

鳥取大学工学部 正員・岩佐敏博・石田博章・野田英明

1. よそがき

この研究は、波動による底面付近の流れ特性を把握するため、底面に砂れんをつくり、それを固定して、その上層における水粒子の変位、および底面付近の流速を測定し、波動境界層における流れの挙動について検討を行なったものである。

2. 実験装置および方法

実験は図-1に示すような片面ガラス張り水槽で行なった。水槽中央の測定区間には豊浦標準砂を5cmの厚さに敷いて、水深を40cmと一定にし周期1.49sec、波高5.78cmの波を起こし砂れんを形成させた。砂れんが定常状態に達した後、セメント粉末を表面に薄く散布して固定床とした。この砂れんの平均波高および波長は、それぞれ0.97および7.15cmである。実験は、過マンガン酸カリウム溶液を波の進行方向と直角に、ノズル先端より流出させ痕跡線を撮影した。底面付近では、砂れんの峯谷および中腹において、それぞれ波の進行方向(+)と逆方向(-)の痕跡線を写真撮影した。底面付近の流速測定は、熱加工して球状にしたポリスチレン粒子(比重1.03、粒径2.5mm)の変位をストロボフラッシュ(1/20 sec間隔)を用いて撮影した。

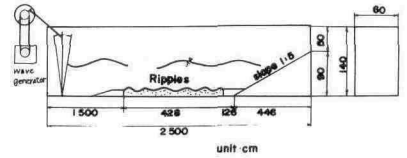


図-1 波動水槽

表-1 実験条件

NO.	1	2	2'	3	3'	4	4'
H (cm)	4.38	6.79		9.57		12.57	
h (cm)	40	40		40		40	
T (sec)	1.49	1.49		1.49		1.49	
L (cm)	259	259		259		259	
h/L	0.1544	0.1544		0.1544		0.1544	
H/L	0.0169	0.0262		0.0369		0.0485	
U ₀ (cm/sec)	8.15	12.63		17.81		23.39	
ν (cm ² /sec)	0.01126	0.0115	0.0133	0.0129	0.0117	0.0139	0.0133
δ (cm)	0.073	0.073	0.079	0.074	0.075	0.081	0.079
Re	53	91	75	103	114	137	139
d ₁ (cm)	3.87	6.00		8.45		11.10	
W.T. (°C)	15.5	14.8	9.5	10.5	14.0	8.0	9.5
strobe time	—	—	1/20	—	1/20	—	1/20
bed cond.	rough	rough	rough	rough	rough	rough	rough

なお資料の解析は、フィルム上に写したスケールによった。

実験に使用した波の特性は、表-1のようである。ここにH:波高、T:波の周期、L:波長、 $U_0 = \pi H / (T \sinh 2\pi h / L)$ 、 $\delta = (\nu T / \pi)^{1/2}$ 、 ν :動粘性係数、 $Re = U_0 \delta / \nu$ 、W.T.:水温、 a :底面における水粒子の最大振幅 $a = H / (\sinh 2\pi h / L)$ である。

3. 波動による水粒子の変位に関する実験の結果および考察

色素の連続放出による痕跡線は、ノズル先端をつぎつぎに通る水粒子のその後の運動軌跡を表わしている。微小振幅波理論によると浅海波の場合、波の1周期の間に描かれる痕跡線は長円で、その長径 a 、および短径 b はそれぞれ

$$a = H \cosh k(h+z) / \sinh kh \quad (1)$$

$$b = H \sinh k(h+z) / \sinh kh \quad (2)$$

で表わされる。写真-1は底面近くの痕跡線を示す一例であって、この場合NO.1のRe数は53と小さく痕跡線が線状であって、その先端では砂れんに沿って渦が形成されている。しかし、この渦はあまり大きく発達せず、

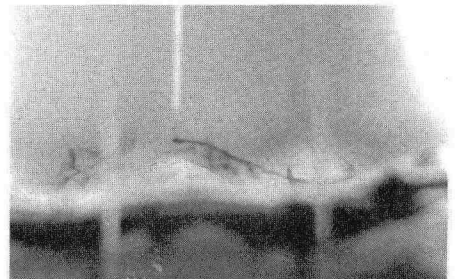


写真-1 底面付近の痕跡線 (NO.1)

底面付近の流れは層流であることがわかる。一方、写真-2は、実験N0.3およびN0.4に対する底面近くの痕跡線を示すものであって、ノズルから放出された色素は拡散され、複雑な形状となっている。これは流れが乱れていることを示しているもので、いかゞ波高が大きくなるにつれ、その乱れは強くなる傾向にある。渦は流れの加速時後半から減速時前半に発達し、減速時後半に最大となり、流向が変り加速状態になると消滅していくという傾向をみせ、日野の実験結果と類似の傾向を示している。また写真-3は底面からの高さによって痕跡線がどのように変化するかを示す一例である。この写真から水粒子の水平方向の最大変位 a は、底面に近づくにつれ小さくなり、とくにその鉛直方向の最大変位 b は著しく小さくなることわかる。しかし $z \sim -35$ cmの範囲ではほぼ微小振幅波



写真-2(a) 底面付近の痕跡線 (N0.3)

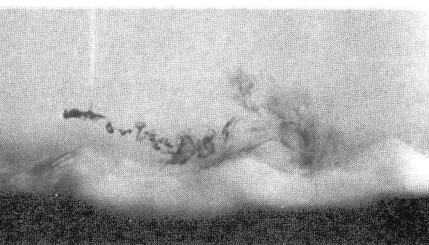
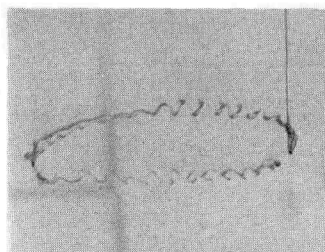
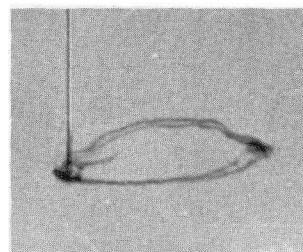


写真-2(b) 底面付近の痕跡線 (N0.4)

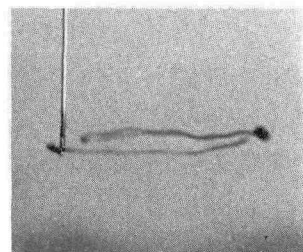
理論と一致するようである。なお写真3には比較的規則的な微小振動が見られるが、これはノズルの固有振動によるものと思われる。図-2および図-3はそれぞれ a および b の鉛直方向の変化を示すものであって、図中の実線はそれぞれ(1)および(2)式で示される理論曲線である。これ



(a) $z = -25$ cm



(b) $z = -30$ cm



(c) $z = -35$ cm

写真-3 色素による痕跡線

らの図から、1) N0.2の場合、 a の値は $z/h > -0.9$ では実験値と理論値とはよく一致しているが、それ以下の領域では、砂れんの峯あるいは谷で著しくことなり、理論値とのへだたりが大きい。2) N0.4の場合 a の値は $z/h > -0.9$ でも(1)式と一致しない。これは波高が大きく有限振幅波としての値をとる必要があることを示している。しかし、 $z/h < -0.9$ では、 a の値が非常に大きくなっていることがわかる。3) a および b の値は $z/h < -0.85$ の領域で、その上の領域と傾向がまったく異

なっている。これは、 $z/h \sim -0.85$ の上層と下層で流れの状態がことなることを示唆するものであってその下層が非回転非粘性理論と一致しないことから、波動境界層の発達が予測される。

Kalkanisによると底面が滑面の場合の波動境界層厚は、 δ の約5倍であるからこの実験ではほぼ、

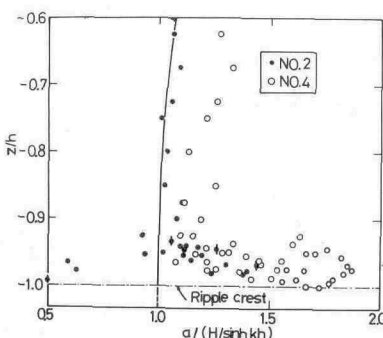


図-2 aの鉛直方向分布

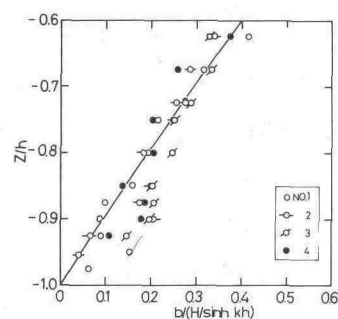
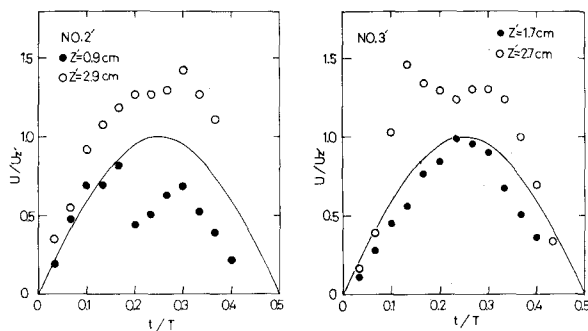


図-3 bの鉛直方向分布

図-6は、種々の波高に対する最大水平分速度 U_{max} の鉛直方向の変化を示したものである。なお、 U_{max} の実験値は同じ高さ z' における数個の値を平均したものであり、また図中の実線は、(3)式において $\sin(kx - \omega t) = 1$ とおいた結果であって、図の縦軸は $z/\delta = 0 \sim 90$ の範囲で示してあるので $h \gg \delta$ を考慮すると、 $\cosh k(z+h) \approx 1.0$ と考えてよい。この図から明らかなように、かなりのばらつきはみられるが、 $z/\delta = 30$ 付近で最大流速が最大となる。一般に層流境界層の場合、その厚さはせいぜい 10δ といわれている。しかし、実験結果から明らかなように、底面に砂れんのある場合、境界層厚さは 90δ 程度となることがわかる。Jonsson の U 字管による振動流の実験結果でも乱流境界層の場合、その厚さが約 100δ であったことと比較するときわめて興味深い結果であるといえる。また、最大流速 U_{max} の最大値は U_0 のほぼ2倍になる場合のあることも実験結果から明らかであろう。

現在のところ、こうした測定方法でさらに実験をかさね、さらに詳しく乱流境界層について検討するつもりである。



(a) NO. 2' (b) NO. 3'
図-5 U/U_0 の位相による変化

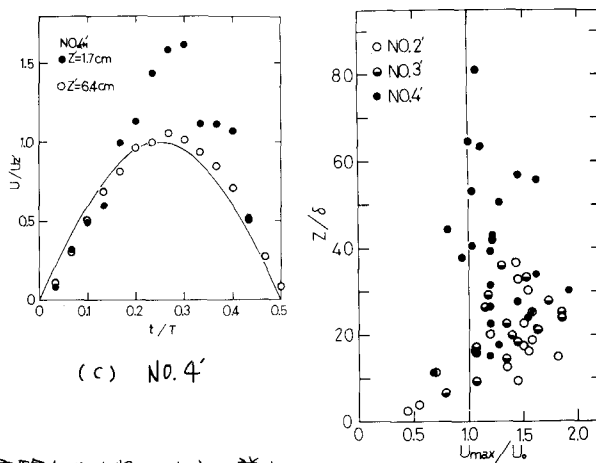


図-6 U_{max}/U_0 の鉛直分布

参考文献

Kalkanis, G: Turbulent Flow Near an Oscillating Wall, B.E.B. Tech. Memo.

NO. 97, 1957, pp. 1-36.

日野幹雄・大西亮一：浅水表面波の相底上の乱流構造，第18回海岸工学講演会論文集

昭和46年10月，pp. 83-91，