

複断面開水路における高水敷先端付近の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
京都大学防災研究所 正員○石 垣 泰 輔
大 阪 ガ ス 正員 木 下 聖 司

1. は じ め に

複断面開水路における流れの内部構造は、高水敷先端に生じる斜昇流とそれにより誘起される縦渦で特徴づけられるが、これらは高水敷先端の断面形状の影響を強く受けると考えられる。従来複断面開水路流れに関する研究では高水敷先端法面の勾配 θ として 90° の場合を対象としたものがほとんどであるが、本報告では、法面勾配 θ の変化が流れの内部構造に与える影響について実験的に検討する。

2. 実 験 方 法

実験は、カメロン撮影による自由表面における瞬間速度平面分布の可視化、レーザ・ドップラー流速計（LDAと略記）およびホットフィルム流速計（CTAと略記）を用いた速度計測および水素気泡法を用いた壁面せん断力分布の計測を行うとともに、中立粒子を用いた高水敷先端付近の流れの可視化を以下の方法で行った。

カメロン撮影：カメロン効果を利用した撮影法であり、アルミニウム粉末を塗布したおがくずを自由表面に様に散布し、上方2.1mの高さに設置した2台の35mmスチルカメラの撮影間隔を30msに設定して露光時間1/500秒で撮影を行った。このようにして得られた2枚1組の写真を立体視することにより瞬間速度の平面分布を得た。

速度計測：LDAにより計測を行っているが、前方散乱型で使用しているためにビームが通過しない高水敷高さより下方では、CTAを用いている。なお、計測は $\theta=90^\circ$ で229点、 $\theta=45^\circ$ で288点行うとともに、LDAとCTAで同一点を計測し計測値の妥当性を確認している。

壁面せん断力分布：壁面より約0.3mmの位置に設置した直径0.05mmの白金線より50msで発生させた水素気泡により形成されるタイムラインの間隔より得られる速度 u を用い、 $\tau = \mu du/dn$ として壁面せん断力を算定した。ここに、 μ は粘性係数、 n は壁面からの鉛直距離を示し、 $n=0$ で $u=0$ としている。¹⁾

中立粒子トレーサ法：別報²⁾に示したように蛍光塗料により着色したポリスチレン粒子（直径1.41mm-2mm、見かけの比重1.0053）をトレーサとして用い、鉛直上方と水平側方より同時に露光時間1/4秒にて撮影した写真より流れの中のトレーサの3次元位置を計測することにより渦構造を間接的にとらえる方法である。

3. 実験結果および検討

図-1は自由水面における瞬間速度の平面分布を示しており、 $\theta=90^\circ$ あるいは $\theta=45^\circ$ のいずれの場合にも低水路内は高速、高水路内は低速であるが、 $\theta=90^\circ$ に比し $\theta=45^\circ$ の場合に低水路と高水路の流速差が小さくなっている事が認められる。また、低水路と高水路の境界付近に見られる島状に並んだ低速部、すなわち、斜昇流の水面への到達位置に相当する部分を見ると、 $\theta=90^\circ$ の方がより顕著に存在が認められるとともに、その間隔も小さく $\theta=45^\circ$ に比しやや低水路側に位置している。

表-1 水理条件表

Case	$\theta(^{\circ})$	I	$Q(l/s)$	B(cm)	H(cm)	b(cm)	h(cm)	Re	Fr
C-1	90	1/400	5.533	40.00	3.97	16.20	2.00	9425	0.86
C-2	45	1/389	5.712	40.00	4.00	16.60	2.10	9962	0.92
C-3	90	1/400	6.115	40.00	3.99	16.10	2.00	14547	0.94
C-4	45	1/400	6.000	40.00	4.00	16.50	2.10	12985	0.96
C-5	90	1/456	1.292	20.00	3.99	12.20	2.00	4077	0.55
C-6	45	1/462	1.301	20.00	4.00	12.60	2.10	4172	0.65
C-7	90	1/1248	1.288	20.00	4.09	12.20	2.10	3465	0.51
C-8	45	1/950	1.297	20.00	4.07	12.80	2.00	3624	0.57

θ ：法面勾配、I：エネルギー勾配

Q：流量、B：水路幅、H：低水路水深

b：高水敷幅、h：高水敷高、

Re：レイノルズ数、Fr：フルード数

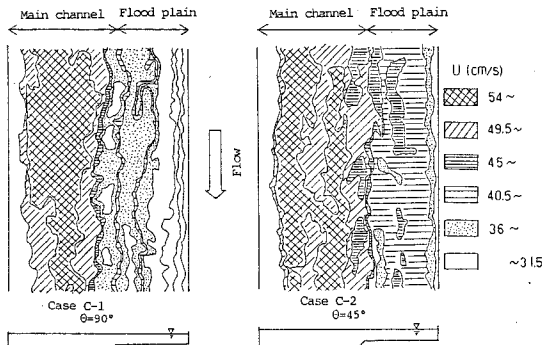


図-1 自由表面における瞬間速度の平面分布

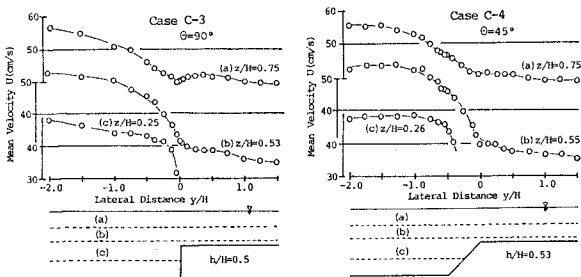


図-2 平均流速の横断分布

図-2は、平均速度の横断分布を (a)高水路半水深、(b)高水敷上1mm および (c)高水敷半高の位置において示したものである。 $\theta=90^\circ$ と $\theta=45^\circ$ の場合を比較すると (b)および (c)測線ではほぼ同様の分布形状を示しているが、(a)測線を見ると、 $\theta=90^\circ$ の場合には高水敷先端で明確な極小値の存在が認められるものの $\theta=45^\circ$ の場合には不明確となっている。このことは、図-1で示した結果と一致し、 $\theta=45^\circ$ の場合の方が低水路の流れが高水路に及ぼす影響が大であると言える。

つぎに、横断面内の平均速度のコンターを図-3に示す。図より、いずれのケースにおいても高水敷先端より自由水面に向う低速度領域の突出および高水敷先端法面と低水路底面に囲まれた隅角凹部へ的高速領域の突出が特徴的である。すなわち、強さは異なるもののいずれのケースにおいても斜昇流と隅角凹部へ向う流れの存在が認められる。また、 $\theta=90^\circ$ の場合、等流速線の曲率が大きいことより流れが集中した強い斜昇流が推定されるのに対し、 $\theta=45^\circ$ の場合には曲率も $\theta=90^\circ$ に比して小さく斜昇流も弱いものと考えられる。

以上述べたような二次流が存在する場合、壁面せん断力は一様分布とならず非一様な分布を示すことが推定される。図-4は平均壁面せん断力 τ とその変動成分 τ' の横断分布を $\tau_0 = \rho g R I$ で無次元化して示したものである。 $\theta=90^\circ$ の結果を見ると、低水路底面および高水敷先端付近を除く高水路底面では一様分布となり、高水敷法面では法面下端より上方に単調増加し高水敷先端で最大となる。この結果はMyers & Elsayw³⁾の計測結果と定性的に一致しており本計測結果の妥当性がうかがわれる。これに対し、 $\theta=45^\circ$ の場合には高水敷法面下端で最大となり上方に向って単調減少し $\theta=90^\circ$ の場合と大きく異なる結果を示す。

最後に高水敷先端付近の流れを可視化した結果を図-5に示す。図より、高水敷先端より自由水面に向う斜昇流と低水路底面隅角凹部に向う流れが明確に認められるとともにそれらの流れにより誘起された渦構造が見られる。すなわち、低水路中央→隅角凹部→低水路底面→低水路中央、低水路中央→隅角凹部→高水敷法面→高水敷先端→自由水面→低水路中央および高水敷底面→高水敷先端→自由水面→高水路水面→高水敷底面の3つの渦構造の存在が認められる。

以上の結果をまとめると、高水敷先端形状の差異は複断面流れ特有の斜昇流とそれにより誘起される渦構造の存在そのものには大きな影響は及ぼさないものの、高水敷先端付近の壁面せん断力分布形状を大きく変える。このことは、河道断面を設計する上では重要な要素であり今後、さらに詳細な検討を加える予定である。

参考文献：1)今本・石垣：第28回水講，1984 2)今本・石垣・木下・二摩：関西支部年講，1984
3)Myers, R.C. & E.M. Elsayw: Proc. ASCE, Vol. 101, HY7.1975

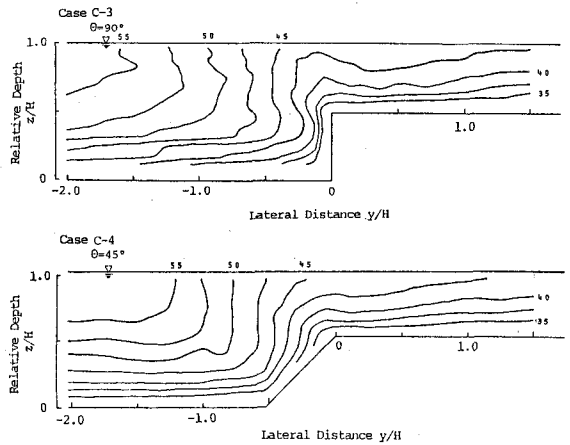


図-3 等平均流速線図

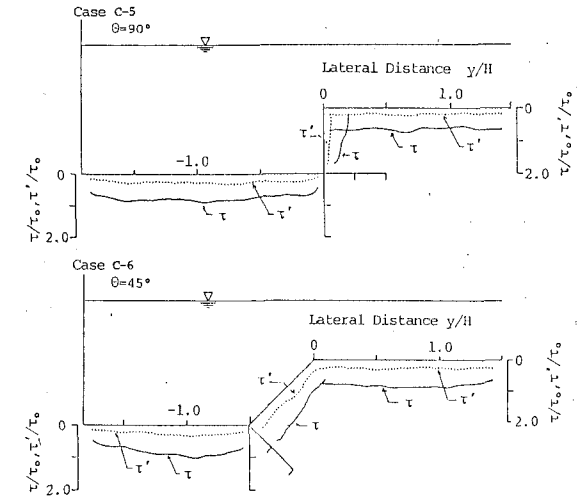


図-4 平均壁面せん断力分布

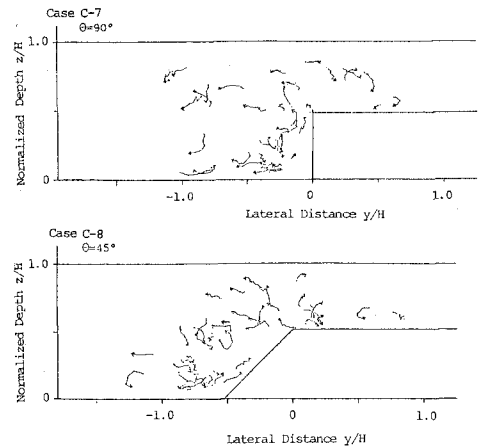


図-5 高水敷先端付近の流況