導水路トンネルにおいて後悔しない維持管理を実現するための方策

日本工営（株）　正会員　○小谷　拓　正会員　松田　貞則
（株）ウォールナット　正会員　北澤　隆一　（株）間組　正会員　武藤　光
（株）熊谷組　正会員　森﨑　泰隆

１.はじめに

平成 18 年 8 月、広島県・呉市や江田島市に給水する広島県営水道の送水トンネルにおいて崩落事故が発生した。この事故は、それまで通常の生活を営んでいた地域に突然の断水をもたらしたという点で、市民生活や地域経済への影響が大きく、導水路トンネルの維持管理に大きな教訓を与えた事例である。著者らは NPO 法人臨床トンネル工学研究所（理事長　中川浩二）内に「導水路トンネルの維持管理小委員会（委員長　松田貞則）」を設置し、供用中の導水路トンネルにおいて起こしてはならない維持管理上の危険に目を向け、「後悔しない維持管理」を実現するための新しい考え方や手段を検討してきた。

本稿では、過去の導水路トンネルの崩落事故やその背景にある維持管理の実態を再整理し、その結果から導水路トンネルにおいて今後整備すべき維持管理方法と技術開発へのヒントを探るべく活動を行った結果の一部を報告する。なお、本小委員会では、山岳トンネル工法で施工された、断面径 2m～5m 程度の小断面の導水路トンネルを検討対象とした。

２.導水路トンネルの維持管理上の特徴

道路トンネルや鉄道トンネルと異なる導水路トンネルの維持管理上の留意点を表-1 に示す。

表-1 導水路トンネルの維持管理上の留意点

維持管理上の留意項目 ＼ トンネルの種類		道路トンネル、鉄道トンネル	導水路トンネル
点検・調査・補修工事の実施条件	供用停止方法	交通規制等	断水（ﾎﾟﾝﾌﾟｱｯﾌﾟが必要な場合もある）
	利用者への影響	利用率が半減	利用不可
	使用機械	大型機械搬入可能	小型機械に制約される
	動力、照明	電源あり	電源なし
	供用停止中の構造影響	変化なし	内水がなくなり、力学条件が変化
要求性能・構造条件	通過対象への配慮事項	通過する車両に対する建築限界	堆砂や表面の粗度の通水性能への影響
	覆工背面空洞の構造への影響	NATM工法で構築され、空洞がトンネル安定性に与える影響は少ない	矢板工法が多く、空洞が構造安定上の問題となる場合が多い
	トンネル内への漏水	主に導水・排水処理を行う	導水する水質への影響に配慮し止水する場合もある
	トンネル外への漏水	発生しない	導水量低下となり、機能低下に繋がる
	機能停止した場合の社会経済活動への影響	幹線道路の場合、経済活動への影響が大きい	ﾗｲﾌﾗｲﾝの場合、社会生活への影響が大きい

（1）点検・調査・補修工事等の維持管理作業の困難性

維持管理作業を行う場合にはトンネル内に人が入ることが基本となるが、作業のための断水は利用者への影響があるため、頻繁に行うことは難しい。このため、制約時間内での点検・調査・工事となるが、作業効率を向上させるための大型機械の投入や電気・機械設備の投入が困難であり、さらに、水没部分の形状・寸法やトンネル縦断形状など維持管理に必要な基本情報すら把握できていない場合もある。

（2）要求性能・構造上の違い

導水路トンネルは、通過対象が水であるため、要求性能や構造の面では、次の点で他トンネルと異なる。

- 堆砂や表面の粗度など通水性能に着目した維持管理が求められる。
- 矢板工法で施工されたものが多いため、覆工背面に空洞が構造安定上の問題となる場合がある。
- トンネル内への漏水の水質への影響、トンネル外への漏水の機能低下への影響配慮しなければならない。
- ライフラインとして利用されているものもあり、機能停止が直接、社会経済活動に与える影響が大きい。

３.導水路トンネルの崩落事故とその発生メカニズム

導水路トンネルの崩落事故の形態としては、覆工崩落、地表陥没が挙げられる。本小委員会で既往資料を調査した結果、覆工崩落は、覆工背面地質の地山劣化、地下水の影響による地山劣化の促進、矢板工法施工による覆工背面空洞の存在と地山劣化に伴う空洞の拡大、覆工コンクリートの部材厚不足等が原因として考えられた。また、建設後数十年を経た導水路トンネルでその地表部が陥没する原因としては、トンネル上部を構成する土質材料の違いにより①円筒状パイプ構造による陥没と、②インターロック構造による陥没に類型化でき、それぞれ降雨等で地下水が流動することにより、地中の土砂流出が発生するために起こると考えられている。

キーワード　導水路トンネル、維持管理、
連絡先　〒102-0083　東京都千代田区麹町 4-2　日本工営（株）インフラマネジメント部　ＴＥＬ03-3238-8112

また、既往文献では、頁岩・砂岩などの地山で、地下水による侵食を長年受けると空洞が拡大し、矢板工法で覆工厚が小さいトンネルでは注意が必要であると具体的に例を挙げて指摘している。

4.維持管理における課題・着目点

上記のように導水路トンネルの崩落事故について、原因分析等は行われている。ただし、他の変状現象に比べると発生頻度が小さく、公開されている事故事例も少ないため、経験の蓄積とそれに基づいた対応策を検討する動機や材料がなく、トンネルの維持管理分野の中でも十分な検討が行われてきていなかった。しかしながら、導水路トンネルの崩落事故は、頻繁に発生しない問題ではあるが、発生した場合の社会的影響が大きく、厳しい財政制約の中で、事故や水の利用者への影響を最小化する現実的な維持管理方策の整備が急務であるとの認識に至った。以上の観点から導き出した、維持管理における課題・着目点を次に示す。

(1)長期間にわたる持続的な維持管理への対応

今後、維持管理すべきトンネンル延長の増加と、経年劣化の進行により、点検の効率化を図るとともに、より長期の課題である導水路トンネルの安全性の確保など、長期効用を発揮させるための戦略が重要となる。

(2)維持管理における技術的知見の充実

施設管理者の現場経験等に基づき把握された個々の導水路トンネルの特徴や知識を蓄積し、技術的知見の充実を図りながら形式知として共有化していく必要がある。また、覆工の崩落事故に関しては、技術の蓄積、対応方法については事例が少なく、対症療法として実施しているのが実情であるため、予防保全、復旧についても系統立てて情報整理することが重要となる。

(3)計画的かつ効率的な維持管理の実施

財政制約の中で効率的に維持管理を行うため、保全優先度に配慮した点検計画や維持修繕計画の策定が必要である。

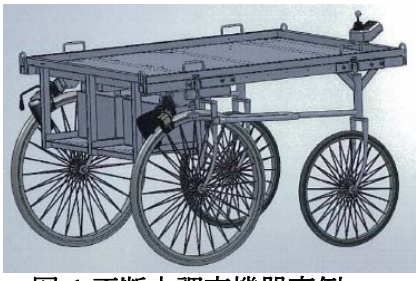

図-1 不断水調査機器事例

5.後悔しない維持管理を実現するための方策の提案

対象施設の維持管理における課題・着目点を重ね合わせて解決策を考えてみた場合、次の 2 つ施策を実施していくことが効果的であると考える。

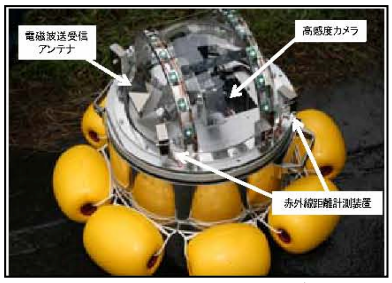

図-2 不断水調査機器事例

【提案①】　計画的かつ効率的な維持管理手法の導入

- **簡易定期点検、通常定期点検の計画・実施**：不断水調査法（図-1, 2 参照）による簡易定期点検と点検員による通常定期点検の体系化と実施計画を作成する。併せて、点検に伴う断水を減らすことで利水者の損失を低減する。
- **突発性崩壊リスクの評価**：突発性崩壊を考慮したトンネル健全度、社会的影響度に基づく対策優先度評価を行う。これにより、施設管理者の偶発的な財政負担の低減や、説明性や社会的信頼の確保に繋がると考える。
- **突発性崩壊リスクに応じた予防対策工の施工**：人力施工可能、もしくは地表からの連絡孔を通じたトンネル覆工の補強対策が考えられる。これと併せ、トンネル覆工観察孔や簡易応力検知センサーの併設を行えば変状進行性把握に効果的な体制が構築できる。

【提案②】　実践に向けた環境の整備

- **導水路トンネル経過地の平面図・縦断図・地質図作成**：地表物件、土被り、突発性崩壊の可能性のある地質分布の把握が必要となる。これは、一度作成すれば通常のトンネル点検も効果的である。
- **トンネル覆工巻厚、空洞及び崩積土の堆積の有無、背面地山の硬軟の分布図の作成**：突発性崩壊の可能性のあるトンネル構造の把握し、調査時の削孔をトンネル覆工観察孔として残置することも有効である。

参考文献

1) 社団法人日本道路協会:道路トンネル維持管理便覧,平成 5 年 11 月
2) 猪熊明:道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理,トンネルと地下,1990 年 10 月