

安倍川に想うこと

My thought and hope for the Abe River



ふくおかしょうじ
福岡捷二

FUKUOKA Shoji

中央大学研究開発機構 教授
Professor, Research and Development Initiative, Chuo University

1. 私と安倍川

私の安倍川は、40有余年にわたり交流している友達のようにあり、安倍川を想うと豊かで温かい気持ちになる。安倍川との最初の出会いは昭和52年（1977年）頃であったと思う。当時私は、東京工業大学の教官で、水理学を専門とし、研究はと言えば、実験水路で水流による土砂移動の機構を調べ、そこから河川の洪水と土砂移動の基本を理解しようとひたすら勉強していた。

安倍川を初めて訪れたのは、昭和50年代の初め頃、当時建設省土木研究所河川研究室長であった須賀堯三さんが、私の実験室中心の水理学的研究を気かけられ、安倍川を見てはどうかと河川技術の勉強の機会を作ってくれた時である。安倍川の土砂移動のすごさに、ただただ驚き、圧倒された。安倍川源流部の大規模な山腹崩壊と激しい谷底侵食、侵食に伴う大量の流出土砂、連続的に配置された砂防施設群、狭く深い谷を下る河道、支川からの大量の土砂流入、無数の小さい沢からの土砂流出、金山砂防堰堤、大河内砂防堰堤による調節土砂量と堰堤下流の河床低下のすさまじさ、下流に開けた扇状地上の市街地と広い河原、広い河原を網目状に流れる早い流れと河原を覆う無数の石、波による河口の閉塞、駿河湾に流れ出る砂礫と波による砂礫の動く音、等、見るものすべてが新鮮であった。その後も須賀さんと多くの河川現場を一緒に歩き、河床材料に触り、活発に動く砂州、不活発な砂州の違いから河川の状態を想像し、護岸や水制等河川構造物の機能発揮状況などを総合して、川の特性と川の現状を判断する見方を教わった。

その後、河川の研究を介して交流することが多かった山岸俊之さんが、昭和54年8月に建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所長（当時）になられ、都市急流河川の安倍川の治水対策はどうあるべきかを検討するために、安倍川河道研究会を作られ、私も研究会のメンバーの一人に加えていただき、安倍川について本格的な勉強

が始まった。研究会の目的は、静岡市街地を貫流する安倍川はダムなどの洪水貯留施設がないために、上流域で降った雨が土砂を多量に含んだ激しい洪水となり、短時間に下流河道に到達し、河岸侵食、堤防決壊が起こらないよう河岸侵食対策工を検討することであった。当時の安倍川は、河道整備が十分でなく、古くからある水制やコンクリート護岸による河岸洗掘対策に加えて、河川下流部の安全度向上と河川利用を目的に堤防前面の高水敷造成が主要な工事となっていた。しかし、洪水のたびごとに、高水敷侵食、護岸・水制の破壊、堤防の侵食等河道災害が発生していたことから、洪水と土砂移動の機構解明によって堤防の破壊から静岡市街を守ることを目標に被災機構等の解明のため精力的に議論が行われた。安倍川河道研究会は、私の若い時代に現場での実践的で生きた議論、多くの教材を与えてくれた。これらの経験がその後の河川研究者としての私に大きな影響を与え、また、洪水流と土砂移動問題を研究の中心とすることにつながったと思っている。安倍川はまさに、私の教師であり、想いの深い代表的な河川になった。

急流河川の洪水流・土砂移動は中下流の河川管理に影響を与える。全国的にも急流河川での災害が多くなっており、技術課題は多い。以下に、安倍川に代表される急流河川の治水技術向上のための課題と解決法を提示し、さらに、河川管理上これまでの考え方、捉え方とは異なる技術も求められることから、創造的な技術開発が必要となることを述べる。

2. 安倍川中下流河道の計画、管理に対する河床材料粒度分布の評価の重要性

安倍川は、標高1999.7mの大谷嶺を源とし、〈図-1〉の流域図に示す幹川流路延長51km、流域面積567km²の河川である。多数の崩壊地を抱え土砂流出量が多い上流部、中河内川等の支川を合わせながら山間部を流れる中流部、扇状地を出て藁科川を合流させ、静岡市街地を貫

流し駿河湾に注ぐ網状の石礫河川である。石礫河川の土砂移動は時間的・空間的に非平衡性が強く、河道は不安定で、土砂移動もたらす治水上の課題は多い。網状流路を含む複列の砂州は、洪水時の水面幅と水深の比、水深と河床材料粒径の比の二つの特性量がとる値と関係し、安倍川の洪水流による土砂移動はまさに、この条件に対応する。網状流路の流れは、水衝部を形成する傾向があり、水衝部では河岸侵食や時には堤防決壊が起こることもある。河岸の水衝部位置の推定法の確立は、水衝部対策とともに河道計画、河川管理上の大きな課題となっている。

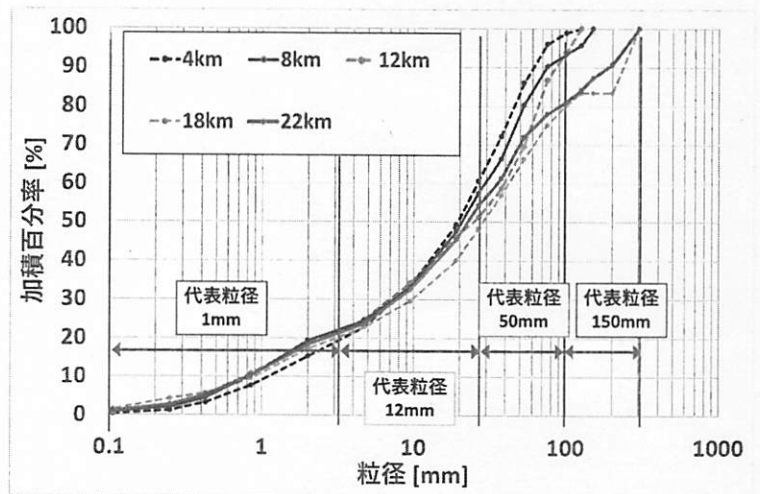
本節では、河床材料と土砂移動の関係に着目し、より高い精度での河床材料の採取が、河道計画、河道管理にとって重要であること、そして、土砂移動の実態に合う河床材料採取法の提言を行い、それが河川管理の改善に

つながることを示す。〈図—2〉の安倍川中下流域の観測粒度分布が示すように河床は、60%粒径で5cm程度、90%粒径で10cm程度の石礫で覆われている。粗い石礫のすぐ下をスコップで20cm程度掘ると、〈写真—1〉に示すように表層石礫よりも小さい大量の石礫、砂礫が存在しているのが分かる。大きな石礫は安倍川の河道の主要な構成材料であるが、表層下に存在するこれら大小の石礫、砂礫も洪水中に移動している河床材料である。

いま、洪水時に移動する石礫、砂礫の層厚を表層から0.5mと仮定し、〈図—2〉に示す22kmと8kmの観測粒度分布曲線から石礫、砂礫の各体積割合を求め〈表—1〉に示している。〈図—3 a, 3 b〉はこの両地点で見られる表層石礫群の平均粒径を15cmとして体積割合に応じて表層に配し、その下に砂礫群の体積割合に応じた粒度を混合させて示している。〈図—3 a, 3 b〉は、単純



〈図—1〉 安倍川の流域図



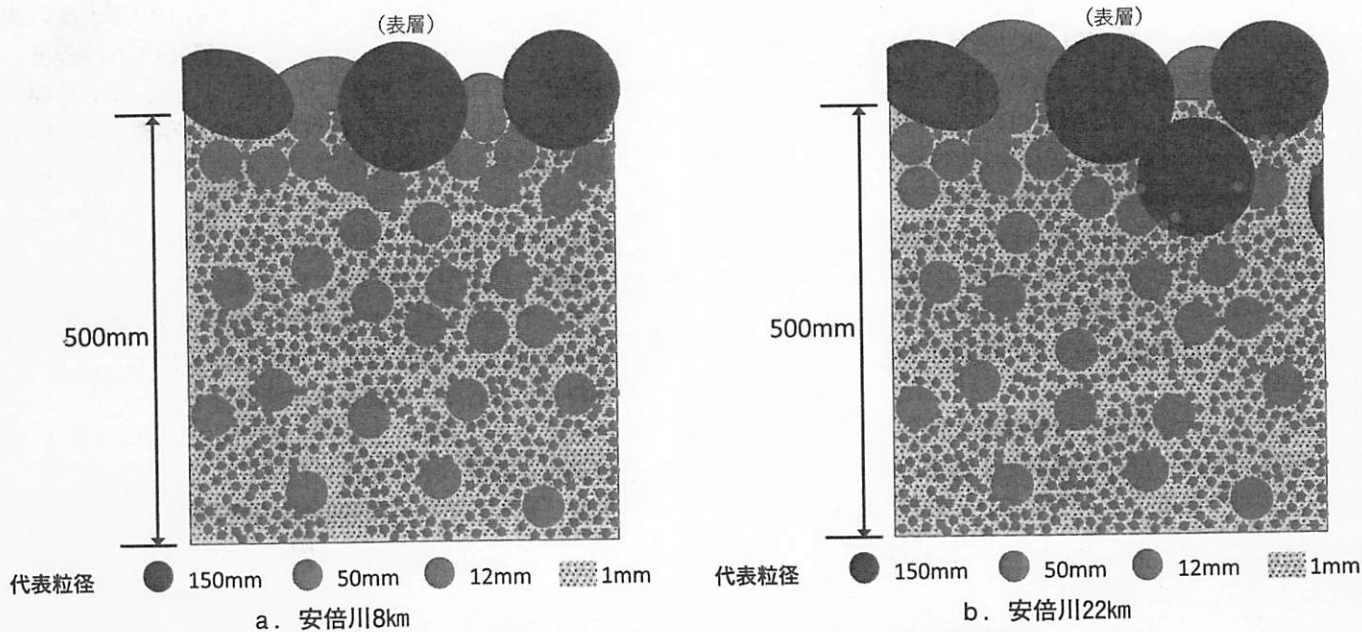
〈図—2〉 安倍川の河床粒度分布
(平成26年度調査)

〈表—1〉 安倍川8km、22kmの河床における
石礫・砂礫の各体積割合

| 代表粒径 | 8km 割合 [%] | 22km 割合 [%] |
|-------|------------|-------------|
| 150mm | 6.6 | 18.8 |
| 50mm | 35.8 | 26.9 |
| 12mm | 38.2 | 35.9 |
| 1mm | 19.4 | 18.3 |



〈写真—1〉 安倍川4km 表層から厚さ20cmの粒径集団
(撮影：2021年4月19日)



〈図一3〉 安倍川8km、22kmの河床における石礫、砂礫の混合構造

化した河床構成材料図であるが、これを示した理由は、安倍川河床には石礫以外の砂礫も多く、両者が河道の安定に重要な役割を果たしていること、表層および表層下に見られる石礫、砂礫が安倍川の重要な河床材料であり、河道で起こっている実態の理解や河床変動解析には考慮が必要な粒径集団であることを強調したいためである。

大きな石礫群は、洪水流の作用力の大部分を受け持ち、相対的に小さい周囲の砂礫に作用する力を弱め、広い粒度の砂礫群が河床に留める役割を持つ。同時に、大きな石の周囲にあるこれら砂礫群は、大きな石を流されづらくしており、両者は互いに河床に留まれるよう守りあっており、大きな石が流されると周囲の砂礫群も一緒に流されることになる¹⁾。このように石礫河川の河床構造は、粒径集団のそれぞれが、重要な役割を持っており、人為的に一部の河床構成粒径集団を河道外へ取り出し河床構造を変化させることは、望ましくないことと認識しなければならない。洪水直後には、河床表面に粒径の小さい砂礫が見られるが、これは洪水流量の減水時に堆積したものである。小洪水によってそれらは容易に流れ、また石礫の間に入り込むなどして、大きな石礫を中心とした礫河原を呈するようになる。

このように石礫河川では、河床の安定に果たしている河床材料の役割が、非常に大きいにもかかわらず、河床材料粒度分布の調査に対する認識が低いのではないかと思う。一例をあげれば、多くの河川で河床材料調査データは古く、観測地点数も少なく河川管理上問題である。洪水流・河床変動解析では、河床材料の粒度分布の信頼性が高いと、解析精度が高まることは間違いないところである。洪水解析の精度向上のために、精度の高い洪水

水面形の時間変化が必要になり、水位観測測定点を増やして洪水解析精度を上げてきたと同様に、低水路河道沿いのいくつかの地点で、洪水時に動くと思われる層厚、例えば表面から0.5mの範囲にわたって、河床材料の鉛直構造を調べ〈図一3〉のような体積割合での粒度分布を知って、これと、従来の河床材料の調査結果を比較し、どの程度異なっており、それが解析結果にどのように影響しているかを明らかにすることがまず必要と思う。

多くの河川の河床変動解析結果から分かったことは、洪水流の解析法や洪水データに関する情報が増え信頼度が増してきているが、土砂移動に密接に関係する河床材料粒度分布の信頼性が相対的に低く、河床変動解析結果の解釈に困る場合がある。河床材料粒度分布の観測精度を上げ、河道計画・管理の信頼度を高めるための検討を進めてほしい。

3. 安倍川中下流部で行われた治水課題の改善

平成年代に入り山地部、山麓部、平野部、河川、海岸部における土砂に関わる堆積、侵食等についての問題に対し、環境面も含めた自然との調和を図った総合的な土砂管理の必要性が高まった。平成9年10月の河川審議会でも土砂管理上の問題が顕在化している河川流域において、土砂の移動による災害防止等、総合的な土砂管理計画の考え方、施策の実施の提言がなされた²⁾。

そのような状況の中で、安倍川流域は、全国に先駆けて山から海岸まで流砂系一貫の総合的な土砂管理が検討され、平成25年7月に安倍川総合土砂管理計画が策定された³⁾。現在、計画に基づく先導的な対策が進められて

いる。私は安倍川総合土砂管理計画策定委員会の会長に任ぜられたことを機会に、安倍川中下流の河道管理の改善に向けて、国土交通省静岡河川事務所に三つの技術課題の検討を指示した。第一には、安倍川は洪水時の水深が比較的浅い網状急流河川のために、流量観測精度が低いことから、従来の流量観測法に加えて新しい観測法を考へること、第二は、安倍川は河床材料の粒度分布が広く、流砂運動は非平衡的で複雑である。にもかかわらず、平衡流砂量式を使った洪水・河床変動解析を行っており、新しい解析法を検討しなければならないこと、第三は、コンクリート護岸中心の河岸侵食対策は効果を上げてきたものの、洪水時に護岸に沿う強い流れを誘導しやすく、護岸維持が困難になりつつあることから、河岸沿いの砂州の再生を兼ねた新しい河岸対策工について検討すること等である。

第一の課題については、水位観測は流量観測よりも高い精度が期待できることから、中下流河道区間の河岸に沿って多地点に簡易型の水計を設置し、観測された水位ハイドログラフのデータより、水面形の時間変化を求め、これより精度の高い流量ハイドログラフを得ることにした。河道の任意地点で高精度の流量ハイドログラフが得られることに加えて、後述する水面形の時間変化を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析モデルを用いることにより、洪水時の河床変動状況を推定することが可能になった。

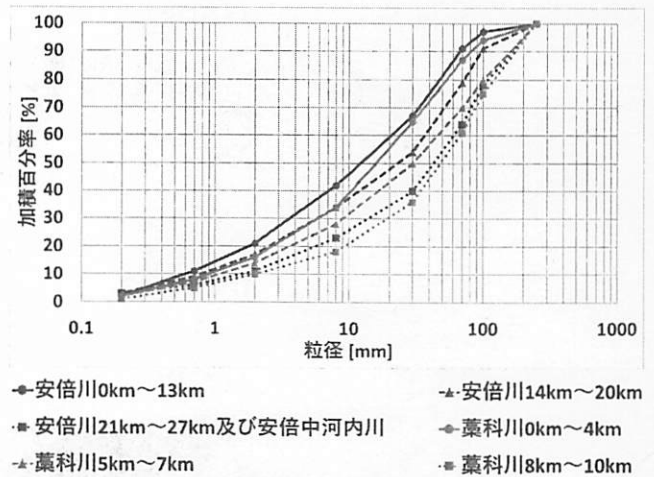
第二の課題の洪水流・河床変動解析法では、流れは平面二次元、土砂移動は平衡流砂量式を用いて解析されている。安倍川のような石礫を主体とする広い粒度分布を持つ網状急流河川では、流れは三次元的であり、土砂の移動は常に非平衡状態になることがその後の調査研究で明らかになった。このような特性を持つ河川では、準三次元洪水流解析法と二次元非平衡土砂移動解析法を組み合わせ合わせた石礫河川の洪水流・河床変動解析法が必要である。これについては4節で述べる。なお、緩流河川では、平面二次元洪水流・平衡流砂量式を用いた河床変動解析によって、河川管理上工学的に十分な精度で説明が可能であることが分かっている。

第三の適切な河岸侵食対策については、河岸付近の流速を抑制することを考え、コンクリート護岸と水制を主体に低水路河岸沿いの流速を弱め河岸の侵食を軽減することが行われている。しかし、この種の河岸侵食対策工は、その前面に水流を呼び込みやすく、河岸に沿って水が流れ続ける弱点を有する。主流を河岸からできるだけ離すことが河岸や堤防を守る基本的考え方であり、低水路河岸沿いの強い水当たり部に砂州を造成し、砂州前面を巨石で保護することにより強い水流を堤防から離す（写真一2）に示す対策が行われた（巨石付き盛土砂州）。平成29年10月洪水後に行われた静岡河川事務所によるモニタリング結果から、巨石付き盛土砂州により跳

ねられた主流が河道中心に向かうようになり、出水後には滞筋が河道中心へ移動するという効果が確認された⁴⁾。また、令和2年の大きな出水においても、巨石付き盛土砂州は、十分その機能を果たしていることが確認された。安倍川の巨石付き盛土砂州は、新しい砂州の造成に基づいており、環境面からの多様な機能効果と合わせ、巨石付き盛土砂州の治水計画上の位置づけ、設計法を確立することにより、河道の安全性の向上が期待される。



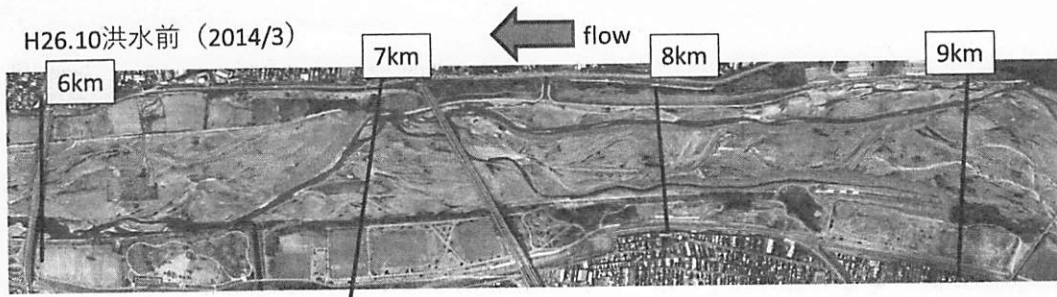
〈写真一2〉 安倍川右岸8.5kmの巨石付き盛土砂州



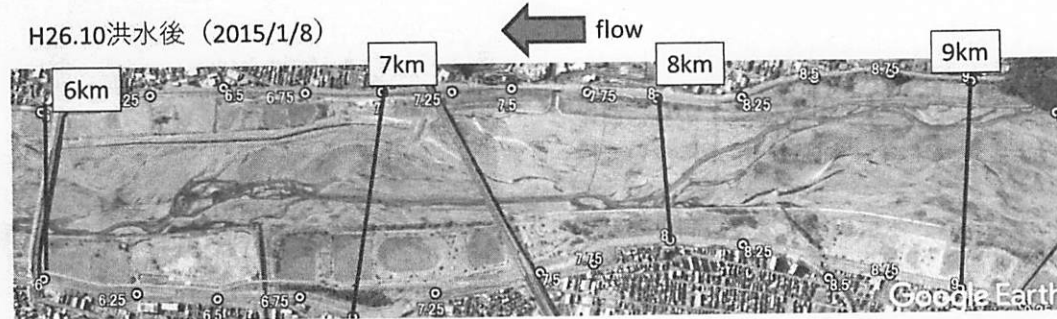
〈図一4〉 解析に用いた河床粒度分布

4. 石礫河川の新しい洪水流・河床変動解析法

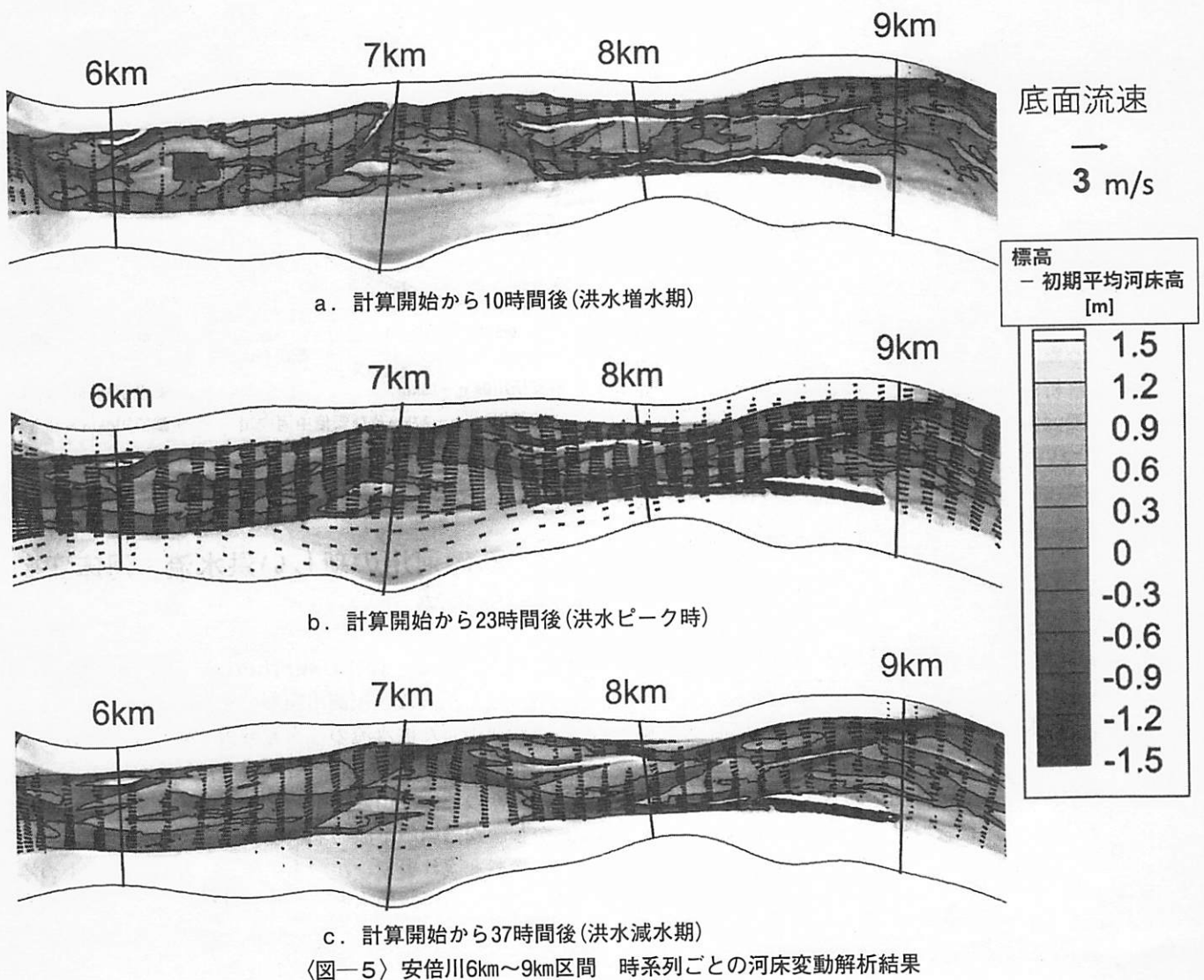
長田、福岡ら⁵⁾は、石礫河川の非平衡土砂移動機構を定式化し、また、観測水面形の時間変化を説明することを重要視した洪水流の二次元解析と非平衡流砂運動を一体化した平面二次元洪水流・河床変動解析法を開発し、多くの石礫河川の洪水・土砂移動の解明を進めた。しかし、安倍川中下流の網状流路では、三次元性の強い河床構造と流れ場で、かつ土砂移動が多く、洪水時の滞筋の移動、河岸への水あたり部の時間的、場所的变化などが、これまでの平面二次元洪水流・河床変動解析では十分に説明できないことが明らかになっている。この水



〈写真一三〉 安倍川6km～9km区間 平成26年10月洪水前の航空写真



〈写真一四〉 安倍川6km～9km区間 平成26年10月洪水後の航空写真



理現象を解くには、非静水圧分布を考慮した準三次元洪水流の基本式と砂礫の非平衡移動を考慮した流砂運動の式を用いた解析が必要であることが示されてきた⁶⁾。

以下に安倍川の洪水時の網状流路の変化に着目し、準三次元解析法の安倍川への適用結果を示す。〈図—1〉に安倍川流域を示す。解析対象範囲は、河口～28kmまでと、安倍川5kmで合流する支川藁科川の0km～10kmまでの区間とした。対象洪水は平成26年10月5日～10月7日の台風18号洪水である。解析対象区間に設置されている水位計と簡易水位計から得られた水位ハイドログラフを用い、観測水面形と解析水面形が時間的に合致するように流れを解いている。〈図—4〉は用いた河床材料の各地点の粒度分布を示す。流れの解析には、複雑な地形の起伏を考慮できる竹村・福岡ら^{6),7)}のQ3D-FEBS法を用い、網状流路上の流れを再現できるように底面における運動方程式を解く非静水圧準三次元解析を適用した。河床変動計算には広い粒度分布を持つ河床における非平衡流砂運動を解析する修正長田・福岡の非平衡流砂モデル⁶⁾を用いている。

まず実際に起こった河床変動による滞筋の移動を示す。〈写真—3〉は洪水前、〈写真—4〉は洪水後の6km～9km区間の航空写真を示す。〈写真—3〉（洪水前）では7km～9kmにおいて右岸沿いに滞筋が形成されている。この滞筋は洪水後、8km手前において右岸から左岸への移行を示している。また、洪水前には7km左岸に大きな砂州が形成されている。これに対し〈写真—4〉（洪水後）では7km左岸の砂州上に滞筋が形成されていることが分かる。

次に、河床変動解析結果を示し、洪水前・後の航空写真と比較する。〈図—5 a, 5 b, 5 c〉に、6km～8km区間において解析した洪水時の河床の標高から洪水前の平均河床高を差し引いた異なる時間の河床コンターの変化を示している。初期の平均河床高より低くなっている箇所に滞筋が形成されている。これらによると、洪水によって7.5km～8.5km区間では右岸から左岸へ蛇行する形状の滞筋が形成されており、洪水後はそこでの底面流速も局所的に大きくなっている。洪水後の航空写真〈写真—4〉でも8kmにおいて同様の形状の滞筋が見られる。7km左岸の解析結果を見ると、洪水前に存在した砂州が洪水後も小さく低くなっているが残っている。この点は洪水後の航空写真で見られる傾向とは若干異なるが、解析結果は、網状流路の洪水時の変化を概ね説明出来ている。

5. 今後の検討が望まれる安倍川の河川技術の課題

5.1 大谷崩れとその後の洪水、土砂流出、災害の歴史に学び今に活かす

大谷崩れによる大量の崩壊土砂の発生・流出とその後の豪雨による土砂流出が重なって安倍川の上中流区間に大量の土砂堆積が生じた。崩壊土砂の流出を抑制するために、この崩壊土砂の堆積面に長い時間をかけて多くの砂防施設が作られてきた。中でも、金山砂防堰堤、大河内砂防堰堤は規模が大きく、中下流河道への土砂流出の調節効果は高い。流出土砂制御効果の高いこれらの施設の上流では河床は上昇し、下流では河床の低下が生じている。土砂移動量の変化量が大きい場合は構造物の破壊につながる。土砂流出を制御している砂防施設の破壊が生じると、洪水土砂氾濫となって下流市街地を襲うことになり、甚大な被害を与えることになる。このような不幸な事態が起こらないようにするには、土砂崩壊の発生、中下流河道の河床低下の過程、施設がどのような経緯で建設されたのかについて調査し、歴史を知ってこれに学び、河道と施設の維持管理を適切に行うことが不可欠である。同時に、河床低下に伴う河川施設の被害、海岸侵食の顕在化から、現在の下流河床の上昇傾向と海岸地形の回復傾向など、一連の事業、事象を時系列的に調べ、理解して、今後の安倍川流域の適切な管理を行っていかなければならない。

5.2 総合土砂管理計画を包含する安倍川流域治水の展開に向けて

扇状地上に開けている静岡市を貫流する安倍川に想定最大洪水が生じたとき、静岡市洪水・土砂災害ハザードマップで公表されているように、河川堤防は破堤し、氾濫水は静岡市内の広い範囲に及び、激甚な被害が発生すると考えられる。国が作成している計画規模の洪水による浸水想定区域図においては、藁科川合流点の下流で0.5～3mの浸水深となる氾濫流が発生するとされ、このとき、河川勾配とほぼ同じ勾配の市街地を、大量の石礫、土砂を巻き込む早い流速の氾濫流が、市街地を襲い、氾濫被害を激甚化させると考えられる。想定最大洪水の場合の氾濫は、さらに広い範囲が壊滅的な被害を与えると予想される。

土砂流送量の多い安倍川は下流域で河床上昇を生じている。今後の洪水の巨大化の可能性を考えると、洪水位上昇により破堤氾濫の危険性の増大が考えられることから、洪水氾濫に伴う堤内地への土砂流出・堆積も考慮に入れた洪水浸水想定区域図が必要とされる。

超過洪水外力に対し破堤の危険性のある河道に対しては、河道と河川施設を計画的に整備強化するとともに、

洪水・土砂氾濫に対して、減災まちづくりが検討されなければならない。そのためには、現在進められている治水計画、総合土砂管理計画を安倍川流域治水の中に位置づけ、流域全体で洪水・土砂災害による被害を小さくすることを考えることになる。具体的には、洪水外力レベルが異なる条件下での市街地での洪水・土砂の氾濫リスクを示す多段階リスク情報付きの浸水想定区域図を作ることが必要である。これは、また、各洪水外力レベルの段階に対応して河道の安全度が推定でき、どこをどのように改修するのが良いのか河川改修の進め方に繋がる。外力レベルに応じた河川改修の進め方の状況を地域に伝え、地域はこの情報を生かした地域づくりを行うことになり、流域全体と地域の減災を考えた流域治水が今後必要とされる。

最後に、複雑化する河川管理を行う上で技術的に必要とされる新しい視点を述べ、まとめとしたい。河川の技術は、河川砂防技術基準に示され、それに基づいて河川管理が行なわれている。しかし、河川砂防技術基準に従って管理すればそれでよいわけではない。河川砂防技術基準は、これまで河川で実施されてきた技術をベースに標準的基準を示しているもので、新しく出てくる個々の技術問題に対応出来ない場合も多い。

河川事業は、河川管理上解決が必要な問題への対処であるので、その目的を達成するために科学的、工学的に解決可能な解析法を用いて検討することになる。ここに、河川管理者の確かな技術判断が必要とされる。複雑な現象を河川砂防技術基準にある解析モデルで検討するのが技術的には無理がある場合には、問題を解決するために新しい技術で確実に解決を図るという考え方が求められる。もちろん、単純な解析モデルで解決つく問題は、そのような方法を用いればよいのは言うまでもない。

安倍川流域は、山地から海岸まで、洪水流、土砂移動がもたらす恩恵と災害を受けつつ社会、地域が成り立っており、これからもそうである。恩恵を大きく、災害を小さくするために、そしてまた壊滅的な大災害を引き起こさないために、私たち河川関係者は、技術の開発にもっともっと積極的にならなければならない。現存する技術を使う側にとどまらず、新しい技術を創り出す側に積極的に立つことを求めたい。

参考文献

- 1) 福岡捷二：石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋 水工学に関する夏期研修会講義集，Aコース，A-1，pp.1-25，2008.
- 2) 河川審議会：流砂系の総合的な土砂管理に向けて、建設省河川局、平成10年（1998）.
- 3) 安倍川総合土砂管理計画，国土交通省中部地方整備局，平成25年7月（2013）.
- 4) 竹下宣考、鈴木利紀、林 日向：安倍川における巨石付き盛土砂州の試験施工、河川技術論文集，第26巻，2020.
- 5) 長田健吾、福岡捷二、岡田昌之：礫河川の二次元河床変動解析法を用いた安部川網状流路の数値解析、水工学論文集、第54巻、pp.769-774、2010年2月.
- 6) 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，2020.
- 7) 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B 1（水工学），Vol.75，No.1，pp.61-80，2019.