

# 点検結果における材質劣化による ひび割れの形態に関する一考察

坂本 昇<sup>1</sup>・日下 敦<sup>2</sup>・森本 智<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
E-mail:n-sakamoto44@pwri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
E-mail:kusaka@pwri.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
E-mail:s-morimoto@pwri.go.jp

NATMによる道路トンネルでの覆工の変状で発生数が最も多いひび割れのうち、材質劣化によると推定されたものは、利用者の安全性が懸念された場合の対策区分の判定を定性的な判定区分を用いており、判定の区分が点検従事者の技量に委ねられている。本稿では材質劣化によるひび割れにおける定量的な判定の目安の検討に向けた基礎資料として、平成26年度以降に実施された道路トンネルの定期点検結果よりNATMトンネルにおける材質劣化によると推定されるひび割れと判定されたものについて、特徴的なひび割れを抽出し、その形態を分析した。今後は、複数の材質劣化による要因が組み合わさることも多く、すべての発生要因やひび割れに対し検討することは容易ではないと考えており、本稿での結果等を踏まえてひび割れの形態や要因を限定して実施したいと考えている。

**Key Words :** *maintenance, lining concrete, cracks, material degradation, periodic inspection*

## 1. はじめに

トンネルの補修・補強工法や合理的な大規模更新工法を検討するにあたっては、点検や調査の結果に基づいて、変状の状態からその原因を推定する必要があるが、対象とする変状が外力の作用によって生じたものか、材料や施工に起因する材質劣化によって生じたものかを推定することが重要となる。

トンネルにおいて発生する変状は多岐にわたるが、NATMによる道路トンネルでの覆工の変状は、「ひび割れ」が最も多く、本稿では、変状の発生要因の推定に向けた基礎的な指標としてひび割れの形態に着目した。

覆工に発生するひび割れの原因は、地すべり、偏土圧等による外力が作用するものと、材料、施工方法、環境等による材質劣化によるものに大別できる。平成26年6月に発出された「道路トンネル定期点検要領<sup>2)</sup>」では、ひび割れの原因が外力によるものと判断された場合の対策区分の判定は、外力による「圧ざ、ひび割れ」の判定区分やひび割れ規模(幅や長さ)等に着目した判定の目安例を用いて実施している。材質劣化によるひび割れと判断されたものは、利用者の安全性が懸念された場合の

対策区分の判定を「うき、はく離」での判定区分を用いて実施している<sup>3)</sup>。

しかし、この「うき、はく離」での判定区分は定量的な判定の目安例ではないため、定量的である外力によるひび割れにおける判定の目安例で材質劣化によるひび割れを判定した事例も散見される。判定の区分が適切でないことにより、変状に対する適切な対策や監視といった措置を施すことができず、利用者の安全性やトンネル構造の安定性が損なわれることを避けなければならない。

そこで、外力によるひび割れと同様に利用者の安全性が懸念された場合の材質劣化によるひび割れについても、ひび割れ幅や長さ等による定量的な指標を示すことで点検従事者の技量によらず適切かつ容易に判定の区分ができることで、今後の維持管理に向け、効率的な点検が期待できると考えている。

## 2. 目的

覆工コンクリートに発生したひび割れの評価方法については、ひび割れ密度による評価、ひび割れ指数

(TCI : Tunnel-lining Crack Index) による評価等がある。

ひび割れ密度による評価は、ひび割れ展開図より1スパンごとにひび割れ延長を算出しスパン面積で割ったひび割れ密度により評価する方法、ひび割れ指数 (TCI) による評価はひび割れ展開図より1スパンごとにひび割れの幅、長さ、方向をパラメータとして数値化したひび割れ指数 (TCI) により評価する方法であり、ともに覆工1スパンを基準に健全度を評価している。

本稿では外力による「圧ざ、ひび割れ」の判定区分<sup>2)</sup>やひび割れ規模 (幅や長さ) 等による判定の目安例<sup>2)</sup>と同様にひび割れ本体に着目し、材質劣化によるひび割れにおける定量的な判定の目安例の検討に向けた基礎資料として、定期点検結果より材質劣化によると推定されるひび割れについて、そのひび割れの幅、長さ、発生位置・方向に着目し、ひび割れの形態の傾向を分析する。

### 3. 分析方法

#### (1) 対象としたひび割れ

研究対象とした材質劣化によるひび割れは、その進行が無ければそのひび割れ存在自体によって、トンネルの構造の安定性に影響を及ぼすことは少ないが、ひび割れ沿いにうきやはく離が発生するなど、利用者被害の発生に至ることがある。

材質劣化によるひび割れの発生原因としては、使用材料、温度変化、乾燥収縮、施工方法、凍害、塩害・鉄筋腐食、アルカリ骨材反応等によるものが多いとされている。これらのひび割れの形態として、一部のひび割れを除くと発生位置やその方向に一律に特徴を見出すことは困難である。使用材料に関するひび割れとしては、不規則で微細なひび割れが発生することが多い。施工方法によるひび割れについては、ひび割れの発生位置や方向によってはその原因の推定が可能となる場合がある。

表-1 対象トンネル

トンネル名	延長 (m)	対象ひび割れ数	点検実施年月
Aトンネル	311	39	2015-01
Bトンネル	1432	11	2014-10
Cトンネル	432	8	2014-11
Dトンネル	1417	3	2014-11
Eトンネル	1585	109	2015-02
Fトンネル	562	42	2015-11
Gトンネル	345	84	2014-12
Hトンネル	879	151	2015-01
Iトンネル	888	72	2015-01
Jトンネル	271	29	2015-01
Kトンネル	311	20	2015-01
Lトンネル	3992	344	2014-11
Mトンネル	152	12	2015-02
Nトンネル	1424	4	2015-09
Oトンネル	1424	80	2014-12
合計		1008	

#### (2) 分析方法

国土交通省が管理する道路トンネルのうち、「道路トンネル定期点検要領<sup>4)</sup>」と「道路トンネル維持管理便覧【本土工編】<sup>5)</sup>」により平成26, 27年度に実施されたトンネル定期点検の結果 (895トンネル, 平成26年度: 468トンネル, 平成27年度: 427トンネル) を収集した。収集した定期点検結果よりトンネルの抽出条件に合致したものについて、ひび割れの形態 (幅、長さ、発生位置・方向) を抽出し、分析した。

##### a) 対象としたトンネル

対象としたトンネルは、収集した定期点検結果より、トンネル工法が「山岳トンネル工法 (NATM)」, かつ点検結果総括表 (様式C-1-1) において、変状の区分で「材質劣化」、変状種類で「ひび割れ」、変状の発生範囲の規模に「ひび割れの幅、長さ」の記載のあったトンネルを抽出した。抽出の結果、表-1のとおり対象トンネルは15トンネル、対象ひび割れ数は1008であった。

また、各トンネルの点検時期は、15トンネルのうち1トンネルのみ9月に実施しているが、残る14トンネルでは気温や湿度が低くなり、ひび割れ幅が広がりやすくなる秋～冬期 (10月～2月) に実施している。

##### b) 分析手順

分析手順は、「ひび割れ発生位置・方向」の分布状況により特徴的なひび割れを抽出し、その特徴的なひび割れに対して「ひび割れ幅、長さ」の分布状況よりひび割れの形態の傾向を分析した。なお、現時点ではひび割れの形態のみに着目しており、コンクリートの材料条件、覆工の打設や養生等の施工条件、環境条件等の発生原因は加味していない。

ひび割れの幅、長さは点検結果総括表 (様式C-1-1) より抽出した。発生位置・方向は変状写真台帳 (様式D-1-1)、変状展開図 (様式D-2、様式D-3) より読み取り、発生位置は図-1のとおり利用者被害を踏まえ3区分とし、発生方向は図-2のとおり4区分とした。

なお、ひび割れ幅は、外力によるひび割れの判定と同様に最大幅である。

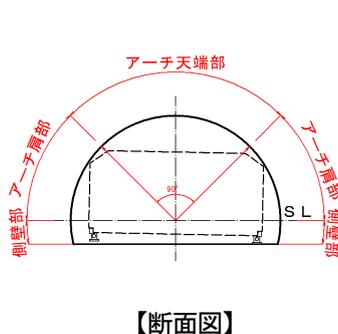


図-1 ひび割れ発生位置の区分

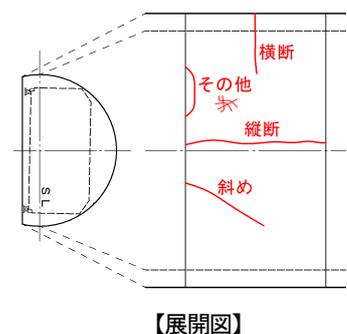


図-2 ひび割れ発生方向の区分

## 4. 分析結果

### (1) 特徴的なひび割れの形態の抽出

図-3にひび割れの発生位置・方向の分布を整理した結果を示す。

縦断方向のひび割れ数が対象ひび割れの約80%を占め、その約90%がアーチ天端部で発生している。

横断方向のひび割れ数は、縦断方向に比べ、対象ひび割れ数はかなり少ないが、その約80%がアーチ肩部と側壁部で発生している。

ここでは、特徴的なひび割れの形態として、ひび割れ数が多い「縦断方向・アーチ天端部（対象ひび割れ数:719）」、「横断方向・側壁部、アーチ肩部（対象ひび割れ数:137）」を抽出した。なお、覆工目地部付近で

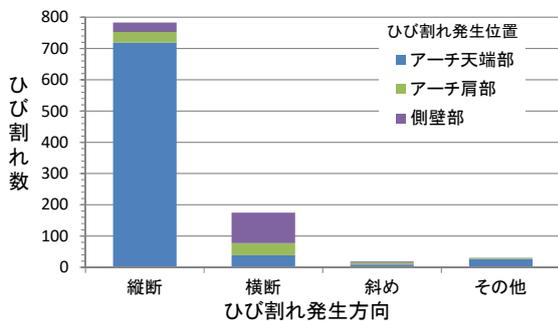


図-3 ひび割れ発生位置・方向の分布

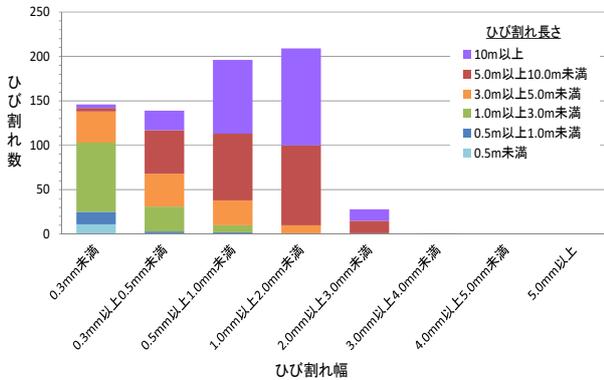


図-4 ひび割れ幅、長さの分布状況  
(縦断方向・アーチ天端部)

発生する傾向が多い三日月形のひび割れ（発生方向：その他に区分）については、対象数が少ない結果であったが、これはうき・はく落で判定される事例が多いと想定される。

### (2) 特徴的なひび割れの形態の分析結果

図-4に「縦断方向・アーチ天端部」でのひび割れ幅、長さの分布を整理した結果を示す。ひび割れ幅はすべて4.0mm未満であり、その約67%が1.0mm未満である。ひび割れ長さは5~10m以上が約65%を占める。ひび割れ幅1.0mm以上かつ長さ10m以上のひび割れ数が最も多い結果となった。

図-5に「横断方向・側壁部、アーチ肩部」でのひび割れ幅、長さの分布状況を整理した結果を示す。ひび割れ幅はすべて2.0mm未満で、0.3mm未満が約70%と多い。ひび割れ長さは3.0m未満が約75%である。ひび割れ幅0.3mm未満かつ長さ1.0m以上3.0m未満のひび割れ数が最も多い結果となった。

## 5. 考察

「縦断方向・アーチ天端部」のひび割れは、長さ5~10m以上の件数が多く見られ、変状展開図によると図-6

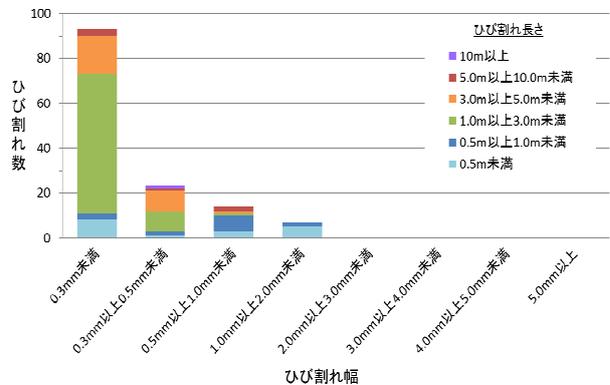
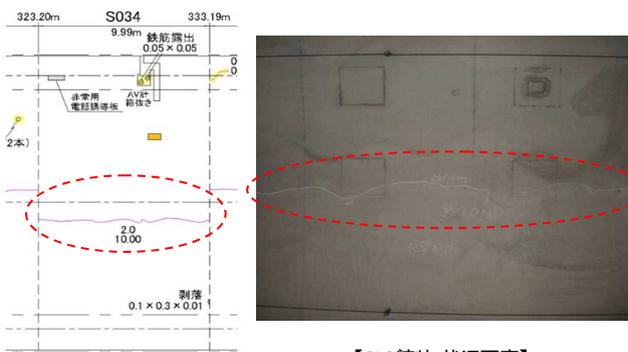


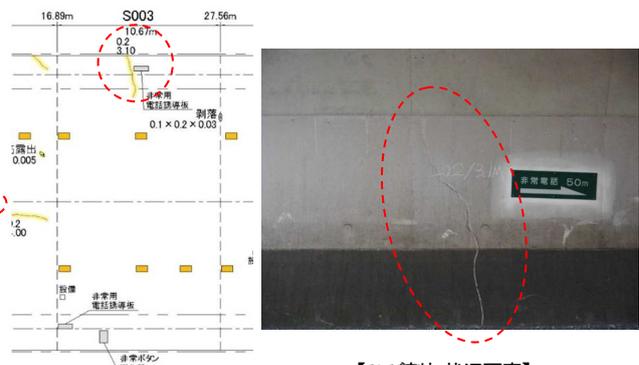
図-5 ひび割れ幅、長さの分布状況  
(横断方向・側壁部、アーチ肩部)



【展開図】

【ひび割れ状況写真】

図-6 縦断方向・アーチ天端部のひび割れ事例



【展開図】

【ひび割れ状況写真】

図-7 横断方向・側壁部、アーチ肩部のひび割れ事例

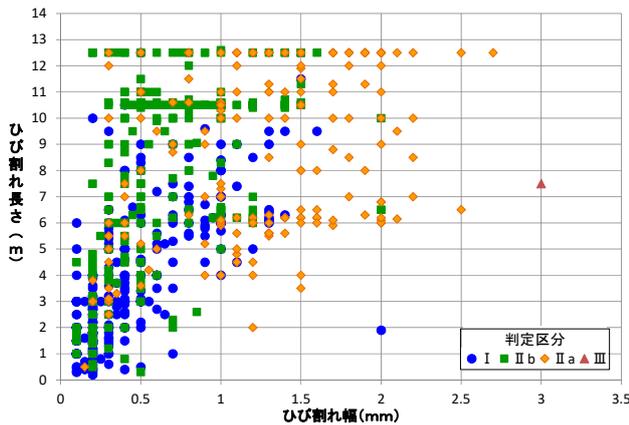


図-8 ひび割れ幅、長さとの判定区分の分布  
(縦断方向・アーチ天端部)

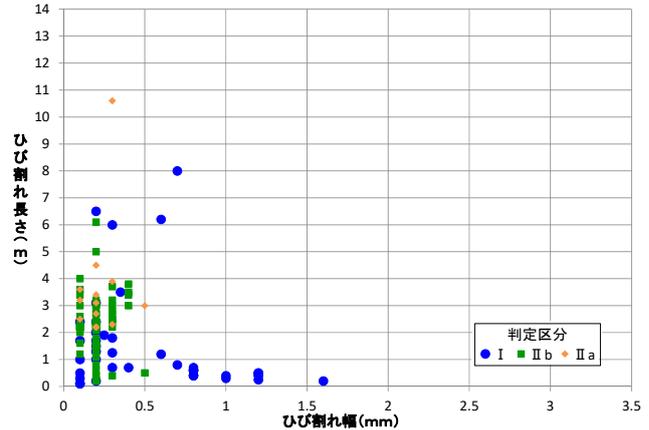


図-9 ひび割れ幅、長さとの判定区分の分布  
(横断方向・側壁部、アーチ肩部)

に示す事例のように覆工スパン内に発生し、覆工の横断目地で途切れているものが多く、乾燥収縮等で発生するひび割れであると推測できる。

「横断方向・側壁部、アーチ肩部」のひび割れは、幅は小さく、長さ3.0m未満のひび割れが多く見られ、変状展開図によると図-7に示す事例のような覆工スパン中間部付近で側壁下端からアーチ側壁部に発生しているひび割れが多い。これはインバートによる拘束によって側壁下端からアーチ肩部付近まで発生するひび割れであることが推測できる。

図-8に「縦断方向・アーチ天端部」、図-9に「横断方向・側壁部、アーチ肩部」のひび割れ幅、長さとの判定区分の結果の分布を示す。ここで示す判定区分の結果は、うき・はく離を伴わない材質劣化によるひび割れに対する定量的な判定の目安がないため、点検者が本体工における対策区分<sup>6)</sup>をもとに技術的判断により実施されたものである。

縦断方向のひび割れでの分布の傾向は、幅1.0mm以下でI、IIb判定が多く、長さ5.0m以上でIIa判定が多い。横断方向のひび割れでの分布の傾向は、長さ2.0m以下でI、IIb判定が多い。ひび割れ幅、長さによる判定区分は、分布にばらつきがあり、判定の目安の設定については、今後の課題であり、複合的な判断が必要と考えている。

## 6. まとめ

定期点検結果における材質劣化によるひび割れの形態について分析を行い、NATMによる道路トンネルでの覆工のひび割れの発生位置、方向の特徴について確認することができた。また、特徴的なひび割れの発生位置、方向における判定区分の結果とひび割れ幅、長さの関係についても整理を行い、関係性をおおまかに捉えることができた。

しかし、材質劣化によるひび割れでの定量的な判定の目安については、材料劣化によるひび割れの発生する要因が材料、施工、環境と大きく3つあり、これらのうち単一の要因で発生した変状がその他の要因の影響を助長し、複数の原因が組み合わさることも多く、ひび割れの形態として、一部のひび割れを除くと発生位置やその方向に一律に特徴を見出すことは困難であることから、すべての発生要因やひび割れに対して検討することは容易ではないと考えている。

そのため、材質劣化によるひび割れの特性や本稿でのひび割れの形態の分析結果を踏まえ、アーチ天部の縦断方向、側壁部の横断方向のひび割れといったひび割れの形態を限定して実施したいと考えている。また、NATMでのトンネルにおいて、覆工コンクリートの施工後の品質の判定指標の一つとして、初期ひび割れの形態等を用いている事例もある。

今後、NATMでのトンネルにおいて、温度応力、乾燥収縮の材質劣化による初期ひび割れに着目し、新たな点検結果によるデータの蓄積、使用材料、施工方法、環境等の材質劣化によるひび割れの発生要因やインバートの有無などのトンネル構造、ひび割れの進展によるうき・はく離の誘発の程度の把握も含めた分析が必要と考えている。とくに、ひび割れの幅については、トンネル内の季節的な温度影響も受けやすく、最大2.0mm程度の範囲で変化した計測結果<sup>7)</sup>もあることから、点検実施時期についても配慮が必要である。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】，pp.31，2015.6
- 2) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領，pp.33-35，2014.6
- 3) 公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】，pp.198，2015.6

- 4) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領， pp.5-58, 2014.6
- 5) 公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】， pp.101-140, 2015.6
- 6) 公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】， pp.201-205, 2015.6
- 7) 笹田俊之，砂金伸治，石村利明：長期計測結果にもとづいたトンネル覆工の挙動に関する考察，トンネル工学報告集，第24巻，I-3, 2014.12.
- (2018.8.10 受付)

## COSIDERATION ON THE FORM OF CRACKS CAUSED BY MATERIAL DETERIORATION IN A RESULT OF PERIODIC INSPECTION

Noboru SAKAMOTO, Atsushi KUSAKA and Satoshi MORIMOTO

The most frequent deformation of lining concrete on road tunnels in NATM is cracks. When the safety of road users is concerned, qualitative judgment classification is used for crack judgment of material deterioration. The judgment classification is left to the skill of the inspection engineer. We are aiming to create a criterion for quantitative judgment in cracks of tunnel lining concrete due to material deterioration. We analyzed the form of cracks using the results of periodic inspection of road tunnels after 2014. Based on the results, we confirmed the distribution of crack width, length etc. It is difficult to study all occurrence factors and cracks in future. Based on the results in this paper, we would like to consider the criteria for quantitative judgment by choosing the form and factors of cracks.