

既設ダムに近接した転流工事の取組みについて

増田友輔¹

¹ 新丸山ダム工事事務所 工事課 工事第一係(〒505-0301 岐阜県加茂郡八百津町八百津 3351)

新丸山ダム建設事業は、木曽川河口より約 90km に位置する丸山ダム(既設)の下流 47.5m の位置に、20.2m 嵩上げして機能アップを図る再開発事業である。

木曽川のような大河川で、既設ダムの機能を維持しながら実施する大規模なダムの嵩上げ工事は国内では前例がなく、施工方法や設計など技術的に先駆的なダム建設といえる。

本論文では、現在施工中である転流工事における、既設ダム及び周辺住環境等に配慮した対策工法、施工管理の工夫事例を報告し、今後のダム再生事業への展開を図るものである。

キーワード：既設ダム，周辺住環境

1. はじめに

(1) 新丸山ダムの概要

新丸山ダムは、既設の丸山ダムの下流側 47.5m の地点に既設ダム機能を維持しながら 20.2m 嵩上げするダムの再開発事業である。丸山ダムは、木曽川の流域面積の約半分を占め、濃尾平野の扇の要に位置しており、木曽川本川の洪水調節をするうえで重要な役割を担っているとともに、発電を行っている。嵩上げをすることにより、丸山ダムの持つ 2 つの機能(洪水調節・発電)のパワーアップに加えて、渇水時における既得用水取水の安定化や河川環境の保全等、流水の正常な機能を維持するという新たな目的が加わる事業である。

a) 新丸山ダムの諸元

河川名：木曽川水系木曽川
 位置：左岸：岐阜県可児郡御嵩町小和沢
 右岸：岐阜県加茂郡八百津町八百津
 集水面積：2,409km² 湛水面積：3.68km²
 型式：重力式コンクリートダム
 堤高：118.4m 堤頂長：340.6m



図-1 流域の概要

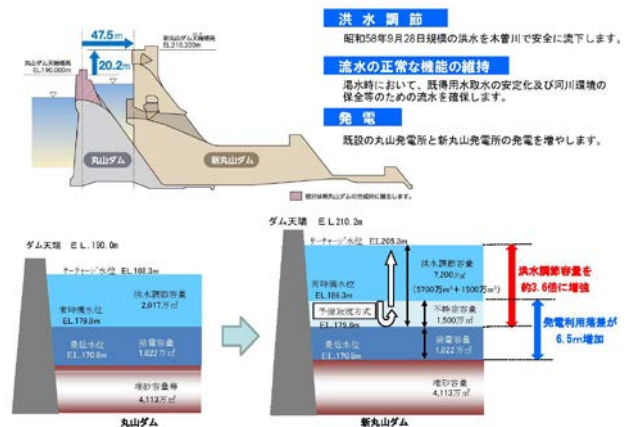


図-2 新丸山ダム概要図

(2) 転流工事の概要

現在、新丸山ダム事業は新丸山ダム本体を施工する前段となる「平成 28 年度 新丸山ダム転流工事」を施工中である。

新丸山ダムの本体工事を行うにあたっては、既設丸山ダムの洪水調節機能と発電機能を維持しながら、本体工事を安全・円滑に行う必要がある。そのため、洪水時にダム湖の水を迂回させるトンネル水路工事(転流工)を施工する。この転流工は、貯水位を維持する構造としており、呑口部へのゲート設置による貯水位調節機能や、吐口部では転流トンネルが急勾配であることから高速流に対応する減勢工の構造を有するなど、通常の転流工と異なるこれらの構造的特徴や施工条件に配慮して施工することが求められる。

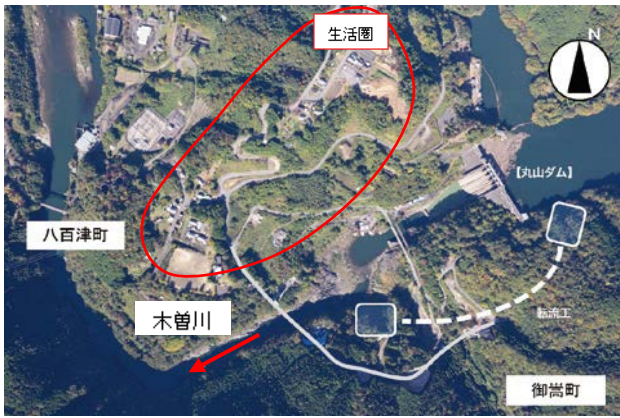


図-3 新丸山ダム転流工位置図



図-4 転流工遠景

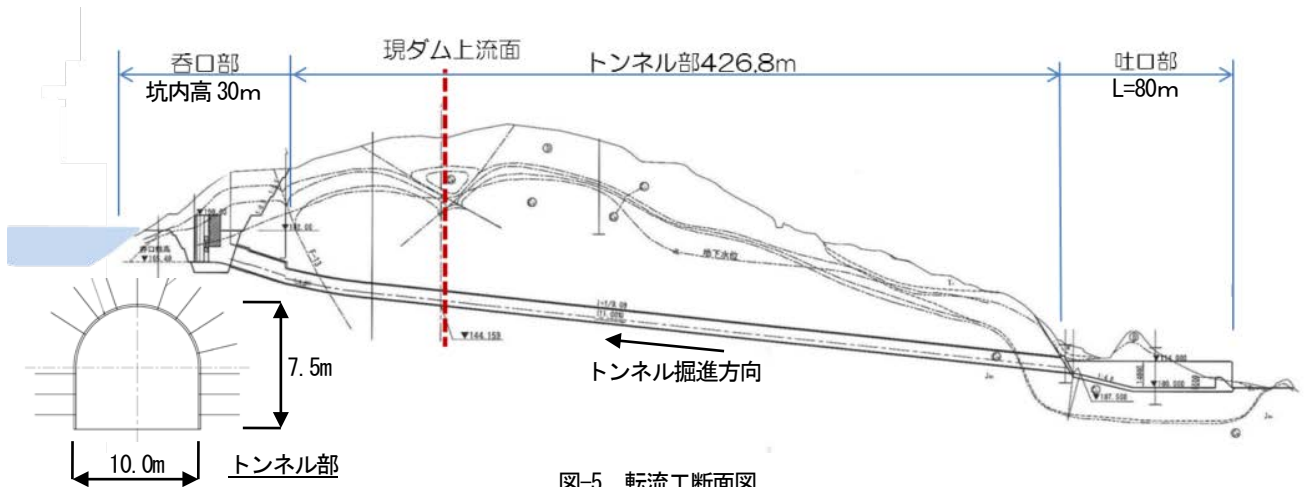


図-5 転流工断面図

a) 転流工事の諸元

工事名：平成 28 年度 新丸山ダム転流工事
 工事場所：岐阜県可児郡御嵩町小和沢
 工期：平成 28 年 9 月 17 日～平成 31 年 3 月 8 日
 工事内容

トンネル工 (NATM 工法)

延長：L=426.8m 掘削断面：77～185m²

呑口部 (トンネル到達側)

土工 (切土工)：62,300m³ 法面工：11,970m²

グラウンドアンカー工：255 本

止水対策工：カーテングラウチング 5,050m

ブランケットグラウチング 480m

立坑工：延長 L=30m 掘削断面：592m²

吐口部 (トンネル発進側)

土工 (切土工)：71,200m³ 法面工：7,300m²

工事用道路工：L=370m 減勢工：L=80m

2. 施工時の影響について

本転流工事の施工においては、主に 3 点の課題がある。1 つは、主にトンネル部の施工時において既設ダム本体への影響を極力抑え、ダム機能の低下を生じさせないこ

と。2 つ目は、当該地近傍には生活圏が存在するため工事騒音等の影響に配慮しなければならないこと。3 つ目は、ダム貯水池に近接した施工となることである。以下にそのポイントを記す。

(1) 既設ダムへの影響

トンネル施工箇所が既設ダムの真横に位置するため、発破時などに発生する振動の影響に配慮した施工方法・施工管理方法が求められる。

(2) 生活環境等への影響

発進側坑口が静穏な谷地形の底部にあり、対岸側に位置する生活圏に近いことから、工事騒音等の反響によるダム周辺の住民や宿泊施設への影響が懸念されることから、振動と同様に騒音においても対策が求められる。

(3) ダム貯水池近傍での施工

ダム貯水池には大量の水があるため、地中を含め常に大きな水圧がかかった状態となる。そのため、呑口部施工時には工事期間中の安全性の確保や確実な施工のために、湧水等に対する安全対策が求められる。

3. 転流工事の取り組みについて

前述の(3)ダム貯水池近傍での施工については現在施工方法等を検討中であるため、ここでは(1)既設ダムへの影響、(2)生活環境等への影響について述べる。

(1)既設ダムへの影響に配慮した施工方法・管理方法

丸山ダムは、新丸山ダム建設工事期間中もその機能を維持しなければならず、トンネル施工時の発破作業において発生する振動による既設ダム構造物への影響が懸念される。丸山ダムへ発破振動によるダム管理や発電への影響が及ばないように、細心の注意を払う必要がある。



図-6 新丸山ダム転流工平面図

a) 発破時の振動規制値の設定

トンネル施工時における発破振動については、前述のとおり既設ダムへの影響に配慮した発破計画の立案が重要となるため、発破時の振動規制値を設定する必要がある。

このため、日本火薬工業会発行の「あんな発破 こんな発破 発破事例集」に掲載された各国の学説事例において安全とされる範囲値(表-1)、近年の他ダムにおける事例や施設管理者との協議により、既設ダム機能に影響を生じさせない規制値としてダム本体構造自体への振動値を2cm/sを上限とするよう設定することとした。

表-1 発破振動と被害の関係

(日本火薬工業会 あんな発破 こんな発破 発破事例集より)

振動 (dB)	学説	Langefors (Sweden)	Edwards (Canada)	Bu. of MINES (U.S.A)	E. Banik (Germany)	米国土木学会
		(cm/s)				
120	振	大きな亀裂発生	被害発生	大きな被害 亀裂の発生 壁土崩落	大きな被害	構造物が危険
110		亀裂発生		軽い被害		
100	動	微細な亀裂				10Hz~35Hz 構造物要注意
		要注意	要注意	要注意	被害発生	
90	レ	目に見える被害なし	安全	安全 40Hz以上 要注意	ごく軽い被害	10Hz~30Hz 機械の安全限界
80		被害なし	安全	40Hz以下		
70	度	人体にはよく感ずるが、構造物の被害なし				
60		一般に多くの人々が振動を感じる				
50	ル	非常に敏感な人々が振動を感じる				
40		人体に感じない				

※変位速度と振動レベルの換算式 VL = 20log V + 83

b) 発破振動に対する振動管理値及び体制

既設ダムへの影響を生じさせないため、先に述べた振動規制値を遵守できるように、振動の管理体制を表-2のとおり定めた。併せて、振動値を管理するために、既設ダム本体に振動計を設置しモニタリングを実施することとした。

表-2 発破振動の管理体制表

管理 レベル	振動 管理値	各管理を超えた場合の管理体制	
		監視体制	施工体制
レベルⅠ	1.4cm/s (2.0cm/s × 70%)	—	・発破計画の見直し準備
レベルⅡ	1.5 cm/s (2.0cm/s × 75%)	—	・原因の説明・検討 ・発破計画の修正(K値の検証、孔数・段配置の再計画) ・修正発破計画における振動の伝播予測
レベルⅢ	1.6cm/s (2.0cm/s × 80%)	・掘削休止後、既設ダム本体表面の点検実施(振動計設置箇所にて実施) ・再開後の振動値が連続(4発破程度)して、レベルⅡ以下となるまで、振動監視員を配置(通廊内)	・掘削休止 ・発破方法の変更(使用雷管の変更等)や掘削工法の変更を含めた工法検討 ・検討した発破計画・掘削工法による発破振動の伝播予測 ・試験施工の実施・検証
非常時	2.0cm/s 想定超	・掘削休止後、既設ダム本体表面の点検実施(振動計設置箇所にて実施) ・再開後の振動値が連続(4発破程度)して、レベルⅡ以下となるまで、振動監視員を配置(通廊内)	・掘削休止 ・発破方法の変更(使用雷管の変更等)や掘削工法の変更を含めた工法検討 ・検討した発破計画・掘削工法による発破振動の伝播予測 ・試験施工の実施・検証 ・振動4発生時同様の一次点検(点検要領に基づく)の実施。

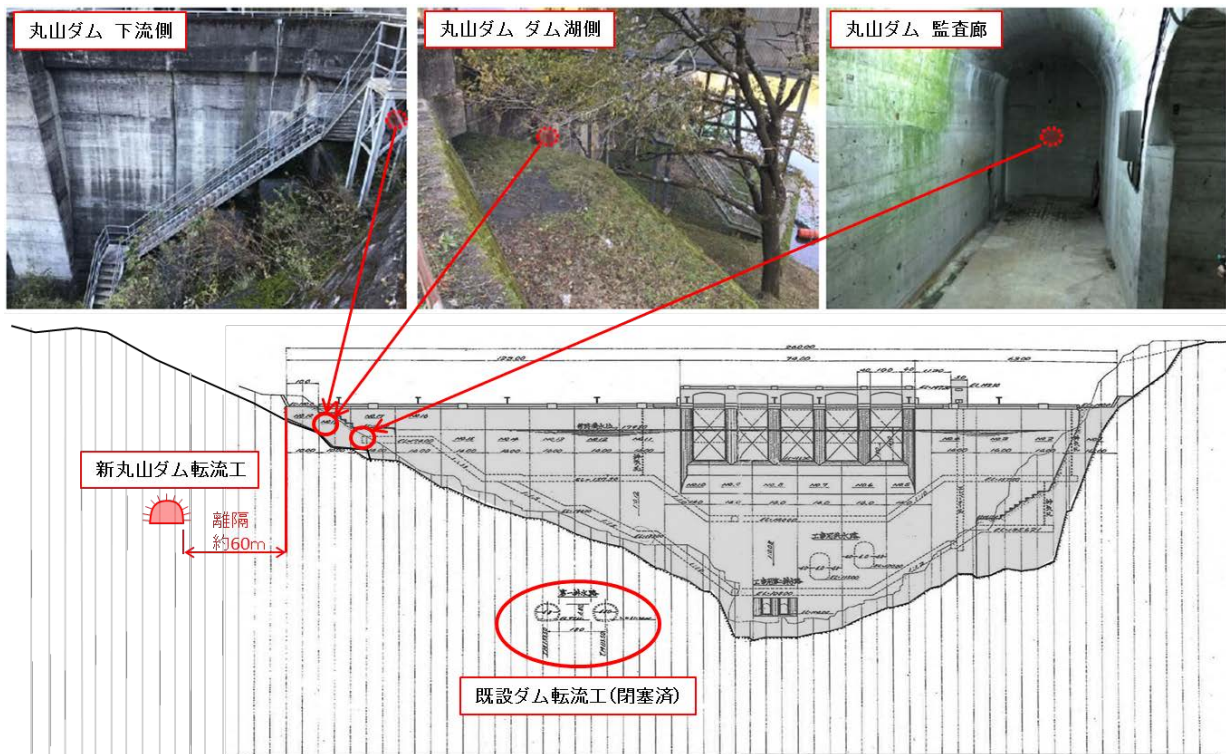


図-7 既設ダムへの振動計設置位置

c) 振動予測シミュレーションの実施

新丸山ダム事業の工程やコスト面を考慮しトンネル掘削(NATM工法)は長孔発破を採用し、工程短縮及びコスト削減を図る必要がある。

発破計画においては、既設ダムへの影響を生じさせない計画が重要であるため、発破による振動値をシミュレーション予測する必要がある。まず通常案として、MS雷管を用いたトンネル発破を実施した場合を検証した結果、発破振動値が2cm/sを超えることが判明した(図-8)。

次に第2案として、同雷管を用いてさらに発破段数を増やす方法が考えられた。シミュレーションをした結果、発破振動値は抑えられたが、予測値が規制値の70%である1.4cm/sとなった。これは、秒時間隔が大きくなることに加えて、孔数・装薬量を増加させる必要があるからである(図-9)。

そのため、秒時間隔を更に細かく制御し、かつ多くの段数に分けることができる導火管付雷管を使用する手法を検討した。導火管付雷管は、結束されている雷管同士においても起爆時間の調整をすることが可能となり、大幅に振動値を抑えることが可能となる。この導火管付雷管を用いてシミュレーションを実施した場合、発破振動値は2cm/sを大きく下回った(図-10, 11)。

以上のシミュレーション結果より、導火管付雷管を用いた、長孔発破かつ多段制御発破方式にてトンネル発破を行うこととした。

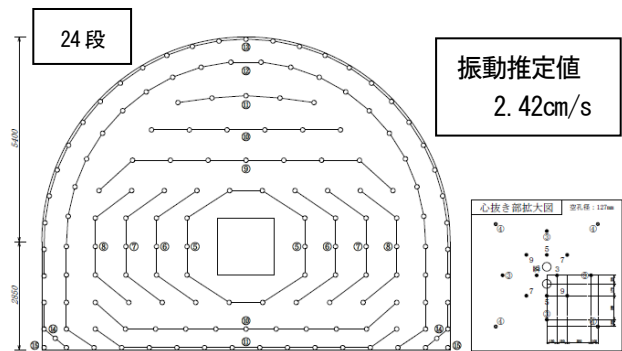


図-8 MS雷管を用いた発破パターン図(通常案)

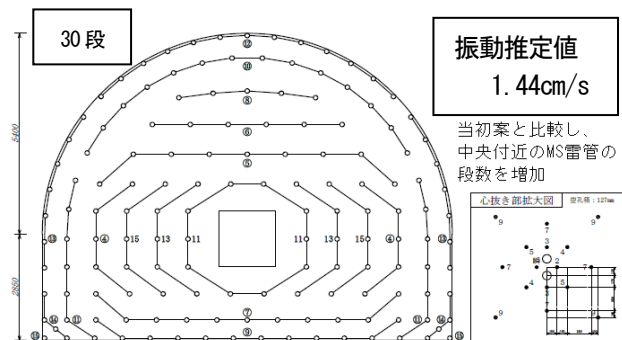


図-9 MS雷管を用いた発破パターン図(第2案)

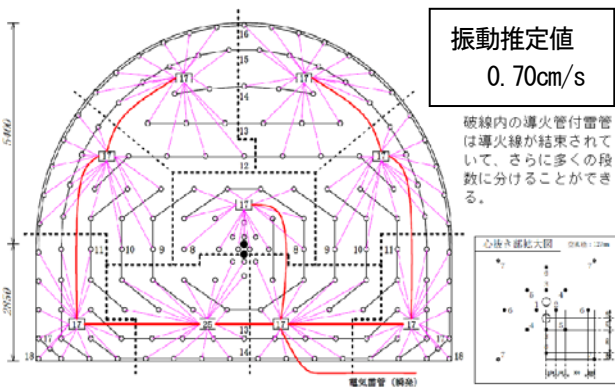


図-10 導火管付雷管を用いた発破パターン図



図-11 導火管付雷管と装填状況

d) 振動測定の結果

実際に導火管付雷管を用いた、長孔発破かつ多段階制御発破方式にてトンネルを掘進し、既設ダムに設置した振動計にてモニタリングを行った結果、ダム本体までの距離が105m程になるまでは振動計は反応を示さなかった(図-12)。以降も微量の振動を検知するのみで、振動管理値を超過した計測をすることはなかった。このことから、今回の発破計画にて既設ダムの機能を確実に維持しながら工事を進めることができたといえる。

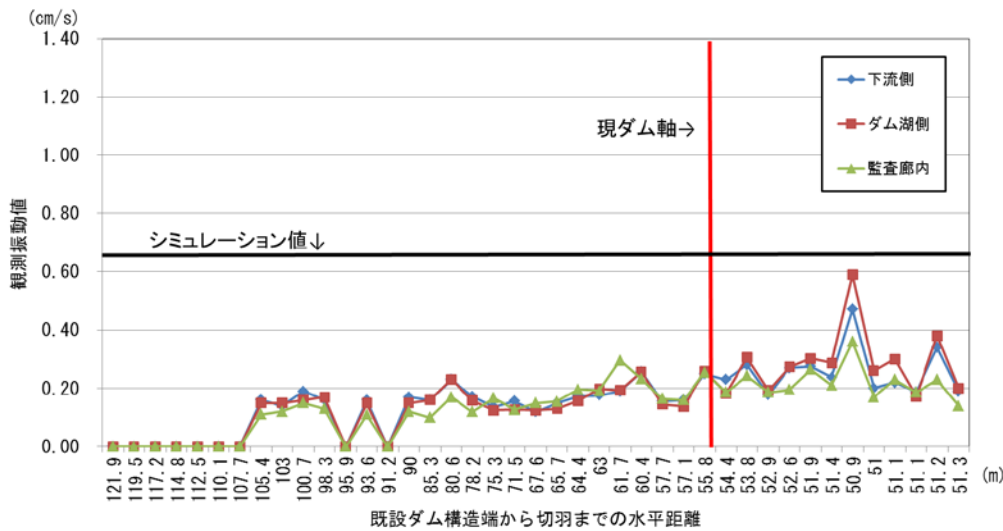


図-12 発破振動値の集計グラフ

(2) 生活環境等への影響低減

坑内での発破により、低周波音が谷地形の底部に反響して増幅する。更に坑口ヤードはブリ出しや支保工設置のため、重機や残土処理に伴うダンプやコンクリートミキサーが走行し、その中でも残土処理に伴う作業についての騒音が大きいことが予測され、その影響に配慮する必要がある。

a) トンネル掘削時等における騒音・振動予測結果と対策

生活環境等への影響低減を目指して、防音扉の設置等を行った。住居区域に設置している騒音振動計にてモニタリング調査を行いながら、住居区域への影響がないように慎重に施工を進めている。

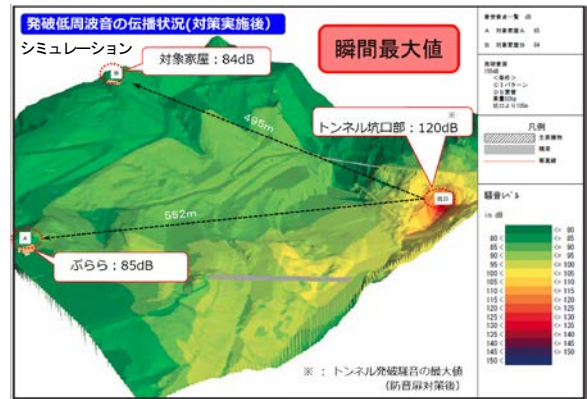


図-13 防音扉設置後の低周波音影響分析



図-14 防音扉設置状況

b) i-Constructionによる土砂運搬等の周辺生活道路への影響対策

トンネル部の施工は昼夜施工としており、また、掘削ズリを運搬するダンプが大量に走行することとなる。そのため、周辺生活道路での交通障害や騒音への対策が必要となる。トンネル坑口部から受入地への運搬路は、一部が離合不可能な幅員の狭い箇所が多く存在し、一般車との出会い頭による交通障害が発生する可能性があった。そのため、ダンプ1台ごとに運搬路情報を組み込んだ携帯端末を取り付ける「ダンプ運行管理システム」を導入した。このシステムにより、GNSSにて他ダンプの位置情報を集約し発車・待機指示を一括指示することが可能となったことから、離合困難等の非効率的な運行状況の発生も抑制される。また、交差点などの運搬路における危険箇所もアナウンスするため、安全運行に関しても効果を発揮している。

将来の新ダム施工時の安全・円滑なダンプ走行のため今回の工事にて検証を行っている。今回の検証による課題等の抽出や改善をすることで、効率的な施工へとつなげることができると考えている。



図-15 ダンプ運行管理システムの様子

その他にも、i-Constructionを導入し新ダム施工時に活用するための検証を行っている。その1つとして、ICT建機による岩掘削を試行導入している。ICT土工(岩掘削)は、切土法面の仕上りに不陸が生じるため、ICT土工としての出来形管理基準から外れてしまう課題があり、現在ICT適用外ではあるが、将来の本体掘削時の活用を視野に、今回導入している。このデータ等を元に転石がある場合の新たな出来高基準値の設定等を検討していきたいと考えている。

4. まとめ

(1) 既設ダムへの影響

丸山ダムは、新丸山ダム建設工事期間中もその機能を維持しなければならず、トンネル掘削時における発破振動が、機能低下に繋がることであってはならないため、細心の注意を払う必要があった。詳細なシミュレーションによる発破計画を行い、実際の発破時にはダム本体に設置した振動計にてモニタリングを行いつつ施工した結果、本工事で設定した振動規制値を超過することなくトンネル掘進を行うことができた。

(2) 生活環境等への影響

発進側坑口が静穏な谷地形の底部にあり、対岸側に位置する生活圏に近傍していることから、工事騒音等の反響によるダム周辺の住民や宿泊施設への影響が懸念される。そのことから、振動と同様に騒音においても対策が求められていた。地元住民からも生活圏への影響を極力減らすよう強く要望されていたが、事前の環境影響シミュレーションをした結果等を丁寧に説明したことで、工事に対するご理解を得ることができ、ダンプ運行管理システムの活用に対しては、特に高く評価いただくことができたことなど、これらの効果について、工事完了まで検証をしていくことが重要であると考えている。

(3) ダム貯水池近傍での施工

呑口部周辺岩盤が高い透水性を有していることが事前の調査ボーリングにより判明している。このため立坑周囲部における止水対策工は立坑掘削や坑門工施工時におけるダム貯水池からの浸水抑制といった施工時の安全性・確実な施工において重要な役割がある。呑口部における構造や施工方法・施工管理の詳細については現在検討中である。

今回の工事における課題については、既設ダムへの振動影響、生活環境等への影響対策、ダム貯水池近傍での施工の3項目に着目して対策を行った。この課題は将来の新ダム建設のための本体掘削や、ダム本体施工の際にも近似した課題項目として挙げられるものであると考えている。

今回取組んだ様々な対策の結果を検証し、新丸山ダム建設の設計・施工計画の検討を進めて参りたいと考えている。