

狭窄部を過ぎる流れの内部構造について

川崎製鉄株式会社 正会員 芥川 博 昭
 東京都 正会員 松野 健一
 早稲田大学大学院 学生員 安原 達
 早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
 河川環境管理財団 正会員 吉川 秀夫

1. はじめに 河道内には、水制をはじめとした狭窄部が存在するが、この狭窄部を過ぎる流れの構造は複雑で、狭窄部背後に剥離域が存在し、その剥離流線に沿って相対的に強いせん断域が形成されることが知られている。このせん断域では河床洗掘が生じており、これが河川管理上重要な問題のひとつとなっている。一方、近年、広い堤頂部を有するスーパー堤防が計画・施工されているが、洪水時にひとたび越流破堤すると、河道から堤内地への流れは、常流から射流へ遷移する狭窄部を過ぎる流れとなる。この場合には、特に堤体自身が洗掘を受けることになり、堤体維持の観点からも、洗掘の程度や範囲を予測しておく必要がある。本研究では、以上の点を鑑み、手始めとして、狭窄部を過ぎる流れの内部構造を理解することを目的とし、詳細な乱流計測を行い、将来、移動床で洗掘の問題を考える基礎とする。

2. 実験概要 本研究では、狭窄部を過ぎる流れとして、常流から常流への流れ（Case H1, H3 および Case L）と、常流から射流への流れ（Case H2）を対象とした。乱流の計測には、Case H シリーズでは主に2チャンネル熱膜流速計を用い、プローブの向きを変えることにより流れの三成分を、また、Case L では2チャンネル・レーザー流速計を用い、横断方向流速成分を除く二成分を、それぞれ計測した。また、プレストンの方法による底面せん断力の測定や、ポイント・ゲージによる水面形の測定も行っている。なお、解析に用いた座標軸系は、流下方向にx軸、横断

表1 実験条件

CASE	水路幅 B[cm]	水制幅 b[cm]	開口度 $1-b/B$	流量 Q[l/sec]	水路床勾配 1	備考
H-1	40	5	0.125	10.9	1/1000	常流-常流
H-2		20			1/155	常流-射流
H-3			0.500	7.00	1/1750	常流-常流
L-1	20	10		1.65	1/200	

方向にy軸、水路底面に垂直な方向にz軸をそれぞれとることとし、各々の方向への流速成分をそれぞれu, v, wとした。実験条件は表-1に示す通りである。

3. 流れの内部構造 本論では、Case H1 と Case H2 を代表例とし、その主な実測結果を図-1～5示した。図-1は等水深線図を、図-2は平均流速ベクトル図を、さらに図-3は底面せん断力ベクトル図をそれぞれ表している。また、図-4は乱れ強度三成分のうち流下方向成分の等値線図を、図-5は Reynolds 応力の等値線図を、代表的な断面を選んで示している。なお、図の左側に示した断面番号は、図-2, 3の上端に示したものと一致する。この図より、次のことがわかる。狭窄の影響で加速された流れは、狭窄の先端から下流へ向かって高主流速帯を形成し、その領域では極めて高い底面せん断力を示す。このことは常流から射流へ遷移する Case H2 の場合に顕著であり、この領域で激しい河床洗掘が起こることが予想される。また、乱れに関しては、常流遷移と射流遷移とで性質が異なり、前者の場合には、この領域に強いせん断層が形成され、ここで乱れが生成されるほか、その乱れ強度が鉛直方向にほぼ一様であることがわかる。一方、射流遷移の場合には、水深変化が激しく、かつ主流速が相対的に大きいにもかかわらず、乱れ強度は比較的小さく、その分布も前者の二次元的なものとは異なる。

4. おわりに 本研究では、狭窄部を過ぎる流れの内部構造を理解するために、常流から常流、あるいは常流から射流へ遷移する場合について、滑面固定床上で乱流計測を行った。今後は、狭窄部の開口度を変えた測定を行うほか、得られた知見に基づき、移動床上での流れおよび河床の局所洗掘について研究していく予定である。

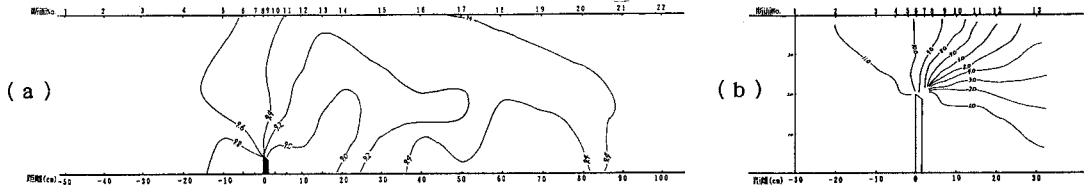


図1 等水深線図 [cm] : (a) Case 1 (b) Case 2

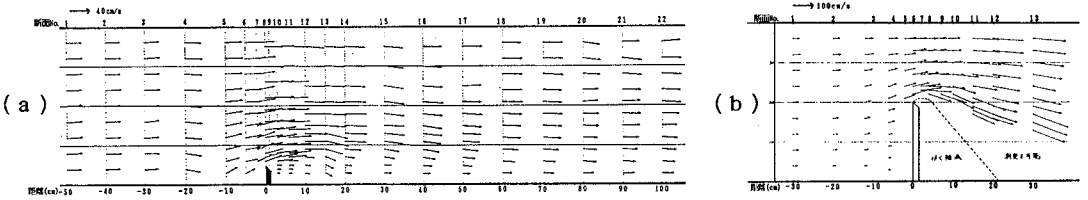


図2 流速ベクトル図 [cm/s] : (a) Case 1 (b) Case 2

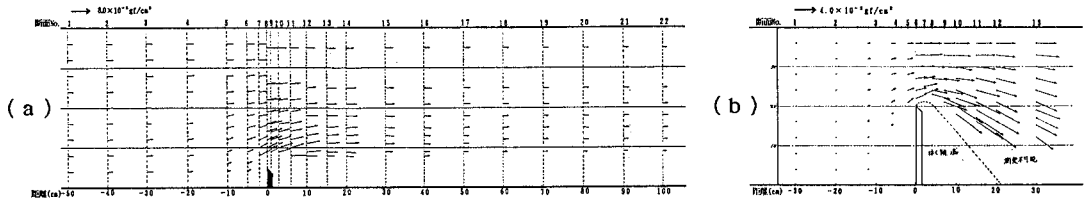


図3 底面せん断力ベクトル図 [gf/cm²] : (a) Case 1 (b) Case 2

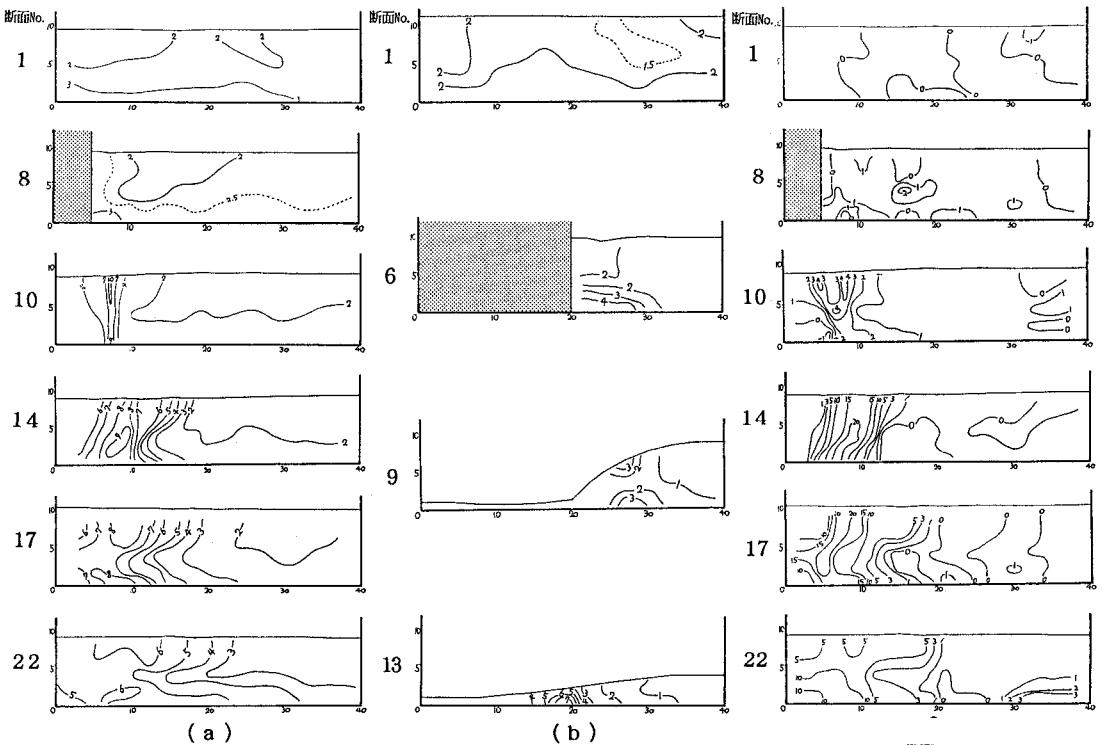


図4 乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ の等値線図 [cm/s] :

(a) Case 1 (b) Case 2

図5 Reynolds応力 $-\overline{u'v'}$ の等値線図 [cm²/s²]

Case 1