

河床砂礫移動がある土丹露頭河川における 河道保全と安定化について

STABILIZATION OF RIVER CHANNEL
WITH SAND AND GRAVEL MOVING ON EXPOSED MUDSTONE BED

船橋昇治¹・瀬尾敬介²・福岡捷二³
Shoji FUNABASHI, Keisuke SEO and Shoji FUKUOKA

¹正会員 一般財団法人 河川情報センター (〒102-8474 東京都千代田区麹町1-3 ニッセイ半蔵門ビル)

²非会員 国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所 (〒230-0051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

³フェロー会員 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日一丁目 13-27)

全国の扇状地河川の中には、河床の砂礫層厚が薄いため河床砂礫が流失し、基盤にある土丹（固結度の低い泥岩）が露頭している河川がある。固結度が低い露頭土丹が侵食を受けると流路が形成される。形成された流路の河床を砂礫が移動することで侵食が加速化し、同時に流路の固定化が進むなど、自励的に侵食が進行していく。こうした河道の状況を改善し、管理し続けられる持続可能な河道に戻すことは、必要かつ重要な技術である。多摩川では、こうした観点から10年前に河道是正工事が行われ、その後、中小規模のみならず計画規模相当の洪水も経験した。こうした技術の確立に向け、多摩川での洪水流に対する是正河道の応答とその復元機構を明らかにし、効果と課題を分析整理し、改善策を示した。

Key Words: Tama River, stabilization of river channel, mudstone bed, structure, gravel moving

1. はじめに

多摩川では、農業用水や水道用水の取水がなされる一方で、大量の砂利採取が行われた。このような背景のもと、砂利採取の規制強化と併行して取水安定のために取水堰のコンクリート化が1950年代に相次いで進められた。河床砂礫層が薄くなった多摩川では、1974年9月の洪水を契機に土丹（上総層群の泥岩、半固結粘土や固結シルト）の連続的な露出が見られ始めた。

基盤にある土丹は、その性状が侵食に比較的強いものから侵食されやすいもの、露出すると風化が進行して泥質化し容易に侵食されるものなど場所により様々な性状のものがある。大洪水時に土丹上の砂礫が流失するだけでなく、その下の土丹まで一気に侵食が進む場合がある。一度土丹に流路が刻まれると、その後の中小規模の洪水は同じところを流れる。砂礫の移動を伴う洪水が流れるとさらに土丹の侵食が進む。侵食が進むと大洪水時には侵食と固定化が加速化され、自励的に土丹の侵食と流路の固定化が進行してしまう。岩盤のような土丹があれば侵食はとどまるが、多摩川で見られるやわらかい土丹では、侵食が遅い土丹はあっても侵食は停止しない。土丹侵食が進行する流路は直線的に形成される傾向が強く、その流路の方向が堤防に向かった場合は、堤防決壊の危険性が高まる。また、局所的な洗掘・河床低下にと



写真-1 河床も河岸も土丹で形成された直線的流路

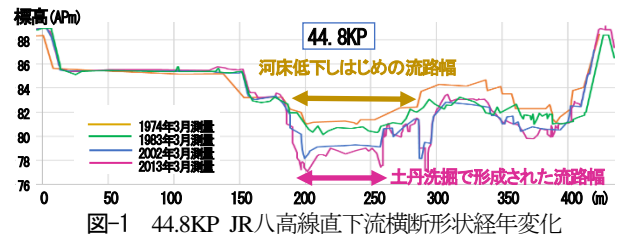


図-1 44.8KP JR八高線直下流横断形状経年変化

どまらず、河床の縦断形状に影響を与え、橋梁等の横断構造物や河川管理施設の維持が困難な状況が起こる。こうした河道の変化に早期に気づき、その後の変化を予測し、的確な対応を行うことが重要である。

多摩川のJR八高線下流では、土丹露頭後も河床低下が進行し続け、図-1に示すように1974年以降深い所では4mも河床低下している。2013年に撮影された流路の状

況(写真-1)を見ると、流路の河床部のみならず側岸も土丹で構成されるほど侵食が進み、その直線的な流路には、所々砂礫が堆積している状況が確認できる。

このように固定化された流路がさらに河床低下し続ける状況を改善すべく、帯工を用いた河道是正工事が2016年の出水期前までに3期にわたり行われた。

当該区間を含む多摩川を対象に、河道の変化について長期間にわたり分析・整理した研究¹⁾²⁾や河道変化の際の流れの場について数値解析等を用いた研究³⁾のほか、整備した帯工周辺部で発生した土丹の侵食や土丹の強度に関する調査のほか構造物の保全対策に関する研究が多摩川⁴⁾や無加川⁵⁾でなされてきた。既往の研究は、発生した事象が起きた状態に焦点をあてた分析となっていた。著者らは、2013年当時の多摩川中流の河道を放置すると維持管理が困難になると認識し、将来にわたり維持できる河道に改善するための河道是正工事を立案し実施した。改善に当たっては自然の営力を活用し、人為的な行為は極力控える内容とした。砂礫移動があることにより課題が発生している一方で、砂礫移動に期待して河道改善を図る計画とした。構造物の設置は、砂礫移動や河道の応答に大きな影響を与え改善効果が期待できる一方で、課題も発生しやすい。こうした改善技術は未だに確立されてはいない。本研究では、既往の研究とは異なり、目的を持って実施した工事が有効に機能し、想定や期待した洪水の流れや河道の応答が見られ、目標とした河道が達成できたのかを分析・確認した。河道の応答は中小洪水と大洪水では異なるとともに、同一洪水中に関連性のある応答が時空間的に起こるためこれらの関連する事象の発生についても分析・考察した。こうした分析を行うことにより、想定や期待したことがどこまで起こり、どのようなことが期待と異なる事象として発生したのかが明確となり、今後の改善や技術確立につながると思う。

2. JR八高線下流の河道保全対策と河道の応答

河道是正工実施の目的と目標は表-1のとおりである。目的には、多摩川における河道の中長期的課題を解決する事項を掲げ、目標には、改善の結果河道が具備したい要件を掲げている。多摩川では、過去に構造物の影響で河道の応答特性が所々で変化してしまった。この経験から、構造物の整備により砂礫移動に影響を与える場合には、効果だけではなく、弊害にも十分配慮された安定した河道を目指すべきと考え、目標設定をしている。

改善対象の河道区間は、JR八高線からJR中央線の一連区間とした。河道是正工事内容とその実施箇所は、表-2及び図-2のとおりである。当該区間の河川幅は縦断的に大きくは変化していないことから、河床勾配を一定として河川全体を有効に活用することが、砂礫を当該区間にとどめ河床勾配を安定させるのに長期的視点からも有効

表-1 河道是正工事の目的と目標

目的Ⅰ	河床低下が進行し続けることの防止
目的Ⅱ	流路固定化による堤防を直撃するような流れの緩和・是正
目標Ⅰ	洪水流量に応じた河道の自在な応答
目標Ⅱ	河道の長期的な安定(河道のダイナミクス回復)

表-2 河道是正工事の内容と実施時期

	工事内容	実施時期
第1期工事	帯工A2,B2の整備と一体的な河床埋戻し	2013年末 非出水期
第2期工事	帯工A1,B1,C,Dの整備と一体的な河床埋戻し 流路脇の河川敷掘削(多摩大橋周辺を除く)	2014年末 非出水期
第3期工事	帯工Eの整備と一体的な河床埋戻し、及び帯工E 下流側多摩大橋までの擦付け埋戻し 多摩大橋周辺の河川敷掘削	2015年末 非出水期

※モニタリング調査 河床変動量調査 航空写真撮影

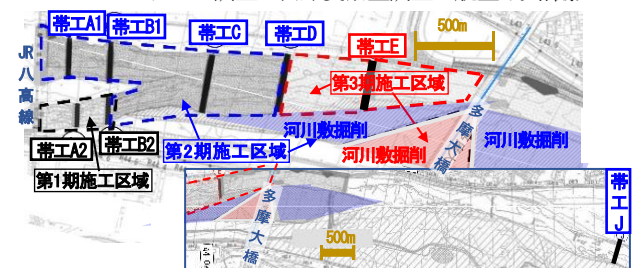


図-2 河道是正工実施箇所

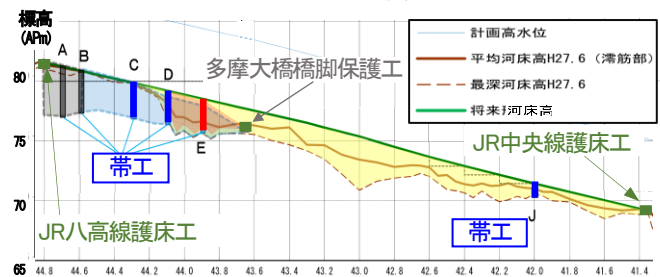


図-3 河道是正工事縦断計画図

と考えた。図-3のように将来的に維持したい河床高としてJR八高線とJR中央線の護床工とをほぼ直線で結んだ高さを設定した。目的Ⅰを達成するために優先すべき帯工は、図-2に示すB1,B2からEまでの5基と考えた。その上で、より確実な効果と将来的な展開を考慮して帯工A1,A2と帯工Jを考えた。このような背景から、帯工A1,A2とJは他の帯工と構造が異なる。構造の違いは後述する。帯工と帯工の間は砂礫で埋戻し、設定した河床高にすることとしたが、施工時に最下流となる帯工DとEは、下流現況河床との高低差が3m以上となることから、高低差を抑えるため暫定的にブロック1基分0.85m低く施工した。帯工の幅は、設定河床高まで埋め戻すのに必要な幅とした。流量に応じた河道の自在な応答を期待すべく、帯工の高さは基本的に横断方向に一樣と考えた。結果として帯工Dは、右岸直下流に高標高位まで分布していた土丹面にあわせ右岸側約4割がブロック一基分0.85m高くなっている。

帯工BからEは、図-4(1)のように帯工頂部に連続壁型ブロック(ブロック水平面上0.31mの突起遮蔽率100%)を使用し、横幅約16mの突起がない切欠き部(同遮蔽率0%)を1箇所設けている。帯工A1,A2は、図-4(3)のように部分突起型ブロック(同遮蔽率42%)を頂部に使用し、



図-4 帯工頂部の構造の違い
 (1)連続壁型帯工 (2)帯工切欠き部 (3)部分突起型帯工



写真-2 連続壁型帯工:深掘れ部とその下流の礫の撒き上げ



写真-3 部分突起型帯工:帯工A1の上に形成された砂州

切欠き部も設けている。帯工Jは、500mmを超える大きな川石を金具で連結させ、流路幅いっぱい敷設している。洪水時の流れの誘導や河原の再生を考え、流路に隣接する河川敷の掘削も併せて行った。

施工後の河道の変化や砂礫移動の特性を把握するため、敷設した着色礫の移動状況を2回にわたり確認した。1回目は、第二期工事終了後の5月であり、図-5のとおり着色した礫（大礫200mm、中礫150mm、小礫80mm）を5箇所に敷設した。7月に日野橋 $660\text{m}^3/\text{s}$ （平均年最大流量 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ ）の小出水があった。9月に同 $1,260\text{m}^3/\text{s}$ の小規模な洪水があり、着色礫は敷設位置から全て移動した。その移動状況を調査した結果が図-5である。図-5から移動後の着色礫は直線的に分布していることが確認でき、小規模な出水でも200mm程度の礫は、約0.3m突き出た帯工頂部の連続壁部を越えていることが分かる。また、着色礫が約0.3m低い切欠き部に引き寄せられて通過している状況は確認できず、流れに沿って直線的に移動している。

2回目の調査は、敷設する礫を大きくして（巨礫300mm、大礫200mm、中礫100mm）第三期工事終了後に調査した。敷設後日野橋 $1,610\text{m}^3/\text{s}$ の出水があり、移動した着色礫を確認した結果が図-6である。どちらの着色礫も直線的に分布している。橙の礫は帯工の切欠き部と連続壁部の境目付近を通過しているが、特に切欠き部に引き寄せられるような分布は見られない。300mmの巨礫が帯工連続壁部の上流側に堆積している状況も確認できないことから、 $1,600\text{m}^3/\text{s}$ 規模の洪水でも帯工連続壁部を影響なく越えていると思われる。

これらの調査結果から、300mm程度の礫でも河床部の凹凸の影響は受けず、流れに沿って直線的に移動することが判明した。この事実は、土丹が侵食されて形成される流路が直線的であることの十分な根拠となる。

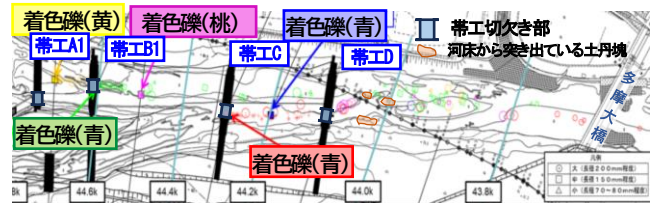


図-5 1回目の着色礫移動調査結果（約 $1,300\text{m}^3/\text{s}$ 洪水後）

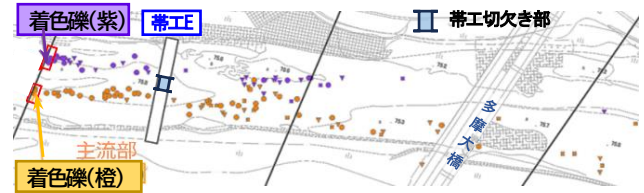


図-6 2回目の着色礫移動調査結果（約 $1,600\text{m}^3/\text{s}$ 洪水後）

また、河道是正工事終了後、2019年まで毎年のように平均年最大流量を超過するような出水があり、次のような特徴的な河道の応答が確認できた。

- i) 連続壁型の帯工B1とCの直下流には深掘れ部とその下流に砂礫の撒き上げが発生し解消されない（写真-2）
- ii) 連続壁型ではない帯工A1上では、砂州が上下流に連続した形で形成され、その移動が起きている（写真-3）
- iii) 左岸側流路は帯工A1の左岸上流に露頭する土丹に流れの向きを変えられ、流れが弱くなった帯工B1左岸側では死水域が発生し、幅広い流路を形成するために帯工幅全体が十分に活かされていない（写真-4参照）。

3. 2019年10月洪水による是正河道の応答結果とその発生機構の分析

(1) 2019年10月洪水による是正河道の応答結果

2019年10月に多摩川の河道計画規模相当の洪水が襲来し、多くの区間で計画高水位を超過した。この洪水では河道は中小規模洪水とは異なる応答を示し、河道是正工事の効果や課題を確認できる貴重な洪水であった。

洪水前後の河床高変化量を図-7に示す。また、本洪水を含む期間中の河床縦断面の変化を図-8に示す。洪水に対する河道の特徴的な応答は表-3のとおりである。洪水後に撮影された写真-5にその位置を丸番号で示す。番号は発生した時刻が早いと思われる順に付与している。

(2) 河道応答に至るまでの機構

これらの河道の応答について、その発生に至るまでの機構を、観測されたデータや解析した結果から分析した。図-10に日野橋の観測流量と解析流量ハイドログラフを示す。また、非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS)[®]を行った際の流量規模に応じた底面速度の分布を図-11に示す。

洪水前には写真-4のように、左岸側主流路は日野用水堰を越えると河床低下しながら徐々に狭くなり左岸端に寄っていた。応答①は、堰直下流で滞筋とならず中水敷化していた河川敷が、大流量を流下させる過程で洗掘を

表-3 2019年洪水における特徴的な河道の応答内容

応答①	日野用水堰下流で最も大規模かつ縦断的に連続した中水敷の侵食 侵食量は図-7の中で最大規模
応答②	帯工B1,C左岸袖部背後の河川敷を洪水が流れ、堆積土砂の侵食と植生流失を生じさせ、基部の土丹も侵食
応答③	JR八高線の上下流にある中州全体が侵食を受け、中州上部の植生・樹木が流失するとともに、基部の土丹が所々で露出
応答④	帯工A1,B1右岸袖部背後の河岸部が著しく侵食
応答⑤	帯工Dで頂部が高い右岸側直下流にある土丹を侵食(写真-8)後、その下流で堆積していた砂礫と土砂を2m近く洗掘・侵食(図-9)
応答⑥	高標高位まで分布している土丹に流れを阻まれ、流速が低下し、上流からの移動砂礫が大量に堆積
応答⑦	多摩大橋上流の低位にある流路において河床砂礫の堆積(図-9)が進み、帯工Eが埋没



写真-4 洪水前の河道(2016年9月9日撮影)

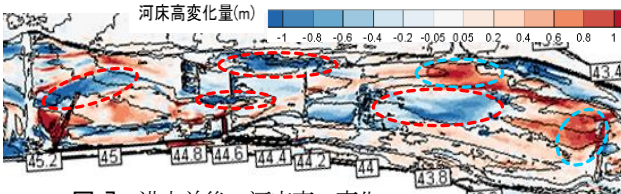


図-7 洪水前後の河床高の変化

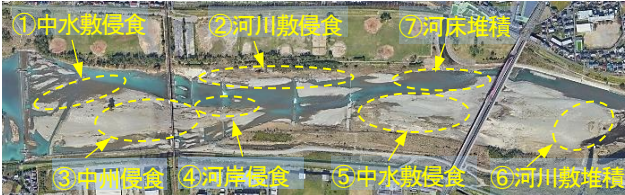


写真-5 洪水後の特徴的な河道の応答

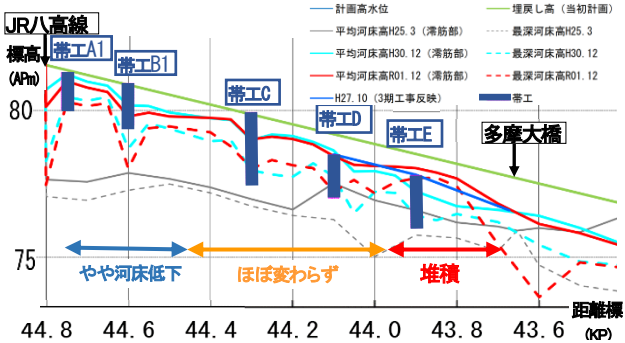


図-8 河床縦断の経年変化

受け発生した。滞筋河床高と中水敷化した河川敷とは高低差が大きくなかったことから洗掘され易かったと考えられる。中水敷や中州の底面速度は、 $1,300\text{m}^3/\text{s}$ では小さかったが、洪水初期の $1,600\text{m}^3/\text{s}$ で急速に大きくなり、その後滞筋部と同程度の流速となっていることが解析結果図-11から分かる。応答①の洗掘とともにJR八高線の上下流にある中州へ高流速の洪水乗り上げが進み、砂利採取禁止後に全面的な侵食が一度もなかった中州全体が侵食



写真-6 帯工D右岸側直下流の土丹侵食

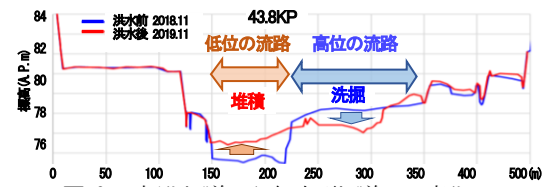


図-9 二極化河道から船底形河道への変化

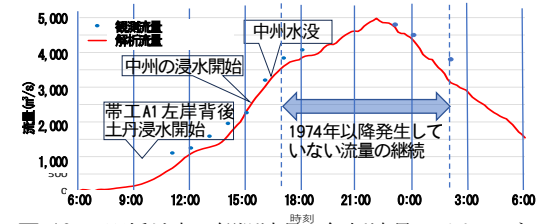


図-10 日野橋地点の観測流量と解析流量ハイドログラフ

を受け、植生・樹木が流失する応答③に至った。解析結果図-11からも、1974年洪水以降発生していない $3,900\text{m}^3/\text{s}$ の流量時には底面流速が $2\text{m}/\text{s}$ を超過し、その状況が10時間近く継続した(図-10参照)ことにより、JR八高線上流の中州のみならず下流の中州まで大規模な侵食を受けたことが分かる。応答②については、河道是正工事によって約3m河床低下していた流路の河床高が元に戻り、かつて同じ高さだった帯工袖部背後にも洪水が流れ易くなった。洪水初期には日野用水堰下流では流心が左岸端に寄っており、洪水が帯工左岸袖部背後の河川敷を流れ、堆積土砂の洗掘と植生流失が発生した。応答④については、河床低下した狭い流路にあわせた帯工幅であることに加え、帯工によって河床洗掘を抑制されているために流下断面を拡げる力が側方に働いた。さらに、応答①③によって流心が河道中央に移動した影響が加わり応答④に至った。解析結果図-11から帯工B1の両袖部の底面流速は②と④で差が大きかったのが、時間経過とともに④が大きくなり、差がなくなっているのが確認できる。

帯工Dの右岸側は頂部が高く、小出水時には低い左岸側を中心に流れる。大洪水時にはその影響は相対的に小さくなることに加え、応答①③④の進行に伴い、日野用水堰上流からの洪水が河道全体を使い下流にスムーズに流れ、帯工C,D幅全体に洪水が流れるように変化したことから、帯工Dの右岸側にも洪水がまっすぐ下流に向かって流れた。帯工Dを越えた洪水は、前述の砂礫移動調査結果のように直線的な砂礫移動を伴い、直下流の土丹を激しく侵食し、その下流の河川敷を2m近く洗掘・侵食し、応答⑤に至った。応答⑤で洗掘された砂礫は流れに沿ってまっすぐ下流に移動していったが、その下流では高標高位まで分布する土丹によって河床が逆勾配となり、流

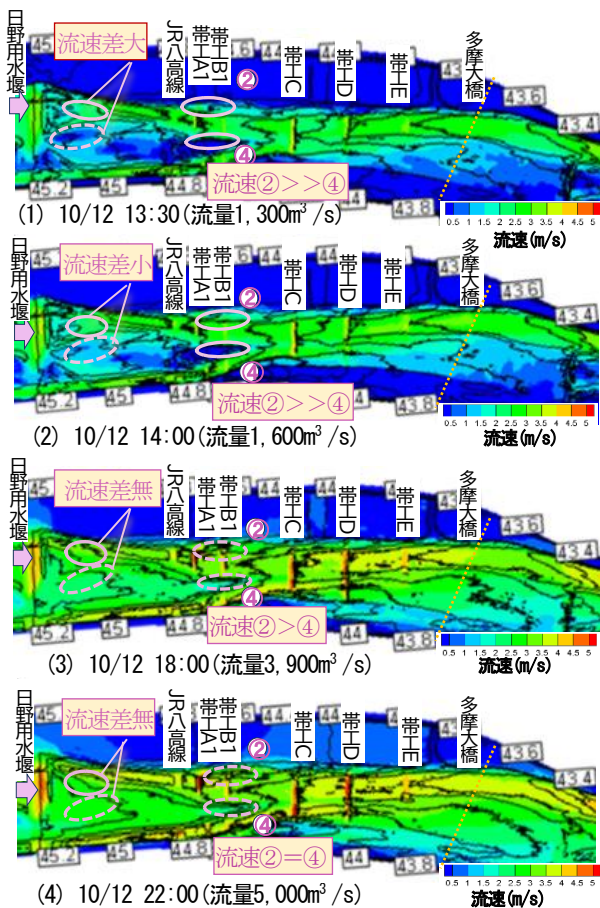


図-11 非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS)による流量規模別の底面速度分布

速が低下して砂礫が堆積する応答⑥に至った。多摩大橋の巨大な橋脚保護工は河床低下時に河床から突き出た構造となり、低位の流路において流量低減時の阻害率は大きくなる。この影響で堰上げが発生し、応答⑦に至った。

4. 河道是正の効果と課題

河道是正工事の効果は、河道是正工事の目的と目標が大洪水を経験してどれだけ達成できているかである。

洪水前後の河床高を比較すると、図-8のように帯工A1とB1の下流で若干の河床低下が見られるが、帯工整備区間では設定していた河床勾配を概ね保持できている。帯工の直下流の状況に関しては、帯工B1,Cの連続壁部直下流で深掘れ部が継続的に残っている。帯工切欠き部の下流では、横断的にみると他よりやや河床低下が見られるが、その影響は流下方向に30m程度であり、限定的な区間である。こうしたことから、目的IIは達成できていると判断される。しかしながら、帯工B1などがある左岸流路の河床低下や帯工直下流の深掘れに関しては課題でもあり、後述する改善策の実施が望まれる。

また、応答⑤によって高位の流路の侵食が進んだことにより、43.8KPの横断図(図-9)でわかるように、左岸側に固定されて堤防に向かって流れていた流れは河道中央側にも分散され、堤防への流れは若干緩和されたと思われる。

表-4 大洪水時の河道の応答とその発生環境による類型分け

類型I	中小洪水で形づくられていた河道形状が、大規模洪水により是正されるように変化・復元
類型II	是正前の河道では起こらなかった応答が、河道是正に伴い大規模洪水時に起こるようになった応答
類型III	中小洪水によって形成されていた河道形状が、大規模洪水によりさらに進行する応答
類型IV	河道が地形や構造物の影響を受け、上下流区間とは異なる応答

このことから、目的IIもある程度は図られている。しかしながら、その下流43.0KP付近では河道全体に露頭する土丹の一部だけ侵食が進み、狭窄部が形成され、大洪水時でも左岸端1/3に再び流れが集中させられているため、中長期的な解決にまでは至っていない。

次に、目標に対してどこまで達成できているかである。一般的に中小洪水では、滯筋が狭くなり河床低下が進行したり、蛇行がきつくなるなどの現象が起こるが、大洪水時にそれらを是正して元の状態を復元するように機能している河道と、さらにその現象を進行させてしまう河道がある。大洪水時に河道でみられる応答は、応答の内容とその事象が起きている環境を考慮すると表-4のように大きく4つに類型分けすることができる。

応答①③は類型Iに属するものであり、応答①が起きた左岸側流路では洪水前の日野用水堰直下流深掘れ部の河床高回復も確認されており、河道のダイナミズムが機能している。こうした状況を維持できていることが、目標IIの達成の判断目安となる。応答②④⑤は類型IIに属するものであり、1974年9月洪水後に土丹が露出し、河道の応答特性が変化し弊害が見られていた(固定的な変化しかせず、流量に応じた自由な変化が起きていなかった)河道が、正常な方向に向かっていることの証しであり、目標Iが達成でき、目標II達成の兆候が現れ、河道是正工事を実施した効果が出ていると判断できる。応答⑥⑦は類型IVに属するものであり、今次洪水における現象が一時の現象か恒常的な現象かを見極め、恒常的かつ河道自らの力による改善の見込みが小さいものに関しては、改善されるような直接的または間接的な対応が必要と考える。また、類型IIIに属する応答が確認されなかったことから、河道是正工事の弊害で河道管理をさらに難しくさせるようなことは引き起こしてはいないと思われる。

JR八高線下流の河道では、河床低下し固定化した流路を是正したことが契機となり、整備した帯工の幅以上を使って洪水が流れるように河道自らが変化している。そしてその変化が直接的な工事实施区域外へ波及している。このことが端的に現れているのが、図-9に示す43.8KPの洪水前後の河道断面の変化である。上流区間で河道全体を有効に使おうとする流れが発生し、それに伴ない河道形状を変え船底形河道⁷⁾へと変化している。船底形河道は流れの変化を横断方向に円滑に伝えることが可能であり、河道が安定する方向に向かっていることを示している。



写真-7 今後に向けた対応

5. 今後に向けて

限定された区間の河道是正工事ではあったが、目的はほぼ達成され、目標も一部達成され、自らが安定する河道に向けた変化を示し始めている。しかしながら、河道是正工事は当時の河道状況を前提に計画施工されているため、今後の河道の変化を考慮し、構造物を設置したことの影響をより小さく収めるとともに、洪水流量に応じた河道の自在な応答のもと、河道の長期的安定をより確実にすることへの配慮も必要である。

こうした観点から、今後に向けて次の対応が必要と考える。写真-7に対応(1)～(4)の箇所を示す。

対応(1)：上下流の河道に比べ流路幅が狭い帯工A1,B1,Cの幅を拡げる。各帯工の左岸端は侵食された箇所を十分含む範囲とし、帯工B1とB2は軸を一致させて施工されているため連結させて一体化を図る。このことにより、帯工迂回流の発生を防止するとともに、帯工袖部の構造による偏流がなくなり、流路幅を拡げようとした洪水の流れが、流路として必要な幅を自在にとれる環境を整え、他の帯工間より河床低下傾向であった原因を解消させる。

対応(2)：連続壁型の帯工直下流には深掘れ部が形成されたまま解消されないことから、原因である連続壁型を部分突起型のブロックに変更する。このことにより、帯工A1同様、様々な流量での土砂移動の連続性を高めて深掘れ緩和を図るとともに、切欠き部への流量低減時の流れの集中を回避し、切欠き部下流の河床低下を緩和する。

対応(3)：暫定高施工の帯工D,Eを計画の高さ（帯工Dは全体同一高さ）まで嵩上げし、将来縦断形に沿った河道の安定化と堆積した砂礫流失の抑制を図る。併せて、多摩大橋橋脚保護工を横断的に連続させる改良を行うことで下流への砂礫流出や河床低下を防止することが望まれる。

対応(4)：河川敷を有効に活用し、河道の安定化を促す観点から、流量に応じた自由な流れや河道の変化を阻害している土丹については、阻害が解消されるように形状変更など補助的な行為を行う必要がある。具体的には、中小規模洪水でも洪水流下を期待するとともに、応答⑦の砂礫堆積を解消するための43KP付近河道中央部の土丹の筋掘りと、応答③に伴う河道全体を有効活用した洪水流下の促進と河道の安定化に寄与する帯工B2下流右岸河岸部の切り立った土丹の法勾配の緩傾斜化掘削である。

これらの対応を行うことにより、大・中・小規模様々

な洪水が発生しても、河川が砂礫を自らの力で移動させて安定できるような河道に誘導することが期待できる。

6. おわりに

本研究において、自然の営力を活用しつつ、維持管理しやすい河道へ導くために実施した河道是正工事の効果と課題を整理することができた。河道是正工事による直接的な改善を契機に大規模洪水時に河道が安定化する方向に自ら変化させることの可能性も確認できた。本研究では、河道応答結果とその発生機構の分析・整理を時系列的な観点からも行った。洪水時に起こる応答の発生機構や応答の関連性を明らかにすることにより、河道の将来変化についてより具体的な予測・推定が可能となり、その技術を活用することで、適切な時期に的確な対応を行うことができるようになる。河道は対象とする区間だけでなく、その上下区間における変化の影響も受けて変化する。当該区間だけの変化の監視ではなく、上下流区間における変化と関連づけた状態監視が重要となる。こうした関連性や応答特性を見極め、監視することにより、河道の維持管理上必要な状態の保全や、安定した河道に向けての技術力が培われると考えている。

参考文献

- 1) 後藤勝洋, 下條康之, 後藤岳久, 福岡捷二: 多摩川中流河道の洪水被害と対策, 改修工事に対する河道の長期的(1947年～2019年)変化・応答, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.77, No.2, I_391-I_396,2021.
- 2) 後藤勝洋, 寺西浩三郎, 後藤岳久, 福岡捷二: 多摩川中流部における河道の長期変遷(1947年～2020年)から見た低水路河道の安定・不安定と河川植生の相互関係の分析, 河川技術論文集, 第28巻, pp.217-222,2022.
- 3) 後藤勝洋, 後藤岳久, 瀬尾敬介, 福岡捷二: 大規模洪水による高水敷化した砂州河岸の洗掘に伴う船底形断面形の形成, 河川技術論文集, 第29巻, pp.329-334,2023
- 4) 大浪裕之, 下條康之, 後藤勝洋, 福岡捷二: 令和元年洪水被災分析と土丹が露出する河道条件下における河川横断工作物の保全対策, 河川技術論文集, 第27巻, pp.129-134,2021.
- 5) 清家拓哉, 渡邊康玄, 濱木道大, 大島省吾: 侵食抵抗の小さい岩盤の露出した河川に効果的な河床低下対策工の検討, 河川技術論文集, 第29巻, pp.275-280,2023
- 6) 竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80,2019.
- 7) 福岡捷二: 温暖化に対する河川の適応技術のあり方 - 治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて, 土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.471-489,2010

(2024. 4. 3受付)