

大型造波水路による岸沖漂砂の実験的研究

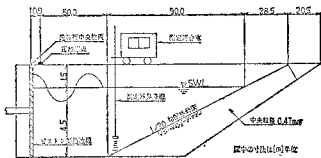
鹿島 遼一*・清水 隆夫*・丸山 康樹*・斉藤 昭三**

1. ま え が き

岸沖漂砂に関する研究としては、従来より数多くの室内実験および現地観測が行われて来ている。しかし、室内実験では現象の規模が小さいため、測定上の困難がある上に、実験結果を現地海岸に拡大適用する場合、スケール効果の点で問題が残されている。一方、現地観測では現象が三次元的で複雑なこと、外力としての波浪が不規則波で絶えず変化し、しかも潮位変動が無視できないなど、多くの問題点がある。これらの問題点を解消し岸沖漂砂の研究に資するために、海浜変形実験用大型造波水路を建設した。本論文は、この大型造波水路において実施した、現地海岸に近い規模での岸沖漂砂実験のこれまでの成果を取りまとめたものである。

2. 実験方法と実験条件

大型造波水路は、幅 3.4m、深さ 6m、長さ 205m で、造波機は油圧駆動のピストン型である。地形は、図—1



図—1 実験装置

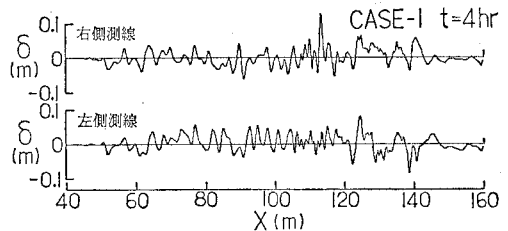
に示すように、1/20 勾配とした。使用した砂は茨城県鹿島郡神栖町高浜において採掘したもので、ふるいかけ洗浄により粒度調整を行った。中央粒径は 0.47mm である。

実験条件を表—1に示した。波高の測定には、現地観測用に開発された 6 方式 7 機種種の波高計を試用検討した結果、当水路での操作性等も考慮して、容量式波高計と空中発射型超音波式波高計を並用することとした。流速の測定には、2 方向電磁流速計を用いた。水中部分の地形変化の測定には超音波式測深器を用い、空中部分では

表—1 実験条件 Case-1~8

Case	周期 T (sec)	換算沖波波高 H_0 (m)	波作用時間 t (hr)
1	6.0	0.46	20.00
2	6.0	0.96	32.75
3	9.0	0.95	69.50
4	3.0	0.56	7.25
5	4.5	0.25	48.00
6	6.0	0.53	12.00
7	4.5	0.33	48.00
8	3.0	0.85	20.00

砂面計を用いた。測線は水路幅の中央としたが、水路の二次元性を検討するために、ケース 1 については水路幅中央およびその左右 1.1m の 3 測線で水深を測定した。左側および右側の水深と中央の水深の差 δ を図—2 に示した。中央測線の水深に対する左側測線と右側測線の水深の差は ± 5 cm 程度であり、中央測線がほぼ地形変化を代表することが確認された。



図—2 3 測線の測深結果 (中央測線に対する差)

3. 岸沖方向断面形

図—3 に各ケースの初期地形と最終地形を示した。各ケースとも移動床斜面の法先ではほとんど地形変化が無く、有限の水深 (4.5m) で実験したことによる影響はほぼ無視し得るものと考えられる。各ケースの碎波形態はいずれも plunging 型で、碎波点は図—3 の bar の位置の 3~5m 程度沖側であった。ケース 1 において、ヒーリーの方法による反射率 K_r の測定を行ったところ $K_r = 0.1$ 程度であった。これは、予備実験として行なった 1/15 勾配の固定床での実験値 $K_r = 0.05$ よりも大きく、

* 正会員 工修 (財) 電力中央研究所 土木技術研究所 海岸水理研究室

** (財) 電力中央研究所 土木技術研究所 海岸水理研究室

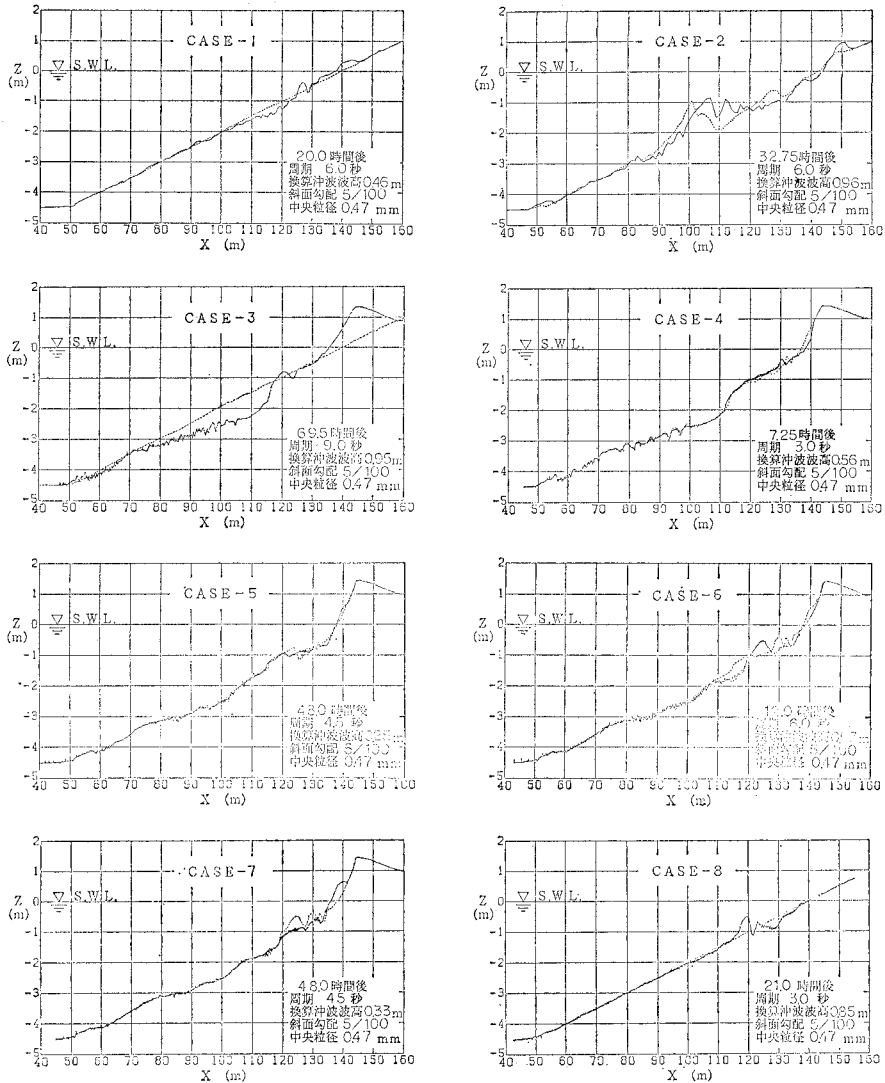


図-3 各ケースの初期地形(破線)と最終地形(実線)

bar の存在により反射率が増加したものと考えられる。また、ケース3のように前浜勾配が大きく、砕波点が岸に近付くと反射率が多少増加する傾向が見られた。

4. 汀線の前進・後退

Sunamura and Horikawa (1974)¹⁾ は室内実験で得られたデータを整理して、二次元地形変化を3タイプに分類し、それらが下式で示される指標 C によって判定できることを示した。

$$C = (H_0/L_0)(\tan \bar{\beta})^{0.27}(D/L_0)^{-0.67} \dots\dots\dots (1)$$

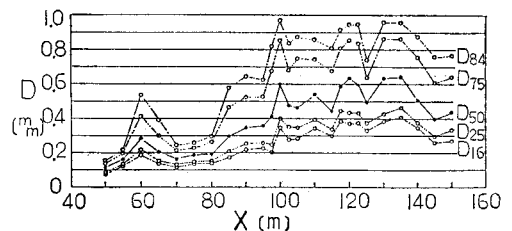
ここに、 H_0 : 沖波波高, L_0 : 沖波波长,

$\tan \bar{\beta}$: 平均海底勾配, D : 底質の中央粒径

同論文では、現地海岸の汀線の前進後退が同様の指標で判定できることを示した。さらに砂村 (1980)²⁾ は新

たな現地海岸のデータを追加し、前進後退の境界値 C_0 が、実験室の結果 ($C_0=4\sim 9$) よりも大きく、 $C_0=18$ であることを示した。

今回の実験結果もこの指標 C によって整理したが、実験の継続に従って砂の sorting が進み、図-4 に示したように中央粒径が沖から岸へ向けてほぼ一様に増加する

図-4 岸沖方向の各点における粒径 (D_n は $n\%$ 通過粒径)

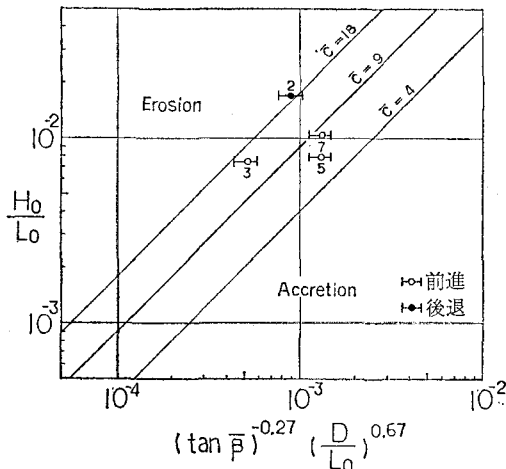
表—2 汀線の前進・後退量と C の比較

Case	T (sec)	H_0 (m)	波作用時間 (hr)	前 進 量** (m)	C		
					$D=0.57$ mm	$D=0.47$ mm	$D=0.37$ mm
1*	6.0	0.46	20.00	+2.1	8.1	9.2	10.8
2	6.0	0.96	32.75	-1.3	16.9	19.2	22.5
3*	9.0	0.95	69.50	+4.6	12.8	14.5	17.1
4	3.0	0.56	7.25	-1.4	15.6	17.7	20.8
5	4.5	0.25	48.00	+0.5	5.3	6.1	7.1
6	6.0	0.53	12.00	-0.9	9.3	10.6	12.5
7	4.5	0.33	48.00	+2.5	7.0	8.0	9.4
8*	3.0	0.85	20.00	0	23.6	26.9	31.5

* 波作用前に、移動床を 1/20 勾配に整地したケース

** 汀線の前進量は、初期汀線位置と最終汀線位置の差

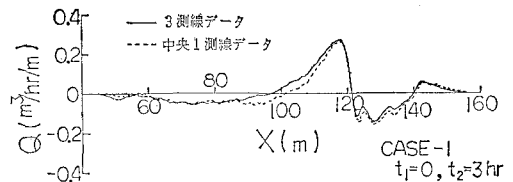
傾向が見られる。そこで、各ケースの汀線の前進後退量と、 0.47 mm, 0.47 ± 0.1 mm の 3 種の中央粒径に対して (1) 式で計算した C の値とを 表—2 に示した。また、汀線の前進後退の時間的経過を調べた結果、実験開始から 30 時間程度で汀線の移動がほぼ停止することがわかった。以上により、波作用時間が 30 時間以上のケース 2, 3, 5 および 7 について、汀線の前進後退傾向と C との関係を 図—5 に示した。図中の点は中央粒径 0.47 mm に対応し、 0.47 mm ± 0.1 mm の値を範囲で示した。境界値 C_0 の値は砂村 (1980)²⁾ の指摘した $C_0=18$ に非常に近く、従来言われてきた二次元水槽実験のスケール効果が実証された。



図—5 汀線の前進・後退

5. 岸沖漂砂量

連続式を用いて 2 時刻の測深図から、その間の岸沖漂砂量を計算することができる。2. で述べた水路方向 3 測線上の水深変化が漂砂量計算に及ぼす影響を調べる必要があり、その結果を 図—6 に示す。水路方向単位幅、単位時間の岸沖漂砂量 Q ($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}$) は岸向きを正とした。図中の実線は 3 測線の平均水深から、破線は中央測線の水深からの値である。中央測線を代表測線とすると、この例では最大 $0.05 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}$ 程度の誤差が認められる。



図—6 岸沖漂砂量計算における誤差

図—7 はケース 3, 7 および 8 について、中央測線上の 2 時刻の測深図から計算した岸沖漂砂量分布の時間的变化を示したものである。ケース 3 と 7 は岸向きの、ケース 8 では沖向きの砂移動が卓越し、(1) 式の C との相関が見られる。しかし、堆積傾向にあるケース 3 と 7 を比較したとき、 C の値からはケース 7 に、より強い堆積傾向が予想されるにもかかわらず、計算された漂砂量はケース 3 の方が大きい。

漂砂量分布の特性をピーク値と移動範囲で単純に代表させると、ピーク値については波高との、移動範囲については周期との比例関係が、全ケースについてほぼ認められた。4. で述べた砂村 (1980)²⁾ のモデルは汀線の移動速度と周期が逆比例関係にあり、この点については今後、より詳しく検討する予定である。

侵食型であるケース 8 については、碎波点の沖側 3 m

また、砂村 (1980)²⁾ は指標 C を用いて次式のような汀線の移動速度の簡単なシミュレーションモデルを提案している。このモデルを用いて計算した各ケースの前進後退速度を実験値と比較し、汀線が後退するケースでは比較的良く一致するが、前進するケースでは誤差が非常に大きいという結果を得た。

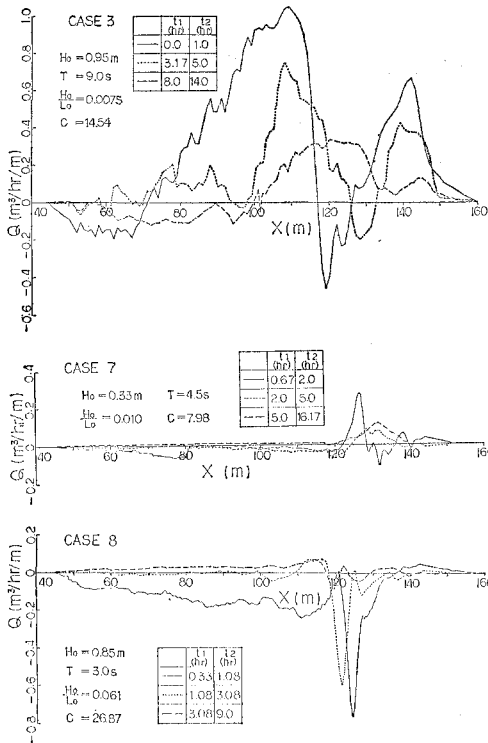
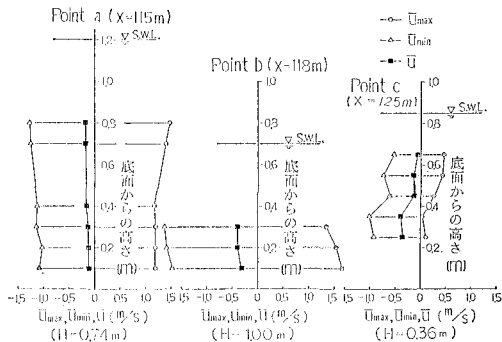
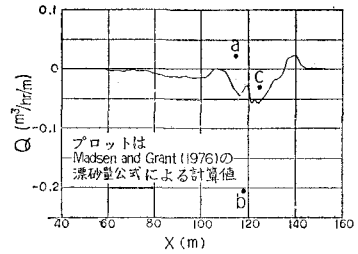


図-7 岸沖漂砂量の時間変化(岸向为正)

の地点 a, 碎波点 b およびその岸側 7m の地点 c において, 水平流速の鉛直分布を測定した. 電磁流速計を用いたため, 表面近くの流速は測定できなかった. 結果を図-8 に示す. 図中, $\bar{U}_{\max}$ と $\bar{U}_{\min}$ は 1 波ごとの水平流速(岸向为正)の最大値と最小値を 9 波平均した値で, $\bar{U}$ は平均流速である. いずれの地点でも, 底面からかな

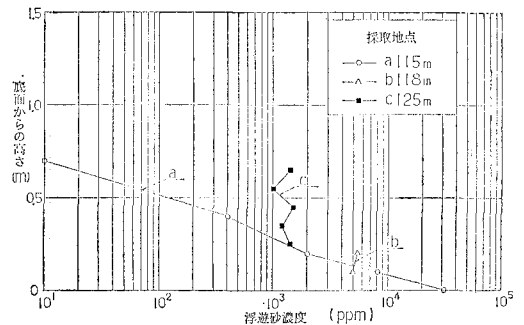
図-8 水平流速の鉛直分布(ケース 8, $t=18 \text{ hr}$)

りの高さまで沖向きの定常流速が存在し, 碎波点から岸側にかけては 0.5 m/s に達する. また, 碎波点の沖側でも, 沖向きの定常流速成分が測定されたことは, 渡辺ら(1980)⁴⁾ や Bijker (1974)⁵⁾ の固定床での実験例とも異なり, 注目に値する.

図-9 Madsen and Grant (1976)⁸⁾ の式による推定値と実測値(ケース 8, $t=18 \text{ hr}$)

次に, Madsen and Grant (1976)⁵⁾ の漂砂量推定式と測深図から計算した漂砂量との比較を試みた. 結果を図-9 に示す. 漂砂量の推定に用いた流速は底面に最も近い図-8 の測定結果を用いた. 測深図から計算した漂砂量はかなり小さく, 前述した漂砂量計算の最大誤差に近いことから定量的には問題があるが, 全体の傾向は比較的良く一致する. また, 漂砂量の推定には Jonsson (1976)⁶⁾ の摩擦係数を用い, 粗度 K_N には砂の中央粒径を用いた. a, c 地点の底面には砂澁(高さ約 4.4 cm)が見られ, K_N を砂澁の高さとした場合, 結果は図-9 より 1 オーダ大きくなる.

上記 3 地点では, 水中ポンプ採水により浮遊砂濃度の鉛直分布を測定し, 結果を図-10 に示す. b, c 点では

図-10 浮遊砂濃度の鉛直分布(ケース 8, $t=18 \text{ hr}$)

浮遊砂濃度の鉛直分布が一様であることと, 図-8 の流速測定範囲より上方の水面近くでは質量の保存則から岸向きの定常流成分が考えられることから, 浮遊砂の net の移動量は少ないものと推定される. 一方, a 点では底面に近いほど濃度が高いため, 定常流成分によって浮遊砂が net で沖向きに移動しているものと推定される. 浮遊砂濃度の時間変動を測定していないので, 流速との位相関係が不明であるが, a 点について定常流成分と浮遊砂濃度の積から浮遊砂の移動量を推定すると約 $0.05 \text{ m}^3/\text{hr/m}$ となる. この値は測深図から計算された最大漂砂量に匹敵し, 少なくとも碎波点の沖側では浮遊砂を考慮した漂砂量モデルを考える必要があろう.

6. 結 論

岸沖漂砂による地形変化を汀線の前進・後退としてマクロ的に評価する場合, Sunamura and Horikawa (1974)¹⁾, 砂村 (1980)²⁾ の現地海岸に対する指標 C でほぼ判定可能で, その境界値は $C_0=18$ 程度となる。

汀線の移動速度に関しては, C で判定される堆積型に対して砂村 (1980)²⁾ のモデルとの相関が悪い。測深図から計算した岸沖漂砂量のピーク値および移動範囲はそれぞれ波高, 周期との比例関係がほぼ認められた。

侵食型に限定して, 鉛直方向の流速分布を測定し, 漂砂量推定式の1つである Madsen and Grant (1976)³⁾ の結果と, 測深図から計算した漂砂量との比較を行った。定常流速は碎波帯の内外で沖向きであり, この流速の理論的解明は今後の課題として残るが, 実測した流速から推定した漂砂量と測深図から計算した漂砂量とは傾向として良く一致する。しかし, 碎波点に近い沖側では浮遊砂の占める割合が大きく, 定量的評価には一層の検討を要する。

現在, 勾配を緩くした (勾配 0.03) 実験を継続中であり, 今後, 粒径も変えた実験も行う予定である。

最後に, 実験の実施に当って協力を得た, (株) 電力技術整備の吉岡武男・田中良弘両氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two dimensional shore transformation due to waves, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 920~938, 1974.
- 2) 砂村継夫: 自然海浜における汀線位置の時間的变化に関する予測モデル, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 255~259, 1980.
- 3) 渡辺 晃・磯部雅彦・野沢是幸・堀川清司: 斜面上で碎波する波の底面流速に関する実験的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 40~44, 1980.
- 4) Bijker, E. W., J. P. Th. Kalkwijk and T. Pieters: Mass transport in gravity waves on a sloping bottom, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 447~465, 1974.
- 5) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Quantitative description of sediment transport by waves, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1093~1112, 1976.
- 6) Jonsson, I. G. and N. A. Carlsen: Experimental and theoretical investigations in an oscillatory turbulent boundary layer, Journal of Hydraulic Research, Vol. 14, No. 1, pp. 45~60, 1976.