

河岸形成過程に関する研究 ～利根川・川内川での土砂堆積の実態調査～

Study on formative process of riverbank
-Sedimentation on riverbank of the Tone and Sendai Rivers-

藤井 政人¹⁾、山本 晃²⁾、深谷 渉³⁾

by Masato FUJII, Koichi YAMAMOTO and Wataru FUKATANI

This study aims to develop the renewal or conservation method of the riverbank with or without bank protection works. As the first step, trench test was carried out at the natural riverbank of the Tone and Sendai Rivers in order to investigate formative process of riverbank. The formative process strongly depends on change in water and bank levels.

The growing velocity of riverbank is governed by water and bank levels. mative process of bank and relationship among

Key words: Natural riverbank, Sedimentation, Trench test, vel
Vegetation, Spur dyke

1. はじめに

河川の生態系・自然景観という面から、自然河岸(天然河岸)の保全が望まれている。しかし、自然河岸の形成過程は十分に明らかにされておらず、水理学的あるいは生態学的に最適な自然河岸を形成させる技術は完成されていない。

本研究は、自然河岸の保全工法や積極的な形成手法の開発を最終目標とする。現存する自然河岸、あるいは失われた自然河岸に対して護岸を施工することなく、水制工等を用いて土砂の堆積を積極的に促進し、河岸の破壊を防ぎ、自然河岸を保全しようとするものである。この研究の第一歩として、河岸の形成過程を明らかにするために、ある時点より急速に成長した河岸に注目し、その横断形状の経年変化、トレンチ掘削による堆積物質と堆積構造について詳細な調査・検討を行った。さらに、成長過程における外力条件(水位履歴etc)を調べ、上述の調査結果とともに、河岸の形成機構について検討した。

2. 調査の概要

1) 正会員 建設省土木研究所河川研究室 研究員

(〒305 つくば市大字旭1番地)

2) 正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究官(研究当時、河川研究室長)

3) 正会員 建設省土木研究所河川研究室

調査地点は、

- ①土砂が自然に堆積して形成された河岸
- ②堆積が急速に生じた河岸
- ③横断形の変遷が追える河岸

④外力条件(水位等)の履歴が追える河岸という4つの条件の基に選定し、最終的に川内川菱刈捷水路No.7右岸・利根川123.5k左岸で調査を行った。川内川(図-1、写真-1参照)では、横断方向に4本の縦穴を掘り、その土質構造(層の区分・各層の土質・各層上面の深さ)を調査した。利根川(図-2、写真-2参照)では、横断方向にトレンチを2本、縦断方向にトレンチを1本掘削し、各トレンチの断面内の土質構造を調査した。その際の土質の分類は表-1にしたがった。この分類を基に横断方向あるいは縦断方向の土質構造図を作成し、別途収集した位況データ・横断形経年変化図・河岸線経年変化図と土質構造を対比することにより、河岸の平均的な成長速度、一洪水による堆積速度(成長速度)、河岸の冠水頻度と成長速度の関係、植生繁茂が河岸の形成過程で及ぼす影響という視点から考察した。

表-1 土質分類法

材 料	粒径(mm)
礫	4.000～
砂 利	2.000～4.000
粗 砂	0.500～2.000
中 砂	0.300～0.400
細 砂	0.074～0.300
シルト	0.005～0.074
粘 土	～0.005

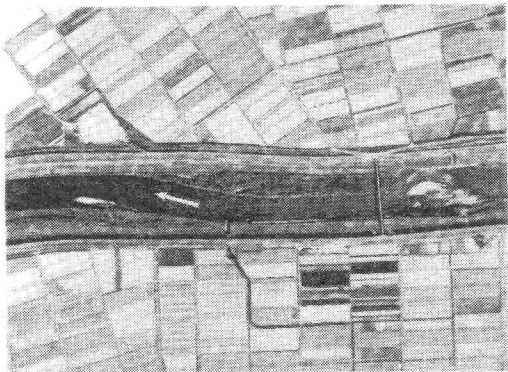


写真-1 川内川調査地点付近の空中写真

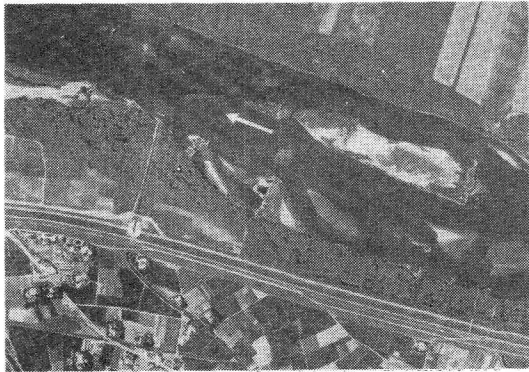


写真-2 利根川調査地点付近の空中写真

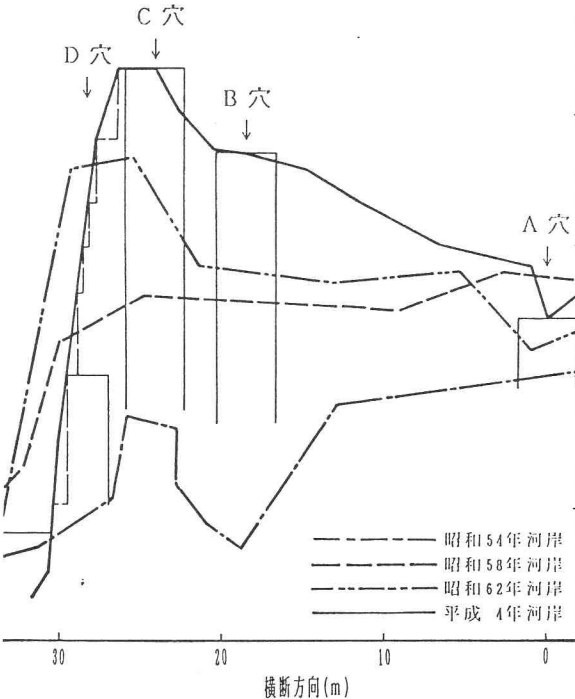


図-1 川内川横断形状経年変化

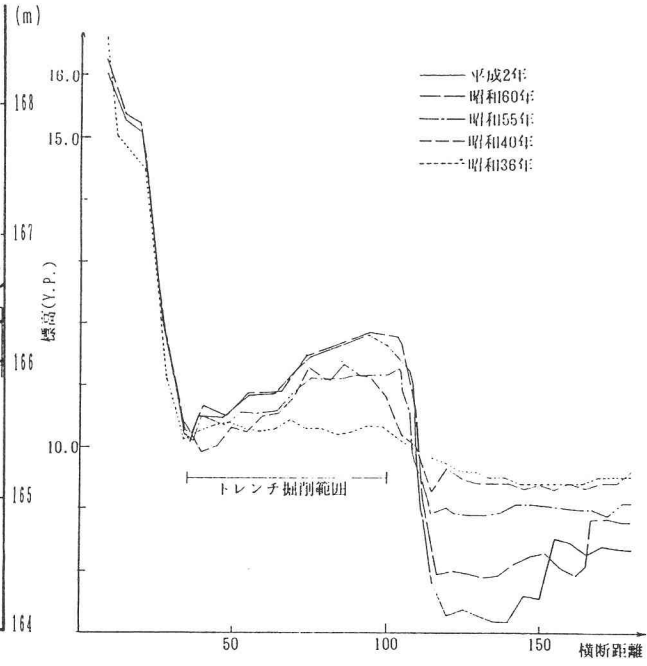


図-2 利根川横断形状経年変化

3. 調査結果

3.1 川内川での調査結果

調査対象範囲は、昭和54年に捷水路工事が完了し、川幅が旧川の約2倍に拡幅された箇所であるが、その後10年余りの間に川幅の縮小現象が起こり、現在では旧川と同等の規模にまで川幅が復元し、高水敷が形成されている¹⁾。

3.1.1 形状変化からみた堆積条件の推定

川内川での調査結果を図-3に示す。各穴の土質構造を参照すると河岸は明瞭な層構造を持って形成されていることが分かる。同図中には、各年の推定河岸高が記されているが、これは横断形状の経年変化・河岸上に繁茂していた植生の野焼き(年一回実施)の痕跡・洪水履歴(回数)を参考に推定したものである。昭和62年から平成3年までの位況を図-4に示す。

横断的な発達過程を見ると、河岸の最も高い位置は、昭和58年ではほぼ水平になるまで発達し、その後、河岸線付近が他に比較して高くなっていくという傾向を示している²⁾。

また、河岸の成長速度を横断測量が行われた年を参考にして見たものを表-2に示す。

(第Ⅰ期)：第Ⅰ期には、1年の内1/3の期間は冠水していたことが分かる。すなわち、出水期のほとんどは冠水していることを示しており、河岸上へ浮遊砂が盛んに供給されたと考えられる。しかし、現在の低水路と河岸線を基準に両者の高さを比較する

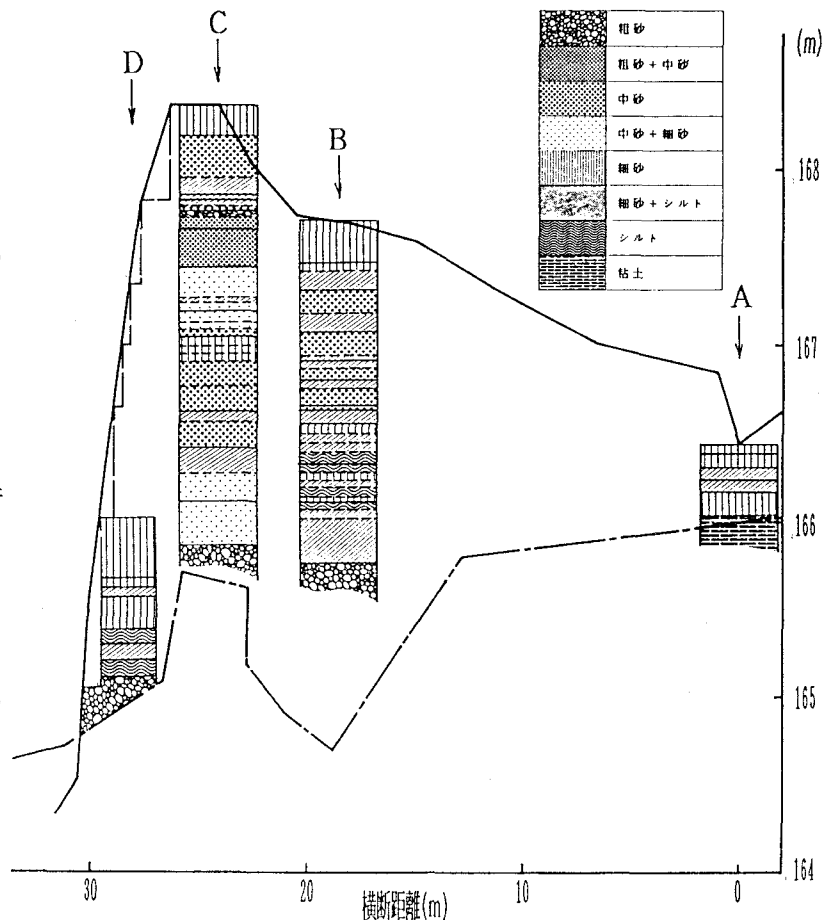


図-3 川内川河岸の土質構造

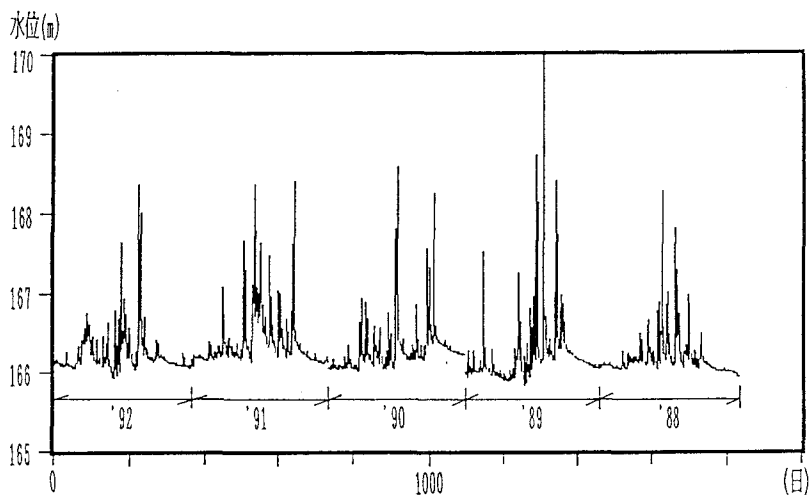


図-4 調査地点付近の位況(昭和62～平成3年)

表-2 各期間の成長速度と年間冠水日数

	期 間	成長速度	年間冠水日数
I	昭和54～昭和58年	22.7cm/年	121.8日/年
II	昭和58～昭和62年	26.5cm/年	7.7日/年
III	昭和62～平成 3年	13.8cm/年	2.3日/年

と、図-3に示されているように、当時はそれほどの差がなく、両者の間の掃流力の差は大きくない。したがって、河岸・低水路ともに土砂輸送能力に大きな差はないので、低水路から河岸上へと輸送された浮遊砂が河岸上で堆積する量は少ないと考えられる。ただし、昭和58年の河岸は、低水路との間に2m近くの高低差があり、掃流力の差も大きくなる。この時、河岸上へ供給される浮遊砂量が過剰となり、過剰分の浮遊砂は沈降することになるので、堆積する量は多くなる。また、58年の河岸は平水位以上にまで成長しているため、植生が繁茂していたことが容易に想像される。したがって、植生により流速が減少し、浮遊砂の堆積がよりいっそう加速されたと思われる。

これらのことから、第Ⅰ期初期の成長速度は大きくないが、浮遊砂の堆積により低水路と河岸の高低差が大きくなるに連れて、成長速度は大きくなると推定される。また第Ⅰ期は、河岸上に流水があるので、植生が繁茂できる環境にはない。そのため供給された浮遊砂が河岸上で植生に捕捉され堆積する量はなく、このことが第Ⅱ期に比較して成長速度は大きくない要因の一つと考えられる。

(第Ⅱ期)：第Ⅱ期の層構造と洪水履歴の対応関係を見ると、ほぼ出水ごとに冠水したと考えられる。したがって、平水時には水面から露出しており、河岸上に植生が繁茂できる環境にあるので、河岸で通常堆積し得ない浮遊砂も堆積することが可能になる。これが、第Ⅱ期の河岸の成長速度を大きくしている大きな要因の一つである。

もう一点は、低水路と河岸との間の高低差が大きく、その間に極端に掃流力の差があることである。低水路から河岸上へ輸送された浮遊砂は、河岸での掃流力の急激な低下により河岸付近で盛んに堆積することになり、成長速度は非常に大きくなる。

また、河岸は平均的に年に数回は冠水する程度の高さであることも、非常に大きい成長速度を保っている要因の一つであると考えられる。

(第Ⅲ期)：第Ⅲ期は、前の2期に比較して成長速度が急激に落ちている。第Ⅱ期と比較して、河岸高がさらに高くなり低水路内と河岸の高低差はより顕著にはなるが、河岸が冠水する頻度は極端に低下(第Ⅱ期の約1/3)するので、浮遊砂が堆積する機会が減少し、成長速度が落ちていると思われる。また、河岸が冠水しても低水路河床から河岸高付近まで巻き上げられる浮遊砂量は非常に少なくなるので、堆積量も必然的に減少する結果となる。以上のことから、河岸の成長速度は前2期に比較して明らかに小さくなると考えられる。

3.1.2土質からみた堆積条件の推定

B・Cの土質構造を比較すると、B穴より低水路側にあるC穴の方が相対的に粗い粒径のもので形成されていることが分かる。

流れの状況を考えれば、特に河岸付近では流速が激減し、高水敷上の大部分の範囲は、ほぼ一定の流速となる。さらに高水敷上に植生が繁茂していると、高水敷上の流速はさらに減少し、約10cm/sの流速でほぼ均一になる。したがって、河岸付近を除いて、高水敷上での浮遊砂の堆積現象は、河岸からの距離と土砂の沈降速度によって決まり、低水路から離れた位置ほど堆積土砂の粒径は小さくなる。つまり、河岸付近の流速が激減する区間で堆積するのは比較的粒径の粗い土砂であり、いわゆる河畔堆積物に相当する。その背後の距離と沈降速度に支配されている区間は、細かい粒径のものであり、自然堤防を構成する材料が堆積する。川内川の事例では、A・B穴が自然堤防堆積物、C・D穴が河畔堆積物で構成されているといえる。

C穴の主堆積物は中砂(粒径=0.04cm)である。また、B穴では細砂が主体(0.03cm)となっており、若干のシルトがみられる。横断形の変化と各層厚から、中砂の堆積範囲は、河岸線から約10～15mまでである。この区間は、いわゆる河畔堆積物の領域であり、浮遊砂中の中砂の大半がここで堆積するために成長速度が速い。特に、昭和58年～昭和59年('83～'84)には44cmもの堆積があった。確かにこの期間の出水頻度は大きいので年間の堆積厚が大きくなることは推測できるが、各洪水に対応した層厚も他の期間に比較して非常に大きい。このことから、この時期の河岸高が中砂の堆積に最も適当な状態にあったと推定される。

細砂の堆積範囲は、河岸が低い状態にあるときには高水敷上のほぼ全域であるが、河岸が高くなると徐々

にその範囲は小さくなる。これは、細砂の沈降速度が小さいために、水深の大きいときは河岸線から離れた位置にまで浮遊することが可能であるが、河岸が高くなることによって相対的に水深が低くなると、浮遊し得る距離も自ずと決ってくるためである。

シルトの堆積範囲は、高水敷上全域である。シルトは通常ウォッシュロードとして移動しているので、高水敷上の水深が低いときのみ堆積し得る。ただし、植生の繁茂が著しく、植生内の流速が極端に遅いときは、高水敷上の水深が大きくても堆積し得る。粗砂は、実質的に浮遊砂として存在することはないので、河岸が非常に低い位置にあるときのみ堆積することができる。その堆積形態は掃流砂的であるので、堆積範囲は河岸近傍のみである。

3.2 利根川での調査結果²⁾

調査対象範囲には昭和30年代に水制が設置され、その後水制間に盛んに土砂が堆積し、現在のような高水敷が形成されている。図-5に河岸線の変遷と掘削したトレンチの概要を示す。ここで、Aラインは丁度123.5km上であり、横断図との対応を見ることができるので、Aラインについて考察することとする。

3.2.1 形状変化からみた堆積条件の推定

図-2から、この利根川高水敷の成長過程には2つの成長期があることが分かる。第Ⅰ期は昭和36～昭和40年まで、第Ⅱ期は昭和55年～昭和60年である。図-6にトレンチ調査の結果得られた高水敷の土質構造を示す。ただし、図中の細砂層の範囲には、多数の薄い層で形成されているが、川内川の事例ほど明瞭に判別することは困難であるので、ここでは示していない。また、洪水履歴については、図-7に昭和36年～昭和40年の位況データを示す。

この図から、矢印以下の粗砂層(粒径=0.5～0.7mm程度)は、利根川の河床材料と同じ材料であるので、この面が堆積が始まった時の初期河床であると考えられ、横断図との対応を考えれば、

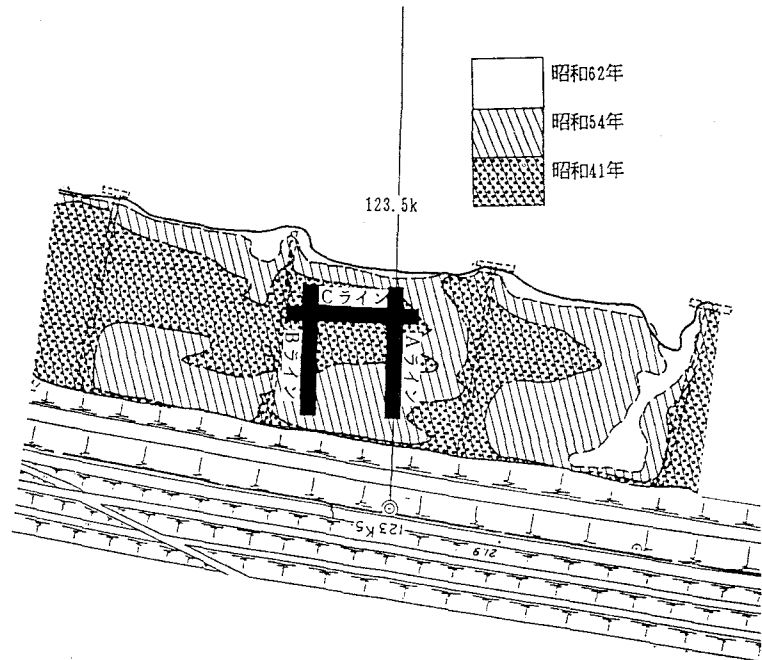


図-5 利根川調査地点付近の河岸線の経年変化

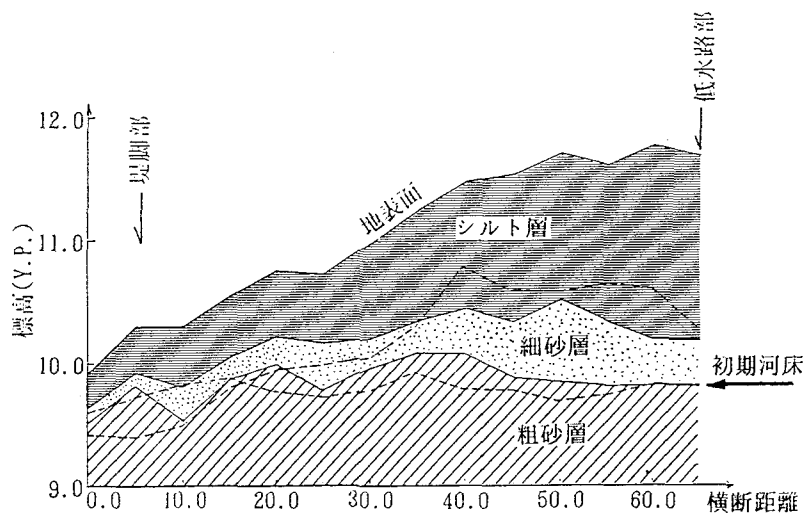


図-6 トレンチAラインの土質構造

昭和36年当時の左河岸がこれに相当する。この高さを基準に地盤沈下量を考慮して上述した2期の成長速度を求めると、表-3のようになる。

(第Ⅰ期)：第Ⅰ期は、ほとんど水面下にあったことが分かる(ただし、昭和39年には、平水時には最も高い部分は水面から露出するようになる)。川内川の事例を参照すれば、高水敷上面が平水位以下の状態では河岸上に輸送される浮遊砂量は多いものの、低水路内との高低差も小さく、植生の繁茂も無いので、浮遊砂の堆積量は多くはない(成長速度は小)と言える。しかし、利根川の場合、高低差は昭和40年当時で2m程度となるが、洪水時の低水路と河岸上の相対的な水深の差がなく、摩擦速度の差も小さくなる。したがって、 u_* / w_b は河岸上でも浮遊砂が沈降するほど($u_* / w_b \leq 1.0$)にはならないと考えられる³⁾。また、昭和39年以前でも平水位以下に高水敷があるにも関わらず、成長速度が大きい。これらは水制が設置されていることに原因があると思われる。すなわち、水制による流速低減効果により、浮遊砂中の細砂が沈降する程度にまで水制区間の流速が減少したと推定できる。これについては、次節でやや詳しく取り上げることとする。

(第Ⅱ期)：第Ⅱ期には、第Ⅰ期に比較して成長速度が若干落ちているが、その原因として低水路と河岸との高低差が非常に大きいことが考えられる。図-2にも示されているように、低水路の河床低下が非常に進んでおり、

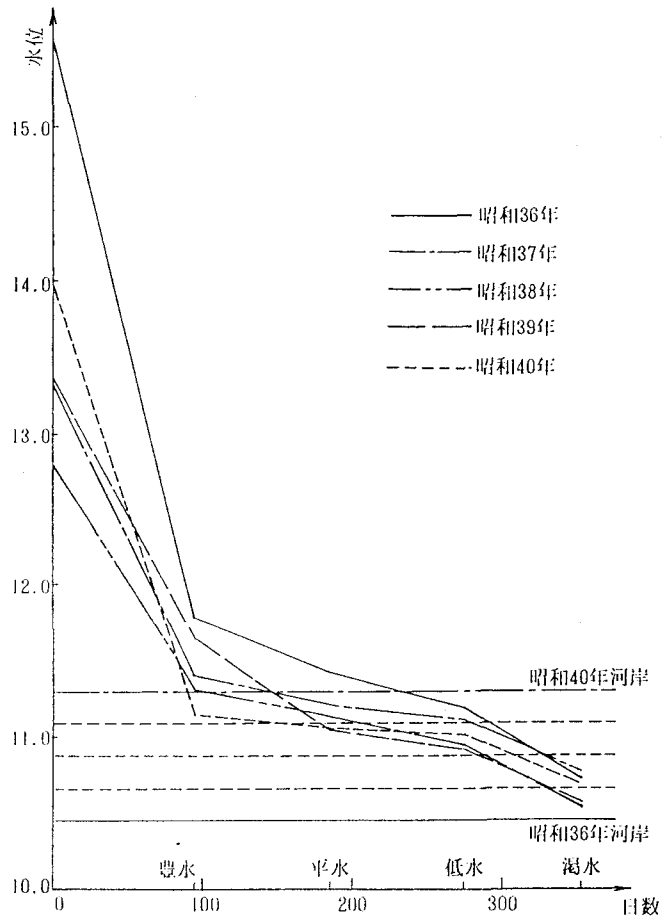


図-7 調査地点付近の位況(昭和36～40年)

表-3 各期間の成長速度と年間冠水日数

	期 間	成長速度	年間冠水日数
I	昭和36～昭和40年	22cm/年	257日/年(平均)
II	昭和55～昭和60年	19cm/年	18日/年(平均)

相対的な河岸高は大きくなっている。この時、低水路から河岸上へ巻き上げられる浮遊砂量が少なくなり、また浮遊砂の大半はシルトであるので、そのボリュームは大きくならない。したがって、成長速度が落ちていると思われる。もう一点、第Ⅰ期と異なる条件は植生が繁茂していることである。このために洪水時には、浮遊砂が相当量沈降し、成長速度を保っているものと思われる。

3.2.2土質からみた堆積条件の推定

図-6中の矢印より上の層構造は、ある層を境として下部は細砂層、上部はシルト層となっている。これは河岸の成長過程における土砂の分級堆積、すなわち初期には河岸付近に砂(微細砂～中砂)が主に堆積し、下層から順に中砂から細砂へと堆積砂の粒径も小さくなって行くが、ある河岸高以上になると、主にシルトが堆積するようになる、という機構が示されているといえる。

土砂の分級堆積の支配パラメータとしては、河岸高・水位・河床勾配・河床材料粒径および分布・植生が考えられる。これらの中で、植生の繁茂状況・生育高さ等は季節に大きく依存し、洪水時の現象も非常に複雑である。空中写真から植生の繁茂状況を見ると、昭和49年以降は植生の繁茂が著しい。したがってここでは、単純な条件下での現象として、昭和36～40年の間について考察する。

図-7中の横実線は昭和36年当時の河岸頂部の高さを、横1点鎖線は昭和40年当時の河岸頂部高を示している。各年次の河岸高(図-7中の点線)は、河岸の平均成長速度(21.2cm/年)を算定し、これが5年間一定値に保たれていたものとして求めている。また図-6で点線で示されているのは、横断面図から得られた昭和36、40年の河床である。

これらの図より、昭和39年の河岸は平水時に冠水しないレベルにまで成長していると推定できる。同時に昭和39年の推定河岸高は砂層とシルト層の境界高さに相当し、それ以降の堆積物はシルトが主流となっている。

高水敷の土砂の堆積条件として、摩擦速度と沈降速度の比 u_*'/w_0 を用いて、昭和36年当時の u_*'/w_0 を平均年最大流量時の水位(14.35m)について調べると、細砂(0.3mm、 $w_0=4.03\text{cm/s}$)に対して、低水路内で $u_*'/w_0=2.3$ 、河岸頂部で $u_*'/w_0=2.0$ である。また昭和40年では、低水路内で $u_*'/w_0=2.3$ 、河岸頂部で $u_*'/w_0=1.8$ である。このことから判断すると、洪水時には水面付近まで細砂が浮遊しているが、河岸頂部ではまだ浮遊条件にあることになる⁴⁾。そこで水制区間の流速について、

$$\rho g I B h \ell - \frac{1}{2} \rho C_D N D h_g V_m^2 - \rho \frac{1}{\phi} V_m^2 B \ell = 0$$

I : 水面勾配(=1/6200) B : 水制域の幅(=60m) ℓ : 水制間幅(70m)

N : 杭の本数(=70本) h_g : 杭の長さ(=3m) D : 杭の直径(=0.15m)

h : 水深(=3.3m) ϕ : 流速係数(=16)

を用いて評価し⁵⁾、 u_* を求めると昭和40年時点で $u_*'=4.09\text{cm/s}$ であった。このとき、 $u_*'/w_0=1.0$ となり、植生の繁茂があれば、あるいは水位がもう少し低ければ、細砂程度であれば十分に沈降・堆積し得ることが分かる。したがって、通常状態であれば堆積し得ないものが、水制の設置にともなう流速の低減により堆積することが可能になったといえる。

4. まとめ

川内川・利根川の2つの調査結果から、高水敷の成長速度に影響をおよぼす因子についてまとめると、以下のようになる。

①低水路と高水敷の高低差：高低差があることにより、低水路から高水敷上へと輸送される浮遊砂量が過剰になり、過剰分に相当する浮遊砂が高水敷上に沈降・堆積することになる。したがって、高低差が大きいほど成長速度は速くなる。ただし、高低差が大きくなりすぎると高水敷上へ輸送される浮遊砂の量・粒径とも

に小さくなり、成長速度は遅くなる。

②平水位：高水敷・河岸が平水位より低い時期には、成長速度は遅い。これは、高水敷・河岸上に常に流水が存在することにより、輸送された浮遊砂も常に移動している状態であり、植生が繁茂する可能性がなく、植生による浮遊砂の捕捉効果が期待できないからである。

③冠水頻度：基本的に、冠水頻度が大きければ高水敷上に輸送される浮遊砂量が大きくなり、成長速度は速くなる。ただし、冠水頻度が過大であれば②の影響が卓越するので成長速度は鈍く、逆に過小であれば①の効果(①中の“ただし”以下)が卓越するので、やはり成長速度は鈍くなる。

④植生：植生が繁茂している領域では、摩擦速度が非常に小さくなるので、浮遊砂の沈降に密接な関係がある u_* / w_{90} が小さくなり(≤ 1)、成長速度は速くなる。ただし、植生の繁茂は平水位の大小に左右される(平水位以下の所では植生の繁茂は期待できない)。

⑤水制：水制が存在することにより、水制の影響が及ぶ範囲では流速が低下し、浮遊砂が沈降堆積する。これにより、上記①～④の効果が薄い場所でも、ある程度の成長速度をもって河岸は成長することになる。ただし、水制諸元が成長速度・土砂の堆積におよぼす影響の詳細は不明である。

これらの内、①・②が基本的な要素であり、①は河岸の成長には限界高さが存在することを示しており、②は河岸が急激に成長し始める条件を示している。また、③は①の、④は②の効果を加速する要素である。

⑤は人為的な要素であり、この効果を自由に操作することができれば、河岸形成を制御することが可能になると思われる。

5. 今後の課題

これらの調査により、河岸の形成過程を定性的に示すことができた。また、河岸形成のための条件については、①～⑤を抽出することができた。今後は、特に①・②・⑤の要素について、その効果を定量的に示していくことが必要である。①・②については、今回の調査地点の継続調査を行うとともに、両河岸とも成長途中段階の河岸であったので、成長の極初期の河岸・やや終局状態に落ちついてきた河岸に注目して、検討する必要があると思われる。⑤については、水制間に堆積しなかった事例などについても検討するとともに、実験的検討も行い、浮遊砂の堆積を促進する水制構造を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 佐々木克也・山本晃一・藤田光一：低水路川幅の変化，第47回年講概要集，pp. 98-99.
- 2) 藤井政人・山本晃一・深谷渉(1992)：自然堤防に関する2, 3の考察，第47回年講概要集，pp. 96-97.
- 3) 建設省治水課・土木研究所河川研究室(1991)：河道特性に関する研究—その2—～高水敷の機能に関する研究～，第44回建設省技術研究会，pp. 792-794.
- 4) 山本晃一(1988)：沖積低地河川の河道特性に関する研究ノート，土木研究所資料，第2662号，pp. 29-37.
- 5) 山本晃一(1992)：現代水制論，土木研究所資料，第3049号，pp. 288-305.