Ⅱ—46　開水路わん曲流の流況特性（第二報）

建設省土木研究所　正員　須賀堯三

1　目的．　開水路わん曲部河床の洗掘形の安定断面を計算する方法について検討がなされてきたが[(1)(2)]，計算式の基礎となる流速分布や流砂量分布の仮定に対する検討は十分でない。また，各基礎式の係数が確定していない。この二つの問題を解決するには流況特性についてさらに詳しい知識を必要とする。

2　実験を行う理由．　開水路のわん曲流を解析的に解明する試みの多くは，その前提として $\partial/\partial\theta=0$ を仮定している。ところが実験によれば，縦断変化を無視しうるような断面は通常みられる程度のわん曲部には現われず，R/B の値にもよるが相当大きい角度のわん曲部の下流端近くでようやく現われるに過ぎないとされている。そこで第一報[(3)]において，θ の項を省略せずに流速分布の縦断変化について理論的考察を試みた。これは近似の仕方にも問題があって満足な結果は得られなかったが，流速の鉛直成分 w を無視すると，θ の項が小さくて θ 方向の流速の縦断変化がオーダー的にみて実験値より小さくなることが推定された。運動式においてはともかくも，連続式において w を無視することは適当でないように思われる。実験によると，w/u は h/B の程度であり，h/B が非常に小さい場合を除いて無視できるほど小さくない。また h/B が小さい場合でも両側壁付近では無視できないとされている。θ および w の項を無視することが適当でないとなると，わん曲流の内容を解析的に明らかにすることはかなり困難であり，実験的検討が多く望まれる。（記号は前報告(1)(2)(3)と同じ）

表-1　実験水路の種類

R/B ＼ θ_o	15°	30°	60°	90°	180°
1.5	o	o	o	o	o
2.5	o	o		o	o
4.03	o				o

3　内容．　多少の精度は犠牲にしても実験のケースを多くすることにし，表-1のような計11種のわん曲水路を用いて，F_r，h_o/B および河床砂の粒径をかえて合計33ケースの移動床に関する実験を行い，静的平衡および動的平衡の洗掘形状との関連において流速分布や河床セン断力分布を調べた。他に長方形断面の実験も若干行った。検討する具体的内容としては，次の3つの近似式，

$$u/u_* = a(y/k_s)^b \text{ ----------(1)}, \quad u_m = c\,r^t \text{ --------(2)}, \quad u_s = u_{sc}\{r/(R-B/2)\}^r \text{ --------(3)}$$

の妥当性および定数 b, t, r についての特性である。考慮すべき要素としては R/B，θ_o および h_o/B（あるいは横断形状）などの幾何学的要素と F_r などの水理量がある。これらについて二次流と対比させて検討する。

4　結果．　(1)二次流．セン断流に遠心力が横から作用すれば二次流が発生する。二次流は運動量を輸送するので，流速 u の鉛直分布形を複雑にし一般に対数分布にならない。二次流は横断形状，R/B および θ_o の影響を強く受け，その把握がなかなか困難である。Yen[(4)]によれば，法勾配1:1の台形断面における実験から二次流の v 成分におよぼす h_o/B_o の影響として，その値が小さいときは初期の成長が大きく，早く一様になる（あるところまではすぐに成長するが，それより下流での成長が止まるの意）が，大きいときは下流まで成長がつづく。また，$h_o/B_o \fallingdotseq 1/2$ では効果の傾向がほとんど同じようになるとされている。ただし B_o は底巾である。粗度の効果も同様の傾向と判断される。二次流の相対的強さは第一近似として R/h_m に逆比例するとみなしてよいであろう。安定断面の場合は根本的差違はないが多少複雑になる。u の分布形は場所の関数であり，$u/u_o=(y/h)^{1/7}(1-r/R)$，$u/u_o=(1-r/R)$ などの仮定は普遍性に欠ける。一般にわん曲流入部付近では，$u<0$ で内側ほど大きく，鉛直方向に大きな変化はない。深掘位置の上流では $u>0$ で表面の方が大きいが，深掘位置にさしかかると，回転渦りが成長し，底付近の流速が大きくなる。その

後一様域に達するまでに弱くなり，さらに下流では $u<0$ になって後，次第に減衰していく。

(2) 流速 v の鉛直分布。底層内の流速分布は別扱とする。二次流が強いときには分布形が変化する。Yen[4] の同じ実験によれば，水路中央部ではほぼ対数分布を認めることができるが，両側壁に近づくにしたがい，表面付近の減少が顕著である。内側では流速の最大値は水面下において生じ，½付近になることもある。外側でも最大値の生じる位置は深いところになるが，表面流速は運動量の補給があるからそれほど小さくならない。ただし，この傾向は $\theta=0$ 付近を除くものであって，流入部内側での表面流速はそれほど減らないとされている。安定断面の場合も本質は Yen の傾向と同様である。(1)式が成立するのは $r=R$ 付近と $\theta=0$ 付近(内側を除く)のみとみなすべきであるが，近似的にこのように仮定することは当面やむをえないと思われる。そして，しいて t の値を求めた場合，$\theta=0$ 付近では平均では $t \fallingdotseq 1/7$ であるが内側から外側2/3にかけてやや大きくなり，さらに外側では逆にかなり小さくなる傾向がみられる。洗掘開始部の1/3外側部では t が負になることもあり，外壁のそばでは最大流速の位置が1/3になることもある。下流になると t は小さくなる傾向があるが，一様域ではやや安定する。

(3) v_m の横断分布。$0 \ll \theta, x < \theta_*, x_0$ および摩擦の影響の入る両側壁付近で流速分布が不揃となる(下流直線部でも少し乱れることがある)が，固定床および移動床によらず第一近似としては(2)式が成り立つ。t の値は洗掘位置との関連において θ_*, x_0 によって整理され[2]たが，動的および静的平衡による本質的な差違は認められない。t を定めるときに個人差は入るが，図-1は t を h_m/B をパラメーターとして示したものである。h_m は下流の値をとったので h_m/B の影響はあまり出ない。$\theta_0>\theta_*$ のときは長方形断面では t の成長が遅く，安定断面で速いが，$\theta_0<\theta_*$ のときは差があまりない。

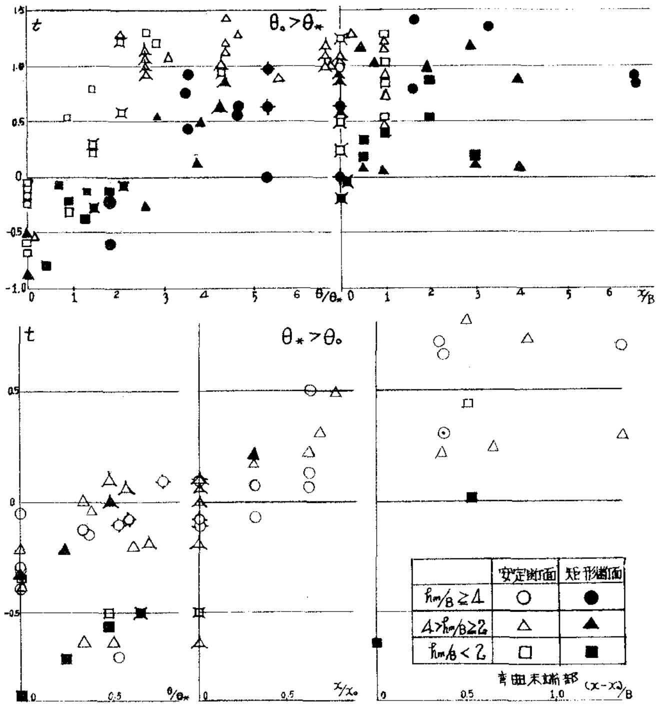

図-1 t の変化（v_m の分布）

(4) v_* の横断分布。動的平衡時を考える。底付近の二次流の影響が入るが，v_m の影響を重視すると(3)式が意味づけられる。図-2はかなりばらつく点を平均して考え，図-1と同様のまとめ方をしたものである。

	○	●	△	▲	×	□	■
θ	180°	180°	90°	60°	180°	15°	30°
R/B	4.03	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5	1.5

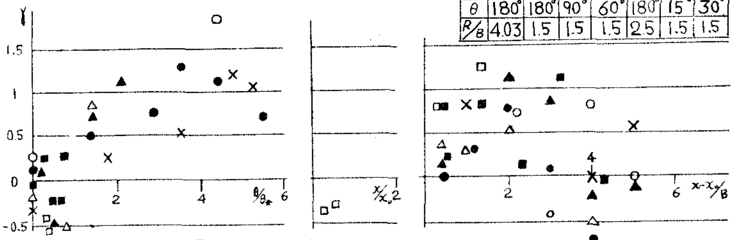

図-2 γ の変化（τ_0 の分布）

参考文献

(1) 須賀：第9回水理講演会 S40.2

(2) 〃；第10回 〃 S41.2

(3) 〃；第20回年次講演会 S40.5

(4) Ben-Chie Yen; Report of Inst. of H.R., Univ. of Iowa (1965)