

# 令和元年多摩川洪水時の砂州の移動・変形に伴う河道被災箇所周辺の三次元エネルギー分布について

## Three-dimensional energy distribution around damaged sites associated with sandbar migration and deformation during the 2019 Tama River flood

22D3104022G 千葉 圭祐 (河川工学研究室)

Keisuke CHIBA /River Engineering Lab.

**Key Words :** three-dimensional energy distribution , excess flood, damage to river channel, sandbar

### 1. 序論

近年、気候変動の影響により河川での大規模洪水が多発している。多摩川でも、令和元年10月洪水では、多くの区間で洪水水位(図-1)が計画高水位を超過しており、石原地点(27.6km)の洪水ピーク流量(図-2)は計画高水流量(6,500m<sup>3</sup>/s)を超える大洪水であった。この洪水により、橋脚の沈下1箇所、堤防表法面侵食1箇所、高水敷の洗掘8箇所、河岸侵食の被災7箇所等の河道被災が発生した。図-3に示す高水敷の被災箇所(23.5km)では、縦断被災長が360mに及び、堤防法面に極めて接近した位置まで洗掘が生じていた。また、図-4に示す堤防法面の被災箇所(27.1km)では、縦断的な侵食範囲が100mに及び、堤防が危険な状態であった。この様に計画高水位を超える超過洪水時には、堤防等の河川構造物の破壊に直結するような深刻な被災が起り得ることから、被災リスクが高い場所を事前に推定することが強く求められている。

これに対し福岡<sup>1)</sup>は、超過洪水時の河川構造物の破壊現象は、せん断力、圧力勾配、慣性力、重力などの構造物に作用する力のいずれか単独で引き起こされるといふより、これら全てが複合的に合わさることによって生じると指摘している。そのため、河床高と水深に速度水頭と非静水圧水頭を足した全エネルギー水頭を考慮して、河道・堤防を設計する必要があるとしている。ま

た福岡ら<sup>2)</sup>、後藤ら<sup>3)</sup>は、多摩川中上流部を対象に非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析を行い、その結果から算出した全エネルギー水頭分布を用いて被災機構の分析を行い、被災箇所に洪水流のエネルギーが集中していたことを示した。全エネルギー水頭を用いて危険箇所の推定に結び付けるためには、様々な河道特性や被災形態の事例に適用し、被災箇所周辺のエネルギー分布の変化と河川の被災との関係を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、令和元年10月洪水時の多摩川中下流部を対象とし検討する。図-3, 4に示す通り、当該区間は連続的な交互砂州を有する河道であり、大規模洪水時には、砂州の大規模な移動・変形が生じ、それに伴って河道被災が多発していた。被災箇所周辺の河道の特徴を整理したうえで、洪水前後の実測データと非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析結果に基づき、砂州の移動・変形、流れ場の変化に伴う被災箇所周辺の全エネルギー水頭分布の変化を調べる。

### 2. 解析方法、解析条件

多摩川中下流部は、交互砂州の形成が特徴的な河道であり、これらの砂州が大規模洪水によって移動・変形し、流れの構造や水衝部の位置が変化すると考えられる。この影響を評価するため、洪水時の流れと河床変動と一体的に検討する必要がある。本研究では、流

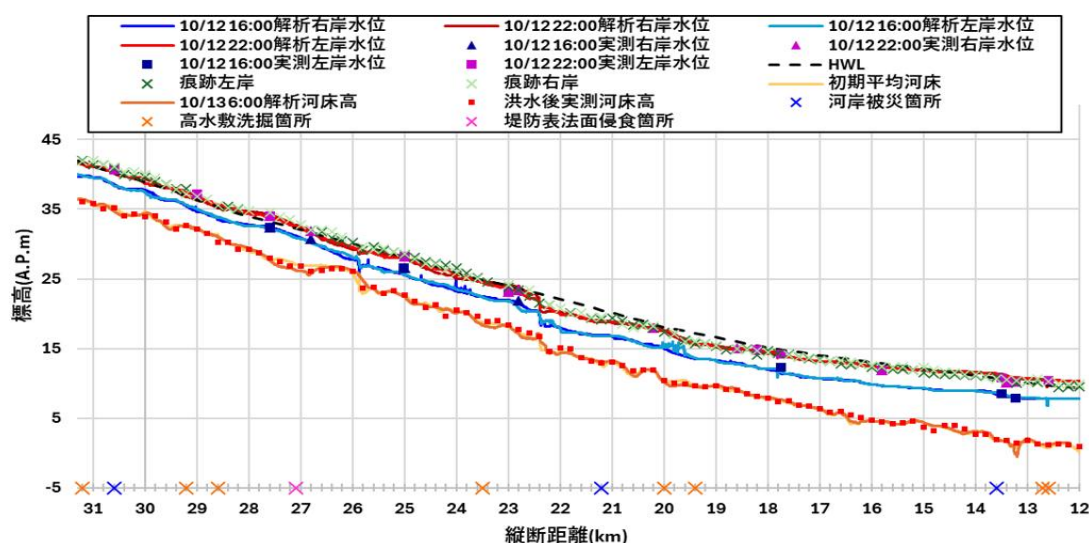


図-1 令和元年多摩川洪水時の河床高、水位の縦断図

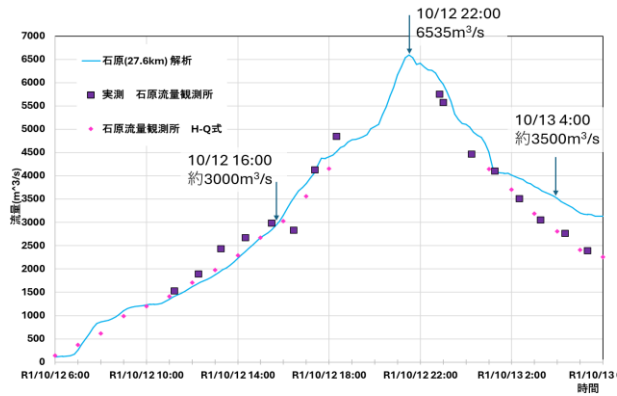


図-2 石原観測所の観測と解析の流量ハイドログラフ

れの解析については非静水圧準三次元解析法(Q3D-FEBS<sup>4)</sup>)を用いる。河床変動解析については、石礫粒子の非平衡流砂運動を考慮した修正長田・福岡の解析法に加え、浮遊砂から掃流砂、掃流砂から浮遊砂への遷移過程を考慮した掃流砂・浮遊砂の一体的な解析法<sup>3)</sup>を用いた。対象区間(図-1)は、大丸用水堰の下流(32.2km)から調布堰下流(11.7km)までとし、境界条件として石原水位観測所(27.6km)と田園調布(下)水位観測所(13.2km)の令和元年洪水の実績水位ハイドログラフを与えた。本解析においては、洪水時の砂州の変動を詳細に捉えるため、低水路の解析河道を5m×1m程度の高い空間解像度の解析格子を作成し、初期河床は、砂州形状の再現性を高めるため、水面上の砂州・高水敷をLP測量データに基づいて設定し、水面下の河床高は横断測量データを補間して与えることで作成した。洪水時の抵抗となり得る堰や橋脚等の構造物、樹木の分布を考慮した。河床材料は実測の粒度分布を与えた。エネルギー分布<sup>1),2),3)</sup>については、式(1)で示す三次元エネルギー水頭 $H(x, y, z, t)$ を底面から水深まで積分することにより、式(2)で示す全エネルギー水頭 $H_{all}(x, y, t)$ は評価される。

$$H(x, y, z, t) = z_b(x, y, t) + \hat{z}(x, y, t) + \frac{p(x, y, z, t)}{\rho g} + \frac{u^2(x, y, z, t) + v^2(x, y, z, t) + w^2(x, y, z, t)}{2g} \quad (1)$$

$$H_{all}(x, y, t) = \frac{1}{h(x, y, t)} \int_{z_B}^{z_s} H(x, y, z, t) dz \quad (2)$$

$u, v, w$ はそれぞれ $x, y, z$ 方向の局所的な流速、 $p$ は圧力、 $\rho$ は水の密度、 $g$ は重力加速度、 $h$ は水深、 $\delta p$ は圧力の非静水圧成分、 $z_b$ は河床高、 $\hat{z}$ は河床高 $z_b$ を基準とした高さである。

### 3. 河道被災箇所周辺の三次元エネルギー分布の考察

#### (1) 解析結果と実測の比較

図-1は観測水位と解析水面形の縦断面図を、図-2は石原観測所における実測と解析の流量ハイドログラフを示



(a)高水敷洗掘被災の様子



(b)被災箇所周辺の洪水前の航空写真(R1年5月)



(c)被災箇所周辺の洪水後の航空写真(R2年4月)

図-3 令和元年洪水による高水敷被災状況(多摩川23.5km)



(a)堤防表法面侵食被災の様子



(b)被災箇所周辺の洪水前の航空写真(R1年5月)



(c)被災箇所の洪水後の航空写真(R2年4月)

図-4 令和元年洪水による堤防法面被災状況(多摩川27.1km)



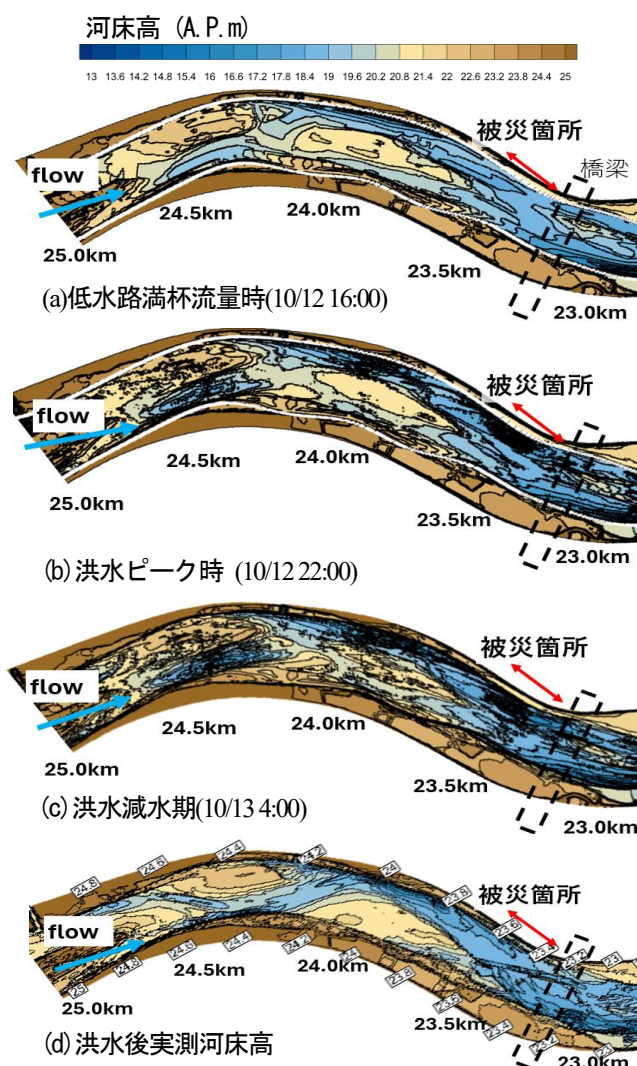


図-5 被災箇所周辺の河床高の時間変化

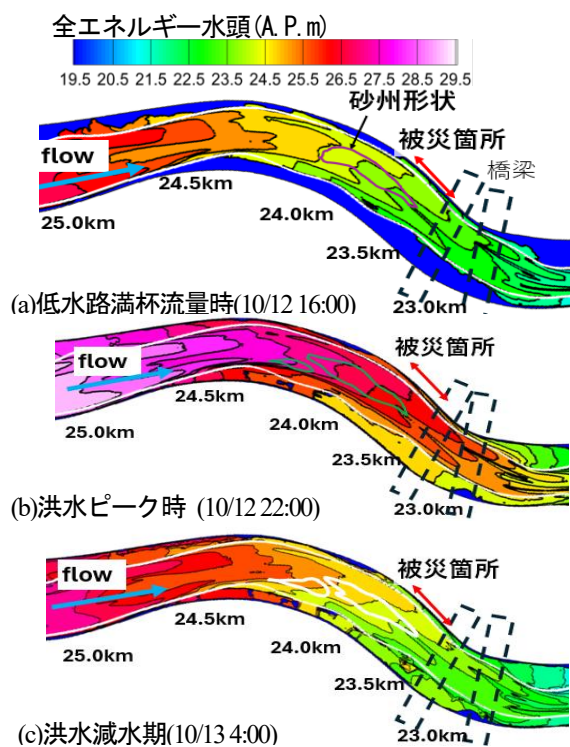


図-6 被災箇所周辺の全エネルギー水頭の時間変化

す。解析水面形は観測水位の時間変化を概ね再現している。流量については、10/13 1:00 以降の洪水減水期で解析流量が高くなっているものの、洪水増水期を含むそれまでの時間の解析流量は実測流量ハイドログラフを概ね再現できている。河床変動解析結果については、解析の低水路平均河床高(図-1)は実測の洪水後の河床高の侵食と堆積の縦断的な傾向を概ね説明している。また、後述する被災箇所周辺の解析河床高(図-5(c), 図-7(c))は、実測(図-5(d), 図-7(d))の砂州の移動・変形の傾向を概ね捉えている。以下では、実測データに対する再現性が確認できた解析結果を用いて被災箇所周辺のエネルギー分布の考察を行う。

## (2) 高水敷洗掘被災箇所(23.5km)

高水敷洗掘が生じた23.5km周辺(図-3)は、堤防と低水路の河道線形が同位相で湾曲しており、直線河道から湾曲河道に遷移する被災箇所周辺が水衝部となっている。図-5, 6 は、解析河床高の時間変化、全エネルギー水頭分布の時間変化を示す。被災箇所上流の河道では巨大な交互砂州が発達しており、洪水ピーク時の 10/12 22:00 (図-5(b))にはそれらの砂州が 50m 程度下流へ移動したことで、より左岸高水敷に向かう滞筋が発達している。低水路満杯流量時(10/12 16:00)の全エネルギー水頭分布(図-6(a))は、砂州(24.0km)によってエネルギーの高い領域が左右岸に分かれているが、この時点で被災箇所のある左岸側に集中している。これが洪水ピーク時(図-6(b))になると、砂州の移動に伴って左岸側の滞筋にエネルギーが集中し易い状況に変化しており、急な縦断方向のエネルギー勾配で被災箇所に向かって伸びている。洪水減水期の 10/13 4:00(図-6(c))においても約 3,500m<sup>3</sup>/s 程度の流量(図-3)が発生し砂州の移動は継続しており、被災箇所周辺ではエネルギーの高い状態が継続している(図-6(c))。以上より、本被災箇所は河道線形による水衝部であったことに加え、洪水ピーク時に砂州が下流へ移動し、左岸側へ向かう滞筋が発達したため、高水敷に長時間にわたりエネルギーの高い領域が乗りあげる状況が継続し、危険な状態であったことが示される。

## (3) 堤防表法面侵食被災箇所(27.1km)

次に図-4 に示す堤防表法面侵食が生じた 27.1km 周辺について考察する。当該箇所も堤防と低水路の河道線形が同位相で湾曲しており、湾曲河道から直線河道に遷移することで被災箇所周辺が水衝部となっている。それに加え、28.0km から 27.0km にかけて堤間幅および低水路幅が7割程度に縮小している。被災箇所の上流側の多摩川原橋(28.0km)は、低水路内に橋脚があり、それが抵抗となって大規模な砂州が形成されている。図-7, 8 は、解析河床高の時間変化、全エネルギー水頭分布の時間変化を示す。低水路満杯流量時(図-7(a), 図-8(a))に

河床高 (A.P.m)

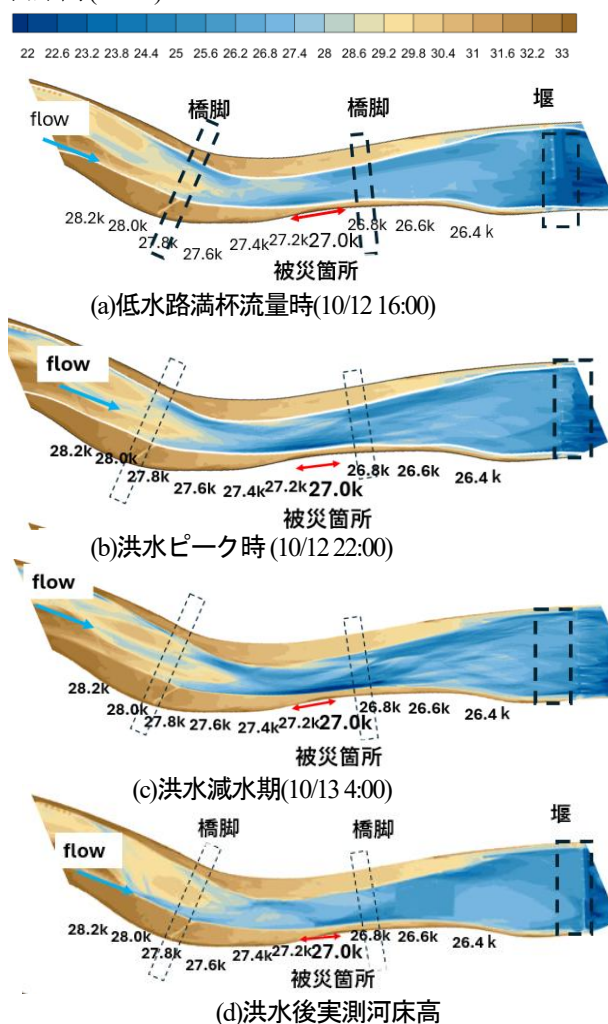


図-7 被災箇所周辺の河床高の時間変

全エネルギー水頭 (A.P.m)

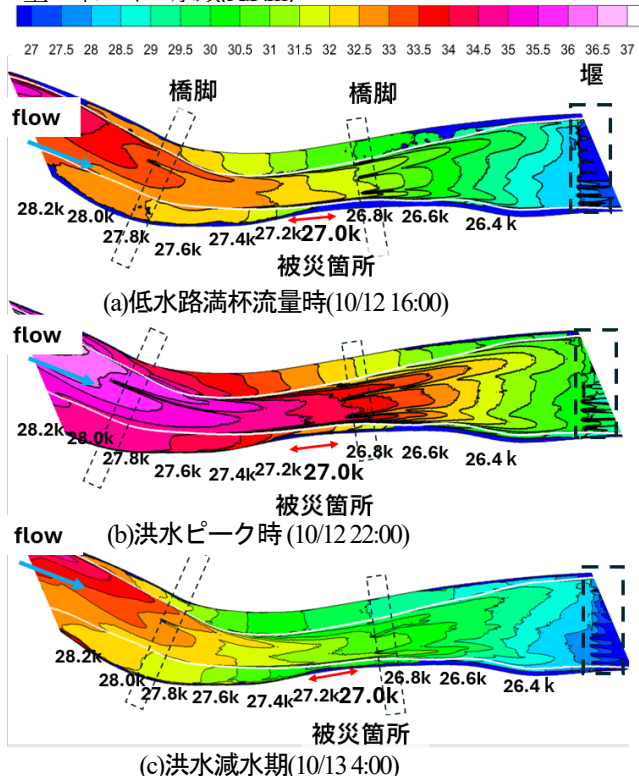


図-8 被災箇所周辺の全エネルギー水頭の時間変化

は砂州や橋脚の影響を受け、下流側では被災箇所がある右岸側の滞筋でエネルギーが高くなっている。洪水ピーク時(図-7(b), 図-8(b))になると、多摩川原橋脚付近で砂州上でのエネルギーが高くなることで、左岸側の滞筋と砂州上の両方でエネルギーが高くなっており、この2つのエネルギーの高い領域が下流側の低水路幅の縮小箇所に向かっている。この流れが右岸高水敷上に乗り上げ、急な縦断方向のエネルギー勾配で被災箇所にぶつかっている。洪水減水期(図-7(c), 図-8(c))に右岸側の被災箇所周辺にエネルギーが集中し易い状況に変化しており、危険な状態が継続している。

#### 4. 結論

本研究では、令和元年多摩川洪水を対象に高精度の洪水流・河床変動解析法を用いて洪水中の河道被災箇所周辺のエネルギー水頭分布と河道の特徴との関係を検討した。検討対象とした2カ所(23.5km, 27.1km)ではいずれも低水路の河道線形により水衝部となり易く、洪水に伴って砂州の移動・変形が生じ、被災箇所周辺では洪水エネルギーが集中し易い状況に変化していたことが分かった。

本洪水では堤防の破堤等深刻な状況には至らなかったが、今後の超過洪水に対して被災リスクの高い場所を推定するには、河道特性を理解した上で、本研究で示したような砂州の移動・変形に伴うエネルギー水頭分布の変化の特徴を捉えることが重要である。

今後の課題として、多摩川の他の被災箇所についても、同様の考察を行い、河道特性や河道の被災形態、被災の規模等の違いによるエネルギー分布の特徴を明らかにする。その上で、堤防や低水路の河道線形、洪水流に対する砂州の移動等の河床の変化、河床材料等の河道特性とエネルギー水頭分布の関係を詳細に分析し、エネルギー水頭分布を用いた被災リスクの高い場所を推定する手法を検討する。

#### 参考文献

- 1) 福岡捷二：超過洪水時の三次元エネルギー分布に基づく河道・堤防の一体設計の考え方，河川技術論文集，第29巻，pp.209-214，2023。
- 2) 福岡捷二，加藤宏季：超過洪水流の時空間三次元エネルギー分布に基づく河道計画・設計法，河川技術論文集，第30巻，pp.411-416，2024。
- 3) 後藤岳久，後藤勝洋，加藤宏季，福岡捷二：大規模洪水時における砂州の発達に伴う洪水流の三次元エネルギー分布の変化に基づく河川構造物の被災機構 第12回河川堤防技術シンポジウム p.33-36，2025。
- 4) 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。