

トンネルにおける維持管理の現状

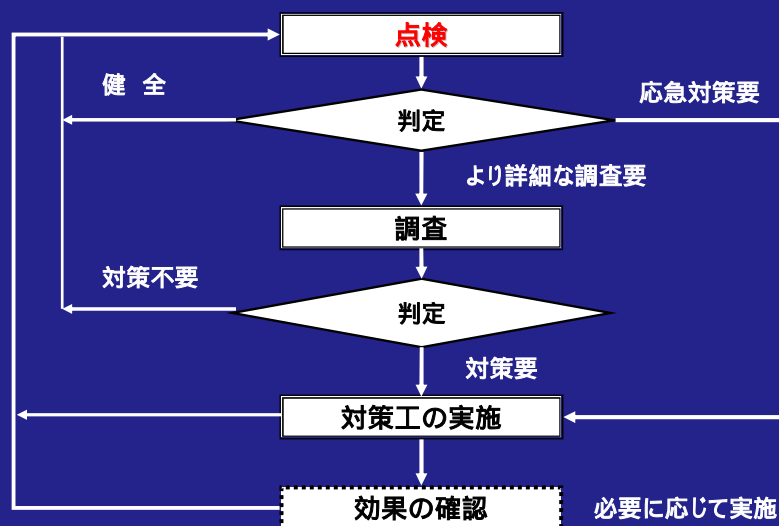
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ(トンネル)

上席研究員 角湯 克典

内 容

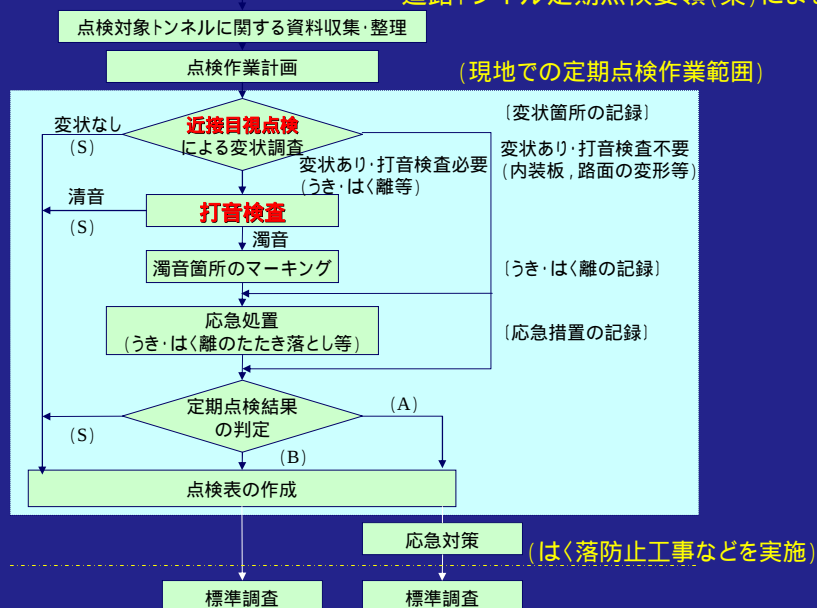
1. トンネル維持管理のスキーム
2. トンネル定期点検
3. 覆工表面調査
4. 覆工内部調査
5. 覆工背面調査
6. トンネル覆工調査のまとめ
7. 今後期待する技術開発

トンネル維持管理スキーム(概要版)



トンネルの定期点検要領

- 道路トンネル定期点検要領(案)による -



トンネル定期点検のねらい

遠望目視点検



・覆工表面

変状展開図の作成

ひび割れの抽出

表面のうき・はく離の抽出

打音検査



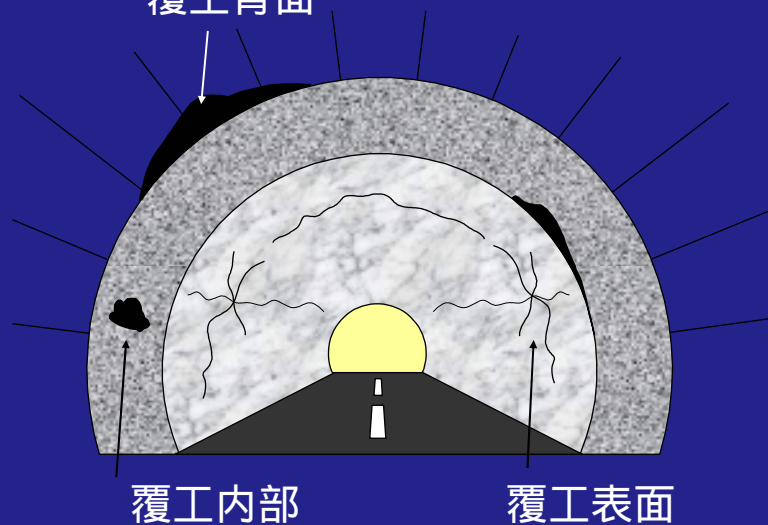
・覆工内部

内部欠陥の抽出

さまざまな問題点も……

トンネル点検の対象範囲

覆工背面



覆工内部

覆工表面

覆工表面調査

現状の覆工表面調査の問題点

- ・車線の規制や通行止めが必要
- ・暗く、狭隘な空間で検査の実施が困難
- ・延長が長く大変な労力を要する
- ・手書きによる記録に手間がかかる
- ・アーチ部などは高所作業となり困難であるとともに
上向き作業となるため苦渋を伴う
- ・煤煙や埃などが付着して見えにくい
- ・検査者の見落としや判断に結果が左右される

覆工表面調査の新たな手法

・変状展開図の作成

CCDカメラ、テレビカメラ、ラインセンサカメラ

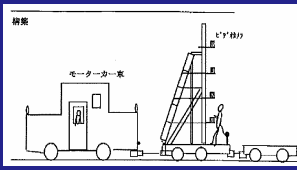
・ひび割れの抽出

レーザー

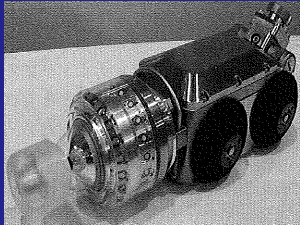
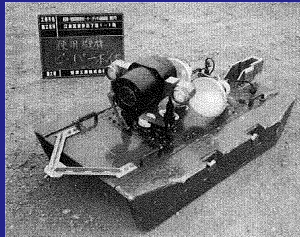
・表面のうき・はく離の抽出

赤外線

CCDカメラによる変状展開図の作成

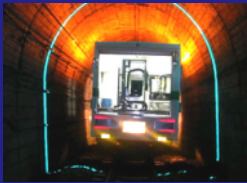
原理	性能	図・写真
車両にCCDビデオカメラ、照明器具等を搭載し、車両を走行させながら覆工表面を連続的に撮影、記録、画像化し変状展開図を作成する。	走行速度: 60km / h程度 計測精度: ひび割れ幅 0.5mm以上 連続記録時間: 3時間	
	走行速度: 5 ~ 15km / h 計測精度: ひび割れ幅 2.0mm以上	

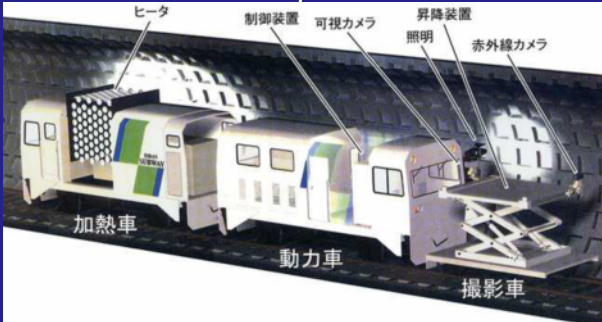
テレビカメラによる変状展開図の作成

原理	性能	写真
走行装置にテレビカメラを搭載し、走行装置を走行させながら管内を撮影し、破損や継ぎ目のずれ、腐食などを調査、測定する。	測定可能管径: $\phi 250 \sim 800\text{mm}$ 走行速度: 17m / 分程度 連続走行距離: 約100m	
	測定可能管径: $\phi 1200\text{mm}$ 以上 計測精度: ひび割れ幅 1mm ケーブル: 1000m	

ラインセンサカメラによる変状展開図の作成

原理	性能	写真
軌道を自走する車両に1次元ラインセンサカメラを搭載し、覆工表面を撮影し、連続走査画像を作成する。	走行速度: 10km / h 計測精度: ひび割れ幅 1mm 最大撮影延長: 約8km	

レーザーによるひび割れの抽出		
原理	性能	写真
レーザー照射装置、センサー装置を車両に搭載し、覆工表面にレーザーを照射し、反射した光をセンサーで認識し画像とする。	走行速度: 60km / h程度 計測精度: ひび割れ幅 0.5mm程度以上	
	走行速度: 2km / h 計測精度: ひび割れ幅 0.3mm	
	走行速度: 5 ~ 10km / h 計測精度: ひび割れ幅0.5 ~ 1mm	

赤外線による表面のうき・はく離の抽出		
原理	性能	写真
照射装置で覆工を加熱し、はく離箇所と健全箇所の加熱速度の差より生じた温度差を赤外線カメラで撮影することにより、変状箇所を把握する。	走行速度: 2km / h 計測精度: はく離深さ 5mm (2km / h) 10mm (0.5km / h) (はく離抽出温度差0.3)	

覆工表面調査に残された課題

変状展開図の作成

- ・ひび割れの自動認識
- ・断面変化への対応

ひび割れの抽出(レーザー)

- ・ひび割れの自動認識
- ・撮影速度の向上

表面のうき・はく離の抽出(赤外線)

- ・はく離検知深さが覆工表面近傍
- ・調査速度の向上

覆工内部調査

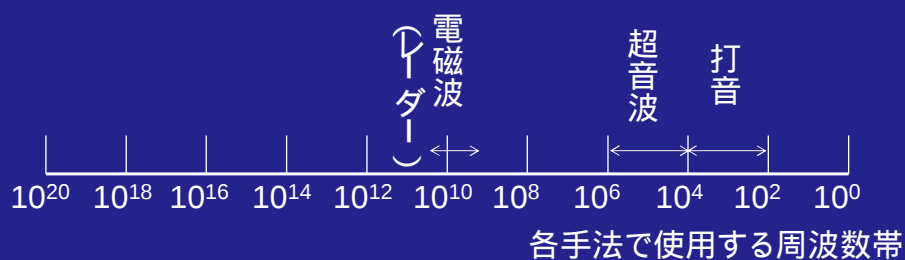
現状の覆工内部調査の問題点

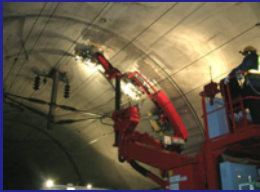
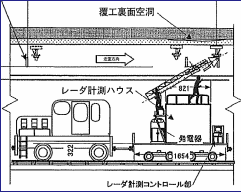
- ・車線の規制や通行止めが必要
- ・暗く、狭隘な空間で検査の実施が困難
- ・延長が長く大変な労力を要する
- ・アーチ部などは高所作業となり困難であるとともに上向き作業となるため苦渋を伴う
- ・深部の検査は困難
- ・人間の感覚に依存するため判定に個人差が生じる
- ・検査記録を定量的に残せない

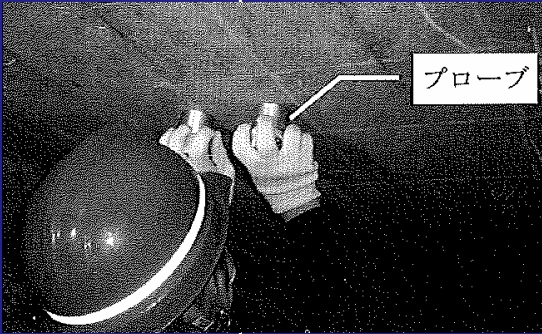
覆工内部調査の新たな手法

非破壊検査により調査する手法が主流

- ・レーダーによる手法
- ・超音波による手法
- ・打音による手法



レーダーによる覆工内部の調査		
原理	性能	図・写真
電磁波を覆工コンクリート内に放射し、覆工コンクリート内の比誘電率の異なる境界面からの反射波を受信し、検知対象物の位置、形状を特定する(内部に存在する材料の不均一箇所や空気など物性のことなる箇所すなわちジャンカや空洞などで反射するため内部の変状を検出することが可能)。	検査速度: 20cm / s (1ライン) 検査深度: 30cm	
	検査速度: 3.5km / h 検査深度: 25 ~ 40cm	
	検査速度: 1km / h 検査精度: 15 ~ 40cm	

超音波による覆工内部の調査		
原理	性能	写真
超音波を覆工に送信し覆工内の超音波の伝播時間を測定することにより、覆工の厚さ、空洞の深さ、ひび割れ深さなどを計測する。	探査深度: 150cm程度	

打音による覆工内部の調査

原理	性能	写真
打撃によって発生するコンクリートの振動を音として伝え、その周波数や振幅、減衰時間などから、空洞や割れ目の有無、コンクリートの厚さを評価する。	探査深度: 30 ~ 50cm 検査速度: 5秒 / 回 7 ~ 8分 / m ² (25か所)	鉄道総研

覆工内部調査に残された課題

レーダーによる手法

- ・検査深さに限界があり、深さ方向の精度があまり高くない
- ・検査速度の向上

超音波、打音による手法

- ・検査の高速化や連続性の確保

覆工背面調査

覆工背面の調査手法

- ・地上部からのボーリング
- ・トンネル内部からのボーリング
- ・電磁波による手法

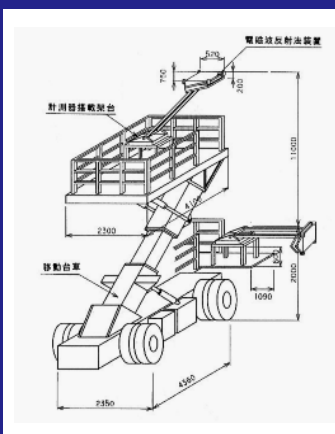
ボーリングによる覆工深部の欠陥および 背面空洞状況の調査



削孔速度
打撃圧
回転圧
フィード圧
打撃数
ストローク

・覆工コンクリートのコア抜き → 削孔機を用いて打撃を行った際のデータから覆工厚および覆工背面空洞を測定

電磁波による覆工背面の調査



・電磁波をコンクリート内に発信し、反射した電磁波を受信機によって捉えて解析し、覆工厚および覆工の背面空洞を検知する。

覆工背面調査の課題

- ・箇所あたりの作業に多くの時間と費用を要する
- ・車線規制の実施が強いられ広範囲の調査の実施は難しい
- ・破壊検査は構造物に悪影響を及ぼしかねない
- ・経年劣化したトンネルの破壊検査は作業の安全性を損なう
- ・地表面以下にある場合、地下水の噴出などの対策が必要
- ・覆工厚が厚い場合などはデータの精度が悪くなる
- ・地質やN値などのデータを取得することは出来ない

トンネル覆工調査のまとめ

覆工表面調査

- ・変状展開図の作成
CCDカメラ、テレビカメラ、ラインセンサカメラ
- ・ひび割れの抽出
レーザー
- ・表面のうき・はく離の抽出
赤外線

覆工内部調査

レーダー、超音波、打音

覆工背面調査

ボーリング、電磁波

今後期待する技術開発

- ・現状の技術のさらなる改良
検査速度の向上、検査深さ、深さ方向の精度等
- ・常時監視技術の開発
日常点検の合理化・効率化、防災の観点等
- ・点から線、面への調査技術の開発
- ・メンテナンスコストも含めより安価な手法の開発

光ファイバーによる覆工表面の調査方法

原理	性能	写真
パルス光を光ファイバーに入射することにより発生する後方散乱光の周波数が光ファイバー長手方向のひずみの大きさに比例して変化する性質を利用して、任意の点におけるひずみ分布を計測する	ひずみ分解能: 30 μ 空間分解能: 1m 連続計測可能区間: 20km	