

緩傾斜河岸の配置法の研究

西村達也¹・福岡捷二²・安田実³・桐山和晃⁴・堀田哲夫⁵

¹正会員 工博 (株)建設技術研究所 技術第三部 (〒103 中央区日本橋堀留町1-7-7)

²正会員 Ph.D 工博 広島大学教授 工学部第四類 建設系 (〒739 東広島市鏡山1-4-1)

³正会員 工修 (財)リバーフロント整備センター 研究第二部次長

⁴学生会員 東京工業大学大学院 博士前期課程

⁵正会員 (株)建設技術研究所 技術第五部

蛇行水路および直線水路を対象に、流れ及び河床変動の視点から、緩傾斜河岸の望ましい配置について、実験的及び解析的検討を行った。その結果、彎曲部外岸近傍の河床せん断力の縦断分布が緩傾斜河岸の配置を決める上で重要であることを示し、緩傾斜法面の勾配が河床洗掘深と水位上昇量に与える影響について定量的に明らかにした。また、単断面直線水路の緩傾斜化は、川幅/水深の大きさによっては水位に大きな影響を及ぼすこと、複断面直線水路の場合は、高水敷の流速が相対的に小さくなるため、単断面水路に比べて水位上昇量が十分小さくなることを示した。

Key Words : meandering and straight channel, gentler bank slope, flow and bed profile, shear stress, water level

1. 序 論

河道彎曲部では、外岸での河床洗掘が発生すると、さらに外岸に向かって流れが集中し、河岸が侵食され堤防が決壊することがある。このような箇所では、従来護岸の根継ぎや根固めブロックの投入、設置による侵食対策が行われてきた。これは、侵食対策として有効ではあるが、河川環境上多くの課題を含んでいる。環境面の改善、河岸および河床洗掘を防止する方法の一つとして、堤防表法面の緩勾配化がある。外岸法面を緩勾配化することができれば、彎曲部外岸近傍の流況を改善し河岸侵食や河床洗掘を小さくし、堤防の強化、堤防植生の維持管理の効率化、河川環境の改善効果も期待することができる。しかしながら、堤防の緩勾配化は、堤防表法面を流心方向に前出しするため、緩勾配化による水位への影響が心配され、また、河床洗掘深の軽減量が定量的に見積もれる段階に至っていないことから、流下能力に余裕がない限りは、ほとんど実施されていない。

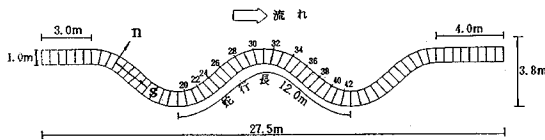
福岡ら¹⁾は、一様彎曲水路を対象に、外岸法面の緩勾配化による流速分布の改善、河床洗掘深の軽減と水位上昇量との関係を明らかにするとともに、河床面の粗度と河岸斜面の粗度が異なる場合について流れと河床変動の機構を調べ、水理計算法を構築した²⁾。この結果、彎曲部で外岸法面の緩勾配化は、水位上昇をほとんど招くことなく、外岸近傍に発生する洗掘位置を河道中央部に移動させ、さらに洗掘深を軽減させる効果があることが明

らかとなった。これは、外岸法面の緩勾配化により断面内の流速分布およびせん断力分布が変わり、洗掘位置と洗掘深が変化したことによるものである。この結果は、横断方向の河床変化が著しい彎曲部における特有の結果であると解釈されてきた。実河川は、彎曲部と直線部の両方を有しており、さらには縦断方向に曲率が変化するため、外岸近傍の洗掘深を軽減するために行った法面の緩勾配化が結果的に水位上昇を招く心配がある。特に、直線部や蛇行水路の変曲点をはさむ直線部においては、緩勾配斜面を設置しても、流速分布が大きく変化しないため、緩傾斜河岸の効果は現れないため、実施箇所については十分に検討されなければならない。

直線流路における緩勾配化の効果については福岡ら³⁾が検討してきた。その結果、複断面河道の場合には河道幅が十分広ければ、水位をほとんど上昇させずに堤体の緩勾配化が可能であるが、単断面河道の場合には、緩勾配化による水位の上昇は避けられないことが明らかとなった。

緩傾斜河岸の配置法を議論するには、任意の蛇行河川における流れと河床変動の機構を解明し、彎曲部外岸での河床洗掘を抑制することができる緩傾斜河岸の設置範囲の決定法、緩傾斜河岸設置区間下流の河岸侵食機構を解明する必要がある。

蛇行水路における流れと河床変動の研究は数多く行われている⁴⁾。この中でParkerら⁵⁾によって示された蛇行水路の平面形状によって決まるpoint barとalternate



図一 蛇行水路の平面形状

表一 実験条件

流量	18 l/s	27 l/s	12 l/s
平均水深 (m)	0.055	0.070	0.042
水路幅 (m)	1.0		
初期河床勾配	1/500		
一波長の蛇行長 (m)	12.0		
最大偏角	45°		
河床材料 (mm)	0.8		
フルード数	0.41		

barの波長が一致すると洗掘深が大きくなる Resonance 現象は、緩傾斜河岸の配置法にも関係するかどうかについて検討が必要である。この Resonance 現象は、alternate barが卓越する水理条件で顕著に見られる現象であり、小規模河床形態などが生じている流れでは、Resonance 現象を考慮しなくても河床形状の予測が可能である。

本文では、まず初めに Sine-generated curve による法線形をもつ蛇行水路を対象に、実験および解析を行い、緩傾斜河岸の配置について検討を行う。次いで、直線および蛇行水路を対象に、緩傾斜河岸の望ましい配置法について検討を行う。

2. 緩傾斜河岸を有する蛇行水路の実験結果⁶⁾

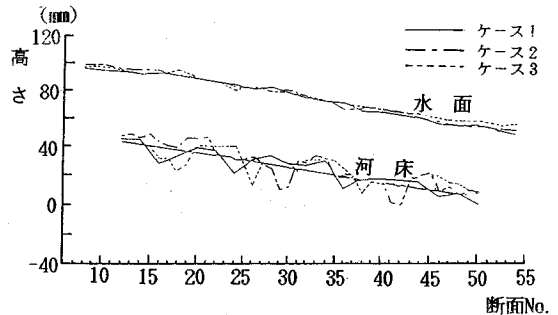
(1) 実験方法

水路は、幅 1m、最大偏角 45°、蛇行長 12m の 2 波長の Sine-generated curve の蛇行水路に、図一に示すように、上流部と下流部に各々 3m と 4m の直線部を設けた全長 31m の水路を使用した。この水路の中心軸沿いに s 軸を選び、s 軸に沿う流下距離を縦断距離とする。図一に示すように、s 軸に直交して横断方向に n 軸を選び、水路中央からの距離を横断距離とする。

緩傾斜河岸の法面勾配は 3 割勾配とし、その上流端と下流端では、断面の変化による乱れを極力少なくするため、縦断方向に長さ 1m で鉛直壁にすりつけるように法面勾配を徐々に小さくした。実験は、表一に示す水理条件のもとに行われている。上流端で給砂し、河床がほぼ平衡状態に至る 8 時間通水を行い、水位、流速の測

表二 実験ケース

	流量条件	河岸の条件
ケース1	18 l/sec	鉛直壁
ケース2	18 l/sec	No. 18 ~23の右岸, No. 30 ~35の左岸, No. 42 ~47の右岸に 3 割勾配の斜面を設置
ケース3	18 l/sec	No. 19 ~25の右岸, No. 31 ~37の左岸,
ケース4	27 l/sec	No. 43 ~49の右岸に 3 割勾配の斜面を設置
ケース5	12 l/sec	



図二 平均河床高と水面高の縦断分布

定を行った後、通水をやめ、河床高の測定を行った。流速の測定は、電磁流速計を使用し、縦断方向流速 u と横断方向流速 v を同時に測定した。実験は、表二に示したように、流量と河岸の条件を変化させた 5 ケースについて検討を行った。

(2) 緩傾斜河岸の設置による河床形状の変化

図二に、平均河床高、水路中央での水面高の縦断変化の実験結果を示す。ケース 1, 2, 3 とも平均河床高はほとんど変化せず緩傾斜河岸を設置し初期断面を縮小しても、水位は鉛直壁の場合に比較してほとんど変化していないことがわかる。

図三は河床変動量の実験結果を示す。河岸の安定には河岸法先の洗掘深を減らすことが重要である。鉛直壁の場合は最大曲率部の下流側外岸で大きな洗掘が生じている。緩傾斜河岸を設置した場合には、外岸近傍に発生していた最大洗掘深の発生位置を水路中央側へ移動させ、さらに河岸の法先の洗掘深を減じ、河岸の安定性を向上させている。ケース 2 では、緩傾斜河岸の設置範囲が蛇行部の下流方向へ短かったため、緩傾斜河岸の下流端で洗掘が発生しているが、ケース 3 のように緩傾斜河岸を蛇行部下流まで配置することで、緩傾斜部下流端での河岸付近の洗掘が防がれている。最大洗掘深の位置が河岸側から河道中央側に移動することにより、流れはスムーズに流れるようになる。

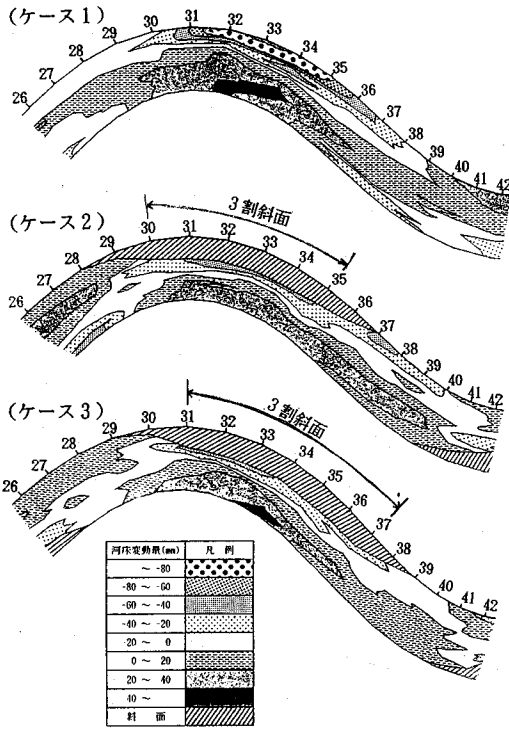


図-3 河床高のコンター (実験結果)

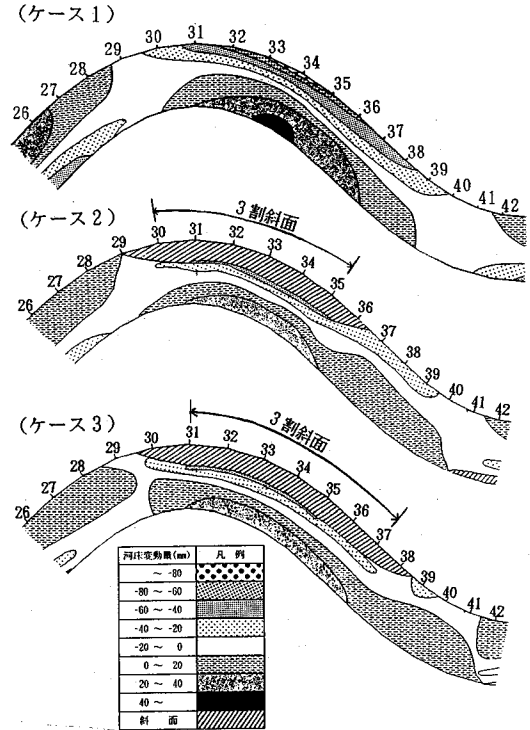


図-4 河床高のコンター (解析結果)

3. 緩傾斜河岸を有する蛇行水路の流れと河床変動の解析

(1) 緩傾斜河岸を有する蛇行水路の河床形状

図-4は、河床高コンターの解析結果を示す。なお、本実験の条件では、2. で述べたような Resonance 現象が問題とならない (Appendix 参照) こと、斜面上の粗度は河床粗度とほぼ等しいことから、0 方程式モデルによる解析法⁷⁾を用いることができる。図-4と図-3を比較すると、0 方程式モデルによる計算結果は、3割勾配の斜面を設置した場合においても、洗掘位置や洗掘深の実験結果をよく表わしている。図-5は、最大洗掘深が発生している断面 No. 34 地点の横断河床形状を示す。この図を見ると、0 方程式モデルによる計算結果は局所洗掘についても精度よく表わすことができている。

図-6および図-7は、流量を増大 (ケース4)、減少 (ケース5) させた場合の河床高のコンターを示したものである。流量を増加または減少させても、深掘れ部は先の条件に対して定めた緩傾斜河岸の設置範囲内に取まり、異なる流量に対しても、ケース3による緩傾斜河岸の設置範囲は有効に機能している。0 方程式モデルによる計算結果は、緩傾斜河岸の設置範囲を変えた場合だけでなく、流量を変えた場合においても、実験結果をよく

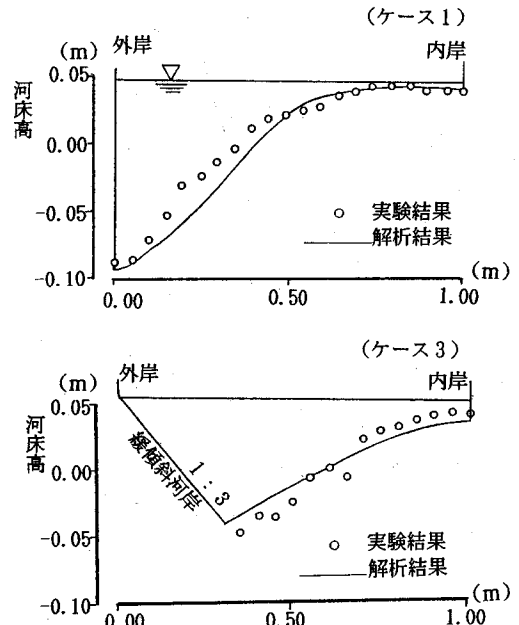


図-5 横断河床形状 (No. 34 地点)

表わしている。したがって、このモデルを用いて緩傾斜河岸の配置法を検討することが可能である。

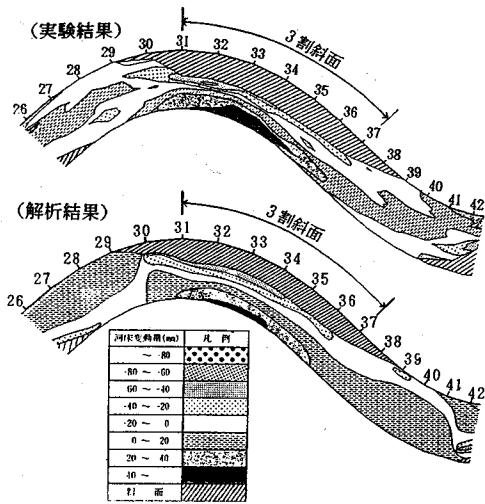


図-6 河床高のコンター (ケース4)

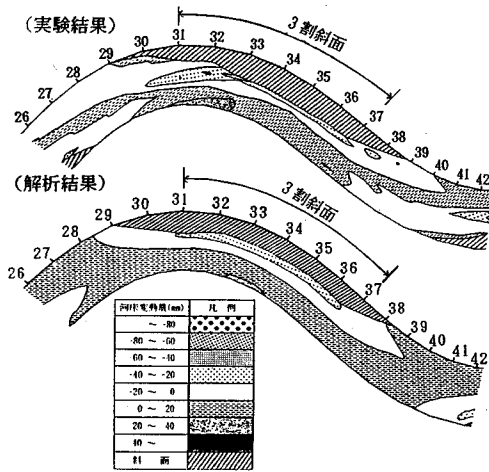


図-7 河床高のコンター (ケース5)

(2) 主流速, 二次流速の分布と緩傾斜河岸の配置

緩傾斜河岸を設置すると、弯曲部の主流速および二次流速の縦横断分布が変化し、水位および河床形状に影響を及ぼす。福岡ら⁸⁾は、ベン工の設置範囲について一様弯曲水路を対象に検討を行い、ベン工下流の二次流が、設置前の大きさに回復するまでの範囲をベン工の効果範囲とし、その範囲内にはベン工を設置しなくてもよいことを示している。二次流の発達は、弯曲部の曲率や河床高の変化によるため、蛇行水路内における望ましい緩傾斜河岸の設置範囲は、二次流の変化だけでは判断することはできない。ここでは、2. で述べた実験の流速分布やセリ断力の解析結果から、緩傾斜河岸の望ましい設置範囲について検討を行う。

図-8 および図-9は、表-2 に示した3 ケースにお

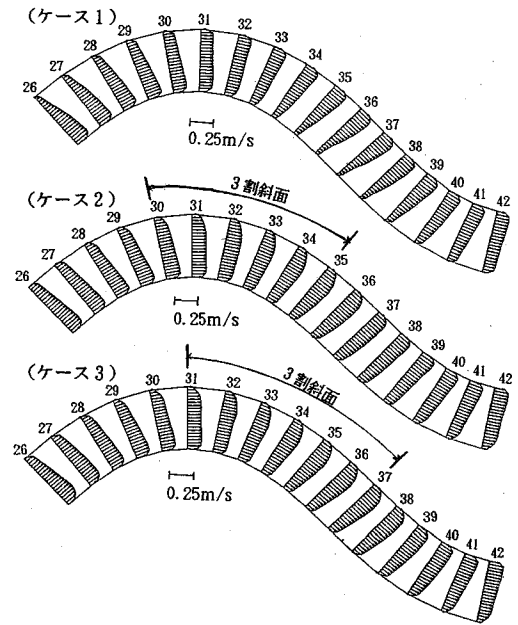


図-8 河床面の主流速分布

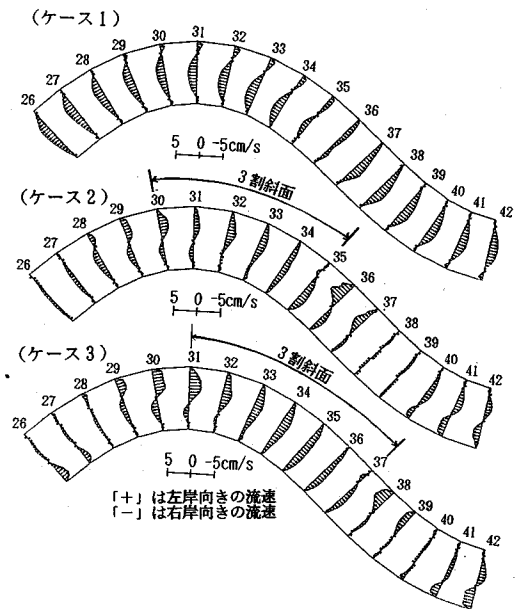
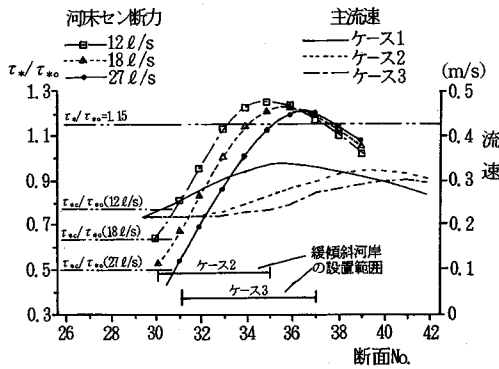


図-9 河床面の二次流速分布

ける河床面の主流速と二次流速の横断分布の計算結果を示したものである。なお流れの計算では、河床面でスリップ条件を与えている⁷⁾。鉛直壁の場合は、最大曲率部下流のNo. 33地点から下流に外岸側の流速が加速し、その分布形はNo. 41地点まで続いている。緩傾斜河岸を設置すると、最大流速の発生位置が水路中央部へ寄り、緩傾斜河岸の下流端から下流に外岸近傍の流速が速く



図—10 彎曲部における河床面の主流速と河床せん断力の縦断変化 (左岸から 10 cm 離れた地点)

なり、No. 40 地点においては、緩傾斜化の影響はほとんど見られない。また二次流速の分布を見ると、緩傾斜河岸の設置範囲では、外岸から内岸に向かう二次流速が発達しているが、緩傾斜河岸下流の鉛直壁との接続区間において、河床高の急激な変化によって逆向きの二次流速が発生し、下流に向かうにしたがって、その二次流速は減少しているのがわかる。この計算結果は芦田ら⁹⁾の結果と対応している。

表—2 に示した実験ケースのうち、ケース 2 の緩傾斜河岸の設置範囲では、緩傾斜河岸の下流端近傍で洗掘が発生したが、設置範囲を下流側へ延伸したケース 3 では緩傾斜河岸の下流端での洗掘は見られなかった。この現象と流速分布との関係について検討を行う。図—9 に示した河床面の二次流速の横断分布では、ケース 2 とケース 3 のいずれの場合においても、緩傾斜河岸の下流端では、外岸に設置した緩傾斜河岸と河床面との急激な河床高の変化により、外岸向きの二次流速となっているため、下流端近傍の洗掘は二次流速によるものとは考えられない。

図—10 は、外岸近傍の主流速の縦断方向の変化を示したものである。鉛直壁の場合は、彎曲部で徐々に増加しはじめ、No. 36 地点においてピークとなり、その後徐々に減少している。これに対し、ケース 2 では鉛直壁の場合に比べて、緩傾斜区間の流速は小さいが、緩傾斜河岸の下流端に向かうにしたがって急激に加速しはじめ、No. 38 地点近傍では鉛直壁の場合とほぼ同じ流速となり、さらに増加している。ケース 3 においても、緩傾斜区間の下流端近傍の No. 36 地点付近から徐々に加速していくが、そのピークはケース 1 ほど大きくならない。これは、以下に示す理由によるものである。ケース 3 の緩傾斜河岸の下流端 No. 37 は蛇行水路の変曲点であり、ここでは、ケース 1 の主流速は減少し始めている。これに対し、ケース 2 の緩傾斜河岸下流端 No. 35 では、

ケース 1 の主流速はピーク付近であり、まだ増加傾向にある。したがって、彎曲部に緩傾斜河岸を設置し、洗掘の原因となる外岸近傍の主流速を抑制しても、緩傾斜河岸の下流端で主流速が増加傾向にある地点に設定した場合には、その下流で主流速が急激に加速し、河床を洗掘することになる。

図—10 に、ケース 1 において異なる流量に対して算定された河床せん断力の縦断変化を示す。ここで τ_{*0} は断面平均無次元せん断力を示す。ケース 2 に比べてケース 3 では、図—3 に示したように、緩傾斜河岸の上流端を 0.5 m 短くしたが、それに伴う上流端での新たな河床洗掘は見られない。これは河床せん断力が限界掃流力を超えるのが No. 31 地点近傍であり、この地点より上流側に緩傾斜河岸を設置しても外岸近傍の河床形状に与える影響はほとんどないことを示している。緩傾斜河岸の下流端については、緩傾斜河岸を設置しないケース 1 のせん断力が減少傾向になる地点まで延ばす必要がある。緩傾斜河岸の下流端地点は流量の規模によって多少異なるが、ケース 3 の実験結果と河床せん断力の縦断変化から判断して、断面平均せん断力の約 1.15 倍程度をとる位置まで延ばすことが望ましい。

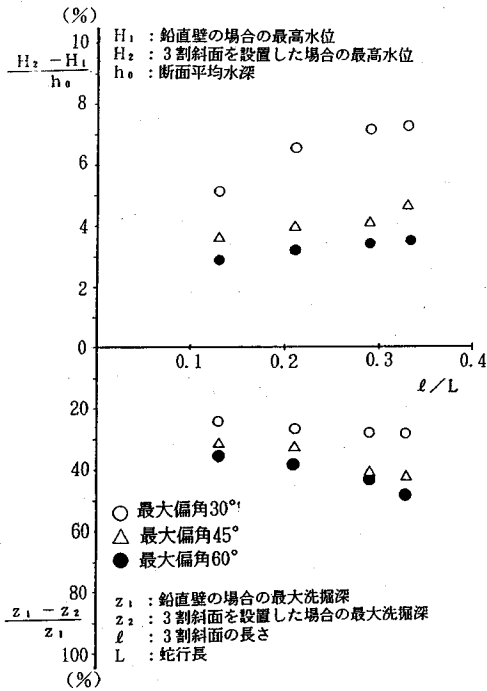
4. 蛇行水路における緩傾斜河岸の配置

(1) 最大偏角と緩傾斜河岸の配置

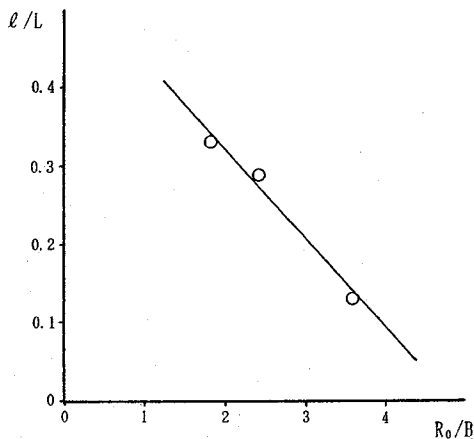
緩傾斜河岸は、基本的には彎曲部外岸で河床が大きく洗掘されている範囲に設置することになるが、緩傾斜河岸の設置による河床の変化を予想して設置範囲を上下流に延ばす必要がある。緩傾斜河岸の設置範囲を上、下流に延ばすことは、水位に影響を及ぼす可能性があるため、設置範囲は、河床の変化と水位への影響を十分に配慮して決定する必要がある。ここでは、3. で示した緩傾斜河岸の設置範囲を最大偏角の異なる他の蛇行水路に適用し、最大偏角と緩傾斜河岸の設置範囲との関係を明らかにする。

ここでは、2. で検討を行った最大偏角 45° の他に、30° と 60° の蛇行水路について、解析により緩傾斜河岸の配置について検討を行う。使用する解析法は、3. で用いた 0 方程式モデルであり、計算条件は表—1 に示した条件と同様である。

図—11 は、鉛直壁における最大洗掘深の発生位置を中心に 3 割勾配の斜面を設置した場合の最高水位と最大洗掘深の変化を鉛直壁の場合と比較したものである。この図を見ると、最大偏角が小さい場合、横断方向の河床変化が小さいため、緩傾斜河岸が水位上昇に大きく影響し、河床洗掘深の軽減量は少ない。また 3 割勾配斜面の設置範囲の変化による最高水位と最大洗掘深の変化を見ると、最大偏角が 30° の場合には、洗掘範囲が狭いため、



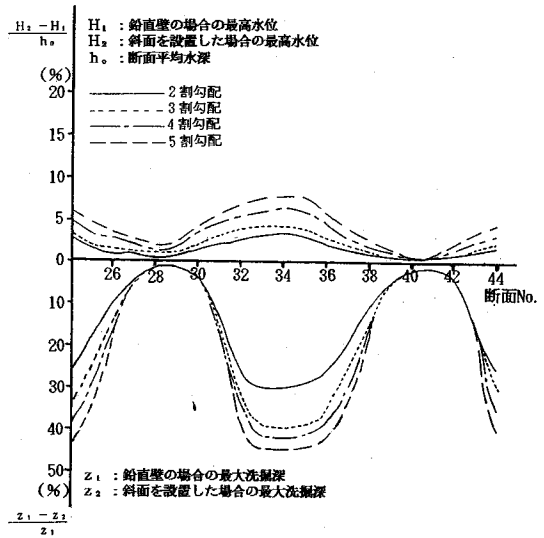
図一11 緩傾斜河岸の設置範囲と水位上昇量および最大洗掘深軽減量の関係



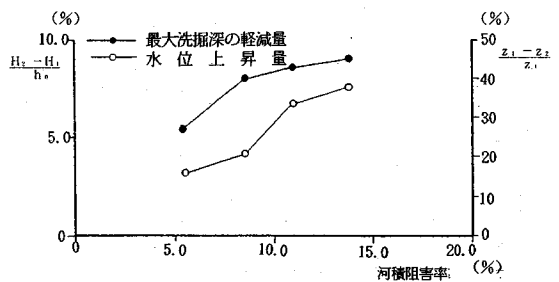
図一12 最小曲率半径と緩傾斜河岸の設置長さの関係

3割斜面の設置範囲を蛇行長の約13%程度にすれば、水位上昇をほとんど招くことなく洗掘深を軽減することができるが、最大偏角が60°の場合には、蛇行長の33%程度まで緩勾配斜面を延ばすことが必要となる。

図一12は、弯曲部の最小曲率半径 R_0 と緩傾斜河岸の設置長さ l との関係を示したものである。本研究で対象とした河道形状と水理条件においては、緩傾斜河岸の設置長さ l と最小曲率半径との関係はほぼ直線的であり、次式で表すことができる。



図一13 緩傾斜河岸の法面勾配の違いによる水位上昇量と最大洗掘深の軽減量



図一14 河積減少率の違いによる水位上昇量と最大洗掘深の軽減量

$$l/L = -0.11R_0/B + 0.55 \quad (1)$$

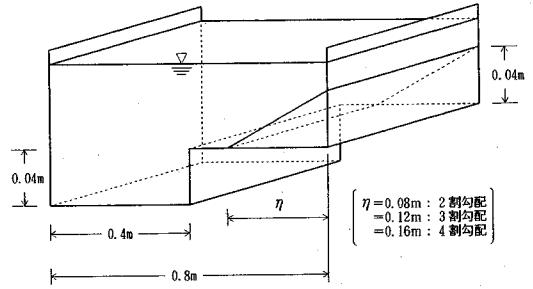
(2) 緩傾斜河岸の法面勾配とその配置

河岸の法面勾配を緩くすると、河積が小さくなるため、水位への影響も大きくなると思われる。したがって、法面勾配との関係を明らかにする必要がある。ここでは、2.で用いた蛇行水路を想定し、0方程式モデルを用いて、水位への影響が小さく、最大洗掘深を軽減することができる法面勾配について検討を行う。流量および緩傾斜河岸の設置範囲は表一2のケース3と同様である。

図一13は、2割、3割、4割、5割勾配の斜面を設置した場合の断面内最高水位と最大洗掘深の縦断変化を鉛直壁の計算結果と比較したものである。緩傾斜河岸の設置による水位上昇量を見ると、2割と3割勾配では、平均水深に対して約3~4%程度の水位上昇量が発生するのに対し、4割、5割勾配にすると、約7~8%程度の水位上昇量が発生する。また最大洗掘深の軽減量は、3割

表—3 直線水路での実験条件

	単断面水路	複断面水路	
流量	12.3 l/sec	25.2 l/sec	
水路勾配	1/500	1/500	
水路幅	0.8 m	0.8 m	
水路延長	27 m	27 m	
平均水深	0.04 m	高水敷	0.04 m
		低水路	0.08 m



図—15 複断面実験水路

勾配より緩くしてもほとんど変わらず、2割勾配では鉛直壁の場合の最大洗掘深に対して約30%、3割勾配で40%の軽減量となっている。断面内最大洗掘深の縦断変化を見ると、緩傾斜河岸の法面勾配を変化させても、鉛直壁の場合に発生した洗掘深を一樣に軽減することができている。

図—14は、初期河床での緩傾斜河岸設置による河積減少率と水位上昇量、最大洗掘深の軽減量との関係を示したものである。この図を見ると、初期河床状態における緩傾斜河岸の河積減少率が8%程度であれば、鉛直壁の場合に比べて水位上昇をほとんど発生させることなく、最大洗掘深を効果的に軽減することが可能であることがわかる。

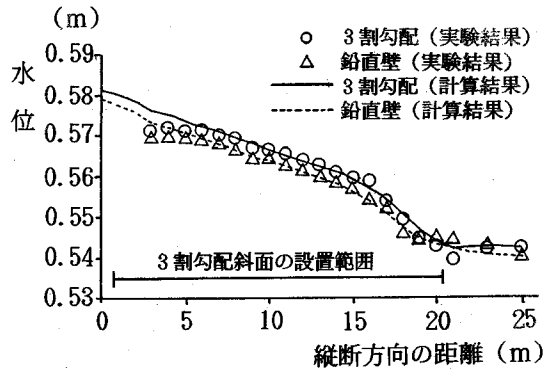
(3) 蛇行水路における緩傾斜河岸の配置法

3. および(1)、(2)の検討結果から蛇行水路における緩傾斜河岸の配置法としては、次のことが言える。緩傾斜河岸の法面勾配は、水位上昇との関係から、初期河床状態において河積の阻害率を約8%以下とする。緩傾斜河岸の設置範囲は、洗掘深との関係から、次の通りとする。上流端は弯曲部において河床セン断力が上昇しはじめ、限界掃流力を超える地点とし、下流端は緩傾斜河岸設置前において弯曲部外岸近傍のセン断力が減少傾向にあり、断面平均セン断力の約1.15倍程度になる地点までとする。また緩傾斜河岸の長さは弯曲部の最小曲率半径との関係で、近似的に式(1)で与えることができる。

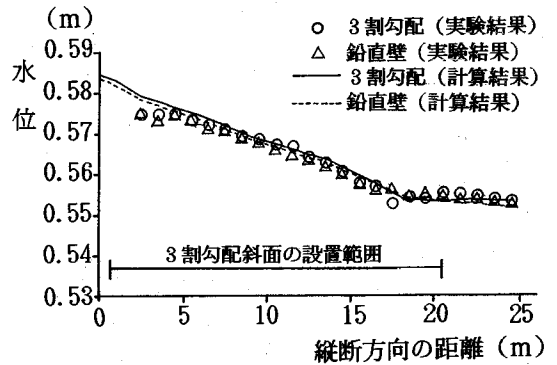
5. 直線水路における緩傾斜河岸の配置

(1) 緩傾斜河岸を設置した直線水路の実験結果との比較

単断面及び複断面直線水路を対象に、緩傾斜河岸を設置した場合の水位への影響について実験を行った。水路は、表—3に示すように、水路幅0.8m、水路延長27mの鉛直壁を有する直線水路を使用し、上流端から0.5m



図—16 単断面直線水路における水位縦断の比較



図—17 複断面直線水路における水位縦断の比較

地点付近の右岸側に20mの緩勾配斜面を設置した。また複断面直線水路の実験は、図—15に示すように、水路幅0.8mの直線水路の右岸側に高さ0.04m、幅0.4mの高水敷を設置し、高水敷上に緩勾配斜面を設置して実験を行った。計算条件は表—3に示す通りであり、単断面と複断面の両水路について斜面の勾配は2割、3割、4割の3ケースで行っている。

図—16は、単断面水路において鉛直壁の場合と3割斜面を設置した場合の縦断水位の実験結果と計算結果を示したものである。水位の計算は、水深方向に積分した

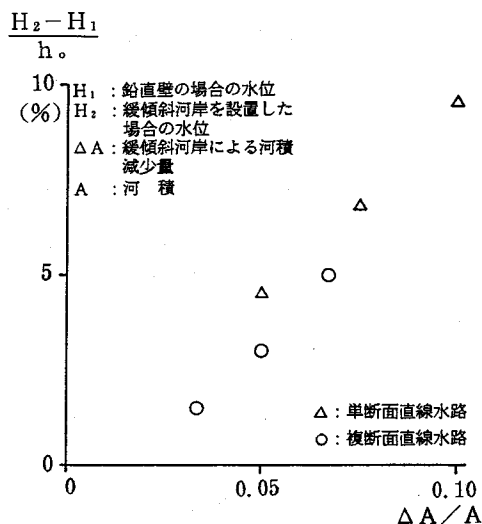


図-18 河積減少率と水位上昇量の関係

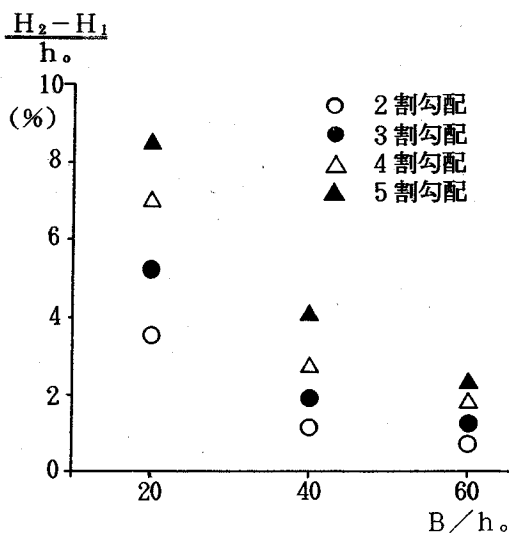


図-19 B/h_0 と水位上昇量の関係

表-4 単断面直線水路の計算条件

	ケース A-1	ケース A-2	ケース A-3
流量 (ℓ/sec)	18.0	35.7	53.6
水路床勾配	1/500	1/500	1/500
水路幅 B (m)	1.0	2.0	3.0
水路延長 (m)	30.0	30.0	30.0
平均水深 h_0 (m)	0.05	0.05	0.05

表-5 複断面直線水路の計算条件

	ケース B-1	ケース B-2	ケース B-3
流量 (ℓ/sec)	56.0	72.4	41.3
水路床勾配	1/500	1/500	1/500
水路幅 B (m)	2.0	2.0	2.0
低水路幅 b (m)	1.0	1.5	0.5
高水敷水深 H (m)	0.05	0.05	0.05
低水路水深 h (m)	0.10	0.10	0.10
水路延長 (m)	30.0	30.0	30.0

連続式を差分化し、水位の計算地点における縦横断面方向の流量収支が「0」とあるという条件で行っている⁷⁾。計算結果は実験結果を概ね再現できている。3割の斜面を設置すると、鉛直壁の場合に比べ、平均水深に対して約5%程度の水位上昇が発生する。

同様に図-17は、複断面水路において鉛直壁と3割斜面を設置した場合の縦断水位の実験結果と計算結果とを比較したものである。複断面水路の場合の水位上昇は、単断面水路に比べて大幅に小さくなる。複断面水路の計算結果も、実験結果を概ね再現できることがわかる。

図-18は、単断面水路と複断面水路において、斜面勾配を変化させた場合の河積減少率と最大水位上昇量との関係を示したものである。いずれのケースにおいても、複断面水路の方が単断面水路の場合よりも、水位上昇量が小さくなっている。

(2) 単断面直線水路における緩傾斜河岸の配置

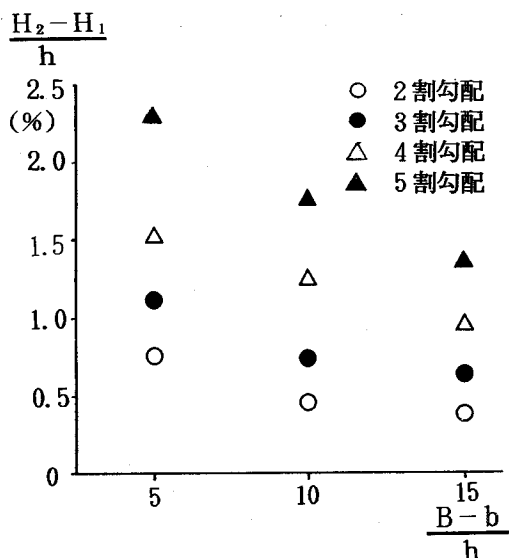
(1) 有効性が確認されたモデルを用いて、川幅・水深比を変化させた場合の緩傾斜河岸設置による水位への影響について検討を行う。水路は、表-4に示すように、水路幅1m、水路延長30mの鉛直壁を有する直線水路を想定し、上流端から5m地点付近の右岸側から

20mにわたって緩勾配斜面を設置している。計算条件は、表-3に示す通りであり、斜面の勾配は2割、3割、4割、5割勾配の4ケースについて検討を行っている。

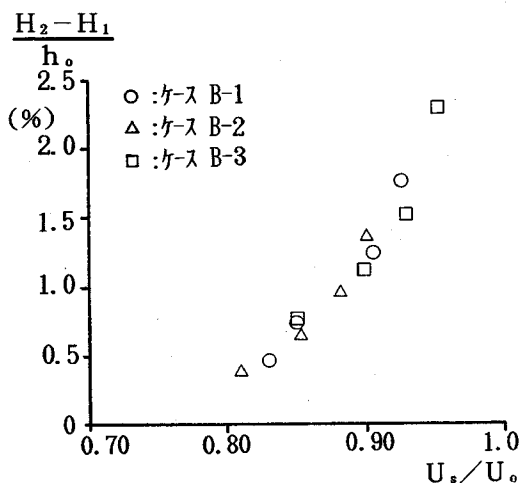
図-19は、水深を固定し、川幅を変化させたケースA-2およびケースA-3の直線水路において、水路の右岸側に2割、3割、4割、5割の斜面を設置した場合の計算水位を鉛直壁の水位と比較したものである。川幅・水深比が $B/h_0=20$ の直線水路においては、3割斜面を設置すると、平均水深 h_0 に対して約5.3%程度の水位上昇が見られ、 B/h_0 が40になると、水位上昇量は1.9%程度と小さくなり、 B/h_0 が60では1.2%程度になる。他の勾配においても同様であり、 B/h_0 が60の場合について20の場合とを比べると、水位上昇量は約1/4~1/5程度になっている。単断面直線水路における緩傾斜河岸による水位上昇は、川幅・水深比が大きく影響し、 B/h_0 が小さい場合には法面の緩勾配化による河積の減少が水位に大きく影響を及ぼすが、 B/h_0 が大きくなると、河積の減少が水位上昇に及ぼす影響は小さい。

(3) 複断面直線水路における緩傾斜河岸の配置

複断面直線水路においても、単断面直線水路と同様に



図—20 高水敷幅と水位上昇量の関係



図—21 緩傾斜河岸設置地点の流速と水位上昇量の関係

水路延長30mの水路を想定し、水路上流端から5m地点の右岸側堤防に20mの2割、3割、4割、5割の斜面を設置した。計算条件は、福岡ら¹⁰⁾の実験条件を参考に、表—5に示す通りとした。

図—20は、低水路水深で無次元化した高水敷幅($B-b$)/ h と水位上昇量の関係を示したものである。複断面直線水路においても、単断面の場合と同様に、緩勾配斜面を設置すると水位上昇が発生するが、その大きさは単断面直線水路の場合より小さい。高水敷幅を広くすると、緩勾配斜面を設置したことによる水位上昇量は小さくなる。複断面水路では低水路内に流れが集中し、堤防に近い側の高水敷の流速が相対的に小さいため、堤防の

前出しによって高水敷上の河積を減少しても水位上昇量は小さい。これは、高水敷の幅が狭い場合には、高水敷上の流速は低水路内の大きな流速に影響され大きくなるが、高水敷の幅が広い場合には、斜面近傍の流速は低水路内の流速に影響を及ぼされないためである。

図—21は、緩勾配斜面設置地点の平均流速 U_s と水位上昇量との関係を示したものである。多少のバラツキがあるが、緩勾配斜面設置地点の平均流速と水位上昇量は、ほぼ直線的な関係にあり、水位上昇量は設置地点の流速の大きさに支配される。

6. 結 論

本研究の実験および解析を通して得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 蛇行水路において緩傾斜河岸を設置した場合の流れと河床変動を実験と解析によって明らかにした。その結果、蛇行水路においては緩傾斜河岸の設置は水位をほとんど上昇させずに最大洗掘深を小さくし、最大洗掘深の発生位置を外岸から河道中央に移動させ、河川の安全性を高めるのに有効であることが確認できた。
- (2) 蛇行水路における緩傾斜河岸の設置範囲の上流端は、弯曲部外岸近傍の河床せん断力が限界掃流力を越えた地点とし、下流端は河床せん断力が断面平均せん断力の約1.15倍程度になる地点まで延ばすことが望ましい。
- (3) 川幅・水深比が大きい単断面直線水路においては、法面を緩勾配化しても水位上昇量は小さいが、川幅・水深比が20程度以下になると、河積の減少による水位上昇が顕著になる。
- (4) 複断面直線水路における堤防の緩勾配化による水位への影響は、単断面直線水路に比べて十分小さくなる。

Appendix

蛇行水路内の流れとResonance現象との関係について以下に示す。蛇行水路を対象とした流れの解析の多くは、鉛直壁を有する蛇行水路を対象に、平面形状によって決まる流れと河床変動について解析を行っている⁹⁾。これに対し、Parkerら⁹⁾は、蛇行水路内におけるResonance現象の重要性を指摘し、Resonance現象が、流れと河床に影響を及ぼすことを、線形解析によって明らかにしている。そして、次式に示す水深に比べて川幅が十分に大きいSine-generated Curveによる蛇行水路内の縦断方向流速の解を得ている。

$$u = U(1+u')$$

$$u' = \left[a_c \frac{2n}{B} + a_f \sin\left(\pi \frac{2n}{B}\right) \right] \cos \frac{2\pi s}{L} + \left[b_c \frac{2n}{B} + b_f \sin\left(\pi \frac{2n}{B}\right) \right] \sin \frac{2\pi s}{L} \quad (2)$$

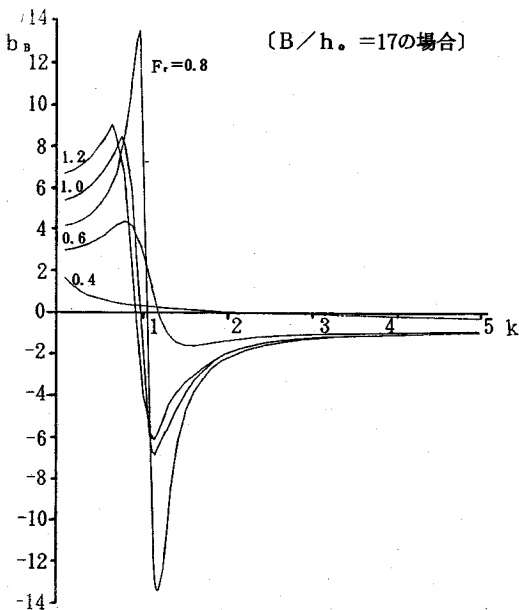
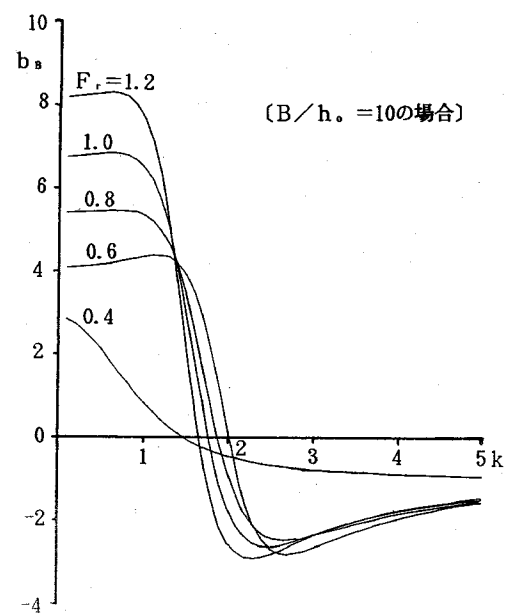


図-22 波数 k と定数 b_B の関係

ここに、 u は水深平均縦断方向流速、 U は断面平均流速、 a_c 、 b_c は蛇行水路の平面形状によって生じる point bar 上の流れを決定する定数、 a_F 、 b_F は蛇行水路内に発生する alternate bar 上の流れを決定する定数、 L は蛇行長、 B は水路幅を示す。

図-22 は、式 (2) において、川幅・水深比とフルード数を変化させた場合の無次元波数 k ($= 2\pi h_0 / (C_f L)$)、 h_0 は平均水深、 C_f は摩擦係数) と河岸近傍の流速を表わす定数 b_B ($= b_c + b_F$) との関係を示したものである。なお、Resonance 現象は、曲率半径によっても影響される¹¹⁾が、ここでは本実験条件の曲率半径の範囲を与え、川幅・水深比とフルード数以外は、表-1 で述べた実験条件を用いている。この図を見ると Resonance 現象は、川幅・水深比、フルード数、波数に大きく影響され、特に射流状態に近いフルード数 $F_r=1.0$ の流れでは、Resonance 現象が顕著に見られる。蛇行水路における Resonance 現象を調べた清水ら¹⁰⁾の実験でも、射流状態で顕著に現れることを示している。しかし、急流河川を除く、洪水時の河川の流れでみられる $F_r=0.4 \sim 0.6$ 程度では、Resonance 現象がほとんど発生しないことがわかる。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 三宮武, 西村達也: 弯曲部外岸のり面の緩勾配化による流況改善, 水工学論文集, 第 36 巻, pp.55-60, 1992.
- 2) 福岡捷二, 西村達也, 三宮武, 藤原剛: 緩傾斜河岸を設置した河道弯曲部の流れと河床形状, 土木学会論文集, 第 509 号, II-30, pp.155-167, 1995.
- 3) 福岡捷二, 安田実, 西村達也: 縦断的に配置された緩傾斜河岸が流れに及ぼす影響, 水工学論文集, 第 37 巻, pp.469-474, 1993.
- 4) Englund, F.: Flow and bed topography in channel bends, *Jour. of Hy. Div. ASCE*, Vol.100, No.HY11, pp.1631-1648, 1974.
- 5) Parker, G. and Johannesson, H.: Observation on several recent theories of resonance and overdeepening, *River Meandering, AGU Monograph*, No.12, pp.379-415, 1989.
- 6) 桐山和晃, 福岡捷二, 西村達也, 渡辺明英: 蛇行水路の局所洗掘を軽減する緩傾斜河岸の配置法, 第 49 回年次学術講演会講演概要集, 第 II 部, pp.504-505, 1994.
- 7) 福岡捷二, 渡辺明英, 西村達也: 水制工の配置法の研究, 土木学会論文集, 第 443 号, II-18, pp.27-36, 1992.
- 8) 福岡捷二, 渡辺明英, 萱場祐一, 曾田英揮: ベーン工が断続的に配置された河道弯曲部の流れと河床形状, 土木学会論文集, 第 479 号, II-25, pp.61-70, 1993.
- 9) 芦田和男, 江頭進治, 足立幸郎: 蛇行水路における河床変動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 31 号, B-2, pp.443-459, 1988.
- 10) 福岡捷二, 藤田光一: 複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用, 土木学会論文集, 第 411 号, II-12, pp.63-72, 1989.
- 11) 清水康行, 渡辺康玄, 鳥谷部寿人: 直線および蛇行河川の安定河床形状に関する研究, 土木学会論文集, 第 509 号, II-30, pp.67-78, 1995.

(1995.4.10 受付)

ARRANGEMENT OF GENTLER BANK SLOPES IN RIVERS

Tatsuya NISHIMURA, Shoji FUKUOKA, Minoru YASUDA,
Kazuaki KIRIYAMA and Tetsuo HOTTA

The experimental and theoretical study are performed on the proper arrangement of a gentler slope bank in a meandering and straight channel. The results of this study show that an arrangement of a gentler slope bank is related closely with the shear stress distribution near the outer bank, and bed scouring and water level rising with the bank slope. The results also indicate that water level depends on depth-width ratio in the single section channel with gentle slope, and that the rise of water level in the compound channel with gentle slope is much smaller than in the single section channel.