

トンネルの老朽化・維持管理

東京都立大学名誉教授

今田 徹 Toru Konda

1. はじめに

わが国の社会基盤施設の多くは戦後の復興、高度経済成長期を通して急速かつ大量に供給されたものである。2015年に戦後70年を迎えることになるが、多くの社会基盤施設が建設されてから30～50年を経過し、老朽化の問題に直面することになった。この老朽化の問題は関係者の間では重要な問題として認識されていたが、社会全体として問題であると意識することはなかった。2012年12月に発生した痛ましい笹子トンネルの天井板崩落事故は世間の関心を一挙に集め、社会基盤施設の老朽化が社会問題化し、より重点的な対策が講じられるようになった。世間に老朽化の問題を意識させるきっかけとなったのがトンネルの事故であったことから、トンネルで老朽化が深刻であるような印象を与えている。トンネルでの維持管理の状況について紹介する。

2. トンネルの寿命

トンネルには造られる場所や作り方によって、山を発破や機械で掘削して造る山岳トンネル、シールドと呼ばれ機械で造るシールドトンネル、水底に溝を掘ってトンネル構造体を埋める沈埋トンネルなど、いろいろな種類がある。それぞれに構造が異なり一緒に取り扱うことは出来ない。ここでは、最も一般的な山岳トンネルについて述べることにする。

山岳トンネルは岩盤そのものが構造体であり、他の構造物と非常に異なっている。多く

の構造物は使用する材料の物性が明らかであり、作用する荷重も決めることができる。しかし、山岳トンネルは自然が造った岩盤が主要な構造体であるから、材料としての特性は千差万別である。その特性を把握することにも限界がある。また、どのような荷重が作用しているかを知ることも難しい。構造物を造るときの基本である条件が整っていない。従って、経験や実績に頼らざるを得ない面があり、また、施工した時の岩盤の反応をフィードバックしながら設計を固めていく必要がある。そう多くはないが、供用を開始してから変状を生じることもある。一方、安定な地盤であれば、地質学的な時間による淘汰に生き残った材料で構成されることから耐久性は極めてよい。ローマ時代に造られたトンネルが現在でも使われている写真も紹介されており¹⁾、2000年以上の耐久性を持っている。わが国でも江戸時代初期に造られた箱根用水や辰巳用水は400年を超えて供用されている。むしろ、トンネルの寿命は、幅が狭く交通量の増加に対応できないとか、運河トンネルのように社会情勢の変化でその多くを必要としなくなったというような機能上の制約に影響される。

しかし、近代のトンネルでは、鋼やコンクリートのような人工の材料が多く使用されるようになっている。これにより安定性の悪い岩盤にもトンネルを造ることが出来るようになった。鋼やコンクリートは自然の材料ではなく、厳しい時間の作用に耐えた良好な岩盤に比べて安定性が悪い。これらは工業製品であり、工業製品としての対応が必要である。

社会基盤施設に要求される耐用年数と一般の工業製品の耐用年数との間には大きな乖離がある。

3. 維持管理上の課題

トンネルの維持管理上の課題は、三つのカテゴリーに分けて考えることができる。第一は岩盤が持っている特性を十分把握することが出来ず、岩盤を安定させるための対策が必ずしも十分でなく、トンネルの安定が損なわれる場合である。第二は使用した材料の経年の劣化あるいは施工の問題で、不具合が生ずるもの、第三はトンネルに設けられる二次的な施設、設備の不具合によるものである。

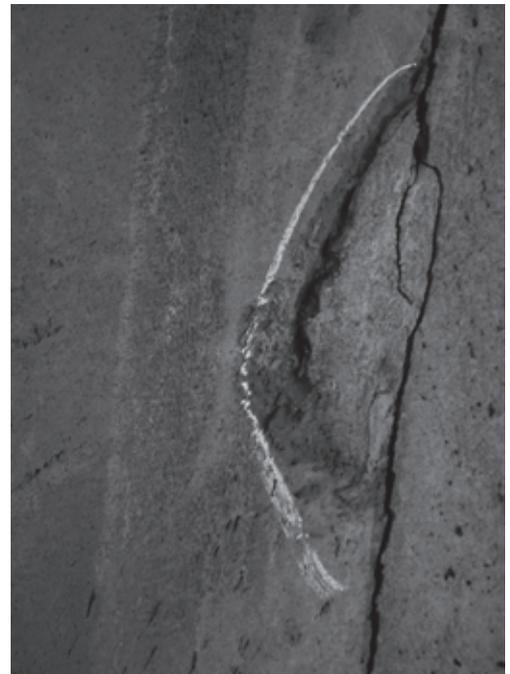
(1) 第一のカテゴリーはトンネルの構造上の基本的な問題であるが、発生事例は多いわけではない。また、例外はあるが、覆工^{※1}や路面の変状などの異常が出て、その進行速度は緩やかで、年単位で見守ることができ、対策を立てるのに時間的な余裕がある。しかし、このような異常の原因が本質的なものであるため、構造上の抜本的な対応が必要であり、対策には時間と多額の費用ならびに交通止めなどトンネルの利用に大きな制約が掛る(図1)。

(2) 第二のカテゴリーは覆工コンクリートのひび割れの発生と、それに伴うコンクリート片の落下や漏水の発生など、直接利用者に影響を与える可能性のあるものである。発生頻度が高く、維持管理に当たって最も厄介な現象である。覆工コンクリートは、本質的に温度変化や乾燥収縮によって体積が変化し、ひび割れが入りやすい性質を持っている。また、覆工は温度の日、年較差の影響を受け、常に力の変化が生じており、ひび割れ部やコンクリートの打ち

図1 土圧によるアーチと側壁接続部の破壊



図2 覆工のひび割れと落下の可能性のあるコンクリート片



継ぎ目部では力が集中して断片化しやすい(図2)。漏水が加わると劣化が促進される。トンネルの工法は変化を続けており、近年のトンネルではトンネル周辺に防水層を設けて、漏水が生じないようにされている。しかし、1970

※1
覆工
トンネル掘削後の岩盤の内面をコンクリートで被覆すること。

年代以前のトンネルでは、漏水対策が施されておらず、問題となることが多い。覆工のひび割れには作用荷重の変化によるものが当然含まれるが、多くはコンクリート自身の問題であると考えられることができる。ひび割れの変化が大きい場合は、第一の категорияとして対応が必要になる。

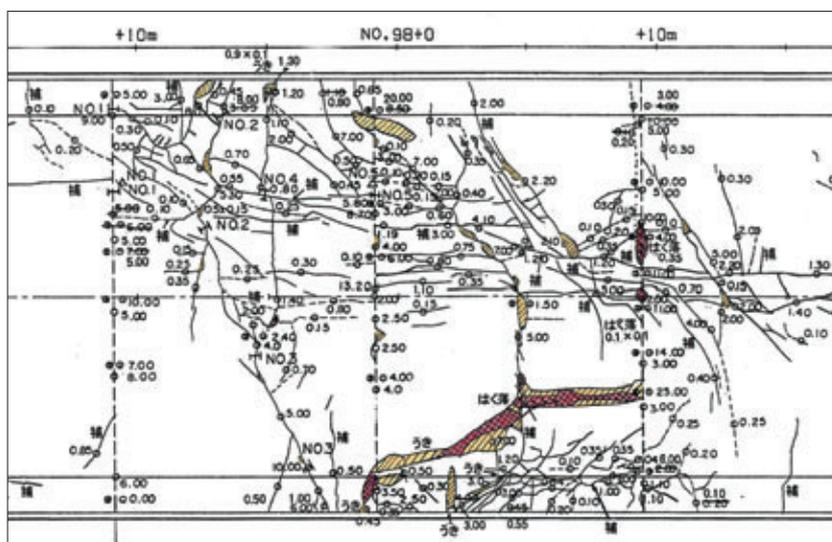
(3) 第三の category はトンネル内に設けられている施設や設備に関するものである。トンネルでは用途によって各種の設備が設けられる。特に道路トンネルでは、交通の安全を保つために照明、換気、非常用設備など多くの設備が必要である。照明設備や換気ファンなどは、一般の工業製品であると理解されており、それに基づく管理や、耐用年数に基づいて交換が必要であるという認識で管理される。予算の問題はあるにせよ、技術的な問題は少ないといえる。しかし、問題は本体工とこれらの設備のインターフェースである。これらの設備は本体工に二次的にボルトなどで取り付けられることが多い。笹子トンネルで問題となった天井板は換気設備のために設けられたものである。

このインターフェースは適切に管理されなければならないが、その数は非常に多く、環境が悪い中での管理は容易ではない。

4. 点検

維持管理の第一歩は、管理の対象物がどのようなになっているかを知ることである。すなわち、点検と呼ばれる作業から始まる。トンネルでの点検は容易ではない。トンネルには自動車あるいは水などが流れており、いつでも点検箇所へ近づくことが出来るということではない。機能を止めたり、制限をしたりすることが必要になることが多い。社会基盤施設は直接市民生活や社会活動に直結しているため、利用の制限の影響を少なくすることが必要である。このことを考えれば、点検の機械化や自動化が必要になる。トンネルの壁面をスキャンし、ある程度の割れ目を含む壁面の状況を記録することはできるようになってきたが、これは維持管理に必要な出発点にあたる情報が得られるに過ぎない (図3)。実際には割れ目がどういう原因に基づくものかを知ることが重要である。このためには人が割れ目に近づいて観察し、打音などによって

図3 ひび割れ図 (変状の激しい例)



割れ目の内部の状況や原因を推定する必要がある。状況によって測定器を設置するなどして経過を観察する必要も出てくる。

設備を取り付けるボルトなどの定着装置の数は膨大な数に達するが、一つ一つ目視や打音によって点検せざるを得ず、点検するには大きな努力が必要である。いずれにしても人が入ることが必要であり、確実な点検を簡単に行えるような状況ではない。

点検結果の評価には、その時点の点検結果のみでなく施工時の状況、過去の点検結果など経年の状況が重要である。従って、設計、施工時、竣工時および点検のデータを的確に管理することが必要である。これは当たり前のことであるが、容易ではない。データのほとんどはアナログデータであり、データベース化が容易でないという特性を持っている。数値化して管理するのが理想ではあろうが、数値化には必ず何らかの物差しが必要となる。しかし、トンネルで生じている問題は多様で複雑であり、適切な物差しの研究がなされている段階である。

5. 対策

トンネルを管理していく上で最も注意する課題は、利用者に被害を与えないことである。最も心配されているのはコンクリート片あるいは設備の落下である。コンクリート片の落下は数センチのものでも問題を起こす可能性があり、落下に繋がる可能性のあるひび割れを見つけることは容易でなく、対策が難しい。打音点検時に落ちそうなものは除去するようにするが、作用荷重の変化や経年によるひび割れの増加に常に留意する必要があり、厄介である。ひび割れの程度が悪い場合は、シートを貼付して落下しないようにすることがあるが、今度は貼付したシートの落下のことを心配しなければならないようなことが起こる

(図4)。基本は問題を起こさないコンクリートを打設することで、最近では、コンクリートに繊維を混入したり、コンクリートの打設方法、養生方法の改善などが進められている。

一般の人々が最も心配するのは、トンネルが崩落することではないかと思うが、トンネルが崩落した事例は非常に少ない。今までに数例にとどまる。これは、構造的な問題を示す兆候が出てから、トンネルが構造的な安定を失うには時間を要し、対策を立てる時間的な余裕があるからである。トンネルでは一つの部材が破断すると、それが構造全体の崩壊に至るといようなことはない。

トンネルで発生する構造的不安定の代表的なものは盤膨れである。盤膨れは路面がトンネルの下から持ち上がってくる現象である。岩盤がトンネル内に流動してくるために起こる。盤膨れの恐れがある地盤ではインバートと呼ばれる下に向かってアーチ状の覆工を設けて、岩盤の変位を抑えるが、岩盤の評価が十分でなく、インバートのない設計としたり、構造が十分でないことによって起こる。対策としてはインバートを付け替える。しかし、トンネルの下部を掘り直すことが必要となり、大規模な修繕工事になる。供用中のトンネルでは苦勞する(図5)。

強大な土圧が作用してアーチ部の覆工が著しく変状することもある。覆工の内側にさらに覆工を追加する(内巻きと呼ばれる)こと

図4 シートによる全面補強



図5 盤膨れ補修工事
路面が浮き上がっている



が多いが、覆工を打ち替えることもある。これらの工事では、利用者へ不便を与えることを避けることは出来ない。

最近のトンネルでは漏水が多く出ることは少なくなったが、漏水は覆工や設備に悪影響を与え、また、美観上も良くない。寒冷地ではつららや側水となり、除去する必要が出てくる。トンネルで水を止めることは非常に難しく、原則は水を抜くことである。トンネル周辺の水位を下げるため、水抜きボーリングをすることもあるが、普通は水の出ているところに樋を設けて、交通に影響を与えないようにする。樋を設ければ樋に注意しなければならず、管理項目を増加させてしまう。また、樋はすぐ詰まるなどして寿命も長くない(図6)。

対策として設けられるシートや樋は、寿命が土木構造物に要求されるものに比べて短く、対策として用いるには問題が多い。より寿命が長い材料の開発、より長持ちする使い方の方の検討が必要であるが、費用や補修作業に課せられた制約の中で考えていかなければならない問題である。

6. おわりに

笹子トンネルの事故があったことから、トンネルは危険な構造物と認識されているかも

図6 漏水対策として設けられた樋
詰まった樋を引き剥がしたところ



しれない。しかし、トンネルの本体は安定性の高い構造物である。一方、コンクリート片の落下問題のように、ひび割れの細部まで広い面積にわたって注意しなければならないなど、管理の難しい構造物でもある。構造物を適切に管理していくためには、人材と費用が必要である。これをおろそかにしては管理が出来ない。安全な社会基盤施設を維持管理するためには、社会がその重要性を認識することが最も必要である。

参考文献

- 1) Gunnar Lotsberg : The world longest tunnel Page, 2008.
<http://www.lotsberg.net/data/old.html>

こんだとある

1960年建設省土木研究所入所。1980年東京都立大学土木工学科助教授 1984年 教授、2001年東京都立大学退職、名誉教授となる。
専門分野は土木工学(トンネル工学 地盤工学)。