

維持管理小委員会活動報告

THE ANNUAL REPORT ON THE MAINTENANCE SUBCOMMITTEE, COMMITTEE ON UNDERGROUND SPACE RESERCH

大塚 正博^{1*}・池尻 健²

Masahiro OTSUKA^{1*}, Takeshi IKEJIRI²

In our committee(maintenance of underground space),we studied the application of asset management to underground structure until now. This paper intoroduces following themaes studding in our committee.

- ・We performed some questionnaires and search for homepage to find present conditions and problems on application of asset management in Japan.
- ・We suggest method to estimating soundness and predicting deterioration for underground sutructure.

Key Words : *underground structure, asset management,required performance, performance evaluation method*

1. はじめに

笹子トンネルの例に見られるように高度成長期に整備が図られた社会資本も建設されて 40 年以上が経ち、老朽化や劣化が進み、一斉に更新時期を迎えている。

すでに、建設後 50 年以上経過した道路トンネルだけでも平成 25 年に平成 15 年の 3 倍、平成 35 年に約 12 倍に達し、まさに「ものづくり」から「ものつかい」への転換時期にさしかかっている。このままでは、我が国においても、1980 年代の「荒廃するアメリカ」と同様の状況になりかねない。したがって、今後はそれらの社会資本の維持管理を適切に行ない、長寿命化を図ることが重要なテーマとなる。

このような背景のなか、対症療法的な補修でなく予防保全的な補修に変え、同時に更新時期を平準化することで、補修・更新費用の最小化を可能とするアセットマネジメント手法の導入が検討されている。

我が国における土木構造物を対象としたアセットマネジメント手法の導入は、国土交通省が、平成 14 年 6 月に「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する委員会」（委員長：岡村甫高知工科大学学長）を設置したのがはじまりである。同委員会では、平成 15 年 4 月に「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言」¹⁾を公表した。

また、同年、土木学会全国大会において、建設マネジメント委員会主催の研究討論会「“アセットマネジメント導入への挑戦”～新たな社会資本マネジメントシステムの構築に向けて～」が開催され、アセットマネジメント手法に関する研究成果が報告され、広く関心を呼んだ。

さらに、平成22年年2月に、総務省行政評価局より「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視一道路橋の保全等を中心として一」という報告が出されている。ここでは、「ライフサイクルコストの縮減効果の把握が不十分」、「定期点検・補修などの実施が不十分」、「橋梁の維持管理に必要な基礎データの整備が不十分」という課題を踏まえ、長寿命化対策の推進および維持管理のための環境整備、点検・補修などを適切に実施するよう勧告している。

このような背景を踏まえ、土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会（以下、維持管理小委員会と記す）では、近年、ライフラインにおいて大きな比重を占め、維持管理の重要性がますます高まりつつある地下構造物を対象に、適用にはまだまだ不明確な点もあるものの、前述のとおり、土木構造物の合理的な維持管理手法として近年注目されているアセットマネジメント手法導入を検討している。

本報告は、維持管理小委員会における研究成果の概要をまとめたものである。

キーワード：地下構造物、アセットマネジメント、要求性能、性能評価手法

¹フェロー会員 鹿島建設株式会社（維持管理小委員会 委員長） KAJIMA COPORATION, (E-mail: otumasa@kajima.com)

²正会員 株式会社セントラル技研（維持管理小委員会 幹事） CENTRALGIKEN COPORATION

2. アセットマネジメント手法の概要

(1) アセットマネジメントとは？

社会基盤施設を国民の資産（アセット）として位置づけ、アセットの維持管理を計画的かつ着実に実施するためにアセットマネジメントという考え方が生まれ、現在、アセットを運営・管理する多くの国、地方自治体、公的企業において導入が試みられている。

社会基盤施設の保全方法には、機能低下・停止が明白になった際に対応する「事後保全」と計画的に機能低下の防止を図る「予防保全」がある。予防保全には、点検により把握した兆候から機能低下・停止を予測して事前に維持管理を行うコンディションベースと定期的に維持管理の措置を講じるタイムベースの2方式がある。

アセットマネジメント手法は、事後保全から予防保全への転換、それも単純なタイムベースではなく、コンディションベースの予防保全を目指すものである。

アセットマネジメントシステムの事例としては、前述の国土交通省の提言¹⁾に示されている（図-1）。同図は、設計・施工、点検、健全度評価、劣化予測、管理計画という項目で構成されており、これを PDCA サイクル（Plan, Do, Check, Action）で実施することになる。

(2) アセットマネジメント手法の必要性

前述のとおり、我が国では、高度成長期に建設された膨大な社会基盤施設の老朽化が着実に進行しており、それらの維持管理の重要性への認識が高まりつつある。しかし、現行の予算執行制度では、適切な維持管理を実施するための十分な財源を確保することは極めて困難である。また、少子高齢化社会の到来による税収減少や社会保障費用の増大により、今後社会基盤施設整備の財源基盤が一層縮減されることが予想されている。

このような状況では、施設のモニタリングにより、早急な補修が必要であることが判明したとしても、すぐに大規模な補修工事が実施できるかどうかはわからない。つまり、大規模補修を実施するためには「なぜいま補修しなければいけないか」という問いに答えなければならず、そのための行政的・人的努力は相当なものである。

したがって、施設管理者が直面するこのような意思決定問題を、「維持補修の必要性」に関する議論から、「優先順位の決定」に関する問題に変容させることができるシステムの導入が必要である。

我が国においては、ライフサイクル費用の低減を達成しうる望ましいアセットの維持管理計画やアセットのサービス水準を維持するために必要となる維持管理予算を求めることを目的とする、マクロレベルのアセットマネジメントシステムの導入が進められている²⁾。

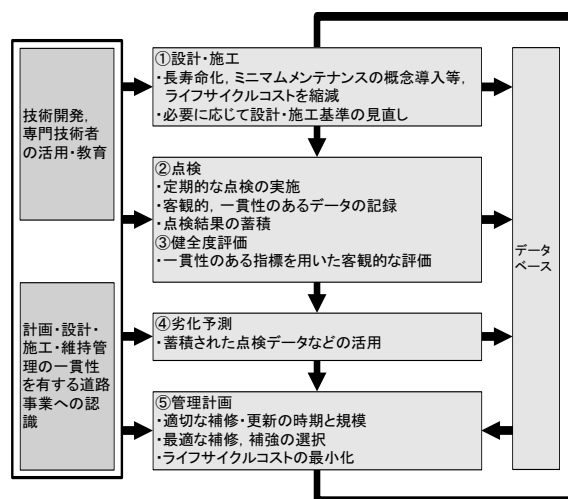


図-1 アセットマネジメントシステム¹⁾

(3) アセットマネジメント手法の導入状況

維持管理小委員会では、我が国におけるアセットマネジメント手法の導入状況を把握し、アセットマネジメント手法の普及のために必要な要因を分析する目的で、アンケート調査を実施した。

アンケート調査の対象は、国（国交省、農水省）、地方自治体（全都道府県、全政令指定都市）、鉄道、道路、エネルギー、通信などの計150の行政担当部局、事業者（以下、事業者と総称する）である。アンケートの前半ではアセットマネジメント手法の導入状況の把握と導入にあたっての検討課題を抽出することを目的として設問した。また、後半では研究対象構造物である地下構造物の中で比較的事例が多いトンネルに着目し、それらの維持管理についての取組状況の把握を目的として設問した。

アンケートは115の事業者から回答があり、1事業者の複数部局からの回答があったため、総回答数は171となった。この種のアンケートとしては、75%もの回答率となり、今回のテーマへの関心の深さをうかがわせた。

今回の調査により、土木構造物においては、アセットマネジメント手法について様々な取り組みがなされていることがわかった。とくに、アンケート結果によると、回答があった事業者の内、1/3の事業者では実際に導入が進み、かなり効果的に運用されていることがわかった。

ただし、地下構造物に対しては、ほとんどの事業者が未だ検討段階であることがわかった。

(4) アセットマネジメント手法の導入の際の検討課題

アンケート調査により、事業者がアセットマネジメント手法導入の際の主な検討課題として挙げているのは、「健全度評価の基準設定」、「劣化予測」、「ライフサイクルコスト（LCC）の算出」であった。健全度評価の基

準設定については、他事業者の基準書などを参照しながら独自の点検要領や健全度評価マニュアルを作成し、導入している事例が見られる。しかし、多くの事業者が劣化予測手法の確立、LCC の算出を検討課題としている。それらの課題について、土木学会や先行運用している事業者が進んで情報を発信することが必要である。

また、システム構築上の主な検討課題としては、「データベースの仕様決定」、「適切な健全度評価ができるシステムの設計」が挙げられている。民間事業者においては独自の保全情報管理システムを運用している所も多数あった。それらは、点検および補修データを蓄積したマネジメントシステムにより、劣化予測、中長期維持管理計画策定を行うために開発検討、改良を進めているものである。今後、それらの個別システムについての調査を実施し、導入初期段階での障壁を解消できる方法を提案をしたい。なお、システム運用開始後の課題解決や技術者育成については、関係者全員の意識改革および組織全体の取り組みが必要である。

(5) 地下構造物への導入における検討課題

ここでは、今回研究対象としている土木構造物である地下構造物へのアセットマネジメント手法導入における検討課題をまとめる。

橋梁などの土木構造物は、設計時の設計条件（交通量、風荷重、地震時応答など）や使用する構造材料特性（鋼、コンクリートなど）が明確であり、構造解析により具体的に安全性を評価した上での設計が十分可能である。また、供用後も設計条件の変化（実際にどんな車両がどれだけ走っているのか、過積載の車両はないのかなど）や構造材の劣化状況などを目視や現場計測によって明確に把握することが可能である。したがって、設計図書が保存され、定期的な点検が行われていれば、現状の健全度を定量的に評価することが十分可能であり、対象とする土木構造物をどのような状態で維持したいのかが明確であれば、その評価結果に基づいて適切な対策を講ずることが十分可能である。

一方、トンネルに代表される地下構造物は、設計時に採用される外力は地下構造物が施工される地盤材料の力学特性や水理特性に依存するものであり、条件設定が非常に困難である。また、それらの材料特性は土質、岩盤に関わらず非線形性、不均質性を示し、非常に複雑である。さらに、山岳トンネルのように、構造部材が覆工コンクリートのみならず地盤そのものも含まれるものもあり、設計時に採用する外力もそれを受ける構造物も、その力学特性の評価は、前述した橋梁などの地上の土木構造物と比較すると格段に困難である。加えて、地盤を掘削して構造物を造るわけであり、掘削方法には様々なも

のがあり、その方法によってトンネル周辺の地盤に与える影響が異なってくる。

以上のことから、供用中の地下構造物が現在どのような状態にあるのか？その健全度はどの程度なのか？を検討することは、現状の評価法では非常に困難である。

3. トンネルの健全度評価の考え方

維持管理小委員会では、今後、地下構造物の設計法が性能照査型に移行することを想定し、それらを合理的に維持管理する手法の確立を目指し、健全度を評価する手法として、性能評価手法に着目し研究している。

性能評価手法とは、構造物の要求性能に着目した手法である。すなわち、構造物の要求性能を明確にし、それらを的確に評価することで、現状では評価が困難である地下構造物の健全度を評価するものである。

維持管理小委員会では、地下構造物の維持管理実務で比較的事例が多いトンネル（山岳トンネル、シールドトンネル）を対象にした性能評価手法について研究している。以下のそれらの研究内容の概要をまとめる。

(1) トンネルの要求性能の抽出

現状の道路および鉄道トンネルの維持管理実務において、性能評価手法の導入した事例が認められる。ただし、それらに採用されている要求性能は、現時点では、鋼構造物やコンクリート構造物の考え方に基づくものであり、前述で課題として挙げた、トンネルの保有性能の「不確実さ」を十分に考慮しているものではない。例えば、山岳トンネルは、鋼構造物やコンクリート構造物と異なり、主たる構造は周辺岩盤であり、それらの劣化メカニズムは現状では明確になっておらず、不均質、複雑といった「不確実さ」を十分考慮する必要がある。

そこで、維持管理小委員会では、これまでの研究成果に加え、土木学会トンネル工学委員会の「トンネル・ライブラリー21 性能規定に基づくトンネルの設計とマネジメント」³⁾を参考に、研究対象とした山岳トンネル（道路）およびシールドトンネル（鉄道）の要求性能を抽出した。ここでは、要求性能を「大項目」⇒「中項目」⇒「小項目」と階層化し、階層が下位になるにしたがいさらに詳細に分類している。

(2) Total Performance Index (TPI)

維持管理小委員会では、性能評価手法として、Total Performance Index (TPI)³⁾を提案している。

TPI とは、例えば、性能代替指標を用いて、要求性能を照査し、得られた各要求性能の照査結果を総合して総

合評価値とするものである。同手法を導入することで、トンネルもしくは調査スパンなどの調査単位ごとに、保有性能の現状評価や補修・補強優先順位を設定するなど、評価対象トンネルの維持管理計画を策定する際の判断材料として用いることが可能である。

同手法では、評価対象構造物の各要求性能をできるだけ定量的に評価可能な性能代替指標を設定する。ただし、それらは、構造安全性能や耐久性能のように、数値化が比較的容易な要求性能ばかりではなく、使用性能のように数値化による定量的な評価が困難な要求性能もある。したがって、それらの数値化には、対象トンネルの用途、工法、サービスレベルなどを考慮し、5段階程度の基準を設定し評価するレーティング手法を適用した。

また、ここでは各要求性能の重要度を、重み付けにより的確に評価可能な手法である多基準分析手法の一つである「AHP（階層化意思決定分析法：Analytic Hierarchy Process）」を用いて、TPIを算出した。

4. トンネルの劣化予測の考え方

健全度評価手法の確立とともに、前述であげた検討課題であるトンネルの劣化予測手法の確立について、現状の研究レベルでは、山岳トンネル（覆工コンクリート）を対象とした代表的な劣化予測手法として、「時間依存性を考慮した変状解析による手法」、「確率過程（マルコフ理論）を用いた手法」、「点検履歴から確率過程を用いた手法」が挙げられる⁴⁾。

山岳トンネルにおいてそれらの劣化予測手法適用をする際、その検討対象となる覆工コンクリートは、橋梁などのRC構造物と比較して劣化予測が困難である。しかし、数値解析による予測や点検結果に基づく確率的な手法を用いれば、現状においてもそれらの劣化予測は可能と考えられる。ただし、それらを適用するには、評価対象となる点検データが必要となる。今後、各劣化予測手法の特徴を考慮し、点検時において、将来のトンネルの劣化予測に必要なデータ（具体的な数値）の取得と記録の保存を確実にすることが課題である。なお、現状では、劣化予測手法を適用する際、初期点検を含め定期点検結果が2点以上揃った時点で劣化予測を実施し、その結果に基づき、長寿命化のシナリオの実現に向けた対策工を検討する。その際、劣化予測精度に影響を与える補修履歴を具体的なデータとして保存することが重要となる。

また、劣化予測と実際の劣化度を比較し、その結果を劣化予測手法へフィードバックすることによりそれらの精度を向上させることが今後重要となる。

維持管理小委員会では、新しい劣化予測手法として、

TPIにより評価したトンネル保有性能の低下傾向を幾何学的ブラウン運動によりモデル化⁵⁾することを試みている。同モデルは、トンネルの各スパンや全体の保有性能の低下傾向を、不確実性を考慮し、確率的なパスで表現可能である。

維持管理小委員会では、TPIにより山岳トンネルの健全度評価および劣化予測を試行することを目的に、変状が大小の区間があり、それらの変状原因が明確かつ点検結果が複数年度にわたり得られている山岳トンネル（道路）をモデルトンネルとし、それらを対象にケーススタディを実施している。今後、シールドトンネル（鉄道）においても、山岳トンネルと同様のアプローチで、ケーススタディを実施する予定である。

5. おわりに

本報告では、現在維持管理小委員会において実施している地下構造物へのアセットマネジメント手法導入に関する研究を紹介した。

アセットマネジメントシステムに関して、海外においては現在、国際標準化（ISO5500Xシリーズ）の議論がはじまっており、今後、海外インフラ事業などで運営維持管理業務への参画において、アセットマネジメントシステムに関するISO認証ビジネスが国際的に活発化することが想定されている⁶⁾。

ただし、地下構造物におけるアセットマネジメント手法の確立には、まだまだ時間がかかりそうである。今後も委員会活動を進め折があれば報告してゆきたい。

謝辞：本報告は、土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会の研究成果をまとめたものである。所属委員の皆様のご尽力に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する委員会：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言，2003。
- 2) 小林潔司：アセットマネジメント概論，アセットマネジメントサマースクール，2011。
- 3) 土木学会：トンネル・ライブラリー 第21号性能規定に基づくトンネルの設計とマネジメント，2009。
- 4) 亀村勝美，池尻 健，串戸 均，笹尾春夫，高橋 晃，山田浩幸：地下構造物へのアセットマネジメント適用の現状と課題，土木学会論文集（F2），Vol. 67，No. 1 pp.1-11，2011。
- 5) 安田 享，大津宏康，大西有三：アセットエンジニアリング，土と基礎講座「リスク工学と地盤工学」，2004。
- 6) 澤井克紀：アセット・マネジメントシステムの国際標準化（ISO5500Xの動向を踏まえて），アセットマネジメントサマースクール，2011。