

トンネル点検手法によって生じる 覆工点検結果のばらつきに関する研究

宮地 智仁¹・海瀬 忍²・林 久資³・森本 真吾⁴・進士 正人⁵

¹学生会員 山口大学大学院 創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）
E-mail: i051ve@yamaguchi-u.ac.jp

²正会員 株式会社高速道路総合研究所 道路研究部（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）
E-mail: s.kaise.aa@ri-nexco.co.jp

³正会員 山口大学大学院助教 創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）
E-mail: hayashi@yamaguchi-u.ac.jp

⁴正会員 ドボクリエイト株式会社（〒755-0097 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学研究推進機構C206）
E-mail: charlie@dobocreate.jp

⁵正会員 山口大学大学院教授 創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）
E-mail: shinji@yamaguchi-u.ac.jp

我が国の老朽化したトンネルの増加や将来的な技術者不足に伴い、高精度かつ効率的なトンネル覆工の点検が強く求められている。東日本・中日本・西日本高速道路株式会社（以下“NEXCO”と称す）は覆工表面画像を撮影する点検と近接目視による点検を組み合わせ実施している。

本論文では、近接目視点検を2度実施した高速道路トンネルの点検結果を詳細に分析し、ばらつきが発生している原因を調査した。そして、Tunnel lining Crack Index（以下“TCI”と称す）を用いて評価点を算出するひび割れ長さやひび割れ幅が点検結果のばらつきに影響を与える可能性があることがわかった。そこで、TCIに影響を与える気温の変化に着目し、ひびわれ展開図を用いてひびわれ幅の比較を行った。検討の結果、気温の変化以外の影響も受けることがわかった。

Key Words : tunnel lining Inspection, crack map, crack width, highway tunnel

1. はじめに

土木構造物の維持管理は我が国における重要な課題である。現在、日本に存在する既設トンネルは約1万本存在している。さらに、建設後50年以上経過するものがすでに20%存在し、今後急速に増加すると見込まれている。さらに、少子高齢化による技術者不足も懸念されている。その中で、NEXCOが管理している高速道路トンネルでは覆工点検画像取得システムを用いた点検（以下，“点検A”と称す）と点検A実施後に行われる技術者による近接目視点検（以下，“点検B”と称す）の2種類のトンネル覆工点検を組み合わせ定期点検として行っており、覆工点検の高精度化が望まれている。そこで、点検Aと点検Bのそれぞれの特徴を捉えるため、両点検の評価点を比較した。図-1は、両点検時に算出される評価点の分布を示したものであり、直線（赤）は評価点が一致する直線である¹⁾。この図から両点検時の評価点

にばらつきがある事がわかる。

そこで、本論文では高速道路トンネルの定期点検の評価点に着目して点検結果の分析を行い、評価点のばらつきの要因の1つである温度の影響を検討した。

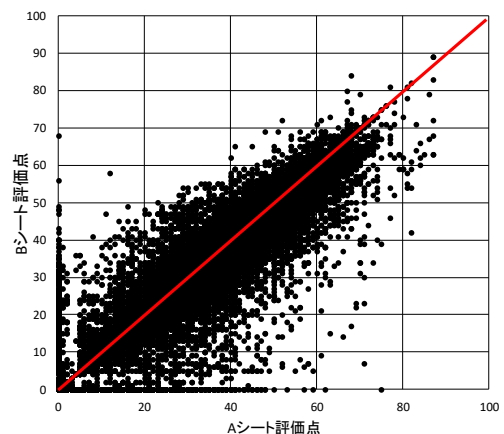


図-1 定期点検での外力評価点分布

2. NEXCOによるトンネル定期点検の概要²⁾

先にも述べたように、NEXCOではトンネルの定期点検として点検Aと点検Bの2種類の点検を実施している。

点検Aは、覆工の表面画像を外部光等を用いた覆工表面画像取得システムにより取得し、ひびわれ展開図を作成し、ひびわれ指数と観察項目より変状の程度を表す評価点を算出することで、特に重点的に点検を行うスパンを抽出する点検である。

点検Bは点検Aの結果に基づき、技術者が近接目視を行う点検である。道路法の改訂により、現在はすべてのスパンの点検Bを行っている。この点検も点検Aと同様にひびわれ指数と観察項目より変状に対する評価点を算出する。そして、算出された評価点を用いて、スパンごとに健全度の評価を行う。

点検Aと点検Bのそれぞれの点検実施時には図-2に示す詳細点検Aシート（以下“Aシート”と称す）、詳細点検Bシート（以下“Bシート”と称す）にトンネルの各種データを記入し、ひびわれ展開図から構造的な安定性に対する評価点の外力評価点と利用者の安全に対する評価点のはく落評価点を算出する。このシートは原則としてコンクリートの一打設長であるスパン単位で作成される。また、図-2、3の赤枠で示している項目である「1.ひびわれ幅・長さ・分布」、「2.ひびわれの方向性」の2つの項目ではひびわれ指数TCIを利用して評価点を算出している。

3. 複数回のトンネル点検による結果のばらつき

本章では2度近接目視による点検を行った2本のトンネル対象に点検結果を詳細に分析、考察を試みたものである。

(1) 対象としたトンネル

ひびわれの調査を行うにあたり、対象とするトンネルを選定する上で、点検間隔、温度差およびトンネル延長を考慮した。また、既往研究³⁾から覆工画像精度・判読の誤差により点検Aと点検BにおいてTCIの値が変動していることがわかっている。さらに、点検Aは覆工画像から点検を行う机上点検であるのに対し、点検Bは現地での近接目視を行う点検であることから点検Bを複数回行ったトンネルが最も点検の精度が高いと判断できる。このことから、本検討では、点検Bが2回実施されているP、Qトンネルを対象とした。表-1に対象トンネルの諸元を示す。

詳細点検Aシート(抜粋版)									
1.トンネル諸元等						スパンNo.			
2.特記事項(緊急補修・対策工検討を要する項目)									
観察項目	判定区分	check	外力	はく落	備考				
① 幅2mm程度のひび割れが3m以上ある	点検Bの実施								
② 幅3mm程度のひび割れがある	点検Bの実施								
③ 打ち継ぎ目・三日月型のひび割れがある	点検Bの実施								
④ J.F. 覆工等添架施設周辺に放射状のひび割れがある	点検Bの実施								
⑤ 構造上問題があると判断されるひび割れがある	点検Bの実施								
⑥ モルタル系の補修材による既対策箇所がある	点検Bの実施								
⑦ 豆板(ジャンカ)などがあり、浮き・はく落の危険性がある	点検Bの実施								
⑧ 外力健全度がⅢ～Ⅴランクに対し前回点検時から補修補強が実施されていない	点検Bの実施								
3.データシート									
【評価は、スプリングライン間のアーチとして一括で行う】									
観察項目	判定区分	check	外力	はく落	備考				
1.ひびわれ幅・長さ・分布			0	0					
2.ひびわれの方向性			0	0					
3.パターン	亀甲状		7	11					
	1m2未満		14	22					
	1m2以上		0	0					
	なし		4	12					
	閉合型		7	23					
	長辺20cm未満		0	0					
	長辺20cm以上		2	4					
	交差・分岐		3	8					
	5箇所未満		5	12					
	5～9箇所		0	0					
10箇所以上		1	1						
4.エフロレンセス	少ない		2	2					
	中程度(散在)		3	3					
	多い(全面に分布)		0	0					
	なし		2	2					
5.漏水	あり(対策なし)		2	2					
	あり(対策済み)		2	0					
【外力判定】Ⅰ:30以下 Ⅱ:31～59 60以上 詳細点検B実施						評価点の合計			
【はく落判定】38以上 詳細点検B実施						外力			
【漏水判定】漏水ありの場合は、詳細点検B-Cの段階で確認する。						はく落			
						0			
						/100			
						点検B			
						点検A			
						理由			
						その他			
						0			
						/100			
						全箇所点検			
						特異箇所のみ点検			
コメント									

図-2 詳細点検Aシート(抜粋版)

詳細点検Bシート(抜粋版)									
1.トンネル諸元等						スパンNo.			
2.詳細点検B実施理由確認						2.2評価点検B実施チェック			
☐ 外力評価点60点以上 /100 ☐ はく落評価点38点以上 /100 ☐ 幅2mm以上のひび割れが3m以上ある ☐ 3mm程度以上のひび割れがある ☐ 打ち継ぎ目・三日月型のひび割れがある ☐ J.F. 覆工等添架施設周辺に放射状のひび割れがある ☐ 構造上問題があると判断されるひび割れがある ☐ モルタル系の補修材による既対策箇所が見られる ☐ 豆板、ジャンカなどがあり、浮き・はく落の危険性がある ☐ 外力健全度がⅢ～Ⅴランクに対し前回点検時から補修補強が実施されていない ☐ その他理由						☐ /100 ☐ /100 ☐ 本 ☐ 本 ☐ 箇所(本) ☐ 箇所(本) ☐ 箇所(本) ☐ 箇所 ☐ 箇所 ☐ 箇所			
3.データシート									
【評価は、スプリングライン間のアーチとして一括で行う】									
観察項目	判定区分	check	外力	はく落	備考				
1.ひびわれ幅・長さ・分布			0	0					
2.ひびわれの方向性			0	0					
3.パターン	亀甲状		7	11					
	1m2未満		14	22					
	1m2以上		0	0					
	なし		4	12					
	閉合型		7	23					
	長辺20cm未満		0	0					
	長辺20cm以上		2	4					
	交差・分岐		3	8					
	5箇所未満		5	12					
	5～9箇所		0	0					
10箇所以上		1	1						
4.エフロレンセス	少ない		2	2					
	中程度(散在)		3	3					
	多い(全面に分布)		0	0					
	なし		2	2					
5.漏水	あり(対策なし)		2	2					
	あり(対策済み)		2	0					
【外力判定】Ⅰ:30以下 Ⅱ:31～59 60以上 詳細点検B実施						評価点の合計			
【はく落判定】38以上 詳細点検B実施						外力			
【漏水判定】漏水ありの場合は、詳細点検B-Cの段階で確認する。						はく落			
						0			
						/100			
						全箇所点検			
						特異箇所のみ点検			

図-3 詳細点検Bシート(抜粋版)

(2) 点検結果の分析

P、Qトンネルで作成された2回分のBシートから、1回目の点検から2回目の点検までに外力評価点に変動のあったスパンを抽出した、そして、抽出したスパンの2

回分のBシートを比較し、Bシート上の変状に対する判定の変化を追跡した。

図-4に、変状に対する判定の変化の追跡の結果変化した項目とそのスパン数を示す。この図から、P、Qトンネルでは「ひびわれ幅、長さ、分布」、「ひびわれの方向性」、「交差・分岐」の項目が変化していることがわかった。例外として、QトンネルのスパンNo.20では「ひびわれ幅、長さ、分布」、「閉合型」にも該当項目があり点数が変化した。また、スパンNo.4では「ひびわれ幅、長さ、分布」、「交差・分岐」、「漏水」にも該当項目があり点数が変化した。

外力評価点の変化があったスパンのうち多くのスパンでTCIを用いて算出する「ひびわれ幅、長さ、分布」の項目が変化しているため、2回の点検Bでの評価点のばらつきにはTCIの値の変化が大きな影響を及ぼしている可能性が推察される。図-5に、2回の点検Bでの外力評価点分布の比較を示す。直線（赤）は評価点が一致する直線である。この図から、全般的に2回目の評価点が高くなること、場合によっては20点も大きい結果もあることがわかる。

前述のばらつきがTCIの値の変動によるものが大きく影響を与えていると考え、文献³からTCIの値の変動要因としては下記の要因があげられる。

- 1) ひびわれ損傷の進行
- 2) ひびわれ損傷の過大評価
- 3) ひびわれ損傷の過小評価
- 4) ひびわれ損傷に対する補修の実施
- 5) 温度変化によるひびわれ幅の変動

文献³では、前回点検時から19.7℃の温度変化が確認されたが、ひびわれ幅増加の主な要因はひびわれ損傷の進行であると考察されている。そこで、次章では対象トンネルが変わった場合にも温度による影響が小さいのか本論文で対象としたトンネルにおいて調査を行う。

4. 気温の変化によるひびわれ幅の変化

表-2に、P、Qトンネルの点検時の気温と点検日の間隔を示す。点検実施日の気温はトンネル坑内の気温の計測データが無いためトンネルに最寄りの観測所のアメダスデータの日平均気温を採用した。ここでは、気温の変化によるひびわれ幅の変化を確認するために2回の点検Bで作成されたひびわれ展開図を使用し、1回目の点検Bと2回目の点検Bでのひびわれ幅を比較した。本章での点検間隔とは1回目の点検B実施から2回目の点検B実施までの日数である。

表-1 対象トンネルの諸元

トンネル名	P	Q
全長	316.7m	245.1m
スパン数	31	24
供用開始年	1993年	1993年

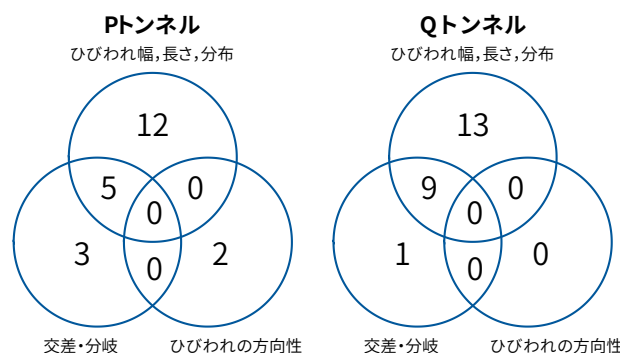


図-4 変化した項目とそのスパン数

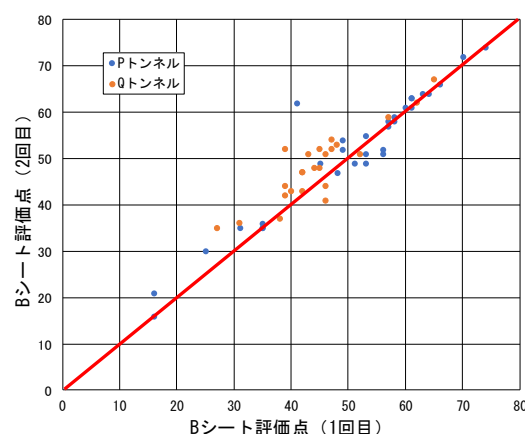


図-5 2回のB点検での外力評価点分布

(1) 比較方法

ひびわれ展開図は P、Q トンネルにおける比較の際は 2 回の点検 B で取得されたものを使用した。ひびわれ展開図比較は目視により比較を行い、ひびわれ幅が変化したものを抽出し、本数を計数した。ここでは、2 回目の点検実施時に記録されたひびわれを基準として判定を行った。図-6、7 にひびわれ幅の変化の例を示す。また、点検時の気温差は（2 回目の点検実施時の気温）－（1 回目の点検実施時の気温）により算出した。

(2) 比較結果と考察

気温差が正の場合2回目の点検B時の方が気温が高く、2回目の点検B実施時の覆工は1回目の点検B実施時の覆工に比べ膨張しているため、ひびわれ幅は狭くなると容易に考えられる。逆に、気温差が負の場合は2回目の点検B実施時の覆工は1回目の点検B実施時の覆工に比べ収縮しているため、ひびわれ幅は広がる。

表-3 にひびわれ幅の変化に関する調査結果を示す。この表に示すように、Q トンネルでは、気温が低下するとひびわれ幅が狭くなるケースが広がるケースより7倍存在していることがわかった。このことから、気温によるひびわれ幅への影響がある可能性が明らかとなった。しかし、P トンネルの気温差を見ると、2 回目の点検 B ではより温度が上昇しているのでひびわれ幅そのものは狭まると考えられるものの、この表から、ひびわれ幅が広がるケースが狭くなるケースの 4.5 倍存在することがわかる。このことから、気温の違いによるひびわれへの影響以外の外的要因や材料劣化の進行でひびわれ幅が変化した可能性がある。ただし、取得した気温はトンネル坑内で直接測定したものではないため、今後、トンネル坑内の気温を取得し、再度検討を行う必要があると考える。

5. 結論と今後の課題

本論文では点検Bを2回実施したトンネルを対象に点検記録から、点検結果のばらつきがBシート上のどの項目が変化したものであるかを確認した。また、2回の点検の結果のばらつきの要因が温度の変化によるひびわれ幅の変化による可能性を考え、ひびわれ展開図を比較した。

その結果、P、Qトンネルにおいて、2回の点検Bの点数のばらつきはTCIを用いて算出される項目が変化することが主な要因であることがわかった。ひびわれ展開図の比較では、気温の違い以外に、材料劣化や外的要因によるひびわれ幅が変化している可能性があることがわかった。

本論文ではP、Qトンネルの2本のトンネルの2回の点検結果のばらつきについて分析を行った。点検Bの比較においてばらつきが生じており、このことから、様々な要因でばらつきが生じうると推察する。今後は、このばらつきについてP、Qトンネル以外のトンネルにおいても分析を進めていく。

気温とひびわれ幅の関係性について検証を進めていくために、実トンネルでの気温とひびわれ幅の計測が必要であると考ええる。

表-2 点検時の気温と点検日の差分

トンネル名	P	Q
1回目の点検実施時の気温 (実施した点検)	2013年9月5日 23.9℃ (点検B)	2013年8月28日 27.3℃ (点検B)
2回目の点検実施時の気温 (実施した点検)	2016年8月3日 28.7℃ (点検B)	2016年7月15日 24.8℃ (点検B)
点検間隔	1063日	1052日

ひびわれが狭まる例

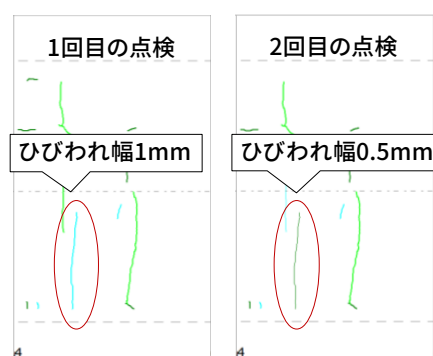


図-6 ひびわれの幅が狭まる例

ひびわれが広がる例

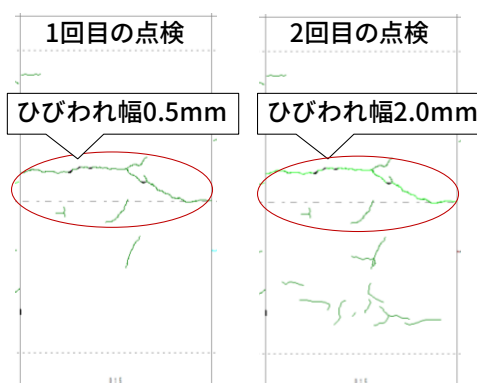


図-7 ひびわれの幅が広がる例

表-3 ひびわれ幅に関する調査結果

トンネル名	トンネル延長	ひびわれ幅	本数	気温差
Pトンネル	316.7m	広がる	9	4.9℃
		狭まる	2	
Qトンネル	245.1m	広がる	14	4.9℃
		狭まる	2	

参考文献

- 1) 海瀬忍, 伊藤哲男, 八木弘, 水野希典, 前田洸樹, 進士正人: トンネル覆工の定量的な健全度評価手法に関する検証, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.74, No.1, 1-14, 2018
- 2) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): 保全点検要領構造物編, pp.137-139, 2017.
- 3) 海瀬忍, 伊藤哲男, 八木弘, 水野希典, 前田洸樹, 進士正人: トンネル覆工のひびわれ進行性評価手法に関する検証, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.73, No.3 (特集号), 1_10-1_20, 2018

(2018.8.10 受付)

STUDY ON DISPERSION OF CONCRETE LINING INSPECTION RESULTS CAUSED BY INSPECTION METHOD

Tomohito MIYAJI, Shinobu KAISE, Hisashi HAYASHI, Shingo MORIMOTO and
Masato SHINJI

With the increase of aging tunnels in Japan, it is strongly required to inspect efficient tunnel lining. NEXCO conducts desktop inspection by the lining image photographing system and detailed inspection by engineers.

Therefore, in this paper, we analyzed the inspection result of the tunnel which carried out twice the inspection and grasp that the dispersion occurred. And it was found that the crack width for calculating the evaluation point using TCI may affect the dispersion of the inspection result. In addition, as a factor influencing TCI, a change in crack width due to change in temperature can be considered, so crack width was compared using crack map. As a result, it was found to be affected by changes other than temperature.