

II—25 海浜流に及ぼす波向の効果

北海道開発局 土木試験所	正会員	七 澤 馨
建設技術研究所		大 丸 隆
北海道大学 工学部	正会員	佐 伯 浩
北海道工業大学	正会員	尾 崎 晃

1. はじめに

海浜変形を解明することは、海岸工学上の重要な問題である。海浜変形は、その海岸の地理的特性、来襲波の特性、来襲波によって生起される海浜流の特性などの因子により決定される。これらの因子に対し安定した形状となるように海浜変形が進行する。海浜変形を三次元の現象としているのは、これらの因子のうち海浜流が三次元の現象であることによっている。したがって、海浜変形を考える上で、海浜流を明らかにすることは重要なことである。

海浜流は、来襲波の特性によって、変化するものである。そこで、現地観測や模型実験によって、海浜流の特性を解明することが試みられている。また、近年の大型計算機の発達に伴い、数値解析による研究も行われている。海浜流と波向の関係に関する研究としては、Sonu S.J.¹⁾の現地観測や、Noda E.K.²⁾の数値計算、Longuet-Higgins M.S.³⁾の理論解析などが挙げられる。Sonuは、波向つまり入射角によって、海浜流が異なった流況を示すことを観測した。つまり、直角入射の場合は循環セル型の離岸流が発生するが、斜め入射の場合には碎波帯と汀線との間で蛇行した流れ(Meander)となるのである。Nodaは、計算機によって、入射角が 5° の時に海浜流の蛇行した流線を得ている。Longuet-Higginsは、入射角と碎波点での沿岸流の流速の関係を理論的に求め、水平混合について考察している。

SonuとNodaの研究から、海浜流の流況は入射角の変化によって変化するものと言える。本研究では、海浜流に及ぼす波向の効果を、実験により考察するものである。波向の効果として、次の二点について考察することにする。第一点は海浜流の流況についてである。つまり、波向の変化に伴う流況の変化であり、入射角とMeanderの規模(Meanderの波長 L_r と振幅 A_r)との関係である。第二点は海浜流、特に沿岸流の流速 V についてである。

2 実験装置および実験方法

実験波の諸元を表-1に、測定の際の座標系を図-1に示す。

表-1 実験波の諸元

CASE	$\theta b(^{\circ})$	$T_o(sec)$	$H_o(cm)$	$H_b(cm)$	$X_b(cm)$	H_o/L_o
001	0.0	1.00	5.35	6.09	50	0.0343
002	0.0	1.00	2.26	3.34	25	0.0145
003	0.0	1.40	2.12	3.63	30	0.0069
011	5.6	1.00	5.13	6.26	53	0.0329
012	5.7	1.00	2.27	3.53	28	0.0146
013	3.2	1.40	2.10	3.44	26	0.0069
021	11.7	1.00	5.21	6.20	59	0.0334
022	10.0	1.00	2.12	3.06	24	0.0136
023	9.8	1.40	2.09	4.33	36	0.0068

実験に用いた水槽は、 $7.4 \times 10.9 \times 0.45\text{m}$ の平面水槽である。海底勾配 S は $1/10$ の一様勾配とした。海底は、鋼板にビニール系の塗装を施した固定床とした。波向は造波板の向きを変えることにより変化させた。流況および流速の測定には、直径 8mm 程度の着色したパラフィン球をトレーサーとして用い、トレーサーの移動を写真撮影することにより測定した。また、トレーサーは、砂を混ぜることにより比重を調節し、水面と水底について測定した。波の入射角 θ_b は、図-1に示すように波の進行方向と X 軸とのなす角として、砕波点において測定した。また、radiation stress に起因する平均水位の分布は、波高計から得られた水面変動を積分し、静水時の水面から上昇・下降として、 mm 単位で求めた。

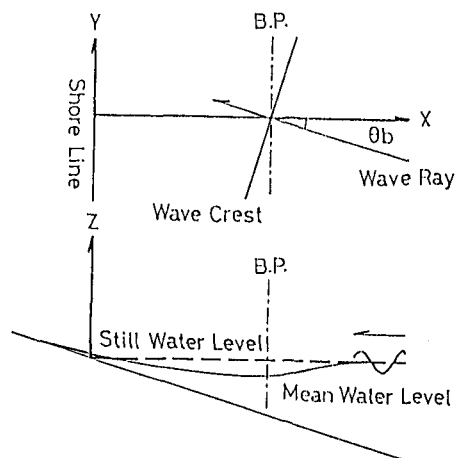


図-1 座標系

3. 流況

図-2、図-3、図-4は、平均水位分布図にトレーサーの軌跡を加えたものである。図中の—○—は表面の流況であり、…●…は底部の流況である。

図-2は $\theta_b = 0^\circ$ の場合である。この図では、砕波点を越えて沖へ向かう流れが存在している。その流れが、沖で岸向の流れに変化している。つまり、循環流を形成している。これに対して、図-3、図-4は θ_b がそれぞれ 3.2° 、 9.8° である。これらの図では、砕波点を越えて沖へ向かう流れが存在していない。流れは砕波点と汀線の間で蛇行しながら流れている。これらの流れは Sonu が現地で観測した Meander と考えられる。

次に図-3と図-4を比較すると、 L_r は θ_b が大きい図-4の方が長いが、

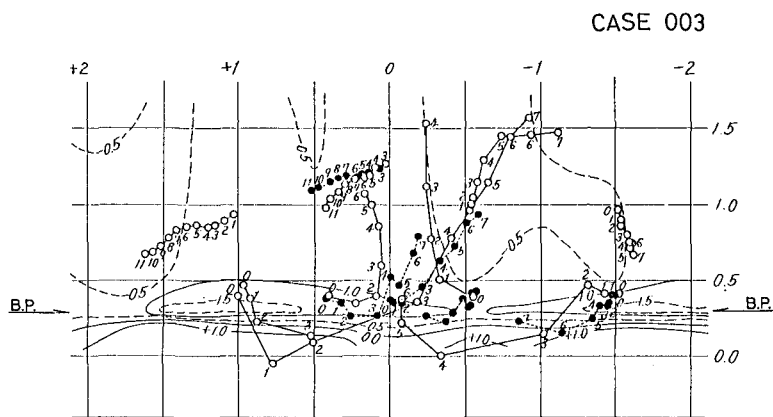


図-2 流況図 $\theta_b = 0^\circ$

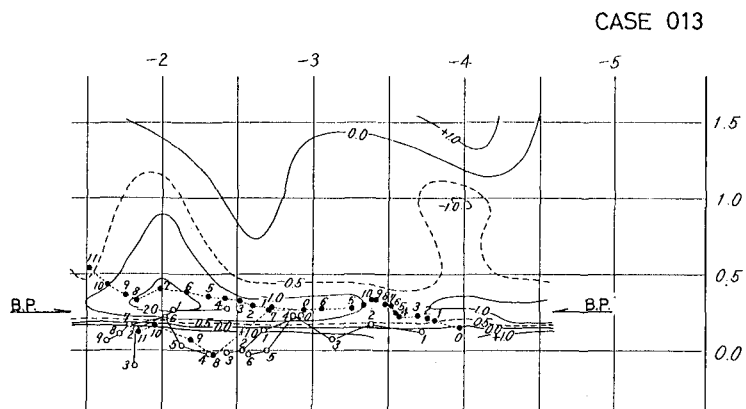


図-3 流況図 $\theta_b = 3.2^\circ$

Ar はどちらもほぼ同程度である。この傾向は他の CASE についても同様である。Lr は θ_b の関数であるが、Ar は θ_b の関数ではないと考えられる。Lr と θ_b の、Ar と Ho/Lo の関係について、それぞれ図示したものが、図-5、図-6 である。図-5 において、 $\theta_b = 0^\circ$ の場合の Lr は、離岸流間隔 Yr の $1/2$ とした。(1) 式は、 Lr/Xb と $\sin \theta_b$ との回帰式である。

$$Lr/Xb = 11.1 \sin \theta_b + 1.95 \quad \dots\dots (1)$$

また、佐々木は Ir 数 ($= S/\sqrt{Ho/Lo}$) により離岸流の発生領域を三分し、不安定領域では $Yr = 4Xb$ とした。本実験での Ir 数は、その不安定領域に属する。(1) 式は $\theta_b = 0^\circ$ の場合 $Lr = Yr/2$ であるから、 $Yr/Xb = 3.9$ となる。つまり、(1) 式の切片は、 $\theta_b = 0^\circ$ の場合の離岸流の間隔を示すものであり、Ir 数が不安定領域に属する本実験においては、佐々木の求めた離岸流間隔に近い値となり、その値が妥当と考えられる。しかしながら、Ir 数が不安定領域以外の場合の切片や、傾きについては、より実験を積める必要がある。(2) 式は、図-6 から求めた Ar/Xb と Ho/Lo の回帰式である。

CASE 023

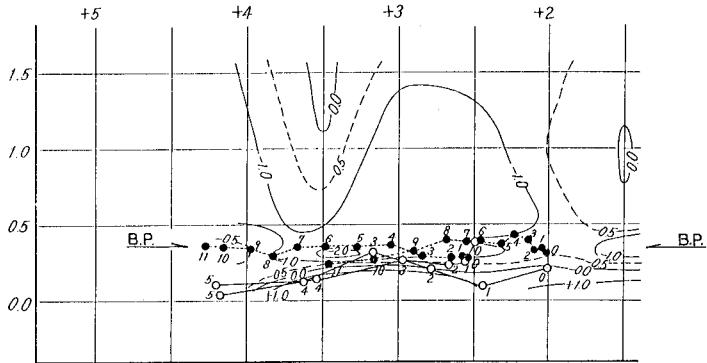


図-4 流況図 $\theta_b = 9.8^\circ$

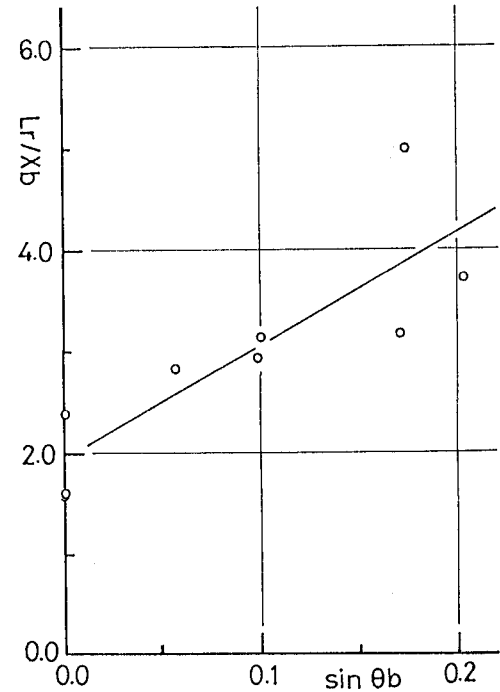


図-5 蛇行流の波長と入射角

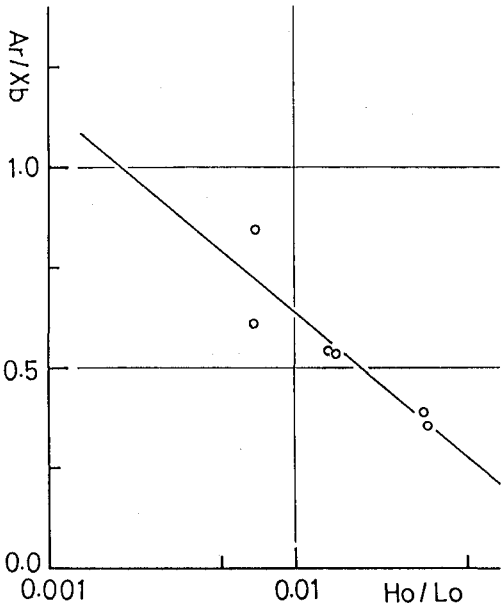


図-6 蛇行流の振幅と波形勾配

$$Ar/Xb = -0.51 \log(Ho/Lo) - 0.39 \dots\dots (2)$$

(2)式で求めたように、ArはHo/Loの関数と言える。(1)式および(2)式を用いることにより、入射波の諸元から、ある程度までMeanderの流況つまり規模を予測することが可能である。しかし、Meanderの発生する位置については不明である。また、離岸流としての循環セルとMeanderの境界も明らかではない。これらの点については、さらに実験や数値解析などを行う必要がある。

4. 流速

波が斜めに入射する場合の海浜流の沿岸方向(Y軸方向)の流速Vについての研究としては、Longuet-Higginsの研究がある。Longuet-Higginsは、Snellの法則と微小振幅波理論から、砕波点での V_b を(3)式として求めた。

$$V_b = \frac{5\pi}{8\sqrt{2}} \frac{\sqrt{a}\beta}{C} (gH_b)^{\frac{1}{2}} (S \cdot \sin \theta_b) \dots\dots (3)$$

(3)式で、 α は砕波波高と砕波水深の関係を表わす係数で、 β は汀線と砕波点との間に占める混合距離の割合によって変化する係数であり、Cはマッツ係数である。また、(4)式を導入し、

$$r = \frac{(gH_b)^{\frac{1}{2}} (S \cdot \sin \theta_b)}{V_b} \dots\dots (4)$$

α 、 β 、Cのそれぞれの値をrの値にまとめて、現地観測と実験室の結果として、rのそれぞれの値を求めている。それによると、現地観測では $r = 0.04$ 、実験室では $r = 0.05$ である。

図-7、図-8は、海浜流の流速について、沿岸方向(Y方向、Alongshore)、冲向き方向(X方向、Seaward)、岸向方向(-X方向、Shoreward)のそれぞれの測定結果に基づく流速分布の一例である。本研究では、これらの図から砕波点での各方向成分の流速や、最大流速、最大流速の発生位置の読み取りを行った。

図-9は、(4)式に今回の実験で得られた値を代入し、rを求めたものである。表面流速では、 $r = 0.076$ 、底部流速では $r = 0.190$ となった。Longuet-Higginsは、実験室の結果に対して $r = 0.05$ としている。本実験では、表面流速、底部流速ともに0.05より大きな値となっている。この原因としては、流速の測定の手法によるものが考えられる。つまり、流速を測定する際に、トレーサーのある時間間隔における移動距離をその時間間隔で除した平均流速を測定しているの、ある地点での瞬間的な流速を測定したものではないからである。その結果、流速が過小に測定されたと考えられる。また、トレーサーに8mm程度のパラフィ

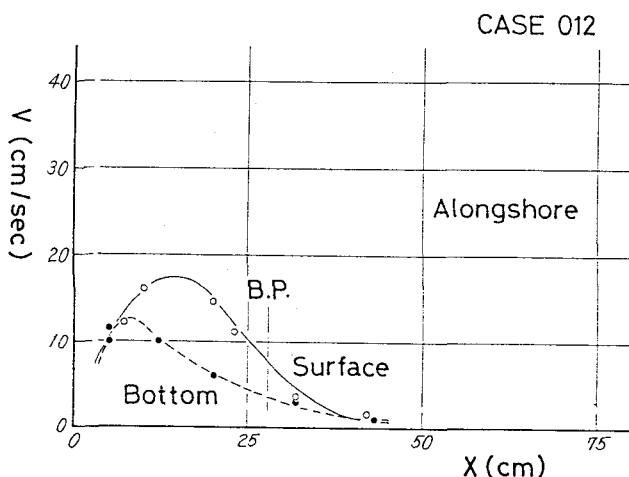


図-7 流速分布図(Y成分)

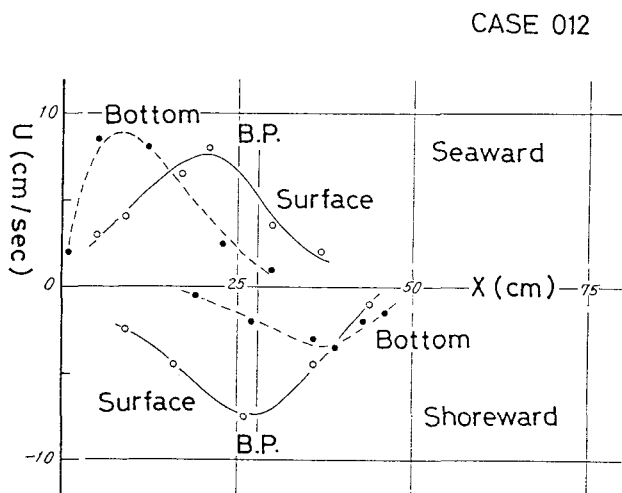


図-8 流速分布図(X成分)

ン球を用いたので、流れに鋭敏に反応しなかったことも考えられる。特に流速の遅い底部については、この影響が大きかったのではないかと考えられる。これらのことを考えあわせるならば、表面流速については、Longuet-Higginsの結果を満足するものと言える。つまり、沿岸方向の流速は、(3)式として表現でき、入射角の関数と言える。

図-10は、入射角と最大流速の現れる位置との関係について、 Ir 数をパラメータとして図示したものである。この図で、縦軸の X_m は静水時の汀線から最大流速が現れる地点までの距離であり、 X_b は静水時の汀線から碎波点までの距離である。図-10において、 Ir 数と X_m との間には明確な関係が見られない。 Ir 数は、海底勾配と波形勾配の関数であるから、 X_m と Ir 数が無関係と言うことは、 X_m は波浪の特性によらないということである。しかし、入射角が大きくなるにつれて、 $X_m/X_b = 0.5$ に漸近する傾向が見られる。つまり、最大流速の出現地点が汀線と碎波点の中間付近に、入射角が大きくなるに従って集まると言うことである。沿岸方向の最大流速の出現地点は、水平混合に関連するものである。水平混合がない場合、最大流速は碎波点で現れる。そして、水平混合距離が増加するに従って、出現地点は汀線に近づく。図-10は、水平混合距離が入射角に支配されることを示唆するものと考えられる。つまり、入射角が小さい場合、水平混合距離は波浪の特性に支配される。しかし、入射角の増加に伴い、水平混合距離に対する波浪の特性の支配力が弱まり、入射角がある値を越すと、水平混合距離が汀線と碎波点との間で占める割合が一定になる。また、本研究では、 $X_m/X_b = 0.5$ に漸近する傾向が見られるが、 $X_m/X_b = 0.5$ は、Longuet-Higgins が求めた水平混合に関するパラメータ P に対して、 $P = 0.4$ に相当するものである。また、 $P = 0.4$ は実験において得られる水平混合の限界であるとしている。

以上のことから、本実験において、 r が過小となったのは測定方法によるものと言える。つまり、水平混合に関することが、Longuet-Higgins のものと同様であると言えるので、(3)式における β は、そうちがついていない。したがって、 r の相違は V_b の相違と言える。ゆえに、流速の絶対値について考察する場合には、その測定方法を検討する必要がある。しかし、波向の変化に伴う水平混合の変化を考える場合には、

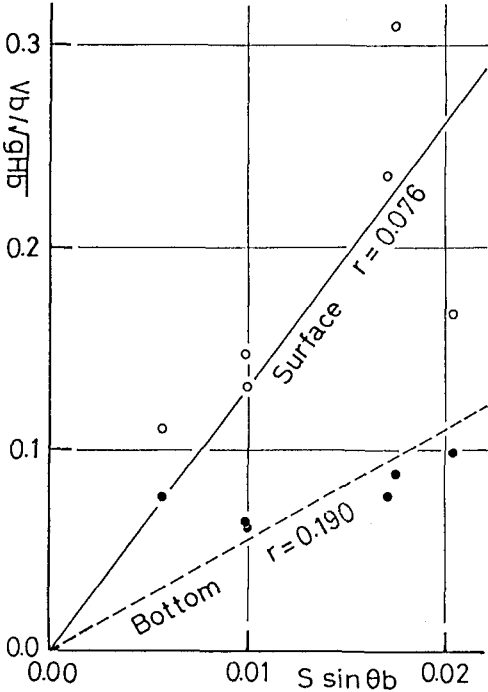


図-9 碎波点Y成分流速と入射角

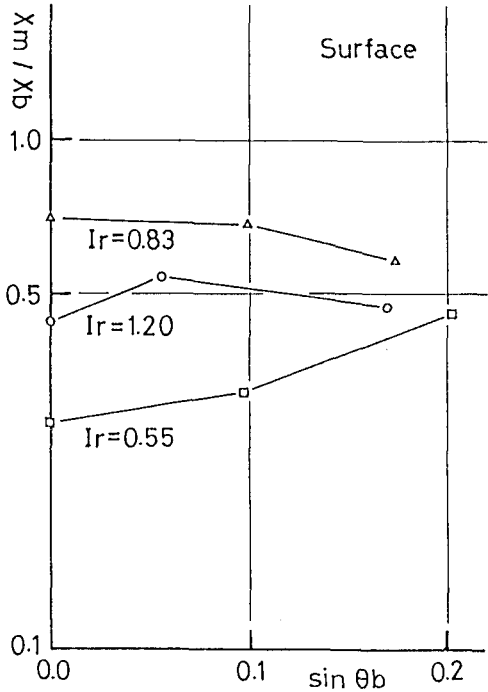


図-10 最大流速出現地点と入射角

今回の手法でも行い得るものと考えられる。そうではあるが、より詳細に波向の変化に対する海浜流の変化を検討するならば、トレーサーの選択など測定手法をより精密なものにした方が良いと言えるだろう。

5. まとめ

波向の変化に伴い、海浜流の流況が大きく変化することについては、現地観測や計算機によるシミュレーションなどにより報告されている。本研究では、波向が海浜流の流況や流速に対して与える効果について、実験により検討してきた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 海浜に波が斜めに入射した場合、Meanderが発生する。そのMeanderの波長は、入射角の関数である。入射角の増加に伴い、その波長も長くなる。その際に、波浪の特性（波高、周期、波形勾配など）はMeanderの波長の変化にあまり関与しない。
- (2) Meanderの振幅は、波浪の海浜への入射角によらない。Meanderの振幅は、波形勾配の関数である。波形勾配が増加すると、Meanderの振幅は小さくなる。
- (3) (1), (2)の結果として、入射角が大きく、かつ、波形勾配の大きな波浪が海浜に入射した場合、海浜流は、汀線にはほぼ平行した流れとなる。
- (4) 沿岸方向の流速の最大値の出現する地点は、入射角の増加に伴い、汀線と碎波点との中間付近に漸近する。水平混合は、入射角が小さい場合には波浪の特性により変化するが、入射角の増大に伴い、波浪の特性の影響が小さくなる。

参考文献

- (1) Sonu C.J. Field Observation of Nearshore Circulation and Meandering Currents J.Geophys. Res. Vol.77 No.18 1972
- (2) Nada E.K. Wave-induced Nearshore Circulation J. Geophys. Res. Vol.79 No.27 1974
- (3) Longuet-Higgins M.S. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves 1,2 J. Geophys. Res. Vol. 75 No.33 1970
- (4) 堀 川 清 司 海浜流に関する研究（第3報） 海浜流の規模
 佐々木 民 雄 第22回 海岸工学講演会論文集 1975
 堀 田 新太郎
 桜 本 弘