

II-105 組織乱流による開水路の乱流特性の変化

東北大学大学院 学生員○高畠 正治

大阪大学工学部 正会員 石井 義裕

東北大学工学部 正会員 沢本 正樹

1. はじめに: 開水路流れの特徴の一つは自由水面が存在することである。自由水面には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搬性を有するなどの力学的役割がある。そこで本研究では開水路流れにおいて、その乱流構造に影響を与えると考えられる底面から生じる大規模な組織構造、および組織構造が自由水面に衝突することにより生じる水面の擾乱が流れの乱流構造に与える影響を実験的に調べた。まず水面に強制的な擾乱を与える実験及び比較のためほぼ等しい水理条件で等流の実験を行った。次に底面から大規模な組織構造を生じさせそれが自由水面に衝突する実験を行った。

2. 実験装置及び実験方法: 実験は長さ20m, 幅40cm, 高さ50cmの矩形断面を持つ開水路で行った。測定点より約10m上流にプランジャー式造波器を設置し、水面に波長150cmの強制的な擾乱を1.24秒の周期で与えた。また底面から大規模な組織構造を発生させる実験では、図-1に示される装置を水路底面に設置しボイルのような組織構造を間欠的に発生させた。座標軸の原点は装置頂点の水路底面とし、流下方向にX軸を、鉛直上向きにY軸をとった。流速の測定には前方散乱方式のレーザ流速計を用い、 $X=1.5\text{cm}\sim 50\text{cm}$, $Y=0.5\text{cm}\sim 16\text{cm}$ の水路中央断面において100Hz, 60秒間で測定した。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。また表-1に各々の実験の水理条件を示した。ここで、 I 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_τ は摩擦速度である。

3. 実験結果: 〈等流及び水面に擾乱を与えた場合〉 図-2は時間平均した平均流速 U の分布である。等流の場合底面から水面付近まで対数則に従った流速分布になっている。擾乱を与えた場合は等流の場合と比較すると、 $y/H_0=0.85$ 以上においてその影響が顕著である。さらに詳細な乱流特性を調べるため、擾乱を与えた場合の流速変動成分を、擾乱の波動的性質を有する擾乱振幅とそれからのずれである擾乱乱れとに分離した。図-3にそれらの乱れ強度 uu の分布を示す。○は擾乱振幅による乱れ強度、◎は流れ自身の持つ擾乱乱れによる乱れ強度、●はそれらの線形和である。また波線は等流の、一点鎖線は擾乱を与えた場合の全乱れ強度(擾乱重畳)の分布である。図-3をみると擾乱振幅による乱れ強度(○)は水面付近($y/H_0>0.7$)では擾乱を重畳した場合の乱れ強度の70%程度の値になっている。一方、流れ自身のもつ乱れ強度(◎)は、全体的に等流状態の乱れ強度に相当する値を示している。擾乱振幅による乱れ強度(○)と流れ自身のもつ乱れ強度(◎)は、 $y/H_0=0.3$ 付近ではほぼ等しい値を示しており、底面付近では擾乱の波動的性質による影響は小さなものであると考えられる。

〈底面から組織構造を発生させた場合〉 図-4は時間平均した水平方向の流速分布を全断面について示したものである。縦軸は測定点の水位であり、横軸は流速及び水路に設置した装置の頂点から測定断面までの距離である。実線はその測定断面における平均流速、波線は等流と考えられる $X=-120\text{cm}$ の断面で計測したものである。 $X=1.5\text{cm}$ から $X=30\text{cm}$ では流下するにしがたい、流速分布の接近流速からずれている範囲が鉛直方向に広がっている。つまり発生させた組織構造が流れとともに鉛直方向に拡散していることがうかがえる。また流速分布の最もくぼんだ部分が組織構造の中心に対応していると思われ、この部分に着目すると流下にともない組織構造の中心が上昇していることがわかる。 $X=30\text{cm}$ から $X=50\text{cm}$ では水面付近の流速が徐々に小さくなっているこの付近において拡散された組織構造の一部が自由水面に達していると考えられる。また組織構造の中心が、やや勾配は鈍っているものの依然として上昇している。図-5は鉛直方向の平均流速 V の分布である。 $X=1.5\text{cm}\sim 10\text{cm}$ では $Y<8.0\text{cm}$ で大きな上昇流が存在しているが、流下するにしがたい鉛直上方に向かう流速は小さくなって全水深でほぼ同じ値になっている。これは装置により局

所的に生じた鉛直上方に向かう流れが流下するにしたがって広い範囲で上昇流が生じるようになったものと考えられる。図-6は全断面における流速変動成分 uu の分布である。X方向に流下するにしたがって乱れの大きな位置は水面に近づき、 $X=35\text{cm}$ を過ぎると水面で最も大きな乱れが生じていることからこの付近で組織構造の一部が自由水面に達していることがわかる。

4. まとめ： ①擾乱を与えた流れでは、その乱れ強度から擾乱振幅による乱れを適切に分離することにより、流れの中に含まれている擾乱による乱流特性を明らかにすることができた。水面付近で等流に比べて乱れ強度が大きくなっているのは擾乱振幅の影響を強く受けているからである。一方底面付近では流れによる乱れ強度が支配的であり、擾乱振幅の寄与は小さくなっている。 ②流れの中に生じた組織構造がその流下方向において平均流速や流速変動成分などの基礎的な乱流統計量に大きな影響を与えていることがわかった。

表-1 水理条件

実験条件	測定位置 (上流端, m)	I	R	H_0 (cm)	U_0 (cm/s)	U_{rms} (cm/s)	Re $\times 10^4$	Fr
等流	16.3	1/800	5.7	8.0	62.5	2.87	3.56	0.71
水面擾乱	16.3	1/800	5.7	8.0	62.2	2.87	3.55	0.70
組織構造	16.5~17.0	1/800	9.1	16.6	26.8	0.91	2.43	0.21

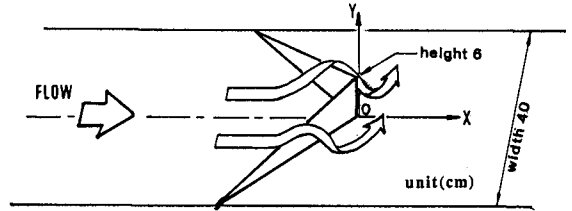


図-1 組織構造発生装置

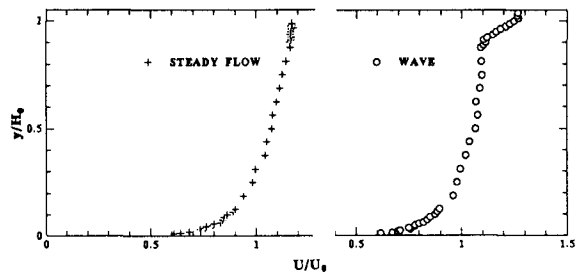


図-2 平均流速分布（時間平均）

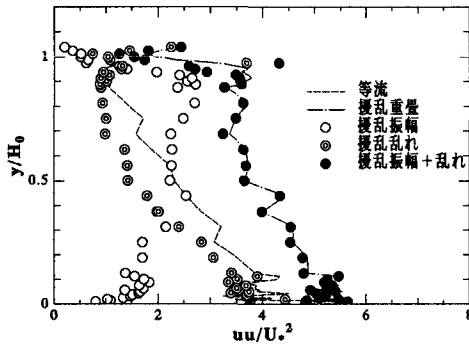


図-3 乱れ強度分布（波動成分の分離）

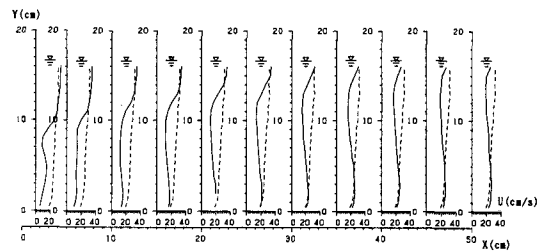


図-4 平均流速分布U（時間平均）

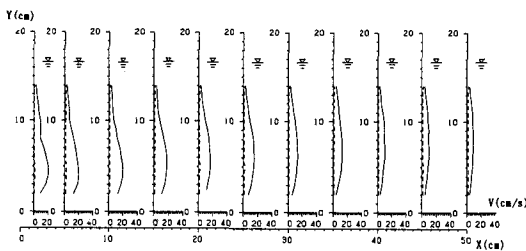


図-5 平均流速分布V（時間平均）

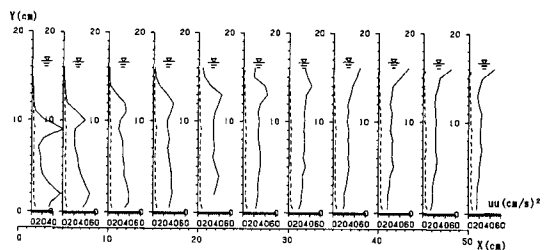


図-6 流速変動成分 uu （時間平均）