

性能に着目した地盤構造物の維持管理について

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦
長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学工学部 学生員 ○竹下 揚子

1. はじめに

最近、コンクリート構造物の安全性低下が問題となっており、特にトンネルにおいては剥落事故等の発生で、既設構造物の維持管理の在り方について議論されている。また、近年の土木工事への投資費用の増加から、より合理的な構造物の設計が求められ、設計と施工、維持管理をトータルに考えたLCCという概念が注目されている。本研究は、地盤構造物の‘性能’に着目した健全度評価によって構造物の限界状態を明らかにするために、トンネル維持管理の現状から問題点を抽出し、今後の維持管理への提言を行うものである。

2. トンネル変状の現状

トンネル変状の調査によれば要因は概ね以下の3つに分けることができる。

- ①塑性圧、偏圧など地山(覆工も含む)の影響によるもの
- ②圧巻不足、施工不良など施工上のミスによるもの
- ③材料劣化、緩み圧など経年的変化によるもの

このうち、②については施工技術面の問題であって今後の改善が望まれる。①、③については既設トンネルが今後直面してくる問題であるが、変状の進行程度などトンネルの持つ不確定要因から確実に予測することは難しく、定期的な監視と適切な評価判断が求められる。

著者らはまず、九州管内の交通に供するトンネルを対象に、過去5年間に補修した既設トンネル(66本)について、維持管理の現状を調査した¹⁾。トンネル変状の現象と対策工の関係を表-1に示す。それぞれの変状程度に合わせて対策が行われているようではあるが、一方で剥離・剥落が認められても覆工の落下は無いものとして簡易な対策を行っている事例もあれば、ロックボルト工などで補修している事例もあり、管理者の経験に基づく判断によるところが大きいようである。トンネルにおける点検は、主に覆工コンクリートの変化を目視により判断していることから、評価に人為的影響を受けやすく、また表面での徴候だけで地山の様子を判断するものであるから、正確な判断が行われているとは言い難い。

このように、トンネルは既往設計の持つ不確定要因から、トンネルに変状が生じてもどのレベルで使用に支障をきたすのか、明確に示すことができないのが現状である。そこで、トンネルに要求される性能を明らかにし、その性能を健全度の評価で示すことにより、構造物の限界状態の判断基準を確立しようと考えた。

3. 限界状態の評価にあたって

本研究では、トンネルの目的を「安全かつ快適な交通の便に供する」とし、その要求性能を安全性・修復性・使用性・美観の4つと考えた。トンネルの現在の点検手法から、維持管理が覆工の経年的変化の状態に集約されると

表-1 九州管内のトンネル変状現象と対策工との関係(件数)

	漏水	ひび割れ	剥離・剥落	老朽化
漏水防止工	23	1	1	5
吹き付け工	7	2	6	8
表面塗布工	2	1	7	1
鋼板接着工	4	-	-	-
裏込め注工	4	1	2	2
注入(樹脂)工	3	2	1	3
炭素繊維シート工	-	1	1	-
ロックボルト工	-	-	1	1
鉄筋モルタル工	-	1	1	1
計	43	9	20	21

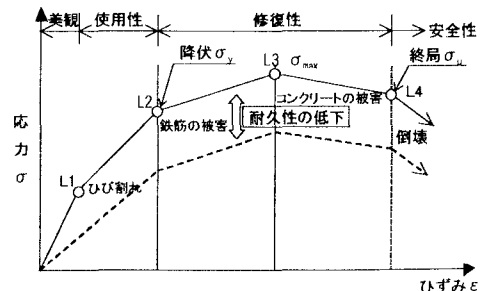


図-1 トンネル構造物の性能の概念図

考え、覆工の構造体としての状態変化を応力～ひずみ関係で捉え、模式的に示したのが図-1である。トンネルの構造物としての限界状態について、過度のひび割れや変形等により正常な使用ができなくなったり耐久性を損なう状態を使用限界状態、構造物の破壊や大変形等で安定や機能を失う状態を終局限界状態と定義すると、使用限界状態は使用性に、終局限界状態は修復性に対応していると考えられる。使用限界状態を超えると何らかの変状が生じる恐れがあることから、使用性に重点をおいて健全度の評価基準について検討を行うことにより、事後対策から予防対策への転換を望むことができ、LCCの中でより合理的なものになると考える。

現在のトンネルの設計方法は、覆工を有限要素法で、地盤をそれとは切り離してばねで表現する骨組み解析法で行うのが一般的である。現状の設計法で安全面に対して問題が生じているわけではないが、最適かつ合理的な設計という点では、覆工が過剰に設計されているという指摘がなされている。これを踏まえ、最近はより合理的な設計法として限界状態設計法が注目されている。90年代には日本鉄道建設公団でトンネル覆工の設計に限界状態設計法を適用した指針が示されている²⁾。以上のことより、構造物の限界状態を定量的に示すことが求められていると言えるであろう。

トンネルの変状は周辺地山の塑性膨張圧発生によるところが大であるため、地山の初期応力状態と塑性領域の発生状況との関係を検討した³⁾。図-2では、横軸は地山強度比 Srp 、縦軸は側圧係数 K を表す。円形トンネル周辺に黒く塗りつぶした部分が塑性域を示す。塑性圧は地山が膨張し、変形することによってトンネル覆工に影響を及ぼす。天端部より側壁部の方が塑性域が広く発生していることから、ダイレーションによって変状を促進させるおおまかな箇所がわかる。このように、地山変形のメカニズムがわかることによって、どこに変状が生じやすいのかあらかじめ予測することができ、より正確に変状の生じやすい箇所を知ることができる。

骨材を含めた覆工の限界状態を評価するために、解析に粒状個別要素法(PDEM)を用いる。これにより、これまでの覆工または地山のみでの評価から、覆工と地山を一体とした挙動を取り扱うことになり、より忠実に変状メカニズムを解明することができる。地山と覆工の変状解析結果を図-3に示す。覆工強度の時間的劣化の影響を調べるために粘着力を低下させた。トンネル天端部に覆工の剥落が見られた。これにメカニズムを考慮することで、より現状に近い性能評価を出すことができると考えられる。

4. おわりに

今後のトンネル維持管理の在り方や、より合理的な設計法の導入へつなげていくため、トンネルの限界状態を示すことで現状の「性能」を表す方法の提言を行った。今後はトンネルの覆工の限界状態を明確に示し、変状のメカニズムを評価に反映させるよう詳細な解析的検討と現場応用を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 吉田直紹, 松井謙二, 蔦宇静: これからの山岳トンネルの維持管理のあり方について, トンネルシンポジウム in 九州論文集, pp. 93-96, 2001.
- 2) 併進工法設計施工研究委員会編: 併進工法設計施工法(都市トンネル編), 1992.
- 3) 蔦宇静, 棚橋由彦, 元尾秀行; 山岳トンネルの変状メカニズムに関する研究, トンネルシンポジウム in 九州論文集, pp.155-160, 2001.
- 4) 吉田直紹, 岩上憲一他: 地盤工学会九州支部委員会報告書 「性能」に着目した地盤構造物の維持管理技術 山岳トンネル, pp. 4-1~4-37, 2000.

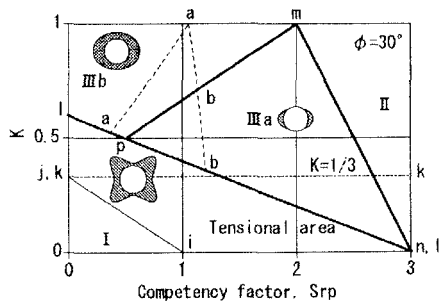


図-2 地山の初期応力状態と塑性領域の関係図

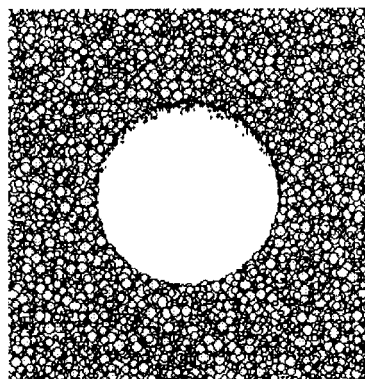


図-3 地山と覆工の変状解析モデル