

斜面上の巻き波砕波帯の内部機構

京都大学工学部 正 酒井哲郎, 間組 正 ○内田雅博

1. まえがき 実験水槽中の一様勾配斜面上で砕ける巻き波型砕波による乱れを, 2成分レーザードップラー流速計(LDV)で測定し, レイノルズ応力を含む乱れに関する諸量を評価して, 崩れ波型砕波の場合と比較した。また, 可視化実験によつて, 水塊の突入によつて発生するとされている渦の実態を調べ, 前述の結果と合わせて巻き波型砕波による乱れの構造の検討を行った。ここでは, とくに, 砕波帯内でのレイノルズ応力の運動量輸送に対する貢献度と, 可視化実験によつて得られた中立粒子の動きについて述べる。

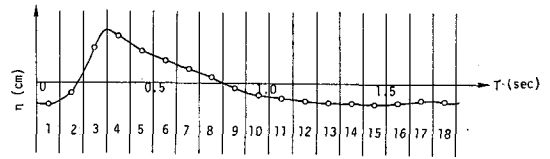
2. LDVを用いた実験の装置, 方法および解析方法 (1)実験水槽は, 長さ30m, 幅48cm, 高さ70cmの両面ガラス張りの水槽を用いた。水槽の一端に設置されたフラッター式造波機により, 周期(T)が1.82秒の正弦波を発生させ, 他端に設置した $1/20$ 勾配の斜面上で波が砕けるようにした。2本の容量式波高計(流速測定点とその岸側39cmの点に設置)とLDVを, 上下方向及び波の進行方向に移動可能な台車にのせた。(2)斜面前面の一様水深部の水深は35cm, 砕波点水深(h_b)は14.0cm, 砕波高(H_b)は13.0cm, 砕波帯幅は275cmである。換算沖波波形勾配は0.019で, 典型的な巻き波型砕波である。(3)LDVによる岸沖および鉛直方向の流速の同時測定は, 砕波点より45cm岸側から5cm毎に65cm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のもの6~8点で行った。(4)LDVおよび波高計からの出力は, すべて0.07秒でAD変換した。変換された水位と流速記録は, 各測定点毎にその70秒間をX-Yプロッタで図化した。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。残りの流速データに関して, 0.2秒の移動平均を行い, それからの偏差として乱れ u' を定義した。従来の研究では, レイノルズ応力は多くの波の各位相での $-\overline{u'w'}$ の平均値として定義されている。しかし, 本来のレイノルズ応力は時間平均で定義されている。ここでも時間平均でレイノルズ応力を定義する。移動平均時間は, 0.1秒とした。なお, 上述のレイノルズ応力は0.07秒毎に得られるが, 1周期にわたる変化の傾向を全体として把握するために, 波の1周期を0.1秒ごとの区間に分割し, 各区間で全波にわたつ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. 砕波帯内の波動場の運動量輸送におけるレイノルズ応力の貢献度 巻き波型砕波の砕波帯内での波動場の運動量輸送におけるレイノルズ応力の貢献度を調べるために, 次式のようなレイノルズ応力を含めた岸沖方向の運動方程式を考える。
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial (-\tau - p \bar{u} w)}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial (-p \bar{u} w)}{\partial z}$$
 この式の各項の大きさを比較する。測定点として, 砕波点の岸側60cmの測線で, 静水面下5.5cmの点を選んだ。表-1はその結果を示す。 $\bar{u}$ の値は, 上の図の区間を示す番号と一致する。局所的な加速度項 $\partial u / \partial t$ の計算では, $\bar{u}$ として全波(38~39波)にわたる0.7秒の区間毎の位相平均値を用いた。移流項 $u \cdot \partial u / \partial x$,

Tetsuo SAKAI, Masahiro UCHIDA

$w \cdot \frac{\partial w}{\partial z}$ 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。 $\overline{u^2}$ は、0.2 秒の移動平均値からの偏差として定義された u の、全波にわたる 0.1 秒の区間毎の位相平均値を用いた。その x 方向及び 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、圧力勾配項は、波高計の不調のため計算できなかった。表-1 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、計算できなかった圧力勾配項とつりあうものと考えられるが、 i が 10 以上すなわち波の谷の位相の局所的加速度項が小さくなる付近では、レイノルズ応力項も含めて全ての項が同じ程度の大きさになっている。

表-1 砕波帯の波動場の運動量輸送におけるレイノルズ応力の貢献度



i	$\frac{\partial u}{\partial t}$	$u \frac{\partial u}{\partial x}$	$w \frac{\partial w}{\partial z}$	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$	$\frac{\partial u \cdot w}{\partial z}$
	(cm/sec ²)				
1	—	5.3	1.4	-0.3	0.4
2	91.8	0.3	9.9	-1.1	0.4
3	135.8	-5.7	10.5	0.1	0.7
4	49.9	1.3	1.9	0.5	1.1
5	-20.3	8.8	-1.2	1.4	-0.0
6	-56.3	4.4	-6.0	0.9	0.4
7	-52.3	-0.5	0.5	0.7	0.9
8	-58.8	0.5	3.3	0.6	1.3
9	-25.3	3.1	1.2	0.0	-0.2
10	-6.7	3.8	0.4	0.6	-1.1
11	13.4	1.7	-0.1	1.2	0.2
12	-0.3	1.7	0.4	0.1	1.1
13	-4.7	1.8	0.8	0.3	1.4
14	-24.3	2.9	-0.0	0.6	1.3
15	-5.6	0.6	-3.5	0.2	0.7
16	-8.2	-2.1	-9.3	-0.2	0.0
17	-25.6	-1.3	-5.1	0.3	-0.1
18	-12.2	—	-5.3	—	0.4

4. 中立粒子を用いた可視化実験とその解析 巻き波型砕波により水塊が水中に突入して発生する渦状の動きを視覚的に捉えるために、可視化実験を行なった。実験条件はLDVを用いた実験とほぼ同じで、砕波高がわずかに異なっており 12.5cm である。トレーサーとして、比重がほぼ 1.0、直径約 2mm のポリスチレン粒子を用いた。砕波点から岸側約 70~110cm までの約 40cm の区間を 16mm カメラで撮影した(毎秒 64 コマ)。識別が可能な粒子のみについて、その運動を水面形とともに図にした例が図-2 である。粒子位置は 2 コマ (1/32 秒) 毎に、水面形は 6 コマ (3/32 秒) 毎に示している。6 個の粒子の軌跡を示しているが、そのうち最も岸側と沖側の粒子を除く 4 個の粒子は、いずれも波動運動による大きなループではなく、小さいループを描いている。この図からは、その大きさは数 cm 程度である。なお、粒子は水槽横断方向のどの位置にあるかは不明で、水槽の 2 つの側壁の位置での図のスケールはかなり異なる。

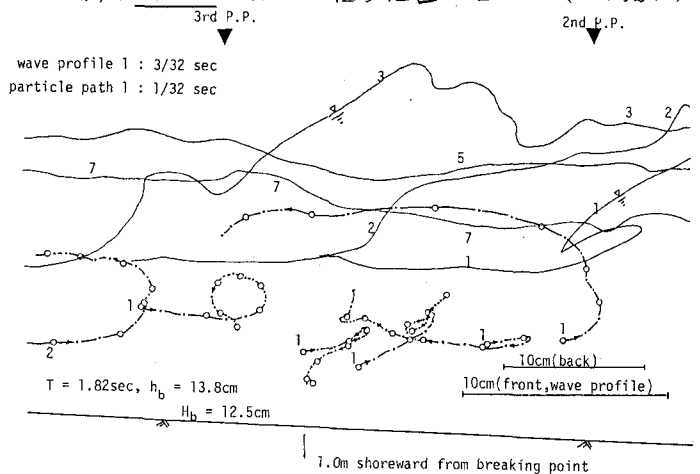


図-2 砕波帯内での中立粒子の運動