

狭隘な山間部での頭首工改修工事における施工対策

Construction measures for repairing headworks in narrow mountainous areas

星 知樹* 永野 心治*
Kazuki Hoshi Shinji Nagano

要 約

本工事は、国営田沢二期農業水利事業計画に基づく抱返頭首工の改修工事であり、作業は非出水期の10月1日から翌3月31日の期間に限られた。また現地までのアクセスルートは観光用の遊歩道のみで、冬期には豪雪によって閉鎖されるため、資機材等の運搬および工事従事者の輸送には既設取水トンネルおよび取水幹線用水路を利用する必要があり、作業効率の向上が求められた。

本稿では、資機材の輸送動線を確保するために行った施工対策や、コンクリートの長距離運搬に対する品質対策について報告する。

§ 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 施工上の課題
- § 4. 資機材運搬ルートの確立
- § 5. コンクリート打込み作業の課題と対策
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

抱返頭首工は、秋田県仙北市の県立自然公園内にある抱返り溪谷の中程に位置し、流下する一級河川玉川から取水して大仙市、仙北市および美郷町の水田地帯へ受益するかんがい用水取水設備である。当施設は、前回の改修工事から約30年が経過しており、厳しい気象条件の影響もあって老朽化が進み、効率的な営農に支障をきたしていた。そこで基幹施設を改修し、農業用水の安定供給と施設の維持管理の軽減を図る目的で、抱返頭首工整備工事が事業化された。

本工事は、抱返頭首工の補修および耐震補強、並びにゲート設備等の更新を行うものであり、東北農政局で初めてECI方式により発注された工事である。当地では工事用道路が造成できないため、限られた作業期間の中で、既設の取水トンネルおよび取水幹線用水路を利用して資機材や工事従事者を輸送する必要があった。

本稿では、資機材等の効率的な輸送動線を確保するために行った施工対策およびコンクリートの長距離運搬に対する品質対策について報告する。

§ 2. 工事概要

工 事 名：田沢二期農業水利事業抱返頭首工整備工事
発 注 者：東北農政局 田沢二期農業水利事業所
工 期：令和3年4月15日～令和6年5月15日
工事場所：秋田県仙北市角館町広久内大広久内山
国有林地内ほか
工事内容：取水口（耐震補強工、取水ゲート撤去・更新）
土砂吐ゲート（土砂吐ゲート撤去・更新、操作室撤去・更新）
河川内土工一式
固定堰（固定堰補修、固定堰撤去・復旧）
仮設工一式
（写真一1 参照）



写真一1 整備前の状況

* 北日本（支）秋田抱返（出）

§3. 施工上の課題

抱返頭首工は田沢左岸幹線用水路の取水口であり、取水量はピークで毎秒およそ 12 m³ に達する。場所は秋田県有数の景勝地にあり、頭首工付近は両岸が断崖で、現場までは観光用の遊歩道しかアプローチ手段がない。また冬期には豪雪によって通行ができないため、資機材の運搬および工事従事者の輸送には、取水幹線用水路（幅 3.4 m、高さ 2.45 m、延長約 140 m）を経由して既設取水トンネル（馬蹄形：幅 3.3 m、高さ 2.8 m、延長約 800 m）（写真一2）を使用する必要があった。

工事期間はかんがい期および洪水期に被らない 10 月から翌 3 月までに限定されたが、春先には大量の融雪水による河川の増水があるため、実質的には 2 月中に施工を完了する必要があり、効率的な施工と安全対策を講じることが望まれた。



写真一2 既設取水トンネル

§4. 資機材運搬ルートの確立

本工事では、全体の作業時間に対して資機材運搬時間の占める割合が極めて高いことがわかった。このため、資機材の運搬方法を確立し、運搬時間を短縮することが、工事上の第一優先の検討事項であった。

4-1 軌条設備の設置

(1) 軌陸車と牽引台車

当初の施工計画では、資機材の運搬は 4t 級のフォークリフトを走行させる計画であった。しかし、既設取水トンネルは狭所に加えて大小 17 箇所のカーブがあることから、運搬時に資機材の破損や既設構造物の損傷が懸念された。そこで安全かつ安定した輸送とするため、既設取水トンネルおよび取水幹線用水路に軌条設備を設置した。資機材の輸送に必要な軌道装置動力車には軌道と陸路の両走行可能な軌陸車を採用し、牽引台車として 3t 平台車（写真一3）を用いた。レールゲージは重機械の自走時に履帯の障害とならないようにするため、JR で使用している RG-1,067 mm より狭い RG-762 を採用した。このため、軌道装置動力車はすべて特注製作である。

(2) アジテーターカー、バッテリーカー

耐震補強工事および固定堰復旧工事ではコンクリートの打込み作業がある。しかし既設取水トンネルの断面が狭隘であることから、アジテーター車によるコンクリートの運搬が不可能であった。このため、コンクリートの運搬には 3 m³ アジテーターカーおよび 8 t バッテリーカー（写真一4）を使用した。

(3) レールスクーター

工事従事者が既設取水トンネル内を抱返頭首工まで徒歩で移動した場合、片道で約 20 分を要し、1 日の全作業時間の約 18% を移動時間が占めることになる。そこで工事従事者の移動手段として、軌条専用の 8 人乗りレールスクーター（写真一5）を導入した。



写真一3 軌陸車と牽引台車



写真一4 3 m³ アジテーターカー、8 t バッテリーカー



写真一5 レールスクーター

レールスクーターを使用することで、徒歩での移動に比べて、日当たりの移動に要する時間割合を半分以上に短縮できた（表-1）。

表-1 移動時間比較表

移動手段	距離 (m)	速度 (km/h)	移動時間		
			片道 (分)	1日当たり (分)	全体作業比 (%)
徒歩	940	3	19	76	18
レール スクーター		8	7	28	7

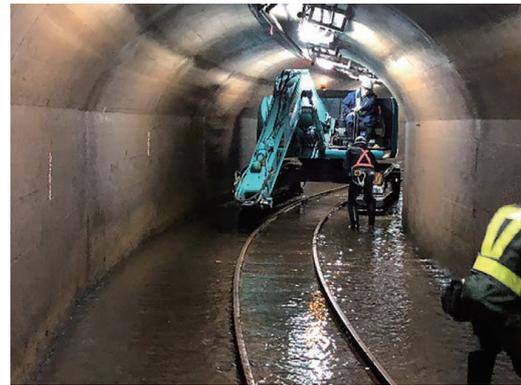
4-2 昇降架台設備の設置

取水幹線水路は、地上との高低差が4mほどあり、工事に必要な資機材の運搬を円滑かつ効率的に行うため、積み替えを必要としない仮設備として昇降架台設備（写真-6）を設置した。昇降架台設備は、資機材のみの昇降に使用するもので、人が搭乗することはできない。4本のウィンチを使用して積載ステージを昇降する構造となっており、最大14tまで積載することができる。

工事で使用する主要な重機械として、0.45m³バックホウや4tクローラードンプ等がある。これらも昇降架台設備を利用して頭首工まで搬入する。ただし、既設取水トンネル内は狭隘なため、そのままでは通過できない。そこであらかじめ重機械を分解し、本体と部材を別々に搬入した。例えば、0.45m³バックホウは、キャビンとブーム、バケットを全て分解し、本体は自走して移動させた。そして再度頭首工で組み立てた（写真-7）。



写真-6 昇降架台設備



トンネル内を自走する本体



台車で運搬する部材



分解した重機の組立
写真-7 重機の搬入

4-3 通信設備

抱返頭首工周辺は、キャリアの通信による携帯電話が使用できない。このため、頭首工周辺と既設取水トンネル内を網羅した現場全域にWiFiアンテナを設置し、通常時の業務連絡や緊急時の連絡を確実にできるようなパケット通信による連絡体制を確立した（写真-8）。



写真-8 トンネル内のWiFiアンテナ設置状況

§5. コンクリート打込み作業の課題と対策

工事中に本川流を切り回すため、既設固定堰の右岸を一部撤去 (L=10.0 m, H=3.0 m) しており (写真一9), その復旧のために現地でコンクリートの打込み作業が必要であった。しかし、生コン工場から頭首工まではコンクリートの長距離運搬や積み替え作業が必要であるため、コンクリートのスランプロスによる品質低下が懸念され、施工や材料面で対策が必要であった。



写真一9 固定堰の復旧範囲

5-1 打込み方法の変更

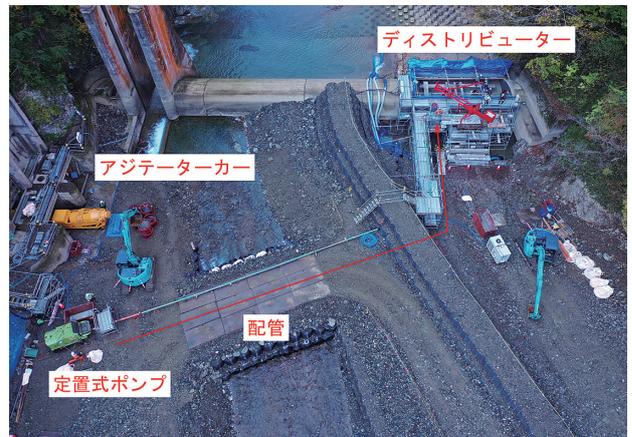
コンクリートの設計数量は合計 139 m³ (設計) だが、7 リフトに分割して打ち込むため、1日あたりの打設数量は 9~22 m³ と少ない。このためコンクリートの打込み方法として、当初計画ではトンネル内をアジテーターカーで運搬したコンクリートを定置式ポンプへ直接投入してそのまま圧送する計画であった。しかし、定置式ポンプへコンクリートを投入している間、アジテーターカーがその場に拘束されてしまうため、次のコンクリートを取りに戻るまでに時間を要し、コンクリートの運搬時間が余計にかかってしまう。その結果、1日あたりの打設量の減少やコンクリート許容打ち重ね時間の上限超過の可能性があった。そこでアジテーターカーをできるだけ現地に拘束しないようにするため、0.5 m³ ホッパーを多数準備してコンクリートを順次荷卸しし、アジテーターカ

ーの拘束時間を短縮する方法に変更した (写真一10)。

また打込み範囲が最大 60 m² ほどあるが、当初計画では定置式ポンプから配管を伸ばし、先端ホースで回し打ちする予定であった。しかし、型枠支保工や足場などが干渉してホースの引き回し作業が難しいことや、配管材の布設替え時の挟まれリスク、曲がり管使用数の増加に伴い配管が閉塞するリスクなどがあった。そこで打込み範囲を全て網羅できる位置に手動式ディストリビューターを設置した (写真一11, 写真一12)。これにより、コンクリートの打込み作業を容易にし、また配管材の布設替えがなくなり、挟まれリスクや配管材の閉塞リスクを軽減した。



写真一10 0.5 m³ ホッパーへの積み下ろし



写真一11 打込み配置図



写真一12 ディストリビューターでの打込み作業

5-2 コンクリートの配合変更

図-1にコンクリート運搬（出荷～打込み）の概略図を示す。生コン工場で製造されたコンクリートは、アジテータ車（2.5 m³積/台）を使って25分ほどで現場の仮設ヤードに到着し、アジテーターカーへと荷卸しされる。アジテーターカーはバッテリーカーに牽引されてトンネル内を移動した後、0.5 m³ホッパーへと順次積み替えられる。そしてホッパーから定置式ポンプへと移されたコンクリートは、配管で輸送され、ディストリビューターを使って頭首工へと打ち込まれる計画である。

このように本工事ではコンクリートの積み替え作業が何度もあるため、スランプロスや圧送時の配管閉塞の発生が懸念された。また練混ぜから打終わりまでに約110分を要する見込みで、運搬時間の上限2時間（土木学会：外気温25℃以下の場合）に迫る厳しい条件であった。さらに冬季施工のため、コンクリートの初期強度発現の遅れによる初期凍害にも留意する必要があった。

そこで、本工事の厳しい施工条件でも安定した品質を確保できるように、コンクリート配合の修正検討を行った。具体的には、コンクリートの材料分離抵抗性およびスランプ保持性を高めつつ、現行配合21-12-25Hと同等以上の凝結特性や強度発現性を有した配合に修正した。

(1) 対策の概要

コンクリートの配合は、厳しい施工条件を考慮して、以下の対策案を考案した。

① ベース配合のランクアップ

フレッシュコンクリートの材料分離抵抗性を高め、運搬中の積み替えによるスランプロスを低減するため、現行配合（21-12-25H）よりも細骨材率を高め、モルタル容積を増やし、スランプを高めた24-15-25Hに配合変更する（表-2）。

② 流動保持剤の使用

コンクリートの練混ぜから打終わりまで約110分と長時間を要する見込みで、時間経過に伴うスランプロスを抑制するため、流動保持剤を使用する。本剤はJISの減水剤標準形（I種）に適合し、主成分はポリカルボン酸エーテル系化合物である。使い方は現場の仮設ヤードにてアジテータ車に直接投入して攪拌する。スランプの経時保持性能が向上しかつ過大な凝結遅延は起きにくいいため、仕上げなどの作業工程への影響が小さく、初期凍害の発生リスク低減も期待できる。なお、アジテータ車での攪拌時間が長すぎると空気の巻き込み量が増えるため、注意が必要である。

上記の対策①、②について、その効果を室内試験で確認した。試験はすべて5℃環境の恒温恒湿室で行い（写真-13）、使用材料は前日に同環境内に存置して用いた。試験ケースは3水準（現行配合21-12-25H、修正配合24-15-25H、修正配合+流動保持剤）とした。また化学混和剤は、AE減水剤（高機能）をC×1.5%、AE剤をC×0.0005%に固定し、使用量の違いによる影響がないように配慮し

た。流動保持剤を添加するタイミングは練直から30分後（現着想定）とし、添加量は試し練り結果からC×0.6%で、同時に消泡剤をC×0.001%添加した。試験項目は表-3のとおりである。フレッシュ性状は練直から30,60,90,120分で測定し、現着想定の30分で目標性状となるように調整した。加圧ブリーディング、凝結時間および圧縮強度は、試料を練直から60分後に採取して試験し、圧縮強度の供試体は5℃環境に封緘状態で試験材齢まで存置した。

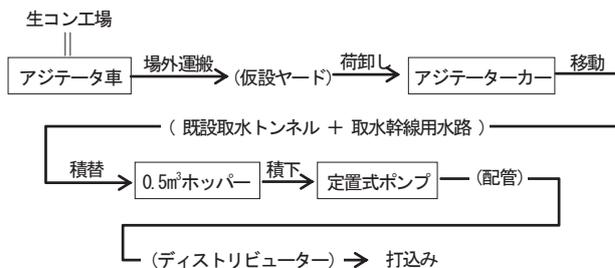


図-1 コンクリート運搬の概略図（出荷～打込み）

表-2 コンクリート修正配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S1	S2	G
24-15-25H	55.9	45.6	165	295	573	245	983

使用材料) W:地下水, C:早強ポルトランドセメント（密度3.12 g/cm³）、細骨材 S1:陸砂（表乾密度2.57 g/cm³）、S2:山砂（表乾密度2.61 g/cm³）、粗骨材 G:砂利（表乾密度2.60 g/cm³）



写真-13 5℃恒温室での室内試験

表-3 試験項目

試験方法	試験基準	基準範囲
スランプ試験	JIS A 1101	15±2.5 cm（ベース：30分）
空気量試験	JIS A 1128	4.5±1.5%（ベース：30分）
コンクリート温度	JIS A 1156	—
加圧ブリーディング試験	JSCE-F 502	標準曲線 B（脱水量上限値）と C（脱水量下限値）
凝結時間試験	JIS A 1147	始発 3.5 N/mm ² 終結 28 N/mm ²
圧縮強度試験	JIS A 1108	材齢 28 日 24 N/mm ² 以上 (5℃環境で封緘養生)

(2) 室内試験での効果確認

図-2 にフレッシュ性状の経時変化を示す。現行配合 21-12-25H は、60 分でスランプが大きく低下して規格外となり、打込み完了までに約 110 分を要する固定堰復旧工への適用は難しい結果であった。修正配合 24-15-25H は 60 分までは所要の品質を満たしていたが、90 分以降ではスランプが規格外となった。一方、流動保持剤を添加した場合、120 分でも所要の品質を保持しており、目標とする良好な結果を得られた。なお、空気量の経時変化は、すべての配合で $4.5 \pm 1.5\%$ の規定内であった。

図-3 にコンクリートの加圧ブリーディング試験より得られた脱水量曲線（脱水量と経過時間の関係）を示す。試験の結果、すべての配合で標準曲線 B（上限）および標準曲線 C（下限）の範囲内に収まる結果であった。特に修正配合や流動保持剤を加えた配合は、現行配合に比べて標準曲線 B と C の中央付近にあり、コンクリートの圧送品質は確保できる評価であった。

図-4 にコンクリートの凝結試験結果を示す。修正配合の凝結時間は、現行配合と概ね同等であり、また流動保持剤を添加しても大きな遅れはないことが分かった。つまり、コンクリートの表面仕上げ時期に顕著な差は生じないと推定される。なお、凝結時間自体は低温の影響で全体的に遅いため、現場施工の際には保温・給熱養生などで初期凍害への対策が必要であると考えられる。

図-5 にコンクリートの圧縮試験結果を示す。流動保持剤の添加による圧縮強度への影響はほとんどないことが確認できた。

以上より、コンクリート配合を修正し、流動保持剤を添加することで、現行配合よりもフレッシュコンクリートの経時保持性が改善し、加圧ブリーディング試験によるポンプ圧送性評価も良好で、凝結への顕著な影響は確認されなかった。また圧縮強度の発現性に影響はなく、施工品質の確保に有効であると考えられる。

(3) 実機試験

室内試験で決定した修正配合 24-15-25H を用いて、プラント内で実機試験による経時保持性の確認を行った。ただし、実施時期が 9 月で練上がり温度が 24℃あり、実際の施工時期とは異なるため、結果は参考値である。

練直から 30 分経過後、アジテータ車のホッパーから室内試験で決めた流動保持剤（添加量 $C \times 0.6\%$ ）を投入し攪拌した所、スランプや空気量が後伸びして過大となった。このため、実施工では流動保持剤の添加量を 0.6% から 0.3~0.4% に減じることとした。また、アジテータ車での攪拌時間を高速で 2 分間実施したことで巻き込み空気量が増大したことも影響していると考えられ、実施工では中速（5~6 秒/周）で 60 秒を基本とした。

(4) 実施工

写真-14 に実施工の状況を示す。仮設ヤードに到着したアジテータ車のホッパーから流動保持剤を $C \times 0.4\%$ 投入し、中速で 60 秒攪拌後、アジテーターカーへ荷卸し

※流動保持剤は練上がりから30分後に添加

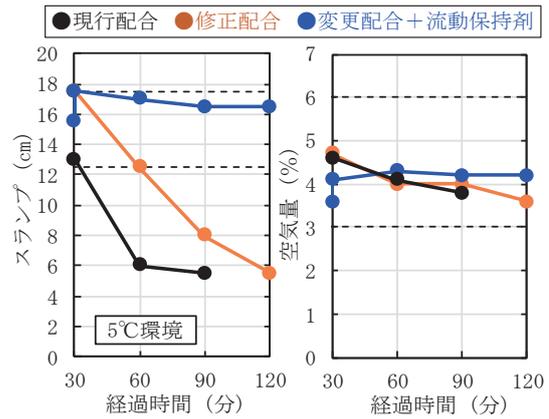


図-2 フレッシュ性状の経時変化

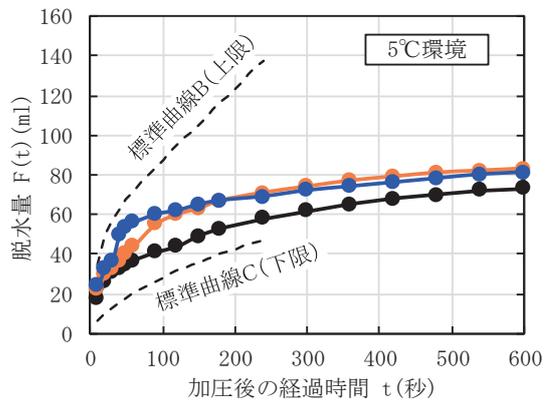


図-3 加圧ブリーディング脱水量曲線

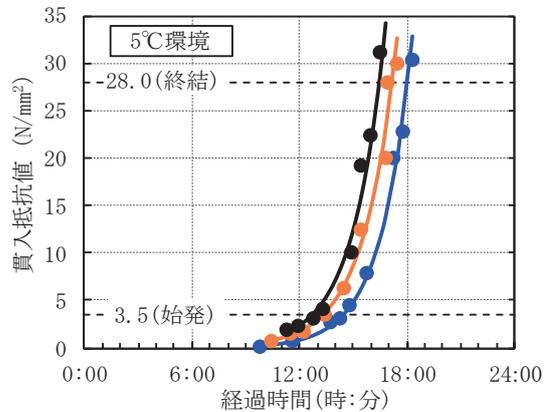


図-4 凝結特性

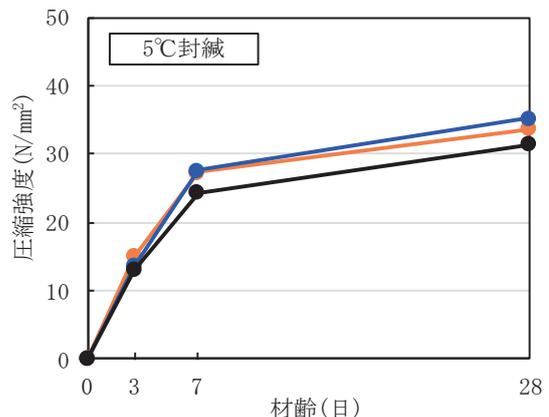


図-5 圧縮強度

して運搬した。練混ぜから90分以上経過しているが、ポンプ筒先でのコンクリートの状態は比較的良好で、期待した品質と施工性を確保することができた。

§6. まとめ

本工事は、限られた工事制約下の中で施工を行うため、効率的な施工と安全対策を講じる必要があった。そこで既設取水トンネルおよび取水幹線用水路をレール方式による運搬路として利用し、昇降架台を用いて水路内へ資機材等の搬入を行うなど効率的な輸送動線を確保し¹⁾、かつトンネル内に設置したWiFi設備等によって緊急時の連絡がとれるように安全対策にも配慮した。またコンクリートの長距離運搬および積み替え輸送に対して、品質確保の観点からコンクリート配合および材料面で工夫し、無事に施工を終えることができた。今回行った施工対策や品質対策が、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

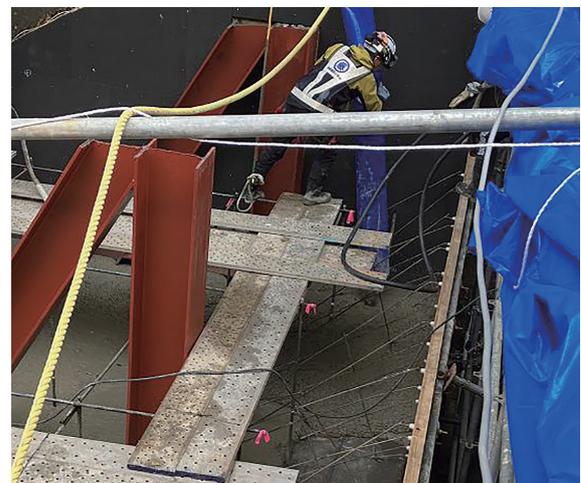
謝辞。 工事にあたり、ご理解とご指導を頂いた東北農政局 田沢二期農業水利事業所の皆様に心より感謝申し上げます。またコンクリートの配合試験や実機試験、現場施工にご協力を頂いたポゾリスソリューションズ(株)ならびに(株)北斗工業の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国営事業地区探訪 東北農政局初のECI方式による抱返頭首工の改修 ～田沢疎水が潤す秋田の穀倉地帯～, 土地改良, 318号, pp. 35-40, 2022. 7



流動保持剤の投入状況



打込み状況

写真-14 実施工の状況