

鉄道トンネルで発生している 変状の傾向に関する一考察

菅藤 太郎¹・伊藤 信²・鈴木 尊³・脇山 勘治⁴

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2-6)
E-mail: kanto@jreast.co.jp

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2-6)
E-mail: itoushin@jreast.co.jp

³正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2-6)
E-mail: suzukitakashi@jreast.co.jp

⁴正会員 東日本旅客鉄道株式会社 本社 鉄道事業本部 (〒151-8578 東京都渋谷区代々木二丁目2-2)
E-mail: kanji-wakiyama@jreast.co.jp

現在, 当社が所有するトンネルは, 新幹線は延長約400km, 坑数約200本, 在来線は延長約500km, 坑数約1 000本となっている。現在, 鉄道トンネルの定期点検は線路上からの検査を基本とした通常全般検査を2年周期, 高所作業車等を用いた入念な目視と打音検査を基本とした特別全般検査を新幹線は10年周期, 在来線は20年周期で行っている。当社が所有するトンネルのうち, 経年50年を超えるトンネルは5割強であるが, 20年後には経年50年を超えるトンネルが9割を超える。今後, 経年の進んだトンネルの増加, 少子化の影響による技術者の減少を考慮すると, 現在より効率的な検査を行い, 維持管理を進める必要がある。本報告では, 維持管理を効率的に進める上での現状把握のひとつとして, トンネルに発生している変状の分析を条件別に行い, 確認した内容について報告する。

Key Words : railway, tunnel lining, mentenance, deformation, aging,

1. はじめに

JR東日本が所有するトンネルは, 新幹線においては延長約400km, 坑数約200本, 在来線は延長約500km, 坑数約1 000本である。

在来線で最も古いトンネルは, 経年が120年を超えており, 新幹線は40年を超える。図-1に, 当社で最も古いトンネルを示す。また, 2016年8月時点において, 当社が所有するトンネルの坑数を経年別に整理した(図-2)。



左が1887年, 右が1898年より供用開始

図-1 東海道線 清水谷戸トンネル

現在, 経年50年を超えるトンネルは5割強であるが, 20年後には経年50年を超えるトンネルが9割を超え, 経年の進んだトンネルが増加する。少子化の影響による検査技術者の減少を考慮すると, 膨大な延長のトンネルを維持管理するためには, 効率的な点検, 補修を計画的に実施する必要がある。

今回, トンネルに発生している変状を条件別に整理, 分析し, 変状の発生傾向を確認することにより, 現状把握を行うこととした。

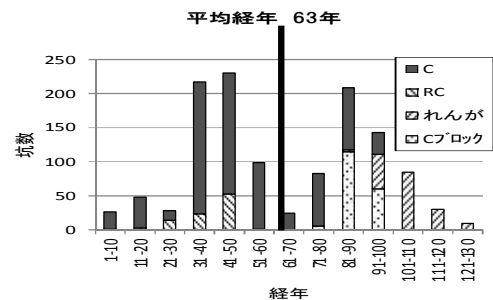


図-2 JR 東日本が所有する鉄道トンネルの構造物経年

2. 分析に使用するデータ概要

変状分析は、できる限り定量的かつ客観的なデータを用いて行う必要がある。

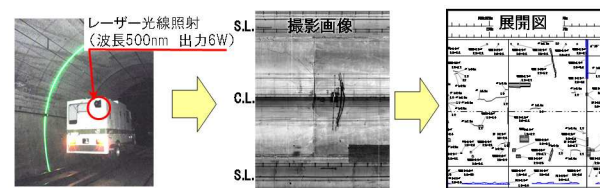
当社では、所有する全トンネルに対しトンネル覆工表面撮影車¹⁾を使用して覆工表面を撮影し、変状展開図を作成した上で検査に活用している。

変状展開図の作成手順を図-3に示す。トンネル覆工表面撮影車にて撮影されたデータは、専用解析システムにてトンネル断面に合わせ画像化される。この画像を元に変状、補修情報、キロ程情報、構造諸元情報等を入力し変状展開図を作成している。

変状展開図は画像をトレースし作成しているため、検査者の技術力の影響を受けないデータとなっている。

今回は、この変状展開図から変状データを抽出し、変状分析を実施した。

工材料は、幅広い年代で使用され、延長が一番長いコンクリートトンネルとした。コンクリートトンネルの内訳は、新幹線では図-4におけるコンクリート(在来)とコンクリート(NATM)、在来線は図-5におけるコンクリート(山岳)とした。



ひびわれ幅0.5mmまで抽出可能

トンネル覆工表面撮影車撮影画像を基にPCで変状展開図を作成する。

図-3 変状展開図作成手順

3. 分析対象トンネルの特徴

変状分析を行う前段として、当社が所有するトンネルを、建設年代、覆工材料別に区分し延長別に整理した。整理は新幹線、在来線別に行った。覆工材料がコンクリートのトンネルについては建設工法別にも整理した。結果を新幹線トンネルについては図-4、在来線トンネルについては図-5に示す。これらより確認された、当社が所有するトンネルの特徴を以下に示す。

(1) 新幹線トンネル

- ・各新幹線開業時期に集中的に建設されている。
- ・1990年代以降はNATMが主流である。

(2) 在来線トンネル

- ・1960～1970年代に多くのトンネルが建設されている。
- ・1930年代まではブロック積が主流である。

なお、覆工材料は新幹線、在来線ともにコンクリートが総延長の半数以上を占めている。

4. 変状分析

当社が所有するトンネルは、様々な覆工材料で建設されている。覆工材料が異なると発生する変状も異なり、全トンネルを画一的に分析する際、変状発生傾向が捉えにくくなる。そのため、分析対象の覆工材料を限定して分析を行うこととした。今回、変状分析の対象とする覆

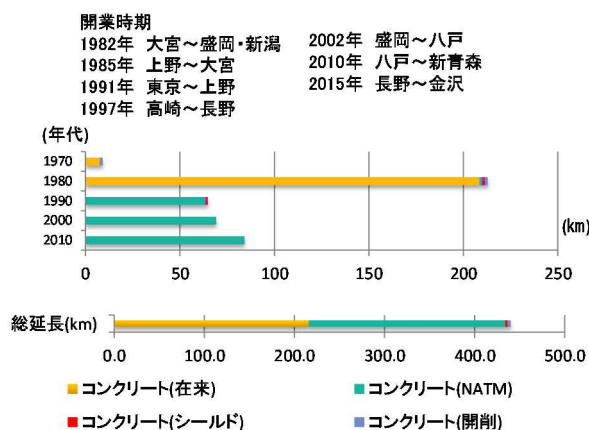


図-4 建設年代と覆工材料別延長（新幹線）

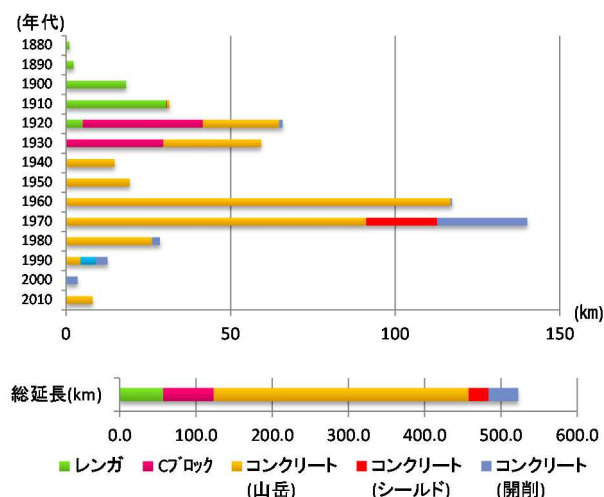


図-5 建設年代と覆工材料別延長（在来線）

また、トンネルには様々な変状が発生している。コンクリートトンネルにおける変状種別ごとの発生割合を図-6に示す。今回の分析対象の変状種別は、コンクリートトンネルにおいて変状発生割合が半数以上を占める「ひびわれ」に限定した。発生状況についてトンネルごとの特徴を確認した。

なお、分析指標は、ひびわれの長さとした場合、トンネル延長により差が出るため、各トンネルに発生したひびわれ数を延長あたりに換算した数値とした。

(1) 建設年代

建設された年代と延長あたりひびわれ数の比率(以降ひびわれ比率)の関係について分析を行った。新幹線は2010年代のひびわれ数を、在来線は1990年代のひびわれ数をそれぞれ基準として建設年代ごとのひびわれ比率を算出した。分析結果を新幹線、在来線別に図-7、図-8に示す。また、建設年代と施工方法の変せんを図-9に合せて示す。

図-7、図-9より、新幹線トンネルにおける2010年代のひびわれ比率は、他の年代に比べ極端に低いことがわかる。これは、近年NATMで建設されたトンネルは、施工方法、品質管理の改善等が図られていることが想定される。

一方、在来線は図-8、図-9より、建設年代とひびわれ比率との間に明確な関係性は見られず、建設年代が古いトンネルほどひびわれ比率が高いという傾向は確認されなかった。

(2) グリーントフ地域

一般的に、グリーントフと呼ばれる緑色凝灰岩を含む地山は、塑性圧が発生しやすいと言われている²⁾。そこで、地質的な観点から、トンネルがグリーントフ地域に位置するのか、その他の地域に位置するのかを分類し、分析を行った。グリーントフ地域と鉄道路線との位置関係を図-10に示す。

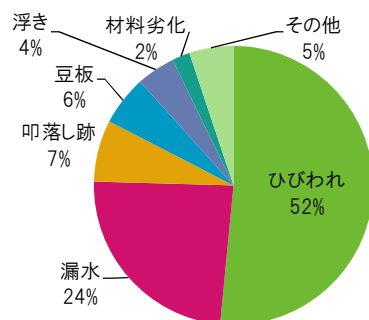


図-6 コンクリートトンネルにおける変状発生割合

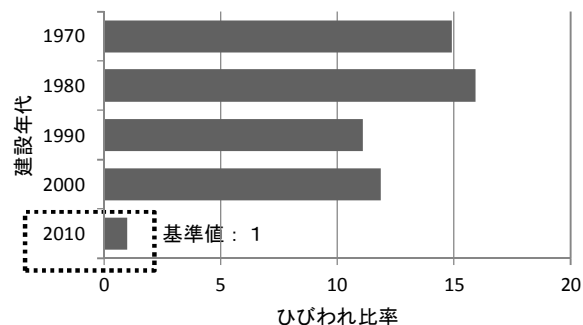


図-7 建設年代とひびわれ比率の関係(新幹線)

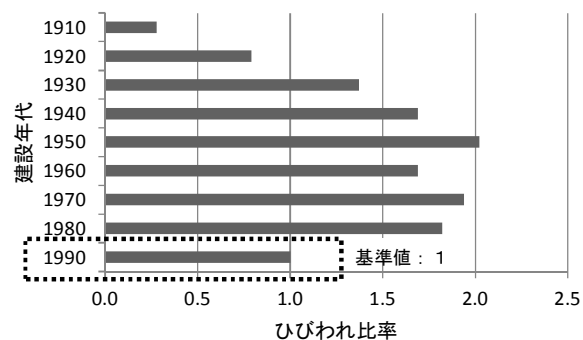


図-8 建設年代とひびわれ比率の関係(在来線)

西暦	掘削	支保工	覆工打設
1910	矢板	木製	人力
1920			
1930			
1940			
1950	NATM	鋼製	引機 （機械）
1960			
1970			
1980			
1990			
2000			
2010			吹上機 （機械）

図-9 トンネル施工方法の変せん



図-10 グリーントフ地域と鉄道路線の位置関係

分析は新幹線、在来線別に行い、いずれもその他の地域を基準としてひびわれ比率を算出した。結果を図-11に示す。グリーントフ地域のトンネルはその他の地域と比較し、新幹線、在来線ともにひびわれ比率が高い傾向が確認された。

また、複線トンネルと単線トンネルでは断面形状の違いにより、単線トンネルのほうが塑性圧の影響を受けやすいと言われている²⁾。グリーントフ地域とその他の地域について、断面形状の違いによる傾向を確認するため、在来線トンネルを単線、複線に区分し、ひびわれ比率を整理した。いずれの区分においてもひびわれ数が少ないほうを基準値として比率を算出した。結果を図-12に示す。

単線トンネルにおいては、グリーントフ地域のトンネルはその他の地域のトンネルと比較し、ひびわれ比率が高い傾向が顕著に確認された。

これらの結果より、グリーントフ地域においてはその他の地域と比較すると、ひびわれ比率が高く、複線トンネルに比べ単線トンネルでは顕著な傾向があることがわかった。

(3) ひびわれ発生位置

一般的に、トンネルの坑口付近にはひびわれが発生しやすいと言われている。現状把握のため、坑口付近のひびわれ発生傾向について分析を行った。

各トンネルの坑口(入口および出口)からトンネル中間部まで、10mごとのひびわれ発生率を算出し、坑口からの距離によりひびわれ発生率に差が見られるか分析を行った。なお、ひびわれ発生率の差は、坑口から10mまでのひびわれ数を基準として算出した。

分析は、エリア別、凍害危険度別³⁾に区分し実施した。以下に結果を示す。

a) 全体

全トンネルに対する分析結果を図-13に示す。

これより、坑口付近のひびわれ発生率が高く、坑内に入るにつれ、ひびわれ発生率が減少する傾向が確認された。坑口より概ね100m以降のひびわれ発生率は、収束する傾向が確認された。

b) エリア別

当社エリアを5分割(首都圏、北関東、甲信越、南東北、北東北)し、分析を行った結果を図-14に示す。

北東北におけるひびわれ発生率は、坑口から坑内に入るにつれ減少する傾向が、他のエリアに比べ明確に確認された。これより、寒冷地である北東北では、温度変化の影響により、坑口付近にひびわれが多く発生していることが推測された。

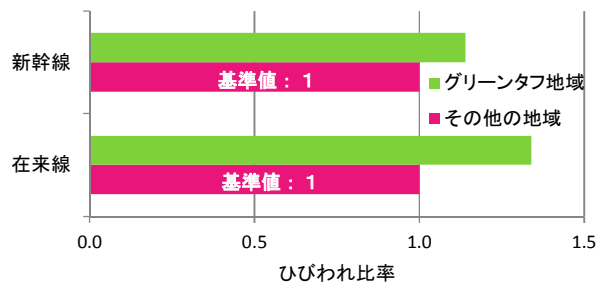


図-11 グリーントフ地域とひびわれ比率の関係

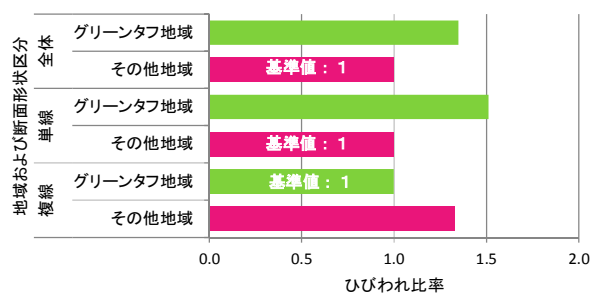


図-12 グリーントフ地域と断面形状の関係(在来線)

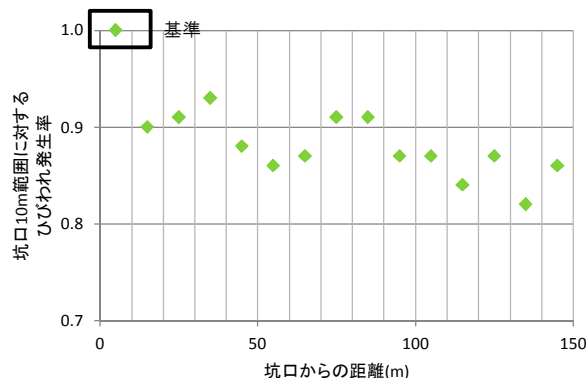


図-13 坑口からの距離とひびわれ発生率(全体)

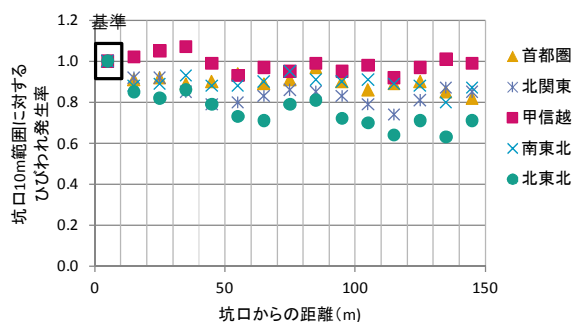


図-14 坑口からの距離とひびわれ発生率(エリア別)

c) 凍害危険度別^③

当社エリアを凍害危険度別に整理し、凍害危険度とひびわれ発生率の関係を分析した。凍害危険度と鉄道路線の位置関係を図-15に示す。

また、分析結果を図-16に示す。

凍害危険度4に区分されるトンネルでは、ひびわれ発生率が坑口から坑内に入るにつれて減少する傾向が他の区分に比べ明確に確認された。これより、エリア別分析と同様に、凍結融解や、温度変化の影響で坑口付近にひびわれが多く発生していることが推測された。

一方、凍害危険度4以外の区分においては凍害危険度のランクと関連した明確な傾向を確認することはできなかった。

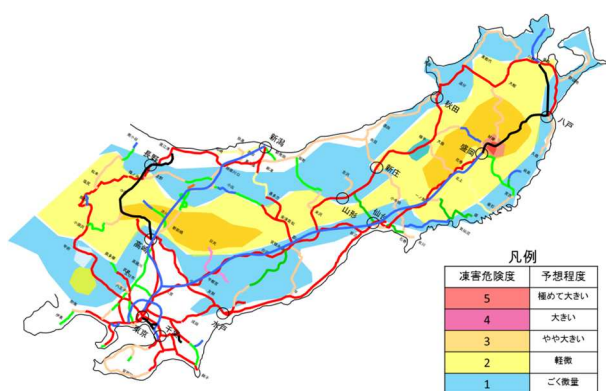


図-15 凍害危険度と鉄道路線の位置関係^③

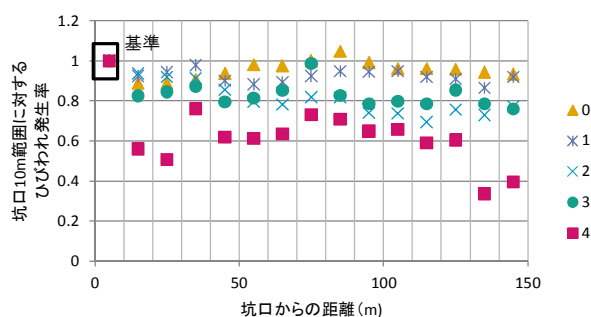


図-16 坑口からの距離とひびわれ発生率(凍害危険度別)

5. まとめ

今回実施した変状分析の結果を、以下にまとめる。

(1) 建設年代

新幹線においては施工方法、品質管理の改善による影響で、ひびわれ比率が極端に少ない年代が見られた。一方、在来線は建設年代が古いトンネルほどひびわれ比率が多いという傾向は見られなかった。

(2) グリーンタフ地域

新幹線、在来線いずれにおいてもグリーンタフ地域のトンネルのほうがひびわれ比率が多い傾向が確認できた。また、在来線の単線トンネルにおいては複線トンネルと比較し、ひびわれ比率が多い傾向が顕著に確認された。

(3) ひびわれ発生位置

トンネル全体においては坑口から100m程度まではひびわれ発生率が減少する傾向が確認された。

エリア別では、北東北のひびわれ発生率は、坑口から坑内に入るにつれてひびわれ発生率が減少する傾向が、他のエリアに比べ明確に確認され、凍結融解における影響が推定された。

凍害危険度別では、凍害危険度4では坑口から坑内に入るにつれてひびわれ発生率が減少する傾向が、他の区分に比べ明確に確認された。一方、凍害危険度4以外の地域においては凍害危険度と関連した明確な傾向を確認することができなかった。

6. 今後の取り組み

今回の分析により、ひびわれの発生状況について一定の傾向を確認することができた。一方で、古いトンネルでひびわれが多い訳でないことも確認され、今回得られた傾向がすべてに当てはまるとは考えにくい。たとえば、今回の分析で確認された地質が悪いとされた地域に位置するトンネルであっても、適切な施工により、健全なトンネルもあれば、地質が良いとされた地域でも不具合が生じている例も確認されている。

トンネルはおかれた環境や施工方法、構造条件等が様々であり、発生している変状の原因は個別の要素が大部分を占めているとも考えられる。

そこで当社では、各トンネルの建設年代、地域、変状分布などの情報を整理した「トンネルカルテ」の整備を進めている。

現在、「トンネルカルテ」は試行中であり、記載項目や使い方等については試行しながら検討を進めている。

[illegible]

上段：トンネル諸元情報、下段：キロ程ごと情報

今後は、「トンネルカルテ」の整備を進め、定期検査に活用することで、より効率的で精度の高い維持管理を進めたいと考える。

- 1) 鈴木延彰：トンネル覆工表面撮影車の導入，日本鉄道施設協会誌，2000.
- 2) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，pp.125-126,鉄道総合技術研究所編，2007.
- 3) 長谷川 寿夫，藤原 忠司 他編：凍害（コンクリート構造物の耐久性シリーズ），pp.72-80，技報堂出版，1988.

(2016. 8. 5 受付)

In this report, to report about what was confirmed by the different conditions deformation of analysis.