

地下構造物の維持管理・更新事例にみるライフサイクル設計の視点 A VIEW-POINT OF LIFE-CYCLE-DESIGN FOR UNDERGROUND STRUCTURE

平井光之*・竹林亜夫**・加茂富士男***

Mitsuyuki HIRAI, Tsuguo TAKEBAYASHI, Fujio KAMO

We have to apply life-cycle-design for underground structure early, because of following needs.

- 1) Increase of underground structures to be renewed in near future
- 2) Need of renewal & design fitting for preservation of environment
- 3) The problem of floating of underground structure and leakage of water caused by recovery of ground water level etc.

This paper deals with some considerations, for planning and design of underground structures, that is made clear according to analyze the problems in maintenance and renewal stage.

keywords: life-cycle-design, maintenance, renewal, underground structure

1. はじめに

戦後から高度成長期にかけて急速に整備されてきた我が国の社会資本の老朽化に伴い、補修・補強に多額の費用を要する状況が生じつつある。また、利用形態の変化に伴う機能の拡張等のために再生、再構築が必要な構造物も急増している。

地下構造物においては、道路・鉄道トンネルの拡幅、下水道の補修・更新などの事例が数多く報告されている。

最近、地下構造物の維持管理の今後の方向性を考える上で考慮すべき事項のうち、以下のような問題が特にクローズアップされている。

- 1) 山岳トンネル、下水道施設などを中心に、近い将来に補修・補強あるいは再生、再構築せねばならない地下構造物が急増し、その実施時期が一時期に集中するために生ずる財政上の負担。
- 2) 都市部の地下構造物における、近年の揚水規制に伴う地下水位上昇によって生ずる、漏水量の増加、構造物の浮き上がり等。
- 3) 下水処理場の再生、再構築などにおいて、一時的な施設の機能低下に伴う社会への影響。
- 4) 地下構造物が新設されることによって生ずる地下水流の変化などの環境影響。

これらの新たな課題への対処を通して、単に古くなった施設を補修、再生するだけでなく、より維持管理しやすいシステムへの転換の必要性がようやく認識されつつある。

本報告では、地下構造物の維持管理の現場における事例の分析を行い、計画・設計段階から構造物の寿命を見通したトータルコストを把握した上で、最適な設計を行う「ライフサイクル設計」を今後展開していくためのいくつかのヒントを提示する。

* 正会員 ハザマ土木本部技術設計部

** 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)CM部

2. 地下構造物の維持管理課題の変遷

地下構造物として比較的歴史が長く、維持管理に関しても多くの知見を集積してきている山岳道路トンネルを例にあげて維持管理上の課題の変遷を追ってみる。

(社) 日本道路協会発行の道路

トンネル維持管理便覧(平成5年11月)¹⁾によると、各年代別の供用されたトンネル数に対する変状が発生しているトンネル数の割合は図-1のようである。同図によると、1930～1980年にかけて供用が開始されたトンネルで変状発生割合が高くなっている。現在供用中のトンネルの9割以上が1930年以降に建設されたものであることと、この年代は矢板工法が主流であったことなどが変状発生割合の高いことの背景にあると考えられる。1980年代以降はNATM工法が普及しトンネルの品質が向上したために変状発生トンネルの割合が急速に低くなっていることも特徴的に現れている。

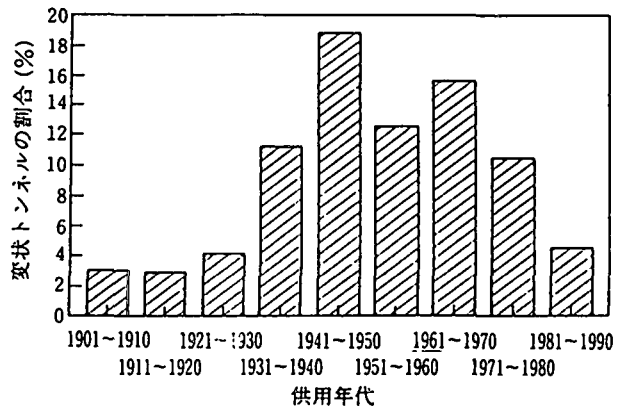


図-1 道路トンネルの供用年代別変状発生割合

表-2 示方書、基準類の見直しによる変状の低減

変状の原因	従来の方	改善の内容
漏水または凍害	矢板工法のトンネル覆工背面には、防水シートが設置されないかされても不連続で、完全防水の形状にはなっていないために漏水、凍害対策が不十分	トンネル工法が NATM になり、防水シートや覆工のひびわれ防止用のアイソレーションシートを連続して使用することにより、漏水、凍害対策が大幅に改善された。
老朽化および覆工背面の空洞	従来より密実なコンクリートの打設に努めているが、打設機械の限界等で密実性が不十分であったり矢板工法の特で覆工背面の空洞が残るケースがあった。	NATM とコンクリート打設機械の発展により、密実で、覆工背面に空洞のないコンクリートが施工できるようになった。
偏土圧、地すべり、および支持力不足	矢板工法は周辺地山にゆるみ範囲を形成しつつ掘削し、地山変状の計測管理や補助工法も十分に発達していなかった。	NATM は周辺地山のゆるみを最小限にしつつ掘削し、地山変状の計測管理の発達により設計への反映、多様な補助工法からの選定等が実施されている。
インバートの設置	インバートは坑口部、地山が不良な区間、偏圧が予想される区間、土圧の大きな区間などで設置されていたが、明確な規定はなかった。	従来からのインバート必要区間(同左)のみならず、路盤の泥濘化が予想される区間等を明文化して、設計、施工の要点を記述している。

また、図-2に示すように、土木学会、建設省、道路公団のそれぞれが、技術の進歩と共に示方書、基準類の改定を実施してきた。その結果、表-2に示すように矢板工法では対処できなかった多くの変状原因に対して、NATM工法を標準工法にしたことによる改善がなされてきたことがわかる。

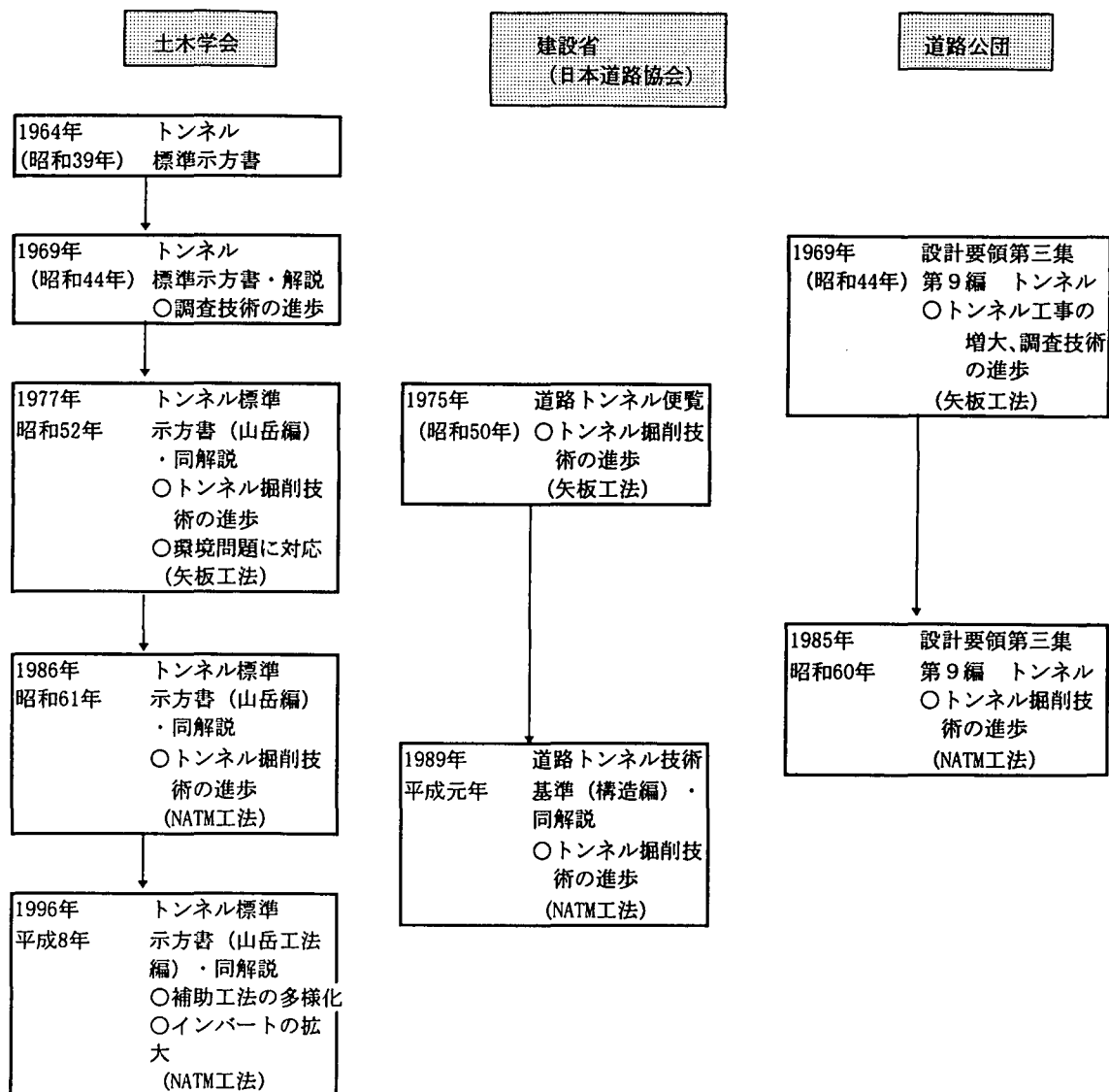


図-2 山岳トンネルの技術指針類の変遷

このように山岳トンネルにおいては施工法の進歩により供用時の維持・管理上の課題が大いに改善されてきたが、新たな課題もいくつか指摘されており、今後、より維持管理段階に視点をのいた設計、施工のあり方が問われることになろう。

山岳トンネル以外の地下構造物においても様々な維持管理上の課題が発生し、その克服に多くの努力が払われてきたことは周知の通りである。次章において、種々の地下構造物における実際の維持管理あるいは再生、再構築の事例をもとに計画・設計時、あるいは建設時に考慮すべき視点のいくつかを抽出する。

3. 再生・再構築事例からの知見

3.1 都市地下鉄道、地下駐車場

昭和46年よりの地下水揚水規制強化以降、東京23区の揚水量が大幅に減少した結果、地下水位は規制直後から昭和58年頃までに急激に上昇（復元）した。この結果、地下水圧の上昇による地下構造物の変形、浮き上がり、漏水量の増大などに対応している事例がいくつか報告されている。

例えば、昭和60年に営業を開始した東北新幹線上野地下駅では、地下水位上昇による下床版の変形、躯体の浮き上がりを防止するため、カウンターウェイト載荷工事を実施している。^{2) 3)}

同様に、総武本線総武トンネルは昭和47年にシールド工法により建設されたが、地下水位上昇による漏水を軽減するため10年以上にわたって二次覆工工事を施工してきている。ここでは、二次覆工のための施工空間が確保してあったことで苦しいながらも対策を講じられる状況にあったと指摘されている。⁴⁾

このように、都市部の地下構造物においては、地下水位はその設計条件、維持管理の難易度を大きく左右する要件であるため、政策面をも含めた将来変動の予測を計画、設計時に十分検討することが求められる。また、後者の事例のように、コストミニマムな設計とは単に供用できればよいというのではなく、供用段階で生ずる不測の事態に対応できるような余裕空間の確保等も考慮することも含むということが示唆される。

地下水に関わる問題として、都市部の地下構造物では、環境影響軽減の観点から地下構造物の構築による周辺の地下水流への影響に関する話題もいくつか報告されている。

例えば、阪和自動車道の堀割道路建設中に、堀割道路によって地下水脈が分断され下流側の井戸枯れが発生した事例では、堀割道路の下に連通管を敷設し地下水脈を保全する対策を実施している。⁵⁾ このように構造物周辺の地下水の水位、水質等が構造物の建設によって恒久的にどんな影響を受けるかの検討は、今後の地下構造物の計画、設計段階において欠くことのできない検討事項となりつつある。

その他、地下鉄ホームの拡張、拡幅、あるいは地下駐車場の増設など需要の変化への対応を動機とした地下構造物の再構築も各所で始まっている。その場合、ビルや構造物基礎、あるいは他の地下構造物をアンダーピーニングしたり、既設構造物との近接施工が半ば日常化しつつあり、既設構造物へ与える影響の低減、あるいは計測管理に関する技術、ノウハウが今後ますます集積されていくことになる。^{6) 7)}

3.2 山岳トンネル（鉄道、道路）

先に述べたように、山岳トンネルなどを中心に、近い将来に補修・補強あるいは更新せねばならない地下構造物が増えるが、その実施の集中によって生ずる財政上の負担の軽減、分散が緊急の課題になってきている。これに対しては、例えば、供用下で既設構造物の長寿命化を図る補強工法のさらなる開発、あるいは更新のピークを分散するための前倒し更新等が求められている。

建設時における供用段階への配慮の重要性を考えさせられる事例として、昭和42年に開業した信越本線塚山トンネルにおける建設直後から発生した変状により、現在でも活線で継続的に補修工事を行っている、という例がある。⁴⁾ 原因調査の結果、建設時に土の性質に見合った排水処理がなされていなかったことが主要因であると判断された。このことも、トンネル掘削時の安全性さえ確保できればよいという発想から供用開始後の問題発生を未然に防ぐことまで念頭に置いた設計、施工の重要性を示唆している。同様の事例として、県道小山田トンネルの変状事例においても建設後の長期的な荷重に対する設計の重要性を指摘されている。⁸⁾

名神高速道路天王山トンネル渋滞解消工事は、もとはといえば、建設時の地山不良個所に実施した覆工の増し打ち部分が道路幅をわずかながら狭めたことが原因となって交通渋滞を助長したため、改修を余儀なくされたという背景があるようである。⁹⁾ この事例からは、道路建設に従事する技術者と交通管理技術者との情報交換の重要性を考えさせられる。

3.3 上水道、下水道施設

上水道においては、開削が困難な場所での老朽管の更新・再生工法として、パイプイン・パイプ工法、エポキシ樹脂ライニング工法、破碎推進工法など、管材料、管布設技術とも著しい進歩、発展をとげている。¹⁰⁾

このように、新技術の登場を背景にした機能の拡張、耐久性の向上、あるいは環境問題へより配慮した構造物への更新などが進みつつある。また、老朽管の更新、耐震継手の導入など耐震性の強化とともに、施設全体としての信頼性向上、機能向上を図るために、主要幹線と浄水場・給水所施設間の相互融通とバックアップ機能を持つ送配水幹線管路の整備など、システムとしての整備強化の必要性も示唆されている。

一方で、地震にも強く、水温も安定しており水質的にも有利であるとの特徴が期待されることから、大深度管路の今後の展開が注目されている。

下水道においては、例えば、いくつかの都市の下水処理場等の改築計画に関するアンケート結果によると、改築事業の理由として、老朽化、能力向上ばかりでなく、高度処理の導入、合流改善、雨水対策、上部空間利用、管理の効率化といった社会ニーズの変化に対応するための事由があげられている。¹¹⁾

東京都においては管更新のピークを分散するため昭和30年代に敷設した管を前倒して更新しようとしている。また、東京都が1992年にまとめた「第二世代下水道マスタープラン」によると、下水道施設の再構築にあたっては、単に古くなった施設を補修、更新するだけでなく雨水排水能力の向上、更新・維持管理のしやすいシステムへの転換、再生水・下水熱の利用、下水道施設の情報通信網としての利用等を目指した具体的な動きが始まっている。¹²⁾¹³⁾ また、下水道施設の再構築にあたっては、下水処理場、ポンプ場をグループ化して再構築に伴う機能低下を防ぐという利用者への配慮についても検討されている。

3.4 電気・通信施設

阪神淡路大震災において、神戸地区の電気系統がツリー形状であったため、停電地区が広範囲に及んだことが指摘されている。停電や電話の不通による情報災害に対する脆弱性を克服することが都市インフラ再構築の大きな目標のひとつと考えられる。その達成のための方向性として都市地下インフラのネットワーク化、さらにはネットワークの多重化が有効な手段として提唱されている。¹⁴⁾

また、共同溝は一般に収納物の維持管理がしやすい、地震に強い、路上工事が最小限で済むなどの優位性を期待されており、今後の地下インフラ整備のひとつの柱になっていく可能性が大きい。

4. 再生・再構築実施上の着眼点

(社)建築・設備維持保全推進協会によれば、ライフサイクル設計とは、「建物を存続させることとして設定した期間、社会変動や物理的劣化に起因する改修、更新に可変的に対応し、経済性・安全性・快適性・利便性や保全の容易性等の機能について、その性能を十分発揮できる建物を設計する手法」と定義されている。¹⁵⁾ このように、構造物を長持ちさせるための行為を構造物竣工後の行為に限定せず、設計や施工の一部及び情報管理も含めて考えようとすることは、土木構造物においても同様であり、特に地下構造物の場合、空間的制限等により維持管理により困難を伴うことを考慮すれば、より重要な視点として認識する必要がある。

上記の地下構造物の再生・更新事例から、以下のような今後の地下構造物の計画、設計上の着眼点が抽出できる。

①耐災害性、耐久性の向上

- ・特に都市機能を支えるライフラインに関するネットワーク化、共同溝化

②維持管理しやすく

- ・山岳部、都市部を問わず、供用中に発生が予測される問題まで考慮した設計、施工
(地下水位変動予測、余裕空間の確保、等)

③周辺環境への配慮

・地下水環境に代表される構造物周辺環境への影響の的確な評価

④高機能、多機能化

・ニーズの高度化に対応した機能更新に対応しやすい設計

⑤利用者への配慮

・再生、再構築による機能低下を最小限に抑えるための施設のネットワーク化

今後、どんな環境下に置かれた、どんな地下構造物においては、地下水の影響、近接施工の影響などから、どんな箇所がどう痛むのかを過去の事例をもとに整理、分析するなどの検討が、もっと広範な技術者を巻き込んで行われる必要がある。そのためのひとつのステップとして構造物ごとの維持管理に要するコスト、課題などの情報を公開することで多方面の技術者、研究者による多角的な分析が行われることが望まれる。

5. おわりに

最近の地下構造物の維持管理、再生、再構築の事例から、計画、設計および施工段階で留意すべき事項をいくつか抽出した。ここに紹介した事例はごく限られたものであるが、多彩な地下構造物のライフサイクルを見通し、より合理的な計画、設計を考えるきっかけとなれば幸いである。

6. 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧、pp13-18、1993.11
- 2) 片寄紀雄：復元する被圧地下水から地下駅を守る―東北新幹線上野地下駅―、トンネルと地下、pp7-14、1996.10
- 3) 日経コンストラクション、pp52-55、2-9、1996
- 4) 今木甚一郎：保守情報の建設工事へのフィードバック、トンネルと地下、pp5-6、1997.7
- 5) 日経コンストラクション、pp22-45、8-9、1996
- 6) 日経コンストラクション、pp64-69、10-11、1996
- 7) 葛野恒夫、林二郎、松尾節夫：交差する既設地下鉄下の大規模地下駅の施工―片福連絡線（JR東西線）南森町工区、トンネルと地下、pp7-13、1997.2
- 8) 平井公康、鈴木照行、秋月亨、八重樫栄：供用中の NATM トンネルの盤ぶくれ―一般県道宮古港線 小山田トンネル―、トンネルと地下、pp19-25、1995.12
- 9) 日経コンストラクション、pp66-71、3-28、1997
- 10) 生馬道紹、三浦克、久多羅木吉治、野崎春己、金子利輔、串山宏太郎、大塚正博：トンネルの技術変遷と将来展望、トンネルと地下、pp29-37、1995.8
- 11) 下水道新技術推進機構：改築の実態及び技術調査、下水道新技術研究所年報、1994
- 12) 日経コンストラクション、pp88-89、12-13、1996
- 13) 東京都下水道局ホームページ、<http://www.tokyo-teleport.co.jp/tokyo-gesuido/index.html>
- 14) 鈴木克宗：都市の自由空間道路地下―新たな役割を与えられる共同溝、日経コンストラクション、pp75～104、8-22、1997
- 15) 清水友三：フローとストックをつなぐ技術としての LCC の重要性、ベターリビング、No.147、1995