

道路トンネルの変状実態と対策

The deterioration and counter-measures of road tunnels

稲野 茂* ・ 猪熊 明**

Shigeru INANO , Akira INOKUMA

Recently, some road tunnels have been deteriorating. The deterioration has several forms, for example, crack, collapse, etc. Generally it is thought that force on a tunnel lining or decay of lining concrete causes the deterioration. We are making reserches into the deterioration mechanism. This paper shows the states of detariorated road tunnels and relation between cause and effect.

Keywords: road tunnel , maintenance , deterioration , repair , counter-measure

1. はじめに

わが国の供用中の道路トンネルは、平成2年4月1日現在で箇所数6,705箇所、延べ延長にして1,970kmであり、今後も新規の供用箇所が増大する傾向にある。これらの供用中の道路トンネルに覆工のクラックや変形等の変状が発生する事例が近年いくつか見られるようになっている。供用中の道路トンネルの変状により事故に至った例としては、平成2年2月の千葉県内の国道127号線の小山野トンネルの崩落事故がある。現在のところ、他には大規模な事故に至った例はない。しかし、なんらかの変状が発生している道路トンネルは全国的に数多くあり、このため(社)日本道路協会のトンネル委員会(村上良丸委員長)では、道路トンネルの維持管理のためのマニュアルを策定するための作業を行っている。本報文は、日本道路協会の活動の一環として実施した道路トンネルの変状に関するアンケート調査結果を、変状の実態と関連する要因について、建設省土木研究所で分析した結果を報告するものである。

なお、ここで言う変状とは、覆工のクラックや変形、剥離、剥落、路面の盤ぶくれや路肩側溝の変形・破壊等のことである。広義の意味では変状の中に漏水を含んでいる場合があるが、後述に示すように漏水が発生している道路トンネルは非常に数が多いため、ここでは漏水と変状を区別し、漏水はあるものの覆工等が健全なトンネルは変状トンネルとは呼ばないこととする。

* 正会員 建設省土木研究所道路部トンネル研究室

** 正会員 工博 建設省土木研究所道路部トンネル研究室長

2. 調査概要

現在の道路トンネルの供用年代別の箇所数の構成割合を図-1に示す。供用中の道路トンネルのほぼ半数は、1970年代以降に建設されたものであり、比較的近年に建設された道路トンネルの数が多い。調査は、これらの供用中の道路トンネルの変状の状況に関する資料を得ることを目的とし、道路管理者にアンケート調査票を、郵送により配布、回収することにより行った。調査票の種別は、変状および漏水の概要を調べた全体調査と、変状もしくは漏水がある場合にその状況を詳細に調べた変状調査、漏水調査の3種類の調査票により実施した。回収総数を表-1に示す。

なお、調査は高速自動車国道、国道、都道府県道、主要地方道における供用中の道路トンネルを対象として実施した。従って、道路トンネルの中でも、市町村道、および農道等のトンネルは、本報告の調査分析の対象には含まれていない。

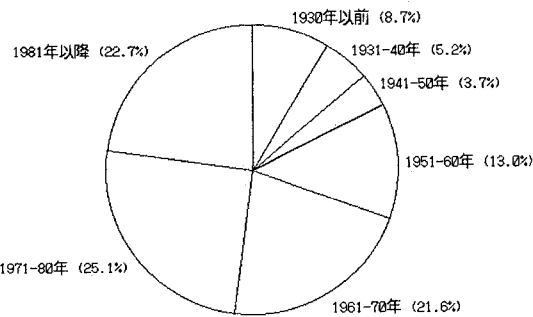


図-1 供用年代の構成

表-1 アンケート回収結果

調査種別	回収票数
全体調査	4、307件
変状調査	501件
漏水調査	1、690件

3. 調査結果

3.1 変状と漏水の発生概要

全体調査に基づく変状および漏水の発生程度の構成割合を図-2と3に示す。これより、漏水が変状よりも発生割合が多くなっている。変状については、軽微な変状を含めても発生割合は24%程度であるのに対して、漏水では軽微なものを含めると半分以上のトンネルで漏水が発生していることがわかる。

山岳トンネル工法の標準工法として現在用いられているNATMでは、一般に防水シート等の防水工を覆工と吹付けコンクリート面の間に設置することにより、ほぼ確実な湧水処理が可能となっているが、NATM導入以前の矢板工法等のトンネル工法では、覆工背面の湧水処理は非常に困難であり、このことにより湧水が発生しているトンネルの割合が多いと考えられる。

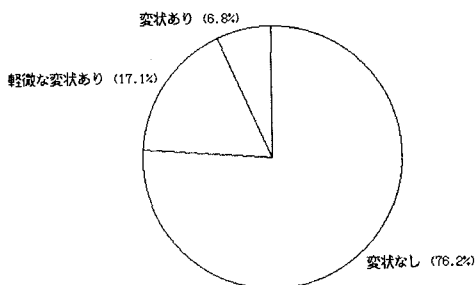


図-2 変状の概況

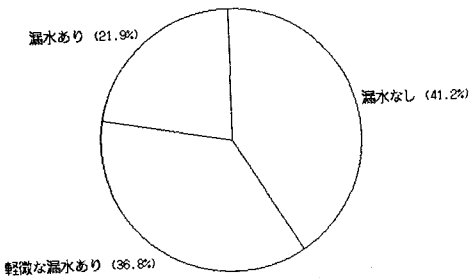


図-3 漏水の概況

3・2 変状トンネルの実態

(a) 変状項目

トンネルの変状の発生形態には様々な項目がある。変状は発生する箇所により、覆工に発生するものと路面や路肩に発生するものに大別することができる。図-4にアンケート調査に基づく変状項目別の発生件数を示す。これより、「覆工クラック」の項目回答数が最も多く、ついで「覆工剥離」、「施工継目の開き」、「石灰等の析出」が多い。「路面の変状」、「覆工塊状落下」、「押しだし」、「路肩側溝の変状」は、上記の項目と比較すると発生件数は少ない。

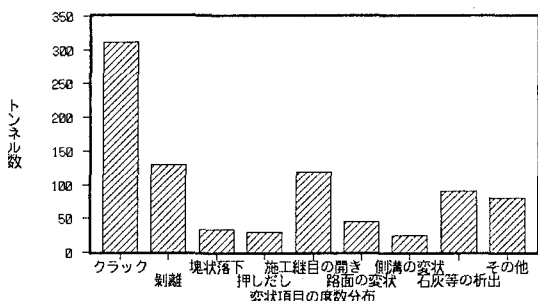


図-4 変状項目別度数分布

(b) 供用年代

図-5に、各年代に新規に供用されたトンネルの数（市町村道等のアンケート調査対象以外のトンネルを除く）と、その内の変状が発生しているトンネルの数（変状調査により得られたトンネルの数）の推移を示す。トンネルの新規供用数は1950年代から急速に伸びている。なお、新規供用されたトンネルの数については、道路統計年報⁵⁾のデータに基づいている。

図-5のデータから、各年代別の変状が発生しているトンネル数の供用されたトンネル数に対する割合（変状トンネル数／供用トンネル数）の年代別推移を図-6に示す。これより、1930年以前および1981年に降に供用されたトンネルでは、ほぼ5%以下の比較的小さい変状発生割合であるが、一方、1930年から1980年の間に供用されたトンネルでは10%～18%程度の比較的大きい変状発生割合となっている。これらのことから、供用後60年以上経た古いトンネルに変状が発生している割合は、供用後10～60年程度経たトンネルに比較して少なく、供用後の年数と変状が発生する割合とは明確な正の相関、すなわち一概に古い時期に供用されたトンネルに変状が発生する割合が多いといった傾向は見られないと言える。1940年代に供用されたトンネルの箇所数は少ないが、変状が発生している割合が高くなっている。一般に1940年代頃のわが国の社会情勢は非常にきびしく、トンネル建設のための資材や技術者が著しく不足していたと考えられ、そのことの影響があるのではないかと考えられる。

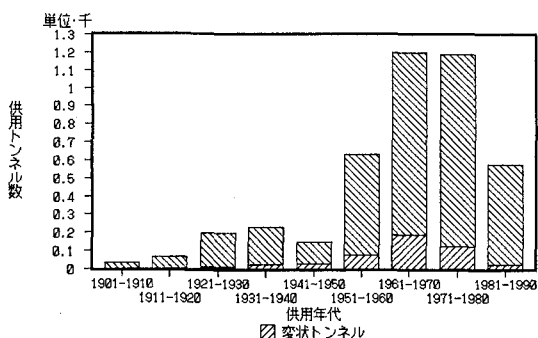


図-5 供用年とトンネル数

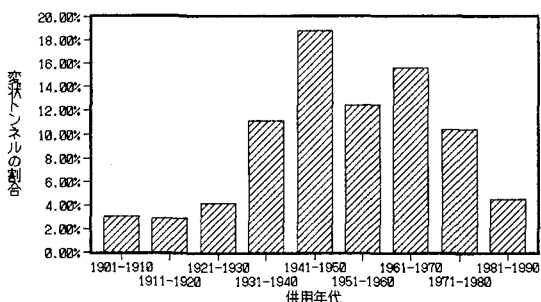


図-6 供用年と変状トンネルの割合

(c) 変状発生までの年数

トンネルの供用後から変状発生に至るまでの年数（供用開始時期と変状発生時期の差）の度数分布を図-7に示す。これより、供用後0～30年の区間では、若干の変動がみられるものの、特に年数と件数の相関がみられない。供用後30年までの区間と30年以降の区間を比較すると、30年以降の区間では件数が少なく、図-7を全体的にみると、変状が発生する件数は供用後30年以内の比較的初期の段階が多く、供用後の年数を経るに従い少なくなる傾向が見られる。ただし、前述の図-5に示すように、供用後30年以上の年数を経

たトンネルの数自体も少ないことに注意する必要がある。

図-7のデータに基づき、アンケート調査から得られた変状が発生しているトンネルを母集団として、変状発生までの年数の累積割合を図-8に示す。これより、供用後30年までの間は、10年に約3割程度の割合でほぼ直線的に変状トンネルの割合が増加し、供用後30年以後では勾配が緩やかになる傾向がみられる。また変状が発生したトンネルの約9割が供用後から概ね30年以内の時期に変状が発生し、一方、供用後30年以上経てから変状が発生するケースは1割程度であることがわかる。

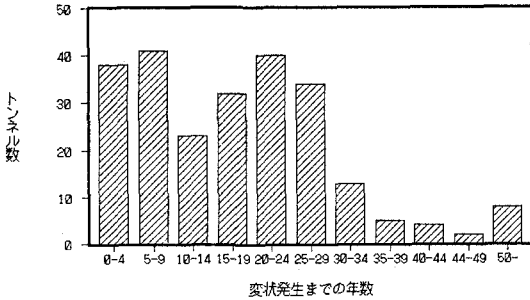


図-7 変状発生までの年数の度数分布

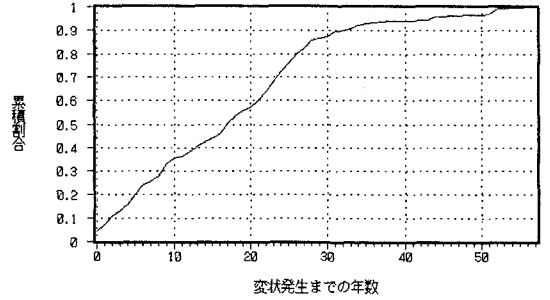


図-8 変状発生までの年数と変状発生の累積割合

(d) 変状トンネルの支保部材

変状が発生しているトンネルで用いている支保部材を図-9に示す。これより、鋼製支保工の使用件数が最も多く、2番目以降は、木製支保工、矢板、吹付けコンクリートの順となり、大きな差はないが、ロックボルトの使用件数は少ない。吹付けコンクリートとロックボルトは、平成元年の道路トンネル技術基準の一部改正により標準的に用いる支保部材となったが、平成元年の改正以前では標準的に用いられてなかったため、回答中の使用件数が少なくっているものと考えられる。

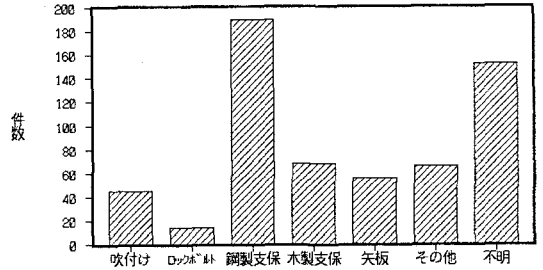


図-9 支保部材度数分布

(e) 変状箇所の土被りと代表岩種

変状が発生しているトンネルの変状箇所の土被りと代表岩種を図-10と11に示す。変状箇所の土被りは、土被りが小さい箇所の件数が多く、土被りが大きくなるにしたがい少なくなる右下がりの分布を示している。なお、土被りが20m以下の小さい箇所については、坑口部での変状が含まれている。変状箇所の代表岩種では、第三紀層が圧倒的に多い。ただし、これらの要因については、各要因ごとの変状のないトンネルでの状況が不明であることから、全数に対する比率に基づいた評価は明らかなではない。

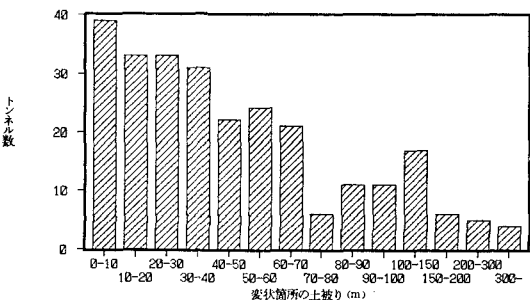


図-10 変状箇所の土被り

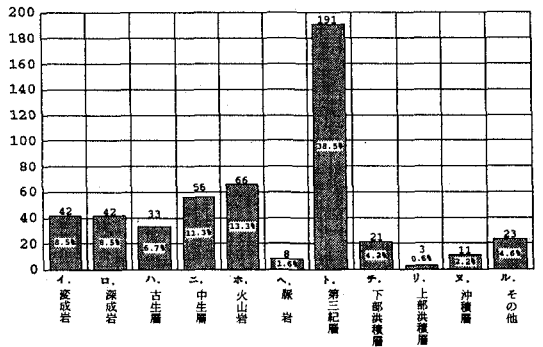


図-11 変状箇所の代表岩種

3.3 変状発生機構の考察

(a)変状原因

一般にトンネルに発生する変状の原因は、変状の発生形態に基づいて分類すると、緩み土圧や塑性圧等の外圧の作用によるものと、覆工コンクリート等の材質劣化によるものの大きく2種類に分類できると考えられている。アンケート調査において道路管理者が変状の原因として判断した項目の件数を図-12に示す。これより「漏水または凍害」の項目が最も多く、次いで「老朽」の項目が多く、以下には、「偏土圧」、「覆工背面の空洞」の回答件数が比較的多い。変状原因のなかで回答件数が多い上位3つの原因項目について地域別に回答割合を集計したものを図-13に示す。これより地域別に変状原因の構成に差があることが分かる。北海道と中部では「漏水または凍害」の回答割合が高く、関東、北陸、近畿および九州では「老朽」の回答割合が高い。中国と四国では他の地域と比較して「偏土圧」の回答割合が高くなっている。

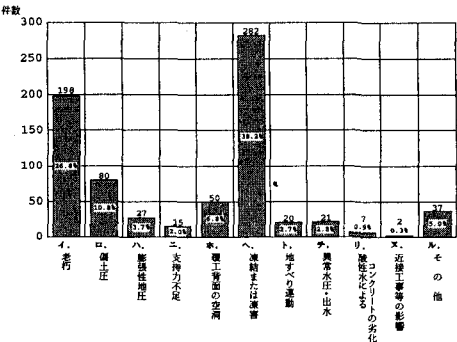


図-1 2 変状原因の回答割合

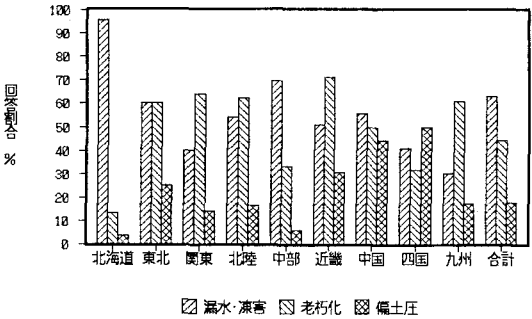


図-1 3 地域別変状原因の回答割合

(b)変状発生までの年数と変状項目

図-14に変状項目別に供用後から変状発生までの年数の構成比を示す。これより、変状項目ごとに傾向に差があることがわかる。「押し出し」、「路面の変状」、「路肩側溝の変状」の項目の回答があるトンネルでは、半分以上が供用後10年以内に変状発生しており、初期段階に変状が発生する傾向が見られる。逆に「剥離」「塊状落下」の回答があるトンネルでは、10年以内に発生するケースは2割以下で半分以上が供用後20年以上経てから発生しており、年数を経ってから発生する傾向が見られる。

(c)外圧による変状

変状項目の「押し出し」は荷重により覆工が変形している状況である。また「路面の変状」および「路肩側溝の変状」は、側圧や下方からの盤膨れ圧等により発生すると一般的に考えられており、材質劣化によって発生するとは考えにくい変状項目である。一般に山岳トンネルのアーチ構造は、上方からの荷重に対して強い構造であるが、その反面、インバートを設置していない場合には側圧や下方からの圧に対して比較的弱い構造であるため、土圧等の荷重の作用による変状は、まず弱点箇所の路面の盤ぶくれ、あるいは路肩側溝の変状として発生すると考えられる。一方、「剥離」、「塊状落下の変状」の変状項目は、供用後年数を経ってから発生する傾向がある。

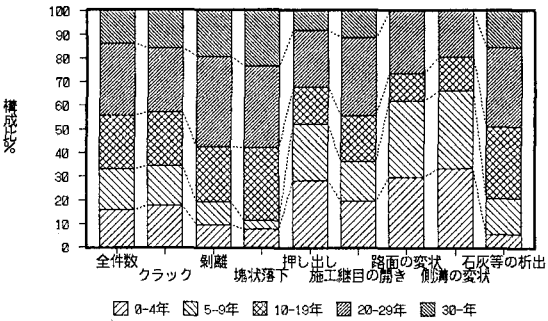


図-1 4 項目別変状発生までの年数

(d) 材質劣化による変状

クラックや剥離等の変状項目は荷重の作用によるものと材質劣化によるものがあり、今回の調査では一概に分類することはできない。変状項目の内、「石灰等の析出」とは、有害水や炭酸ガス等の作用により、コンクリートの表面に石灰が析出する一種の材質劣化であり、発生するまでには比較的長期間を要する傾向があることがわかる。

3.4 対策工

アンケート調査において、変状対策を実施したトンネルについて、対策工の実施件数を図-15に示す。実施件数の最も多い吹付けコンクリートの変状対策として期待される効果は、材質劣化に対する既設のコンクリートの表面防護と、吹付けコンクリート厚を厚く施工した場合には覆工の力学的補強の効果があると考えられている。ただし、吹付けコンクリートを行う際には、吹付けコンクリートと元の覆工との付着を図ること、吹付け後は元の覆工に発生していたクラック等の進展が不明になることなどに対する注意が必要である。ロックボルトは塑性圧等の土圧に対して効果があり、裏込め注入は地山の緩みを抑制するとともに、荷重の作用に対して、背面の地山で変形に対する反力をとることにより覆工に曲げ引っ張りが発生しにくい力学的に有利な構造にする効果があると考えられている。対策工の規模が比較的大規模になる内巻きコンクリートの実施頻度は少ない。

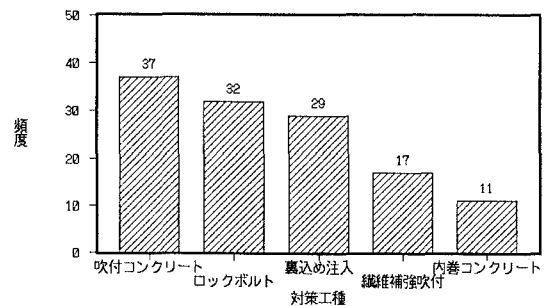


図-15 変状対策の実施頻度

4. まとめ

アンケート調査によりわが国の道路トンネルの変状実態として以下のことが明らかとなった。

- (a) 供用中の道路トンネルのうち、調査した中では、漏水が発生しているトンネルは約60%であり、漏水以外の変状が発生しているトンネルは、約24%である。変状の項目としては覆工クラックが多い。
- (b) 変状発生と供用年とは明確な相関がみられない。変状が発生しているトンネルの数は、1950～1980年に供用されたトンネルに多い。各年度毎に供用されたトンネルの中で、変状が発生しているトンネル数の割合については、1930～1980年に供用されたトンネルに多く、1930年以前に供用されたトンネルでは少ない。
- (c) トンネル供用後から変状が発生するまでの年数は、供用後30年以内に発生するものが約9割で、供用後30年以上経てから変状が発生するものは1割である。
- (d) 現場において変状原因として考えている項目は「漏水・凍害」および「老朽」が多い。
- (e) 「押し出し」、「路面の変状」、「路肩側溝の変状」の変状項目は、供用後比較的早期に発生する傾向があり、一方、「剥離」、「塊状落下の変状」、「石灰等の析出」の変状項目は、供用後年数を経ってから発生する傾向がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説、1989年6月
- 2) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル、1990年10月
- 3) 猪熊明：道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理、トンネルと地下、1990年10月、日本トンネル技術協会
- 4) 猪熊明・稲野茂：道路トンネルの変状漏水に関する調査報告、土木研究所資料第3072号、平成4年3月
- 5) 建設省道路局：道路統計年報