

II-75 蛇行の発達に關する二三の實驗的考察

建設省土木研究所 正員 須賀 亮三
建設省土木研究所 正員 林 敏夫

1. はじめに

河川の蛇行傾向は古くから個々の河川において觀察研究され、河川改修はそれぞれの時代の担当技術者の蛇行理論に基づいて行われてきた。蛇行に關する基礎的研究は古くより数多くなされてきたであり、最近はとくに活発で評価すべき成果があげられている。しかしながら、現在ある河川の改修計画の検討中、常に話題にのぼり、素朴な疑問が投げかけられるが、うやむやのうちに十分な解答が得られないように放置されるのが現状である。

ここでは、実用的な見地から、利根川などの現地資料を通じて問題点を考察し、蛇行の再現性や発達状況について実験による検討を行つてみた。

2 日本蛇行河川の、蛇行長さおよび蛇行幅

建設省直轄の河川を調べた蛇行している部分を選り出し、蛇行長さ、蛇行幅⁽¹⁾、計画流量 Q_d 、および勾配 I との関係が細井により図1、2のように与えられている。この場合、穿入蛇行を除外し、一つの河川で蛇行部を3ヶ所取り出したものもある。同図によれば、流量が大きくなると蛇行長さ、幅ともに増大する傾向にあるが、勾配によって流量に伴う蛇行長さの増大の仕方が違いがみられる。全体的にみる、勾配の大きい方が蛇行長が小さい。しかし地質・地形条件や人工要素もあり、英はかなりばらついている。

なかなか *Regime Theory* とおりにはいかない。

3 利根川下流部河道の蛇行

利根川下流部は緩流河川で計画勾配 $1/9000$ 、 $dm=0.05 \sim 0.2mm$ 、計画流量 $5500 m^3/sec$ である。しかし蛇行が激しく、局所洗堀が大きい。記録によれば、深堀部の常時水深は、50km付近の神崎明神森で25m、43kmの諸佐で18m、36.5kmの津宮で15m、33kmの三入深澤であつたが、2期改修工事(明40～昭5)でショートカットされ、上位2ヶ所は埋め立てられ、現在は、40km佐原、37.5～36.5kmの篠原津宮地先、33km草杯などが深堀部とな

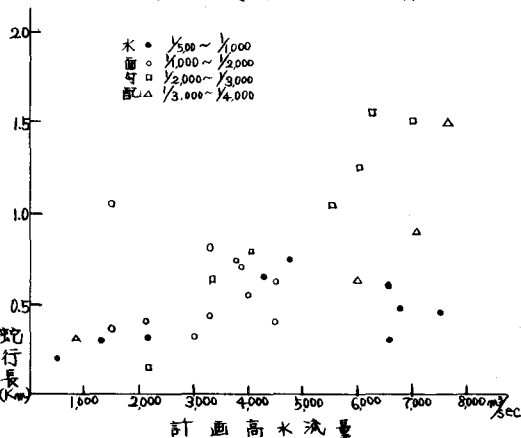


図-1 河川の蛇行長と流量

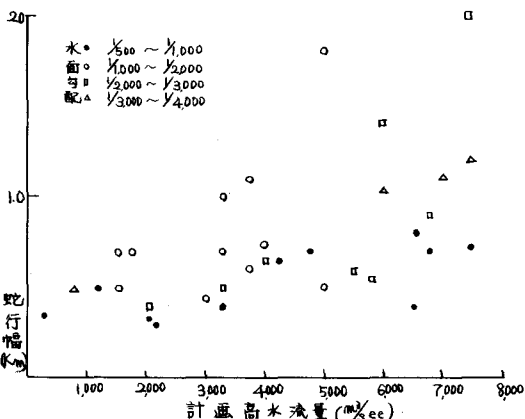


図-2 河川の蛇行幅と流量

*小見川、島川、久慈川、入間川、荒川、鬼怒川、利根川、碓氷川、最上川、阿武隈川、阿賀野川、那珂川、千代川、長良川、豊川、紀の川、美川、肴川、太田川、筑後川、大湫川、大野川、川内川、琢磨川、菊池川、田代川、鳴瀬川、北上川、小矢部川、貴志川

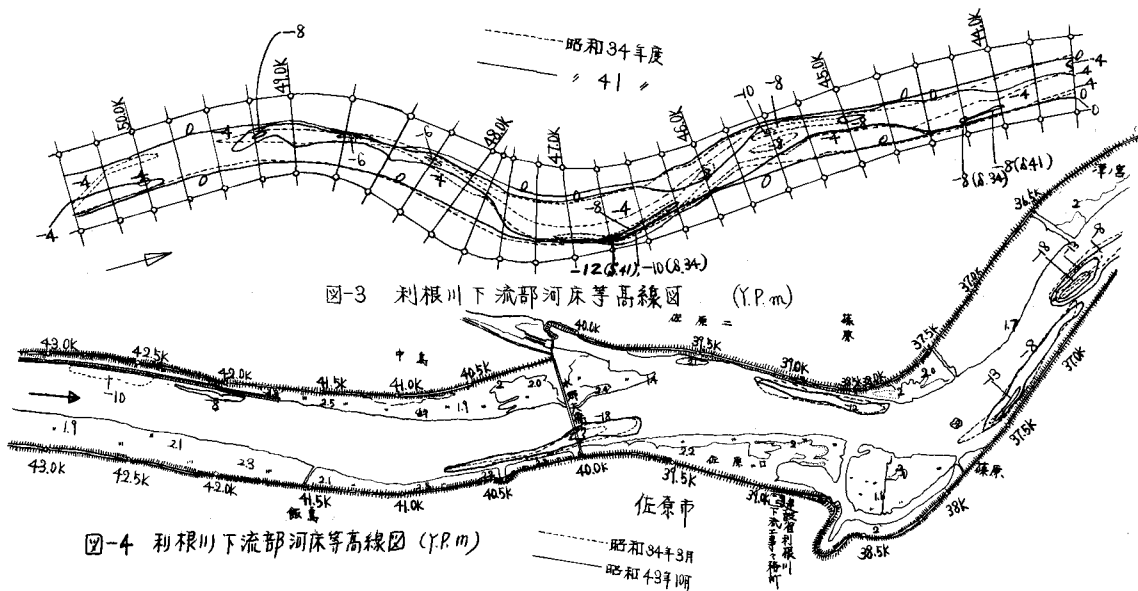


図-3 利根川下流部河床等高線図 (Y.P.m)

図-4 利根川下流部河床等高線図 (Y.P.m)

つてあり、深堀部が堤防に接近している所では、堤防の法勾配よりも急な勾配で高水数より下20mまで落ちこんでいる。⁽³⁾ 図-3は移動状況を示す一例である。わん曲の急なところの深堀部は固定しているが、一般に少しづつ下流に移動しているようであり、現在の深堀部よりはかなり上流の州になっているような所に昔の護岸が残されているような例が所々にみられる。⁽⁴⁾ また蛇行のパターンは蛇行長が川幅の6倍というように急なこともいわれているが、図-4の佐原地区水郷大橋付近のように、低水路の曲率も小さいのに堤防に沿って長く深く掘れる例もみられる。なおこの深堀部はここ20年間以上変化していないと考えられている。

4. 河道計画上の蛇行関連の問題点

河川の蛇行現象は個々の河川の種々の要素が関係して単純ではないが、現象を抽出して、河道計画上しばしば問題となることを列挙すれば、おおよそ次のようであろう。すなわち(1)蛇行はランダム現象であるのか(再現性・蛇行発生位置、蛇行長、蛇行幅と時間的要素など)、(2)同一の水理条件に対して蛇行のパターンとして安定状態は存在するのか(蛇行の形状変化および平行移動など)、河道に適宜にわん曲部を設けて蛇行を固定することは、河道法線と直線的にして蛇行を不安定にするより望ましいとの考え方がこれまでかなり支配的であったと思われるが、時間の経過につれて、かつ水きりの強かったわん曲部が水裏になることもあり、この場合、蛇行固定の条件や深堀れおよび維持対策などが問題となるであろう。(3)蛇行の発生条件としては、いろいろの要素が考えられており、高く評価される理論的研究も活発に行われているが、現実の問題として、合流条件の変化に伴う下流部蛇行特性、水制(透過不透過越流非越流橋脚等)の構造物の蛇行特性におよぼす影響、および床面や水門の影響などが未解決である。また、置換工法や浚渫の効果等についても確信を持てないのが現状である。(4) Regime Theory を現地に適用する場合、蛇行長や蛇行幅が縦断的に一定の実験結果が得られにくく、また利根川佐原地区のように曲率が小さいのに長く深く掘れている例などもあって、なお必要はつるばかりである。以上のような問題の解決は至難のものであるが、実用上の判断のための資料を多少なりとも得られればよいということ、目標を低くおいて二、三の実験を行う、ために、

5 実験内容

鹿島試験所に設けた、長さ45m、幅10mの大型移動水路に、平均粒径 $d_m=0.2mm$ のはづ均一の砂を敷き、表-1のケースの自由蛇行の実験を行った。初期河床の形状は幅30cm、高さ10cmの長方形断面とし、最長78時間、一定流量(地下水、水温一定)を通水した。なお、補給砂は行っていない。また、細井⁽¹⁾の行った実験は $d_m=0.3mm$ 、初期河床幅30cm、高さ10cm、側法勾配2割の台形断面である。

実験番号	流量 q	流入角度	河床勾配	通水時間
1	5	30°	$1/200$	14時間
2	"	"	"	28
3	"	60°	"	29
4	7.5	"	"	32
5	"	90°	"	78
6	"	0°	$1/100$	46
7	"	"	"	48
8	"	"	"	41
9	"	30°	"	26
10	"	60°	"	23
11	"	90°	"	74

6 実験結果とその考察

通水後、水が側壁の内部へ浸透すると4~5分で上流から下流部まで側壁前壊が完了する。前壊中は4~5mで、水路中は上流から下流まで38~40cmの一樣水路となる。前壊土砂補給のため水路底は3cm程度一様に上昇し、水深3~4cm程度の一樣流となる。下流端水位一定とし補給砂は行わないので、上流部から河床低下を始め、8分後に流頭部にみられた砂れんは20分後には6m下流まで発生し、以後逐次最下流端まで波及する。砂れん発生後は水位が急上昇して Bank, fall 流れとなった。砂れんは主として流心部にあり長さ10cm、高さ1~2cmの ripple であり、堆積部には顕著なものが見られない。以上は実験10についての記述であるが、他のケースにおいてもほぼ同様である。図-5は最深および最高河床の縦断面図であるが、かなり直線性がある。この傾向は全てのケースに共通している。また、初期河床勾配 $1/200$ の場合も時間経過後は $1/100$ の場合と同様の縦断面形を示した。蛇行は、流頭部に再度とつた場合は上流から、直線水路の場合には途中から発生し、下流に波及した。上流への波及はかすかに流路がわかる程度である。直線水路の場合でも、Alternate Bar が観察される以前に、流線のかすかな蛇行がみられ、側方侵食が始ったようにみえた。蛇行が下流部へ移行するにつれて、補給砂のない上流部の河床変動は停止する。蛇行が十分に発達すると、流れの集中と凹が同時存在するが、やがて凹部で反ばつする流れと側壁に沿う流れが発生し、流路がわかるようになる。凹部は侵食につれて少しづつ下流に移動することもある。次第に流路は複雑に分歧合流し、いわゆる網状を呈す。実験ではこの状態が掃流力を失って河床変動は極度に低下する。しかし、図-6にも示すように河床横断面は終始かなり平坦で、わん曲部の深堀れのように極端な流堀形とはならないようであった。

再現性については、流頭部に再度とつた場合は、全く同一の流路変動を示した。直線水路の場合には、蛇行の開始位置、開始時間は多少のずれはあるが、大きく異なるものではなかった。蛇行ヒット、流路中の距離的時間的变化は実験6と8ではほぼ同様であるが、実験7では多少異なっていた。多少不変定数はあるが、かなり再現性があるとみてよいようである。利根川等の河川例でみると、蛇行の発達過程で水

表-1 実験ケース

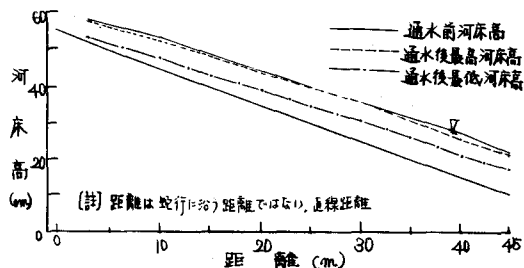


図-5 河床、水位一縦断面 (実験10)

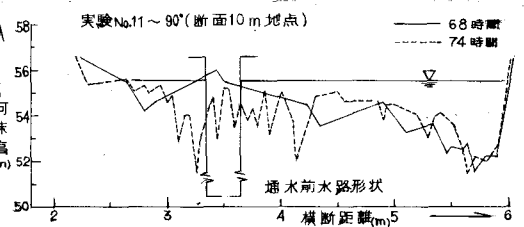


図-6 河床横断面

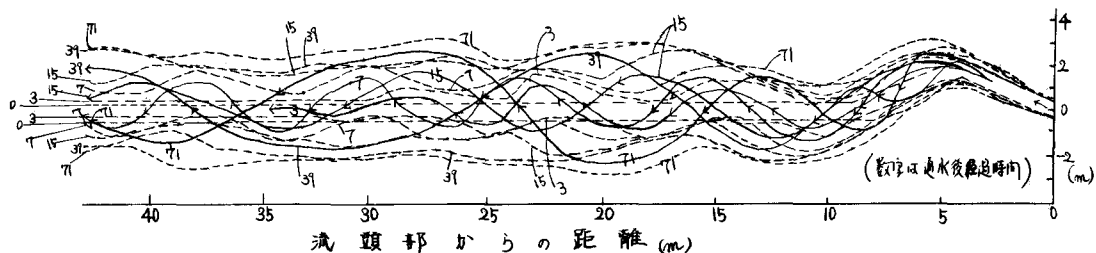


図-7 蛇行流路および流線の時間変化(虚線は流路境界、実線は流線を示す、細井による)

場合がみられる。今回の実験では下流への移動は極くわずであったが、細井の実験(No. 10, 11)では図-7にみられるように蛇行および流線は時間とともに大きな変化を示している。図-8は同じ実験の10~40 m間の平均蛇行長と蛇行中の時間変化で、初期の急激な変化の様子、および23時間以後の安定期に至るまでの変化を示す。流れが水束の場合には、水束部位置は自由蛇行では徐々に下流へ移行すると考えた方がよさそうである。

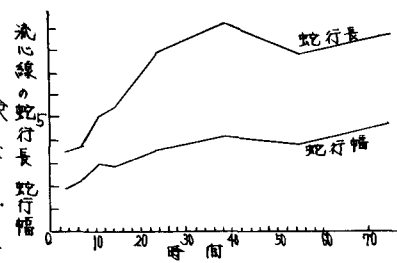


図-8 流心線の蛇行長と蛇行中の変化

また、蛇行のパターンは流頭部条件によっても多少の変化を示す。図-9の安定期の水路中とみると、流頭部角度が大きくなるにしたがって、平衡中になるまでの距離が短くなり、平衡の水路中も縦断的に短い距離で安定するために少しづつ小さくなる傾向を示すが、90°の場合は上流端にありまうために大きく広げられるために平衡水路中も逆に大きくなっている。蛇行中は二波長目あたりより平衡状態になり、流頭部条件による差異はあまり認められない。しかし、蛇行の波長はいずれのケースにおいても下流にいくほど増大する傾向にあり、しかも流頭部角度によってまちまちである。特に30°の場合はかなり波長が大きくなって、平衡した蛇行中と流路中を保ちながら、ゆったりとした蛇行を呈するようになる。

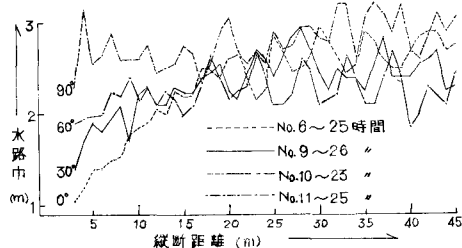


図-9 流頭部条件による水路中縦断の変化

初期勾配が小さい場合は、蛇行の発達が時間的にあざいだけで、蛇行パターンにはあまり影響していないようであった。

7. 結論

蛇行は実験の範囲では縦断的にいつせいに発生するものではなく、上流からの波及効果が支配的ようである。再現性はかなり認められるが、蛇行は元来安定したものではない。合流条件や粗度など流線に影響するものがあるれば蛇行パターンは変化し、それが下流に影響する。自由蛇行の安定形の存在に確信を持つことはできなく、徐々に変化しながら下流に移行するものと解釈した方がよさそうである。以上はわずかな実験結果からの結論であり、一般性を論ずるにはさらに条件を変えて検討を必要とする。

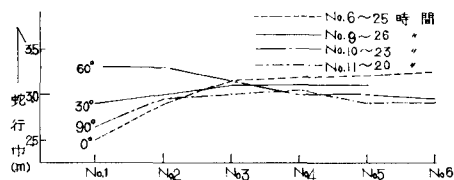


図-10 流頭部条件による蛇行中縦断変化

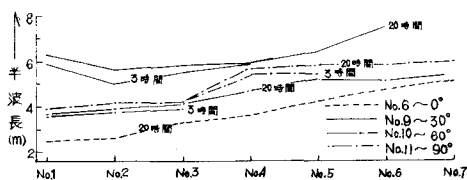


図-11 流頭部条件による半波長縦断変化