

1. まえがき 昨年の第 30 回海岸工学講演会¹⁾で、著者の一人らは実験水槽内の約 1/30 の一様勾配斜面上で碎ける崩れ波型碎波による碎波帯内の岸沖および鉛直方向流速を、2成分レーザードップラー流速計 (LDV) を用いて同時測定し、0.1 秒の移動平均からの偏差を乱れとし、岸沖および鉛直方向の乱れの相互相関としてのレイノルズ応力を算定し、波の一周期内における運動量輸送におけるレイノルズ応力項の貢献度を調べた。その結果、加速度項に比べてかなり小さく、その効果は無視しうるのではないかと述べた。この事実は、波の一周期内の特定の位相に関する結果であり、また崩れ波型碎波に限ったものであるので、その後、巻き波型碎波について同様の測定を行ない、また波の一周期の全位相について同様の検討を行なった。ここでは、その結果について述べる。

2. 実験装置、条件、方法および解析方法 (1) 実験水槽は、長さ 30m、幅 48cm、高さ 70cm の両面ガラス張り水槽を用いた。周期 T が 1.82sec の規則波を発生させ、1/20

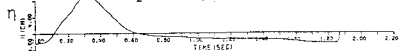
勾配 (i) の斜面上で波が碎けるようにした。2本の波高計 (流速測定点とその岸側 39cm の点に設置) と LDV を、上下方向および波の進行方向に移動可能な台車にのせた。(2) 斜面前面の一樣水深部水深 h_1

は 35cm、碎波点水深 h_b は 14.0cm、碎波高 H_b は 13.0cm、碎波帯幅 W は 275cm である。換算沖波波形勾配 H_0/L_0 は 0.019 で、典型的な巻き波型碎波である。(3) LDV による岸沖および鉛直方向流速の同時測定は、碎波点より 45cm 岸側から 5cm 毎に、85cm 岸側まで 5 測線で、各測線では底面から約 1.5cm 上方から静水面近くまでの 6~8 点で行なった。(4) LDV および波高計の出力は 0.01sec で A/D 変換し、各測定点毎約 70sec 間を図化した。図化した流速波形から流速計がドロップアウトしている区間を決定し、以後の解析から除いた。

残りの流速データの 0.2sec の移動平均を行ない、それからの偏差として乱れ u' , w' を定義した。(5) 0.01sec 毎の $-u'w'$ のデータを再び 0.2sec で移動平均し、これをレイノルズ応力とした。なおこのレイノルズ応力は 0.01sec 毎に得られるが、一周期にわたる変化の一般的傾向を把握するため、波の一周期を 0.1sec 毎の区間に分割し (図-1)、各区間で全波にわたって上述のレイノルズ応力を平均し、それを各位相における平均的なレイノルズ応力とした。

3. レイノルズ応力の位相変化 図-2 は、碎波点から 55cm 岸側の鉛直方向 8 点でのレイノルズ応力の一周期内の変化を示す。一番上の図は、約 40 波の水位変動の平均を示す。崩れ波型碎波の場合¹⁾に若干見ら

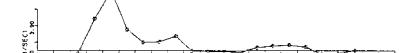
55cm shoreward from breaking point ($h = 11.0\text{cm}$)



2.6cm below still water level



3.6cm



4.6cm



5.6cm



6.1cm



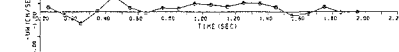
7.2cm



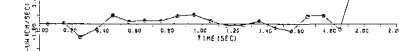
8.6cm



9.6cm



9.6cm



9.6cm

9.6cm

9.6cm

9.6cm

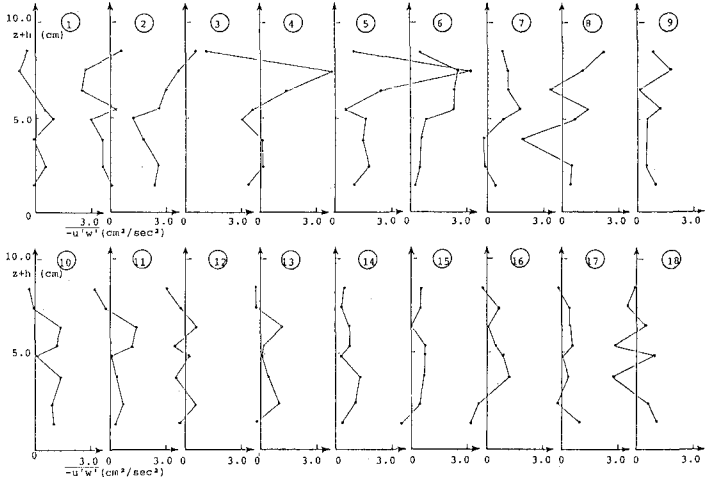
図-1 波の一周期の 0.1sec の区間への分割

図-2 レイノルズ応力の位相変化

れた、波の峯の前面でレイノルズ応力が負から正に変化する傾向が、この場合は全ての点で見られる。他の測線での結果も含めて、巻き波型碎波の場合、全体に崩れ波型碎波の場合よりも底面近くまでレイノルズ応力が大きい傾向がある。

4. レイノルズ応力の鉛直分布 図-3

は、図-2を別の表現で示したものである。図中の各図の番号は、波の一周期を分割する0.1sec毎の区間に対応している。この図の碎波点から55cm岸側の場合には、位相番号④、⑤（波の峯の位相）付近で、水面付近に強い正のレイノルズ応力の存在が目につく。他の測線の結果をも含めた一般的傾向としては、崩れ波型碎波の場合と同様、その鉛直分布は複雑である。



5. 碎波帯の波の一周期内の運動量輸

図-3 レイノルズ応力の鉛直分布

送におけるレイノルズ応力の貢献度 碎波帯での波の周期より短い時間スケールでの運動量方程式として、レイノルズ応力を含んだ次式を考える。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'u'}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{u'w'})$$

この式の各項の大きさを、波の一周

期を分割する0.1secの区間毎（図-1）に比較する。測定点として、碎波点から80cm岸側（水深10.8cm）の静水面下5.5cmの測定点を選んだ。加速度項 $\partial u / \partial t$ の計算では、uとして全波にわたる0.1secの区間毎の位相平均値を用いた。移流項 $u \partial u / \partial x, w \partial u / \partial z$ の計算でも、u, wは同様の位相平均値を用いた。x方向の勾配は、5cm沖側の測線上の最も近い測定点での値との差から求めた。ただし両者の位相差を考慮した。z方向の勾配については、同じ測線上の約1cm下の測定点の値との差から求めた。レイノルズ応力項 $\partial \overline{u'^2} / \partial x$ の計算における $\overline{u'^2}$ は、0.2secの移動平均からの偏差として定義された u' の、全波にわたる0.1secの区間毎の位相平均値を用いた。そのx, z方向の勾配の求め方は、移流項の場合と同様である。なお、圧力勾配項 $\partial p / \partial x$

は、波高計の不調のため計算できなかった。表-1は、その結果を示す。表から明らかなように、局所的な加速度項が圧倒的に大きく、計算出来なかった圧力勾配項とつりあうものと考えられるが、 $t > 0.65 \text{ sec}$ すなわち波の谷の位相では、局所的加速度項が小さくなり、レイノルズ応力項を含めた全ての項が同程度の大きさになり、その意味でレイノルズ応力項が無視しえない位相があるといえる。

6. 参考文献 1) 酒井哲郎・三反畑勇：碎波による乱れのレイノルズ応力について、第30回海岸工学講演会論文集、土木学会、pp.30-33, 1983.

表-1 波の一周期間におけるレイノルズ方程式の

各項の大きさの比較

t (sec)	$\frac{\partial u}{\partial t}$	$u \frac{\partial u}{\partial x}$	$w \frac{\partial u}{\partial z}$	$\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x}$	$\frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z}$
	(cm/sec ²)				
-0.25	—	5.3	1.4	-0.3	0.4
-0.15	91.8	0.3	9.9	-1.1	0.4
-0.05	135.8	-5.7	10.5	0.1	0.7
0.05	49.9	1.3	1.9	0.5	1.1
0.15	-20.0	8.8	-1.2	1.4	-0.0
0.25	-56.3	4.4	-6.0	0.9	0.4
0.35	-52.3	-0.5	0.5	0.7	0.9
0.45	-58.8	0.5	3.3	0.6	1.3
0.55	-25.3	3.1	1.2	0.0	-0.2
0.65	-6.7	3.8	0.4	0.6	-1.1
0.75	13.4	1.7	-0.1	1.2	0.2
0.85	-0.3	1.7	0.4	0.1	1.1
0.95	-4.7	1.8	0.8	0.3	1.4
1.05	-24.3	2.9	-0.0	0.6	1.3
1.15	-5.6	0.6	-3.5	0.2	0.7
1.25	-8.2	-2.1	-9.3	-0.2	0.0
1.35	-25.6	-1.3	-5.1	0.3	-0.1
1.45	-12.2	—	-5.3	—	0.4