

足羽川の水面利用施設の土砂堆積軽減に関する研究（その3）

流守博・田安正茂*・廣部英一**・田中謙次***

要 旨

足羽川の水面利用施設は、平成8年度から震災対策としての水汲み場と河川の水辺利用の推進を目的に整備されたものであるが、中小洪水時の土砂堆積による機能の低下が課題となっている。そこで、福井工業高等専門学校と共同で現地調査および水理模型実験を行い、その結果を用いて実際に足羽川に対策工としての水制工を設置し、土砂堆積の軽減効果についてモニタリングによる確認を行った。その結果、対策工として構造物（水制工）を水面利用施設の上流側付近に、主流に対して構造物と舟着場との開口幅を3mとし、構造物の長さを4m、設置角度を船着場に対して90°で設置することで、ワンド形状をした水面利用施設内に平水位の状態では堆積した土砂（泥土）を移動させる流れを引き込むことができ、堆積土砂の軽減効果が期待できることがわかった。

キーワード： 足羽川、水面利用施設、土砂堆積軽減、ワンド形状、水制工

1. はじめに

足羽川には、震災対策の水汲み場としての機能の他に、親水施設としての位置づけがあり、特にカヌーが乗り降りできる階段が設置されている水面利用施設がいくつか存在する。（写真-1）。



写真-1 親水施設として階段設置当時の状況
(平成10年頃)



写真-2 土砂堆積と植生繁茂の状況
(平成29年2月24日)

しかし、水汲み場階段（以下、「水面利用施設」と言う）は、高水敷を凹状に引き込んだ形状であり、引き込まれた内部の水域では滞留が生じ、写真-2に示したように堆積土砂と植生の繁茂によって期待される機能を失っているものが存在している。

年間の利用が頻繁な水面利用施設については、数年に一度草木の伐採や浚渫が行われているが、利用が少ない施設については維持管理の手が行き届かない状況となっている。

施設の機能を維持するためには、施設内に堆積した土砂を定期的に掘削、浚渫しなければならないが、土砂を堆積させない工夫が必要となっている。

そこで、本研究では、これら水面利用施設への土砂堆積を軽減する対策案を水理模型実験により検討すると共に、効果が期待できる対策を実河川において試験施工し、その効果を検証することを最終目的とする。

なお、本年度の研究では、昨年度実施した福井工業高等専門学校での水理模型実験において得られた結果を基に、河川課の協力を得て足羽川の九十九橋上流左岸の舟着場（毛矢の繰舟やEボート等で活用）において、実際に対策工として木工沈床で製作した水制工を設置し、その後の流況の変化や堆積物の変化についてモニタリングを行ったので、その結果を報告する。

2. 研究対象施設の概要

本研究において研究対象とした施設は、足羽川3.2km 地点の九十九橋直上流左岸（下流から6番目の施設）である。

この施設は、平成25年度に親水施設としての機能性を高めるため、県単独事業にて舟着場として新たに整備したものである。

図-1 に本研究において対象とした施設の位置図を示す。



図-1 研究対象施設位置図

この船着場の設計にあたっては、水面利用の促進を図るために平成26年度に新たに舟着用デッキを設けており、さらなる利用がなされている。そのため、今回の研究対象として、足羽川で現在最も利用頻度の高いこの箇所とした。

写真-3、写真-4 に今回の研究対象箇所（舟着用デッキの整備前と整備後）の写真を示す。



写真-3 舟着用デッキ整備前の状況
(平成25年5月5日)



写真-4 舟着用デッキ整備後の状況
(平成26年7月1日)

この施設では、平成25年度の再整備以降に洪水による土砂堆積（写真-5）が頻繁に生じており、水面利用施設内の河床が浅くなっていた。



写真-5 土砂の堆積状況（平成26年10月19日）

また、堆積土砂は泥分がほとんどなため、堆積が進むと足が抜けられない状態になり、泥に足が沈んで下も見えないことから、釘や鋭利な破片等を踏む危険性が有り、利用者が安全に利用することが困難な状況となっていた。そのため、継続的な水面利用施設の利用にあたっては土砂堆積の軽減が緊急の課題として対策が求められていた。

3. 土砂堆積の要因の解明

研究を行う前に、どのようなメカニズムでワンド形状をした舟着場内に土砂が堆積するのかを、洪水時の様子を観察する事で状況確認を行い、原因の確認を行った。

その結果、洪水減水期に土砂（主に泥土）が沈降する事、ならびに階段等に溜まった泥土がその後の降雨で流れ出て、舟着場前面に堆積することが分か

った。

4. 水理模型による構造物配置の検討

模型実験では、福井工業高等専門学校 環境都市工学科 水工学実験室に設置された開水路実験装置を使用し、プラスチック球をトレーサーとして動画撮影を行い、画像解析ソフト（ディテクト Flownizer2D）を用いてPIV解析を行った。

5. 水理模型実験結果のまとめ

本研究における水理模型実験では、平水時にワンド形状の舟着場内へ堆積土砂を押し流せるだけの流れを引き込むための構造物配置について検討を行った。

その結果、構造物を設置しないケースでは、現地での現状と同様に、舟着場内に死水域が生じており、

そこで、長さ4mの構造物（高さ90cm）の水制工（木工沈床）を河川の主流に対して角度を90°、水面利用施設と構造物の開口幅を3mの位置に構造物を設置することによって、主流部の流れを舟着場内に引き込む事が確認出来た。

6. 模型実験に基づく水制工の足羽川への設置

模型実験の結果を踏まえ、対策工を設置する事で、ワンド形状をした舟着場内へ泥土を移動し、下流へ流す事ができる事がわかったことから、河川課の協力を得て、足羽川に実際に水制工を設置した。

水制工の材質としては、周囲の景観等を考慮し、木工沈床を採用した。

大きさは、模型実験（1/75）を実寸大に戻し、配置箇所についても、模型実験結果で得られた箇所に正確に設置を行うように設計した。

木工沈床の作成にあたっては、美山町森林組合から、防腐処理をした桧組みを購入し、破損時の中詰石の飛散防止を目的として、ネット（前田工織製）を木工沈床内に設置した。

その後、中に割栗石20cm程度以上を投入し、全体的な重さを確保した。

なお、高さについては天端高さを90cmとしたが、洪水時に流れてしまう事や、転倒する危険性を防ぐため、最新河床より90cm根入れすることとし、全

高1.80m、幅4m、厚み1mの物を作成し、設置した。

また、設計段階では丸太杭を河床に打つ事を計画していたが、河床が堅くバックホウでは打設が困難であったため、杭打設は行わなかった。

今回、足羽川に設置した水制工の設計図を図-2から図-4に、水制工を写真-6から写真-7示す。

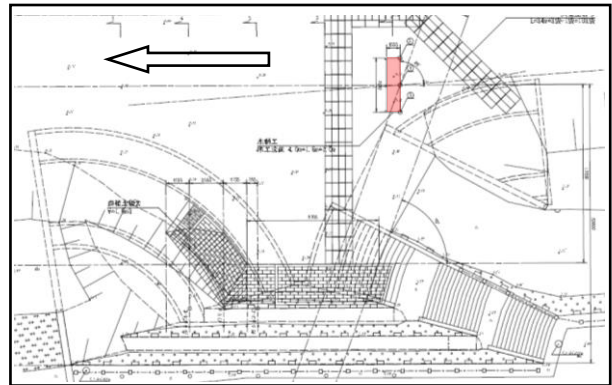


図-2 水制工計画平面図

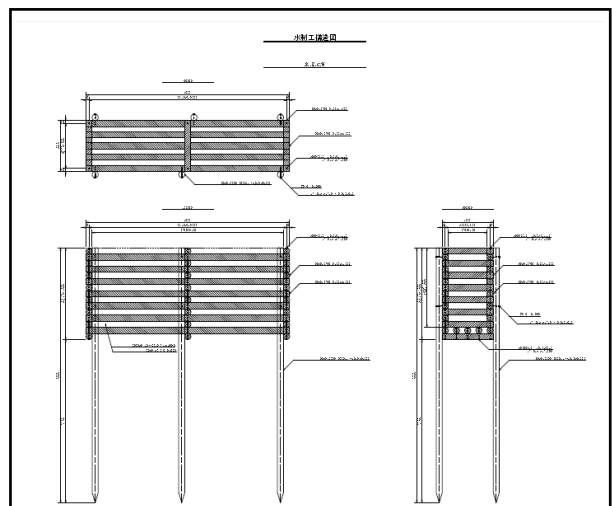


図-3 水制工詳細図

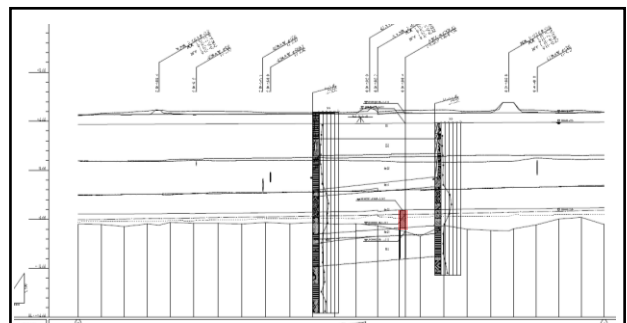


図-4 水制工縦断面図



写真-6 水制工 (平成 28 年 3 月 9 日)



写真-7 設置後の水制工 (平成 28 年 4 月 27 日)

次に、施工後の水制工の設置位置、標高について述べる。

水制工の設計高さは、カヌー等の利用者の安全面を考慮し、平水時の T.P.0.82cm (過去 5 ヶ年平均で算出) の時に、水制工の頭が約 10cm 程出る様に設定した。設置位置については実験の通りとした。

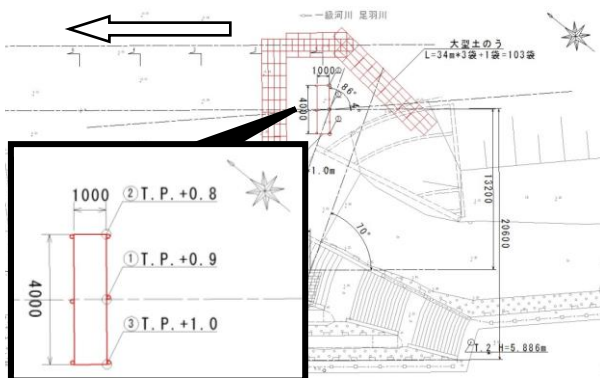


図-5 水制工完成時の出来高管理図

しかし実際の施工では、施工時期が 12 月から 3 月と雪解けにより水位が非常に高く、困難を極めた。

そのため、施工後の水制工には設計値とのずれがあり、水平方向に下流側へ 15 cm、本流側へ 15 cm ずれていた。鉛直方向には天端高さが T.P.+0.9 m になるように設計されていたが、施工後は図-5 に示すように①の点が T.P.+0.9 m、②の点が T.P.+0.8 m、③の点が T.P.+1.0 m となった。

しかしながら、この程度の誤差であれば、水制工の効果には影響がないであろうと判断した。

7. 実際の水制工設置による効果検証について

水制工を設置後、河床高の測量を計 4 回 (4 月, 5 月, 7 月, 10 月), 流向・流速測定を計 4 回 (6 月, 10 月, 11 月, 3 月) 行った。また、その期間中に 9 月 20 日から 21 日にかけて、台風 16 号による増水で 5.21m (高水敷きは 5.95m) まで上昇したが、今年度の増水はこの 1 回だけだった。図-6 に出水時の水位記録を示す。

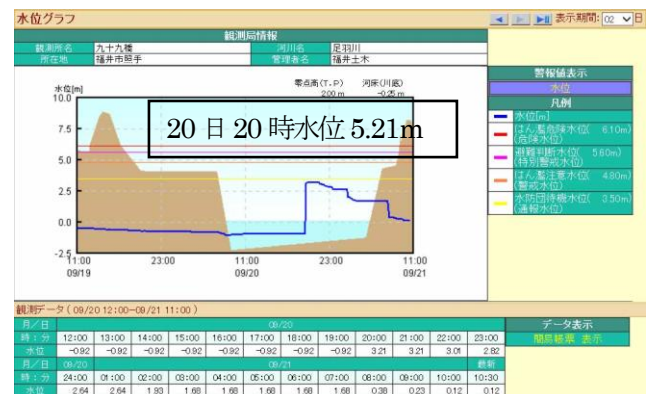


図-6 9月20日の最高水位

また、模型実験における実験結果と実際の流速測定結果について比較したところ、舟着場の右側上流部に構造物を設置した場合には、舟着場内に約 3.5 ~ 5.5 cm/s の流れを発生させることができおり、現地流速に換算すると舟着場内に 30 ~ 48 cm/s 程度の流れを発生させることが出来る事が分かった。図-7 に実験時で最終的に決定した対策案設置時の舟着場内の流速分布を示す。

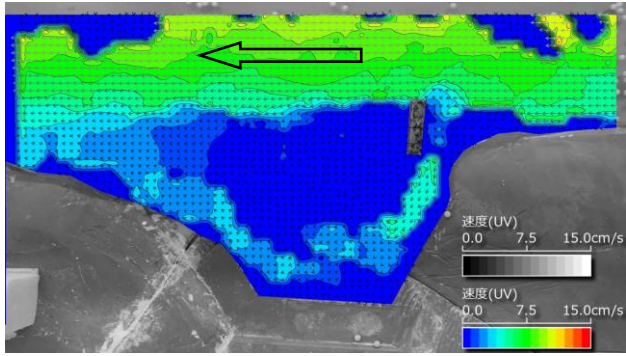


図-7 実験での流速

実際に足羽川に水制工を施工した後にモニタリングで測定した流速分布について、図-8に示す。

実際の足羽川で水制工設置後に3回行った流向・流速測定結果では、舟着場前面に30cm/s~40cm/sの流速が出ており、かつ舟着場のデッキに沿った形で流れが生まれている事が分かる。

このことから、水理模型実験における実験結果が概ね現地でも再現されていると言える。

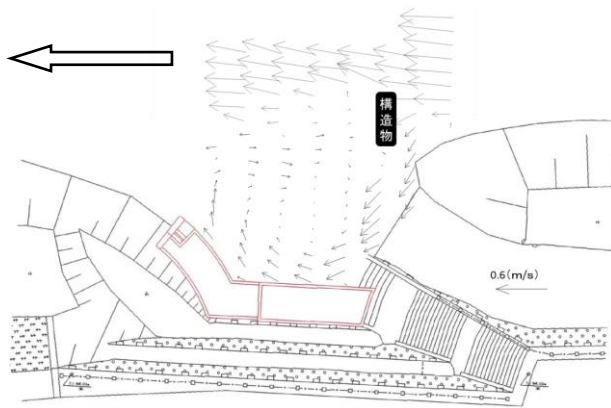


図-8 足羽川での測定流速(平成28年10月18日)

次に、足羽川において実際に河床高の測量を行った測点を示す。図-9に河床高測定時の測点位置を示す。

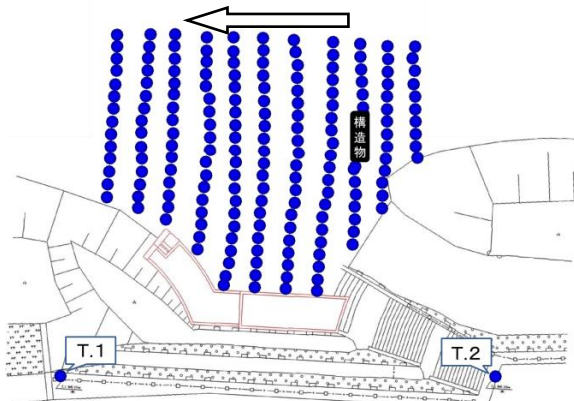


図-9 河床高測点位置図

上下流方向に2.5m, 河川の横断方向へ1.0mピッチで河床高の測定を行った。

まずは、水制工施工後の3回目の河床高の計測では、4ヶ月が経過していたが、いずれもデッキ前面に沿った流れにより粒径の細かい泥土系土砂の堆積はなく、水制工によって生み出された流れにより、上手く下流側へ運ばれていると考えられる。図-10に研究当初(平成26年度)での河床高を、図-11に水制工設置後の平成28年7月時点での河床高のコンター図を示す。

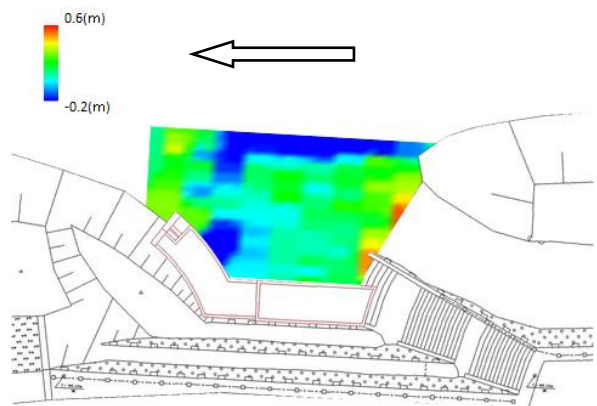


図-10 平成26年7月1日時点での河床高

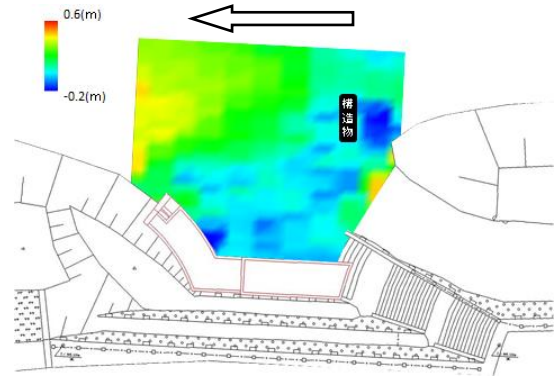


図-11 平成28年7月25日時点での河床高
(水制工施工時の4月から約4ヶ月後)

次に、水制工設置後でかつ9月の出水後(図-12)とで、舟着場内での土砂堆積がどの様に変化したかを比較する。

今回のモニタリング期間中での9月の台風16号による1回の出水でも、舟着場のデッキ前面にはほとんど土砂の堆積はみられなかった。

しかしながら、水制工の岸側に砂利系の土砂

(20mm 程度) の堆積が見受けられた。これは、洪水時に流向を曲げられた関係から、洪水時の流速で運ばれた土砂が流速の減少と共に残留し、このような形で残ったのではないかと考えられる。

この砂利系土砂については、今後このまま堆積が続く様であれば、水制工の機能が低下する恐れがあるため、今後の動向には注意して行かなければならない。

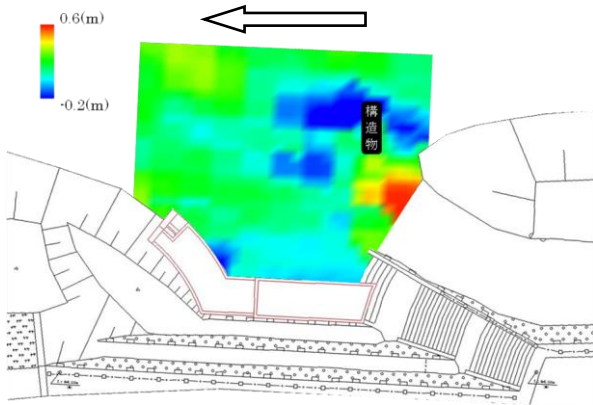


図-12 水制工設置後平成 28 年 10 月 4 日の河床高

次に堆積している土粒子の粒径加積曲線を示す。

平成 26 年、平成 28 年に採取した採取位置を図-13 と図-15、粒径加積曲線を図-14 と図-16 に示す。

平成 26 年時点での堆積土砂は、図-14 より全採取地点において、粒径 0.2 mm 以下が全体の 70 % 程度を占めており、平均粒径は約 0.2 mm であった。また、土砂の最大粒径は 2 mm であった。

これに対し、図-16 より平成 28 年では土砂の最大粒径が 20mm になったことが確認でき、さらに堆積した土砂の内、約 30 % が粒径 2 mm 以上であった。このことから、対策工構造物の設置によって、デッキ前面の土砂の粒径が大きくなったことが確認できる。

堆積土砂の採取は、平成 26 年 7 月 1 日においては舟着場の縁から約 1 m 離れた地点のものを舟着場に沿って 2 m 間隔で 4 か所採取した。採取した土砂は密度試験及び沈降試験を行い、土砂の密度を測定し、粒径加積曲線を描いて粒径分布を確認した。

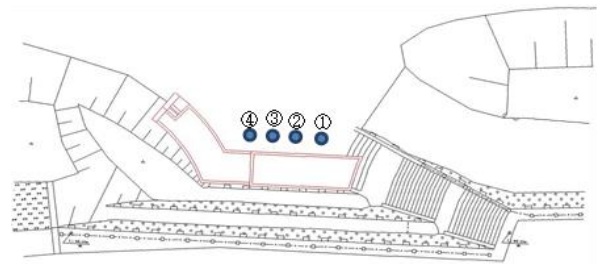


図-13 平成 26 年 7 月 1 日の採取土砂位置

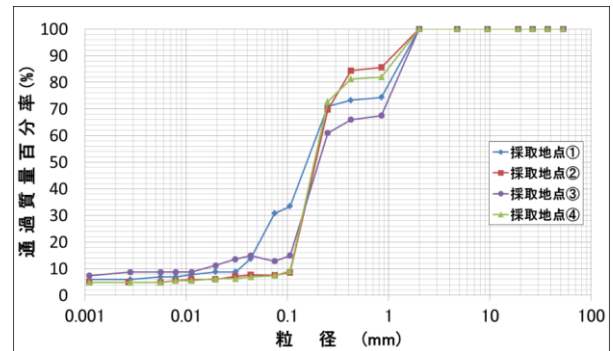


図-14 累計加積曲線 (平成 26 年 7 月 1 日採取)

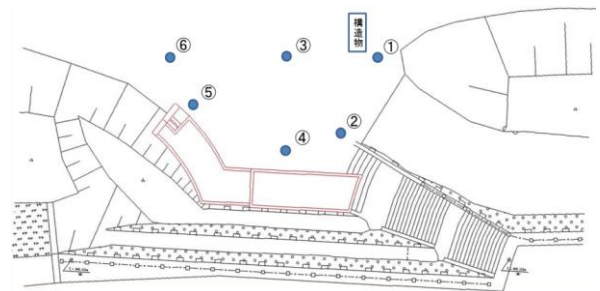


図-15 平成 28 年 6 月 20 日の土砂採取位置

平成 28 年の土砂の採取地点は、平成 26 年と違い、舟着場内の広い範囲で土砂を採取した。これは現地観測の際、平成 26 年時点では舟着場内のすべての範囲で土砂の粒径が小さい泥が全面に堆積しているのが目視で判断できたが、平成 28 年は、粒径の大きな土砂が目視で確認できたためである。

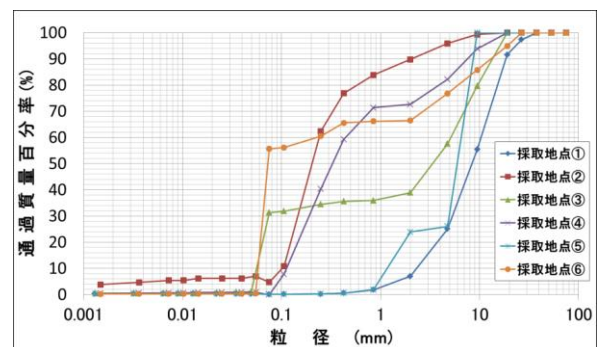


図-16 累計加積曲線 (平成 28 年 6 月 20 日)

広範囲にわたって土砂を採取したことにより、採取地点によって様々な粒径の土砂が堆積しているという結果が得られた。

また、特にデッキ前面の堆積土砂について比較するために、採取位置を絞って示した累計加積曲線を図-17に示す。

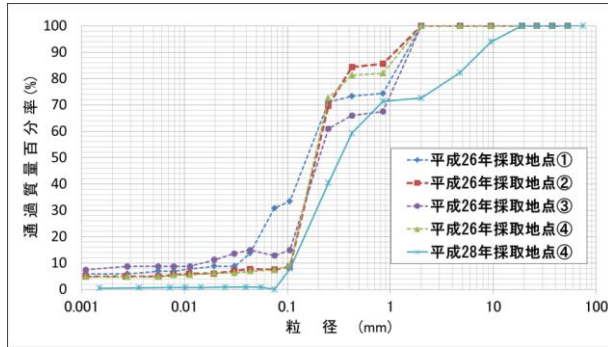


図-17 デッキ前面部（抽出）での累計加積曲線
（平成28年6月20日採取）

このことから、平成26年の採取地点での土砂の粒度曲線はほぼ0.2mmが約70%を占めており、残りは1mm～2mmとほぼシルト系の泥土であったが、水制工設置後は粒径にバラつきが見られる事が分かる。（平成28年採取地点④参照）

また最大粒径については、平成26年では2mmであったのに対し、水制工設置後の平成28年には、粒度の細かい物も有るが全体的に粒径が大きくなっており、最大粒径も20mmであるなど、河床材料がシルト系の泥土から本来の砂利系の土砂に変わっている事が分かった。

今回は、9月に1回のみ出水が有っただけであり、泥土が堆積しないかどうかの検証としては、まだ回数が少ないと思われる。よって今後も引き続きモニタリングを行いながら、実際に泥土が対策しないか、また水制工の直下流に砂利が堆積したものがどのように変化して行くのかを確認する必要があると思われる。

謝辞

今回の研究では、名古屋工業大学の富永晃宏教授に多くの時間を割いていただき、適切なお指導をいただいた。また、福井工業高等専門学校の廣部英一名誉教授にも洪水時の観測を始め、多くの適切なお

指導をいただいた。さらに、水理模型実験ならびにPIV解析、現地計測にあたっては、福井工業高等専門学校の学生のみなさんにご協力をいただいたことを記し謝辞とする。

参考文献

- 1) 福井県建設技術研究センター・福井工業高等専門学校共同研究報告書「足羽川の水面利用施設の土砂堆積軽減に関する研究」（平成27年3月）
- 2) 福井県建設技術研究センター・福井工業高等専門学校共同研究報告書「足羽川の水面利用施設の土砂堆積軽減に関する研究」（平成28年3月）

*福井工業高等専門学校 准教授

**福井工業高等専門学校 教授

***(株)田中地質コンサルタント 代表取締役社長