

トレンチ掘削による利根川河岸の発達過程の研究

A trench test on formative process of the riverbank of the Tone River

藤井 政人*・宇多 高明**・深谷 渉***

by Masato FUJII, Takaaki UDA and Wataru FUKATANI

This study aims to develop a renewal or conservation method of the riverbank with or without bank protection works. As the first step, a trench test was carried out at the natural riverbank of the Tone River, where the riverbank was formed by the installation of several spur dykes in the 1960s, in order to investigate formative process of the natural riverbank. It is concluded through this field investigation that formative process and the developing velocity of riverbank strongly depend on changes in the water and bank level, and the enhancement of depositional effect of fine sediments due to the growth of vegetation on the riverbank.

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

1. はじめに

最近までの河岸防御の考え方は、堤防の前面にある高水敷の河岸線を洪水防御の最前線と位置づけ、コンクリート張ブロック護岸などにより河岸線を覆うことにより、河岸の耐侵食力を向上させるというものであった。しかし河岸侵食を防ぐという意味では、土砂が河岸に堆積し易い環境を整え、川本来の作用を利用して新しい自然河岸を積極的に造って行くことも、広義の河岸防御手法であるといえる。また河岸では、低水路河床の変化ほど速くはないが、高さや平面形状が治水上有為な速度を持って変化することが、最近の調査から明らかにされている。

一方、多くの自然河岸では良好な自然環境が保たれており、そのような環境を保全することが是非必要とされている。したがってこの意味からも自然河岸の形成について考えることは有意義である。自然河岸の形成を促進させる上からは、何らかの形で河岸近傍の流速を低減させることが必要とされるが、そのような目的を達し得る構造物として古くから用いられているものに水制工がある。そしてその流速低減効果について

* 正会員 建設省土木研究所河川研究室 研究員
(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

** 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長

*** 正会員 建設省土木研究所河川研究室

は、例えば秋草ら¹⁾による詳細な研究が行われている。しかし、水制周辺での土砂堆積の促進という意味からは、十分な検討がなされていないようである。同様に、自然河岸の形成過程も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十分な発展段階にあるとはいえないのが現状である。

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。自然河岸の形成過程では、洪水時における河岸付近での流水の挙動と土砂堆積、植生の繁茂状況など様々な要因が複雑に絡み合い、実験的に現象を再現することは非常に困難である。そこで、今回その第一歩として河岸の発達過程を把握することを目的として、ある時期から急速に成長した自然河岸に注目し、その横断形状の変化を調べるとともに、トレンチ掘削による堆積物と堆積構造についての詳細な現地調査を行った。さらに、発達段階において河岸に作用した外力条件（水位履歴など）を調べ、上述の調査結果とともに河岸の発達機構について検討した。

2. 研究方法

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横断形状の変遷が追える河岸、および④外力条件（水位など）の履歴が追える河岸、をもとに選定した。その結果、利根川の123.5km地点左岸が調査対象河岸として選定された。写真-1は調査対象河岸付近を撮影した空中写真である。これらの写真を比較すると、1961年当時には杭出し水制が設置されているのみで、自然河岸の形成は認められない。しかし、1974年では水制間に土砂が堆積し自然に河岸が形成されたことがわかる。このことから、当地は本研究の遂行上、非常に良好な研究サイトである。

調査は、トレンチ掘削と断面内の土質構造調査に分けられる。トレンチ掘削の範囲は、予め調査予定地の詳細な平板測量を行い、樹木の位置などを把握した上で、図-1に示すように横断方向のトレンチを2本（A、Bライン）、河岸部において縦断方向のトレンチ（Cライン）を1本掘削した。ここにAラインは水制の下流側約10mに、Bラインは下流側の水制近傍に位置する。また断面内の土質構造調査は、各トレンチの端から5mピッチに定めた鉛直測線で行い、層の区分・各層の土質・各層上面の深さを測定した。また土質区分には、表-1に示す土質分類を用いた。

1961年撮影



1974年撮影



写真-1 利根川の調査対象河岸の空中写真

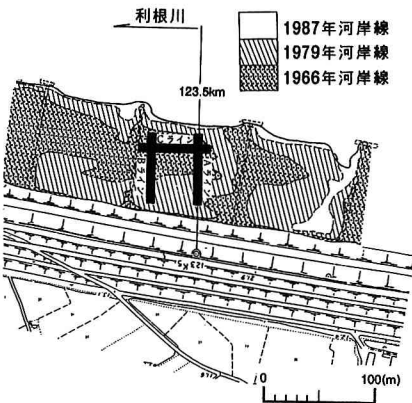


図-1 利根川河岸の河岸線の変遷

表-1 土質分類

材 料	粒 径 (mm)
礫	～ 40.0
砂 利	40.0 ～ 2.0
粗 砂	2.0 ～ 0.5
中 砂	0.5 ～ 0.3
細 砂	0.3 ～ 0.074
シルト	0.074～

3. 河岸の土質構造

代表としてBラインの土質構造を図-2に示す。図中の上段はBラインの概略の層構造である。下層の粗砂層と示した部分は、自然河岸が形成される前の河床(初期河床)に相当し、その平均粒径は約0.5mmである。一方、上層の細砂層の平均粒径は細かく、層によっては0.4mm程度の平均粒径を示す層もあるが、ほとんどは0.3mm以下の微細砂やシルトであった。このことから、河岸は低水路の河床材料よりも細かい粒径のもので構成されており、そのほとんどは浮遊砂として河岸上に運ばれ、堆積したものであると考えられる。また、細砂層とシルト層の境界は非常に明瞭に判別され、この高さはシルトと細砂の堆積の限界高さに相当すると考えられる。さらに、細砂層をみれば横断距離30～65mの間で特に砂の堆積が著しく、ほぼ一定(約50cm)の層厚を有している。また、細砂は河岸と低水路の境界から横断方向に高々40m程度しか到達し得ないといえる。

細砂層の詳細を下段の拡大図に示す。この層は細かく見ると細砂層と細砂混じりシルト層の互層であり、若干のシルト層が含まれる。このことから河岸が形成されるときには、土砂は明瞭な層構造を形成しつつ堆積することが分かる²⁾。これらの層を構成している土質は各々異なっていることから、各々の層は過去の洪水履歴と対応していると考えられ、その層が形成されたであろう洪水を特定することができれば、洪水時の水量から河岸を形成する条件を定量的に評価することが可能であろう。また、上層のシルト層にも同様な層構造が見られた場所もあったが、植生の根が層の中にかなり複雑に侵入しており、これにより乱された状態にあったので、確認はできなかった。

図-3は、図-2の上段に示した細砂層の上面の等高線を示している。ここに等高線はA、C両ラインの交点(◎印)の地盤高を基準として、それに対する砂層上面の高さをm単位で示した。この図を見ると、Cライン上で2つの細砂のマウンドが認められる。上流側のAラインとCラインの交点付近のマウンドは、堤脚側に向かって急峻な地形である。これは上流側の水制により水制間に引き込まれた流れが、このマウンド付近で大量に土砂を堆積させたためと考えられる。一方、下流側のマウンドは河岸側は比較的急であるが、堤脚側は緩やかな傾斜をしており、下流側水制の基部に向かってのびている。このことから、下流側のマウンドは数回の洪水を経て、土砂が緩やかに沈降して堆積して形成したと考えられる。

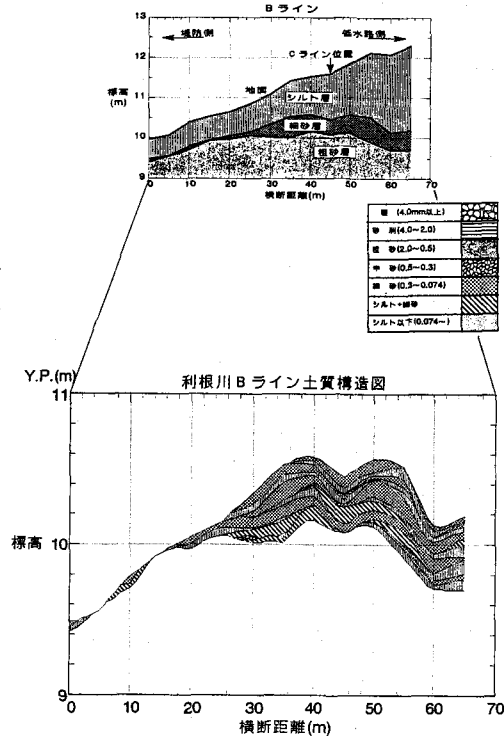


図-2 利根川河岸の土質構造

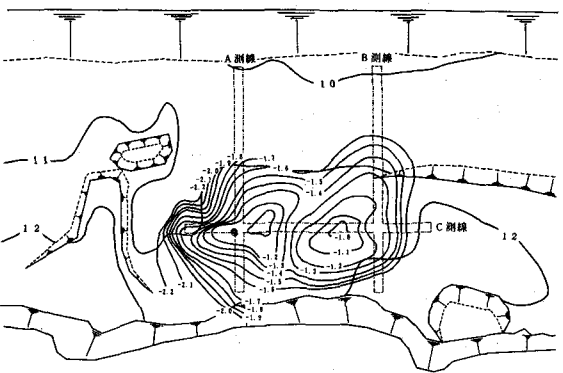


図-3 砂層上面の等高線

4. 河岸の形状変化

調査対象河岸の横断形状の経年変化を図-4に示す。横断形状の変化の特徴として、低水路と河岸の境界付近での河岸高の変化が著しく、逆に低水路の河床が低下して、河岸と低水路の境界で段差が発生していることが挙げられる。このように河岸前面で段差が発生すると、河岸と低水路の境界付近で掃流力が急激に変化し、河岸上の掃流力は低水路内に比較して非常に小さくなる。このとき低水路から河岸上に運ばれた浮遊砂は、掃流力の急激な変化により河岸と低水路の境界付近で大量に堆積するので、境界付近の河岸高の変化が大きくなると考えられる³⁾。

このような段差が発達し過ぎると、河岸上に運ばれる浮遊砂の大半はシルトとなる。シルトは洪水時にウォッシュロードとして運ばれ、これが堆積するには河岸上の流速が非常に遅くなるか、もしくは洪水の減水期や小洪水時のように水面勾配が非常に緩やかな時期でなければならない。したがって、河岸上の各層の堆積厚は非常に小さくなる。一方、段差の増大に伴って洪水時には河岸前面での水深が大きくなるので、河岸前面に作用する掃流力が増大し、河岸侵食の発生が考えられる。しかしながらこの例のように、河岸に水制が設置されていると、河岸前面に作用する掃流力が小さくなるので河岸侵食が防止されたと考えられる⁴⁾。

利根川の平水位は河床低下にともなって低下してきている(図-4参照)。1961年の平水位は当時の河岸高より高く、冠水深は約1mである。一方、1975年時点での平水位は河岸高より低い位置にあり、河岸の冠水頻度は年に数十回程度になる。このように、特に平水位が河岸高より低くなると、水面から露出した部分に植生が侵入して洪水時の河岸上の流速は遅くなり、河岸上への土砂堆積はより促進される。したがって河岸の成長速度は速くなると考えられる。

自然河岸の形成を促進させようとする場合、自然河岸がどのような速度で成長するのかを知ることが非常に重要である。自然河岸が数年のオーダーで成長するのであれば、あえ

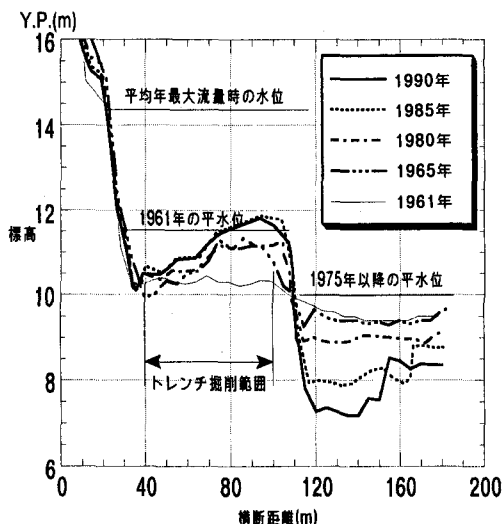


図-4 利根川河岸の横断形状の変遷

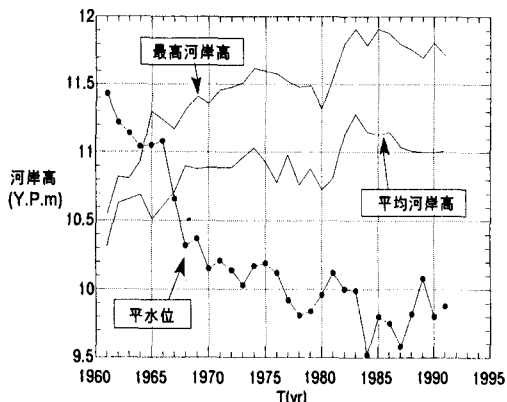


図-5 河岸高の変遷(最高点の高さ)

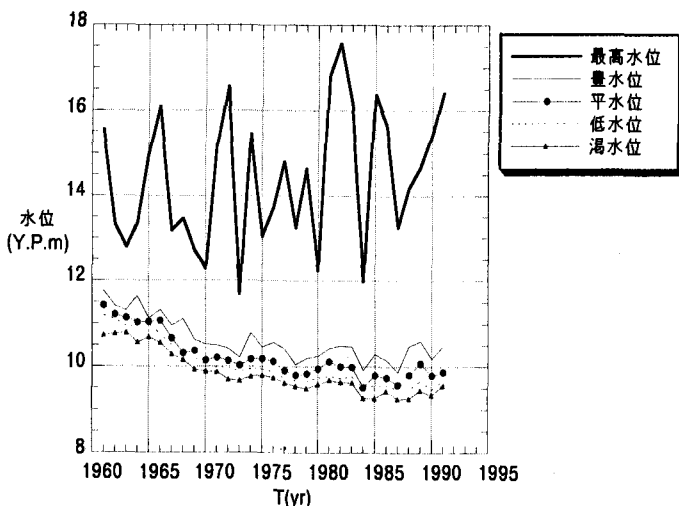


図-6 利根川の位況

て河岸形成を促進させずとも、自然河岸を形成させたい場所を確保し、条件を整えて現在の状態を維持してやれば自然河岸は自動的に形成される。しかし、自然河岸が50あるいは100年というオーダーで形成されるならば、自然河岸が形成される間に河道そのものが変化したり、河川空間で自然環境を保全しようというニーズそのものが失われかねない。したがって、自然河岸の形成を促進させようとする場合、長くとも5~10年で自然河岸が形成されるような手法が必要となってくる。

自然河岸の形成過程で非常に重要なことは、洪水履歴である。そこで、自然河岸の発達速度と河岸の冠水深頻度との関係を調べてみた。図-5は利根川の河岸高と平水位の経年変化を、図-6は利根川の位況の経年変化を示したものである。また図-7は河岸の5年間の平均発達速度を経年的に示したものである。図-5を見ると、既に1964年時点で河岸の最も高い位置は平水位とほぼ同じレベルにまで成長している。それ以後、特に1969年までの5年間で約50cmも高くなっており、その前後の変化と比較してもこの時期の河岸の発達が非常に速く、植生が繁茂したことが大きな影響を及ぼしていることがわかる。また1964年以前の河岸も1961年からの3年間で約30cmも発達しているが、これは水制が設置されたことにより、河岸上の流速が遅くなり河岸への土砂堆積が促進された結果であると考えられる。図-7より平均河岸高の発達速度を見ると、1967年前後で最も速く13cm/yr、最高河岸高は1963年前後で最も速く20cm/yrである。その後、1980年までは発達速度が徐々に遅くなっていき、1975年から1979年までの5年間はほとんど成長が見られなくなっている。ところが、1981年から

1985年までは新たな発達段階を迎えており、特に1982年までの2年間で約60cmもの河岸の発達を記録している。図-6の既往洪水との関係をみれば、1975年から1980年の5年間は、それほど大きな洪水は発生していない。つまり、河岸上の冠水深は大きくはならず、また当時の河岸と低水路境界の段差が約2mにまで発達していたので、中小洪水時では河岸上に大量の土砂を堆積させるには至らなかったと考えられる。ところが、1981年以後3年間にわたり、非常に大きな洪水が数回発生している。これらの洪水は河岸の冠水深が非常に大きかったため、それ以前の洪水では河岸上に運ばれ得なかった土砂が河岸上に多量に運ばれ堆積したと考えられる。

以上のことから、自然河岸の発達は河岸上の冠水深と低水路境界の段差に強く依存すると考えられる。図-8は、過去に発生した洪水について、低水路内の水深に対する冠水深の比 (h_r) を横軸に、河岸の堆積厚を縦軸に取って両者の関係を示したものである。ここに、 h_r が大きい時には冠水深が大きく、段差が小さいことを意味する。この図より、洪水時の河岸上の冠水深が低水路内の水深の約半分となるような水深の時に河岸上への土砂堆積は最も大きいことがわかる。

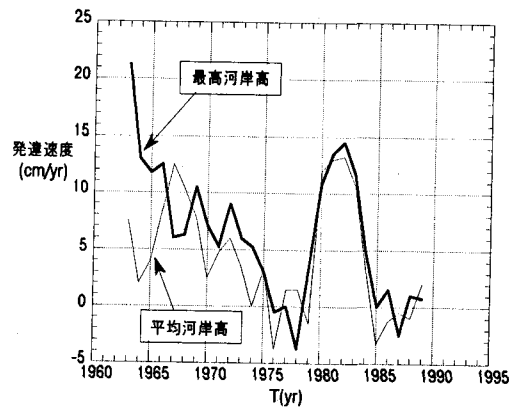


図-7 自然河岸の発達速度

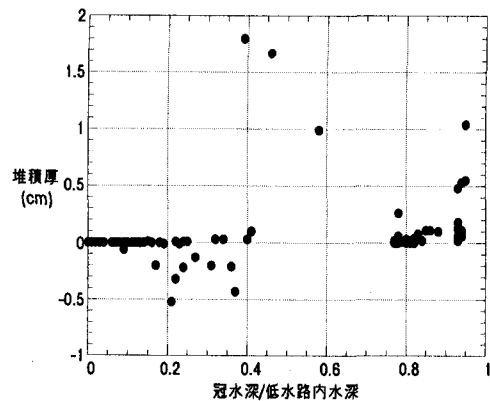


図-8 冠水深/低水路内水深と堆積厚の関係

5. 河岸の発達条件

自然河岸の形成を促進させる主な要因は以下の通りである。

- ①河岸と低水路の境界での段差の発生：低水路河床高と河岸高の差が大きくなる（段差の発生）と、低水路と河岸とでは掃流力の差が大きくなる。したがって低水路から輸送された浮遊砂は河岸上で掃流力の低下にともない河岸上に堆積することになる。段差が発生する要因としては、砂利採取などにより低水路が河床低下するか、河岸の耐侵食性が大きく低水路の河床低下に追従できなかったか、あるいは河岸の構成材料は低水路の河床材料と同様のものであるが、水制などが設置されているため材料の流出が妨げられたことなどが考えられる。利根川の事例では、河岸上の水深が低水路内水深の半分程度の場合に河岸上への堆積厚が大きくなる。
- ②平水位の低下：要因①により河岸が低水路に比較して相対的に高くなり、平水位以上にまで高くなると、河岸に堆積した土砂が非洪水時に流出しなくなる。
- ③植生の侵入：要因①、②により河岸が高くなると植生が河岸に侵入する。これにより洪水時に河岸に輸送される浮遊砂がより一層堆積し易くなる。
- ④水制の設置：河岸に水制が設置されたことにより、低水路と水制域の間に掃流力の差が生じるので水制域には土砂が堆積し易くなる。また、河岸の形成が進むと低水路の川幅は河岸形成以前に比較して狭くなり、洪水時の水深が深くなるので河岸に作用する摩擦速度はより大きくなる。したがって耐侵食性が大きくなければ形成された河岸は維持されないが、水制が設置されたことにより、河岸に作用する摩擦速度が小さくなって河岸が維持されたと考えられる。

6. まとめ

本研究により、自然河岸は明瞭な層構造を持っていることが示された。また、自然河岸が形成される場合、河岸と低水路境界付近での発達が非常に速く、その結果形成される段差がさらに河岸の形成を促進させることがわかった。さらに、河岸の発達速度は河岸形成過程の初期では遅いが、ある適当な段差と洪水頻度、冠水深が与えられれば、急速に発達しうることが示された。これらのことから、自然河岸の形成を促進させる場合、発達速度がもっとも速くなるような段差をあらかじめ造っておく、あるいは段差と同様の効果を発揮する構造物を設置することなどが有効な手段として考えられる。本研究では、利根川を対象として水制間に形成された自然河岸の形成過程、発達速度について検討した。しかし、水制がなくとも土砂が堆積して自然河岸が形成された事例もあるので、それらについても調査する必要がある。それらの調査を通じて、様々な条件下で形成される自然河岸の形成機構を調査する必要がある。

参考文献

- 1) 秋草 勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦(1960)：水制に関する研究，土木研究所報告，107号の6，pp. 1-93.
- 2) 藤井政人・山本晃一・深谷 渉(1993)：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～，河道の水理と河川環境シンポジウム，pp. 155-162.
- 3) 山本晃一・藤田光一・佐々木克也・有澤俊治(1993)：低水路川幅変化における土砂と植生の役割，河道の水理と河川環境シンポジウム，pp. 233-238.
- 4) 山本晃一(1992)：現代水制論，土木研究所資料，第3049号，pp. 288-305.