

水路トンネル上部の地表陥没対策

JR 東日本(株) 信濃川発電所 正会員 ○竹内 洋介 非会員 山本 優、清水 実
 JR 東日本(株) エネルギー管理センター 正会員 小野 桂寿
 ジャイール東日本コンサルタンツ 非会員 大森 満
 鉄建建設株式会社 非会員 田中 利昌

1. はじめに

信濃川発電所には、5 条の水路トンネルがあり、約 73.7km を維持管理している(表-1、圧力トンネル、余水路トンネルを除く)。

トンネルの上部陥没については、昭和 43 年から平成 24 年 1 月現在まで、トンネル上部で 37 件、横坑等の付近で 14 件の計 51 件発生している。この対策として、水路トンネルの空洞レーダー探査を行い、その調査結果に基づき、水路トンネルの裏込め注入および、地表面の地盤改良を順次実施している。

表-1 水路トンネル概要

名称	建設年(経年)	断面(直径)	延長(実測)	
水路トンネル①	1939(73)年	6.80m	7k631m	
水路トンネル②	1944(68)年	6.80m	7k633m	
水路トンネル③	1951(61)年	7.00m	15k660m	
水路トンネル④	1969(43)年	7.00m	15k718m	
水路トンネル⑤	第一工区	1988(24)年	8.22m	7k777m
	第二工区	NATM工法	7.32m	16k178m
		ECL工法	7.60m	3k095m

2. 水路トンネル上部陥没

過去の水路トンネル上部陥没 37 件の内、水路トンネル④の上部陥没が 19 件と約半数を占めている(表-2)。また、水路トンネル④の陥没 19 件の内、15 件が入口から 5km~6km の区間で発生している。その中でも、5.6km 付近において、陥没が繰り返し起こっていたことも確認された。

水路トンネル④の土被りは、10m 未満が 5%、10m 以上 20m 未満が 14%、20m 以上が 81%となっている。水路トンネル④の陥没した箇所における土被りを見てみると、土被りが 20m 未満の区間に陥没が多いことがわかる。他のトンネルを見ても、土被りが浅い区間に陥没が比較的多いことが見て取れる。

表-2 水路トンネル上部陥没内訳

名称	土被り(件)			計
	10m未満	10m以上 20m未満	20m以上	
水路トンネル①	1			1
水路トンネル②	4	1	4	9
水路トンネル③	3	3	1	7
水路トンネル④	10	6	3	19
水路トンネル④			1	1
計	18	10	9	37

3. 空洞レーダー探査

水路トンネル覆工背面の空洞レーダー探査については、平成 2 年以降トンネル全線にわたり実施し、現在水路トンネル⑤の一部(入口から 15.6km)を除き、調査済みである。

図-1 は、実際の作業の様子である。このようにトンネル覆工にレーダーを当て、その反射を利用して、覆工厚や背面空洞、地山の緩みなどを調査している。



図-1 空洞レーダー探査

その結果、各トンネルのアーチクラウン部を中心に背面空洞や緩みが認められた。

・水路トンネル①

多少の空洞はあるものの、空洞が確認された箇所の土被りは全て 20m 以上であり、上部陥没が発生する可能性は少ないと考えられる。

・水路トンネル②

0.3km~4.6km において、覆工裏に断続的な空洞が確認された。土被りを見てみると、0.0km~0.5km までが 10m 未満と浅く、過去にも 4 回の陥没履歴がある。また 0.0km~1.4km、3.5km~3.8km の区間において、土被りが比較的浅い区間が集中しているため、今後上部陥没が発生する可能性があると考えられる。

・水路トンネル③

トンネル全線において断続的な空洞が確認された。特に、1.0km~9.8km、11.3km~11.7km、15.3km~15.5km において、空洞が多く存在している。また、1.7km~2.3km、5.0km~7.6km において、土被りが比較的浅い区間が集中しているため、今後上部陥没が発生する可能性があると考えられる。

・水路トンネル④

トンネル全線において断続的な空洞が確認された。特に、0.0km~7.8m、9.6km~11.5km において、空洞が多く存在している。5.6km 付近においては、過去に 9 回の陥没記録がある。また、1.7km~2.3km、4.2km~7.6km において、土被りが比較的浅い区間が集

キーワード 上部陥没、背面空洞、裏込め注入

連絡先 〒947-0012 新潟県小千谷市山本 3 1 6 番地 エネルギー管理センター 信濃川発電所 TEL 0258-82-2702

中しているため、今後上部陥没を引き起こす可能性があると考えられる。

・水路トンネル⑤

多少の空洞はあるものの、空洞が確認された箇所土被りは殆ど20m以上であり、上部陥没が発生する可能性は少ないと考えられる。

4. 水路トンネル裏込め注入

水路トンネル上部陥没対策として、裏込め注入を行っている。表-3は過去の裏込め注入記録である。

表-3 過去の裏込め注入記録

名称	年度	キロ程	総延長
水路トンネル②	22年度	0k320m ~ 1k005m	685m
	23年度	1k000m ~ 1k392m	392m
水路トンネル③	18年度	14k884m ~ 15k349m	465m
水路トンネル④	18年度	14k709m ~ 15k350m	641m
	19年度	4k700m ~ 5k138m	438m
	20年度	5k128m ~ 5k800m	672m
	23年度	1k760m ~ 2k440m	680m
合計	—	—	3,973m

今後、対策を行うにあたり、優先順位を定め、H30年までの裏込め注入計画を定めた。空洞がある箇所を基準に、優先順位をつけるにあたり、以下の項目に沿って順位を定めた。

空洞のある箇所で、

- 優先順位① : 土被り 10m 未満
- 優先順位②+ : 土被り 20m 未満かつ陥没履歴がある
- 優先順位② : 土被り 20m 未満

優先順位に基づき定めた裏込め注入計画を図-2に示す。今後この計画に準じて裏込め注入を実施していく計画である。

	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度以降
水路トンネル①							
水路トンネル②		① 15m ② 180m					
水路トンネル③	① 75m ② 45m			②+ 120m ② 180m	②+ 20m ② 480m	→継続	② 140m
水路トンネル④		① 35m ② 45m	① 10m ② 40m			②+ 10m ② 560m	→継続 ② 160m
水路トンネル⑤							
対策空洞延長	120m	275m	50m	300m	500m	570m	300m
対策施工延長	530m	435m	478m	720m	1,590m	1,750m	1,200m

図-2 裏込め注入計画

裏込め注入について、水路トンネル②の実績と、水路トンネル④の実績を以下に示す。

・水路トンネル②,④裏込め注入

22年度、23年度の非出水期にトンネルを断水し、水路トンネル②(0k320m~1k392m)と、水路トンネル④(1k760m~2k440m)において裏込め注入を行った。注入材は、新幹線トンネルにおける耐震対策等でも実績のあるJETMS-Eを使用した。

施工数量総括表を表-4に示す。水路トンネル②に関し

ては、計画注入量に比べ、実績注入量が262%(1mあたり1.41m³)に膨らんだ。しかし水路トンネル④に関しては、ほぼ計画通りの注入量(1mあたり0.34m³)になった。

図-3は実際の注入の様子である。注入の施工管理に関しては、注入圧力が0.15Mpa~0.20Mpaに達した場合又は、隣接孔からリークした時点で注入完了とした。



図-3 注入状況

また、削孔、注入は水路トンネル②が2班、水路トンネル④が1班で行った。編成の構図を図-4に示す。

表-4 施工数量総括表

名称	施工延長(m)	計画注入量(m ³)	実績注入量(m ³)	注入率(%)	1mあたり注入量(m ³ /m)
水路トンネル②	1,072	577.64	1,510.83	262	1.41
水路トンネル④	680	231.41	233.06	101	0.34

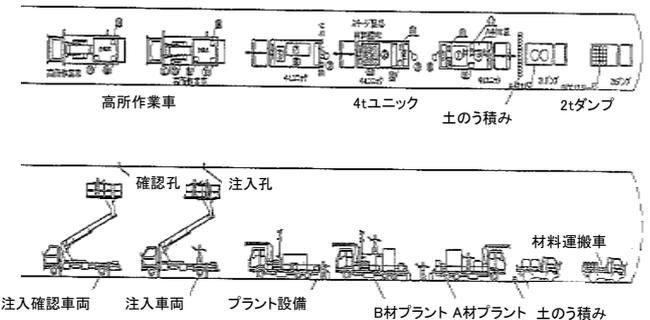


図-4 JETMS注入工編成

5. おわりに

過去の空洞レーダー探査の結果より、水路トンネル②,③,④に上部陥没が発生する可能性が確認された。水路トンネル②に関しては、25年度までに、上部陥没が発生する可能性がある区間について裏込め注入が完了する予定である。水路トンネル③は、24年度から計画に従い、順次裏込め注入を行っていく。水路トンネル④に関しては、過去に陥没が連続して見られた5.6km付近については裏込め注入が完了しているが、他の箇所でも過去に上部陥没が発生した箇所や、土被りが浅い区間がまだ残っている。

空洞レーダー探査の記録について、最も古いもので平成2年と、約20年前の記録である。また近年、空洞探査の技術が向上している事から、今後も計画的に空洞レーダー探査を行う必要がある。また、裏込め注入については、上部陥没対策だけではなく、水路トンネルの安定性、特に耐震性の観点からも有効であり、今後も裏込め注入計画に従って裏込め注入を行っていく予定である。

参考文献

1) ジェトムス協会：長距離圧送型可塑性グラウト材工法 JETMS 工法, 2011.