

トンネルの要求性能と健全度評価に関する一考察 A STUDY ON RELATION OF HEALTH EVALUATION AND REQUIRED PERFORMANCE OF TUNNELS

池尻 健¹・笹尾春夫²・田中康弘³・水口尚司⁴

Takeshi IKEJIRI・Haruo SASAO・Yasuhiro TANAKA・Naozi MIZUGUTI

We have to make the required performance of tunnels clear so that we realize rational maintenance. And establishment of the health evaluation of tunnels that can evaluate the required performance of tunnels precisely is expected. In the last study, we extracted required performance of tunnels from some phenomena of deteriorations and examined some items to evaluate them. In this study, we investigate the present health evaluation of mountain tunnels and examine whether they can evaluate required performance of tunnels. And we give a problem to establish the health evaluation of tunnels that can evaluate the required performance of tunnels precisely

Key words : mountain tunnel, health evaluation, required performance, maintenance

1. はじめに

合理的な維持管理を実施するためには，構造物の要求性能を明確にし，それらを的確に照査可能な健全度評価法の確立が望まれる。これまでの研究では，変状の実績や維持管理に係わる事例を踏まえトンネルの要求性能を抽出し，それらを評価するための照査項目および照査内容について検討した¹⁾。

本研究では，トンネルの現状の健全度評価を調査し，それらがトンネルの要求性能を照査可能か否か検討する。そして，検討結果から，トンネルの要求性能を的確に照査可能な健全度評価法を確立するための検討課題を抽出する。なお，対象とするトンネルは山岳工法で施工されたトンネル（道路，鉄道，電力水路トンネル）である。

2. トンネルの要求性能と健全度評価の関係

(1) トンネル要求性能の提案

前述した，これまでの研究（地下空間研究委員会）で提案した要求性能¹⁾とトンネル工学委員会（技術小委員会 トンネル構造物の設計法の将来像と国際標準の対応に関する検討部会）で提案されている要求性能²⁾を対比したものを，図-1に示す。同図より，両者には，大項目および中項目において評価項目等に違いがあるものの，山岳トンネルの要求性能を網羅していると考えられる。

キーワード：山岳トンネル，健全度評価，要求性能，維持管理

¹正会員 株式会社 セントラル技研 地盤技術部

²フェロー会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 土木技術部

³正会員 株式会社 ダイヤコンサルタント 設計本部 設計部

⁴正会員 株式会社 ニュージェック 国内事業本部 道路グループ



図-1 地下空間研究委員会¹⁾とトンネル工学研究委員会²⁾の要求性能の対比

本研究では、これまでの研究（地下空間研究委員会）で提案した要求性能を整理し、トンネル工学委員会で提案されたものを取り入れるような形で、山岳トンネルを対象とした新たな要求性能と照査項目を提案する。本研究で提案する要求性能と照査項目を表-1に示す。主な提案内容としては、これまでの研究で提案した要求性能中の耐久性能を、「覆工の構造的な耐久性能」と「部材の変状に対する耐久性能」等に区別し、構造安定性能、安全性能および耐久性能の項目を見直している。また、利便・快適性能を道路トンネル特有の評価項目を取り入れる等により、本研究では使用性能としている。さらに、「耐震性が良い」、「建築限界が確保されている」、「地表面への影響はない」等の新しい照査項目を追加している。

表-1 本研究で提案する要求性能および照査項目

要求性能および照査項目			
構造安定性能	荷重に対し覆工が安定	周辺環境への環境性能	周辺景観と調和
	周辺地山が安定		振動・騒音が無い
	耐震性が良い		地下水への影響はない
安全性能	排水性が良い	耐久性能	地表面への影響はない
	覆工が剥離しない		防水性が良い
	非常時避難通路の確保		覆工材が安定している
	消火活動が可能		点検が容易
使用性能	建築限界が確保されている	維持管理性能	補修・補強が容易
	走行性が良い		建設費が安価
	閉塞感が無い	経済性	LCCが安価
	換気性が良い		

(2) 本研究で提案するトンネルの要求性能と現状の健全度評価の関係

道路、鉄道、電力の各事業者で実施されている現状のトンネルの健全度評価法^{3)・8)}により、本研究で提案するトンネルの要求性能が照査可能か否かを検討する。

現状では、各事業者は、定期的にトンネル全体を対象として網羅的に行う点検と、その点検でより詳細な調査が必要と判断された箇所を対象として重点的に実施する点検に区分して、段階的な点検を実施している。ここでは、前者を一次点検、後者を二次点検と総称する。例えば、鉄道における全般検査は一次点検、個別検査は二次点検に相当する。表-2に一次点検および二次点検の区分を、図-2に現状の山岳トンネルにおける一般的な維持管理の流れ⁹⁾を示す。同表および同図より、現状では、一次点検において、トンネル全長を対象に迅速かつ全般的な点検を実施し、そこで何らかの問題点が見いだされた場合、詳細な二次点検を実施して必要な対策工を選定している。そのため、二次点検においては、対策工の設計に必要な定量的なデータを得られるような調査手法が採用されている。

本研究で提案するトンネルの要求性能と各事業者で実施されている現状のトンネルの健全度評価の関係を表-3に示す。同表中の○は現状の健全度評価で要求性能の照査が十分可能なもの、△は定性的な照査は可能であるが定量的な照査が困難なもの、×は現状の健全度評価では照査が困難ものを示す。ただし、同表中の「経済性」については、健全度評価では照査が不可能なので「－」で示す。また、一次点検において○であり、二次点検の必要がないものは、二次点検を「－」としている。

表-2 一次点検および二次点検の区分

一次点検	・変状の発現を早期に捉え、その状態を把握することを目的とする。
	・覆工表面を直接観察する目視調査およびハンマーで覆工表面を打撃する打音調査により判定する。
二次点検	・一次点検に基づいて実施する。
	・変状状況の把握、原因の推定、構造物としての健全性、対策工の必要性等、変状に関する詳細な情報を得ることを目的とする。
	・道路トンネルでは一般に、調査という。
	・非破壊検査、ひび割れ計測、内空断面測定、調査ボーリング、強度試験等により判定する。

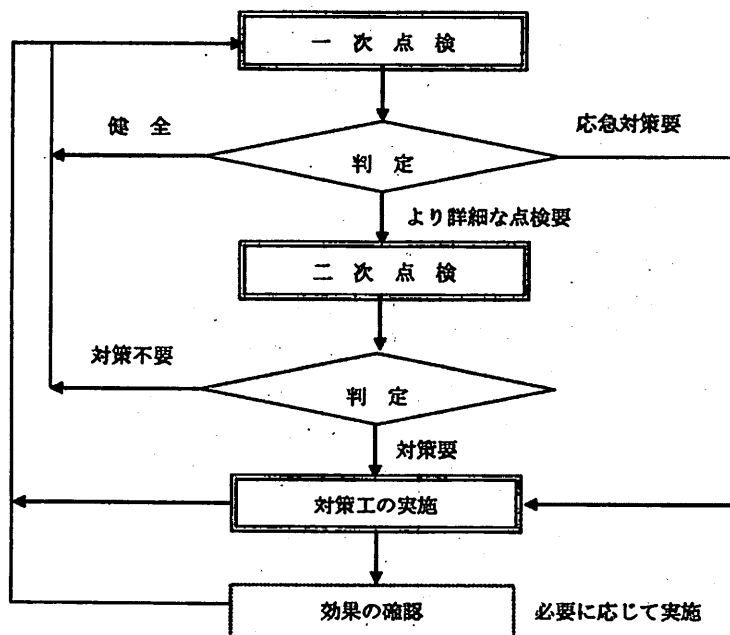


図-2 現状の山岳トンネルにおける一般的な維持管理の流れ⁹⁾

表-3 本研究で提案するトンネルの要求性能と健全度評価の関係

要求性能および照査項目		評価	一次点検	評価	二次点検
構造安定性能	荷重に対し覆工が安定	△	覆工を対象とした目視や打音により把握することができ	△	覆工コンクリート強度試験、覆工背面調査、ひび割れ調査等により把握することができる
	周辺地山が安定	△	覆工を対象とした目視や打音により把握することができ	△	地質・地山調査、ひび割れ調査等により把握することができる
	耐震性が良い	△	覆工を対象とした目視や打音により把握することができ	△	ひび割れ調査等により把握することができる
	排水性が良い	○	路面の滞水状況から把握することができる	—	—
安全性	覆工が剥離しない	○	覆工を対象とした目視や打音により把握することができ	—	—
	非常時避難通路の確保	○	現地確認や資料整理により把握することができる	—	—
	消火活動が可能	○	現地確認や資料整理により把握することができる	—	—
	建築限界が確保されている	△	目視により把握することができる	○	内空変位測定、内空断面測定により把握できる
使用性能	走行性が良い	○	目視（スス汚れ、漏水状況等の把握）により把握することができる	—	—
	閉塞感がない	○	目視により把握することができる	—	—
	換気性が良い	△	目視（空気の透過性）により把握することができる	○	ガス測定により把握することができる
	周辺景観と調和	○	目視（坑門の状況等）により把握することができる	—	—
周辺環境への影響性能	振動・騒音がない	△	現地確認により把握することができる	○	騒音・振動計測により把握することができる
	地下水への影響はない	△	目視（漏水状況）により把握することができる	○	漏水調査により把握することができる
	地表面への影響はない	△	土被りが小さい場合は、地表踏査により把握することができる	△	ひび割れ調査等により把握することができる
	防水性が良い	△	覆工を対象とした目視で把握することができる	×	覆工内部の漏水経路を把握することは困難
耐久性能	覆工材が安定している	△	覆工を対象とした目視で把握することができる	△	サンプリングコアを用いた試験により把握することができる
維持管理性能	点検が容易	△	比較的容易であり（ただし規制は伴う）費用は安い（精度は低い）	△	精度は高いが、点検内容によって大がかりとなり、容易ではなく、費用は高い
	補修・補強が容易	△	変状原因が把握できないため、正確な補修・補強工法を選定できない	○	変状原因が把握でき、適切な補修・補強工法を選定することができる
経済性	建設費が安価	—	—	—	—
	LCCが安価	—	—	—	—

(3) 今後の検討課題

現状のトンネルの健全度評価を用いて、本研究で提案するトンネルの要求性能を照査する際に、今後考慮すべき検討課題を整理する。なお、ここでは、二次点検において「△」「×」「－」（定量的な照査が困難なもの）を対象としている。

a) 荷重に対し覆工が安定

地山と支保・覆工が一体となった山岳トンネル特有の問題として、覆工の安定性を評価する際に、それに作用する荷重の評価が非常に困難であることが挙げられる。つまり、現状では、供用開始後のトンネルの覆工に作用する荷重を直接計測可能な機器や調査手法が確立されていないこと。それに関しては、現状では、覆工に発生したひび割れの性状（方向（横断方向、縦断方向）、連続性（長さ、開口状況）、間隔（ひび割れ密度）、幅および深さ等）の時間的変化を計測することにより、覆工に作用する荷重を間接的に推定する手法が採用されている。例えば、（財）鉄道技術総合研究所他では、ひび割れ等の発生原因を解明するため、覆工に作用する荷重の大きさと分布状況、載荷方向、背面の空洞の有無等を考慮した模型実験、解析が実施されている¹⁰⁾。

b) 周辺地山が安定

通常、トンネル掘削後、支保により地山が安定した（例えば、内空変位が収束した等）ことを確認して、覆工コンクリートを打設する。しかしながら、供用後に何らかの原因で地山の性状が変化して不安定化し、覆工に作用する荷重の状態が変化することがある。ただし、現状では、覆工にひび割れ等何らかの変状が発生する以前に、周辺地山の安定性を照査することは困難である。従って、現状では、供用後の内空変位の増加傾向、覆工に発生したひび割れ性状の時間的変化を計測し、地山の安定性を間接的に評価している。また、周辺地山を直接調査する方法として、ボーリング調査による覆工背面の地質状況の確認、地中変位計等の計器をトンネル周辺に埋設し周辺地山の変位の確認すること等が実施されている。

c) 耐震性が良い

トンネルは地震に対して構造的に堅固であると考えられるが、トンネルの耐震性（レベル2相当）に関する検討は最近始まったばかりである。従って、現状では、地震時に何らかの地質構造的な原因で外力をうけていた区間、構造的な欠陥があった箇所等において、覆工の押出し、覆工に生じた剥落・ひび割れ等の変状を調査することにより、照査が試みられている。

d) 地表面への影響はない

土被りが小さい場合、地表面への影響の有無は、地表踏査によりある程度把握できる。ただし、それ以外の場合、覆工にひび割れ等の変状が生じた際、地表面付近にまで影響が及ぶ可能性があるので、覆工の変状調査（ひび割れ調査等）結果を考慮して、照査する必要がある。

e) 防水性が良い

覆工表面の漏水状況は、目視により容易に把握することができる。ただし、覆工内部の漏水経路を把握することは困難である。

f) 覆工材が安定している

上記の防水性同様、変状は表面から進行するため、覆工材の安定は、覆工表面の目視である程度照査することができる。また、変状が進行した場合の内部の覆工材の性状は、二次点検でコアリングし、コアサンプルを対象とした試験結果により照査することができる。ただし、コアリングにより覆工を破壊してしまうこと、調査箇所を増やすと費用が高価になることを考慮すると、非破壊である程度覆工内部まで覆工材の安定性を照査することできる、非破壊調査技術の開発が望まれる。

g) 点検が容易

従来はこの観点からトンネルは設計されていなかった。今後、この要求性能を満足するトンネル設計が望まれる。

h) 建設費が安価および LCC が安価

計画・発注から施工に至るまでのトータルコストを評価する必要がある。今後は、上記のような評価ができるシステムの確立、情報の蓄積およびそれらの一元管理が必要と考えられる。

3. おわりに

本研究で提案するトンネルの要求性能は、表-3 に示したように、現状の健全度評価法を用いれば何らかの形で照査することができる。このことは、近年多発した覆工の剥離・剥落事故に対応するため、鉄道、道路の各事業者により、変状の調査法、調査結果の整理法、変状ランクの判定法が詳細にわたってマニュアル化され、定性的な照査にとどまることが多いものの、維持管理上、問題が無い程度の照査が可能となったことに起因している。ただし、現状では、覆工と地山が一体化した山岳トンネル特有の構造における、覆工の劣化・変状の発生と進行のメカニズムがいまだに不明確であるため、特に構造安定性能を照査する際、これらの調査結果を定量的な照査に十分に結びつけることができない。

今後は検討課題で示したように、各要求性能をより定量的、客観的に照査できる調査手法およびシステムの確立が望まれる。その際、特に山岳トンネルの覆工の劣化・変状の発生と進行のメカニズムを明確にすることで、構造安定性能を定量的に照査することができる。

最後に、本研究は、土木学会地下空間研究委員会維持管理小委員会（2005-2008）の活動の一環としてとりまとめられたものであり、貴重な資料のご提供およびご助言を頂きました委員の皆様に深く感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 岡田正之、藤原康政、山田浩幸：山岳トンネルの要求性能と照査項目に関する一考察，第 10 回地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.10，pp.213-220，2005.
- 2) 地下空間研究委員会 維持管理小委員会，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：地下構造物のライフサイクルデザイン／マネジメント時代に求められる良質な地下構造物のつくり方とつかい方のトレンド，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.
- 3) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領（案），2002.
- 4) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.
- 5) 日本道路公団：道路構造物点検要領（案）7-4 トンネル，2003.
- 6) 東・中・西日本高速道路：設計要領第三集トンネル編トンネル本体工保全編，2006.
- 7) 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 コンクリート構造物），丸善，2007.
- 8) 東京電力株式会社 工務部 工務土木グループ：トンネル点検の手引きー健全な水路トンネルを維持するために，2000.
- 9) 土木学会 トンネル工学委員会 技術小委員会 維持管理部会：トンネルの維持管理（トンネル・ライブラリー14），2005.
- 10) 鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル，pp.252-272，2007.