

土丹露頭河川における流路固定化のメカニズムと河道保全に関する考察

船橋 昇治¹・後藤 勝洋²・福岡捷二³

¹正会員 一般財団法人 河川情報センター (〒102-8474 東京都千代田区麴町 1-3 ニッセイ半蔵門ビル)
E-mail: s-funabashi@river.or.jp (Corresponding Author)

²正会員 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)
E-mail: gotou-k@tamacc.chuo-u.ac.jp

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)
E-mail: sfukuoka001t@tamacc.chuo-u.ac.jp.

一般的な沖積河道にあつては、洪水の規模に応じて流路は様々な変化をする。しかしながら、土丹が露頭した河川では、大洪水時に土丹に流路が深く刻まれ固定化し、河道の維持管理が困難な状況が起こる。このような状況に陥らないためには、流路の固定化の兆候を早期に見出すことと流路の固定化が進行するメカニズムを明らかにし、固定化が進行するのを回避・防止することが重要である。本研究では、多摩川で見られる土丹露頭による流路固定化のメカニズムを明らかにし、土丹露頭河道の保全対策のあり方について考察を行った。

Key Words: channel immobility, exposed mudstone bed, sustainable channel management, Tama River

1. はじめに

沖積河道は、深掘れが発生したり流路の位置が変動したりするなど、洪水によって様々な変化をする。河床に砂礫が十分にある河道では、洪水により河道が変化しても、元の形状に戻ることは可能(図-1)である。土丹(上総層群の泥岩、固結度の低いシルト・礫等)が露頭しやすい河川では、条件によっては露頭した土丹の洗掘が継続し、河床のみならず河岸まで土丹で形づくられた流路が形成される場合がある。土丹に刻まれた流路は、固定化してしまうと砂礫の移動により自発的に河床低下が進行し、より強固な固定流路となり、大規模な洪水でも流路の形状変化が生じなくなってしまう。固定化された流路が河道管理上問題なければよいが、流路の固定化は、土砂の移動形態にも影響を与え、極端な河床低下や河道の二極化を更に進展させ、横断形状のみならず、縦断形状まで変化させ、河道管理に様々な問題を起こしうる。土丹を侵食して形成された流路では、掃流力を増し河床抵抗が小さいため、これまで時間をかけて移動してきた大粒径の礫が、短期間で下流へ移動してしまい、河床勾配の安定に影響を与えてしまう。固定化した流路の下流

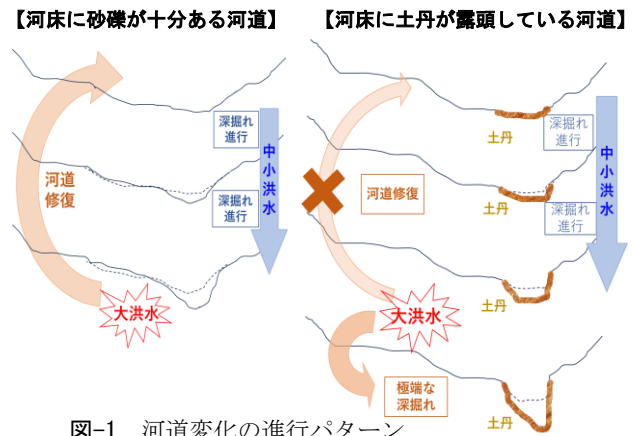


図-1 河道変化の進行パターン

に固定堰等の構造物がある場合には、流路の河床低下に伴い構造物上流の堆砂域が上流に延びる。砂礫移動量がマクロ的に減少している河川では、構造物による河床砂礫の分級作用が顕在化してしまうなど、様々な事象が懸念される。

多摩川や浅川の土丹について、洗掘・侵食に関する研究や洪水時の河川管理上の問題の指摘がなされている¹⁾。他方、北海道の河川の軟岩の侵食について、軟岩の洗掘機構や風化に伴う強度低下に関する研究のほか、河床低

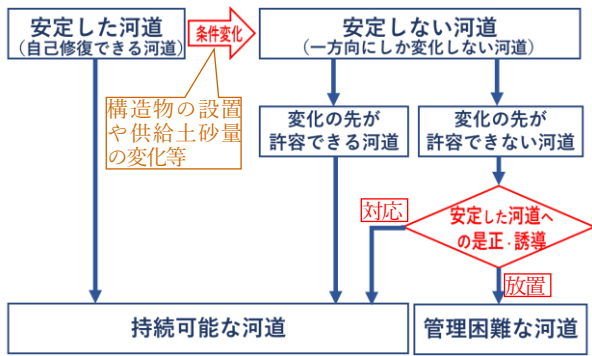


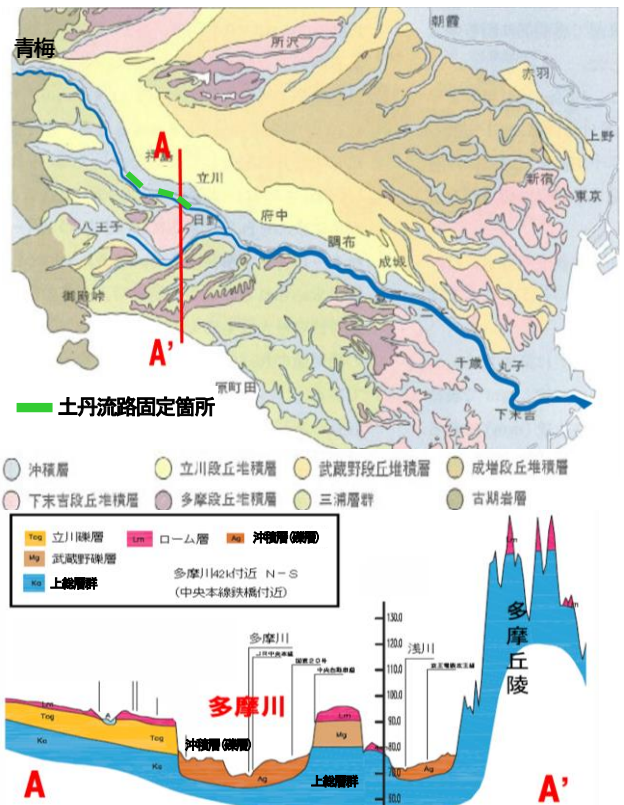
図-2 河道管理・保全フロー図

下対策に対する大型模型実験や数値解析による精力的な検討がなされ、多くの知見が得られている³⁾⁴⁾⁵⁾。

大洪水でも元の形状に戻らず、固定化した流路のように一方向にしか変化しない河道については、その河道の変化の先を見極め、維持管理が難しい河道に行きつく場合には、早期の対応が必要となる。これまで、土丹や軟岩とその上を移動する砂礫の挙動やそれらに伴う侵食現象についての多くの研究はあるものの、河川管理上問題となりうる流路の固定化に関して、流路固定化の形成要件や持続・安定化するメカニズムは明らかになっていない。筆者らは流路の固定化を避けるため、流路の固定化が何をきっかけにどのように進行（持続的に安定）していくのかについて着目した。流路の固定化について、一洪水時の事象としてとらえるのではなく、固定化に大きく影響する規模の大きな洪水の連続的な事象としてとらえるために、河川内で起きている現象を残されている客観的な情報から整理し、流路が変化していくプロセスや機構を明らかにした。流路の固定化に関して、横断面図を用いた定量的な分析を行うとともに、横断面測定の側線と側線の間で発生している重要な変化を見逃さないように留意して複数年にわたる空中写真等を分析した。そして、そのメカニズムを明らかにするとともに、流路の固定化を回避あるいは進行防止できる方策について考察した。流路固定化の進行過程を明らかにすることにより、河川管理上何に注目し、どのような段階で対策を施すべきかの判断も可能となる。そして、図-2 のフロー図のように持続可能な河道の管理・保全が可能になると考える。

2. 流路固定に至るメカニズムについての分析

多摩川は、図-3 上段に示すように、関東山地を侵食し、青梅を扇頂部とする広大な扇状地を創出した後、流れを扇状地の南端に移し、自らが形成した扇状地を削っている。この扇状地は、鮮新世後期から更新世前期にかけて近海で形成された上総層群を基盤として形成されている。このため、上総層群の上に堆積している沖積堆積層の厚さは、多摩川によって侵食を受けたところは特に薄く、所々で上総層群が露頭しているだけでなく、上総



「多摩川・浅川河道管理検討会資料」に加筆

図-3 多摩川流域の地形地質図



写真-1 多摩川に露頭する様々な性状を有する土丹

層群までもが侵食を受けている場所もある（図-3 下段参照）。上総層群は、氷河性海水準変動の影響を受け、形成時期により泥・砂・礫質など様々な組成のものがあ。加えて、固結度が低く、場所によって耐侵食性その他性状が異なり、写真-1 に示すように洗掘・侵食のされ方にも大きな差異がある。

多摩川中流部では、砂利採取や固定堰などの河川横断構造物が数多く建設された時期の後に襲来した 1974 年 9 月洪水によって多くの場所で土丹の露頭が見られた。これらの中には、その後土丹の侵食が進み、流路の固定化に至ったところが 3 箇所（図-3 上段の ■ 表示）あり、そのうち JR 八高線下流河道では、河道是正工事が 10 年前に実施されている。本研究では、現在も残る 2 箇



写真-2 流路の固定化が進行した昭和用水堰下流河道(1979年)

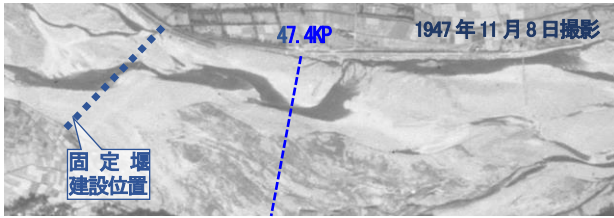


写真-3 昭和用水堰建設前の下流河道 (1947年)

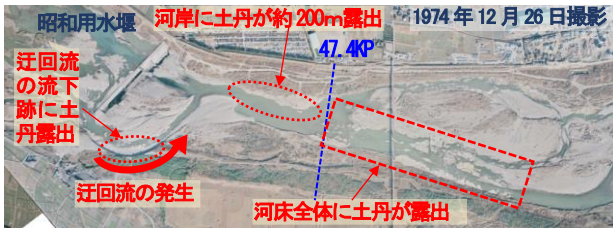


写真-4 昭和用水堰とその下流河道 (1974年9月洪水後)



写真-5 昭和用水堰下流の洪水流を導水・安定させる要素

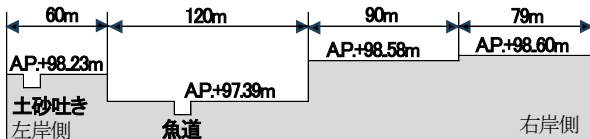


図-4 昭和用水堰構造図

所(昭和用水堰下流河道, JR中央線上流河道)と, 土丹露頭が見られたものの流路の固定化にまでは至っていない JR五日市線上流の河道について, 流路固定化に関する分析を行った。

(1) 昭和用水堰下流河道 (47.6~46.6KP)

a) 新たな流路とその形成過程

昭和用水堰が1955年にコンクリート化された後, 堰下流から河川敷内を斜めに横切るような直線的な流路が土丹を侵食して形成された(写真-2)。堰建設前の自然河道状態の多摩川を写真-3に示す。当時, 堰建設位置下流の流路は左岸堤防に沿って形成されていた。固定堰完成後堰上流でも盛んに砂利採取が行われ, 堰上流には継続的に砂利採取に伴う湛水域が保持され, 堰が河床から突き出した形状となり, 堰下流への砂礫の移動が実質なくなった。図-4に示すように, 幅349mの固定堰は4つ

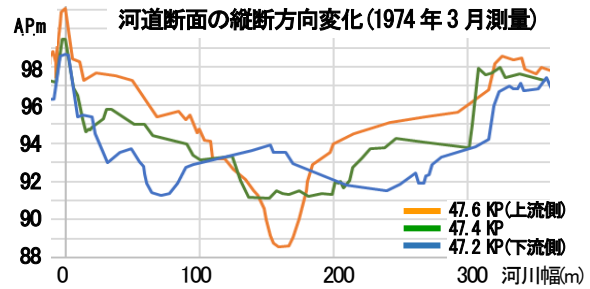


図-5 昭和用水堰下流河道の横断面重ね合わせ

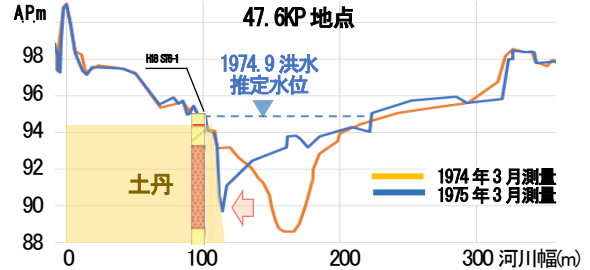


図-6 47.6KP地点の1974年9月洪水前後の河道の変化

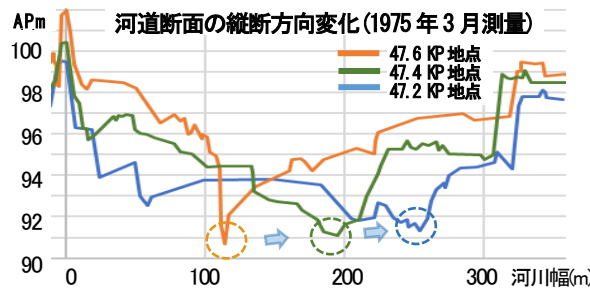


図-7 昭和用水堰下流河道の横断面重ね合わせ

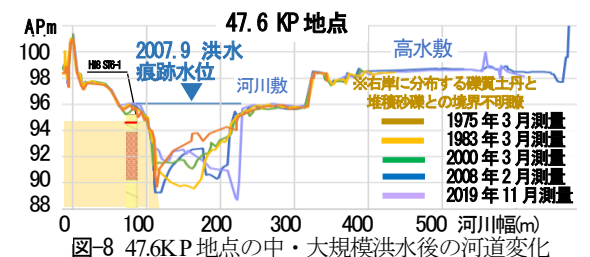


図-8 47.6KP地点の中・大規模洪水後の河道変化

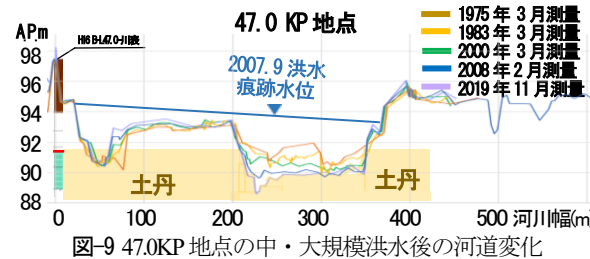


図-9 47.0KP地点の中・大規模洪水後の河道変化

の高さからなり, 最も低い堤頂部の下流に滯筋が形成され, 砂利採取と構造物の影響で深掘れが急速に進行した。堰下流約300m地点(47.6KP)では, 1955年の固定堰建設後1966年には約4m, 1974年には約6m深掘れが進んでいる。このような状況下で1974.9洪水を受け, 堰下流河道では砂利採取により砂礫層厚が薄くなっていたところを中心に著しい河床砂礫の流失が発生し, 至るところで河床に大規模な土丹露頭が見られた(写真-4)。この出水により, 47.4KP付近で左岸側へ向かっていたかつての流路は, 右岸側に向かう直線的な流れに切り替わった。以後この流れは変わらず固定化され, 河床の土丹が侵食

を受け河岸部まで土丹が露頭するような直線的な流路が約1,000mにわたり形成され、現在も継続している。

b) 流路の固定化に進展するメカニズム

堰建設時までは河床高が高く、47.4KP付近から左岸側に向かう流れは、1974.9洪水によって露出した土丹の上を流れており、河床下の土丹の影響をほとんど受けていなかった。1974年3月に測量した横断形状を縦断的に重ねた図-5をみると、砂利採取と堰建設の相乗的な影響もあり、堰直下流で狭く深く掘れ、下流へ離れると流路の幅は広く河床位は浅くなっている。この状況が、1974.9の大規模な洪水を受けて、大きく変化する。47.6KPにおける1974.9洪水前後の横断形状を図-6に示す。最深部が左岸端に寄るとともに、左岸河岸部が切り立った形状になっている。その箇所を写真-4で確認すると土丹が露出している(写真-13参照)。また、その下流では、最深河床部の発生位置が下流に向かい左岸端から右岸端に徐々に移動していることが、図-7から明瞭に確認できる。河床が最も深くなる(流水の勢いが最も強い)位置が右岸側へ寄っていく状況が生まれたことが、47.4KP付近で左岸側へ向かっていた流路が右岸側へ向かう直線的な流路となった理由である。次に、47.6KPの断面形状が大きく変わり、右岸へ向かう流れが生まれたメカニズムについて整理・分析する。

昭和用水堰は、図-4のように左岸部の堰堤頂部が低い。この影響で堰下流部では左岸側に滯筋が形成される。規模の大きな洪水時には右岸側にも洪水が流れるが、堰を通過した後は河床高が低い左岸側に引き寄せられるような流れ方をする。1974.9洪水時には、堰堤最右岸部が損壊し、洪水は右岸側を直進したものの右岸河川敷をそのまま下流へは流れず、迂回流のように90度近く旋回し堰下流左岸側へ向かう流れとなった。その際に河川敷を激しく洗掘・侵食しており、流下跡には土丹が縦断的に広範囲に露出している。流下跡の外縁部は切羽が立ち(写真-5参照)、47.8KPと47.6KPの横断図を比較すると、背後地(高水敷)と約5m、下流側河道敷(かつての河床)とは2mを超える高低差がつき、大洪水時にも左岸側に洪水が集まる形状となっていることが確認できる。こうした左岸端に集中してくる流れに抗った結果、図-6のように左岸側の河岸部が切り立った横断形状に変化したと考えられる。1974.9洪水とは異なり大きな河道の変化が見られなかった1972.9洪水(日野橋約2,300m³/s)を超える洪水は、1974.9洪水以降4回発生(1982.8, 1999.8, 2007.9, 2019.10)しており、これらの洪水の後に47.6KP及び47.0KP地点で測量された結果と2007.9洪水時の痕跡水位を図-8と図-9に示す。また、側線上でボーリング調査された結果を同図に示す。なお、土丹と河床堆積物の境界を赤線で示す。図-8から、流路幅が最も狭い47.6KP地点では土丹が露出した

左岸河岸部の切立った状態は大きな洪水を何度受けても変わっていない。また、右岸側についても河岸が切立った形状を形づくりながら河積を確保していることが分かる。流路幅が最も狭い47.6KP地点の2007.9洪水(歴代2位相当)の痕跡水位から、河床低下してできた流路内で既往最大洪水以外の全洪水を流すことが可能になっていることが分かる。このように、大洪水でも堰右岸側を通過した洪水が左岸流路に集まり(流路幅1/3に洪水集中し)、河床洗掘を伴いながら47.6KPの同じところを常に流れる形態を維持していることが、その下流の流路固定化の大きな要因と考えられる。47.0KP地点の横断図の経年変化を見ると、1974.9洪水時に形成された流路幅を保ちながら土丹を30年間で約2m洗掘して流路を形成している。47.6KPの流路兩岸の切り立った河岸が導流壁の役割を果たし、その下流では中小規模だけでなく大規模洪水時にも同じような洪水の流下形態を保ち、新流路内に移動砂礫も含め洪水のほとんどが流下したことで、流路の固定化が進行したと考えられる。こうした流れの形態を写真-5に記す。

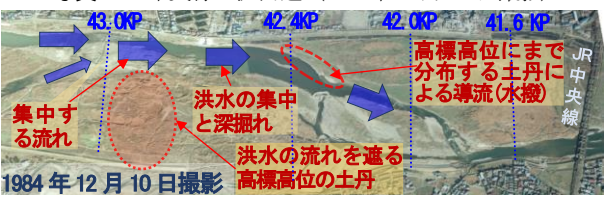
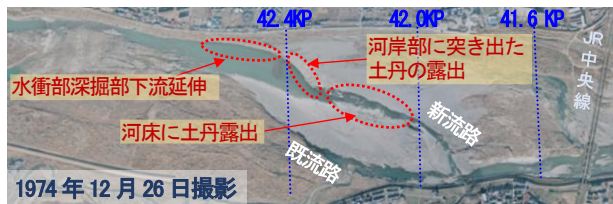
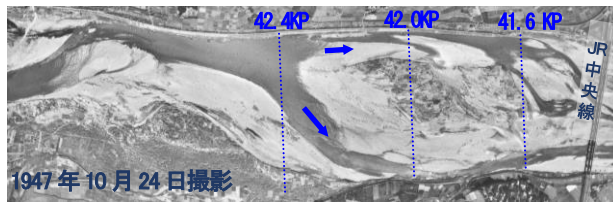
(2) JR中央線上流(42.4~41.6KP)

a) 新たな流路とその形成過程

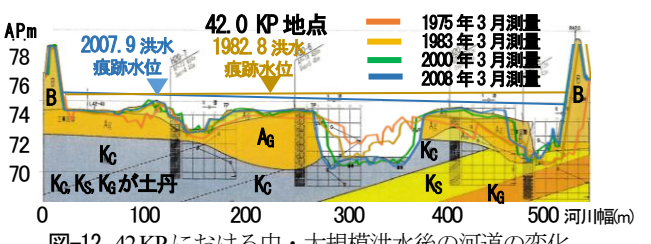
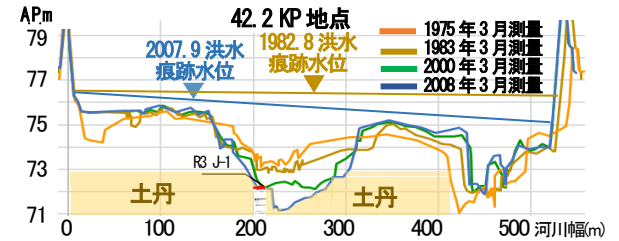
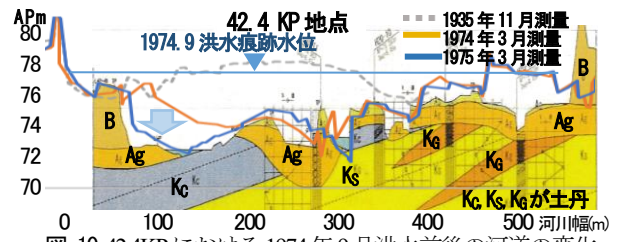
JR中央線上流では、写真-6に示すように42.4KPから41.6KPに向けて、土丹を洗掘して河川内を斜めに横切るような直線的な流路が形成された。かつては写真-7のように、多摩大橋下流43KP地点で左岸端に寄っていた流路は42.8KP付近から42.1KPに向けて緩やかな逆S字型の流路が形成されていたが、その流路とは別に土丹を侵食して直線的な流路が形成された。

b) 流路の固定化に進展するメカニズム

1965年に砂利採取が全面禁止された頃の当該区間には土丹の露頭は見られなかったが、1974.9洪水により、写真-8のように河道が変化した。この時の42.4KPにおける横断形状の変化と土丹の分布状況(2013年作成)を図-10に示す。砂利採取による影響で、1935年と比べ1974.9洪水前に河床高が3m程度低下していたが、土丹はまだ露頭していなかった。洪水により左岸河岸部が大規模な洗掘(水衝部における深掘れ部の下流延伸)を受け、約4m河床低下したことで、それまで露頭していなかった土丹が露出した。土丹の上に堆積していた土砂が流失しただけでなく露出した土丹前面河岸部の形状が弓なりにになっていることから、土丹も侵食を受けたと思われる。かつての河床位は高く、露出した土丹の上を洪水が流れていたが、1974.9洪水時には上流から下流に延伸してきた河床洗掘の深掘れ部の影響で土丹が河床から突き出た形となり(水撥ね水制のように機能し)、洪水流の中心は露出した土丹にあたり流れの向きが変わった。42.2KPと42.0KP地点における1974.9洪水後の河道形状の



経年的変化と痕跡水位及び土丹の分布状況を図-11 と図-12 に示す。1974.9 洪水で形成された新流路はまだ安定しておらず、1982.8 洪水で流路幅が拡がり、以後その流路幅で河床洗掘が進み、土丹を削り流路の固定化が進行している。河道中央の新流路の断面が徐々に大きくなっていく変化に連動するように、右岸端の流路（既流路）の幅が狭くそして浅く変化している。2 洪水の痕跡水位を見ると、流路周辺に比べ流路内の水深は深く、新流路を主体とした流れに移行していることが分かる。多摩川 43.0KP 付近では高標高位にまで土丹が露頭し、左岸端近くの土丹の侵食度合いが大きい（河道幅の 1/3 程度 写真-1(4) 参照）。この結果、1974.9 洪水の様な大規模な洪水であっても左岸側 1/3 程度の河川幅にしか洪水が流れない。多量の砂礫移動を伴う大きな洪水は 43.0KP 付近で河道の左岸端に集中して必ず流れる。そして、42.4KP 付近まで狭く流れの勢いを保ったまま河床を洗掘しながら流れ、42.3KP 付近で高標高位まで露頭した土丹に当たり流れの向きを右に変える。洪水の規模が大きいほど 43.0KP 付近からの流れは強く安定し、洪水時の河床洗掘が進むため、河床位と河岸上面との比高差が大きくなり、42.3KP 付近の土丹に衝突した流れは淵の様な形状となり安定する。こうした流れの構造を写真-9 に記す。新流路が、42.6KP まで左岸端を流れる洪水主流線と 41.6KP から右岸端を流れる洪水主流線を直線的に結ぶことで、河床を移動する砂礫も新流路を通過するようになり、流路



の河床低下と固定化が進行する。こうして 17 年間で約 1.5m 土丹を洗掘して流路形成が進行したと考えられる。

(3) JR 五日市線上流 (51.0~50.0KP)

1974.9 洪水によって JR 五日市線上流で約 800m 縦断的に土丹が露出した（写真-10）。51.0KP 右岸を水衝部とし、そこから JR 五日市線に向かって直線的な流路が形成され、流路に沿って土丹が露出するとともに土丹も洗掘を受けている。1982.8 洪水や 1983.8 洪水では、多摩橋上流からの流れに変化が生じ、写真-11 のように水衝部の位置が下流に移動し、その下流の洪水の主流線がやや左岸寄りに振られ、新たな場所で土丹が露出するとともに、かつての土丹露出部は砂礫で覆われている。1998.8 洪水では、写真-12 のように水衝部の位置がさらに下流に移動して流路は右岸寄りに振られ、左岸で露出していた土丹は砂礫で覆われ右岸側に新しい土丹の露出が見られる。JR 五日市線上流河道では、砂礫層厚が薄く土丹が露出しやすいが、上流からの洪水の主流線の位置が安定していないことから、その下流の流れも定まらず、土丹を削った流路の固定化には至っていない。

3. 流路の固定化と河道保全についての考察

河床に土丹が露頭すると侵食と流路固定が必ず進行するわけではない。複数の特定の条件がそろった場合に進行に至る。多摩川において流路の固定化が進行している 2 箇所（昭和用水堰下流河道と JR 中央線上流河道）における形成要件について分析・考察する。

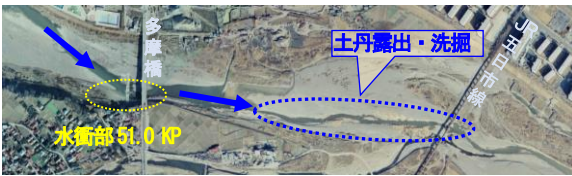


写真-10 JR 五日市線上流河道[1974年12月26日撮影]



写真-11 JR 五日市線上流河道 [1984年10月26日撮影]

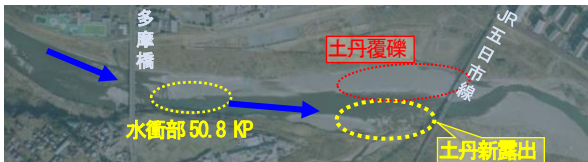


写真-12 JR 五日市線上流河道 [2001年12月31日撮影]

1974年9月の大規模洪水（日野橋約 $3,500\text{m}^3/\text{s}$ ）が契機となって2箇所とも河道の形状が大きく変化して流路の固定化が始まっている。それ以前の1972年9月に中規模の洪水（同約 $2,300\text{m}^3/\text{s}$ ）が発生していたにもかかわらず河道において大きな変化が起きていないことから、新たな流路の形成やその固定化には、大量の河床砂礫の移動を伴う規模の大きな洪水の発生が前提となる。そして、第一の形成要件は、洪水流の流路への集中である。写真-5や写真-9に示したように、2箇所とも大洪水時に河道幅の1/3に洪水が集中する構造となっている。洪水が集中して水深深く流れると、掃流力も大きくなり、砂礫の移動量も一層多くなる。平均年最大流量が $1,000\text{m}^3/\text{s}$ の河道において $2,300\text{m}^3/\text{s}$ 規模の洪水では大きな河道変化がなかったことから、流量が大きいことは重要な要素であり、流れが集中することは、より大きな洪水が発生しているのと同じであり、最初の流路形成やその後の流路成長・固定化に大きな影響を与える。第二の形成要件は、集中した流れを安定的に下流へ導流できることである。JR五日市線上流では、土丹が露頭しても侵食力の大きい洪水のたびに流れが変わり、同じ場所での侵食が進まず固定化には至っていない。固定化が進行した2箇所では、露頭した土丹が安定した流れの形成に大きな役割を果たしている。2箇所とも切り立った土丹が集中した洪水の流れの方向を変えるのに長期間安定して機能している。そして、流れの向きを変える位置に残っている土丹は、どちらも河岸に露頭する土丹の上部が侵食に強い土丹で覆われ、その下部は上部に比べやや侵食されやすく切り立った形状（写真-13参照）となっている。河岸部が切り立つことで洪水の流れの方向を変える導流壁として効率的に機能している。加えて、規模が大きな洪水時に洪水流が集まる位置にあることから、洪水中にはその前面の河床面が深く掘れ流速も増すことで、大規模な洪水時



写真-13 昭和用水堰下流左岸に露頭する土丹（全景と近景）
[2024年5月2日撮影]

にも水位があまり上がらず、側岸の土丹上面の水深も大きくならず、河床砂礫が土丹上面に乗り上げて移動する可能性も低くなり、結果的に土丹上面を侵食する力が緩和されていると考えられる。こうした異なる性状を有する土丹の構成と洪水流の流れ方が組み合わせたり、洪水時に同じ流れ方が長期的に続くことが可能となった。上流で流れの向きを変える位置にある土丹が長期的に安定したことで、下流の河道に露頭する土丹は、洗掘・侵食に時間のかかるにもかかわらず、大規模洪水時に活発な河床砂礫の移動を伴う集中した流れが毎回同じように繰り返されることにより、同じ場所での土丹洗掘が進み、三面（河床と両側岸）が土丹で構成されるような流路が形成され、その固定化が進行したと考えられる。

JR八高線下流河道では、砂利採取禁止以降 4m 以上の河床低下と土丹洗掘が起り、堤防に直線的に向かった流路の固定化が進行していた。このため、河床低下の進行を止め、堤防を直撃する流れを緩和するために河道は正工事が実施された⁷⁾。河床低下の進行を抑えとともに河道を広く利用し、流量に応じて河道の自由な変化が可能のように帯工の整備に工夫がなされている。この結果河床低下が抑止され、さらに、河道自らが洪水時に流路幅を上げるとともに堆積した浅い所は洗掘され、河床洗掘された深い所は堆積が進み、河道の修復力が回復してきた。是正工事を実施した効果により、河道の応答特性も変化し、直接工事実施区域外においても河道改善効果が波及し、安定した河道に向けた変化が起こっている。

流路の固定化が進行した2箇所では、流れの集中により洪水のエネルギーを集中させ、同じ所に砂礫移動を伴う洪水を流し続けることで土丹を侵食し、流路の固定化を促進させていることから、流れの集中を緩和させたり、洪水時の流れ方が固定化しない工夫をすることで、流路固定化を緩和することは可能と思われる。しかしながら、解消となると、これまで移動した砂礫の量や洗掘された土丹の量の多さを考えると容易ではなく、将来の河道イメージを明確にし、河道の持つ修復力を活用しながら効率的な方法を考える必要がある。

流路の固定化には、きっかけとなる大洪水があり、その後進行していく。きっかけとなる洪水による河道の変化に気づき、流路の固定化に進展するか否かの判断を早期に行える技術の確立も重要である。一般的には、適切な対応を早期にとる方が、対応策の選択肢も多く工事量

も小さいと考えられる。初期段階での対応であれば、2つの形成要件のうち1つでも除去することにより進行の抑制のみならず発生の防止が可能になると考えられる。対応時期が遅くなると、対応する工事が増えるとともに対応策として構造物設置が避けられなくなるため、構造物設置に伴うマイナスの影響にも留意する必要がある。

4. おわりに

今後地球温暖化の影響等で洪水流量の増大とその発生頻度の増加が見込まれる。このことにより、河道変化のスピード増加や河道管理の課題の顕在化が予想される。全国の数多くの現場で、図-2に基づく河道管理・保全を実施するためには、各河川で起きている事象や河道の特性を踏まえつつ、河川の持つ自然の営力を活用しつつ、維持管理し易い河道に誘導することが重要である。

本論文では、流路の固定化が進行するメカニズムを整理し、その形成発生要件を明らかにするとともに、流路固定化の進行抑制や発生防止について考察したが、流路固定化の判定基準や手遅れとならない対策実施のタイミングや目安となる時期の設定にまでは至っていない。時系列的な関係性を考慮した分析を行ったが、あくまで存在するデータの中での分析であった。今後は、データ取得すべき時空間的密度や取得すべき内容についても更なる整理が必要と考えられる。これらに関する研究・整理が進むことで、効率的かつ的確に、図-2に示す維持管理しやすい河道の管理・保全が可能となると考える。

REFERENCES

- 1) 米沢 拓繁, 福岡 捷二, 鈴木 重隆: 水衝部の河床表層材料と河床洗掘の関係の調査研究, 河川技術論文集, 第 13 巻,p.345-350,2007. [Yonezawa,H. Fukuoka,S. and Suzuki,S.: Reserch on bed surface materials around a flow attack point and bed scouring, *Advances in river engineering*,Vol.13,p.345-350,2007.]
- 2) 松本 将能, 工藤 美紀男, 福岡 捷二: 平成 20 年 8 月浅川洪水(多摩川水系)による土丹河床の大規模洗掘と河道管理方策, 河川技術論文集, 第 15 巻,p.285-290,2009. [Matsumoto,T. Kudou,M. and Fukuoka,S.: Outcrop of shale caused by flood flow of the Asa River and the concept of countermeasures against bed scouring, *Advances in River Engineering*, Vol.15,p.285-290,2009.]
- 3) 北海道開発局, 寒地土木研究所: 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案), 2017.2 [Hokkaido Regional Development Bureau, Civil Engineering Research Institute for Cold Region: *Guidelines for Assessing the Risk of Riverbed Degradation in Rock Beds (Draft)*, 2017.2]
- 4) 井上卓也, 矢部浩規: 岩床上に形成される複数筋の形成過程, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.73, No.4, I_823-I_828,2017. [Inoue,T. and Yabe,H.: Formation process of multiple grooves in bedrock channel, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 Vol.73, No.4, I_823-I_828,2017.]
- 5) 山口 昌志, 柿沼 孝治, 井上 卓也, 清家 拓哉, 加藤 一夫: 軟岩洗掘を考慮した大型模型実験を用いた河床低下対策手法の評価について, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.73, No.4, I_853-I_858,2017. [Yamaguchi,M. Kakinuma,T. Inoue,T. Seike,T. and Kato,K.: Study for countermeasure of riverbed degradation largescale experiment considering soft bedrock erosion, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 Vol.73, No.4, I_853-I_858,2017.]
- 6) サムナー 圭希, 井上 卓也, 人見 美哉, 清水 康行: 乾湿風化を考慮した岩盤侵食モデルの構築, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, I_1045-I_1050,2018. [Sumner,T. Inoue,T. Hitomi,Y. and Shimizu,Y.: Modeling of bedrock erosion considering wet-dry weathering, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 Vol.74, No.4, I_1045-I_1050,2018.]
- 7) 船橋昇治, 瀬尾敬介, 福岡捷二: 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, 河川技術論文集, 第 30 巻 ,p.293-298,2024. [Funabashi,S. Seo,K. and Fukuoka,S.: Stalization of river channel with sand and gravel moving on exposed mudstone bed, *Advances in river engineering*, Vol.30,p.293-298,2024.]

(Received May 31, 2024)

(Accepted September 15, 2024)

ON THE FORMATION MECHANISM OF IMMOBILIZED CHANNELS OVER EXPOSED MUDSTONE BEDS AND POSSIBLE COUNTERMEASURES OF SUCH CHANNELS

Shoji FUNABASHI, Katsuhiro GOTO and Shoji FUKUOKA

In a typical alluvial river channel, the flow path changes in various ways depending on the magnitude of the flood. However, in rivers with exposures of mudstone, the flow channel becomes deeply incised and fixed in the mudstone(Dotan) by large floods, making it difficult to maintain and manage the river channel. In order to avoid such a situation, it is important to detect the signs of channel immobilization at an early stage and to clarify the mechanism of channel immobilization to avoid or prevent the progression of immobilization. In this study, the stabilization mechanism of Dotan exposure channels in the Tama River was clarified and measures for maintenance of the Dotan channel were discussed.