

複断面湾曲河道の水理特性に関する二、三の実験的検討

京都大学防災研究所	正員	今本博健
同	正員	宇民正
同	正員	上野鉄男
同	正員	大年邦雄
京都大学大学院	学生員	○藤沢寛

複断面わん曲河道の流れは、複断面流れとわん曲流れの特性を有するため、その性状はかなり複雑となり、水理学的にも不明の点が多い。本報告は、複断面わん曲河道模型を用いて、わん曲部周辺の水面形特性、流速分布特性および流況特性について実験的検討を加えたものであって、実際の河道設計に有効ないくつかの知見が得られている。

1. 実験装置および方法

実験水路は、長さ24m、幅2.0m、深さ20cmの長方形断面の水路内に複断面河道模型が組立てられたものであって、水路上流端より約10mの地点ではほぼ直角にわん曲（曲率半径 $r_c=2.4m$ ）している。水路幅Bおよび路床勾配Iは、水路上流端よりの距離xに応じ、 $x=0\sim12m$: $B=120cm$, $I=1/1000$, $x=12\sim18m$: $B=140cm$, $I=1/1500$, $x=18\sim24m$: $B=148cm$, $I=1/2500$ である。流速計測には直径3mmの超小型プロペラ流速計を用い、流速計の出力電圧と流速との関係は静水中で流速計を既知速度で動かす方法により検定されている。また、流況観測にはアルミ粉末を塗布した直径約5mmのポリプロピレン粒子、螢光色塗装した1cm角の正方形色紙およびウラン染料の3種類のトレーサーを適宜用いて流れを可視化し、35mmスチールカメラおよび16mmシネカメラにより写真撮影する方法が用いられた。なお、路床粗度は平均粒径0.28cmの砂粒を疎に敷き、粗度係数 $n=0.014$ となるように調節されている。

2. 実験結果および検討

(1) 水面形特性: 図-1は流量 $Q=4.25\text{ l/s}$ を通水した場合の水面形を示したものであって、縦断形状は単断面近似の標準逐次計算法を用いた計算結果ときわめてよく一致しており、路床粗度は所定の値に調整されていることがわかる。また、わん曲部中央付近の $x=9.6m$ における水面の横断形状は、同図に併示されたように、外岸側ほど高く、低水路内側および外側高水敷での水位上昇が目立っている。

(2) 流速分布特性: わん曲部周辺($x=8\sim12m$)における水面付近の流速の横断分布を示すと図-2のようである。図より、流速は低水路で大きく高水敷で小さくなる複断面流れの特性を示すとともに、最大流速点は、直線接近部では水路中心に位置しているが、わん曲部入口では内岸側へ寄り、流下に伴い外岸側に移行するというわん曲流れの特性がよく現れている。

わん曲部の流速横断分布は一般に次式で表される。¹⁾

$$U/U_c = a (r/r_c)^n \quad (1)$$

ここに、 U および U_c は、それぞれ、任意点の曲率半径 r および中心線の曲率半径 r_c における流速、 a は比例定数、 n は指数で、自由渦流速分布では $n=-1$

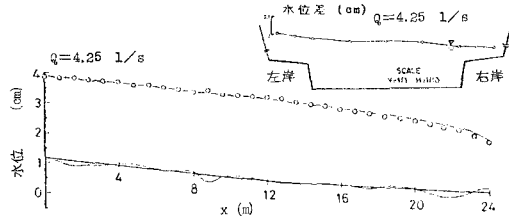


図-1 縦断および横断水面形

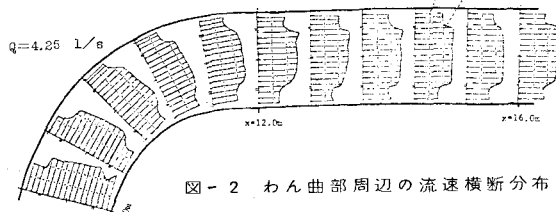


図-2 わん曲部周辺の流速横断分布

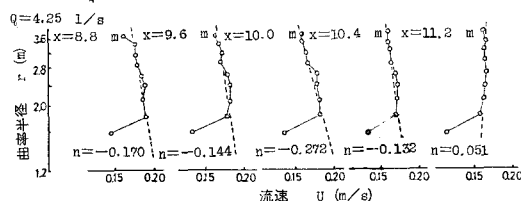


図-3 わん曲部内の流速横断分布



写真-1 水面の流況



写真-2 流水内の流況

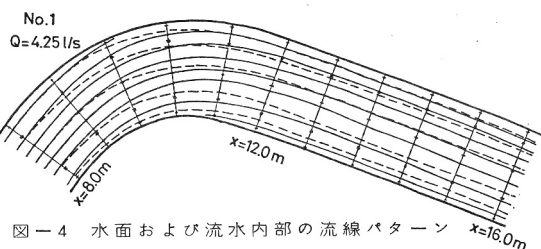


図-4 水面および流水内部の流線パターン

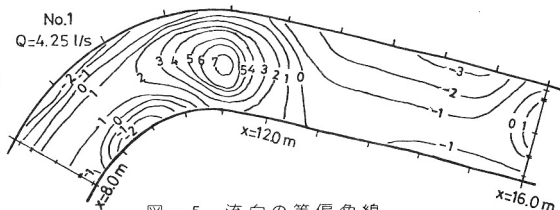


図-5 流向の等偏角線

強制渦流速分布では $n=1$ である。本実験における低水路内の流速分布を式(1)と比較すると図-3のようになる。 n の変化は $n=-0.272 \sim 0.051$ ときわめて小さく、水路幅・水深比が31~94と大きいため、完全な自由渦あるいは強制渦流速分布にはなっていないことがわかる。

(3) 流況特性: 流れの円滑さについて検討するため、種々のトレーサーを用いて流れを可視化した写真観測を行った。写真-1はポリプロピレン粒子による自由表面の流況を示したものであって、個々の粒子の軌跡より流速および流向が読取られる。また、写真-2は、路床上の固定点より放出されたウラン染料の流下状況を示したものであって、染料群の中心線は流水内部の平均的な流線に相当する。

図-4はこのような写真観測結果を用いて描かれた自由表面および内部の流線パターンを示したもので、自由表面上の流線はわん曲部における遠心力の作用を受けて外側に曲げられるが、内部の流線は流速が水面に比し小さいため、それほど顕著な曲がりを見せない。なお、これらの流線パターンより、水路幅全体にわたるような大きな2次流が形成されていることが推測される。

図-5は40cm間隔の各断面で読取られた流向のx軸からの偏角を等偏角線で示したもので、左岸向が正にとられている。図に見られるように、最大偏角点はわん曲部出口の水路中心付近にあり、最大偏角点の回りに等偏角線がほぼ同心円状に広がっている。また、わん曲部入口直後の高水敷上では、偏角が左右岸側とも負となっており、図-6(a)に示されるような2次流の存在が推測される。すなわち、低水路内では遠心力の作用により水面で外向の流向、底面で内向の流向をもつ2次流が形成されるが、外側および内側高水敷上では圧力勾配の効果により、いずれも水面で内向の流向をもつ2次流が形成されるようになる。このため複断面直線流²⁾で認められた高水敷先端付近での斜昇流は、複断面わん曲流の場合、内側高水敷先端ではより顕著になるものの、外側高水敷先端付近では不明瞭となる。また、わん曲部出口付近の水面での流向は低水路内・高水敷上いずれも外向きとなり、図-6(b)のような2次流の存在が推測される。このような2次流の形成は河道の維持管理にも重大な影響をもたらすものと考えられ、さらに詳細に検討する必要がある。

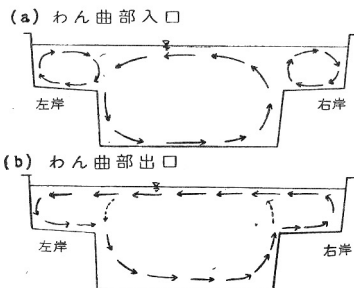


図-6 複断面わん曲河道の2次流

参考文献

- (1) Ippen and Drinker: Boundary Shear Stresses in Curved Trapezoidal Channels, Proc. ASCE, Vol. 88, 1962.
- (2) 今本・久下: 複断面流れの水理特性に関する基礎的研究, 京大防災年報, 第17号B, 1973.