

小渋ダム土砂バイパスモニタリング計画

竹内 寛幸¹・上沼 博司¹・林 元彦¹

¹天竜川ダム統合管理事務所 管理課（〒399-3801 長野県上伊那郡中川村大草6884-19）

小渋ダムでは、平成28年秋より土砂バイパスの試験運用を開始することから、試験運用期間中のモニタリング計画を作成した。

本稿では、完成する土砂バイパス施設及び試験運用期間におけるモニタリング計画について報告する。

キーワード：ダム、堆砂対策、土砂バイパス、モニタリング、

1. 現状と課題

(1) 小渋ダムの概要

小渋ダムは、天竜川左支川の南アルプス赤石岳を源流とする小渋川に、多目的ダムとして昭和44年に完成した高さ105mのアーチ式コンクリートダムである。

(2) 堆砂の現状と課題

現状の堆砂率は87%で、貯砂ダムを設置し堆積土砂を砂利採取等で搬出しているが、このまま進行するとあと数年で計画堆砂量を超過することから、堆砂対策が課題となっている。

なおダム堆砂計画は50年堆砂で2,000万m³としている。

(3) ダム下流河道の現状と課題

ダム下流の小渋川（天竜川合流点までの約5km区間）は、ダム完成後から平常時無水状態であったが、平成12年度から0.72m³/sの維持流量の通年放流開始により水の流れが回復した、しかしダムによる土砂供給の分断による河床の巨礫化進行が課題となっている。

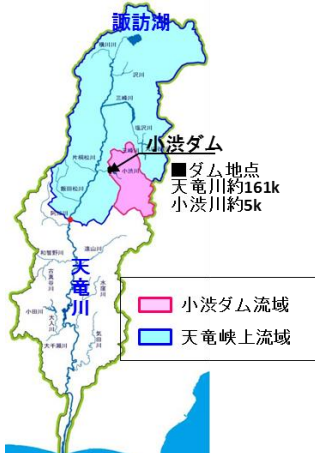


図-1 天竜川流域図

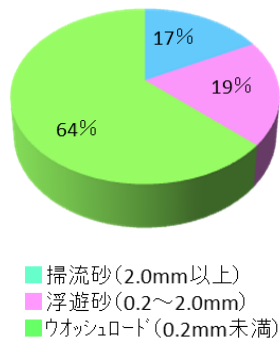


図-2 流入土砂内訳

表-1 小渋ダム諸元

概要	完成	昭和44年
	河川名	天竜川水系小渋川
	型式	アーチ型コンクリートダム
	流域面積	288.0km ²
	総貯水容量	58,000千m ³
	利水容量	29,100千m ³
目的	洪水調節	洪水調節開始流量：200m ³ /s 最大放流量：500m ³ /s
	農業用水	1.81m ³ /s （松川町、豊丘村、喬木村、飯田市）
	発電	最大10,500kW（長野県企業局）

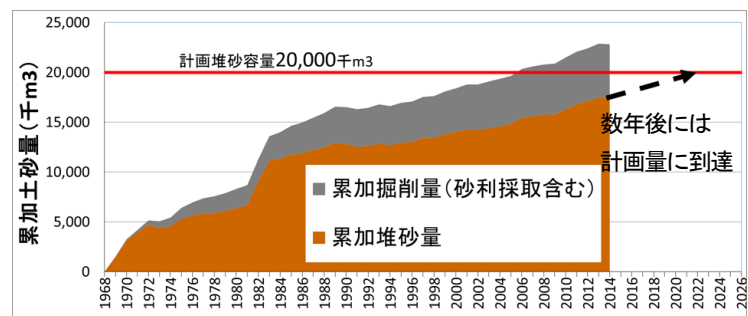


図-3 累加堆砂量図



写-1 ダム下流現況写真

2. 堰堤改良事業

(1) 小渋ダム堰堤改良事業の概要

前述した課題の対応として、洪水時に流入する土砂をダム貯水地を介さずダム下流へバイパスする、土砂バイパス事業（堰堤改良事業）に平成12年度より着手し、平成28年夏に施設完成する予定である。

(2) 土砂バイパス施設の概要

土砂バイパス施設は、バイパストンネル、分派堰、貯砂堰で構成され、バイパス対象土砂は、掃流砂、浮遊砂、ウオッシュロードとした。

土砂バイパストンネル呑口位置は、既設貯砂ダムを改良し分派堰に活用出来る事と、河川の形状特性から中小洪水で礫分もバイパス可能となるダム上流5.2k左岸とした。

(3) 土砂バイパストンネルの概要

土砂バイパストンネルは、トンネル内の流況安定のため平面線形を極力直線（ $R=1000$ が一箇所のみ）とし、トンネル内には車両転回所は設置しない事としたが、管理上トンネル内へのアプローチに配慮し、トンネル上流部に管理用トンネルを設置し、トンネル吐口と管理用トンネルの2方向よりアプローチ出来ることとした。

設計対象流量は、現小渋ダム計画放流量ではなく、天竜川整備計画により見直された小渋ダム計画放流量に整合させ $370\text{m}^3/\text{s}$ とした。

インバート部は、掃流砂の流下により摩耗損傷が懸念される事から高強度配合とし、高速流への対応にも配慮が必要と考え、平坦性を確保するため機械施工とした。

表-2 堰堤改良事業概要

事業の目的	貯水池への土砂流入を抑制するとともに、ダム地点における土砂移動の連続性を確保する。
対象土砂	掃流砂、浮遊砂、ウオッシュロード
事業期間	平成12年度～平成28年度試験運用開始予定
事業内容	土砂バイパス施設設置

表-3 土砂バイパス関連施設一覧

バイパス施設	トンネル
	呑口（ゲート含む）
	流木ハネ
	吐口（減勢工含む）
分派施設	分派堰
土砂捕捉施設	第3貯砂堰
管理設備	道路、橋梁、観測監視設備等

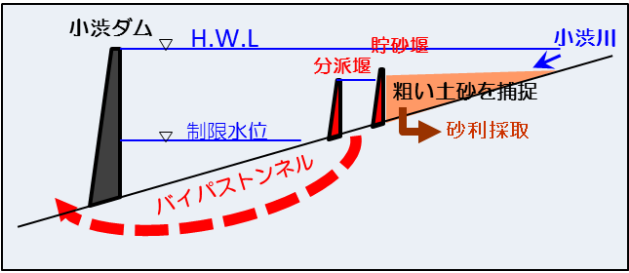


図-4 土砂バイパス施設概念図



図-5 バイパストンネル平面図

表-4 土砂バイパス本抗諸元

断面形状	フラットインバート標準馬蹄型 $R=3.95\text{m}$ 、内空約 54m^2
縦断勾配	1/50
全長	約 $4,000\text{m}$
設計流量	$370\text{m}^3/\text{s}$
最大流速	約 15m/s
対象土砂	掃流砂、浮遊砂、ウオッシュロード
摩耗対策	水路インバート部に 50N/mm^2 の高強度コンクリートを施工（ $t=45\text{cm}$ ）

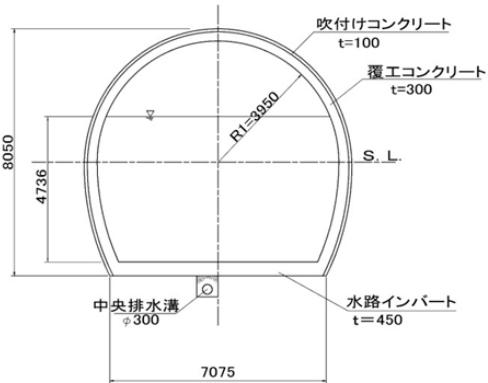


図-6 土砂バイパストンネル標準断面図

(4) 呑口の概要

呑口躯体形状は、ゲート操作の煩雑化を防止に配慮した自然調節方式による分派機能を確保するため、水理模型実験によりオリフィス2門、クレスト2門を有した形状となっており、摩耗による形状変化で放流量に影響が発生する事を懸念し、摩耗対策として呑口から20m区間をラバースチール、その下流30m区間は鋼製ライニングを施している。

※自然調節方式：分派地点流量が洪水量以上の時一定率でカット、洪水量以下の時はカット無しとしたもの。

なお、上流側に副ゲート、下流側に主ゲートを各2門配置し、副ゲートについては運用開始時にゲート前面が堆砂状態であっても可動可能な設計とした。

(5) 流木ハネの概要

流木ハネは、水理模型実験により呑口との離隔、線形等を変化させて整流機能を確保する形状を検討。

整流機能を高めるために中標高部に流木防止帯を設置し、流木捕捉機能を高めるために、杭間に2本の補助構造（ワイヤーロープ）を設置した。

移動床給砂実験、流木流下実験を行い、整流機能（洪水調節機能、流量把握）、流木捕捉の各機能を満足できることを確認した。

(6) 吐口部の概要

水理模型実験では、放流地点の河川堆積物が厚くないことから、バイパス放流により河川堆積物が流出することで基岩が露出し、結果的に減勢池が出来るとしていたが、放流地点はダム建設時の盛土されていることから、安全性に配慮し帯工による減勢池を設けた。

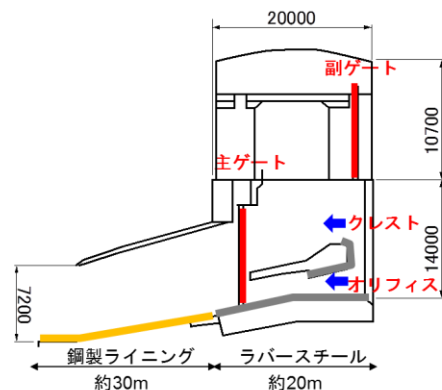


図-8 呑口躯体断面図



写-2 呑口正面写真



写-3 流木ハネ正面写真



図-7 呑口部レイアウト図



図-9 吐口レイアウト図

3. 試験運用期間中のモニタリング

前述までのとおり、平成28年夏に土砂バイパス施設が完成し、平成28年秋以降から試験運用を開始することから、実運用による状況確認と、現時点の予測や水理模型実験の検証が必要となる。

(1) モニタリングの目的と方針

土砂バイパス運用に伴う環境変化の把握及び、施設状況、操作状況を確認し本格運用（平成31年度予定）の方法を決定するため行う。

土砂収支、環境、構造、運用方法に区分し、それぞれの「目的」、「平成27年度までの検討内容」、「試験運用期間中の検討内容」については表-5 のとおりで、平成26年度より小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会」を設置し検討している。

(2) 土砂収支検討

a) 土砂量の算定方法

粒径別移動土砂量の算出方法は表-6 のとおりで、基本は採水、測量等の直接観測となるが、直接観測が困難な部分については、LQ式を用いた河床変動計算により算出する事とし、図-13 のフローでLQ式を検証することとしている。

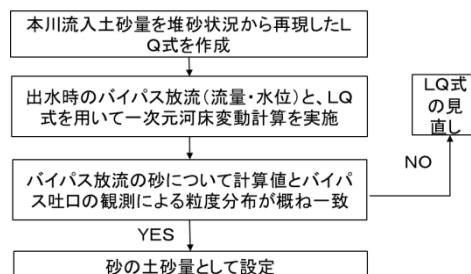


図-13 LQ式検証フロー図

表-5 モニタリング目的・方針

区分	目的	27年度までの検討内容	試験運用期間中の検討内容
土砂収支	・粒径別移動土砂量の算出手法の確立	・粒径別移動土砂量の算出方法決定	・現算出手法を実測結果及び一次元河床変動計算により検証および見直し
環境	・環境影響予測	・バイパス運用前の環境の把握 ・環境変化予測	・一次元河床変動計算、技術図書等による定性予測の検証および見直し
構造	・施設の検証(分派特性含む) ・施設の維持管理計画作成	・把握方法の整理	・模型実験結果による分派量をトンネル内流量で検証 ・流水や土砂の挙動、施設損傷確認
運用方法	・バイパス施設運用ルール作成 ・呑口部の管理河床高設定	・ゲート閉塞方法 ・分派堰内の河床高	・土砂収支、環境、構造での検討を踏まえ検討

表-6 土砂量の算定方法

粒径区分	算出箇所	粒径区分	算出方法	備考
シルト $d < 0.075\text{mm}$	①本川流入土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
砂 $0.075\text{mm} \leq d < 2\text{mm}$		砂	LQ式を用いた河床変動計算1	
礫 $2\text{mm} \geq d$		礫	測量、粒度分布	
	②第3貯砂堰堆砂量 分派堰堆砂量	シルト	なしを想定	測量、粒径調査により検証
		砂	測量、粒度分布	
		礫	測量、粒度分布	
	③バイパス放流土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
		砂	LQ式を用いた河床変動計算2	
		礫	測量、粒度分布、プレートマイクロホン	
	④貯水池流入土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
		砂	LQ式を用いた河床変動計算3	
		礫	なしを想定	測量、粒径調査により検証
	⑤残留域流入土砂量	シルト	本川比率(5%を想定)	測量、粒径調査により検証
		砂	本川比率(5%を想定)	測量、粒径調査により検証
		礫	本川比率(5%を想定)	測量、粒径調査により検証
	⑥貯水池堆砂量	シルト	測量、粒度分布	
		砂	測量、粒度分布	
		礫	測量、粒度分布	
	⑦ダム放流土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
		砂	なしを想定	粒径調査により検証
		礫	なしを想定	粒径調査により検証
	⑧放流土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
		砂	LQ式を用いた河床変動計算4	
		礫	測量、粒度分布	
	⑨本川流出土砂量	シルト	SS調査、粒度分布、密度	
		砂	LQ式を用いた河床変動計算5	
		礫	なしを想定	LQ式を用いた河床変動計算4、5により検証

b) 土砂収支に関わる計測

土砂収支に関わる計測については表-7のとおりとしている、なお礫移動については、京都大学との共同研究に位置づけマイクロホン観測することとしている。

(3)環境検討

環境変化予測については、ダム下流の小渋川を対象に実施する。

環境目標は現環境の改善で、巨礫化した河床に細粒分を供給することから、環境改善が期待される。

また、環境変化は長い時間で捉える必要があることから本モニタリング終了後も引き続きフォローアップで確認して行くこととしている。

環境に関わる計測については表-8のとおりで、河床変動や粒度分布については、土砂収支と共通項目であるため連携して実施する。

表-7 土砂収支に関わる計測一覧

目的	測定地点	調査方法	調査時期(頻度)
・SS ・粒度分布 ・浮遊砂密度	流入①(桶谷橋)	・表面水採水→室内試験	・出水中 (1回/時間、ピーク後は3時間→6時間)
	流入②(松除橋)		
	ゲート放流(管理橋)		
	ダム放流(簡易索道)		
	バイパス放流(吐口)	・水深別採水→室内試験	・バイパス使用中(1回/時間)
・河床変動	小渋ダム上流(貯水地内)	・三次元測量(レーザー、ナロマルチ)	・出水期後、出水後
	小渋ダム下流(天竜川合流点まで) (200mピッチ)	・河川測量	
	第3貯砂堰堆砂域(代表箇所2地点)	・サンプリング(表層・下層)→室内試験	
・粒度分布	分派堰堆砂域(代表箇所6地点)	・サンプリング→室内試験	・出水期前、バイパス使用后
	バイパス減勢工(代表箇所2地点)		
	小渋ダム下流(天竜川合流点まで) (代表箇所7地点)		
	小渋ダム下流(天竜川合流点まで) (代表箇所7地点)		
・礫移動	バイパス放流(吐口)	・マイクロホン(京大共同研究)	・バイパス使用中

【簡易索道】

【バイパス吐口の水深別採水施設】

【マイクロホン】



表-8 環境支に関わる計測一覧

目的	測定地点	調査方法	調査時期(頻度)
景観	・小渋ダム下流(天竜川合流点まで)	・航空写真	・バイパス使用后、出水期後
河床変動	小渋ダム下流(天竜川合流点まで200mピッチ)	・河川測量 ・天竜川合流点定点写真	・測量:出水期後 ・定点写真:(1回/月)
粒度分布	・小渋ダム上流(小渋川、鹿塩川) ・小渋ダム下流(天竜川合流点まで代表箇所7地点)	・サンプリング(表層)→室内試験	・バイパス使用后、出水期後
水質	・小渋川(ダム流入点、放流点) ・天竜川(天竜橋、台城橋) ・他支川(片桐松川)	・濁度、水温観測	・小渋川については毎月十出水中、その他の箇所は出水中のみ (出水中の頻度は1回/時間)
付着藻類	・小渋ダム上流(生田堰堤上流) ・小渋ダム下流(天竜川合流点まで代表箇所2地点)	・サンプリング→室内試験 (種構成、細胞数、Chl-a、フェオフィチン、強熱減量)	・(1回/月)
底生動物、魚類	・小渋ダム上流(生田堰堤上流) ・小渋ダム下流(小渋川:代表箇所4地点、天竜川:天竜橋、台城橋)	・サンプリング→個体数確認	・バイパス使用后、出水期後
貴重種(陸生植物)	・小渋ダム下流(天竜川合流点まで)	・株数調査	・バイパス使用后、出水期後

(4) 構造検討

構造検討は、バイパス各施設を実運用での実証確認するもので、計測については表-9のとおり。

一例としてバイパス放流量は、水理模型実験の結果から設定した放流量と、トンネル内の水位観測結果で得られた流量で妥当性を確認することとしている。

(5) 運用方法の検討

運用方法の検討は、土砂収支、環境、構造土砂の各検討結果及び、実運用時の操作状況から本格運用方法を検討するもので、試験運用開始前時点での運用方法としては次のとおり考えている。

a) バイパス放流量とダムゲート放流量

分派地点はダム上流5.2kであることから、分派可能放流量が、操作規則で規定されるダム放流量に対して不足する場合は考えられるが、この場合は不足分をダムゲートから放流する。

b) バイパスゲートの開操作

ダム貯水池への土砂（高濃度濁水）流入を減らすため、出来るだけバイパスから放流する、ただし利水容量の確保が可能と判断された時点でバイパス放流を開始する。

バイパスゲートの操作は、放流の原則に基づき増加させ、分派地点流量にバイパス放流量が追いつく時点からバイパスゲートを全開とする。

ゲート操作順は、①両ゲート全閉→、②主ゲート半開・副ゲート全閉、→③主ゲート半開・副ゲート全開、→両ゲート全開の順とする。

c) バイパスゲートの閉操作

ゲートを閉塞するタイミングは、従来のダムゲート同様で、水位調節完了時となる。

ゲート操作順は、①両ゲート全開、→②副ゲートを水面にタッチさる（水流安定化）、→③副ゲート開度を10cm（主ゲートの戸溝掃除）、→④副ゲート開度20cm（副ゲートの噛み込み防止）、→⑤副ゲート全閉（放流停止）、→⑥主ゲート全閉（流水完全遮断）の順とする、なお②～④の操作は10分間保持することとしている。

d) 舌口部の管理河床高

シミュレーション結果では、バイパス運用時の管理河床高の違いによる、貯水地への流入土砂量は大きく変わらない結果となっている。

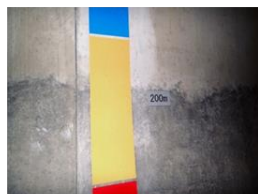
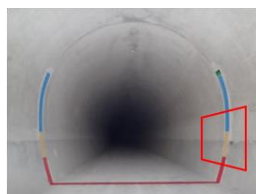
謝辞：本論文の執筆にあたりご協力頂いた皆様、モニタリング関係者、バイパス事業に携わられた諸先輩の皆様 に厚く御礼申し上げます。

表-9 構造に関わる計測一覧

目的	測定地点	調査方法	調査時期(頻度)
放流量検証	・バイパストンネル内	・水位観測	・バイパス使用中
運用状況	・流木ハネ ・バイパスゲート ・バイパス吐口	・CCTV映像	
損傷(摩耗)状況	・流木ハネ ・バイパス舌口 ・バイパストンネル ・バイパス吐口	・目視、計測	・バイパス使用后

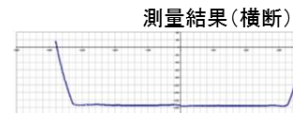
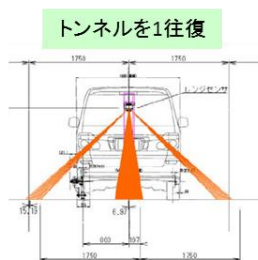
ペンキ帯による摩耗確認

調査手法	・200mピッチ(わん曲部は100m)でペンキの帯を設置し、ペンキのはがれ状況を写真、スケッチにより記録する ・局所的な損傷や土砂・塵芥の残置が確認された場合には、その都度写真、スケッチにより記録する
------	---



車両によるレーザー横断測量

整理方法	①インバート損耗深の把握 測量結果をもとにトンネル全体もしくは単位ユニット毎の平均損耗深や空間的な損耗状況を整理する ②損傷特性の解析 プレートマイクロフォン等で測定するトンネル内通過土砂量と損耗量の関係をユニット毎に整理し、将来的な補修計画に反映させる。
------	---



側壁部も高さ1.5m程度まで把握する

