

II-72

擾乱を水面に与えた場合の開水路の乱流特性

東北大学工学部 学生員○高畠 正治

東北大学大学院 学生員 石井 義裕

東北大学工学部 正会員 沢本 正樹

1. はじめに

開水路の流れの水理特性を論ずる場合、便宜上その2倍の水深を持つ閉管路の流れで疑似的に扱われることがあるが厳密にはこの2つの流れが全く同一の流れであるとはいえない。それは開水路には自由水面が存在しているからである。この自由水面というのは単にせん断力=0の境界であるばかりではなく、大規模な乱流構造を制約する、波動としてのエネルギー伝播性を有するなどの力学的役割を持っている。そこで本研究では自由水面の力学的役割に着目し、ほぼ同じ水理条件で、等流状態及び水面に擾乱を与えた場合での実験を行い開水路の乱流特性がどのように変化するかを比較した。

2. 実験装置及び実験方法

実験に用いた水路は長さ20m、幅40cm、高さ50cmの矩形断面を持つ開水路である。上流側に起因する乱れを抑えるため水路の上流端に整流部を設けた。水面に強制的な乱れを与えるため上流から7mにプランジャー式造波器を設置した。造波器には波の周期を測定するために光センサーによるカウンタを取り付けた。流速の測定には前方散乱方式のレーザ流速計を用い、水路の上流から16.3mの位置の水路横断面中央部で測定を行った。流速の測定と同時にサーボ式水位計により測定点の水位の変化を測定した。測定は100Hz、60秒間で行い6000個のデータをA/D変換器を介してコンピュータに取り込んだ。座標軸は流れ方向にx軸を、鉛直上向きにy軸をとった。表-1に各々の実験の水理条件を示した。ここで、 l は水路勾配、 R は径深、 H_0 は平均水深、 U_0 は断面平均流速、 U_* は摩擦速度である。表-2では与えた擾乱の周期と波長を、光センサーによる1周期分と擾乱の1番突出した部分について示した。

3. 実験結果

まず、測定した全データを用いて時間平均を行なった結果を示す。図-1は平均流速 U の分布である。等流の場合 y/H_0 が0.2から0.9付近までほぼ一定の勾配を保ち、水面の極近傍でも0以上の流速勾配で自由水面に達している。これは開水路の流速分布の特徴である。これに対し水面に擾乱を与えた場合の流速分布は、 $y/H_0 \approx 0.85$ まで等流の場合とはほぼ同じである。しかし $y/H_0 = 0.95$ 以上では等流と比べて流速分布が大きく歪んでいる。これは流速よりも速い波速が流れに影響を与えていることによる。図-2にはx方向の流速変動成分 uu の分布を示す。流速分布とは異なり水路床付近まで擾乱による影響が表れている。また擾乱を与えると y/H_0 に対する uu の減少する割合が等流に比べて小さくなっている。これより uu は水面に近いほど水位変動による影響を強く受けることが分かる。図-3には同じく流速変動成分 vv 及び $-uv$ の分布を示した。 vv では $y/H_0 = 0.5$ 以上で擾乱の影響が表れているが、 $-uv$ には擾乱を与えたことによるきわだった変化はみられなかった。次に造波器に取り付けたカウンタの信号を用いた位相平均を行った結果を示す。図-4、5は擾乱を与えた場合の、x方向の位相平均をとった平均流速及び乱れ強度の等値線の分布である。縦軸は水位を擾乱部の波長 $L=28.5\text{cm}$ で無次元化してある。 $U=65\text{cm/s}$ の等値線に着目すると、位相が 0.4π から 0.8π では $y/L=0.25$ 付近に分布しているが水位の上昇に伴い等値線は下降し 1.1π 付近では $y/L=0.04$ 付近に分布している。時間平均では水面付近でしか擾乱の影響をとらえることができなかったが、位相平均をとることによって擾乱の影響がある特定の位相では底面付近にまで及んでいることが分かる。また乱れ強度 uu についても、一番大きな擾乱部の通過する位相 1π 付近で他の位相より乱れ強度が大きくなっているのが分かる。図-6は等流及び擾乱を与えた場合の $y=7\text{cm}$ における流速 U のパワースペクトルである。擾乱を与えた場合スペクトルは周波数0.8Hz、1.6Hz、2.3Hzにおいて他の周波数のスペクトルより卓越している。0.8Hzは時間に直すと1.25秒でありこれは波（波長 $L=150\text{cm}$ ）の1周期分の時間にほぼ一致している。また2.3Hzは

水位変動の中の1番大きな擾乱部を抽出したときの周期0.44秒に一致する。つまり水面に擾乱を与えた場合流速Uの時間変動の周期は外から加えた強制的な水面変動の影響を強く受けている。

4. まとめ

水面に強制的な擾乱を与えた乱流特性は等流の乱流特性と比べて大きく異なっている。平均流速や乱れ強度は水面付近では常にその影響を受おり、一番大きな擾乱部が通過するときはその影響が底面付近までおよんでいる。またスペクトルより、水面に与えた擾乱が平均流速や乱れ強度といった平均量のみならず流速の時間変動にも強く影響を与えることが分かった。

(参考文献) 戸田賢治・石井義裕・沢本正樹：波を重ね合わせた開水路流れの乱流特性，第46回年次学術講演会講演概要集，pp734-735，1991.

表-1 水理条件

実験条件	I	R (cm)	H ₀ (cm)	U _a (cm/s)	U _∞ (cm/s)	Re _{f0}	Fr
等流	1/800	5.7	8.0	62.5	2.87	3.56	0.71
擾乱有	1/800	5.7	8.0	62.2	2.87	3.55	0.70

$$Re = \frac{U_0 R}{\nu}$$

表-2 擾乱の周期及び波長

	周期	波長
全体	1.24(s)	150(cm)
突出部	0.44(s)	28.5(cm)

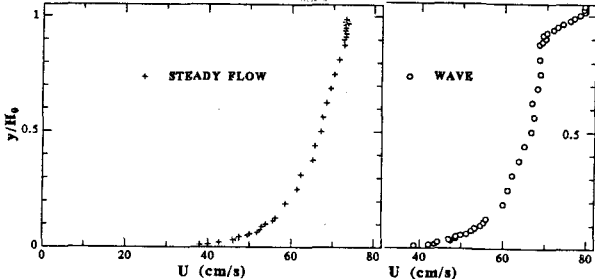


図-1 平均流速（時間平均）

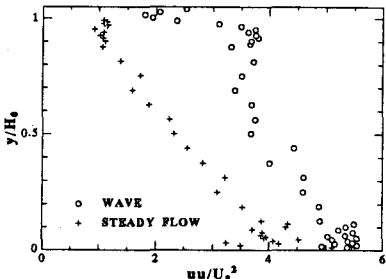


図-2 流速変動成分 uu

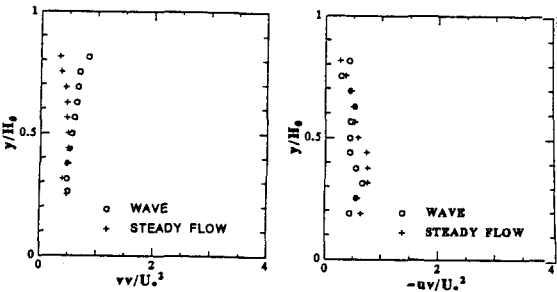


図-3 流速変動成分 vv, -uv

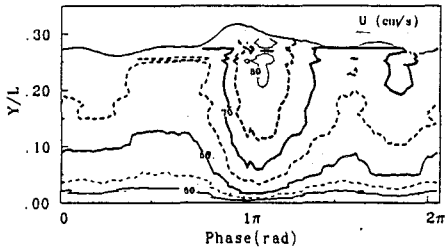


図-4 平均流速（位相平均）U

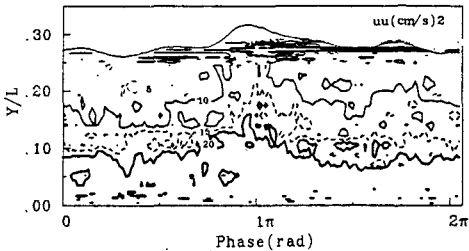


図-5 乱れ強度（位相平均）uu

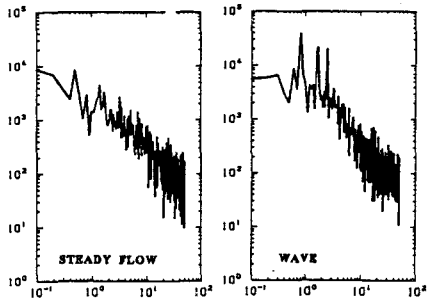


図-6 パワースペクトル