

II - 60

可視化手法による開水路二次流構造の検討

日本大学工学部 正員 ○長林 久夫

日本大学工学部 正員 木村喜代治

1. はじめに

直線水路の二次流は、主流流速に比べ数パーセントの流速成分しか持たないが、主流流速を歪めたり、また最大流速位置を自由水面下に降下させるなど、多くの役割を担っている。しかし、二次流成分が微弱であることが計測を困難にしており、また二次流構造が大スケールであることから従来の点計測では、多くの点の計測を必要とし、計測、解析に多くの時間を要する。よってその成果は、流速ベクトルの時間平均値からの二次流の平面構造および断面内の乱流特性量分布に限られている。二次流の空間構造を点計測で検討するには多くのプローブによる同時計測を必要とし、多くの計測装置および解析時間を要する。一方、可視化手法は面的な瞬間構造を検討するのに有効である。しかし、長時間の乱流構造の平均特性を検討するには、多くの可視化画像の解析を必要とするため、多くの研究を見ない。本研究では可視化手法の弱点とも言うべき長時間測定を行い、二次流の空間構造の検討と二次流による乱流特性に及ぼす効果の検討を行った。本報告では乱流特性量の分布に関する検討を行った。

実験は幅10cm、高さ20cm、長さ15mの滑面長方形開水路にて行った。この水路は水路幅水深比が特に小さく（ $B/H=0.5$ ）、側壁効果の強い流れを対象としている。また底面効果は $y=6$ cm程度までで、最大流速位置は自由水面下に存在している⁽¹⁾。Re数は5800と小さいが、後述する乱流構造に見られるように充分な乱流状態である。計測断面はフラットライトにより任意断層面を照射し、充分に浸潤させたオガクズ粒子（直径0.4～0.6mm）のパスラインを可視化し、35mmカメラで撮影した。計測方法は参考文献(1)と同様である。

各写真の粒子パスラインをデジタイザーで計算機に入力し主流流速と直交流速を求め、1cm区間に内挿している。各写真は1/3づつ重複するよう撮影しており、これを平均流速で合成し、最大計測時間33.3秒、計測距離3.8mの流速データを得た。各断面への平均流速による合成については、流速が壁面からの距離によって異なるため、低流速部の接合部への拡大効果や高速部への縮小効果等の歪みを生ずるが、ここで対象としているのは最小寸法1cm程度以上の大規模な乱流構造を対象としており、歪みの効果の影響は小さいものと考えられる。

2. 平均乱流構造の検討

2-1. 平均流速分布と二次流

図-1は可視化実験からの平均流速分布状況を示している。図-1Aは鉛直断面、図-1Bは水平断面を示す。 $z=2.5$ cmの主流流速分布は従来の点計測⁽²⁾（ $Re=22000$ ）による分布とほぼ一致しており充分発達した乱流であることが分かる。また、最大流速で無次元化した分布形状も各断面とも妥当

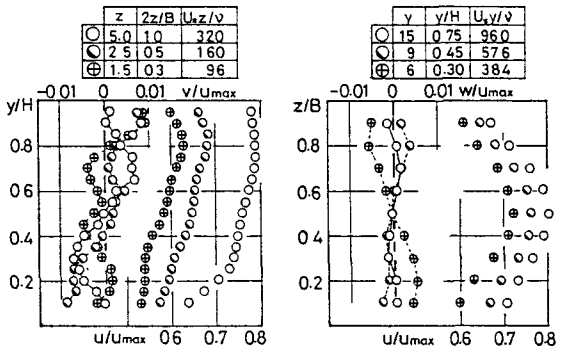


図-1 A 鉛直断面

図-1 B 水平断面

図-1 平均流速分布の検討

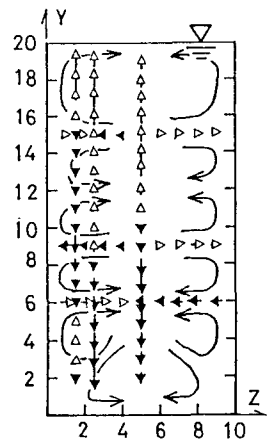


図-2

二次流流速ベクトル図

な傾向を示しており、長時間可視化の有効性を示している。ただし直交流速成分については、一断面での平均流速が全て正あるいは負のものが有り、二次流周期のスケールに比べ、平均値評価時間が若干短いものと推定され、断面内の平均化を行っている。図より主流流速と直交流速の比はほぼ1パーセントオーダーであり、従来報告されている二次流の流速成分⁽³⁾とほぼ一致している。図-1Aの $y/H=0.4$ 以下の底面側への分布は壁面近くに下降流が見られ、水路中央領域から隅角部への二次流の輸送が予想される。図-2Bの水平断面の直交流速は $y=6\text{ cm}$ 、 9 cm で流向が逆転しており、二次流の効果を見ることができる。各断面での直交流速の分布を示したのが図-2であり、流向に従って二次流のフローパターンを示した。これより、底面側の水路隅角部へ下降流、 $y=6, 12\text{ cm}$ に中央向きの流れ、水面側の隅角部に上昇流が示されている。また自由水面近傍では $y=16\text{ cm}$ から水面までの上昇流があり、他の領域に比べ比較的大きな渦構造をなしており、従来報告されている二次流のフローパターンと一致している。

2-2. 乱流特性量分布

図-3, 4は可視化データからの乱流特性量の分布を示している。これらの特性量は全て断面平均摩擦速度 $U_* = gRI$ で無次元化している。図-3に乱流強度の分布を示している。底面近傍の乱流強度のオーダーは、主流、直交流速ともに二次元開水路のものと良く一致している。また図-3Aの鉛直断面 $Z=1.5\text{ cm}$ の分布に側壁効果が見られ、底面から自由水面まで他の断面に比べ強度が一樣化している。また図-3B水平断面の主流乱流強度は、水路中央部で対称となり、平均値評価時間による乱流特性量への影響は少ない。図-4はレイノルズ応力の分布であり、図-4Aの鉛直断面の水路中央部の底面側に $-u'v'$ が正の領域が見られ、底面からの乱れの発生が分かる。 y/H が0.4以上の領域ではほぼゼロとなり、側壁に近づくほど負となり側壁効果を示している。図-4Bは水平断面の分布を示している。図中の実線の二次元分布と比較すると、 $y=6\text{ cm}$ の底面分布は底面近傍から中央部まで強度が大きく、図-2の二次流のフローパターンより二次流が水路中央部へ向かう領域であることが分かる。二次流が側壁に向かう $y=9, 12\text{ cm}$ の領域では z/B が0.3程度まで二次元分布より小さな値をとるのが見られる。

3. おわりに

側壁効果の強い長方形開水路において、トレーサ法による可視化から長時間の乱流構造を求め、二次流の平均乱流特性におよぼす効果の検討をおこなった。その主要な結果は以下のようである。①可視化解析の空間構造把握の利点に加え、長時間測定を行うことにより、点計測データとの整合性を計った結果、主流方向流速は良い結果を得た。しかし直交流速成分には二次流効果（平均波長40 cm程度）が大であり、約3.8 mの計測範囲では7~8周期の二次流の平均値評価時間であり、より長時間の測定を必要とする。②可視化データからの平均乱流特性量はほぼ従来の結果を満足している。また水平断面のレイノルズ応力分布には二次流が側壁から中央へ向かう領域では二次元分布に比べ大となり、側壁へ向かう領域では小となる傾向が認められた。

〔参考文献〕

- (1) 長林・木村：トレーサ法による長方形開水路乱流構造の可視化、流れの可視化, VOL.8, NO30, 1988
- (2) 長林等：土木学会全国大会 昭和59, 60, 61年
- (3) 富永・江崎：長方形開水路の三次元乱流構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, 357号, 1985

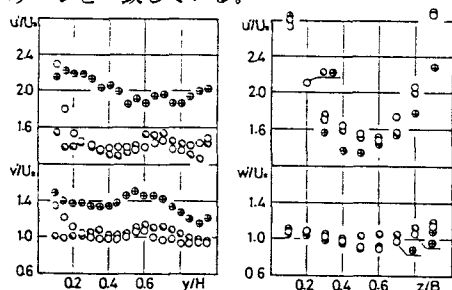


図-3 A 鉛直断面

図-3 B 水平断面

図-3 乱流強度分布特性

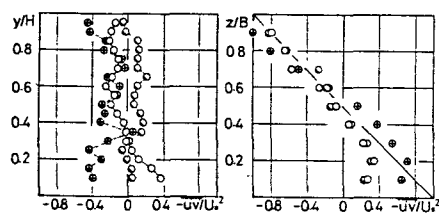


図-4 A 鉛直断面

図-4 B 水平断面

図-4 レイノルズ応力分布特性