

性能に着目した地盤構造物の維持管理手法に関する基礎的研究

- 道路トンネルの限界状態評価 -

長崎大学工学部 学生員 ○ 竹下 揚子 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 建設技術研究所 正会員 吉田 直紹

1. はじめに

最近、コンクリート構造物の安全性低下や公共事業に対するコスト削減が問題となっており、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。本研究は、道路トンネルの「性能」に着目し限界状態を明らかにすることによって、今後のトンネルにおける維持管理への提言を行うものである。

2. 道路トンネルの変状現状の分析

道路トンネル変状について文献調査を行ったところ、変状の要因は 圧巻不足、施工不良など施工上のミス、 塑性圧、偏圧など地山(覆工を含む)の影響、 材料劣化、緩み圧など経年的変化、の 3 つに分けることができる。図 - 1 に道路トンネルの変状の現象(奥行軸)と原因(横軸)別の頻度を示す。変状が発生しても何が原因であるか判断することは難しく、中にはいくつかの原因が複合して変状が発生している例もあり、変状が構造にどのような影響を与えているのかが判断できない。また、変状現象とその対策工についても、それぞれの変状程度に合わせて対策が行われているものもあるが、一方では剥離・剥落が認めら

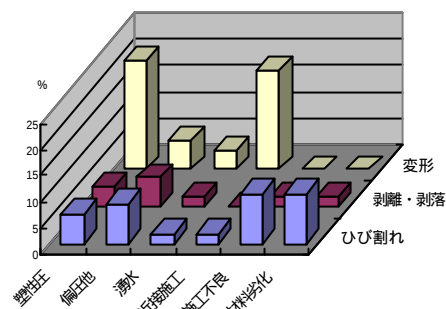


図 - 1 道路トンネル変状の現象と原因の関係

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、かたや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、判定基準も曖昧な上に管轄する各機関によって異なっており、変状に対して統一した判断が行われていないのが現状である。

このように、トンネルは変状が生じて構造にどの程度影響を生じるか、今後どのくらいで使用に支障をきたすのか、等を明確に示すことができない。そこで、これらの問題を解決する方法として、道路トンネルに要求される性能を明らかにし、目標性能を構造物の状態、ここではそれを限界状態として示すことで構造評価の判断基準とする手法を提案する。

3. 限界状態の定義

本研究では、道路トンネルの目的を「安全かつ快適な交通の便に供する」とし、その目標性能を表す指標として、安全性・修復性・使用性・美観の4つを提案する。それぞれの目標性能として、安全性：人命に被害を及ぼさない、修復性：供用を妨げずに修復できる、使用性：機能が低下するような変状が生じない、美観：覆工表面の美観が損なわれない、と設定する。道路トンネルの現在の点検手法から、維持管理を行う判定基準は覆工の変状に集約されると考え、覆工の構造体としての状態変化を

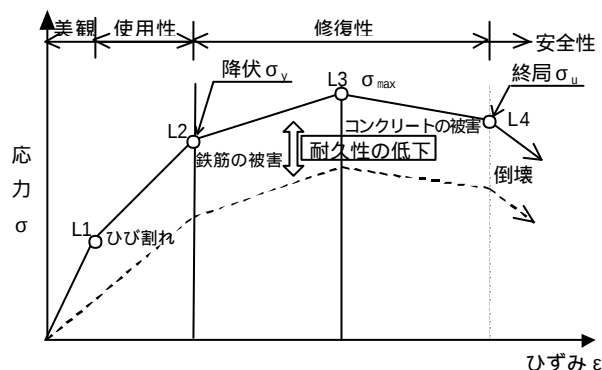


図 - 2 トンネル構造物の性能の概念図

キーワード： 性能，限界状態，維持管理，地山メカニズム，覆工劣化

連絡先： 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部 TEL 095-847-1111 FAX 095-848-3624

応力～ひずみ関係で捉え、模式的に示したのが図 - 2 である。トンネルの限界状態として、トンネルの供用に支障がない程度に変形がとまっている状態を使用限界状態、覆工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、使用限界状態と終局限界状態の境目は、使用性から修復性の間に対応していると考えられる。明確な境界がないのは、構造物ごとに要求される性能が異なるからである。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、ここに変状の判定基準を設定する。つまり使用限界状態に到達しないことを目標にすれば、現在のような事後対策から予防対策への転換を望むことができ、より合理的な維持管理ができると考える。

3. 限界状態の評価にあたって

トンネル覆工の限界状態を明確な数値として示すには、トンネルにおける不確定要因を明らかにする必要がある。本研究では地山メカニズムと材料や構造の劣化が重要な要素であると考え、この2点について解析的検討を行った。

地山の変状メカニズムについては、地山の初期応力状態と塑性領域の発生状況との関係を理論的に検討した。図 - 3 では、横軸は地山強度比 S_{rp} 、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に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箇所が概ね把握できる。また、地質の変化箇所や近接施工が覆工に及ぼす影響も解明されつつある。これらの地山変形のメカニズムを考慮することによって、より正確に変状の生じやすい箇所や規模を把握することができる。

次に、覆工の劣化を検討するために、本研究では覆工コンクリート内のコールドジョイントや骨材等の影響効果を反映できる粒状個別要素法(PDEM)を用いた解析手法を試みた。トンネルの劣化を表現するために、覆工部材の粘着力を低下させて解析を行った結果の一例を図 - 4 に示す。経年状態(b)は初期状態(a)より粘着力を20%低下させており、枠部を拡大して表示している。覆工の剥落が確認できることから、覆工強度は材料劣化によって低下し、トンネルの崩壊につながる可能性があることを示している。また解析結果から、周辺地山の応力が大きくなり、覆工に作用する塑性圧も生じていることが判明している。ただし、劣化については時間軸を持つため、それを考慮する必要がある。今後はより詳細な解析によって、具体的な限界状態を定める予定である。

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にむけて、トンネルの‘性能’に着目したひとつの限界状態の評価方法を提案した。これらの研究はまだ始まったばかりであり、まだ適用事例がない。実設計に用いて不適切な部分が生じた場合にそれを柔軟に取り入れるシステム作りが必要であり、性能評価に対しては設計・施工側の一方的な指標ではなく、利用者にもわかりやすい、‘ユーザーの利益’となるような評価作りを目指す必要がある。また、限界状態を明らかにすることは、今後導入が見込まれる限界状態設計法やLCCへの適用も可能であろう。

今後はトンネルの覆工の限界状態を明確な数値として示し、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、室内模型実験と現場応用を行う予定である。

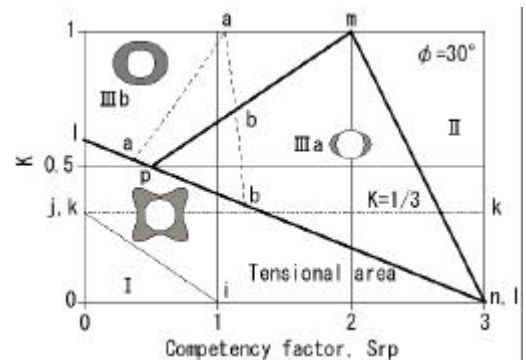
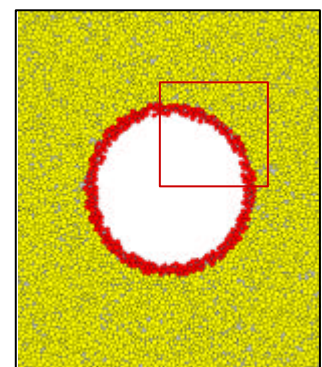
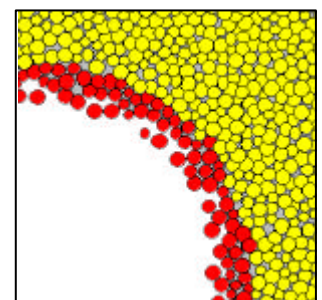


図 - 3 地山の初期応力状態と塑性領域の関係



(a) 初期状態



(b) 経年変化による剥離

図 - 4 地山 - 覆工状態の変化