

伝統的河川工法に関する研究

研究第二部 主任研究員 樋口 経太

研究第二部 次 長 関 克己

研究第二部 主任研究員 美 寺 寿 人

1. 研究の目的

わが国は昔から地形や気象等の自然特性や社会的特性により洪水災害が多いことから、河川の氾濫域の住民の生命と財産を守るための治水事業は非常に重要なもので、築堤を中心とした河川改修の歴史を無視することはできない。現在と比較して技術力に大きな制約があったが、築堤においては霞堤、輪中などの非連続堤方式が用いられ、また河岸防御には自然素材である石や柳など組合せた護岸や木杭水制、河岸林等が用いられた。現在ではより効率的な洪水処理のため、河道の直線化ならびに伝統的河川工法の洪水時における強度面や耐久性の不安、木材や石材等の材料の入手難や価格の上昇、施工技術者の高齢化や不足などから減少し、コンクリート系素材による河岸防御に変わり、より河川の流下能力は向上したが一方で水辺の生物の生息・成育に必要な河川空間の多様性は失われていった。

そこで今日進められている多自然型川づくりにおいて、伝統的河川工法の使用する材料の改良や工法の工夫により、安全で自然の川の持つダイナミズムや生物の生息・生育に配慮し、周囲の自然になじみ、時間の経過とともに自然にとけ込み一体化するような工法の検討が必要である。

こうした状況において、伝統的河川工法が多自然型川づくりに多用されているが、必ずしもその評価が定まっているわけではない。その上、伝統的河川工法の実態が適切に把握されていないために、その活用方法が不適切であるケースも見られる。

したがって、本研究においては、護岸・水制

としての伝統的河川工法が有する機能、その構造、施工上の諸課題などについて総合的に検討したものである。

2. 伝統的河川工法の分類と変遷

(1) 伝統的河川工法の分類

伝統的河川工法は、その用途、素材、構造等に応じて多様な種類がある。本研究では表-1に示す79工法に分類した。

(2) 伝統的河川工法の変遷

伝統的河川工法は、単純な構造から複雑な形状・構造へ、あるいは小さなものから大きなものへと規模が変化するなど、河川の状況に応じた工夫、改良が施されてきた。そこで過去からの構造や素材の改良点、使い方の変化を調べることでその工法の特徴を把握する。ここでは代表的な工法として沈床工法と牛類についてその変遷を以下に示す。

① 沈床工法

粗朶沈床や粗朶単床、その応用としてのケレップ水制等の粗朶工法は、明治初期、来日したオランダ人技師によって紹介されたものである。その後、急流部において強度の不足や、粗朶沈床がたびたび流出したりすることから、丸太を井桁に組み合わせた木工沈床が考案された。しかし、木工沈床は屈撓性が少なく、河床が洗掘されてもこれに順応して沈下することができない点が指摘され、それを補う変形木工沈床、可動木工沈床などの特許工法が考案された。

② 牛類

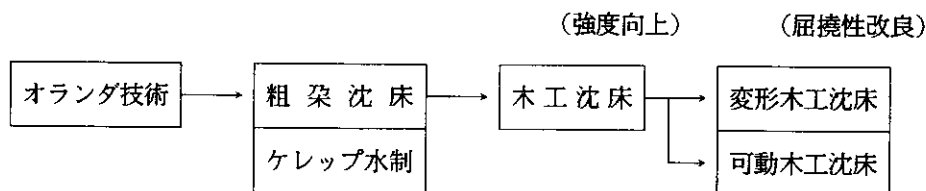
牛類の最も初歩的なものは牛枠であり、時代によっては正四面体等の牛も作られた。そ

の後各地の条件に最も適した形に変化しながら、材料の進歩に伴って今日伝えられるような各種の牛類が考案された。また粗朶工法

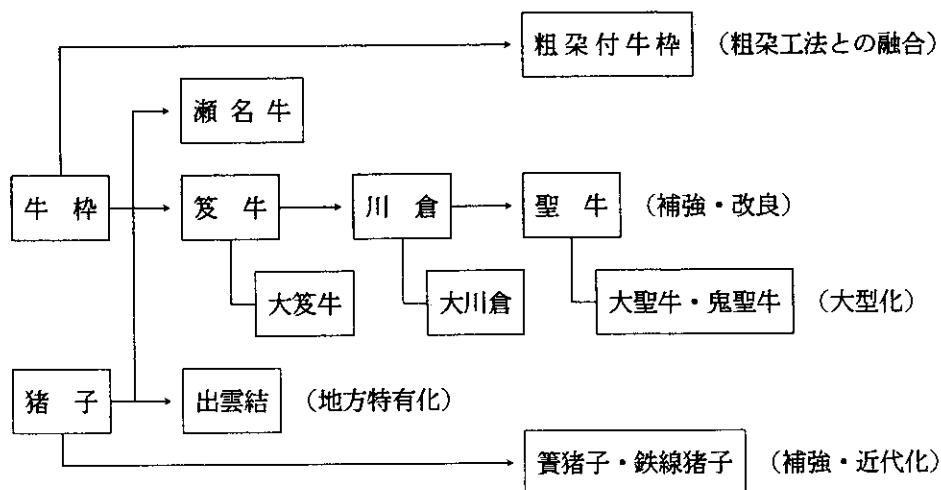
が導入されて以降、杵の下に粗朶沈床を組み込み牛の安定を増すために粗朶付牛杵が施工されたこともある。

表－１ 伝統的河川工法の分類

①法覆工	芝付工：芝付工
	羽口工：萱羽口・粗朶羽口・石羽口・石羽取・土俵羽口
	法柵工：柳枝工・栗石粗朶工・投掛工
	籠工：蛇籠・包柴工・柳蛇籠・粗朶籠
	石積工：石積工
	石張工：石張工
②法留工	土台：一本土台・梯子土台・片梯子土台・木床土台
	柵工：竹柵工・粗朶柵工・連柴柵工・板柵工・丸太柵・杭柵工
	杵工：杭打片杵工・片杵工・石杵
	籠工：前記の籠工と同じ
③根固・ 水制工	捨石工：捨石工
	寄石工：寄石工
	沈床工：粗朶沈床・粗朶単床・木工沈床・ケレップ水制
	籠工：前記の籠工と同じ
	牛類：牛杵・笈牛・出雲結・猪子・瀬名牛・川倉・聖牛・越中三叉（鳥脚） 菱牛・尺木牛・棚牛・百足杵・片牛・鞍掛棚牛・三基杵・尺木垣・ 八頭牛
	杵類：片杵・沈杵・よう杵・継杵・立杵・地獄杵・楯杵・鱗杵・鳥居杵・ 弁慶杵・胴木牛・三角杵・法杵・合掌杵・左五右衛門杵・石詰左五右 衛門杵
	出し類：小石出し・土出し・石出し・杭出し・籠出し・屏風出し・藪出し・ 流し出し・梁掛杭出し・障泥出し・立竹出し



図－１ 粗朶沈床の変遷



図－２ 牛類の変遷

3. 伝統的河川工法の特徴

(1) 治水面での特徴

伝統的河川工法については一般に屈撓性、分離生、経済性、施工性が優れていても、強度、耐久性といった外力に対する安全性に劣る場合が多い。しかし、各河川とその区間の特性に応じた工法の選定や設置等によりそれぞれの河川の特性と協調することにより治水上有効であると考えられる。

(2) 環境面での特徴

伝統的河川工法における環境的な特徴としては、一般に以下よう特徴が考えられる。

① 生物の生息環境としての特徴

様々な大きさ、連続性の間隙が形成され、その間隙に応じて魚類や小動物などの生息の場となる。

② 景観面からの自然性

自然材料を使用することにより、自然な景観に馴染みやすく、間隙に植生が繁茂しやすい。

したがって、自然環境（生物の生息環境）の視点から伝統的河川工法の特徴について以下に整理する。

a. 構造的（物理的）な側面

- ・部材が不連続である。
→空隙があり、その空隙が複雑に連続する。
- ・構造が画一的でない。
→様々な大きさ、奥行き、空隙ができる。
- ・不均一な護岸が形成される。
→複雑な水際、河床ができる。
- ・単体、群としての機能。
→構造的不安により河川の特性に応じた使用。
- ・構造の機能低下（老朽化）。
→自然化。

b. 材質的な側面

- ・使用材料が天然材料（石、木、植物等）である。
→空隙を創出する多様な材質。
→表面の感触が異なる材質。
→材料の色（反射）が天然色。
- ・材質が時間的に変化する。
→腐る、生育するなど自然に変化に追随。

c. 生態系としての側面

- ・自然のダイナミズムの影響を受けやすい。
 - 生物にとって望ましい生息・生育環境を創出。
 - 洪水による環境の攪乱が起こりやすい。
 - 植生の遷移を許容。
 - 水域から陸域への連続性を確保。
 - 空隙により湧水を保全。

d. 景観的な側面

- ・河川の特性に応じた工法。
 - 不自然さが無い。
- ・自然材料の使用。
 - 周囲の自然に馴染みやすい。

・時間の経過。

→空隙に土砂が詰まり植生が繁茂。

・牛柵など孤立的に設置。

→河道のスケールと違和感が生じたり、破壊された木工沈床などの朽ちた姿など、景観におけるマイナス的側面もある。

そこで、比較的多く採用されている伝統的河川工法で粗朶沈床、木工沈床、柳枝工・栗石粗朶工、蛇籠、石積み、捨石について、それぞれの特徴（構造的・材質的な側面も含まれる）を具体的に分析し、表-3に整理した。

表-3 伝統的河川工法の特徴

○粗朶沈床
・柔軟性に富み屈撓性に優れており、河床形態に応じて密着し荷重を分散させる特性があり、根固めの効果がある。 ・基礎の土砂の吸い出しに対してフィルターとしての性質があり、もし土が吸い込まれ河床が変化してもそれに追従する。 ・沈床がそれぞれ分離している。 ・詰め石に重量があり、それぞれに摩擦が働き容易に動かず一体性を保持する。 ・水中では酸素との反応が非常に少ないので朽ちることもなく耐久性がある。 ・面的に大きいので工事の仮設に熟練した技術者がいなければ施工が難しい。 ・河川の緩勾配（水面勾配1/2,000以下）に適応し、これより急な箇所の根固には沈柵または方格柵を使用。
○木工沈床
・粗朶沈床より強度があることから、急流部などで粗朶沈床では強度が不足する場合に使用する。また流速が急で詰石が脱出しそうな所は蓋成木を取付けことがある。 ・屈撓性が少なく、河床が洗掘されてもこれに順応して沈下することができない。 ・木工沈床は、一般的には3～4層であるが、水深に応じて2層から6層まで施工することも可能。 ・中詰石の多様な空隙が魚類等の生息環境を創出している。

○柳枝工・栗石粗朶工 ・流れに対して柳が有効に作用し抵抗性がある。 ・柳の毛根が背面の石あるいは土粒子を囲み分離を防ぐことにより法面を流出から守る。 ・成長した柳が洪水時の粗度係数を増加させて流速を弱める。 ・柳の成育は水際部では柳の発芽が良く干満潮箇所は謙著であるが、法肩の柳は、発芽しにくい。 ・柳が大木になると洪水時に堤防に悪影響を与えるので、2～3年に一回、柳の上部を伐る。 ・杭木と杭木の間に柳を挿すより、杭木を柳にした方が良く発芽するとともに経済的である。 ・若木ほど活着が良く、また季節にもよる。1月頃に挿すと4月頃には根が着いている。 ・柳の繁茂により、鳥類、魚類、昆虫類の生息地を提供する。
○蛇籠 ・屈撓性に優れ地盤が変形しても、その変形に追従し、完全に破壊されるに至らない。 ・屈撓性に富むことから河床の洗掘に抵抗する。 ・どこかが少し離れてそれだけが流出しても、周囲に伝わらない。 ・透過性が優れており、地下水が高く圧力がかかる場所で水抜きが必要なところに有効である。 ・非常に空隙がある構造物なので空隙が生物の生息の場となるとともに、土砂の堆積により植生がその間から繁茂する。5年ぐらいで大体周辺と調和するような植物が繁茂する。魚に関してはウナギやナマズのような魚の生息に良い。 ・施工面において石材料が不足や、厳密な施工が難しい。 ・円柱構造であることのメリットとしてはあまりない。円柱構造であるため、作業が機械化できないとか、厳密な施工が難しい。 ・鉄材の腐食や石による切断などの問題に対し、改良が必要である。 ・網目に足が入ったりして歩きにくいことから親水性に劣る。
○石積み ・石の重量により強度を保つとともに、石同士が噛み合うことにより、摩擦の作用により安定を確保。 ・流れに対する抵抗性が高く、裏込めにより河岸の土砂が吸い出されることはなく、水圧に対する抵抗性がある。 ・空石積みや乱積みの護岸には、ナマズやウナギ、コイ、フナなどが生息しやすい。 ・空石積みでは、根が洗掘されるともたず、直ぐに壊れてしまうため、根入れを確実に行う。 ・石の間に空隙があるため湧水が保全できる。
○捨石 ・粒径の大小よく混じった碎石を投入するのであるから、大きなものほど下の方に落ちつき、流れの浸食力と対応した安定度を持たせることができる。 ・捨石により粗度が十分大きくできるから、流速減殺効果がある。 ・石のかみ合わせにより比較的高流速に耐え、また碎石が落下、あるいは流下した場合にも天端からの投入により補修が容易である。 ・構造が一体的でないため、軟弱地盤にも適応する。 ・河床低下の恐れのある河川では非常に有効な工法である。

(3) 伝統的河川工法と河川特性

伝統的河川工法の計画にあたっては、河川特性に応じた適切な工法の選定、規模、配置等の検討をしなければならず、しばしば経験則に負うところが多い。よって、各工法と施工対象

の河道条件等に関係について整理し、表-4にまとめた。これらはあくまでも定性的で過去の経験則による。

表-4 伝統的河川工法と河川的特性

工 法	工 種				水 制	流 勢			河床勾配			河 床 材 料					摘 要
	法 覆 工	根 固 工	護 床 工	土 台 工		強	中	弱	急	中	緩	石	砂 利	砂	泥	そ 他	
芝 付 工	○																
萱 羽 口 工	○					○					○						応急工事、仮締切工事等を使用
粗 朶 羽 口 工	○					○					○						応急工事、仮締切工事等を使用
石 羽 口 工	○					○											
石 羽 取 工	○																
土 俵 羽 口 工		○	○														
柳 枝 工	○										○	○					
栗石粗朶工	○					○			○								柳枝工では不十分な所に設置
投 掛 工	○					○			○								柳枝工では不十分な所に設置
蛇 籠 工	○				○								○	○			
包 柴 工		○	○								○	○					
柳 蛇 籠 工	○									○							
粗 朶 籠 工	○				○								○	○			
石 積 工	○								○			○					
石 張 工	○								○			○					
一本土台工				○												地盤良好	土圧の少ない所で使用
梯子土台工				○													一本土台では不十分で杭打ち みが不可能な所
竹 柵 工	○										○						水深1.0m内外の箇所
粗 朶 柵 工	○										○						竹柵工と同じ
連 柴 柵 工		○		○													
板 柵 工	○										○						
丸 太 柵 工	○				○												竹柵工より耐久性大
杭 柵 工		○		○													
杭 打 片 粹 工		○		○													
片 粹 工			○										○	○			
石 粹																	
捨 石 工		○	○		○												地盤が軟弱な所に使用
寄 石 工																	
粗 朶 沈 床		○			○						○			○			深泥箇所には1～3枚重ねて 使用
粗 朶 単 床		○															水深が浅い所または粗朶沈床 の下に布設
木 工 沈 床		○		○													
ケレップ水制			○		○												
牛 粹		○			○				○	○		○	○				仮締切、瀬替え、用水堰等を使用
笈 牛					○												仮締切、堰等を使用
出 雲 結													○	○			仮締切等を使用
猪 子									○							砂礫	仮締切等を使用
瀬 名 牛					○												
川 倉									○								

工 法	工 種				水 制	流 勢			河床勾配			河 床 材 料					摘 要
	法 覆 工	根 固 工	護 床 工	土 台 工		強	中	弱	急	中	緩	石	砂 利	砂	泥	そ 他	
聖 牛		○			○				○								破堤箇所の締切に利用
越中三又(鳥脚)		○	○		○				○	○	○						破堤箇所の締切に利用
菱 牛					○								○				洪水水位が低い川に使用
尺 木 牛					○						○						
棚 牛					○				○								
百 足 粹					○												
片 牛					○							○					
鞍掛棚牛					○												
三 基 粹		○			○						○		○				
尺 木 垣					○						○						
八 頭 牛					○												
片 粹		○	○								○		○				
沈 粹		○	○		○								○				仮締切等を使用
備 粹		○															
続 粹		○	○		○								○				仮締切等を使用
立 粹		○															
地 獄 粹		○							○								
楯 粹		○			○												
鱗 粹		○	○														
鳥 居 粹		○	○														
弁 慶 粹					○				○								
胴 木 牛		○															仮締切等を使用
三 角 粹		○			○												
法 粹		○	○										○				仮締切等を使用
合 掌 粹				○	○	○							○	○			仮締切等を使用
左五右衛門粹					○					○	○						
石詰左五右衛門粹					○				○	○		○					
小 石 出し					○								○				
土 出し					○										○		
石 出し					○				○								
杭 出し					○											○	
籠 出し					○							○		○			
屏 風 出し					○												
藪 出し					○											土砂	
流し 出し					○												
梁掛杭出し					○												
障 泥 出し					○												
立 竹 出し					○											土砂	河口部等の波よけにも使用

注) 文献の記述に基づいて○印を付したが、その事項のみに限定されるものではない。

4. 伝統的河川工法の維持管理

伝統的河川工法は強度、耐久性に課題があることから、その機能を保全するため、一定程度の維持管理が必要になる。メンテナンスフリーが期待されている現代工法に比べ、どの程度の木目細かな維持管理が必要になるのか、伝統的河川工法を活用するにあたっては重要な視点であり、治水機能の他に生物の生息環境にも配慮しなければならないことから、いくつかの課題について以下に示す。

- ・工法別の維持管理が確立されてない。
- ・維持管理によってどの程度機能を保持することができるのか不明。
- ・放置した場合には、例えば柳枝工における植性の遷移などの予測する手法が確立されていない。

よって、伝統的河川工法を活用する場合その機能を保全するため、どのような維持管理が必要であるかを表－5に整理する。

つまり、伝統的河川工法時代の維持管理は、利用サイクルなどを反映した循環的なシステムであったものと考えられる。このようなシステ

ムは、現代においては、ソシオエコシステムとして評価されており、みんなで環境を守るとか、有用生物を育てるなど、現代版の維持管理システムを検討する必要である。

例えば、柳の繁茂において、粗放な管理をすれば環境的には良いかもしれないが、治水面では機能低下が起る。こうしたことに対していかなる考え方とそれに基づくシステムを形成するか、今後の大きな課題である。

いずれにしても、伝統工法を今日的な工法として活用する上で、維持管理を実施すべき工法であることを認識する必要がある。

例えば、矢作川の事例では、川柳は背が高くなる欠点があり、成長すると高さが5～10m位になる。あまり高木になると洪水時には河道の流下能力の低下や樹木群と堤防との間の高速流の発生による護岸及び堤防の損傷が生じることからある程度の高さで切る必要がある。なお、10年以下であれば洪水の際には撓んで寝てしまうことを考慮する。なお、伐採等の規模や時期は、生息生物等への影響を考慮して行う必要がある。

表－5 伝統的河川工法の維持管理の視点

構造（強度）の維持	
・現場で入手できる材料を活用 ・流失した石材の補給	・破損、腐朽した部材の修理 ・繁茂した柳などの伐採
耐久性の維持	
・木工沈床、粗朶沈床などは常時水中に没するように設置	
利活用	
・発生材の活用 例えば、柳枝工では、柳を伐採してザルなどを作って売っていた	
・粗朶材の伐採による里山の管理と再生産 ・間伐材を伝統的河川工法に利用	
維持管理の仕組み	
・水防団体が工法のお守りをしていた ・資材の入手、運搬、使用、補修の仕組みが存在していた	

5. 今後の伝統的河川工法の採用にあたっての課題

伝統的河川工法に関するこれまでの検討を踏まえ、伝統的河川工法を今日的な工法として活用するにあたっては、幾つかの課題がある。それらを整理して以下に示す。

○河状の理解と工法の選定

伝統的河川工法には、極めて多様な工法があり、それらを活用するにあたっては、個々の工法的な特性を理解し、適用する河状の特性に応じた、合理的な工法の選定、その規模や配置などを検討する必要がある、場合によっては試行錯誤を許容することも大切である。

○河川工学的な検討の必要性

伝統的河川工法が自然環境の復元や自然に近い景観の創出といった面で優れているとしても、河川工学的にその工法の特質を的確に検討・把握することが必要である。例えば、護岸として活用する場合には、河床の変形などに馴染みやすい屈撓性、一部が破壊されても、それが周囲に広がらない分離性、流れや土砂の吸出しに対する抵抗性などの評価が問われる。

○伝統的河川工法が有する欠点の改良

伝統的河川工法は、自然材料を活用するため、強度が比較的弱く、耐用年数が短いなど、全ての面で有利な工法ではない。したがって、それぞれの工法が有する良さを活かし、欠点を補い、改良しながら、必要に応じて新素材なども採り入れ、より効果的な工法として発展させることが大切である。

○施工技術の継承と材料の確保

伝統的河川工法は、一時期ほとんど顧みられることがなかったため、各工法に精通した熟練技術者は少ない。伝統的河川工法には職人的な技術に依存する部分が多いことから、施工技術の継承は極めて重要である。職場付近で入手できる材料を活用して施工されてきたが、粗朶や石材など施工材料の入手が困難であるといった課題もある。

○維持管理の手法

伝統的河川工法の欠点を木目細かい維持管理

によって補うことは可能である。したがって、伝統的河川工法を採用する場合には、適切な維持管理の手法について検討するとともに、木目細かい維持管理を怠らないことであり、そのためのわずらわしさをいとわないことが必要になる。

○生物の生息環境としての効果

伝統的河川工法は、河岸の多孔質性や河道の多様性を向上させるなど、生物にとって良質な生息環境を創出するものとして期待されている。しかし、伝統的河川工法は、必ずしも生態学的に最善の工法とは限らないし、工法の用い方によっては、生物生息環境を悪化させてしまうこともあり得る。したがって、どのような生物に対し、いかなる工法が効果的であるのか、伝統的河川工法と生物生息環境の改善効果との関係に関する検討を深めることが重要であり、施工後の追跡調査やモニタリングを行うことが大切である。

おわりに

伝統的河川工法は多自然型川づくりなどにおいて、自然と調和した工法として注目されている。しかし、現代工法とは極めて趣を異にする伝統的河川工法に関する河川工学的な評価を行うには情報が乏しく、また一方では、生態学的な知見や情報も乏しいことから、せっかく期待された伝統的河川工法が十分に活用されていない。したがって、今後の川づくりにおいて伝統的河川工法を活用するには、河川工法としての正当な評価と生態学的な効果についての知見と情報を集積し、必要に応じて工法を改良したり、新たな材料を使用するなど、工法的な発展も検討すべきである。

最後に本研究を進めるにあたってご指導、ご助言を頂いた建設省中部地方建設局岡崎工事事務所、建設省北陸地方建設局千曲川工事事務所、応用生態学研究所の桜井先生、新潟県粗朶業協同組合、鬼石・石積共同組合の関係各位に深く感謝申し上げます。