

青函トンネルの維持管理における取り組み

北海道新幹線建設局
工事調整部維持管理課 中野 定政

1. はじめに

青函トンネルは青森県と北海道を結ぶ総延長53.85kmの長大海底トンネルであり、鉄道・運輸機構が施設を所有している（図-1）。

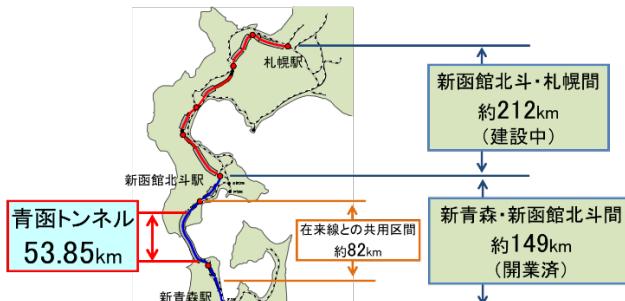


図-1 位置図

機構の維持管理区間は図-2の通りであり、青函トンネルの海底部区間については1988年の津軽海峡線（在来線）開業当初から機構で調査・測定及び大規模修繕を実施（JR北海道で実施する巡回および定期検査を除く）している。作業坑及び先進導坑には、湧水の排水経路、作業車の通行路、及び坑内の換気路として重要な機能を有している。また、青函トンネル内には安全輸送とトンネルの機能を保全する各設備のほか、新北本連係設備（電力事業）や携帯電話基地局線（通信事業）など鉄道事業施設以外にも重要なインフラ施設が配置されている。

各坑道や各設備の機能が損なわれた場合には、トンネル健全度の低下や列車の安全輸送に支障をきたすことにつながりその影響は甚大なものになるため、青函トンネルの機能保全や維持管理が非常に重要となっている。本発表は青函トンネルの維持管理における取り組みと今後の展望について報告する。

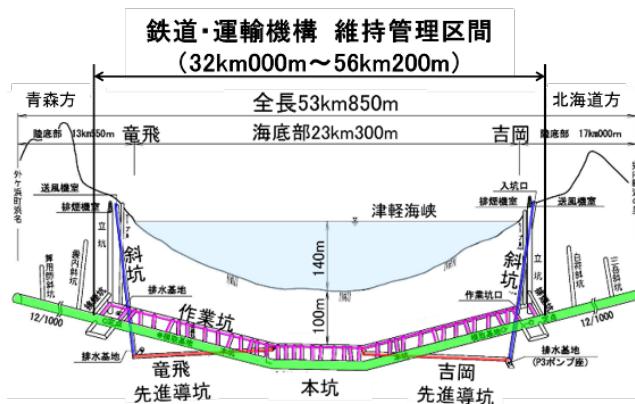


図-2 青函トンネル維持管理区間

2. 青函トンネルの調査と現状

覆工及び吹付けコンクリートの健全性評価のため、内空変位計測、クラック・剥離剥落の追跡調査、性状試験などを実施している。本坑の内空断面については77断面計測しており、管理目安値5mmを超過している断面は2箇所確認されている。当該箇所の変位量の進行は10年程前から収束傾向を示しており（図-3）、現時点でも有害なクラックなどが見受けられない状況であるが、背面空洞の有無によって応力状態が不安定化するため、背面空洞調査及び応力調査、内空断面計測など監視体制の強化を検討している。

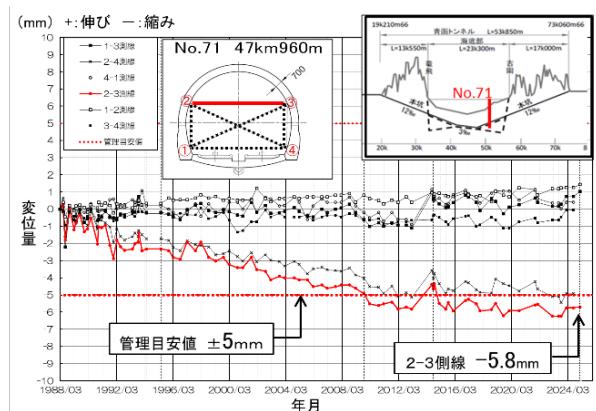


図-3 本坑管理目安値超過断面の経時変化

青函トンネル海底部は掘削時に止水注入を実施しており多大な外圧については注入域も含めて受け持つ設計となっている（図-4）。注入域の健全性評価のため湧水量・湧水圧測定、湧水水質分析、注入域性状試験などを実施している。湧水量測定は海底区間の全域に渡って実施しており、湧水量は近隣での大規模地震発生時には

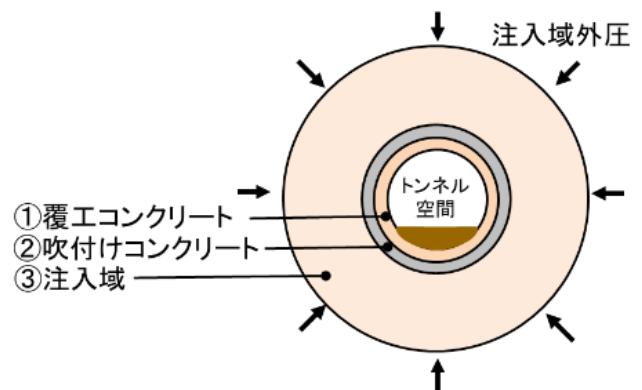


図-4 青函トンネル構造模式図

一時的に増加したものの、測定を開始した1988年から現在に至るまで、大局的には減少傾向である(図-5)。湧水量の低下は止水性が向上していることを示す反面、トンネル覆工や注入域に作用する湧水圧の上昇が懸念される状況である。

湧水圧測定は作業坑内の5断面で測定しており、壁面から地山方向に5~20mの深度に測点を設けている(図-6、図-7)。近年は外側の深度になると若干の湧水圧の上昇がみられるものの、各測点ともおおむね横ばいであることから、注入域に作用する湧水圧は著しい増加はないものと評価している。

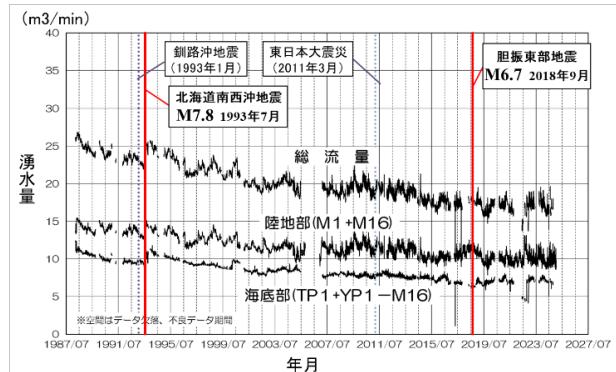


図-5 湧水量経時変化

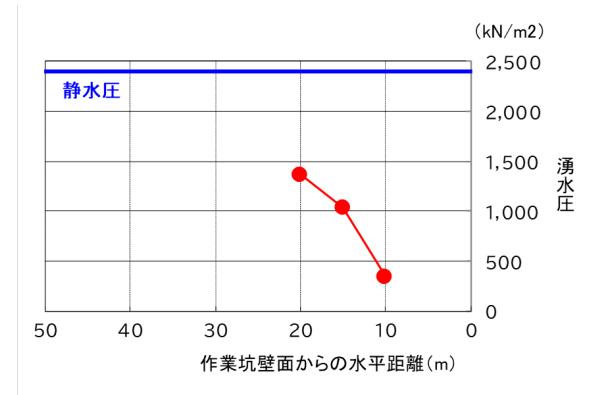


図-6 湧水圧の状況(作業坑11km100m)

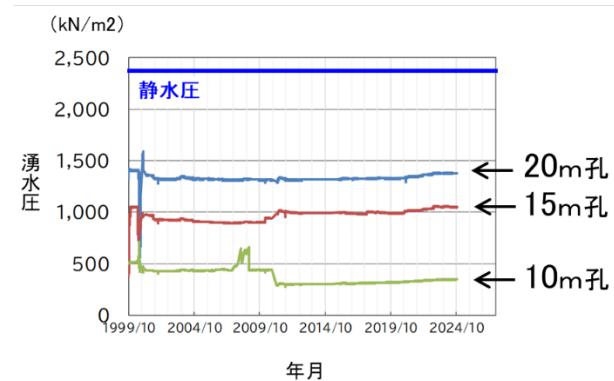


図-7 湧水圧経時変化(作業坑11km100m)

3. 坑道補修工事、設備改修工事

前述の調査から本坑については健全であると評価しているものの、作業坑及び先進導坑の一部区間においては盤ぶくれ現象や吹付けコンクリートの剥離剥落といった変状が生じている。また、海底直下で腐食環境が激しいため、各設備についても一部に腐食や劣化の進行が見受けられている。これらについては変状や劣化の状況に応じて補修工事及び改修工事を実施している。

3-1 坑道補修工事(作業坑・先進導坑)

(1) 坑道補修工事の作業フロー

図-8に青函トンネル地質縦断図と坑道補修工事箇所を示す。断層帯や不良岩盤部付近を中心として2024年度までに8箇所で坑道補修工事を実施しており、上記に起因して変状が生じていると想定されている。

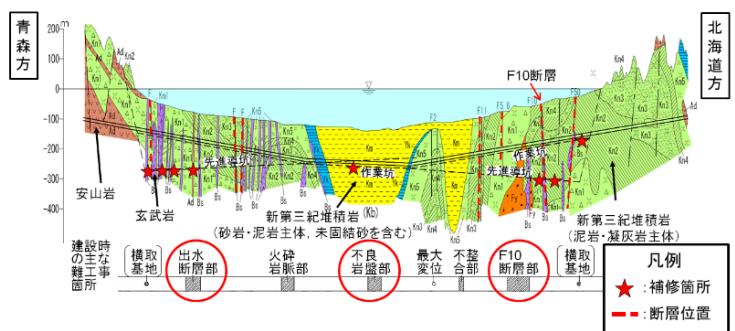


図-8 地質縦断図と坑道補修工事箇所

坑道補修工事は以下のフローで実施する。

1) 目視調査

年に1回、作業坑及び先進導坑の全線に渡り目視調査を実施し、クラックやコンクリートの剥離剥落、湧水、変状状況等の進行状況を確認する。目視調査の結果、目視で確認できる変形や路盤変状、支保工変状などが見受けられる場合には、内空変位や水準測定などの入念な調査を実施する。

2) 目視・測定結果の評価

変状の進行状況や坑道の重要度に応じた評価ランクを設定し、補修の要否や補修方法などの補修計画を検討する。必要に応じて調査結果や補修計画を有識者で構成される青函トンネル検討会に報告し、審議する。

3) 補修工事の実施

評価ランクの高い箇所を優先して補修工事を実施する。補修時にはひずみ計やロックボルト軸力計、地中変位計などを設置し、補修後の経過観測を行う。

(2) 竜飛先進導坑 3 km 250 m 付近の補修工事

2022 年度に実施した竜飛先進導坑 3km250m 付近の補修工事を紹介する。

1) 目視調査

2001 年の計測開始以降、内空及び路盤の変位が認められた。そのため、2011 年に隆起していた路盤コンクリート下部を掘削して性状確認を行った。なお、この際に防護工として側壁にロックボルトを打設している。

2) 目視・測定結果の評価

内空変位経時変化を図-9 に示す。計測開始以降、主に内空側に変位が進行し続けており、最大で AD 測線で 30mm 程度縮小した。これらの調査結果を踏まえ、青函トンネル検討会で審議し、補修計画を策定した。補修方法については、他の補修箇所における実績を参考にロックボルトの打設により変位を抑制させることとし、数値解析により合理的な配置を検討した(図-10)。

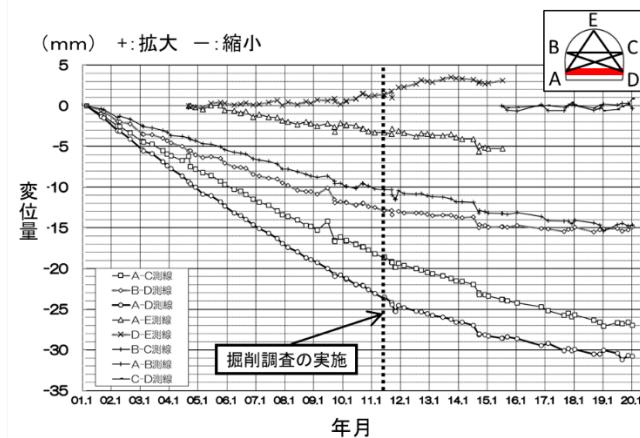


図-9 内空変位経時変化

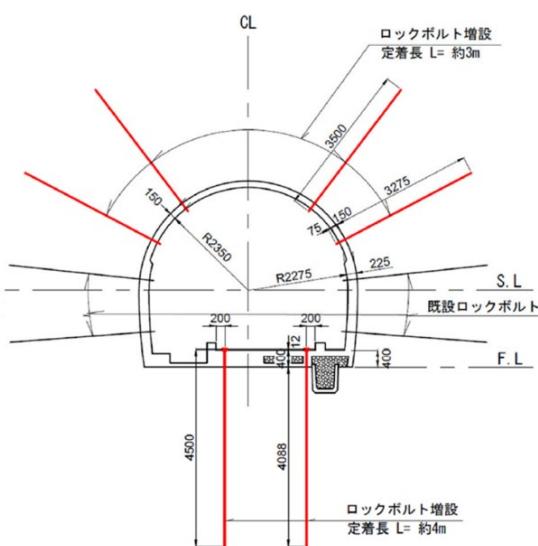


図-10 ロックボルト配置図

3) 補修工事の実施

作業坑・先進導坑の補修工事は海底下という特殊な環境下での工事となる。トンネル坑内には吉岡斜坑のケーブルカーを用いて資機材の搬入を行い、先進導坑は高さ約 3.3m、幅約 4.3m という狭隘な作業環境となる。そのため、比較的小型な重機をさらに青函トンネル用に改良を行いロックボルトの施工を行った(写真-1)。作業坑・先進導坑は作業車の通行路となつており施工時には他の作業車が通行できなくなるため、他作業との調整や昼勤務と夜勤務の間に作業を行うなどの対応が必要となる。



写真-1 施工状況

3-2 設備改修工事

青函トンネル内には湧水対策設備や火災対策設備、換気排煙設備、地震防災設備など、トンネルの機能を維持するための各設備が配置されている。各設備の日常的な点検や定期検査についてでは営業主体である JR 北海道で実施しており、点検結果などを整理し鉄道・運輸機構へ報告される。機構ではこれとは別に数年おきに設備現況調査を実施し、各施設の劣化状況の評価や改修計画を策定している(写真-2)。策定した改修計画に則り改修工事を実施している。



写真-2 設備劣化状況の一例 (排水ポンプ)

4. 今後の展望

本章では今後の維持管理上の課題と課題解決への取り組みを紹介する。

4-1 維持管理上の課題

維持管理上の課題として以下が挙げられる。

- ① 総延長が長く複数の坑道が立体的に連結するため構造物の位置関係が複雑である
- ② 建設時の記録や調査・改修工事の履歴など、各種情報が膨大であり取扱いが大変である
- ③ 移動時間や立入申請、他作業との競合など、現地調査時に制限が多い

これらの課題点を解決するには理解力の向上と共に、維持管理の方法を高度化・効率化することが肝要となる。解決の糸口を見出すためBIM/CIMの導入を検討している。

4-2 BIM/CIMの取り組み

(1)トンネルの全容把握と情報の関連付け

トンネルを3次元的に示し全容を把握しやすくした(図-11)。各キロ程や要所ごとに属性情報として各情報を整理し、モデルをクリックすることにより情報を閲覧可能とする取り組みを進めている。新規業務従事者や対外説明時に活用し理解を深めることができると考えている。

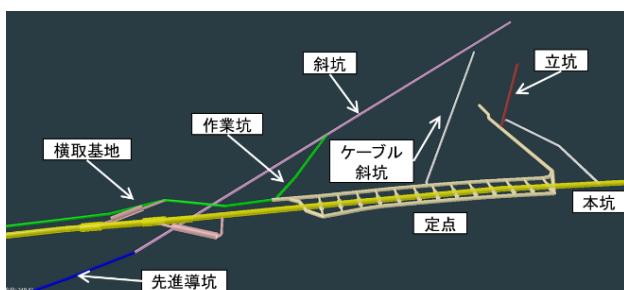


図-11 吉岡定点付近の3次元モデル

(2)変状の分類と抽出

図-12は先進導坑を吹付コンクリートの剥落量により色を分けて表現している。変状の大きい箇所を分類して抽出し可視化することにより要注意箇所を把握しやすくなり、補修数量や概算工事費の算出などに寄与できると考えている。

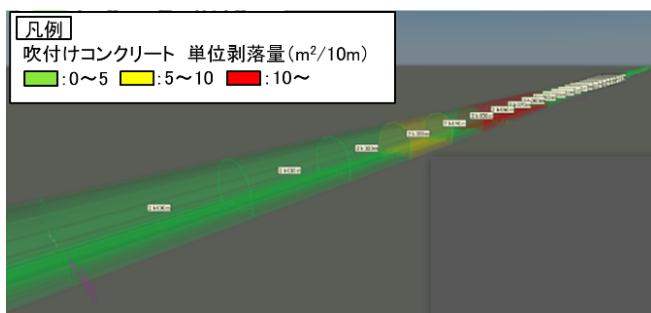


図-12 コンクリート剥落量による色分け

(3)変状箇所の3次元画像化

現地で写真を撮影し、ソフトにより3次元への画像処理を行った(図-13)。坑道補修時に打設した壁面のロックボルトや排水路、ケーブルなど、現地状況が概ね反映されていることが確認できる。また、現地の吹付けコンクリート剥落を計測し、3次元画像上での計測値と比較することにより実測と画像との誤差について検証を行い、計測誤差が数mm程度であることを確認した(図-14)。これらを活用することにより机上で確認を行うことも可能となり、現地調査に行く回数や調査時の確認事項を減らすことにより、調査の効率化につながると考えている。



図-13 変状箇所の3次元画像化

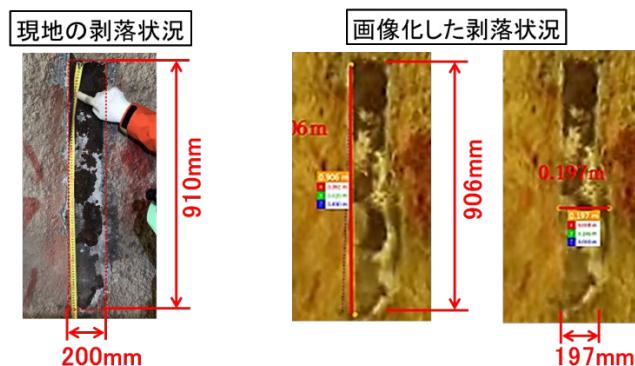


図-14 実測と画像との比較

5.まとめ

本坑については現状、有害な変状は見受けられず健全であると判断している。一方、作業坑、先進導坑および各設備については一部で劣化の進行などが見受けられるため、優先順位を勘案して改修工事を実施している。引き続き各種調査などを行い、計画的に改修工事を進めていく。青函トンネルは海底下という特殊な状況下である中、情報量も多く、維持管理を実施していく上での課題となっているため、BIM/CIMといった新技術の活用を検討するなど、新たな実施方法や体制を構築し、効率的に維持管理業務を進めていきたい。