

建設省土木研究所 正員・須賀亮三

馬場洋二

1 目的および概要

一般に、河川改修工事の相当進捗した現在では、護岸工事は中小規模のものが目立つ。しかし総額では依然として多く、河川改修費に占める護岸費の割合も非常に高い。護岸構造ではわん曲部に設けられるものに問題点が多く、出水毎に洗堀を受け、補修工事が繰り返される場合もある。

わん曲部の局所洗堀については活流の研究が行われてきたが、未だ十分は理論的接連がなされていない。ことにわん曲流の水路側壁付近の流速分布に關する知識は十分ではなく、局所洗堀や河床変動に關する実験も側壁の勾配や粗さに対して十分に留意されてきたとはいえないように思われる。一方実際の河川改修では、これまで相当程度経験的な面が重視され、護岸や根固、および水制工法などが施されてきた。最近では施工法の機械化、材料の変化、および水制施工例の減少などが注目される。また、大規模な河道堀削計画の進展に伴って高い護岸(美川の河道改修計画では計画平均低水路河床から高水敷までの高さは長柄地地奥で8 m)の実施例の増大が期待される。護岸材料としては種々の形状のブロックや長い矢板などが用いられるであろう。このような場合、現実の問題として、護岸形状(勾配や小段)、護岸の粗度、根入れ深さ、および前面の保護根固などの設計根拠が漠然としている場合が多く、その設計指針は、古い問題ながら新しい観点からの再検討が切望される。

ここでは、これらの問題を考察する一段階として、わん曲部の河床変動特性との関連を主眼に、初歩的な二三の実験を行って検討を行ってみる。また、最近の大規模な低水路河道堀削計画では、わん曲部が二つ以上連続する複わん曲部が多く問題箇所とされ、その低水路の法線形状の決定が護岸規模との関連上重要問題となる。これは上流側が一わん曲と下流側が二わん曲とで、流入渦および補給流砂が相異なることによるもので、これについても簡単な実験を行って定性的な考察を試みた。

2 わん曲部の護岸粗度が局所洗堀におよびる影響

わん曲部の局所洗堀は、流速や掃流力の影響もあることながら、補給砂供給量にかなり左右されることが特徴である。たとえば、わん曲流入端内岸側では流速は大きい¹⁾が補給砂が十分にあるので大きな洗堀を受けない。これに対して、外岸側やや下流部でうせん状の下向流が存在するところでは、補給砂が少いので大きく掘れる。したがって、掃流力の大きい所では補給砂も多くすればよいのであるが、下向流はあまり補給砂を伴わないので、わん曲部護岸付近の深堀れを考察するときにはうせん流に相當の重點を²⁾必要がある。局所洗堀軽減に対する護岸粗度の効果としては、側壁付近の下向流および絶対流速を弱めて掃流力を小さくすることであろう。水制はもうに積極的に流線や補給砂の調整を期待するものかと思う。

実験は、中15 m、中心曲率半径3.75 mの単一わん曲(わん曲角90°)を有する長方形断面水路の外岸側に、勾配の側壁を設け、 $d_{50}=0.31\text{ mm}$ の比較的均一な砂を $1/3000$ 勾配に敷いて移動河床とし、表-1に示す5種類の側壁粗度の局所洗堀におよびる効果を検討した。水理条件は同一で、流量 $100\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ 、平均流速 $0.337\frac{\text{m}}{\text{s}}$

表-1 法面護岸粗度の種類

Run	法面粗度の種類	粗度係数 n_w	図-1に示す記号	法面粗度の内容
1, 2	ラワン合板	0.013	————	10m 青木材 10cm 間隔, $S/K=10$, $K=10m$, R に並べたもの
3	サン粗度(1)	0.022	-----	10m 青木材 5cm 間隔, $S/K=5$, $K=10m$, R に並べたもの
4	〃 (2)	0.020	-----	4mm 目金鋼網を10m 青木材に20cm 浮かして又重に張ったもの
5	金鋼 (2重)	0.017	————	波長33cm, 波高1cm, プラスチック製
6	波型トタン	0.018	*—*—*	

$F_r=0.242$ とした。砂の動きは掃流型式であった。
 150分通水後の河床形状は図-1のようである。同図の記号は表-1に記されており、法面の粗度係数は直線水路においてアインスタインの方法により算出されたものである。洗堀形状は安定まで達してはいないが、かなり平衡に近い状態である。これよりみると、 $n_w=0.013$ のラワン合板の場合が洗堀が入り、これは二回同じ実験が行われているが、結果は同一であった。他のケース $n_w=0.017\sim0.022$ では、粗度の形状に関係なく、系統的な差が出ていないようである。これは幾何学的形状や水量の影響に関する検討が行われておらず、この結果からいって、側壁粗度が小さいほど前面の洗堀深が入り大きくなると結論することは早計であるが、移動床の模型実験を行う場合には留意すべきことのように思われる。利根川下流部の移動床模型実験⁽⁹⁾(縮尺水平 $1/100$, 鉛直 $1/50$)ではモルタル護岸と金鋼護岸とでは有意の差があり、現地護岸粗度に調整した金鋼護岸の場合に現地洗堀形状に近い実験結果が得られた。また茨川の模型実験⁽⁹⁾(縮尺 $1/50$ 至 $1/10$)の場合には判然として差がなかったが、これは利根川の場合のオウセン流が強いことによるものと思われる。⁽⁹⁾⁽⁹⁾Sten, Komuraによれば、直線水路では側壁の粗度が大きいほど発生する蛇行のピッチが短くなり、洗堀深が入り大きくなるとの実験結果と考察が報告されているが、急なわん曲部で水深が入り、かなり激しいオウセン流が生じる場合には護岸粗度の効果が期待されるようである。この場合、護岸の形状としては、オウセン流の方向を考慮して、これと垂直になるように、すなわち少し斜めのサン粗度が有効のように思われる。

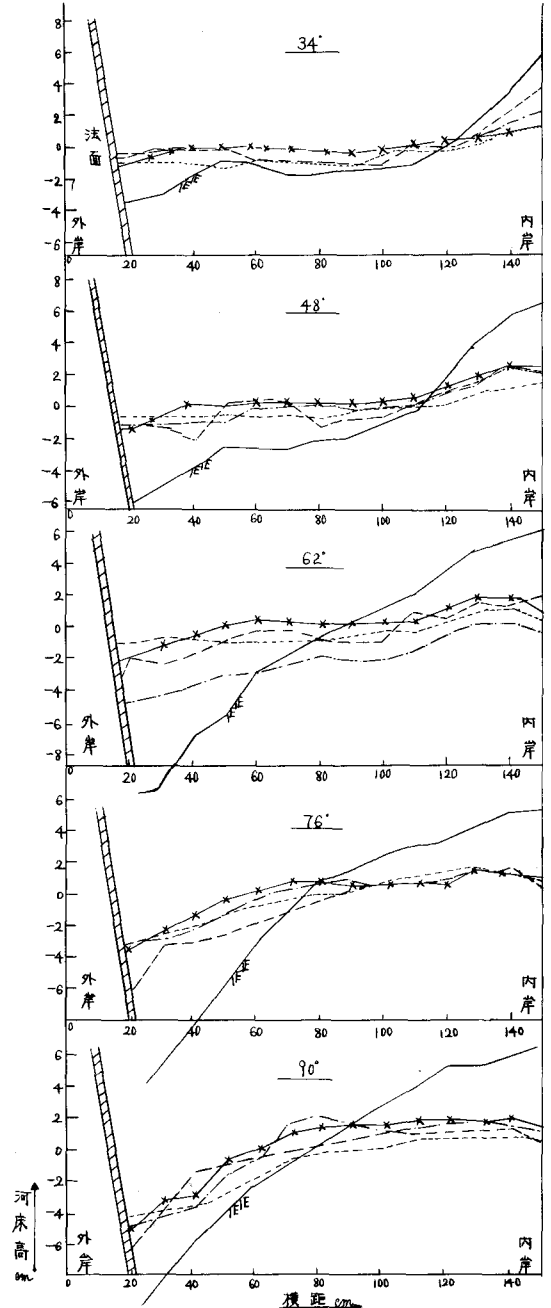


図-1. 横断河床形状 (2.5時間後)

3 わん曲部の護岸勾配が局所洗堀にあよぼす影響

水深のある大きいわん曲部で、うせん流が発達している場合には、護岸勾配や小段が、壁面近くの二次流や局所洗堀に影響をあよぼす。あおよその見当をつけるために、同じわん曲水路の外岸側に図4に示すような側壁を設けて実験を行ってみた。実験ケースは、外岸側護岸として勾配1:1, 1:2, 直の3ケース、 $F_r=0.4$ 、下流水深20cm, 30cmとした。初期河床は $d_m=0.21\text{mm}$ の砂を $1/100$ の勾配で敷きならし、640分の通水を行った。側壁勾配3ケースの実験で、水路中として水面をとるときには、いずれの場合もほぼ $B/b \div 2.5$ であるが、底中を用い

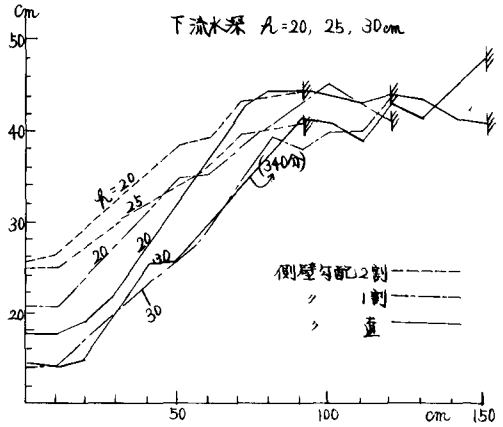


図2 横断河床形状

ると多少異った値となる。実験結果の一例として図2にわん曲末端部の河床横断面形、図4に90°断面の流速分布を示す。実験の結果明らかになった主な内容を列挙すると次のようである。(1)フルード数が同じ場合、水深が入きいほど二次流は強くなるが、それは側壁勾配の影響を受ける。(2)傾斜側壁の場合でも、わん曲流入部付近では流速は内岸側に向うにしたがって小さくなるから、斜面を降下する流れが存在するが、河床面上の流線は急角度に内岸側に向うことはない。(3)わん曲部を流下するに

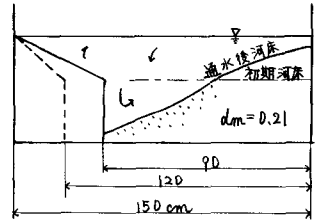


図3 横断面

たがい、水面付近の外岸側に向う流速 U_r が発達すると、側壁斜面を昇る作用が生じ、これがうせん流に基づく斜面沿いの下降作用を減じる。うせん流が弱い場合には図3に示すような上昇流となることもある。したがって斜め護岸上の比重1の小球はわん曲流入部付近では落ち込み易いが、やや下流からは洗堀部へ落ちにくくなる。(4)この傾向は側壁勾配がゆるやかになるほど強く現われるようである。また、うせん流の角度にも関係するものと思われる。(5)側壁勾配のある場合には、うせん流が弱まり、洗堀速度が小さくなる。(6)図2にみられるように、洗堀された河床の横断面勾配は、側壁勾配が小さいほどゆるやかになっている。(7)深堀部の上流端は F_r が同じ場合には水深の大きいほど、また側壁勾配が小さいほど上流までの広い範囲となる。後者の場合には底中がせまいためであると考えられる。

このような実験結果に基づいて二次流の作用を中心に考慮すると、実際の護岸の設計には、深堀れが生じる所の護岸勾配をゆるく、また下方に延長するこ

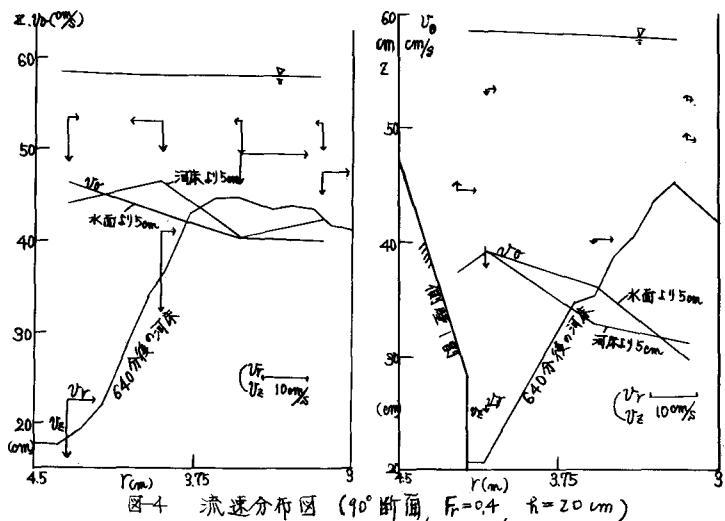


図4 流速分布図 (90°断面, $F_r=0.4$, $h=20\text{cm}$)

とが望ましいように思われる。

4. 複わん曲部河床変動と重実護岸

河川にあってはわん曲部が二つ以上連続する場合が非常に多い。単一わん曲の河床変動特性については、これまでの研究により、相当程度の推定が可能である。しかし、複わん曲の場合は渦と補給砂分布特性が未解決であり、実際面からの研究要請が強い。この問題を考察するために $B=30\text{cm}$ 鋼杆グリキ製の 90° わん曲 ($R_0/B=2.13$) を二つ作製し、このわん曲部を、長さ $L=0, 3B, 5B$ の三種の直線水路

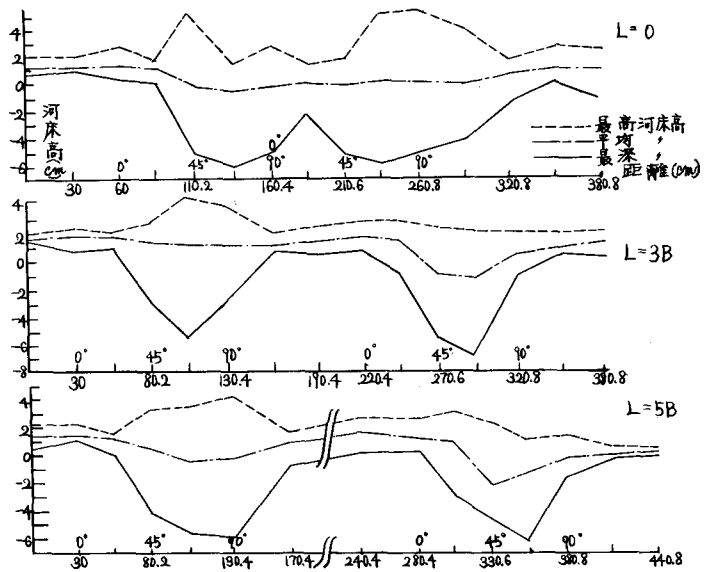


図-5 縦断河床形状(720分後)

条件として、 $F_r=0.45$ 、下流水深 5cm 、初期河床勾配 $1/200$ ($d_{60}=12\text{mm}$) のケースと比較検討し、考察の結果を列挙すれば次のようである。(1) 図-5 は平均、最深、最高河床高を3ケースと比較したものである。少し離れた上下流部の河床高を不変としても、出水後はわん曲部で河床低下があり、オ2わん曲部の直下流では堆積が生じる。平均的な河床変動がゼロと計算されても、わん曲部では内側に堆積、外側に深堀れが生じるので河床変動は大きい。オ2わん曲ではオ1わん曲からの補給砂が多いので堆積傾向といわれるが、内側の堆積が入りければ、外岸側の流堀も大きい。(2) オ1わん曲では単わん曲の場合とは同じ河床変動特性を示す。オ2わん曲では流堀深が入りなくなり、その位置がやや下流に移り、深堀れ部がかなり下流まで広がる。これは内側の堆積量と流れの集中度によるものである。実川の模型実験では内側の堆積部をとり除くと、深堀れ部の下流への進行はとまるとなっていた。(3) F_r が同一でも水深によってせん流が異なるから、中間直線長は流量によって必要量が異なる。ただし必要以上に長くすると中間直線部に蛇行が生じ、その影響が発生することもある。(4) 一般にオ1わん曲はかなり安定した河床変動を示すが、オ2わん曲は多少不安定である。例えば、下流水位が少し下げれば、堆積位置、流速分布、および深堀れ位置も変わってくる。したがって、(5) 護岸設計の見地からは、中間直線区間を長く、またオ2わん曲をゆるやかにすることが望ましいと思われる。オ2わん曲部の重実護岸は外岸側がかなり下流部までのびていくことが望ましい。

5 おわりに わん曲部の二次流を主眼に、おおよその見当をつけるために簡単な実験を行って考察を加えてみた。これは、中間段階の資料の検討を省略した報告であり、断定的なところが多々ある。実用的にはさらに多くの系統的な実験や現場試験をくり返し、理論的考察の追加を必要とする。

6 参考文献

- (1) 須賀：南水路わん曲部河床の長定形状(1),(2)。土木学会水理講演会 1965, 1966
- (2) 土屋、須賀、馬場：利根川移動床模型実験報告書 土木研究所資料 563号, 1970
- (3) 須賀、高橋、杯：沢川河道計画模型実験報告書(20)-低水路流線形状の検討- 工研資料 6473 1971
- (4) Shen, Komura: Meandering Tendencies in Straight Alluvial Channels, ASCE, Hy. 4, 1968
- (5) Komura, Shen: Alternate Scur in Straight Alluvial Channels, 土木学会論文報告集 No.184, 1970