

# 洪水時の非平衡土砂移動による網状河床面と水面の変形に関する研究

## A study on deformation of braided riverbeds and water surface by non-equilibrium sediment transport due to flood flows

21N3100055G 森本 有祐 (河川工学研究室)  
Yusuke MORIMOTO / River Engineering Lab.

**Key Words** : Braided riverbeds, flood flows, non-equilibrium sediment transport, water surface fluctuations, Abe river



図-1 昭和 58 年 8 月洪水時における大井川網状流路の航空写真<sup>1)</sup>

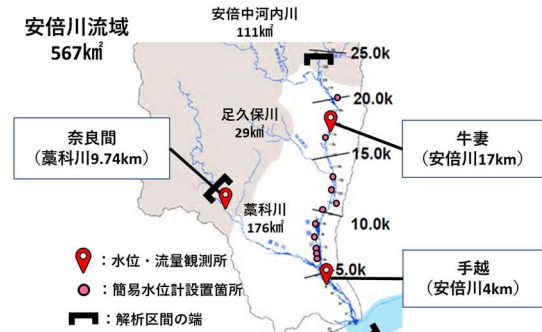


図-2 安倍川の流域図

### 1. 序論

安倍川は、中下流域に石礫から砂まで幅広い粒度分布で形成された網状流路を持つ扇状地河川である。この河川では河床勾配に対して粒径が比較的小さく、土砂移動が活発な河川である。そのため、土砂移動による水衝部位置の変化に伴って河岸や堤防が侵食される懸念があるほか、砂利採取が廃止になった昭和43年以降中下流域に土砂が堆積する傾向があり、河床上昇による流下能力の低下も治水上の課題となっている。このような課題に対応するために、安倍川洪水時の土砂移動機構の解明が求められている。

安倍川の場合、網状流路によって地形が複雑な三次元性を持つことに加え、粒径が砂から石礫まで幅広い粒度分布を持つ。そのため、洪水時の砂州の移動や水衝部位置の変動機構を説明するためには、流れの三次元性及び非定常性や、粒径別に掃流砂、浮遊砂の非平衡性を考慮した解析が必要になる。

図-1に大井川の網状流路における洪水時の水面を撮影した写真<sup>1)</sup>を示している。この図に示す通り、網状流路のように川幅水深比が比較的大きい河川の場合、水面模様は砂州の形状や水衝部位置等を映しやす<sup>1)</sup>。したがって、両者の関係を知ることは河岸の危機管理上重要な情報になる。また、水面模様を通して洪水時の航空写真および映像データと洪水流・河床変動解析結果を比較することで、解析手法の検証が行えるようになると期待される。

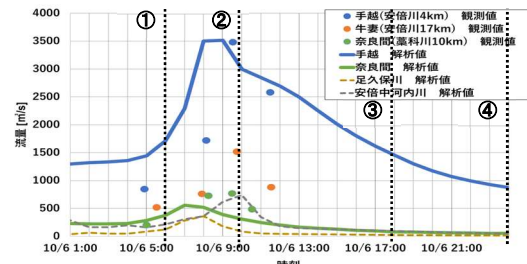


図-3 安倍川の観測・解析流量ハイドログラフ

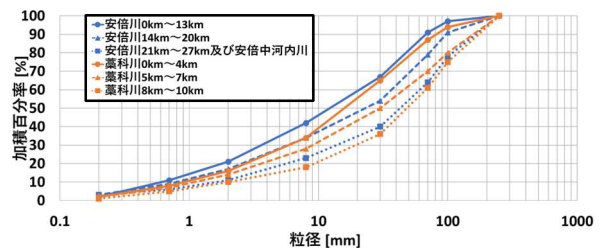


図-4 安倍川、葦科川の解析に使用した粒度分布

本研究では、安倍川網状流路の洪水流・河床変動解析に、流れは非静水圧準三次元解析法、土砂移動の解析は粒径別に掃流砂・浮遊砂間の相互作用を考慮した非平衡土砂移動モデルを適用して、非平衡流砂運動が安倍川洪水時の砂州および水衝部位置の移動に与える影響を明らかにする。さらに、解析結果に基づいて水衝部の移動状況と洪水時の水面の模様との関係について検討することを目的としている。

### 2. 解析条件と解析手法

#### (1) 解析条件

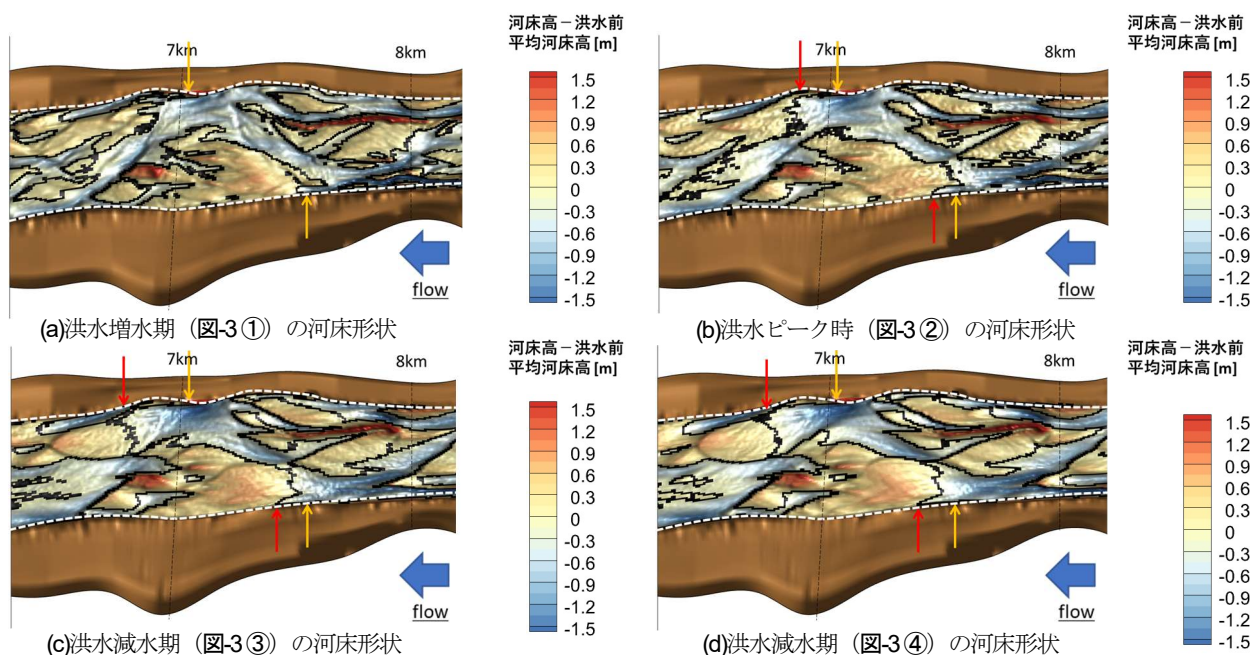


図5 安倍川 6.5km~8km における河床形状および河床高コンターの時間変化

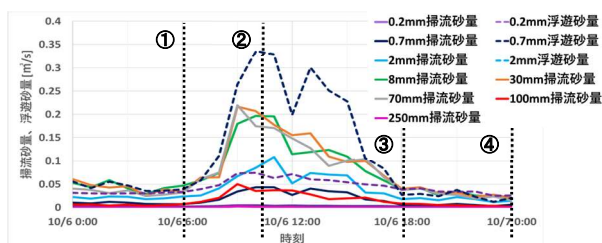


図6 安倍川 6.5km~8km を通過する掃流砂量, 浮遊砂量の空間平均値の時間変化

解析対象洪水は、近年の主要洪水である平成 26 年 10 月の台風 18 号洪水とした。図-2 と図-3 に安倍川の流域図と各観測所での観測、解析流量ハイドログラフを示す。基準地点である手越観測所（安倍川 4km, 計画高水流量 6000 m<sup>3</sup>/s）において、ピーク流量は 3480m<sup>3</sup>/s を記録している。解析対象区間は、本川は河口から 22km 区間とし、支川藁科川は合流点~10km 区間、支川安倍中河内川は合流点~5km 区間とした。上流端境界条件には、安倍川 20km 左岸の観測水位ハイドログラフ、藁科川 9.75km（奈良間）の観測水位ハイドログラフを与えた。安倍中河内川の洪水解析の上流端境界条件には、流出解析で求めた流量ハイドログラフ（図-3）を与えた。下流端境界条件には焼津験潮場の潮位ハイドログラフを与えた。解析で得られる時系列水面形を、痕跡水位や簡易水位計による観測時系列水面形がほぼ一致するように決めることで、多くの河川で洪水流や河床変動をほぼ再現できる<sup>2)</sup>。安倍川でもこの方法を用いる。粗度係数は解析区間全域において  $0.025m^{-1/3} \cdot s$  を用いた。解析に用いた河床材料粒度分布を図-4 に示す。安倍川、藁科川は平成 16 年度~平成 26 年度の河床材料調査結果に基づいて縦断的に区切って設定した。洪水前の地形は、

平成 25 年度の LP 測量データ、横断測量データに基づいて与えた。

## (2) 解析手法

流れの解析は竹村・福岡<sup>3)</sup>の Q3D-FEBS を用いた。この解析法では流速の鉛直分布は水面、底面、水深平均流速の条件から得られる 3 次関数を仮定している。そして水深平均流速、水面流速、底面流速はそれぞれの運動方程式を解くことで求めている。特に底面流速を運動方程式により算出することで、網状流路の複雑な河床面の時間変化に対して精度よく流況を解析することが可能となっている。

掃流砂量と河床変動量は、修正長田・福岡モデル<sup>4)</sup>を用い、浮遊砂量は後藤・福岡の乱れによる掃流砂から浮遊砂への巻き上げを考慮した浮遊砂輸送モデル<sup>5)</sup>を用いた。これらのモデルは、掃流砂の平均移動速度、掃流砂から浮遊砂へ巻き上がる粒子の速度を saltation 解析に基づいて計算し、それに伴い掃流砂及び浮遊砂の土砂の体積を連続式から計算することで、粒径別に掃流砂と浮遊砂が一体となった非平衡流砂運動を考慮したモデルとなっている。

安倍川中下流域の河床材料は、石礫から砂まで含んだ広い粒度分布で構成されている。洪水時に掃流砂になるか浮遊砂になるかは、掃流層内の流れの状態と粒径の大きさによって時間的及び場所的に変化する。このように非定常性と非平衡性を考慮していることが本研究の特長である。

## 3. 安倍川網状流路の洪水時の河床変動機構

### (1) 洪水時の砂州、滞筋の位置の変化

図-5は、安倍川6km~8kmにおける洪水増水期（10/6:

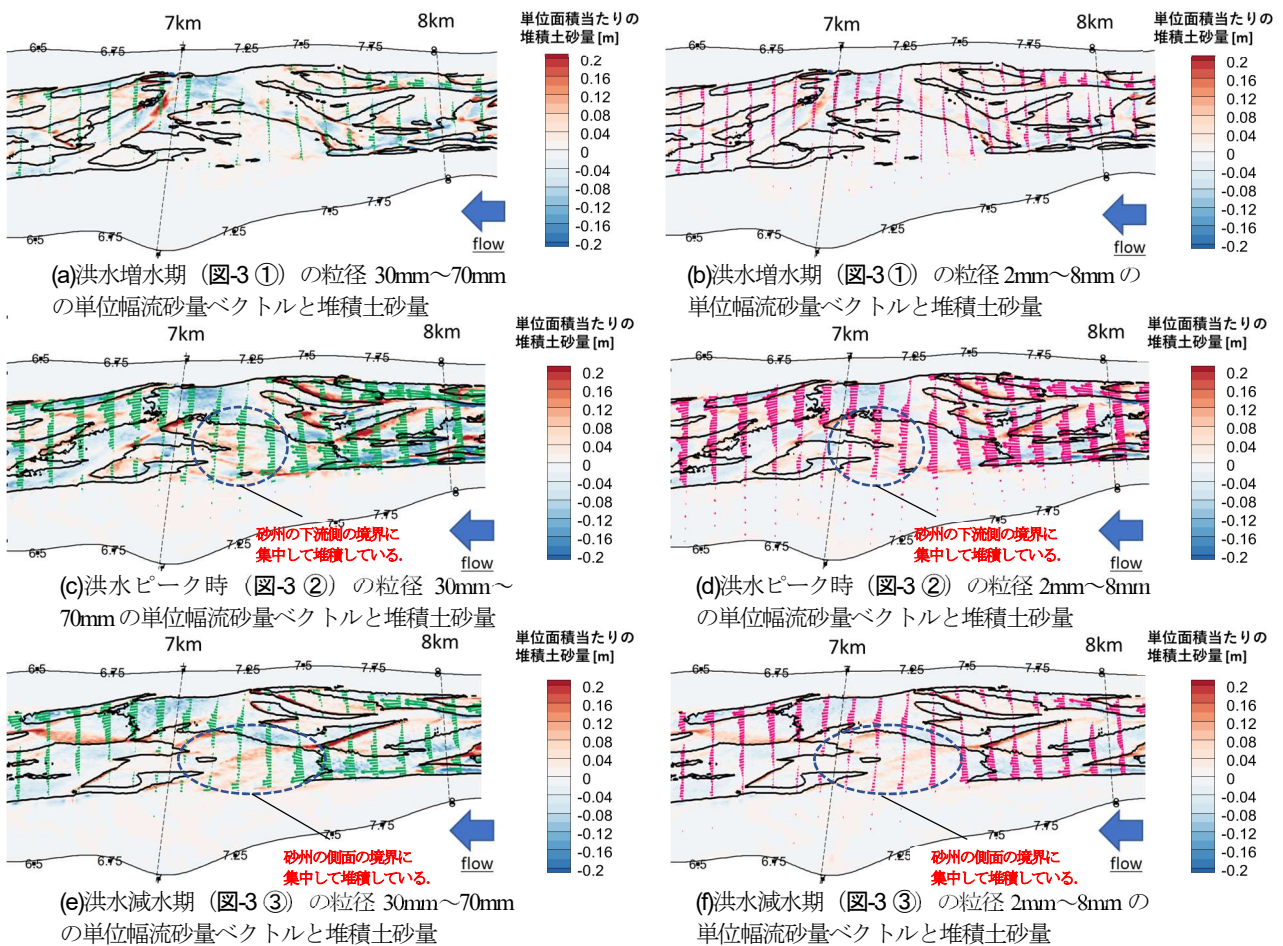


図-7 安倍川 6.5km~8km における粒径別の流砂量ベクトルの分布と堆積土砂量の時間変化

6:00) , 洪水ピーク直後 (10/6 10:00) , 洪水減水期 (10/6 18:00, 10/7 0:00) の河床形状の解析結果を示している。図中のコンターは河床高から洪水前の平均河床高を差し引いた値であり、黒の実線は洪水前の平均河床高の位置、赤く表示された箇所が砂州、青く表示された箇所が滞筋を表している。図中の黄の矢印に7.25km 右岸、7.5km左岸の洪水前の水衝部の下流端位置、赤の矢印はそれぞれの時刻における水衝部の下流端位置を示している。洪水増水期 (図-5(a)) から洪水ピーク直後 (図-5(b)) までの砂州の移動は比較的小さく、水衝部位置の移動は約50m程度である。これに対し、洪水減水期 (図-5(c), (d)) になると砂州が下流へ大きく前進し、水衝部位置が図-5(b)に示した場所からさらに約100m程度下流に移動したことが分かる。また、洪水ピーク直後から洪水減水期 (図-5(b)~(d)) の7.25km右岸、7.5km左岸の水衝部を見ると、滞筋における河床高が低下しており、砂州と滞筋の間の比高差が増大する傾向が見られる。

## (2) 粒径別の掃流砂が河床変動に与える影響

図-6に安倍川6.5km~8kmを通過する粒径別掃流砂量、浮遊砂量の空間平均値の時間変化を示している。これによると、掃流砂は主に2mm~70mm、浮遊砂は0.1mm

~0.7mmが卓越していることがわかる。著者らは安倍川において浮遊砂が河床変動に与える影響は掃流砂の1/10程度であり比較的小さいことを示している<sup>9)</sup>。そのため、図-5に示した河床変動に対して粒径2mm~70mmの掃流砂が主に影響を与えていたと考えられる。

図-7に粒径を30mm~70mmと粒径2mm~8mmに分け、単位幅掃流砂量ベクトルの分布と堆積土砂量のコンターの時間変化を示している。図中の黒の実線は洪水前平均河床高の位置であり、図-5と同様に砂州と滞筋の境界を示している。洪水増水期 (図-7(a), (b)) では、どの粒径も主に滞筋内に集中して流砂量が分布しており、土砂の堆積および洗掘も滞筋内で発生している。洪水ピーク直後 (図-7(c), (d)) , 洪水減水期 (図-7(e), (f)) を見ると、どの粒径も低水路全体に流砂量ベクトルが分布しており、砂州と滞筋の境界をまたぐような流砂運動が発生している。例として7km左岸に位置する砂州における堆積土砂量の分布をみると、洪水ピーク時 (図-7(c), (d)) は砂州の下流端に集中して堆積する傾向があったが、洪水減水期 (図-7(e), (f)) になると砂州の側面の境界に堆積する傾向が強くなっている。これは水深の大きい洪水ピーク時には洪水流が直線的に流れていたのに対し、洪水減水期には水深が小さくなり地

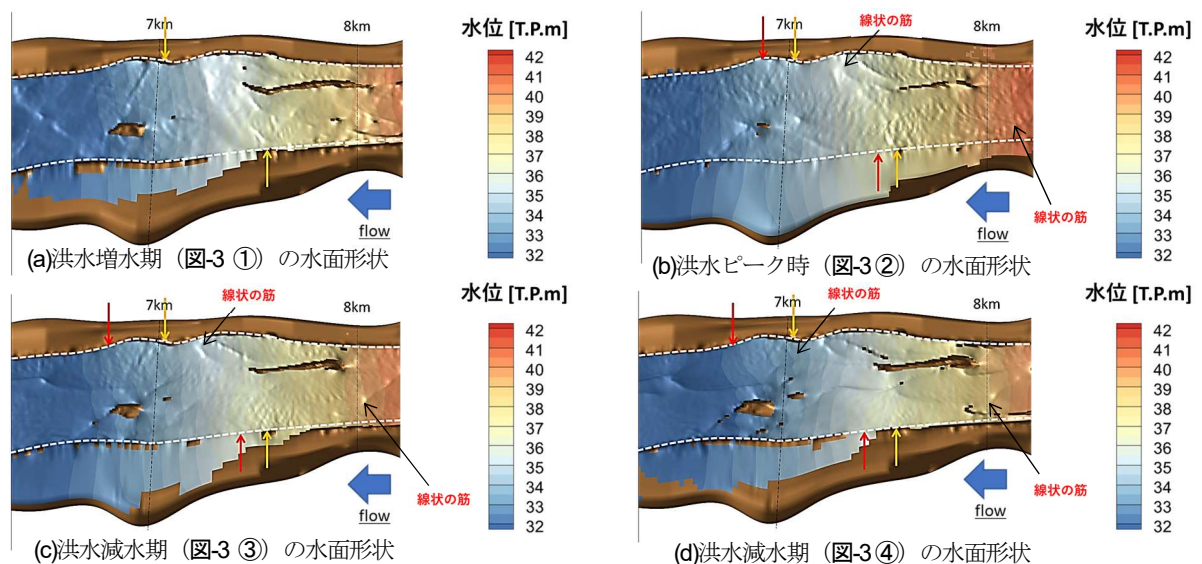


図8 安倍川 6.5km～8kmにおける水面形状および水位コンターの時間変化

形の影響が強まることで洪水流が澗筋に沿って蛇行して流れることで砂州の側面の二次流が強まり、流砂の非平衡性が流れ方向よりも横断方向に対して強くなるような状態へ時間的に変化したためと考えられる。堆積土砂量のコンターを粒径別に比較すると、主に粒径30mm～70mmの土砂の堆積量が多く、図-5(b)～(d)に示した河床変動により強い影響を与えていたと考えられる。

#### 4. 網状流路の移動による水衝部の変化と水面模様の変化

図-8(a)～(d)は、図-5(a)～(d)と同じ時刻の解析水位のコンターであり、解析から求めた水面の起伏に光を当てることで陰影をつけ、水面の模様を強調して示している。図-5と図-8を対比して見ると流れが砂州から澗筋に落ち込む箇所では、局所的に水位が低下することで、砂州と澗筋の境界線に沿って水面に線状の筋が形成されていることが分かる。7.25km右岸、7.5km左岸の水衝部は、河岸際の砂州の下流、すなわち水面の線状の筋の下流に位置している。図-5と図-8から、砂州が下流へ移動することで水面の筋も同様に下流へ移動していることが分かる。また、図-8(d)の洪水減水期では、図-8(c)に比べて水面の線状の筋がより明瞭になっている。これは、水深が小さくなったことに加え、上で考察したように洪水減水期では砂州と澗筋の比高差が増大し、その影響が表れたものと考えられる。このことから、安倍川網状流路では洪水時の砂州の移動、発達状況が水面模様の時間変化に表れ、これに基づき水衝部位置の変化が推測可能であると考えられる。

#### 5. 結論

本研究では、流れの三次元性や掃流砂・浮遊砂の相互作用と非平衡性を考慮した解析モデルを用いて、安倍川中下流域における土砂移動機構と、河床形状の変

化と水面模様の変化との関係を考察した。解析結果の分析から、洪水ピークから洪水減水期にかけて主に掃流砂が砂州の境界付近に堆積することで砂州及び水衝部の移動が発生することを示した。また、洪水の流勢に対する地形の影響が時間的に変化することで、洪水減水期において流砂の非平衡性が横断的に強化され、それに伴い砂州と水衝部の移動もより活発になると考察された。そして、洪水減水期では砂州と水衝部の間の比高差が増大し、それに伴い砂州前縁線の位置が水面模様を表れやすくなることで、洪水時の水衝部の移動状況を水面から推測できることを示した。今後、洪水時の水面を撮影した映像データと今回示した解析結果を比較することで、水衝部の移動と水面模様についてさらなる検討を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題，土木学会論文集，第345号，pp.1-19，1984.
- 2) 福岡捷二：洪水流の水位と流量の今日的考え方—多点で観測された洪水水位と水面形から河道の水理システムを見える化する—，土木学会論文集 B1(水工学) Vol73, No.4, I\_355-I\_360, 2017.
- 3) 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.
- 4) 竹村吉晴，久保宜之，岡田将治，福岡捷二：洪水流による物部川河口礫州の開口と変形機構に関する研究，河川技術論文集，第26巻，pp.669-674，2020.
- 5) 長谷部夏希，後藤岳久，福岡捷二，梶井正将：掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う準三次元洪水流・河床変動解析法の開発と昭和56年8月石狩川洪水への適用，水工学論文集，第67巻，2022
- 6) 森本有祐，立松明憲，福岡捷二，竹村吉晴：安倍川網状流路の洪水時の河床変動に及ぼす浮遊砂の影響，水工学論文集，第67巻，2022