

II-10 三次元海浜変形に関する研究

北大工 (学)	○ 七沢 馨
北大工 (学)	川崎 清
北大工 (正)	尾崎 晃

1. はじめに

海浜変形に関する研究は、現在に至るまでに数多く行われてきた。たとえば、Johanson, J. W.¹⁾は1949年に模型実験によって、沖波波形勾配 H_0/L_0 が0.025程度で暴風海浜と正常海浜との境界になることを指摘した。また岩垣・野田²⁾は底質の平均粒径を考慮した沿岸砂州の発生限界を示した。さらに、堀川・砂村・近藤³⁾は海浜の初期勾配を考慮し

$$\frac{H_0}{L_0} = C (\tan \beta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{0.67} \quad \dots (1)$$

(1)式で、係数Cの値から海浜の断面変形を三つのタイプに分類することを提案した。

しかし、これらの研究は二次元の水路式の水槽で行われた実験から導かれたものであり、離岸流などの海浜流系統の影響が除かれている。したがって、三次元での海浜変形にただちに適用できるものではない。

そこで、本研究では三次元での海浜変形について調べてみることにした。その第一の目的として、離岸流などの流れが存在する三次元において、離岸流と海浜変形との間の定性的な関係を求めることとした。そのために、M. S. Longuet-Higgins・R. W. Stewart⁴⁾によって提案されたradiation stressの考え方に基き、平均水位(set up量)の場所的ながりがから離岸流の発生位置を把握しようとした。つまり、平均水位のちがいは離岸流の存在の有無によるから、そのことから離岸流の位置を予測しようというものである。そして、平均水位の測定結果と、平均水位を測定したのと同じ条件の波による移動床での実験結果を比較して、離岸流と海浜変形との関係を考えようということである。第二の目的は、過去にいろいろ行われた二次元での結果を三次元に適用できるかどうかを検討しようということである。すなわち、波の条件から三次元での海浜変形の全体の傾向を知ることができるかどうかを検討することである。最後に、第一の目的・第二の目的を総合した上で三次元での海浜変形について検討してみたい。

2. 実験条件・装置・方法

実験条件は以下の通りである。

- i) 水位は固定床で27cm、移動床で30cmとした。
- ii) 沖波の条件として、周期Tは0.8 sec～1.4 secの間で0.2 sec間隔とした。また、波高は沖波に換算したもので2.0 cm～7.3 cmの間で行った。
- iii) 固定床での実験と移動床での実験との間の関係を調べるために、それぞれ対応する実験では、周期・波高を一致させた。
- iv) 実験に用いた海底勾配は、固定床・移動床とも1/30とした。固定床は勾配1/30の砂の土台の上に鉄板を敷きつめて作った。移動床は固定床の上に中央粒径 $d_{50} = 0.18 \text{ mm}$ の自然砂を厚さ10 cmに盛って作った。
- v) 離岸流の位置が変化しないように突堤を設置した。突堤の間隔は離岸流の間隔と等しくなるようにした。突堤の間隔は、対応する固定床と移動床での実験では同じ幅とした。

vi) 波の作用時間は、移動床で12時間とした。固定床では、波が定常になるまで（おおむね10秒）作用させた後、平均水位を測定した。

実験装置としては、図-1に示したような、たて11m横7.4m・深さ45cmの平面水槽を用いた。突堤は、長さ1.8m・幅5cm・高さ20cmのものを二本用いた。波高測定には、抵抗線式の波高計を五本用いた。

実験方法は以下のとおりである。

- i) 離岸流の発生位置・間隔は汀線に過マンガン酸カリウム (KMnO_4) を投入し、その流れる状況から観測測定した。
- ii) i) で求めた発生位置・間隔に突堤を設置し、突堤間の波高を測定し、これをシグナルプロセッサーにより解析し平均水位を求めた。
- iii) ii) と同じ位置・間隔に突堤と移動床において設置して波も ii) と同じ条件で12時間作用させた。
- iv) 移動床での海底変形の状況は、砂面計を用いてその変化量を測定した。

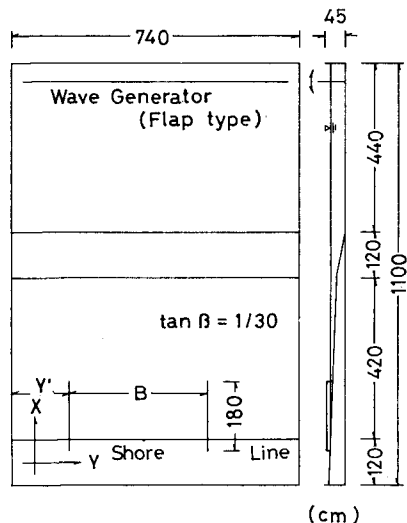


図-1 実験装置

3. 実験結果

(1) 離岸流

離岸流の発生位置および間隔の測定は、固定床での平均水位の測定における突堤の位置間隔を決定するために行った実験である。実験結果を図-2に示す。グラフのたて軸、横軸の無次元パラメータは、尾崎・佐々木・碓氷⁵⁾の離岸流の研究に用いられたパラメータである。たて軸の $Y_r / (H_b / \tan \beta)$ は離岸流間隔に関するものであり、 Y_r は離岸流間隔、 H_b は碎波波高、 $\tan \beta$ は海底勾配である。横軸の $\tan \beta / (H_o / L_o)$ は沖波に関するパラメータである。

上述のパラメータで整理したデータから最小自乗法により求めた回帰直線が(2)式である。(3)式は尾崎・佐々木・碓氷が求めた回帰直線である。

$$\frac{Y_r}{(H_b / \tan \beta)} = 0.309 \frac{\tan \beta}{(H_o / L_o)} + 1.80 \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{Y_r}{(H_b / \tan \beta)} = 0.355 \frac{\tan \beta}{(H_o / L_o)} + 1.65 \quad \text{----- (3)}$$

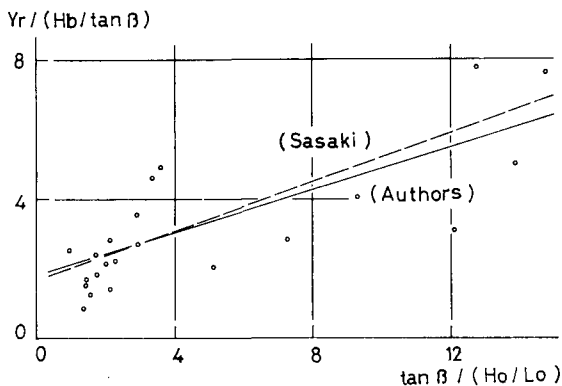


図-2 離岸流間隔

(3)式は海底の底質を鉄板・モルタル・砂とし、それぞれの場合の離岸流間隔をまとめて求めた回帰直線であり、(2)式は鉄板について求めた回帰直線である。(2)式と(3)式を比較すると、両者に大きな違いがない。このことから離岸流間隔には底質の影響が小さいように思われる。また、海底勾配についても、(2)式が $1/30$ 、(3)式が $1/10$ であるから、 $Y_r/(H_b/\tan\beta) \cdot \tan\beta/(H_o/L_o)$ というパラメータにより離岸流間隔を整理するならば、海底勾配の影響を小さくできるように思われる。

(2) 平均水位

平均水位を測定する前に、実験で用いる波に付いて、周期・波高から3-(1)の結果に基づいて離岸流の発生間隔を予測した。 H_b は沖波の条件から碎波指標によって求めた。さらに、実際に波をおこした上で過マンガン酸カリウムにより、離岸流の発生位置・間隔を実測した。その結果と計算結果を比較検討した上で、離岸流が移動しないように突堤を設置した。

平均水位は、設置された二本の突堤の間について測定した。測定の間隔は、図-1において、X方向が30cmもしくは40cm、Y方向が40cmとした。

測定結果の例を図-3に示す。図中の数字は静水面からの上下を示し、正は上昇、負は下降を示す。また、図中の矢印は離岸流の流況を示すものである。図-3を見ると、離岸流が平均水位の高い所から低い所へと流れていることがわかる。他の測定結果についても同様な、平均水位と離岸流との間の関係がみられた。このことから平均水位を平面的に求めれば、離岸流を定性的に把握することができると考えられる。

次に平均水位の縦断面図を図-4に示す。図-4で、a-a'断面は離岸流のある所の断面で、b-b'断面は離岸流のない所の断面である。両者を比較すると、ともにset upがおこっているが、碎波帯付近でより急に平均水位の下がっている方で離岸流が発生している。

今回の実験では、離岸流の定性的な性質について考えたが、図-4の両断面の比較から離岸流の流速などの定量的な性質を求めることも可能ではないかと思われる。この点については、さらに実験を行い検討を加える必要がある。

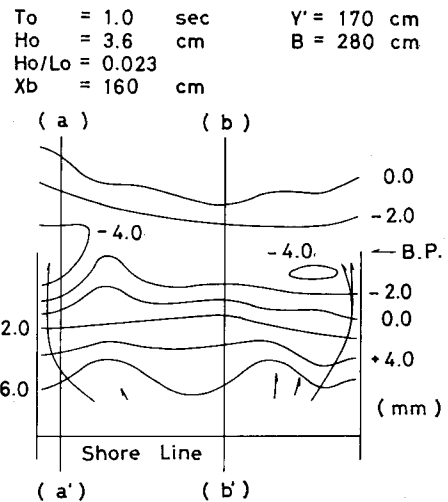


図-3 平均水位 平面図

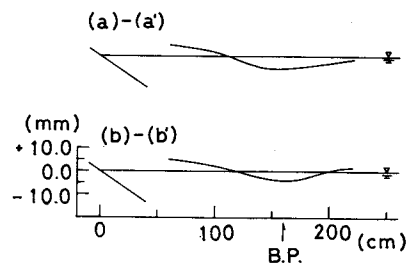


図-4 平均水位 断面図

(3) 移動床

図-3に対応した周期・波高・突堤位置・間隔での移動床の実験による海底地形の変化の様子を図-5に示す。図-5において、点線の矢印は固定床において観測した離岸流の流況であり、図-3の矢印と同一のものである。また、図中の数字は実験開始時の静水面からの深さを示し、正の数字は実験後静水面より上に出ていたことを示す。

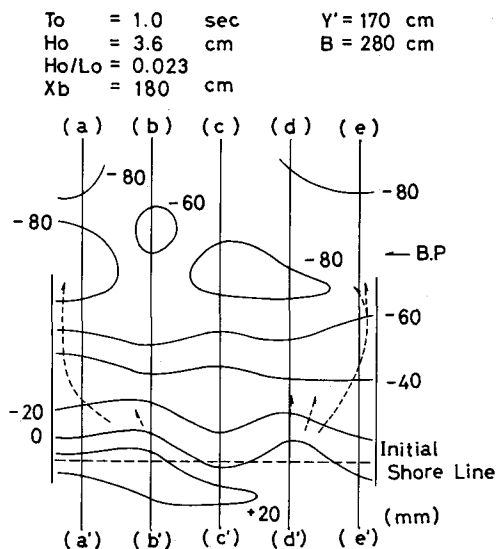


図-5 海底地形 平面図

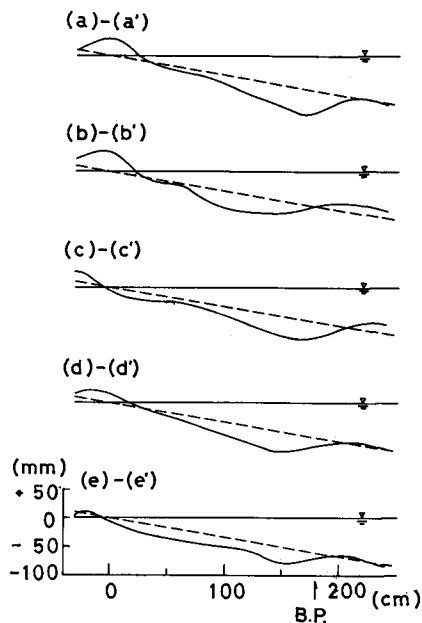


図-6 海底地形 断面図

Case No.	$T_o \text{ sec}$	$L_o \text{ cm}$	$H_o \text{ cm}$	$X_b \text{ cm}$	H_o/L_o	H_o/d	$\frac{-0.27}{(\tan\beta)} \frac{0.67}{(d/L_o)}$	岩垣ら	堀川ら
1	1.0	156	3.6	180	0.023	206	5.65×10^{-3}	Bar	II
2	1.2	225	5.2	275	0.023	297	4.43×10^{-3}	Bar	II
3	1.2	225	3.5	180	0.016	200	4.43×10^{-3}	Bar	II
4	0.8	100	3.6	185	0.036	206	7.61×10^{-3}	Bar	II
5	1.4	306	2.0	150	0.006	114	3.60×10^{-3}	Bar	II
6	1.0	156	2.1	120	0.013	120	5.65×10^{-3}	Step	III
7	1.0	156	7.3	340	0.046	417	5.65×10^{-3}	Bar	II
8	1.0	156	2.8	105	0.018	160	5.65×10^{-3}	Bar	I

表-1 波の条件 および 海浜変形のパターン分類

している。

図-5から、実験終了時の汀線(等深線0mmの線)において、カスカの沖側に突き出た部分と固定床における離岸流の発生位置がほぼ一致している。このことは、他の実験結果にもほぼあてはまる。

図-6は図-5におけるX方向の断面図である。突堤の近傍のa-a'断面・e-e'断面と、その他の部分の断面を比較すると、突堤近傍の断面は他の断面より沖側に侵食されている。このような傾向は他の実験においてもみられた。しかし、突堤近傍の断面について他の実験結果と比較すると、沖側でより侵食されるという傾向以外には、共通する傾向が明らかでなかった。また、突堤近傍以外の断面についても同様であった。このことについては離岸流の定量的性質を求めた上で考えなければならないだろう。

次に海浜変形の三次元全体を代表する変形パターンを決め方を以下のようにした。

- i) 三次元の平面図から、いくつかの断面図を作る。そのそれぞれの断面図について、岩垣・野田⁶⁾・堀川・砂村・近藤⁷⁾のパターンを求める。(それぞれのパターンを図-7、図-8の右側に示す。)
- ii) i) で求めた各断面のパターンのうち、最も多く現れたパターンをその海浜変形を代表するパターンとした。それらの結果を、波の条件とともに表-1 にまとめておく。

4. まとめ

(1) 平均水位と海浜変形との関係

平均水位と離岸流との関係は、3-(2)で述べたとうりである。また、海浜変形は波と流れによっておこるものであるから、離岸流の位置の予測が可能ならば、流れによるところの海浜変形の位置も予測可能である。今回の実験では、離岸流が通、たと考えられる所は他の部分より侵食されていた。このことから、平均水位の変化から離岸流の位置を予測し、さらに離岸流による海浜変形の発生位置を予測することが可能であることがわかる。

しかし、侵食(もしくは堆積)の度合を知るためには、平均水位と離岸流との間の定量的な関係の検討が必要である。この検討を行うためには、離岸流の流速などについての実験が必要である。

離岸流が直接流れている所以外では、海底地形と平均水位との間に明確な関係はみられなかった。離岸流の存在しない所での海浜変形は主に波によるものであるから、このことは当然と考えられる。したがって、そのような場所では、二次元での研究結果の適用を考えなければならない。このことは4-(2)で考えてみる。

以上のことから、平均水位と海浜変形の間をまとめると、

- i) 平均水位の場所的ながいから、離岸流の位置を予測できる。
- ii) 3-(3)の結果から、離岸流の発生位置によって汀線におけるカスアの沖側に突き出た位置を予測できる。
- iii) 離岸流が存在しない部分についての海浜変形は、平均水位から予測できない。
- iv) 離岸流が存在する部分についても、海浜変形の度合を予測するためには、さらに検討が必要である。

(2) 二次元での結果の三次元への適用

4-(1)で述べたように、離岸流の存在しない部分では、二次元の結果を三次元に適用について検討する必要がある。

表-1に示した三次元での変形パターンを岩垣・野田⁹⁾の沿岸砂州の発生限界のグラフにプロットしたのが図-7である。図中に、二次元・勾配1/30のRector⁹⁾の結果と、三次元・勾配1/10の吉本¹⁰⁾の結果を同時にプロットした。これは今回の実験とRectorのは勾配が、吉本のは三次元であることが同じだからである。図-8は堀川・砂村・近藤の変形パターンを用いて、今回の実験結果をプロットしたものである。

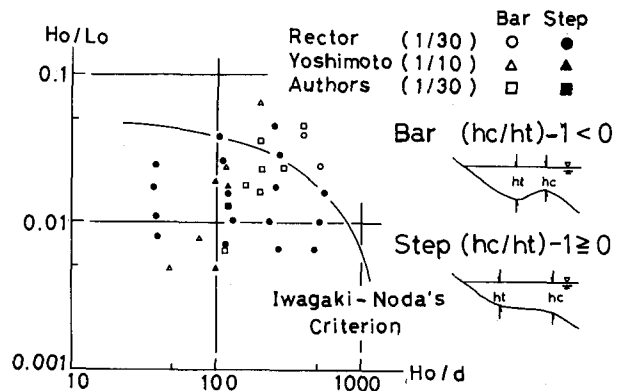


図-7 沿岸砂州の発生限界

図-7で、沿岸砂州の発生限界は、二次元

のRectorの結果とは一致しているが、三次元での本実験や吉本の結果とは一致していない。また、図-8は図-

7よりいくぶん良い一致を示している。しかし、それでも満足のゆく一致ではない。つまり、タイプIIは(1)式で $4 < C < 7$ の範囲に一致しているが、タイプI, IIIは一致していないのである。

図-7, 8から、二次元での結果を直接的に三次元に拡大適用することには、少々無理がある。その原因としては、二次元では離岸流などの海浜流系統の影響を受けないように実験が行われていることが挙げられる。つまり二次元では、離岸流や汀線に沿った流れを考慮していないからである。しかし、三次元の場合には、離岸流や汀線に沿った流れによる砂の移動も海浜変形の重要な因子である。したがって、この因子を無視した二次元の結果を三次元に適用するには問題がある。

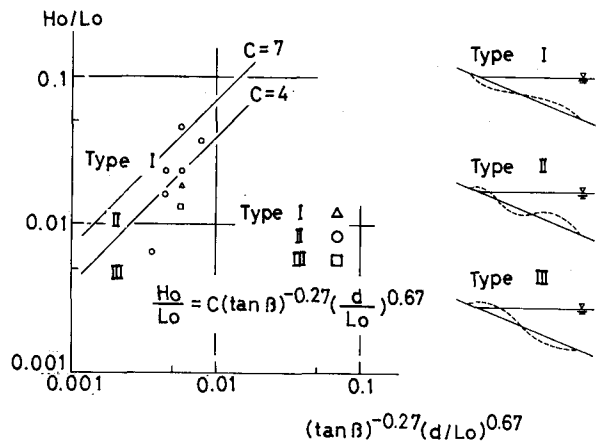


図-8 初期勾配を考慮した海浜変形のタイプ分け

(3) まとめ

三次元での海浜変形に関する定式は、現在の段階では得られていない。そのため、二次元での結果を三次元に適用することは、三次元の現象を考える上で重要なことである。しかし、4-(2)でも述べたように、二次元の結果を単純に三次元に拡張することには問題がある。この問題を解決するためには、二次元の結果がどこまで三次元に適用できるかを検討する必要がある。

図-6では、離岸流が存在した部分としない部分で、沖側での堆積の存在の有無が異なっている。堀川・砂村近藤によるタイプでは、離岸流の存在する所はタイプIII、存在しない所ではタイプIIである。つまり、離岸流の存在の有無により、砂の移動のタイプが異なるのである。このことは、二次元の結果と三次元全体の傾向を知るためではなく、三次元の一部に適用することの可能性を示している。さらに平均水位の上昇量から離岸流の定量的性質が把握できれば、この可能性の検討もより進むことだろう。

参考文献

- 1) Johnson, J. W. : Scale effects in hydraulic model involving wave motion [Trans. of A.G.U. Vol.30 No.4 pp.517~525 1949]
- 2) Iwagaki, Y. and Noda, H. : Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach process [Proc. of 8th Conf. on Coastal Eng. pp.194~210 1963]
- 3) 堀川清可・砂村雄夫・近藤浩吉 : 波による二次元海浜変形に関する実験的研究 [第21回海浜講演集 pp.193~199 1974]
- 4) M.S. Longuet-Higgins and R.W. Stewart : Radiation stresses in water waves [Deep-sea Research pp.529~562 1964]
- 5) 尾崎晃・砂村雄夫・近藤浩吉 : 離岸流に関する研究 [第23回海浜講演集 pp.471~476 1976]
- 6) 前出 2)
- 7) 前出 3)
- 8) 前出 2)
- 9) Rector, R. L. : Laboratory study of equilibrium profile of beaches [BEB. Tech. Memo. No. 41 pp.38 1954]
- 10) 吉本晴俊 : 波浪条件による三次元海浜変形の特性的研究 [北沢大学院 昭和54年度 修士論文 1980]