

新都市社会技術融合創造研究会 研究成果報告会

建設DXにおける「トンネル点検支援技術、斜面
防災・減災」の取り組み

トンネル点検支援技術の高度化に関する研究

4. 支援技術を活用した状態の把握と診断

(株) オリエンタルコンサルタンツ
井上 彰

1

9. 支援技術を活用した状態の把握と診断 9章

目 次

9.1 概要

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

9.2.2 判定の目安に対する支援

9.2.3 健全性診断に対する支援

9.3 まとめ

※ 研究成果報告書の項目

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.1 概要

支援技術（画像計測、レーザ計測、レーダ探査技術等）を活用し、**従来点検に対してどこまでの支援ができるか**、前項までの検証結果を踏まえ、外力性・材質劣化の判定、定期点検要領の判定の目安、健全性診断への支援方法など点検要領に対する**支援内容と支援レベル（補完・代替・高機能化）**を整理する。

3

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.1 概要

(1) 定期点検要領に対する支援概要

① 外力性・材質劣化の判定への支援

- ・ 覆工に発生する**ひび割れをどのように判定するのか**個々の専門技術によって異なる。
- ・ **従来点検においても難易度が高い**ことから、支援技術を活用することでどの程度の支援ができるのかを取りまとめる。

② 定期点検要領の判定の目安に対する支援

- ・ 診断をする上で重要な指標である。
- ・ 従来点検においてもこれらが**理解出来ていないことから判定誤差**が発生することもあるため、支援技術を活用することで従来点検をどこまで支援できるのかを取りまとめる。

4

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.1 概要

③健全性診断に対する支援

- ・点検内容以外に維持管理資料やこれまでの研究成果なども活用し健全性を診断するには**専門技術が最も必要な内容**である。
- ・支援技術並びにその他の技術等を活用することで**専門技術をもっている人材に近づく判定がどこまでできるのかを整理**する。

従来点検と支援技術を活用した点検において、支援レベルを検討するために必要な閾値（しきいち）についても取りまとめる。

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.1 概要

(2) 閾値(しきいち)の考え方

変状種類	閾値（しきいち）			診断時の留意事項
	要素	計測精度（3～6章）	対策区分判定・診断（9章）	
① 圧ざ・ひび割れ	幅	【矢板工法】ひび割れ幅 1.0mmを検出 （状態の把握における対策区分の判定可能）	ひび割れ幅 3.0mm程度 （目安例/0.3mm以上 ^{※1)} ⇒ ひび割れ幅1.0mm程度 （NEXCOより/変位等確認が必要）	左記要素含め、ひび割れ密度、進行性（③参照）なども考慮する必要がある（はく落に繋がるものにも注意が必要）。また、左記要素に追加し、ひび割れ最小分解能：0.3～0.5mm、ひび割れ幅の検出：0.5mm刻みとする。
	長さ	ひび割れの長さ及び、進行の有無	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図（維持管理便覧/付属資料）のひび割れ形態が分かるレベル	
	位置	ひび割れの位置及び、ひび割れ状況（密集、外力性の有無）	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図（維持管理便覧/付属資料）の発生位置が分かるレベル	
	色識別	変色箇所、豆板、漏水箇所のひび割れの有無	コンクリートに入ったひび割れが確認できるレベル（断面修復箇所、豆板などの材質劣化が確認できるレベル）	
② うき・はく離	大きさ	長さが0.05m以上の規模^{※2)} が分かるレベル（近接目視と同等と想定）	長さが0.05m以上の規模^{※2)} が分かるレベル（近接目視と同等と想定）	左記要素含め、うき・はく離に繋がる外力性ひび割れ（①参照）、変形・移動・沈下（③参照）に伴ううき・はく離などにも配慮する必要がある
	検出率および的中率	従来点検と同等レベル	従来点検と同等レベル	
	位置	ひび割れの位置（目地、コールドジョイント）及び、ひび割れ状況（密集、外力性の有無）	アーチ、側壁並びに横断目地・水平打ち継ぎ目・ひび割れ沿いなどの見分けができるレベル	
③ 変形・移動・沈下	変形・移動・沈下量	誤差 2mm程度	1mm以上/年	進行時期、停滞時期も存在する可能性が高いため、複数年での監視が必要
	位置	覆工、路面、歩道、監視員通路、監査廊など（坑門工は不可）	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図（維持管理便覧/付属資料）の発生位置が分かるレベル	

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.1 概要

(2) 閾値(しきいち)の考え方

変状種類	閾値(しきいち)			診断時の留意事項
	要素	計測精度(3~6章)	対策区分判定・診断(9章)	
④鋼材腐食	位置	範囲の検出	アーチ、側壁などの見分けができるレベル	山岳トンネルにあるひび割れ防止筋なのか、RC構造なのかに留意が必要
	色識別	鋼材腐食の色判別(鋼材の断面欠損やうき錆の100%検出は困難)	コンクリートと鋼材並びに鋼材腐食が分かるレベル	
⑤巻厚不足または減少、背面空洞	大きさ	(非接触レーダ探査)巻厚45cm、巻厚30cm以下の場合には空洞100cm程度が確認できるレベル	巻厚30cm以上もしくは30cm以下の場合の空洞高さ30cm以上が確認できるレベル	巻厚は設計巻厚と有効巻厚が必要で、巻厚不足は巻厚のみ、突発性崩壊は巻厚と背面空洞で判定することに留意が必要
	形状	(非接触レーダ探査)巻厚45cm、巻厚30cm以下の場合には空洞100cm程度が確認できるレベル	巻厚30cm以上もしくは30cm以下の場合の空洞高さ30cm以上が確認できるレベル	
	位置	アーチの天端、肩より天端側、肩より側壁側かなど(診断にはあまり影響ないと思われる)	アーチの天端、肩より天端側、肩より側壁側かなど(診断にはあまり影響ないと思われる)	
	検出率および的中率	従来点検と同等レベル	従来点検と同等レベル	
	強度 ^{※3)}	(コンクリート強度試験で確認)	コンクリート設計基準強度との対比ができるレベル	
⑥漏水等による変状	位置	噴出、流下、滴水の検出(にじみは、壁面の汚れなどの関係で100%検出は困難)	アーチ、側壁などの見分けができるレベル	利用者への影響度合いで判定し、路面に発生する滞水状態についても留意が必要
	色識別	漏水、遊離石灰、凍害(つらら、側水)の有無	にじみ、滴水、流下、噴出などの漏水と遊離石灰、つらら、側水などが見分けられるレベル	

※1) ひび割れ幅0.3mm以上(維持管理便覧/凡例より)

※2) 現場点検作業において、うきを変状展開図に記載する大きさであり、経験値に基づく規模

※3) 強度は支援技術以外での対応

7

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

道路トンネル定期点検要領における①~⑥の変状種類に対し、対策区分判定並びに健全度診断の支援内容を検討する。

表-解 7.1 変状種類及び変状区分との関係

変状種類	変状区分		
	外力	材質劣化	漏水
①圧ざ、ひび割れ	○	○	
②うき・はく離	○	○	
③変形、移動、沈下	○		
④鋼材腐食		○	
⑤巻厚の不足または減少、背面空洞		○	
⑥漏水等による変状			○

補足1) 変状種類は変状として現れる事象であり、変状区分は基本的には変状の要因を区分したものである。したがって、ここでの変状区分は、必要となる対策の区分とは異なることに注意する必要がある。例えば、材質劣化による巻厚不足や減少が生じている場合にも、必要に応じて外力への対策が必要となるなど。

補足2) 変状区分とは、変状現象の要因を3つに区分(外力、材質劣化、漏水)したものをいう。

- ・ 外力とは、トンネルの外部から作用する力であり、緩み土圧、偏土圧、地すべりによる土圧、膨張性土圧、水圧、凍上圧等の総称をいう。
- ・ 材質劣化とは、使用材料の品質や性能が低下するものであり、コンクリートの中性化、アルカリ骨材反応、鋼材の腐食、凍害、塩害、温度収縮、乾燥収縮等の総称をいう。なお、施工に起因する不具合もこれに含む。
- ・ 漏水とは、覆工背面地山等からの水が、トンネル坑内に流出することであり、覆工や路面の目地部、ひび割れ箇所等の水流出の総称をいう。なお、漏水等による変状には、冬期におけるつららや側水が生じる場合も含む。

8

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

- ・ 外力性診断では、現場で確認した変状（ひび割れ等）以外に、維持管理記録、地質情報、施工情報、変状位置・方向・部位・連続性などの基本情報が必要である。
- ・ 判定するために必要な技術がひび割れ変状を見極めることである。点検初見では発生したひび割れに対し、研究成果などを活用し、外力性の可能性があるものか、材質劣化かを見極めることが重要である。
- ・ これは従来点検、支援技術であってもかわらない。

判定への手順を次図に示す。

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

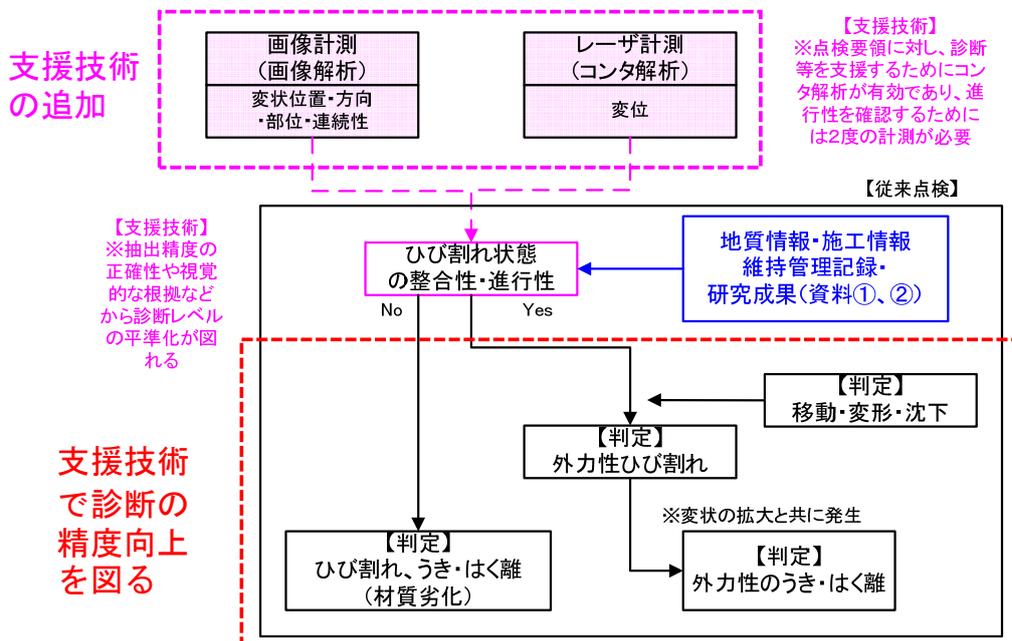


図9.2.4 外力診断の流れ

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

資料①：研究成果（道路トンネル維持管理便覧【本体工編】R2.8 参考資料からの抜粋）

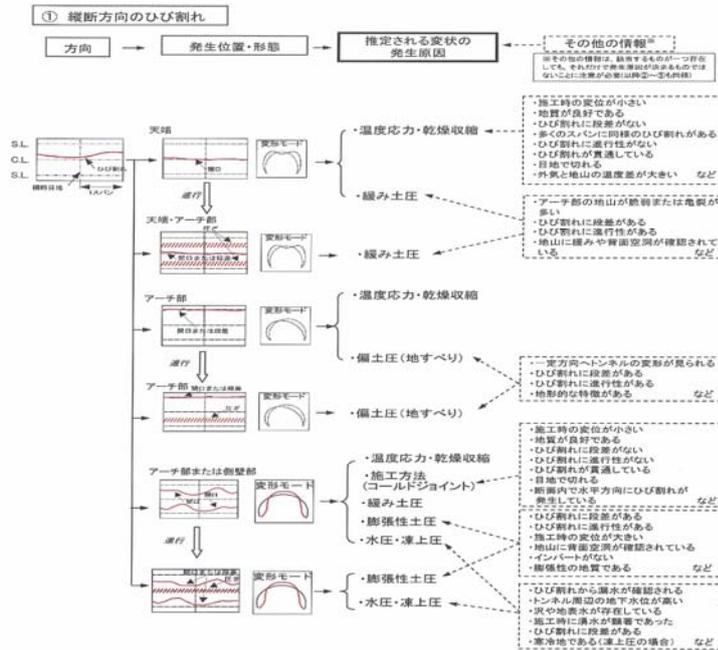


図-3.48 縦断方向のひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

資料②：研究成果（トンネルと地下2019年5月 トンネル保守管理におけるQ&A(5)からの抜粋）

トンネル保守管理におけるQ&A(5) 375

ひび割れの種類	主な発生原因
タイプ①：トンネル天端部方向のひび割れ	無筋区間のトンネルに多く発生する事例で、右節区間でも発生することがある。最終的には1cmを超えるひび割れに発展する。覆工を横断的に一つのプロックと考えると、天端付近はプロックの中間地点にあたり、乾燥収縮や温度収縮によるひび割れが集中しやすい。さらにトンネル天端部の拘束度が低いところや、充填不足のところは、これらが助長される。肩~圍壁のコンクリートは、収縮が管前拘束され、その収縮量は少ない。
タイプ③：覆工端部の三日月形のひび割れ	セントルのセット時、脱型時の過度な押上げによって生ずるひび割れ。セントルは、既設置工端部にラップさせ、もう一方は木製矢板の裏側に設置し、その閉鎖空間内にコンクリートを打設する。着工コンクリートの打設は、コンクリートの材齢3日程度の若材で行われる。セントルセットは、引圧のジャッキを用いるが、均等に昇降できないと、若材側のコンクリートに局所的な荷重が作用し、これによって三日月形のひび割れが生ずる。当初は縦横なひび割れであったものが時間の経過とともに顕在化することがある。
タイプ③：インバートの接合部から漸前方向に生ずるひび割れ	インバートを拘束体とし、その後に打設される覆工の温度収縮、乾燥収縮によって、発生するひび割れ
タイプ④：コンクリート打設時のプリージング水の滞留によるひび割れ	コンクリートの横流しや、バイブレーターのかけ過ぎによって、コンクリート表面にプリージング水が生じ、それが凝固で滞留することで生ずるコールドジョイント
タイプ⑤：吹上げ口からコンクリートの流に沿ったひび割れ	検測窓から、吹上げ口に打設に切替えることで生ずるコールドジョイント、配管の切替え、先端ホースの取り回しに時間を要し、時間が経過することによって配管内の閉塞などのトラブルに起因してコールドジョイントが生ずる。
タイプ⑥：覆工天端横断方向のひび割れ	セントル内の保溫養生の温度差による外部拘束

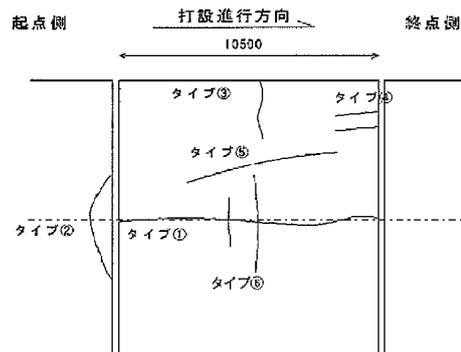


図-1 代表的な初期ひび割れの形態

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

外力性、材質劣化の判定至る手順を検討し、従来点検と支援技術の違いについて整理したものを下表に示す。

表9.2.1 従来点検と支援技術の違い

変状	判定に至る手順					従来点検と支援技術の違い												
ひび割れ	ひび割れ (方向、位置、 場所)	→	進行性未確認		⇒	【従来】近接目視+専門技術:大 【支援】画像計測+コンタ解析+専門技術:中~小												
			発生形態確認 (研究成果)	⇒			材質劣化	⇒	進行									
うき・はく離	ひび割れ沿い、 目地 ・打ち継ぎ目	→	外力進行後	⇒	うき	【従来】=【支援】 ※近接目視(計測)や打音検査との組み合わせ必要												
			外力性なし	⇒	うき													
			⇒	⇒	⇒		⇒	⇒										
変形・移動・沈下	ひび割れ	→	⇒	⇒	変形・移動・沈下	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒							
			⇒	⇒	⇒							⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
			⇒	⇒	⇒							⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
変形・移動・沈下	ひび割れ	→	⇒	⇒	変形・移動・沈下	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒							
			⇒	⇒	⇒							⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
変形・移動・沈下	ひび割れ	→	⇒	⇒	変形・移動・沈下	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒							
			⇒	⇒	⇒							⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.1 外力性、材質劣化の判定への支援

【まとめ】

- ・ 支援技術を活用することで、画像計測によりひび割れが正確に確認できることから、研究成果を活用した判定を支援可能である。
- ・ 従来点検で作成した変状展開図よりも正確で、視覚的に変状をとらえることが可能であり、研究成果との変状の整合性を確認しやすくなる。
- ・ さらに、レーザ計測データをもとにコンタ解析を実施することで外力影響が発生しているのか確認もできることから、高度な専門技術が必要となる外力性か材質劣化かの判定の難易度が若干下がることを期待される。

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.2 判定の目安に対する支援

ひび割れ、うき・はく離、変形・移動・沈下、巻厚の不足または減少、突発性の崩壊、漏水の判定の目安値について、どの技術（画像計測、レーザ計測、レーダ探査）で**支援可能かの整理と支援レベル（補完・代替・高機能化）を整理する。**

各変状区分毎の判定の目安に対する支援内容、診断に向けた判定方法（案）について検討したものを次に示す。

【用語の定義】
 補完；従来点検を部分的に補う
 代替；従来点検を完全に置き換える
 高機能化；従来点検以上の高付加価値化を実現する

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.2 判定の目安に対する支援

「道路トンネル定期点検要領」に示される判定の目安						走行型計測の適用性											
① 圧ざ・ひび割れ（外力）						ひび割れ											
付表-2.2 点検時（ひび割れの進行の有無が確認できない場合）の対策区分の目安例（矢板工法）						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>変状の判定項目</th> <th>対応技術</th> <th>適用の判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ひび割れ幅、長さ、進行性、ひび割れ密度</td> <td>画像計測</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>外力性判定</td> <td>レーザ計測</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </tbody> </table>			変状の判定項目	対応技術	適用の判定	ひび割れ幅、長さ、進行性、ひび割れ密度	画像計測	○	外力性判定	レーザ計測	○
変状の判定項目	対応技術	適用の判定															
ひび割れ幅、長さ、進行性、ひび割れ密度	画像計測	○															
外力性判定	レーザ計測	○															
対象箇所	部位区分	外力によるひび割れ				・画像解析により、ひび割れ幅（0.3mm以上）、長さ、進行性、ひび割れ密度を判定可能 ・コンタ解析により、外力影響の有無を判定可能 上記のとおり 代替 可能である。 ・ひび割れ幅、長さが確認できる。 ・進行性の確認は、変形・移動・沈下を参照。 診断に向けた判定方法(案) 【付表-2.2】 ・補足3)のⅠ、Ⅱb判定の見分け方 ⇒ 監視が必要：Ⅱb、監視不要：Ⅰ ・補足4)のⅡb、Ⅱa、Ⅲ判定の見分け方 ⇒ 外力の可能性があり幅が極端に大きい（せん断ひび割れが確認されている）：Ⅲ、外力の可能性がない：Ⅱb(監視必要) 【付表-2.3】 ・幅3mm未満のⅡa、Ⅲ判定の見分け方 ⇒ 長さ5m以上(現場状況に応じて判断)：Ⅲ、長さ5m未満：Ⅱa ・ひび割れ計測ではなく、走行型計測で2回以上の測定しても確認可能 ・コンタ解析を付加することが高機能化につながり、専門技術は必要となるが、外力性の診断は可能。											
覆工	断面内	幅	長さ	対策区分													
		5mm以上	3~5mm	3mm未満	10m以上	5~10m	5m未満										
		○	○	○	○	○	○	Ⅰ、Ⅱb、Ⅱa Ⅱb、Ⅱa Ⅲ Ⅲ Ⅱb、Ⅱa、Ⅲ Ⅲ Ⅳ									
補足1) 連続したひび割れ内で幅が変化する場合は、最大幅を当該ひび割れの幅とする。 補足2) 覆工スパンをまたがる連続したひび割れは、覆工スパンをまたがって計測される長さを当該ひび割れの長さとする（覆工スパン単位のひび割れ長さでは評価しない）。 補足3) 3mm未満のひび割れ幅の場合の判定例を下記に示す。 Ⅰ、Ⅱb: ひび割れが軽微で、外力が材質変化が判断が難しい場合 Ⅱa: 地山条件や、周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用の可能性がある場合 なお、地山条件や、周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用が明らかに認められる場合は、その影響を考慮して判定を行うことが考えられる。 補足4) ひび割れ幅が5mm以上でひび割れ長さが5m未満の場合の判定は、ひび割れの発生位置や発生原因を考慮して、判定を行う。																	
付表-2.3 調査の結果、ひび割れの進行が確認された場合の対策区分の目安例（矢板工法）																	
対象箇所	部位区分	外力によるひび割れ															
		幅	長さ		対策区分												
		3mm以上	3mm未満	5m以上	5m未満												
		○	○	○	○			Ⅱa、Ⅲ Ⅲ Ⅳ									

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.2 判定の目安に対する支援

「道路トンネル定期点検要領」に示される判定の目安				走行型計測の適用性											
②うき・はく離															
付表-2.6 うき・はく離等に対する対策区分の目安例															
対象箇所	部位区分	ひび割れ等の状況 ^{補足1)}	異常打音 ^{補足2)}		変状の判定項目	対応技術	適用の判定								
			有	無											
覆工	断面内	ひび割れ等はあるものの、進行しても閉合のおそれがない	II b ⇒ 確認可能		うき・はく離	レーダ探査	△								
		ひび割れ等は閉合してはいないものの、ひび割れの進行により閉合が懸念される	III	II b											
		ひび割れ等が閉合しブロック化 ^{補足3)} している	IV	II b、II a、III											
		漏水防止モルタルや補修材が材質劣化 ^{補足4)} している	III、IV	II b、II a、III											
		覆工コンクリートや骨材が細片化している、あるいは豆板等があり材質劣化している	III、IV	II b、II a、III	ひび割れ閉合、材質劣化	画像計測	○～△								
<p>補足1) ひび割れ等が外力による場合は変状区分の外力として、材質劣化による場合は変状区分の材質劣化として判定する。</p> <p>補足2) ブロック化とは、ひび割れ等が単独またはひび割れと目地、コールドジョイント等で閉合し、覆工が分離した状態をいう。</p> <p>補足3) 補修材等のうき・はく離については、本体工に生じるうきに比べてその厚さが薄いことが多いため、発生位置等を考慮し、判定することが考えられる。</p> <p>補足4) 打音異常が認められない場合、一般的には対策区分 II b と考えられるが、下記の場合は対策区分 II a または</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブロック化の面積が大きい場合 ・ひび割れの発生状況から落下の危険性が考えられる場合 ・ブロック化が進行している場合 ・劣化要因が明確な場合や寒冷地等の厳しい環境条件下にある場合 <p>⇒ III、II a 判定とするための専門技術が必要</p>															
<p>走行型計測の適用性</p> <p>うき・はく離</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>変状の判定項目</th> <th>対応技術</th> <th>適用の判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>うき・はく離</td> <td>レーダ探査</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ閉合、材質劣化</td> <td>画像計測</td> <td>○～△</td> </tr> </tbody> </table> <p>これで判定し、打音検査を併用 上記のとおり代替は難しく、他の技術と併用することで補完は可能である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ、ひび割れ閉合、ブロック化、材質劣化などは画像計測で確認は可能。 ・異常打音が無の場合を活用した判定は可能。 ・ひび割れを伴わないうきは目安例にないことから、II b 判定とする。 <p>診断に向けた判定方法(案)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・画像計測によって、うき・はく離がないスパンの抽出ができることからスクリーニングとして実施。 ・うき・はく離の可能性のあるスパンを対象に打音検査を実施し、診断する。 ・ただし、判定する場合も補足4)のような定量的に判断できない部分があり、従来点検同様に専門技術が必要。 							変状の判定項目	対応技術	適用の判定	うき・はく離	レーダ探査	△	ひび割れ閉合、材質劣化	画像計測	○～△
変状の判定項目	対応技術	適用の判定													
うき・はく離	レーダ探査	△													
ひび割れ閉合、材質劣化	画像計測	○～△													

17

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.2 判定の目安に対する支援

「道路トンネル定期点検要領」に示される判定の目安					走行型計測の適用性								
⑤巻厚の不足または減少、背面空洞													
付表-2.15 巻厚の不足または減少に対する対策区分の目安例(矢板工法の場合)													
箇所	主な原因	有効巻厚/設計巻厚			対策区分	変状の判定項目	対応技術	適用の判定					
		1/2未満	1/2～2/3	2/3以上									
アーチ・側壁	経年劣化 凍害 アルカリ骨材反応 施工の不適切など			○	II b	覆工巻厚	非接触 レーダ探査	△					
			○		II a、III								
		○			III、IV								
<p>補足) 有効巻厚/設計巻厚が1/2未満は対策区分III、1/2～2/3は対策区分II aを基本とするが、巻厚不足に起因するひび割れや変形の発生が認められる場合、対策区分をそれぞれIV、IIIへ1ランク上げて判定することが考えられる。なお、有効巻厚としてはコンクリートの設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明な場合は15N/mm²以上の部分とする。</p>													
<p>走行型計測の適用性</p> <p>有効巻厚</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>変状の判定項目</th> <th>対応技術</th> <th>適用の判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>覆工巻厚</td> <td>非接触 レーダ探査</td> <td>△</td> </tr> </tbody> </table> <p>・巻厚30cm以下なら確認できる。 ・判定目安から逆算すると巻厚45cm以下しか判定できないことになる。巻厚45cm以上が確認される場合は、極端に薄い箇所がないかのスクリーニングを考える。 ・コンクリート強度が確認できないことから巻厚が薄い箇所のスクリーニングで活用可能。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>・上記のとおり代替は難しいが補完は可能。</p> <p>診断に向けた判定方法(案)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スクリーニングとしての活用は、NATMなどの巻厚が薄い場合には、十分対応可能。 ・矢板工法においても巻厚が薄い箇所を抽出後、打音検査などの規制時に接触レーダ探査やコア削孔を行い診断を実施することで代替可能。 								変状の判定項目	対応技術	適用の判定	覆工巻厚	非接触 レーダ探査	△
変状の判定項目	対応技術	適用の判定											
覆工巻厚	非接触 レーダ探査	△											

18

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.2 判定の目安に対する支援

「道路トンネル定期点検要領」に示される判定の目安	走行型計測の適用性															
<p>⑤巻厚の不足または減少、背面空洞</p> <p>付表-2.16 突発性の崩壊のおそれに対する対策区分の目安例^{補足1)}</p> <table border="1" data-bbox="248 481 919 654"> <thead> <tr> <th data-bbox="248 481 564 533">覆工巻厚(有効巻厚) \ 背面空洞深さ</th> <th data-bbox="564 481 740 533">大^{補足2)} (30cm 以上程度)</th> <th data-bbox="740 481 919 533">小^{補足3)} (30cm 未満程度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="248 533 564 591">小 (30cm 未満程度)</td> <td data-bbox="564 533 740 591">Ⅲ、Ⅳ^{補足3)}</td> <td data-bbox="740 533 919 591"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="248 591 564 654">大 (30cm 以上程度)</td> <td data-bbox="564 591 740 654">Ⅱa、Ⅲ^{補足4)}</td> <td data-bbox="740 591 919 654">⇒判定が難しい^{補足5)}</td> </tr> </tbody> </table> <p>補足1) 本表は矢板工法による道路トンネル(二車線程度)を想定した場合の目安例である。 補足2) 判定にあたっては、背面空洞および巻厚不足箇所の平面的な広がりも考慮する。 補足3) 地山の状態や覆工の性状が比較的良好な場合は、Ⅲとして判定することができる。 補足4) 背面空洞が側面の場合、あるいは地山の状態や覆工の性状が比較的良好な場合は、Ⅱaとして判定することができる。 補足5) 背面空洞の深さが30cm 程度未満の場合は、覆工の性状、覆工背面の土砂等の堆積、漏水の状態を考慮して判定する。</p>	覆工巻厚(有効巻厚) \ 背面空洞深さ	大 ^{補足2)} (30cm 以上程度)	小 ^{補足3)} (30cm 未満程度)	小 (30cm 未満程度)	Ⅲ、Ⅳ ^{補足3)}		大 (30cm 以上程度)	Ⅱa、Ⅲ ^{補足4)}	⇒判定が難しい ^{補足5)}	<p>突発性崩壊</p> <table border="1" data-bbox="1002 459 1414 528"> <thead> <tr> <th data-bbox="1002 459 1177 488">変状の判定項目</th> <th data-bbox="1177 459 1305 488">対応技術</th> <th data-bbox="1305 459 1414 488">適用の判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1002 488 1177 528">背面空洞深さ</td> <td data-bbox="1177 488 1305 528">非接触 レーダ探査</td> <td data-bbox="1305 488 1414 528">△</td> </tr> </tbody> </table> <p>・巻厚30cm程度なら背面空洞として約1.0m程度まで確認が可能。 ・覆工巻厚30cm以上で背面空洞深さ30cm以上の場合の判定は特に難しい。 ・上記以外で、覆工変状や維持管理履歴などから疑わしい箇所はレーダ計測での確認が必要(スクリーニングでの活用は可能) ・アーチ天端のみしか情報が無いため診断するためには接触レーダ探査との併用が必要。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>・上記のとおり代替は難しいが補完は可能。</p> <p>診断に向けた判定方法(案) ・巻厚が薄くない箇所のスクリーニングとしての活用は可能。 ・背面空洞がある箇所を抽出後、打音検査などの規制時に接触レーダ探査やコア削孔を行い診断を実施することで代替可能。</p>	変状の判定項目	対応技術	適用の判定	背面空洞深さ	非接触 レーダ探査	△
覆工巻厚(有効巻厚) \ 背面空洞深さ	大 ^{補足2)} (30cm 以上程度)	小 ^{補足3)} (30cm 未満程度)														
小 (30cm 未満程度)	Ⅲ、Ⅳ ^{補足3)}															
大 (30cm 以上程度)	Ⅱa、Ⅲ ^{補足4)}	⇒判定が難しい ^{補足5)}														
変状の判定項目	対応技術	適用の判定														
背面空洞深さ	非接触 レーダ探査	△														

9

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.3 健全性診断に対する支援

前章までの検証結果を踏まえ、画像計測、レーザ計測、レーダ探査技術を使った場合の、対策区分の判定の目安や対策区分別変状例などへの各評価基準との整合性、各項目毎の判定に関する支援内容と健全度評価するための支援レベル(補完・代替・高機能化)を整理する。

特に**圧ぎ・ひび割れ(変形・移動・沈下)**については**外力性の診断手法**について検討した結果を次に示す。

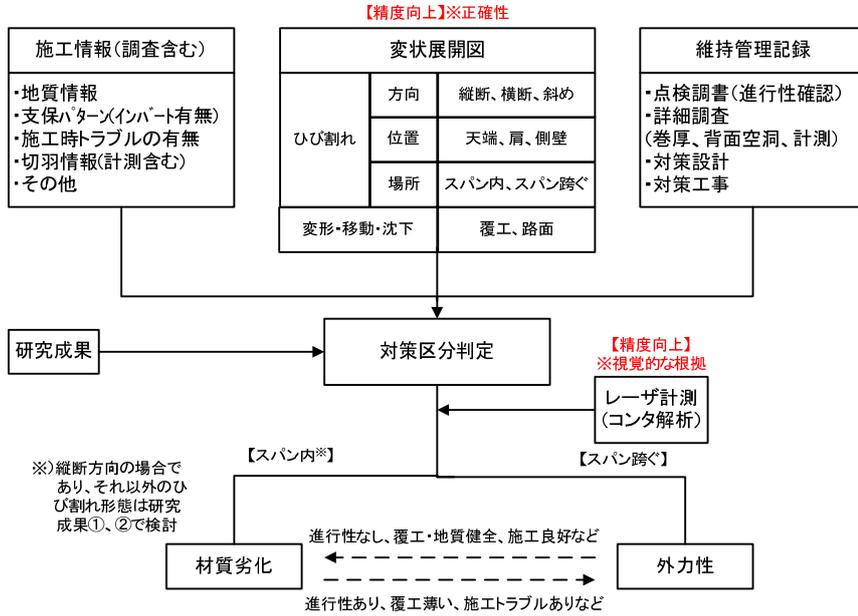
①～⑥の変状種類毎で整理し、検討した結果を取りまとめたものを示す。

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.3 健全性診断に対する支援

外力性の診断手法について具体的な内容を次図で整理した。

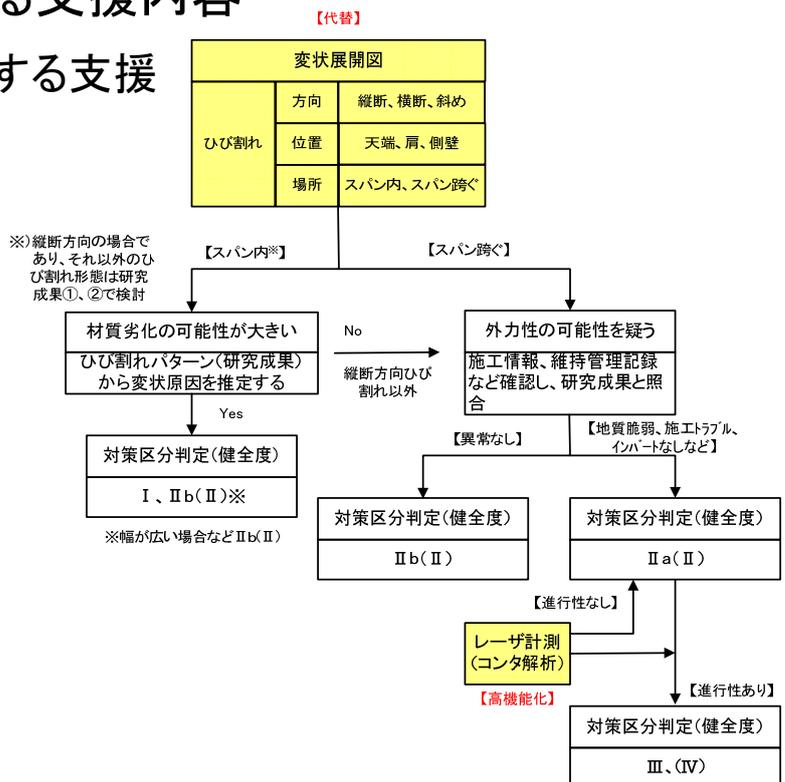


支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.3 健全性診断に対する支援

診断手順については次図のとおりとなる。



支援技術を活用した状態の把握と診断

9.2 点検要領に対する支援内容

9.2.3 健全性診断に対する支援

表 5.3.1 変状原因別コンター図の解析結果イメージ¹⁾

		①緩み土圧 1	②緩み土圧 2	③側圧	④偏圧
コンター図のイメージ	スパン軸合わせ				
	平滑化軸合わせ				
外力のイメージ					

5 レーザ計測の評価法からの抜粋

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

各変状種類毎で取りまとめたものを下表に示す。

表9.3.1 健全度診断に対する検討結果（各変状種類毎）

変状区分	支援内容	単独評価レベル	課題	解決策（併用技術）	複合評価レベル
圧ざ・ひび割れ（外力）☆	画像計測 レーザ計測	代替（高機能化） ※コンタ解析活用	専門技術が必要	—	単独評価と同等
圧ざ・ひび割れ（材質劣化）☆	画像計測	代替 ※コンタ解析活用	専門技術が必要	—	単独評価と同等
うき・はく離☆	画像計測 レーザ計測	補完	専門技術が必要 異常打音「有」が分からない	スクリーニング（打音検査）	代替
変形・移動・沈下	レーザ計測	代替（高機能化） ※コンタ解析活用	専門技術が必要 他の計測との比較必要	—	単独評価と同等
鋼材腐食☆	画像計測	代替	—	—	—
巻厚の不足または減少、背面空洞	レーダ探査	補完	精度に限界あり 有効巻厚が分からない	スクリーニング（接触レーダ探査、圧縮強度）	代替
漏水等による変状☆	画像計測	補完	にじみ（遊離石灰）以外分からない	スクリーニング（遠望目視）	代替 ※記録が残らない

☆：A I 導入で効率化も可能

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

変状区分毎で取りまとめたものを下表に示す。

表9.3.2 健全度診断に対する検討結果（各変状区分毎）

変状区分		変状種類	支援技術	従来技術	検討結果
外力	材質劣化	圧ざ・ひび割れ	画像計測 レーザ計測 <コンタ解析>	施工情報 維持管理記録	外力：代替（高機能化） 材質劣化：補完 ⇒+αで代替
		うき・はく離	レーダ探査 画像計測 (レーザ計測)	打音検査 (叩き落とし)	
外力	材質劣化	変形・移動・沈下	レーザ計測 <コンタ解析>	測量 機器計測	外力：代替（高機能化）
		鋼材腐食	画像計測	(近接目視)	
	材質劣化	巻厚不足または減少、背面空洞	レーダ探査 (非接触)	レーダ探査 (接触) コンクリート強度 試験	材質劣化：補完 ⇒+αで代替
	漏水	漏水等による変状	画像計測	(遠望目視)	漏水：補完 ⇒+αで代替

①外力：代替（高機能化）

②材質劣化：補完 ⇒ +α（打音、接触レーダ探査、圧縮強度等）で代替

③漏水：補完 ⇒ +α（遠望目視等）で代替

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

1) 画像計測の活用

- ・ 画像計測では、従来点検の近接目視をするレベルで覆工変状が確認できるのであれば、従来点検と同じレベルで判定ができる。
- ・ 画像計測で従来点検と同じレベルで誰もが判定ができるような点検要領の整理が重要であり、画像から変状として判定するのが「人」であれば、画像を見て「人」が判定できるような支援内容が必要である。
- ・ 画像計測後に変状展開図を作成するため少しでも作業効率を上げる必要があることからAI技術を活用することが望ましい。
- ・ 特に支援技術により代替となる項目については積極的な活用が期待される。

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

2) レーザ計測活用による専門技術支援

- ・健全性の診断をするためには専門技術力が必要である。
- ・レーザ計測後に実施するコンタ解析は、高度な専門技術がなくても、ある程度のレベルまでであれば外力影響の有無が確認できるツールである。
- ・レーザ計測並びにコンタ解析の実施頻度は今後の課題であるが、うまく活用することで外力影響を伴う変状の診断は可能となる。

27

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

3) 巻厚不足・突発性崩壊の判定への支援方法

- ・巻厚不足や突発性崩壊などについても診断するためには専門技術が必要である。
- ・レーダ探査を用いることで従来点検においても診断を実施している。従来点検においても巻厚不足や突発性崩壊の診断は単独調査のみでは診断ができない。覆工コンクリート強度の確認による有効巻厚の確認が必要となるからである。
- ・走行型計測に搭載される非接触レーダ探査については、接触レーダ探査と性能が異なることもあり、全ての事象で巻厚の薄い箇所や背面空洞を確認することは難しいが、画像計測などと同時に巻厚や空洞確認ができることは効果的である。
- ・従来点検においても有効巻厚を確認する必要があるが、支援技術においても同様である。支援技術を活用しスクリーニングをすることで危険な区間の抽出が早期に確認できることが重要である。

28

支援技術を活用した状態の把握と診断

9.3 まとめ

4) 支援技術では難しい項目への対応方法

うき・はく離、漏水による変状（主に漏水量）については、従来点検との併用が必要であり、支援技術を活用したスクリーニングによって、変状の可能性がある区間のみの従来点検等となり、規制期間の短縮など効率的な現場作業が可能となる。