

導水路トンネルの健全度評価に関する基礎的研究

(株)ニチゾウテック 正員○白倉篤志 有馬健次 竹下謙一
神戸大学工学部 正員 宮本文穂

1. はじめに 近年、山岳工法によって施工されたトンネルの損傷による事故が増加の傾向にあり、社会的不安を起こしている。トンネルの損傷は重大な事故に繋がり易いため、コンクリート構造物の中でも特に維持管理に対する関心が高まっている。このような背景から、トンネルの維持管理に関するマニュアル¹⁾、便覧²⁾が発行されている。前者はトンネルの変状原因を推定することによる対策工法の選定について提言したものであり、トンネルの健全度を評価する手法については言及していない。また、後者は維持管理に関する標準的な指針を示し、健全度の評価法についても言及しているものの、現時点では「目安」に留めており、総合的な評価法については明言していない。

本研究では、上記のような現状を考慮して、山岳工法により施工されたトンネルの内、導水路トンネル(無筋、無圧式)を維持管理する上で不可欠となる健全度評価を、評価項目を選定し、それらのグレーディングを設定することによって、総合的に行う手法について検討した。

2. 検討方法

2.1 評価項目 道路トンネル等では、通行者・通行車両に対する危険を第一に考慮しているが、導水路トンネルについては、構造物の崩壊(特にアーチ部)による送水の停止を重点に置くことが多いため、今回は構造物が崩壊する可能性の有無を対象として評価することとした。すなわち、導水路トンネルの崩壊のメカニズムとしては以下の3つが考えられる。

- ① 外力の増大 → ひびわれの発生 → ひびわれの増大(進行) → 崩壊
- ② コンクリートの耐力低下 → ひびわれの発生 → ひびわれの増大(進行) → 崩壊
- ③ 背面地山の崩落 → 崩壊

上記③は、トンネルに変状が現れず突発的に起こる現象であり、覆工厚不足、強度不足、背面空隙の存在が大きく影響する。背面空隙は、トンネル施工時から存在しているものと、地下水等により背面地山が流出することによって形成されるものがある。以上のことから、評価項目としては、ひびわれ状況、コンクリート強度、覆工厚、背面空隙の存在、漏水の状況の5つを考えた。

2.2 グレーディング 健全度を総合的に評価するには、上記評価項目の個々についてグレーディングを行う必要があるが、グレーディングについては今後の検討課題とし、今回はトンネルに悪影響を及ぼす程度を各々の評価項目についてA・B・Cの3ランクで考えた(Aが小、Bが中、Cが大に対応)。

2.3 評価方法 各評価項目について判定された結果を総合評価する方法としては、各項目のランク毎に点数を与え、その合計点数で評価する方法が一般的である。例えば、A・B・Cのランクに対し、1, 3, 5の点数を与えると合計点数は3~25点となり、点数の大きいものほど損傷状況が大きいといえる。しかし、このような単純な加算では、1項目だけ非常に悪い結果が得られても、総合評価すると軽微なものになってしまう。このため、次の方法により総合評価を行った。すなわち、トンネルの健全度を評価する上で及ぼす影響の度合(感度)は、各項目毎の評価によって異なると考え、図1に示す感度曲線を設定した。図1は、横軸に各評価項目に対する評価結果を、縦軸に健全度の予測結果を示したもので、各々0.0~1.0の数値で表している(0.0:健全な状態, 1.0:管理限界の状態)。ここに示した曲線①は、評価項目に対する評価結果が比較的低い場合においては、健全度の予測結果に及ぼす影響は非常に軽微なものであるが、曲線③では、評価結果が比較的低い場合においても、健全度の予測結果に及ぼす影響はかなり大きい。具体的には、ひびわれを

評価する場合、横断方向のひびわれと水平方向のひびわれでは、同程度の状態であれば水平方向のひびわれに対する評価の方に重きをおく。すなわち、横断方向のひびわれを図1の曲線①、水平方向のひびわれを曲線③と考えた場合、横断方向のひびわれはAランクと判定された場合の健全度の予測結果は0.01であるが、水平方向のひびわれはAランクでも0.35となり、かなり現実的なものとなる。各評価項目がどの曲線に対応するかは検討の余地があるが、今回は表1のように仮定した。また、これから得られた各評価項目の評価結果を総合評価する方法を図2に示す。一例として、突発性の崩壊の可能性を考えると、ひびわれ状況(なし：Aランク，0.01)，コンクリート強度(Aランク，0.01)，覆工厚(Cランク，0.65)，背面空隙の存在(Cランク，0.65)，漏水の状況(Aランク，0.01)という結果が得られた場合、総合評価は、

$$0.01 + (1 - 0.01) \times 0.01 + (1 - (0.01 + 0.0099)) \times 0.65 + (1 - (0.01 + 0.0099 + 0.637)) \times 0.65 + (1 - (0.01 + 0.0099 + 0.637 + 0.223)) \times 0.01 = 0.889$$

となる。この結果は結合順序を変えても同じ結果が得られる。この0.889という値の評価については、総合評価に関するグレーディングを行っていないが、限界値が1.0であることを考えるとかなり損傷が大きいと考えることができる。一方、前述した点数単純加算方法では、 $1+1+5+5+1=13$ となり、最大値が25であることを考えると、この場合中間程度の損傷と考えられる。図2の方法では、1つでも評価の悪い項目が存在すれば総合評価に反映されるので、より現実的であると考えることができる。

3. おわりに 本研究では、導水路トンネルの健全度評価に関し、感度曲線を用いて評価に重み付けを行い、新たな算定方法を提案することによって検討を加えた。その結果についてはほぼ満足のいくものであったが、感度曲線の妥当性や調査方法による判定結果の信頼度を考慮する等の検討余地が多々あると考えられる。今後、実トンネルへの適用を繰り返し、健全度評価に関する手法について検討を加えていくとともに、損傷要因のグレーディングについても検討する所存である。

【参考文献】 1) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990.2 2) (社) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.11

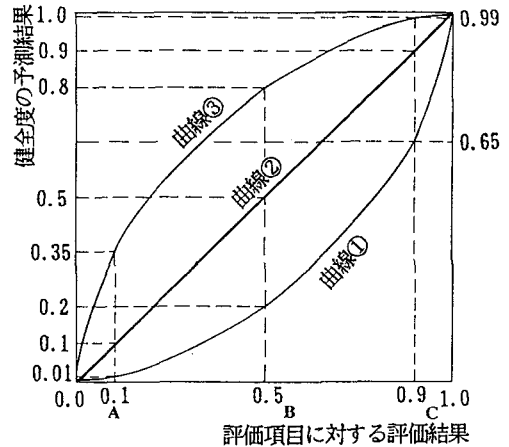


図1 健全度予測における感度曲線

表1 各評価項目の対応曲線

評価項目	対応曲線
ひびわれ状況	横断：曲線① 水平：曲線③ ただし、ひびわれが全くない場合は曲線①のAランクとする。
コンクリート強度	曲線①
覆工厚	曲線①
背面空隙の存在	曲線①
漏水の状況	曲線①

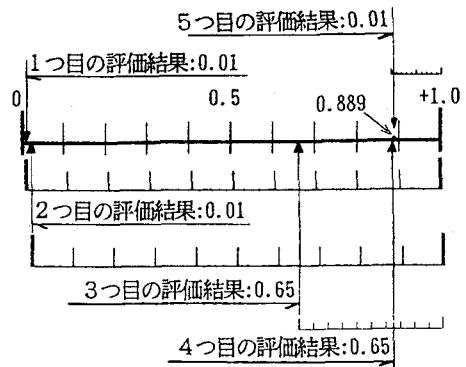


図2 総合評価の算定方法