

非定常開水路流れに関する実験的検討 - 流量変化時の乱れ特性について -

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 建設省 正員 植田 剛 史
 京都大学大学院 学生員 〇袋 井 肇

1. はじめに

河川工学では感潮流や洪水流などのように非定常としての取扱いが必要とされる場合が少なくない。しかしながら、従来の開水路流れに関する研究は定常状態を対象としたものが多く、非定常流れの内部構造にまでふれたものは、周期の短い波や交番乱流のように特殊な場合に限られているのが現状である。一般に、開水路流れの内部構造は種々のスケールの渦から構成され、水路幅スケールの大規模渦構造、水深スケールの中規模渦構造、壁面近傍の小スケールが支配的な小規模渦構造および乱れのカスケード過程が成立する微細渦構造などに分類して考えられる。本報告は、これらの中の微細渦構造に着目し、実験水路に現出された洪水流を対象に、レーザ・ドップラー流速計 (LDA と略記) およびホットフィルム流速計 (CTA と略記) を用いた乱れ計測により、流れの内部構造に及ぼす非定常効果について検討したものである。

2. 実験方法

実験は幅40cm、深さ23cm、長さ8mの壁面ガラス製循環式直線水路を用い、送水管途中に設けたバルブの開閉を自動制御することにより流量を変化させている。なお、勾配は1/400に設定した。本報告では、流量 Q を2.0 l/s ~ 4.2 l/sの範囲で変化させたケースについて示している。

乱れ計測は前方散乱方式の一分成分LDAを用いているが、LDAによるスペクトル計測では散乱粒子による位相変動の影響のため高周波領域の計測が困難なことから、スペクトル計測にはCTAを用いた。また、計測点近傍および高水槽越流せき水位の計測を容量式水位計にて同時計測を行なっている。

非定常流を対象とする場合、乱れの定義法が問題となるが、ここでは以下のようにする。すなわち、図-1に示すように時刻 t における速度 $u(t)$ は、定常成分 u_s と非定常成分 $\tilde{u}$ および不規則変動成分 u_t で表わし、移動平均値と $u(t)$ の差のrmsを乱れの強さ u' と定義する。なお、計測時間は3分間として、平均およびrmsの計算はサンプリング周波数40Hz、平均値評価時間3secで行ない、スペクトルはサンプリング周波数400Hz、2048個のデータを用いFFT法で計算した。

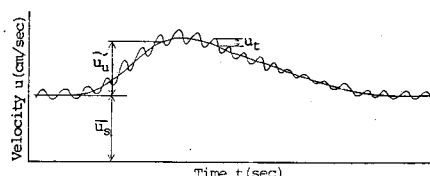


図-1 各種速度の定義

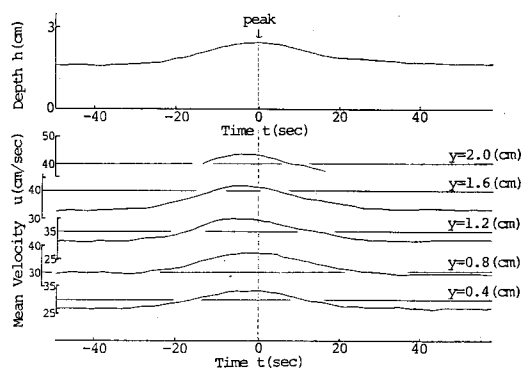


図-2 不規則成分を除いた速度の経時変化

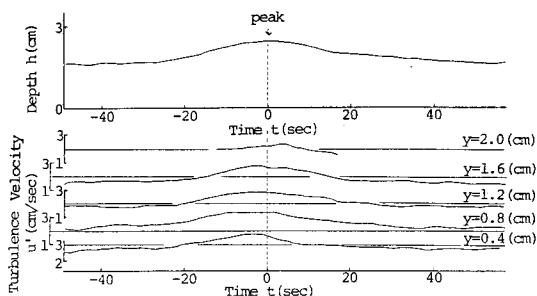


図-3 不規則速度成分(rms)の経時変化

3. 実験結果および検討

図-2は不規則成分を除いた速度の経時変化を水位の変化とともに示したものであり、従来より知られているように、速度のピークは水位のピークに先行する傾向が確かめられる。しかしながら、速度ピークの時期は高さによって異なり、路床近傍より水面近傍の方が早くピークを迎え、このケースでは $y=1.2\text{cm}$ の高さのものが最も早い結果となっている。一方、乱れ速度(rms)の経時変化は図-3のようになり、水位の上昇とともに増大して速度と同様に水位ピーク前に最大値を示す。

図-4は、平均速度の鉛直分布を立上り期(1)、増水期(2)、ピーク期(3)、減水期(4)および後定常期(5)について示したものである。図より、速度分布形は水位の変化に伴いほぼ相似形を保ったまま変化しているが、変化量は水面近傍に比し路床近傍の方が小さくなっている。また、図-5は乱れ強度の鉛直分布の変化を見たものであるが、速度分布と同様にほぼ相似形を保ちつつ増大減少している。

つぎに、平均速度および乱れ強度を計測点の鉛直位置ごとに時系列に配置し、水位の変化とともにコンターで示すと図-6および図-7のようになり、これより洪水波の内部構造として次のような構造が推定される。すなわち、図-6より、定常期、ピーク期および減水後の定常期では等速度線が路床とほぼ平行になっており流れは二次元的と考えられるが、増水期および減水期には等速度線にゆがみが見られ、流れの三次元的な挙動が推定される。また、図-7の乱れ強度のコンターについても図-8の乱れ強度のコンターと同様に増水期～ピーク期にかけて大きな変化が認められる。以上より、洪水流における非定常性は増水期および減水期に顕著に現われることが確かめられる。

最後に、乱れ速度の周波数スペクトルを図-8に示す。非定常スペクトルには種々の定義があるが¹⁾ここではMarkの物理スペクトルと同様の考え方で、図に示すように立上り期(1)、増水期(2)、ピーク期(3)、減水期(4)および定常期(5)における結果を洪水波5波の平均値を平滑化して示す。図より、いずれの時期の結果にも $-5/3$ 乗則の成立する慣性領域および -3 乗則の成立する粘性領域の存在が認められ、高周波領域では非定常性の影響は殆ど見られない。一方、低周波領域について見ると、定常期に比し、減水期、増水期、ピーク期の順に大きな値を示しており、この領域では非定常の影響がうかがわれる。

以上をまとめると、洪水波においては慣性領域に相当するスケールが支配的な微細渦構造については非定常の影響は顕著ではないが、図-8に示した低周波領域に相当するスケールより大きな渦構造には非定常の影響が現われることが推定され今後の課題としたい。

参考文献 1)日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店、1980

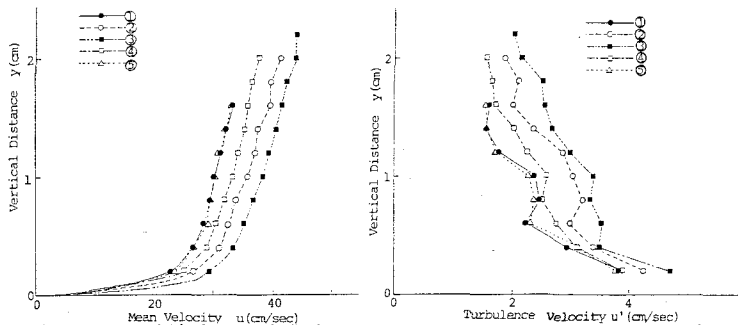


図-4 平均速度の鉛直分布

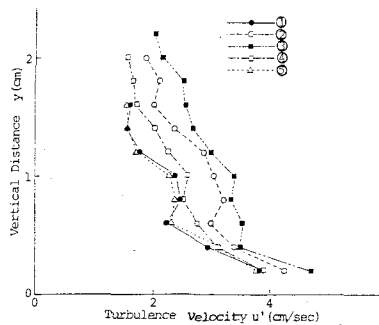


図-5 乱れ速度の鉛直分布

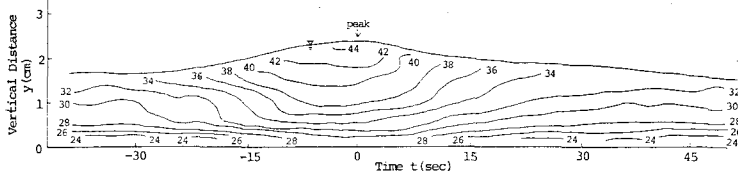


図-6 不規則成分を除いた速度のコンター

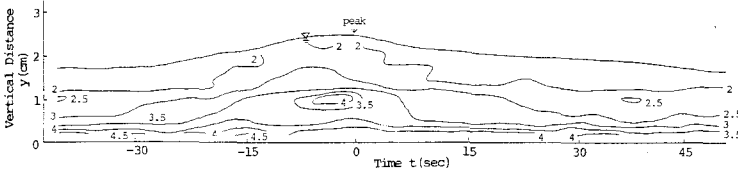


図-7 不規則速度成分(rms)のコンター

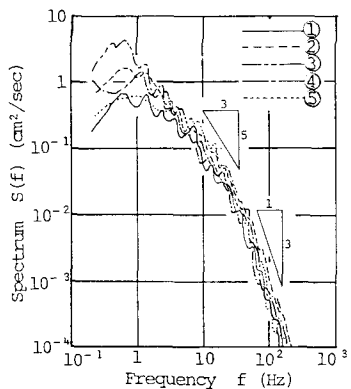


図-8 乱れ速度の周波数スペクトル