

三波石峡への土砂供給試験及び モニタリング調査結果の概要

平成16年12月

独立行政法人水資源機構
下久保ダム管理所

目 次

1. はじめに	1
2. 土砂供給試験の目的及び環境改善目標	
2.1 土砂供給試験の目標設定	2
2.2 写真の収集・分析	2
2.3 三波石峡の景観変化を憂う地域の声	4
2.4 環境改善目標	4
3. 土砂供給試験	
3.1 土砂供給方法	5
3.2 土砂供給の経過と実績	6
4. モニタリング調査	
4.1 モニタリング調査項目と調査地点の設定	7
4.2 モニタリング調査結果	8
4.2.1 河川横断測量	8
4.2.2 河岸植生調査（コドラート調査）	9
4.2.3 景観調査	10
4.2.4 粒度分布調査	13
4.2.5 付着藻類調査	14
4.2.6 ヘリコプターによる空中写真撮影と分析	15
5. 環境改善目標の到達点と考察	16
5.1 河川横断測量	16
5.2 河岸植生	16
5.3 景観	16
5.4 粒度分布	16
5.5 付着藻類	17
5.6 ダム放流量と土砂流下量との関係	17
6. 学識者、地域住民からの意見	17
7. おわりに	17

1. はじめに

下久保ダム直下流約1.5kmは、国の名勝及び天然記念物に指定されている名高い景勝地「三波石峡」である。この区間は、ダム運用による発電バイパス放流のため無水区間となったことに加え、土砂供給が遮断され河床低下が生じるなど著しく景観が悪化した。

これまで地域住民は「地域の宝 三波石峡」を守るため除草作業や環境美化活動（石磨き）を行ってきたが、決定的な環境改善効果は得られておらず、地域住民からは景観悪化を憂う声が寄せられてきた。このような地域の声を受けて水環境改善事業が実施され平成13年7月に完成、ダム直下から0.323m³/sの維持流量放流を開始し無水区間が解消した。

さらに、これに加えて河原の再生やクレンジング効果により三波石峡の景観復元を目指そうと、平成15年度から土砂供給試験を開始し、また、その効果を定量的に評価すべくモニタリング調査を実施している。

本報告書は、平成16年度までに実施した三波石峡への土砂供給試験結果及びモニタリング調査結果の概要をとりまとめたものである。



写真-1

流水と砂利が遮断され、河原が消滅、植物が繁茂し、三波石が黒ずんでいる（H9.11撮影）



写真-2

砂利の堆積やクレンジング効果により、河川環境が着実に回復しつつある（H16.5撮影）

2. 土砂供給試験の目的及び環境改善目標

2.1 土砂供給試験の目標設定

土砂供給試験は、三波石峡の景観変化を憂う地域の声に応え、三波石峡の景観を改善させるために実施するものである。

この試験は、ダム建設以前の景観を復元を到達目標の原則とする。

しかしながら、下久保ダム建設以前の河川環境に関する調査データは極めて乏しい。そこで、ダム建設前後の写真を収集するとともに、三波石峡の景観変化を憂う地域の声と合わせて環境改善目標を設定する。

2.2 写真の収集・分析



写真-3 三波石峡上流（ダム建設前）

写真-3は下久保ダムダム建設前の三波石峡（上流部）の写真である。

これを見ると、あみだ石上流部の三波石峡は、河原が明確で散策できる状態となっていたことが判る。

下久保ダム完成後35年を経過した現在では、出水時に砂利が洗い流されて河床が低下し河原が消滅しており、河道内を散策することができない状態となっている。

写真-4、5、写真-6、7は、下久保ダム完成前と完成後30年余が経過様子をほぼ同一地点からみた写真である。

これも同様に、ダム上流からの河床材料の補給が遮断され、河原が消滅し河床が低下している様子が見て取れる。

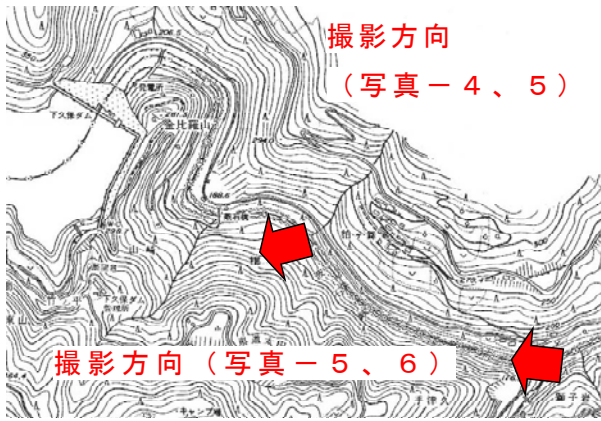


写真-6、7は、登仙橋から上流を見た写真であるが、○印の箇所を比較すると、ダム建設運用による河床低下量を把握することができる。(図示)

これらの写真を参考に、三波石峡の環境改善目標(河原の再現目標量)とする。



写真-4 三波石峡中流 (ダム建設前)



写真-5 三波石峡中流 (河床低下の様子)



写真-6 三波石峡下流 (ダム建設直後)



写真-7 三波石峡下流 (河床低下の様子)

2.3 三波石峡の景観変化を憂う地域の声

下久保ダム下流の地域からは、三波石峡の景観の変化を憂う声が寄せられてきた。

このうち、「水が流れない」と「淵が澱んだ」については、水環境改善事業の効果により解消されているため、その他の景観に関する項目を抽出して要因と現象を分析し、対策案をとりまとめた。

このうち、「石が黒くなった」「ノロが付いた」「河原が歩けない」「藻が生えた」については、土砂供給試験により何らかの改善対策効果があるものと考えられる。

地域の声	影響・障害	要因	現象	対策案
水が流れない	景観障害、水生生物の減少	発電によるバイパス放流	無水区間の発生	維持流量放流（対策済）
淵が澱んだ	景観障害、滞留水の水質悪化	発電によるバイパス放流	無水区間における滞留	維持流量放流（対策済）
雑草が繁茂した	河岸植生の繁茂による景観障害	洪水調節小規模出水の貯留	健全な攪乱機会の減少	土砂供給及びフラッシュ放流による河岸植生の攪乱
石が黒くなった	三波石表面の見栄えが悪化	土砂供給の遮断	流水によるクレンジング効率の減少	土砂供給によるクレンジング効率の向上
ノロが付いた	シルトの付着・乾燥による景観障害	濁水放流の長期化	ウオッシュロードを含む飛沫の乾燥	土砂供給によるクレンジング効率の向上 濁水現象の解明と対策
河原が歩けない	河原の消滅、景観障害	土砂供給の遮断	河床材料の粗粒化 河原の消滅	土砂供給による河原の再生
藻が生えた	川底の色の悪化、景観障害	一定流量の放流	特定の藻類が優先し大型群体を形成 付着藻類の更新サイクルの減少	土砂供給及びフラッシュ放流による攪乱及び藻類の更新。

表-1 三波石峡の景観変化に対する地域の声と要因及び現象の分析

2.4 環境改善目標

以上の検討結果から、次表のとおり環境改善目標を設定した。

	地域の声	環境改善目標
①	河床が低下した	河床をダム建設前の高さ（写真判読）まで回復し維持させる
②	雑草が繁茂した	健全な攪乱により河岸植生を抑制させる
③	石が黒くなった	クレンジング効果により石に輝きを取り戻す
④	ノロが付いた	クレンジング効果により石に輝きを取り戻す
⑤	河原が歩けない	河原に細粒分を供給し、散策できるようにする。
⑥	藻が生えた	健全な攪乱により付着藻類を定期的に更新させ、大型群体を形成させない

表-2 土砂供給試験の環境改善目標

3. 土砂供給試験

3.1 土砂供給方法

この取り組みは、ダム建設前の景観の復元を目標としていることから、より自然に近い状態で土砂を流下させることが肝要である。ダムが設置されなければ下流に流下していたと考えられる河床材料を貯砂ダムにて採取し、ダム直下流に運搬し投入・存置させ、存置させた土砂がダム放流時に自然流下により供給させるものとする。



図-1 土砂供給方法

3.2 土砂供給の経過と実績

第1回目（平成15年7月16日投入）は、平成15年7月の前線による出水に伴うゲート放流（平成15年7月26日夜半から最大放流量約100m³/s＝約5時間）により、約1,000m³の土砂が流下した。

第2回目（平成15年10月22日投入）は、平成16年台風22号の出水に伴うゲート放流（平成16年10月10日～10月15日、最大放流量約40m³/s＝約9時間）により、約200m³の土砂が流下した。

その後、平成16年台風23号の出水に伴うゲート放流（平成16年10月19日～10月26日、最大放流量約300m³/s＝約2時間）により、前回の放流時に残存していた約800m³の土砂が流下した。

	年月日	存置土砂量	放流要因	最大放流量×時間	流下土砂量
投入	H15. 7. 16	1,000m ³			
流下	H15. 7. 26		前線	約100m ³ /s × 5時間	約1,000m ³
投入	H15. 10. 22	1,000m ³			
流下	H16. 10. 10～15		台風22号	約 40m ³ /s × 9時間	約 200m ³
流下	H16. 10. 19～26		台風23号	約300m ³ /s × 2時間	約 800m ³

表-3 土砂流下実績



写真-8 土砂流下状況 H16. 10. 11
(放流量＝約40m³/s)



写真-9 土砂流下状況 H16. 10. 20
(放流量＝約100m³/s)

4. モニタリング調査

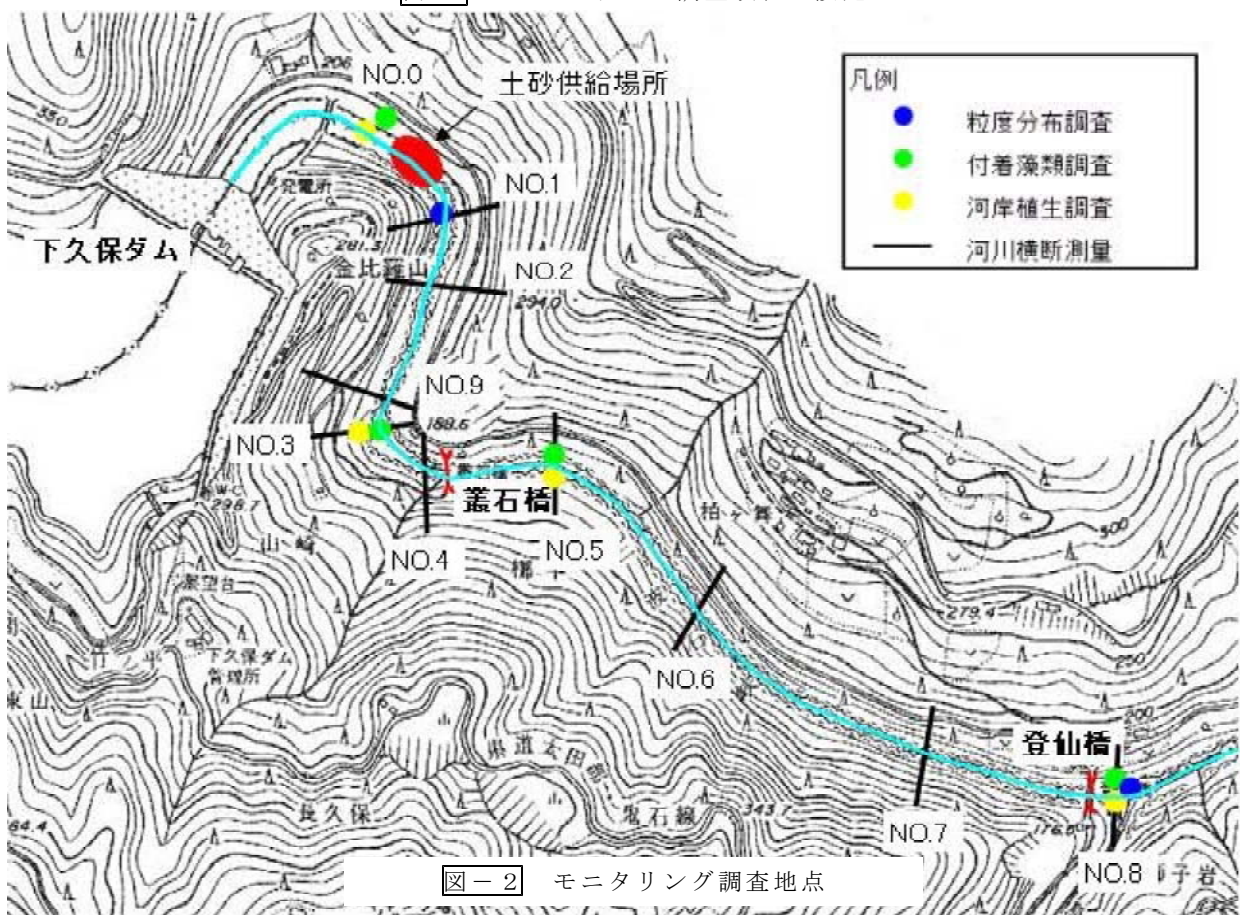
4.1 モニタリング調査項目と調査地点の設定

モニタリング調査は、2.4で設定した環境改善目標を検証するために実施する。

したがって、地域の声と環境改善目標に対応する調査項目を設定するものとする。

地域の声	改善目標	調査目的	調査項目、方法	地点
①河床が低下した	河床をダム建設前の高さ（写真判読）まで回復し維持させる	河床低下に対する効果を経年的に捉える	河川横断測量	9
②雑草が繁茂した	健全な攪乱により河岸植生を抑制させる	陸域の景観に影響する河岸植生の攪乱、経年変化を捉える	河岸植生調査 (コドロード調査)	4
③石が黒くなった ④ノロが付いた	クレンジング効果により石に輝きを取り戻す	景勝地としての景観及びクレンジング効果を視覚的に捉える	景観調査 (主な眺望点からの写真撮影)	全域
⑤河原が歩けない	河原に細粒分を供給し、散策できるようにする。	河床材料の粒度構成の変化を捉える	粒度分布調査 (JISA1204)	2
⑥藻が生えた	健全な攪乱により付着藻類を定期的に更新させ、大型群体を形成させない	水域の景観に影響する付着藻類の経年変化を捉える	付着藻類調査 (コドロード調査)	4
	空中写真撮影及び分析	河床の形態（滞筋、河原）と河岸植生の植被状況の変化を捉える	ヘリコプターによる空中真撮影	全域

表-4 モニタリング調査項目の設定



4.2 モニタリング調査結果

4.2.1 河川横断測量

H15.6（土砂流下前）とH16.6（土砂流下後）の調査結果を比較すると、全地点において河床の変化（堆積、洗掘）が認められた。

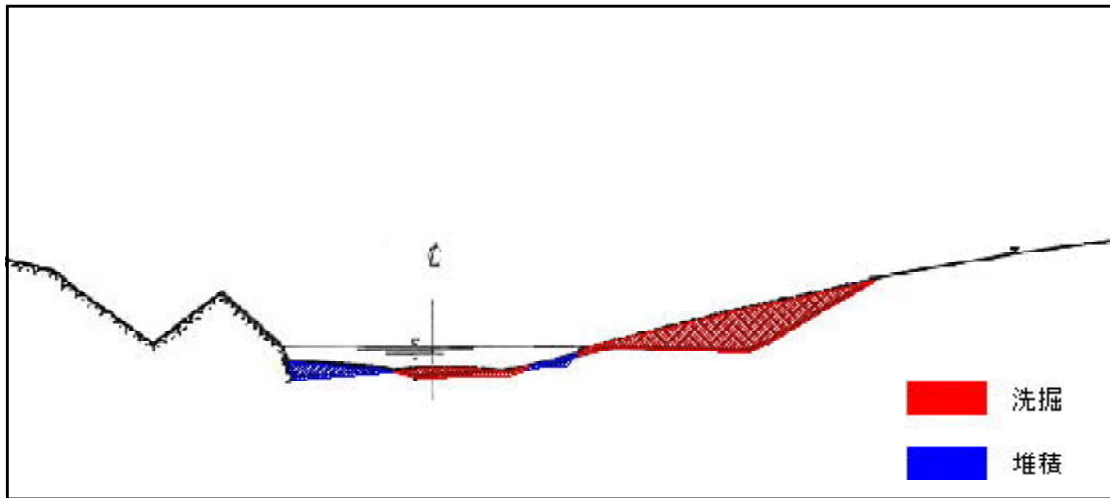


図-3 河川横断図（NO.1測線）

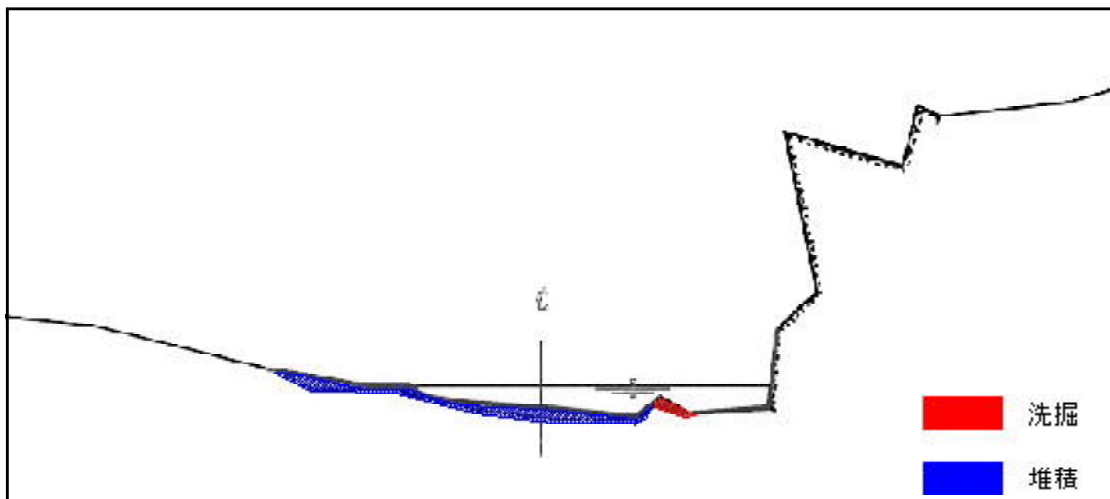


図-4 河川横断図（NO.4測線）

単位 m^2

測線	河川状況	堆積	洗掘	変化量
NO.1	瀬	0.59	4.05	- 3.46
NO.2	淵	1.22	0.57	0.65
NO.3	瀬	0.43	0.44	- 0.01
NO.4	瀬	1.40	0.15	1.25
NO.5	淵	0.46	0.05	0.41
NO.6	瀬	0.65	0.05	0.60
NO.7	淵	1.69	1.17	0.52
NO.8	瀬	0.91	0.39	0.52
NO.9	瀬	0.16	0.36	- 0.20

表-5 横断面の変化量

4.2.2 河岸植生調査（コドラート調査）

H15.6（土砂流下前）とH15.8（土砂流下直後）の調査結果と比較すると、植物の植被率や被度・群度の低下が認められており、一定の攪乱が認められる。

しかし、H15.6（土砂流下前）とH16.6（土砂流下後）の調査結果を比較すると、植被率や被度・群度に顕著な変化は見られない。これは、攪乱後に植生が回復したためと考えられる。



植生調査状況

St.0 ウシハコベ群落		
調査日 平成16年6月18日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	～ m	%
草本第1層 (H1)	0.3～1.0m	5%
草本第2層 (H2)	0～0.3m	80%
階層	被度・群度	種名
H1	+	カモジグサ
H2	5・5	ウシハコベ
H2	1・1	アレチギシギシ
H2	+	ヒメジョオン
H2	+	キツネノボタン
H2	+	オオイヌタデ

上流NO.3 オノエヤナギ群落		
調査日 平成15年6月20日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0.2～1.5m	85%
草本第1層 (H1)	0～0.2m	1%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	5・5	オノエヤナギ
S	+	ヨモギ
S	+	ノイバラ
H1	+	ボタンヅル

上流NO.3 オノエヤナギ群落		
調査日 平成15年8月29日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0.5～1.5m	70%
草本第1層 (H1)	0～0.5m	1%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	4・4	オノエヤナギ
S	+	ヨモギ
H1	+	ボタンヅル
H1	+	ヤイトバナ

上流NO.3オノエヤナギ群落		
調査日 平成16年6月18日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0～1.7m	100%
草本第1層 (H1)	～ m	1%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	5・5	オノエヤナギ
S	+	ヨモギ
S	+	ボタンヅル

中流NO.5 ツルヨシ・オノエヤナギ群落		
調査日 平成15年6月20日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0～2.0m	90%
草本第1層 (H1)	～ m	%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	3・3	ツルヨシ
S	3・3	オノエヤナギ
S	2・2	ノイバラ
S	1・1	ヤイトバナ

中流NO.5 ツルヨシ・オノエヤナギ群落		
調査日 平成15年8月29日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0～2.2m	70%
草本第1層 (H1)	～ m	%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	3・3	ツルヨシ
S	2・2	オノエヤナギ
S	+・2	ノイバラ
S	+	ヤイトバナ

中流NO.5 ツルヨシ・オノエヤナギ群落		
調査日 平成16年6月18日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	0～2.2m	100%
草本第1層 (H1)	～ m	%
草本第2層 (H2)	～ m	%
階層	被度・群度	種名
S	3・3	ツルヨシ
S	3・3	オノエヤナギ
S	2・2	ノイバラ
S	1・1	ヤイトバナ

下流NO.8 ツルヨシ群落		
調査日 平成15年6月20日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	～ m	%
草本第1層 (H1)	0.8～2.0m	100%
草本第2層 (H2)	0～0.8m	30%
階層	被度・群度	種名
H1	5・5	ツルヨシ
H1	+	ヤブガラシ
H2	3・3	ノイバラ
H2	+	ヨモギ
H2	+	タチツボスミレ
H2	+	ヤブガラシ
H2	+	フジ
H2	+	ニガナ
H2	+	イヌガラシ

下流NO.8 ツルヨシ群落		
調査日 平成15年8月29日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	～ m	%
草本第1層 (H1)	0.8～1.6m	40%
草本第2層 (H2)	0～0.8m	10%
階層	被度・群度	種名
H1	4・4	ツルヨシ
H2	1・1	ノイバラ
H2	+	ヨモギ
H2	+	タチツボスミレ
H2	+	ヤブガラシ
H2	+	フジ
H2	+	ニガナ

下流NO.8 ツルヨシ群落		
調査日 平成16年6月18日		
階層	高さ	植被率
低木層 (S)	～ m	%
草本第1層 (H1)	0.5～1.5m	100%
草本第2層 (H2)	0～0.5m	1%
階層	被度・群度	種名
H1	5・5	ツルヨシ
H1	+	カキドオシ
H1	+	ボタンヅル
H2	+	ヨモギ
H2	+	タチツボスミレ
H2	+	ヤブガラシ

表－5 河岸植生調査結果

4.2.3 景観調査

(1) 河原の再生

H15.6（土砂流下前）とH16.6（土砂流下後）を比較すると、主に叢石橋上流に土砂の堆積が多く見られ、叢石橋より下流では土砂の堆積はほとんど見られなかった。

H16.11（第2回土砂流下後）の調査結果では、叢石橋上流に堆積していた砂州が消滅し、叢石橋下流に大規模な砂州が出現した。

これは、ダムからの最大放流量と時間による掃流力の違いと考えられる。



写真-10 叢石橋上流 H15.5撮影

土砂流下前の状況



写真-11 叢石橋上流 H16.6撮影

平成15年7月の土砂流下により砂州が出現



写真-12 叢石橋上流 H16.6撮影

平成16年10月の土砂流下時に砂州が消滅

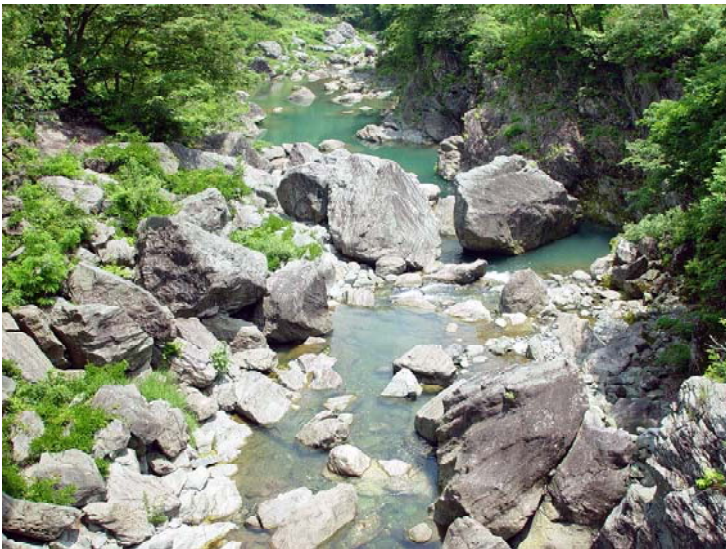


写真-13 叢石橋下流 H15.5撮影

土砂流下前の状況



写真-14 叢石橋下流 H16.6撮影

平成15年7月の土砂流下により砂州が出現（青）



写真-15 叢石橋下流 H16.11撮影

平成16年10月の土砂流下時に砂州が消滅（赤）

平成16年10月の土砂流下時に大規模な砂州が出現（青）

4.2.4 粒度分布調査

投入土砂の粒度分布を改善目標の目安（黒ライン）とし、河床材料の粒度構成の変化を捉えた。

H15.6（土砂流下前）の試験結果では、上下流の両地点ともに粗礫、中礫、細礫がほとんどであり、粗砂から粘土がほとんど見られない。これは、ダム設置により上流からの河床材料の供給が遮断され、出水時に細粒分が流出し礫が残存したためと考えられる。

これに対しH16.6（土砂流下後）の試験結果では、細礫や粗砂の占める割合の増加が認められることから、土砂流下の効果により自然状態に回復しつつあるものと考えられる。

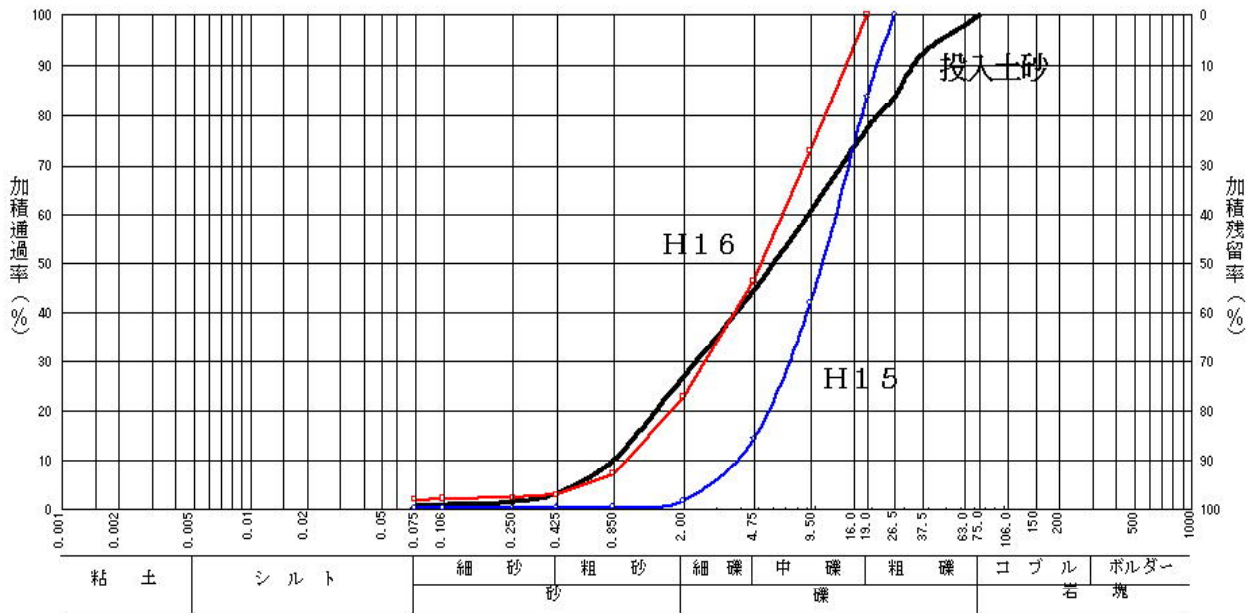


図 - 5 粒径加積曲線（上流）地点

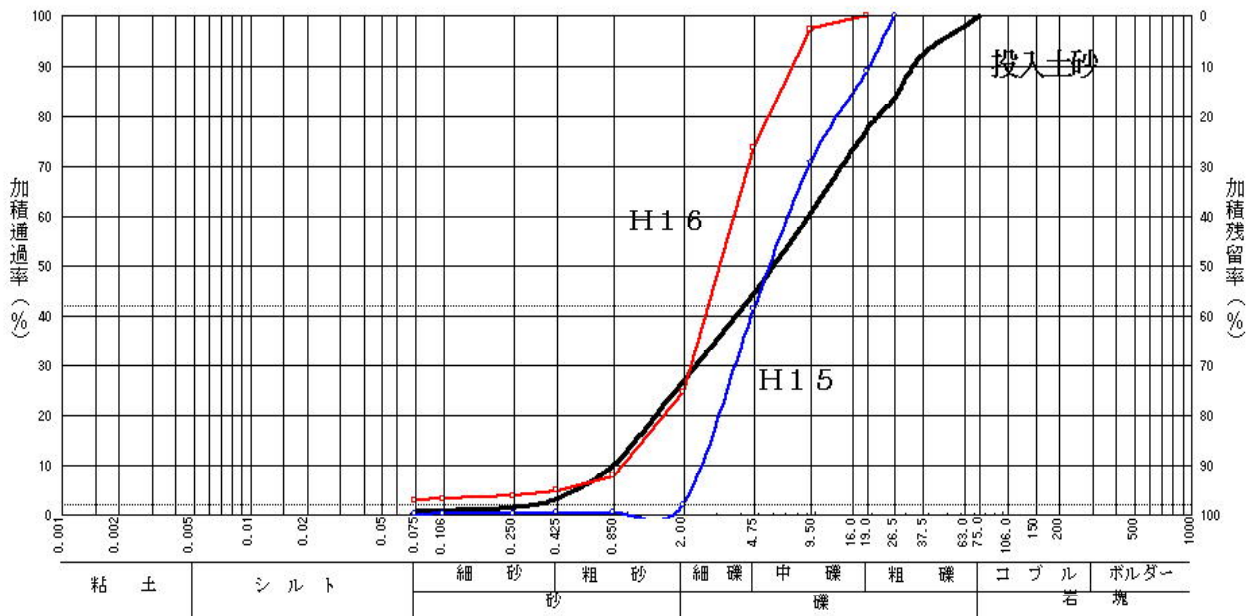


図 - 6 粒径加積曲線（下流）地点

(2) クレンジング効果

土砂供給により流水に砂礫を混入させたため、クレンジング効果によって銘石が磨かれて輝きを取り戻した。流水が直接ぶつかる石の上流側よりも、不規則な渦を巻く石の下流側や凹部の方がクレンジング効果が大きい。

これは、石の下流側や凹部では不規則な流れにより何度も砂礫が巻き込まれてぶつかり磨かれたものと考えられる。

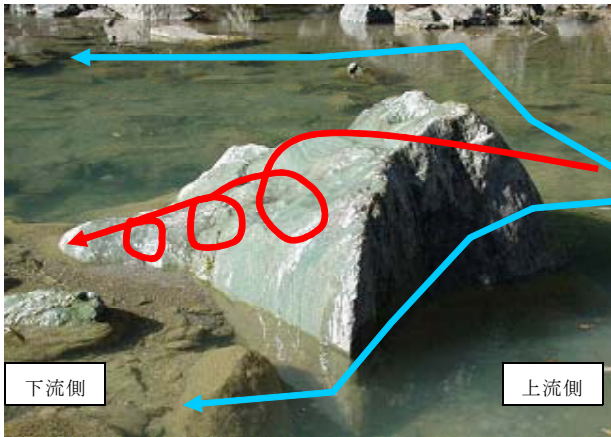


写真-16 クレンジング作用のイメージ



写真-17 凹部のクレンジング状況

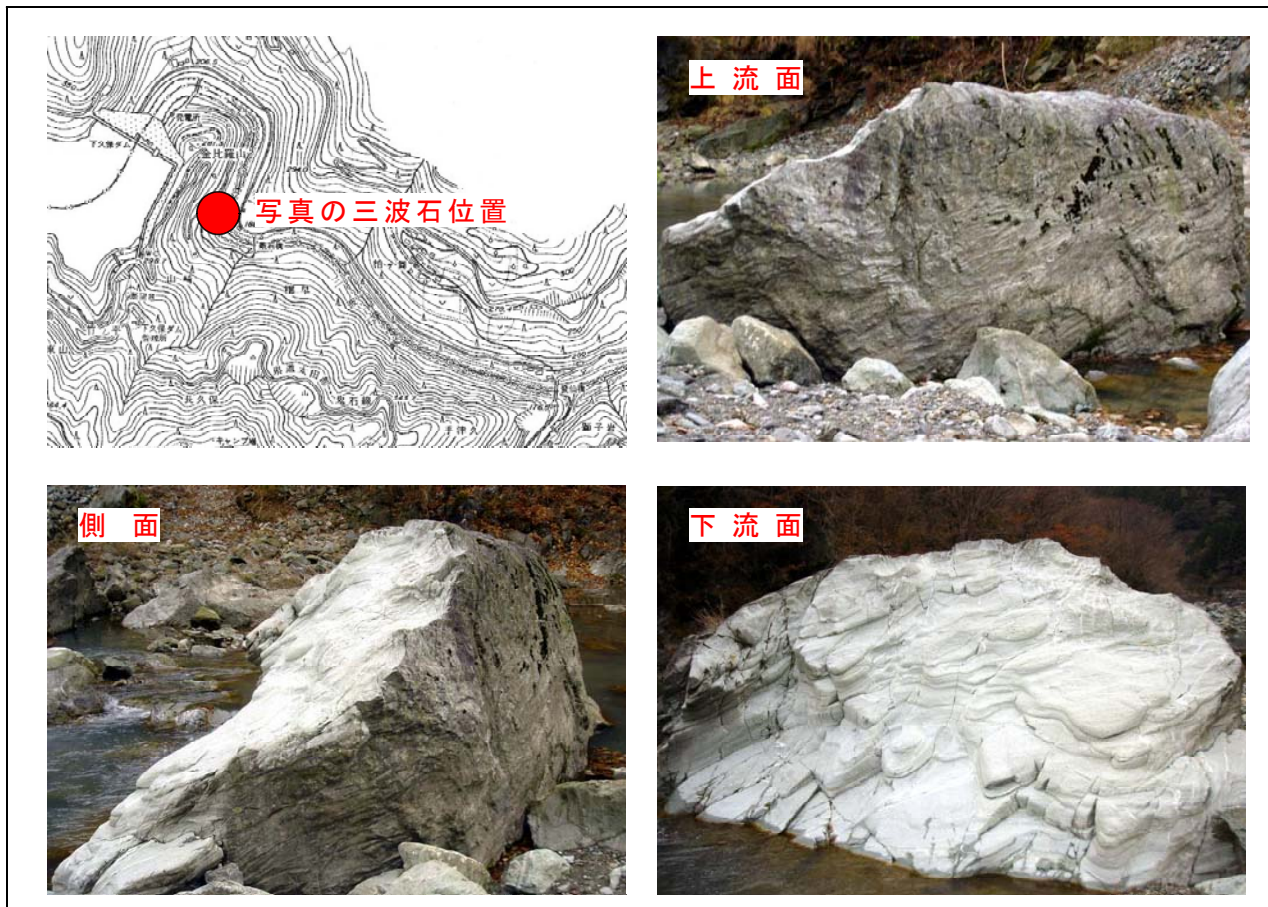


写真-18 三波石のクレンジング状況（上下流面の比較）

4.2.5 付着藻類調査

H15.6（土砂流下前）とH15.8（土砂流下直後）に実施した調査結果を比較すると、中流及び下流地点で細胞数の減少や大型群体が消滅するなど付着藻類の剥離・更新効果が認められた。

H15.6（土砂流下前）とH16.6（土砂流下後）に実施した調査結果を比較すると、全地点で細胞数の減少し、上流及び下流地点で大型群体が消滅していた。

また、H15.8（土砂流下直後）とH16.6（土砂流下後）を比較すると、付着藻類の生長、回復が認められた。



写真 - 19 付着藻類調査状況

景観障害の要因の一つである付着藻類の大型群体の剥離・更新には、付着藻類の生長サイクルを考慮しつつ、定期的なダムのフラッシュ操作による土砂流下の実施が必要と思われる。

	平成15年6月20日 (土砂掃流前)	平成15年8月29日 (土砂掃流直後)	平成16年6月18日 (土砂流下後)
上流No.3 (瀬)	21種 1,079細胞/mm ² <珪藻綱>(9割) <緑藻綱>(1割) この他、大型 群体が認められる。)	38種 20,714細胞/mm ² <珪藻綱>(9割) <緑藻綱>(1割)	14種 1,012細胞/mm ² <珪藻綱>(10割)
中流No.5 (淵)	30種 15,713細胞/mm ² <珪藻綱>(8割) <緑藻綱>(2割) この他、大型 群体が認められる	29種 981細胞/mm ² <珪藻綱>(9割) <緑藻綱>(1割)	30種 3,109細胞/mm ² <珪藻綱>(8割) <緑藻綱>(2割) この他 大型群体が認められる。
下流No.8 (瀬)	27種 7,778細胞/mm ² <珪藻綱>(8割) <藍藻綱>(1割) <緑藻綱>(1割) この他、大型 群体が認められる。	21種 847細胞/mm ² <珪藻綱>(10割) <緑藻綱>(0割) この他、大型 群体が認められる。	21種 2,449細胞/mm ² <珪藻綱>(10割)

表 - 6 付着藻類調査結果

4.2.6 ヘリコプターによる空中写真撮影と分析

みお筋や河原の再生状況、河岸植生の経年変化を捉えるため、平成16年度から調査を実施している。



1. 環境改善目標の到達点と考察

今年度までの到達点を次表のとおりとりまとめた。

環境改善目標	今年度までの到達点	今後の課題
河床をダム建設前の高さ（写真判読）まで回復し維持させる	一部に河床の回復が認められる	ダム放流規模と放流継続時間に応じた土砂の供給
健全な攪乱により河岸植生を抑制させる	攪乱効果は認められるが、抑制までには至っていない	ダムの弾力的運用（フラッシュ操作）による攪乱回数の増加
クレンジング効果により石に輝きを取り戻す	下流面や凹部でのクレンジング効果が確認された	上流面のクレンジング
河原に細粒分を供給し、散策できるようにする。	一部に河原の再生が認められる	ダム放流規模と放流継続時間に応じた土砂の供給
健全な攪乱により付着藻類を定期的に更新させ、大型群体を形成させない	攪乱効果は認められる	ダムの弾力的運用（フラッシュ操作）による攪乱回数の増加 大型群体に着目した調査の実施

5.1 河川横断測量

土砂流下前後に横断形状の変化が認められるが、洗掘された測線もあることから堆積状況の全容は不明である。

今年度から新規に実施している空中写真撮影と合わせて河床形態の変化を捉えるものとする。

5.2 河岸植生

土砂流下直後には一定の攪乱効果が認められるが、次の年には植生が回復してしまっている。

今後は、ヤナギ類、ツルヨシなどの河岸植生を攪乱・抑制するための流下量、流下回数、流下時期などについて着目し、試験を継続する必要がある。

5.3 景観

石の下流面や凹部ではクレンジング効果により三波石に輝きが戻りつつあるが、上流面は効率的なクレンジング効果が確認されていない。

今後とも定期的に景観調査（写真撮影）を実施する。

5.4 粒度分布

今回の調査では、河床材料（砂礫）の粒度構成が自然状態に回復しつつあることが確認された。今後、ダム放流規模と放流継続時間による土砂流下の連続性を考察する指標になると考えられるので、継続して調査を実施する。

5.5 付着藻類

今回の調査結果から土砂流下による剥離・更新効果が認められるが、攪乱後に回復してしまうため、付着藻類の生長サイクルを考慮しつつ、ダム弾力的運用（フラッシュ操作）などによる定期的な土砂流下が必要と思われる。

また、大型群体に着目した調査も別途考慮する必要がある。

5.6 ダム放流量と土砂流下量との関係

今回の試験で存置させた形状ではゲート放流量約 $40\text{m}^3/\text{s}$ で土砂約 200m^3 が流下、ゲート放流量約 $100\text{m}^3/\text{s}$ で全量流下する事が判明した。

また、第1回目に流下した土砂のうち叢石橋上流に出現していた河原は、約 $300\text{m}^3/\text{s}$ のゲート放流により、さらに下流まで流下しそのほとんどが消滅していた。

これは、ダム放流量及び放流継続時間により供給土砂が途切れることが原因と考えられることから、ダム放流規模と放流継続時間に応じて土砂を供給することにより、土砂流下の連続性を維持できるよう、土砂投入方法を検討する必要がある。

2. 学識者、地域住民からの意見

本報告書のとりまとめにあたり、学識者及び地域住民から意見を聴取した。

(1) 河床低下に至る経過について

昭和49年の出水後に三波石峡の様相が一変した。一気に2 m程度河床が低下した。

現段階でも河床低下量は2 m程度のままであることから、昭和49年の出水時に基礎岩盤まで洗掘されたものと考えられる。

(2) 土砂供給試験の取り組み方について

ダム建設以前の河床高さまで回復させることを目標としているが、現在の環境を急激に変化させることは好ましくない。急がず、じっくりと取り組むべきである。

(3) モニタリング調査について

出現した砂州や河原について、構成材料の平均粒径を調査し、ダム放流量や放流継続時間と到達粒径の関係を検討すると良い。

3. おわりに

三波石峡における土砂供給・流下は、クレンジング効果により三波石に輝きが戻るなど景観改善に対する一定の効果が確認された。

また、一部に河原の再生も確認することが出来た。

現在の段階では河岸植生や付着藻類に対する効果は明らかではないが、土砂供給試験を継続して実施することにより、その効果を見極めたい。

今後とも、土砂供給試験を継続して実施することにより、ダム下流河川の環境及び文化財の保全に取り組んで参りたい。

平成16年12月13日

下久保ダム管理所