

河川横断構造物の存在する河道における洪水流による砂州の変形と局所洗掘に関する研究

SANDBAR TRANSFORMATION AND LOCAL SCOURING

UNDER THE INFLUENCE OF RIVER STRUCTURES DURING FLOODS

土木工学専攻 27号 忠津 哲也

Tetsuya TADATSU

1. 序論

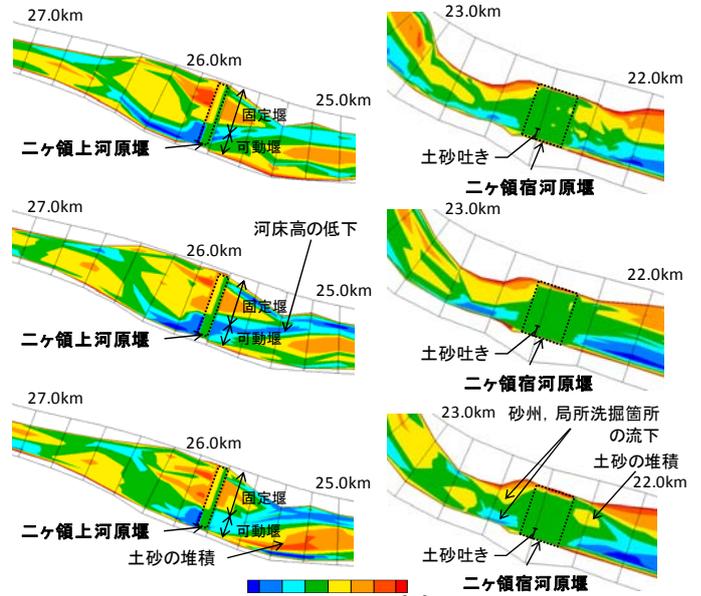
河道内の砂州が洪水時に移動、変形すると、それに伴って局所洗掘箇所が移動、変形する。砂州が河川横断構造物の周辺に接近すると、構造物との相互作用によって変形し、それによる洗掘深の発達によって構造物の機能や安全性を低下させる危険性がある。そのため、洪水流による砂州の移動、変形と河川横断構造物周辺の局所洗掘の関係を明らかにすることは、構造物の被災予防の対策を検討する上で重要となる。本研究では図-1に示すように、砂州河道である多摩川の二ヶ領宿河原堰(22.4km)と二ヶ領上河原堰(25.9km)周辺を対象に、堰周辺の経年的な砂州の移動、変形特性について実測データから検討する。次に、洪水流による砂州の移動、変形に及ぼす河床材料の粒度分布の影響を検討する。このため、まずは砂州の河床材料に関する現地調査より平面的、鉛直的な粒度構成を検討する。そして、砂州の粒度構成を考慮した河床変動解析を行い、混合粒径の影響について検証すると共に、堰周辺における洪水時の河床変動機構を明らかにする。

2. 堰周辺の経年的な河床形状変化

砂州河道における堰の存在と洪水流による砂州形状の経年的な変化の関係を把握するため、図-2にH12, 18, 20の横断測量データを用いた二ヶ領上河原堰、二ヶ領宿河原堰周辺の河床形状コンターを示す。コンターの値は各横断面において標高からH12の低水路平均河床高を引いている。二ヶ領上河原堰は左岸側に固定堰(261.8m)、右岸側に可動堰(133.2m)が設置されている。固定堰上流では堰の影響を受けて砂州が常に存在し、経年的にその形状を変化させている。図-3で示す堰直上流の横断形状(26.0km)では、H12年(緑線)から18年(赤線)に河道中央付近から右岸側にかけて土砂が堆積している。それに伴って、右岸側の局所洗掘が1.5m深くなっており、可動堰の敷高よりも低い。また、戦後最大規模であったH19年洪水前後(H18:赤線, H20:青線)を比較すると、可動堰の上流で砂州の高さが低くなっている。これは、同洪水時に可動堰のゲートが全開となったことで、堰上流に堆積していた土砂が掃流されたためと考えられる。そのため、図-2(a)で示すように、洪水後の堰下流では右岸側で顕著に土砂が堆積している。また、固定堰の下流ではH12年から18年にかけて瀾筋部で河床高が低下しているが、H19年洪水後は上昇している。二ヶ領宿河原堰はH11に全面可動堰に改築された。H19年洪水時には、堰上流側の



図-1 検討範囲の航空写真(H19. 10)



(a) 二ヶ領上河原堰周辺 (b) 二ヶ領宿河原堰周辺

図-2 河床形状コンター(上からH12, H18, H20)

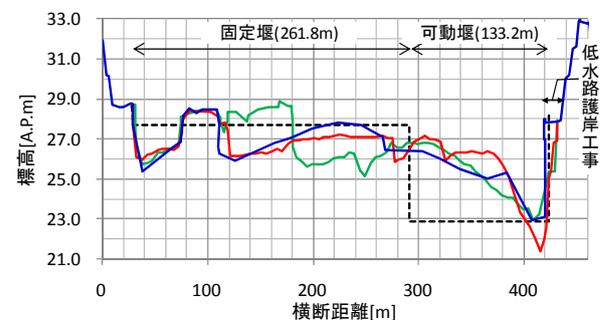


図-3 二ヶ領上河原堰直上流の横断図(26.0km)

護床工が右岸側を中心に被災している。堰上流の右岸側には常に局所洗掘が生じているが、これは、河道湾曲や堰の右岸側に設置されている土砂吐きの影響と考えられる。H19年洪水前後の河床形状(H18,H20)を比べると、堰

上流では左岸側で砂州，右岸側で局所洗掘が堰に接近していることが分かる．そのため，この局所洗掘が被災要因の一つとして考えられる．また，堰下流では左岸側で土砂が堆積している．これは，堰上流の砂州が堰を通過したためであると考えられる．

このように，洪水流による堰周辺の砂州は堰の構造の影響を受けて異なった移動や変形，堆積機構となり，それに伴って局所洗掘箇所も移動，変形する．そのため，砂州河道における堰周辺の河床変化の特徴を把握するためには，経年的な測量データに加え，河道線形や堰の構造に留意して検討することが重要である．

3. 砂礫河川における砂州の粒度構成

(1) 現地調査

洪水流による砂州の移動，変形に対する河床材料の粒度分布の影響について検討するため，図-1 に示す多摩川 24.6km 付近の左岸に形成されている砂州を対象に，H20.12 と H22.9 に，平面的，鉛直的な粒度分布の調査を行った．この期間における石原観測所(27.8km)での観測水位から，砂州形状を大きく変形させるような洪水は発生していないため，両調査における砂州の状態はほぼ同じであったと考えられる．図-4 に対象砂州の航空写真(H20.9)と調査地点を示す．調査地点は砂州前面や水際を中心に平面的に 26 地点で行っている．また，図-4 において△で示す地点では重機を用いて鉛直方向の粒度分布を調査した．粒度調査はふるい分け試験と 1.2m×1.2m の枠を用いた画像解析によって行った．

(2) 調査結果

調査した河床表層の粒度構成を図-5に示す．線の色は図-4と対応しており，赤が砂州の上流部，青が中・下流部である．上流部では中・下流部に比べ粒度分布が粗く，両者のd50の平均値を比較すると上流部で20[mm]程度粗い．また，中・下流部の粒度分布は，H17において図-1

に示す黄緑の△の地点で調査された粒度分布の平均値(黄緑線)と同程度であることが分かる．図-6に上流部の鉛直方向の粒度分布を示す．下層の粒度分布(黒破線)は表層(赤実線)と同じ範囲に分布しており，上流部では表層も下層も粗い河床材料で構成されていることが分かる．図-7に中・下流部における鉛直方向の粒度構成(図-4のNo.1, No.2地点)を示す．この2地点はH19.9洪水において洪水前後の数値地形データから土砂の堆積(No.1: +108cm, No.2: +59cm, H17~H19の河床変動量)が把握できている．No.1(破線), No.2(実線)共に表層(橙)は粗粒化により中層(水色), 下層(紫)よりも粗い．しかし，No.2の最下層(黒)の粒度分布は表層よりも粗い．これは，この層がH19.9洪水による堆積厚さよりも深いため，過去の洪水時に河床であったときの粗い粒度分布が観測されたと考えられる．このように，砂礫河川における砂州は，平面的，鉛直的な粒度分布の構造をもっている．そのため，この粒度分布の違いが堰周辺を含め，洪水時の河床変動にどのように影響するかについて河床変動解析から明らかにする．

4. 砂州の粒度構成を考慮した河床変動解析法

(1) 解析法

これまで一様粒径による河床変動解析から堰周辺の

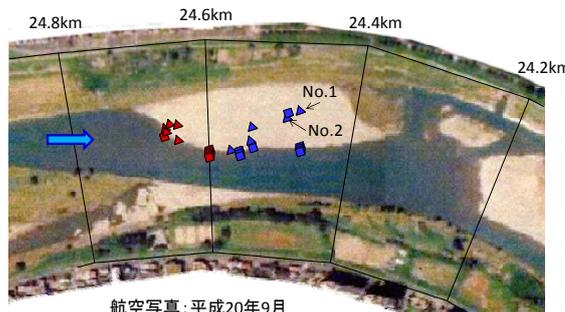


図-4 現地調査周辺の航空写真(H20. 10)と調査地点

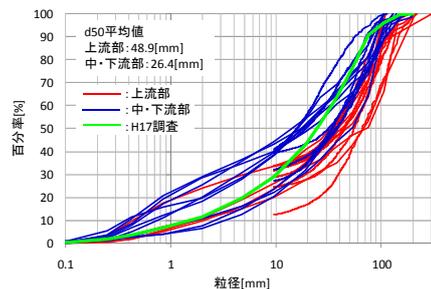


図-5 砂州の平面的な粒度構成(河床表層)

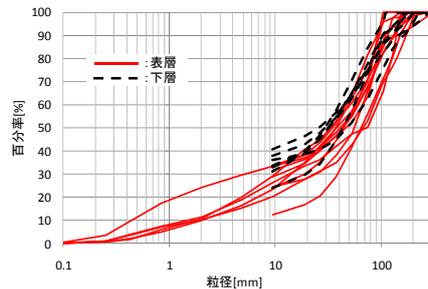


図-6 上流部の鉛直的な粒度構成

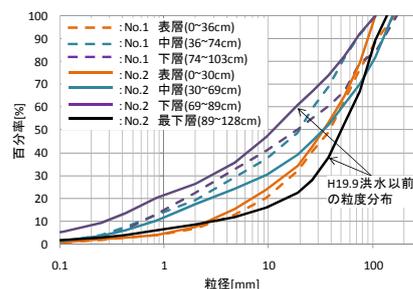


図-7 中・下流部の鉛直的な粒度構成

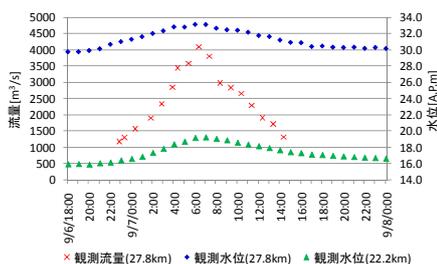


図-8 水位・流量ハイドログラフ

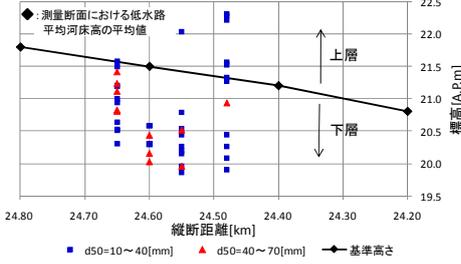


図-9 上下層の境界となる基準高さとの調査結果の比較

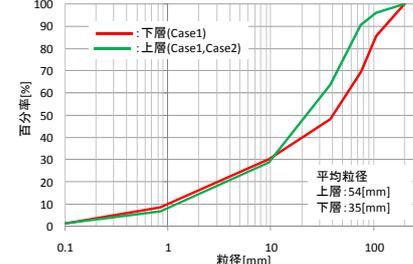


図-10 解析初期粒度分布

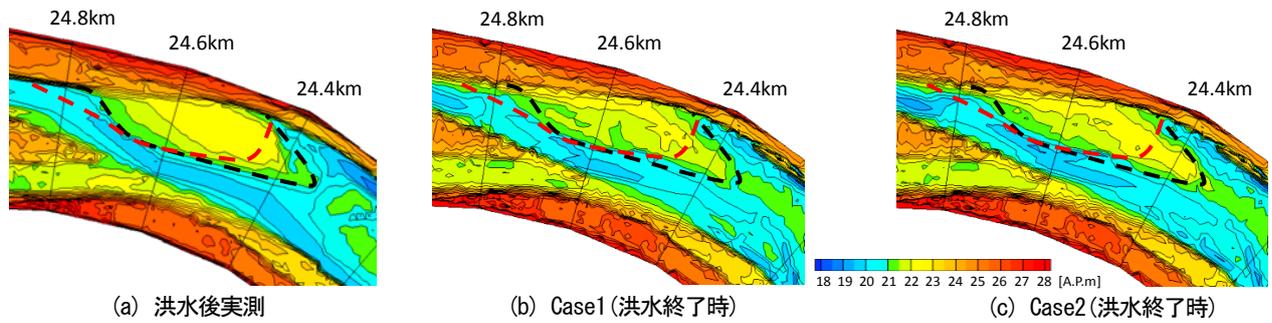


図-11 現地調査砂州周辺の河床高コンター（解析結果の比較）

河床変動機構について検討してきた¹⁾。しかし、解析結果は砂州の変形や移動量が実測値よりも大きくなる傾向にあり、洪水後の実測を十分に説明できなかった。そこで、混合粒径による河床変動解析から洪水流による砂州や堰周辺の局所洗掘箇所の移動、変形機構について検討する。対象洪水はH19.9洪水(観測流量(27.8km)を図-8に示す)とした。流れの解析には護岸近傍や堰周りの局所洗掘を生じさせる複雑な流れ場を表現するため、鉛直方向の流速分布を評価できる渦度方程式を用いた底面流速解法を適用している²⁾。河床変動解析では流砂の連続式と流砂量の算定に芦田・道上式を用いている。また、粒度分布については河床表層に交換層、その下に貯留層を設けて鉛直方向の粒度分布の変化を解析している。境界条件には図-8に示すように、上流27.8km(青◇)、下流22.2km(緑△)で計測された水位を用いる。初期の河床形状はH18の横断測量データに加え、H17の数値地形データを用いて砂州の形状を精度よく作成した。

(2) 砂州粒度構成を考慮した初期粒度分布の評価法

本研究では、検討区間内の砂州の初期粒度分布に、3(2)で示した調査結果の砂州の粒度構成を適用する。調査において、砂礫河川の砂州では上流部や中・下流部の深い位置が粗い材料で構成されていることが分かった。そこで、粗い材料に着目し、砂州を鉛直方向に上層と下層に分ける。この2つの層を分ける高さについては、粒度構成が過去の洪水の影響を受けていると考えられることから、経年的な河床変化を考慮することが必要である。そのため、S49, 54, H3, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20の計10カ年の経年的な横断測量データを用いて、各断面における10カ年の低水路平均河床高の平均値とした。図-9に層を分ける基準高さ(黒の実線)と現地調査による粒度分布調査結果を比較している。プロットは粒度分布を測定した標高とそこでのd50の大きさを表している。d50が40[mm]以上の時は赤の△、それより小さいのは青の□で示している。粗い粒径(赤△)は基準高さの下(下層)にあることが分かる。また、細かい粒径(青□)も下層に位置しているが、これらのほとんどは、砂州水際や水面下の表層に位置しており、洪水減衰期の終盤に堆積したものであることから、洪水時には直ちに掃流され、砂州の移動、変形への影響は小さいと考えられる。そのため、解析の初期粒度分布には図-10に示すように、下層に砂州上流部

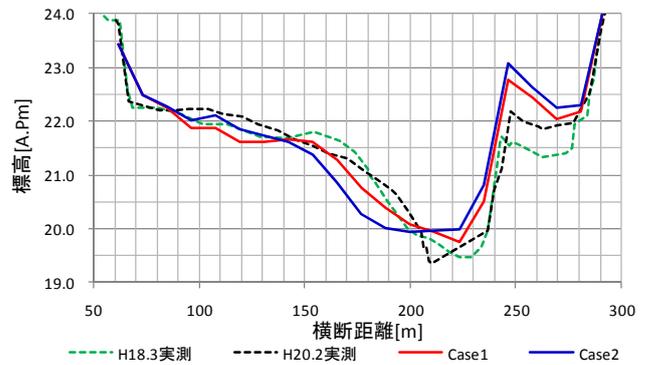


図-12 現地調査砂州部の低水路横断形状の比較(24.6km)

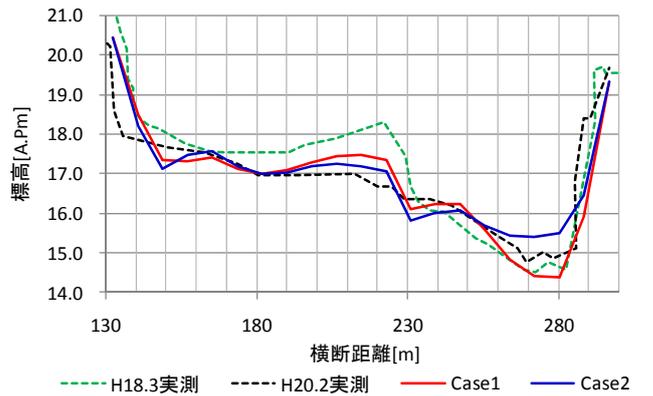


図-13 ニヶ宿河原堰上流の低水路横断形状の比較(22.6km)

の調査結果の平均値(赤線)、上層に平成17年の調査結果の平均値(緑線)を用いる(以下Case1)。また、粒度構成の効果を検証するため、平面的、鉛直的に同じ粒度分布(緑線)を与えた解析も行った(以下Case2)。

5. 解析結果

(1) 砂州の初期粒度分布による河床変動解析の再現性の考察

現地調査砂州周辺の解析結果から、初期粒度分布の解析結果に与える影響と解析の再現性について検討する。図-11は洪水後実測とCase1, Case2における洪水終了時の解析結果の河床高コンターである。実測についてはH19.9洪水後の数値地形データとH20の横断測量データを用いて作成した。図中の赤の破線は洪水前、黒の破線は洪水後の実測による砂州形状を示している。Case 1, Case 2を比較すると、Case1の方が砂州前面の形状について洪水後の実測を再現していることが分かる。図-12は24.6kmにおける解析(Case1,2)と洪水前後(H18,20)に測量された低水路の横断形状を示している。24.6kmは砂州上流部の

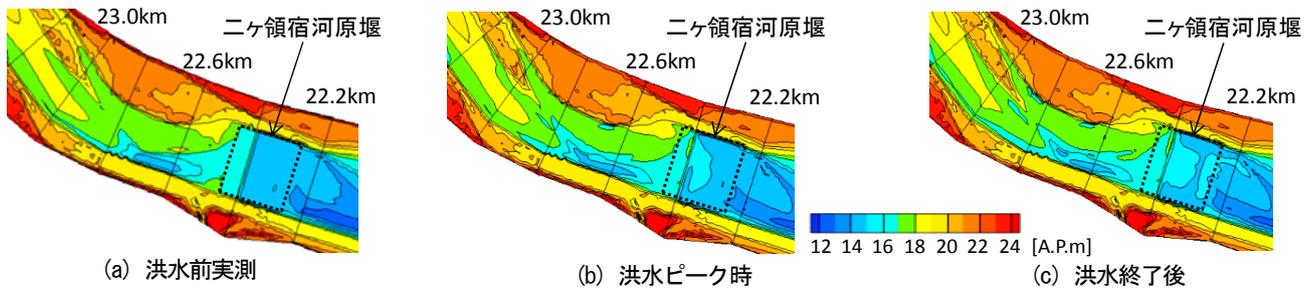


図-14 ニヶ領宿河原堰周辺における河床形状の時間変化

断面を示しているが、Case1の横断形状(赤実線)の方が砂州側面の形状を精度良く再現している。そのため、Case2(青実線)に比べ滯筋幅が狭くなり最深河床高も低くなっている。図-13は図-1で示すニヶ領宿河原堰上流の22.6kmにおける低水路の横断形状を示している。右岸側の局所洗掘に着目すると、最深河床高はCase1(赤実線)の方が低い。これは、粗い粒度分布を考慮したことで上流からの土砂(砂州)の移動量が低下したため、局所洗掘箇所的位置や形状が維持されたためと考えられる。

このように、初期粒度分布に砂州の粒度構成を考慮すると、洪水後の砂州形状の再現性が向上する。また、洪水流による砂州の移動、変形機構が変化するため、粗い粒径を与えても、それを考慮しない場合に比べ、実測を再現するように河床高が低い状態を維持する。このことは、河川構造物の維持管理において、構造物の被災要因となる砂州や局所洗掘箇所の移動、変形機構の解明が重要であることを示している。

(2) 洪水時における堰周辺の河床変動

Case1の河床変動解析から洪水時におけるニヶ領宿河原堰周辺の河床変動について検討する。H19.9洪水によるニヶ領宿河原堰上流側の護床工の被災は、洪水ピーク付近(9/7/7:00頃)に発生していることが現地の監視カメラより確認されている。図-14に堰周辺における河床形状の時間変化を示している。堰上流では、洪水初期に比べ、洪水ピークや終了時において局所洗掘箇所が堰に接近していることが分かる。図-15に堰上流(22.45~22.8km、護床工上流端:22.45km)における最深河床高縦断面図の時間変化を示す。堰上流では最深河床高が洪水前から護床工敷高(A.P.+17.0m)よりも低い状態にあった。22.45~22.6kmにおいては上流から局所洗掘箇所が移動してくることで洪水ピーク(緑線)にかけて、洪水後の実測を再現するように最深河床高が低下している。そのため、洪水ピーク付近では護床工の安全性が低下していたと考えられる。

6. 結論

本研究では、砂州河道における堰周辺の河床変動機構を、実測データで検討し、これと、砂州の粒度構成を考慮した解析を比較し、洪水時の河床変動について検討した。以下に結論を示す。

- ・経年的な実測データを用いて、異なる構造を有する堰

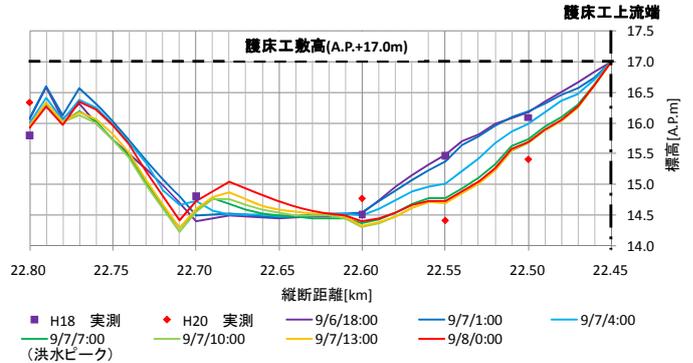


図-15 ニヶ領宿河原堰直上流の最深河床高縦断面図の時間変化

周辺の砂州や局所洗掘箇所の移動、変形機構を比較した。その結果、固定堰を含むニヶ領上河原堰の上流では、堰の影響を受けて砂州が存在、変形し、それに伴い右岸側の局所洗掘や堰下流の河床形状が変化した。ニヶ領宿河原堰では砂州の移動、変形に伴って、局所洗掘箇所も移動、変形していた。

- ・現地調査から砂礫河川における砂州の粒度構成は、砂州の上流部や中・下流部の深い位置に粗い材料が多く存在することが分かった。これを考慮した河床変動解析は、考慮しない場合に比べ、砂州の移動、変形や堰周辺の局所洗掘箇所の位置や大きさの再現性が向上することを示した。
- ・河床変動解析から、ニヶ領宿河原堰では洪水時に土砂吐きの設置箇所の直上流で局所洗掘箇所が見られた。このことから、洪水流によって構造物の被災の危険性が增大していたと考えられる。
- ・河川構造物の維持管理においては、構造物周りにおける洪水前後、期間中の実測データと河道特性に応じた河床変動解析法を組み合わせる洪水流による河床変動機構を検討することが重要となる。

参考文献

- 1) 津津哲也, 内田龍彦, 石川武彦, 福岡捷二: 洪水時の砂州の変形と河川構造物周辺の局所洗掘, 水工学論文集, 第54巻, pp.829-834, 2010.
- 2) 内田龍彦, 福岡捷二: 水平方向渦度方程式を用いた底面流速の半直接解法の提案と局所洗掘解析, 水工学論文集, 第54巻, pp.841-846, 2010.