

トンネルの性能規定化の動向とマネジメント

木村 定雄

力学性能を主な対象とした性能設計の考え方が、ISOをはじめとして国際標準化される動きがある。トンネルは地盤工学分野、構造工学分野、コンクリート工学分野などの個別専門分野の技術を総合化して設計される構造物であるため標準化が遅れている。また、用途（目的）に応じたトンネル構造物の性能規定を明確にして、それに基づく計画、設計、施工、維持管理の考え方、さらにはトンネルの目的に応じた運用管理といったマネジメントシステムを整備することが求められている。本文はトンネル構造物の性能規定の考え方とそれに基づくマネジメントの考え方について紹介している。

キーワード：トンネル、性能規定、ライフサイクルデザイン、性能照査型設計法、アセットマネジメント、メンテナンス

1. はじめに

従来、わが国では、道路、河川、港湾、または建築等の個別施設の技術基準（設計基準）はそれぞれの施設がもつ歴史（経験）、文化、ならびに目的を担って個々に策定されてきた。このため、技術基準を見比べると大きな違いが見られる場合もある。一方、海外でも同様の個別設計がなされてきていたが、近年では、構造物の設計の基本と体系を示したISO2394¹⁾やEurocode0が包括設計コードとして発行されており、わが国でもこれを見習い、「土木・建築にかかる設計の基本（国土交通省）」²⁾が2002年に策定された。これらを受け、まずは、技術基準を策定する際に、コードライターが依るべき策定の原則や用語を統一する必要性から、国土交通省国土技術政策総合研究所から土木学会が委託研究（包括設計コード策定基礎調査委員会）を受け、2003年3月に「包括設計コード（code PLATFORM ver.1.0）」³⁾がまとめられた。包括設計コードは、主に構造設計を対象として「性能設計」という新しい設計概念を示しており、コンクリート分野、地震工学分野、地盤工学分野等で設計コードの改訂がこの設計概念のもとに進みつつある。地盤工学会では基礎構造物の設計コードとして、すでに包括基礎構造物設計コード⁴⁾を発行している。このように構造物設計の標準化にあたって、わが国では「性能規定」に基づいた設計法の体系が整備されつつある。

一方、地下構造物に代表されるトンネルは地盤工学

分野、構造工学分野、コンクリート工学分野などの個別専門分野の技術を総合化して設計される構造物であるため、標準化が遅れている実状にある。このため、国際標準化の動向を認識するとともに、わが国の地下構造物設計の経験と良き伝統技術を反映したトンネル構造物の包括設計コード、または固有設計コードを策定することが望まれる。

他方、21世紀をむかえた現在では、これまでに造られてきた構造物がほぼ同時期に集中して老朽化してきている。図-1はわが国で建設されたトンネルのうち、道路を目的としたトンネルの延長と建設時期を例として示したものである。このため、今後の社会資本整備では、構造物を新設する技術とともに、既設の構造物を上手に管理して長く供用する技術の重要性が指摘されている。すなわち、社会資本となる構造物を構築する行為「ものづくり」から、構造物をその利用

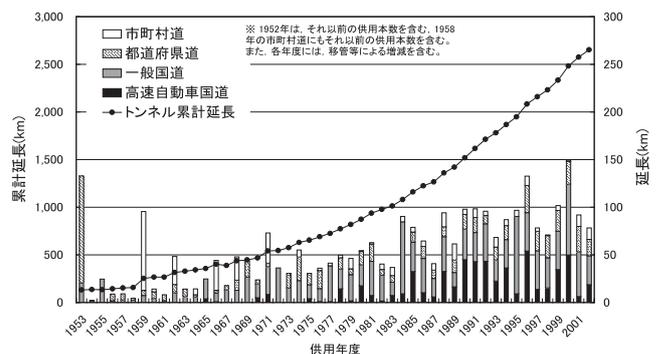


図-1 わが国の道路トンネルの延長の推移⁵⁾

形態に応じて上手に使う行為「ものづかい」への転換が求められる。地下構造物も例外ではなく、今後の地下利用を考えるうえで、構造物の設計概念を転換する必要がある。したがって、「ものづくり」を前提とした従来の構造安全性を重視する設計技術から、「ものを上手に使う」ために構造物の機能をも精査し、それを供用過程の維持管理段階においても適用できる設計法（Life Cycle Design Methods⁶⁾）を整備する必要がある。とくに、トンネル等の地下構造物は地上構造物とは異なり、一度構築したらそれを単純に放棄することができない構造物である。換言すると、不具合などにより使用しない地下空間をそのままに放置すると将来にわたり地盤沈下や近接構造物基礎の変状等、周辺地盤に変状を来すおそれがある。このようなことから、トンネル構造物の「ものづかい」を強く意識し、トンネル構造物の使用性を性能として位置づけ、計画、設計、施工、維持管理のすべての段階でそれを評価する手法を吟味することが求められる。

このような既設構造物の維持管理にかかわる国際規準として ISO13822⁷⁾ が発行されている。この規格では構造信頼性とリスクの概念を基にした既設構造物（建物、橋梁、他）の評価の基本的な考え方が、① 予期される用途の変更や修復、設計供用寿命の延長、② 管理者や保険会社などから要求される信頼性のチェック、③ 経過時間に依存する荷重・作用による劣化、④ アクシデンタル・アクションによる損傷等に分けて示されている。しかしながら、構造物が有する本来の目的を反映した機能や使用性能の評価が言及されるには至っていない。

本文は上述したトンネル構造物の性能規定に向けた国際標準化動向をふまえ、トンネル構造物の具体的な性能規定を検討するとともに、これに基づいた既設トンネルの維持管理段階におけるマネジメントの考え方を論じている。なお、これらの検討の主体は土木学会トンネル工学委員会「トンネル構造物の設計法の将来像と国際標準への対応に関する検討部会」で進められているものである。

2. トンネル構造物の包括設計コード・固有設計コードの考え方⁸⁾

前述したトンネル構造物の特殊性と過去の設計体系⁹⁾の経緯を考慮し、トンネル構造物の包括設計コード・固有設計コードの体系化を図るためには、図-2に示す各Phaseを精査することがまず必要となる。以下には各Phaseの基本的な考え方を述べる。

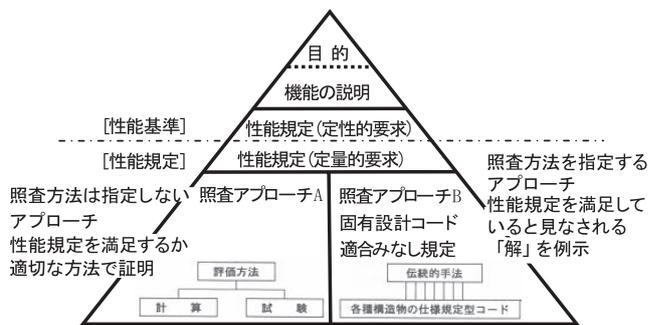


図-2 性能規定・性能照査アプローチの階層構造

(1) 目的と機能の精査

構造物の目的とは、それを必要とする理由を一般的な言葉で表したものである。トンネル構造物を対象とすると、その用途に応じて個々に目的が異なる。また、目的の具体的な役割を説明したものが機能であり、要求性能を導きだす根拠となる。トンネル構造物を必要とする事業の目的を定めた法令およびその目的を達成するためのトンネル構造物の目的と機能を整理して表-1に示す。

表-1 トンネル構造物の目的と機能

用途	トンネル構造物の目的と機能（参考とした法律）
道路	車両を所定の速度で安全・円滑・快適に走行させることができ、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（道路法・第一条）
鉄道	列車を所定の速度で安全・円滑・快適に運行させることができ、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（鉄道事業法・第一条）、（鉄道に関する技術上の基準を定める省令・第二十四条）
電力	所定のケーブル条数を収納し送電ができ、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（電気事業法・第一条）
通信	所定の電気通信用ケーブルを敷設・撤去でき、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（電気通信事業法・第一条）
ガス	所定のガス導管を設置でき、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（ガス事業法・第一条）
下水	所定の雨水・汚水を通水、貯留させることができ、所定の供用期間中にそれを維持・管理できる。（下水道法・第一条）

(2) 基本要的性能の精査

要求性能はトンネル構造物の機能を果たすために定めるものである。ここで、安全性、使用性、環境性、経済性にかかわる要求性能は、すべての構造物に共通する基本要性能となる。以下には、トンネル構造物に固有の要件を考慮した基本要性能を示す。また、個々の用途に応じた要求性能は基本要性能を基に細分化し、階層化して、それに応じた性能規定を定めることになる。ここでは、利用者、管理者、周辺の人をそれぞれ第一者、第二者、第三者とし（表-2）、そ

れら対象と基本要的性能との関連を表—3に示すように位置づけている¹⁰⁾。

- ①利用者の安全性能
- ②利用者の使用性能
- ③構造安定性能
- ④耐久性能
- ⑤管理者の使用性能
- ⑥維持管理性能
- ⑦周辺への影響度

なお、個々の目的に応じたトンネルの具体的な要性能の考え方は次章で詳説する。

表—2 第一者、第二者、第三者の考え方

第一者	移動などの目的を達成するためにトンネル（構造物）を利用する人または物。道路トンネルでは車の運転者・同乗者・輸送される荷物、鉄道トンネルでは乗客・貨物、電力・ガス・下水道・地下河川トンネルでは電気・ガス・水そのものまたはケーブル・管路などがこれにあたる。
第二者	トンネルを供用・管理する事業主体、関係機関やそれに従事する人や組織。
第三者	トンネルの施工または供用により影響を受ける周辺の人・建物・交差構造物など。

表—3 基本要性能とその対象の位置づけ

対象		性能	
		安全性に関する性能	使用性に関する性能
第一者	利用者 (運転者, 乗客, ガス管等)	①利用者の安全性能 ③構造安定性能	④耐久性能
第二者	管理者 (事業主体, 保守管理者等)	⑥維持管理性能	
第三者	周辺の人等	⑦周辺への影響度	
			②利用者の使用性能
			⑤管理者の使用性能
			⑥維持管理性能
			⑦周辺への影響度

(3) 設計照査の手続き

トンネル構造物の性能規定に基づく設計照査の手続きを検討するうえでは、前述のトンネル構造物の特殊性や過去の設計法における良き経験的技術を反映するとともに、以下に示す事項を十分に検討する必要がある。

- ①新規のトンネル構造物の性能照査方法を検討することはもとより、あわせて、使用に供されている既存のトンネル構造物の性能も新規構造物と同等に照査できる方法を検討する必要がある。すなわち、構造物のライフサイクルを念頭にデザインし、それを基に構造物をマネジメントするための手法を整備する必要がある。
- ②従来の個別設計コードでは、構造物の力学的能力を照査することが設計とされてきた。一方、トンネル

構造物の用途に応じた使用性は異なる。したがって、力学的観点のみならず、規定化された使用性にかかわる性能についてもその照査方法を整備する必要がある。

a) 照査アプローチ A：従来から行われてきた設計方法とは異なり、構造物の性能照査に用いる方法に制限はなく、広く設計・施工・補修・補強への新技術の導入や新規企業の参入を可能とする照査アプローチである。このため、設計者は当該構造物の性能規定を一定のある適当な信頼性で満足することを証明しなければならない。この照査アプローチを採用する場合は、その照査手法や照査結果を適切に審査する機関を設置するなどして、定められた性能規定を満足しているか否かを「適切な手順（事業者、設計者のいずれとも利害関係を有さない当該構造物の設計に関する分野の専門技術に精通した者からなる委員会など）」で評価・判定することが必要となる。現状、「事業者（管理者）、設計者の両者から独立し、中立な立場にある第三者機関」としての審査機関に関する議論、および事業者（管理者）、設計者ならびに審査官の責任範囲に関する議論などが十分ではなく、照査アプローチ A を採用するにあたっては、これら議論に待つところが多い。

b) 照査アプローチ B：包括設計コードに基づいて、「適切な手順」に従って作成されたトンネル構造物の包括設計コード、または固有設計基本コードに基づく性能照査アプローチである。したがって、照査アプローチ B を採用するための各種設計コードを整備する必要がある。トンネル構造物を対象とする場合、地山作用など不確実性が高い等の特徴がある。したがって、適合みなし規定および具体的な照査方法として「部分係数による設計法」によることが適切と考えられる。また、部分係数による設計法は構造物、または構造物材の力学的な性能のみの設計照査方法であることから、トンネル用途に応じた使用性能に関する照査方法は別途検討する必要がある。

3. 目的に応じたトンネル構造物の要性能¹¹⁾

(1) 要性能の考え方

道路、鉄道、上下水道、電力、通信など様々な用途に供されるトンネルの要性能は、その目的に応じて基本要性能の枠で個々に具体化される。一方、トンネル構造物の場合、その施工法によって構造設計の考え方が大きく異なる¹²⁾ことから、これを十分に考慮して要性能を具体化する必要がある。すなわち、比較的地山が良く自立性の高い地盤の場合に採用される

山岳トンネル工法では、トンネルとなる空間を形成する構造主体は自然地山そのものであり、この能力を最大限に利用して人工的に支保する考え方で構造設計がなされる。これに対し、都市トンネル工法に代表されるシールド工法では、地山の自立性がほとんど期待できない場合に採用され、この場合の構造主体は人工的

な構築物となる。このことが、トンネル構築物の構造設計を難しいものになっている大きな一因である。このため、トンネル工法によって異なる主たる要因を整理する必要がある。表一4はトンネル工法の違いによって異なる要因を整理した例（道路トンネルの場合）である。したがって、要求性能の精査にあたっては施工法の違いも考慮する必要がある。

表一4 トンネル工法の違いによる要因の差異の例（道路）

	山岳工法	シールド工法
建設場所	主に山岳部、郊外等（トンネル内の凍結を考慮する）	主に都市部（トンネル内の凍結は考慮しない）
坑口	基本的に坑門が存在する	基本的に坑門がない
施工時荷重	一般的に施工時荷重は考慮不要	施工時荷重により変状を生じることがある。施工時に切羽安定のために対策を要する。
覆工構造	覆工コンクリートは一般に構造部材でない（基本的に無筋コンクリート構造）	覆工（セグメント）が構造部材である（鉄筋コンクリート、鋼構造、合成構造）。
路盤	インバートがない場合は路盤が変状することがある。この場合、走行安定性に影響する。	セグメントを組み合わせた閉合構造であるため、変状することはない。

(2) 要求性能の具体例

基本性能をもとに要求性能の具体を考える。表一5および表一6は、それぞれ山岳トンネル工法による道路トンネルおよびシールド工法による鉄道トンネルの要求性能を整理した例である。要求性能の大項目は基本性能とその説明である。中項目は大項目を評価するための事象を、さらに小項目は中項目をより詳細に評価するための事象を示している。したがって、要求性能の小項目の事象をすべて満足すれば大項目で示した性能を満たすこととなる。一方、小項目に示される事象をみると、事象そのものを直接的に評価

表一5 細分化された要求性能の例（山岳工法・道路）

目的 (機能)	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 建築限界を確保できる 必要な視認性を確保できる
			利用者の安全を直接脅かさない	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
			非常時に利用者が安全に避難できる	非常時に防災設備が確実に移動する 防災設備を適切に配置できる
	利用者の使用性能	利用者が快適に利用できる	快適に走行できる	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	乗り心地に影響するトンネル変形を生じない
			乗り心地がよい	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 必要な視認性を確保できる
	構造安定性能	想定される荷重に対して安定している	利用者に不快感・不安感を与えない	圧迫感のない坑門である
			常時作用す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覆工】 覆工が安定する(無筋コンクリート) 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構造覆工】 覆工が安定する(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覆工が必要な耐震性能を有する
			想定される荷重変化に対して安定する	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
	耐久性能	想定される劣化要因に対して耐久性がある	火災時においても安定する	【覆工を構造部材としている場合】 火災時にも覆工が安定する
			防火性能がよい	鉄筋等の防火性能がよい
管理者の使用性能	管理者が適切に供用(使用)できる	覆工材が劣化しない	覆工材(コンクリート・煉瓦等)が浸食・劣化しない	
		防水性能がよい	覆工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない	
維持管理性能	適切な維持管理が確実に行える	必要な需要を満足する	必要な内空断面(建築限界)を確保できる	
		必要なトンネル諸設備を設置できる	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	
周辺への影響度	周辺への影響度が最小限に抑えられる	安全・容易に点検・清掃できる	日常の巡回・点検・清掃が安全・容易にできる	
		安全・容易に補修・補強ができる	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	
		地下水への影響が少ない	地下水位変動が許容範囲内である	
		周辺地盤への影響が少ない	周辺への地下水汚濁影響が許容範囲内である	
		周辺の物件への影響が少ない	地表面の沈下・隆起が許容範囲内である	
周辺の大気環境への影響が少ない	周辺の大気環境への影響が少ない	周辺での振動・騒音が少ない	近接建物・埋設物等への影響が許容範囲内である	
		周辺の景観・美観を著しく損なわない	施工中・供用中に周辺での振動・騒音が許容範囲内である 換気塔・坑口が周辺景観を損なわないデザインである	

表一六 細分化された要求性能の例 (シールド工法・鉄道)

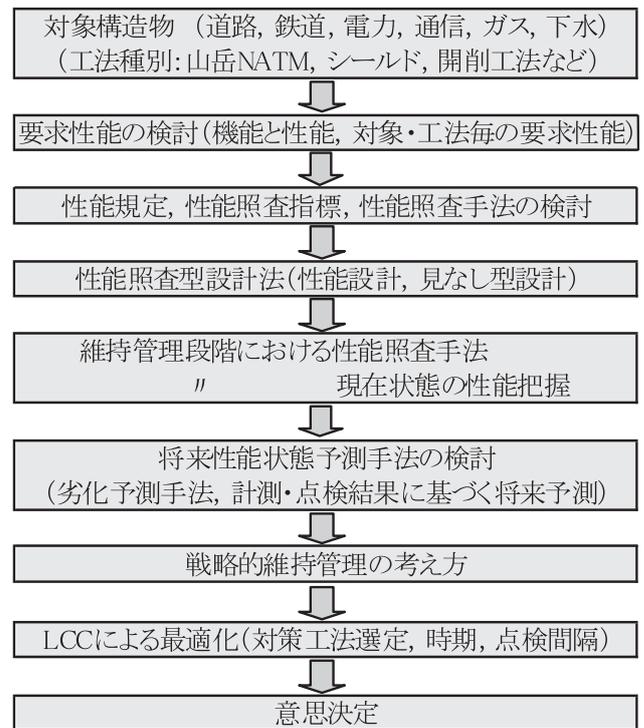
目的 (機能)	性能(要求性能)			
	大項目	中項目	小項目	
所定の供用期間中、車両を安全・快適・円滑に走行させることができる	利用者の安全性能	利用者が安全に利用できる	安全に走行できる	良好な線路線形を確保できる 走行安全性を確保できる 建築限界を確保できる
			利用者の安全を直接脅かさない	剥落が生じない 漏水が生じない
			非常時に利用者が安全に避難できる	非常時に防災設備が確実に稼働する 防災設備を適切に配置できる
	利用者の使用性能	利用者が快適に利用できる	乗り心地がよい	線形が適切、乗り心地を悪化させる軌道変位を起こすようなトンネル変位が生じない
			利用者に不快感・不安感を与えない	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
	構造安定性能	想定される荷重に対して安定する	常時作用する荷重に対して安定する	常時作用する荷重に対して必要な耐荷性能を有する 想定される地盤沈下に対して必要な追従性を有する 浮力に対して安定しており、必要な重量を有する
			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覆工が必要な耐震性能を有する 地震時に液状化等で浮き上がらない
			想定される荷重の変化に対して安定する	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
			想定される施工時荷重に対して安定する	施工時に想定される荷重に対して必要な耐荷性能を有する
	耐久性性能	想定される劣化要因に対して耐久性がある	防食性がよい	鉄筋・鋼製セグメント・継手金物等、鋼材の防食性がよい
			コンクリートが劣化しない	耐久性を脅かす有害なひび割れがない コンクリートが侵食・劣化しない
			止水性がよい	覆工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない
	管理者の使用性能	管理者が適切に供用(使用)できる	必要な需要を満足する	必要な線路数と諸設備を取容できる中空断面が確保できる 必要な列車速度を出せる線形が確保できる
			列車が安定的に運行できる	列車運行に関わる諸設備の機能を支障するような剥落が生じない 列車運行に関わる諸設備の機能を支障するような漏水が生じない
			列車運行のための諸設備が確実に稼働できる	列車運行に関わる諸設備を適切に配置・使用できる トンネル内の水が適切に排水され諸設備に影響しない
	維持管理性能	適切な維持管理が確実に行える	安全・容易に点検できる	日常の巡回・点検が安全・容易にできる
			安全・容易に補修・補強ができる	対策工の足場の設置と、資材置場の確保ができる 中空断面に補修・補強余裕が確保されている
	周辺への影響度	周辺への影響度が最小限に抑えられる	地下水への影響が少ない	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
			周辺地盤への影響が少ない	地表面の沈下・隆起が許容範囲内である
			周辺の物件への影響が少ない	近接建物・埋設物等への影響が許容範囲内である
周辺での振動・騒音が少ない			施工中・供用中に周辺での振動・騒音が許容範囲内である	

できるものとそうでないものがある。また、定量的評価が可能な事象と曖昧で定性的評価をせざるを得ない事象とが存在することがわかる。このため、個々の性能を具体的に照査するにあたっては、トンネル構造物の計画設計段階、施工段階、維持管理段階(供用段階)の各々の段階で具体的な事象を評価するための照査指標を設けて照査することになる。以降、本文ではとくに維持管理段階に着目して、性能照査の考え方および性能規定に基づくマネジメントの考え方を概説する。

4. 性能規定に基づくマネジメント¹³⁾

(1) 性能規定に基づくマネジメントの考え方

性能規定に基づくマネジメントとは、トンネルのライフサイクルを念頭において、計画、調査・設計、施工、維持管理のすべての段階において、要求性能を基準にそれを評価する指標を定めて性能照査を行い、これに基づいて戦略的なマネジメントを実施するというものである。図一三は性能規定に基づくマネジメント手法の流れを示したものである。



図一三 性能規定に基づくマネジメントの流れ

性能規定に基づくマネジメントにおいては、トンネルの用途（目的）に応じて、計画設計段階、施工段階、維持管理段階（供用段階）の各々の段階で同一の要求性能に対して性能照査することが基本となる。ここでは、とくに既設のトンネル構造物の維持管理段階に着目してその考え方を論じる。

従来から既設トンネル構造物の維持管理では個々に基準を設けて点検・評価・対策がとられている¹⁴⁾。しかしながら、これらの維持管理は基本的に個々の不具合事象に対策を講じる行為であり、性能規定を明確にして性能を照査したうえで対策を講じるという行為とはなっていない。また、将来的な対策は限られた予算制約の中で適宜検討されているのが実状である。

一方、性能規定に基づくマネジメントでは現在状態の性能照査に基づいて将来状態を予測し、管理者の戦略に基づいてLCCの最適化手法を適用して対策時期や対策工選定を意志決定するところに大きな違いがある。ただし、性能照査にあたっての照査項目は従来からの点検項目と大きく異なるわけではなく、個々の点検項目が要求性能を照査するための性能照査指標、または性能照査代替指標となる。

図-4に基本性能に対する性能照査手法の基本的な考え方を示す。図中には基本性能に対応して定量的評価が可能な性能照査指標の例を示してある。また、性能照査指標の中には“部材耐力”や“ひ

要求性能	性能照査指標	照査手法 (判定基準策定)		重み付け
		数値評価	レーティング ^{a)}	
利用者の安全性能	内空形状寸法、内空変位、ひび割れ、線形視距、漏水など	B	5段階	w1
利用者の使用性能	内空変位、ひび割れ、線形視距、漏水など	B	5段階	w2
構造安定性能	部材耐力、継手耐力、継手変形性能	A	5段階	w3
耐久性	部材品質、ひび割れ、漏水	A	5段階	w4
管理者の使用性能	内空形状寸法、ひび割れ、線形視距、防災設備規模、漏水	B	5段階	w5
維持管理性能	内空形状寸法	B	5段階	w6
周辺への影響度	騒音振動、地盤変動、漏水質、地下水変動	B	5段階	w7

数値評価A：計測、数値解析等により積極的に数値化する
 数値評価B：計測可能な項目以外は、判定基準に照合しレーティング。

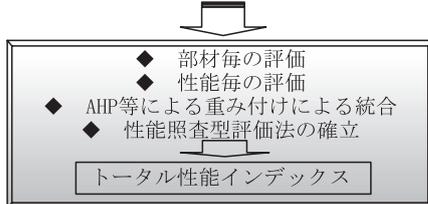


図-4 要求性能に対する性能照査手法の考え方

び割れ”など、トンネルの点検や計測によって得られたデータから解析や統計的手法を援用して指標を評価する項目もある。一方、前述のように、性能照査指標の中には定量的評価が可能なものとそうでないものがある。したがって、総合的な性能照査は5段階程度の照査基準を設けたレーティング手法によることが現実的である。これにより、対象となるトンネル構造物の用途、トンネル工法、事業者の戦略およびサービスアビリティ等の条件によって、各要求性能の優先度を重み付けすることが可能となる。また、定量的評価が困難な性能照査指標は、後述する階層分析法などを適用してそれを定量的に取り扱うことになる。このような性能照査をトンネル延長のスパングごとに、あるいはトンネルごとに実施することによってトータル性能インデックスが求められる。これにより、トンネル構造物の性能を一元的に管理することが可能となる。

(2) 将来状態の予測

性能規定に基づくマネジメントでは、供用目標期間あるいはそれを越えた実質使用期間において、必要最小限のコストによってトンネルの性能を確保することが求められる。その概念を示したのが図-5である。性能水準の低下に応じて要求性能を確保するよう予防保全や予防管理¹⁵⁾の施策を図る必要がある。しかしながら、トンネル構造物は既述のように不確実性の高い地盤中に構築される構造物であることなどから、その性能の評価には相当の不確実性を内包することが多い。このため、平均的な保有性能が要求性能を満足していても、図-6に示す損傷確率を考慮すると要求性能を満足しないことが生じるおそれもあり、このような場合には緊急対策を講じる必要がある。したがって、トンネル構造物においては、保有性能を確認するための点検を頻繁に行い、局所的にも重要な要求性能を満たさなくなる寸前に補修などを施す予防管理¹⁵⁾を適用することが適切であると考えられる。また、点検頻度は保有性能の現在状態から将来状態を推定する精度に大きく影響する。図-7はその概念を示したもの

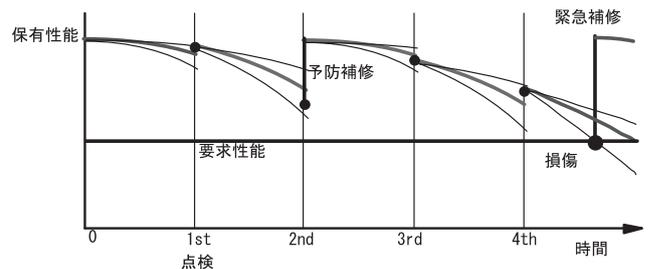
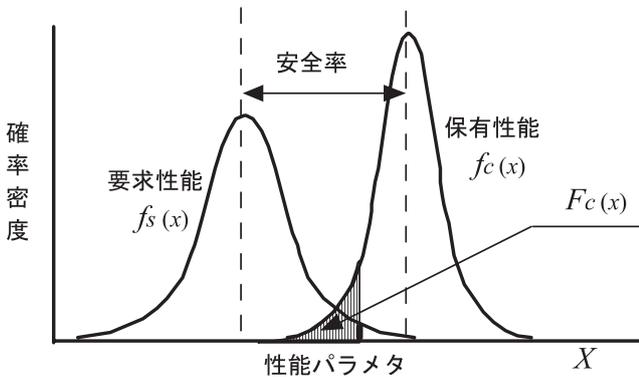
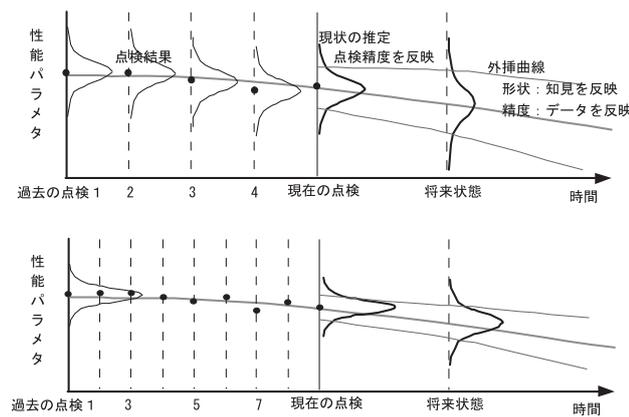


図-5 維持管理の最適化戦略の概念

である。一般には点検頻度は5年に一度（多い場合には2年に一度）程度であり、点検頻度が極端に少ない場合には不確実性が增大することになる。推定精度の低下は予防管理施策に直接的に反映されるため、点検頻度は対象となるトンネルのサービスアビリティーに応じて適切に設定する必要がある。



図一六 損傷確率の概念



図一七 点検頻度と状態推定精度

(3) トンネルのサービスアビリティー

トンネル構造物のサービスアビリティーは、対象となるトンネルの用途、社会的機能、管理者の事業規模や財源などによって異なる。このため、個々のトンネルの社会的役割や重要性に応じてサービスアビリティーが異なることが想定される。したがって、個々のトンネルのサービスアビリティーを設定し、それに合ったマネジメント手法を検討する必要がある。表一七はサービスアビリティーを反映したサービスレベルとその基本的なマネジメントの考え方を示したものである。

サービスレベルは高位から低位に分類している。高位に位置づけられるトンネルは、社会的重要性がとくに高く、このため、維持管理における点検や連続モニタリングを詳細に行い、可能な限り定量化された指標

表一七 サービスアビリティーに応じたマネジメントの考え方

サービスレベル	低位 交通量小, 劣化進行低 山間部	↔	高位 交通量大, 劣化進行高 重要路線, 緊急輸送路
性能規定	利用者の安全性能・使用性能, 構造安定性能, 耐久性 管理者の使用性能, 維持管理性能, 周辺への影響度		
性能照査指標	極力数値化が可能な指標を選定		
設計法	見なし型設計		性能設計
モニタリング	点検+必要に応じて 簡易計測		点検+計測
健全度評価法	レーティングが基本		性能照査型評価法
維持管理段階における性能照査手法	点検(+簡易計測)結果 によるレーティング		計測を主体とした数値化 指標による照査
将来状態予測手法	確定論的予測 (残存耐力)		信頼性, 確率論的手法など による不確実性を 考慮した予測法
LCC最適化による意思決定	点検, 補修を想定した LCC		LCC最適化を実施

で性能照査するものである。一方、低位に位置づけられるトンネルは、社会的必要性はあるものの、使用頻度が低かったり、管理者の予算制約がとくに厳しいなどの条件があるものである。このようなサービスアビリティーの違いは、それを管理するうえでのマネジメント手法にも反映されるべきである。

5. おわりに

本文はトンネル構造物の性能規定の考え方とそれに基づく既設トンネルの維持管理段階のマネジメント手法についてその概要を述べた。トンネルの用途に応じた性能規定に関する議論は未だ成熟しておらず、国際トンネル技術協会をはじめ、今後国際的にも議論が派生するものと考えられる。わが国においては、現在のところ、各事業者や管理者等で個別にトンネル構造物のマネジメント手法が検討されている。しかしながら、これらの検討事項は広く説明がなされていないのが実情であり、今後は管理者ならびにトンネルに携わる技術者が一体となって、性能規定の確立とそれに基づくマネジメント手法の展開を図るための議論が深まることが望まれる。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) ISO2394 General principles on reliability for structure 3rd edition (1998.6)
- 2) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本 (2002.10)
- 3) 土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会：包括設計コード（案）（Principles, guidelines and terminologies for structural design code drafting founded on the performance based concept ver.1.0）(2003)
- 4) 地盤工学会：包括基礎構造物設計コード，地盤コード 21 ver.1 (2000.3)
- 5) 土木学会：トンネルの変状メカニズム，p.19 (2003.9)
- 6) 例えば，水谷進悟・清水範幸・木村定雄：トンネル構造物のライフ・サイクル・デザイン手法の構築（1），土木学会第58回年次学術講演会概要集，VI-131 (2003.9)

- 7) ISO13822 Bases for design of structures - Assessment of existing structures (2001.12)
- 8) 木村定雄：構造物設計法の国際標準化の動向とトンネル構造物の性能規定化の必要性，土木学会平成19年度全国大会研究討論会，研-14資料，pp.3-10 (2007.9)
- 9) 例えば，土木学会：2006年制定トンネル標準示方書（山岳工法・同解説，シールド工法・同解説，開削工法・同解説）(2006.7)
- 10) 山本努・白井孝典・野田賢治・内藤幸弘・藤橋一彦：トンネルのデザインとマネジメント（その3）-トンネルの機能と要求性能の整理-，土木学会第58回年次学術講演会概要集，VI-168 (2007.9)
- 11) 佐野信夫：トンネルの機能と性能についての考察，土木学会平成19年度全国大会研究討論会，研-14資料，pp.11-14 (2007.9)
- 12) 土木学会：都市NATMとシールド工法の境界領域：トンネルライブラリー第11号 (2003.10)
- 13) 安田亨・畑生浩司・内藤幸弘・野田賢治：トンネルのデザインとマネジメント（9）-トンネルの性能照査型マネジメント手法の検討-，土木学会第58回年次学術講演会概要集，VI-174 (2007.9)
- 14) 例えば，土木学会：トンネルの維持管理，トンネルライブラリー第14号，pp.5-7 (2005.7)
- 15) 中村一樹・細沼宏之・高田充伯・大津宏康・小林潔司：トンネルアセットマネジメント，サマースクール2007テキスト，pp.143-152 (2007.8)

[筆者紹介]

木村 定雄（きむら さだお）
 金沢工業大学
 環境・建築学部
 環境土木工学科
 教授
 博士（工学）
 技術士（建設）



大口径岩盤削孔工法の積算

——平成20年度版——

■内 容

平成20年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表
- (8) 参考資料

● A4判／約240頁（カラー写真入り）

● 定 価

非会員：5,880円（本体5,600円）

会 員：5,000円（本体4,762円）

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外 450円

沖縄県 340円（但し県内に限る）

● 発刊 平成20年5月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>