

地下構造物の維持管理の現状と最近の取り組み THE PRESENT MAINTENANCE & RENEWAL FOR UNDERGROUND STRUCTURES, AND NEW TECHNOLOGY

竹林亜夫*・加茂富士男**・平井光之***

Tsuguo TAKEBAYASHI, Fujio KAMO, Mitsuyuki HIRAI

This report investigates the status quo of the maintenance and renewal (M&R) for underground infrastructure facility in Japan, and presents our view toward the future M&R.

The investigation points out that a good M&R plan should be made considering the Life-Cycle of a facility prior to its construction, because underground location will not allow its renewal easily after it is constructed. For an urban underground facility, the influence on the existing one should be taken into account for its construction.

The report concludes that the opening the information about infrastructures to the public is indispensable for a good M&R planning, and leads to building up engineers and improving working condition for construction.

1. はじめに

土木構造物に代表される社会資本が市民生活の向上という本来の目的を果たすためには、構造物が建設された後の供用中の管理、運営が適切に行われることが不可欠であるという認識が近年ようやく高まってきたようにみえる。

しかしながら、社会資本の運営管理の実務にあたる技術者を中心にその重要性が叫ばれながらも、依然としてそれらの業務を円滑に遂行していくにはいくつかの大きな課題が残っている。それらは、例えば、

- 1) 維持管理、補修・補強等に関する積算体系が未成熟なため工事の採算があわない、あるいはそういった業務に携わる技術者の資格制度なども十分でないために専門技術者が育たない。
- 2) 維持管理そして更新まで含めたトータルコストをミニマムにするためには、構造物の計画・設計段階からの検討が必要との認識がようやく高まりつつあるが、計画的な予算措置が行われる段階までには至っておらず、老朽化、あるいは安全性の低下等が生じていながら適切な維持管理が行えない構造物が増加していく。
- 3) 設計・施工段階から点検、補修に至る長期にわたるデータの蓄積、分析が適切な維持管理技術の発展のためには不可欠であるが、膨大なデータを分類、整理するのに必要な人的、物的資源が十分でない。

などである。

また、地下構造物特有の課題として、以下のような点が、これまで地下構造物の維持管理に携わってきた事業主体によって指摘されている¹⁾。

- 1) 点検、補修・補強などの行為を構造物の内面からのみ実施せざるを得ない場合が多いため、手段が

* 正会員 清水建設(株)土木本部技術第二部

** 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株)トンネル部

*** 正会員 ハザマ土木本部技術設計部

かなり制約される。

- 2) 漏水に対する処置が大きな課題であるが、作業条件に制約が多く、効果的な対策が打ちにくい。(地下鉄等)
- 3) 近接工事の影響から既設地下構造物を守るための工事事業者との綿密な検討の必要性
- 4) 調査の困難な箇所(調査・補修方法(下水道))
- 5) 軟弱地盤中の構造物などの維持管理には、構造物の強度などの情報以外に地下水位変化など周辺地盤の性状や荷重状態の変化などに関する情報を把握する必要がある。(地下電力施設、通信ケーブル洞道等)

平成8年度より地下空間研究委員会の下に、維持管理小委員会が発足した。当小委員会の活動の主眼は、地下構造物が広く社会資本の一環として十分な機能を効果的に発揮するために、これまで各方面で検討を重ねてきた数々の試みの背後にある考え方を再度わかりやすく整理するとともに、課題の解決に向けた提言を行うことにある。なお、当小委員会を対象とする地下構造物は地下街、地下駐車場、各種都市地下トンネル、各種山岳トンネルなど、構造物内部空間を何らかに利用する構造物とし、杭、基礎地盤などは対象外としている。

本報告では、これまでに収集した地下構造物に関する維持管理、補修・補強、更新の事例ならびに地下構造物特有の課題に関する新しい技術を紹介するとともに、現時点で考え得る今後の取り組みの方向性について提案する。

2. 地下構造物の維持管理の現況

2.1 トンネル

トンネルの維持管理においてはトンネルを支える覆工構造物の変状の管理、補修が主眼とされてきた。これに関しては、日本トンネル技術協会が発注機関別の貴重な調査結果をまとめている²⁾。この中から、トンネルの変状と対策例を取りだし一覧表としたのが、表-1である。

(a) 山岳トンネル

道路、鉄道ともできるだけ供用下で調査、補修等を行う必要があり、作業時間が制約されたり、作業環境が悪くなるなどの共通の課題がある。

建設省、道路公団、JRなどの山岳トンネルでは覆工の剥離、目地開き、クラックの発生などが主な着眼点となり、調査結果はそれぞれの判定基準に基づいてランク分けされ、対策工としては吹付けコンクリート、ロックボルト、裏込めコンクリートなどが施されている。

JRにおいては、さらに列車運行の支障となるような断面変状がないかどうかという視点も大きなポイントとなっている。

また、トンネルの変状の現況調査のために、建設省が平成元年度に行った、高速自動車道、国道、都道府県道、主要地方道を対象としたアンケート結果の一部から、トンネル変状の発生箇所(岩種としては第三紀層が他の岩種に比較しかなり多いことが指摘されている²⁾。

(b) 都市トンネル

首都高速道路公団における地下構造物は開削ボックストンネルがほとんどであり、擁壁面、上床版等のクラック、遊離石灰などを主な点検項目としている。また、同公団は東京港トンネルなどの沈埋トンネルも管理しているが、海底トンネルにおいては重大な損傷が発生してから補修は非常に困難であるため適切な点検、判断の重要性が高いとしている。

地下鉄においては、内壁等の剥落による電車の窓の損傷、漏水によるレール、電車線、信号などへの影響は電車運行にとって支障となるため、点検における重要な着眼点となっている。

NTTでは、既設とう道に影響を与える近接施工のパターンを図-1のように3つに分類し、それぞれにつ

いて、とう道の横断方向ならびに縦断方向の検討手順を示している²⁾。これを活用することにより、近接工事起因者との協議をスムーズに運ばせることが主眼となっている。

表ー1 事業主体別トンネル変状と対策例

発注機関	変状	補修・対策例	備考
建設省	・ 覆工クラック ・ 覆工剝離 ・ 目地開き ・ 石灰などの析出	・ 吹付けコンクリート ・ ロックボルト ・ 裏込めコンクリート ・ 縦横補強吹付けコンクリ ・ 内巻コンクリート	・ 竣工後 0～30 年のものがほとんど ・ 第三紀層に多い ・ 変状が確認されているものの 58%に漏水あり
日本道路公団	・ 覆工クラック ・ 角落ち ・ 覆工剝離 ・ 抜け落ち ・ 目地開き ・ 漏水 ・ 遊離石灰	・ 吹付けコンクリート ・ ロックボルト ・ 裏込めコンクリート ・ 縦横補強吹付けコンクリ ・ 内巻コンクリート ・ 天井板補強 ・ インバート設置	
首都高速道路公団	・ クラック ・ 遊離石灰 ・ 空洞 ・ 角欠け	・ 注入 ・ 止水 ・ 空洞充填	・ 開削ボックストンネルがほとんど
JR	・ 断面形状 ・ 圧さ ・ クラック ・ 食い違い	・ 吹付けコンクリート ・ ロックボルト ・ 裏込めコンクリート ・ 縦横補強吹付けコンクリ ・ 内巻コンクリート	・ 覆工表面撮影装置 ・ 非破壊検査技術 ・ トンネル検査・診断用エキスパートシステム
都営地下鉄 営団地下鉄	・ 不等沈下 ・ 断面変状 ・ 亀裂 ・ コンクリート剝離、剝落 ・ 漏水 ・ 鉄筋の腐食	・ 開削+床板補修 ・ 鋼製セグメントの二次覆工 ・ ハブリ+ポリマーセメントモルタル表面処理 ・ グレタ注入止水	
東京都下水道局	・ クラック ・ 目地ずれ ・ 管路破壊 ・ モルタル付着 ・ 浸入水	・ 止水補強 ・ ラインク ・ 開削改良	・ 大正～昭和40年頃に建設された古いものに劣化が激しい。
NTT	・ クラック漏水 ・ 鉄筋腐食 ・ コンクリート劣化 ・ 金属腐食	・ 漏水補修 ・ 金属腐食の補修	
東京電力	水路トンネル ・ クラック ・ 空洞 地中送電用トンネル ・ クラック ・ 漏水	水路トンネル ・ 巻替え ・ 内巻 ・ 空洞充填 地中送電用トンネル ・ コンクリート塗装、充填 ・ 止水 ・ 吹付けコンクリート ・ 打ち替え	・ 近接施工による対策工も増えている

現在進行中の都営地下鉄 12 号線の建設工事においては、超高圧電力ケーブルを収容する既設洞道に近接して駅舎が設置される際の洞道の安全を監視するため、東京電力では図ー2に示すような大規模計測システムを導入し、計測監視を実施している²⁾。

2.2 地下街、地下駐車場

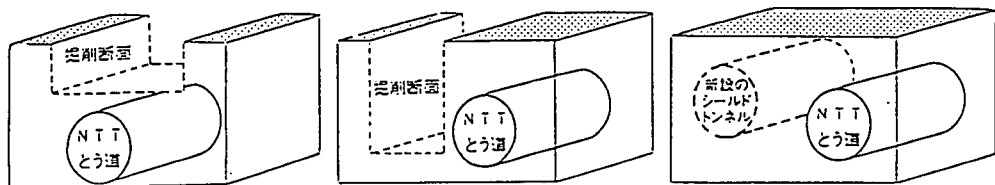
地下街、地下駐車場などは一般の市民が直接利用する地下構造物であり、維持管理においても、構造物自体の健全性もさることながら、人的な防災、安全の確保のための保安設備のメンテナンス、保安体制の構築等が主眼となっている。

2.3 その他

(社) 日本道路建設業協会が 1992 年 6 月に発表した夜間工事現場のアンケート調査³⁾によると、現場代理人の約 7 割が「夜間工事には極力従事したくない」と回答している。これについて、日経コンストラクションでは、「使いながら直す制約か

ら生じる『つけ』を現場が一手に引き受けている。」と指摘している。

補修・補強工事を行う間、道路、鉄道などが使えなくても仕方がないと住民、あるいは利用者に理解してもらうための関係者の努力が、この分野の健全な発展のためには不可欠である。



【パターン1】上部掘削および露出

【パターン2】側方掘削

【パターン3】シールドトンネルの近接

図ー1 近接施工の形態分類 (NTT の場合) ²

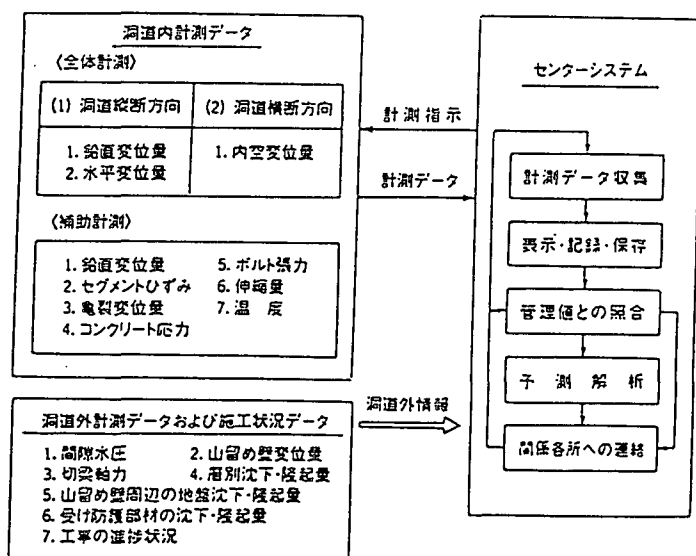


図-2 都営地下鉄12号建設に伴う既設洞道計測管理システム（東京電力）²⁾

2.4 現状のまとめ

各事業主体における地下構造物の維持管理の現況について、保守点検、対策の主な項目ならびに拠り所となる基準類、マニュアル等を構造物別にまとめたのが表-2である。

都市部の地下空間の利用にあたっては、様々な埋設物が輻輳しており、近接施工に関する検討の重要性が日に日に増している。前述の近接施工に関するNTT、東京電力の取り組みはその意味で非常に切実な、かつ重要な意味をもっており、各事業主体が共通の認識をも

って都市部の地下空間利用を円滑化のための取り組みをさらに進める必要がある。

3. 地下構造物の維持管理における新しい試み

3.1 検査手法の開発

(a) 道路・鉄道トンネル

道路・鉄道トンネルの覆工の表面、内部、背面の健全度検査技術の開発に多くの事業主体が積極的に取り組んでいる。

例えば、JR 各社および鉄道総研では列車運行を妨げずにより的確な状態把握を行うことを主眼に、時速数10kmの走行状態でトンネル覆工表面の画像を連続写真として記録し、長大トンネルを効率よく検査する装置、あるいはトンネル変状の原因を人工知能により推定するトンネル検査・診断用エキスパートシステムの開発などを実施している²⁾。

(b) 電力水路トンネル

東京電力では地中レーダと走行装置を組み合わせたトンネル覆工探査システムを実用化し、短い断水期間内で覆工コンクリート厚、背面空洞厚さに関する連続データを得ることにより、健全度評価に効果をあげている²⁾。

(c) その他

下水道などにおいては、人の入れない小口径の管渠の劣化の度合を計測することは難しい。この問題を克服するために、東京都では健全度調査用ロボットを開発している⁴⁾。

3.2 データベースの整備

(a) JR 総研の例

表-2 各種地下構造物における主な維持管理項目

	地下構造物の種別	主な保守点検項目	主な維持管理対策項目
道路トンネル	山岳トンネル工法	・覆工構造物のひびわれ、変状点検 ・覆工厚さ、背面地山調査 ・漏水状況点検 ・変状補強工の効果確認調査 ・坑門構造物、地表面変状点検 ・内装構造物の変状点検	・一般に点検結果の判定は、判定区分A(要対策) - 判定区分B(要調査) - 判定区分C(調査、対策の必要な)の3区分によって行う。
	開削工法	・構造物のひびわれ、遊離石灰、他損傷条件点検 ・漏水状態、排水状態の点検 ・路面の滞水状態の点検 ・タイルの損傷状況の点検 ・地震時点検	・各所管官庁のコンクリート構造物の判定基準に準拠している。
	沈埋工法	・コンクリート構造物のひびわれ、漏水状態点検 ・鋼板の腐食、溶接部の損傷、漏水状態等の点検 ・日常点検、定期点検以外に地震時、船舶沈没時、異常潮位時等に特別点検(不定期)の実施	・適切な点検、適切な判断により、損傷が軽微な段階において補修を行う。
鉄道トンネル	山岳トンネル工法	・「建築物管理規程」により定められた「建築物検査基準」で検査の対象、業務、種類、区分、周期、実施責任者を決めている。 ・その具体的内容を記述した「建築物検査要領」で、健全度判定区分、個別検査の対象、検査項目、検査の時期および方法などが定められている。	・1990年に「トンネル補強・補修マニュアル」が出版された。その内容は以下の通り。 ・共通編：調査、計測などの共通技術 ・地圧対策編：変状トンネル等の補強対策 ・劣化覆工対策編：覆工表面等の補修対策 ・漏水・凍害編：漏水や凍害による変状と対策 ・「既設トンネル近接施工対策マニュアル」は現在暫定試案として試行中。
	開削工法	・「鉄道運転規則」等に基づき、線路、構造物の検査を実施し、基準を超えたものについては補修を行う。 ・トンネル構造物の変状には、亀裂、構築剥離、剥落、漏水、断面変形、不等沈下等がある。	・通常は以下のような部分補修を実施 ・亀裂：Vカットシーラーと注入材で止水 ・構築剥離・剥落：劣化部をハツリ、ポリマーモルタル等で埋め戻し、表面処理する。 ・漏水：止水工法と導水工法に分けられる。 ・稀には不等沈下量の大きい区間を改築する大規模補修工事を行う場合もある。
	シールド工法	・不等沈下、断面変形の状態検査 ・セグメント、二次覆工の亀裂、剥離状態の検査 ・漏水およびその状態の検査 ・鉄部塗装および腐食状態の検査	・通常は以下のような部分補修を実施 ・止水：ひびわれ箇所にはウレタン系止水材を注入 ・セグメント目地：水膨張性ゴムを使用した止水工 ・セグメントの補修として稀には二次覆工を施工
発電・電力用トンネル	山岳トンネル工法(水力発電用水路トンネル)	・水路トンネルでは覆工の変形、ひびわれ、剥離、漏水、地表の陥没等が調査・点検の要点 ・外部からの目視による普通点検は6ヶ月に1回 ・抜水による内部からの精密点検は2年に1.2回	・水路トンネルの健全度および対策良否の判定は、 ・外力による変状 ・漏水、漏水量の状況 ・覆工の劣化状況 - を評価項目として、判定基準表に基づいて行われる ・補修工法には覆工コンクリートの打替え、打増し、既設覆工の補強、周辺地山の補強、部分補修等がある。
	開削工法(地中送電用トンネル)	・洞道、マンホール等の点検は3年に1回の定期点検を基本とし、劣化の確認された箇所についてはさらに詳細点検が実施されている。	・点検の結果、対策が必要と判断された場合には、補修または補強工事を実施する。 ・工法には止水工法、吹付け工法、打替え工法、注入工法、ライニング工法、導水工法、裏込め充填工法等がある。 ・既設洞道に近接して工事がなされる場合の防護対策について計測管理システム等が採用される。
	シールド工法(地中送電用トンネル)	・定期点検では、コンクリートのひびわれ、鉄筋・金物類の腐食、漏水状況等で3～4段階に分けて評価し、健全度の総合判定が行われる。	
地下駐車場・地下街	開削工法	・地下構造物としての点検には、建物周辺の地盤沈下の有無、構造物の亀裂の有無、漏水、内外壁の状況変化などの随時保守点検がある。 ・特に漏水は構造物の状況変化等に起因して発生し、その結果も地下利用機能に悪影響を及ぼすため、適切な対応が必要となる。 ・地下駐車場、地下街における維持管理の重点は排水設備、換気空調設備、証明設備、保安設備等にある。	・地下構造物の漏水対策は、維持・保守段階での実施効果を完全には期待できないため、建設工事の段階で確実な設計を行う必要がある。 ・維持・保守段階での漏水対策は他の地下施設と同様に止水工法と導水工法に分けられる。 ・地下施設内の環境保持のために、建物内部の各種清掃業務も大切で、毎日実施される日常清掃と1ヶ月に2度ほど行われる定期清掃がある。

JR 総研では2200トンネルにおよぶトンネルのデータを分析、分類し、変状トンネルの補強・補修データ、健全度 A ランクの変状トンネルデータ、NATM による新設トンネル建設時データなどを着々と整備し続けており、これらの貴重なデータの積み重ねが、前述のトンネル検査・診断用エキスパートシステムの開発などの取り組みの基礎になっていると推定される。

(b) 東京都下水道局の例

東京都下水道局では下水道管渠が損傷を受けた場合に発生が想定される周辺環境への影響と対応策を分析、

整理し、点検時の着目点を明らかにしている²⁾。また、昭和 57 年度より管路内の状態を直接目視したり、あるいは自走式テレビカメラによる観察等を続け、所定の判断項目に基づいた参照状況判定結果を整理・記録している。

さらに、前述の管路内調査結果および工事措置状況や道路陥没事故発生の有無などの管路情報などをデータベース化し、これまで個別に保存されていた管路の劣化に関する情報の一元化、活用に着手しており、これにより、計画的な補修・改良工事の立案、実施をめざしている。

3.3 補修・補強の新技术

(a) 水路トンネルの更新

発電所などの水路トンネルの更新技術として、インバート切削ロボット（中部電力他）、トンネル補修ロボット化工法（東京電力他）などが開発されている⁵⁾⁶⁾。これらの工法はいずれも工事による発電停止期間を少しでも短くするための工期短縮をめざした自動化、ロボット化技術である。

(b) 下水管渠の更新

下水道施設では、下水から発生した硫化水素を硫酸化細菌が酸化して生成する硫酸によるコンクリートの劣化が腐食の大きな原因となっている。こうして劣化した下水管渠などの新しい補修・補強工法として、1)耐酸性の樹脂でコンクリート表面を覆う工法（AS フォーム、高密度ポリエチレン製シート（NAP シート）等）、2) 硫酸を作り出す原因となる硫酸化細菌の活動を抑える材料をコンクリートに混入させる工法（防菌剤）などが実用化されている⁵⁾⁶⁾。これらは、下水道という特殊条件下でコンクリートの腐食を防ぐために新素材の有効性を示した点で注目される。

(c) その他

その他の試みとして、地山が軟弱で湧水の多いトンネルの覆工に高強度（1000kgf/cm²）のプレキャストコンクリート版を使用したり、まだ施工実績はないがシールド機で老朽化した埋設管の撤去と更新を行う技術などが提案されている⁵⁾。

4. 今後の地下構造物の維持管理の方向性

山岳トンネルにおいては、道路、鉄道、水路等の用途により点検、補修の考え方に多少違いはあるが、対策工としては、効率的な覆工の補修、補強が主眼となっており、今後もこの傾向に大きな変化はないものと予想される。

都市部の地下構造物においては、首都高速道路、地下鉄に代表されるように、沈埋工法、開削工法、大断面シールド工法、都市 NATM、パイプルーフ工法等多種多様な工法がすでに採用されており、さらに建設技術の高度化が進めば、それぞれの工法に特有の維持管理上の着目点も生まれてくるものと思われる。必然的に、計画・設計段階からそれぞれの構造物に適した点検手法等を考慮した検討がますます重要となってくるものと予想される。また、近接施工時における事業者間の合意形成をスムーズに進めるために、近接施工に関する検討基準作り、あるいは、CAD 技術を活用した地下構造物、地盤情報等の可視化技術の有効活用などが重要な視点となってきた。

また、地下街等、人間が直接地下構造物内で活動するような場合には、構造物の健全度のみならず、防災のための設備、運営体制のチェックの重要性が高いことが再三指摘されている。管理主体の異なる地下空間が連結することが多い地下街、地下駐車場等においては管理者間の綿密な連携、意思決定の迅速化を支援する情報技術の有効活用あるいは、所轄官庁ごとに異なる各種の基準等の統合化が望まれる。

補修・補強工事における工事従事者の作業環境に関する問題として、高速道路の夜間工事などにおける安全性の低さなどがある。人・ものの輸送はできるだけ確保しながら補修・補強をすることは重要なことであるが、工事従事者の作業環境改善にももっと多くの注意が払われなければ、有能な技術者の育成などに大きな支障となるであろう。

構造物の劣化の現状等を常に利用者に広報するなどの情報公開を図ることによって、データベース構築のための予算確保、専門技術者の育成、および集中工事の実施による作業環境改善などに関する利用者の理解も得られやすくなるはずである。今後、ますます、社会資本の現状に関する情報の公開を進め、広く国民に点検、補修等の重要性についてコンセンサスを得る努力を関係者は行っていかなければならない。

5. おわりに

(財)道路保全技術センターでは、道路トンネルの保全、補修に関する調査を平成7年度より3カ年の予定でスタートしている。日本トンネル技術協会の保守管理委員会では平成8年8月より「トンネルの新しい検査手法」⁴⁾を連載し始めた。その他にも各事業者ごとに、急速に維持管理に関するマニュアルの整備、診断システムの開発等が進みつつあるようである。

当小委員会では、これらの新しい動きについても広く情報を収集、整理し、冒頭に述べたように社会資本としての地下構造物を恒久的に利用できるように維持管理していくための官、学、民ならびに利用者をも視野においたコンセンサス作りをめざして活動していくつもりである。今後も各方面からの情報提供、ならびに指導、助言をお願いする。

6. 参考文献

- 1) 基礎工：特集－地下構造物の維持管理・改良－、1989.4月号
- 2) JTA 保守管理委員会：トンネルの保守・維持管理、トンネルと地下、1994.1～8.
- 3) 日経コンストラクション：特集－維持管理の現場は訴える－、1992.12.11号
- 4) JTA 保守管理委員会：トンネルの新しい検査手法（1）、トンネルと地下、1996.8.
- 5) 日経コンストラクション編：最新土木工法年鑑96、補修・補強の実践手法、1996.7.
- 6) 日経コンストラクション：特集－補修技術最前線－、1996.4.12号