

地下鉄トンネルの維持管理から学ぶ「地層処分における回収可能性維持期間」での留意点

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄

メトロ開発 正会員 ○西村 高明

1. 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分プロジェクトに関して、国民への科学的特性マップの提示と理解促進が進められている。一方、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴い原子力関連事業においても、当初の想定外の事象が発生した際のことにも具体的な行動規範を確保しておくことが求められている。具体的には、高レベル放射性廃棄物地層処分における「回収可能性の維持」である。図1に、地層処分施設における回収可能性の維持期間のイメージを示す。高レベル放射性廃棄物の地層処分は、図1の右下に示す形態が最終処分であり、安全性等については、この最終形態で多くの議論がなされてきた。一方、図1の左下に記載のような形態が、数十年から百数年程度の間、回収可能性の維持期間として継続することを想定して、課題を抽出し、対応を考えておく必要がある。本研究では、日本において比較的長期に亘って維持管理を行った実績を有する東京地下鉄銀座線の維持管理事例を、高レベル放射性廃棄物処分事業に係る技術者会員に紹介するとともに、著者らの考える留意点を述べる。

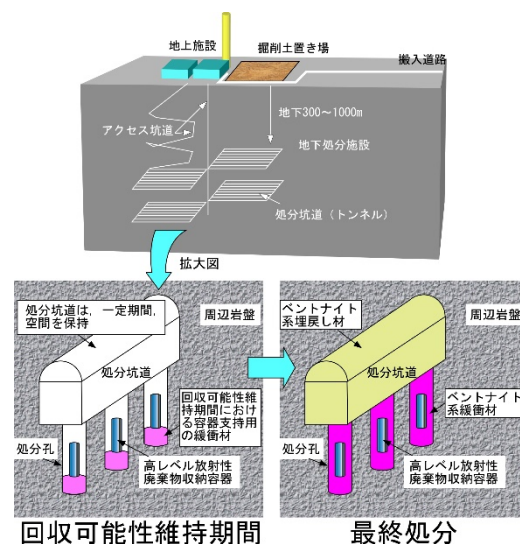


図1 高レベル放射性廃棄物の地層処分における回収可能性維持期間のイメージ

2. 地下鉄トンネルの維持管理から学ぶ意義

地層処分において回収可能性維持期間を設けることによる処分施設への影響としては、以下のものなどが懸念事項として挙げられている。

- ① 数十年から数百年、解放された処分坑道の力学的・水理的安定性
- ② 解放された処分坑道に起因する天然バリアとしての岩盤の酸化による材質変化

このうち、①の長期間解放された処分坑道の力学的安定性の評価について、数値解析的な予測などが進められているが、実際に比較的長期間解放された隧道などの維持管理事例があれば、実績の観点から、回収可能性維持管理期間における長期の力学的安定性についての課題解決のヒントになると考えられる。東京地下鉄では、銀座線の開業以来、およそ90年に亘って、当該路線の隧道の維持管理を行ってきた。ここで、実施してきた維持管理の方法や考え方は、地層処分プロジェクトにおいても、大いに参考になる実績事例と言える。次章では、参考文献2)において論じられた維持管理における着目ポイントを紹介し、地層処分に参考となる事項を、いくつか挙げる。

3. 東京地下鉄銀座線における維持管理での着目ポイント

東京地下鉄銀座線の地下鉄構造物は、築造後90年経過に伴う老朽化が進行しており、維持管理が重要な課題となっている。この事例は、前述の地層処分施設の処分坑道が操業される期間が100年程度と予想されており、大いに参考になる事例である。地下鉄構造物では、2007年の国土交通省制定「鉄道構造物等維持管理標準(構造物編)」に基づき、構造物建設時に適切な設計・施工実施の確認と、その状態を保つことで構造物の性能が満足されるものとしている。また検査・措置その他維持管理に必要な情報について記録保存することが規定されている。さらに蓄積された検査データを活用し、構造物に対する長期的な維持管理が求められている。

キーワード 高レベル放射性廃棄物、地層処分、維持管理、中性化深さ、劣化、変状

連絡先 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9 メトロ開発株式会社 TEL 03-5847-7845

地層処分施設の処分坑道の維持管理についても、これに準拠した事項が実施されるものと予想される。

そこで本研究では、西村²⁾が実施した東京地下鉄の検査データを活用したトンネルの状態を定量的に評価した結果を紹介する。まず、従来実施している検査・補修と劣化・変状の評価については、次の通りである。すなわち、日常の巡回、2年毎の全般検査（目視調査およびハンマーによる打音調査）により、コンクリート表面のひび割れや漏水、浮き等の各変状の抽出と進展を確認している。そして検査判定区分により日常的に補修を施している。また、必要に応じてコンクリートの中性化深さや塩分濃度、鉄筋の腐食度状況等を非破壊検査による詳細調査を行い、その結果に応じて必要な補修・補強を実施している。この地下鉄を例とした地下トンネルに生じる主な劣化・変状には、ひび割れに起因するトンネル背面の地下水の漏水によるコンクリート中の鉄筋腐食の加速とそれを起因とする耐久性の低下が挙げられる。また、鉄筋の腐食膨張の進行による表面（かぶり）コンクリートの剥離もリスクとして存在し、大きなひび割れや空洞の存在は鉄筋腐食を加速させる要因となる。そのため、漏水が見られた場合は、旅客や施設物への影響度を勘案して、できるだけ止水する工法で補修している。また、コンクリートに浮きが見られた場合は、除去して断面修復を行い、耐久性を回復させるとともに、ひび割れ補修等の工事も日常的に実施している。上記の手順は、地層処分の処分坑道の維持管理において大いに参考になる事例であろう。

さらに、上記の現状を踏まえて、長期的な視点で工学的に精度の高い維持管理を実現することを目指し、詳細な調査・試験、劣化機構の推定、進行の予測、評価等を実施した。主要な確認・実施事項は①トンネル構造物の耐力の確認、②中性化による劣化進行の確認、および③劣化進行の予測である。①においては、現状のトンネル構造物の耐荷性を確認するための強度試験と構造解析・照査を行い、コンクリートの圧縮強度、鉄筋の引張強度が十分な耐荷性を保有することを確認し、さらに構造解析により十分な耐力余裕があることを確認している。次に②では、経年に伴う中性化を定量測定し、コンクリート中の鉄筋の位置にまで中性化が概ね達していないことを確認している。さらに鉄筋の腐食状況は、非破壊検査機器（自然電位法）と、はつり出しによる直接目視による調査を行い、建設から80年以上の経過にもかかわらず、ほとんどの箇所腐食がない、もしくは、ごく軽微な腐食に留まっていることを確認している。工事に伴い鉄筋の露出された箇所も確認しているが、腐食は認められず結束線も健全な状態で残っていることが明らかにされている。ただし、漏水が発生している箇所ではやや腐食が進んでいることが明らかにされている。③の中性化進行の予測では、経過年数の平方根に比例する（ $\sqrt{t}$ 則）ことが確認されており、これに基づく予測により、一部を除くほとんどの区間は、50年後すなわち建設後130年経過しても、中性化は鉄筋位置まで到達しないという予測結果を得ている。また図2に概念を示す方法で、コンクリート含水率から腐食速度を算出するとともに、ひび割れ発生腐食量と現在の腐食量を設定することにより、ひび割れ発生までの期間の算出を試みている。その結果、トンネル背面で漏水がない場合は腐食速度が遅いため、今後100年以上先でもひび割れは発生しないと予測され、漏水がある場合は、約10年以内にひび割れが発生する可能性があると予測された。以上の東京地下鉄で実施した検討事例は、地層処分における処分坑道の維持管理手法として、大いに参考になる学術情報と言える。

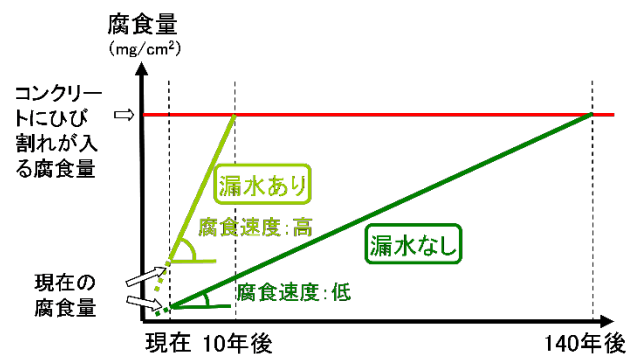


図2 ひび割れ発生予測の概念図

参考文献

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁（2015）「可逆性・回収可能性の担保、NUMOや経済産業省等の活動に対する評価について」、総合資源エネルギー調査会、放射性廃棄物ワーキンググループ、第16回会合、資料1、http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/genshiryoku/houshasei_haikibutsu_wg/pdf/016_01_00.pdf（2018/3/6閲覧）。
- 2) 西村高明（2017）「地下鉄トンネルの検査データに基づく安全性評価と維持管理に関する研究」、早稲田大学学位請求論文、早大学位記番号:新7479、早稲田大学リポジトリ、https://waseda.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=38785&item_no=1&page_id=13&block_id=21（2018/3/6閲覧）。