

利根川河道の形成に果たした水制の役割 — 治水・環境機能の評価 —

Effects of Groin Placement for the Present Water Way of Tone River

— Evaluation on both aspects of flood Protection and Natural environment —

白井 勝二¹, 福岡捷二²

Katuji SHIRAI and Shoji FUKUOKA

¹ 正会員 国土交通省 関東地方整備局 渡良瀬川河川事務所 所長

(〒326-0822 栃木県足利市田中町 661-3) E-mail: shirai-k2xp@ktr.mlit.go.jp

² フェロー会員 Ph.D. 工博 広島大学大学院教授 工学研究科 社会環境システム専攻

(〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

Tone River is one of the major rivers in our country. The groin has been put to use from the Meiji period to keep the Water Way for the cargo shipment, and to protect the area from the flood danger.

In recent years, the groin becomes being paid attention not only for the flood control function, but also for the viewpoint of enhancement of natural environment such as the increase of habitats for various beings. This is because the groin has largely related to the formation of the present river way.

In this paper, we carried out the functional evaluation of the groin for both aspects of flood control and natural environment, based on the field investigation. We hope this will encourage the further advancement of river improvement works in Tone River.

key words : Groin, Tone River, river bank protection, environmental preservation

1. はじめに

利根川は、明治時代より舟運路確保や治水を目的に多くの護岸水制が設置されている。これらの施設は、利根川の低水路形成を始め河川内の自然環境形成にも大きく関わっている。

これら古い時代に造られた水制は、掘削等の人為的行為や自然による河床低下及び洪水流量などの河川特性の変化に応じ、その工法や機能も変化してきている。しかし、現在でも治水、環境機能を確保している。この過程と機能を、明確にしていき今後の河道保全に役立てる。

2. 利根川の河道特性

利根川は、関東平野の中央を流れる流域面積16,840km²を有する河川である。

利根川河道の形成を見るためには、その河道特性を見ることが重要である。

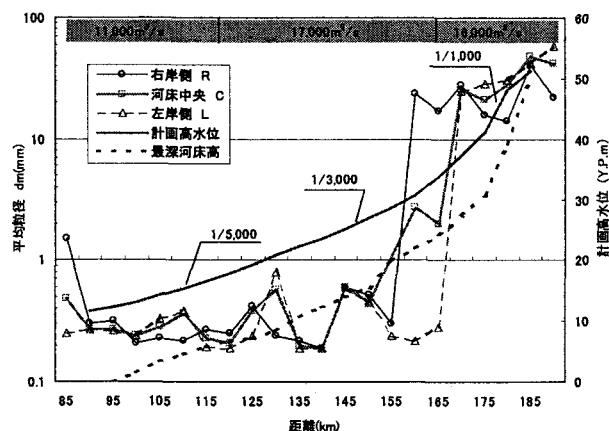


図-1 利根川河床勾配及び河床材料特性図

河道の形成に影響を及ぼす流量を昭和25年(1950)から平成11年(1999)の50年間で見ると栗橋観測所で10,000m³/s以上の洪水は、3回であるが、平均年最大流量は約3,700m³/s(計画高水流量17,000m³/s)である。

この流量は、140km から上流では低水路満杯流量

程度で、140km から下流では低水路満杯の倍程度の値となる。

また、地形等の要因による河床勾配は烏川合流後、赤岩地先（160km）までの河床勾配は 1/1,000 程度と、その下流境町（120km）までは 1/3,000 程度である。さらにその下流取手市（85km）までは 1/5,000 程度である。（図－1）

利根川の河床勾配は 160km 周辺から大きく変化している。河床材料も赤岩より下流部は砂質で粒径 0.25 ～ 0.45mm であるが上流部は砂礫質で 20 ～ 50mm に変化している。（図－1）

このように、160km で大きく河床材料が変化するのは、河床勾配などの要因によるものであるが、流域の成り立ちを見ると、この地先がほぼ利根川、荒川、渡良瀬川によって形成された扇状地の裾野であり、江戸時代より中条堤による遊水機能を確保するため狭窄部もできており、その上流は蛇行の著しい河道であった事によるものと思われる。

3. 低水路の形成と水制設置

利根川は、明治より水制等を設置し河道の改良を実施してきた。

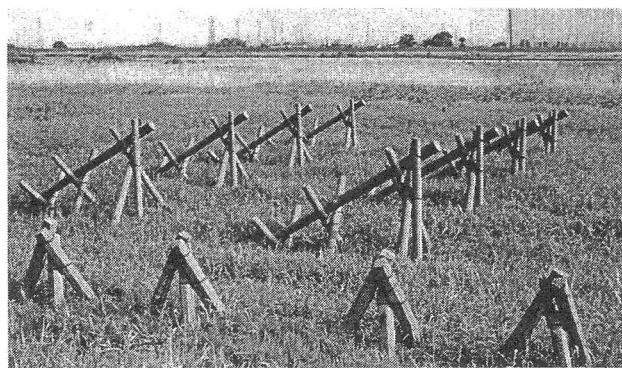
低水路は、赤岩地先（160km）より上流では、洪水のたびに主流が変流しているが、赤岩より下流は、舟運路としての利用もあり低水路内に幅 120m の低水路を設置するように長大な水制が設置された¹⁾。これは洪水処理から考えると河積阻害となるものであるが、鉄道や自動車輸送がまだ発達していない時代であり舟運の重要性が伺える。しかし、この時期に河道は舟運に利用しやすく穏やかに湾曲した低水路が基本となっており現在でも、この低水路形状は保たれている。

戦後の昭和 2 年(1947) 9 月カスリーン洪水後、改修計画が見直され、大規模な引堤や河道掘削が行われることになった。これにより、明治から設置された長大な水制の一部は撤去され、低水路幅 200 ～ 350m 程度に拡幅されたが低水路線形は従来の線形を踏襲したものである。

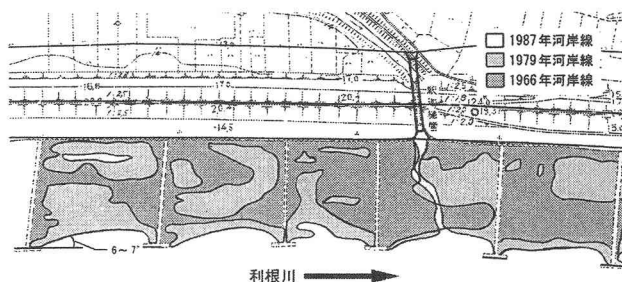
低水路が堤防に接近している所や水衝部には新たに強固で耐久性のあるコンクリートパイル材の杭打水制などが施工され高水敷の確保が図られた。

4. 河道横断形の形成と水制

利根川 160km から上流は、扇状地河川で、河床勾配も 1/500 ～ 1/1400 で洪水中の流速も速く、



写真－1 利根川 180km の水制の現状 (2000.5)



図－2 124km 付近左岸の河岸線の変遷

河床材は玉石又は砂利である。洪水により主流の変動が著しく安定した低水路は定まっていないため堤防及びその前面には全川にわたり護岸、根固、水制が設置されている。

この地区の護岸前面の水制の状況を確認すると、大規模洪水による上流よりの土砂流出等により、水制が埋没して 2m から 50cm 程度の土砂が堆砂している。（写真－1）

160km より下流取手市までは、河床勾配 1/1,400 ～ 1/4,500、河床材料は砂質であり、安定な低水路が形成されている。当該区間の 7 割¹⁾ に及ぶ区間は明治時代から設置された水制などによって高水敷が確保されてきている。

水制設置による土砂の堆積過程を利根川 117 ～ 126km 区間で確認すると、明治 4 2 年の利根川第三期改修計画の図面には、すでに長い水制が記載されている。これは、それ以前の低水工事時に施工されたものと思われる。その後、昭和 3 0 年代旧水制を補強するように堤防に直角に長さ 60 ～ 80m の杭打水制が施工された。これを昭和 3 5 年(1960)時点の航空写真で見ると水制間には水面だけで高水敷の形成は見られない。しかし、昭和 4 9 年(1974)の航空写真では水制間に土砂の堆積が確認でき、河岸、高水敷が形成されたことが確認できる。

この水制による河岸線、高水敷の造成状況を見ると隣り合う水制間の上下流側から土砂の堆積が伸びている。昭和 4 1 年(1966)の航空写真では、上下流側から発達してきた堆積土砂で水制間にワンド状の

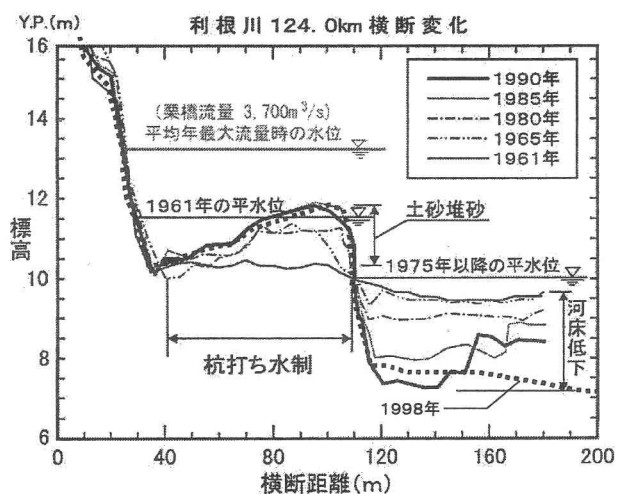


図-3 河床低下に伴う横断変化

池ができている。その後、土砂の堆積は低水路側と堤防側の両方に向かって拡がり、昭和49年(1974)には水制領域のほぼ全幅が高水敷状になっていて、水制間の水辺は凹形の円弧状の河岸線となっている。(図-2)

また、昭和35年(1960)以降、水制間の土砂の堆積により高水敷化が始まる一方で低水路では河床低下が起こった。水制間の土砂堆積部は、この影響を強く受けることなく低水路の河床が低下し平水位も低下したため堆積部と河床高上の段差が大きく生じた。段差が大きくなると、上段と下段とでは掃流力の差が大きくなり、低水路からの河床材料の浮遊砂が段差の上段の水制域に流送される。流速が減少することにより掃流力が減少し、水制域を通過する浮流砂および掃流砂の一部が堆積してきた^{2) 3)}。これにより、高水敷の成長はさらに助長され、そこに植生が侵入してくるようになった。

高水部への植生繁茂は、土砂の堆積環境にも影響し、洪水時の細粒分が堆積可能な環境が形成され河岸周辺は土砂の堆積により自然堤防状に変化していった。(図-3)

このように利根川では、水制の効果と河川の持っている自然の機能で現在の高水敷が形成されてきており、低水路の固定化がなされてきている。

また、水制及び高水敷造成による流速減少の効果等の水理的機能を把握するため昭和56年(1981)8月台風15号洪水(6,790m³/s)をもとに当該区間の左岸119kmで調査を行った。

当地先は、昭和56年(1981)には土砂の堆積などにより水制が確認出来るのは水際線付近と堤防寄りである。水際線から3～20mは、水制杭が埋没する程度の自然堤防が形成されている。

水制は、杭打水制で、縦横断間隔は1.2～1.5m、水制幹部は2列、頭部は3列である。自然堤防より堤防側の水制は灌木および雑木等(高さ2m)で覆

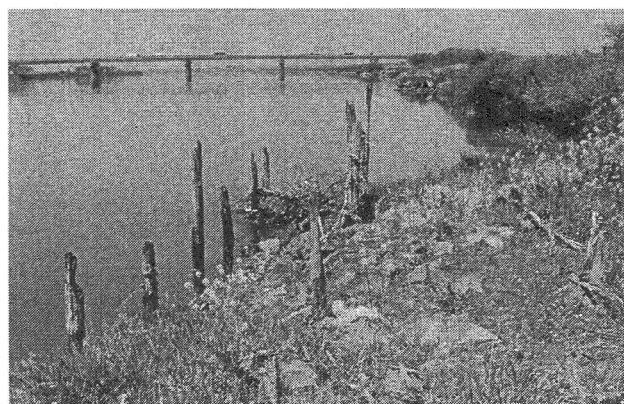


写真-2 旧水制と柳河岸で変化に富んだ

水辺の状況(2000.4)

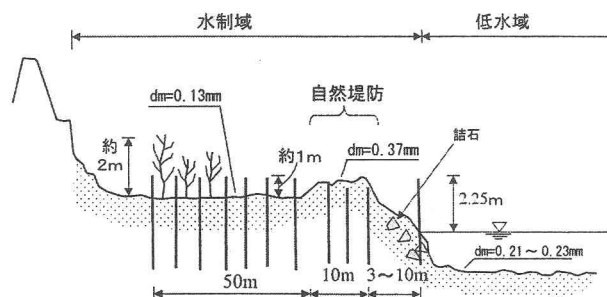


図-4 118kmの水制域横断面図

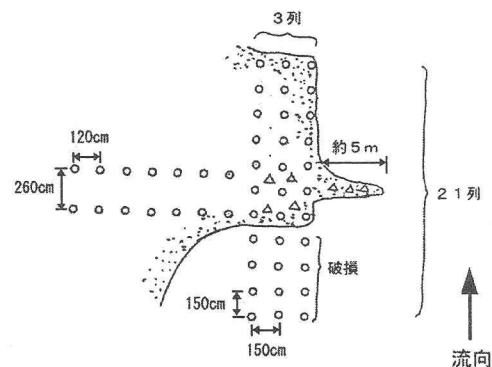


図-5 水制配置状況

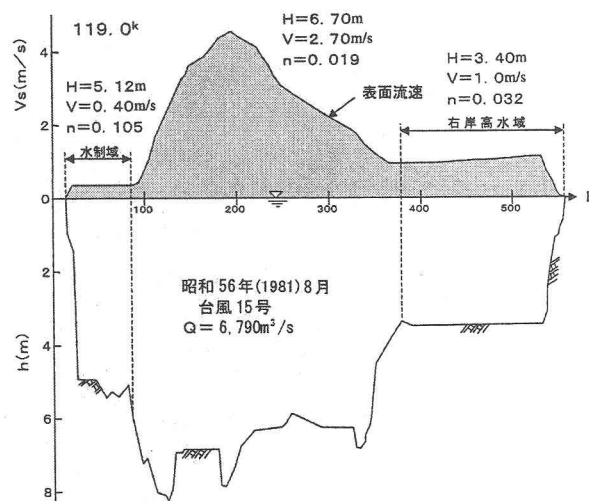
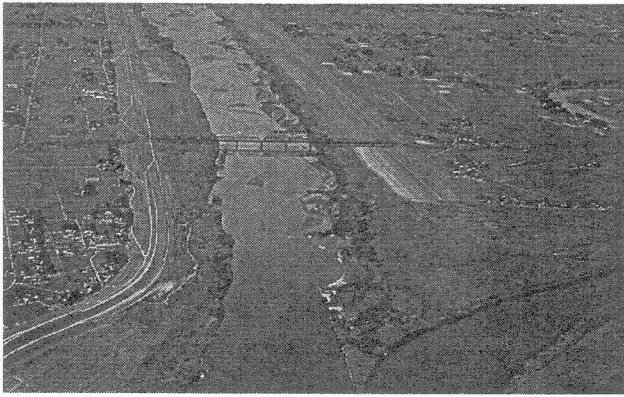


図-6 119kmの表面流速と水深の関係



写真－３ 旧水制により変化に富んだ水辺状況(134km)

われているが、杭頭は地盤高より概ね 0.3 ～ 1.0m 高くなっている。水制域の河床材料の、平均粒径は、自然堤防、低水域、水制域の順で大きい。(図－４、５)

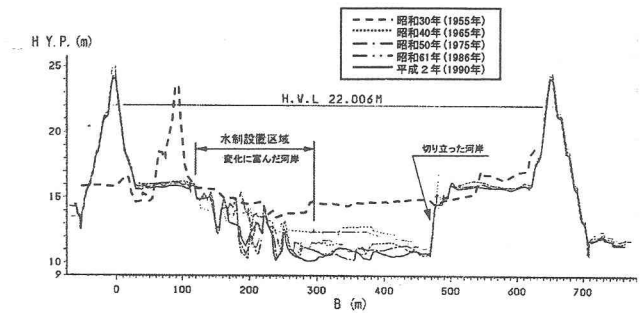
断面を横断方向に水制域、低水域、右岸高水敷の 3 分割し、各領域の平均流速および平均水深に対応する粗度係数を Manning 式より求めたその結果、水制域は最大水深 5.12m で流速毎秒 0.4m、粗度係数 0.105 で、粗度係数は、低水域の約 5 ～ 6 倍、右岸高水域（採草地）より約 3 ～ 4 倍の値を示している。水制域の流速は、右岸高水域の約 1/2 ～ 1/3、低水域の約 1/7 の値である。水制域の水深は、右岸高水域の水深の約 1.5 倍の値である。(図－６)

なお、水制域の流速減少効果が著しいのは、水制域に生えた灌木等の影響もある⁴⁾。

このように、水制による高水敷化は、洪水時の流速を減じ堤防の安定に大きく奇与している。また、明治から設置された一部の長大な水制は杭が流出してしまっているが、河床に設置された、粗朶や玉石は残り現在でも石の塊の不透過水制状になり機能している。これは、また河床低下を軽減しつつなだらかな河岸を形成し、水制の周囲に土砂が付き、ワンド、干潟など多様性に富んだ水辺を形成している。これは、他の河岸が河床低下に伴い、切り立った河岸となっているのと大きく異なっている。(図－７、写真－３、４)

根固工として設置された沈床、蛇籠なども河床低下で浮上り洗堀や崩壊している所もあるが、これらも河岸法先に捨石状になり河床洗堀、河岸侵食防止の機能を確保すると共に多孔質な河岸を作り穴居性生物等の生息空間をも形成してる。(写真－５)

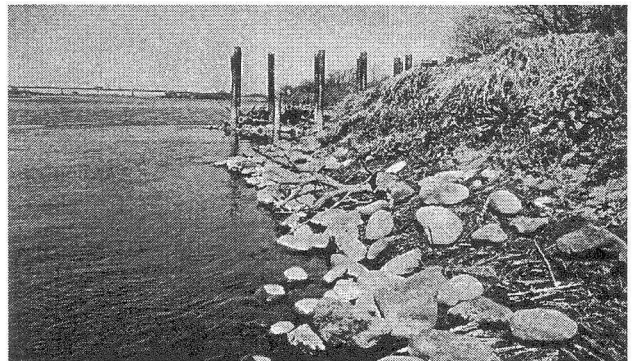
なお、捨石のように残っている旧水制や沈床の詰石は、20 ～ 40cm 程度の大きさである。これに対して利根川の洪水中の最大流速は 4 ～ 5m 程度になるが河川沿いは、これより遅くなり、基盤には、まだ粗朶沈床が残り洪水中でも石は河床へ潜り込むことなく、移動限界掃流力以下で安定している。石の大



図－７ 旧水制設置区間の変化に富んだ河岸状況(利根川 134km)



写真－４ 旧水制の詰石が水制状に機能して上下流に土砂堆積など変化に富んだ水辺の状況(134km) (2001.2)



写真－５ 旧水制や沈床詰石及び粗朶による河岸保護の状況(2001.3)

きさと移動限界流速の関係を示す米国工兵隊の評価式では堰下流のような激しい乱れが無いところでは粒径 25 ～ 45cm 以上あれば流速毎秒 3 ～ 4m 程度まで耐えられることになる。

これらは河岸を守り高水敷の安定を図っており、現在では、多様な環境を確保しつつ望ましい河道の複断面化が全川に及んでおり、堤防の安全にも寄与している。

５．水制と水辺環境の形成

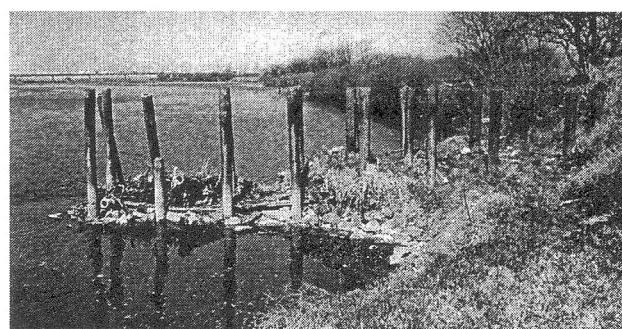
水制は、昭和 30 年代より 3 ～ 4m の河床低下で浮上り、先端部は流出したものも多い。しかし、土

砂の堆積と一体となり侵食に耐えると共に、水制間の河岸線上には、柳などが繁茂して、護岸などの特定な施設がなくてもほぼ安定した河岸を形成している。(写真－6)

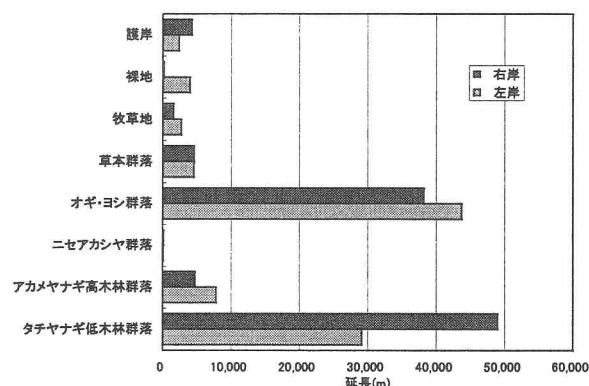
しかし、水制の周辺は、流速が増大するため、局所的に深掘れが生じる。現在は、基礎部の粗朶沈床や詰石により深掘を防いでいるが補強が必要な状況となっており、景観を損なわない効果的な対策法の検討が必要である。

水辺は、動植物の生息、生育の場であり、多様な環境を確保し生態系豊かなものとする必要がある。そのためには、水辺の環境を多様化し多くの動植物のハビタットを確保してやるのが重要である。河川の自然環境の最大の特徴は、流れがあることで、この流量、流速は地形、河床勾配や河道形状などの状況によって変化している。この水の流れの作用によって、蛇行や流れが速く水深が浅い「瀬」、水の流れが遅く水深の深い「淵」の形成ができ、河床の変化など様々な形状的な特性が生まれてくる。このような変化は、水制でもでき、水辺に多様な変化を与えることができ、水制周辺には静水域やワンドが形成され魚類の産卵場や遊泳力の小さい小魚の生息空間が確保され、洪水時には流速が弱められ水制の下流は魚類の避難場所ともなり、環境的にも良好な施設である。利根川でも多くの場所で、それらは確認する事ができる。(写真－3, 4)

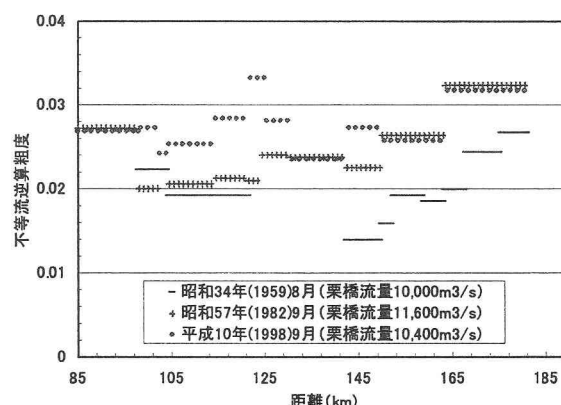
また、水制により保護されている河岸には多くの植物は生育している。これらの植生は、昆虫、野鳥、魚類の棲息環境を構成するほか親水性、景観など、その自然環境に大きく影響するもので河川にとって重要な要素であるとともに治水上も重要な働きをしている。河川の高水敷・河岸の樹木は洪水時の流水に抵抗し流速を低減し堤防や高水敷を保護している。河岸などは植物、特に柳は水辺に育ち根張りが良く流水に対する抵抗が強く、洪水時の河岸周辺の流速をおとし、根張りとともに土砂の流出を防ぎ河岸を保全すると共に水裏部には、むしろ土砂の堆積が促される。ヨシ・オギなどは、長い根茎を縦横に張り、その節々から根が生え地面に根付き、この根茎からも繁殖するので河道形状の変化しやすい水際でも環境の変化に応じ生育し群落を形成する。このため、洪水時の流水に対しては、しっかりした地下の根張りと地上部は流れに対して群落で増水によりしなやかに下流に倒れ河岸や高水敷を覆って保全し、減水と共に速やかに元に戻る自然の護岸の役目をしている⁵⁾。河岸の侵食時などもオギなどの地下茎と土壌からなるひさし状部分で侵食の抑制もしている。近年 10,000m³/s 規模の洪水に対しても水制とともに柳などの植物で十分に河岸は保護されているのが確認できる。また、柳などは、河畔林となり日



写真－6 河床低下で露出した杭水制と柳の河岸 (2001.3)



図－8 平成6年(1994)航空写真による利根川河岸植生状況



図－9 全断面の粗度係数の変化 (利根川上流)

射を遮断し影を作り水温変動を低減することや水生生物の餌となる落ち葉、陸生昆虫を提供するといった機能を有している。利根川では、平成6年撮影の航空写真などで河岸の植物を確認すると全川の5割の水辺は帯状の柳となっていて、護岸等のコンクリート構造物が延長の1割以下の7km程度である。その他は、オギ・ヨシ群落が4割の水辺河岸となっている。(図－8) 特に、117km～126km区間のようにカスリーン洪水以降に水制により高水敷化した箇所は、河岸から高水敷まで高木柳となり、その他コンクリート護岸根固上に土砂が付き柳が生えた箇所は低木柳が帯状となっている。

利根川の水辺沿いは、おおむね柳群落とオギ・ヨシ群落の豊かな推移帯のエコトーンが形成されていて良好な環境が形成されていることが確認できる。

しかし、河道内の植生は河岸の保護や生態系になくはならないものであるが、著しく大きくなると樹木などは時として洪水の流下にとっては阻害ともなる。流下を阻害する要素には他にも中州や湾曲などの河道条件などにより違うが過去の $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模洪水時の粗度の変化で比較してみると、昭和34年(1959)8月洪水と昭和57年(1982)9月洪水で比較するとほぼ全川で粗度係数が上がっていて、特に上流では著しく5～6割増となっている。これらの原因は、昭和34年はカスリーン洪水以降の大規模改修により河道の起伏が小さくなっているのに対して昭和57年は河床低下による中州の固定化や河岸が高くなるなどによる河道内の状況変化や植生によるものである。平成10年(1998)洪水では上流部の粗度係数は昭和57年(1982)とほぼ同じであるが、中下流部においては2～3割増大しており、これらは高水敷、河岸の柳などの成長によるものや河床低下による河岸の比高の増大、中州の発達などとの影響があらわれているためと思われる。(図-9)

このように河道の横断形状や樹木は流下条件に著しく影響あたえるものであるので注意を要する。

6. まとめ

広大で自然に形成されたように見える利根川ではあるが、現在のような低水路の形状になったのは、目には見えないが長い年月にわたり機能してきた水制による土砂の堆積や河岸の保護の効果がここで示されたが、河道の変化により、水制や木工沈床などが崩壊しても、詰石が捨石状になり安定して河岸保護しているのは水中の基盤にある粗朶沈床が機能して基盤の洗掘を防止し、石の安定が図られているためであることも確認できた。

水制は、コンクリートブロック張護岸のように流速を増し、単一の河状にならないことや水面と陸部を分断することなく多様な水辺を形成し、水位変化時に対しても多様な環境の創出することができる。特に、利根川のセグメント2の河道特性をもった区域では、杭打水制などは土砂の堆積や河床低下などの河道の変化にも応じて一部施設は崩壊しても長い年月にわたり、その機能確保し自然環境になじむものである。自然環境と調和した河岸の保全に水制や植生による組み合わせなど是有効な手法であることが確認できた。(写真-7) このことより、長期的に見た環境豊かで安全な川づくりのために我々の先

輩が行ってきた水制施工例から今後の川づくりを今一度学ぶべきであろう。

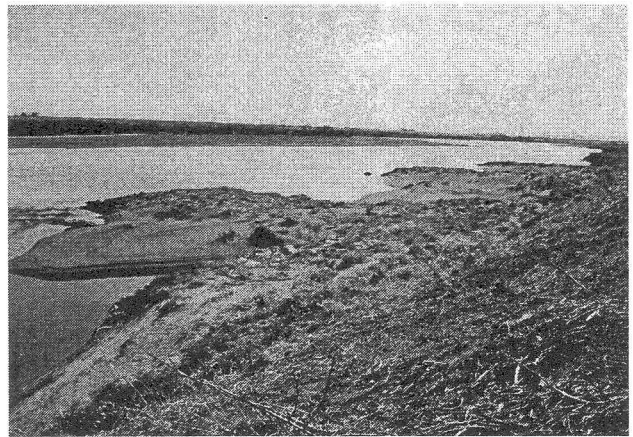


写真-7 147km 左岸カゴマット等による不透過水制3年目の土砂堆積状況(2003.3)

参考文献

- 1) 白井勝二,福岡捷二:利根川における護岸・水制の変遷とその今日的役割,土木学会論文集,2001
- 2) 山本晃一,藤田光一,佐々木克也,有澤俊治: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論文集,pp233-238,1993
- 3) 福岡捷二,藤田光一:洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響,土木研究所報告第180,pp129-192,1990
- 4) 藤井政人,山本晃一,深谷渉: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論文集,pp155-162,1993
- 5) 福岡捷二,渡辺明英,新井田活,佐藤健二:オギ、ヨシ等の植生の河岸保護機能の評価,土木学会論文集 No.5031 II-29,pp59-68,1994

(2003. 4. 11受付)