

道路トンネルにおける背面空洞注入工と老朽化 対策の取り組み ー常磐自動車道 日立トンネル群ー

REINFORCEMENT CAVITY INJECTION AND RENOVATION DECREPIT EFFORTS IN ROAD TUNNEL -JOBAN EXPRESSWAY HITACHI TUNNEL GROUP -

宮沢 一雄^{1*}・石田 慎治²・中野 清人³

Hitachi tunnel group is located between Hitachi-Minami-Ota IC and Hitachi-Kita IC in Joban Expressway is constructed from 1980 to 1983, has been in service 25 years after the opening in 1985. This interval has 15 tunnels have been built in most of sheet pile method. In the tunnel was built will interfere with the pile. Occurred in the back cavity lining is made of structural weakness and tunnel deformation can easily occur, because of poor seismic sections with anti-cavity injection factory back in order to preserve and improve the durability of future capabilities have been deliberately. In addition, the group tunnel Hitachi proceeds deterioration of materials and repair increased where water leakage due to aging, interior tunnels are struggling to measure degradation of tunnel length enormous becomes significant damage or destruction suddenly not updated from the original construction. In this paper, we report the actual construction of the repair efforts of engineering and tunnel injection in the back cavity of the Hitachi Tunnel group in Joban Expressway.

Key Words : mountain tunnel, maintenance management, cavity injection, renovation decrepit,

1. はじめに

常磐自動車道の日立南太田～日立北間に位置する日立トンネル群は、昭和55年から昭和58年に建設され、昭和60年に開通して供用後25年が経っている。この区間には15トンネルがあり、そのほとんどが矢板工法で建設されている。矢板工法で建設されたトンネルでは、矢板が支障となり、覆工コンクリートと背面地山との間に空洞が生じる場合がある。覆工背面に生じた空洞は、トンネル構造の弱点となり、変状が発生しやすく、耐震性に劣ることから¹⁾、将来的な機能保全及び耐久性向上を図るために空洞をモルタル等で充填するトンネル背面空洞注入工による対策工を計画的に行っている。対策工に当たっては、覆工コンクリートの厚さや背面の状況を高速かつ高精度で調査するために開発された「PVMシステム」(Percussive-Drilled-Void-Measuring)を本格的に採用している。また、当該トンネル群では経年による漏水箇所増加や漏水対策部材の劣化、建設当初から更新されず急激

に劣化や破損が顕著になった内装工など膨大なトンネル延長の劣化対策に苦慮している。

本報告では、常磐自動車道の日立トンネル群におけるトンネル老朽化対策とPVMシステムを導入した背面空洞注入工の実施工の取り組みについて報告する。

2. 日立トンネル群の概要

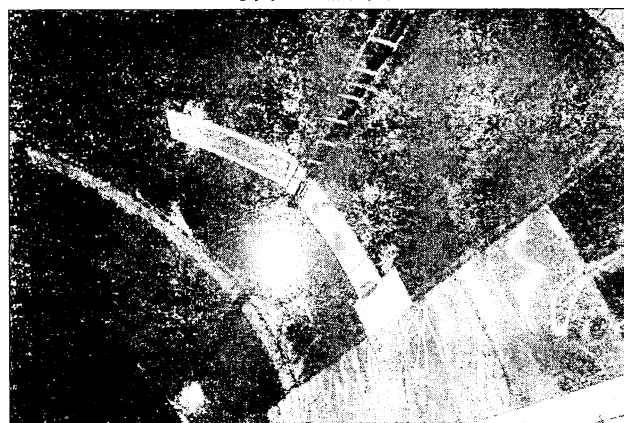
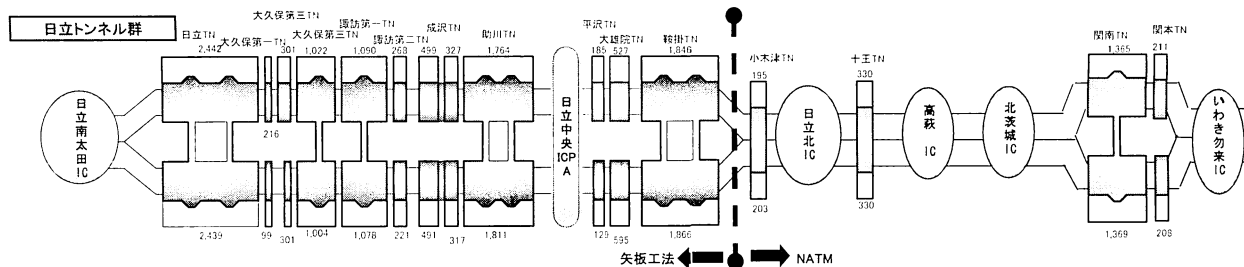
常磐自動車道の日立南太田～いわき勿来間¹⁾は、太平洋と阿武隈山地の最南端である多賀山地に挟まれた狭隘な市街地、工場群を避け急峻山地、溪谷を通過してトンネルと橋梁が連続する区間である(写真-1)。地質は、鮎川層群と呼ばれている古生層で、岩質は珪質粘板岩、黒色粘板岩、緑色片岩及び石灰岩より構成されている。この間には15トンネル、総延長が約25kmに及ぶトンネル連続区間があり、全国でも有数のトンネル群である(図-1)。ほとんどのトンネルが在来工法で建設されており、

キーワード：道路トンネル、維持管理、空洞注入、老朽化対策

¹正会員 東日本高速道路㈱ 東北支社 福島管理事務所 (〒960-0231 福島市飯坂町平野字前原 11) E-mail:k.miyazawa.aa@e-nexco.co.jp

²非会員 東日本高速道路㈱ 関東支社 水戸管理事務所 (〒311-4263 水戸市加倉井町 2206)

³正会員 ㈱高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)



建設後20年以上経過した時点で、内装板、覆工コンクリート剥落、漏水等の劣化対策が必要となり年度計画を立て補修、改良を行っている。背面空洞対策では、空洞注入が必要な在来トンネルが11トンネル、延長が21 kmと対象数量が膨大であり実施にあたっては、全体の状況を把握した上で対策順位を定め、覆工コンクリートにひびわれが多く、漏水が比較的多いトンネルから順次対策を進めている。2001年から対策を開始し、2003年より助川トンネルにてPVMシステムを導入した背面空洞注入工を施工し、現時点では約5割が対策済である。トンネル連続区間で他トンネル工事と輻輳施工となるため、トンネル群全体の劣化対策計画を策定してブロック毎の集中工事方式にて工事を実施している。

3. トンネル補修の取組み

(1) 漏水対策

漏水による変状は、供用後の間もない時期に異常豪雨により、日立トンネルにおいて異常出水のためコンクリート舗装版や監視員通路が4箇所全延長650mに亘り最大高さ18cmの浮上がりが発生した。被圧水の対策としては、舗装版、路盤とも打替えを行い、ブローンアスファルトを注入し、水抜き工としてウィーブホールを設け円形水路から下向きに集水を行っている²⁾。また、通行車両に支障をきたす、車線上に滴水する漏水が石灰岩の分布する日立、成沢、助川、鞍掛トンネルで覆工コンクリート継目及びクラックから多く発生している(写真-2)。覆工からの漏水は、経年、季節により漏水箇所が

変わるため、日常点検により発見され次第、随時塩化ビニール製の平型の樋(W=0.3m)を取り付けて線導水を行っている。導水樋は、経年による劣化及び遊離石灰や細砂の流出により樋より再漏水する事があり毎年多くの更新が必要となっている。その対策の一つとしての透明導水樋を設置して遊離石灰等の目詰まりや導水状況を随時把握できるようにした(写真-3)。また、内装工改良時には上半アーチと側壁コンクリートの継目からの漏水に覆工面にV型の導水溝工及び防水シート工を行っている。

(2) 内装工劣化対策

a) 劣化状況

建設当初に設置された胴縁固定式「石綿板」の内装工は、約15年が経過した段階から、経年劣化と湧水による板の破損や胴縁及び取付け金具の腐食により内装板が垂れ下がる損傷が生じた。内装板の変状が著しい箇所は、覆工の側壁部とアーチ部の接合部から縦断方向にカーテ

ン状の漏水と遊離石灰が発生している箇所であり、漏水が多いトンネルでは全長の50%以上の内装板を劣化損傷により撤去しなければならなかった。また、15年以上経過した内装工は、漏水がなくともトンネル内の過酷な条件下での劣化進行が早く日常点検とは別に交通繁忙期前に定期的に点検を行い破損した内装工を撤去する必要があった（写真-4）。

b) 対策工

内装工の劣化対策は、既設の内装板を全て撤去し、長期的な耐久性及び洗浄回復性が優れているタイル直張り（図-2）による改良を基本としたが、漏水、覆工面の状態、非常用設備の配線・配管の設置状況から直張りが出来ない場合はタイルパネル浮かし張り（点支持方式）を併用した（図-3）。既設内装板の設置高さは路面より3.5mであったが、近年の白色照明の採用により坑内視環境が向上したことから、2.5mとした。対象トンネルが多数で工事が膨大であることから全体の劣化・損傷状況から対策の優先度及び対策工法、工事規制方法等を含めた検討を行い対策計画を策定した。計画策定する上で最も配慮した点は、トンネル連続区間の工事規制が限られたブロック工事規制の中で実施しなければならない点である。従って2～3チューブ/年の工事は原則同一ブロック規制内での工事を基本とし、工事期間である7月～翌2月までの約半年間は、繁忙期間を除きほぼ連日工事規制を行う集中工事方式をとった。平成13年度より下り線成沢トンネルより改良を始め、12トンネル24チューブ、トンネル総延長24kmに及ぶ内装工劣化対策を10年間を要して平成22年度に完了した。

施工方法としては、既設の内装板を撤去した後、はく落調査及び漏水調査を行い、必要に応じコンクリートの浮き・剥離部を撤去し、遊離石灰を除去した上で漏水箇所に導水シートを設置する等の処理を行い、内装工の施工を行った。留意点としては、既設内装板撤去に伴い覆工コンクリートの剥落対策及び漏水処理を徹底して行ったこと。石綿板の撤去に伴う取り扱いを安衛法に則り施

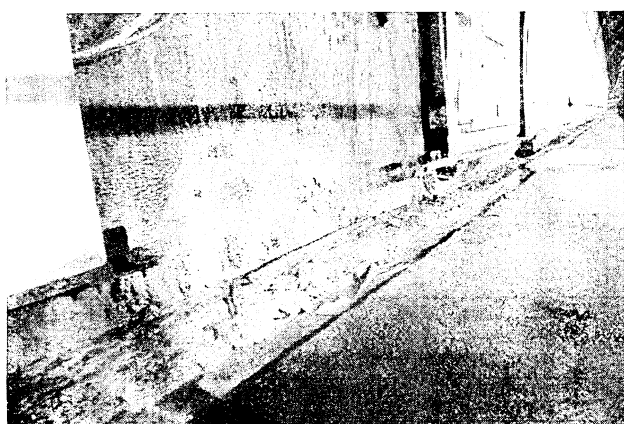


写真-4 内装工背面漏水と劣化状況

工及び撤去後の管理・処分を厳重に行った。また、内装板に付着した煤煙や覆工の下地処理による粉塵により作業環境及び坑内通行環境が極悪にならないようにバキューマー付ディスクサンダー、送風機の使用やトンネルに備わったジェットファンの稼働等の対策を行ったなどが挙げられる。

4. 背面空洞対策工

(1) 背面空洞の現況

覆工背面空洞の有無は、覆工コンクリートの耐荷力に大きく影響する³⁾。特に、矢板工法で施工されたトンネルでは、その多くの覆工背面に空洞が存在することが多い。空洞は、トンネル構造の長期安定性を確保する点から空洞充填することが得策である。NEXCO東日本では、矢板工法で施工されたトンネルを対象として、背面空洞を計画的に充填することとしている。日立トンネル群には、矢板工法トンネルが多数あり経年により覆工コンクリートの劣化やひび割れ、漏水等の変状が増えてきており、空洞注入が必要な矢板工法トンネルが11トンネル、延長が21kmと対象数量が膨大である。対策実施

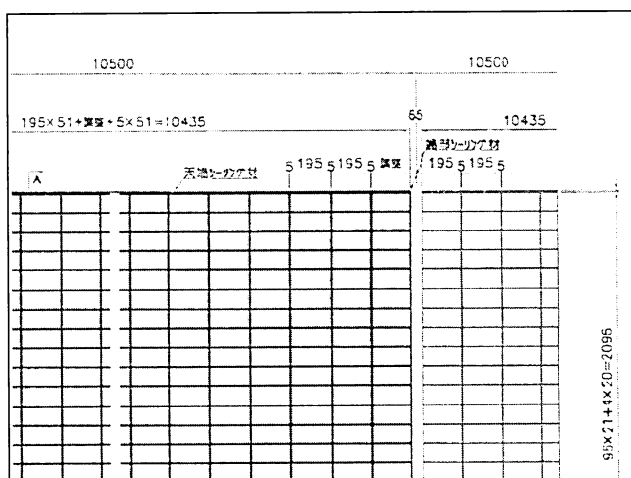


図-2 タイル直張り内装工正面図

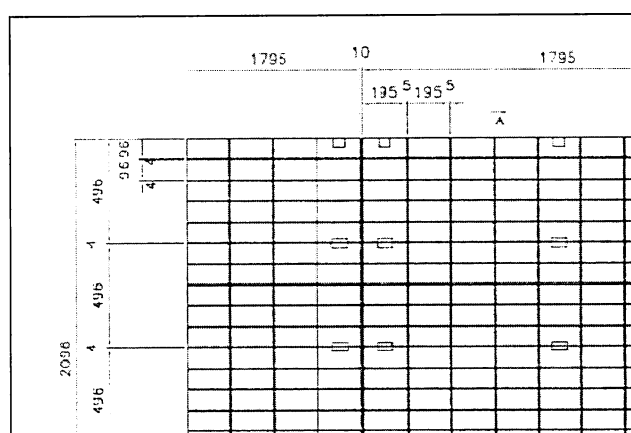


図-3 タイルパネル浮かし張り内装工正面図

にあたっては、全体の状況を把握した上で優先度の高いトンネル選定をするため、トンネル延長方向20m毎に天端部で削孔空洞調査を行った。孔数からのトンネル別空洞率は最大90%に及び、平均60%であり（図-4）、平均空洞高282mmで最高空洞高940mmであった。

(2) 空洞調査

一般に、既設トンネルの覆工背面空洞調査には電磁波などの物理探査手法が用いられることがあるが、覆工コンクリートが厚い場合や背面に崩落土砂が堆積している場合などでは、調査精度の低下が危惧されている。また、空洞注入を前提に空洞量の把握を目的とした調査は、覆

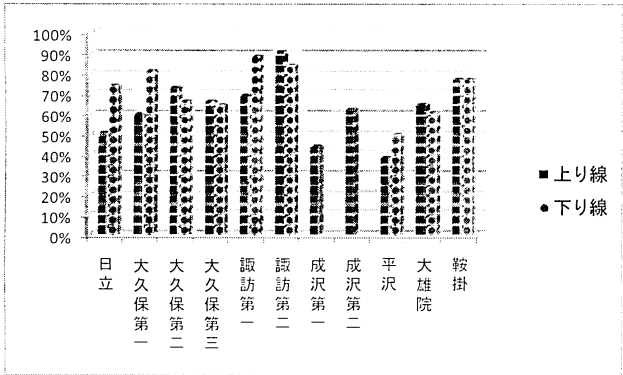


図-4 背面空洞率

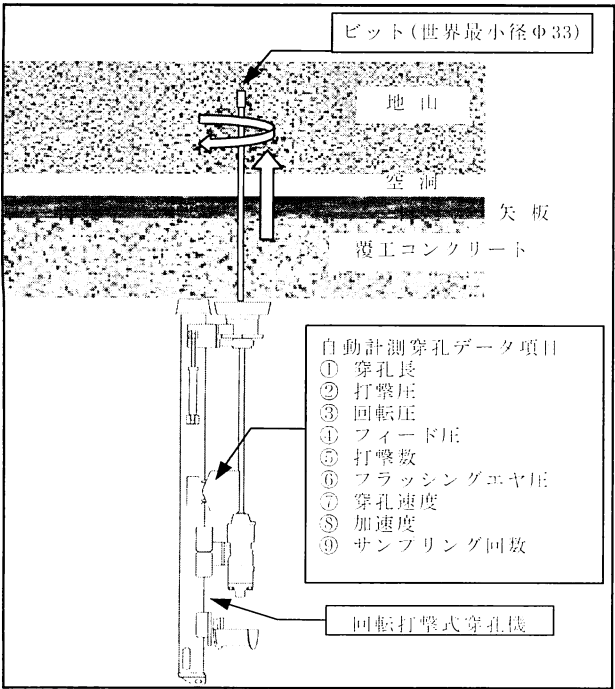


図-5 削孔方式

工コンクリートをコアドリルで削孔し、計測棒を挿入して計測する方法としている。しかし、1カ所当たりの削孔に時間を要し、工事交通規制日数が多くなることから工期や費用面で課題を残していた。このような背景から、覆工コンクリートを高速削孔しながら覆工厚や覆工背面の状況を高速かつ高精度で調査するために開発されたPVMシステムを本格的に全トンネルで採用している。当システムは、打撃と回転の併用による削孔方式で削孔中の種々の機械データをリアルタイムに計測し、制御装置で解析することで空洞の判定を行うものである（図-6）。削孔径は、覆工に対するダメージや削孔速度を向上させるため最小のφ33mmとしている。また、調査の結果、空洞が判明した場合には、削孔した孔を注入用に拡張(φ65mm)する機能も兼ね備えてたものである。なお、詳細については参考文献3), 4), 5)を参照されたい。

(3) 背面空洞注入工

a) 注入材

背面空洞に充填する注入材は、十分に空隙が充填され、適度な流動性を維持し、注入後に材料収縮・分離がなく、覆工のクラックや目地から逸送しない性能が必要とされた。今回の施工で使用した注入材は、湧水が存在し施工規模が大規模であることから可塑状注入材を採用した（図-6）。その中でも体積収縮が少なく局所的な大規模の空洞に適しているエアモルタルに可塑剤を加えた注入材を使用し、湧水が多量であった助川トンネル下り線では、近傍IC付近に仮設プラントを設置してポリマーセメント系の注入材を使用した。品質規格を（表-1）に示す。

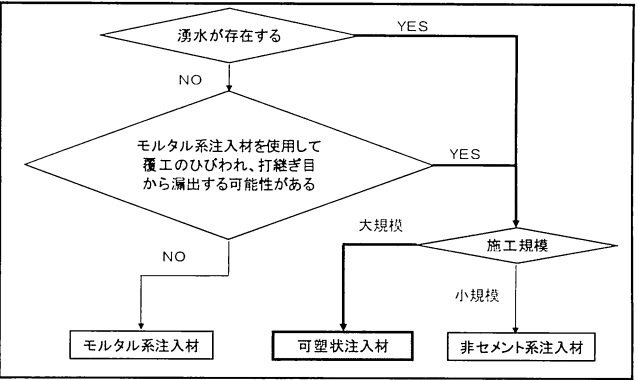
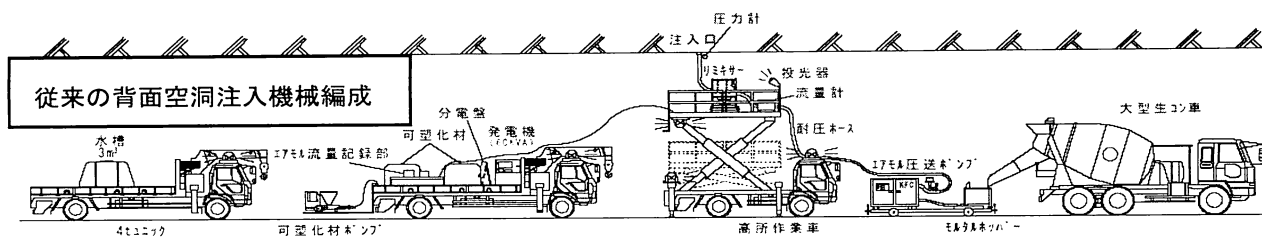


図-6 注入材選定フロー

b) 注入工の施工

表-1 背面空洞注入材の品質規格

種別	モルタル系注入材	可塑状注入材						非セメント系注入材
		TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	TYPE5	TYPE6	
材料種別	エアモルタル	エアモルタルに可塑剤を加えたもの	ポリマーセメント系のもの	モルタルに特殊増粘剤を加えたもの	可塑性セメントに可塑剤を加えたもの	発泡ウレタン/シリカレジン含む		
比重(KN/m³)	9～15程度	11～12程度	11～12程度	13～15程度	13～15程度	13～15程度	13～15程度	1～2程度
フロー値	フロー値	200±20	80～150	80～150	180±25	130±25	100±20	100±20
試験方法		JHS313 (シリンダ法)	JHS313 (シリンダ法)	JIS R5201	JHS313 (シリンダ法)	JHS313 (シリンダ法)	JHS313 (シリンダ法)	—
空気量(%)	51±5	43±5	40±5					
圧縮強度				1.5N/mm²以上				



⇒狭い施工ヤードで施工可能・展開時間を短縮

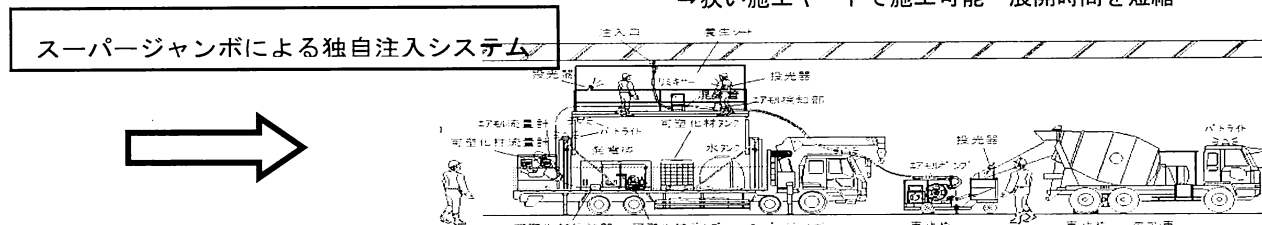


図-7 背面空洞注入工機械配置

背面空洞注入工は、「矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領」⁶⁾に基づき実施している。PVMシステムにより空洞調査が行われ、注入孔が削孔され注入管および取付器具を設置されたトンネルより順次、背面空洞注入工の施工を行った。PVMシステムでは調査削孔・拡張削孔・注入孔削孔の利用にも適用できる機能を有しているため、延長が1,000mを超えるトンネルでは、前年度に調査のみを行い空洞状況を十分に把握した上で次年度注入工事を発注する運用が可能であり、工事数量・費用管理に有効であった。注入の順序は、日々の一車線交通規制を行った上で、まず追越車線側の肩部より一次注入を行い、次に走行車線側の肩部に二次注入を行い、充填を確認できなかった天端注入孔から三次注入を行い充填を完了させた。充填の確認は隣接注入孔からのリークもしくは注入圧力が0.2Mpaに達するまでとした。

c) 効率化の工夫

施工機械編成は、高所作業車(注入作業、リーク監視)4tユニック車(発電機、混合機械、流量計、圧送ポンプ、水槽等積載)アジテータ車、その他に給水車や材料運搬車など関係車両が多いため、施工ヤードが広く必要であり、施工開始までおよび撤去完了までにそれぞれ一時間程度要しており交通規制時間など条件の制約がある高速道路上の施工において課題がある。そこで過年度工事においては、公道走行可能なユニック付超大型トラックに可塑状注入機械を搭載した独自注入システム(スーパージャンボ)を採用して、注入機械の工事規制への搬入・搬出時の展開や工事規制内において一日当たり一次注入で10～20回、二次・三次注入で20～40回の移動展開の時間を短縮すると共に施工の効率化を図ることで制約が多い高速道路上の交通規制内での施工において安全性及び施工性が向上した(図-7)。

d) 注入管理手法の試み

背面空洞注入工においては、注入規模を想定することは、交通規制計画や施工計画を立てる上で重要である。

背面空洞を正確に予測することは困難であるが、当初計画と実注入量が大幅に異なることは、全体計画に手戻りが生じるため避けなければならない。従前の背面空洞調査には調査精度の低い電磁波などの物理探査法が用いられており、注入工事の中でコアドリル削孔調査が行われており、工事発注後に大幅な工事数量及び費用の増減が生じた。PVMシステムを導入後は、工事発注前年度に調査を行い注入数量を測定空洞高さから断面積Dを算出(式(1))することで、より正確な想定注入量を求めることができた(図-8)。

$$D = (1/2) * \{ LAB * dB + LBD * (dB + dD) + LDE * (dD + dE) + LEF * dE \} \quad (1)$$

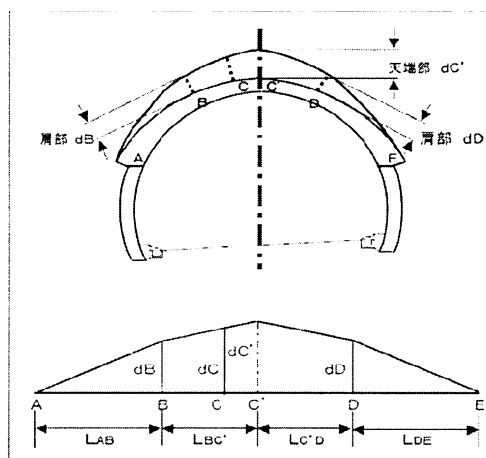


図-8 想定注入量の算出要領図

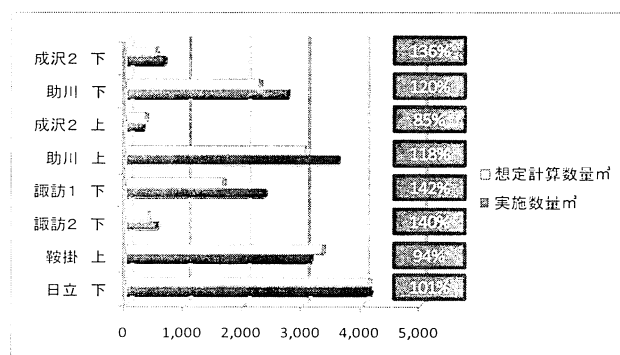


図-9 注入量の想定と実施の比較

2010年に施工した日立トンネル下り線の工事より充填確認をリークと注入圧力に箇所当たり想定注入量を加えた。これは従前の工事においてリーク、圧力上昇が認められず想定注入量を大幅に超える箇所があり、全体注入量が3～4割増となったため、一次注入では想定注入量、二・三次注入では想定注入量の1.5倍を定量として注入管理を行った。これらにより、想定計算注入量と実注入量の比較は従前工事に比べ大幅に改善され、日立トンネル下り線においては、想定注入量4,098 m^3 に対し実注入量が4,121 m^3 と23 m^3 増(0.6%増)と注入量管理の検証がすることができた(図-9)。

(4) 湧水処理

削孔中に漏水が発生した場合は(写真-5)、通行車両に支障がないよう水受を行った上で、ホースで導水した。湧水が切れない箇所は、注入工事が施工されるまで導水シートにより湧水対策を行った。また、調査において設置した注入管から注入工事が実施されるまでの間に発生したゲリラ的な豪雨により湧水処理を余議なくされた。効率的な注入工の実施および安全快適な走行環境のためには現地状況に応じた湧水処理に留意する必要がある。

5. まとめ

トンネル補修の取組みにおける内装工劣化対策では、経年劣化と湧水により取付金具、胴縁などに破損、欠落または著しい腐食があり内装板の脱落の恐れがあり、通行車両の安全確保のため一部で早急な補修が必要となった。全体の劣化、損傷状況から対策の優先度、対策工法や工事規制方法の検討を行い、年度補修計画を策定した。タイルによる対策工事を開始したが全ての内装工劣化対策を完了するために10年間に要した。供用されてから15年以上を経過した内装工はトンネル内の過酷な条件下で



写真-5 PVM削孔中の湧水

劣化進行が早く、対策工事の進行を上回り、点検により破損した内装工を大量に撤去する必要がありトンネルにおけるアセットマネジメントの必要性を強く感じた。

背面空洞対策においては、新たな空洞調査法であるPVMシステムを本格採用し、これまでの工事における実績により経済性、実用性、安全性について検証できた。よって同システムは、今後の新しい空洞調査手法として位置付けられると考えられる。

今後の課題は、多くの時間を費やした湧水処理作業に関する対策を開発・導入することによって、さらに能力向上による合理化が可能と考えられる。注入の施工では、注入機械の工事規制への搬入・搬出時の展開や工事規制内での移動展開の時間を短縮すると共に施工性を向上するために独自注入システムを採用し、条件の制約が多い高速道路上の工事規制内での施工において安全性及び施工性を向上させ効率化を図った。また、注入管理においては、PVMにより得られた高精度の想定空洞量から充填確認に想定注入量を新たに採り入れ工事において検証することができた。日立トンネル群における背面空洞注入工の進捗率は2010年度末で約50%である。今後さらに現地での実績の積み重ねと技術開発を実施することで制約条件の中、効率的・計画的に背面空洞注入工を進めていきたい。社会資本ストックの有効利用の時代を迎え、社会資本ストックをLCCを把握した上で効率的に維持することや長寿命化するためには調査技術、それに基づく補修・補強技術の確立が必要である。このような観点から予防保全として必要とされているトンネルのアセットマネジメントにおいて今回紹介した現場での取り組みが一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 東日本高速道路㈱：設計要領第三集(1)トンネル本体工保全編(変状対策)、2006。
- 2) 林崎、篠崎、諫山：豪雨によるトンネル舗装版の浮上がりと復旧工事―常磐道日立トンネル群―、日本道路公団技術情報NO.91、pp.59-64、1988。
- 3) 大島、伊藤、城間、西村、若林：既設トンネルの覆工背面空洞調査法の開発について、トンネル工学研究論文報告集第14巻報告(46)、土木学会 pp.313-317、2004。
- 4) 宮沢、石田、中野：PVMシステムを利用したトンネル背面空洞注入工、地下空間シンポジウム論文・報告集VOL.16、土木学会 pp.37-42、2011。
- 5) 日本道路公団：トンネル覆工背面の空洞調査法(PVMシステム)マニュアル(案)、2004。
- 6) 東日本高速道路㈱：矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領、2006。