

開水路断面急縮部における流れの内部構造について

京都大学防災研究所 正員 今本博健  
兵 庫 県 正員 藤井良啓  
京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 ○西尾 誠

開水路断面変化部における流れの水利特性を明らかにするため、従来より種々の研究がなされ、多くの知見が得られている。これらの多くは、遷移特性、速度分布特性あるいは剝離領域の性状など平均的かつ巨視的現象の解明に重点を置いているが、断面変化部近傍における運動エネルギーの変換機構、局所洗掘等の問題を詳細に論ずるには乱れ速度場の特性をも含めた内部構造の解明が必要である。さらに、断面変化部における流れは3次元特性を有するため、断面変化部に関する諸現象を解明するには3次元の把握が必要である。著者らは、このような観点から、従来においては水路幅の拡大する急拡部について実験的検討を進めてきたが<sup>1)</sup>、本報告では水路幅急縮部における流れを対象に実験的検討を加えた。すなわち、2成分ホットフィルム流速計を用いた速度計測により、平均および乱れ速度場の特性について検討するとともに、移動床急縮部における河床変動についても若干の検討が加えられている。なお、速度計測のデータ処理はサンプリング周波数  $f_s = 20$  Hz データ数  $N = 500$  個として行なわれている。

図-1は、縮小比40:20の急縮部について、路床勾配を水平とし、流量  $Q = 1 \text{ l/sec}$  で下流端のせき上げにより水深  $h = 4 \text{ cm}$  とした場合の平均速度分布を、 $U$  については等値線で、 $V$  および  $W$  については両者の合成ベクトルで示したものである。図より上流側  $x = -15 \text{ cm}$  の断面では既に急縮の影響が現われ、流れは水路中央部に向うため、 $U$  の等値線にひずみが生じることが知れる。急縮部の断面  $x = 0 \text{ cm}$  では側壁付近ほど速度が大きく、中央部では上昇流となっている。このように中央に集中した流れが再び両側壁側に分離していく様子が  $x = 20 \text{ cm}$  の断面に現われている。さらに、 $x = 80 \text{ cm}$  の断面では  $U$  の分布に若干ひずみが残っているもののほぼ一様長方形断面の開水路流れに近い状態になっていることが知れる。

図-2は、勾配  $1/500$ 、縮小比50:25の急縮部における平均粒径  $0.85 \text{ mm}$  の砂床の洗掘状態を等高線で示したものであるが、図-1に示された固定床流れの特性を考慮すると、次のように説明される。すなわち、急縮部周辺における速度の大きい流れのために急縮部のエッジ付近が深く洗掘され、急縮部直下流では両側壁から水路中央部に向う流れのために側壁付近で洗掘が生じ、まき上げられた砂粒の一部は水路中央に向う斜面を上昇できずに斜面途中で堆積し、側壁に沿った峰を形成するようになる。このように急縮部直下流における河床横断形状は複雑な形態となるが、この状態は中央部に向う流れの側

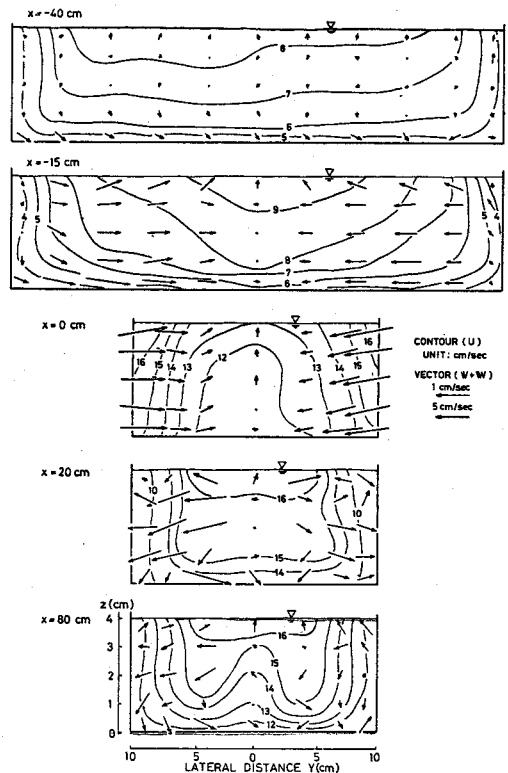


図-1 平均流速分布

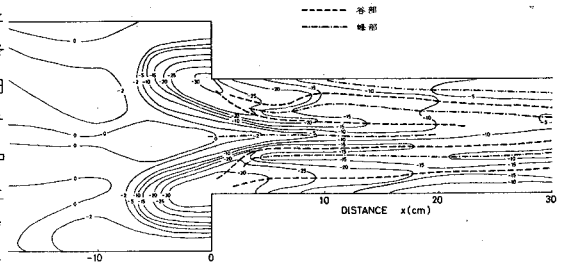


図-2 急縮部周辺の洗掘状況

壁へ向う流れへの逆転が始まる  $x = 20 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$  付近まで残っており、それより下流では次第に平坦な河床形状に回復していくようである。以上のような流れの3次元特性および河床の洗掘特性より、急縮部直下流では水路側壁より中央部に向けてまき上がる顕著なせん流の存在が類推される。

このように、急縮部周辺では流線の方向が著しく変化するため、流体の混合が活発となり、大きな乱れ速度が発生されると考えられる。図-3は、乱れ速度の分布について検討するため、3方向の乱れ速度成分  $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$  の水平分布を示したものであるが、急縮部およびその直下流の断面を除き、いずれの断面においても  $u' > v' > w'$  の大小関係があり、 $u'$  が一般に路床近傍ほど大きいのに対し、 $v'$ ,  $w'$  は断面内でほぼ一様な分布をしていることが知れる。これに対し急縮部の断面  $x = 0 \text{ cm}$  では表面付近を除き3者はほぼ等しい大きさとなり、急縮部直下流の  $x = 20 \text{ cm}$  の断面では、3者共側壁近傍で非常に大きくなっている。このような特性は急縮部エッジ付近で発生された乱れおよび急縮部直後の剝離域から離脱した乱れの影響によるものと考えられる。以上のようにほぼ全断面にわたり  $v'$ ,  $w'$  に比し  $u'$  が卓越しており、また、その分布形もほぼ相似形となっていることから、 $u'$  のみにより乱れ強度特性を論じることが可能と考えられる。

図-4は、平均流のエネルギーに対する乱れ成分のもつエネルギーの程度を検討するため、 $u'$  によるエネルギーを次式に従って試算した結果を示したものである。

$$E_m = \frac{\rho}{2} \int_A U^3 dA, \quad E_t = \frac{\rho}{2} \int_A U \cdot u'^2 dA$$

ここに、 $E_m$ ,  $E_t$  : 平均流および乱れエネルギー  $U$ ,  $u'$  局所的平均および乱れ速度である。図より乱れエネルギーの平均流のエネルギーに対する割合は急縮部で一旦減少した後増加するが、その程度は縮小比の変化にあまり影響されず、0.5%程度であることが知れる。

図-5は水路右岸側半断面についてレイノルズ応力  $-\overline{u'v'}$  および平均速度分布から求められた渦動粘性係数  $E_y$  の横断分布を示したものであるが、急縮部周辺では速度勾配が非常に複雑かつ急激に変化するためその特性を一概に論ずることは困難である。一方、図-6は同様に  $-\overline{u'w'}$  および  $E_z$  の鉛直分布を示したものであるが、 $x = 20 \text{ cm}$  の断面を除き、いずれの断面においても  $-\overline{u'w'}$  は路床近傍ほど大きくなっていることが知れる。また、 $E_z$  はいずれの断面においても半水深付近で最大値をとっているが、とくに急縮部近傍を除く断面においては2次元流れにおける  $E_z = k U_f z (1 - z/H)$  と定性的な一致をみせており、急縮の影響を受けた応力分布が再び一様流れのそれに回復していく様子がうかがわれる。

参考文献 1) 今本ら：開水路断面急縮部における流れの内部構造について、土木学会年講、昭51。

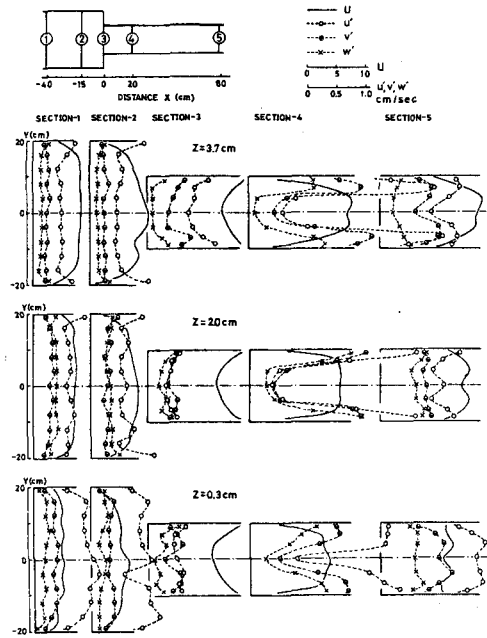


図-3 乱れ速度分布

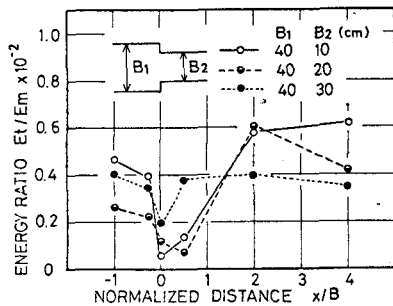


図-4 エネルギー比

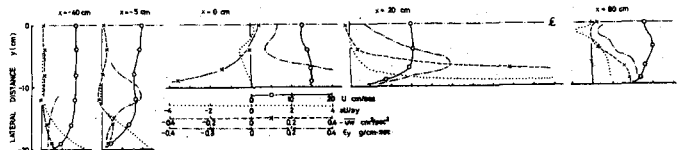


図-5 レイノルズ応力の横断分布

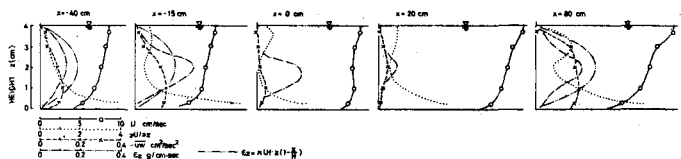


図-6 レイノルズ応力の鉛直分布