

砕波点における水粒子速度に関する実験的研究

北見工業大学工学部 正員 佐藤 幸雄

I. まえがき

斜面上の砕波点における波の諸性質については、古くは Iversen により、最近では佐伯ら¹⁾、樫木ら²⁾により実験的、理論的に詳細な研究がなされている。また、斜面上の波は一般的には変形を伴い理論的取扱いが難かしいことは周知のことではあるが、最近では、岩垣、酒井³⁾により変形を伴う場合の波の数値解と砕波点の波の波形ならびに流速分布がよく適合することが述べられている。本研究もまた上記各研究と同様砕波点の波に関するものであるが、砕波の諸性質のうちで、特に砕波点での底面附近における水粒子の流速値について、その発生状況と沖波との関係と調べ、さらに底面の勾配別による向岸流速、沖向き流速との関係、プロベラ式流速計と熱線流速計による場合の測定値の差異について、また熱線流速計による底面流速の測定値と水平床の場合の従来の孤立波、有限振幅波の理論値とを二・三比較検討を行ったものである。結果は以下に述べる通りである。

II. 実験方法

水槽は巾20cm、深さ70cm、長さ13.0mの造波水槽を使用し、傾斜板の表面には筵板を張り、底面は滑面状態である。沖波の高さ、砕波の高さの測定には抵抗線式波高計を使用し、砕波点においては砕波の高さ測定と同時に底面附近流速と測定した。流速測定にプロベラ式流速計を使用した場合はプロベラ取付け枠の関係でプロベラ中心の位置は底面より1.5cm高く、完全に底面上の位置ではない。発生するパルスは直接ペン書きオシログラフに記録した。また、熱線流速計を使用した場合は、フロー保護の意味で底面より0.5cm高い位置にセットし、その点の流速測定値をデーターレコーダーを通してビズグラフに記録した。

これら2通りの場合の流速測定の記録状態を図-1に示した。

以上のような測定方法により、沖水深30.0cmで一定の場合の種々の沖波々形勾配の波について、砕波点の底面附近の水粒子速度と測定した。流速計の種類と底面勾配ならびに沖波の周期等の実験波諸元との関係については表-1に示す通りである。なお、データー整理の場合に必要な流速計検定を行なう方法としては、プロベラ式、熱線式のいずれの流速計についても、トロップに流速計を取り付けて走行させる方法を使用した。

III. 実験結果ならびに考察

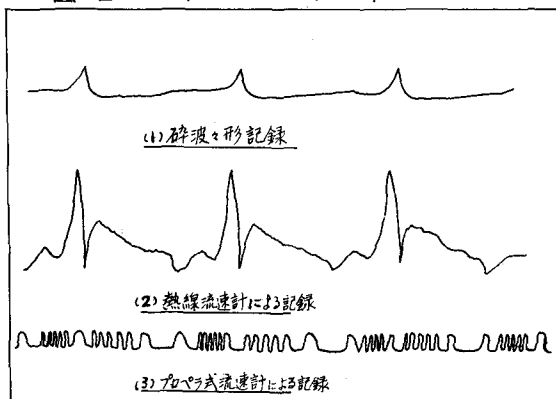
図-2 のような記号を使用すると、斜面上の場合については、砕波々高 H_b 、砕波水深 h_b 、砕波の谷部より底面までの距離 l_b 、砕波の波頂通過時の底面最大流速 u_b (向岸の場合)、砕波の谷部通過時の底面最

表-1 実験の諸元

流速計の種類	底面勾配	記号	周期 sec.	沖波々高 cm.	沖波々形勾配
プロベラ式流速計	1/15	□		1.0 ~8.8	0.01~0.088
	1/30	△			0.004~0.08
	1/50	○			0.005~0.08
熱線流速計	1/50	▲	0.8	0.8 ~4.1	0.025~0.041
		△	1.0		0.012~0.021
		×	1.2		0.011~0.025
		○	1.5		0.005~0.011
		●	1.7		0.003~0.008

沖水深は30.0cmで一定

図-1 プロベラ式ならびに熱線流速計による記録状況



大流速 U_b (沖向きの場合), また水平床の場合については,
 碎波の高 H_{b0} , 碎波の谷部より底面までの距離 h_0 , 静水面より
 波高中分面までの距離 δ_0 , 沖波の長 L_0 である。

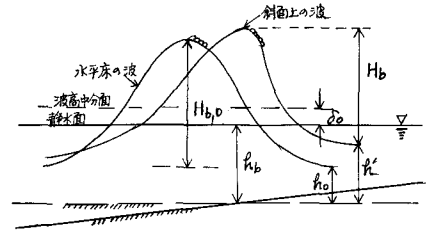


図-2 記号の説明

i) プロペラ式流速計の場合と底面勾配との関係

プロペラ式流速計を使用して測定した場合の底面の最大流速値
 U_b (向岸), U_b (沖向き) の値について, それぞれ縦軸に $U_b/\sqrt{gh_b}$
 $U_b/\sqrt{gh_b}$, 横軸に h_b/L_0 の関係で図に示すと各々の底面勾配

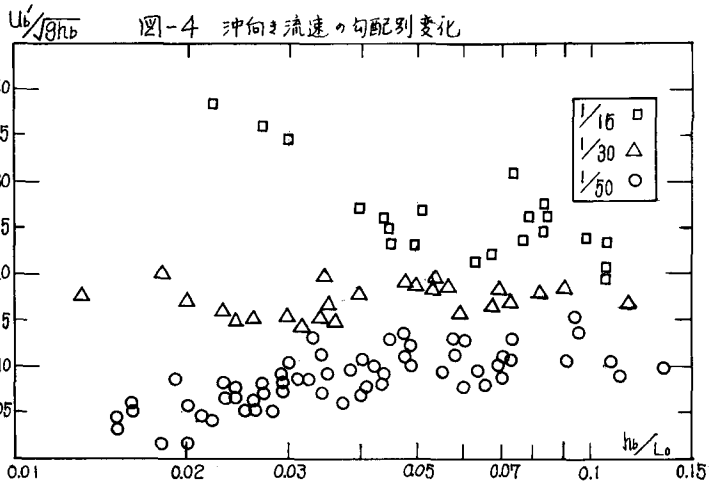
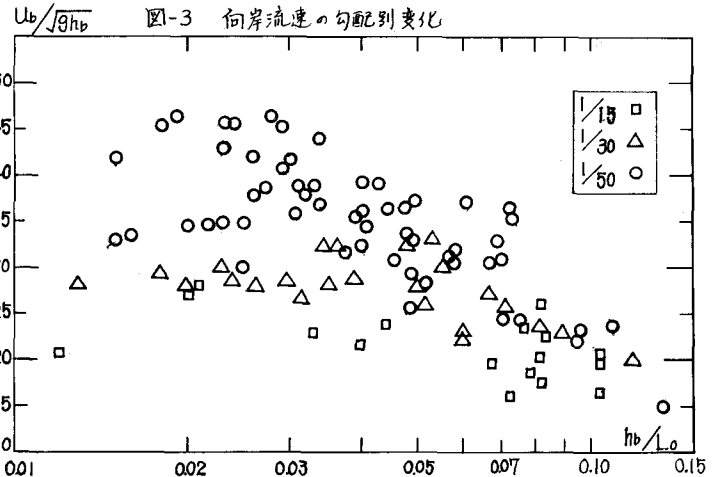
について図-3, 4 のようになり, 勾配
 $1/50$, $1/30$, $1/15$ と次第に急になる
 にしたがって向岸流速は減少し, 逆に
 沖向き流速が上昇する傾向にあり, し
 たがって勾配が急になるとともに沖向
 きの強い戻り流れが発生していること
 が認められる。また, 各勾配別に見た
 場合は, 比水深 h_b/L_0 が大きい値にお
 いて向岸流速, 沖向き流速の値が接近
 し, さらに大きな h_b/L_0 の値では逆に沖
 向き流速が大きくなる傾向にあること
 が推測される。そして, まるで大局的
 に見て漂砂の問題として一般的に考えら
 れている勾配が急な程比較的小さい波
 形勾配 (h_b/L_0 と同程度の値) の値で欠損
 型の海底タイプになるという傾向と底
 面流速の発生状況の傾向とが類似して
 いることが当然とは云えるがよく現わ
 れていると云える。

なお, 底面流速値のものについ
 ては, プロペラ式流速計の場合, 非定
 常流に対する追従性, ならびに記録か
 らのパルス数の読み取りの上で不正確
 さがあり, このような事は同じ $1/50$ 勾
 配についての熱線流速計の場合の流速

値と比較すると, h_b/L_0 が小さな値, すなわち流速値の比較的小さい場合にかなり差違が認められることよりわか
 り, したがって, プロペラ式による流速値に準じると, ここでは傾向を見る程度とした。

ii) 熱線流速計を使用した場合の底面流速値について (勾配 $1/50$ の場合)

熱線流速計により測定した底面附近 (底面より 0.5cm 上の位置) の流速値について i) のプロペラ式の場合と同様
 に $U_b/\sqrt{gh_b}$, $U_b/\sqrt{gh_b} \sim h_b/L_0$ の関係で図に示すと, 勾配 $1/50$ の場合には図-5, 6 のようであり, プロペラ
 式流速計の場合よりやはり感度がよく流速値は大きく現われている。しかし h_b/L_0 に対する流速値の発生状況は



向岸流、沖向き流共に i) で説明したプロバラ式の場合と同様な傾向にあり、 h_b/L_0 が小さい場合は向岸流速は沖向き流速より大きく、また h_b/L_0 が大きくなるに連れて両者は接近している。

つぎに、これらの流速値と従来の独立波理論と比較した場合について下記に示す。

碎波限界 $H_b/h_b = 0.78$ (1)

流速分布式 $U/\sqrt{gh_b} = \frac{H_b}{h_b} \left\{ 1 + \frac{3}{4} \left(\frac{H_b}{h_b} \right) \left(2 \frac{z}{h_b} + \frac{z^2}{h_b^2} \right) \right\}$ (2)

式(2)において $z = -h_b$ とおき、さらに式(1)考慮すると、底面流速(向岸の場合)は式(3)で与えられる。

$U_b/\sqrt{gh_b} = 0.323$ (3)

式(1)、(3)は共に h_b/L_0 に無関係に直線で与えられ、これらの値を図に示すと底面流速、碎波の高に因りてはそれぞれ図-5、図-7 に実線で示すようになり独立波の計算値は波高、流速ともに平均的値を示しているようである。

さらに有限振中波の碎波限界と与える Miche の式を使用し水平床の場合と斜面上の碎波についての差異を調べるとつぎのようである。

Miche の式; $H_b/L_b = 0.142 \tanh(2\pi h_b/L_b)$ (4)

式(4)より $H_b/h_b = 0.142 \tanh(2\pi h_b/L_b) / (h_b/L_b)$ (5)

式(5)による計算値を図-7 に実線で示すと比較的よい傾向にあるため、この場合の碎波の高を使用し、式(6)により有限振中波の碎波限界での底面流速について試算を行なってみた。

$$\frac{U_b}{\sqrt{gh_b}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \frac{1}{(h_b/L_b)} \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \times \left(\frac{h_b}{L_b} \right)^2 \left(\frac{H_b}{h_b} \right)^2}$$

$$\times \left(\frac{1}{\sinh(2\pi h_b/L_b)} + \frac{3}{4 \sinh^4(2\pi h_b/L_b)} \right)$$
 (6)

なお図に示す場合の h_b/L_b より h_b/L_0 への換算にはすべて、微小振中波の場合の式(7)を使用した。

$L_b/L_0 = \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b}$ (7)

式(5)、(6)を使用して計算した水平床の場合の底面流速に因りては $U_b/\sqrt{gh_b} = U_b'/\sqrt{gh_b}$ と向岸、沖向き流速で写し、図-5、6 に破線で示した通りであり、測定値とは沖向き流速との間に比較的大きな差異が見受けられる。この理由が斜面上で波が変形すること、戻り流れが発生すること等によることは当然考えられるが、また、波の変形にともなう碎波前面波長の短縮、前面水位の変化等も水平床の場合と当然異なっていると考えられる。

図-5 向岸流速の変化

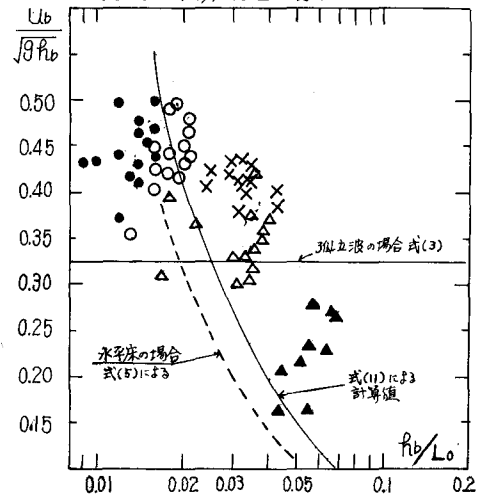


図-6 沖向き流速の変化

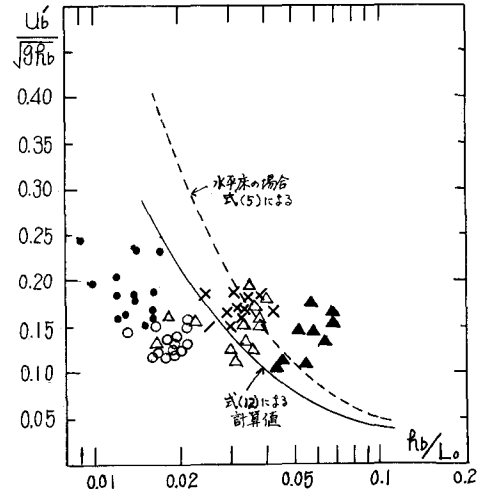
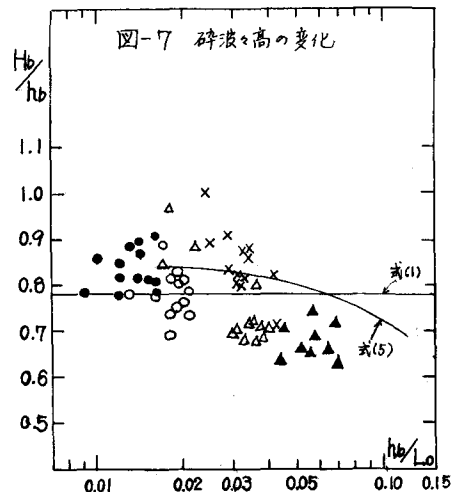


図-7 碎波の高の変化



そこで、特に水平床の碎波時と斜面上の場合の碎波について、それぞれの碎波前面水位 h_0 , h'_0 と比較するとつぎのようなものである。水平床の場合に静水面と波高中分面との距離 δ_0 が

$$\delta_0 = \frac{\pi H_{b0}^2}{4L_b} \coth \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad \dots\dots (8)$$

で与えられると考へて、碎波前面水位 h_0 を求めると、

$$\frac{h_0}{h_b} = 1 + \frac{\delta_0}{h_b} - \frac{1}{2} \left(\frac{H_{b0}}{h_b} \right)^2 = 1 + \frac{\pi}{4} \left(\frac{H_{b0}}{h_b} \right)^2 \left(\frac{h_b}{L_b} \right) \coth \frac{2\pi h_b}{L_b} - \frac{1}{2} \left(\frac{H_{b0}}{h_b} \right)^2 \quad \dots\dots (9)$$

いま式(5),(9)を用いて h_0/h_b を計算し、 $h_0/L_0 \sim h_b/L_0$ の関係と測定値と比較すると図-8 のようになり斜面上の碎波の場合は測定値がほぼ実線で示されるのに対し水平床の場合は破線のように示される。すなわち h_b/L_0 が小さい場合は斜面上の碎波の場合の方が前面水位が上昇していると考えられる。また斜面上の場合の前面水位 h'_0 については図中の実線より、

$$\frac{h'_0}{h_b} = 0.75 \text{ (一定)} \quad \dots\dots (10)$$

の関係が得られた。

つぎに、斜面上の碎波の波形は非対称であり、波高中分面の位置は明確でないが、いま、かりに向岸流発生には静水面より上部、冲向流発生には静水面より下部の波形が関係していると考え、水平床の場合の波形を $(h'_0 - h_0)$ だけ移動させることにより、つぎの関係が得られる。

$$\text{向岸流の場合} \quad \frac{1}{2} \left(\frac{H_b}{h_b} \right) = \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{H_{b0}}{h_b} \right) + \left(\frac{h'_0}{h_b} - \frac{h_0}{h_b} \right) \right\} \quad \dots\dots (11)$$

$$\text{冲向流の場合} \quad \frac{1}{2} \left(\frac{H_b}{h_b} \right) = \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{H_{b0}}{h_b} \right) - \left(\frac{h'_0}{h_b} - \frac{h_0}{h_b} \right) \right\} \quad \dots\dots (12)$$

IV. あとがき

今回は主として熱線流速計による底面附近の流速測定値の発生状況を調べ、さらに、水平床の場合の有限振幅波の碎波限界を与える種々の式の中の一つである Miche の式を使用して種々試算を行ない、斜面上の場合と比較を行なったが、碎波前面水位の上昇の考慮については、今回は $1/50$ 勾配に限ったのみ行なっているため、緩勾配の場合については、ある一定の傾向が得られるだろうことが期待できるとしても、さらに急勾配になる場合には、斜面からの強い戻り流れ、ならびに反射波の影響が考へられ、これらの影響とすべて前面水位の変化に含めて考へた場合に、ある一定の傾向が得られるか否かは、今後一層実験によって調べる必要があると考へる。

終りに、本報告のまとめに当り終始、計算、図表の作成等にご協力を得た本学 競目助手に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 張味・依伯 “碎波後の波の変形に関する研究(2)” 第21回 海岸工学講演会論文集 1974
- 2) 橋本岩田・中辻 “碎波の内部機構に関する基礎的研究(第1報)” 第15回 海岸工学講演会論文集 1969
- 3) 岩田・酒井 “Stream Function Theory による斜面上の碎波の水粒の運動の表現について” 第21回 海岸工学講演会論文集 1974
- 4) 例へば、“海岸工学” 井島武著 朝倉書店

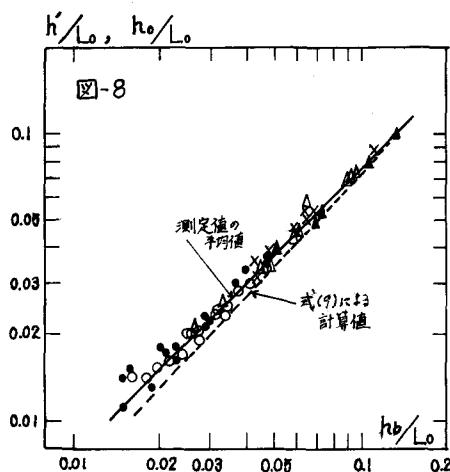


図-8 碎波前面水位の変化

いま、向岸流速算定には式(11)の H_b/h_b を、冲向流速の場合には式(12)の H_b/h_b を使用し、さらに、式(9),(10)を使用して式(6)により底面流速の試算と行なった結果、図-5, 6 に実線で示されるように、いくらか、斜面上の碎波の場合の測定値に近づく結果が得られた。