

swash zone における波毎の岸沖漂砂量と前浜地形変化について

清水隆夫*・池野正明**・鹿島遼一***・今井澄雄****

1. はじめに

海浜変形予測モデルにおいて前浜の地形変化を適切に予測するためには swash zone の漂砂量を精度良く評価する必要がある。最近では西ら (1994) や郷農ら (1995) が前浜の侵食について検討しており、丸尾ら (1995) が透水性や粗度を考慮したモデルを提案している。また、浅野ら (1994) に見られるように浜漂砂の沿岸漂砂への寄与が見直されている。

これまでに、捕砂器を用いた swash zone の漂砂量の現地観測が試みられている。香取ら (1983) は波の遡上を妨げずなおかつ取りこぼしのないような吹き流し式のトラップを考案、改良して現地に適用している。小川ら (1981) は蓋付のたらい型のトラップを沿岸方向に並べて順番に蓋を開閉することで波の位相毎の捕砂量を測定している。こうした現地観測は波にもまれながらの測定が難しい、測定精度が検証できないなどの問題があった。そこで、net の漂砂量を検証することのできる大型造波水路で岸沖海浜変形実験を行ない、簡便な捕砂器を考案・製作して不規則波の波毎の遡上波と引き波の漂砂量を別々に測定して、外力との関係を明らかにした。

2. 実験方法と実験ケース

深さ 6 m、幅 3.4 m、長さ 205 m の大型造波水路において図-1 に示した中央粒径 1 mm の砂で斜面をつくり、JONSWAP スペクトルの先鋭度パラメータ $\gamma=7$ の不規則波による海浜変形の岸沖断面実験を行った。この不規則波は 100 波で繰り返すように起こした。

初期静水時汀線から 2 m 岸側 (A 地点) の swash zone において波高、流速、波毎の漂砂量を測定した。加えて、初期静水時汀線から 6 m 沖側の surf zone (B 地点) において波高を測定した。波高の測定には容量式波高計、流速の測定には電磁流速計を用いた。波毎の漂砂量の測定には写真-1 に示す長さ 1 m の筒状の袋に幅 5 cm、高さ 20 cm の長方形の口を取り付けた捕砂器 50 個を用いた。

袋は 97 μ メッシュのナイロン製プランクトンネットで作った。砂の粒度分布は 0.2 mm 以上なのでこの捕砂器によってほとんどの砂を捕捉することができる。捕砂器の口は針金製とし、これに持ち手をつけた。これを次々に繰り出すため写真-2 のように折り畳んで、重ねて準備した。100 波で繰り返される不規則波の前半の遡上波と引き波、後半の遡上波と引き波の 4 回に分けて測定した。写真-3 のように砂斜面に鉄パイプを立てて足場板を渡し、その上から砂を捕捉した。1~50 まで番号を付けた捕砂器で波毎の漂砂量を測定し、波高計と流速計の測定値はリニアコードでモニタリングしながらパソコンで収録した。遡上波の漂砂量を測定するときは swash zone

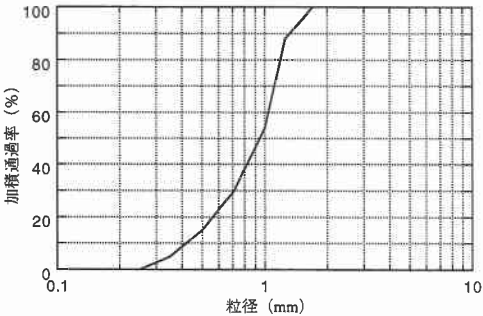


図-1 実験に用いた砂の粒度分布



写真-1 捕砂器

* 正会員 工修 電力中央研究所研究主幹 水理部
 ** 正会員 工博 電力中央研究所主査研究員 水理部
 *** 正会員 工修 電力中央研究所参事 我孫子研究所
 **** 正会員 東京電力(株) 原子力建設部



写真-2 捕砂器の準備



写真-3 swash zone における漂砂量の測定

に入ってきたボア状の波の先頭が測定地点に到達した瞬間に捕砂器の口を沖に向けて砂面上に立てた。このとき、捕砂器の番号を読み上げ、リニアコードのチャート上にこの番号を記入して、どの波の漂砂量を測定したのかを対応づけた。引き波の漂砂量を測定するときは測定地点で流速が岸向きから沖向きに転向した瞬間に捕砂器の口を岸向きにして砂面に立てた。この方法で、多いものでは1袋700g程度の砂が捕捉された。

実験ケースと実験条件を表-1に示したように、1/10勾配斜面で波形勾配の大きい浸食性のケース1と1/50勾配斜面で波形勾配の小さい堆積性のケース2の2ケースについて実験を行った。ただし、ケース2では造波水深を大きくとるために斜面を高めに設定し、沖側を1/10勾配で水路底にすりつけた。

3. 実験結果

(1) 地形変化と漂砂量

図-2と3に両ケースの地形変化を示した。図中、縦軸Zは静水位を基準とした鉛直座標、Xは水路岸側端からの距離である。ケース1では静水時汀線を中心に前浜が浸食され、大きなバーが発達した。ケース2では1/50斜面の沖側端の法肩部分の砂が岸側に運ばれてバーを形成したが、swash zoneでの地形変化はごくわずかであっ

表-1 実験ケースと実験条件

ケース	初期斜面の勾配	沖波の有義波高	沖波の有義波周期
1	1/10	1.2 m	3 s
2	1/50	0.5 m	8 s

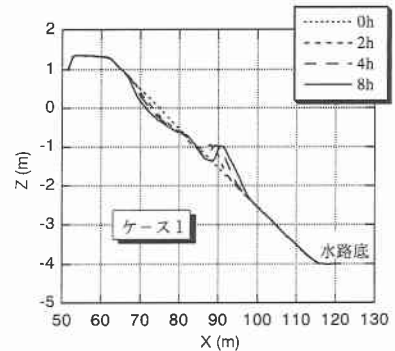


図-2 地形変化 (ケース1)

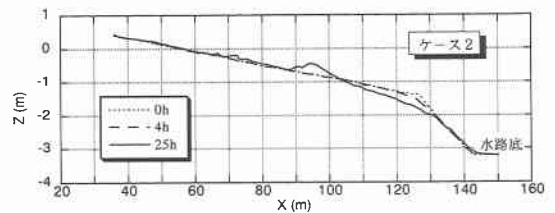


図-3 地形変化 (ケース2)

た。

図-4にはswash zoneで明瞭な地形変化があったケース1の0hから2hまでについて、地形変化から逆算して推定したnetの漂砂量を示した。地形変化量を岸側から沖へ向けて積分するために沖へ行くほど誤差が蓄積していく。しかし、岸側端に近いswash zoneの漂砂量を精度よく推定するために、敢えて誤差を修正していない。ただし、積分区間の岸側端を遡上限界にとって、推定誤差をできるだけ小さくするように努めた。図からは捕砂器で漂砂量を測定したX=73m地点で沖向きのnetの漂砂量が $6.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$ と読み取れる。

(2) swash zone における波高、流速と漂砂量

図-5にswash zoneのA地点においてトラップされた波毎の漂砂量、A地点における流速と水面の変動、ならびにsurf zoneのB地点の水面変動を示した。波毎の漂砂量は遡上波と引き波を別々にとっているが、便宜上、波形と対応させて一括して示した。流速計のデータは測定部が空中に出ているときは激しいノイズを出す。図ではこの部分を削除している。また、A地点の波とB地点

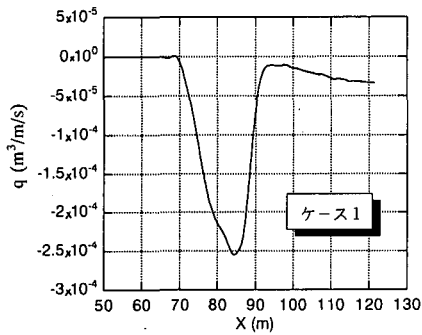


図-4 地形変化から逆算した漂砂量 (ケース 1)

の波を破線に対応づけた。

surf zone から swash zone に入ると波の数が半分程度に急激に減少し、波がグループ化している。波の数が減ることについては、引波に押し戻されて次の波が上がってこない、あるいはその次の波に飲み込まれるといったことが観察されている。そのグループの先頭の遡上波による岸向流速が速く、グループ最後の引き波による冲向流速が速く、漂砂量も大きい。

表-2 にはケース 1 について、遡上波の波高 H 、その下の水深すなわち先行する波の谷の水深 h 、遡上波の流速振幅 U_u と漂砂量 Q_u 、引き波の流速振幅 U_d と漂砂量 Q_d を示した。 U_u に負のデータが見られるが、これは引波の作用が底面付近に現れているためである。 Q_u の合計は 65.7 l/m 、 Q_d の合計は 84.4 l/m で、差引は冲向きに 18.7 l/m となる。これは造波 100 波分 300 s の漂砂量であるから、これを換算すると $6.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$ となり、地形変化から逆算した漂砂量と非常によく一致する。

(3) swash zone における漂砂量と外力の関係

図-6 と 7 に小川ら (1981) にならって引き波と遡上波の波毎の無次元漂砂量 Φ' と無次元掃流力 Ψ' の関係を示した。引き波については両者の相関がよく、次式の関

表-2 swash zone における波高、流速振幅と漂砂量 (ケース 1)

$H(\text{m})$	$h(\text{m})$	$U_u(\text{m/s})$	$Q_u(\text{l/m})$	$U_d(\text{m/s})$	$Q_d(\text{l/m})$
0.225	0.000	0.90	3.15	1.15	2.74
0.150	0.000	0.90	1.43	0.60	0.23
0.100	0.025	0.40	0.29	0.80	0.70
0.175	0.013	0.65	1.69		
0.225	0.112	0.20	0.70	1.30	3.03
0.100	0.050	0.25	2.45	1.00	1.89
0.062	0.013	0.70	0.23	0.60	0.33
0.150	0.000	0.50	1.40	1.00	0.87
0.213	0.050	0.60	9.30		
0.200	0.125	0.35	0.23	1.10	3.21
0.138	0.000	0.60	1.05		
0.150	0.062	0.60	0.31	1.00	1.13
0.100	0.112	0.50	0.29	0.60	0.47
0.062	0.000	0.50	0.17	0.30	0.21
0.162	0.038	0.60	0.58		
0.213	0.087	0.00	0.64	0.90	1.54
0.150	0.000	0.60	2.45		
0.200	0.038	0.45	0.65		
0.125	0.138	-0.20	0.12	0.80	2.74
0.075	0.000	0.90	0.30		
0.138	0.038	-0.10	0.24	0.50	0.73
0.200	0.000	0.85	2.81	1.10	3.26
0.200	0.025	0.90	2.52	1.10	0.61
0.150	0.075	-0.20	0.45		
0.125	0.025	0.60	1.11	0.90	0.23
0.175	0.038	0.60	4.31	1.20	2.51
0.200	0.000	0.60	5.48		
0.138	0.100	0.00	0.12	1.40	1.07
0.062	0.000	0.80	0.27		
0.250	0.062	0.60	0.64	1.30	3.73
0.075	0.000	0.90	0.82	1.20	0.90
0.125	0.000	0.90	1.63	1.20	2.04
0.150	0.000	0.70	2.02	1.00	1.14
0.200	0.050	0.80	2.45	2.00	15.51
0.087	0.000	0.85	0.97		
0.213	0.050	0.30	1.19	1.30	3.50
0.087	0.000	0.75	0.17		
0.125	0.000	1.25	0.58	1.30	3.11
0.200	0.025	0.90	0.12		
0.225	0.150	0.80	3.73	1.80	17.49
0.075	0.000	0.60	0.22		
0.275	0.050	0.70	1.14	1.40	4.90
0.125	0.000	1.00	1.35		
0.250	0.050	0.70	0.73	1.35	4.57

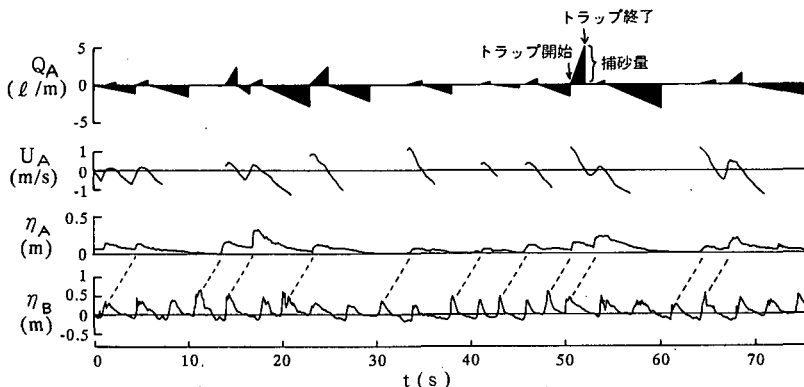


図-5 swash zone における水面変動、流速変動と漂砂量 (ケース 1)

係にある。

$$\Phi' = 0.037 \Psi'^{1.29} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Phi' = Q/(wD_{50}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Psi' = U^2/s'gD_{50} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Q は半波毎の漂砂量、 w は砂の沈降速度、 D_{50} は砂の中央粒径、 U は流速振幅、 s' は砂の水中比重、 g は重力加速度である。

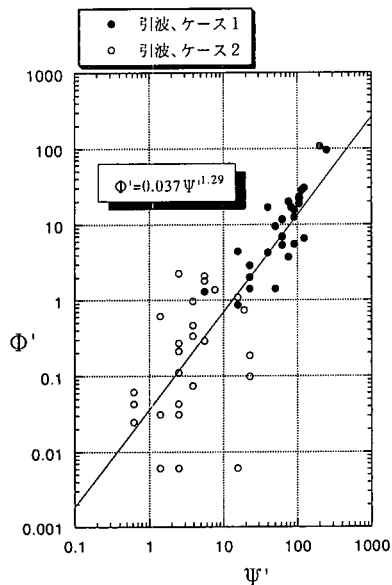


図-6 引き波の波毎の無次元漂砂量 Φ' と無次元掃流力 Ψ' の関係

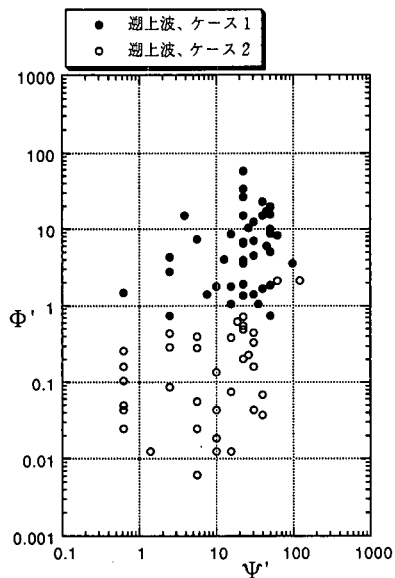


図-7 遡上波の波毎の無次元漂砂量 Φ' と無次元掃流力 Ψ' の関係

しかし、遡上波については両者の相関がよくない。遡上波では段波が砂を巻き込んで斜面を駆け上がるので、漂砂量は無次元掃流力だけでなく段波の厚さ、すなわち

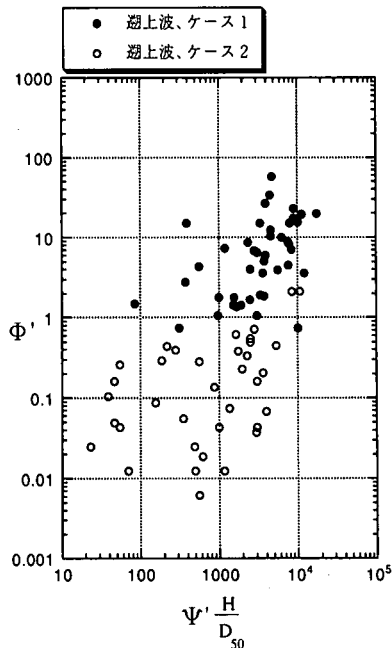


図-8 遡上波の波毎の無次元漂砂量 Φ' と無次元掃流力 $\Psi' \times$ 無次元波高の関係

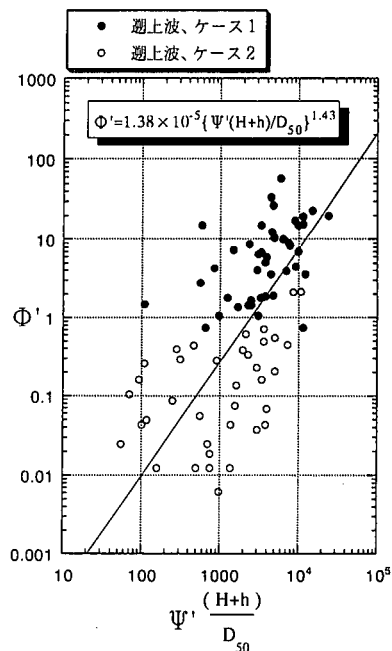


図-9 遡上波の波毎の無次元漂砂量 Φ' と無次元掃流力 $\Psi' \times$ 無次元段波厚さの関係

H あるいは $H+h$ と関係があると考えられる。そこで、両者を粒径で無次元化して Ψ' との積をとり、 Φ' との関係を調べると図-8、図-9のようになる。後者が比較的良好な相関を示し、次式のような関係になっている。

$$\Phi' = 1.38 \times 10^{-5} \{ \Psi' (H+h) / D_{50} \}^{1.43} \dots\dots\dots (4)$$

4. おわりに

本研究では以下の結論を得た。

- 1) 前浜が浸食され、その地形変化から逆算される冲向きの net の漂砂量と捕砂器で 100 波分測定された引き波の漂砂量から遡上波の漂砂量を差し引いた冲向きの net の漂砂量は非常に良く一致し、この漂砂量測定法の精度が検証された。
- 2) surf zone から swash zone に入ると波の数が半分程度に急激に減少し、波がグループ化する。そのグループの先頭の遡上波による岸向流速が速く、グループ最後の引き波による冲向流速が速く、漂砂量も概して大きい。
- 3) 引き波の漂砂量は無次元掃流力と良い相関が認められる。
- 4) 遡上波の漂砂量は無次元掃流力と砂の中央粒径で無

次元化した段波の厚さの積との相関が認められた。

本研究は電力 9 社と日本原子力発電 (株) による電力共通研究の一部として実施した成果であることを付記する。最後に、今回の実験に協力いただいた (株) CRS の稲葉大介氏、安川剛史氏、(株) 八重洲土木技術センターの嶋野三男氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- 浅野敏之・末富博文 (1994): 斜め遡上波の下での波打ち帯の漂砂の解析, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 396-400.
- 小川由信・首藤伸夫 (1981): 波打帯での水理特性および砂移動の現地観測, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 212-216.
- 香取完和 (1983): 吹き流し式トラップによる漂砂観測, NERC Rep. No. 17, TR-82-1, 第 7 回合同総合現地観測報告書, 海岸環境工学研究センター, pp. 110-117.
- 郷農一之・有村盾一・服部昌太郎 (1995): 浜崖地形の形成機構, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 616-620.
- 砂村継夫 (1983): Swash zone における岸沖漂砂量の算定式, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp. 214-218.
- 西隆一郎・佐藤道郎 (1994): 砂丘-海浜系の侵食に関する現地観測と数値実験について, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 541-545.
- 丸尾 剛・Mohammad Dibajnia・渡辺 晃 (1995): 遡上域に拡張したブシネスク方程式と漂砂量式を用いた海浜断面変形モデル, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 611-615.