

洪水流による土丹河床高さの経年変化と 堰周辺の砂州変形に伴う洗掘深の増大について

TEMPORAL ELEVATION CHANGES IN THE SHALE BED
AND INCREASE IN SCOUR DEPTH WITH SANDBAR DEFORMATION
AROUND THE WEIR DURING FLOODS

忠津哲也¹・鈴木研司²・内田龍彦³・福岡捷二⁴

Tetsuya TADATSU, Kenji SUZUKI Tatsuhiko UCHIDA and Shoji FUKUOKA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27-31214)

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

³正会員 工博 中央大学研究開発機構准教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27-31208)

⁴フェロー Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27-31209)

The local scour and the bed degradation during floods are serious factors causing the damage of river structures. For a structure maintenance and management, it is important to understand bedform changes around structures. Recently, two problems concerning river bed variation have been revealed in the Tama River. One is a local scour around river structures. The local scour by the 2007 flood caused damage of bed protection works upstream of Nikaryo Syukugawara weir. Another is the shale bed erosion problems. The shale bed is known to be susceptible to bed degradation. The objectives of this study are to clarify the relation between sandbar shape changes and local scour under the influence of the weir and examine time changes in shale bed elevation by floods.

Key Words : *Nikaryo Shukugawara weir, sandbar deformation, local scour, river bed degradation, shale*

1. 序論

河川横断構造物近傍の局所洗掘や河床低下は、洪水時、構造物に被災を及ぼす要因となる¹⁾。河川横断構造物の維持管理の上で、構造物の周辺および、その上下流における河床形状の経年変化を把握することは、洗掘による構造物の被災の危険性を調べ、また、被災が起こった場合の原因解明のために基本的に最も重要と考えられる。

多摩川の二ヶ領宿河原堰では平成11年に固定堰から可動堰に改築された。堰改築による堰敷高の切り下げによって、堰上流の堆積土砂が堰下流へ移動し、河床高が下がり流下能力が増大した¹⁾²⁾。平成19年9月には大洪水が発生し、堰上流側の護床工の一部が破損した³⁾。CCTV映像によって水位ピーク付近で、右岸側を中心に護床工が被災を受けている状況が確認されている。被災

の要因は、洪水時に護床工上流で深掘れが発生、拡大し、護床工敷高下の河床が洗掘を受けたことで護床工が不安定となり、被災したと考えられている³⁾。また、多摩川の中流域では主に泥岩層（いわゆる土丹層）が河床に露出している。土丹層は破壊され易く、洪水により土丹河床の低下が促進され、構造物の安全性を低下させるなどの問題が生じている⁴⁾。

本研究では、まず二ヶ領宿河原堰の上流区間において砂州と滞筋、深掘れに着目し、河床形状の経年変化を示し、護床工の被災要因と考えられている二ヶ領宿河原堰による砂州の変形に伴う堰周辺の深掘れについて検討する。次に、土丹層の露出が確認されている区間において河床形状の経年変化と洪水流による土丹河床の洗掘量と河道特性との関係を検討する。

表-1 石原観測所における
近年の主要な洪水の観測流量

年	月	横断測量 データ	観測流量 [m ³ /s]
平成16年	3月	○	
	10月		2337
平成17年	8月		1548
	8月		1646
平成18年	3月	○	
	10月		1034
平成19年	9月		4088
平成20年	2月	○	
平均年最大流量 (平成10年～平成19年)			2098.5

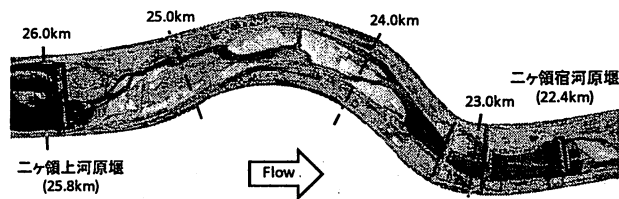


図-1 ニヶ領宿河原堰上流の航空写真(平成19年10月)

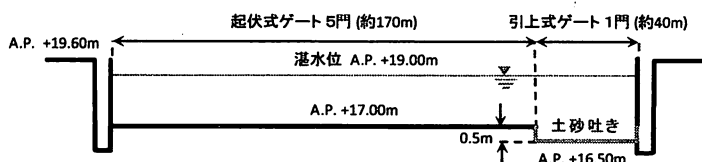


図-2 ニヶ領宿河原堰上流側水叩き部の横断面図

2. ニヶ領宿河原堰上流の砂州河床の経年変化

(1) 平成19年9月洪水とニヶ領宿河原堰の概要

ニヶ領宿河原堰の上流側護床工に被災を及ぼした平成19年9月洪水は、石原観測所(27.8km)において戦後2番目に高い水位を観測した。表-1に石原観測所における近年の主要な洪水の観測流量を示す。平成19年9月洪水は近年の主要な洪水や平成10年以降の平均年最大流量と比べ、特に大きな洪水であったことがわかる。

図-1はニヶ領宿河原堰の上流における航空写真を示している。堰上流の低水路法線は蛇行しており、堰直上流の右岸側は湾曲外岸の下流に位置している。また、砂礫河床である堰上流では砂州が形成されている。図-2はニヶ領宿河原堰上流側水叩き部の横断面図を示している。水叩き部の右岸側には土砂吐きが設置されており、河床が50cm低く設計されている。以上のことから、堰直上流では、低水路に形成されている砂州と堰の構造により、流れが右岸側に集中しやすい。

(2) 河床形状の経年変化

ニヶ領宿河原堰の上流における河床形状の経年変化を把握するため、河床形状コンターを作成する。本研究では、平成16年3月に測量された22.45km～24.6km、平成18年3月、平成20年2月に測量された22.5km～24.6kmの横断測量データを用いる。200m間隔で測量された縦横断測量データから河床形状を適切に表現するため、横断測量前後に撮影された航空写真を参考に、図-3に平成16年、18年、20年の河床形状コンターを、表-1に横断測量年月と主要な洪水を示す。河床形状コンターは砂州や滞筋、深掘れに着目するため、各横断の標高から各年の低水路平均河床高を引いた値で示している。護床工被災後の平成20年における河床形状コンターでは護床工直上流において、右岸側に深掘れが存在していることが確認できる。平成16年における24.0kmより下流の砂州と滞筋を平成18年、20年と追うと、経年的に下流へ移動していることがわかる。また、堰上流右岸側に存在している深

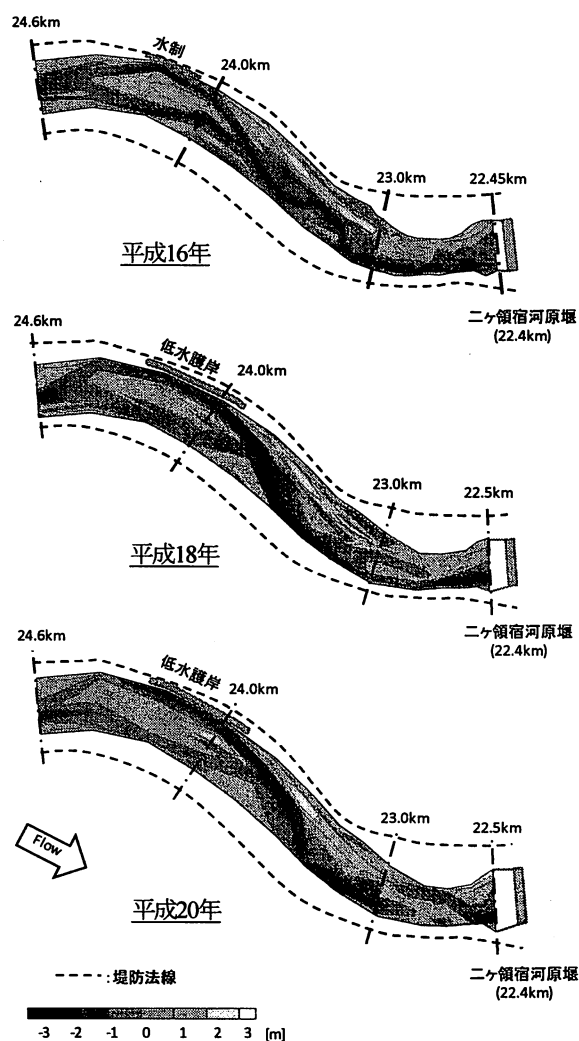


図-3 河床形状コンター

掘れも同様に、平成16年以降、上流から右岸側に沿って経年的に下流へ移動している。

図-4に平成16年、18年、20年の最深河床高縦断面図を示す。平成16年に23.0kmにあった深掘れは、平成18年に22.7km、平成20年に22.5kmと経年的に下流へ移動している。ここで、護床工直上流の22.5kmでは、平成20年の最

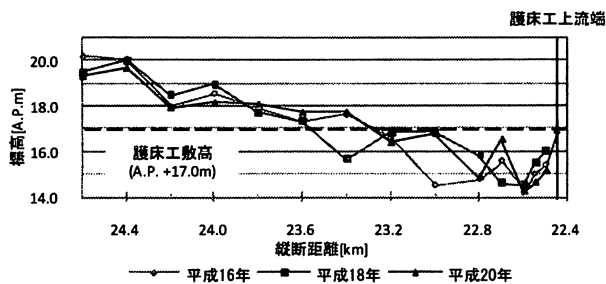


図-4 最深河床高縦断面図

深河床高が最も低く、護床工敷高より1.8m低い。一般に、洗掘部は洪水ピーク付近で最も洗掘が進行し、洪水減衰時に洗掘部が埋め戻される。そのため、平成19年9月洪水の洪水ピーク付近では、深掘れが確認された護床工直上流の右岸側で最深河床高が平成20年測量時よりも低くなっていたと考えられ、護床工の安全性は著しく低下していたと考えられる。

次に、護床工敷高と河床高の関係を把握するために、堰上流近傍での標高コンターを図-5に示す。護床工敷高はA.P.+17.0mである。各年とも二ヶ領宿河原堰上流では左岸側の河床高が護床工敷高に比べて高く、右岸側で低い。平成16年と被災前の平成18年を比べると、左岸側の砂州が発達し、護床工敷高より高い河床高の範囲が横断方向に発達しており、それに伴って流れが右岸に集中し、右岸側で洗掘部が発達している。この砂州の発達は平成16年、17年の洪水によって移動した土砂が、二ヶ領宿河原堰の影響を受けて左岸寄りに堆積したためである。そのため、平成18年の河床形状は右岸側への流水の集中が顕著になりやすい形状であったことがわかる。

(3) 二ヶ領宿河原堰上流の深掘れの発達機構

前述したように、堰上流の右岸側は流水が集中し、左岸に砂州、右岸に深掘れが形成される。これに加えて、移動性の砂州の形状は堰によって著しく変形される。堰の上流では堰の抵抗によって流速が低下するため、上流から移動してくる砂州の移動速度は堰に近づくにつれて低下する⁹⁾。そのため、砂州の移動に速度差が生じることで砂州が高くなる。左岸側での砂州が発達すると右岸側では流水の集中がさらに顕著になり、右岸側の洗掘が進行する。このことは、砂州河川での堰の存在を否定するものではない。堰は水利用にとって必要な構造物であり、洪水時に如何に水と土砂を適切に下流へ流下させるかが重要である。このためには、常に堰周辺の河床を監視し、技術的な検討によって問題ありと判断されれば、問題点を取り除く維持管理技術を確認することが求められる⁶⁾。その意味では、平成19年の大洪水に際して2(1)、(2)で述べた河床形状の経年変化の考察が不十分で、危険な状態にあったことを察知できなかった。このことは、砂州河川における構造物の維持管理に関して警鐘を与えるものであり、縦横断測量データを用いた地道な調

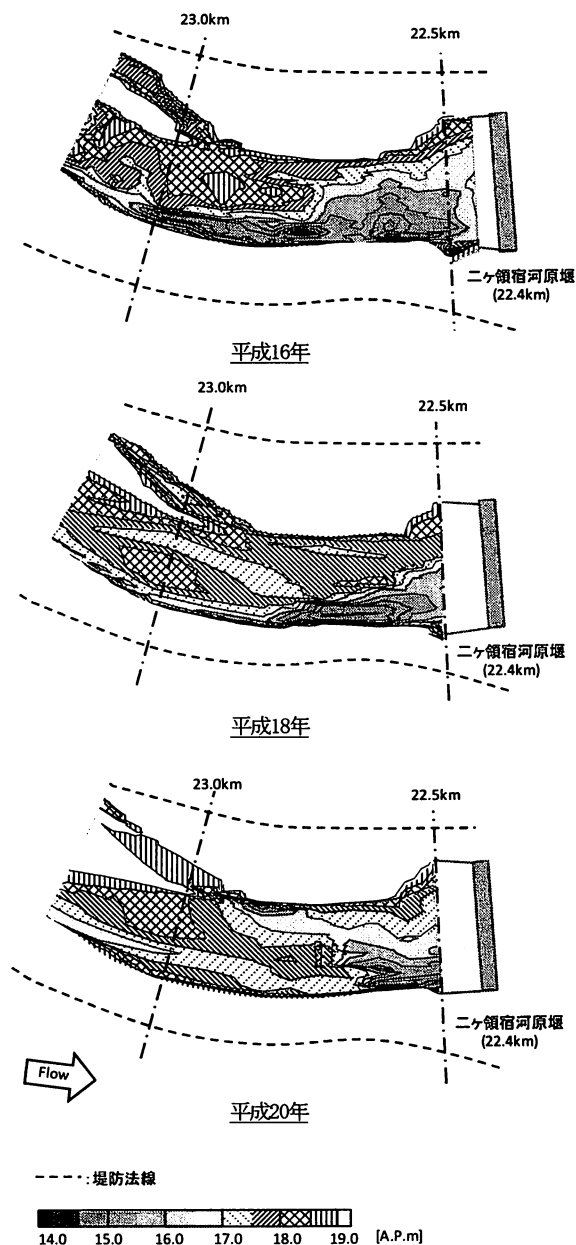


図-5 二ヶ領宿河原堰直上流の標高コンター

査検討が維持管理の基本であることを示している。

3. 多摩川における土丹層の露出と洗掘量

(1) 土丹層の露出とそれによる問題

図-6は左右岸における土丹層高さの縦断推定線と平成16年、20年の最深河床高、平成18年度調査により土丹層の露出が確認された範囲を示している。土丹層の露出範囲では、最深河床高は土丹層の高さよりも低く、河道整正や低水護岸整備が行われていた範囲を除いては経年的に河床が低下している。一方、昭和用水堰(47.8km)上流では河床が経年的に上昇している。昭和用水堰は固定堰であるため、堰上流で土砂堆積が生じており、堰下流へ

の土砂移動量を減少させている⁷⁾。図-7は土丹層の露出が確認されている横断面での最深河床高の経年変化を示している。平成10年から平成14年では最深河床高が上昇している場合もあるが、平成14年以降は各断面とも経年的な低下傾向にある。図-8は土丹層の露出が特に顕著である40.0km～45.2kmの航空写真である。この区間では、低水路法線が蛇行しており、蛇行頂部である41.4km右岸や43.0km左岸では低水路が堤防に接近している。また、河道内には多くの河川横断構造物が設置されている。

最初に土丹層が露出することの主な問題点を考察する。土丹層の表面は滑らかなため、洪水中に上流から運ばれてくる砂礫は留まりにくい。また、洪水中に流下してくる砂礫の土丹面への衝突、摩擦により土丹層は洗掘される⁹⁾。これらのことから、一旦河床に土丹層が露出すると図-7に見られるように河床は経年的に低下する。したがって、土丹層の露出は周辺の構造物の基礎を危険に晒すことになる。そのため、土丹層の露出箇所と洪水による洗掘量を把握し、構造物の安全性のチェックをする必要がある。

(2) 土丹層の露出と河床形状の経年変化

図-9に土丹層が河床に露出している区間の河床形状コンターを示す。用いたデータは航空写真と平成16年3月、平成18年3月、平成20年2月の横断測量データである。対象区間は湾曲した低水路が左岸堤防に接近している42.6km～43.6km、護床工(44.8km)と日野用水堰(45.2km)が設置されている44.2km～45.2kmの2区間とする。河床形状コンターの値は標高から平成16年の横断測量時の低水路平均河床高を引いた値である。低水路で土丹層が露出している河床では、洗掘深とその範囲は経年的に拡大している。

低水路湾曲部の42.6km～43.6kmでは、土丹層の露出している42.6km～43.4kmで経年的に河床が低下している。特に、堤防に接近し、流れが集中しやすい43.0km周辺の湾曲外岸部で局所的に河床が低下しており、図-7より最深河床高は平成16年以降2.1m低下している。また、日野用水堰と護床工が設置されている44.2km～45.2kmでは、護床工の上下流の左岸側で河床が低下しており、平成16年以降の最深河床高は44.6kmで0.53m、45.0kmで0.83m低下している。

(3) 土丹層が露出している河床の洗掘量

横断測量データを用いて洪水による土丹河床の洗掘量を求める。図-10に示すように、左右岸の堤防際で測られた土丹層高さの縦断推定線と平水時の航空写真を参考に、横断面内における土丹層の露出範囲を定める。土丹層の露出区間において、経年的に河床が大きく低下している範囲を局所洗掘範囲とする。土丹河床の洗掘は図-10に示すように、局所洗掘範囲内の断面積を局所洗掘範囲の幅で除した平均河床高を用いて評価する。検討期間

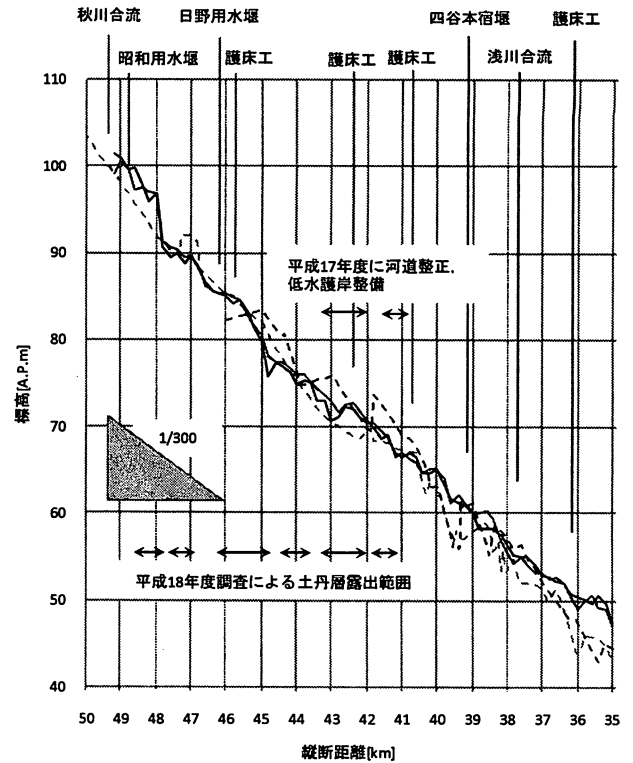


図-6 土丹層の高さと最深河床高の縦断図

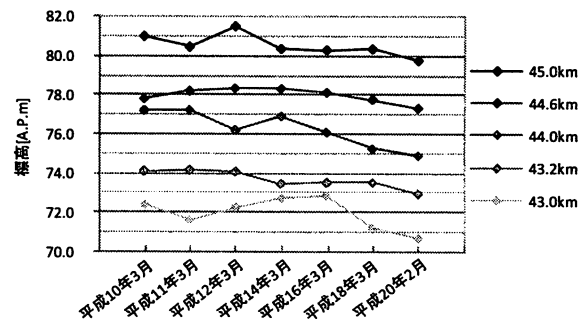


図-7 最深河床高の経年変化

以前で最も低い(過去最低の)平均河床高から洪水後の平均河床高を引いた平均河床高の差を ΔH_m と定義する。 $\Delta H_m > 0$ は土丹河床の洗掘、 $\Delta H_m < 0$ は洪水後に土丹河床上に土砂が堆積していることを表す。土丹河床上に堆積している土砂は既往の河床材料調査研究⁴⁾より、本来河床上にある粒径より小さい傾向にあるため、小さい流量でも掃流されることになる。したがって、 $\Delta H_m < 0$ の場合でも洪水期間中は土丹層が露出、洗掘されていることが容易に考えられる。しかし、洪水前後の横断測量データからは洪水期間中の河床変化を把握することはできないため、本研究では $\Delta H_m > 0$ のみの場合を土丹河床の洗掘量として評価する。

低水路法線形や構造物周りなどの河道の条件を考慮し、横断測量データより土丹層の露出と経年的な河床低下が確認できる43.0km、43.2km、44.6km、45.0kmの測量横断

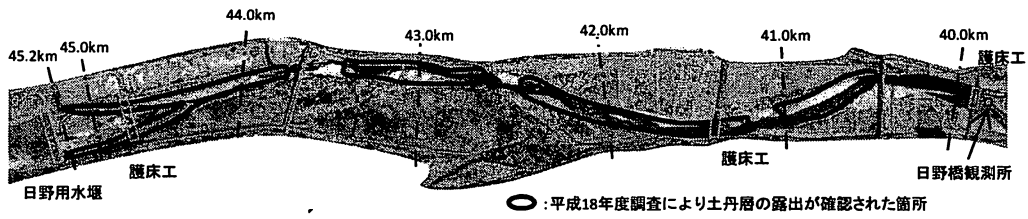


図-8 検討区間の航空写真

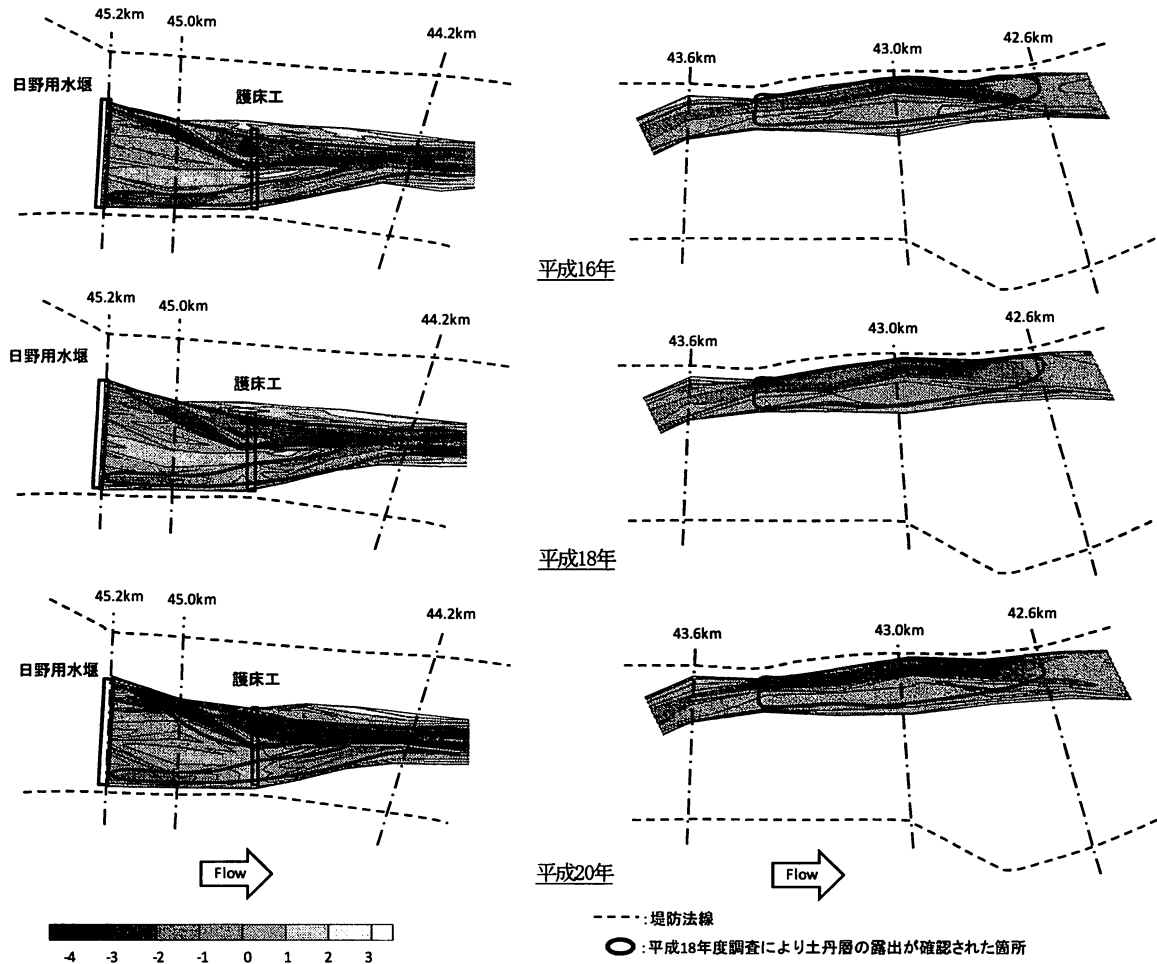


図-9 土丹層が露出している区間の河床形状コンター

を検討断面として、土丹河床の洗掘量を評価する。表-2に各検討断面の河道の条件を示す。用いた横断測量データは平成10年、11年、12年～20年の隔年である。図-11に現在検討している区間の下流に位置する日野橋観測所(39.8km)における平成10年以降の主要な洪水時の最大水位と最大流量を示す。図-12は横軸に検討期間、縦軸に土丹河床の洗掘量を示している。平成10年以降において洪水の規模が最も大きかった平成19年9月洪水を含む検討期間(H18-H20)では洗掘量が他の検討期間と比べて大きく、43.2km、45.0kmで約0.5mである。また、図-9で示したように低水路が堤防に接近している43.0kmの湾曲外岸部で洗掘量が0.77mと著しく大きい。一方、平成19年9月洪水の次に洪水規模の大きかった平成11年8月洪水を含む検討期間(H11-H12)では、43.2kmで洗掘量が最大で、0.12mと小さい。これは、本研究において洗掘量は

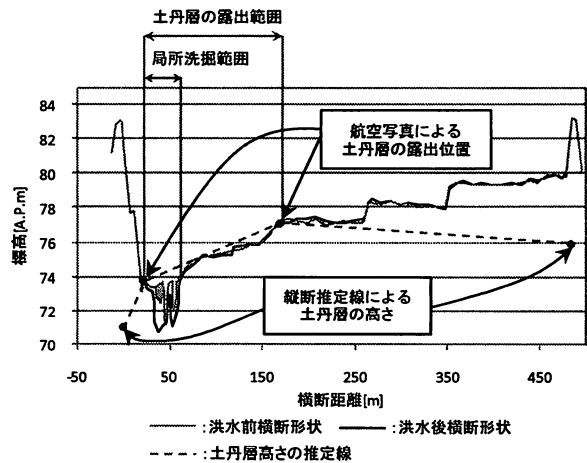


図-10 横断面内における土丹層の露出範囲(43.0km)

洪水前後の河床変化により求めた値であり、洪水減衰期の土砂堆積により土丹河床高が適切に評価できなかったためと考えられる。

このことから、土丹層は大規模な洪水によって大きな洗掘を受けやすく、特に、湾曲外岸部のような洪水流が集中しやすい場所で大きな洗掘となる。しかし、本研究による土丹河床の洗掘量は洪水前後の河床変化によるものであり、洪水期間中はさらに洗掘されていることが考えられる。そのため、洪水期間中における土丹河床の洗掘量を把握し、構造物の安全性について検討することが重要となる。

5. 結論と今後の課題

本研究により得られた主要な結論を以下に示す。

- (1)被災した二ヶ領宿河原堰の上流河道では砂州が経年的に下流へ移動している。洪水時には、堰上流の河道形状、堰の構造、堰の存在により、堰直上流において砂州の移動が抑制され、砂州の高さと堆積範囲が大きくなる。このため、堰位置で主流が右岸に偏り、深掘れが発達し護床工が被災した。砂州の発達した河道では、堰の周囲の河床高の変化に留意して構造物の維持管理に努めることが重要である。
- (2)多摩川の中流域において、河床に土丹層が露出している箇所では洪水により経年的に河床が低下している。特に、低水路蛇行頂部で堤防に接近している地点や護床工の上下流で著しく洗掘していることを示した。
- (3)横断測量データから近年の洪水による土丹河床の洗掘量を求めた。平成19年9月洪水によって土丹河床が大きく洗掘され、特に、水衝部となる箇所で顕著に洗掘されることを示した。

河川構造物の維持管理を適切に行うためには、洪水による河床低下、洗掘量を定量的に見積もり、構造物の安全性について検討し判断することが重要となる。二ヶ領宿河原堰上流では洪水時における砂州の移動、変形と堰周りの流れについて定量的に検討し、構造物の安全性を判断する必要がある。一方、土丹河床においては、洪水外力による洗掘速度を調べるとともに、土丹層の洗掘メカニズムを明らかにし、構造物の被災の危険性について考察することが重要となる。また、土丹層の露出は河床低下を促進させるため、河床に土丹層を露出させないための技術的検討が緊急の課題である。

参考文献

- 1)福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，森北出版株式会社，2005。

表-2 検討断面付近の河道の条件

距離標	河道の条件
43.0km	低水路蛇行頂部 (低水路が堤防に接近している)
43.2km	
44.6km	護床工(48.0km)下流
45.0km	護床工(48.0km)上流

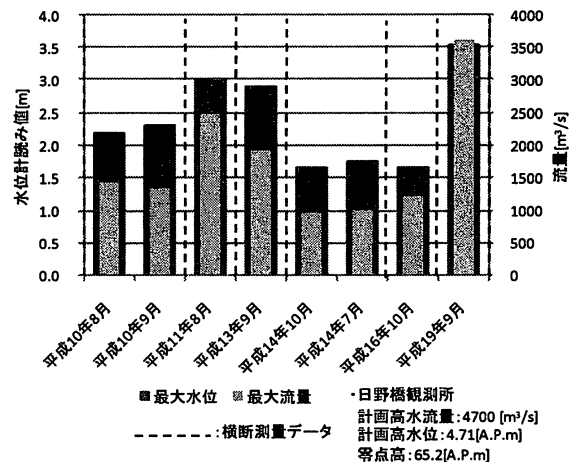


図-11 日野橋観測所における近年の主要な洪水

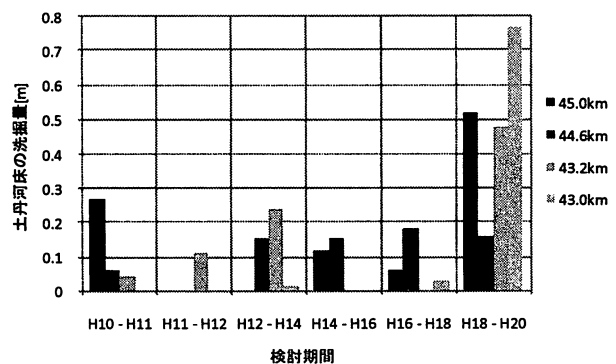


図-12 各検討期間における土丹河床の洗掘量

- 2)福岡捷二，海野修司，成田一郎，辰野剛志，西本直史：多摩川二ヶ領宿河原堰の改築による堆積土砂の移動，河川技術論文集，第48巻，pp 1081-1086，2004。
- 3)第12回多摩川水系河道計画検討委員会資料，国土交通省京浜河川事務所，2007。
- 4)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，河川技術論文集，第13巻，pp 345-350，2007。
- 5)土木学会水理委員会「洪水流の三次元流況と流路形態」研究小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，土木学会論文集，第345号/II-1，pp 41-52，1984。
- 6)福岡捷二，河川の維持管理，平成20年度四国河川技術研修テキスト，日本河川協会，pp1-19，2009。
- 7)第8回多摩川水系河道計画検討委員会資料，国土交通省京浜河川事務所，2004。

(2009. 4. 9受付)