波数1.7Hzよりも高周波の

成分のみから k を算出した。

ブロック上の XZ 断面内の乱れエネルギー k の鉛直分布を図-3に示す。これよりブロック近傍 ($0 \leq X \leq 30, 0 < Z < 4$) では、 k の値が顕著に大きくなっていることが分かる。

ブロック上の XZ 断面内のレイノルズ応力 ($-\rho \langle u'w' \rangle$) の鉛直分布を図-4に示す。 ρ は水の密度 ($=1.0\text{g/cm}^3$) である。なお、レイノルズ応力を求める際には、(波動成分も含めた) 流速変動成分が u' , w' として扱われている。これよりブロック近傍の底面付近 ($0 \leq X \leq 18\text{cm}, 0 < Z < 4\text{cm}$) ではレイノルズ応力の絶対値が大きくなり、負の値となっている。これは図-1の残差流(平均流)の分布から理解されるように、 $Z=0 \sim 5\text{cm}$ のブロックの影響が大きい領域では、平均流(X方向成分を U とする)のシア (U/z) が負となることに対応している。すなわち、乱れのプロダクションをレイノルズ応力と平均流速の勾配の積で評価すると、この領域で乱れが生成されているものと解釈される。一方、ブロック設置領域後の $X \geq 36\text{cm}$ ではレイノルズ応力が小さい(ブロック無しとほぼ同じ1付近の値となっている)ことから、図-3の k の分布に対応して乱れ(後流成分)が発生していないことになる。なお、ブロック設置領域末端付近の $X=24\text{cm}$ および 30cm ではレイノルズ応力が急激に大きくなり、特に $X=30\text{cm}$ では顕著な正の値となっている。設置領域の端部では流れが複雑になっていると予想されるため、この位置での乱れの評価には Y および Z 方向流速のシアや圧力変動なども併せて検討する必要があるものと推測される。

4. 結論

本実験により得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) BaNK ブロックとして半円柱型構造物群を海底に設置することにより、不規則波浪場においても底面付近に残差流を発生させることが可能であり、その生成厚は構造物の高さの3倍程度である。
- (2) 残差流の方向は規則波と不規則波で一致する。
- (3) 不規則波の波高・周期に対して有義波を代表量として規則波と比較すると、不規則波において生じる残差流の大きさは、規則波よりも若干小さくなる。
- (4) BaNK ブロック敷設領域内の底面付近では乱れエネルギーが増加しており、その際、レイノルズ応力の絶対値の増加が乱れエネルギーの増加と岸向き残差流の生成に寄与している。

参考文献

1) 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.

2) 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.

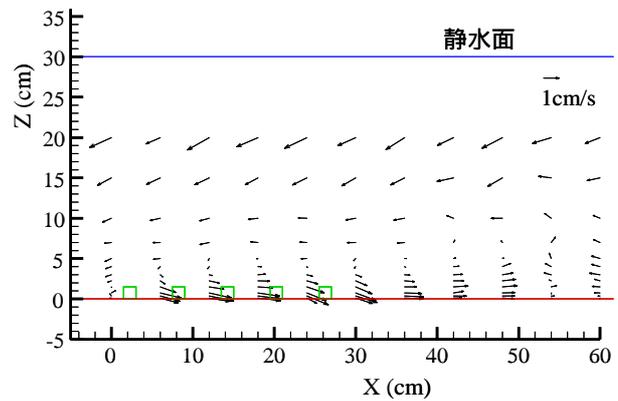


図-1 不規則波浪場における残差流ベクトル (Y=-3.0cm)

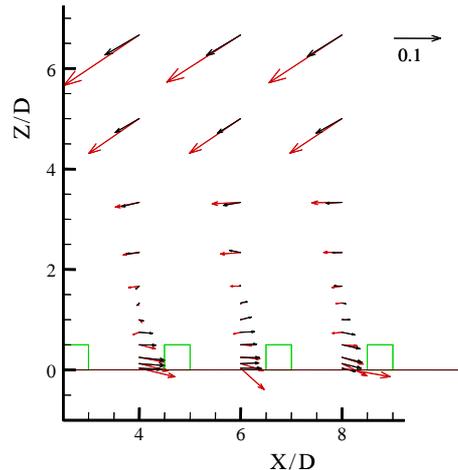


図-2 幅平均の無次元残差流ベクトル (一部分を拡大表示) [黒: 不規則波, 赤: 規則波]

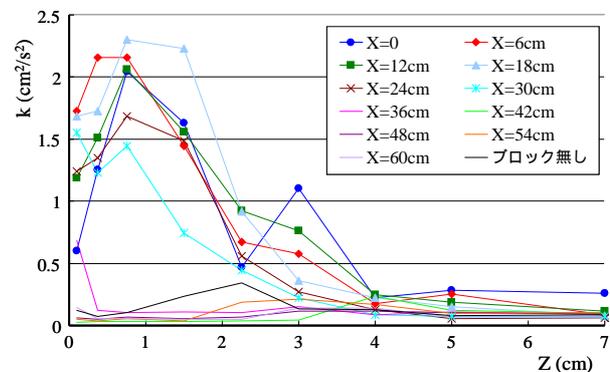


図-3 乱れエネルギー (k) の鉛直分布 (Y=-3.0cm)

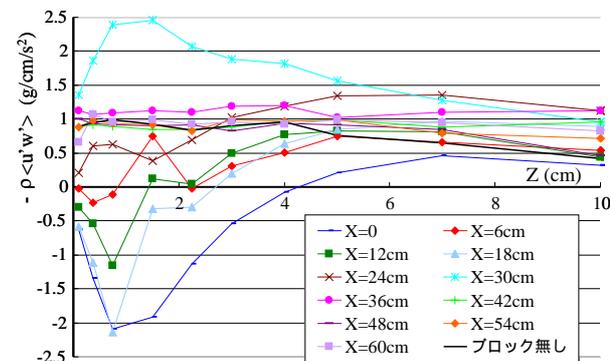


図-4 レイノルズ応力の鉛直分布 (Y=-3.0cm)