

実験室規模から実河川に至る開水路乱流構造に関する実験的研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次
 新日本製鉄 正 員 瀨谷 和彦
 京都大学大学院 学生員 村瀬 勝彦

京都大学工学部 正 員 禰津 家久
 京都大学大学院 学生員 鈴木 康弘

1.はじめに 実河川の流れは粗面乱流であり、しかもレイノルズ数の大きな流れであるため従来の実験室規模の流れにおける乱流構造とはその構造を異にする可能性がある。そこで本研究では琵琶湖疎水において電磁流速計を用いて流れを計測し、同時に実験室内においてレーザー流速計を用いて流れの計測を行い、実河川との乱流構造との比較検討を行った。

2.実験方法 琵琶湖疎水においては、1989年10月24～27日、11月22～26日に計測を行った。いずれの日も穏やかで無風状態であった。計測地点における流況は表1に示すとおりでアスペクト比(水路幅/水深)は6及び8である。計測地点は直線河道であり、断面形状もほぼ矩形とみなせ流量は上流のゲートにより制御されているので定常で十分に発達した乱流が得られる。測点は半断面にわたって設定し、計測時間はサンプリング周波数40Hzのものは7分間、100Hzのものは3分間計測し17000個の乱流データを得た。実験室内においては底面粗度として粒径4mmのガラスビーズを用い、アスペクト比を現地観測と同じにし、サンプリング周波数200Hzで10000個の乱流データを得た。

3.実験結果とその考察 (a)平均流速分布に関する考察 平均流速分布を図1に示す。摩擦速度 u^* は対数流速分布式に最もよく一致するように求めた。現地、実験室内とも側壁近傍では最大流速点が水面下に現れ、隅角部に向かう2次流の存在が示唆される。水路中央付近では流れは2次元になる。カルマン定数はほぼ $\kappa=0.41$ である。積分定数 B については実験室内ではほぼ8.5の一定値となったが現地ではかなりばらつきがみられる。これは粗度 k_s の評価に問題があり、河床がどの様になっているのか不明なことと流下方向には河床形状が測定できなかったため、各断面における最適 k_s を横断方向に平均化したものを用いたためと考えられる。図2に U の等値線図を示す。現地においては、等値線がかなり複雑に波状化をしており、境界条件の複雑さが波状化を起こしたと考えられる。また、最大流速点は水路の中央ではなく流れが対称であるとは言えない。実験室内での等値線はなめらかで最大流速点も水路中央に現れているので、流れは対称であると言える。図3に2次流ベクトル図を示す。現地観測のベクトル図は直接計測したものであり、実験室のそれは連続式から W 成分を計算したものである。現地におけるベクトル図はかなり乱れているが直接計測であること、計測器の精度の違いが要因として挙げられる。精度の違いはあるが現地においても隅角部に向かう2次流は存在し、その規模もほぼ従来言われているように主流の数%のオーダーである。また、渦の大きさもほぼ水深規模と言え、実験室規模と同じである。ただ、アスペクト比による2次流構造の違いは断定するには至らなかった。(b)乱れに関する考察 図4に乱れ強度分布、図5にレイノルズ応力分布を示す。乱れ強度分布については禰津¹⁾の提案した指数分布型モデルを並示した。実験定数は $Du=2.30$, $Dw=1.53$, $Dv=1.27$ とした。現地において、乱れ強度は水路中央付近の流れが2次的な部分では理論式によく一致しており、実河川においても十分に適用されることがわかった。側壁近傍では側壁の影響により乱れが一様化しており実験室内と同じ様な傾向を示している。実験室内では v' が水面付近で自由水面による抑制効果のため急激に減衰し、 u' は最大流速点の水面下への降下が生じている部分では水面付近で再び増加に転じ、流れが2次元流れならば、底面から水面に向かってなだらかに減衰する。従って乱れエネルギーは水面付近で w' に再配分されるか、乱れエネルギーそれ自体がdampingすると考えられる。現地においてはそこまで検出する精度は得られず、乱れ強度は各成分とも底面から水面に向かってなだらかに減衰している。レイノルズ応力についても、2次流の存在する所では直線からはずれ、流れが2次元流れとなっている所ではほぼ直線分布をしており、実験室内と同様の様子を示している。

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Kazuhiko SEYA, Yasuhiro SUZUKI, Masahiko MURASE

4. おわりに 本研究では、開水路粗面乱流の乱流構造を実験室内と実河川の比較をしながら明らかにしようとしたものである。計測器の精度の違いこそあれ、高レイノルズ数の流れである実河川においてもほぼ従来の実験室内での知見が適用できることがわかった。今後、ある程度理想化された境界条件であるならば、数値計算などにおいても実験室規模の流れをそのままスケールアップすることが可能である。

(参考文献)

1) 稱津 家久 開水路乱流の乱れ強度に関する研究 土木学会論文報告集 第261号, 1977

現地数値

表 1 流況

CASE	Fr	Re	U _m (cm/s)	Q(l/s)	le	U ₁ (cm/s)	Sample freq.
1.(平安)	0.08	770000	38.55	14000	0.00002	1.87	40 or 100
2.(伏見)	0.14	860000	55.88	12000	0.00008	2.84	40 or 100

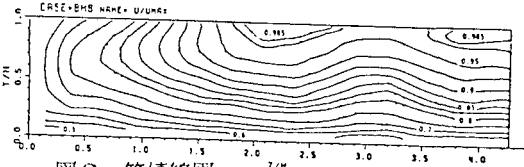


図2 等値線図

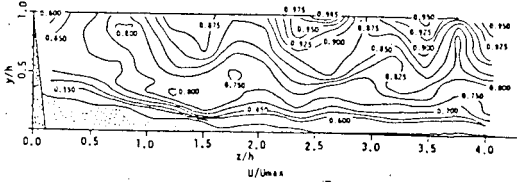


図3 ベクトル図

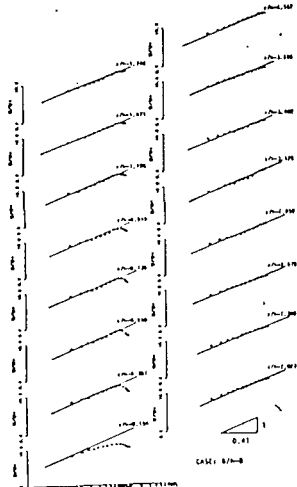
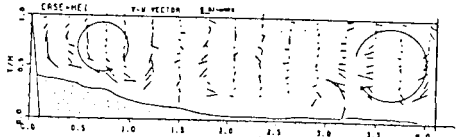


図1 平均流速分布

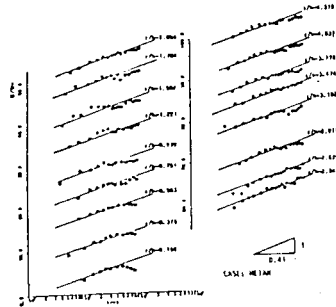


図1 平均流速分布 (琵琶湖疎水)

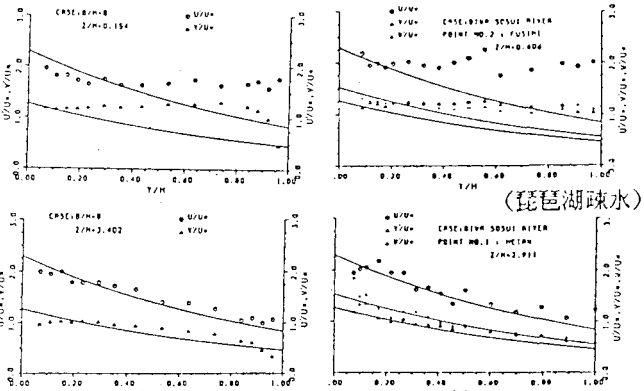


図4 乱れ強度分布

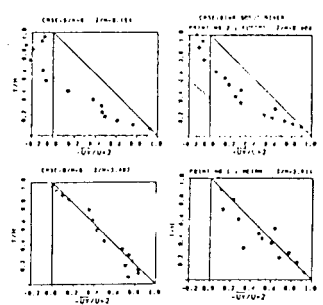


図5 レイノルズ応力分布