

長周期波の局所漂砂量に及ぼす効果

柴山 知也*・齊藤 栄一**・疋田 克己***
奥野 雅量****・岡安 章夫*****

1. 緒 言

岸沖漂砂に関するこれまでの研究は、主として規則波を用いた移動床実験に基づいて行われてきた。しかしながら近年、実海岸における漂砂現象をより詳細に説明することを目的として、波の不規則性の効果に注目した研究が行われる様になってきた。例えば、大塚ら（1984）は、不規則波による二次元移動床実験を行い、海浜過程を支配する代表波に関する検討を行っている。また柴山・堀川（1985）は、Shibayama・Horikawa（1985）による底質移動モデルを用いて、数値計算によって、岸沖漂砂量を支配する代表波を検討している。しかし、入江ら（1985）は、Shibayama・Horikawa モデルは、碎波帯内の比較的汀線に近い部分を除いては、岸沖漂砂量を精度よく評価できるが、汀線付近から碎波点近傍にかけて、すなわち碎波による底質浮遊効果、および碎波帯内

沖向き定常流の効果、あるいは入射波に対する長周期波の影響が顕著な領域においては、精度が低下するとしている。一方加藤ら（1989）は、現地海岸で観測を行い、汀線付近の岸沖漂砂現象の一つであるバーム地形の侵食には、不規則波の長周期成分による影響が大きいと報告している。そこで本研究では、不規則波の長周期成分に着目して、不規則波による2次元移動床実験を行い、不規則波の長周期成分が汀線付近の岸沖局所漂砂に与える影響について検討した。また、長周期波による岸沖漂砂の機構について、さらに詳しく調べるために、長周期波を含む不規則波に対して、Shibayama・Horikawa モデルによる数値実験を行った。

2. 実験概要

（1）実験装置

実験は、横浜国立大学水理実験棟の2次元不規則波造

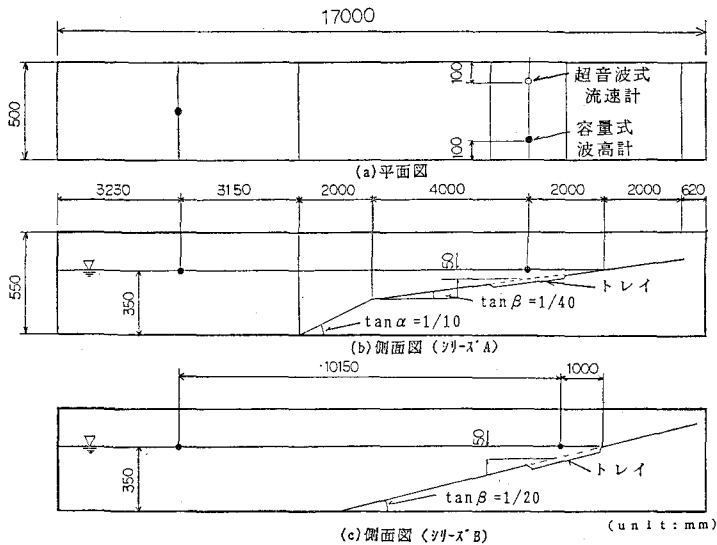


図-1 実験装置の概略

* 正会員 工博 横浜国立大学助教授 工学部建設学科
** 正会員 工修 (株)間組 技術研究所
*** 正会員 日本鋼管(株)
**** 正会員 工修 横浜市役所
***** 正会員 工博 横浜国立大学助手 工学部建設学科

波水路 (L 17×B 0.5×H 0.5 m) を使用して行った。水路には、勾配 1/20 あるいは 1/40 の固定床の斜面を作成し、その斜面の汀線に近い部分を掘込み、漂砂量を測定するためのトレイ (L 2×B 0.5 m) を設置した。トレイの深さは約 2 cm で、仕切板で岸沖方向に二等分できるようにした。沖側一様水深部の水深は 35 cm、トレイ中央部での水深は 5 cm とした。

一様水深部に容量式波高計を設置し入射波の水位変動を測定した。トレイの中央部には超音波式流速計と容量式波高計を設置し、水位変動および底面での水平流速変動を測定した。超音波式流速計は、砂れん近傍の渦の作

用の影響を受けないように底面上 1 cm の高さに設置した。実験装置の概略を 図-1 に示す。

(2) 実験条件および方法

入射波としては、Bretschneider・光易型のスペクトルをもつ不規則波を用い、有義波高 $H_{1/3}$ を 3.6~15.4 cm、有義波周期 $T_{1/3}$ を 0.89~1.52 s の間で変化させた。実験条件を表-1 に示す。

正味の漂砂量は以下のようにして計測した。実験前にトレイを仕切りを用いて 2 分割し、それぞれの部分に投入した砂の量をあらかじめ計測しておく。トレイには中央粒径 0.18 mm の粒径のそろった豊浦砂を二つの部分

表-1 実験条件

CASE	底質粒径 d_{50} (mm)	静水深 h_i (cm)	底面勾配 $\tan\beta$	有義波		平均波	
				$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (s)	H_m (cm)	T_m (s)
A-1	0.18	35.0	1/40	8.2	0.9	5.4	0.9
-2				3.6	1.2	2.3	1.0
-3				7.5	1.2	4.8	1.0
-4				11.0	1.2	7.0	1.1
-5				9.7	1.4	6.2	1.2
-6				6.8	1.3	4.3	1.1
-7				12.7	1.4	8.3	1.2
-8				15.2	1.5	10.7	1.3
B-1			1/20	7.9	0.9	5.1	0.8
-2				10.6	1.0	7.4	0.9
-3				10.5	1.2	6.8	1.0
-4				13.8	1.3	9.4	1.1
-5				11.5	1.3	7.2	1.1
-6				15.4	1.4	10.9	1.2
-7				12.3	1.5	7.8	1.3
-8				14.7	1.5	9.8	1.3

表-2 実験結果

CASE	造波時間 (sec)	砂の質量 (g)		砂の回収率 (%)	$q_{net} \times 10^3$ (g/cm/sec)	移動 方向	底面有義流速振幅 (cm/s)		底面平均流速振幅 (cm/s)		定常流速 $\bar{U}$ (cm/s)
		岸側	沖側				短周期 $U_{S1/3}$	長周期 $U_{L1/3}$	短周期 U_{Sm}	長周期 U_{Lm}	
A-1	11326	15128	14872	98.5	0.23	岸	13.2	5.9	10.5	4.0	-1.6
2	11326	13302	16699	100.0	-3.00	沖	15.1	4.9	11.0	3.3	-1.8
3	11326	15900	14100	99.2	1.59	岸	17.6	7.9	13.2	5.3	-3.3
4	11326	15964	14036	99.9	1.70	〃	16.2	9.0	12.4	5.9	-2.5
5	11326	15721	14280	98.7	1.27	〃	15.6	11.4	11.1	7.5	-2.5
6	9708	15889	14111	99.8	1.83	〃	11.4	6.8	8.0	4.4	-1.7
7	6172	16418	13582	99.7	4.59	〃	13.3	10.6	9.1	6.7	-1.5
8	4854	17108	12892	99.9	8.69	〃	12.4	12.4	8.3	8.3	-3.6
B-1	9708	14824	15176	99.7	-0.36	沖	25.4	10.9	18.8	7.1	-1.9
2	8090	13537	16463	99.9	-3.62	〃	26.0	14.1	19.3	9.6	-7.2
3	6472	13875	16125	98.8	-3.48	〃	33.8	16.6	24.2	11.3	-10.0
4	6472	13725	16276	93.8	-3.94	〃	34.2	22.9	23.7	16.3	-10.2
5	4854	14600	15399	92.9	-1.65	〃	35.7	21.5	24.4	14.4	-8.6
6	3236	13931	16069	98.4	-6.60	〃	36.0	26.8	24.6	18.3	-11.0
7	3236	14634	15336	99.3	-2.08	〃	39.1	24.8	25.4	16.3	-9.5
8	3236	13940	16010	95.5	-6.24	〃	36.8	27.7	24.2	18.2	-11.2

の合計で乾燥質量 3000 g を投入した。正味の局所漂砂量は、水平にならしたトレイ上の砂に、不規則波を作用させた後、トレイ中央に仕切りをセットし、沖側、岸側に 2 分された砂の乾燥重量を測定し、実験前の値と比較することにより求めることができる。

実験により計測した底面水平流速（以降流速と呼ぶ）の時系列データより、定常成分 $\bar{U}$ を求め、もとの時系列データより差し引いた。次に、定常成分を取り除いた時系列データに数値フィルターを作用させ、流速の長周期成分 u_L を分離した。長周期成分と短周期成分は、スペクトル解析の結果をもとに周波数 0.25 Hz で分け、短周期（波動）成分は 0.25 Hz から 5 Hz までの周波数帯に含まれる成分、長周期成分は 0.25 Hz 以下の周波数帯に含まれる成分とした。つぎに元の時系列から長周期成分を差し引くことにより、短周期成分 u_S を求めた。さらに乱れ成分を取り除くために周波数 5 Hz 以上の変動成分を分離した。次に、得られた u_L , u_S の時系列データから、zero-down cross 法で各流速振幅 U_L , U_S を定義し、これらを大きいほうから数えて 1/3 のデータについて平均することにより有義流速振幅 $U_{L1/3}$, $U_{S1/3}$ を、また全てのデータについて平均することにより平均流速振幅 U_{Lm} , U_{Sm} を求めた。これらの流速の解析結果を漂砂計測で求めた正味の漂砂量と比較することにより、底面流速と漂砂量の関係について検討を行った。

(3) 実験結果および考察

各ケースにおける実験結果を表-2に示す。ここで、 q_{net} は単位時間、単位幅あたりの正味の漂砂量で、砂の質量と共に乾燥質量で示してある。また q_{net} および定常流速 $\bar{U}$ は岸方向を正としている。

まず底面定常流速と正味の漂砂量 q_{net} の関係を図-2に示す。シリーズ A（勾配 1/40）、B（勾配 1/20）共に定常流速は、沖向きであり、戻り流れが発生している。シリーズ A ではケース A-2 を除く全てのケースで岸向き漂砂、シリーズ B では全てのケースが沖向き漂砂となった。シリーズ B では、シリーズ A に比べて戻り流れの絶対値が大きく、その影響で沖向き漂砂になったと考えられる。シリーズ A では、戻り流れの絶対値は小さく、戻り流れの影響よりも波動成分（短周期、および長周期）による岸向き輸送の影響が大きかったと考えられる。このようにシリーズ A と B では斜面勾配の効果により、戻り流れの大きさがかなり異なるため、以下では 2 つのシリーズそれぞれについて、別々に長周期成分の効果を検討する。

次に流速の長周期成分の効果について述べる。長周期、短周期それぞれの有義流速振幅 $U_{L1/3}$, $U_{S1/3}$ と正味の漂砂量 q_{net} の関係を図-3に示す。縦軸に $U_{L1/3}$, 横軸に $U_{S1/3}$ をとり、正味の漂砂量は面積で表わして

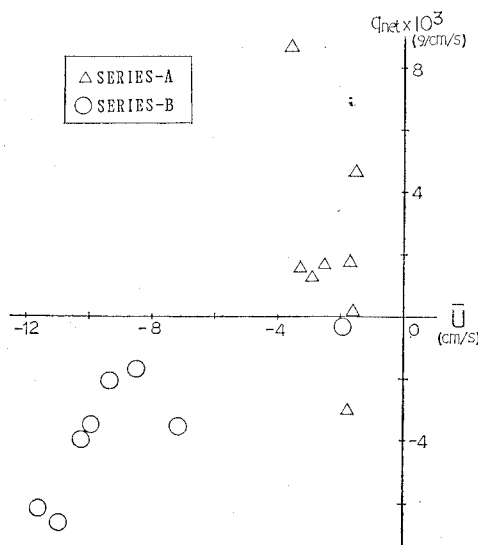


図-2 底面定常流速 $\bar{U}$ と正味の漂砂量 q_{net} の関係

ある。図中に示された数値は、各ケースでの $q_{net} \times 10^3$ (g/cm/s) の値である。図より、長周期成分が正味の漂砂量に及ぼす影響は大きく、同程度の短周期成分に対しては長周期成分の増大とともに正味の漂砂量は多くなる。逆に短周期成分が正味の漂砂量に及ぼす影響は小さい。

以上の考察をふまえて $U_{L1/3}$ と q_{net} の関係を図-4に示す。 $U_{L1/3}$ の増加にともない q_{net} の絶対値も大きくなっている。図の破線はシリーズ A, B のデータそれぞれについて、最小 2 乗法から求めた回帰直線である。 $U_{L1/3}$ と q_{net} には強い相関があり、その関係は直線近似でできることが分かる。同様に、長周期波の底面平均流速振幅 U_{Lm} と q_{net} の関係を図-5に示す。 U_{Lm} と q_{net} の関係も直線近似が可能である。次に、今回の実験ケースでの $U_{L1/3}$ と q_{net} および U_{Lm} と q_{net} の相関係数を表-3に示す。同じ実験ケースに対しては、どちらの相関係数もほぼ等しくなった。以上の考察により、岸沖漂砂量を算定する指標として、長周期波の底面有義流速振幅 $U_{L1/3}$, または底面平均流速振幅 U_{Lm} を用いることができるのではないかと考えている。

3. Shibayama・Horikawa モデルによる数値実験

(1) 数値実験の方法

2. に述べた水理実験では、汀線付近の岸沖方向局所漂砂量には、不規則波の長周期成分の影響が大きいことが明らかになった。そこで、この事実についてさらに詳しく調べるために、汀線近傍とは限らずに浅海領域を対象にして、Shibayama・Horikawa モデルによる数値実験を行った。まず、計算機内で数値フィルター法を用い

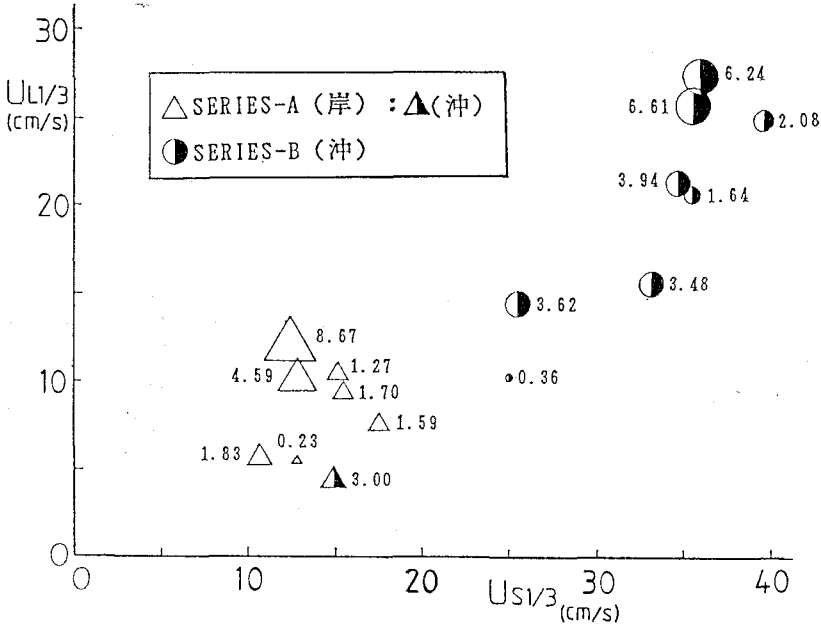


図-3 底面有義流速振幅 $U_{L1/3}$, $U_{S1/3}$ と正味の漂砂量 q_{net} の関係 (図中数字は正味の漂砂量 10^{-8} g/cm/s)

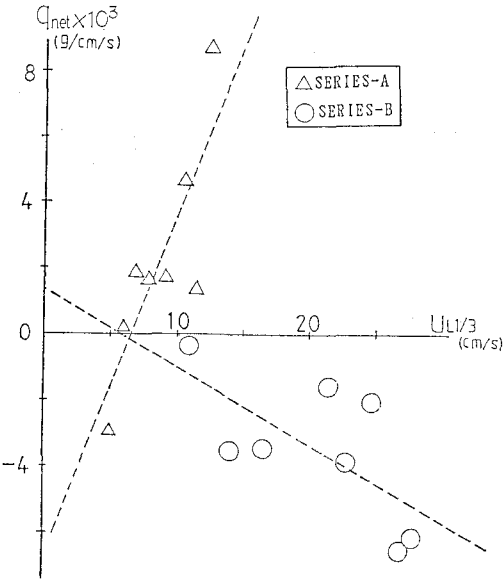


図-4 底面有義流速振幅 $U_{L1/3}$ と正味の漂砂量 q_{net} の関係

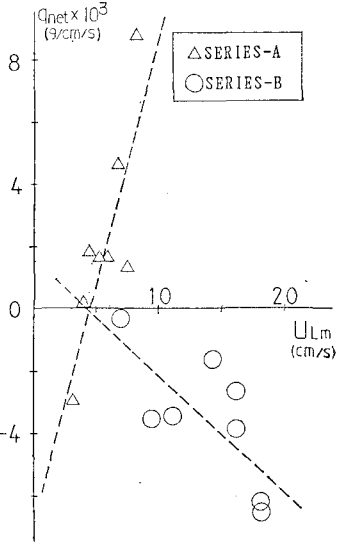


図-5 底面平均流速振幅 U_{Lm} と正味の漂砂量 q_{net} の関係

表-3 底面流速振幅と漂砂量の相関係数

実験シリーズ	$U_{L1/3}$ と q_{net}	U_{Lm} と q_{net}
SERIES-A	0.82	0.82
SERIES-B	0.67	0.69

て不規則波を発生させ、その波形について zero-down cross 法を適用することにより、個々の波を定義した。個々の波に対しては Shibayama・Horikawa (1985) と同様の方法により、対応する底面流速を計算し、さらに個々の波の底面流速の条件より半波ごとの岸沖漂砂量を算定し、各岸沖漂砂量を足し合わせることで、岸沖局所漂砂量を評価した。

次に、不規則波形に数値ローパスフィルターを作用させ、 $f=0.25 \text{ Hz}$ で短周期成分と長周期成分に分離し、短周期波、長周期波それぞれの時系列を定義した。さら

にそれぞれの底面有義流速振幅を算定した。図-6に、図-3と同様の形式で数値実験の結果を示す。図より、底面有義流速振幅の長周期成分 $U_{L1/3}$ が大きくなるにつれて、岸沖漂砂量の絶対値も増加する傾向は必ずしも見受けられない。むしろ短周期成分 $U_{S1/3}$ の影響が強い結果となった。前章でも示した通り実際の実験では、岸沖漂砂は長周期波及び戻り流れの影響を受けており、浮遊砂がこれらの運動の下に移動していたと考えられる。Shibayama・Horikawa モデルは、zero-down cross 法で定義された不規則波の一波ごとに規則波による漂砂量を援用して計算するために、一つの波で一つの漂砂過程は完結するとして構成されている。よって、一周期以上にわたって浮遊し、おもに長周期波あるいは戻り流れによって運動する浮遊砂は取り扱うことができない。

表-4に今回の水理実験における底面流速の時間変化に Shibayama・Horikawa モデルを直接適用して正味の漂砂量を計算し、実験結果と比較したものを示す。表よりこのモデルが長周期波の影響下ではよい結果を与えないことが確認できた。この傾向は先に入江ら(1985)が底面流速の実測値に Shibayama・Horikawa モデルを適用し、不規則波の下での漂砂量を説明しようとした時にも指摘されており、このモデルの限界を示したものとも言える。水理実験では、数値実験の結果と傾向が異なり、長周期成分が岸沖漂砂量に与える影響が大きかったことから、浮遊砂と不規則波の長周期成分が特に汀線付近で大きな役割を果たしていることが推定される。このことはさらに詳細な実験によって明らかにする必要がある。

4. 結 論

不規則波浪場の長周期成分に着目して、岸沖漂砂に対する実験的な検討を行い、以下の結論を得た。

(1) 汀線近傍においては、長周期変動の岸沖局所漂砂量に与える影響は大きく、長周期流速の変動成分が大きくなると正味の岸沖漂砂量も多くなる。

(2) 長周期波の底面有義流速振幅 $U_{L1/3}$ および底面平均流速振幅 U_{Lm} は正味の岸沖漂砂量に相関があり、岸沖漂砂量を算定する指標として用いることが可能である。

以上に述べたように長周期変動の岸沖局所漂砂量に与える影響について、水理実験および数値実験から確認した。水理実験では、砂澱の影響の下に浮遊砂が顕著であり、岸沖漂砂量は不規則波の長周期成分と関係があると考えられる。今回は、浮遊砂の詳しい観察および検討は行わなかったため、今後は、不規則波の長周期波成分、浮遊砂、および戻り流れの関係を明らかにする必要がある。そして長周期成分の影響を取り入れた岸沖漂砂量モデルを構築していく必要がある。

本研究は文部省科学研究費一般 B, No. 01460182 (代

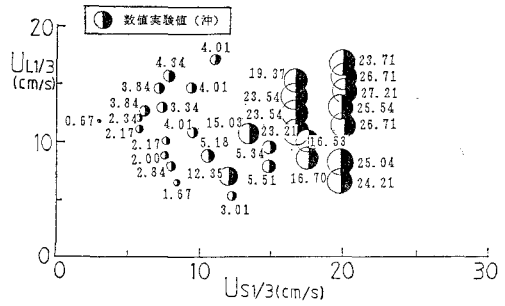


図-6 底面有義流速振幅 $U_{L1/3}$, $U_{S1/3}$ と正味の漂砂量 q_{net} の関係

表-4 数値実験と水理実験の比較

CASE	実 験 結 果			計算結果
	$U_{S1/3}$ (cm/s)	$U_{L1/3}$ (cm/s)	$q_{net} \times 10^3$ (g/cm/s)	$q_{net} \times 10^3$ (g/cm/s)
A-1	13.2	5.9	0.23	-5.41
-2	15.1	4.9	-3.00	-8.66
-3	17.6	7.9	1.59	-7.00
-4	16.2	9.0	1.70	-7.24
-5	15.6	11.4	1.27	-5.23
-6	11.4	6.8	1.83	-0.85
-7	13.3	10.6	4.59	0.04
-8	12.4	12.4	8.69	0.86
B-1	25.4	10.9	-0.36	-11.87
-2	26.0	14.1	-3.62	26.85
-3	33.8	16.6	-3.48	43.33
-4	34.2	22.9	-3.48	-3.69
-5	35.7	21.5	-1.65	-23.22
-6	36.0	26.8	-6.60	-33.61
-7	39.1	24.9	-2.08	29.41
-8	36.8	27.7	-6.24	-41.43

表者、合田良実), および株式会社間組よりの研究費による研究であることを付記する。

参 考 文 献

- 入江 靖・柴山知也・渡辺 晃(1985): 不規則波による二次元海浜変形と岸沖漂砂量, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 316~320.
- 大塚行則・三村信男・渡辺 晃(1984): 不規則波による二次元海浜変形と岸沖漂砂, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 321~325.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良(1989): 荒天時のバーム地形の侵食—長周期波に注目した現地観測—, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 354~358.
- 柴山知也・堀川清司(1985): 不規則波による漂砂量の数値実験, 第40回土木学会年講概要集, Vol. II, pp. 605~606.
- Shibayama, T. and K. Horikawa (1985): A numerical model for two-dimensional beach transformation, Proc. JSCE, No. 357, pp. 167~176.