

II—2 流水中の波の変形に関する研究

岩手大学工学部 正 堺 茂樹
 “ 大場宏樹
 北海道大学工学部 太田和彦
 “ 栗林俊展
 “ 正 佐伯 浩

1. 諸言

著者等は河口閉塞機構を解明することを最終的な目的とし、その第一段階として波と流れの相互作用に関する研究を行ってきた。それらは主に、等密度の単流上あるいは二層密度流上を進行する規則波の浅水変形及び碎波を二次元的に取扱ったものであり、これらの結果を実際の河口近傍での現象と比較するには、さらに海中での河川水の三次元的拡がりや波の不規則性を考慮してゆくことが必要である。そこで、本論では波の不規則性に着目する。従来より不規則波に関する研究が数多く報告されているが、斜面上に逆流が存在し、そこを進行する不規則波の変形に関する実験は行なわれていない。本研究では $1/30$ の一様斜面上に逆流を発生させ、この逆流上を進行する不規則波の変形を扱う。不規則波の特性を検討する手法としては一般に、有義波などの代表波と扱う方法、スペクトル解析あるいは波別解析があるが、これら三つの方法を用いて実験値を整理し、変形特性を検討したので、ここにその結果と報告する。

2. 実験装置及び実験方法

実験には、北海道電力技術研究所の不規則波造波水路を用いた。水路は長さ 35 m 、幅 80 cm 、深さ 120 cm であり、その概略を図1に示す。造波板の前面に設けた取水口から真空ポンプを用いて水路岸側端に設置したタンクに水を送り、逆流を発生させた。流量はタンクに付けた三角ゼキにより測定した。なお、大きな流量が必要な場合には、造波板の後に水中ポンプを置き、タンクに水を送った。タンクより越流した水は 5 m の水平床上で整流され、勾配 $1/30$ 長さ 18 m の斜面上に逆流として流れる。波形は10台の容量式波高計を用い、20点での測定値とデータレコーダーに記録した。測点は図1中に示した通りである。造波方法は、期待スペクトルと Bretschneider- 典型型として造波機に信号を送って造波させたが、実際に発生した波は必ずしも期待スペクトルと完全には一致していない。実験は11ケース行ったが、各ケースでの流量、沖端の測点 (No.1) での有義波高、有義周期、碎波のはじまる水深 h_b は表1の通りである。

3. 実験結果及び考察

不規則波を扱う方法としては、有義波などの代表波の性質を検討する方法、スペクトル解析、波別解析が考えられるが、これらの方法の有効性は検討対象によって異なってくる。ここでは、これら三つの方法を用いて、各々の方法によって得られる不規則波の変形に対する逆流の影響を検討する。

case	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (s)	h_b (cm)
1	0	6.15	0.95	-
2	38.1	6.35	0.94	11.2
3	81.3	6.38	0.94	16.2
4	161.3	6.55	0.97	14.5
5	335.0	6.75	0.99	20.2
6	162.5	9.35	1.02	-
7	75.0	5.61	0.83	14.5
8	0	12.52	1.49	23.2
9	143.8	12.82	1.49	32.2
10	311.9	12.91	1.42	20.2
11	142.5	4.1	1.40	11.2

表 1

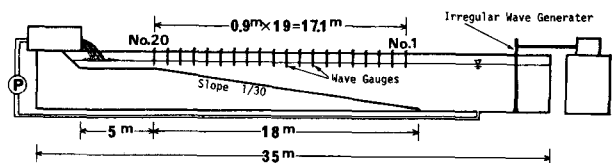


図 1

3-1. 代表波の変形

波高ガレリー分布とし、水位 η が正規分布ある場合には、 $1/10$ 最大波高 $H_{1/10}$ 、有義波高 $H_{1/3}$ 、平均波高 $\bar{H}$ など代表波高は次のような関係にある。

$$\left. \begin{aligned} H_{1/10} &= 5.090 \eta_{rms} = 1.271 H_{1/3} \\ H_{1/3} &= 4.004 \eta_{rms} = 1.597 \bar{H} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

これらの関係を試みたのが図2～5である。図2は逆流のない場合の結果であり、各測点(各水深)での値は若干ばらついているが、ほぼ平均的に一定の値を保ち、全体として $H_{1/10}/H_{1/3} = 1.259$, $H_{1/3}/\bar{H} = 1.561$ となる。(1)式より1～2%小さめであるが、ほぼ同一の傾向を示している。図3・4は造波信号は図2の場合と同一にして、逆流の大きさを変えた場合であるが、砕波のはじまる位置(図中B.P.)より沖側では図2と同様ほぼ一定値を保ち、その値も逆流のない場合とは同一であった。このことより、逆流が存在しても、その大きさにかかわらず、砕波までの代表波高間の関係は一定であることが明らかとなった。また図3・4で砕波のはじまる点からは値は小さくなり、砕波が進むのに伴い減少していくことが認められる。次に η_{rms} と $H_{1/3}$ の関係を、流れのない場合と流れの大きさ毎に求めてみたが、その関係はほぼ同一であり、逆流の有無、大きさに無関係

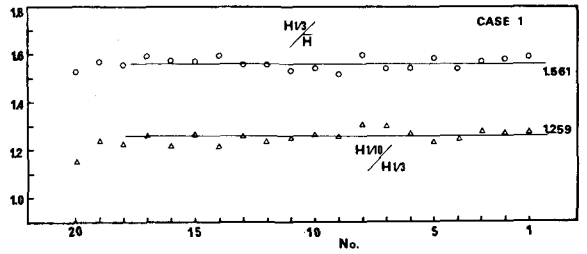


図 2

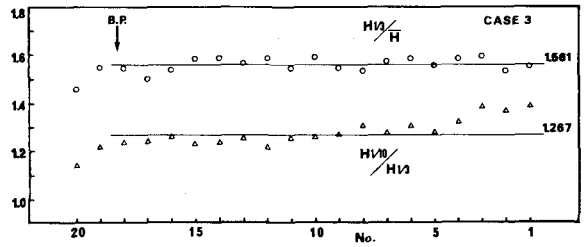


図 3

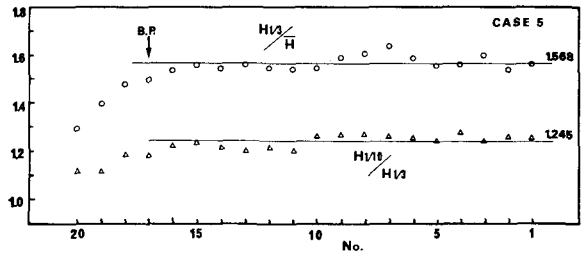


図 4

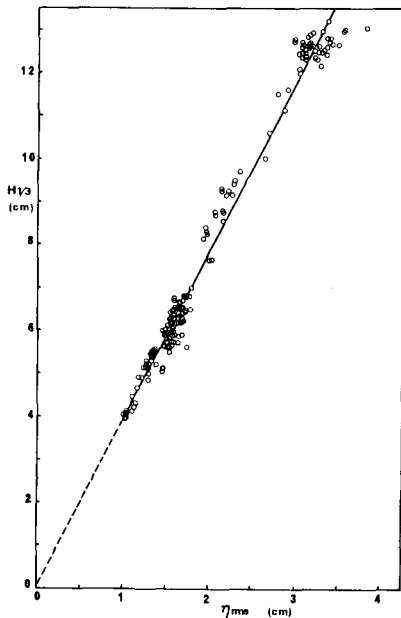


図 5

に全体として図5に示すような関係が得られた。最小自乗法で近似直線と求めると、

$$H_{1/3} = 3.875 \eta_{rms} + 0.073 \dots (2)$$

となり、(1)式とかなり近い関係が得られた。

水深の変化に伴う波高の変化について検討を行う。一番沖側の測点(No.1)での有義波と同じ波高及び周期を持つ規則波の浅水変形

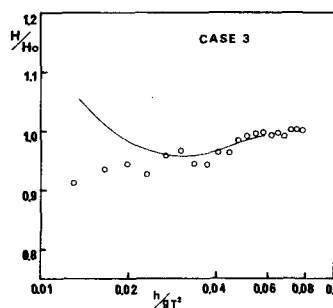


図 6

の理論解と図6の直線と示す¹⁾。有義波の変化の実験値(図中○印)と比較すると、有義波の波高変化と規則波の理論解から推定することは不可能であることがわかる。有義波に限らず、図2～4のように代表波高間の比は一定であるから、代表波高と規則波的に扱うことはできないことになる。

逆流中の規則波の砕波水深及び砕波波高は波形状勾配と q^* (q^*/γ)によって求めることができる。²⁾そこで、No.1での $1/10$ 最大波の波高と周期を用いて、規則波の砕波指標による砕波点を求めてみる。 $1/10$ 最大波を用いた理由は、実験では砕波のはじまる位置を識別しており、最も深い水深で砕波するのは波形状勾配の大きい波であることから、不規則波の中の大きい波との関係を求めるためである。図7は $1/10$ 最大波を用いた規則波の砕波指標による砕波水深 $(h_b)_R$ と実験値 $(h_b)_E$ との比を示したものである。横軸は q^* であり、 T は $T_{1/10}$ を用いた。比 α 値はかなりばらついており、 q^* の増大に伴い若干大きくなる傾向があり、全体的には $0.8 \sim 1.4$ の間にある。図8は砕波波高に関するものであるが、この値は砕波水深に比べるとかなり安定した傾向をもち、 α 値は $0.8 \sim 0.9$ の間にある。

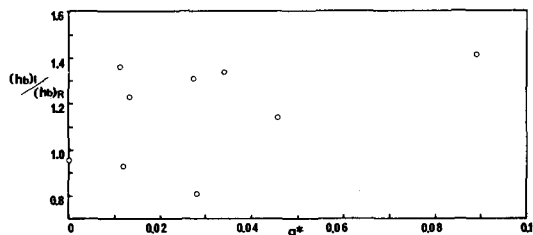


図 7

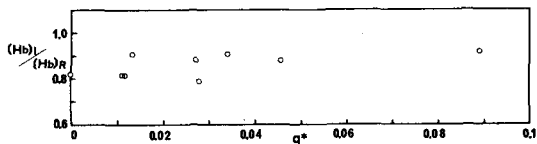


図 8

3-2. スペクトル解析

不規則波の信号をサンプリングタイム90ms間隔でA-D変換し、自己相関係数を求めて、パワースペクトルを計算した。その一例を図9に示したが、図中の実線は期待スペクトルであるBreitschneider-光島型スペクトルであり、実験値は低周波数側ではかなりよく一致しているが、高周波数側では若干異なる傾向をもちている。水深が減少して波形状が歪むと低周波数側にはより大きな差は生じないが、高周波数側のスペクトルの傾きに変化が生じる。つまり高周波数側のスペクトルを $S \propto f^{-n}$ とした場合の n に変化が表れる。この変化の様子を示したのが図10である。図には進波信号は一定で、逆流の大きさや異なる三種のケースを手にとってあるが、全体的傾向としては、浅水変形が進むにつれて若干大きくなり、砕波のはじまる位置前後から再び減少する。また流れの大きい場合、 n が小さくなっていることが認められる。このことより、浅水変形が進む程、また逆流が大きい程、高周波数側の n が一時的に減少することから明らかになった。

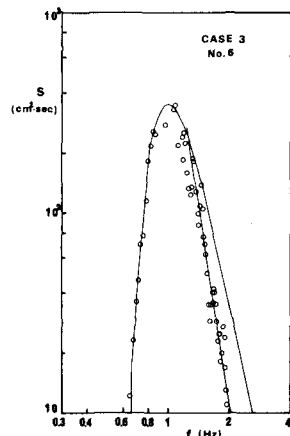


図 9

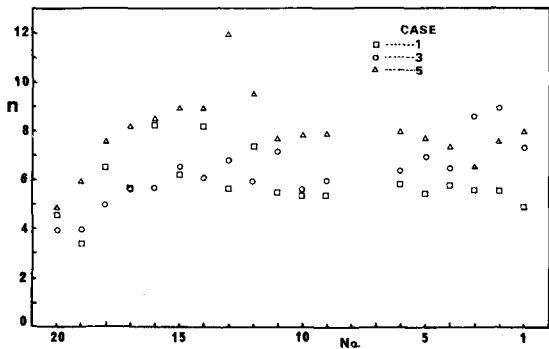


図 10

3-3. 波別解析

波別解析とは、不規則な水位記録をゼロアップクロス法あるいはゼロダウンクロス法で個々の波に分解し、これから各々の波が規則的に変形するものとして解析する方法である。本研究ではゼロアップクロス法によって個々の波を定義した。各波の変形計算の平均は以下のものである。

1) 砕波前の浅水変形(理論解)¹⁾

一様流に伴う波の浅水変形の理論解は、水深 h の波高 H_0 、水深 h での波高 H とすると、

$$\frac{H}{H_0} = \left\{ \frac{1 + \alpha S}{\left(\frac{1}{S} + \alpha\right)(1 + 2HS \operatorname{cosech} 2HS)} \right\}^{1/2} \quad \dots (3)$$

$$(1 + G S)^2 = S \tanh(H S) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $S = \frac{g}{\omega^2} \left(\frac{2\pi}{L} \right)$, $G = \frac{\omega}{g} U$, $H = \frac{\omega^2}{g} h$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T : 周期
 U : 一様な逆流の流速, g : 重力加速度

となる。

2) 砕波点の決定

逆流上と進行する規則波の砕波点における水深、波長、波高の関係は、

$$\left(\frac{H}{L} \right)_b = \alpha \tanh \left(\frac{2\pi h}{L} \right)_b \quad \dots\dots (5)$$

と表わすとき、比例定数は α の値になっている²⁾。各水深で(3)(4)式より求めた波高と波長が(5)式を満足した時に砕波が生じるものとして、砕波点を決定する。

3) 砕波後の変形

砕波後の波高 H と砕波波高 H_b と H/H_b と水深 h と砕波水深 h_b との比 h/h_b との関係は、逆流が存在する場合でも砕波変形勾配 α が α に変わりなく、水深勾配のみによって決定される²⁾。このように H/H_b と h/h_b の関係を表わす図より砕波後の波高を算出する。

この図の計算を逐別解析した一浪一浪に対し行い、その結果から波高の強度分布の変化を示したものが図11~14である。図中の棒グラフが計算値であり、折線が実験値である。この図より、水深が減少するにつれて波高の強度分布の形状が変化してゆくのが見られ、逐別解析によって得られる計算結果は実験値とかなりよく近似しており、このような手法による取扱いが有効であることが認められる。

最後に、本実験を行うに当たり実験装置と快く使用させて頂いた北海道電力技術研究所の関係各位に感謝の意を表します。特に富樫・西条両氏は実験中常に協力していただいたことを記し、ここに深甚なる謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 富永政英: 波と波について, 海岸工学研究ニュース, 第6号, 1967
- 2) 堀 茂樹, 大塚喬彦, 佐伯 浩, 尾崎 寛: 斜面上での砕波に及ぼす流れの影響に就く基礎的研究, 第28回海議, 1981
- 3) 堀 茂樹, 佐伯 浩, 尾崎 寛: 一般波に伴う有限振幅波理論の適用性, 第30回海議, 1983
- 4) S. Sakai, H. Saeki: Effects of opposing current on wave transformation on sloping sea bed, 19th I.C.C.E., 1984.

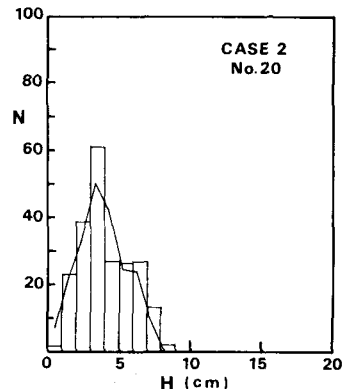
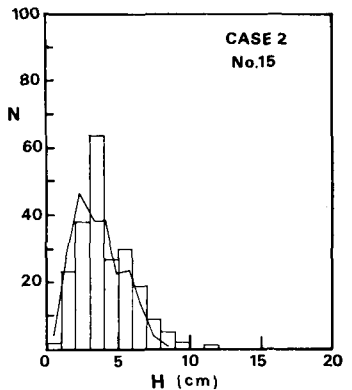
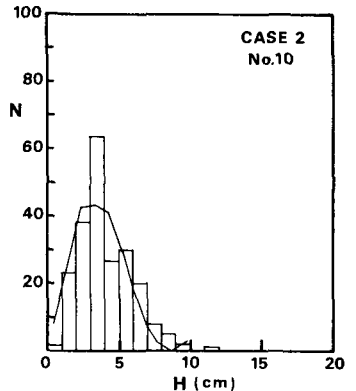
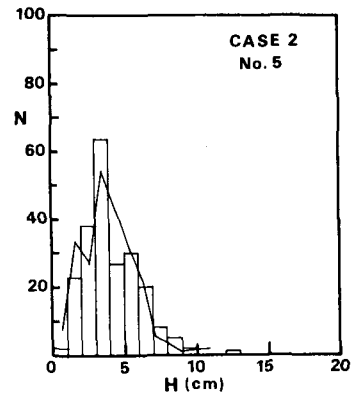


図11~図14