

4. 濁質の分析

4.1. 過去から現在までの濁質捕捉量

過去から現在までの濁質捕捉量として、土砂の捕捉量を把握するとともに、捕捉地点における堆積形態や粒径を示す。

4.1.1. 既存治山施設

既存治山施設について捕捉土砂量を算定した。結果として捕捉土砂量は 670t となった。

(1) コンクリート谷止工の堆砂敷

コンクリート谷止工は、放水路天端まで満砂となっており、堆砂敷の人頭大の石礫が放水路を越流して下流域に移動する頻度は低い。堆砂敷には大小の石礫が多く滞留している。堆砂敷の直上流部は、転石がかみ合い滝状となっているが、溪流調査の結果、不安定土砂が堆積しており異常降水時には堆砂敷へ流下する。

土砂捕捉量については、谷止工の堆砂断面積が上幅 20m、下幅 12m、深さ 3m、堆砂敷の上流延長を 20m の台形錐とすると 320m^3 となり、土砂の比重を 2.0 とすると、約 600t の土砂を捕捉している。



図 4.1 谷止工の堆砂敷

(2) フトン籠流路工

施工当初はコンクリート谷止工の水叩部と、それに接続するように流路工の底部にもフトン籠が配置されていたが、すべて消失していた。消失した栗石は、下流に位置する鋼製スクリーンダムに捕捉されていると想定される。なお、水質保全施設の沈砂池内に栗石の堆積は確認されなかった。

フトン籠流路工は、土砂は捕捉していないが、周辺域における新たな土砂の発生を抑止している。

(3) 鋼製スクリーンダム

堆砂敷の土砂を浚渫し、土砂の捕捉状況を確認すると多くの石礫を確認できた。これらはコンクリート谷止工の上流部から供給された石礫を含むと思われるが、主な供給源は、フトン籠流路工の底面の栗石と想定される。

フトン籠流路工は破損に伴い充填していた石礫が流出し、下流直下の鋼製スクリーンダムの土砂固定能力に負荷をかけているが、鋼製スクリーンダムはその石礫をほぼ全て受け止め、下流の水質保全施設を保全している。また、石礫の堆積が、スクリーンダムの堆積土砂に空隙を与え、浸透能力の高い土砂堆積部を形成し、エキスパンドメタル面の清掃だけで当該面からの湧出を促進できたと考えられる。濁質捕捉量を簡易的に算定すると、スクリーンダムの堆砂断面積が上幅 6m、下幅 4m、深さ 2m、堆砂敷の上流方向の延長を 10m とする台形錐とすると 33.3m^3 となり、土砂の比重を 2.0 とすると約 70t の土砂を捕捉している。



図 4.2 鋼製スクリーンダムの堆砂敷

4.1.2. 水質保全施設

水質保全施設の機能を復元するに当たり、過去から現在にかけて捕捉された土砂量の確認と、その捕捉状況を確認するため、浄化ユニットにおける浄化カートリッジの引き揚げと、内部の木炭を交換する際に各種計量を実施した。結果として、浄化ユニットは約 9t の土砂を捕捉していた。



図 4.3 浄化カートリッジの計量状況と計量に活用したダイナホール

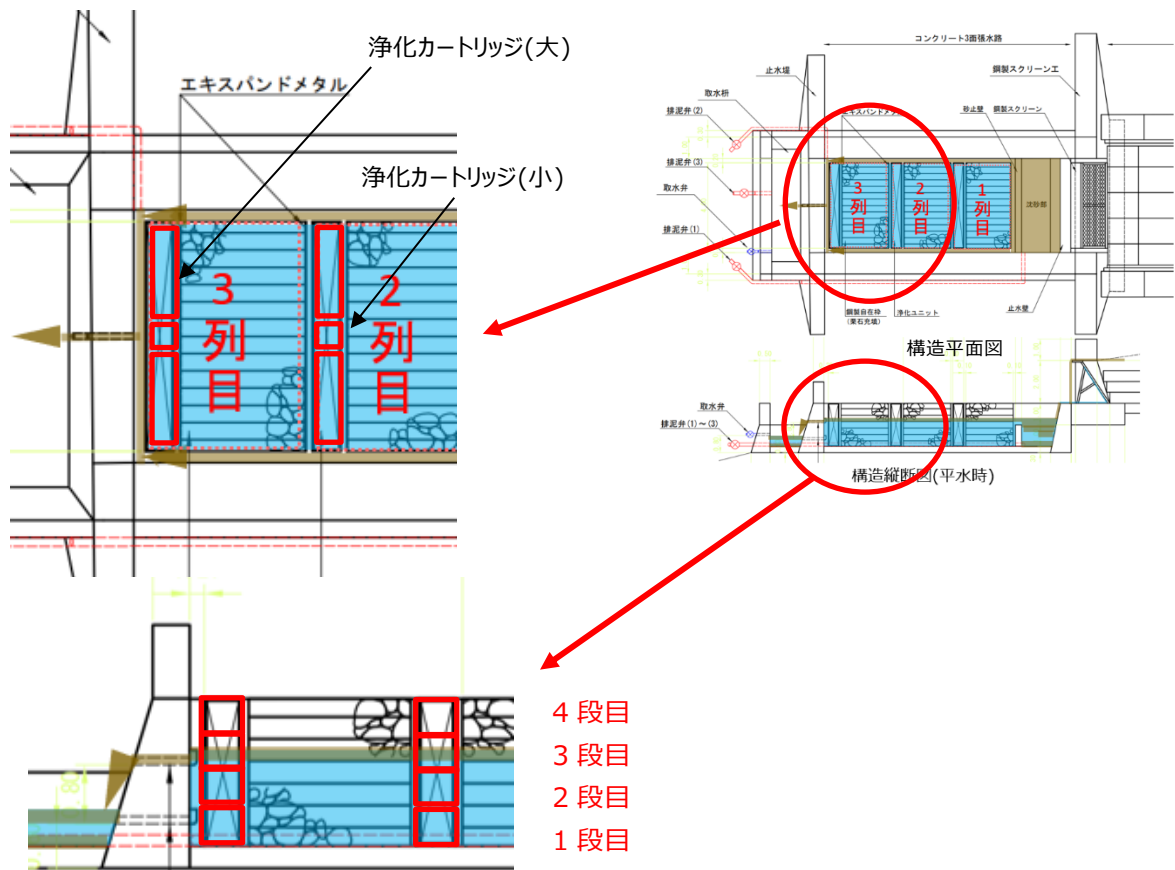


図 4.4 浄化カートリッジの配列 平面図で上流から 1～3 列目の順、縦断面図で底部から 1～4 段目の順

(1) 浄化カートリッジの土砂捕捉量

浄化カートリッジ内の土砂捕捉量を計量した。また、浄化カートリッジを取り出し内部の木炭を交換する際、木炭の状態と捕捉された土砂の重量や性質を確認した。浄化カートリッジ(大)の内寸は $0.38 \times 0.48 \times 1.98\text{m}$ であるため、内容積は 0.36m^3 となる。新品の木炭は整列して梱包されており、その寸法は $0.30 \times 0.30 \times 0.15\text{m}$ である。13.5 袋でカートリッジが木炭で満たされるため、25 年前の木炭が今回の木炭と同じと仮定すると、木炭の実容積は 0.18m^3 となり、浄化カートリッジ内の空隙率は 50% となる。

浄化カートリッジ(小)は、引き揚げた際は 130kg、重力水を排水すると 120kg、カゴ重量は 40kg である。木炭とその空隙に充填された土砂は 80kg であるため、土砂の比重を 2、木炭の比重を 1(長期間湛状態)とすると土砂は 52kg となる。同様に算定すると、浄化カートリッジ(大)は 1 個当たり 167kg の土砂を固定している⁹。浄化カートリッジは全部で(大)が 24 カゴ、(小)が 16 カゴあるため、浄化カートリッジは 4,840kg となり、約 5t の土砂を捕捉していた。



図 4.5 木炭と充填された土砂

(2) 浄化カートリッジ周辺の土砂捕捉量

浄化カートリッジを引き上げる際に、鋼製枠あるいは止水堤との間に介在した土砂量を計量した。3 列 4 段目の浄化カートリッジ(大)2 カゴの土砂をすべて土嚢に入れたところ、15kg/袋で 10～11 袋となり 150kg 程度の土砂を固定していた。

浄化カートリッジは全部で大が 24 カゴ、小が 16 カゴあるため、小は大の 1/4 とすると、浄化カートリッジ周辺の土砂は 4,200kg となり、約 4t の土砂を捕捉していたと想定される。



図 4.6 カートリッジ周辺土砂

(3) 鋼製枠内石礫の土砂捕捉量

鋼製枠部の土砂捕捉量については、当初、鋼製枠の内部まで石礫の間に土砂が充填されていると想定していたが、高圧洗浄機によって、表面の石礫間に充填された濁質を砕くと、溶けだすように消失し速やかに空隙が形成された。そのため、鋼製枠における捕捉土砂の算定は見合わせた。

なお、溶けだして石礫内部に移動した濁質は、水質保全施設内の水位を繰り返し変動させ、排泥弁を介して施設外に排出した。最終的に図 4.7 のとおり、満水にしても濁水が発生しない程度まで清掃し、機能復元を実施した。



図 4.7 鋼製枠表面石礫の洗浄

⁹ 浄化カートリッジ(大)の重量は計測時にダイナホールが故障したため、直接計測できなかったが、浄化カートリッジの計測結果と形状寸法をもとに 150kg と想定して土砂量を算出した。

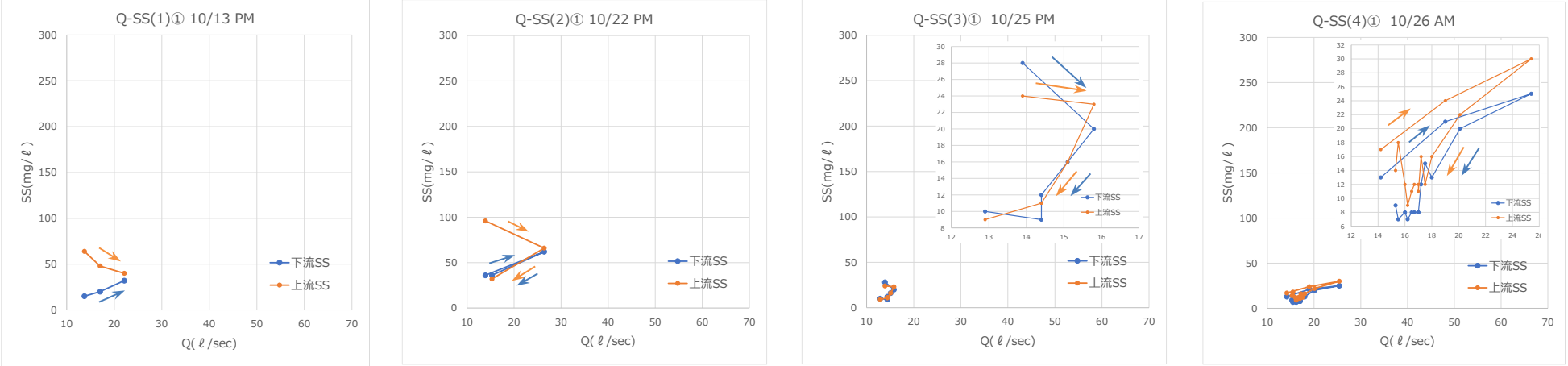
4.2. 計測期間における濁質(SS)捕捉量

4.2.1. Q-SS グラフの概要

濁水発生事象を 13 個の Q-SS グラフ(横軸に流量、縦軸に SS、時系列を→で示す)に示した。流域と調査対象施設の特性を考察するため、上下流のデータを重ね、調査対象施設の機能復元前後と流量多寡の観点をもとに 4 区分した。なお、縦軸と横軸は同じスケール(流量 30ℓ/sec 以下は判読困難なため拡大表示)。

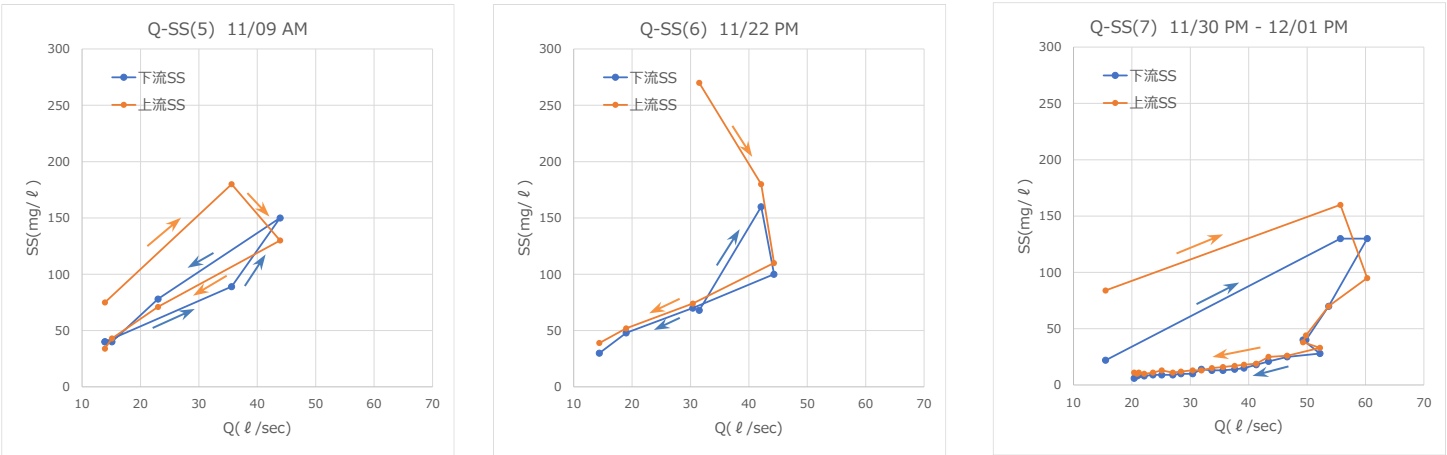
(1) 機能復元前①(10 月)

10 月 13 日から 10 月末までの事象を 4 回記録した。流量はピークで 30ℓ/sec 未満と少なく、SS の変化量は 100mg/ℓ未満である。



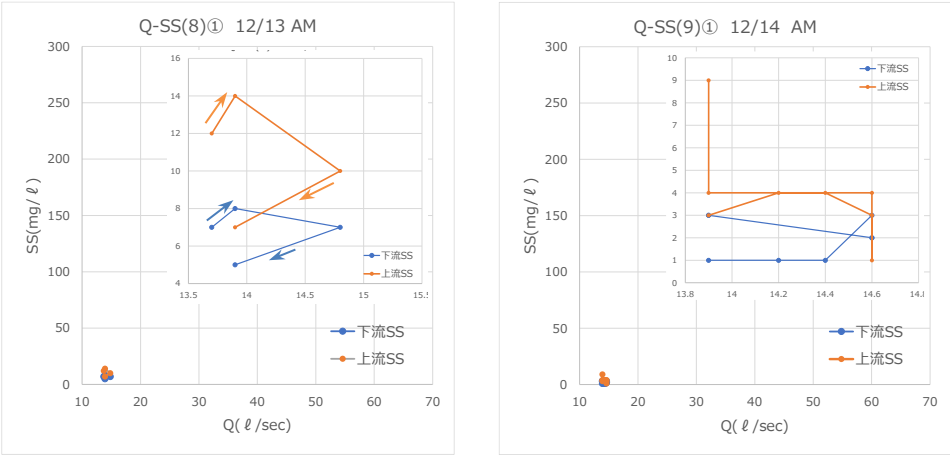
(2)機能復元前②(11 月)

11 月から 12 月初旬は、平年値では寡雨であるが、本年度は 20mm/day を超える降水が 3 回発生し記録した。ピーク流量は 40～60ℓ/sec となっている。11 月 9 日に記録した Q-SS(5)のグラフにおける下流のデータは、13 個のグラフの中で唯一、時系列のグラフ線が反時計回りとなっている。



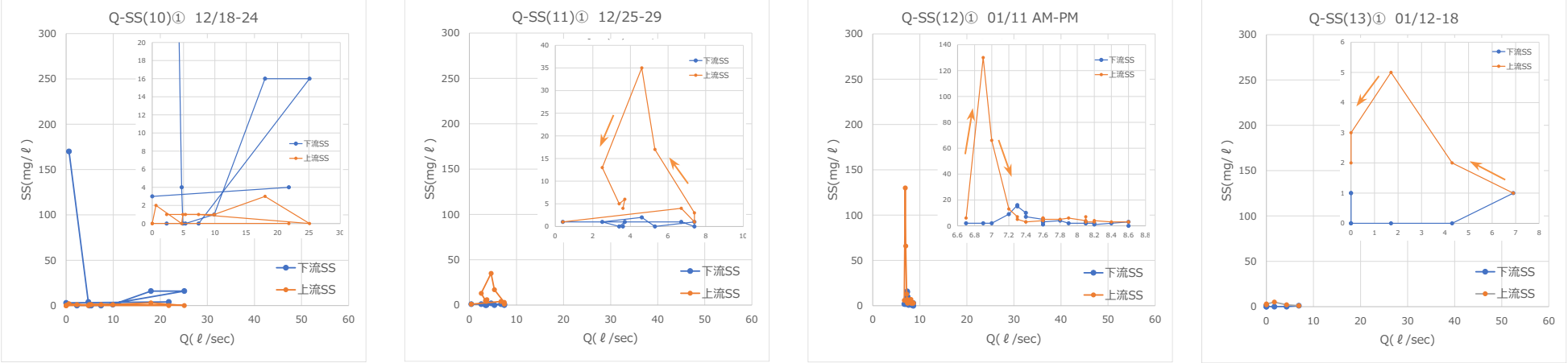
(3)機能復元前③(12 月)

12 月中旬までに事象を 2 回記録した。流量が 15ℓ/sec 程度と少なく、SS の変化量は 10～15mg/ℓ程度となっている。なお、Q-SS(9)以降のグラフは、データ取得間隔が 12 時間としているため、複雑な流量と SS の関係を示すグラフにおける時系列の矢印を省略した。



(4)機能復元後

12 月中旬以降から計測終了まで 4 事象を記録した。ピーク流量は 30ℓ/sec 未満と少ない。なお、Q-SS(10)グラフは機能復元後初めての降水による影響、Q-SS(11)グラフは大雪の影響を受けていると想定される。また、1 月 11 日の記録は人工濁水試験の結果である。



4.2.2. Q-SS グラフによる調査事例

大槻ら¹⁰は、福岡市から東方約 15km に位置する九州大学農学部附属演習林の御手洗水流域(集水面積 9.5ha、流路長約 250m)を対象として、微気象観測や流量観測を実施した(林相は、樹齢約 50 年のヒノキ、中腹から尾根は広葉樹をふくむ雑木林)。出水時の SS の挙動について 8 回の出水イベントを対象に、横軸に流量(Q)、縦軸に SS の関係を示す Q-SS グラフを作成すると、流量上昇部で急激に SS 濃度が上昇し、SS 濃度の最大ピークは最大ピーク流量時に先行して発生することを示している。このような SS 濃度の流量に対するピークの先行は『フラッシング効果』と呼ばれ、SS の供給源が観測地点に近い場所にあること、あるいは不安定な土砂が出水初期に集中して流出することに起因するといわれ、グラフは図 4.8 の右図のように、時系列で時計回りのグラフ軌跡を示す。

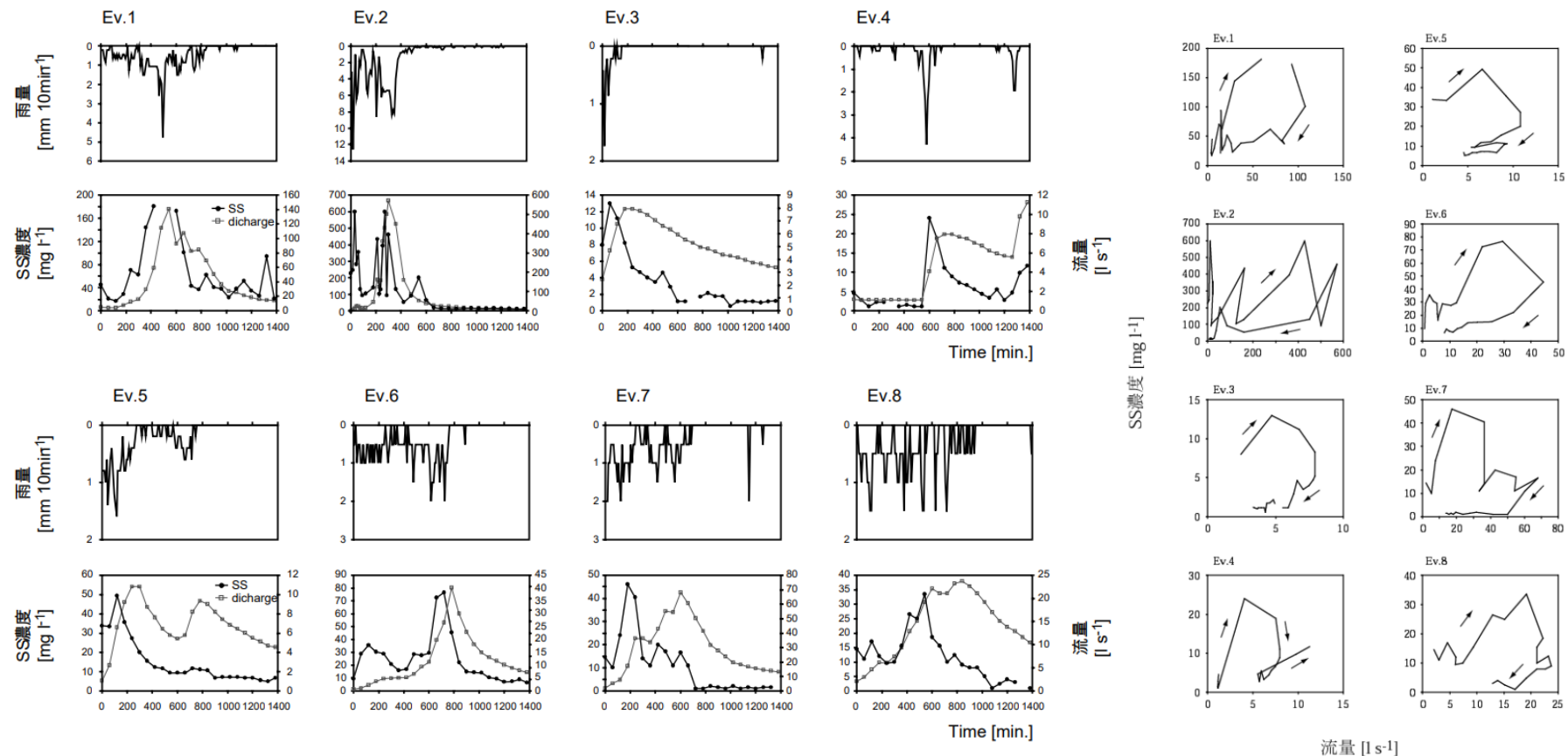


図 4.8 出水イベントにおけるグラフ(左:流量及び SS の時間変化 右:Q-SS)

¹⁰ 大槻恭一ほか(2006) 非管理ヒノキ人工林の林相および林床の状態が濁水流出に及ぼす影響研究成果報告書. 河川整備基金助成事業

4.2.3. 機能復元前①(10月)

(1) 令和3年10月13日の降水

10月11日に9.4mm/day、12日に15.2mm/dayの降水により水位が上昇し、採水された。増水規模はわずかである。しかし、濁水低減効果は高く、当初上流は64mg/ℓ、下流が15mg/ℓであるため、低減率は76.6%であった。その後、低減率は低下した(1時間後58.3%、2時間後20.0%)。

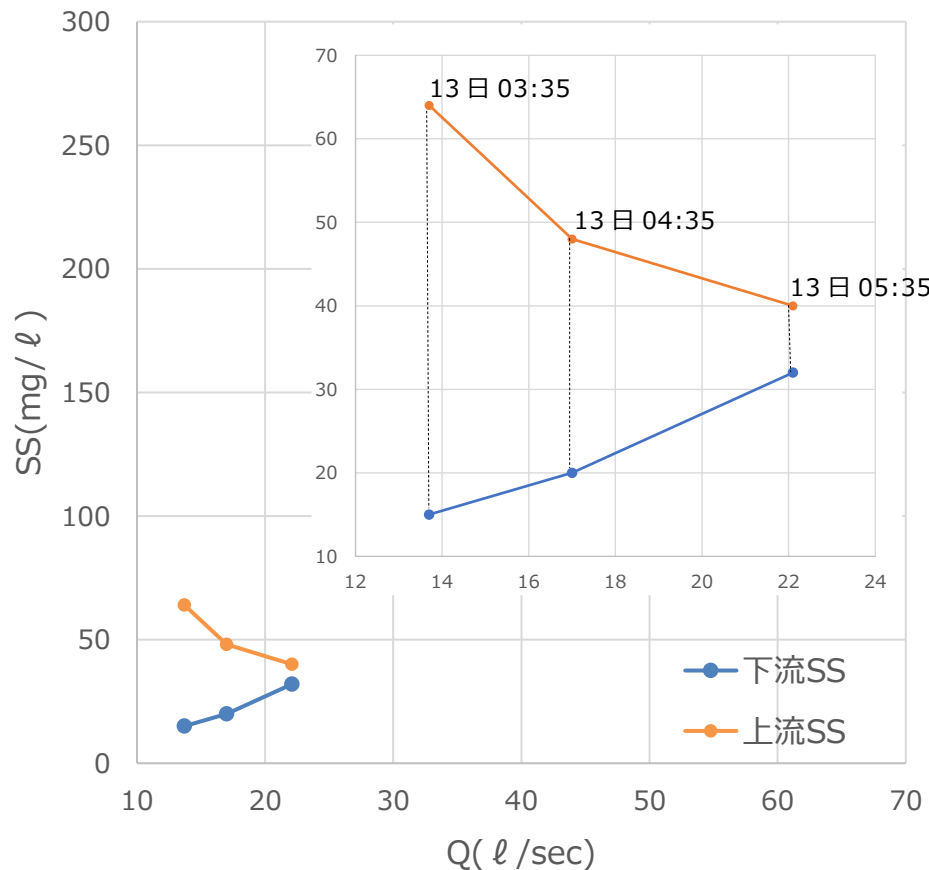


図 4.9 Q-SS(1) 10月13日

(2) 令和3年10月22日の降水

10月22日の浄化カートリッジ引き揚げ作業終了の15時頃、雹を含む雷雨が発生し、瞬く間に渓流域が増水し濁水が発生した。降水強度は14.4mm/hr、日降水量は21.6mm/dayである。上流採水地点では96mg/ℓのSSを記録した。下流地点ではSSは上昇するが、すぐに元に戻る動きを示した。

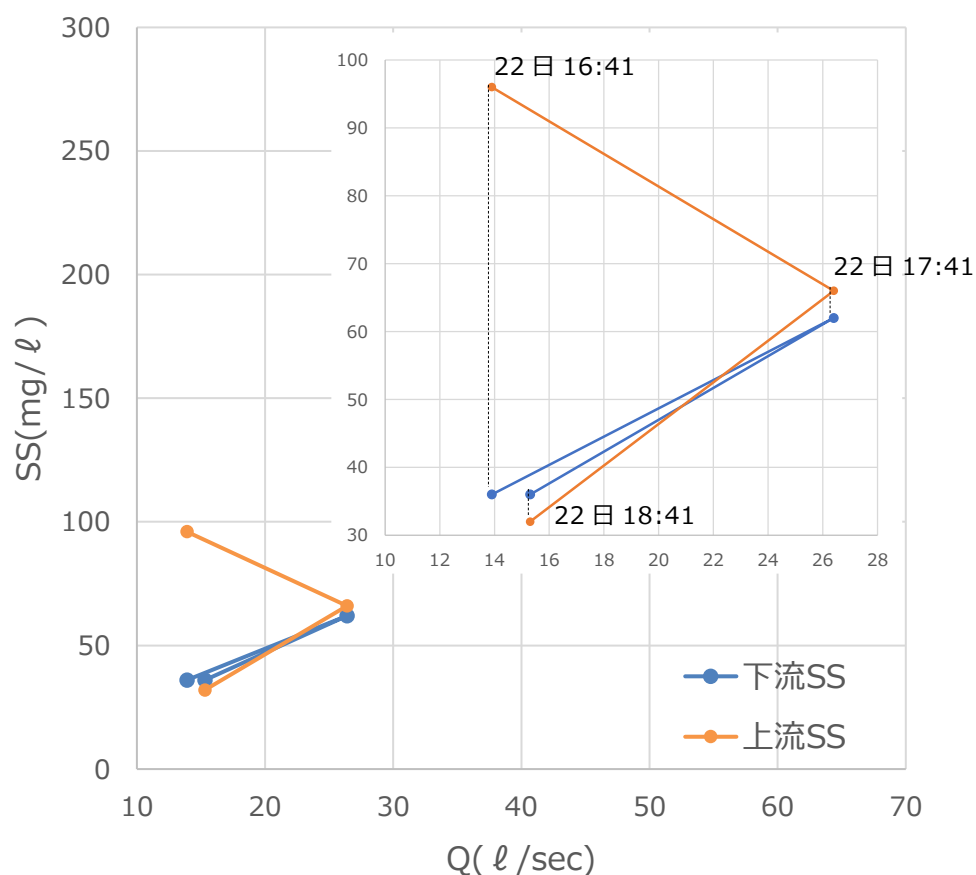
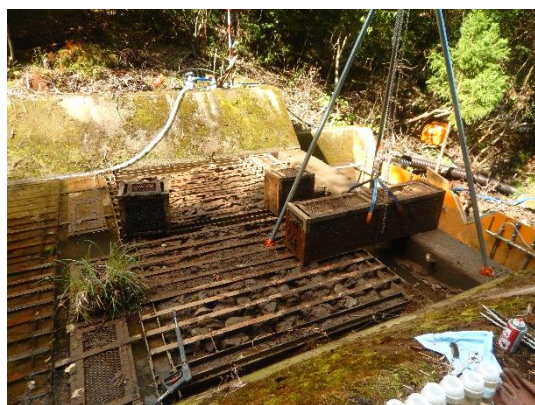


図 4.10 Q-SS(2) 10月22日



10/22 12:40



10/22 15:40

図 4.11 雹を含む雷雨の発生

(3) 令和3年10月25日~26日の降水

日降水量について10月25日は16.4mm/day、10月26日は7mm/dayとなっている。降水強度は10月26日が3.4mm/hrとなっている。10月25日におけるSSの初期値は、下流の方が大きいですが、流量の低下とともに上下流ともほぼ近い値で低減し、軽減の傾向は顕著でない。なお、流量は15l/sec程度で推移しており、流量の増減は大きくない。翌10月26日には、15l/secから25l/secの流量増加時に、上流採水地点で30mg/l、下流採水地点で25mg/lのSSを確認、その後流量の低下に伴い、上下流ともにSSは低減する。

流量が増加、減少する期間を通じ、SSは下流域では上流域より概ね3~5mg/l少ない数値で推移している。

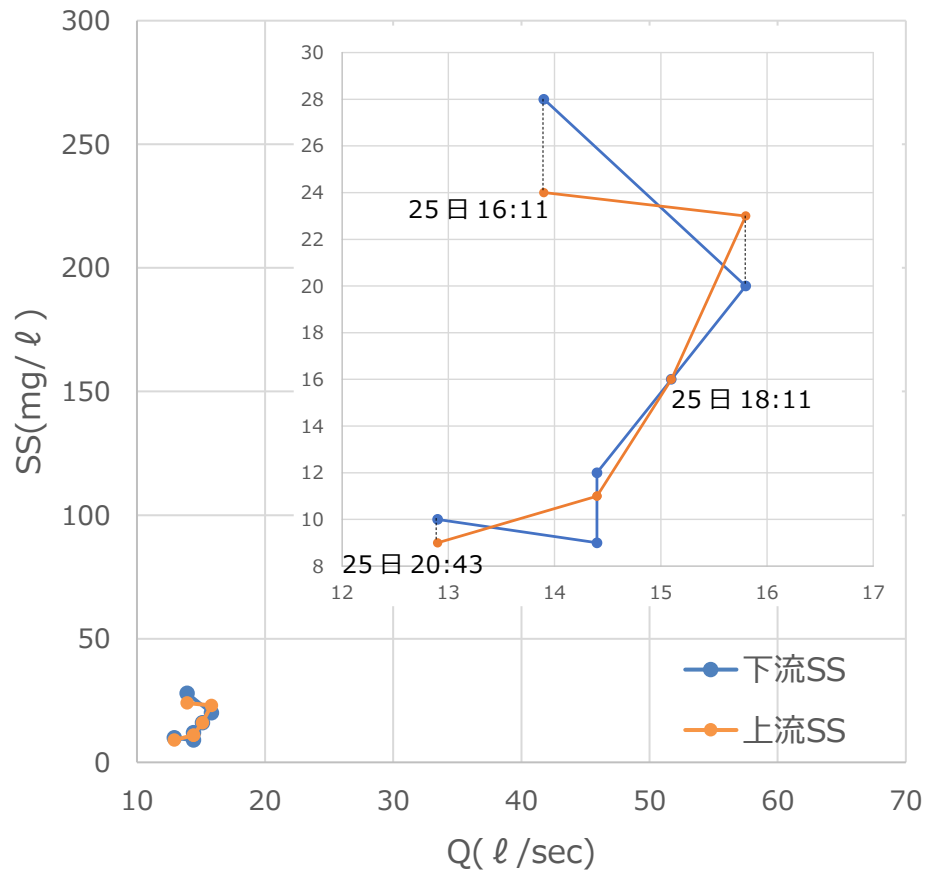


図 4.12 Q-SS(3) 10月25日



図 4.13 10月25日16時



図 4.14 10月25日17時

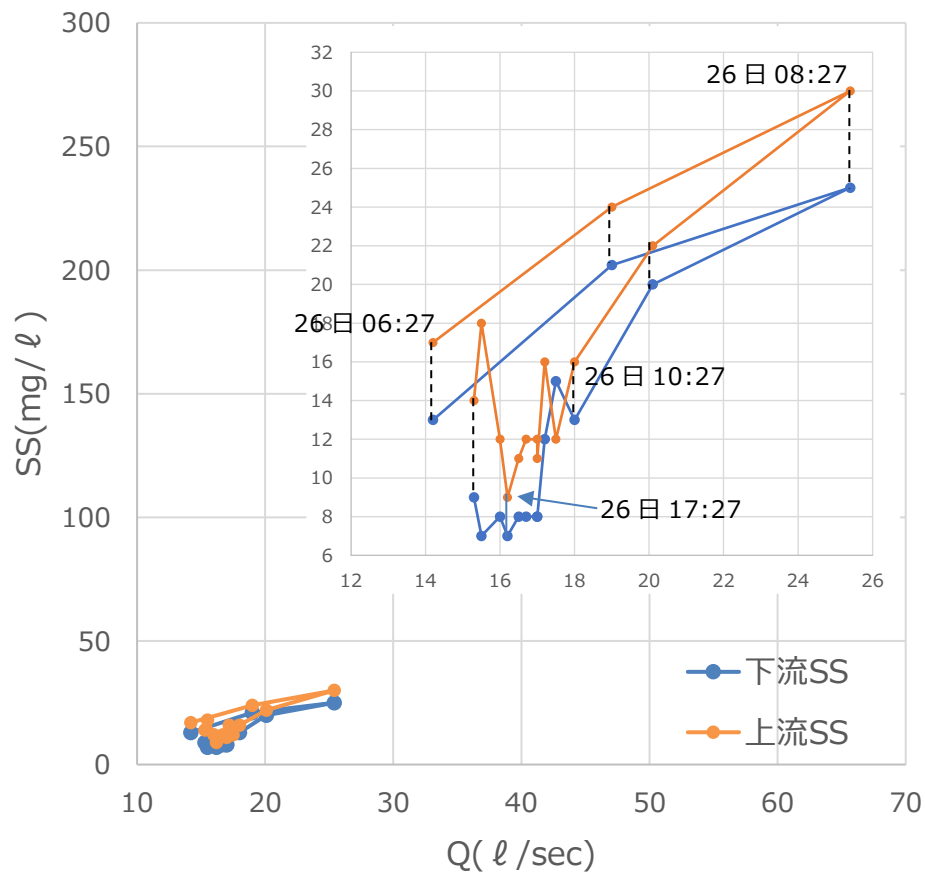


図 4.15 Q-SS(4) 10月26日



図 4.16 10月26日6時30分



図 4.17 10月26日8時30分

4.2.4. 機能復元前②(11月)

(1) 令和3年11月09日の降水

日降水量は 27.6mm/day、降水強度が 8.8mm/hr の降水を記録した。流量の増加とともに上流 SS は急激に増加し、連動して下流の SS も増加している。流量のピーク前に上流の SS のピークが出現し、流量ピークの際は低下している。一方、下流の SS は、流量のピークに最大値となり、上流よりも値が大きい。その後、流量の減少とともに上下流ともに SS は低下している。上流域の濁質は、5 時に SS のピークを迎え、1 時間後の流量ピークには SS は低下している。一方、下流は 6 時に上流の濁質が到達し SS がピークを迎え、その後低下する。しかし、下流濁度は 37 から 72 と 35 ポイント増加している。下流 SS が流量のピークに 89mg/ℓから 150mg/ℓと 61mg 増加したことにより、濁度も増加したとしても、上流の濁度が 44～46 であるため、下流の濁度を大きく増加させる原因が、上流と下流の間にあったと想定される。

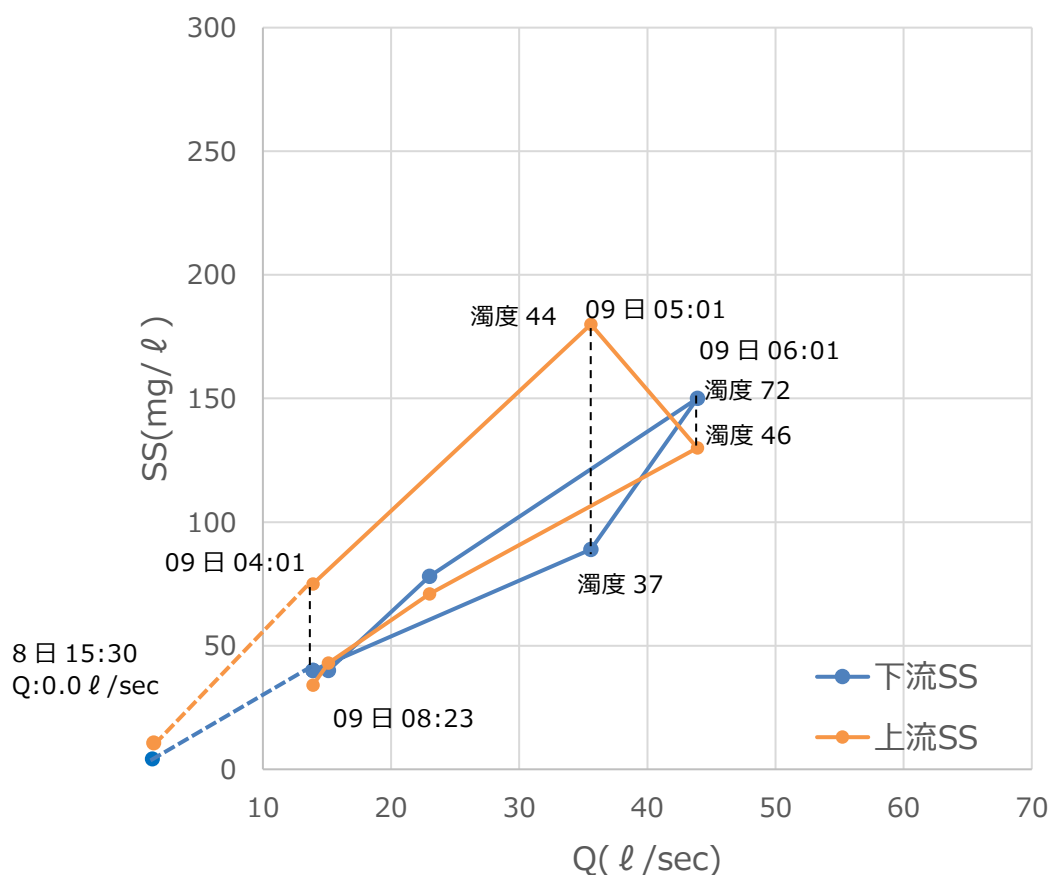


図 4.18 Q-SS(5) 11 月 09 日



図 4.19 11 月 8 日 13:00 の観測地点



図 4.20 11月9日 06:30 の観測地点

(2) 令和3年11月22日の降水

日降水量は 27.4mm/day、降水強度は 13 時に 10.0mm/hr を記録した。急激に流量が増加し上流の SS は 270mg/ℓ を記録しすぐに低下する。13:36 における下流の SS は 68mg/ℓ であるが、1 時間後に 160mg/ℓ のピークとなる。その後、流量の減少とともに上下流ともに SS は低下する。

13:36 の段階で上下流の SS に大きな差が生じているのは、各採水地点への濁水の到達時間差と想定される。定点カメラの画像では、12:10 では水質保全施設内は清水であるが、13:10(水位 13.5cm) には濁水が発生している。しかし、水質保全施設の止水堤の放水路は越流しておらず 14:36 の段階で、水質保全施設の鋼製枠を越流している。

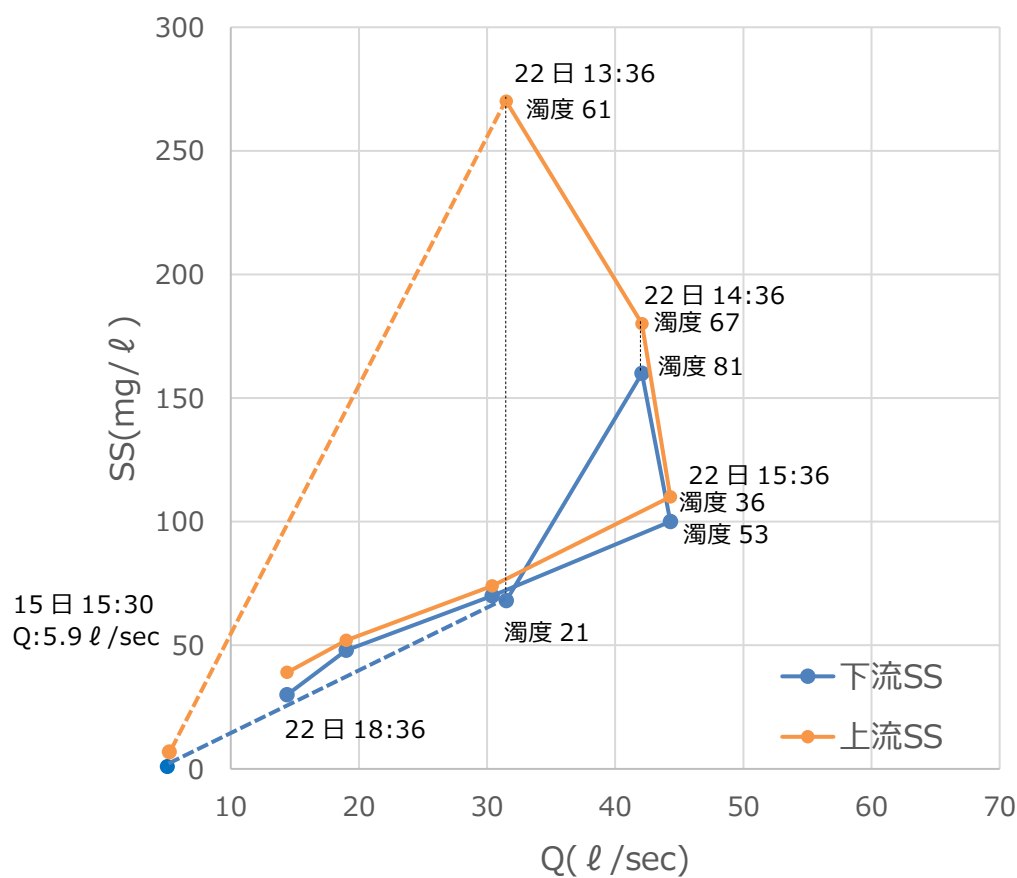


図 4.21 Q-SS(6) 11月22日



図 4.22 11月22日 12:10 の観測地点



図 4.23 11月22日 13:10 の観測地点



図 4.24 11月22日 13:40 の観測地点



図 4.25 11月22日 14:40 の観測地点



図 4.26 11月22日 15:40 の観測地点



(3) 令和3年11月30日の降水

日降水量は11月30日に21.0mm/day、その後2日間は23mm/dayを計測し、降水強度は11月30日の深夜に7.2mm/hrを観測した。流量の増加とともに上流のSSは160mg/ℓに増加し、流量のピーク時に95mg/ℓに低下する。その際、下流のSSは130mg/ℓ程度で最大値を記録し、12月1日の00:56の段階で上流よりも下流のSS値が高くなる。その後、上下流のSSは流量の減少とともに連動して低下する。なお、11月29日の15:30にBOD計測のサンプリングを実施しており、その際の流量と上下流のSSをグラフ中に示す。

施設機能復元に関する作業期間を除き、上流よりも下流のSSが高く記録されるのは、11月9日の降水イベントと本イベントの2事象である。この時点での濁度は、下流の値が大きい(下流56、上流35)。

長期間にわたり、水質保全施設の維持管理が実施されていなかったことで、スクリーンダムの堆砂敷表面とともに、水質保全施設の鋼製枠や浄化カートリッジの表面に粘土質の濁質が堆積しており、それらが40～50ℓ/secのピーク流量で再移動し、SSとして記録された可能性が想定される。

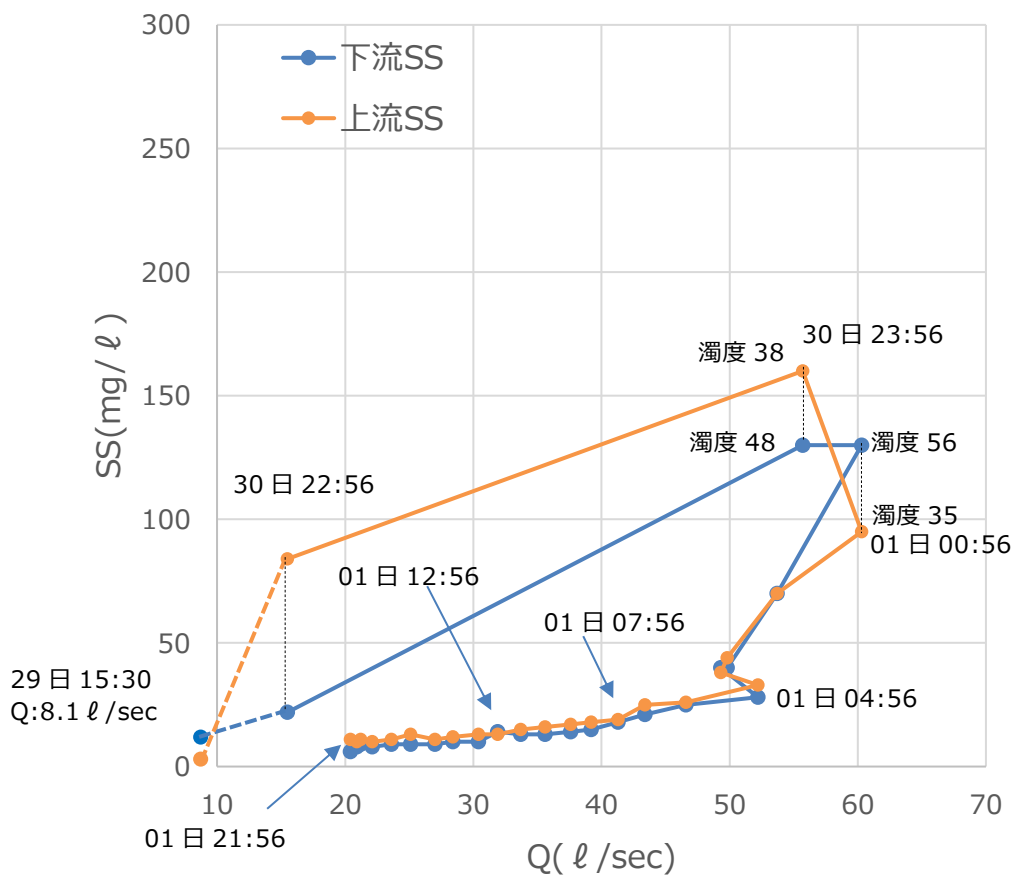


図 4.27 Q-SS(7) 11月30日～12月1日



図 4.28 12月1日の観測地点変化

4.2.5. 機能復元前③(12月)

(1) 令和3年12月13日~14日の降水

日降水量は12月7日に31mm/dayを記録。その後降水量が減少しても流量が減少せず10ℓ/secとなっていたところ、13日の11mm/dayの降水により水位増加した。SSは上流よりも下流が少なくなっている。

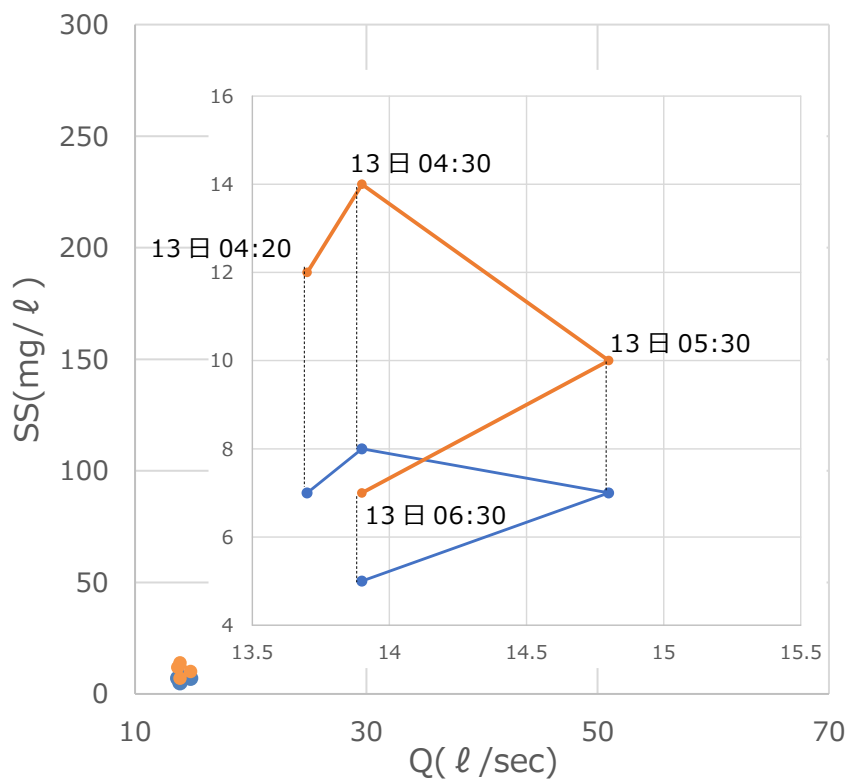


図 4.29 Q-SS(8) 12月13日 AM

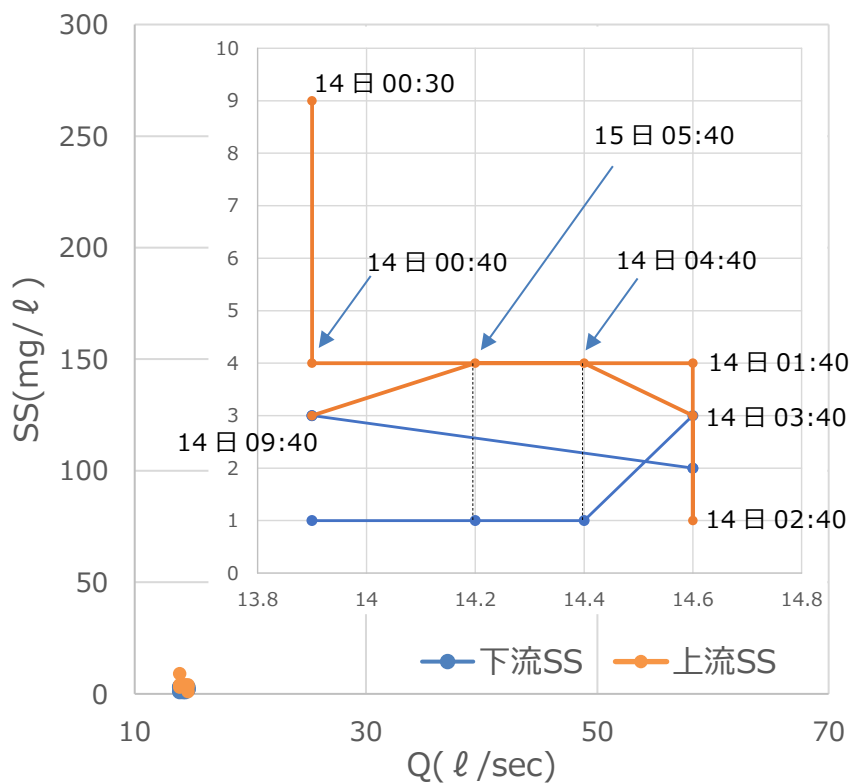


図 4.30 Q-SS(9) と 12月14日 AM

4.2.6. 機能復元後

(1) 令和3年12月18日~29日の降水

機能復元後、水質保全施設を越流しないように排泥弁を開放して水位を調整し、12時間間隔で採水してその機能を評価した。12月22日は、流量の増加に伴い下流域のSSが増加する傾向にあるが、半日程度で収束している。これは12月20日の水質保全施設内の清掃後の土砂が、流量の増加に伴い流出したものと想定される。なお12月20日12:00のデータは、復元作業中のため高いSSを示している。

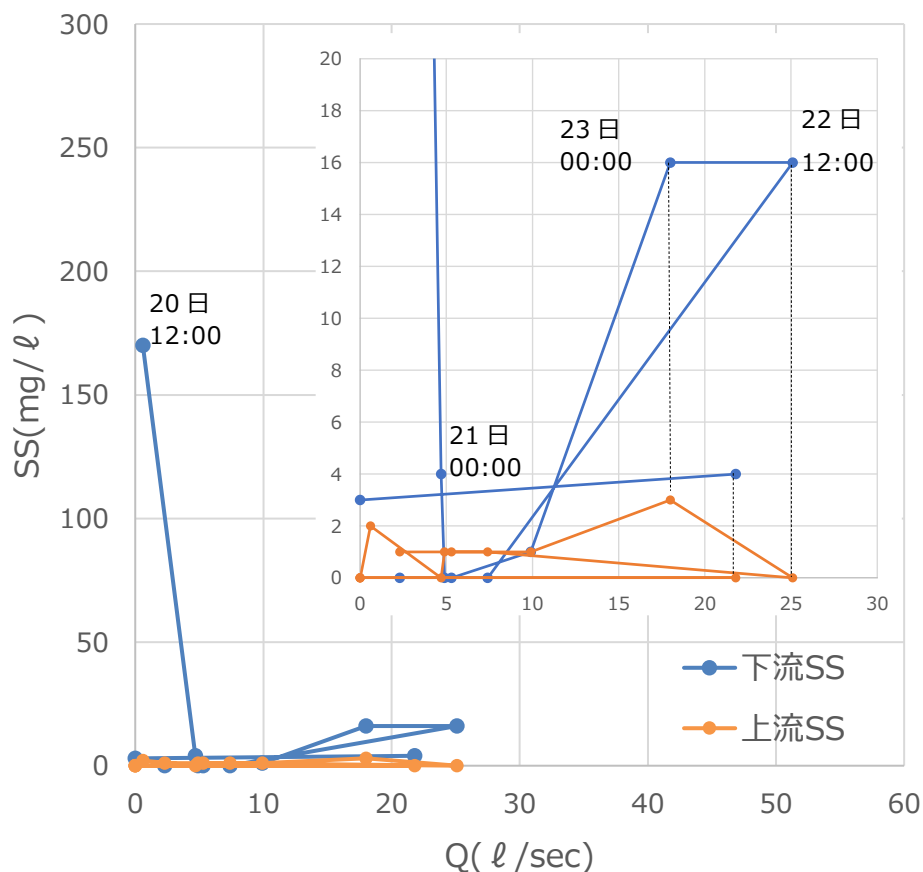


図 4.31 Q-SS(10) 12月18日-24日

12月26日から2日程度、上流のSSが増加している。当日71cmの降雪があり、積雪深は50cmとなった。短期間の積雪によって、上流域において急な積雪により、地表と積雪面にあった濁質が、流量の増加によって、渓流域に侵入し濁水を発生させた可能性がある。当時の定点カメラ画像を図4.32に示す。その濁水の影響は、水質保全施設下流部に影響しておらず、施設効果が認められる事象と想定される。



図 4.32 12月25日9:30(左)と12月27日9:30(右)の変化

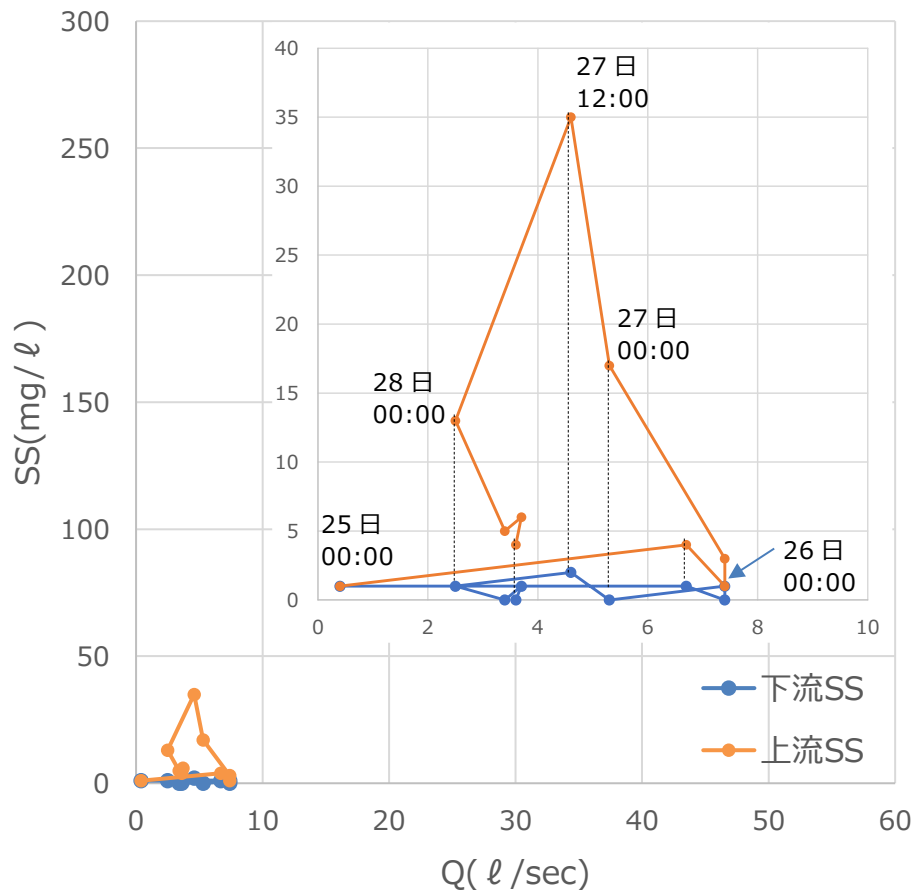


図 4.33 Q-SS(11) 12月25日～29日

(2) 令和4年01月11日の人工濁水試験

機能復元作業を完了した水質保全施設について、実際の濁水透過率を評価するため、沈砂池に濁質を入れ、下流の沈砂池におけるSSの変化を確認する調査を実施した。

9日に流量確認のため、排泥弁を閉鎖すると水位は23cmを示した。排泥弁を開放し、水位12cm、沈砂池水位が1.5m(鋼製枠部を越流する際の沈砂池水位は2.0m)で安定することを確認した。

11日に調査を開始した。9時20分を過ぎてすぐに、図4.36のとおり、粘土質の濁質を投入した。9時30分には図4.37のとおり、沈砂池は高濃度の濁水で満たされたが、取水柵にはまだ濁水を確認できなかった。9時40分には図4.38のとおり、沈砂池は上流からの清浄な渓流水で濁水が希釈される中、取水柵に濁水が到達した。止水堤の上段水抜きから、水質保全施設を通過した上澄みが濁水となって取水柵に流入してきたことになる。10時00分には図4.39のとおり、取水柵の濁水がピークを迎え、沈砂池は希釈され、取水柵の濁水と同程度の濁りとなっている。

濁質投入直後から、20分間隔の沈砂池と取水柵の濁りの変化を図4.34と図4.35のグラフに示す。また、定点カメラの写真を図4.40から図4.52に示す。

上記の結果をもとに、水質保全施設の濁水透過率を概算する。水位12cmの時の流量は70ℓ/secであり1分当たりでは0.42m³/minである。一方、40分で10mの水質保全施設の透過空間が濁水に置き換えられたとすると、透過空間の断面積は、

$$0.42\text{m}^3/\text{min} \times 40\text{min} \times 1/10\text{m} = 1.68\text{m}^2 \text{ となる。}$$

水質保全施設の流路断面は、石礫の空隙率を30%と想定すると、4.2m×1.5m×0.3=1.89m²であるため、透過断面積率は89%となる。実際は、沈砂池や取水柵の貯留部もあり、複雑な計算となるが、機能復元後の施設透過性は、概ね復元できたと想定される。

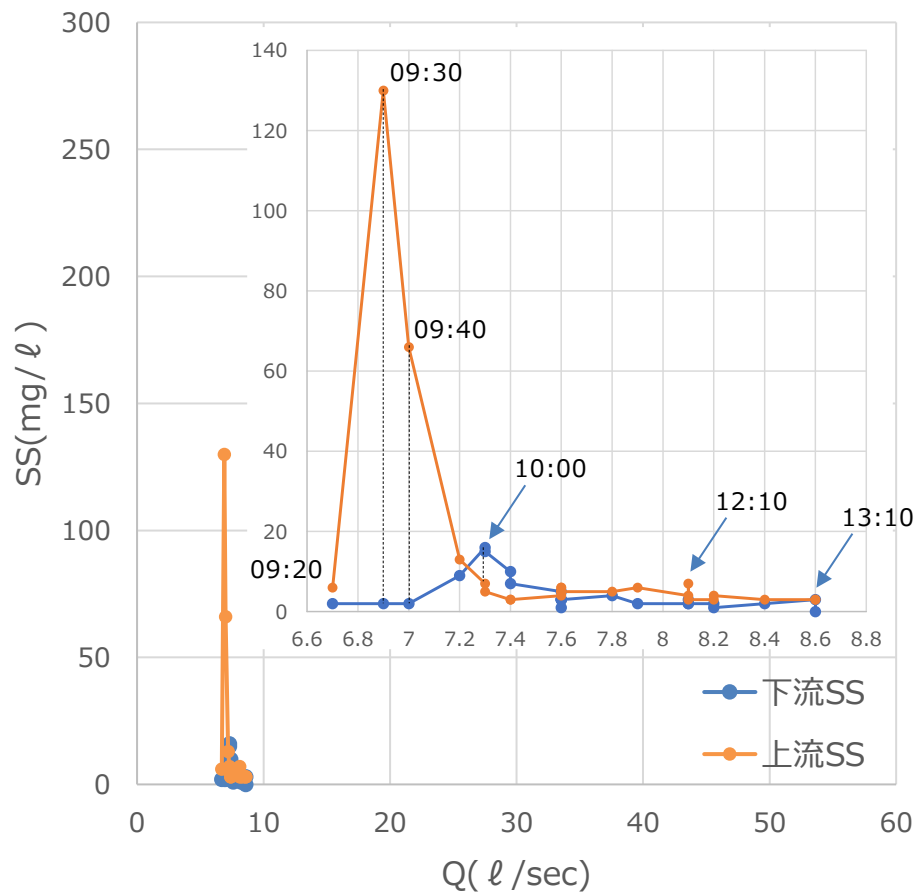


図 4.34 Q-SS(12) 1月11日 AM-PM

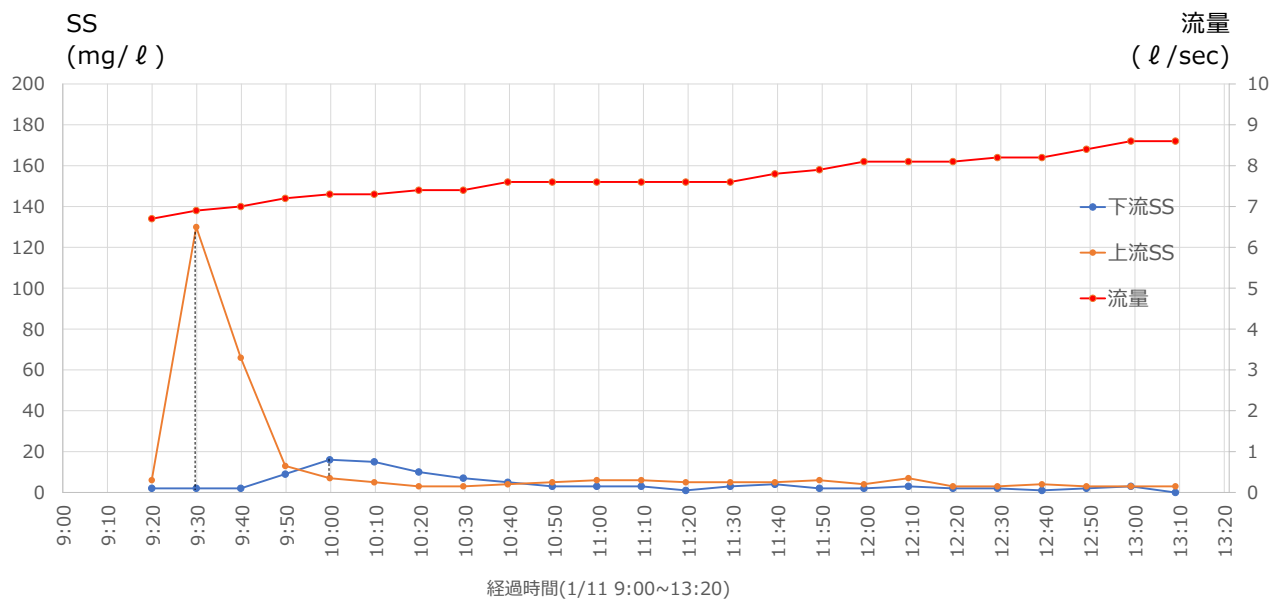


図 4.35 時間別 SS 変化(流量は漸増) 1月11日 AM-PM



図 4.36 9:21 左:投入直後の濁質拡散状況 右:投入した濁質



図 4.37 9:30 頃 左:沈砂池が高濃度で濁水化 右:透明度を保つ取水柵の貯留水



図 4.38 9:40 頃 左:沈砂池の濁水は希釈される 右:止水堤の上段水抜から濁水が流入し、濁り始める



図 4.39 10:00 頃 左:希釈され取水柵と同程度の濁水となる 右:取水柵の濁水がピークを迎える



図 4.40 1月11日 9:21 沈砂池に濁質を投入。



図 4.41 1月11日 9:30 取水栓に濁質は未到達。



図 4.42 1月11日 9:40 濁水が止水堤の水抜きから取水栓に流入。沈砂池の濁水は希釈。



図 4.43 1月11日 9:50 取水栓が濁水化。沈砂池の濁水は希釈され緩和。



図 4.44 1月11日 10:00 取水栓は濁水化し、沈砂池の濁水は希釈され緩和。



図 4.45 1月11日 10:10



10:00 から目視上の変化なし。



図 4.46 1月11日 10:20



10:00 から目視上の変化なし。



図 4.47 1月11日 10:30



10:00 から目視上の変化なし。



図 4.48 1月11日 10:40

取水柵の濁水が緩和しつつある。



図 4.49 1月11日 10:50

取水柵の濁水が緩和しつつある。





図 4.50 1月11日 11:00 取水桝の濁水が緩和され水中の単管パイプが見えつつある。



図 4.51 1月11日 11:10 11:00 から目視上の変化なし。



図 4.52 1月11日 11:20 濁質投入前の状況に戻る。

SS については、上流のピーク SS が $130\text{mg}/\ell$ に対し、下流のピーク SS は $16\text{mg}/\ell$ と大きく減少している。これは、上流から、清水に近い渓流水が流下し続けていること、また、水位調整のために沈砂池の排泥弁を開放していることにより、沈砂池で濁りが希釈されていることが要因として大きい。しかし、その条件を考慮しても、水質保全施設が SS の原因となる濁質を捕捉し、そのピークを大きく低減したことを示していると考えられる。

(3) 令和4年1月12日～14日の採水

機能復元後、水質保全施設の鋼製枠や浄化カートリッジを越流しないように排泥弁を開放して水位を調整し、12時間間隔で採水しその機能復元状況を評価した。

流量は1月12日の0:00で $6.9\ell/\text{sec}$ 、12:00で $4.3\ell/\text{sec}$ 、13日の0:00で $1.7\ell/\text{sec}$ となり、13日の12:00で流量は $0\ell/\text{sec}$ と減少した。流量減少の理由は、当時の水温や周辺期間における気温を考慮すると、低温により融雪が停止、あるいは渓流域に供給される流水の凍結によるものと想定される。

この間の SS は、12日の0:00で上下流とも $1\text{mg}/\ell$ と少量であるが、12日の12:00で上流は $2\text{mg}/\ell$ 、13日の0:00で $5\text{mg}/\ell$ となり、12:00の流量 $0\ell/\text{sec}$ の段階で $3\text{mg}/\ell$ となっている。その間、下流は検出以下(ND)となり、13日の12:00の段階で $1\text{mg}/\ell$ となった。

積雪時の流量減少時期のデータとして、原水は清水であるが、それでも水質保全施設の効果により、わずかではあるが、SSの軽減が図られていることを確認できた。

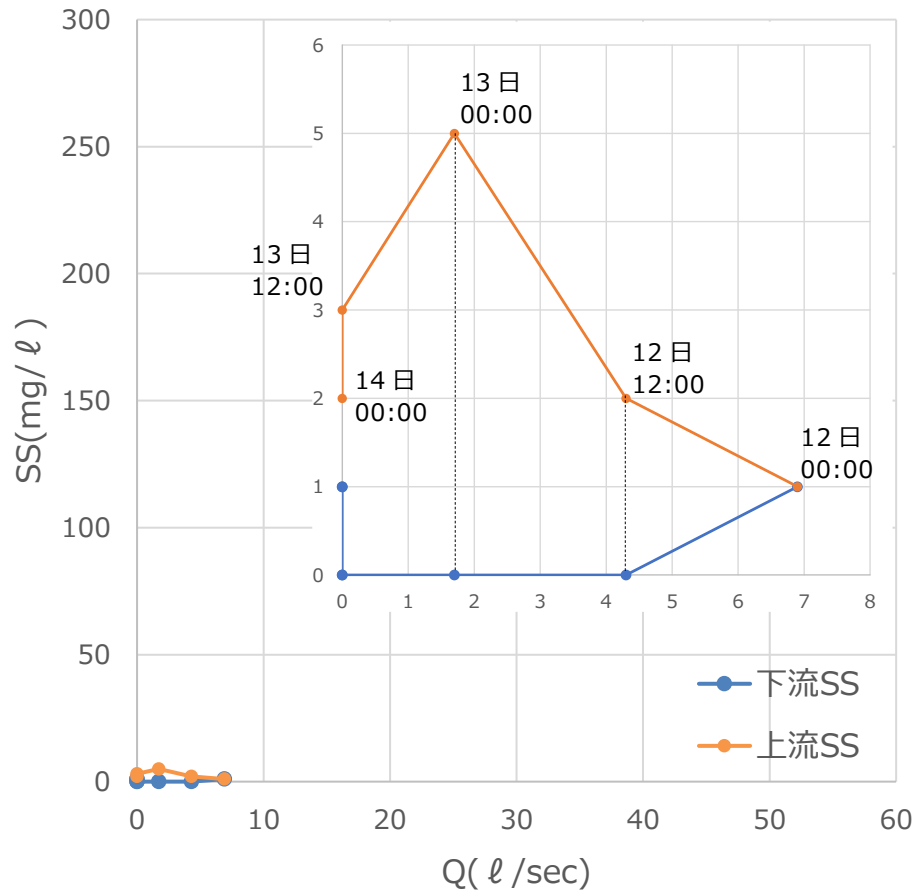


図 4.53 Q-SS(13) 1 月 12 日～13 日

4.3. SSと濁度

期間中に計測されたSSと濁度のうち、河床作業中に発生した濁水や1月11日に実施した人工発生濁水試験による濁水を「人工発生濁水」、それらを除いた結果を「自然発生濁水」とする。

自然発生濁水について、SSと濁度の関係を図4.54に示す。これによると、SSと濁度は原点を通過する直線で近似され、ほぼ比例関係にある。しかし、同じSS値の場合、濁度は上流地点よりも下流地点の方が高い傾向にある。また、1月11日に実施した人工発生濁水計測結果を含めて表示すると(図4.55右図参照)、人工発生濁水の濁度は、SSに対しより高い状態で計測されている。

この原因について、下流域の濁水の方が、攪拌により、ゆるく結合していた粘土粒子等が拡散し、計測の際、照射した光が多く散乱し、濁度が高く計測されたと考えられる。

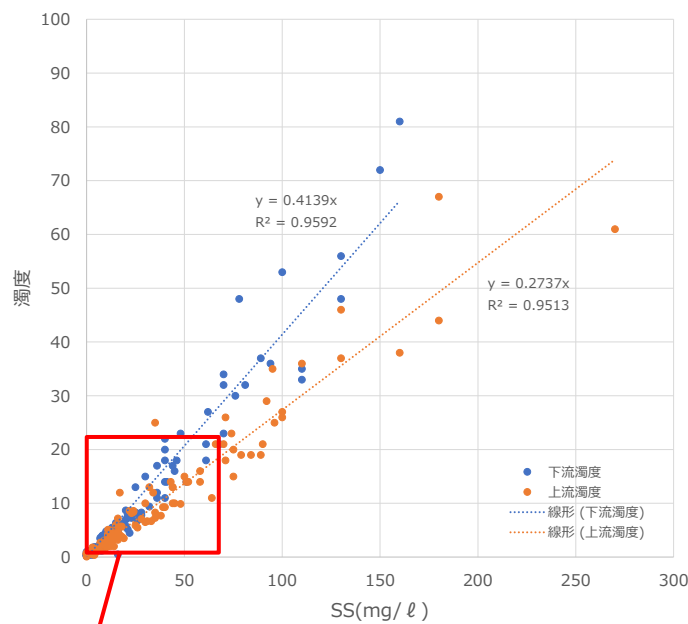


図 4.54 SS と濁度の傾向(上流部と下流部)

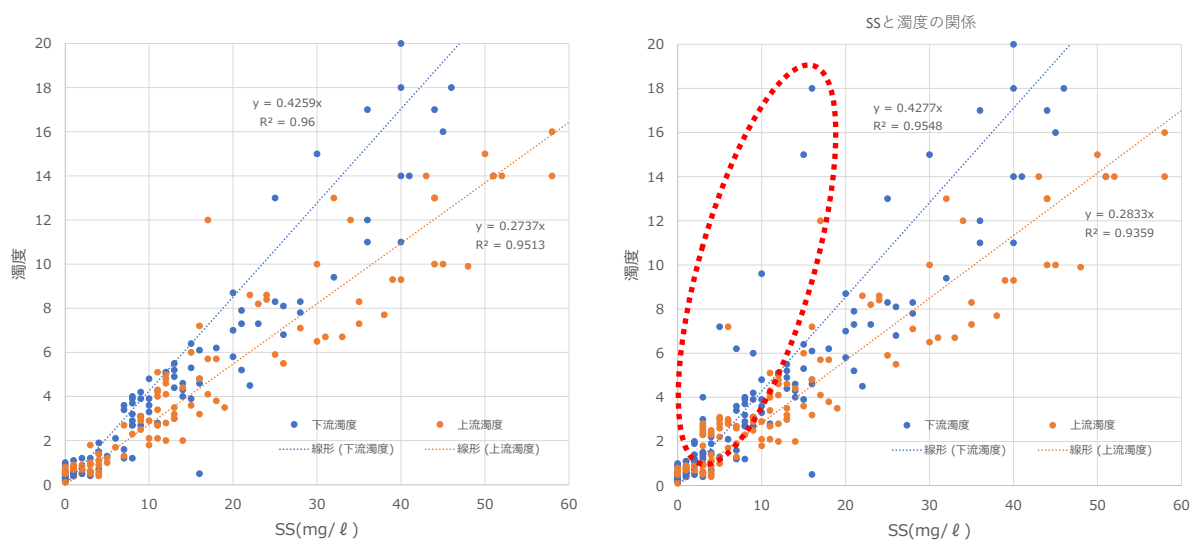


図 4.55 SS と濁度の傾向の細部拡大と人工発生濁水を含めた場合

4.4. 濁質の粒度

4.4.1. 浄化カートリッジ周辺の堆積物

浄化カートリッジの清掃前に、カートリッジ周辺の堆積物について、取水桝に近い最下流の箇所において、堆積物のコアサンプリングを実施した。その結果を図 4.56 に示す。

複数回実施したところ、5mm 以下の粒径の砂質堆積物に挟まれるように、部分的に粘土質の堆積物が層状に堆積していた。それぞれ①粘土質部、②砂礫質部に区分し、それぞれをメスシリンダーに適量入れ、攪拌後静置した。

図 4.57 に示すとおり、攪拌直後に荒砂は速やかに沈殿した。静置 2 時間後に粒径の細かい粘土粒子が堆積し、10 時間後には、粘土堆積物の堆積厚が圧縮され、体積が減少する状態を観察した。

静置後約 24 時間後の状態を図 4.58 に示す。①②ともに、目視で粗粒の荒砂と細砂及び粘土が堆積していることが確認できた。なお、堆積物の表面に、粘土と異なる色の物質が堆積しており、それを浮遊粘土とした。②は荒砂が多いが、①と②における細砂と粘土及び浮遊粘土の分布比率は、それぞれ概ね同様の比率で堆積しており、目視観察の限り、①と②の違いは荒砂の多寡と判断した。

一方、調査期間に採取した濁水サンプルについて、上流部と下流部ともに荒砂を含む濁水は採取していない。つまり、浄化カートリッジ周辺において砂礫が堆積する状況とは、台風や梅雨前線の通過等、災害が発生する規模の降水イベントであったと想定される。それ以外の期間は、粘土質物質が堆積し、結果として層状となっていると考えられる。つまり①の粘土質部の層は薄いが、堆積に長時間を要しており、②の砂礫質部は、異常降水時に短期間に堆積したと想定される。

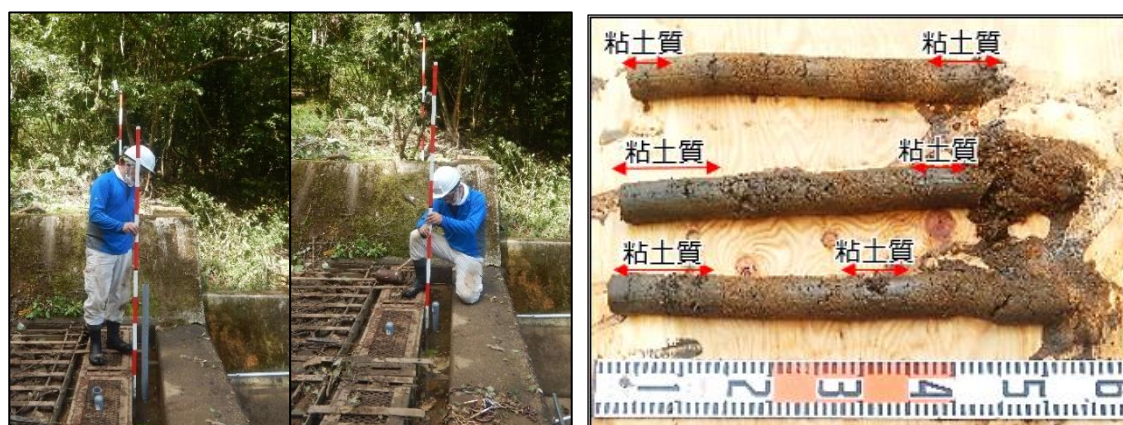


図 4.56 施設内に堆積している①粘土質部とそれ以外(②砂礫質部)が層状に分布

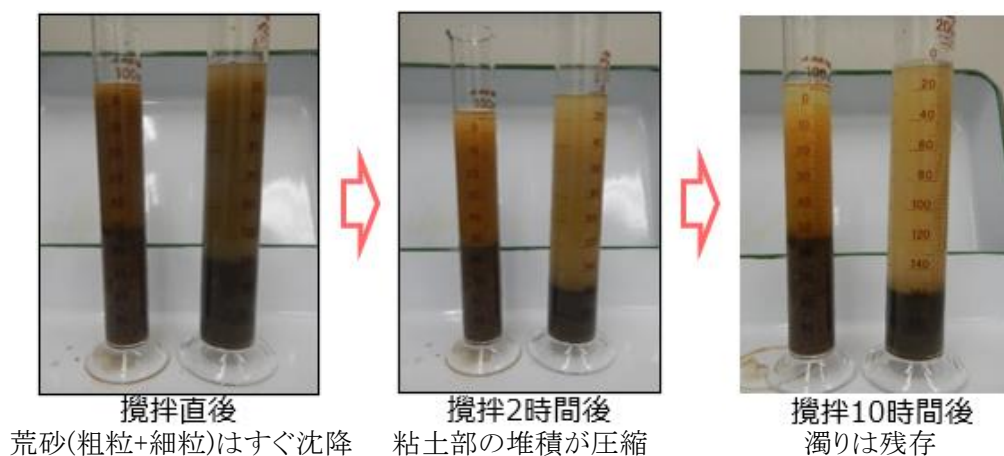


図 4.57 施設内に堆積している粘土質部と砂礫質部の土砂の攪拌後の沈降状況

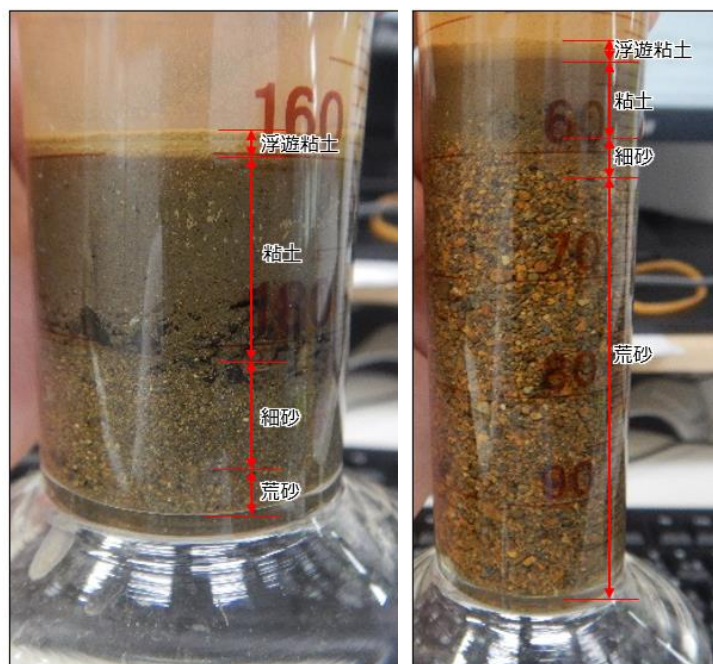


図 4.58 施設内に堆積している左:①粘土質部と右:②砂礫質部

水質保全施設内の浄化カートリッジ周辺部の堆積物の堆積状況によって、常水時には、粘土物質を沈降させ、捕捉する能力があることが示された。これは、渓流域に湛水空間を形成し、流速を低下させることで得られる沈砂作用によるものである。これにより、濁質を分離し濁水を緩和することが可能である。しかし、濁質の粒度と量によって緩和効率が異なる。また、渓流域は常に流速があり、その低下方法や、沈降した濁質を再移動させない方法及び沈降した濁質を除去する方法等、検討すべき課題は多い。

現状の水質保全施設は、上流沈砂池に転石や根株等が堆積していたが、鋼製枠部及び浄化カートリッジ部は、5mm 以下の砂礫と粘土及び落葉が堆積している。水質保全施設の最下流部に位置する排泥弁を開放すると、堆積した濁質を排泥できるため、定期的な維持管理が可能である。

水質保全施設に流下する土砂は、上流のコンクリート谷止工や鋼製スクリーンダムでふり分けられ、流速を緩和し、濁質を沈降・捕捉する役割を鋼製枠部と浄化カートリッジが担っている。

調査対象となった舞鶴市の水質保全施設は、維持管理を定期的の実施すれば、沈砂機能によって、濁水を緩和できることを示している。

4.4.2. 粒度分析

濁水緩和機能の一つとして認められた沈砂機能について、その機能を評価するため、発生源に相当する土砂や水質保全施設に堆積した土砂並びに浄化カートリッジ内に捕捉されていた土砂等の粒度分布を確認した。分析は島津製作所の SALD-2200 を活用した(図 4.59 参照)。

なお、各図において、粒度分布の中央値を赤実線で示し、赤破線は、各グラフの説明に必要な補助線として示す。



図 4.59 粒度分析機器

(1) 残積性土砂

上流域の溪岸侵食地に露出する斜面の土砂を採取した。採取したサンプルを2つに分け、1 mm以下の粒度調整後各3回、合計6回分析した。結果は6回とも同様の傾向を示し、分布中央径、分布最頻径ともに10 μ m 付近を示す分布となっている(図 4.61 及び図 4.62 参照)。

(2) 崩積性土砂

溪流溪岸域の堆積物として崩積性土砂を採取した。残積性土砂と同様、採取したサンプルを2つに分け、1 mm以下の粒度調整後各3回分析した。ばらつきがみられるが、粒径分布の100~400 μ m の区間で残積性土砂には見られなかった異なる粒度分布がある(図 4.63 及び図 4.64 参照)。分布中央径は30 μ m 付近を示すが、分布最頻径が170 μ m や200 μ m 付近で最頻径を示し、二峰性となっているデータがある。

(3) 浄化カートリッジ外の粘土質堆積物

浄化カートリッジを取り出す前に円筒管で採取したサンプルを①粘土質堆積物と②砂礫質堆積物に区分した。そのうち①について3回分析した(図 4.65 参照)。各回ともほぼ同様の分布を示し、中央径が60 μ m 程度となっており、分布最頻径は100 μ m 程度となっている。

(4) 浄化カートリッジ内の土砂

浄化カートリッジを洗浄した際の懸濁液を採取し分析した。静置後に浮遊し続ける濁質を多く含む懸濁液①(図 4.66 参照)と、すぐに沈降する濁質を多く含む懸濁液②(図 4.67)に区分し、それぞれ1回分析した。その結果、①は20 μ m を境界として、分布中心径3.6 μ m の濁質を検出した。また②は、分布中心径45 μ m、分布最頻径100 μ m の濁質を検出した。①の懸濁液の粒度の特徴として、1 μ m 以下の粒子の濁質を検出している。一方、②の特徴は、粒度分布が(3)の浄化カートリッジ外の粘土質堆積物と同様であり、沈降しやすい濁質が沈降する際、より細かい濁質を巻き込みながら沈降している可能性がある。

(5) 粒径分布の特徴

様々な濁水における濁質の粒径分布を図 4.60 に示す。濁質の粒径によって粒子の名称や特徴が異なり、濁水となった時の粒子のふるまいも異なる。そのため、濁水を軽減するための方法は、その特徴に応じた方法を適用する必要があることを本図は示している。

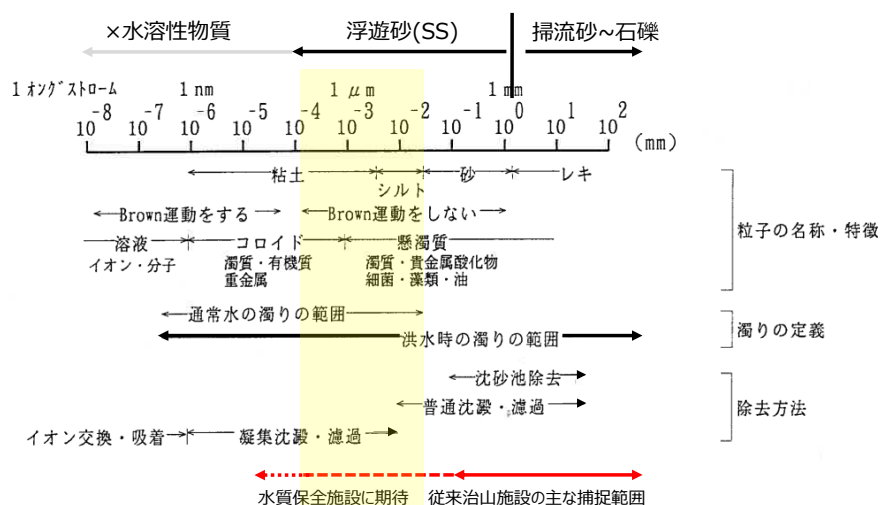


図 4.60 水中に存在する濁質とその除去方法¹¹

¹¹ 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所(2003)水質調査の基礎知識に追記

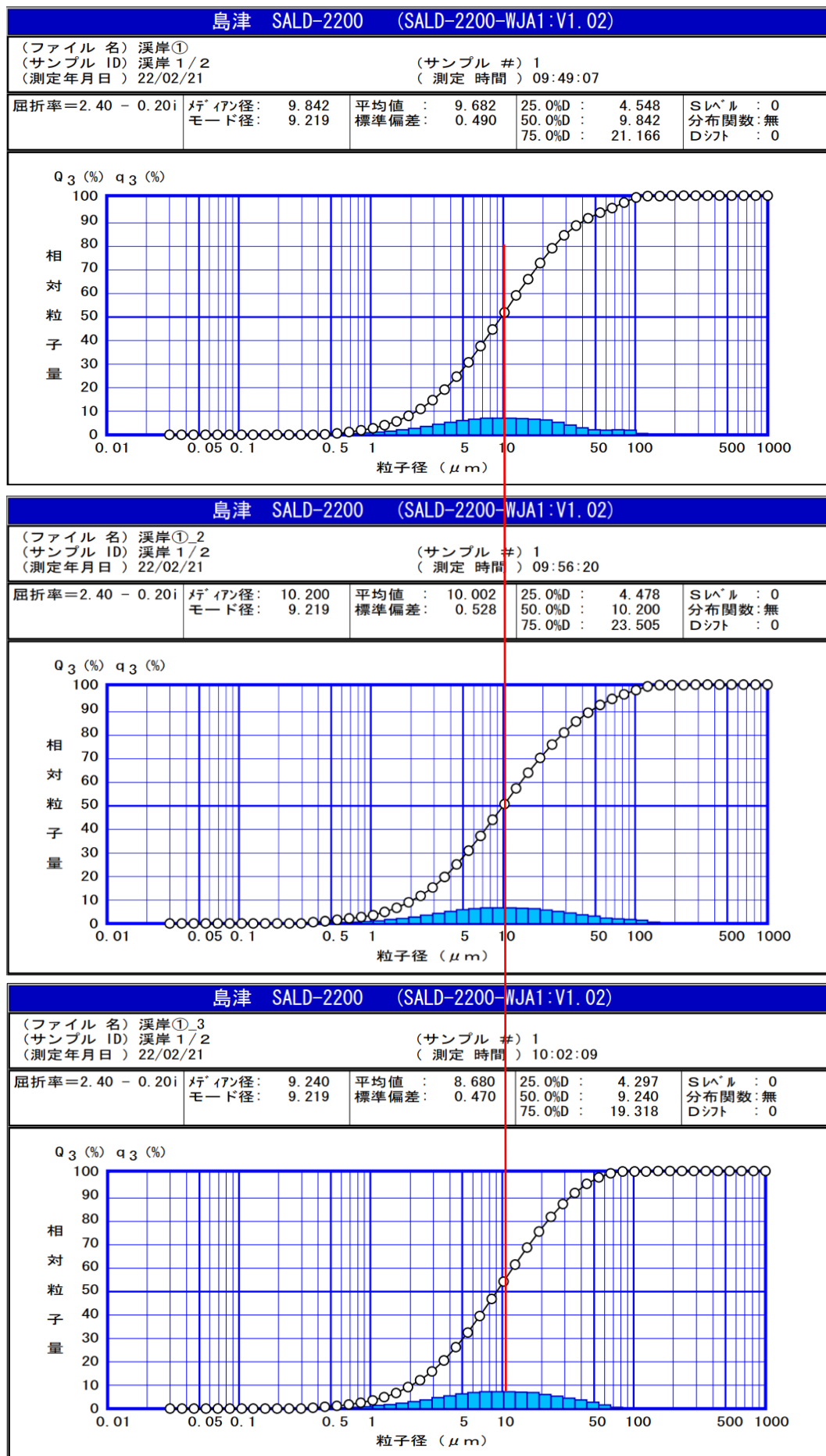


図 4.61 残積土砂 1/1-3/1

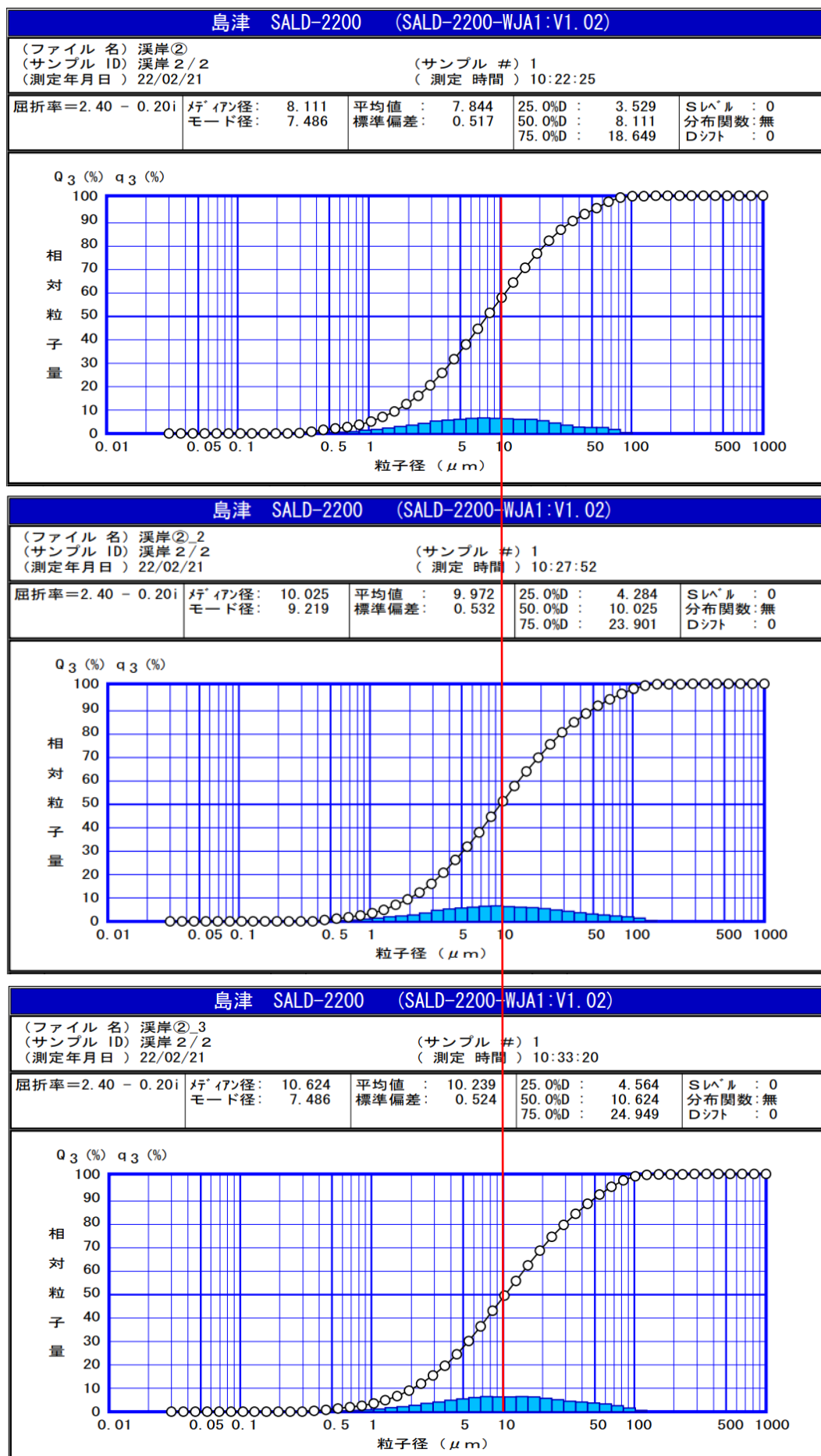


図 4.62 残積土砂 1/2-3/2

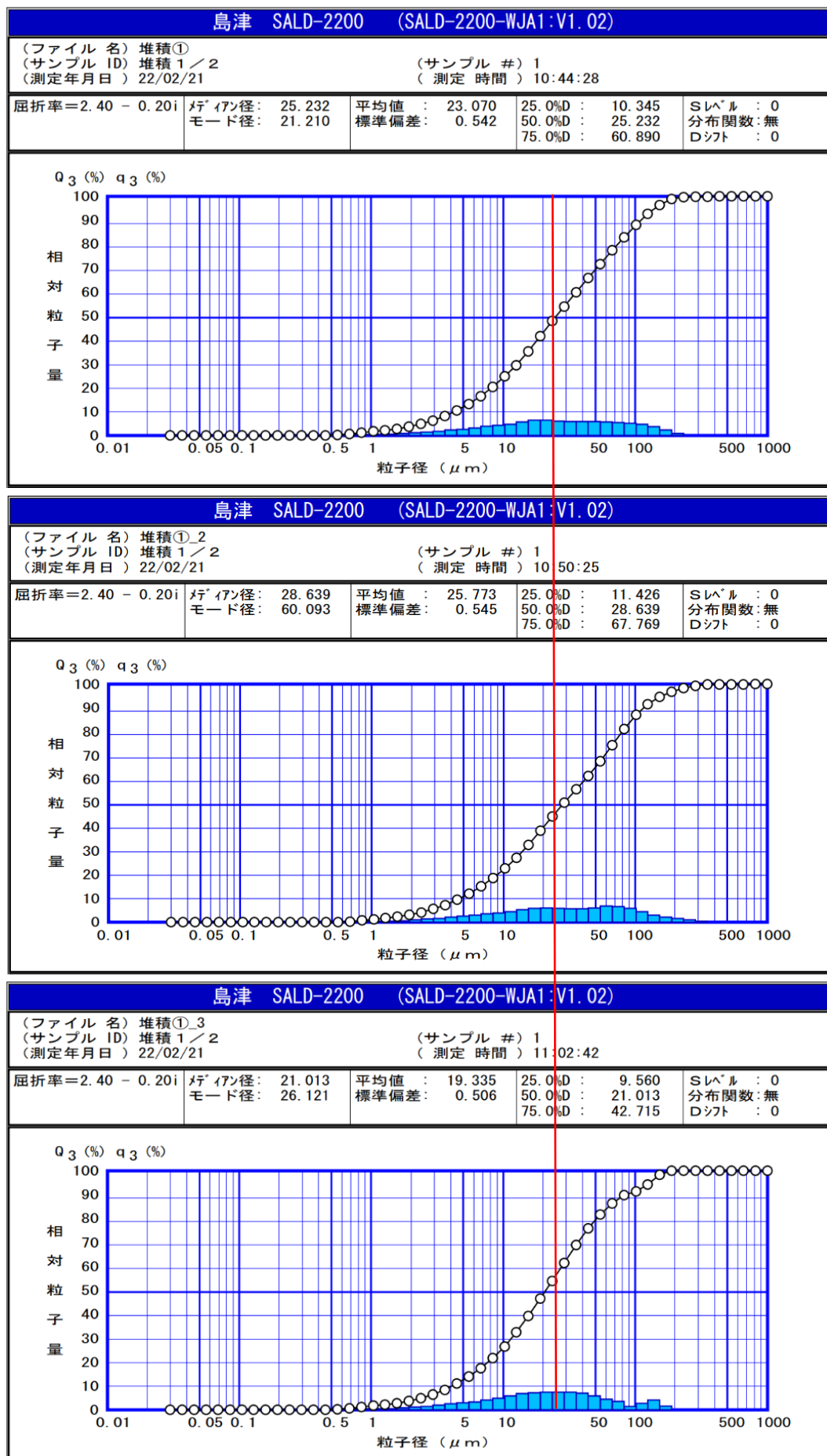


図 4.63 崩積土砂 1/1-3/1

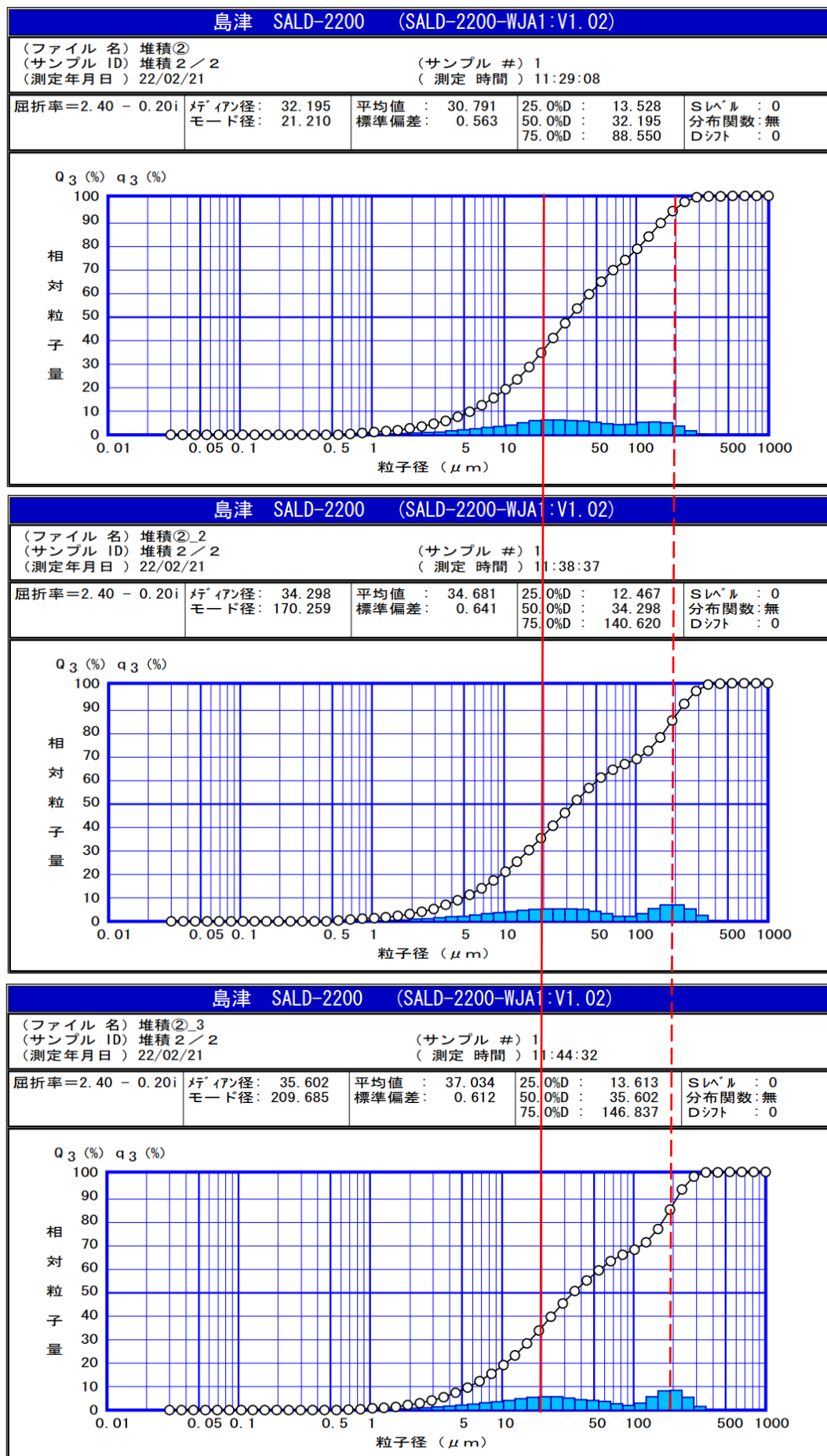


図 4.64 崩積土砂 1/2-3/2

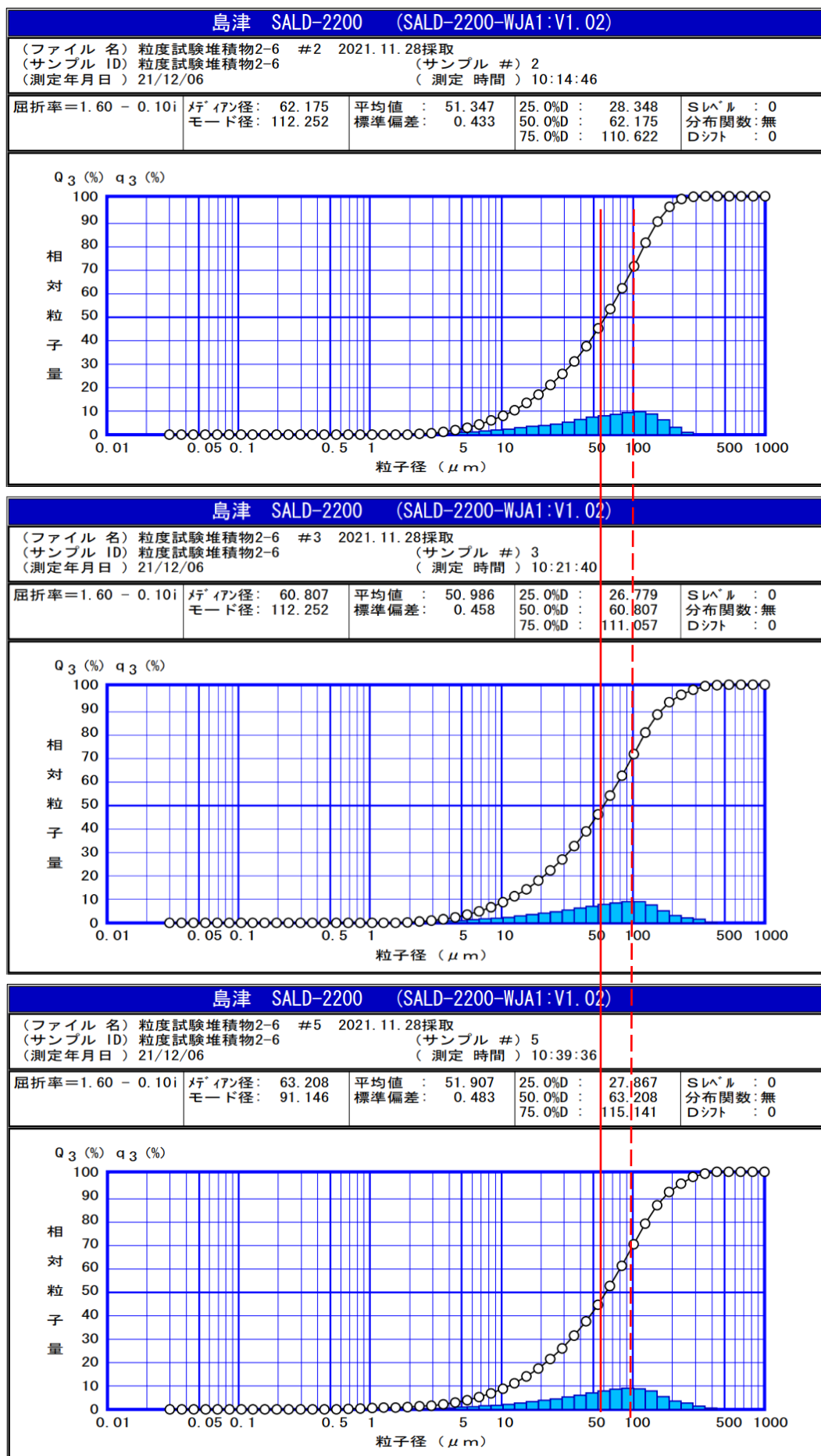


図 4.65 浄化カートリッジ外の粘性土 1-3

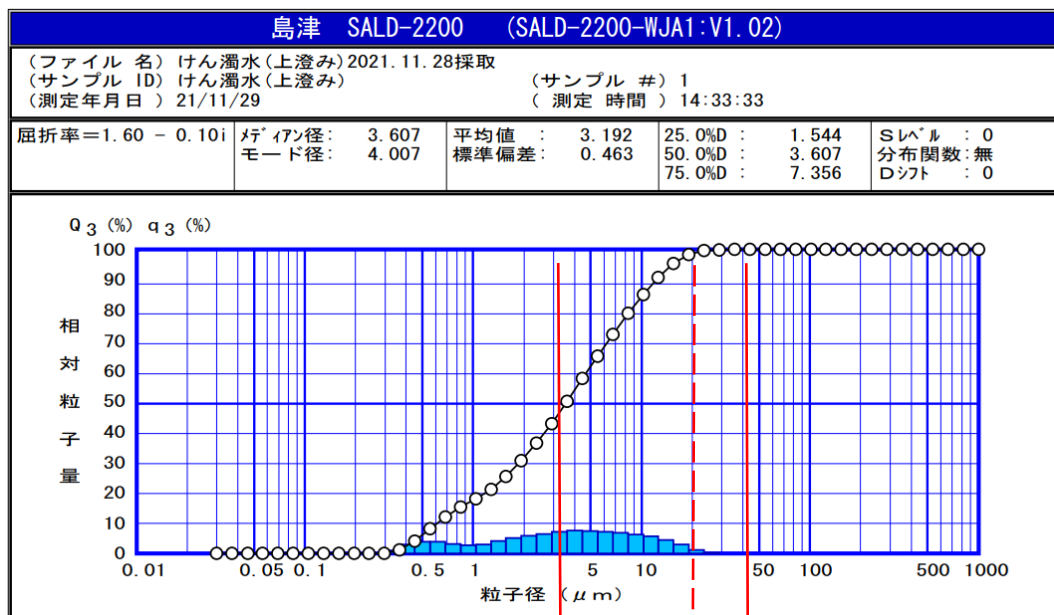


図 4.66 懸濁液(浮遊しやすい濁質主体)

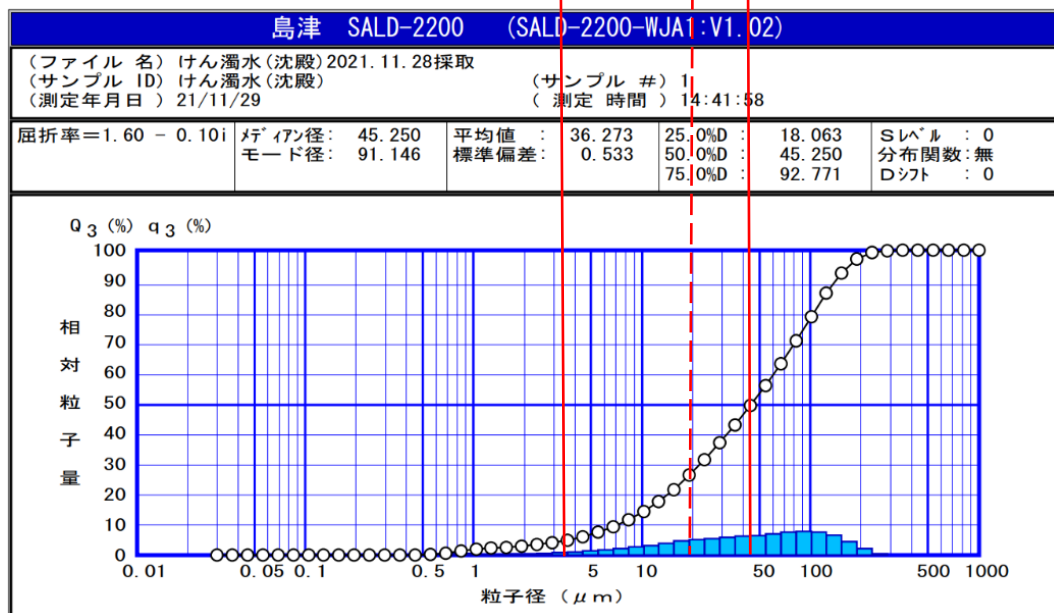


図 4.67 懸濁液(沈降しやすい濁質主体)

調査対象地において、濁水の原因となっている濁質は、流域内に分布する基岩が風化して形成された黄色土と考えられる。

残積土として採取した黄色土の粒径分布は、検出された粒径 0.02～1,000 μm 範囲のうち、主な分布粒径は0.5～100 μm で、分布中心径及び分布最頻度径ともに10 μm であった。この粒径は図 4.60 で示したとおり土性区分はシルトであり、普通沈殿やろ過で除去できる最小の粒径に相当する。これよりも小さい粒径では、沈殿で除去できない。

溪岸域の黄色土が、降水等によって侵食され移動すると、小さい粒径は洗い流され、大きい粒径に先行して渓流域に移動し濁水化する。この状態は崩積土の粒度分布で明らかであり、検出された粒径範囲は、残積土と同じであるが、主な分布粒径は1～200 μm で分布中心径は20～30 μm 、分布最頻度径は20～200 μm と分散し、2峰性の分布を示す結果も見られた。

残積土及び崩積土は、ともに渓流域に移動すると、流速によって分級作用を受ける。また、流量の

増加により乱流すると、複雑な流速変化に伴い、大きな粒径の粒子は小さな粒子を巻き込みながら沈降する。この現象は、浄化カートリッジ内外の堆積物の粒径分布で示唆されている。分布最頻度径が沈降しやすい $100\mu\text{m}$ 付近の粒径の砂であっても、砂だけでなく $0.4\sim 50\mu\text{m}$ の粘土やシルトを主な分布粒径として検出している。

$100\mu\text{m}$ 以上の粒子は比較的沈降しやすく、渓流域のステップ・プールや治山ダムの堆砂敷に堆積する。これらが流量の増加に伴い攪乱されると再移動し、水質保全施設へ流入する。水質保全施設内は、流速が低下するため $100\mu\text{m}$ の細砂を中心に沈砂する。

日降水量 80mm/day を超える降水イベントがあると、溪床中に堆積していた砂礫が再移動し、水質保全施設に沈砂することがあるが、基本的に $100\mu\text{m}$ を中心とする粒子が堆積し、SS を低減し水質改善機能を発揮している。

一方、浄化カートリッジ内の堆積物について、沈降しやすい濁質主体の懸濁液の粒度分布は、浄化カートリッジ外の粘土質堆積物と同様であるが、浮遊しやすい濁質主体の懸濁液の粒度分布については、残積性土砂の分布中心径である $10\mu\text{m}$ よりも小さい $3.6\mu\text{m}$ を分布中心径とし、 $0.4\sim 0.6\mu\text{m}$ の粘土まで特異的に捕捉している。

木炭に近接する空間において、容易に沈砂しない $5\mu\text{m}$ 以下の粒子を捕捉している可能性があるが、これが木炭の表面にある多孔質空間によるファンデルワールス力等により吸着されていたかどうかは不明である。

4.5. 濁質のVSS

Q-SS グラフについては、降水イベントの発生によって、濁水が発生した時、増水時には上流の SS が大きく上昇するが下流の SS はピークが遅れて現れる。その後、流量の減少に伴い SS が低下する。その際に、上下流がほぼ同じ SS で変化することが特徴的であった。

濁質が水質保全施設を通過する際、ろ過あるいは除去される濁質について、無機物と有機物の比率が異なるのではないかと想定し、図 4.68 の Q-SS グラフのプロット時間における濁質の VSS を確認した。調査の結果は、流量と SS の関係と、VSS(有機物含有率)の比率について、明確な関係は確認できなかった。

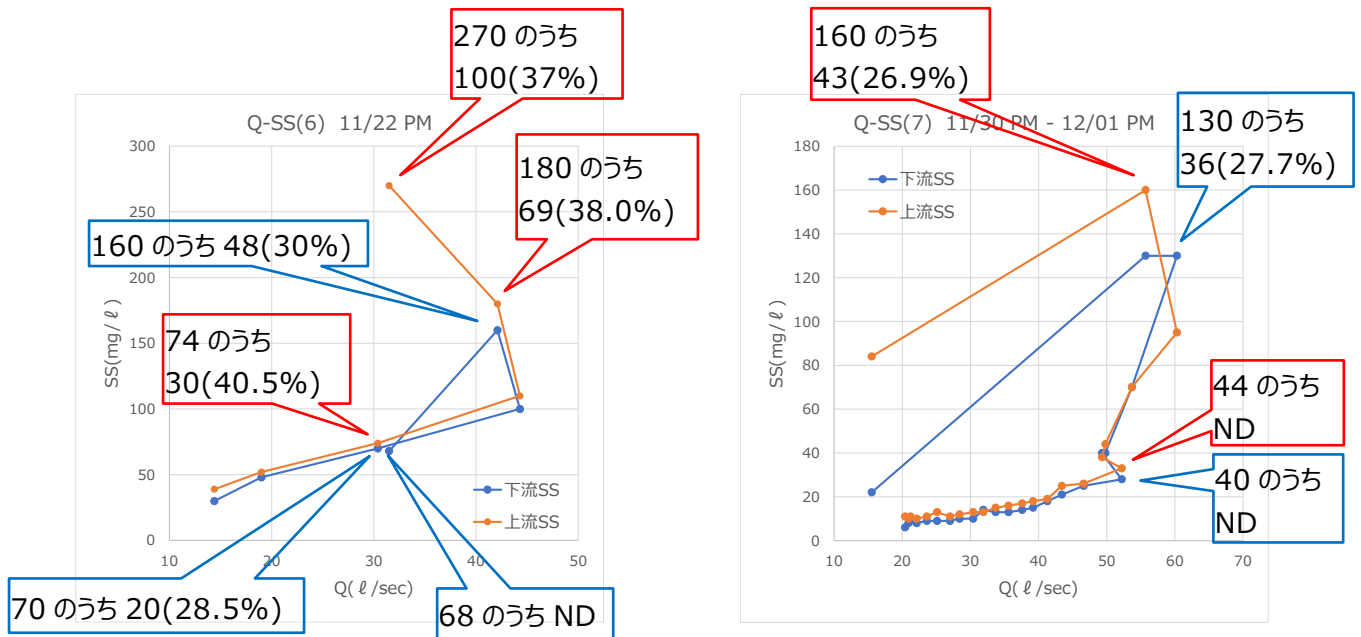


図 4.68 SS のうち VSS の量とその比率(左:11 月 22 日 右:11 月 30 日)

5. 木炭の機能分析

水質保全施設の堆積物の粒度分析によって、木炭が濁質を吸着する機能を有しているかどうか課題となった。一般的に、木炭には吸着機能があるといわれているが、その機能は極めて小さく、吸着機能を高めるために賦活化した活性炭等を活用することが多い。

約25年間、浄化機能を発揮してきたとされる使用済の木炭と、新規に購入した木炭を活用し、木炭の吸着機能について分析した。

5.1. 表面観察

5.1.1. 湿潤状態の観察

木炭の機能を目視確認するため、拡大観察し撮影可能な機器を活用して、木炭表面を観察する。図5.1及び図5.2は、交換した木炭を放射方向の隙間に沿って割ったものである。木炭の新鮮面に土壌粒子はないが、放射割れの面には土壌粒子が付着している。

また、その付着状況は、繊維方向の放射割れ隙間に多く堆積しており、木口方向の付着は少なくなっている。

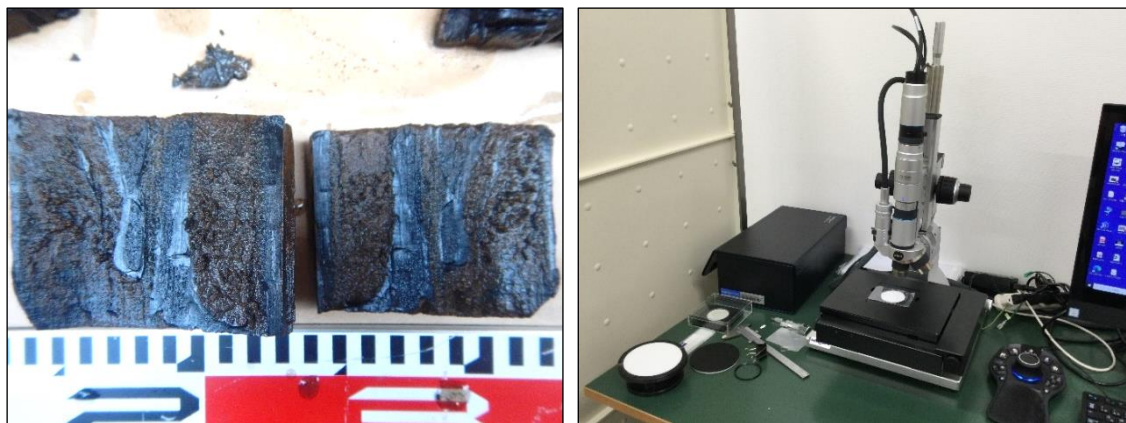


図 5.1 放射方向に割れた断面の濁質を実体顕微鏡にて観察

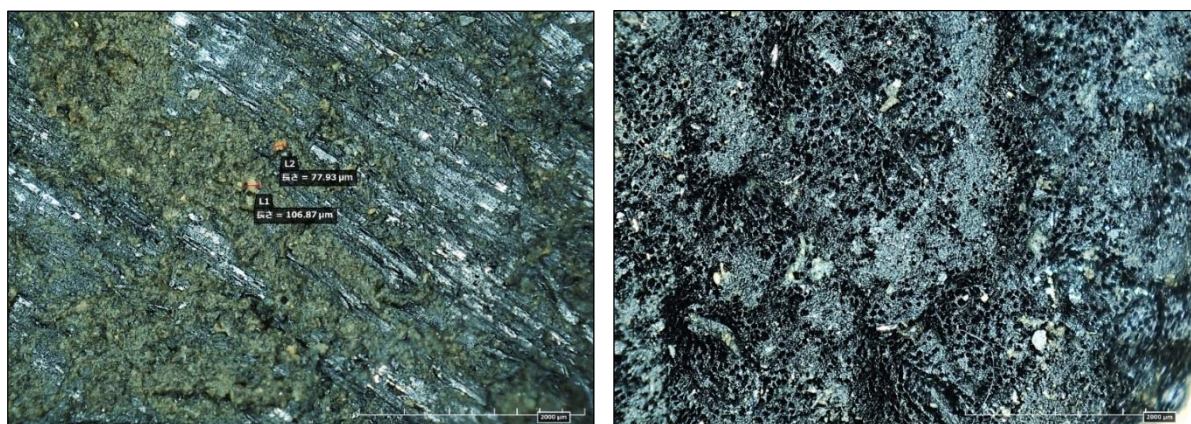


図 5.2 上下方向の断面に付着した濁質

5.1.2. 乾燥状態の観察(新旧比較)

図 5.3 に、使用済の木炭と交換に活用した木炭をそれぞれ乾燥させ、拡大した写真を示す。使用済み木炭の茶色に着色した箇所には、細かい濁質が付着しており、付着もしくは吸着している可能性がある。同様に、新しい木炭を同じ倍率で確認すると、放射割れの大きな空隙と、道管レベルの空隙があり、これらの空間に土砂が堆積あるいは吸着すると想定される。しかし、その堆積に付着あるいは吸着力があるかどうかは確認が必要である。

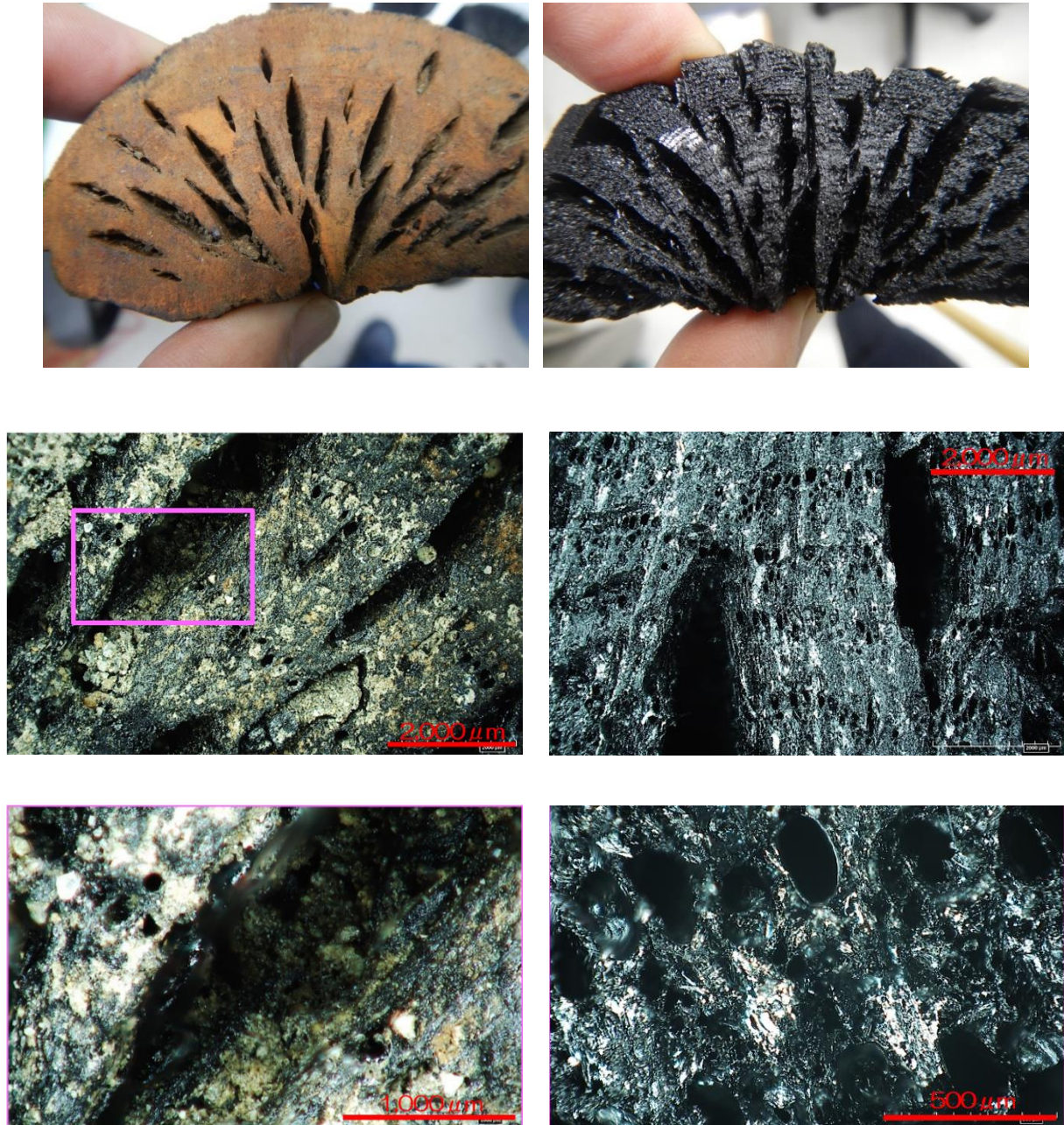


図 5.3 乾燥状態の木炭新旧比較(左列が旧、右列が新)

5.2. 木炭のろ過吸着に関する室内実験

木炭が濁水中の濁質を吸着するかどうか、その能力を確認するため、濁りを定量的な尺度で表現可能なカオリン懸濁液を用いて室内試験を実施した。木炭は、現地で交換材として準備した岩手山の切炭(広葉樹、製煉温度 800 度以上)を活用した。また、カオリンは林純薬工業のカオリン試薬(粒度無調整)を用いた。

ろ過や吸着を評価する際、物質の表面積が重要であるため、木炭の見かけの表面積を整えるため、図 5.4 に示すとおり、 1cm^3 の正立方体になるよう切断加工して活用した。水洗して粉炭を除去後、絶乾重量を計測した。

図 5.5 のとおり、 1cm^3 の木炭 50 個を 100ml の採土円筒管に詰め(空隙率 50%)、土壌浸透能測定装置を利用して、圧力水頭を一定にしながら、 $2,000\text{mg}/\ell$ のカオリン懸濁液を透過させた。カオリン懸濁液の濃度を一定にするため、図 5.5 右写真の青いバケツ内を攪拌しつつ、水位が低下するたびに同じ濃度のカオリン懸濁液を追加して対応した。

10 分ごとに採土円筒を透過したカオリン懸濁液を 20 秒程度採取し、流量と SS を計測した結果を表 5.1 と図 5.6 に示す。流量が少ないとろ過率が高くなる傾向が認められる。また、透過時間を長く確保しても、ろ過率は 75%程度であった。

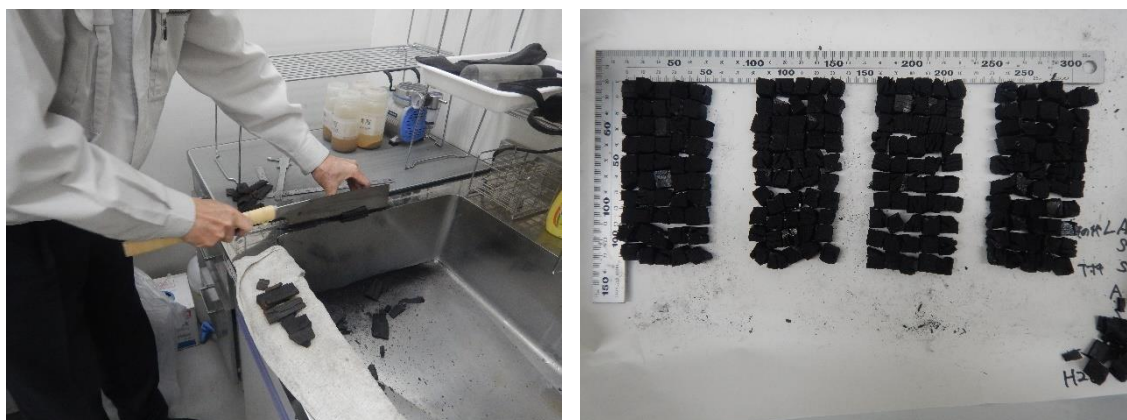


図 5.4 木炭の加工

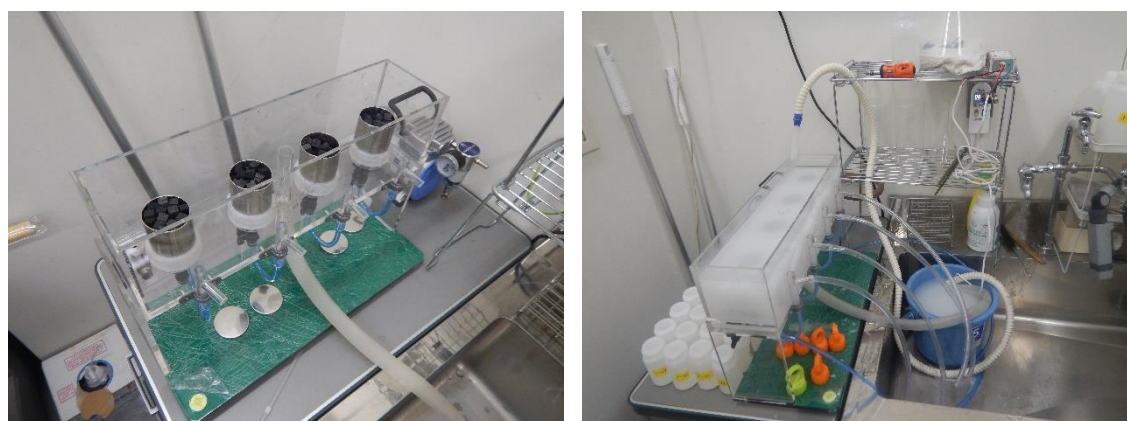


図 5.5 カオリン水溶液の透過

表 5.1 カオリン懸濁液による木炭ろ過実験

ろ過時間 (min)	試料 No.	採水量 (20sec)	流量 (ℓ /min)	濾紙 (g)	濾過後 濾紙 (g)	捕捉 乾重 (g)	SS (mg/ ℓ)
0	1-1	0.402	1.21	0.0691	0.7836	0.7145	1,777
10	1-2	0.465	1.40	0.0693	0.7345	0.6652	1,431
10	2-1	0.459	1.38	0.0692	0.6323	0.5631	1,227
20	2-2	0.469	1.41	0.0691	0.8521	0.7830	1,670
20	3-1	0.494	1.48	0.0690	0.8156	0.7466	1,511
30	3-2	0.473	1.42	0.0688	0.8030	0.7342	1,552
30	4-1	0.472	1.42	0.0696	0.7335	0.6639	1,407
40	4-2	0.468	1.40	0.0698	0.8148	0.7450	1,592
40	5-1	0.481	1.44	0.0691	0.7571	0.6880	1,430
50	5-2	0.460	1.38	0.0690	0.7963	0.7273	1,581
50	6-1	0.469	1.41	0.0693	0.8148	0.7455	1,590
60	6-2	0.427	1.28	0.0690	0.7459	0.6769	1,585

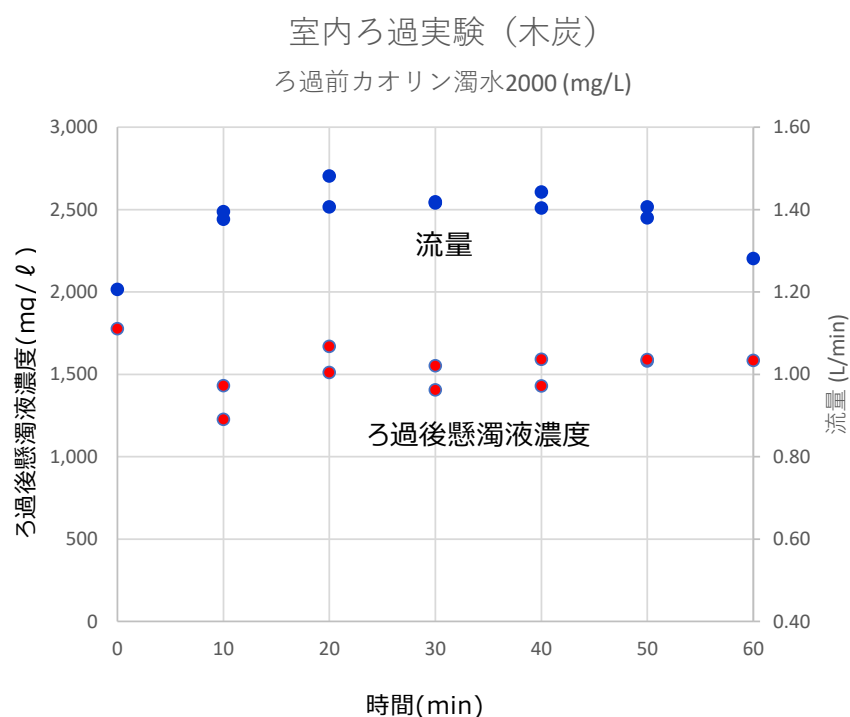


図 5.6 室内ろ過実験(木炭)

次に、ろ過試験を完了した4つの木炭試料を観察した。図5.7に示すとおり、No.1の試料を上部から取り出すと、正立方体の上面にカオリンが多く付着していた。慎重に採土円筒内の木炭を取り出し、上面と側面及び底面を観察すると、上面に多くカオリンが付着していた。

上面のカオリンは堆積もしくは沈殿によって木炭に付着していると想定し、ここで重力により付着したカオリンと吸着されたカオリン量を算出するため、ろ過済の木炭を10秒程度洗浄し、表面に付着しているカオリンを除去し、改めて絶乾重量を計測して吸着されたカオリン量を計測した。

試料No.1のデータは異常値を示したため、No.2～4の試料の結果を表5.2に示す。

No.2～4の3つの試料(木炭重量94.73g)に対し、捕捉されたカオリンは9.06gである。そのうち、8.91gは堆積付着したカオリンと想定し、0.15gは木炭に吸着されたカオリンと想定した。炭1kgに換算すると1.6g程度が吸着され、炭1m²の表面積で換算すると1.7g程度が吸着されることになる。

木炭における渓流水の浄化機能について、文献等では木炭内の微細孔と渓流水内の濁質の粒子

がファンデルワールス力によって、緩やかに吸着することが示されているが、今回の実験の結果、その量は極めて少なく、木炭の微孔隙による吸着作用よりも、木炭と木炭の間の空間に重力堆積、あるいは流速低下により沈降して付着した作用の方が、ろ過機能の観点からみて大きいと思われる。なお、微細孔には微生物の働きにより、生物膜が形成され、有機物の分解に貢献するが、本事業では、原水に有機物が少ないため、その機能を評価することはできなかった。



図 5.7 試料No.1 のカオリン捕捉状況



図 5.8 ろ過済木炭を洗浄後、絶乾重量を計測し、木炭に吸着されたカオリン量を計測

表 5.2 カオリンの堆積量と吸着量

区分	炭乾重 (g)	ろ過乾重 (g)	ろ過洗浄 乾重 (g)	捕捉されたカオリン(g)		
				全部	堆積	吸着
1	27.9536	29.6192	29.3527	1.6656	0.2665	1.3991
2	32.2590	33.6849	32.3107	1.4259	1.3742	0.0517
3	31.7830	35.3156	31.8388	3.5326	3.4768	0.0558
4	30.6840	34.7850	30.7305	4.1010	4.0545	0.0465
計	94.7260	103.7855	94.8800	9.0595	8.9055	0.1540
炭1kg当たりのカオリン捕捉量(g)				95.6390	94.0133	1.6257
炭1m ² 当たりのカオリン捕捉量(g)				100.6611	98.9500	1.7111

6. 濁水対策(発生源対策及び濁水軽減策)の効果

6.1. 濁質発生に関連する流域特性

6.1.1. 地形地質特性と濁水発生

本事業で調査地とした京都府舞鶴市三浜地区の予備水源の集水域(約 50ha)について、表層地質は古生代の舞鶴帯で母岩風化が激しく、赤色及び黄色の土壌が多く分布している。また、地すべり地形を呈している。土壌や堆積物の粒度分析の結果、シルトを中心とする粘土物質であり、渓流域に土砂が流入すると濁水化し、懸濁化する傾向がある。

6.1.2. 気象条件と濁水の発生

自然環境条件を数値化することを目的に気象(降水量、気温)等の計測項目を調査した。また、計測期間中のいくつかの降水イベントにおいて濁水を採取し、その濁度や SS を計測することにより、濁質の特性を把握した。

調査期間中において、日降水量が 80mm/day を超える災害を発生させるような降水イベントは、発生しなかった。また近年、顕著な災害は発生しておらず、施設が設置された平成 6 年度と比較して、森林、山腹渓流域が拡大荒廃している兆しは見られなかった。

対象地域の濁水発生特性を整理すると、8 月はアメダスの平年値や地域住民の聞き取りによると、渓流量が減り、渇水期を迎える。

調査を開始した 9～10 月は例年、台風等の通過により、降水量が多くなる時期である。11 月にかけて降水量が減少し一度流量が減少するが、12 月末から 1 月末にかけて、降雪等により降水量が多く流量が増加する。1 月中旬と 2 月中旬には、急激に流量が減少する現象が発生したが、地表面周辺の積雪とともに、低温で凍結するためと想定された。

2 月から 3 月にかけて、降水量が多いイベントが発生すると、融雪を伴う著しい濁水が発生することがあるが、本調査期間は確認できなかった(昨年度は令和 3 年 2 月 15 日に発生)図 2.6。

計測期間の降水傾向の結果から、図 2.11 観測期間における各階級別降水量の日数を数えると、日降水量 30mm/day 以上の降水日数はアメダスデータで 6 回、現地計測で 2 回観測している(平年値は 7.7 回)。定点カメラを見ると、濁水が大量に流送している状況を観察できた。そのうち濁水サンプルを取得できたのは 12 月 26 日のみであり、その日は降雪日であった。

日降水量 20～30mm/day 未満の降水日数はアメダスデータで 8 回、現地観測で 8 回観測している。12 月 26 日以降の観測日は降雪であり、12 月 27 日を除き顕著な濁水は発生していない。12 月 6 日以前の観測ではいずれも濁水が発生しており、そのうち 5 回(10 月 22 日及び 25 日、11 月 9 日、22 日及び 30 日)は増水に伴う濁水サンプルを取得している。

日降水量 10～20mm/day 未満の降水日数は、アメダスデータで 14 回、現地観測で 16 回(アメダスデータによる平年値 19 回)観測している。降水イベント発生時の水位上昇はわずかであるが、濁水は発生している。

日降水量 10mm/day は調査対象地にとって普通規模の降水であるが、濁水が発生している。日降水量 20～30mm/day は、気象災害は発生しないが、調査対象地の流量が増加し、溪床がある程度攪乱され、濁水が発生する規模の降水となっている。

6.2. 施設の効果評価

水質保全施設及び上流部治山施設の機能復元前の状況と復元内容、その後の状況について調査した。施設の土砂捕捉量と捕捉状態の観察、一部伏流水の発生状況について示す。

6.2.1. 既存構造の治山施設

(1) コンクリート谷止工、フトン籠流路工及び鋼製スクリーンダム

治山施設として、土砂を貯留しつつ水質保全施設の機能を維持している。鋼製スクリーンダムを浚渫し、水質保全施設への土砂流入を抑止した。

(2) 水質保全施設

1) 沈砂池

浚渫し閉塞した排泥管を復元させたことにより、沈降性濁質の捕捉量の増加とともに、濁質を維持管理によって排泥できる環境を復元し、必要に応じて流量を調整し、効率的効果的に浄化ユニット部を渓流水が越流しないように調整できるようにした。

2) 浄化ユニット部

浄化カートリッジを取り出して清掃するとともに、木炭を交換し堆積していた土砂を浚渫した。これにより、充填された木炭と木炭の間に空隙を確保することができ、新たに濁質を沈降して捕捉する空間を確保できた。また、浄化カートリッジの表面に堆積していた粘土質の濁質を除去することにより、流量ピークの際の濁質の再移動を抑止することができた。

3) 取水柵(沈砂機能付)

沈砂した土砂を排泥すると共に、壁面を清掃し、処理水を貯留することができるようになった。排泥弁の閉塞は改善できなかったが、排泥弁自体をフランジ部分から外すことによって、堆積する濁質を排泥することができるようになった。

6.2.2. 濁水調査

計測期間における SS の捕捉量及び濁度等の調査結果を元に、以下のとおり整理する。

流量ピークに先行して SS ピークが出現することは『フラッシング効果』と呼ばれ、溪床や溪岸に不安定に堆積・蓄積していた濁質が、増水の初期段階に攪乱され再移動することによって発生する。

流量ピークになると、その流量に見合った濁質が掃流され、かつ増水により希釈されるため、同じ地点の SS は小さくなる。Q-SS グラフのうち、11 月 9 日に記録された Q-SS(5)グラフの下流のデータについて、反時計回りに記録されたことは、上流域から多くの濁質が流下したタイミングでデータが取得された、もしくは、水質保全施設に堆積していた濁質が、30～40ℓ/sec 流量のピークで攪乱され、再移動した可能性がある。

(1) 水質保全施設の機能復元前

上下流の SS 及び濁度を比較すると、SS は上流の変化に追随するように下流も変化するが、検出された SS は、ほとんどの降水イベントの場合、上流よりも下流が少なかった。一方、濁度については、流量のピークの際、下流の濁度が上流の濁度を上回ることがあった。

下流において、SS が低下するのは、水質保全施設内で沈殿しやすい粒径 10 μ m 以上の濁質が、粒径 10 μ m 未満の濁質を巻き込みながら沈降し、水質保全施設内に堆積したことによると想定され、水質保全施設の機能復元前においても、沈砂機能の効果を示していると考えられる。

上流よりも下流の濁度が上昇する理由については、上流から流下してきた濁質が、SS の増加とともに、濁度値も増加させた可能性が考えられる。しかし、図 6.1 に示すとおり、施設機能復元前の水質保全施設には、長期間維持管理されずに蓄積された細粒の濁質が存在し、容易に濁水化することを現場確認していた。また、上流部のコンクリート谷止工や鋼製スクリーンダムの堆砂敷にも、水質保全施設と同様に、細粒の濁質が不安定に堆積していた。これらの濁質、得に粒径 $10\mu\text{m}$ 未満の浮遊しやすい SS が、表流水の流量増加に伴う攪乱により、沈降することなく下流へ運搬されたことによって、上流よりも下流の濁度が高まった可能性もある。これらの考え方の結論は、水質保全施設の機能復元後の Q-SS グラフの変化によって得られると思われる。



図 6.1 施設機能復元前の水質保全施設及び取水柵の濁質移動状況

(2)水質保全施設の機能復元後

水質保全施設内の濁質が流水で攪拌されやすい機能復元直後を除いて、上下流の SS 及び濁度を比較すると、流量は異なるものの、SS は上流のピーク量に比較して 43.5%低減している。

水質保全施設復元前後の比較から、復元前の同一イベントの上下流 SS 低減率(表 3.2～表 3.4 参照)が 10 月で 22%(小流量期)、11 月で 16.7%(多流量期)とすると、機能復元によって復元前の 2 倍の捕捉量を確保したことになると考えられる。

(3)VSS

観測期間のうち、SS が高い値を示す期間の VSS を確認したところ、SS のうちの有機物含有率は、26.9%から 40.5%の範囲を示し、流量の違いや上下流のデータ取得位置の違いと有機物含有率との関係は確認できなかった。

(4) 木炭の機能

5.2 木炭のろ過吸着に関する室内実験等の結果から、木炭による浄化機能については、文献等によるとファンデルワールス力等によって、緩やかに吸着することが示されているものの、実験結果においては、吸着された量は極めて少ない結果となった。木炭については、吸着する作用よりも、空隙への重力堆積や沈降して付着する作用の方が大きい結果となった。

6.3. 流域特性と水質保全施設の構造

治山事業における濁水対策の基本方針は、可能な限り濁質を渓流域へ流入させず、流入しても再移動を抑止することである。そのため、従来の治山事業の役割で実現する濁質発生源対策として、濁質を固定するとともに、流下してきた濁水を水利用上問題のないレベルまで、濁質を除去することが重要である。

調査対象とした京都府舞鶴市の水質保全施設は、濁水の原因となる粒径を多く含む土壌で形成されている流域において、夏季の渇水期に濁水を緩和するため設置された。設置から 15 年程度は、本施設の適切な維持管理がされてきたが、水需要が逼迫する機会が少なくなったため、その後約 10 年程度は、放置されていたと考えられる。

本調査において施設の排泥弁を開放し、水質保全施設内の貯留水を抜くと、濃い濁水が排出された。適切な管理を実施すれば、浄化ユニットの透過性を確保しつつ、沈砂吸着機能を維持できる可能性が高いことが想定される。

調査対象地の立地のように、渇水期の水質改善が求められる地域では、渓流水を分流して利用する考え方は難しく、渓流水全てを捕捉し、水質改善する方法をとらざるを得ない。その点で、本施設が維持管理のための排泥弁等を設置し、年周期の流量変動と水需要に合わせ、施設を維持管理しながら利用しようとしている考え方は、自然及び社会環境的条件を踏まえた効率的な方法であると言える。

この評価の結果を、異なる立地環境における濁水対策に適用するため、次のとおり検討を行った。

6.3.1. 治山施設と水質保全施設-施設機能の連携-

水質保全施設は粒径の小さい濁質を捕捉する構造であり、その対象粒径以外の大きな石礫等はいかに施設内へ流下させない、あるいは流下させたとしても通過させる、あるいは維持管理によって簡易に除去できるかが重要となる。

調査対象施設は、水質保全施設の上流側に鋼製スクリーンダムが、その上流にフトン籠による三面張流路工、その上流にコンクリート谷止工が配置され、前述の観点に配慮された施設構造となっている。捕捉量は上流部のコンクリート谷止工が 600t、鋼製スクリーンダムが 70t と推定された。鋼製スクリーンダムの浚渫時には、人頭大の転石とともに、大量の石礫や枝条を確認することができた。また、それらをつなぐフトン籠流路工が有効に機能し、下流の水質保全施設へ過剰な土砂の供給を抑止している。

水質保全施設には、機能復元前には約 9t の土砂が捕捉されていた。捕捉土砂の堆積により透過機能が低下していたが、堆積物は粒径 5mm 以下の砂礫や粘土であり、定期的に排泥弁等によって維持管理すれば、透過機能は改善し機能を維持できる構造となっている。また、水源河川の立地として、平坦地の確保が難しい空間に対し、沈砂池を含め細粒の濁質を沈降可能な流路工を形成できていることが、当該地域における濁水改善に大きく貢献していると考えられる。

6.3.2. 木炭の水質浄化機能

木炭を利用した浄化ユニットは、その空隙に濁質を吸着し、有機物や汚濁水を浄化することを期待して設置された。本調査において設置から 25 年経過して蓄積した浄化カートリッジ内の土砂を排除するにあたり、木炭と木炭の間の空隙に土砂が隙間なく入り込んでいたことを確認した。

一方、鋼製枠内の石礫は、表面の隙間は土砂で埋まっていたが、内部は空隙が残存しており、透過性が確保されていた。この空隙に対する充填量の違いについて、接触面積や、表面摩擦力、あるいは空隙率の違いによる透過速度の違い等、様々な条件が考えられる。また、木炭は石礫と比較すると比重が小さいため、石礫を引き揚げて洗浄することと比較すれば、空隙に固定された濁質を除去する際の維持管理作業は容易であるといえる。

6.3.3. 石礫の水質浄化機能

フトン籠流路工やスクリーンダムの堆砂敷から湧出する伏流水について、伏流水の流入場所や量によって、地表面が濁水化している際に、清水が合流することによって濁水を軽減できる可能性がある。

実際に過年度の調査において、過去の文献では、河床堆積物中を遅れて流下する成分に濁水緩和効果があることが示されており、浸透を促進させる工法が多く採用された経緯がある。

しかし、この考え方は、生活用水の取水口付近で実施すると、取得する用水量を減らすことになるため、適用には注意が必要である。また、濁水軽減効果の評価についても、伏流化した時点で流水の動態を把握することが困難となるため、評価することは量的にも質的にも難しい。

7. 効果的な治山対策の検討

7.1. 治山事業における濁水対策の取組

令和2年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例において、16箇所21施設の情報収集を行った結果、事例の多くが鋼製の枠構造内に割石等の中詰する工法を採用していた。

本調査の対象地も当該構造を部分的に利用した施設であり、調査結果を基本として効果的な治山対策の検討を行った。

7.1.1. 森林整備による取組

森林整備による濁水対策には、図7.1に示す荒廃森林等の整備や林床植生の整備のほか、その他の整備による取組が示されている。

(1) 荒廃森林等の整備

荒廃森林等の育成複層林への誘導・造成手法として、本数調整伐、枝落とし、下層木植栽、下刈り等がある。調査対象流域は薪炭林となっており、育成複層林に誘導・造成する必要性はないが、受光伐等が実施され、林内相対照度は低くない状態となっている。しかし、2.4.森林状態と荒廃の結果により、林内は比較的明るいが目標林型のイメージに至るほど、下層植生や低木層の発達は見られない結果となっている。

これらのことから、整備後も必要に応じて、下層植生等の成育を促し、土壌侵食の抑制を行うことにより、下流への土砂流出防止等の対策を検討する必要があると考えられる。

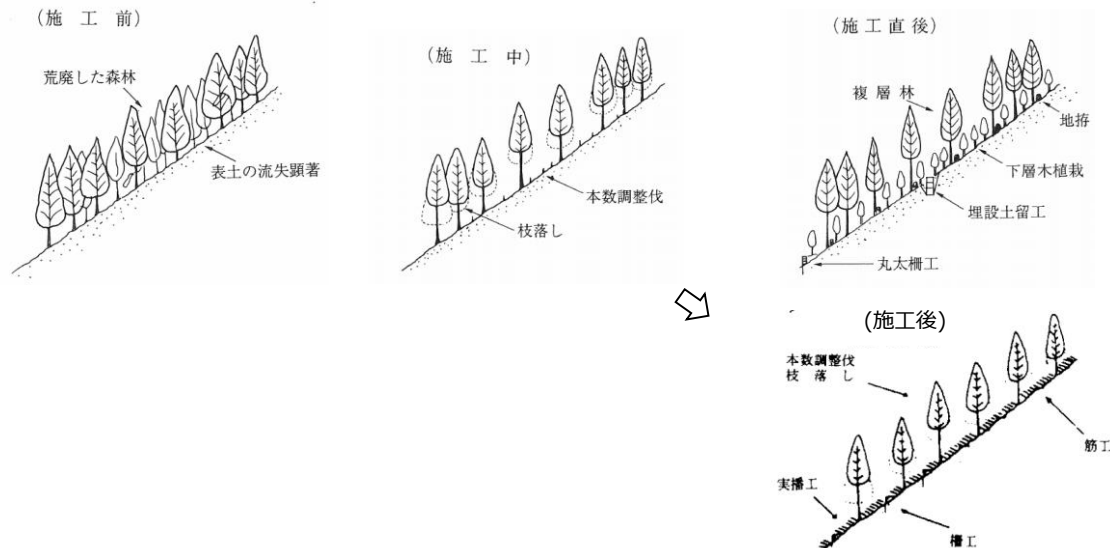


図 7.1 森林整備による取組

(2) 林床植生の整備

2.5 山腹及び渓流域の荒廃の項における調査結果において、水質保全施設の上流200mの区間において、溪岸溪床域に土砂堆積が確認され、その区域を含む溪畔林については、立木密度が低く林内は明るい印象であるものの、下層植生は少なく草本層が特に少ない結果となっており、降雨により土砂移動する可能性があると考えられた。

これらのことから、既に照度低下等により林床の土壌侵食が進行、またはそのようになる恐れのある箇所で、回復の見込みのない場合には、実播工、伏工等人為による林床植生の回復を行うことで、土

砂流出かつ濁水発生を防止する対策を検討する必要があると考えられる。

(3) その他の整備-溪畔林の整備-

2.5 山腹及び渓流域の荒廃の項における調査結果において、水質保全施設の上流 200m の区間において、溪岸溪床域に土砂堆積が確認され、流量の増加等により堆積土砂が再移動する可能性が認められた。

これらのことから、現地の状況に応じて溪畔林に面する未立木地等における森林造成、溪畔林に存する危険木や溪流の増水により危険木となる可能性のある立木等の除去整理等の対策を検討する必要があると考えられる。

7.1.2. 施設整備による取組

施設整備による濁水対策は、水土保持施設の整備と、水質保全施設の整備がある。

(1) 水土保持施設の整備

施設整備による濁水対策には、図 7.2 に示す施設を含め、山腹面の地表水の地下への浸透の促進や、溪床勾配を安定させ山脚の固定を図るとともに、流水の堆砂内への貯留及び地下への浸透促進等を図ることを目的として、治山ダム工、埋設土留工、掘割工、透水ダム工、浸透促進工付治山ダム工、スリットダム等が選択工法として想定されている。

1) コンクリート治山ダム工

調査対象施設には、最上流部に溪岸侵食の抑止、上流からの土砂貯留を目的として治山ダムが設置されており、直下に設置された水質保全施設への土砂流入を防止しているが、現在概ね満砂している状態にある。また、令和 2 年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においても、水質保全施設の直上流にコンクリート治山ダム工を設置している事例がある。

施設上流の溪岸の堆積状況と気象条件によっては、堆積土砂が侵食移動する可能性があるため、当該土砂量と水質保全施設の機能の保全を相対的に考慮して、治山ダム工の機能向上を必要とする場合は、嵩上げや新設等の対策を検討する必要があると考えられる。

2) 透水ダム工(鋼製ダム)

調査対象施設には、水質保全施設の直上流部に、鋼製スクリーン部の水表側にエキスパンドメタルを付加したバットレス式治山ダムが設置されていた。調査計画時点では満砂状態であったが、浚渫を実施した後は、スクリーン部から表流水とエキスパンドメタルの編み目を通過した土砂が流出したが、スクリーンから湧出する清水を確認した。

令和 2 年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においては、同様のスクリーンダムを設置している事例があるが、確認できた施設は、満砂状態となっていた。また、透水ダム工として水質保全施設の直上流や単独で鋼製枠による治山ダム工を設置している事例がある。

事例の中には、貯水池への土砂流入を抑止している事例や、治山ダムの堤体全面から濁りの少ない湧水を確認している事例も存在した。

これらの結果から、スクリーンダムについては、浚渫等により機能を復元できれば、土砂流出を抑止する機能と水質を保全する機能を保持させることが可能であり、必要に応じて維持管理等を検討する必要があると考えられる。

鋼製枠によるダム施設については、堆砂と一体となった施設として計画する場合は、原則浚渫等ではないことから、計画の際は、主たる目的を土砂移動防止として、水質を保全する機能はあくまでも付加機能として検討することも必要があると考えられる。

3) 浸透促進工付治山ダム工

令和2年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においては、図面上浸透促進型に近い事例があるが、コンクリート谷止工の上流側に、天端を放水路と同じ高さ、下端をダムの水抜き高さとして鋼製枠の施設を設置した透過の機能を求めたものと考えられる事例がある。

当該施設は、鋼製の枠構造内に土砂が充填されないかぎりにおいては、水質が保たれるものと想定される。

4) 流路工・護岸工

調査対象施設には、鋼製スクリーンダムとコンクリート谷止の間を接続するフトン籠流路工が設置されていた。令和2年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においては、フトン籠以外に、コンクリート、ブロック積み、鋼製枠等各種の工法が採用されているが、溪岸侵食の防止を図ることは共通の効果として考えられる。

調査対象施設の流路工は、フトン籠で構成され、当該流路工から湧出した清水も確認されており、本流で濁水の発生があった場合に、下流域への濁度を軽減できる可能性があることが想定された。

ただし、当該施設は、経年により破損していたことから、計画に当たっては、流水を通過させる機能があり、破壊に対して耐性の高い鋼製の枠構造の計画も、現地の状況に応じて検討する必要があると考えられる。

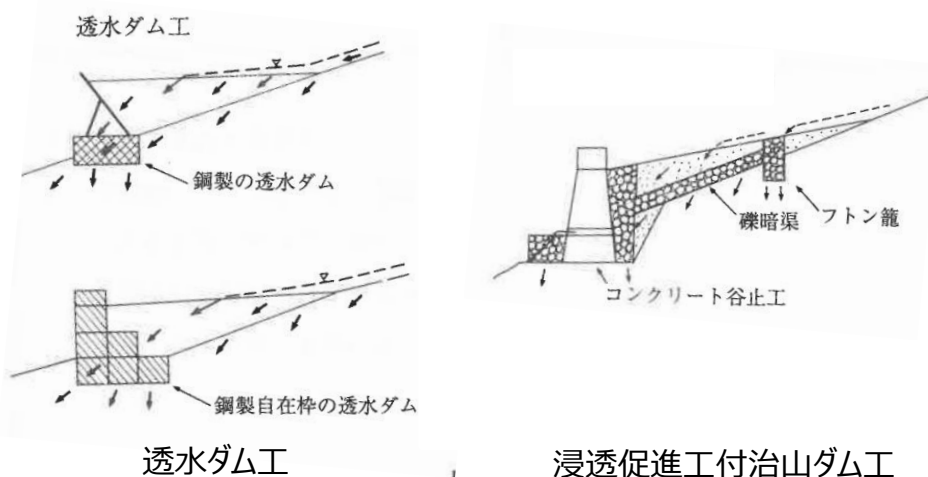


図 7.2 水土保持施設

(2) 水質保全施設の整備

水源貯水池、水源溪流の取水施設、沿岸等に流入する濁水を、その施設を流下させることにより、ろ過機能等を直接発揮させ、水質の保全を図ることを目的とした代表的な施設として、透水ダム工(鋼製枠等によるダム)、濁水防止工(鋼製枠等による流路工等)、等が想定されている。令和2年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例において、本調査で対象とした沈砂池等も集約されている。

1) 透水ダム工

水土保持施設の整備の項で記述したので、省略する。

2) 濁水防止工

水土保持施設の整備の項の流路工・護岸工で記述したので、省略する。

3) 沈砂池

調査対象施設には、コンクリート止水堤と上流のスクリーンダムの間をコンクリートの三面張の流路工(勾配は水平)で接続し、その流路工の流水部に鋼製枠と木炭を利用した浄化ユニットを 3 セット設置した施設があり、機能復元前後の上下流の SS の水質検査の結果、機能復元後に効果が上昇していることが判明し、水質保全機能を認めるとともに、維持管理により、機能の維持・向上を図ることが確認された。また、調査対象施設は、排泥弁が 3 箇所設置されるとともに、最下流の取水桝(沈砂機能付)の底面には、排泥のための排水勾配が設置される等、維持管理に配慮した施設となっている。

令和 2 度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においても、同様の構造の事例や、コンクリート構造だけの事例もあり、土砂等が堆積している状態の施設も確認された。

沈砂池の設定に当たっては、通常、計画上の沈砂池内の流速、濁質として捕捉する粒子径等に基づき、規模を検討するが、流速により粒子の沈降速度が変動することから、調査対象施設のように沈砂池内に流速を抑制する機能を持つ施設を設置することも有効と考えられる。

沈砂池内に濁水を浄化するための施設を設置する場合は、設置後の継続した維持管理が必要となることから、施設を構成する単位当たりの浄化施設については、維持管理に要する労力を軽減するため、軽量化を検討する必要があると考えられる。

維持管理の容易さを考慮すると、コンクリート構造だけの沈砂池も考えられるが、濁質の沈降の関係で、比較的広い土地が必要となる可能性もあるので、計画する流域の状況に応じて検討することが必要となると考えられる。

4) 複合型対策

調査対象施設は、沈砂地、透水ダム、流路工、遮水型治山ダム工等、それぞれの機能を有効的に組み合わせられた一体的な施設となっている。

令和 2 年度に取りまとめた治山事業による濁水対策事例においても、複合的に組み合わせられた施設が多くある。

調査対象施設は、機能復元後において効果が発揮されていることが確認されたことから、複合的に組み合わせて計画する場合は、流域の現況、必要とされる効果と設置する施設としての効果が一致できるように検討することが必要となると考えられる。

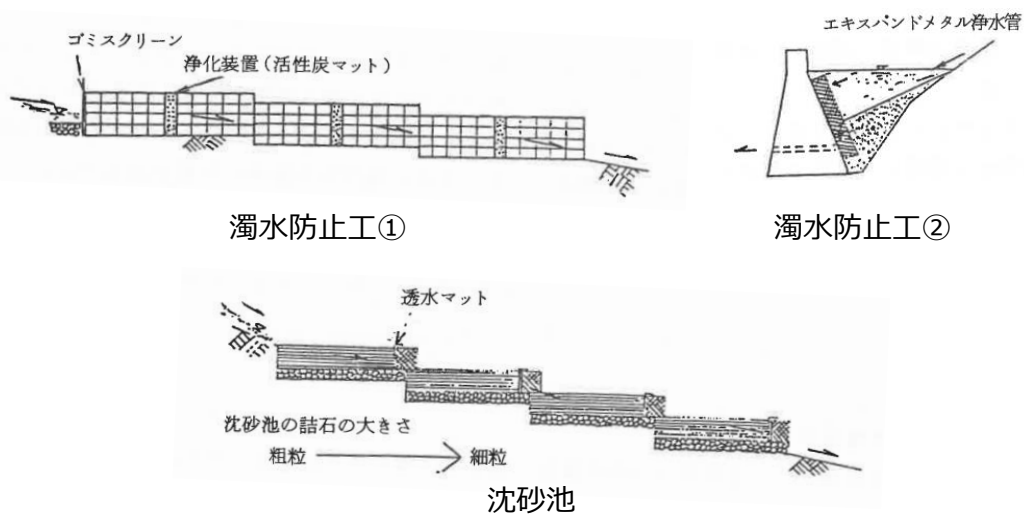


図 7.3 水質保全施設

8. 関連資料

8.1. 第1回検討委員会議事概要

令和3年9月30日(木)

令和3年度 山地保全調査(濁水対策手法の検討に係る調査)

第1回検討委員会

(1) 調査地の特性

【積雪の影響について】

○質問

12月後半から1月に入ると雨ではなくて降雪に変わり、積雪もあると思う。

○回答

舞鶴は、12月や1月は雪になるため、雪の影響を考慮し、降雨量でなく降水量として説明している。

○質問

積雪になるならば、今回考えている観測期間より後に流出するので、降水量が多くても観測期間内の濁水発生にはつながらない。ただ、春先にどっと出てくることを想像すると、悩ましい。ただ、今回の事業に関しては、説明どおりの考えでいいと思う。

○質問

調査地の流域面積はどれくらいか。

○回答

三浜地区の第2水源の集水面積は49haである。

○質問

森林整備の調査の実施後、地被状況等のデータは入手できるか。

○回答

そのようにする。

○質問

2月15日に濁水が発生していたというお話だったが、このときの降水量で濁水は日頃も発生しているように見えるのか、たまたまほかの要因があったのか教えてほしい。

○回答

積雪期の地表面が積雪に覆われているとき、地表面の場合は積雪の影響、例えば雪のグライドや霜柱の影響もあり、かなり地表面から細かい粒子が発生、移動していると想定できる。昨年度のグラフの10月から11月、12月、1月というのが寒冷期、この時期の降水量は多くないが、2月15日に53mm降ったことによって、この雨量の割に濁質が多く流れてきたと思う。観測を1月までと考えていた期間も、先ほどの融雪、もしくは霜柱による地表面の粘土物質の移動を考えると、雨の少ない時期に、地表面にたまった移動しやすい粘土をきちんと捕捉できるような観測を実施することとしたい。

○意見【スライド12ページ】

豪雪地帯ではないが、積雪の影響は多少あると思う。2月にも多少融雪の影響があったと考えられ、少し暖くなれば融けるので、定点カメラで標尺をつけておけば概略は分かる。

○回答

定点カメラに積雪の影響が分かるようなスケールをつけて対応する。

(2) 調査計画

【BOD の計測】

○質問

この調査地は、BOD が問題になるような特性を持っているのか。BOD は一般的な溪流であれば普通は問題にならないと思う。

○回答

BOD は、礫間浄化機能を確認するために追加した。上流の森林公園は、頻繁に人が入るようなところではないため、有機物の混入を考慮した計測項目ではない。

【施設整備と森林整備】

○質問

この調査地で実際に過去に行われた森林整備が上流域で薪炭林、放置林の整備と溪畔林整備という2種類が行われていて、今回計測を行う地点はそれぞれの小流域が合流した地点で測っていて、原水の Q-SS カーブを見ていくと、SS の流出特性が見えてくると思うが、それと森林整備の関係について考察するときに、すごく難しくなると思う。事務局としてどのように考えているか教えてほしい。

○回答

現状として森林整備による濁水緩和というのは、ある程度データとして、落葉層のバイオネットにかなり濁水をすくう機能があることは分かっているが、直接的にそれを結びつけることを仕様書では求めている。しかし、将来的につなげる必要があって、治山事業は林地保全や水量の確保だけではなくて、水質もきちんと機能しているということを伝えたいために、今年度の事業においては森林整備の内容について対応しなければならない。仕様書上では上流域の荒廃調査ということで示されているので、それを満たすために今回、森林調査を実施することを検討している。

今年度の最終成果として、施設のプランとしてその効果が発揮されていなければ改善が必要で、効果が発揮されているならばより高めて、事前に問題になっている地点の濁質を調査し、それ合った構造物を入れていくことの方を整理したいと思っている。

その点では、従来、濁質の特性を全く調べずに、プラン、基本方針どおりの施設を適用して完成とし、後の状況が分からない施設が全国各地にあるが、この調査地の施設は周辺住民に喜ばれて活用されているので、ここを鍵に調査することによって、全国展開できる施設計画の準備段階の方法や、濁質の特性に合わせた科学的根拠に基づく計画等が整理できると望ましいと現状では考えている。

できれば森林整備も全て一体化して整合性のある計画ができるといいが、そこまでは、この事業が2年計画であり、その2年目で表現するのは難しいと考える。ただ今後の展開についても、保全対象に近い治山事業だからこそ出てくる問題もあるため、仕様書の目的にあるように、何らかの答えを求め続ける姿勢は必要と考えている。

○質問

森林整備との関わりについても仕様書で問われていたら、この調査計画等だと厳しいと思ったが、今回導入した成功例である施設のメカニズムを明らかにし、今後の施設計画に生かしていく基礎データを作っていくことがメインと理解した。ただ、いずれは森林整備との関わりについても目を向けていかなければいけないので、現場の状況を整理してデータを積み上げてほしい。

【観測スケジュール】

○質問【スライド 34 ページ】

サンプリングを実施する期間と工事のようなことをやる期間が重なっているように見えるが、すると、工事によって攪乱が起こって、目的としているような観測ができないのではないかと感じたが、その辺の整理はどうなっているのか。

○回答

できるだけ降水傾向と観測の目的を連動させたく、10月の初旬までは現状の施設の評価をし、その次にリフレッシュするという点で、最初に浄化カートリッジを交換して、まず繊細な部分の機能を評価し

たいと考えた。その上で11月にスクリーンダムを浚渫する目的については、この浄化カートリッジ自体に負荷をかけたいためである。現状としてあまり水が濁っていないため、スクリーンダムを浚渫するときに出てくる濁水を下流のリフレッシュした石礫や浄化カートリッジでどれだけ捕捉して改善できるか、実験的なもので負荷率を高め、その効果を確認するというのを、この短い期間中の計画に含んでいる。

SS・濁度を1日、水位トリガーで測っているところから、1日3回に変えているときに、あえて濁水を出そうとしている。スクリーンダム浚渫時に発生する濁水を基にこの水質保全機能を評価するというのは、その前の段階で浄化カートリッジと礫を清掃しているため、一気に流量とは別の量の濁水を流して機能を評価する想定で、このような計画にしている。

8月がこの地域にとって一番重要なところであり、この施設の評価としては8月に観測したかったが、間に合わず、11月、12月、1月の間でできることを整理し、今の計画を検討した。

【濁水負荷】

○意見

浚渫して濁水を発生させるといって、この施設の場合だと、そもそも大雨が降って濁質が多量に流れているときは取水もしないということで、少し極端過ぎると思う。

○回答

この施設の設置目的が、8月の渇水期の時期にきれいな水を確保することである。昨日、サンプリングした試料だと、上流側の水質はすごくきれいで、下流側は濁っている。堆積物を見ると、浮遊物質が下に堆積している。これらは渇水の時期も問題になるので、今の構造物で、ある程度除去できる施設であると推測するが、この10月、11月の段階の調査というのは、この施設を活用して、全国的に使われている礫間施設や礫間浄化機能があるかということと、木炭が機能しているかを評価するときに、ある一定の負荷をかけないと分からないのではないかとということで、この施設をお借りして試験しようと考えている。

○意見

他の地域に同様のものを設置した場合、施設自体の性能がどうであるかということを、幅広く評価できるように整理し、調査を実施すること。

【森林調査の時期】

○質問【スライド34ページ】

11月の作業に荒廃森林調査とあるが、下層植生などは落葉しており11月では調べられないので、早めに調査したほうが良いと思う。

○回答

森林荒廃調査を秋口に設定しているのは、できるだけ見通しを良くし、地上レーザを用いて溪相と森林の状況を記録するためであった。下層植生が生育している状態で調査する必要があるとの意見を頂いたので、落葉期を迎えるまでに下層植生に着目した現地踏査を実施する。

【粒度の現地観測】

○質問

浚渫による消極的な人工濁水の関係で、施設に入った土砂の粒径の大きめのものだけでいいがチェックすること。細かい成分までは確認しなくていいと思うが、砂やそれよりも少し細かいものの粒度はチェックしたほうが評価のときに役立つと思う。

○回答

スクリーンダムの浚渫に関しては、浚渫するときの土砂は右岸側に寄せるということで、今堆積している粒径の大きいものに関しては右岸に持っていく対応する。スクリーンダムは4cm、2cmのひし形のエキスパンドメタルを張っており、そこから漏れ出るものは濁水となって出てくると予想している。現状の施設の堆積状況は、上流側の沈砂池で大概の砂粒は、すぐに沈降するものはそこに堆積すると予想している。それ以外の細かい砂や粘土に関して、礫間の中に突っ込んだときにどういう振る舞いをするかということを確認したいと思っている。その点では、転石などはスクリーンダムの上流から落とさない

ように対応する。

【水道施設の検査結果】

○質問

水道水質としての水質検査はしていると思うので、データがあれば、基礎資料として入手してほしい。

○回答【スライド 37 ページ】

25 年前も調査したときにも、12 項目に関する簡易水道のチェックをしている。鉄分の含有量に関しては、水道課や舞鶴市に問い合わせを実施する。

(3) 調査結果

【洪水頻度と沈降速度】

○質問

今が9月末であり、後は 10 月上旬までで、1回か2回ぐらいしか多分洪水は来ないとすると、あまりもう濃い濁水は来ないということか。

○回答

例年だと 10 月はあまり降らないが、たまに台風の襲来に伴う災害が発生していることもあり、再委託先の調整というものあって、いつ浄化カートリッジを交換できるかは不明である。保安林の作業許可も京都府と調整しており、許可が下りる時期の見通しが立っておらず、それぞれのパートにおける協議進捗状況によって全体のスケジュールに影響を与える可能性があると考えている。

○質問【スライド 41 ページ】

濁水と濁質の特性や、沈降速度などはいろいろな人が研究しているので、今さら測らなくても、幾らでも文献はあるのではないかなと思う。実際には河川だと攪乱しているが、普通に入ったものだったら既にもう分かっている。現場では水が乱流しているから実際には沈降しないけれども、室内試験ならば、幾らやっても限界があると思う。

○回答

過去の知見は有効に活用する。

○質問

流動試験は現場の粒径分布を調べれば、ストークスの法則で、粒度分析はしているので静水状態に置いておけばどれぐらいたまるというのはわかる。逆に、現場の粒度分布がどうなっているか分析することが必要であると思うので検討すること。

【水位や流量の観測の精度】

○質問

三角ノッチの写真で容器みたいなものがあつたので、水位流量曲線は計測して設定しようとしているのか、単純に理論式のようなものから引っ張ってこうとしているのか教えていただきたい。最終的に流量と水質の関係は見ていかなければいけないと思う。

○回答【スライド 24 ページ】

理論式と実測をできるだけ合わせて調査しようと考えている。計測しやすいように径の大きなダクトのようなパイプを準備し、採水し、200 リットルのドラム缶のような容器に水をためて、改めて計測しようと考えている。

○質問

水位計で水深を測っていると思うが、水位計の精度はどのようになっているのか。ミリ単位で計測することが必要だと思う。

○回答【スライド 24 ページ】

ISCO 社のサンプラーに附属していた水位計を活用しているが、水位計自体の精度に関しては検証していないので、確認する。

○質問

簡易的な計測のため、精度がどうしても悪くなってしまうと思うが、できるだけ精度が高く計測できるようにすること。

【三角ノッチの流量観測の考え方】

○質問【スライド 20 ページ】

実際に三角ノッチの越流水深が 40cm を超えるような状況になったときに、ノッチの部分だけでもはけ切れなくなって、川幅いっぱいにな水が流れるような状況になると思う。その場合、ノッチと1個上の堰堤の間のプールの大きさが十分大きければ、水位の値はそれなりに安定すると思うが、上流側から滝のように流れ込んでくるような状態で水位を精度よく量るというのは無理だと思うので、おおよそのオーダーでもいいので、流量が分かればいいという感覚で解析されるのであれば問題はないと思う。大きい流量のときの流量をもう少し精度よく量るとなると、この方法だと限界が出てくると考える。ただ、ノッチをつける場所は限られてしまうので、今回はこれで十分である。

○回答

発注者と検討したが、時期的に洪水流量を量るのは難しいということで、ノッチの形状が小さくなってきているのが現状である。当然限界があり、ノッチを大きくするあまり放水路断面を閉塞して、今度は越流して周辺域に悪影響を与える可能性もあるので、当協会の技術指導役と話をしながら進めて、選択肢としてノッチを2つ作ることや、40cm のものを2つ作れば計測の精度が上がるのではないかと話してはいたが、洪水時にすぐに点検して、壊れていたらすぐに厚物合板を使用するなど、強固を図る検討はしている。実際の洪水時には定点カメラでも細かく見れば水位は観測できると考えている。そのときの水位と水量の関係についても大まかにでもサンプルが取れたら流量の確認は可能と考えている。

○質問

ノッチより上の断面辺りの越流水深を今回カメラで押さえられるのであれば、それで十分だと思う。ノッチは、今回のメインである比較的流量の小さいところのデータを精密に取るのにフォーカスしたような作りにするのが合理的である。

【三角ノッチの接近流速】

○質問

三角ノッチの深さの間でも接近流速が出てしまうと理論式には当てはまらなくなってしまうので、吹き流しのような、流速が出たときに分かるようなものをつけて、定点カメラで観測しておく、どこまで理論式に当てはまるかなどを確認することができるので、工夫することを検討してほしい。

○回答

接近流速を0にするのに、技術指導役と相談し、整流板などをつけたらいいかと考えていたが、それがかえってこのノッチ自体を不安定化させる可能性もあるので、今回はつけないこととした。せめてということで、筋交いをつけて強化を図っている。

○質問

整流板については、ダムとの間が狭いので、もともと役には立たないと思うのですが、普通の状態では、接近流速はあまり出ていないと思う。ただ、徐々に流量が増えてくると接近流速が出てきて、理論的な水位流量曲線より外れてくるので、本当はそういうときにきちんと流量を計測して修正することが理想だが、それは難しいと思う。水面に例えばピンポン玉をひもで結んでもいいし、流速が出たことが分かるようにしておく、例えばノッチのところの高さぐらいのところまでは接近流速が0に近いけれども、これぐらいになってくると外れてくるなどが感覚的には分かると思うので、検討してほしい。

○回答

三角ノッチの上流部付近に、水面に勾配が出ているかどうかということを確認するために、リボンのようなもの、もしくは浮きのようなものをつけて、移動していることが分かるようにしておく。

8.2. 第2回検討委員会議事概要

令和3年12月8日(水)

令和3年度 山地保全調査(濁水対策手法の検討に係る調査)

第2回検討委員会

(1) 調査地概要等

特段の意見なし

(2) 第1回検討委員会での議論の整理

【森林の荒廃状況】

○質問

調査地の森林の状態について、溪流荒廃地や山腹崩壊はないのか。

○回答

水質保全施設の200m区間森林の構造は地上レーザ機器による調査を実施した。200m〜上流鋼製ダムは踏査予定だったが未踏査である。地上レーザ機器で森林の状況と溪相の状況をセットで把握し、河床横断面図と森林の状況について整理することで、過去の地形地質の状況と濁水発生を表現することを検討している。

【積雪と融雪の影響把握】

○質問

融雪に伴う濁水の発生について把握することが望ましい。融雪が遅れた場合、柔軟に対応できるか。2月末以降でも、現場観測ができるようであれば検討してほしい。

○回答

2週間に1回入る予定なので積雪と融雪の関係を確認する。

(3) 現地調査結果

【計測機器と流量について】

○質問

現状で動いている計測機器等について水圧式水位計の時間間隔と、自動採水器の採水間隔について教えてほしい。また、濁度計はつけているのか。先ほどのSSと濁度の比較というのは、自動採水器で採ったサンプルの濁度とSSという意味なのか。別に濁度計があり、それとの比較をしているのかを教えてほしい。

○回答

自動採水器はISCO社のサンプラーを使用している。三角ノッチの水位が12cmから15cm以上になる、11月頃の常水位が大体12cmなので、3cm上昇し15cm以上になると、水位上昇をトリガーとして1時間に1回、600ccの水をサンプリングするよう設定している。下流域のサンプリングに連動して上流域も同じ時間に採水している。

水位は1分単位で測っており、同時に水温も計測している。1分単位がこの機械に負荷がかかっていたようで、業者に問い合わせ中だが、データのメモリ期間について制限されるという指摘があり、データが出ない原因の1つと考えている。初期設定として水位と水温は1分単位でデータ記録している。

濁度計測については、今回は見合わせている。採水をしたサンプルをラボに持っていき、600ccのうちの100ccを濁度計測装置にかけ、レーザ解析に基づいて室内実験で把握している。

○質問

本当は濁度計があれば一番いいと思う。1イベントの出水を捉えたときに、初めなのかピーク時なのか、ピークを少しずれたときなのかによって濁度が違って来る場合が多いので、どういうときに測ってい

るか知りたいと思った。いずれにしても、最終的には、流量で滞留量との比較をすると思うので、そのときに、洪水時のどういうときに、本当にピークをとれたのか。普通は、濁度成分は割とピークを少しずれたときに出るときがあるので、その辺を教えてほしい。先ほどの強熱減量から出した有機物相当の量は、出る時期によって違って来る可能性がある。有機物について普通は遅れて出ると思う。溪床は大体無機成分で構成されているので、そういうものが動いて、ある程度出水が大きくなり、周りから流入してくるものが多くなったとき、有機物が出る場合が一般的には多く、若干タイムラグがあるのが普通であるので、その1出水を見たかったが、濁度計等がついていなければそれを追えない。ただ、これをとったときはどういう時期だったかというのは、できれば流量変化と併せて見せてほしい。あと、今のところSSと濁度という相関をとっているが、流量との相関はこれから見ていくということなのか。

○回答

流量に関してはこれから分析する予定である。

○質問

全体的な評価も必要だと思うが、ある出水のときを捉えて、どういう時期の採水だったか。そのときのSSと有機物成分との比について代表的なところで幾つかで結構なので、分析してほしい。

○質問

濁度だけではなくて、流量との対応について、今後解析し、図面等を作成するとのことなので、次回には結果が出ると思うが、今回、資料にあったように、出水のときにどうなるという説明をするときに、濁度だけだと、出水のピークとのずれのようなもの、出水がいつ収まっているのかというようなことが分からないので、濁度と流量の変動を合わせた結果を整理してほしい。

【粒度分析について】

○質問

実際に溪岸にたまっているような、転石の周辺を埋めているような土砂のサンプルは採取しているのか。大体どれぐらいの粒径のものかということも調べておくと、発生源を考える上で参考になると思う。

○回答

ご指摘の観点で、濁水になる前の濁質が、水に入る前の状況を想定していなかった。崩壊地があった場合、崩壊発生源近くの崩落土砂をつかまえ粒径分析することは過去にあった。今回濁水ということで、例えば今、ステッププールの水たまりの部分に堆積する土砂を採取しようと思っていたが、崩れる前の状態、溪岸斜面の土砂に関してもサンプリングし、今回、粒度分析が比較的容易にできる。粒度分析に関しては1mm以上のものは測れないため、こちらで粒径別に分析できるふるいを用意し、1mm以上のものを含めて、ステッププールに入っている濁質の状態と水質保全施設の中に入っている濁質の粒度、木炭に付着していたであろう濁質粒度を、粒度分析し、発生源の粒度と施設の中の捕捉している粒度の比較により、効果を評価できるように対応する。

○質問

上流域の粒度について、数少ない例だが、有機物はそれほど出ないと思っていた。しかし、この調査地は少なくとも採られたサンプルの中は、強熱減量から見ると有機物があるということなので、それがどこから来ているのかということ。一般的には、本来は溪床の中は常時水が流れ増水したりしているため、流れるものは流されているので、特に有機物はない。普通はそうだが、細粒分も含めて、溪床のところに有機物が堆積している可能性もある。だから、普通は溪岸の近くに有機物が多いので、出水してくると有機物が割と多いと個人的に思っていたが、有機物の比率が高い気がするので、それがどこから由来してきたのかが分かるとベストだと思うので、その辺に着目して調査してほしい。

あと、1つの出水のときの、できればピークと減水していくところが時系列的にとれれば、特に有機物の話をするときが一番いいが、現状の1時間の間隔が適当かどうか検討してほしい。割と流域面積が小さいので、1洪水というのは、その雨量にもよるが、それほど収束するまで時間がかからないと思う。人が行って測っているわけではないので、採水器の間隔も、できれば1～2回は細かく採水することを検討してほしい。

【上流部の森林調査について】

○質問

上流部の林内の調査の結果について、どうやらニホンジカの影響があるということで、下層植生については量的な評価をしているようだが、侵食のことを考えたときには、硬質の土を覆っている堆積有機物が一様に覆っているのか、ところどころ硬質土が裸出してしまっているかということもすごく重要になってくると思う。そのあたりは調査の中で記録をしているのか。

○回答【スライド 24 ページ】

現状では、ご指摘の項目を今回は考えていない。上流渓床域の地表面と施設との関係が、設計段階で関連させるように見ておらず、森林域の土砂移動を少し軽視していた。

1 回目の検討委員会のときには下層植生の状態を確認する写真撮影、24 ページの右上にあるような、基本的には面的に見たときに下層植生がなくリター層も容易に移動している。積雪地帯のよくある斜面の雰囲気としか見ておらず量的な評価は考えていなかった。

○質問

もともとの目的が施設の濁水を抑制する効果のため、最初から上の細かい状況を調べるというようなことは仕様には入っていないが、調査の過程で、上流の発生情報というのも必要と考えプラスアルファの調査をされたと認識している。そういう付加的な情報も大事と思うので聞いたが、もし定性的にでも裸地の割合をメモしてあると、今後にも役に立つのではないかと思う。

○質問

森林調査の流れが分からないが、調査はいつ実施したのか。10 月頃か。

○回答

10 月の中旬に実施した。

○質問

落葉後だったのか。

○回答

まだ落葉樹は着葉している状況であった。

○質問

先ほどの濁度に結構影響していて、最初のほうの 10 月 12 日は、かなり濁度が高くなっており、雨が少ない。しかし、後のほうが結構雨が多いのに濁度が少ないのも、リターが表面を覆うかどうかによっても、山腹斜面が出る濁度というのはかなり変わると思う。

本当は落葉前に測って、また落葉後に測ると、落葉後であればもう少しリターが多いと思うので、そういうこともかなり影響すると思う。可能であれば同じ場所で計ると、前後でかなり違うと結果になると思う。いずれにしても時系列的な話がよく分からなくて、これはサンプラーをとる前の話なのか。この後にサンプラーではなくてカートリッジでとっているということか。

○回答

この森林整備とこれから BOD 等を取得するため、機能復元作業を進めているが、その時系列はあまり意識していなかった。

○質問

この段階でもカートリッジは古いままで、沈砂池を掃除しただけの状態なのか。

○回答

その状態である。

○質問

では、カートリッジを換えれば、かなり結果も変わってくるということか。

○回答

そのはずである。

【SS の粒度分析と木炭の捕捉効果について】

○質問

粒度分析について、実際の現場で測定した、採水された水の中にある SS 成分などの粒度分析する予定なのか。

○回答

自動採水器でサンプリングしたものは、その SS を評価するということで利用するのみだったので、粒度分析の発想がなかった。今のサンプリングされた SS の粒度分析もやるべきだと思うので、今後出てきた SS の一部に関しては、粒度分析を実施する。

○質問

実際に濁度を形成している粒度があれば、どの程度どういう施設で採れるかという予測がつくと思うので、ぜひお願いしたい。それと、木炭により小さい成分の捕捉効果があるのではないかという指摘について、この辺は実際に実証的に確認できればいいが、残された期間も非常に短いので、かなり定性的になるが、実験室的に、例えば濁度成分がある水を自然浸透で木炭の中に、木炭層がある上に水を入れて浸透させてみて、どれぐらい捕捉できるかを場合によっては検討したほうがいいと思うので、一応提案だけさせていただく。

○回答

今の指摘について、室内実験で、条件を整えつつ、そのような成果が出るように努力する。

○質問

対象施設の濁度を除去する効果というのは、説明のとおりだが、木炭自体が吸着する能力と、木炭を入れたカートリッジの隙間の部分が捕捉するものと 2 つに大きく分けられるというのは、まさにそのとおりだと思う。

実際に今、実験で木炭自体が吸着するものの効果というか能力のようなものを将来的には測られるという説明だったが、例えば、木炭の空隙は大ざっぱに評価できると思う。

その木炭の内部にある空隙に、細かいものを吸着したとき、どの程度の量になるかというのを見積もるだけでもいいと思う。空隙が完全に、実際には空隙が一時的に捉えたものを吐き出したりすることもあるかもしれないが、まずは第一段階として、量的にどのぐらい微細な成分を捉えることができるのか。それが例えば 1 年で埋まったとすると、1 出水当たりどのぐらい微細な成分を捕捉できるのかというようなものを大ざっぱでいいので出してみると、木炭のどちらの機能に期待したらいいのかが見えてくると思う。

○回答

この木炭の中の無機物の吸着量に関しては、絶乾重量の状態から計測して、強熱減量して残った有機物、その差が木炭に対する無機物の捕捉量であるという、おおむねの見積もりを評価できるようにしておく。

○質問

実験をしなくても、例えば木炭の密度のようなものから空隙の量というのが概算できると思うので、それで出してもいいかなとは思う。ただ、砂中に空隙があったから、そこは完全に無機物で充填されてとはならないと思うので、燃焼実験などをするのが妥当なのかと思うが、できる範囲で概算してもらえると次年度につながると思う。

(4) 濁水対策の効果検証

(5) 今後のスケジュール

【BOD の測定について】

○質問

BOD の測定について、野外実験なので、BOD について普通はあまり高くないはずだが、高くないとすれば、BOD の低減評価をできるかとの考えがある。BOD の調査自体は、どうしてもしなければいけ

ないのか。それとも、あまり計測効果がなければ取りやめてもいいのか教えてほしい。

○回答

現場で BOD 負荷をかけるわけにはいかず方向性を検討しているところで、具体的に言うと木炭の交換頻度である。木炭自体の新品は今まで発注者との協議の中で、総量の半分は新品に換えるということで調整しているが、その中で、粒径に対して評価するか。それとも、生物膜に期待して評価するかというときに、水温の低下もあって BOD の成果が出ない可能性も高いと思っている。見合わせできるかどうか分からないが、できれば BOD もとっておくべきだとは思いますが、それほど評価に対する成果がでないと思っていた。これも委員にご指導いただきたい。

○質問

もともと BOD が問題になるのは多分こういう山地溪流ではなくて、生活排水が流れ込む溪流や、長期間湛水する湖沼やダムなどの問題なので、普通治山事業で対応するようなところで BOD が問題になるところは少ないと思う。少なくともここで実証的にやろうとしても少し無理があるのではないかと感じている。一応確認で観測するのはいいと思うが、効果を論ずる主眼は、やはり細粒土砂の濁度や粒度分析も含めて、そういうところに集中したほうがいいと思う。

○回答

もともと BOD の計測は、昨年度の委員会の議論の取りまとめの結果、BOD も測るべきだという流れになっており、そのときは8月の渇水期の飲み水に対応するということで、BOD は木炭のこともあり、必要という観点だった。結果として12月、1月、2月の比較的流量が多い状況の水温が低い段階なので、計測するタイミングとしてはより成果が出づらくなっているのではないかというのが、事務局の印象。

○質問

項目的には一応確認のために計測したほうがいいと思うが、主たる問題ではないかと思うので、本当にきちんとやるとすれば、BOD だけではなくて、溶存物質の有機物や無機物なども調べないと、論ぜないと思う。実際の効果は濁りのほうに着目したほうがいいと思う。

また、先ほどの水位を下げて観測するというのは、これは当然のことである。調査地のような施設は正直言うと、設計的な観点からすると不適切な施設だと個人的には思っている。本来であれば、木炭などを使うとすれば、洪水がそのまま通過するようなところに幾ら入れても、結局、洪水の沈殿物質で覆われてしまって、本来の木炭の効果は発揮できないと思う。施設から見るとあまり適切な施設とは言えないので、最後のまとめのときには、そういうことも論じてもらいたい。

従って効果をはかるときも、上を水がたくさん通過しているところをはかっても、効果があつたとしても薄まってしまうだろうと思うので、上のほうを通過する水をほとんどなくして測るのがいいと思う。

ただ、もともとこの場所は渇水期の水の問題と聞いているので、そういう点を検証する意味からすると、少なくとも夏の渇水期ぐらいの状態の流量のときはBODを一度測っておいたほうがいいのではないかと思うので検討してほしい。

8.3. 第3回検討委員会議事概要

令和4年3月7日(水)

令和3年度 山地保全調査(濁水対策手法の検討に係る調査)

第3回検討委員会

(1) 調査地概要等

特段の意見なし

(2) 第2回検討委員会での議論の整理

【森林整備の在り方】

○質問

森林整備の在り方については現在の事務局の考えということで示されているが、最終的な成果としてはここまでまとめることになるのか。

○回答

仕様書には、今後の治山事業における濁水対策の在り方という項目があり、報告書にまとめたいと思っている。発注者とは十分に議論できていないが、資料の最後のページに事務局の意見をまとめているので、ご指導をお願いしたい。

(3) 現地調査結果

【上流部の粒度分析】

○質問

上流の粒度分布を調べると腐植がけっこう入っているという話だったが、分析する時には落葉・落枝の大きなものは除き、黒色の土砂も含めて粒度分析したということか。

○回答

そのとおりである。

【VSS 試験】

○質問

VSS 試験の説明について、対象は採水したものだけなのか、それとも粒度分析したものも試験するのか。腐植が入っていると思われるものを試験して確認することなのか、これ以上の判断は難しいということなのか。

○回答

契約の話になるが、外部委託をしている検査機関に出す量として10サンプルを検討している。それはすでに検査機関にSSの算定の時に出したろ紙をVSS試験のために保存しており、SS試験を適用したもののうちVSS試験を適用する予定が10カ所ということである。それ以外にも当協会が必要に応じてサンプルを採取してVSS試験をすることは可能。今回の上流部のサンプルも半分は冷蔵庫にストックしているので、粒度分布の結果を見て有機物と無機物の関係を協会内で実施することも可能。

○質問

契約の期間や内容のこともあるので無理なお願いはできないが、現場のサンプルを有機物と無機物に分けることができれば、粒度分布で山が2つあることについて多少とも分かるところがあるかもしれないと思う。可能な範囲で、試験をしてほしい。

○意見

Q-SSの関係での整理は実施した方がいい。

【今後の観測について】

○質問

観測はもう中止しているのか。

○回答

自動採水器はリースで設置しており、その契約期間は2月末である。本来はそれまでに返却しなければならないが、融雪のデータを取りたいという話をしたところ、3月中に返却ということで、現在も12時間に1回の採水をしている。その設定を3日前にして、あと今後12日間データ取得できる状態。

ただ、分析には1カ月くらいかかるので、結果は4月に出ることになる。濁水が採水出来た場合の取り扱いについて検討中である。2月末に融雪を想定して対応していたが取得できずタイマートリガーをかけている状況である。担当としては、融雪状況の確認を定点カメラ観測しているので、濁水発生日まで稼動するように設定している。

○質問

水位でトリガーをかけていた時には、短期流出が見られるところはいいと思うが、タイマーで12時間おきに取ることもそれなりに重要である。流量に対してSSがどうなっているかを見る上では重要だと思うが、逆に言うと、タイマートリガーになるとどういう時に当たるか分からないということと、急に雨が降ってくることを考えると、同じ流量でも増加期と下降期ではSSが違う可能性があるということだと思うので、ある程度のデータ数がないと何も言えなくなる。工期のこともあるが、できるだけデータを取ると、データの質的な向上につながると思う。優先順位を考えながら、できるだけ多くのデータを取得できるよう努力してほしい。

【採水ポイントについて】

○質問

上流の採水ポイントはどこか。

○回答

当初は、コンクリート谷止工の堆砂敷の上流部で堆砂敷の影響がなくなる滝で取得している。12月20日にタイマートリガーにした時点で、水質保全施設の鋼製枠と浄化カートリッジに絞り、上流の採水地点を1月11日に上流沈砂池の止水壁上に変更している。なお、下流の採水点は取水柵に設置した三角ノッチの手前にある。

○質問

設置位置に関しては問題ない。今回のグラフを見ると、出水の初期に上流と下流で濁度に差があるが、ピークを過ぎて低減していく時に上流と下流の濁度はあまり差がみられない。これはどういうことなのか。上流側から流れてくる濁度を含んだ成分が素通りしているということなのか。

○回答

明確な理由について今はわからない。

【濁度の測定について】

○質問

粒度分布が出水のピーク前と後で違うことが気になっている。サンプラーで水を取って濁度を測っているということはサンプラーとともに中の土も取っているということになるが、そのデータはないのか。グラフとして濁度のデータが掲載されているが、それは濁度計で測った値ではないと思うがいかがか。

○回答

現場ではなく、サンプラーの中の水を分析機関に送ってその濁度計で計測している。

○質問

濁度を取得したサンプルはもう残っていないのか。

○回答

サンプルの水の中に含まれている濁質に反応して濁度が出てくると思うが、減水時に上下流が同じになっているのはSSで、この段階では濁度は見ていない。

【SSの粒度分析について】

○質問

SSはどう測定しているか。

○回答

分析機関にサンプルを送って、ろ紙の中の重量を計測している。

○質問

具体的にろ紙に残ったものの粒径のデータは残っていないのか。重さのデータだけなのか。

○回答

重さのデータのみである。ただ、試験機関にはろ紙の上に載ったサンプルがストックされている。

○質問

例えば11月22日の1サンプル目はSSの差が大きいので、その時の上流と下流の粒度分布の違いを調べることは可能か。

○回答

粒度分布に関しては、ろ紙の上にあるもので調べられるかどうかは悩ましい。ろ紙上に乾燥状態で分析機関に保管されているので、VSS試験は可能。粒度分布が違うということは有機物と無機物と考えられるが、今の段階で調べるのが可能なのは、ろ紙の上のサンプルのVSS試験と考えている。

○質問

承知した。減水期には両者がきれいに一致するので、おそらく洪水の前と後では質が違っていて、減水期には細かいものしか流れていないので、施設を素通りし差が出ないと想像する。実際どうなっているのか、既にあるデータで考察できるようであればお願いしたい。

○質問

機能回復前の施設では、フィルターに相当するところに水が流れず、空隙だけを流れる状態になっていたと考える。ただし、水が溜まっているところで沈めて捕捉する効果だけは少し残っていて、イベントの最初と後で成分が少し違っている。最初は沈める効果で分級されるようなものが多くて、後半には細かいものだけフィルターを通らずに空隙を流れているのではないかと想像する。

【SS数値の差による粒径の違いについて】

○質問【スライド32ページ】

P.32もそうだが、SSが高いと粒径が大きく、SSが低いと粒径は小さいということか。上流と下流の違いは有機物が混じっているかどうかであり、粒径と有機物のためにこのようなずれが出ているのか。

○回答

下流と上流の違いについては、もう少し解析が必要と思う。粒径の違いなのか、質の違いなのか、あるいは降水イベントの違いなのかを詳しく見て、なぜこの2つが明確に分かれているか確認する。

【治山施設の役割の明確化と今後の検討項目について】

○質問【スライド49ページ以降】

施設に対応する流量を明確に分ける必要がある。災害を起こすような大きな洪水など大規模に土砂が動く時には浮遊砂が生じて水が濁るが、そのような大規模な洪水流に対して小さな施設で沈降させるといったことは無理な話である。斜面から細粒分の流入や、河床の掘り起こしなどから浮遊砂が発生するという場合には森林整備あるいは山腹工、あるいは溪間工等によって発生源対策をやらざるを得ないと思う。

一方で今回の施設のデータを見ると、流量がそれほど上がらなくても年に何回か濁度が高くなっているということで、そういう事象に対して何かの施設を入れるという対策は当然あると思うので、まずその切り分けをはっきりしておかないといけない。どのくらいの粒径を沈降させるためにどのくらいの滞留時間が必要かということは計算すれば分かるが、常に十分なキャパシティを持つプールを造るわけにはいかないの、まずそこを分ける必要がある。

それから、今回のデータでも比較的粒径の大きいものは沈降しているようだが、細粒分については

透過してしまうので、過大な要求をしてしまうと大変なことになってしまう。どういう問題で困っているのか。水道が濁ってしまうということであれば、何年に1回かの洪水の際には取水を止めればいいので、使う側としてもそういうことまで何とかしろと言っているわけではないと思う。用途によって対応を考える必要がある。

また、説明内容の分水する話については、それが当たり前であると思う。例えば今回の木炭に効果があってそれを投入するとしても、一般的な水道施設や取水施設であれば、使う水に対してやればいいのかであって全水をやる必要はないが、その維持管理を治山予算ではできないと思う。治山で対応できるとしたら取水施設をつくることや、それを保護する程度。この点は検討してほしい。

5.閉会