

弯曲部における水割の水割作用について

平野 宗夫

學生員 ○田中耕一

直線部に設置した越流連続水制についての実験及び解析を行ってきたが、水制の流速減殺効果は、制高 h_z と水制間隔 l との比 h_z/l が10~20程度のとき著しい。水制長さ B としては、 $(h_z/l)^{0.22}(B/l) > 2.5$ とす範囲内で短かいことが望ましいという結果が得られた。従って、河川工学上の基準とされている直線部水制では有効なパラメーターとはなり得ない。しかしながらもともと水制は河川弯曲部にけられることが多く、その場合の流水の集中流向の性状よりめて直線部の要素の他に R/l が弯曲性状関連して重要なファクターとして入ってくることが予想される。本文は弯曲部における水制の機能調べる一歩として1個の非越流水制を設置した場合の流況と河床砂の堆積傾向についての実験を行い、若干の考察を加えたものである。

実験に用いた水路は巾100cmの長方形断面コンクリート製であって、上流4m、下流45mの直線水路の間に偏角90°、中心曲率半径180cmの曲線部が挿入されており、路床こう配は1/600である。流れの条件は流量25ℓ/s、下流45mの水深5.8cmとする。使用した水制は20cm×20cmで、まず最初に水制を設置しない場合、水制を外側0度、60度、90度、内側0度、60度に設置した場合に、それぞれの流速（底から2cmの奥の内側、外側各2cmと水路中央の奥の流速）と流向（水路中央の表面、底面の流向）と水位（内側、外側2cmの奥と水路中央の水位）と後流渦を測定した。河床砂の堆積傾向をみるため、曲線部上流2mの奥から水路巾一様に粒径0.3mmの均一砂を流れ、堆砂状態がほぼ定常であると思われる時に水を止め、その形状と堆砂量を測定した。流速はフロペラ流速計を使用。流向は糸を流してそれが接線方向となす角を測定。水位は静圧管により傾斜マノメーターで測定。後流渦の終突の位置は、糸のふれる方向によって判定した。

① flow pattern

流れの特性は弯曲流れの特性と非越流突堤の水理特性との組合せである。まず弯曲流れの特性として主流と迷口の横断分布が次式で表わされる。

$$U = k r^m \quad (1) \quad \text{2次流が充分発達したとき } m=1$$

完全流体とするとき $n = -1$ (入口)

彎曲流の運動方程式及び連続式は、次の様にあらわすことができる。

$$v \frac{dv}{dr} - \frac{U^2}{r} = -g \frac{dh}{dr} \quad (2)$$

$$v \frac{dU}{dr} + \frac{UV}{r} = g \hbar \quad (3)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(Vr)}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

(2) 式は横方向 θ に無関係としたとき $\frac{df}{dr} = \frac{U^2}{r}$ (5) となる。

弯曲による遠心力によって半径方向の流速成分が現れてくる。遠心力は速度の2乗に比例するため表面底面流速の違いにより不均衡となりそのため流れに直角な断面内での回転があり流れの変化としてでてくる。横断水面形は遠心力と半径方向の水面こう配の釣合としてあらわれる。(5)式次に非越流突堤の水理特性として後流渦の長さは $L_v/B=12\sim16$ で逆流と速の速度変動は図-1のようになる。又 displacement thickness $\delta_* = \int_0^{\delta} \frac{(U-u)}{U} dy$ による影響を考えると、川幅が有限のときには主流と速が変化し恐らく逆流と速最大で δ_* が最も大きく主流と速は極大になるであろう。

流向が水制によって影響をうける範囲は y_0, y_2 ともに水制の上下流 αB ($\alpha=5\sim7$) に及ぶ。図-2のように $\tan\phi$ は分布する。

以上の弯曲流れと非越流突堤の水理特性を考慮して弯曲部において水制の及ぼす影響について述べる。

水制側(外側)の壁面速度
①水制の上流側 壁面速度は αB 程度の上流から減速され水制位置では殆んど死水域となる。 α の値は水制設置位置 θ が大きいほど小さくなる傾向があるが、 α は約3程度である。(図-4)

②水制背後の逆流領域

No. 1, 2, 3 の順で逆流領域は小さく、逆流と速は小さくなり、主流と速の $1/2$ 以上の逆流と速が認められる。

流れの方向は水制がない場合の $\tan\phi$ の値に直線部の水制による流向の変化を重ね合わせると実験結果と同じ傾向となる。 $\tan\phi$ は流れの方向と同時に砂の移動の方向を示すため非常に重

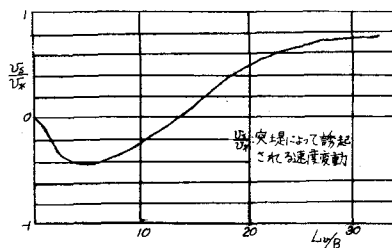
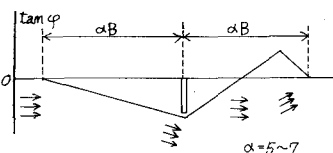


図1 突堤背後の側壁に於ける速度変化



突堤による $\tan\phi$ の変化

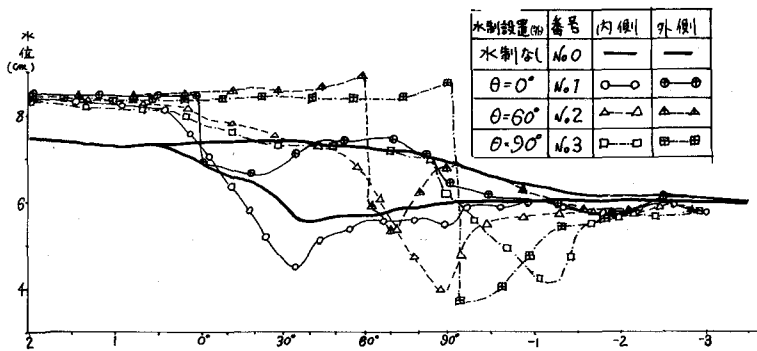


図3 水路両側の水位

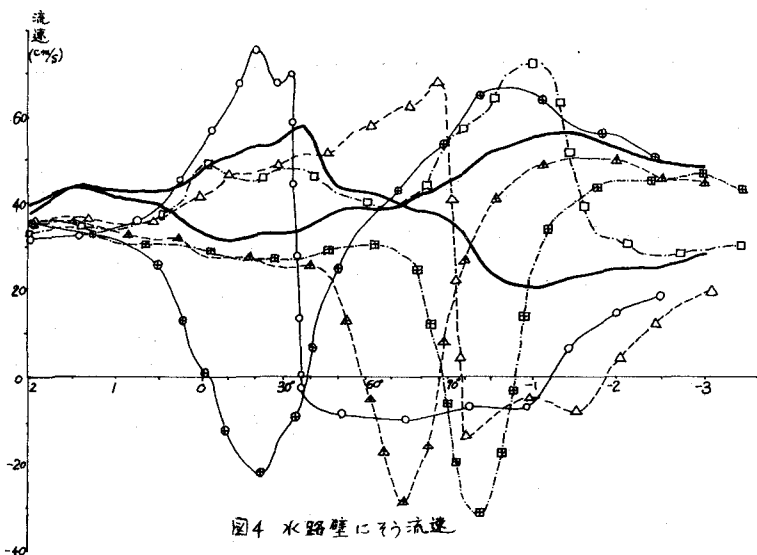


図4 水路壁に於ける流速

要である。(図-5)

②内壁のハク離と水制背後の逆流領域

図-3,4において内側では水制により流れが集中し流速増大部で $\frac{v}{r}$ が大きく $\frac{dh}{dr}$ も大きくなっている。 h_{min} に達した後圧力勾配のために衝撃的に内側の流れは壁面からハク離れて逆流領域を形成する。 90° に設置した場合は交叉波を生じている

ハク離が促進される原因として、④流速が増大し遠心力による内側の水面低下により圧力上昇、特に局部的に射流跳水を起す。

⑤水制のある程度下流では外側に向う流れを生じ流れが内壁にそい難くなる。水制背後の逆流域については前に述べた。

③河床砂の堆積傾向

弯曲部に於て顕著な堆積をもたらすための条件

としては、④底面における流れの偏向角 $\tan \varphi_b$ の負値が大きく上流からの流送土砂が内壁に集中すること ⑤内壁附近における流速減少の割合が大きいことである。

堆積量及び堆積形状についての説明

N6.0 内側の流速が減り始める 30° 附近から堆積が始り $\tan \varphi_b$ が最大となる。 $\theta=80^\circ$ 附近で堆積量が最も大きくなる。それより下流では流速が小さいため流送土砂量が少くなり図-7のような堆積形状となる。

N6.1 $\tan \varphi_b$ が最大となる所は $\theta=0^\circ$ であるがここは流速が大きくなり砂は内壁にそって流されるが流れがハク離を生ずる $\theta=35^\circ$ 附近から堆積ははじめる。堆積はハク離領域と主流域の境界附近に起りハク離領域内の逆流域には堆積しない。堆積量は $\tan \varphi_b$ が $\theta=0^\circ$ の次に大きい $\theta=20^\circ$ あたりで最大となる。

N6.2 $\theta=50^\circ, X=-2.5$ 附近で $\tan \varphi_b$ は大きくなるが $\theta=50^\circ$ では流速が比較的大きいので堆積量は少くそれより下流では流速が大きくなり堆積はない。しかし $X=-2.5$ 附近の内壁に生じたハク離により減速され、再び堆積を始める。堆積量は $X=-2.75$ 附近が最大となる。形状はN6.1と同様なものとなっている。

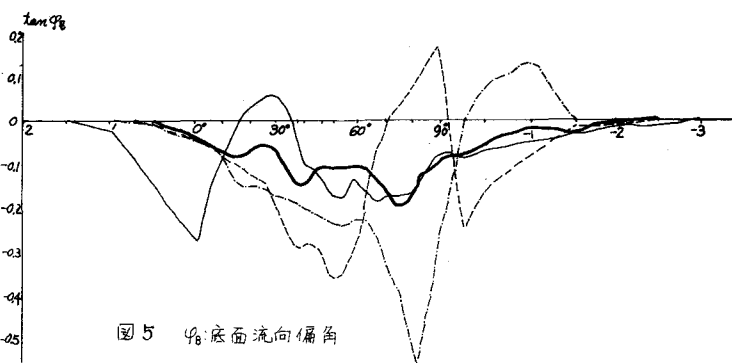


図5 φ_b :底面流向偏角

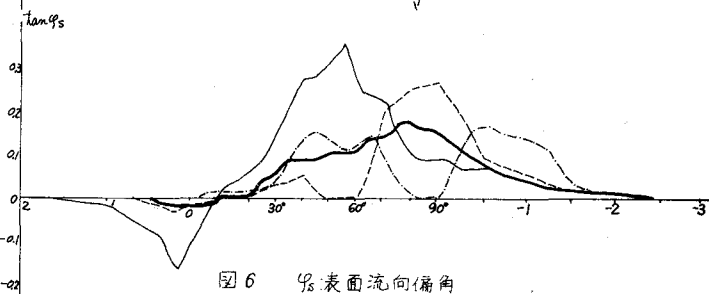


図6 φ_s :表面流向偏角

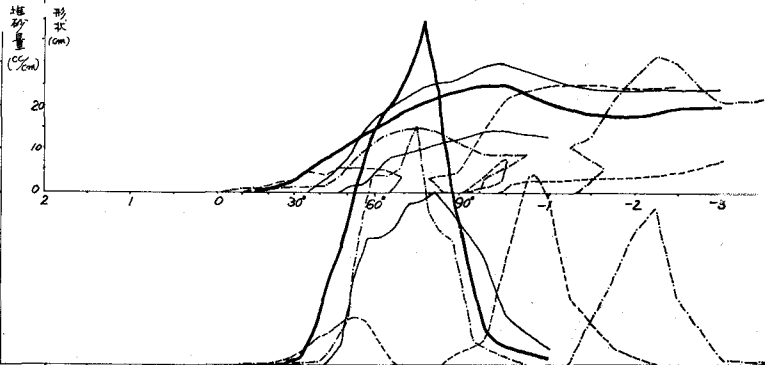


図7 堆砂形状と堆積量(湿潤体積)

No.3 水制の影響が内側では $\theta=80^\circ$ 位までしか及んでなく $\theta=30^\circ$ 附近から、 $\theta=80^\circ$ 位まで流速が減少する。 $x=0$ 位も $\theta=80^\circ$ 附近で最大となり弯曲部 $\theta=75^\circ$ で堆砂量は最大となる。 $\theta=80^\circ$ を過ぎると水制による流れの集中により流速が大きくなり、交叉渡のために流速が再び減少する。 $x=-1.5$ 附近まで堆積は起らない。

砂は内側に沿って流れてくるので内側に堆砂する。内側流速が小さくなる $x=2$ 附近に最もたまる。

以上弯曲部外側に水制を置いた場合の現象について述べた。

次に内側に水制を置いた場合の実験結果(水位、流速、 cm/s 、堆積状況)を図8, 9, 10, 11に示す。ここでは、結果の考察は省略する。

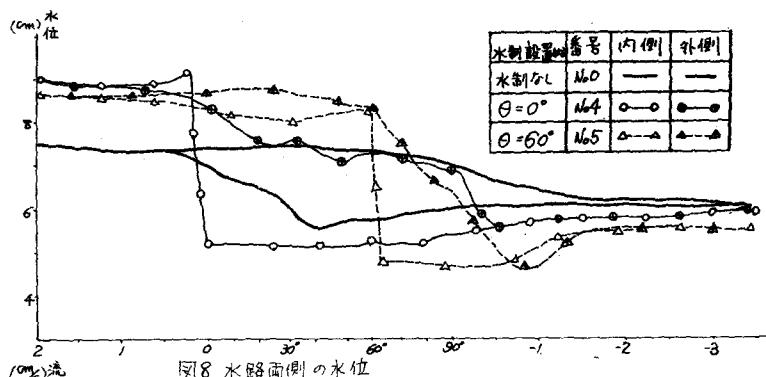


図8 水路面側の水位

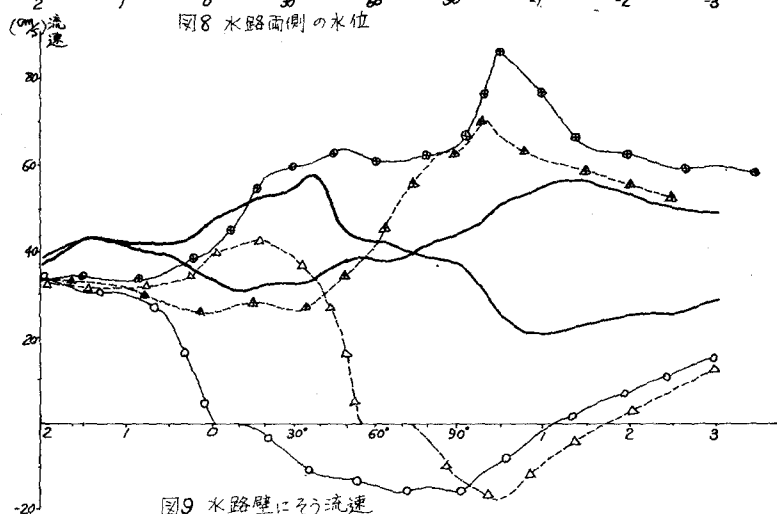


図9 水路壁にそう流速

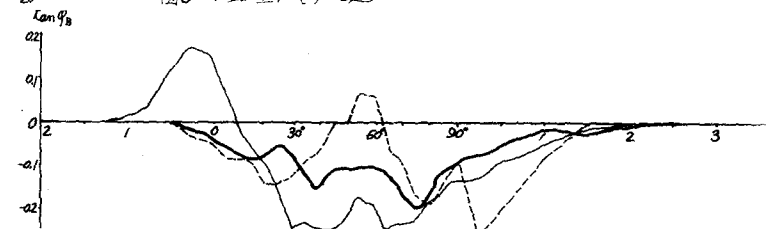


図10

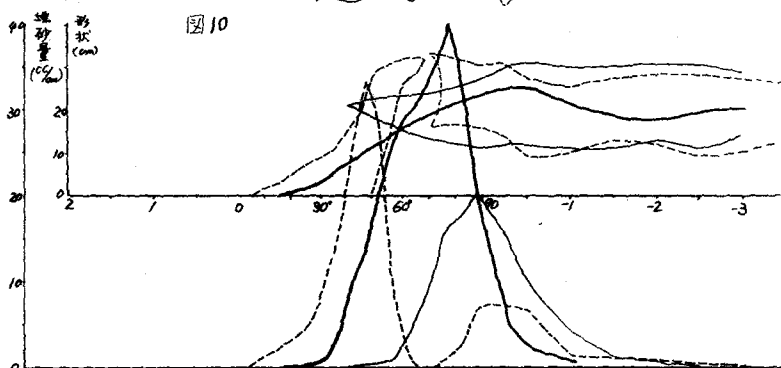


図11 堆砂形状と堆積量(湿潤体積)