

地下構造物へのアセットマネジメント導入 に関する研究

A STUDY ON APPLICATION OF ASSET MANAGEMENT TO UNDERGROUND STRUCTURE

大塚正博¹・池尻 健²・中島 陽³

Masahiro OTSUKA¹, Takeshi IKEJIRI², You NAKAJIMA³

In our committee(maintenance of underground space),we studied the application of asset management to underground structure until now. This paper introduces following themes studying 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 structure.

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

1. はじめに

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、これまで、アセットマネジメント手法を地下構造物へ導入する際の課題抽出に取り組むなど、アセットマネジメントについての研究を進めてきた^{1),2)}。しかしながら、現況をみると、アセットマネジメントの概念が導入されてから10年近く経過したもの、依然としてインフラ施設への普及が進んでいるとは言い難い。

本論文は、それらの現状を踏まえ、維持管理小委員会で現在取り組んでいる以下の研究テーマについて報告する。

- ・我が国におけるアセットマネジメントへの取組の現状と地下構造物の維持管理の現状について把握し、アセットマネジメントの普及のために必要な要因を分析することにより今後の研究活動の方向性を見出すことを目的としたアンケートおよびホームページ調査
- ・アセットマネジメント導入の際に課題となる地下構造物の健全度評価手法および劣化予測手法の提案

2. アセットマネジメント手法導入の現状と課題

(1) アンケートおよびホームページ調査結果

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の行政機関担当部局、事業者（以下、事業者と総称）である。アンケートの内容は、土木構造物へのアセットマネジメントの導入状況の把握と導入にあたっての課題を抽出することおよび地下構造物の中で比較的検討事例が多いトンネルの維持管理実務について把握することを目的とした設問である。

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、今回の設問への関心の深さをうかがわせた。

ただし、今回のアンケートはアセットマネジメントの具体的な内容を問うものではなかったため、詳細な導入状況や、導入した手法を知ることができなかった。そこで、地方自治体や民間事業者のホームページ（HP）を調査し、「橋梁長寿命化修繕計画」などと題した維持管理計画書の策定状況や導入時期についても調査した。

今回の調査により、土木構造物への合理的な維持管理が求められ、アセットマネジメント導入への様々な取り組みがなされていることが分かった。特に、アンケート

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 CORPORATION, (E-mail: otsumasa@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 CORPORATION

³正会員 東京電力株式会社（維持管理小委員会幹事） TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

に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分かった。ただし、残りの事業者では多くの障壁があり、導入の見通しは険しく、導入されていないのが現状である。したがって、それらの障壁を払拭しなければアセットマネジメントの真の普及は進まないものと考えられる。

事業者がアセットマネジメントの導入にあたって苦労して解決した項目としてあげているのは、構造物の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）の算出である。健全度評価の基準設定においては、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、導入を行っている事例が見られた。しかしながら、多くの事業者が劣化予測、LCCの算出を検討課題としてあげている。今後それらの検討課題について、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。

システム構築上の重要課題として、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あげられている。アセットマネジメントのための保全情報管理システムについては、独自に構築して運用している民間事業者が多数あった。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の検討および改良を進めているものである。今後、これら個別システムについての調査を行い、比較検討することにより、システム構築の基本仕様を提案することで初期段階での導入の障壁の一つを解消できると考えられる。なお、運用開始後の問題解決や技術者育成において、関係者全員の意識改革や組織全体の取り組みの必要性が課題としてあげられている。

今回、アンケートおよびHP調査によりアセットマネジメントの運用状況を調査したが、特に、都道府県、政令指定都市においては、国土交通省の支援制度に基づき2008年度～2010年度にかけて一斉に策定された「橋梁長寿命化修繕計画」により、維持管理の重要性やアセットマネジメント導入への認識は高まっていることが分かった。ただし、それらの対象構造物は主として橋梁であり、地下構造物（トンネル）を対象としている自治体は、数少ない。今後、橋梁と同様、全ての自治体において、トンネルのアセットマネジメントが容易に導入できるような方策を広く示す必要がある。

(2) 地下構造物への導入に関する現状と課題

今回の調査により、各地方公共団体で実施されている長期修繕計画の対象施設は橋梁が多く、地下構造物についての計画はほとんど見られないことが分かった。つまり、研究対象である地下構造物においては、アセットマ

ネジメント導入の必要性が求められているものの、導入に関しては特に進んでいない。その主な理由としては、橋梁は、荷重条件が明確であり、供用中の荷重変化や劣化を目視または計測によってはっきりととらえることができる一方、地下構造物は、荷重が地盤の力学特性、物性、水理特性に依存するため、それらの正確な推定が難しく、健全度評価および劣化予測が非常に困難であることがあげられる。

地下構造物の中で比較的検討事例が多いトンネルについては、維持管理の基準類が整備されている分野もあるものの、それらの劣化機構が多様であり、劣化の評価項目を何にするか明確でないのが現状である。したがって、劣化レベルに応じて、どの時点で対策工を実施すればよいか？どの工法を選定すればよいか？定量的に明確にされていないのが現状である。また、対策工を実施した際の健全性の回復の程度についても不明確である。さらに、劣化予測手法も提案はされているが、研究の域を脱しておらず実用化には多くの課題を抱えている。上記については、劣化現象の主因が施工時の不良によるものなのか？経年による劣化であるのか？が現状の調査により判別困難なことが劣化予測を困難にしている一因である。

マニュアル類について言えば、維持管理を行う上での基準となるマニュアル、便覧がほとんど策定されていない分野もあり、既存のマニュアル、便覧ではアセットマネジメントを進めるには内容的に十分とはいえない。

ただし、アセットマネジメントは導入されていないものの、新幹線や在来鉄道のトンネル、高速道路や国道トンネルの維持管理はそれぞれの事業者独自の手法で進められ、点検・調査、補修・補強が進められている。つまり、現状では、事業者が独自に維持管理のための基準類を整備し、点検と調査結果に基づき定性的ではあるが劣化度を判定して、緊急性の高いと判断されるトンネルから順に対策を講じている状況である。

3. 地下構造物の健全度評価手法

本研究では、アセットマネジメント導入における課題を踏まえ、地下構造物の健全度評価手法として、性能評価手法に着目している。性能評価手法とは、構造物の要求性能を明確にし、それらを的確に照査することで、構造物の健全度を評価するものである。ここでは、地下構造物として検討事例が多いトンネルを対象とした性能評価手法に関する研究の概要を紹介する。

(1) 現状における性能評価手法導入事例

現状におけるトンネルの維持管理段階において性能評価手法を導入した事例を紹介する。

・コンクリート標準示方書³⁾

トンネルに限定せず、一般的なコンクリート構造物を対象に、それらの維持管理段階における要求性能があげられている（安全性能、使用性能、第三者影響度に関する性能、美観・景観および耐久性能）。本書では、各要求性能に対する照査および点検項目について整理している（美観・景観を除く）。ただし、それらを照査する基準は、維持管理を行うものが独自に設定するとしている。

・鉄道構造物等維持管理標準・同解説⁴⁾

トンネルを供用していく上で要求される性能が挙げられている（安全性、使用性、復旧性）。本書では、各要求性能を性能項目別に分類し、それらに対する照査指標と指標を求めるための調査方法が示されている。要求性能としては、安全性を必ず設定するものとし、その他の要求性能は、必要に応じて設定するとしている。照査方法については、過去の変状事例を参考に、定性的および定量的な方法が提案されている。なお、最終的な性能は、健全度を用いて示され、健全度の判定は、各性能項目に対する照査の結果を総合的に判断して行われている。

(2) トンネルの要求性能

前述のように、トンネルの維持管理の実務において、すでに性能評価手法の導入が試みられている。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、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、今回対象とした山岳トンネルは、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、要求性能を検討する際、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、本研究では、これまでの研究成果¹⁾に加え、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⁵⁾を参考に、トンネルの要求性能を提案した。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詳細に分類している。表-1に今回対象とした山岳トンネル（道路）の要求性能を示す。

(3) Total Performance Index (TPI)

本研究では、性能評価手法として、Total Performance Index (TPI)⁵⁾を提案している。

TPIとは、例えば性能代替指標を用いて、表-1に示す対象構造物の要求性能を照査し、得られた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、地下構造物（トンネル）もしくは調査スパンなどの調査単位ごとに、保有性能の照査や補修・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、対象構造物の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、それらには、構造安全性能や耐久性能のように数値化が比較

表-1 山岳トンネルの要求性能

目的 (機能)	性能(要求性能)			
	大項目		中項目	小項目
所定の 供用期間中 に 所要の 交通量を 安全・円滑・ 快適に 走行できる	利用者の 安全性能	利用者が安全に利用できる	安全に走行できる	良好な道路線形を確保できる
				なめらかに走行できる
			利用者の安全を直接脅かさない	建築限界を確保できる
				必要な視認性を確保できる
	利用者の 使用性能	利用者が快適に利用できる	非常時に利用者が安全に避難できる	剥落が生じない
				漏水が生じない
				必要な換気能力を確保できる
				非常時に防災設備が確実に稼働する
			快適に走行できる	防災設備を適切に配置できる
				良好な道路線形を確保できる
				補修頻度が少ない
				通行規制を最小限とすることができる
	構造安定性能	想定される荷重に対して安定している	乗心地がよい	乗り心地に悪影響するトンネル変形を生じない
				利用者が不快感・不安感を持つような漏水・ひび割れが見られない
			利用者に不快感・不安感を与えない	必要な視認性を確保できる
				圧迫感のない坑門である
	耐久性	想定される劣化要因に対して耐久性能がある	常時作用している荷重に対して安定する	【構造計算を必要としない化粧巻き型】型工・地山が安定する（無筋コンクリート）
				【構造計算を必要とする化粧巻き型】型工が安定する（鉄筋コンクリート）
			必要な耐震性能を有する	供用期間中に想定される地震動に対して型工が必要な耐震性能を有する
				供用期間中に想定される近接施工による影響や周辺環境の変化等、荷重条件の変化に対して必要な耐荷性能を有する
	管理者の 使用性能	管理者が適切に 供用(使用)できる	火災時においても安定する	【型工を構造部材としている場合】火災時にも型工が安定する
				防火性能がよい
				鉄筋等の腐食性がよい
				型工材(コンクリート・煉瓦等)が侵食・劣化しない
維持管理性能	適切な維持管理が確実に実行される	安全・容易に点検・清掃ができる	安全・容易に補修・補強ができる	型工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない
				必要な内空断面(建築限界)を確保できる
				建築限界を侵すことなく非常用諸設備や管理用設備を収容できる
				日常の巡回・点検・清掃が安全・容易にできる
	周辺への 影響度	周辺への影響度が 最小に抑えられる	地下水への影響が少ない	対策工の足場の設置と、資材置場の確保ができる
				内空断面に補修・補強余裕が確保されている
				地下水位変動が許容範囲内である
				周辺への地下水汚濁影響が許容範囲内である
				地表面の沈下・隆起が許容範囲内である
				近接建物・埋設物等への影響が許容範囲内である
	周辺への 振動・騒音	周辺への振動・騒音が少ない	周辺の大気環境への影響が少ない	施工中・供用中に周辺での振動・騒音が許容範囲内である
				周辺への大気環境への影響が許容範囲内である
				景観・美観を著しく損なわない
				換気塔・坑口が周辺環境を損なわないデザインである

的容易な要求性能のみならず、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含まれる。したがって、それらを数値化する際には、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イティング手法を採用している。

なお、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多基準分析手法の一つである AHP 法（階層化意思決定分析法）を用いて、TPI を算出している。具体的には、式-1 を用いて TPI を算出する。

$$TPI = \sum C_i \cdot P_i \quad (\text{式-1})$$

ここで、 C_i は各要求性能の重み係数であり、トンネル技術者を対象としたアンケート結果により設定する（AHP 法）。また、 P_i は各要求性能に対して設定した性能照査基準に対する照査結果を数値化（レイティング評価）したものである（→レイティング評価配点例：性能低下なし=1点、やや性能低下=3点、性能低下=5点、著しく性能低下=7点、直ちに対策必要=15点）。

4. 地下構造物の劣化予測手法

アセットマネジメントを導入するうえで、構造物の健全度評価法を確立するとともに、それらが経年的にどのように変化するかを予測する手法（劣化予測手法）の確立が重要な課題としてあげられる。

土木構造物の劣化予測手法としては、鋼構造物、鉄筋コンクリート構造物、アスファルト舗装などの、現状の調査技術で構造材料の劣化度をある程度定量的に評価可能な構造物において研究が進んでいる。特に、橋梁および舗装においては、それらは実用レベルにある。

ただし、地下構造物（トンネル）においては、他の構造物に見られない「不確実さ」を有しており、健全度を的確に評価することが困難なことから、各機関において合理的な劣化予測手法の研究が始まった段階である。なお現状では、力学的な解析手法である周辺地山の地圧増大の時間依存性を考慮した変状解析手法⁶⁾ および確率論を用いた劣化予測¹⁾ が主に検討されている。

本研究では、性能評価手法をアセットマネジメントに組み入れる際、維持管理実務の現状を踏まえ、少ない調査結果から対象構造物の健全度低下を的確に予測する必要があることから、性能低下予測モデルとして、構造物の劣化過程をマルコフ過程として表現する、「マルコフ決定モデル」に着目し検討している（確率論を用いた劣化予測）¹⁾。本手法の特徴としては、将来の劣化状態を予測する際、「予測する時点の状態推移が継続する」と仮定していることが挙げられる。すなわち、本手法を

用いれば、構造物竣工直後の調査結果（初期値）が不明確であっても、直近の劣化調査結果により劣化予測が可能である。なお、本手法においては、時点間の推移での劣化状態の推移すなわち「予測する時点の状態推移」を、「推移確率行列」を用いて表現している。具体的には、本手法により、 n 年において劣化が生じる確率 P_n を、 $n-1$ 年における劣化状態 S_{n-1} から、推移確率行列 T を用いて、式-2で予測可能である。

$$P_n = S_{n-1} \cdot T \quad (\text{式-2})$$

また、本研究では、前述の TPI により評価した構造物の保有性能の低下傾向を、変状や補修による性能のジャンプダウン、ジャンプアップなどの不連続性を的確に評価可能な幾何学的ブラウン運動モデル¹⁾を適用しモデル化することも試みている。

5. おわりに

本報文は、維持管理小委員会における地下構造物へのアセットマネジメント導入の取り組みについて紹介した。

現在、委員会では、今回紹介した TPI による健全度評価および劣化予測を試行する目的で、変状の大小の区間があり変状原因が明確で点検結果が複数年度にわたり得られているモデルトンネル（山岳トンネルおよびシールドトンネル）を対象に、ケーススタディを実施している。

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。ワーキングリーダーの笹尾春夫委員（鉄建建設）、山田浩幸委員（鴻池組）、高橋 晃委員（東京電力）をはじめ、委員の皆様のご尽力に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会：「地下空間の維持管理の現状と問題点、そしてその解決策」ー地下構造物にアセットマネジメントは適用できるのか？ー，2009.
- 2) 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.
- 3) 土木学会コンクリート委員会：2001 年制定 コンクリート標準示方書（維持管理編），2001.
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編トンネル），2001.
- 5) 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.
- 6) 例えば，熊坂，朝倉，小島，松長：地山の時間依存性を考慮したトンネル変状解析手法の適用性に関する検討，第 32 回岩盤力学シンポジウム，2003.