

浅水格子乱流における格子スケールに関する実験的研究

北海道大学工学部工学研究科教授 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

北海道大学工学部工学研究科准教授 木村一郎(Ichiro Kimura)

北海道大学工学部工学研究科 学生会員 ○齊藤真治(Shinji Saitou)

1. はじめに

我が国の都市部の多くは河川と共に発展してきた。都市部において河川は治水や利水、環境保全などの面で大きな役割を担っている。しかし近年では、河川計画においても変化が生じており河川が本来有している植生等を保全、創出するための他自然川づくりが求められている。そのため河川内に樹木群を多く残すようになっており、河川内の流れは複雑になってきている。そのほかにも水制による流れのコントロール効果や樹林帯による氾濫流制御効果への期待は高まっており、流れはより複雑に変化していくことが予想される。そこで河川氾濫を防ぐために、河川内の流れを把握する必要がある。本研究では、氾濫モデルの家屋群や河川内の樹木群や構造物を単純化したモデルとして、浅水格子乱流を取り上げ、横断方向のスケールが限られた開水路内での浅水格子乱流の基本的な性質について、実験的に検討を行った。浅水格子乱流とは開水路浅水流中に等間隔で設置された格子群の下流側に形成される乱流場を指し、二次元格子乱流としての特徴に、底面と水面の影響といった三次元性が加わった複雑な乱流場である。小スケールの渦から大スケールの渦へと向かうアップカスケーディングが卓越する性質がある。過去の研究より、乱れエネルギーの空間的減衰を両対数紙にプロットしたとき、実験条件によらず広い範囲で勾配が-1.3 となっていること、下流に行くほど壁乱流の影響をうけ非等方性が表れること、エネルギースペクトルの勾配が-3 となることなどが知られている。

2. 本研究で行った実験の概要

図-1に水路平面図を示す。水路幅は30cmで水路幅方向に等間隔で格子を設置した。水路は水平勾配である。格子間(y=0)では合計30ヶ所、x=1.7mまで計測した。同様に格子背後(y=d/2)ではx=0.3mまで10所計測した。サンプリング間隔0.01秒で8192回計測した。水深は格子上流部、下流部それぞれ5点ずつ計り、その平均水深を計算に用いた。使用した格子は一辺4mm(CASE1)、10mm(CASE2)、15mm(CASE3)、20mm(CASE4)角柱の4種類で、透過率は全て50%とした。格子間から発生した小スケールの渦が合体を繰り返す様子(アップカスケーディング)を、上流からアルミニウム粉末を散布することによって可視化した写真を図-2に示す。

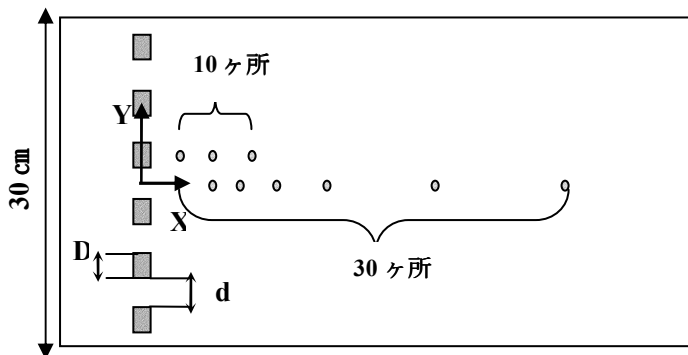


図-1 実験水路平面図



図-2 アップカスケーディング

キーワード 浅水格子乱流, アップカスケーディング, 乱れエネルギー, 乱れ強さ

連絡先 北海道大学工学部水工水文学研究室 A414

札幌市北区北13条西8丁目 011-706-6198 内線 6198

3. 実験結果

3.1 乱れ強さの分布物性

CASE3 について乱れ強さの分布の検証をおこなう。

図-3 に結果を示す。格子直後は u, v 両方ともほぼ同じ値をとっており、等方性が表れている。 $x/D > 10$ では v よりも u の方が大きくなり、非等方性になっている。

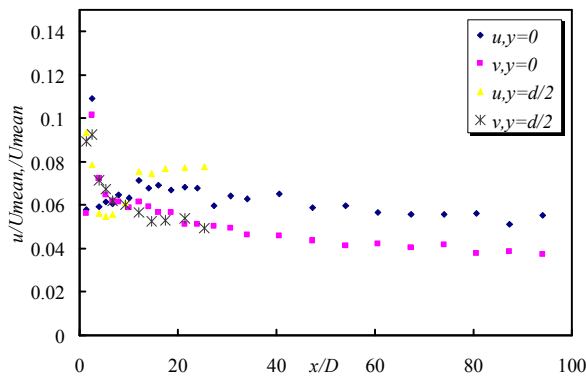


図-3 乱れ強さ分布

3.2 乱れエネルギーの減衰過程

乱れエネルギーの減衰過程を取り上げる。図-4 は実験値を両対数グラフにプロットしたものであり、図中の直線は-1.3の勾配を表している。 U_c は格子間平均流速を表している。CASE3, CASE4 では乱れエネルギーの減衰過程の勾配が-1.3に近い値で、浅水格子乱流の特徴が表れていることが見てわかる。

しかしCASE1,2をみると、乱れエネルギーは-1.3よりも緩やかな勾配で減衰している。この結果から、格子のスケールが水路幅に対してある程度小さくなったら浅水格子乱流としての普遍性は失われると考えられる。

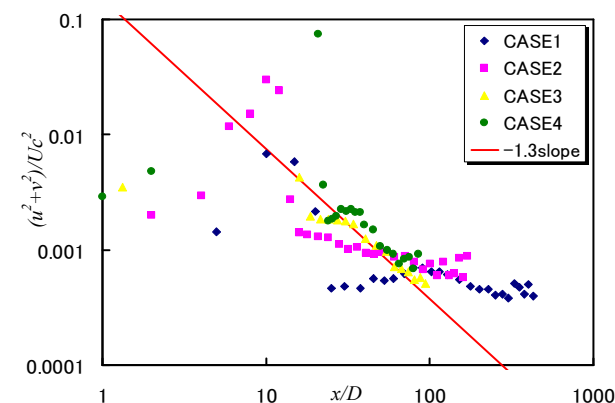


図-4 乱れエネルギーの減衰過程

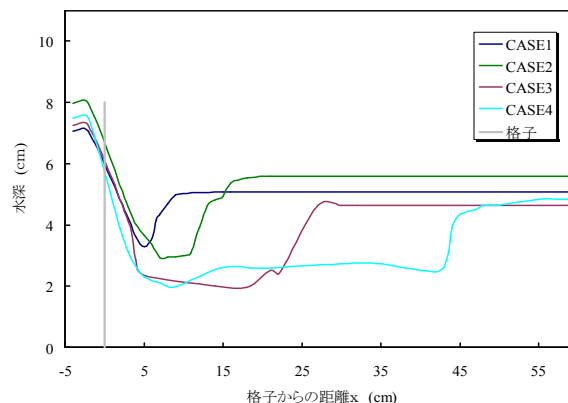


図-5 水面形変化

3.3 水面形の変化について

水面形の縦断方向の変化を比較したグラフを図-5 に示す。図の左側が上流である。いずれのCASEでも、測定断面は格子間の中点を通る線上でポイントゲージにより計測された。格子付近は支配断面となり、常流から射流へと変化し、その後跳水が生じることは各CASEで共通している。しかし、水深の最小値や跳水位置が異なる。すなわち、格子スケールが大きいほど水深の落ち込みが大きく、跳水位置が下流側にシフトすることがわかる。これは、透過率が同じであっても、格子スケールが大きいほど流れに対する抵抗が大きくなることを意味している。

4. まとめ

本研究で得られた主な成果を以下にまとめる。

- 1)有限幅の開水路における実験においても、水路幅に対して格子スケールが比較的大きい場合には浅水格子乱流としての普遍的性質、すなわち、アップカスケディングや乱れエネルギー勾配が-1.3となる現象などが現れることが確認された。
- 2)格子スケールが水路幅に比べて小さい条件では、アップカスケディングの要因となる渦の多段階の合体が十分現れず、乱れエネルギーの減衰が急激に進むことが確認された。
- 3)格子の下流側における乱れ強さの分布は、格子直後で u, v 同じ値をとっており等方性があらわれた。また下流にいくにつれ v よりも u が大きくなり非等方的となった。
- 4)透過率が同じでも格子スケールが大きいほど、格子近傍の水面の低下が大きくなり、跳水位置が下流側にずれ込むことが示された。