

トンネルのデザインとマネジメント(1)

- 性能規定の必要性 -

金沢工業大学 ○正会員 木村 定雄

立命館大学 正会員 建山 和由

神戸大学 正会員 芥川 真一

首都大学東京 正会員 土門 剛

長岡技術科学大学 正会員 杉本 光隆

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、「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、地震分野、地盤工学分野等、多くの機関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。

以上のように、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り、トンネル構造物を主とする地下構造物設計のコードライターは、この設計体系を早い時期に認識し、地下構造物設計の経験と良き伝統を反映した個別設計コードを策定する必要がある。

2. 近年のわが国のトンネル設計法の変遷と経験的伝統

1960 年代からの高度成長時代にあわせて、わが国の社会資本整備は急速に進展した。この時代では、まずは短期間で大量の「ものづくり」を優先する必要がある。構造物の設計も単純化、簡便化、さらには標準化されて一般に適用されてきた。仕様規定や許容応力度設計法はこの時代を担った設計法と言える。その結果、ある程度の品質と性能をもつ構造物を大量に構築することが可能になったが、一方で、構造物の設計法は固定化され、構造物の利用形態や需要の変化、または多

様化する構造物の機能に対応できる設計法の進展を妨げてきた向きがある。ここで、近年のわが国のトンネル設計法の変遷を土木学会が制定した規準類を基本にみている。

1964 年、トンネル構造物の設計法と施工法の規準として「トンネル標準示方書(山岳トンネル)」、「シールド工法指針」が制定された。1977 年、シールド工法は「トンネル標準示方書(シールド工法編)」に格上げされ、山岳工法編と後に制定された開削工法編の示方書は数度の改訂を経て、とくに経験的技術の進歩が目覚ましい施工技術がこれらの示方書に反映されてきた。一方、トンネル構造物の設計法は 1964 年から長きにわたり許容応力度設計法が採用されてきている。許容応力度設計法は、材料特性、部材特性、構造物特性、外力、などの構造計算上のすべての不確実性を材料強度の安全率で評価するものであり、設計実務の簡便化が図られ、大量の「ものづくり」の時代においては、ある一定以上の性能を照査し確保する設計法として有益であった。2006 年に改訂された示方書では、山岳工法編、シールド工法編、開削工法編がともに限界状態設計法を採用した。この設計法の採用は長きにわたって適用されてきた許容応力度設計法からの大きな転換と言える。そこで、この転換を向かえるまでの近年の経緯を振り返ってみる。

2001 年 8 月、トンネル以外の構造物の構造設計法が限界状態設計法に移行したことを受け、山岳、シールド、開削トンネルへの限界状態設計法を適用するうえでの構造設計法としての課題を分析・整理し、「トンネルへの限界状態設計法の適用」(トンネルライブラリー第 11 号)が発刊された。

しかしながら、トンネル構造物を主体とする地下構造物は地上構造物とは異なり、その構造のモデル化や作用外力が相当に不確実であり、また施工法によってそれらが大幅に異なることなどから、2003 年 10 月「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 13 号)が発刊された。ここでは、トンネルの構造設計法を複雑にしている最大の原因は、設計対象となる構造物が 山岳トンネルでは地盤であるのに対

キーワード：設計法、トンネル、性能規定、

連絡先：〒921-8501 石川県 石川郡 野々市町 扇が丘 7-1

TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

し、シールドトンネルや開削トンネルでは人工の構築物であり、一概にトンネルであっても設計対象(構造安定性の照査の対象)が異なること、トンネル工法の違い(掘削方法や地山の支保方法の違い)により構築物に作用する外力(大きさ、方向、分布)が異なること、等が挙げられた。そこで、トンネル構築物のモデル化やそれに作用する外力の考え方が整理され、地山特性曲線を用いてそれらが説明づけられた。その一方で、トンネルに作用する外力を明確に定量化することは困難であることが再認識され、トンネルの建設段階の設計は、その時点で把握できる地盤特性や施工法に応じて外力を仮定し、構造計算から覆工を定める、または支保パターンを選定する行為、換言すると「みなし型の設計」に依らざるを得ないことがあらためて認識された。

2002年に「土木・建築にかかる設計の基本(国土交通省)」が策定された後、2003年6月、(社)日本トンネル技術協会から「シールドトンネルを対象とした性能照査型設計法のガイドライン」が発行された。ここでは電力洞道を対象に、これまで明確にされてこなかったトンネルの性能(要求性能)を常時性能、施工時性能、地震時性能、特殊性能、異常時性能として設定し、主に構造性能と耐久性能の照査方法が提示された。

2006年1月、「都市部山岳トンネルの覆工設計-性能照査型設計の試み-」(トンネルライブラリー第15号)が発行された。ここで、設計荷重が山岳トンネルの場合に比べて明確な都市部山岳トンネルの覆工設計に性能照査型設計法の導入の試みが言及され、トンネルの力学的な機能がある程度明確に示された。

2006年10月、シールドトンネルに作用する荷重のうち、施工時荷重の影響が覆工の性能や品質に大きく影響している実状から、実施工時の施工時荷重の詳細な分析がなされ、「シールドトンネルの施工時荷重」(トンネルライブラリー第17号)が発行された。

以上のように、これまでのトンネル構築物の設計法の変遷をみると、許容応力度設計法から限界状態設計法、そして性能設計法へと設計法が移行しつつある。一方、これまでの検討は耐久性能の若干の検討が追加されてきてはいるものの、耐震設計を含めた構造安定性の照査法や施工法によって大きく異なる荷重の評価法の検討が主体をなしている。トンネルの建設当初に成された設計行為が「みなし型設計」であり、対象となるトンネル構築物の供用過程において状態が変化した場合の設計の取り扱いやトンネルの用途に応じて定まる性能が明確にされているとは言い難い実状にある。

3. 構築物の構造設計から使用設計の時代へ

21世紀をむかえた現在では、これまでに造られてきた構築物がほぼ同時期に集中して老朽化してきている。一方、人口推計をみると、わが国の人口は21世紀中に急激に減少することが予測されることから、将来の社会資本整備のあり方や整備に要する財源の減少などの

課題がでてきている。したがって、今後の社会資本整備では、構築物を新設する技術とともに、既設の構築物を維持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、社会資本となる構築物を構築する行為「ものづくり」から、構築物をその利用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ている。地下構築物も例外ではなく、今後の地下利用を考える上で、構築物の設計の考え方を転換する必要がある。すなわち、「ものづくり」を前提とした従来の安全性重視の設計技術から「ものづかい」の機能を精査し、構築物の維持管理段階においても適用できる設計法(Life Cycle Design Methods⁵⁾)を整備する必要がある。とくに、トンネル等の地下構築物は地上構築物とは異なり、一度構築したらそれを単純に破棄することができない構築物である。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築物基礎の変状等、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、トンネル構築物の「ものづかい」を強く意識した、すなわちトンネル構築物の使用性を性能として位置づけそれを吟味することが求められる。

4. トンネル構築物の性能規定化に向けて

前述のことを背景として、土木学会トンネル工学委員会技術小委員会では、2004年12月に「トンネル構築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」を設置し、トンネル構築物の性能規定に関する調査・検討を進めてきた。図1は性能規定に基づく性能記述の階層と照査アプローチの位置づけを示したものである。これを基本にトンネルの用途に応じて定まる目的・要求

性能を明確化し、建設時の設計段階から供用時の維持管理段階までに適用できる照査法(照査アプローチA、B)を早期に確立することが望まれる。

参考文献

- 1) ISO: 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: 包括基礎構築物設計コード, 地盤コード 21 ver.1, 2000.3.
- 5) 例えば, 水谷, 清水, 木村: トンネル構築物のライフ・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, -131, 2003.9.



図1 性能記述の階層と照査法⁴⁾