

開水路の粗度急変に伴う流れと乱れの変化過程

京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄 京都大学防災研究所 正員 藤田 裕一郎
 京都大学大学院 学生員 神田 佳一 京都大学大学院 学生員 〇大坪 高

1. はじめに 護床工の水理機能とそれに続く河道部への影響を解明するには、河床粗度が急変する区間における流れの変化特性を明確にする必要がある。本研究では護床工モデルとして半球粗度路床を用い、その上・下流区間に滑面を接続して、流れ及び乱れ特性の変化を詳細に測定し、粗度急変に伴う流れの内部機構を実験的に考察するとともに、二次元の $k-\varepsilon$ モデルを用いた数値解析により現象予測を試みた。

2. 実験概要 水路は幅40cm、深さ30cm、長さ15m

表-1 実験条件

実験番号	粗度条件	河床勾配 1	流量 $Q (l/s)$	下流部 等流水深 (実測値) $h_{eq}(cm)$	下流等流部 摩擦速度 $u_{*2}(cm/s)$	測定項目	
						水深	流速
Run1	粗→滑	1/500	3.75	2.54	2.08	○	2成分
Run2	滑→粗	"	4.23	4.30	2.56	○	1成分
Run3	粗→滑	1/100	5.17	2.05	4.07	○	"
Run4	滑→粗	1/200	3.95	2.87	3.54	○	—
Run5	"	1/50	"	1.90	5.89	○	—
Run6	"	1/500	"	3.80	2.52	○	—

の木製矩形断面であり、底面には平均直径2.45cmのガラス玉を密に並べ、その下半分を石膏で充填した半球粗度（マンシングの粗度係数 $n_R=0.02$ ）及び表面ペンキ仕上げの合板（ $n_S=0.01$ ）を用い、水路のほぼ中央で粗度を変化させた。基面は半球の頂点とし、滑面の高さとも一致させた。実験は表

-1に示した6ケースで水面形の遷移特性を詳細に測定したのち、下流部を等流状態にして粗度変化点近傍の流れの内部機構を熱膜流速計及び3mm径の超小型プロベラ流速計を用いて測定した。各測定点では、サンプリングタイム $t=1/108\text{sec}$ でAD変換した4096個のデータについて統計処理を行った。

3. 実験結果と考察 (1)流れの遷移形態：図-1は上記の粗度条件のもとで粗度急変に伴う流れの遷移形態を流量と限界勾配の関係より分類したものであり、各実験の条件がプロットされている。図より明らかなように粗度急変に伴う流れの遷移形態は流量にあまり影響されず、主に河床勾配に支配される。実験における遷移水面形状はほぼ図-1の分類に従っているが、後述するように粗度変化点近傍において局所の変動を示すものもあり、さらに詳細な検討が必要である。(2)水面形と流速分布：Run1及びRun2について水面形の測定結果及び粗度変化点での等流速線図を示せば図-2(a),(b)のようである。(a)では粗度変化点から約60cmの区間で水面に波長約12cm、波高約0.3cmの波打ちが発生しており、流速の加速・減速の繰り返しが顕著である。一方、(b)では粗度変化点前後で流れは滑らかに接続しており、底面から新たな境界層が発達している。次に実験及び $k-\varepsilon$ モデル¹⁾を用いた計算結果よりRun1及びRun2について流速の流下方向への変化を示せば図-3(a),(b)のようである。図中 x' は粗度変化点からの流下距離、 z は基面からの鉛直距離、 u_{*2} は下流等流部の摩擦速度である。(a)

では実測値は水面変動の影響を受けて粗度変化点から50～60cmの区間（下流部等流水深の20～25倍）で大きくばらつき、その後一定となっており、これは棧粗度を用いた神田²⁾の実験結果とほぼ一致している。計算結果では、 z が小さいほど流速の急増区間は早く現れており

実験結果にもこの傾向は

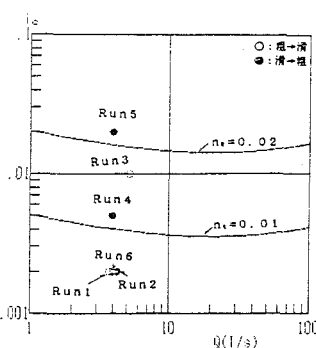


図-1 流量と限界勾配

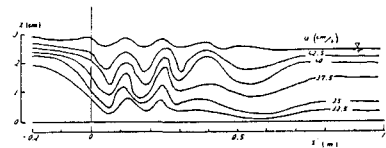


図-2(a) 等流速線図(Run1)

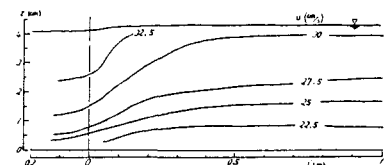


図-2(b) 等流速線図(Run2)

Yoshio MURAMOTO, Yuichiro FUJITA, Keiichi KANDA, Takashi OHTSUBO

見られるが、その絶対値は実測値の方が大きくなっている。これは計算に用いた仮定水深には局所の変動を考慮していないことによる。

(b)では実測による分布形は粗度変化点より40～50cmの区間で徐々に変化している。また、計算値は底面近くでは実測値とよく一致しているが、水面に近づくにつれて実測値との差は大きくなっている。

(3)乱れ強度：図-3と

図-4(a)と同様に流下方向乱れ強度 u' について実験及び計算結果を示せば図-4(a),(b)のようである。(a)を見れば実測値は水面変動の影響をあまり受けておらず、その分布は底面から徐々に変化している。これは、流速の絶対値は水面変動に対応して変化するが、速度勾配はその影響を受けず、底面の状態に支配されているためと考えられる。また、その遷移長は50～60cmで流速分布の遷移長とほぼ等しいが、これは乱れの遷移長の方が長いとした神田²⁾の実験結果とは異なっている。計算値は底面に近いほど早く急激に減少し、減少速度が緩やかになったのち増加して一定値に近づいている。この傾向は実験結果にも見られるが、その絶対値は実測値よりも全体的に小さくなっている。(b)においても、実測による分布形は底面から徐々に変化しており、その遷移長は40～50cmと流速分布のそれとほぼ等しい。また計算値は、底面付近では粗度変化に即座に应答して急速に増加したのち一定になっているが、水面に近づくにつれてこの应答は遅くなり、増加量も少なくなっている。この傾向は実験結果とも一致している。次に、図-5はRun1における鉛直方向乱れ強度 w' の実測値について示したものであるが、これを見れば w' の分布は水面変動の影響をあまり受けておらず、その遷移長も40～50cmとなっており、 u' とほぼ同様の挙動を示している。

(4)レイノルズ応力：図-6はRun1におけるレイノルズ応力分布の流下方向への変化を示したものである。レイノルズ応力は粗面及び滑面においてそれぞれ線形分布をなしており、底面より徐々に粗面から滑面における分布へと変化しているが、その遷移長は約40cmと流速や乱れ強度の遷移長より短くなっており興味深い。

4. おわりに 以上、粗度急変流における遷移特性に関する実験結果を示した。今後、ここで得られた成果をもとに流砂機構の解明を行いたい。

【参考文献】 1) 神田佳一・四倉信弘：第42回土木学会年次学術講演会概要集，1987，pp410～411。

2) 神田佳一：豊橋技術科学大学修士論文，1987。

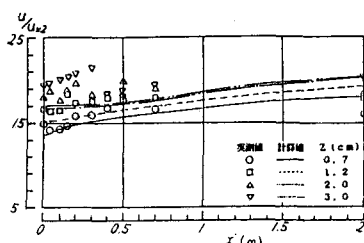


図-3 (a) 流速分布(Run1)

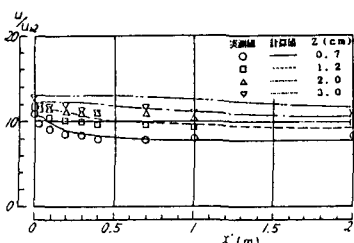


図-3 (b) 流速分布(Run2)

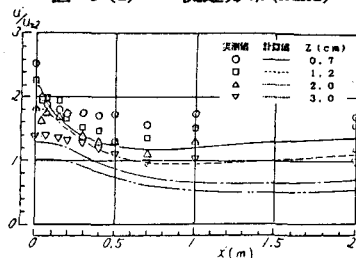


図-4 (a) u' の分布(Run1)

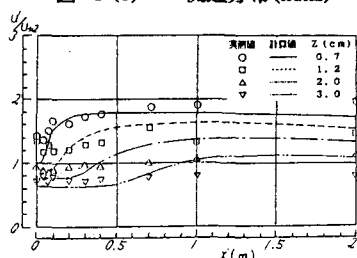


図-4 (b) u' の分布(Run2)

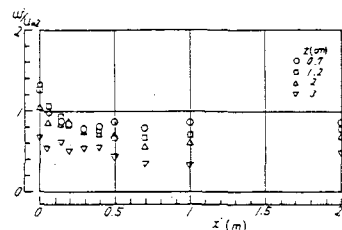


図-5 w' の分布

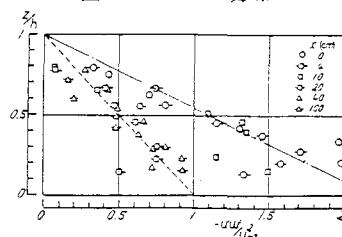


図-6 レイノルズ応力