

開水路流れの水利特性に及ぼす水面波の影響について(1)

— 平均速度分布特性 —

京都大学防災研究所 正員 今本 博健
 摂 南 大 学 正員 上田 伸三
 建 設 省 正員 ○石橋 良啓
 京都大学大学院 学生員 植田 剛史

一般の開水路流れに水面波が付加されると、水位変動に伴い流速は大きく変化し、その水利特性もきわめて複雑となる。本報告は、下流側より水面波が付加された開水路流れの平均速度分布特性について実験的検討を加えたものである。実験水路は、幅40cm、深さ22.5cm、長さ8mの直線水路であつて、路床勾配は水平に保たれている。また、水位変動は容量式波高計を用いて計測し、流速は二成分用の15mW He-Neレーザー・ドップラー流速計を用いて計測している。なお、実験条件は表-1に示す通りである。

1. 全位相平均流速：図-1は共存場の各ケースについて水面波の全位相を通じての平均流速 $\bar{U}$ の鉛直分布と流れのみの場合も含めて図

表-1

CASE	Q (l/s)	h (cm)	Um (cm/s)	Re	ν (cm ² /s)	T (s)	H (cm)	L (cm)	C (cm/s)
SC	3.017	9.95	7.58	6177	0.012209	—	—	—	—
SW-1	0	10.06	0	0	0.012031	1.00	2.69	94.46	94.46
SW-2	0	10.05	0	0	0.012106	1.20	2.04	113.14	94.28
SW-3	0	10.00	0	0	0.011874	1.50	1.08	143.31	94.54
SW-4	0	10.00	0	0	0.011956	1.50	1.43	143.68	95.79
SW-5	0	10.00	0	0	0.011744	1.50	1.58	146.68	97.78
SCW-1	3.017	10.22	7.38	6370	0.011841	1.00	3.63	86.01	86.01
SCW-2	3.017	10.15	7.43	6411	0.011765	1.20	3.10	106.19	88.50
SCW-3	2.982	9.83	7.58	6402	0.011644	1.50	1.19	134.33	89.53
SCW-4	3.017	9.94	7.59	6441	0.011711	1.50	1.72	136.94	91.30
SCW-5	2.982	9.98	7.47	6449	0.011560	1.50	2.44	137.36	91.58

示したものである。路床付近($y < 1$ cm)での流速を同図から判別することは困難であるが、それより上方における流速は、波が付加されると大きくなるとともに速度勾配 $d\bar{U}/dy$ も大きくなり、この傾向は波高が大きくなるに従つて顕著になっている。これらの実測値を用いて次式により定義される排除厚さ δ_* および運動量厚さ θ を計算し、波高Hによる変化と $\bar{U}_{max}$ の変化とともに示すと図-2の通りである。

$$\delta_* = \frac{1}{\bar{U}_{max}} \int_0^{\infty} (\bar{U}_{max} - \bar{U}) dy \quad (1)$$

$$\theta = \frac{1}{\bar{U}_{max}} \int_0^{\infty} \bar{U} (\bar{U}_{max} - \bar{U}) dy \quad (2)$$

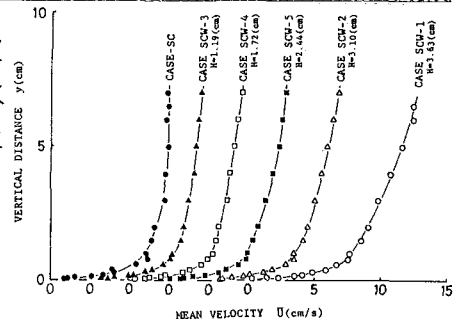


図-1

同図を見ると、 δ_* 、 θ および $\bar{U}_{max}$ はHの増加に伴いいずれも増加しており、境界層の平均厚さが増加することを示している。Kemp・Simons⁹⁾による順流の場合は、

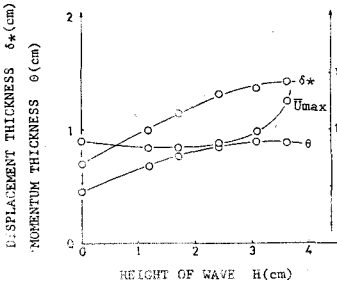


図-2

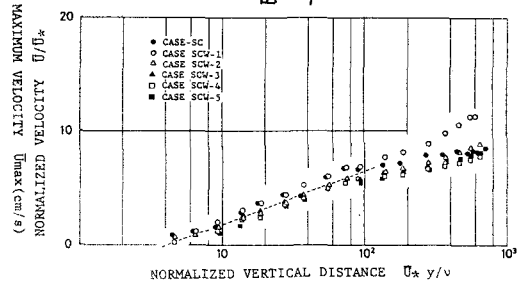


図-3

Hirotake IMAMOTO, Shinzō UEDA, Yoshihiro ISHIBASHI, Takeshi UEDA

波高の増加に伴い δu , θ および $\bar{u}_{max}$ は減少するという最近の報告があるが, この差の原因は主として, 水面付近の流速が逆流の場合加速され, 順流の場合減速されるためと考えられる。次に図-3は, 各ケースにつき波を付加した後の平均水深 $\bar{y}$ および付加する前のエネルギー勾配 I_e を用いて, $\bar{u}_* = \sqrt{g \bar{y} I_e}$ より求めた摩擦速度で全位相平均流速を無次元表示したものである。その分布形状は, $\bar{u}_* \delta / u_* < 100$ の範囲においてほぼ直線で各ケース平行となっており, 対数則の適用されることがうかがえる。

2. 各位相ごとの平均流速: 図-4は共存場の代表例として Case SCW-4 について各位相ごとの平均流速の鉛直分布を示したものであり, (a)は路床近傍を除く鉛直方向全域, (b)は路床付近 ($y \leq 1.0 \text{ cm}$) に対応する。全体的に見ると, 水面波の谷が通過する $\omega t = -\pi$ あるいは $-2\pi/3$ で最大流速を示した後, 水面の上昇に伴い減速され, $\omega t = 0$ で鉛直方向全域で流速は負の値を示す。また, 路床付近に着目すると, $\omega t = -\pi/3$ で路床近傍の流速がまず負となり鉛直方向に流向が変化し逆流現象が生じているのが認められる。また, $\omega t = 0$ で $y = 0.2 \text{ cm}$ 付近で負の極小値を示すこと, $\omega t = \pi/3$ で路床近傍の流速の正值への回復が早く $y = 0.2 \text{ cm}$ 付近の回復が遅れ流速分布に屈曲点が存在するなどの特徴が見られる。つぎに図-5は, 各位相ごとに対数則より求めた摩擦速度による流速を無次元表示したものを全位相平均流速の場合と一致するように平行移動して重ねあわせたものである。

これより, 共存場の流れは, 位相により分布形状が大きく変化する下層, 対数則が成立する中間層およびそれより上層の3つの層に分けられる。また, 図-6に示された波のみの場合と流れのみの場合の流速を単純に加算した計算値と共存場の実測値との比較を見ると, 峰の位相では, 計算値が下層で過小評価, 上層で過大評価となるものの中間層ではほぼ一致している。しかし, 谷の位相では計算値が全体的に過大評価となり, 加えた波の波形の違によるものと考えられる。これらの点も含めて, 今後は流量や水深あるいは波の進行方向などの諸条件を変化させ, 定量的な検討を行う予定である。

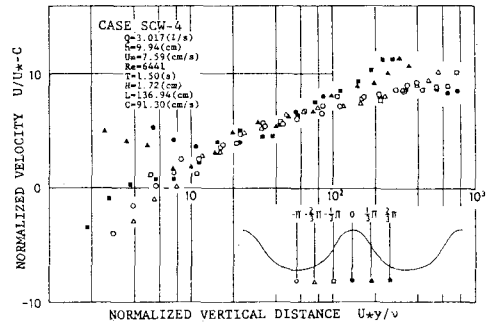


図-5

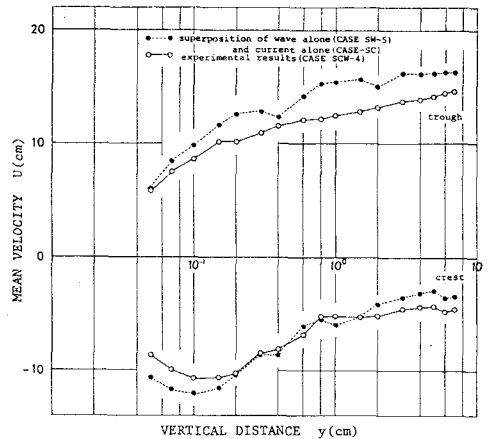


図-6

図-4

参考文献: 1) Kemp, P.H. and R.R. Simons: The Interaction between Waves and a Turbulent Current; Waves Propagating with the Current, J. Fluid Mech., Vol. 116, 1982, pp. 227-250.