横断方向ひびわれと走行型計測の変形モード解析による外力性変状の評価について

（株）高速道路総合技術研究所*)　正会員　海瀬　忍 前田佳克
中 日 本 高 速 道 路 （ 株 ）　正会員　八木　弘
西 日 本 高 速 道 路 （ 株 ）　正会員　水野希典
パシフィックコンサルタンツ（株）**)　正会員○重田佳幸 岡本直樹 前田洸樹

１．はじめに

NEXCO においては高速道路の安全監視の効率化と客観性向上を目的として覆工表面画像撮影を支援技術として用いた詳細点検を実施している．この詳細点検においては，ひびわれの発生状況（パターン，幅，長さ，方向性など），漏水の有無等から外力評価点とはく落評価点の 2 項目に対して評価点を算出し，補修，補強の要否判断を実施している．一方，トンネルの覆工コンクリート表面の画像撮影と高精度レーザー計測による形状計測からトンネルの変状を把握し評価する技術として，走行型計測システム（MIMM：MIS＆MMS，MIMM-R：MIS＆MMS＆レーダー探査機能）が開発され、外力作用の有無に対する評価法が提案されている．本報告では，外力による変状と推定される高速道路の 2 トンネルにおいて計測を実施し，その適用性について検討した結果についてとりまとめるものである．

２．変状モード解析手法の概要

外力により変状したトンネル覆工コンクリートは，断面の変形を伴う場合が多く，断面形状の変化の傾向とひびわれの発生位置を比較検討することで，外力作用による変状か材質や施工に起因するひびわれかの評価が可能と考えられる．新都市社会技術融合創造セミナー（委員長：大西有三 京都大学副学長）「トンネル健全性評価プロジェクト（H18年度～H20年度）」[1)]では走行型画像計測（MIS：Mobil Imaging Technology System），走行型レーザー計測（MMS：Mobile Mapping System）の一体型車両（MIMM）の活用法として変形モード解析手法を提案している．走行型レーザー計測により断面形状が既に取得されているトンネルにおいては，前回計測結果と比較することで変状の進行性とあわせて評価することが可能となるが，提案されている変形モード解析は，1回の計測であっても外力変状か否かを行う手法である．以下に変形モード解析手法の概要を示す．

(1)平均断面（推定出来形断面）の設定

走行型レーザー計測によって得られた3D点群座標からトンネル断面の中心軸を算出する．求められた中心軸に垂直な面を投影面として点群を投影する．投影された点群を投影面の中心より見た角度方向に平均化処理を行い，できた形状を推定出来形とする（図-1）．

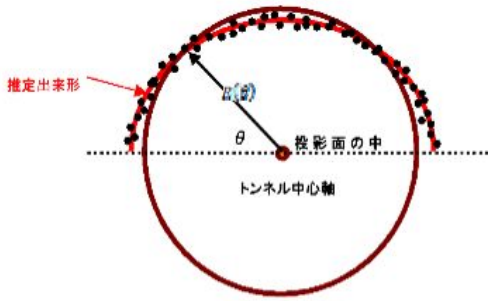


図-1　推定出来形の計算

(2)中心軸の設定

トンネル覆工の変形は，各スパン内で局所的に変形を起こしているものと，数スパンにわたって覆工が変形，移動するものとがある．これらの変形を抽出するためには，トンネル中心軸を2種類設定する必要があり，スパン毎の中心軸とトンネル全体の中心軸とがある（図-2）．

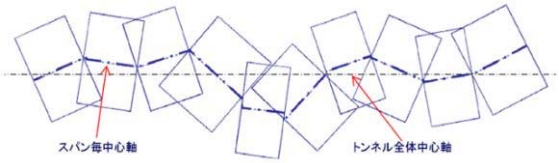


図-2　中心軸イメージ

(3)変形モード算出

トンネル覆工面の凹凸状態（平均断面と実測点群との差分）をコンター図として作成し、覆工がどのように変形しているかを知ることができる．コンター図は，図-3の変形モード毎に作成することで外力評価を行うものである．

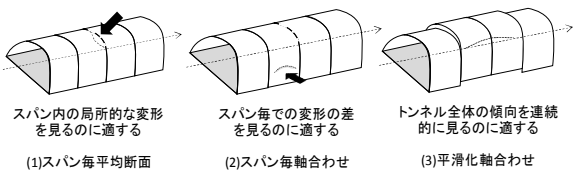


図-3　変形モード

キーワード　トンネル変状調査　走行型計測　画像計測　レーザー計測　外力変状
連絡先：*)　〒194-8508　東京都町田市忠生 1-4-1　TEL 042-791-1629　FAX 042-791-2380
**)　〒101-8462　東京都千代田区神田錦町 3-22　TEL 03-5989-8321　FAX 03-5989-8329

３．変形モード解析結果の解釈

図-4 に A トンネルにおける解析結果を示す。A トンネルの変状原因は，塑性圧によるものと推定され，インバートが設置されていない区間において，路面隆起や側壁部の縦断方向ひびわれ，アーチ部の横断方向ひびわれが確認されている．図-4(a)は，平均断面（推定出来形）と実測点群との差をとる際にスパン毎の中心軸に基づき算出した変形モード（見下げ展開図）である．赤色が内空側への変位を，青色が地山側への変位を示しており，側壁部の赤色部分にトンネル縦断方向ひびわれが密集していることがわかる．また，図-4(b)，図-4(c)の緑及びオレンジの折れ線は，平滑化軸とスパンのズレを示すものである．平滑化軸とは、図-2 におけるトンネル中心軸と同義である。また，図-4(c)の赤色折れ線は，路面の不陸の程度を示している．

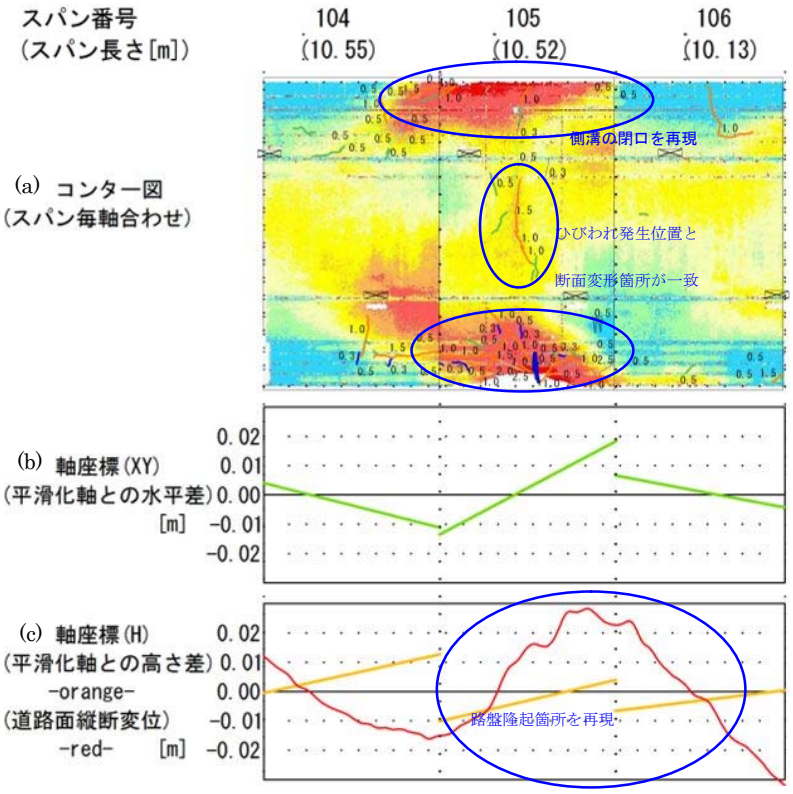
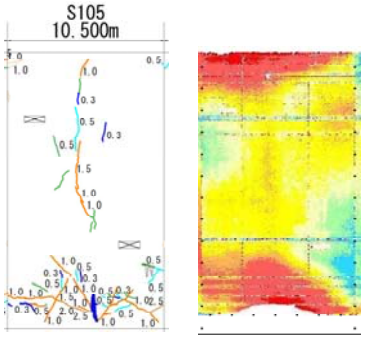


図-4　A トンネルにおける変形モード解析結果

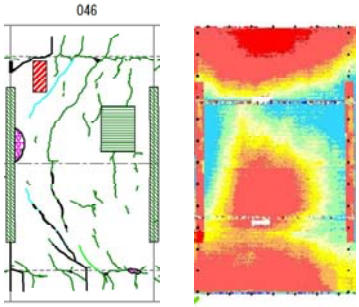
４．路面隆起が確認されたトンネルの事例

トンネル横断方向に発生した変状トンネルにおける走行型計測結果を図-5，図-6 に示す。両トンネルとも変状の確認されていない区間においては，トンネル内空側への変形や輪切り状の変形モードは確認されていないのに対し，路面隆起が確認された区間においては，側壁部の内空側への変形や横断方向のひびわれに沿って内空側へ変形・段差が確認された．これは，これまで実施されてきた変位計測等の調査結果と整合しており，このことにより走行型計測による変形モード解析が外力変状評価に有効であることが確認できた．



変状展開図　　変形コンタ図

図-5 A トンネル（S105）



変状展開図　　変形コンタ図

図-6 B トンネル（S046）

５．まとめ

トンネルの外力変状の評価は，これまで，ひびわれの幅や長さ，発生パターン等のひびわれに着目して実施してきた．しかし，トンネル覆工コンクリートに発生するひびわれは，コンクリートの材質に起因する収縮ひずみや背面拘束によるものなどトンネル構造として大きな問題とならないひびわれがほとんどである．多数のトンネルについて適切な対策を講じるためには，トンネルの変状原因推定の確立が必要である．

本報では，走行型計測による変形モード解析結果が外力変状か否かの判断を行う際の基礎的な資料としての有効性を検討した．今後は，外力変状の適正な評価のため，更にデータを蓄積するとともに，走行型計測技術および変形モード解析の精度を検証するとともに，変状進行性評価法についても検討を実施する予定である．

参考文献

1) 新都市社会技術融合創造研究会　道路トンネル健全性評価技術研究プロジェクト：走行型計測技術による道路トンネルの健全性評価の実用化研究　研究成果報告書，2013.2
2) 重田佳幸，海瀬忍,水野希典,倉持秀明,前田洸樹：走行型計測による外力性変状の評価例，土木学会第 71 回年次学術講演会 III-405，pp.809-810,2016.