

トンネルの維持管理と補修補強工事

MAINTENANCE MANAGEMENT AND REPAIRING OR REINFORCING WORKS FOR TUNNEL

近藤 健右¹

Kensuke Kondou

In between Hanno Station and Seibu Chichibu Station, quite a number of tunnels are located such as Kamakurazaka Tunnel on the Seibu Ikebukuro Line, from Ikebukuro to Agano, opened in 1929 and 17 tunnels totaling 7,973 meters long on the Seibu Chichibu Line, from Agano to Seibu Chichibu, opened in 1969. In parts of these tunnels, although there is difference in degree depending on the years constructed, some defects such as honeycombs, cracks and water leakage have appeared in the tunnel lining due to the construction methods of the concrete lining and/or deterioration by aging. We have taken measures including repairs to those defects found through routine and regular inspections conducted every year from the inception of its operation. Since 1999, we have implemented more extensive maintenance plan than we had done before because we realized the importance of the maintenance considering those accidents of falling concrete objects had happened in the railroad tunnels in the past.

In this report, we explain an outline of our maintenance plan and some example of our implementation of detailed investigations, assessments and repairing or reinforcing works actually conducted or performed.

Key Words : Seibu Ikebukuro Line, Seibu Chichibu Line, Railway, Mountain Tunneling, Maintenance Plan, Repairing or Reinforcing works

1. はじめに

飯能駅から西武秩父駅間には、昭和4年に開業した西武池袋線（池袋～吾野）の鎌倉坂トンネルを始め、昭和44年に開業した西武秩父線（吾野～西武秩父）に、全17トンネル、総延長7,973mの山岳トンネルがある（図-1）。これらのトンネルの一部には、建設年代により程度の差はあるが、覆工コンクリートの施工技術に関わる要因や、経年による劣化などにより、覆工コンクリートにジャンカやひび割れ、漏水などの変状が生じている。これらの変状については、開業当初より、日常点検や定期点検を実施し、必要に応じて補修などの対策を講じている。また、平成11年からは、鉄道や道路トンネルにおいて発生した覆工コンクリート片の剥落事故に鑑み、維持管理の重要性を再認識し、それまで以上に計画的な維持管理を実施している。

ここでは、当社が実施している維持管理の概況を紹介するとともに、この維持管理の中で実施した詳細調査、診断、補修・補強工事を紹介する。

2. 維持管理状況の概要

当社では、通常全般検査として年1回軌道モーターカーにより近接目視、打音調査を実施しているところであり、その結果を受けて対策が必要な箇所については適宜、補修補強工事を実施している。

平成11年にはトンネルや高架橋からのコンクリート片剥落事故が社会問題化し、当社においても、より一層の安全性が求められた。これを受け、当社では、山岳トンネル全17箇所において、コールドジョイント、ひび割れ、コンクリート剥離・剥落、漏水などの変状調査を軌道モーターカーによる近接目視、打音調査などを詳細に実施し、特に「コンクリート片落下」の危険性の高い「剥落（浮き）」の発見に努めた。ひび割

キーワード：西武池袋線線、秩父線、鉄道、山岳トンネル、維持管理計画、補修補強工事

¹正会員 西武鉄道株式会社 工務部 飯能保線所 所長

れ、漏水等の変状については「変状展開図」に記録するとともに、健全度の判定を実施した。この結果をもとに、対策実施の優先順位及び補修補強工法を決定し、補修補強計画を策定した。また、特にコンクリート片落下が危惧される緊急を要する変状箇所については、叩き落としや、鋼材（アングル）補強、剥落防止対策を実施した。

このような中、昭和4年に開業した鎌倉坂トンネルにおいては、他トンネルと異なり施工時期も早く、老朽化も著しい状態であった。そこで、本トンネルについては、外観目視や打音調査に加え、覆工厚、背面空洞調査やコンクリート調査、地質調査、内空断面測定などを詳細に実施し、変状原因の推定やトンネル健全度を評価し、補修補強の要否および対策工の検討を行い、平成16～17年度に補修補強工事を実施した。なお、本工事の詳細については、3章で記述する。

また、平成19年1月に「鉄道構造物等維持管理標準」が策定されたことを受け、平成19年度にはこの標準に基づき、全トンネルの健全度のさらなる判定精度向上を目的に、「特別全般検査」および、必要に応じて「個別検査」を実施した。この標準に沿って「変状展開図」の更新を行うとともに、トンネル構造の安全性、建築限界と覆工との離隔、路盤部の安全性、漏水・凍結に対する安全性などについて性能の確認および健全度の判定を行い、コンクリート片落下に対する健全度についても判定を行った。この結果を基に、外力による変状の可能性が予想される箇所、覆工耐力の低下が著しい箇所等を抽出した。この箇所については、今後、詳細調査を行い、対策工の要否、補修補強工法の検討を行うこととし、新たな維持管理の中長期計画を策定し、実行している。

検査と補修補強計画についての一連体系を整理すると、「鉄道構造物等維持管理標準（国交省、鉄道総研）」（以下、維持管理標準）に基づき、当社の検査基準を定めた「線路維持管理心得」の見直しを行った。見直しでは、列車運行の安全性を考慮して、通常全般検査は検査周期を1年（維持管理標準では2年周期）とし構造物の変状等の有無及び進行性等を把握するために実施し、特別全般検査は、検査周期を4年（維持管理標準では20年周期）とし通常全般検査より検査精度を高めた検査を実施することとし、列車運行の安全性を脅かすような変状の早期発見と対策に努めることとした。また、これらの検査により詳細な検査が必要と判断された箇所については、より精度の高い健全度の判定を行うことを目的に個別検査を実施することとした。さらに、補修補強の要否については、必要に応じて詳細調査を実施し、構造物の健全度、重要性、列車運行への影響度等を考慮して、定量的に判断し決定することとした。一方、全般検査の中で「剥離（浮き）」が確認された場合には、列車運行に危害をおよぼす危険度が高いとの判断から、その都度、剥落防止工等の対策を実施することとした。

次章では、平成11年より実施している維持管理の中で実施した、鎌倉坂トンネル補修補強工事について紹介する。

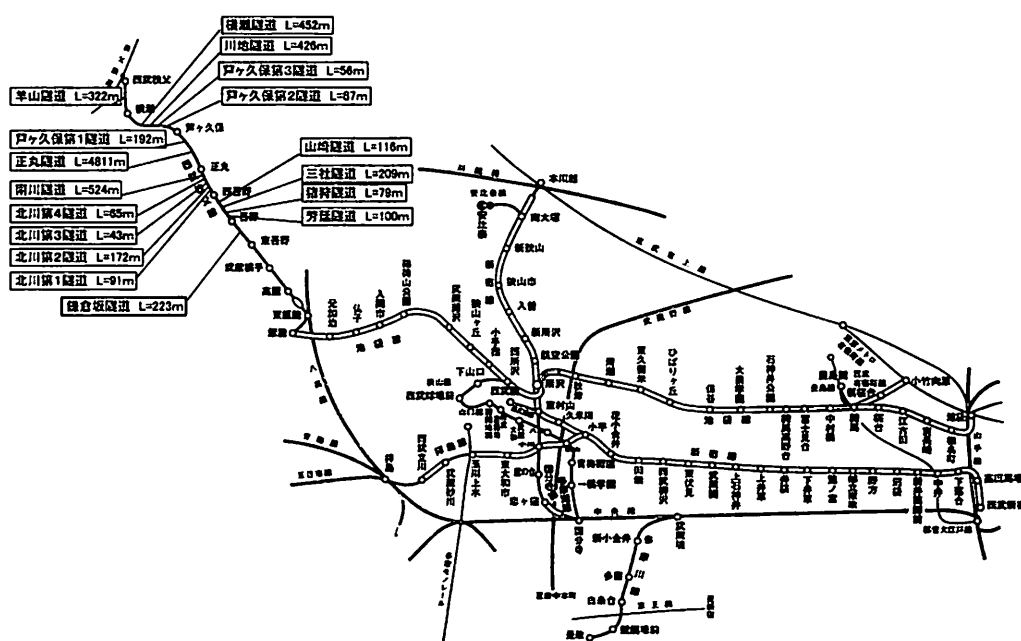


図-1 西武鉄道路線図

3. 鎌倉坂トンネル補修補強

(1) 調査

a) 調査項目

昭和4年開業の鎌倉坂トンネルは、覆工はコンクリートであるが、当時の施工技術や覆工表面の状況から判断して、木製支保、木製セントルを用い、コンクリート打設も人力で行われたものと推定される。覆工コンクリート部には、当時の施工技術に関わる要因や経年による劣化などにより、ジャンカ、ひび割れ、漏水が多く生じており、過去に実施した漏水補修や断面修復箇所の再劣化も生じていた。このような状況を考慮し、以下に掲げる調査を計画、実施した。

- ① 近接目視調査
- ② 打音調査
- ③ 覆工厚・背面空洞調査（写真-1）
- ④ 内空断面計測
- ⑤ 地質踏査



写真-1 覆工厚・背面空洞調査

b) 調査結果

近接目視及び打音調査結果により、覆工表面には、縦断方向及び横断方向のひび割れ、小規模な剥離・剥落、ひび割れや施工目地からの漏水、漏水補修部の劣化による再漏水が生じていることが確認された。また、覆工レーダ探査から、覆工頂部付近において、覆工厚さが薄い部分が点在するとともに、ほぼ全延長にわたって背面に空洞が生じていることが確認された。さらに、地質踏査においては、地表部に過去に生じた地滑り地形が確認された。

これらの結果を基に、変状展開図を作成し、各覆工ブロック毎に健全度を、(財)鉄道総合技術研究所「トンネル保守点検マニュアル（案）平成12年5月」に従って判定した。その結果、覆工背面に空洞が生じていることもあり、多くの部位でA1（早急に措置）、A2（必要な時期に措置）と判定された（図-2）。

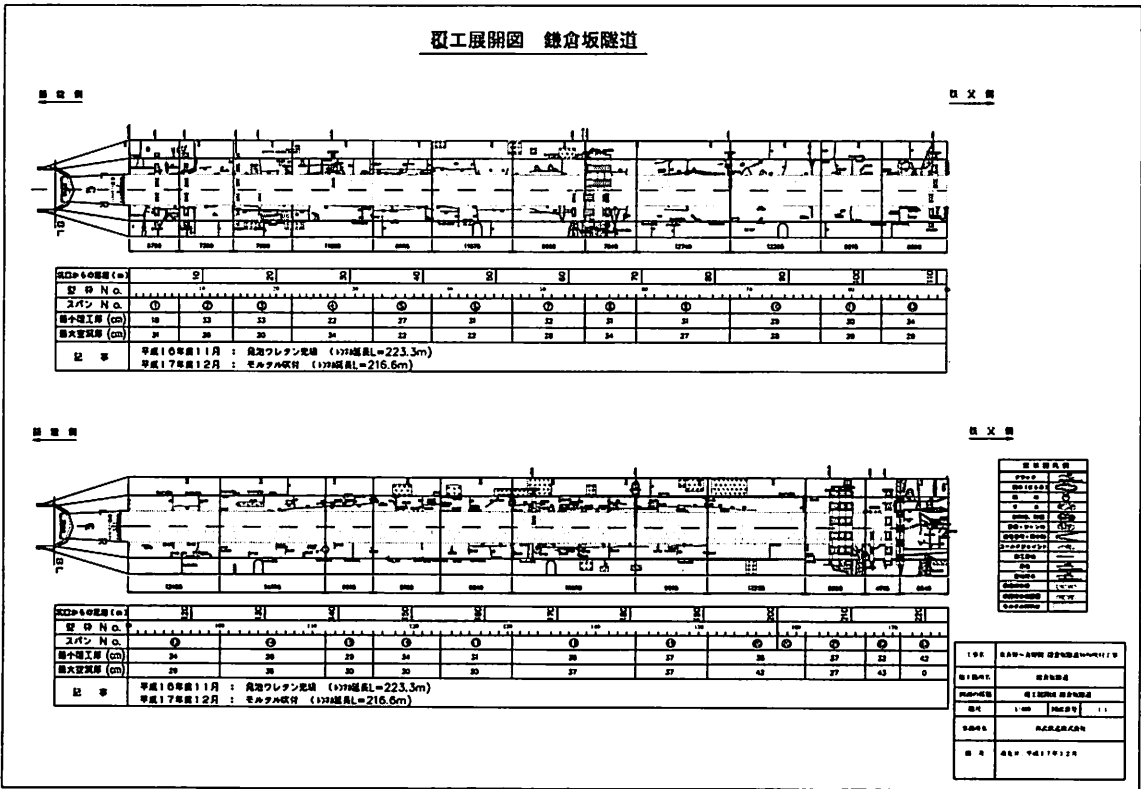


図-2 変状展開図

(2) 健全度評価と対策工の検討

調査結果及び健全度判定結果より、健全性について以下のように評価するとともに、必要な対策工について検討した。

a) 地山荷重等の外力に対する評価と対策

覆工に生じたトンネル方向ひび割れ、覆工背面の空洞の存在、地滑り地形等から判断して、トンネルには地山荷重等による偏圧が作用している可能性が懸念されたが、ひび割れは幅も小さく（1mm程度以下）、段差も生じていないことから、現状の地山荷重等による変状は軽微なものであり、進行性もほとんどないものと推定された。また、地質踏査より、地滑りは古いものであり、末端部で安全率を低下させるような工事の実施や甚大な自然災害がなければ再滑動の可能性は低いものと推測された。このことから、外力に対する健全度は中程度（今後、変状が進行すると機能性が低下する恐れがあるため、必要な時期に処置を行う）であると判断された。

以上のことから、外力に対する対策として、今後の地山の緩みを防止し、覆工コンクリートのアーチ効果を向上させることを目的とした裏込め注入工による補強を実施することとした。

b) 運転保安等に対する対策

覆工厚が薄い箇所やジャンカにより覆工コンクリートの耐力が低い部位が存在し、ここに空洞部の地山の崩壊により岩塊が剥離落下した場合、覆工が崩壊する可能性や（突発性の崩壊）、また、覆工上部に浮きやジャンカが多く生じており、一部は非常に緩い状況であることから、覆工コンクリートの小片が落下することが危惧された。また、漏水が多く生じていた。

以上のことより、突発性の崩壊を防止する目的として裏込め注入工、覆工片の落下を防止する目的として剥落防止対策工、漏水対策として地下水低下工と線導水工を実施することとした。

(3) 補修補強の計画と施工

調査結果を基に選定した対策工について、具体的な補修補強工を選定した。選定にあたっては、以下の条件を考慮した。

- ① き電及び電車線の停電後の約2時間で施工。
- ② トンネル近くに作業ヤード、進入路が無い。
- ③ 内空断面が小さく建築限界に余裕がない（施工厚が5cm程度以下）。
- ④ 漏水が多い。

a) 補修補強工法の選定

① 裏込め注入工

裏込め注入工は、トンネル内や地表から覆工背面に生じた空洞中に裏込め注入材（地山相当強度を有する材料）を注入して固結させ、覆工と地山の密着性の向上を図る補強工法である。覆工背面に存在する空洞を充填する目的としては、

- 1) 地山と覆工背面との間の空洞に材料を充填し、覆工が外力に対抗するための反力をとれるようにする。
- 2) 作用する土圧を分散することにより一様な荷重を覆工に作用させる。（点接触の防止、偏土圧の防止）。

3) 空洞自体の安全対策（突発性の崩壊の防止）

等があげられ、覆工の安全性向上やトンネル構造物を安定させることができる。

裏込め注入材として、セメント系、ウレタン系があるが、先ほどの選定条件や、施工設備が簡易であることと、湧水中での材料分離が少なく、施工設備も小規模で簡易な工法、材料として、発泡ウレタンによる裏込め注入工を選定した。

② 剥落防止対策工

剥落防止対策工は、コンクリート劣化や地山荷重等による変状等により、覆工からコンクリート片が落下し、鉄道の運行上の障害になることを防止するために行う工法である。

鎌倉坂トンネルにおいては、地山荷重による変状はほとんど生じておらず、規模の大きな浮きも生じ

剥落防止対策工として、ネット（金網）工法、高強度繊維シート接着工法、鋼板接着工法、吹き付けモルタル工法等から、短時間で施工可能や、覆工表面が凸凹でも施工可能なこと、恒久的な対策工であること等を考慮し、樹脂ネットを吹き付けモルタルで固定する工法を選定した。

漏水対策工は、覆工コンクリートにおけるひび割れの進行やコンクリートの経年変化等により生じる漏水に対する補修工法である。漏水対策工には、適用場所及び期待する効果により、種々の工法があり、大きく分けて以下のようなものがある。

- 1) 局所的な漏水対策工：止水工法，線導水工法
- 2) 面的な漏水対策工：面導水工法
- 3) 水位低下工：地下水位低下工（水抜きボーリング，水抜き孔）

b) 補修補強工事の施工

1 期工事：平成16年6月～10月
裏込め注入工：発砲ウレタン（20倍発砲）（図-3）
地下水位低下工：水抜き工（φ66, 線導水工）

2 期工事：平成17年8月～12月
落下防止工：ネット＋モルタル吹き付け（図-4）
導水工：面導水工

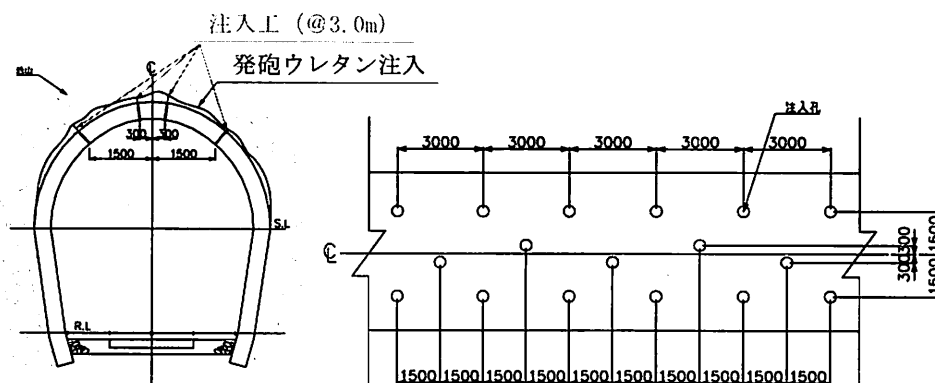
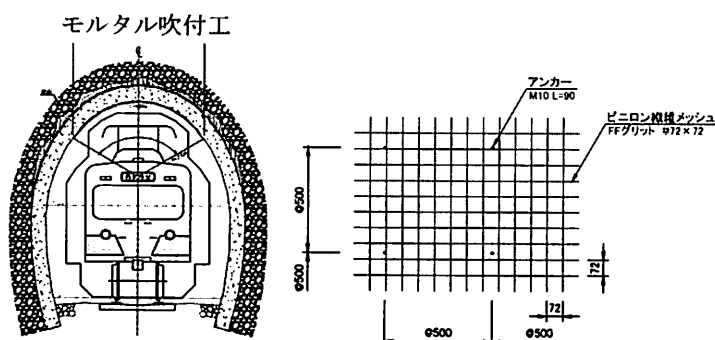


図-3 裏込め注入工



品 名	仕 様
ビニロン縫縫 メッシュ	心 材：ビニロン縫縫
	目 合 い：72mm×72mm（±5mm） 引強強さ：27kN/m以上
吹付けモルタル	特殊セメント系吹付け ファイバーモルタル
	圧縮強度：45N/cm ² （特齢28日）

图-4 落下防止工

① 裏込め注土工

注入に当たっては、「変状トンネル対策設計マニュアル（財）鉄道総合技術研究所：平成10年2月」等を参考に、注入量、注入圧などを管理しながら実施した。（図-5）（写真-2）

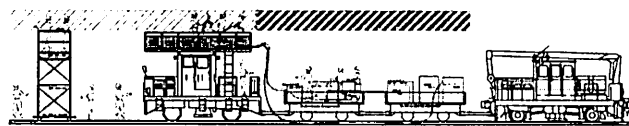


図-5 作業編成図

② 水抜き工

水抜き工は覆工側壁部にコアボーリングマシンでφ66mmの穴を削孔し、坑内に流入した水をトンネル下部まで線導水工（樋）で導水した。

③ 線導水工、面導水工

導水工は、覆工表面に導水部を設ける樋型の導水板を設置した。ひび割れ、施工目地に生じた線状の漏水については、幅30cm程度の導水板を設置し、面状に広範囲に漏水している部位については幅60,90cmの導水板を並列に配置した。なお、導水板の選定にあたっては、覆工からのコンクリート小片の落下に耐えることが可能であり、導水板劣化等による取り替えが容易なものを選定した。

なお、しみ程度の軽微な漏水については、セメント系止水材について止水した（写真-3）。

④ モルタル吹き付け工

吹き付け終了後、数時間で列車が運行することから、硬化前にその風圧や振動が作用して剥がれや落下が生じないように、急結剤を添加した補修用モルタル材を使用し施工した（写真-4）（写真-5）。

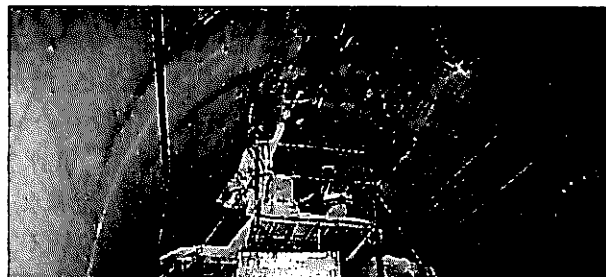


写真-2 裏込め注入状況

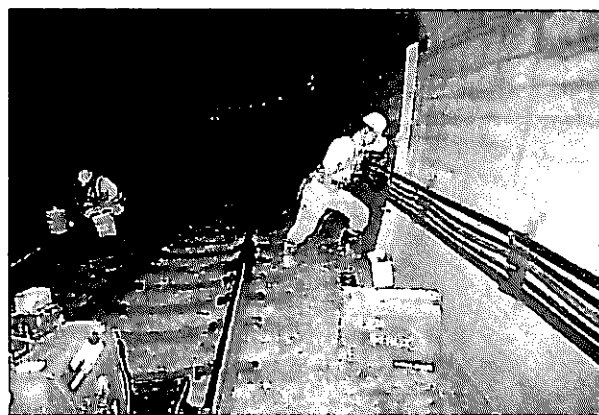


写真-3 導水板取付け状況

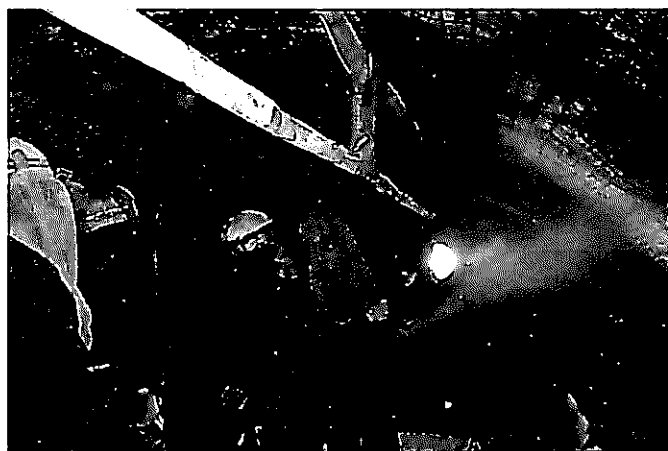


写真-4 吹付け状況

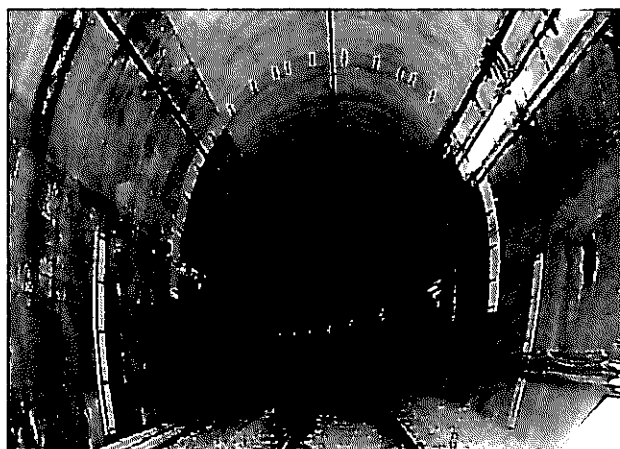


写真-5 吹付け完了

4. おわりに

当社のトンネルにおける維持管理の概要を述べるとともに、この維持管理の中で実施した鎌倉坂トンネルの補修補強工事を紹介した。当社には、鎌倉坂トンネルの他、西武秩父線に16箇所、西武有楽町線1箇所、山口線5箇所の計23箇所のトンネルがあり、中でも鎌倉坂トンネルは、昭和4年に施工された最も古いトンネルで老朽化が顕著であった。また、他のトンネルも昭和44～60年代に施工された構造物のため、今後も通常全般検査や特別全般検査を確実に行之、変状の進展状況を展開図に記録し管理するとともに、中長期計画を基に早めの対応・対策によりトンネル構造物の健全度を維持していきたいと考えている。