

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化に関する研究



2011年9月12日(月)

道路トンネル健全性評価プロジェクト

プロジェクトリーダー 大西有三(京都大学)

発表の内容

1. 研究概要
2. 研究の手法とフロー
3. 走行型計測技術の概要
4. 走行型計測の実施（実TNへの適用）
5. 走行型計測結果から得られる評価
6. 今後の課題

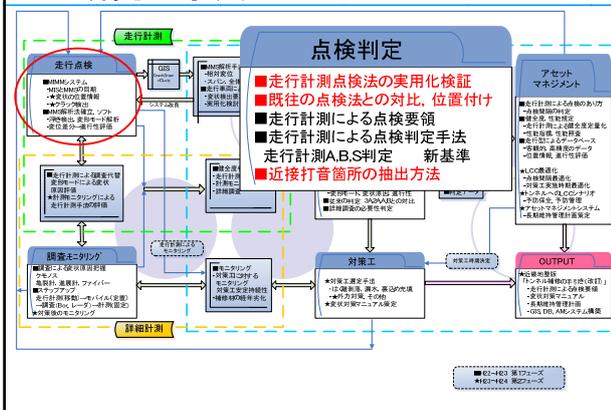
1. 研究概要

- トンネル構造物は、損傷原因の特定や、劣化過程の推定には相当の不確実性が伴う。よって、適正な維持管理を行うための健全性評価や予測が困難であり、ある程度経験的な判断(点検や調査に基づく)により補修の意思決定等がなされているのが現状である。
- 本研究では、今後の道路トンネル維持管理の実用化に向けて、福井河川国道事務所が管理する道路トンネルを対象として、走行型計測技術による道路トンネル健全性評価手法について検討することを目的としている。

プロジェクトの体制

リーダー	京都大学 理事 大西有三副学長
産	(株)アーステック東洋, (株)ウエスコ, エヌ・ティ・ティインフラネット(株), 大林道路(株), 応用地質(株), 鹿島建設(株), 関西工事測量(株), 計測検査(株), 鴻池組(株), 総合計測(株), 中電技術コンサルタント(株), (株)ニュージェック, パシフィックコンサルタンツ, (株)三井住友建設(株), 三菱電機(株)
学	京都大学大学院工学研究科, 金沢工業大学
官	国土交通省 近畿地方整備局 道路部 道路管理課 近畿技術事務所 福井河川国道事務所

2. 研究の手法とフロー



研究項目

本プロジェクトは、3つのグループに分け検討を実施している。

走行計測グループ	画像計測チーム レーザ計測チーム
調査・モニタリンググループ	調査チーム モニタリングチーム
評価グループ	点検判定チーム 健全度判定チーム データベースチーム 対策工チーム

現状の健全性評価手法 現状の課題

(本研究プロジェクトで最初に悩んだこと) =トンネル構造は複雑で判断が難しい

・現状のトンネルは、'人にとって安全に'機能しているか？
 どうやって**評価**するのが望ましい？

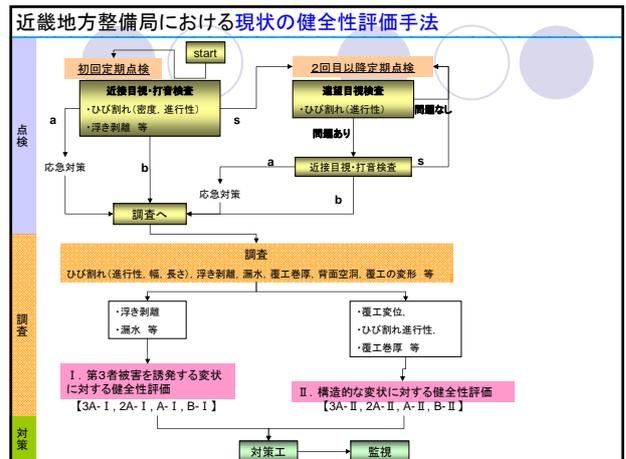
- ・なにから手をつければいいのか？
- ・たとえば、なにをかを計測すればいいのか？

学術的な知見
経験的な技術の蓄積

技術的な制約
経済的な制約

健全性評価を行うための手法(枠組み)の構築が必要

1. 現状の管理手法を把握
2. 学術的な知見を理解
3. 最新の計測技術活用

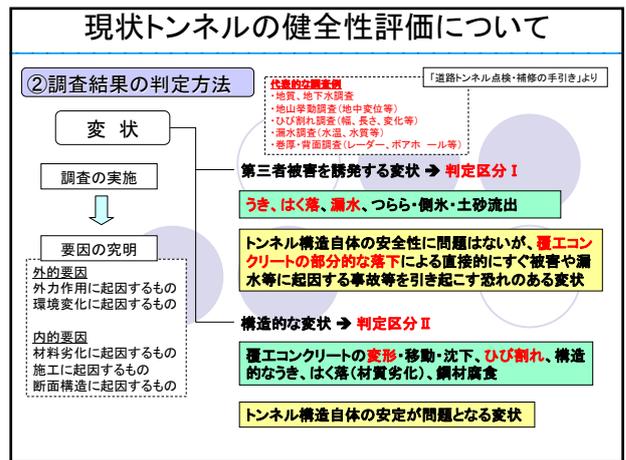


現状トンネルの健全性評価について

①定期点検の判定基準(覆工部)

「道路トンネル定期点検要領」より

変状の種類	判定区分A	判定区分B
ひび割れ、段差	急激にひび割れが進行し、ブロック化して落下する恐れがあるもの	天端、肩部で幅3mm以上、延長方向に5m以上の規模を有するもの
うき、はく離、はく落	コンクリートのはく離がある場合、うきの部分のはく落する恐れのあるもの	はく離に結びつく、うき(圧ざ)があるもの
傾き、沈下、変形	目視により明らかに傾き、沈下、変形があるもの	左記の場合で交通に支障のない場合
打継目の目地切れ、段差	止水板や目地モルタルが落下する恐れのあるもの	左記の場合で交通に支障のない場合
漏水、つらら、遊離石灰	大規模な漏水、つらら、側水があるもの	左記の場合で交通に支障のない場合



現状トンネルの健全性評価について

③調査の判定基準(構造的変状)

「道路トンネル定期点検要領」より

判定区分 II	判定の内容
3A-II	変状が大きく、トンネル構造自体の安定に問題があり、 早急に対策 を必要とするもの。
2A-II	変状があり、それが進行して、トンネル構造自体の安定に問題が生じるため、 計画的に対策 を必要とするもの。
A-II	変状があり、将来的にトンネル構造自体の安定に問題が生じる可能性があると考えられ、 継続的な調査 または調査項目を追加 再調査 を必要とするもの。
B-II	軽微な変状で、現状ではトンネル構造の安定に問題はなく、日常点検での注視を実施するもの。

現状のトンネル管理の課題およびニーズ

- ◆健全性の評価について
 - ・定期点検による評価(A,B,S)と
 - ・詳細調査による評価(3A,2A,A,B)の2段階構成となっている
- ◆トンネル損傷について
 - ・損傷では、ひび割れ、うき・はく離・はく落、漏水が多い
 - ・うき・はく離・はく落は、必ずしもひび割れが原因ではない
- ◆維持管理の課題
 - ・設計施工時の記録が少なく、初期のデータ(変状状況など)がない
 - ・点検及び調査に伴う予算がない
 - ・点検の定量評価ができず、判定にばらつきが生じる
- ◆維持管理のニーズ
 - ・はく離・はく落、漏水など一次被害を事前に察知できればいい(第三者影響)
 - ・交通規制が伴わず、正確、安全、安価、短期間の点検、調査方法が望ましい
 - ・将来の進展が予測できればいい
 - ・構造的変状は比較的少なく、計測で対応できればいい
 - ・これまでの点検履歴を有効活用したデータベースがほしい
 - ・どのトンネルにも同じ管理を行うのではなく、レベルを変えた管理が必要

適切な健全性評価手法を実施するためには？

現状の維持管理手法から、適切な健全性評価を行うには？

- ・“点検”の課題を克服する技術の導入によるデータベース作成
- ・データベース(初期値)作成:既存データとの融合(活用)
- ・長期的、継続的なデータベース資料に基づいたノウハウの蓄積

適切な健全性評価手法に向けたノウハウの蓄積

“これまでの管理手法の考え方を活用”

+

“新技術の特徴を活用”

↓

健全性評価基準を考える

3. 走行型計測技術概要

遠望・近接目視に代替する技術

1. 走行型画像計測 (Mobile Imaging System)

走行しながら連続画像撮影を行うことで、**覆工全延長**のデジタル展開画像の取得が可能

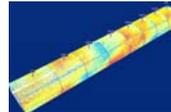


- ・ひび割れの位置が分かる
- ・ひび割れの形が分かる

安全かつ効率的、交通規制不要

2. 走行型レーザ計測 (Mobile Mapping System)

走行しながらレーザ点群計測が可能であり、**覆工全延長**の三次元座標の取得が可能

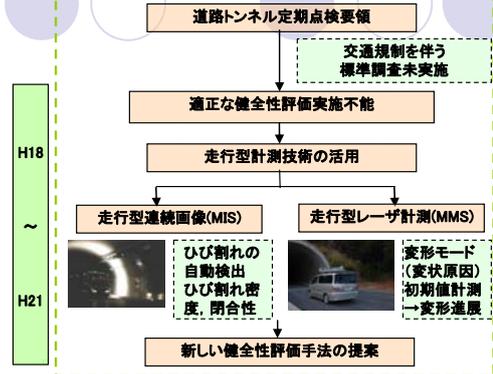


- ・覆工の変形(モード)が分かる
- ・変状原因の推定が可能

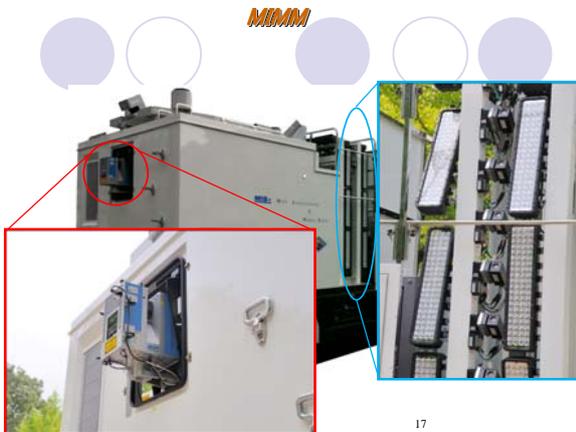
両手法の変状検知に関する評価

変状		走行型画像計測	走行型レーザ計測
ひび割れ	ひび割れ幅、長さ、進展	○	×
	段差	×	△~○
うき、はく離、はく落		△	△~○
目地	周辺閉合ひび割れ	○	△
	目地欠け	○~△	△
	段差	×	○
変形、傾き、沈下		×	○
漏水、遊離石灰		○	×~△
コールドジョイント部のはく離、はく落		△	△
補修材	浮き	△	△
	はく離、はく落	△	△

道路トンネル健全性評価技術研究プロジェクト



MIMM



17

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化検討

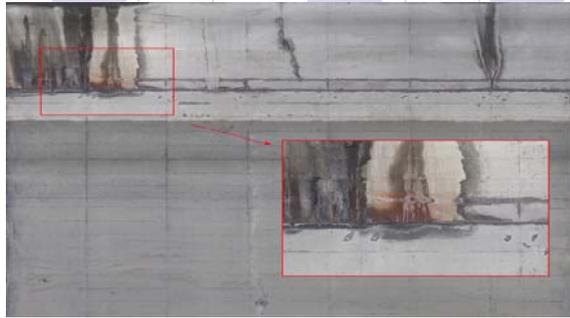
高性能レーザ

MIMM (MIS+MMS)



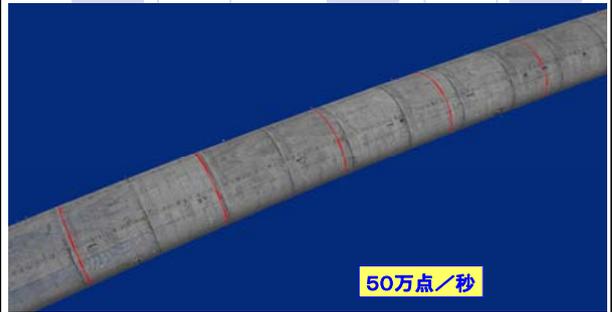
- ・遠望目視の代替
- ・近接打音、たたき落とし低減
- ・見落としのない変状把握
- ・客観的展開図、進行性追跡
- ・走行型による点検の実用化

走行型画像計測(MIS)による画像

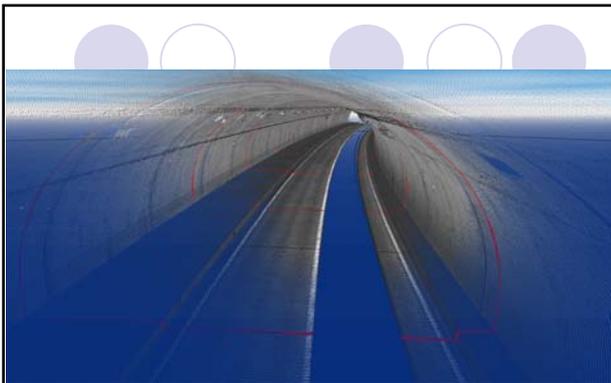


本画像により、ひび割れのような変状の有無だけでなく、漏水、遊離石灰等の判別や、避難誘導設備や消火設備などの判別などにも有効である。さらに、走行速度50km/hで0.3mm程度であることが示されており、ひび割れの検出要求(0.5mm程度)は十分に満たすものといえる。

走行型レーザ計測(MMS)による点群データ



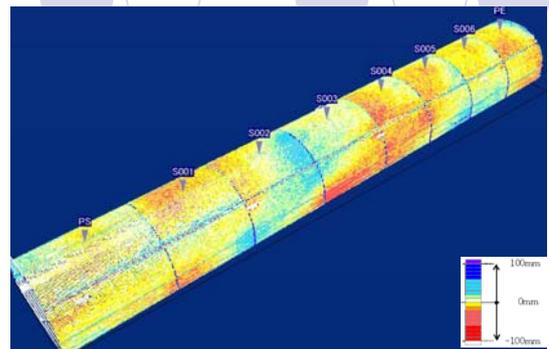
20



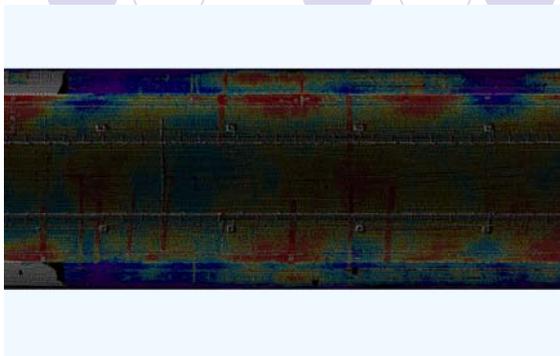
21

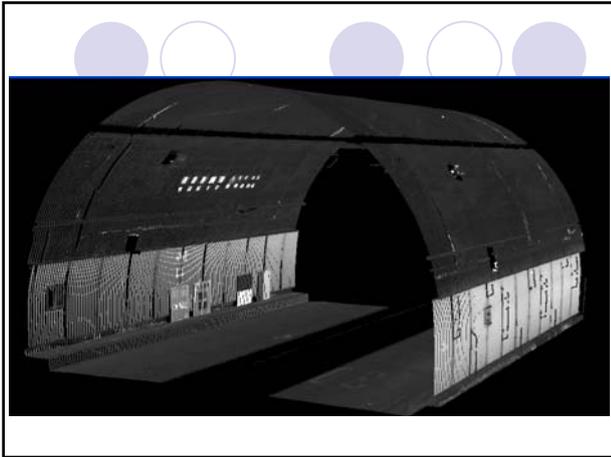
変形の計算方法

変形モード

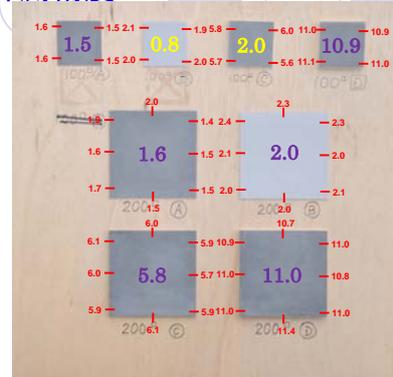


凹凸レーザ点群(色分け)

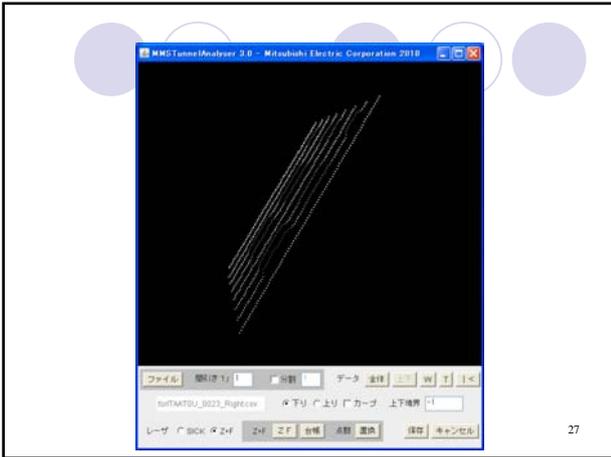




MMSの計測精度



26

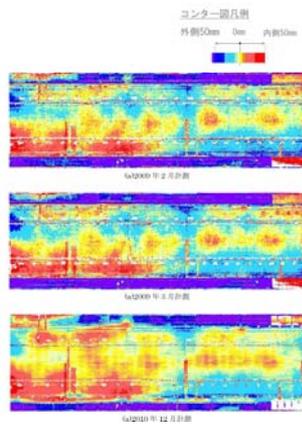


27

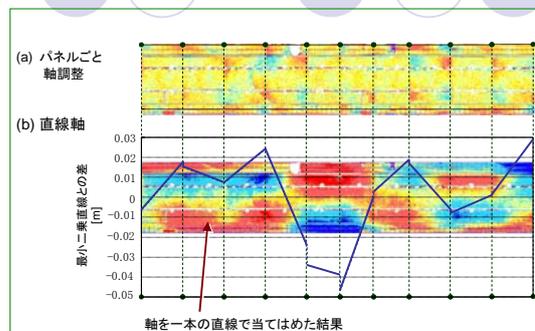
浮き、割離、段差などの検出能の検証結果

ターゲット	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	ノギス計測
A □10cm	0.0024	0.0025	-	0.0027	0.0016
ノギス計測との差	0.0008	0.0010	-	0.0011	
点数	28	11	-	10	
B □10cm	0.0025	0.0022	0.0023	0.0029	0.0020
ノギス計測との差	0.0005	0.0002	0.0003	0.0009	
点数	22	10	11	13	
C □10cm	0.0057	0.0059	0.0058	0.0055	0.0058
ノギス計測との差	-0.0001	0.0001	0.0000	-0.0003	
点数	26	13	13	10	
D □10cm	0.0115	0.0121	-	0.0126	0.0110
ノギス計測との差	0.0005	0.0011	-	0.0016	
点数	25	12	-	12	
A □20cm	0.0020	0.0019	0.0019	0.0023	0.0016
ノギス計測との差	0.0003	0.0003	0.0003	0.0007	
点数	116	51	50	25	
B □20cm	0.0025	0.0025	0.0028	0.0025	0.0022
ノギス計測との差	0.0003	0.0003	0.0006	0.0004	
点数	110	50	50	24	
C □20cm	0.0064	0.0064	0.0062	0.0067	0.0060
ノギス計測との差	0.0005	0.0005	0.0002	0.0007	
点数	109	50	24	25	
D □20cm	0.0118	0.0115	0.0119	0.0127	0.0110
ノギス計測との差	0.0009	0.0006	0.0010	0.0018	
点数	104	50	25	24	

MMSの再現性



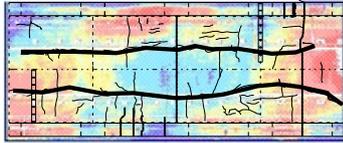
パネル毎軸調整の効果



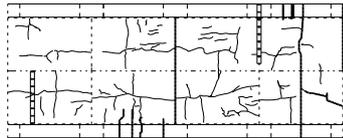
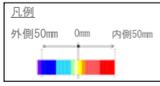
30

MIMMによる変状原因の評価例 (外力以外の変状)

壁面の押し出し傾向がやや認められる
ひび割れとの相関性は明瞭ではない。
⇒区間中央部では天端付近が地山側
へ変形する傾向が認められる



レーザ計測による変形モード



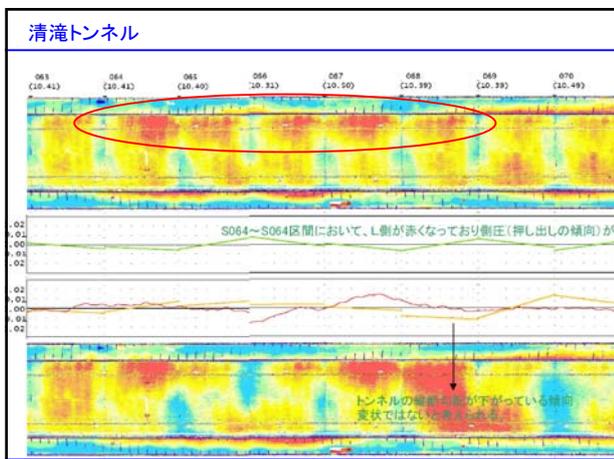
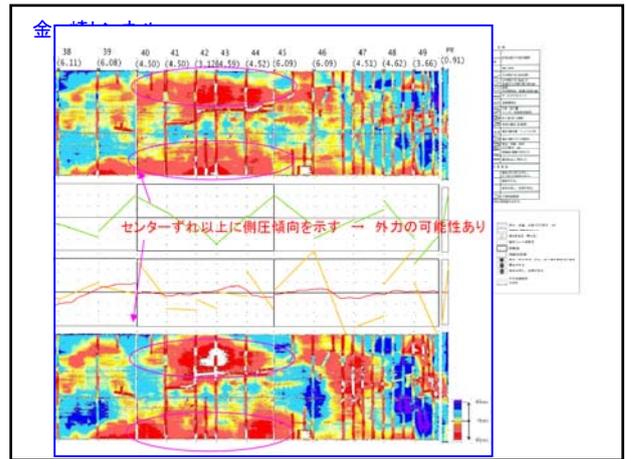
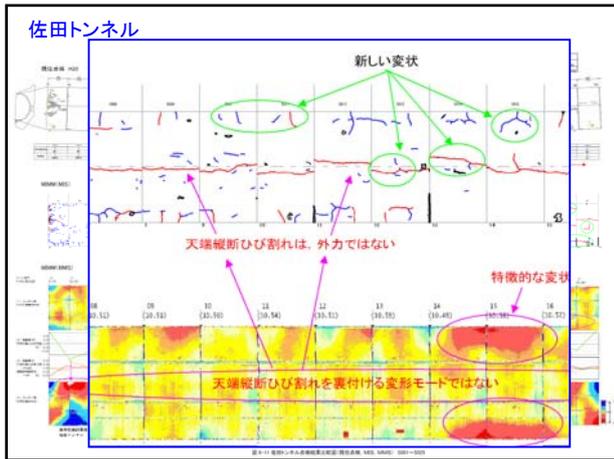
展開画像からのひび割れ展開図

北九州国道事務所：新件裏トンネル

4. 走行型計測の実施 (実トンネルへの適用)

- 以下の3トンネルに走行型計測(MIMM)を適用した。

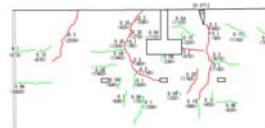
福井河川国道 佐田トンネル、金ヶ崎トンネル
大阪国道 清滝トンネル



5. 走行型計測結果から得られる評価

MISの計測評価

1) タモノスによる計測 (41 スパン左側壁)



2) MISによる同一箇所の画像から読みとったひび割れ展開図



図 6-3 タモノスと MIS の対比

佐田トンネルでの検証

新しいひび割れの検出

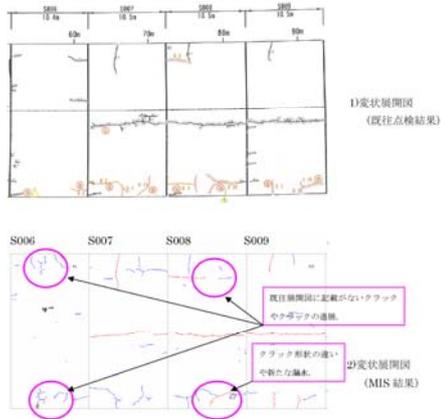
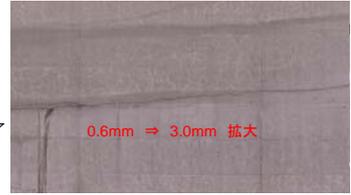


図 6-4 新規ひび割れ等の検出 (佐田トンネル, 既往点検との対比)

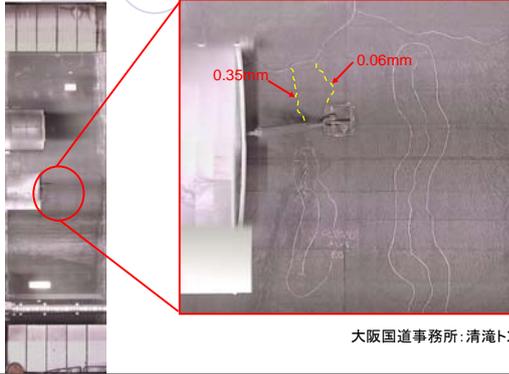
画像計測 (MIS)
前回点検との比較



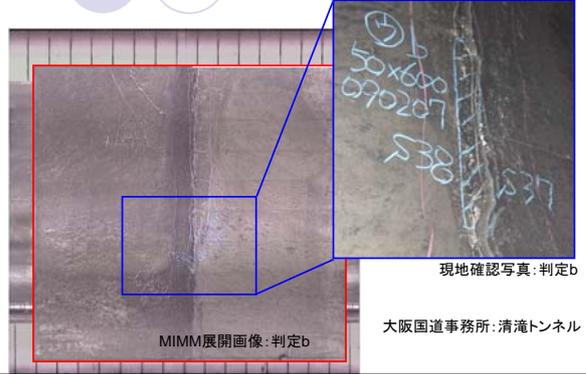
- 変状(ひび割れ, 漏水), 補修跡等の位置情報の客観性に優れる。(MIMM : カラー, スケッチ: 黒)
- 進行性の判断が容易



画像計測結果例(1)



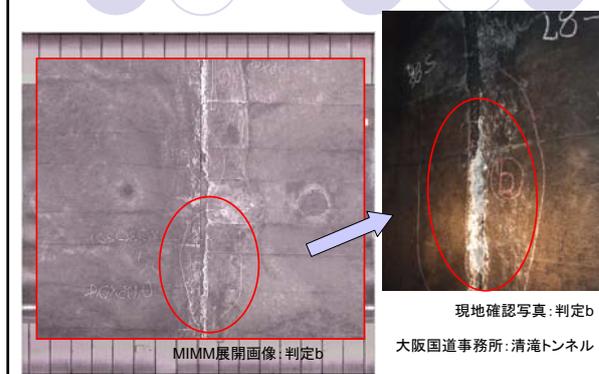
目地部はく落危険箇所の確認(1)



目地部はく落危険箇所の確認(2)



目地部はく落危険箇所の確認(3)



走行計測画像による近接打音抽出の妥当性

測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部の浮き (10.05 × 0.6mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	浮きあり、打音による、剥離なし。材料変化なし。
測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部の浮き (10.05 × 0.6mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	浮きあり、打音による、剥離なし。材料変化なし。

清滝トンネルの事例

走行計測画像による近接打音抽出の妥当性

測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部の浮き (10.05 × 0.6mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	目地部から浮きあり、打音で一部剥離、材料変化なし。目地部が完全に変色している場合、剥離する。モルタル補修。
測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部の浮き (10.05 × 0.6mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	目地部から浮きあり、打音で剥離なし。材料変化なし。

清滝トンネルの事例

走行計測画像による近接打音抽出の妥当性

測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部一部に浮き発生 (0.3 × 0.2mm, 0.3 × 0.2mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	目地部から浮きあり、打音で一部剥離、材料変化なし。
測点			
前回調査		今回調査	
写真			
	観音図	観音図	観音図
	観音図	観音図	観音図
検査	目地部一部に浮き発生 (0.3 × 0.2mm)	MIS、目地部から上部部分の浮きが進展しているように判断できる (ただしきき点検検計箇所)。	目地部から浮きあり、打音で一部剥離、材料変化なし。

清滝トンネルの事例

走行計測結果による評価のまとめ

ひび割れの検出	走行型による取得画像は、非常に正確にひび割れの有無、位置を計測することができ、見落とし、記載漏れを防止できることから、進行の有無を含む客観的な判定が可能である。ただし、非開口のひび割れ、濃淡がひび割れに酷似した模様などは、判定に注意が必要である。ひび割れの検出精度は、表面状態が良ければ、0.3mm以下の精度を有していると判断できる。
浮き、剥離	剥離の懸念のある浮きは、目地部周辺などの黒色に変色した箇所 (モルタル補修含む)、白く表面劣化した箇所、豆板状でパインダーが砂状に流出している場合などが抽出対象となる。これらの特徴がなく、またひび割れない浮きは検出困難であるが、それらはすぐに剥離するわけではないため緊急性は高くはないと言える。

6. 今後の課題

7-1 走行型計測技術に関して

(1) 走行型レーザー計測について

- トンネル断面の変形モードの把握、壁面形状の計測、変位量
 - 変形モードの把握は、十分に実用レベル。
 - 壁面形状、相対変形量の把握は、検出精度、再現性において十分に実用レベル。
 - 前回の計測を行っていない場合は、正確な変位の差分を求めることは困難。前回計測があれば、正確に差分が判定できる。
- ひび割れ、目地部、補修材などの段差・浮き・剥離などの検知
 - 凹凸検出実験では、相対変位での検出はかなり精度が良い。目地の段差、補修材の段差などは十分に実用レベル。ただし、目標としている10cm口の0.5mm程度の浮き、剥離の検出は、走行速度が速い場合など、改良の余地がある。

(2) 走行型画像計測について

- ひび割れの自動抽出を行う手法の確立が望まれる。
 - 覆工の汚れ (すす) や坑内設備 (換気設備、架線等) による不可視な場合、調査結果への影響を少なくする工夫が必要である。
- トンネル壁面のひび割れ、ひび割れパターン、密度などの計測
 - 走行型壁面画像のひび割れ検出能は50km/hで0.3~0.5mmであり、大半のトンネルでは実用レベル。
 - ひび割れ検出精度の検討
 - 画像の貼り合わせ、ひび割れの自動抽出技術の確立。



7-2 走行型計測技術による点検法に関して

- ・走行型計測技術を活用する要求が高いのは、
 - ①完成直後に初期データを計測しておくこと、
 - ②遠望目視の代替として活用し近接打音箇所を絞り込むこと
 - ③調査をしなくとも健全性評価を行うこと

7-3 走行型計測技術による健全性評価に関して

- ・走行型計測手法による新しい健全性評価手法の確立。

今後の展望と目標・・・これからのプロジェクトに向けて

◆走行型計測技術による健全度評価法の検証

- ◆点検データを記録しつづけることが重要
(3Dデータベースの活用, GIS機能が必要)

今後アセットマネジメントへ展開

◆道路トンネル点検・補修の手引きの改訂

- ◆まずはデータを取得すること
(新設TNは初期値, 既設は現在状態)

将来への展望

- 既存の紙ベースのデータの有効活用
3Dデータベースの活用
- 実データを使ったモデル適用性の検討
- 望ましい点検手法, 計測のあり方提言
走行型計測手法の進展
- アセットマネジメントシステムの構築