

多摩川水系浅川における 河床高回復現地実験と河道管理手法

FIELD EXPERIMENTS FOR RECOVERY TECHNIQUE OF RIVERBED LEVEL
AGAINST BED DEGRADATION IN THE ASA RIVER

森 僚多¹・石川武彦²・長田健吾³・福岡捷二⁴
Ryota MORI, Takehiko ISHIKAWA, Kengo OSADA and Shoji FUKUOKA

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

²正会員 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所調査課長 (同上)

³正会員 博士(工) 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)

⁴フェロー会員 Ph. D. 工博 中央大学研究開発機構教授 (同上)

The bed level of the Asa river which is the main tributary of the Tama river has degraded considerably for over the last 35 years and local bed scouring and shale-bed exposure have caused serious problems for river management. To recover riverbed level, it is important to introduce a new technology such as capture of moving sands and gravels during floods.

To develop the method of bed level recovery in the Asa river, we performed field tests under the concept that large stones placed in the proper manner of arrangement in the stream captured sediments from upstreams. We performed field tests of river bed level recovery and evaluated validity of the new technology by two-dimensional riverbed variation analysis using field test data.

Key Words : *Asa river, bed degradation, field test, riverbed level recovery, trap of sedimentst, shale bed, two-dimensional bed variation analysis,*

1. 研究の背景と目的

多摩川右支川の浅川では、横断工作物の存在による上流からの土砂供給の阻害や、過去に行われた大量の砂利採取による河床材料の細粒化によって、河床低下が進行し、護岸際や横断工作物周りでの局所洗掘や、河道の基盤を成す土丹層(軟岩層)の露出が河道管理上の大きな問題となっている。土丹層は、表面粗度が小さく一度河床に露出すると再び砂礫層が堆積せずに河床低下が進行するほか、流水に対する侵食抵抗が小さいため、とくに堤防や横断工作物の周辺で土丹層が露出した場合、側方侵食や局所洗掘による構造物の被災の危険性が增大する。このため、土丹層を極力露出させない河道管理や、すでに露出している箇所では、十分な層厚の砂礫層で被覆する対策が求められている。

平成20年8月末豪雨による出水では、洪水ピーク時に洗掘を受け剥離した2m四方程度の土丹塊が、出水後の河道内に点在し、これまでにない土丹の露出した河道状況

が確認された。松本ら¹⁾は、この異常な河道洗掘状況を受け、出水後に実施した現地調査結果やこれまでの調査データに基づき、現在の浅川の河道が抱える課題を整理するとともに、堤防や横断工作物周辺での維持管理上の重点項目や、今後の河道管理上必要となる考え方を提示した。その中で、喫緊の課題である河床低下や土丹層露出への対策として、現在の土砂移動の制約の中で河床低下箇所を上流からの砂礫を留めることが重要であり、その手法として、常願寺川で行われてきた現地実験結果²⁾を参考に、大きな石の配置により砂礫を捕捉し河床高を回復する方策の適用を提案している。

本研究では、浅川における河床高の回復方策の構築に向け、実河道での巨石の設置による現地実験を実施し砂礫捕捉および河床高回復効果を明確にするとともに、石礫河川の二次元河床変動解析³⁾を用いて大きな石による砂礫の捕捉効果の検証を試みる。さらに、河道管理上の課題である局所洗掘箇所や土丹層露出箇所での対策に向けた展開について検討する。



図-1 実験区周辺の河道

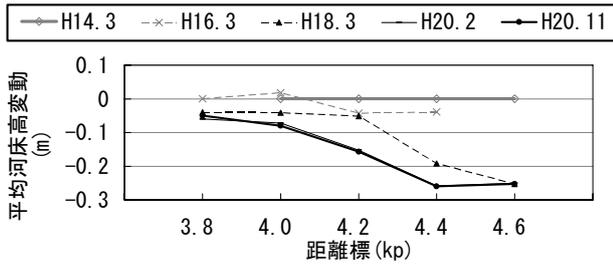


図-2 実験区周辺の平均河床高の推移

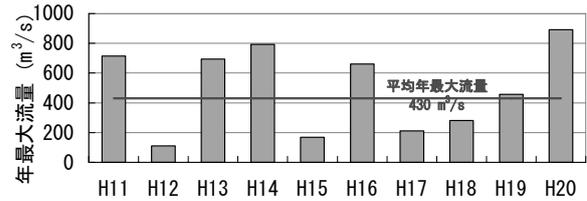


図-3 近年の浅川の出水

2. 浅川の河道特性

浅川は東京都西部の高尾山や陣馬山を水源として、八王子市を貫流し、日野市百草地先で多摩川に合流する延長30.1kmの一級河川であり、直轄管理区間は、多摩川との合流点から13.0k地点までである。河床勾配は多摩川合流点から平山床固（5.2k地点）までが約1/230であり、上流部ではさらに急勾配となっている。河床材料は、低水路水際部における平均的な粒度構成が、 d_{60} 粒径で20～50mm程度、 d_{90} 粒径で80～100mm程度である。米沢ら⁴⁾が行った浅川9.2k付近での表層河床材料調査結果によれば、洪水時のみお筋部では d_{90} クラスの粒径でも掃流されており、砂礫層下の土丹層が露出していることを示している。現在の浅川は洪水時に土丹層上に留まる大きな石礫が存在しないため、河床が安定せず低下し、河道のみお筋化や局所洗掘が進行している。現在の河床材料に対し、みお筋幅をどのように決めると河床が安定するかが大きな課題となっている。

3. 浅川河床高回復現地実験概要

(1) 実験区及びその上下流の河道状況

浅川において、現在の河道には存在しない大流量でも移動しない巨石を設置し、それらが洪水時に上流から流下する砂礫を捕捉することで、河床高を回復させることを狙いとして現地実験を行った。

実験は浅川の4.2k周辺の低水路で実施した。これは、

当実験が実河道内に巨石を設置するため、周辺河道の流下能力に支障がないこと、モニタリングや解析を行う際に単純な河道形状が望ましい、すなわち、河道平面形が直線状で、かつ低水路の横断形が極力平坦であること、周辺河道で土丹層が露出していないこと、実験期間中に周辺で河川工事による人為的な地形改変がないこと等を条件として選定したものである。図1に実験区4.2k周辺の河道状況を示す。実験区周辺の河道は平山床固のある5.2kから一番橋下流3.8kまで緩やかな蛇行が連続しており、実験区の上流4.8kから4.5kにかけて大きく左に湾曲し、そこから実験区下流の4.0k付近にかけて低水路はほぼ直線状を成している。4.0kから4.6kの右岸側では平成5年から7年に堤防護岸と根固工による防護対策が施されており、4.6k右岸では平成15年に堤防護岸の災害復旧工事が行われている。実験区周辺は、河床勾配が1/230程度、低水路幅は30m程度、低水路主流部の表層（河床から深度30cmまで）河床材料の d_{60} 粒径が約30mmである。図2はH14年3月の定期縦横断測量を基準とした近年の3.8kから4.6kにおける堤防法尻間での平均河床高の変動量である。河川内工事の影響により、H14年3月の3.8k、H16年3月の4.6kデータは除いており、3.8kはH16年3月を用いた。図2より3.8kを除いて実験区周辺では近年平均河床が低下傾向である。図3は、近年の浅川の出水状況である。平均年最大流量規模の出水はH19年9月出水（458m³/s）であり、図2のH18年3月とH20年2月間での河床高変動量より、4.0kから4.4kではH19年9月出水前後で10cm程度河床が低下した。図4は4.0k、4.2k、4.4kの近年の横断面形状の重ね図である。4.0kと4.2kでは同様の河床変動状況を示してきており、低水路の水面幅が徐々に狭まり、最深河床は低下傾向にある。また、4.2kの低

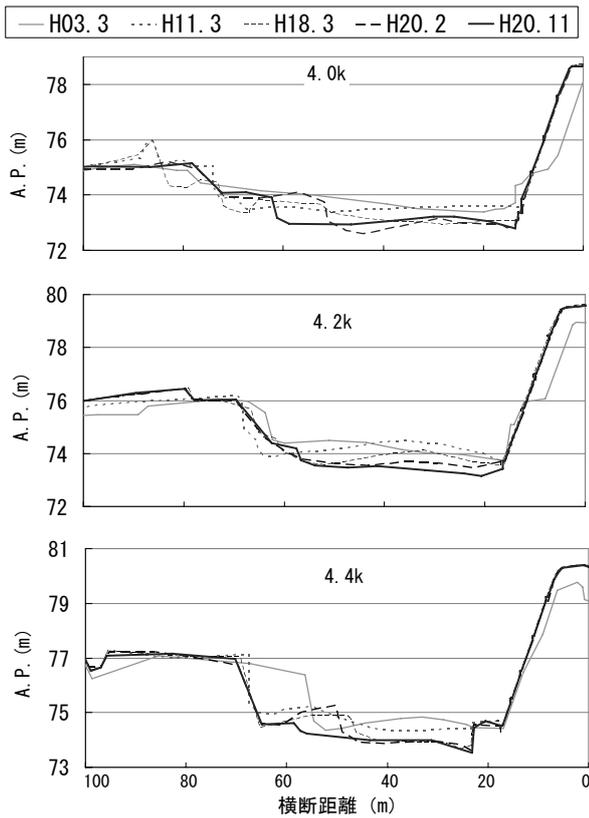


図-4 実験区周辺の低水路横断形の変遷

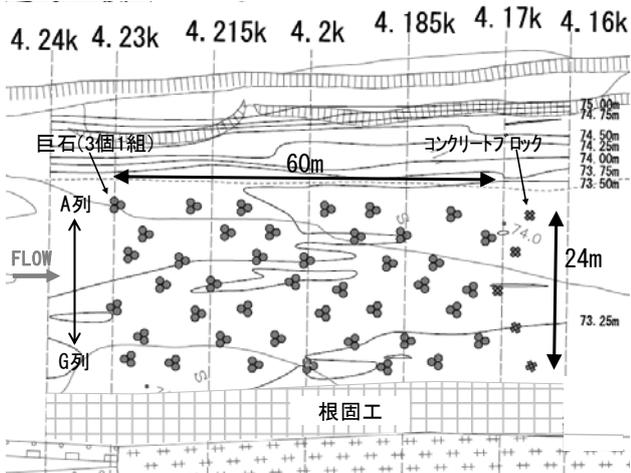


図-5 実験区初期平面図

必要であり、2.2k、5.9kの既設の水位観測所に加え、新たに3.2kと4.3k地点に水圧式の簡易水位計を設置し、水路には局所洗掘はないものの、わずかに右岸側に傾斜しており、4.8kから4.5kの湾曲の影響が残り、外岸側で若干流速が大きい。

(2) 実験施設

図5は実験区の巨石の初期配置図、写真1は右岸堤防上から撮影した設置直後の現地状況である。実験区は4.2kを中心に縦断延長を60m、横断幅を低水路部分にあたる24mとした。本実験区では低水路の横断形状はほぼ平坦



写真-1 実験区設置後状況（設置直後 右岸堤防上から撮影）

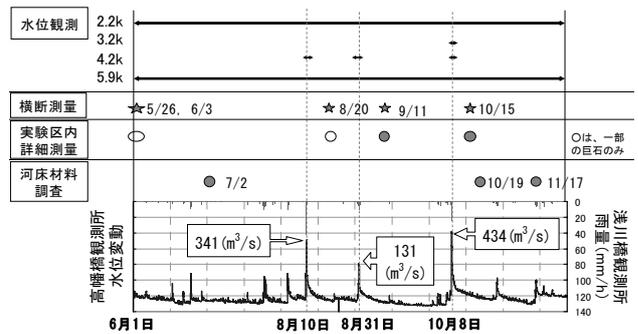


図-6 出水状況と実験モニタリング実施状況

であり流況は概ね同様であることから、巨石3個1組で流下方向に7列、各列にそれぞれ6組の巨石を、千鳥型に配置した。巨石は全部で42組、126個である。各巨石の組は、左岸側から順にA列からG列、各列の上流から順に1から6とし、A1からG7と命名した。各巨石の大きさは平均粒径が600mm程度のものを使用した。これは、巨石が掃流されずに河道内に留まる対象の洪水流量規模を平均年最大流量430m³/sと設定し、この規模の洪水外力に対して留まるための必要粒径を算出したものである。粒径の算出は、護岸の力学設計法の「掃流—一体性が弱い」モデルに基づいた。巨石の置き方は、かみ合わせによって巨石の流出を防ぐために3個1組とし、上流側凸型と下流側凸型の2通りとした。さらに、巨石が河床になじむようにするため、巨石の厚さの1/3程度を予め河床に埋め込んでいる。また、実験区の下流部には六脚型のコンクリートブロックを5基設置した。これは巨石が洪水によって掃流された際に、下流側で受け止め実験区外への流出を防ぐためのものであり、1個当たり約2tのブロックを使用した。

(3) モニタリング概要

巨石の設置が完了した平成21年6月以降は、出水による河床高や流路の変動について調査を行った。図6に本実験でのモニタリング実施内容を時系列で示す。平成21年度は100m³/sを超える出水が3回あり、各出水後に横断測量と実験区内の詳細な測量を行った。横断測量幅は低水路部分だけでなく左岸側の高水敷を10m程度含めて実施した。これは巨石設置の効果によって河床高が回復した際に、併せて左岸側高水敷の河岸侵食が生じることを

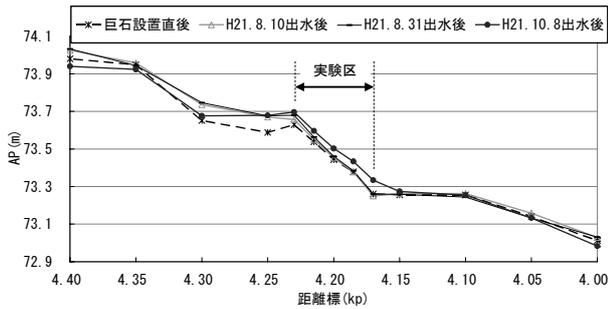


図-7 実験区周辺での低水路平均河床高の変化

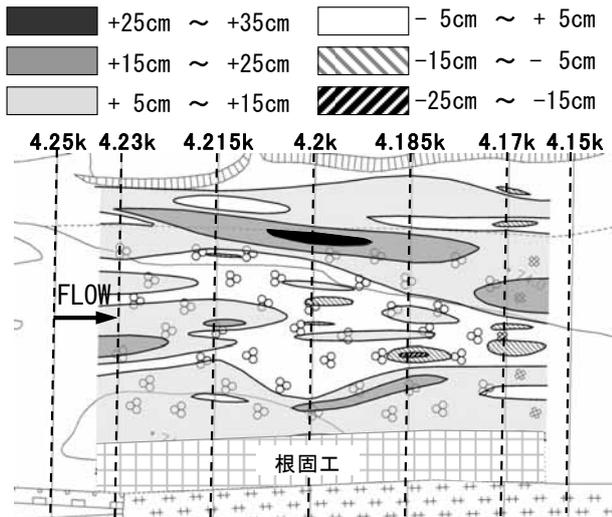


図-8 河床変動カウンター図 (実験初期と3回目出水後比較)

想定したためである。また、洪水と河床変動の状況を捉えるために実験区での洪水時の水面形の時系列データが洪水時の水位観測を行った。流量データについては、実験区と2.2k下流の高幡橋水位流量観測所の間では支川流入や大きな取排水がないため、高幡橋観測所における自記水位データのH-Q流量換算値を使用した。巨石により捕捉される砂礫や、実験前後での河床材料粒径の変化を調べるため、実験区内でふるい分析による表層河床材料調査を実施した。河床材料調査は初期計測と3回目出水後の計2回実施した。

4. 巨石を用いた河床高回復の効果

(1) 河床高の変化

図7は、縦横断測量で得られた実験区周辺の低水路平均河床高縦断面図である。実験当初と3回目出水後を比較すると、実験区の70m下流の4.1k地点ではほとんど変化が無く、実験区を含む4.1kから4.3k地点までの実験区近傍区間では平均河床高が上昇した。逆に4.1kより下流と4.3kより上流では河床高が低下しており、実験区近傍とその上下流で傾向が明確に分かれた。実験区近傍における平均河床高の上昇は概ね2cmから7cm程度であり4.25k

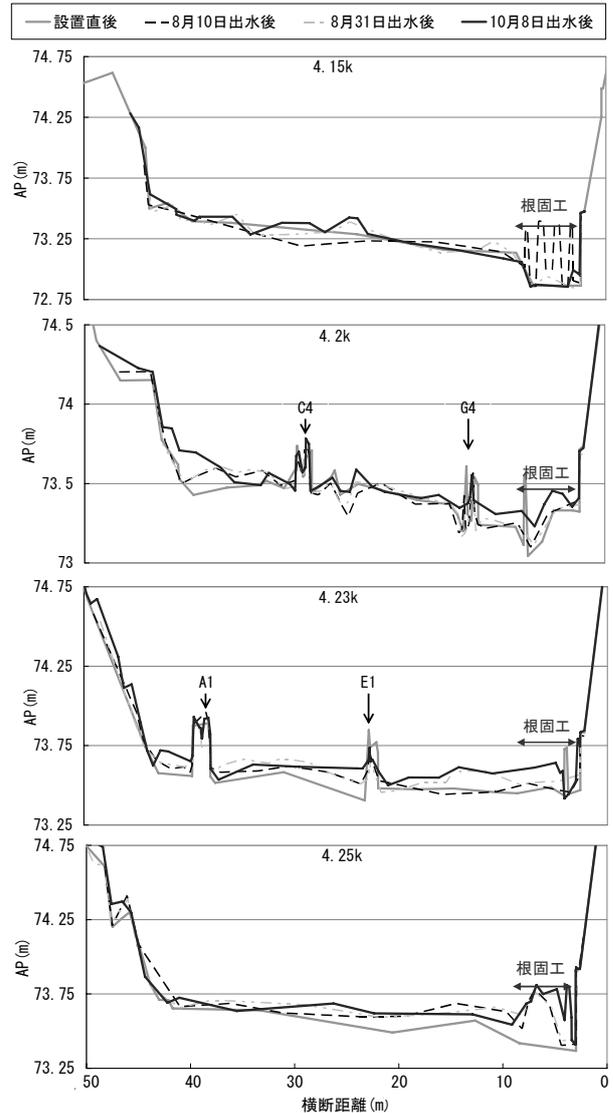


図-9 実験区周辺の低水路横断面形状の変化

で最も大きく9.1cmであった。河床が低下した区間の低下量は1cmから4cm程度であった。

図8は実験区内の初期と3回目の出水後の河床高の変動カウンター図である。この図から、概ね実験区の全体で河床高が回復していることが読み取れる。

図9は実験区直下流の4.15k、実験区内の4.2k及び4.23k、実験区直上流の4.25kの4断面における実験初期から各出水後の横断測量の重ね図である。4.2k、4.23k、4.25kでは低水路の全体で河床が上昇している。4.23kのE1の左岸側では初期と比較して3回目出水後には22cm程度河床が上昇しており、今回横断測量を行った断面の中で最大の堆積量を示した。一方、実験区直下流にあたる4.15kでは低水路全体としてはほとんど変動が無く、低水路中央部に砂州が形成されたため、平均河床高が上昇している。実験区を含め上流側と実験区より下流側での堆積傾向の差異は、実験区から上流側においては巨石の設置が上流区間内で影響し、砂礫が堆積したことを示すものである。

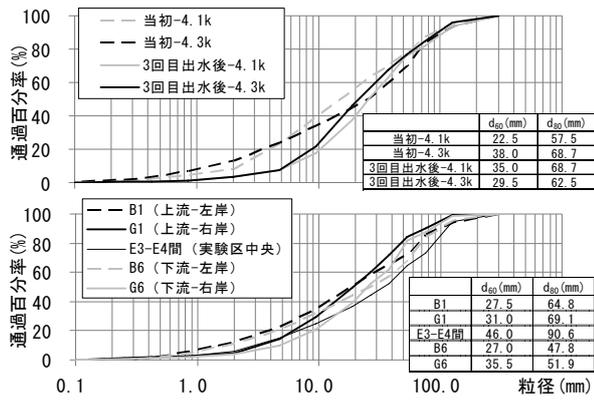


図-10 河床材料調査結果 (上段: 実験前後での4.1kと4.3kでの変化 下段: 3回目出水後の実験区内での位置的变化)

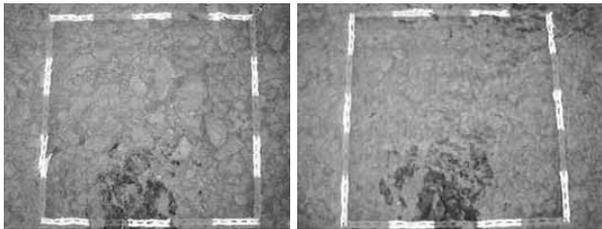


写真-2 実験区中央(左)とG1上流(右)の表層河床材料 (枠は1m四方)

(2) 河床材料調査結果と河床高回復の関係

実験開始前と10月の3回目出水 ($430\text{m}^3/\text{s}$) 後に実施した河床材料調査結果から、実験前後や実験区内の位置による河床材料の差異について考察する。図10上段は、実験当初と3回目出水後の実験区の下流と上流、4.1kと4.3kの低水路中央表層の粒径加積曲線である。当初と比較し、2地点とも20mm以下の細かい粒径集団が減少している。これは、当初採取した河床材料は前回の洪水後から長時間経過する間に河床に細粒分を溜め込んでおりそれらが今回の出水で流されたものと考えられ、基本的に上流から大きな粒径集団が流下されてきたとは考えにくい。また、出水後を比較すると4.1kのほうが4.3kより若干粒径集団が大きいが、この差が実験区の影響によるかについては判断が難しく、継続したモニタリングが必要と考えられる。図10下段は3回目出水後に実験区内の上下流それぞれの左右岸にある巨石 (B1, B6, G1, G6) の直上流に堆積した河床材料と、実験区中央付近のE3とE4の中間点の計5箇所採取した粒径加積曲線である。実験区内の d_{50} 、 d_{90} は、総括してみると4.1kや4.3kよりも小さく、巨石によって細かい粒径集団が捕捉されていることが視える。実験区中央は他の4地点と比較し大きな粒径集団で構成されており、写真2の実験区中央とG1の表層の写真からもその違いが明確に区別できる。これは巨石間での流れの集中によるものと考えられ、現地踏査の際には、図9で示されている一部の巨石の際で局所的に洗掘を受けている箇所においても同様の状況が確認された。今後河床上昇に伴い、水面幅の増大による、高水敷河岸際の侵食が予想される。河床低下によって狭くなっ

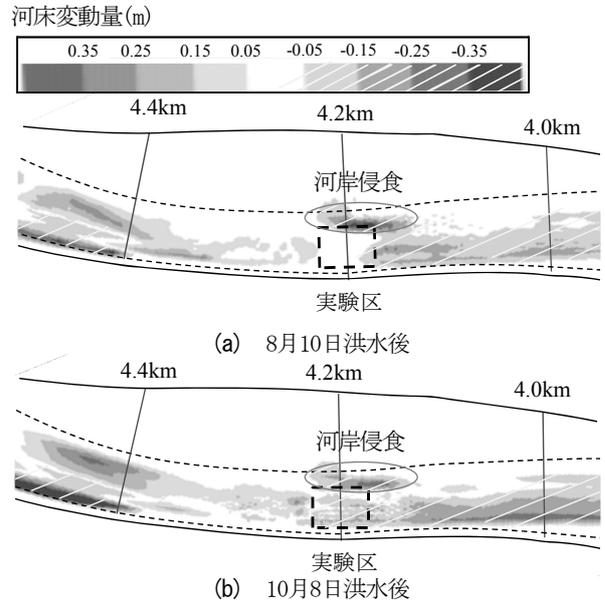


図-11 解析による実験区周辺の河床変動量コンター標高(m)

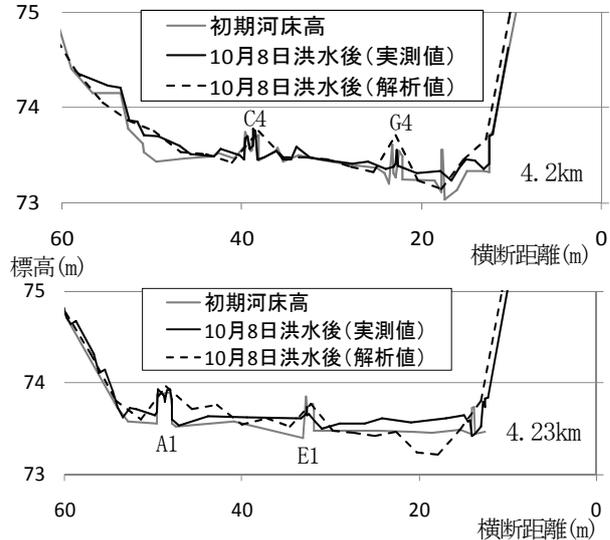


図-12 実測と解析の横断形状比較

ている現在の低水路が河床の上昇によってどの程度まで低水路幅が拡大されるか、そのときの河床材料粒径集団はどのような粒径集団に変化するか等、関心の高い課題である。

5. 二次元河床変動解析による河床高回復の検証

水面形の時間変化を解とした非定常二次元洪水流解析法と石礫河川の二次元河床変動解析法を一体的に扱うモデル³⁾を、上述の浅川出水に適用し、石の設置による上流からの土砂の捕捉効果を検証する。解析は、2.0km~6.0kmの区間で行い、上下流境界条件には、高幡橋(2.2km)と4.2kmの水位観測値を与えた。解析における巨石の扱いは以下のとおりである。巨石設置位置にあたる解析メッシュの河床高は、巨石の初期設置高さとする。洪水流解析における河床からの抵抗値は、河床表層の d_{90}

の形状抵抗から評価する方法を用いているが、巨石の存在するメッシュでは巨石の存在割合を考慮して d_{90} 粒径を算出し、河床抵抗値を評価した。巨石の存在するメッシュでは、堆積量の算定は他の箇所と同様に計算するが、離脱量は河床高が巨石高より下がらないように制御した。

図11に8月10日洪水後と10月8日洪水後の巨石設置直後河床高からの河床高変動量をコンター図で示す。河床変動量コンターを見ると、実験区の上流側に縦断的に土砂が堆積していることから、巨石の設置により上流から流下した砂礫が捕捉されることを解析で捉えられている。

図12に10月8日洪水後の4.2kmと4.23kmにおける実測値と解析値の横断形状の比較を示す。4.2km断面は、実測値では左岸河岸際において堆積が生じており、解析では河岸侵食により供給された土砂がその箇所に堆積している。この断面では河岸付近を除いては、巨石周辺においても大きな変動は見られず、解析でも大きな変動は見られなかった。4.23km断面は、実測では全体的に20cm程度の堆積が生じている。解析では、右岸の護岸際で洗掘が生じており、現象を再現できていない。巨石E1より左岸側は、解析結果も全体的に堆積傾向となっており、実測の傾向を捉えられている。図11を見ると、巨石設置区間の下流側では、河岸侵食の土砂供給により堆積している箇所も見られるが、上流から流下してきた土砂の多くが4.23km断面より上流に堆積し、実験区の下流側に上流からの土砂が十分に到達せず河床低下傾向となった。これは巨石が多く設置された実験区内の河床抵抗及び巨石の周りの土砂移動が説明できていない。この点については平面二次元から準三次元解析モデルに変更し精度向上を図ることが必要である。

6. 河床高回復実験の展開

本研究では、近年河床が低下し低水路幅が狭まる傾向にある浅川4.2k周辺の河道において、巨石を設置し砂礫を捕捉することにより河床高を回復する現地実験を実施した。出水期間中に、平均年最大流量相当の洪水により、実験区およびその上下流を含め約100mの範囲で河床高が回復し、巨石の設置効果が確認された。河床高回復の効果検証のための準三次元解析法の適用等精度アップを図り、巨石の配置による土砂の捕捉を十分に説明する解析法の確立の必要性が明らかとなった。

今後は浅川や多摩川本川での局所洗掘箇所や土丹層露出箇所において、ここで得られる成果がどのように適用可能であるか検討が求められる。水みちによる局所洗掘が生じている箇所においては、洗掘部への巨石の設置により河床高回復を図ることが可能かを現地実験により確

認する必要がある。当該実験区間の上流で次期出水期に向けて計画中である。また、河道整正等と河床高回復方策の併用が考えられ、工事によって整正された低水路の維持のために、河床高回復方策の適用が有効である。その際には、現在の河床材料構成に適した水面幅、水深、河道横断形状についての知見が求められる⁵⁾。

土丹層露出箇所においては、自然の土砂供給のみでの土丹層の被覆は困難であるため、事前に土丹上に石礫等を投入し土丹層を被覆することが必要と考えられる。それと併せて洪水時に被覆層の流出を防ぐための対策工が求められ、その手法には巨石に限らずブロックや床止め工等の設置が考えられる。このような土丹層被覆対策においては、洪水ピーク時の洗掘深や再び土丹が露出しないために必要な被覆層の層厚、粒径についての十分な知見が求められる⁶⁾。

当該実験区においては、今年度3回の中小出水を受けたが、次期出水期以降も継続してモニタリングが必要とされる。最後に、今後の河床高回復方策に関連して、継続モニタリング時の着眼点として重要と考えられることを挙げる。第一に、河床の回復高は、巨石高との関係に注目しながら監視する必要がある。また、回復効果について、実験区外を含めた測量を行い効果が及ぶ縦断的な範囲を確認する必要がある。さらに、多摩川、浅川における現在の河床材料構成に見合った望ましい低水路幅や河道形状の基礎的資料として、河床高の回復に伴う低水路の横断形状の変化、特に左岸水際部の河岸侵食の推移を追跡することが重要である。

参考文献

- 1) 松本将能, 工藤美紀男, 福岡捷二: 平成20年8月浅川洪水(多摩川水系)による土丹河床の大規模洗掘と河道管理対策, 河川技術論文集, 第15巻, pp. 285-290, 2009.
- 2) 須賀正志, 前嶋達也, 藤本昌利, 長田健吾, 福岡捷二: みお筋化・低下した石礫河川の河床高回復技術の開発研究, 河川技術論文集, 第15巻, pp. 273-278, 2009.
- 3) 長田健吾, 福岡捷二: 石礫蛇行河川の二次元河床変動解析に関する研究, 河川技術論文集, 第15巻, pp. 327-332, 2009.
- 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研究, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 345-350, 2007.
- 5) 浅野文典, 福岡捷二: 沖積地河川における安定な川幅・水深-治水と環境の調和を目指した河道断面の決め方, 水工学論文集, 第54巻, pp. 1021-1026, 2010.
- 6) 前嶋達也, 福岡捷二, 長田健吾: 土丹の露出しない河道に必要な河床材料の粒度分布と堆積層厚の検討, 第36回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, II-43, 2009.

(2010. 4. 8受付)