

既設水力発電所 11.6m の嵩上げと 3.2 km のモルタル 長距離圧送による水路トンネルの長寿命化 — 熊追発電所改造工事 —

山下則夫* 蘇 茜** 大原直人* 阿部悟* 川崎幹太* 石川翔太*

この工事は、下流ダムの嵩上げによって水没する水力発電所を、同様に嵩上げして機能維持を果たす目的と、最新の水車発電機への更新や、導水路および水圧鉄管路の補修・補強を行って、出力 UP と長寿命化を図るという目的によるものである。この改造工事によって、発電所は出力を 4,900kW から 5,100kW に増大させ、次の半世紀も電力を安定に供給し続けることを目指している。

本報告書は、この工事を通して得られた知見、特に検討を要した工法、細心の注意を払った施工法等についての施工報告を行うものである。

キーワード：リニューアル、温度応力解析、ひび割れ防止対策、注水併用エアークーリング、長距離圧送

1. はじめに

電源開発（株）熊追発電所は、石狩川水系幾春別川上流の桂沢貯水池に面しており、石狩川水系空知川支流芦別川に位置する芦別調整池より取水し、桂沢貯水池へ放水する最大出力 4,900kW の水力発電所である。1957 年の運転開始以来、60 年以上にわたり国内の電力安定供給の一翼を担ってきた。

近年、ダムの再開発が脚光を浴びており、熊追発電所の下流に位置する桂沢ダムが北海道開発局の実施する幾春別川総合開発事業により、11.9m 同軸嵩上げし、旧ダム満水位：187.00m から新ダムサーチャージ水位：196.80m へ貯水位を上げる新桂沢ダムの建設計画が始動。これにより、貯水池に面する当発電所は水没することとなるが、貴重な純国産エネルギーである水力資源を有効活用する目的から、同様に、敷地を嵩上げし、その運用を継続しようという工事計画である。そしてこれにかかる約 4 年間の長期抜水期間を利用して、最新の水車発電機への更新および 3.2 km に及ぶ導水路、約 0.6 km の水圧鉄管路等の補修・補強工事を行い、最大出力を現在の 4,900kW から 5,100kW へ、また、次に水車発電機の更新を予定している時期まで、計画外の発電停止が発生しないよう、運用を継続し続けるための長寿命化を図っている。

本稿は主に、熊追発電所改造工事の「敷地嵩上げ」におけるコンクリートの要求品質確保への取組み、および導水路の長寿命化に臨むモルタル長距離圧送について記述するものである。

熊追発電所の位置図と概要図を Fig. 1, 2 に、着工前、完成後の写真を Photo. 1 に示す。

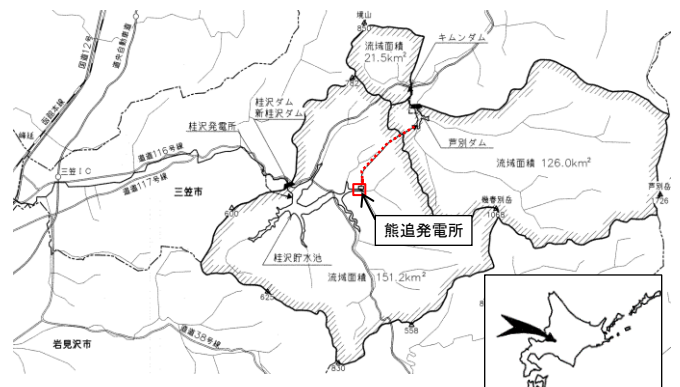


Fig. 1 熊追発電所 位置図

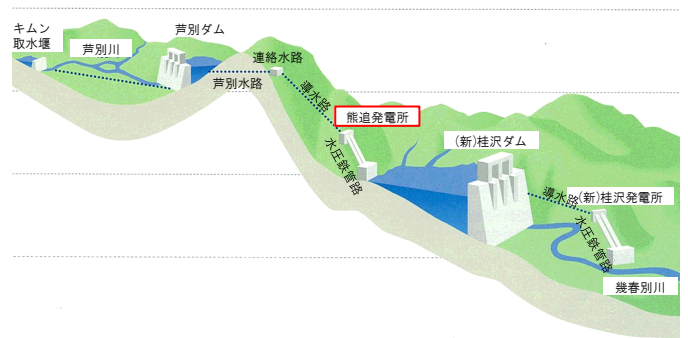


Fig. 2 熊追発電所 概要図



Photo. 1 熊追発電所 着工前（左）と完成後（右）

* 北海道支店 土木部 熊追発電所作業所
** 土木事業本部 土木設計部 土工・開削グループ

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工事全体の概要を以下に示す。

工事名：熊追発電所改造工事

発注者：電源開発 株式会社

工事場所：北海道三笠市桂沢 406 番地 熊追発電所

工期：2018年4月2日～2022年6月30日

(12月1日～3月31日までの期間は原則として冬期休工)

主要工事内容：

土砂・岩石掘削 9,800m³、盛土・埋戻し 22,000m³、コンクリート 9,700m³、鉄筋 520t、モルタル充填 780m³、クラック補修 1,650m、法面保護工 900m²、アンカー工 120本、コンクリート取壊し 500m³、ドラフトゲート 一式、建屋解体・新築工事 一式

2.2 敷地嵩上げ工事の概要

敷地の嵩上げは、外周に逆T型擁壁を設置する護岸擁壁工と、既設発電所をコンクリートで包むように壁を立ち上げる発電所側壁工で、先ず周囲全体を 11.6m 嵩上げし、その中を盛土することによって行った (Fig.3～5)。

護岸擁壁工は、最大高さ 15.6m、総延長 160m、コンクリート数量約 6,000m³に及び、1つのブロック長を 10m 程度とした 15ブロック (東 8ブロック、西 7ブロック) で施工した。打設の際のリフト高さは 3m 程度で、天端までは 5リフト (壁高の低いブロックを除く) となる (Fig.6)。

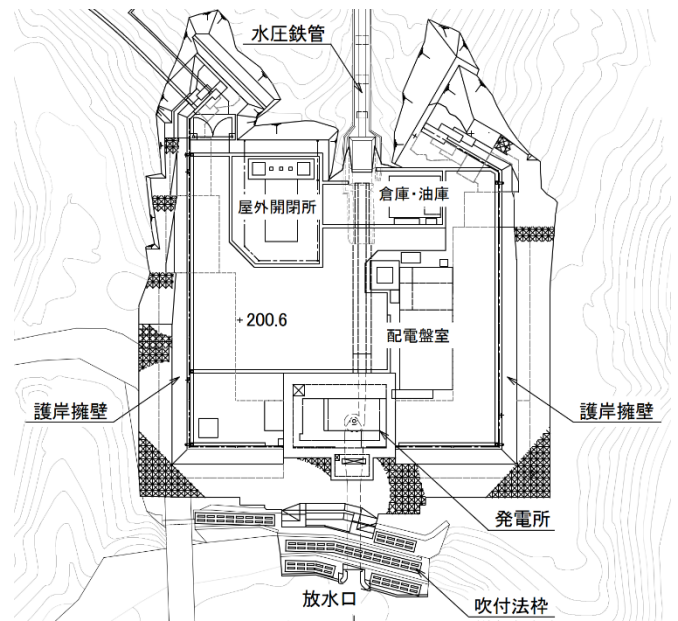


Fig.3 熊追発電所 平面図

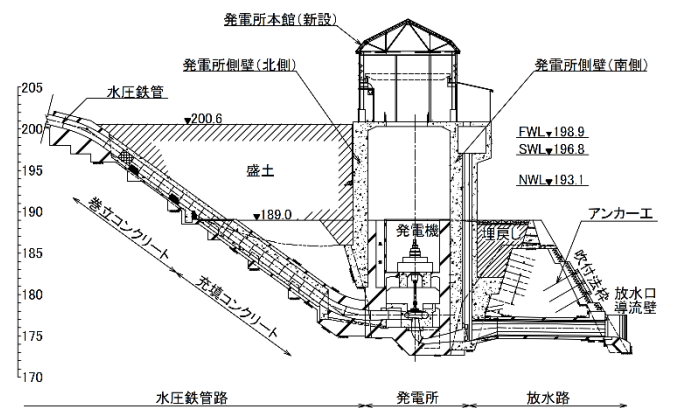


Fig.4 熊追発電所 断面図 (南北方向)

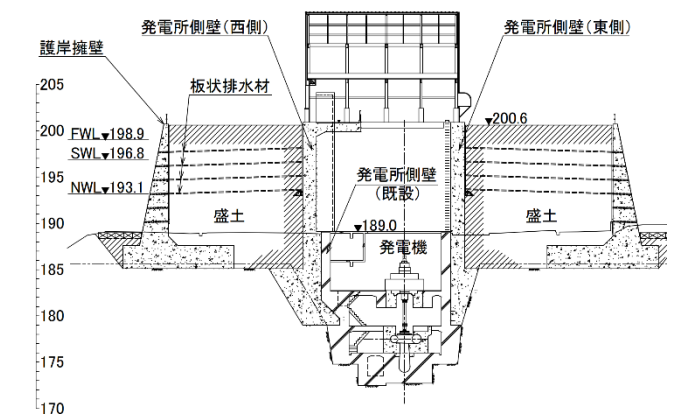


Fig.5 熊追発電所 断面図 (東西方向)

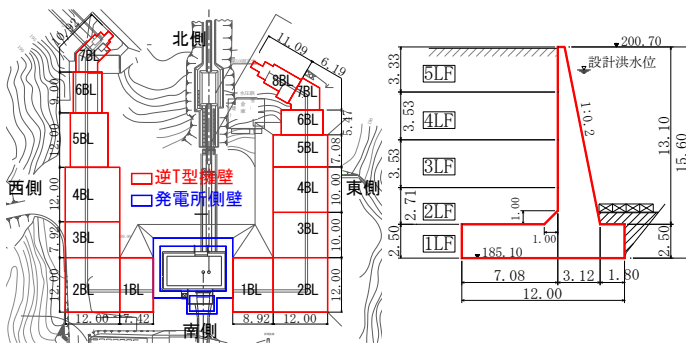


Fig.6 ブロック割およびリフト割図

発電所側壁は、1.5m～1.8m 厚の鉄筋コンクリートで、外圧に対する全ての荷重負担を単独で担うように設計されている。

既設発電所は地下構造物であるが、水車部が設置されている EL=179.0m 以浅が埋戻し土のため、一旦この標高まで掘下げて躯体を剥き出したあと、改めて新しいコンクリートにて包みこんでいく。そして、放水口のある南面はドラフトゲートを新しく更新するため、最深部に近い EL=173.3m まで掘下げる必要があり、既設のコンクリートを取壊して目標深度まで到達してからの施工となる。これにより、新設する側壁の高さは最大 27.6m、コンクリート数量約 2,800m³の箱型構造物となり、リフト高さを約 2m

とした 15 リフトでコンクリートを打設した。

護岸擁壁および発電所側壁によって嵩上げされた敷地内を計画高さまで約 20,000 m³の盛土にて造成する。盛土材には購入土を用い、液状化が生じないこと、雨水等の浸透による地下水位の上昇で擁壁に過剰な力が働かないこ

と等が求められた。前者に対しては、細粒分含有率 $F_c=35\%$ 以上かつ塑性指数 $I_p=15\%$ 以上の材料を盛土材として選定し、後者においては、板状排水材（材料名：エンドレンマットリブ型）を常時満水位以下に設置すると共に、擁壁には裏面排水材と水抜きパイプ、側壁には暗渠排水管+フラップゲートと裏面排水材を設置し、擁壁への残留水圧の影響を緩和した。

2.3 導水路補強工事の概要

導水路は上流の芦別調整池から当発電所を繋ぐ水路の内、連絡水路から水槽までの約 3.2 km のトンネル水路である (Fig. 7)。



Fig. 7 導水路 平面図

構造は直径 1.8m、馬蹄形、無筋コンクリート造の無圧水路で、既往の点検・調査より a) 進行性のクラック、b) コンクリート覆工全線にわたる背面空洞、c) インバート洗堀の進行が確認されている (Fig. 8)。

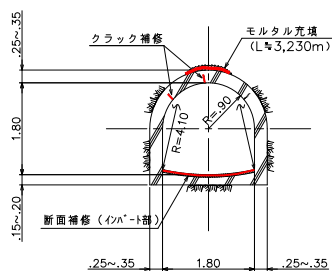


Fig. 8 導水路断面図

これを踏まえ、本工事では a) に対し、進行性クラック（合計長さ約 1,500m）の表面を U 字カットし、ポリマーセメントモルタルを充填して断面復旧を行う「クラック補修」、b) に対しては、全線に存在する背面空洞のうち地質が良好でクラックが発生していない箇所を除いた 60% 区間の背面空洞にモルタルを充填する「モルタル充填」、c) に対しては、インバート全線に耐摩耗性のある材料（材料名：超微粒子高炉スラグ系高耐久性ポリマーセメントモルタル NEM-TP）を全幅塗布（厚さ約 1 cm）する「断面補修」を行った。

2.4 その他の工事

既設の水車発電機本体は、最深階（完成後地下 5 階）とその上の階（完成後地下 4 階）の梁スラブ構造と一体としてコンクリートに埋設されているため、ワイヤーソーによる既設コンクリートの切出しおよび旧発電機の撤去等が必要となる。そして、撤去した箇所に新しく水車発電

機が設置（別途工事）された後、再度、新規コンクリートで巻き立てる発電機基礎コンクリート (Photo. 2) や、放水口のドラフトゲートの更新等も工事に含まれ、綿密な計画の下、細心の注意が必要となった。



Photo. 2 既設スラブ撤去状況 (左) と新規構築状況 (右)

また、水圧鉄管周りの補強として、埋設される部分にコンクリートを巻き立てて補強する巻立コンクリート、地上露出部分においては鉄管支持の台座が劣化しているため、それら劣化部分を撤去し、新しいコンクリートに置換える支台補修等も当工事に含まれ、急峻な地形に設けられた管路であるため、コンクリートの運搬等、施工方法は困難を極めた (Photo. 3)。



Photo. 3 コンクリート運搬状況 (左) と補修完了状況 (右)

3. 敷地嵩上げ工事の施工

3.1 要求品質

嵩上げされた発電所の敷地は、しばしば水位変動を伴うダム湖の水面に曝されるため、鉄筋構造物である逆 T 型擁壁においては、鉄筋の腐食が致命的となる。また、水車発電機は既存の位置が変わらないまま更新されることから、ダム水位上昇分だけ地下階の水圧が増すこととなり、発電所側壁自体の水密性が要求される。さらに、北海道三笠市という豪雪・極寒の地に位置するため、施工中の寒中養生対策はもちろんのこと、供用開始後も凍結融解による厳しい環境下におかれるため、凍害対策も重要な要素となる。このような観点から施工では以下の点に留意して品質の確保を行った。

- ①. 護岸擁壁工においては鉄筋が腐食しないこと。
- ②. 発電所側壁工においては漏水しないこと。

- ③. 繰り返し水中・曝露といった水位変動を受けてもコンクリートが劣化しないこと。
- ④. 耐凍害性があること。

このうち①～③については、ひび割れの発生と密接な相互関係があるため、いかにひび割れを抑制するかが大きな課題となる。また、耐凍害性については、既往の知見から W/C=55%以下、空気量 6.0%のコンクリートを規定しており、実施工では W/C=45.7%のコンクリートを使用した。

3. 2 ひび割れ抑止対策

3. 2. 1 事前解析

擁壁コンクリートの壁厚は最大 3.1m、側壁コンクリートは壁厚 1.5m～1.8mの直壁でいずれもマスコンクリートである。温度応力によるひび割れの発生が懸念されたため、事前に 3次元 FEM 温度応力解析を実施した。結果は、双方ともにひび割れ指数が 1.0 を下回り何らかの対策が必要となった（ひび割れ指数 1.0 はひび割れの発生確率が 50%）。ひび割れの発生を抑制する方法として、誘発目地の設置、クーリング、膨張剤の使用、低発熱セメントの使用等、いくつか挙げられるが、構造物の要求品質と経済性を踏まえた上で、最も効果的な工法を検討した。

3. 2. 2 護岸擁壁工の対策

鉄筋の腐食を防止するには有害なクラックの発生を防ぐことが必須である。既往の知見によると、ひび割れ幅が 0.2 mm以下の場合、鉄筋の腐食に与える影響は少ないとあるため、温度応力解析によるひび割れ指数の目標値を 1.0 と定めて対策工を検討した。解析はリフトスケジュールを元に打設日の想定外気温や次リフトを打継ぐまでの経過日数によるコンクリート温度の変化等がパラメータとして使用されるため、リフトスケジュールと実打設日に大きな差が生じた場合、改めて解析し直す必要がある。今回の擁壁工事では、発電所側壁に接する東 1BL、西 1BL の上位リフトがスケジュールと異なり次年度持ち越しとなったため、改めて再解析を行った。結果は長期放置リフトが生じたことによる外部拘束力の増加が影響し、以前の解析結果による対策（ブロック中央に誘発目地 1 本）に加え新たにクーリングの実施が必要となった。以下 Fig. 9 に西 1BL の解析結果の推移を示す。

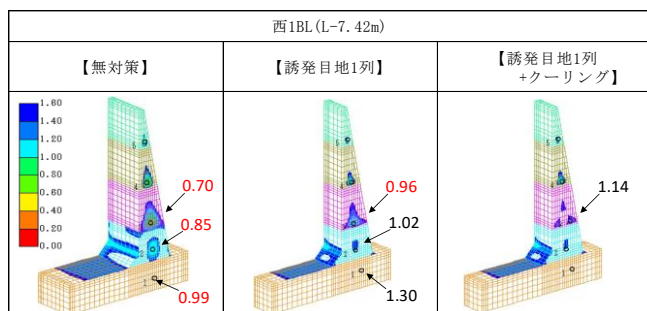


Fig. 9 3次元 FEM 温度応力解析による解析結果
(数字はひび割れ指数 1 以下の数値の推移を表す)

なお、ひび割れ抑制工法の他、万一のクラック発生に備え、堅壁の引張側（土中側）の主筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。また、コンクリート中性化の観点から、主筋の被りを 12 cm以上とした。さらにダム湖に接する側は、コンクリート表面に無機質セメント結晶増殖材を塗布することにより、コンクリートの緻密化および遮水性の向上による凍害対策、ならびに自己修復性を付与することで更なる安全裕度を期待した。

3. 2. 3 クーリング対策

今回採用したクーリング工法は、弊社が開発し、実用化した「注水併用エアークーリング工法」である。本工法は、冷却媒体を空気とし、クーリング管中にミストを噴霧し、水が気化する時の気化熱を利用してクーリング管中の空気の温度を低下させ、冷却効果を高めたものである（Fig. 10）。仕様として、風速約 20m/sec 以上、ミスト（150ml/min, 粒径 100 μm 程度）を基本とする。

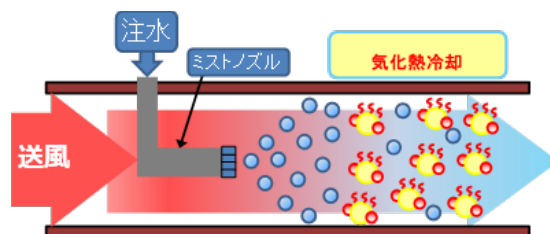


Fig. 10 注水併用エアークーリング工法概念図

3. 2. 4 発電所側壁工の対策

新設する側壁コンクリートは、マスコンクリートという理由だけでなく、ジョイントを設けずに側壁全周を一体で打設する計画や、既設側壁および岩盤からの拘束があることから温度ひび割れの発生が懸念され、擁壁同様、事前に 3次元 FEM による温度応力解析を実施した。結果は、無対策の場合、ひび割れ指数 1.0 を大きく下回る箇所が多数発生し、様々な対策を複数組み合わせなければならぬことが判明した。ここで新設側壁に求められる品質が構造的性能と遮水性の確保という点であることに着目し、経済性、施工性、ならびに維持管理性の観点も踏まえた上で、どのような対策が効果的か比較検討を行い、以下に示す対策の組合せが最も合理的であると判断した。

1) 東西・北面の新設側壁

東西・北面の側壁は、本工事完了後、土中の地下水面に埋設されることになる。側壁の遮水性を担保する方法として、各種ひび割れ対策を実施してひび割れの発生を抑え、側壁のコンクリート自体に遮水性を求めるよりも、シート防水等の外防水対策を実施する方が優位との結果を得た。そこで、東西・北面に関しては、ある程度のひび割れを許容し、外防水対策による遮水性の確保および鉄筋の腐食防止を実施した。また、外防水に使用するシートは伸縮性があるため、これを施工することにより、地震等有事の際に生じたクラックに対しても、遮水性を維持することが可能と考える。

2) 南面の新設側壁

南面は擁壁同様、常にダム湖の水位変動に曝されること、他の面とは異なり地中に埋設されず直射日光の影響を受け易いことから、外防水対策は経年劣化が懸念され、維持管理面において不利と考えた。そこで、南面に限っては、温度ひび割れを許容せず、新たに打設するコンクリート側壁自体に遮水性を持たせることにより品質を確保することとした。

幾つかのパラメータスタディの結果、既設側壁との縁切り+誘発目地2列+クーリング（注水併用エアークーリング）を行うことにより、ひび割れ指数を満足する結果となり、この組合せが総合的に最も合理的と判断した。さらに、南面外周に前述の無機質セメント結晶増殖材を塗布することで更なる遮水性の向上を図った。以下 Fig. 11, 12 に対策工法、Fig. 13 に解析結果を記述する。

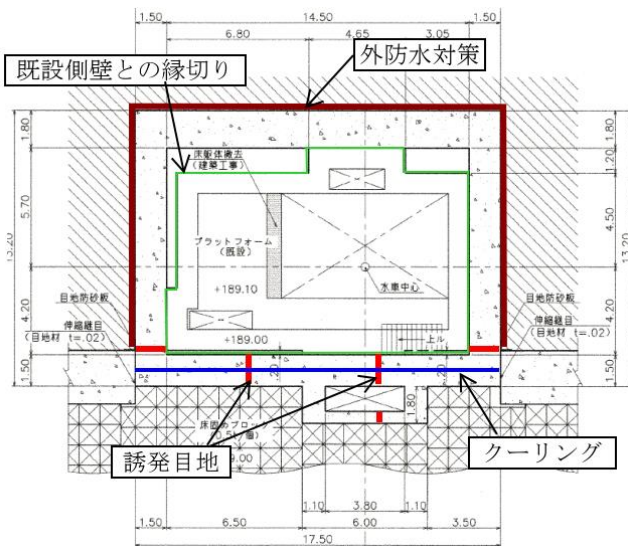


Fig. 11 側壁工の対策 平面図

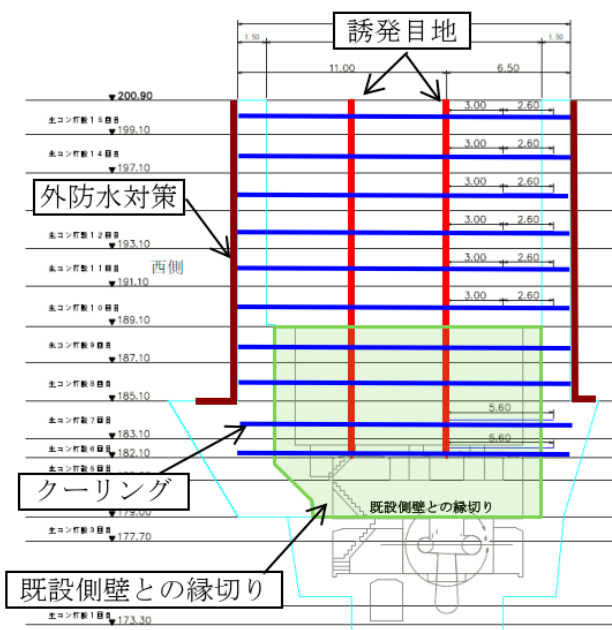


Fig. 12 側壁工の対策 南面断面図

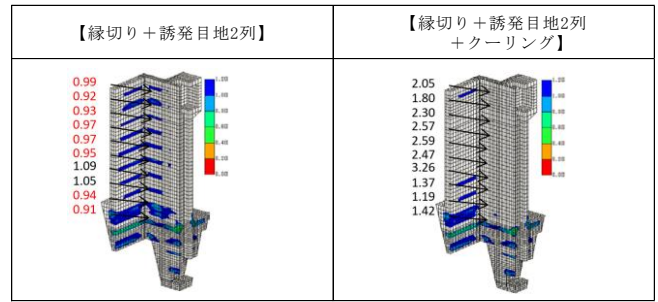


Fig. 13 3次元FEM温度応力解析による解析結果
(数字はひび割れ指数の数値の推移を表す)

3. 3 施工状況

Photo. 4, 5 に南面新設側壁におけるクーリング実施状況を示す。また、Photo. 6 に外防水実施状況、Photo. 7 に無機質セメント結晶増殖材塗布（含浸工）状況を示す。

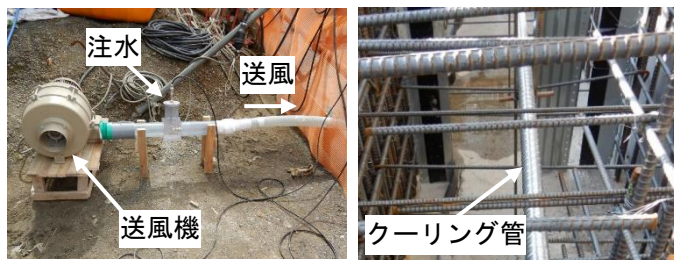


Photo. 4 クーリング機械

Photo. 5 クーリング管設置



Photo. 6 外防水工

Photo. 7 含浸工

3. 4 フィットting解析

側壁工 12 リフトにおいて、実施工で得られたデータによるフィッティング解析を実施した (Fig. 14) . グラフの No. 1 はクーリング管近傍、No. 2 は 0.5m 離れた位置のデータで、クーリング管近傍では 16.9°C 程度の温度抑制効果を得ることが確認出来た。また、この時のひび割れ指数は 1.55 となった。これにより、事前解析と計測値による再現解析がほぼ一致していることが確認出来、また、現在でも南面に有害なクラックが発生していないことから、今回の対策の有効性を示すことが出来た。

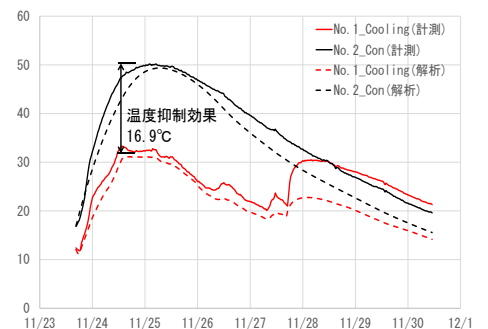


Fig. 14 温度経時変化図

4. モルタル長距離圧送

4. 1 モルタル充填工の課題

導水路補強工事の内、トンネル背面の空洞を埋めるモルタル充填工は、3.2 kmの長い区間に亘って充填を行う工事であるが、それだけの長距離を圧送した実績は少なく、実際に施工可能か不確定な部分が多く存在する未開の工事であった。さらに、トンネルにアクセスするには非常に険しい林道しかルートが無く、いかに交通災害を無くすかも大きな課題であった。

4. 2 導水路の立地条件

導水路は発電所敷地よりさらに山腹の上流に向け林道を3.0 km登ったところにある「水槽」という施設が終点側、そこから一旦引返し、さらに上流に5.6 km進んだところにある「連絡水路」が起点側となる (Fig. 15)。連絡水路は、芦別ダムからの導水を発電用水と放流水に分岐する設備で、水槽は導水路を流れてきた用水を水圧管路に送る手前で余剰水を放出するための設備である。この連絡水路から水槽までの約3.2 kmのトンネル区間が導水路であるが、この終点、起点にアクセスする林道は非常に険しい山間部にあり、要所要所に交差のための拡幅部はあるものの、小型トラックがやっと通れるほどの道幅に、つづら折り、急勾配が続く難所である。また、トンネルは直径1.8mの小断面で、この3.2 kmの長距離トンネル区間にどのようにモルタルを供給し続けるかが課題であった。

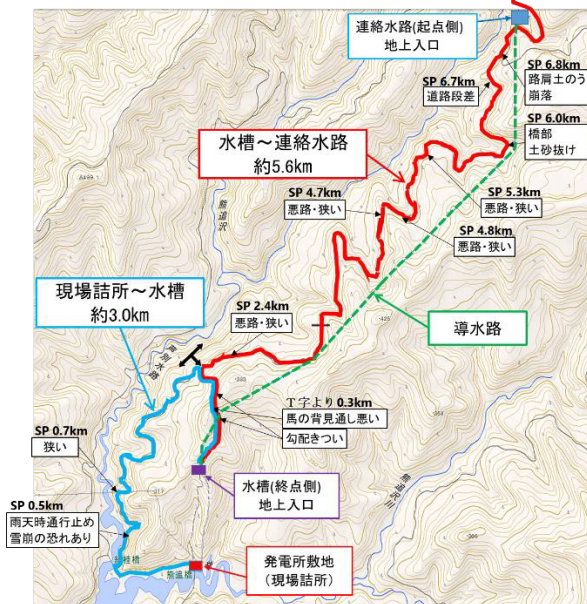


Fig. 15 導水路アクセス道路

4. 3 充填工法

トンネルの空隙充填工法は、長距離圧送の出来る可塑性充填注入材を用いた J Pack Grout Plas ZERO 工法 (日本基礎技術 (株)) を採用した。この工法はカタログ値で4 km程度の圧送が可能とあり、セメントと主材を混合したA液とベントナイトと可塑性材を混合したB液の2液をそ

れぞれ別々に圧送し、注入口元で混合する方式である。特徴は、素早くゲル化して非漏出性を有することと、水中不分離性、無収縮性があることであるが、3 kmを超える長距離圧送の実績はまだ無く、今回が初めての経験となった。

4. 4 モルタルプラントの配置

計画では1 バッチ (A液 1m³+B液 1m³=2m³) 当たりの平均充填時間を40分とし、1日8バッチ (16m³) を日充填量としている。配合は、Table 1の通りであるため、セメント6.4t/日、ベントナイト0.8t/日、その他0.7t/日程度の資材の供給が連日必要となる。

Table 1 充填材 1m³当りの標準配合表

A液 (0.5m ³)		B液 (0.5m ³)		備 考
名 称	単位数 (kg/0.5m ³)	名 称	単位数 (kg/0.5m ³)	
セメント	400kg	ベントナイト	50kg	セメント=高炉B種
遅延剤	4kg	—	—	遅延剤=マイティール150R
主材プレミックス	20kg	可塑性プレミックス	20kg	
水	358kg	水	473kg	

林道は前述の通り非常に険しい一本道で、走行は4t ユニーク車が限界なため、プラントをどこに設置するかが大きな鍵となった。1つ目は当初計画の通り、発電所敷地に近い水槽 (終点側) に設置する案だが、水槽までの道は特に急勾配な箇所があり、また、アップ・ダウンが激しく雨天では4WDの車両でも登坂がおぼつかない等から不適と考えた。次に、プラントを発電所敷地付近に設置し、水槽まで配管して圧送する案が挙がったが、材料の供給は問題ないものの、トンネル坑内の3.2 kmに加え、延長約600mの配管を山の斜面に設置して、総延長3.8 km、高低差150mを圧送するのは、施工上、非現実的と考え却下された。最後に残ったのは、一番遠い連絡水路側 (起点側) に設置する案だが、普通車でも往復1時間半程度かかり、多い時には4~5回の運搬が必要となることから資材運搬専用の車両と人員が必要となるが、この林道は比較的高低差が少なく、最もリスクが少ないと判断し、起点側にプラントを設置することとした。なお、混練水については近くの沢からの取水について管轄する市から許可を受けたため問題なく供給することが出来た。

4. 5 施 工

施工は最初に全線に亘って圧送用の配管φ50mm-3.2 km、2系列を設置し、プラント (以後、一次プラントと記す; Photo. 8) のある「連絡水路」から一番遠い、「水槽」側から注入を開始した。

注入箇所付近では1m³の移動式アジータタンクと注入ポンプ、流量計のセットを



Photo. 8 一次プラント

各液分(2系列)設け(以後、二次プラントと記す;Photo. 9), 一次プラントで混合した各溶液を1バッチ毎に二次プラントまで空気圧送する。二次プラントでは、受けた2液を共に注入ポンプで充填孔まで送り、口元で混合されるノズル(スタティックミキサー)を通して空隙に充填した。この流れを模式化した「注入系統図」をFig. 16に記す。



Photo. 9 二次プラント

ここで、空気圧送を採用した理由は、注入材の連続搬送では、注入完了時に配管内に残ったモルタルが全て廃棄となるため、毎回、平均して6m³強(配管全長3.2km/2×2系列)の廃モルタルが出ることとなり、経済的にも環境的にも望ましくない。空気圧送であれば、1バッチ毎の圧送となるため、配管内に材料は残らず、無駄のない施工が可能となる。

注入完了の規定は、次孔からのリークを確認するか、規定圧力に到達、もしくは周囲の亀裂等からのリーク状況を確認して判断した。注入圧力は覆工コンクリートへの影響を考慮し、原則として最大注入圧力をPmax=0.2MPaとしたが、事前調査の結果から、覆工巻厚の薄い箇所が存在しており、そこではFig. 17に則って、最大注入圧力の低減とパイプサポートによる補強(Photo. 10)を行って対処した。

変位の監視は目視によるものであったが、全体を通し変状は見られず、圧力管理の有効性を示した。また、覆工

のジョイント部分や湧水箇所、亀裂のある箇所では、想定以上にリークが多かった箇所もあり、コーキング処理や清掃等に労力を要した。

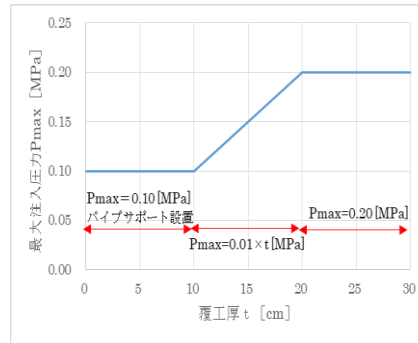


Fig. 17 覆工厚と最大注入圧力



Photo. 10 パイプサポートによる補強

4. 6 長距離圧送を終えて

4. 6. 1 圧送の成否

長距離圧送では、圧縮空気で注入材を送る仕組みだが、この圧縮空気先端(空気と注入材の境目)にスポンジ等の縁切り材を入れることにより、材料が分離することなく圧送することが出来ている。今回は、このスポンジの微妙な仕様の違いによって注入材搬送の成否が分かれた。

Photo. 11は今回使用した3種のスポンジで、左から「ウレタンスポンジ(120×120)」、「積層スポンジ(50A)」、「一般ポリピグ(50A)」である。一般ポリピグは専用



Photo. 11 専用スポンジ

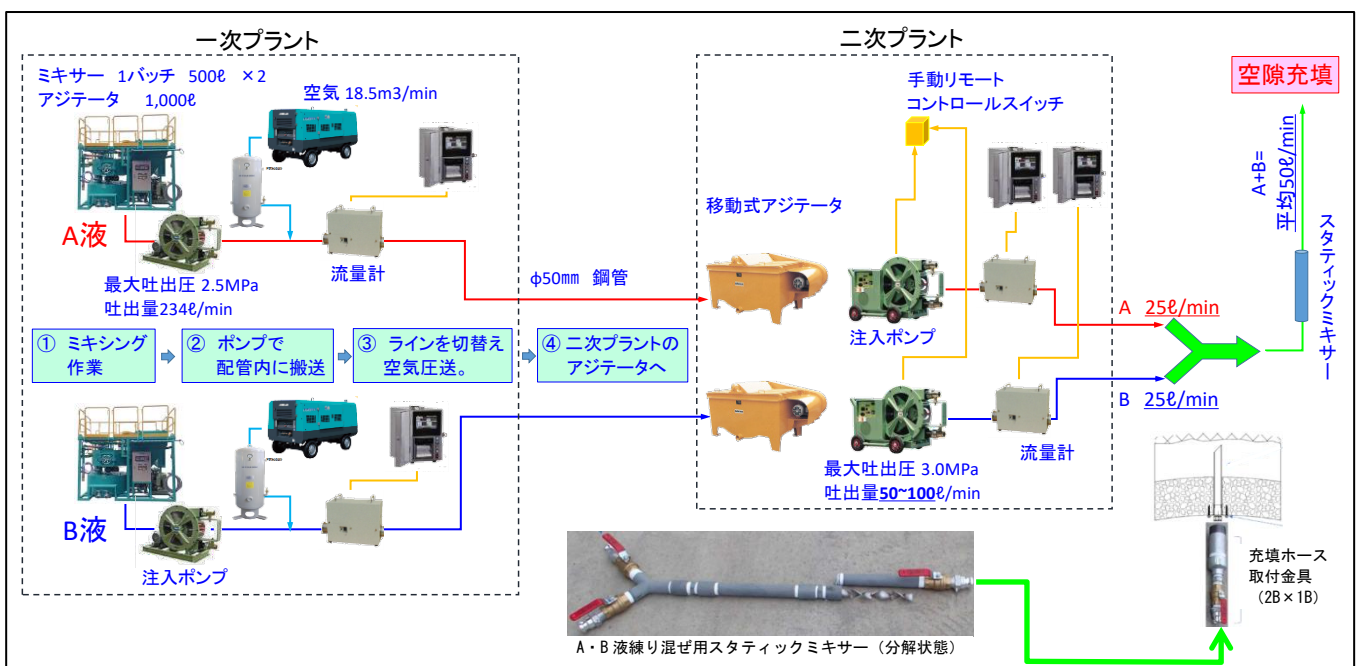


Fig. 16 注入系統図

開発された商品であり、一番安定して圧送出来ていたが、使い始めから数回（5回位）経つと表面のコーティングが剥がれてしまい、そこに注入材が染み、膨れ上がって、圧送管内途中で詰まるなどのトラブルが発生した。1回の搬送距離が3.2 kmにもなると耐久性で難があり、非常に高価（約1.5万円/個）なため頻りに交換するとコスト高となることから、別の方法を模索した。積層スポンジは一般ポリピグより柔らかい素材でこれ単体では注入材を止めることが出来ず、搬送中、積層スポンジの後ろ側に注入材が回り込んでしまう現象が多く発生した。この対策としてさらに柔らかい素材のウレタンスポンジを後ろに詰めて、注入材が回り込むのを防止すると安定した搬送が可能となった。いずれも単体での使用は不可だが、組み合わせることにより目的を果たすことが出来た。消耗については、ウレタンはほぼ使い捨てで、積層は角が丸くなるなどがあったが支障なく、いずれも安価（ウレタン：約400円/個、積層：約1000円/個）なため、この方法を採用した。その後、120 mm立方体のウレタンスポンジはφ50 mmの鋼管に詰め込むのに手間なため、一回り小さい100 mmの立方体に変更、試行錯誤の末、最終的には積層スポンジ2個、100 mmウレタンスポンジ2個を詰める方法に落ち着き、無事完了に至った。

4. 6. 2 モルタル連続供給への課題

2次プラントのタンクの容量は1.0m³のため容量に余裕が無く、丁度いいタイミングで次のバッチを供給するのが難しかった。1次プラントから2次プラントまでに溶液が到達する時間を測りながら送り出すタイミングを調整していたが、早すぎるとタンクからあふれてしまうし、遅すぎれば切羽で材料待ちが発生してしまい、充填量にも影響が出てしまう。改善として、リザーブタンクを別に用意して対処したが、狭いトンネル坑内に余計な設備を増やすことになり労務が増える形となった。今後はセンサー技術やDX等を活用したソフト的な対応でタイミングよく送り出せるシステムが出来ないか検討の余地があると思われる。

5. まとめ

本稿では、ダム湖に面したコンクリート構造物の品質確保と、前例の少ない長距離モルタル圧送工事についての施工報告を主題とした。前章の嵩上げ工事では、複数のひび割れ対策を施工性、経済性、維持管理性も踏まえたうえで検討し、最善と思われる対策を実施して完成に至った。現在、特に有害なクラックは発生しておらず、対策が有効に働いていると思われるが、ダムの供用が未だ始まっていないこともあり、供用開始後の挙動について、今後も注視していきたいと考える。また、長距離圧送においても実施工に入る前の不安要素を克服し、無事に施工を終えることが出来たことは、工法の妥当性を証明し、圧送距離の実績を延ばすことに貢献出来た。

謝辞

この工事では、難易度の高い工事が数多く企画され、計画段階から頭を悩ませることが非常に多くありました。しかしながら、その一つ一つの課題を丁寧に分析し、関係者が一丸となって知恵を出し合うことにより、何とか課題を克服して、無事完成に至ることが出来たのは、ひとえに、この工事に携わった多くの関係者の皆様の多大なご尽力の賜物と改めて深く感謝する次第です。

最後に、発注者である電源開発株式会社の皆様、また、ここに携わった多くの関係者の皆様に、多大なご協力を頂きましたこと、この場をお借りし、厚く御礼申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 平塚俊祐・藤田 亮：熊追発電所改造工事の施工状況，電力土木，No. 406，pp. 45-49，2020. 7
- 2) 蘇 茜・神崎恵三・山下則夫・阿部 悟：熊追発電所改造工事におけるコンクリート品質確保の取組みについて，第75回土木学会年講論文
- 3) 有菌大樹・平塚俊祐・山下則夫・蘇 茜：熊追発電所改造工事の設計と施工，コンクリート工学，Vol. 57No. 11，pp. 870-875，2019. 11
- 4) 有菌大樹・高倉秀幸：熊追発電所改造工事 計画と設計，電力土木，No. 396，pp. 50-53，2018. 7

Raising an existing hydroelectric power plant by 11.6 m and long-distance mortar pumping of 3.2 km to extend life of a channel tunnel —Kumaoui Power Station Renovation Project—

Norio YAMASHITA,* Sen SO,** Naoto OHARA,* Satoru ABE,* Kanta KAWASAKI,* Shota ISHIKAWA*

Abstract

The purpose of this construction was to maintain the functions of a hydroelectric power plant, which would have been submerged after the raising of a downstream dam, by also raising the power plant, and to increase the capacity and extend its service life by upgrading the facilities with the latest water turbine generator, and repairing and reinforcing the headrace channel and iron penstock. This renovation project was aimed at increasing the plant capacity from 4,900 kW to 5,100 kW and ensuring stable power supply for the next half century.

This report describes the findings resulting from this project, the construction methods that required careful consideration, and those that demanded the utmost care.

Keywords: renewal, thermal stress analysis, crack prevention measures, simultaneous water and air cooling, long-distance pumping