

排砂トンネル内の流れと土砂輸送に関する研究

FLOW AND SUSPENDED LOAD IN A SAND BYPASS TUNNEL

渡邊明英¹・檜谷治²・前野詩朗³・里深好文⁴・伊藤隆郭⁵
塚原浩一⁶・塚原隆夫⁶・村松清⁶

¹正会員 博(工) 広島大学大学院 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 博(工) 鳥取大学, ³正会員 博(工) 岡山大学, ⁴正会員 博(工) 京都大学防災研究所,

⁵正会員 博(工) 立命館大学, ⁶国土交通省中国地方整備局苫田ダム工事事務所

In order to survey the eroding ratio of bypass tunnel's concrete wall due to the passing bed material, field survey was performed in the Tomata dam site. At first, velocity in the bypass tunnel and amount of suspended load at normal stage and flooding stage were measured. The velocity in flooding at out side of tunnel is about 8 – 10 m/s and is very fast. The value of suspended load concentration in flooding time was low. In this site, water and bed load were dammed up at upstream pond. Therefore, suspended load with low concentration was passed through the tunnel and the passing particle size was very small.

Key Words : Tomata dam site, bypass tunnel, sand bypass, suspended load

1. はじめに

ダムの建設に伴って土砂供給が阻害されるようになると、下流の河道や海岸で治水上や環境上の問題が生じ、土砂堆積によってダムの貯水容量が減少する。これらの対策として、ダムからの排砂による総合的な土砂管理や水系環境の改善が検討されている。しかし、流動土砂による排砂水路における水路壁の磨耗や浸食の実態については明確でなく、運用実績も少ないために実態や問題も十分把握されていない。

コンクリートの磨耗侵食に関する既往の研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾としては、コンクリートの衝突磨耗実験、実験結果に基づく理論的な推定法に関する研究、現地施設の磨耗に関する調査などがある。コンクリートの磨耗実験に関しては多くの例があり、コンクリートの圧縮強度が大きいと侵食量が少なくなる傾向が示されている。石橋³⁾は、流れによる砂礫の衝撃力を測定し、これを理論的に推定することにより、排砂設備の磨耗量を求める式を提案している。現地における事例から、磨耗量が砂礫の量や流速、コンクリートの質等によって変化することが報告されている。太田川支流滝山川に建設された温井ダムでは、仮排水路に砂礫土砂が流入し、仮排水路トンネルが侵食され、この侵食の機構と速度について検討が行われた⁵⁾。

福岡らは、仮排水路における侵食量を調査することで、様々な条件に対してコンクリート製仮排水路トンネルの磨耗量について検討することを提案している⁹⁾。

本研究は、国土交通省中国地方整備局苫田ダム工事事務所が、吉井川に建設中の苫田ダム転流工及び仮排水路トンネルにおける流送砂礫におけるコンクリート壁面の磨耗、土砂堆積、土砂流動の実態調査を行い、バイパストンネルによるダム排砂の実現可能性について検討を行うものである。バイパス水路形状や設置位置、コンクリート壁の構造、土砂を転流させるための構造物等についても検討を加え、排砂水路に関する水理的・技術的問題についてまとめることを目的としている。

本研究では、苫田ダムにおける土砂流動実態を把握するために、まずトンネル内を流下している土砂の特性、転流工上における堆積土砂の挙動、堆積量について調査、検討を行っている。また、バイパストンネルへの土砂の流入を明らかにすることを目的として、ここでは、転流工上・下流部における流れをビデオ観測するための施設を設置した。また、洪水時には現地が危険なため、遠方から操作可能な ITV を利用した流れ場の観測施設による観測を試みた。

排砂トンネルはコンクリート製水路であり、土砂の流送によってコンクリート壁が磨耗する。本研究では苫田

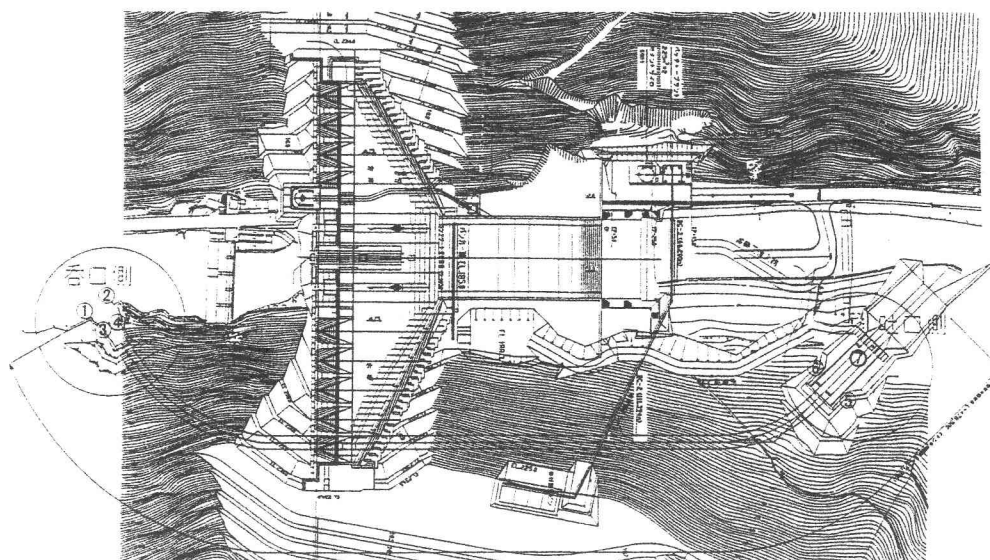


図-1 苦田ダム仮排水路位置

表 1 平成 12 年度の観測出水と観測内容

計測日	流量 (m^3/s)	流量 確率	流速 (m/s)		計測 時刻	VIDEO 撮影	採水方法	SS濃度 (mg/l)	
			トンネル内	トンネル外				ピン	ポンプ
第 1 回 H12/10/02	2.4	平常時	3.57		15:45	○	ピン&ポンプ	—	—
			3.29		16:15		ピン&ポンプ	—	—
第 2 回 H12/10/23	2.7	平常時	3.16		14:00	○	ピン&ポンプ	—	—
			2.85		14:30		ピン&ポンプ	—	—
			3.18		15:00		ピン&ポンプ	—	—
			2.96		15:30		ピン&ポンプ	—	—
第 3 回 H12/10/25	9.5 (20.4)	—	4.24		10:00	○	ピン&ポンプ	34	25
			4.24		10:30		ピン&ポンプ		
			4.24		11:00		ピン&ポンプ	43	35
			4.24		11:30		ピン&ポンプ		
第 4 回 H12/11/02	165.7 (302.8)	1/1.5年	未計測	8 - 10	16:30	○	ポンプ		260 - 280



写真-1 転流工呑み口部の状況

ダム仮排水路トンネルにおける磨耗を計測し、トンネルコンクリート内壁の磨耗状況について現地調査を行い、内壁の磨耗の実態をコンクリート、鋼材等壁面材料の特性等を考慮して評価、把握することになっているが、仮排水路通水中は非常に危険なため、仮排水終了後に計測する予定である。本文では、現在までに得られた観測結果について報告する。

2. 転流工・仮排水路の構造と観測施設

苦田ダム転流工の対象流量は 1 回/1 年確率である $260 \text{ m}^3/\text{s}$ (比流量 $1.16 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) である。仮排水路トンネルは、水路延長 381.5 m 、縦断勾配 $I = 1/184$ である。流量 $260 \text{ m}^3/\text{s}$ 時には、トンネル内部で 7.6 m/s の高速流が発生する設計となっている。

図-1 に苦田ダム転流工及び仮排水路トンネルの配置を、写真-1 に転流工上流部の様子を示す。転流のための上流仮締切堤は従前から存在していた農業用水用の頭首工を嵩上げたものである。現在も取水が行われているために、呑み口部では水位及び堰高が高くなっており、土砂が入り難い状態である。また、転流工上流部に堆積が進行している。観測のために、転流工仮排水路トンネル入口、出口に量水標を設置し、トンネル出口下流の水路部分にサンドポンプを設置し、浮遊砂の採取を行っている。出水時には手動でビデオ観測を行う予定となっていたが、現場の危険性が高いことが判明したために、ITV デジタル画像により、遠隔操作で観測を行えるように観測システムを改良した。

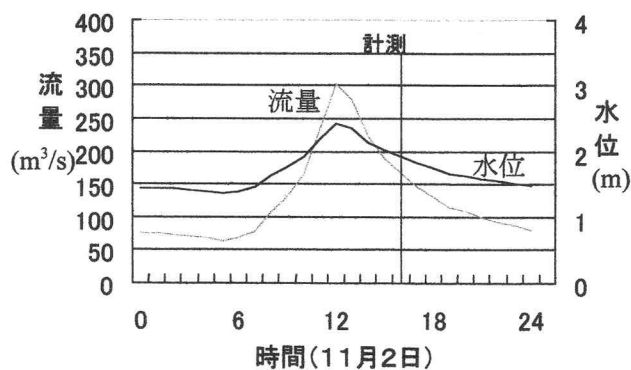


図-2 出水状況と観測時間

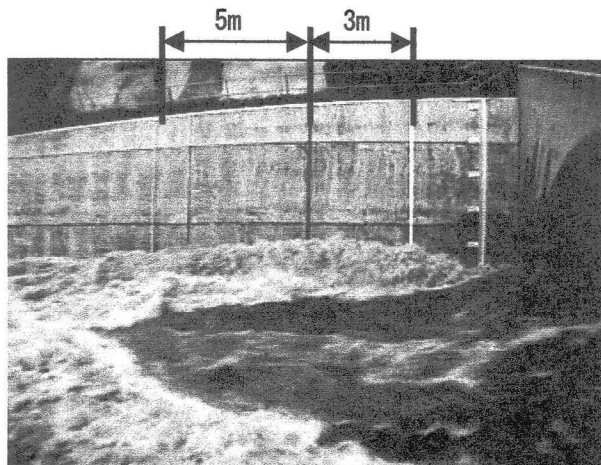


写真-2 トンネル出口の流れの状況

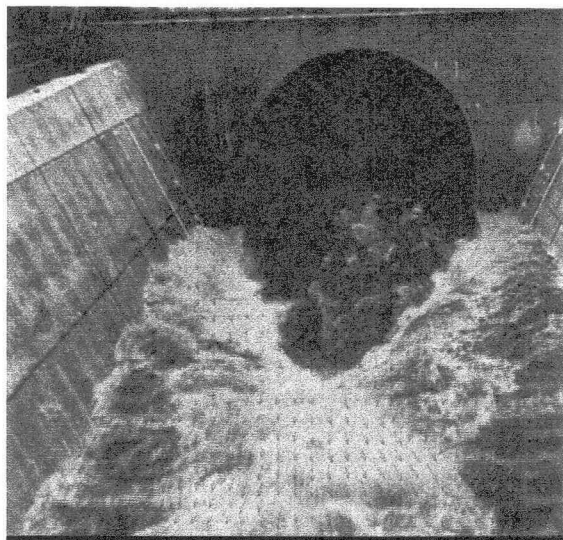


写真-3 PIVによる流速分布

3. 観測結果

(1) 調査対象出水と調査内容

平成12年度11月2日に、転流工の計画規模の出水が生じた。平成12年度には、この出水を含めた4回の観測が行われている。このうち、流量が多かった10月25日出水（ピーク流量 20.4 m^3/s ）、11月2日出水（ピーク流量 302.8 m^3/s ）を解析の対象とした。10月25日出水はピーク前に、11月2日出水は

ピーク後に、ビデオ撮影及び採水試験が行われている。調査対象出水と観測項目を表-1にまとめて示す。11月2日におけるハイドログラフを図-2に示す。ピーク流量は302 m^3/s （約1/1.5年）である。計測時は下降期に当たり、計測時における流量は166 m^3/s である。

(2) トンネル内及び出口における流速

トンネル内の代表流速の測定は、浮子がトンネルの入口～出口間を通過する時間を計ることで行った。20 m^3/s 程度の出水時におけるトンネル内流速は3 m/s ～4 m/s であり、ほぼ設計通りの流速が得られている。平常時において同様な観測を行っても、トンネル内の流速は約 3 m/s であった。

11月2日出水時には、ビデオ撮影により、トンネル出口部分で流速測定を行った。浮子による観測は行われていない。トンネル出口における出水状況のビデオ画像を写真-2、PIV法による表面流速ベクトルの分布を写真-3に示す。写真-2に示す様に、トンネル出口に水位標及び位置を示すカラーマーカーラインが設置されている。

写真-2、3 から分るようにトンネル出口において、トンネル内部と出口直下流の間で水面形が急激に変化している。また、高速流による衝撃波を伴う流れを生じていることが分る。衝撃波が生じている部分での流速については不明瞭であるが、トンネル出口から解放されて流速が増大している部分については、ビデオ画像計測により、平均的に約 8 m/s ～10 m/s の流速が生じていることが分った。トンネル内部からトンネル出口直下流にかけて、水面の低下が2 m程度あるため、この重力作用分により、トンネル内の流速が加速され、非常に高流速の流れが生じていたものと考えられる。また、この重力エネルギーを速度に換算すると、トンネル内の流速が7 m/s 程度であったことが推定され、ほぼ予定通りの流速となっていたことが分った。

このように、トンネル出口直下流において流速を計測すると、トンネル内部の流速が過大評価される。流速計によるトンネル内部における流速の測定は、トンネル完成前に計器が埋め込まれていなければ非常に困難であり、調査に当たり事前の検討が必要であった。浮子による観測も、人員がトンネル入口、出口で監視する必要がある、特にピーク流量時に危険であるために観測が難しかった。

この観測体制における問題を解消するために、本研究では、トンネル入口、出口、転流工上流部等を既設のITVで捉え、これをマルチ画面で記録して各画像の同期を取るにより時間を計測できるようにした。これにより、トンネルに流入、流下する浮子を捉えて、トンネル内の移動時間から出水時における平均流速を無人観測することが可能となった。しかしながら、その後に出水の機会を得ていないため、この方法による観測データを得ておらず、観測手法の改良を行った事に留まっている。

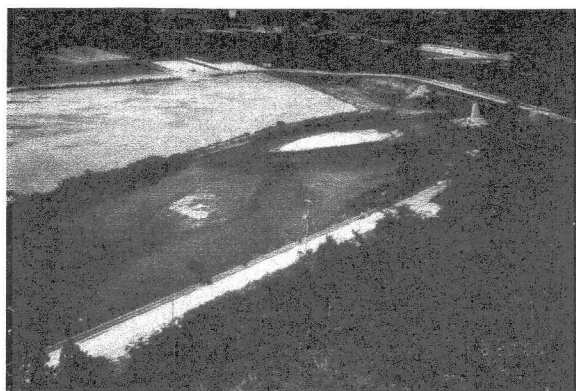


写真-4 仮締切り上流部の状況

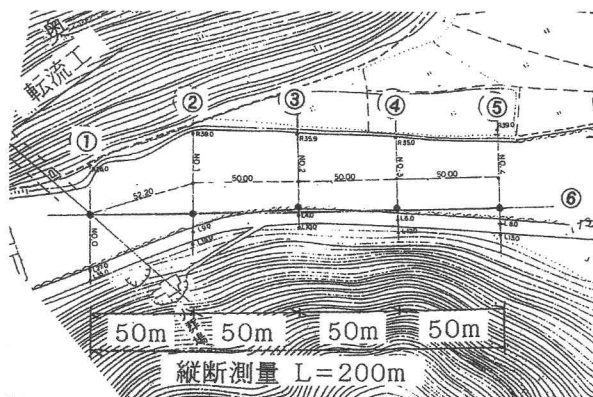


図-3 測量位置

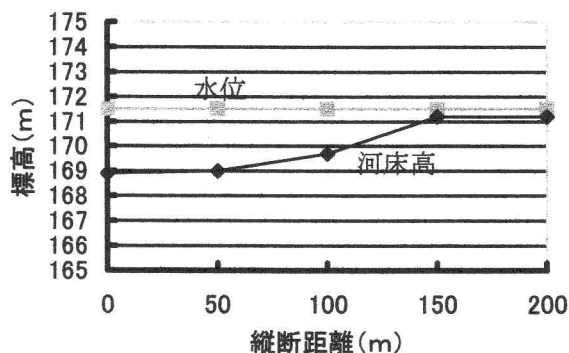


図-4 側線6における河床高縦断変化

(3) 浮遊砂濃度

有意なSS濃度があり、ビンとポンプで同時に採取された10月25日出水について、ビン採取資料とポンプ採取資料の濃度比較を行った。資料サンプルから、それぞれの粒度組成はシルト～粘性土であり、ビン採取とポンプ採取に質、濃度共に大きな違いは認められなかった。SS濃度は、ビン採取の方がわずかに高くなっている。流速が少なくとも4 m/s以上で輸送土砂がシルト以下の粒度であることから、Wash Load 形態での輸送と考えられる。

11月2日出水の採取資料のSS濃度は300 ppm程度であった。10月25日出水の資料と比べて濃度が高いが、洪水下降期であることを考慮しても、一般的な河川における出水時のSS濃度に比較して低い。

これは先に述べたように農業用取水施設のために上流部で水位が高く保たれるように、転流工呑み口部の越流堰の標高が高く設定されていることが主な原因であると考えられる。すなわち、現時点で呑み口部を通過する土砂の多くは浮遊砂であり、掃流砂の侵入は生じていない。仮締切り工上流部において滞留し、浮遊土砂が沈殿された上澄が、トンネル内部へ流入している可能性が高い。ただし、これを確認するために高流量時において、転流工仮締切り工上流部で縦断的に採水し、浮遊砂濃度の変化を観測する必要がある。11月2日出水資料サンプルから粒度組成はシルト～粘性土であった。10月25日出水時よりは粗い成分が見られた。しかしながら、細砂～小レキなどは採取されていない。

(4) 転流工上流部の堆積状況

写真-4に示す様に、転流工上流部仮締め切り前面に、土砂が堆積し、砂州が前進しつつある。図-4の河床高縦断変化に示す様に、砂州の堆積フロントが転流工の100 m～150 mの位置に前進してきている。今後、この砂州が転流工の呑み口部まで達するようになると、大きな土砂流入が生じると考えられる。

4. おわりに

苫田ダム転流工トンネル内部のコンクリート壁は、一部強度を変えて施行されている。しかし、磨耗測定については、転流工通水中は危険であるために行うことができない。現在の研究計画では、仮締切り工通水終了後に内壁磨耗量の測定を行う予定であり、継続的な調査研究が必要である。この他、国土交通省中国整備局管内にある磨耗量が測定可能な転流工トンネルの他の事例についても調査し、中国地方におけるトンネル水路の砂礫による磨耗量について検討する予定である。

参考文献

- 1) 原田稔, 小久保鉄也, 出野尚: 貯水池のバイパス排砂システムにおけるトンネル内土砂水理特性, 土木学会論文集, No.600/II-44, pp.69-84, 1998.
- 2) 藤堂勝也: モルタルコンクリートの室内磨耗試験結果について, R&D News Kansai, pp.12-13, 1996.
- 3) 石橋毅: ダム排砂設備の流下砂礫による磨耗・損傷に関する水理学的研究, 土木学会論文報告集 第334号, pp.103-112, 1983.
- 4) 豊田高司, 高須修二: 排砂水路の磨耗対策, 大ダムNo. 138, pp.61-66, 1991.
- 5) 福岡捷二, 森田義則, 藤原博昭, 萬矢敦啓: 大量の砂礫を伴う洪水流による仮排水路トンネルインバートの浸食蛇行, 河川技術に関する論文集, 第5巻, pp.183-188, 1999.

(2002. 4. 15 受付)