

かんがい送水管復旧工事について

東日本旅客鉄道株式会社 非会員 ○櫻井勇也 非会員 當摩健志
正会員 山根 寛 正会員 家坂佑希

1. はじめに

東日本旅客鉄道株式会社信濃川発電所は新潟県十日町市にある宮中取水ダムで取水を行い、発電を行っている。取水した水の一部は、信濃川沿線地域のかんがい用水にも利用され、主に水路トンネルから地中の送水管を通じて供給している。昨年、送水管に変状が発生したことにより、かんがい用水を供給できなくなる事象が発生した。本稿では、かんがい送水管に発生した変状及び復旧工事について報告する。

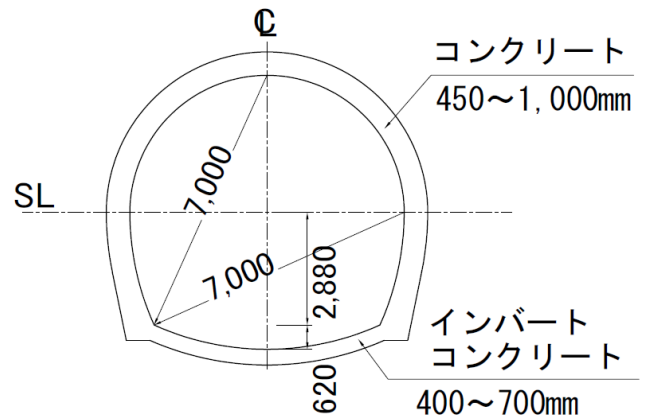


図-1 3期水路トンネル標準断面図

2. 設備及び変状概要

2. 1 かんがい設備

変状が発生したかんがい送水管は、当社の信濃川発電所建設に伴う補償用水として、当社が施工及び維持管理しているものである。今回変状が発生している送水管は、図-1に示す3期水路トンネル（延長15.7km、直径7.0mの馬蹄形トンネル）から取水し、地域へ供給しており、トンネル建設時の横坑を利用し、ヒューム管の設置、埋戻しされている。送水管坑口は3期水路トンネル入口から14k522m、土被り約100mに位置し（図-2）、全長約300m、内径500mmのヒューム管により給水塔（図-3）に接続され、給水塔から地域の田圃（約28ha）へ自然流下で供給される。当該ヒューム管は1951年（昭和26年）に敷設されたもので、1994年（平成6年）にクラックや地下水の浸入を確認したため、ヒューム管の内側にガラス繊維（ $t=12\text{mm}$ ）によるライニング工を実施した。

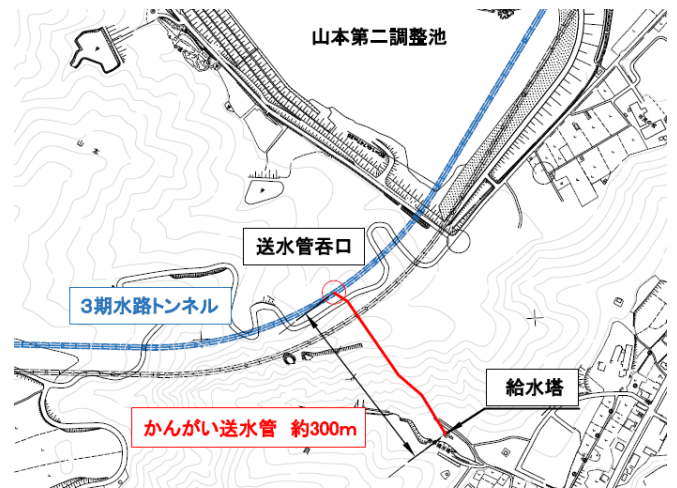


図-2 位置平面図

2. 2 送水管の変状の概要

2019年4月に地域へのかんがい供給の試運転をした際、かんがい用水の供給量が規定量（地域と供給量を定めた協定を締結している）に達しなかった。そのため水路トンネルを断水してカメラにより送水管の緊急点検を行った。その結果、送水管呑口から約11.5mの位置から、ライニング材が約15.8mにわたり変状が発生し、通水を阻害していることが判明した（図-6、-7）。かんがい送水管は毎年秋から冬にか

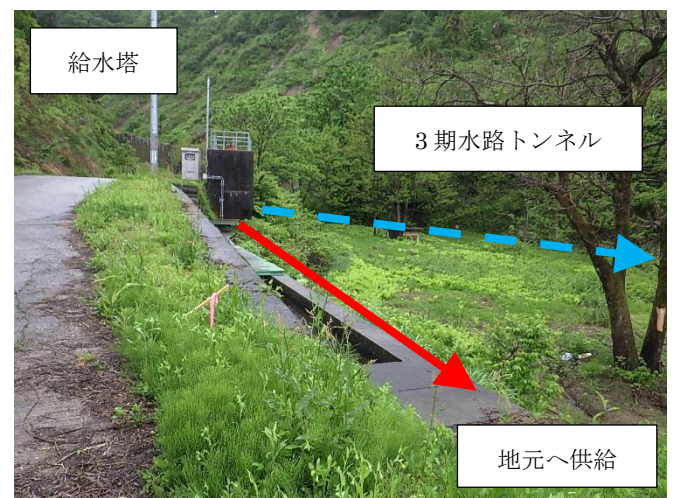


図-3 給水塔外観

けて、かんがい送水管をカメラ調査による内部の点検や堆積土砂の浚渫を行っている。2018年11月の点検では変状は見られなかった。送水管の復旧には

時間を要することから2019年度のかんがい用水の供給を停止し、2020年4月の供給再開を目標として復旧工事の設計後の2019年9月から工事に着手し、復旧を行うこととした。

3. 変状原因の推定

3.1 既設ライニング材調査

ライニング材の変状発生当初は、ライニング材の経年劣化や施工不良、また既設ヒューム管の損傷が変状の原因と推定した。ライニング材の劣化状況確認のため、変状箇所近傍のライニング材を用いて強度試験を実施した。試験体採取箇所は、図-8に示す5箇所とした。試験方法はJIS K 7171:2008:2016「プラスチック曲げ特性の求め方」に準拠して実施した。試験結果を表-1に示す。変状箇所及び近傍の曲げ強度試験の結果は、施工時と比較して強度低下はしているものの、ライニング材の製品規格値を満足しており、施工不良や経年劣化に伴う変状ではないことが確認できた。

3.2 発生原因の推定と対策

撤去したヒューム管を確認した結果、ヒューム管に目立った変状は無く健全な状態であったことから(図-9)、ライニング材に変状が発生するほどの地下水圧がかかる状況にあったとは考えにくく、ヒューム管内の曲り部等において、局所的な強度発現不足や付着能力が低下している状態で通水が開始された際に、ヒューム管内に気柱が発生しウォーターハンマー現象による負圧で、脆弱部からライニング材の変状発生に至ったのではないかと推定した。

復旧の設計概略図を図-10に示す。復旧には水路トンネル側から約30m掘削し変状範囲の送水管を取替え、残りの約270mを再ライニングすることとした。

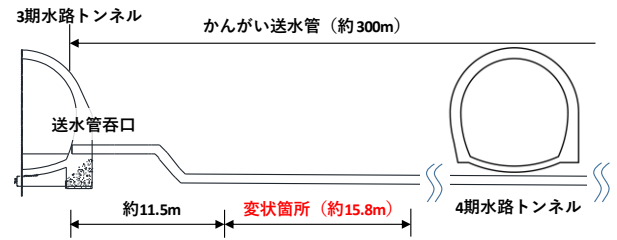


図-6 変状位置図

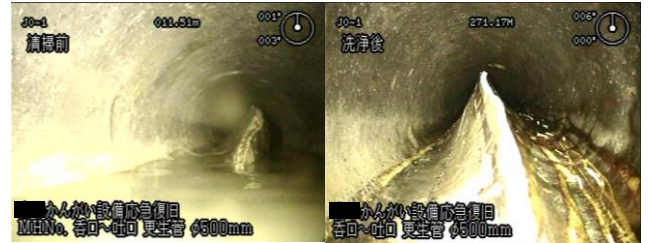


図-7 ライニング材の変状（左：呑口側 右：給水塔側）

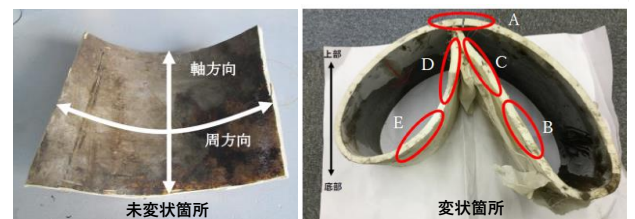


図-8 試験片採取箇所

表-1 ライニング材試験結果

	未変状箇所	変状箇所				
		A	B	C	D	E
曲げ強度 (N/mm ²)	69.8	71.1	62.9	64.9	63.3	58.4
規格値に対する曲げ強度保持率	142.4%	145.1%	128.4%	132.4%	129.2%	119.2%
ライニング施工時に対する曲げ強度保持率	74.9%	76.3%	67.5%	69.6%	67.9%	62.7%



図-9 既設ヒューム管

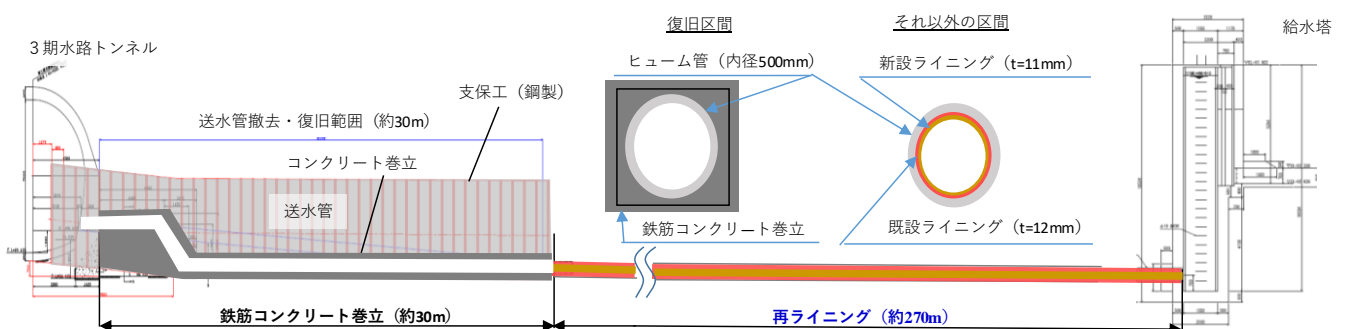


図-10 復旧計画

4. 復旧工事

4. 1 計測工

掘削中の水路トンネル覆工の応力変化監視のため、**図-11** 及び**図-12** に示す箇所に、水路トンネル方向に全 5 断面にひずみ計及びプリズムを設置し、応力変化の常時監視及び 1 日 1 度トータルステーションによる内空変位測定を行った。また掘削する横坑方向にも約 5m 間隔で支保工頂部にプリズムを設置し、同様に支保工の沈下測定を行った。覆工応力変化の許容値の目安は、「既設トンネル近接施工対策マニュアル」¹⁾を参考にして、増加引張応力及び増加圧縮応力の許容値を、それぞれ 10kgf/cm^2 及び 50kgf/cm^2 に設定し。また変位量の許容値は「鉄道構造物等設計基準・同解説 基礎構造物」²⁾を参考にして、内空変位 28.4mm 、支保工沈下 14.2mm を許容値として設定した。施工中の応力変化の例として、断面⑤D の圧縮応力は許容値を超えることは無かったが、横坑掘削開始から増加した (**図-13**)。また断面②E 及び断面③E の引張応力が許容値程度まで上昇した。圧縮応力の増加の原因として、断面⑤の側壁コンクリートを撤去し掘削を行ったため、背面の土圧が断面⑤D に集中したと考えられる。引張応力の増加の原因については、断面②及び③のインバートコンクリートを復旧工事に伴い一部撤去したことにより、トンネルが内側へ閉合しようとしたためと考えられる。また内空変位については全断面で最大約 3mm であり、また支保工の沈下量は最大で約 4mm であった。

以上の測定結果より、施工期間中の水路トンネルは安定していたと言える。

4. 2 鏡切り工

掘削断面の側壁コンクリートの取壊しを安全に行うため、格子状に連続コア削孔を行った (**図-14**)。コア削孔にはコアカッターを 6 台併用し、11 日間で 485 本 (約 44 本/日) を削孔した。なおコア削孔した結果、水路トンネル側壁のコンクリート巻厚は、底部で平均 1.52m 、頂部で平均 0.77m であった。また横坑調査時に削孔したコアの圧縮強度は平均 43.5N/mm^2 であった。

4. 3 掘削支保工

掘削時のトンネル補助工法として、**図-15** に示す、注入式長尺先受工法 (All Ground Fasten 工法、以下、

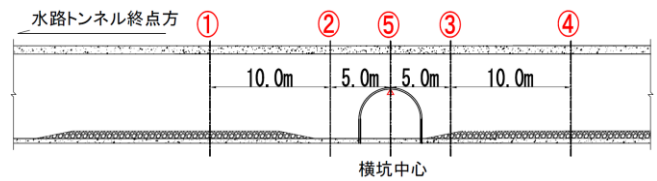
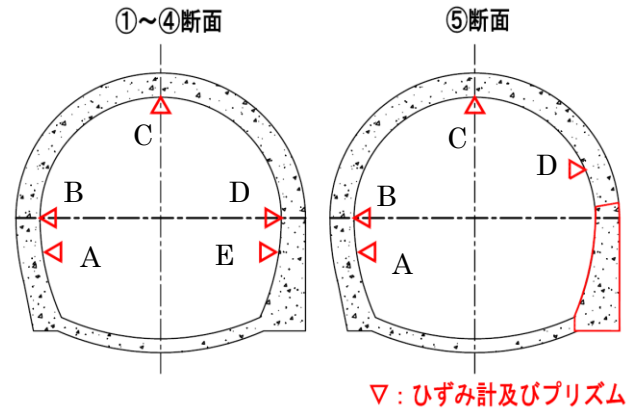


図-11 計測工設置位置図



▽: ひずみ計及びプリズム

図-12 計測工設置断面図

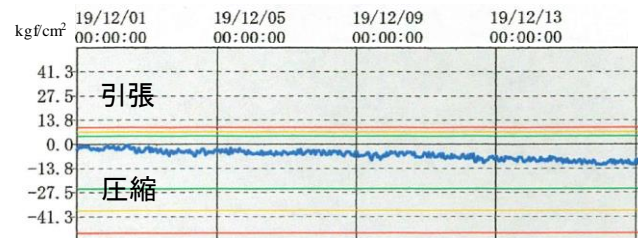


図-13 応力計測結果 (断面⑤D)



図-14 鏡切り工施工後

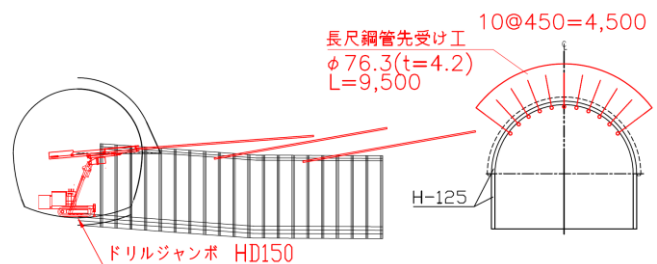


図-15 注入式長尺先受工法 概要図

AGF 工法) を行った。AGF 工法は、掘削断面の上部にスリットの入った鋼管を貫入し、注入材を注入し発泡させることで、地山の崩落を抑制する工法であ

る。掘削には大型油圧ブレーカー及び掘削土搬出のバックホウにより施工した。掘削支保工は0.8m間隔で設置し、既設送水管の撤去と並行して行った。支保工はアーチ形のH-125の鋼材を2本組合せ、径間パイプ及びタイロッドにより緊結し掛矢板を行った。

4. 4 送水管復旧

かんがい送水管呑口から約30m掘削後、基礎砕石、均しコンクリート、鉄筋型枠工、同種ヒューム管の設置を行い、設計強度 21N/mm^2 のコンクリートで巻立てを行った(図-15)。また約270mの再ライニングの厚さは、ライニング材の製作に時間を要することから、変状原因の特定に至ることができないため、被圧地下水の影響を考慮することとした。既設ライニング材の強度は経年劣化により低下していたと仮定し、変状発生時の地下水位は、管厚の設計に一般的に用いる強度計算式(チモチェンコの座屈式)により算出した。その結果、変状発生時の地下水位は静水圧で約29mとなり、再ライニングで使用するガラス繊維補強の曲げ弾性係数及び安全率を考慮し、再ライニング厚は11mmとした。

4. 5 横坑埋戻し

掘削した横坑の埋戻しには、施工期間の短縮を目的として土砂による埋戻しではなく、大部分をEPS(1ブロック当たり $2.0\text{m}\times 1.0\text{m}\times 0.5\text{m}$)により埋戻し、残りの隙間を発泡モルタルで充填することとした(図-16)。

4. 6 本坑復旧

水路トンネルの復旧は、インバート及び側壁コンクリート1層目は設計強度 21N/mm^2 の早強コンクリート、側壁2層目及び3層目は設計強度 24N/mm^2 の高流動コンクリートの打設を行った。横坑の復旧完了を図-17に示す。完了後、水路トンネル内の仮設設備を撤去し、水路トンネルの通水及び地域へのかんがい供給を再開した。供給再開時は給水塔の流量計により、規定量供給できたことを確認した。

5. おわりに

本工事に当たり、関係会社の皆様には多大なるご支援を賜り、無事に工事を完遂し地域へのかんがい用水の供給を再開することができました。本稿をもって謝意を表します。



図-15 送水管設置作業

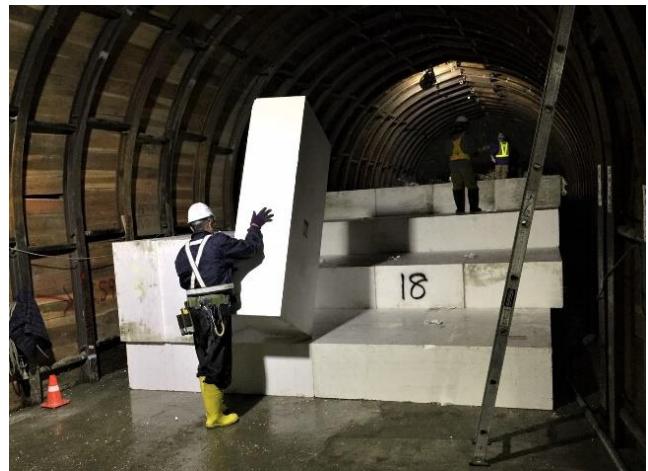


図-16 EPSによる埋戻し



図-17 横坑復旧完了

引用文献

- 1)公益財団法人 鉄道総合技術研究所：
既設トンネル近接施工対策マニュアル,平成7年1月
- 2)公益財団法人 鉄道総合技術研究所：
鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物,2012,1