

利根川における護岸・水制の変遷と その今日的役割

CHANGE WITH TIME OF REVETMENT AND SPUR DIKE AT THE TONE RIVER AND THEIR ROLES OF TODAY

白井 勝二¹・福岡 捷二²
Katuji SHIRAI and Shoji FUKUOKA

¹正会員 国土交通省 河川局防災課 課長補佐 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関二丁目1-3)

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 広島市鏡山1-4-1)

The revetment and the spur dike have played an important role in controlling flood water, protecting levee and bank, and maintaining alignment of main channel.

However, conventional revetments made by concrete blocks have given a bad influence on water environment including river ecosystems, because banks covered with the concrete material are not fit for the habitat of life in a river.

On the other hand, the spur dike tends to reconcile both functions of flood control and river environment.

We need to learn a design concept of hydraulic structures executed in old times for today's river training works.

In the present paper, we investigate present conditions of revetments and spur dikess of the Tone River executed in old times. From this study, we attempt to clarify roles of these old revetments and spur dike, and draw a knowledge useful for today's hydraulic structures design.

Key Words : *revetment, spur dyke, Tone River, river bank protection, environment conservation, ship route maintenance*

制についてまとめる。

はじめに

我が国は、急峻な地形で急勾配の河川が多く、梅雨や台風といった時期に集中的な豪雨が起るため、古来より護岸・水制により、洪水流を制御して堤防や河岸を保護してきている。また、近年、河川にあっては、治水、利水の役割だけではなく、うるおいのある水辺空間や多様な生物の生息、生育空間の重要性が見直され、河川環境の保全や創出が求められている。水辺では、流水に対する河岸保全と環境の保全が調和できる工法として、水制工や土砂による覆土で植生が可能な護岸等の整備が進められている。

このような状況下において、利根川において従来から施工されてきた護岸・水制の構造や効果を明確にするため、護岸・水制の実態を整理し、治水や自然環境とのかかわりあいにおいて、その果たした役割を明らかにし、これからの時代の新しい護岸・水

1. 利根川の生い立ち

利根川は、荒川、渡良瀬川などとともに独立した河川として東京湾に注いでいたが、徳川家康が江戸に入府（1590）以来、地域の開発のため、栗橋以東の常陸川（鬼怒川水系）に流れるよう流路を付け替え銚子から太平洋に注ぐ日本一の流域面積（16,840km²）を有する河川に作り替えた。この人工的付け替えは「利根川東遷事業」と称されたがその目的は種々の説があるが、①江戸を洪水から防御すること②利根川・江戸川等を利用した舟運路の整備③流路の固定による新田開発などの多目的事業であるとの説が有力である。この事業により利根川の原形かでき江戸（東京）を中心とする関東平野の発展に大きく寄与した。

特に、利根川流域では、昔から舟を使った物資輸

送などが行われていたが東遷事業により利根川水系は、江戸と関東地域を連絡する一大水路網になると共に東北地方からの輸送も外海より安全な「内川廻り」になったことなどにより従来にまして利根川は重要な舟運路となった。

2. 江戸時代の河川工事

河川工事は江戸時代以前から行われており、自己領土の開発上必要な堤防や杭工、柵工などの水制の施工が行われた。その工法は甲斐の武田信玄の開発した聖牛などのように地方毎に工夫されて施工されていたものが多い。

江戸時代になり徳川幕府により全国が統一され、各地で開発や河川整備が行われるようになった。享保年間には諸藩の河川工事に対し幕費補助制度が設けられた。また、基準となるものが整備され各地で標準仕様で施工されるようになった。¹⁾

また、当時は河川を中心とした、大規模な土木工事は少なく人力により地先の川底の掘削と、その土を使った搔上堤などになる工事が中心であった。しかし、自然災害は今日と同じく毎年のように発生し、多くの人命や農作物に被害を与えた。大規模な自然災害に対しては被災地以外の諸大名による「御手伝普請」が行われた。利根川でも17回の御手伝普請が行われた。寛保2年(1742)の災害でその実態を見ると7大名により御手伝普請が行われた。当時の目論見書や図面を見ると河岸保護や水刎のための棚牛、敷籠乱杭出、堅籠、並杭、萱羽口などの工法が確認できる。その材料は、松や杉丸太、竹籠、萱などであり施工は地元の村人が人夫として雇われた。^{1), 2)}

3. 低水工事と護岸、水制

明治時代になり、新政府は殖産興業、富国強兵政策のもと国作りが進められたが、その基盤の一つとして河川整備も進めることとなった。そのため技術的にも優れているオランダ人の御雇技師を招いて流量観測や全川にわたる測量を行い、その実態を踏まえた全川一定の計画が始めて行われた。これ以降河川勾配や流量等をもとに近代河川工学に基づく河川改修が始まった。しかし、その当初は大量の物資輸送の手段として舟運は重要な役目を果たしており、河川も舟運路としての整備が急がれ国の直轄事業として進められたが、高水対策は地方で進めるものとされた、その内容は災害の復旧が主であった。舟運

は、陸上輸送の中心の牛馬では米で2俵であるが、利根川に舟航していた高瀬船は1, 200俵(吃水1m)から300俵積みで6から3人で航行することができ効率的であった。⁴⁾

舟運路確保のため導入された工法は、オランダ人技師の指導により設置された「ケレップ水制」であり、我が国が従来から施工した杭出、石出、聖牛などの水制工法と違い沈床または単床の上部に敷粗朶を施工し砂利や栗石を中詰に弧状に割石、玉石で張り上げた長大な水制である。(図-4)そのため、施工高さは低水位程度とし洪水時には上面を越流する不透過の水制である。これは、河道内に小堤を作るようなものであった。

水制の設置は、舟運を目的とするため低水路幅を120mに狭め低水時でも水深を4尺(1.2m)確保するものであった。(図-2)設置状況を明治16年(1883)の迅速図で確認すると水制は6本であるが明治42年(1909)の利根川第三期改修計画図には低水路幅を一定に保つよう、緩い曲線状にしつつ対岸の影響を少なくするために左右岸から相対させボトルネック状に設置し、水を遊ばせ舟運に適したことが確認される。川俣(151km)～取手町(85km)間では332本の長大な水制があり、その幹部の総延長は13, 680間(24.9km)、流頭部の延長は15, 072間(27.4km)で、流路延長の42%に達する^{5), 6)}ものであった。(図-1, 図-3)

4. 高水工事と護岸、水制

利根川は、明治29年(1896)の大洪水以降、高水対策の重要性が認識され明治33年(1900)から佐原より下流の改修が開始され、その後、取手まで施工中であった明治43年(1910)の大洪水により未曾有の大水害となった。これを契機に改修計画が見直され取手より上流部も早期改修の要望がなされた。この計画では、利根川の治水の要であった上流部の中条堤(霞堤の遊水機能)を廃し、上流部から連続堤防による洪水処理計画となり、その河道の流下能力を5, 570 m^3/s とするものであった。その結果、全川で河道拡幅が行われ新堤防が全川の65%、旧堤拡幅24%、無堤(高台、山付)11%となった。⁶⁾(図-3)このため、旧川締切や新たに水衝部となる所が生じ多くの箇所護岸が施工された。低水路は従前から舟運路として整備、利用されており、その後も舟運の必要性から、従前の水制を生かし、その補強や新たに必要になった箇所水制が設置された。これによって乱流を防

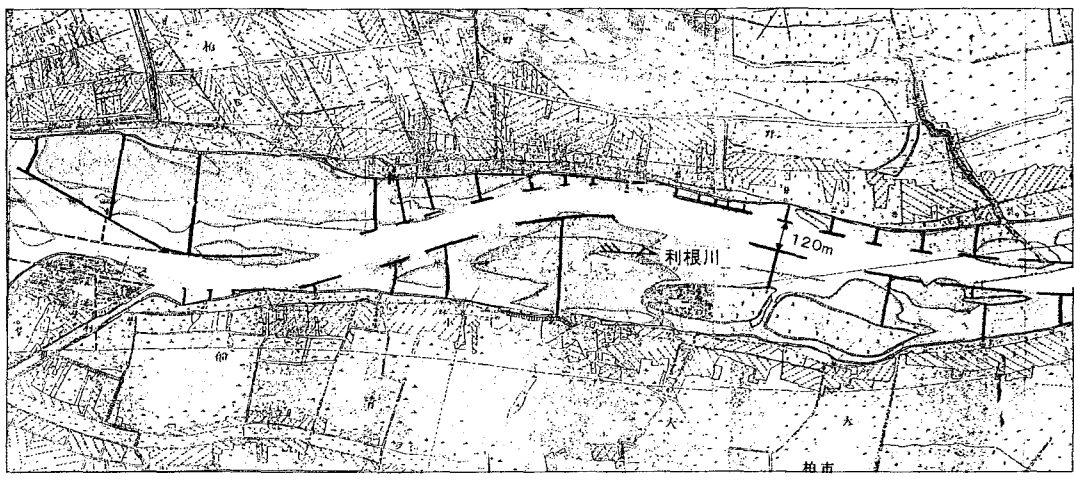


図-1 ケレップ水制設置状況図 (明治42年利根川改修計画図)

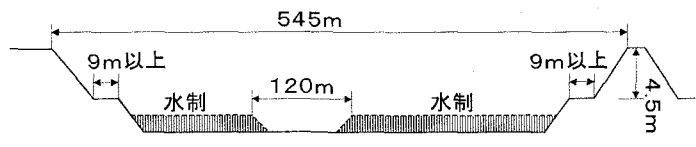


図-2 改修標準横断面



写真-1 幹部ケレップ水制・
流頭部杭打上置工の水制

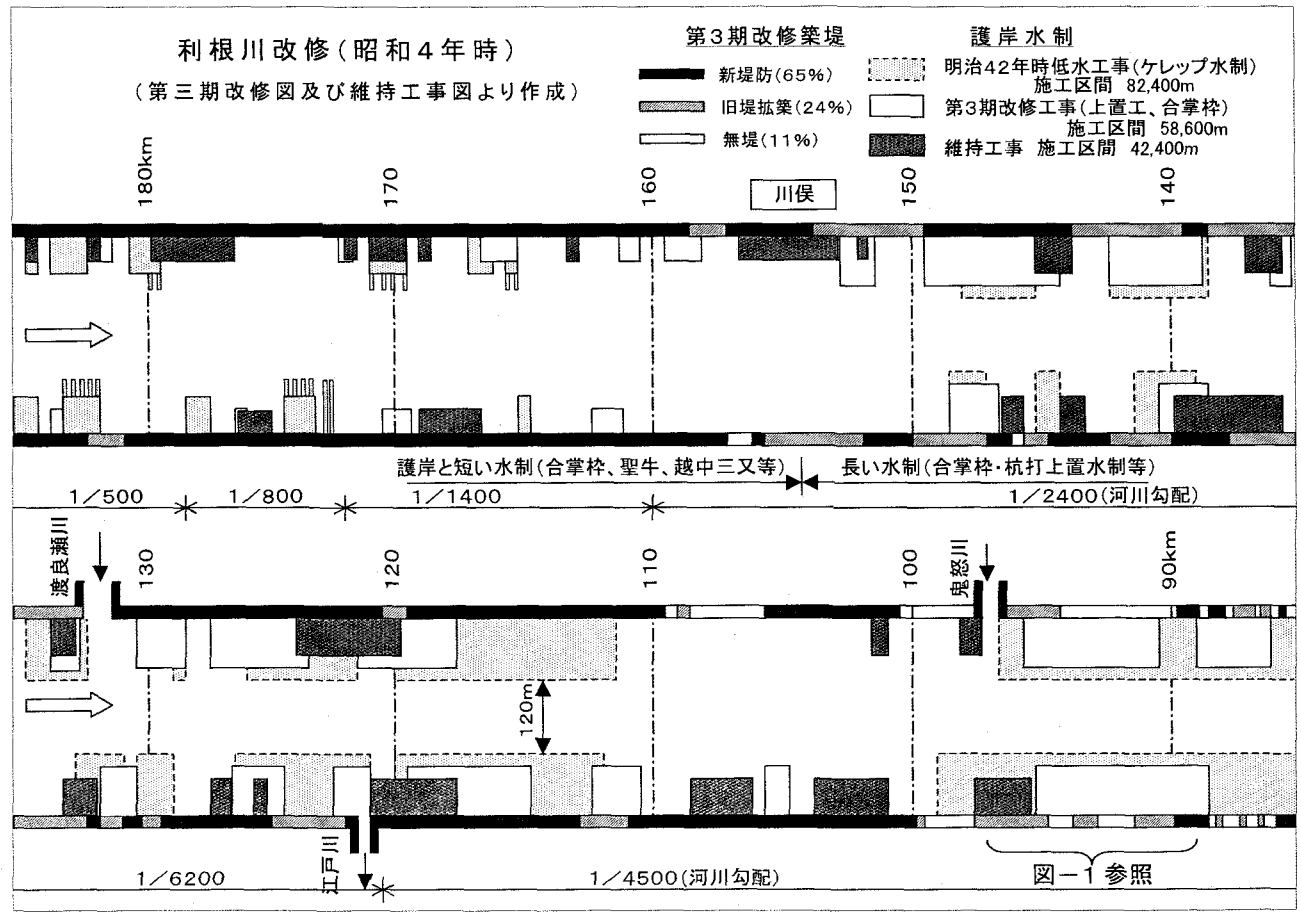


図-3 水制設置状況 (昭和4年まで)

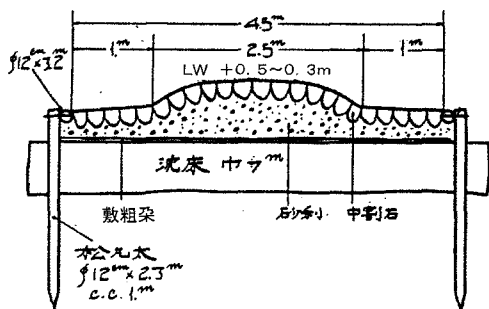


図-4 ケレップ水制（上層工）

改善

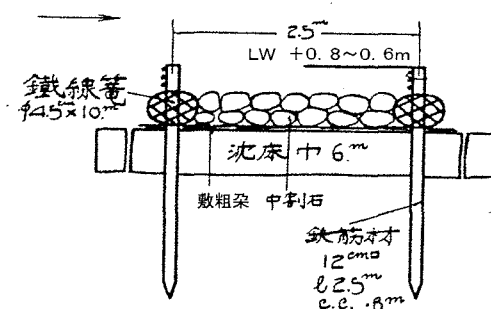


図-5 杭打上置工

止し良好な航路が確保された。なお、従来から施工された施設もその後の洪水等により被災を受け維持、補修が行われたがその設置数量も増大し改修工事が進むなか水制は安価で安定したものが求められた。長大なケレップ水制（図-4）は低水位程度の高さに石張りを行うため出水により施工日数が制限され、年間120日程度と施工性が悪いことや非越流構造であるため周辺が洗掘される事が多く洪水毎の破損流出が著しかった。そのため、透過性がよく土砂の堆積効果も良い「杭打上置工」（図-5）が開発された。これは、張石をやめて沈床に杭を2.5～3m間隔に2列に打ち、その中に割石や玉石を詰めるものであった。これにより水制の上を越流する水流の流速が減少するため、対岸への影響や先端の深掘れも少なく水制自体の安全が確保されると共に上下流の土砂堆積も多くなった。また、施工工期も短縮され、大正12年（1923）の関東大震災の復旧では短期間での復旧が可能であった。

また、合掌杵は、棟木まで石を詰めていたため不透過工となっていたが、詰石を高さの2/3とし、棟木、布木等を長さの方向に連結し、これを2列または3列に並べて設置することにより勾配1/300位の場所にも用いられるように改良された。流域に火山地帯を持ち流出土砂の多い利根川では、特に杭打水制や合掌杵は土砂堆積も良好で舟運路としての低水路の安全確保に役立った。

なお、利根川は利根川東遷の始まりの川俣地先（羽生市）から河川勾配も変化し上流部は礫質で低水路は明確でなく乱流激しく堤防保護の石張護岸や牛、杵類の水制が多く施工されている。一方、下流は砂質で舟運路確保のため長大な杭打上置などの水制が設置された。（図-3）その区間の河川勾配は1/2,400～1/6,200で、水制間の土砂堆積が良好なものを調査した。水制の間隔（d）は川幅、流速、流向、水制の長さ、河床の状況によって異なるが水制の長さ（L）で見ると直線部では $d = 4.23 L^{0.843}$ 、凸岸部では $d = 5.29 L^{0.824}$ 、凹岸部では $d = 3.13 L^{0.866}$ であった。⁵⁾（図-6）上流部の護岸前面

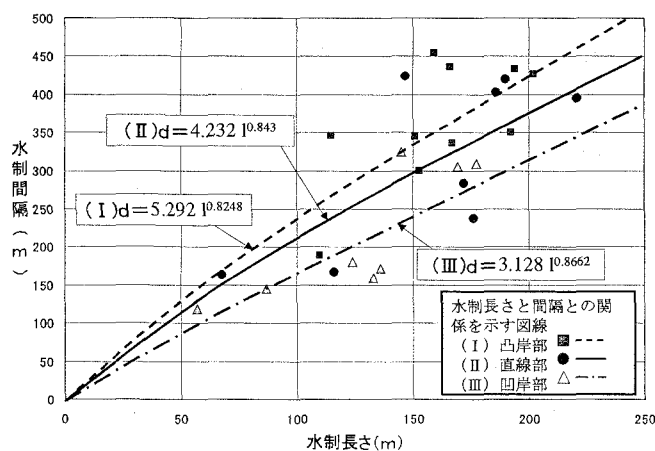


図-6 水制の長さと水制間隔

の床固水制は、一般に長さ10～30m程度で、その間隔は $d = 2 \sim 3 L$ が適当であった。

また、河岸保護のために現地に自然に生える柳を使った「柳枝工」「柳蛇籠工」「挿柳」などの工法が簡易で工費も安価にでき効果は顕著であり多くの箇所で行われた。柳は水辺に適した植物で細根の繁殖により法面が固められ、繁茂する枝葉により流速は軽減され土砂の沈殿を誘致するなどの治水効果も大である。なお、水制の材料も耐久性が求められ昭和に入ると鉄筋コンクリートを用いるようになった。このように場所により、その構造を変えるなど様々な改良や工夫が現場の経験をいかし行われた。

5. カスリーン台風以後の護岸、水制

戦後の昭和22年（1947）のカスリーン台風では、利根川は破堤など大被害を被り、計画高水流量が見直され当初計画の3倍の17,000 m^3/s に改定された。この流量の増加に伴って、水深は2.5m～3.0m増加し、流速並びに掃流力も増大したため、流水による破壊力が増大する事となった。また、カスリーン台風では、上流部で行った柳枝工、柳蛇籠等は流出し、護岸前面の洗掘、天端裏の侵食、合掌杵先端の洗掘等が生じ多くの護岸、水制が流出

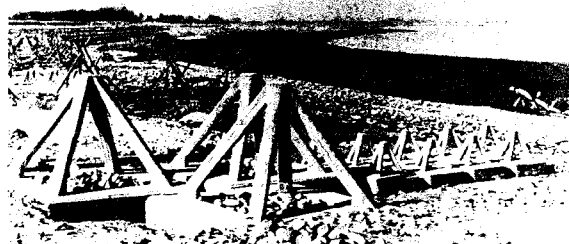
した。このため、護岸、水制の改良強化が図られた。具体的には、護岸法覆工の張長を長くして天端部の折返しにも張り、上流部の水衝部高水敷には床固工、水制を施行した。（写真－２）根固工は、木工沈床又はコンクリートパイル方格３層とし、沈設の量は２から３割増しとした。根固水制は、合掌杵、牛杵の洗堀の恐れのあるところは杭打水制としコンクリートパイルを中心に延長１５ｍから２０ｍのものを多数設置することにした。（写真－３）また、川俣地先より下流部では、堤防の安全性を確保するための高水敷造成の水制は、長大なものから延長５０～１００ｍに短縮し重蛇籠で杭脚部を保護するなどの改良を行った。これにより高水敷が確保され、現在水制間の河岸には柳などの植生が繁茂し、多様な環境を確保しつつ安定している。

これらの工法も熟練工や材料の石が不足するようになり、昭和４０年代よりコンクリートブロックが出まわるようになった。品質の基準化や標準仕様書も整備が進み多量に生産できることや自由に形状、重量が変えることができ、直接河岸を守ることから、多くの箇所で使用されるようになった。その構造は、間知形、平形と様々なものが開発されたが総じて平坦な法面となり流速を早めることが少なくなかった。また、生態系にとって重要な水辺を単調化し、水面と陸部を分断してしまった。根固工も現場で使用目的に合った形状や重量が選定できる異形コンクリートブロックが制作されるようになり、深掘箇所なども大型クレーンの発達で機械化施工が可能になったため、従来の杭打水制等の施工は行われなくなった。

昭和３０年代より利根川では、河道浚渫や上流部の砂防、ダム整備などによる供給土砂の減少のため著しい河床低下が生じた。このような河床低下は、河積の増大につながり流下能力が増大するが、一方で取水施設や橋梁及び護岸、根固工などを浮き上がらせる事になり、時により施設の崩壊などの悪影響が生じた。しかし、利根川では、従来施工された杭打水制等により河岸は守られ河床低下は低水路を中心に生じたため、比較的稳定した高水敷（冠水頻度２回／年）が確保されている。（図－７）（写真－４）

6. 護岸、水制の果たしてきた今日的役割

利根川は、明治に入り舟運路確保のため長大な水制が設置された、これらにより舟運の便は大いに改善され地域の経済の繁栄につながった。明治４３年の大洪水以降大規模な河道改修が行われるなか舟運路を確保するため水制の構造はケレップ水制から杭



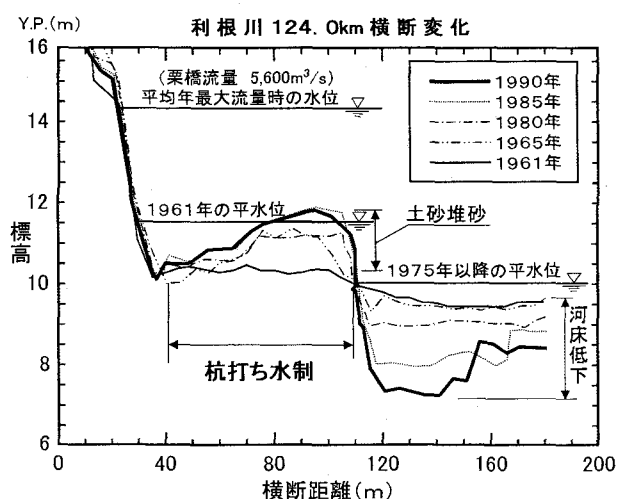
写真－２ 高水敷まで設置された
四基構ブロック水制



写真－３ コンクリートパイルによる
杭打水制



写真－４ 河床低下による水制浮き上がり
でも古い水制で守られる河岸



図－７ 河床低下に伴う横断変化図（利根川 124.0k）

打上置水制等に改善が図られた。これらの水制がベースになり水制間に土砂が堆積し、次第に安定した高水敷化が形成され、堤防の保護や高水敷の多目的利用がなされるようになり、地域の人々に利用されるようになった。

その後の河床低下時もこれらの護岸、水制により河岸は保全され、低水路のみ河床低下が生じ、現在の安定した河道が形成された。また、河床低下により護岸、水制が浮き上がり、沈床や蛇籠は腐食したが、内部の詰石や法先の杭などが捨石的な役目を果たし、柳などの植生も繁茂し現在でも河岸保護に役立っている。（写真－５）また、河川内の長大な水制の杭も殆ど無くなっているが詰石や粗朶は、その場に残り土砂が溜まり固定化され河床低下によって再び浮き上がり低い石の塊となり非越流型の水制水制と同様な機能となっている。これらの構造は多孔質の空間やワンドの形成などにより多様な水辺環境を形成している。また、近年の10,000m³/s程度の洪水に対しても安定している。（写真－６）

自然に形成されたように見える河道も明治から営々と施工された水制等の働きにより、現在の高水敷、低水路が形成され保持されていることは、その機能からも意味深く、また評価されるべきである。

これらの実態を踏まえ現在河川に求められている自然に優しい川づくりのため従来の護岸、水制による流速の減少や水制の機能などを十分に生かし土砂堆積や河岸保護のため各工法との組み合わせなどによる活用が望まれる。

おわりに

護岸、水制は、その時代の要請に応じ施工され、その役目を果たしてきた。護岸、水制の変遷の過程では、現場で注意深い観察が行われ改善が図られてきた。現在は、治水、利水、環境の調整が求められている中で、多様な環境を維持、創出していくためにも各河川の環境や特性を踏まえ、準三次元河床変動モデルなど^{7)・8)}による水衝部や河道の変化を適正に予測し、護岸、水制構造の持っている機能を生かした配置、組み合わせなどによる施設計画は可能で、有効であると考えられる。

多くの河川で施工されたコンクリートブロックによる平坦で直線的な河岸や河川全面にわたる安易な床止めによる流水の連続性の阻害等による生態系への影響をなくすためにも、河岸を保全しつつ川身を固定する水制を始め、自然の石木材や現場発生材を耐久性の改善された鉄線籠や袋材を利用し中詰とし



写真－５ 木工沈床が崩壊し捨石状になり
河岸を保護している



写真－６ 水制杭は流出しているが石が残り
不透過の水制状になっている

て使用する。また土砂が付き早期に安定する所や水中などでは間伐材を使用するなど今日の現場での課題も含め、その特性を生かし自然にやさしく生態系にも配慮した護岸、水制をもう一度活用できる様に河川特性をよく観察し、護岸の力学設計法⁹⁾などにより、その安定を確認しつつ現地での試験施工や調査、研究を進め確実なものとしていくべきである。

参考資料

- 1) 眞田秀吉：水制，日本水制工論，岩波書店，p3, 1931.
- 2) 上利根川御普請手伝一事記録，山口県文書館.
- 3) 寛保2年（1742）武州上利根川御普請御手伝，岩国徴古館.
- 4) 利根川百年史，利根川舟運の発達，建設省関東地方建設局，p380, 1987.
- 5) 護岸水制工，昭和4年度工務報告，内務省，1929.
- 6) 利根川第三期改修計画図，内務省，明治42年，1909.
- 7) 福岡捷二：治水にかかわる河川水理学（水制），河川水理学基礎講座，応用生態系工学研究会，p72~79, 1998.
- 8) 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，N443/II-18，p27~36, 1992.
- 9) 財団法人 国土開発技術研究センター：護岸の力学設計法，山海堂，1999.

（2001. 10. 1受付）