トンネル維持管理DXの推進に向けた取組事例

大川 修司[1]・平山 貴司[2]・武藤 直樹[2]・猪俣 昌哉[3]・任 佳瑩[2]

[1]国際航業(株)事業統括本部九州技術部（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東3-6-3）
[2]国際航業(株)事業統括本部インフラマネジメント部（〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）
[3]国際航業(株)事業統括本部東北技術部（〒984-0051 宮城県仙台市若林区新寺1-3-45）

一般国道7号のきみまちトンネルは，地すべり地形を通過する建設後46年経過した矢板工法のトンネルである．定期点検において，地すべりやその他変状の有無と対策工の必要性について，関係各位との迅速な情報共有が維持管理上の重要事項となった．筆者らは，業務を通じて，道路管理者，点検業者，維持工事業者に効率的な情報共有できるDX技術を提案・活用し，今後のトンネル維持管理の高度化につながる成果を導いたので，ここに報告する．

Key Words *：トンネル維持管理，3次元点群データ，点検支援技術，インフラDX*

１．はじめに

(1) 背景

遠望目視であった道路施設の点検が，平成 24 年の新笹子トンネル事故を受け，5 年に一度の近接目視と打音検査による定期点検に法制度化された．法改正から現在までに，2 巡目点検が終了し，3 巡目点検に移行している．現状の点検は，人力による点検作業であることから，多数の人員を投入する必要があることや，生産性や品質の向上が進んでいない．さらに，昨今のインフラ DX の進歩により，設計・施工時において取組事例の蓄積が進んでいるものの，維持管理時においては事例が少ない．これらのことから，点検支援技術の活用を始めとした DX の取組により，維持管理時においても生産性や品質の向上を図ることが求められている．

(2) トンネル維持管理におけるDXの取組概要

本稿で対象とする一般国道 7 号のきみまちトンネルは，地すべり地を通過する建設後 46 年経過した矢板工法のトンネルであり，トンネル内は，ひび割れやうき・はく離，漏水が多数確認されている．また，トンネル中央部には季節を問わず多量の湧水が確認されており，集水室が設置され，常時排水されている状況である．（図-1）

このように，外力変状が想定され，かつ老朽化が進行しているトンネルにおいて，MMS による 3 次元点群データや点検支援技術，簡易断面計測等による DX 技術の活用により，トンネル維持管理の生産性や品質の向上を推進した取り組みについて述べる．

図-1　きみまちトンネル（右：トンネル内集水室）

２．トンネル維持管理の現状・課題

(1) トンネル点検における現状と課題

地すべり等に起因した外力変状の有無を正確に調べるためには，地山性状とトンネルの位置関係を把握することが重要である．

しかしながら，現状のトンネル点検は壁面に確認されている変状の記録・考察に留まり，根本的な変状原因の究明に至っていない．特に，地すべりや偏土圧が作用するような小土被りのトンネルにおいて，地山性状を含めて原因究明・考察をしている事例が少ない．

また，施工年数が経過したトンネルでは，2次元図面等の紙媒体で管理されており，それらの資料を基に点検を行っている．きみまちトンネルのような地すべり地を通過するトンネルの点検においては，正確なトンネルと地すべり位置・規模の把握が困難である．

そのため，発生している変状の原因考察，判定精度の向上を行うためには，地すべり位置とトンネル位置関係を可視化し，点検を実施することが課題であった．

(2) 維持管理関係者への情報共有の現状・課題

トンネル点検を受けて利用者被害が懸念される変状が確認された場合，可能な限り迅速に関係者に情報共有し，早期に対策を講じることが重要である．

しかしながら，トンネル点検結果を正確に伝えるためには，変状展開図や写真等で変状位置・規模を取りまとめる必要があるが，作成する変状展開図はトンネル壁面に確認される変状を見下げ図として示した図であり，変状位置が分かりづらい．さらに，変状の記録はスケッチによる人力作業のため，範囲や位置関係の正確な再現は困難であるほか，報告するまでに時間を要する．（図-2）

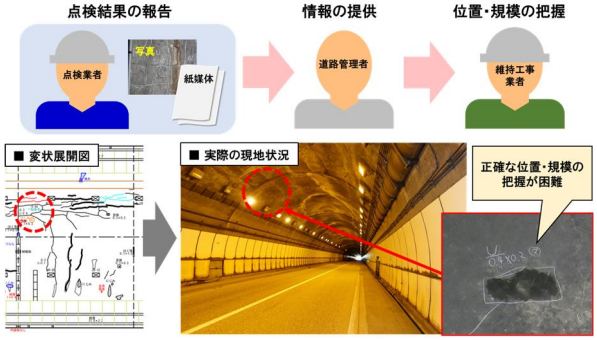

図-2　トンネル点検結果共有の現状

また，定期点検を始めトンネル維持管理事業は，道路管理者，点検業者，維持工事業者等様々な関係者が携わっているが，情報の一元管理ができていなく，各々の情報を集約・共有する道路管理者に負担が集中している．（図-3）

図-3　関係者への情報共有の現状

そのため，利用者被害が懸念される変状に対し，迅速な維持管理を実行するためには，位置・規模共に正確な変状記録を行うほか，関係者間での的確な情報共有を行うことが課題であった．

3．課題解決に向けた取組内容と効果

(1) 地すべり地形とトンネルの位置関係の可視化

既往資料を収集・整理した結果，管内の路線で既にMMSによる3次元点群データ（以下、MMSデータ）が取得されていることが分かった．可視化検討にあたり，本データを活用し，トンネル周辺の 3 次元モデルの作成が可能と考えた．しかし，MMS データは道路周辺の点群データに留まることから，トンネルが位置する地山の地形状況は把握できない．そこで，国土地理院にて地形 DEM データがオープン化されていることから，トンネル周辺地形の抽出と MMS データの紐付けを実施した．これにより，現況地形とトンネルの 3 次元モデルの作成が可能となった．

次に，地すべりが懸念される範囲の検討に当たり，施工記録や複数時期の航空写真，防災点検資料等から，地すべり崩壊ラインを抽出し，前述の 3 次元モデルに反映した．

地すべり地形の表現及びトンネルとの位置関係の可視化に当たり，以下の手順で検討を進めた．

【検討手順】
a) 管内 MMS データよりトンネル周辺の点群データを抽出
b) MMS データ及び DEM データ（10m メッシュ）を統合
c) DEM データ及び既往の地質調査資料等から地すべり崩壊ラインの推定
d) トンネルと地すべり範囲の特定，影響が懸念されるスパンの抽出

これらの取組みにより，地すべり範囲・方向とトンネルの関係性を可視化することができ，地山性状を踏まえた点検の実施，特に注意が必要な覆工スパンの抽出による現地確認が効率化できたことで，限られた現場期間で地すべりによる変状の有無を網羅することが可能となった．

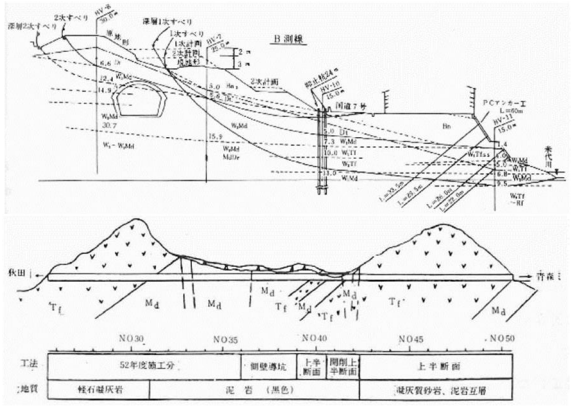

図-4　きみまちトンネルの地形・地質 [1)]

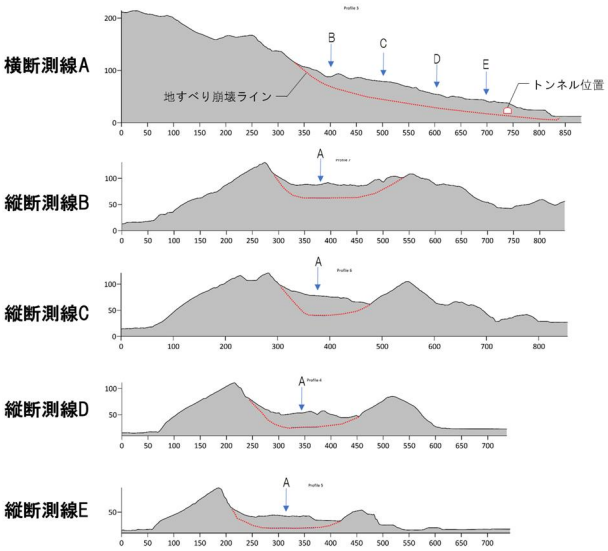

図-5　地すべり崩壊ラインの検討

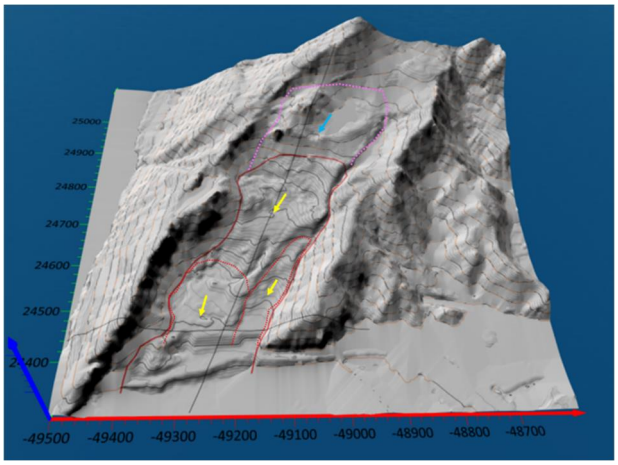

図-6　推定した地すべり崩壊ライン

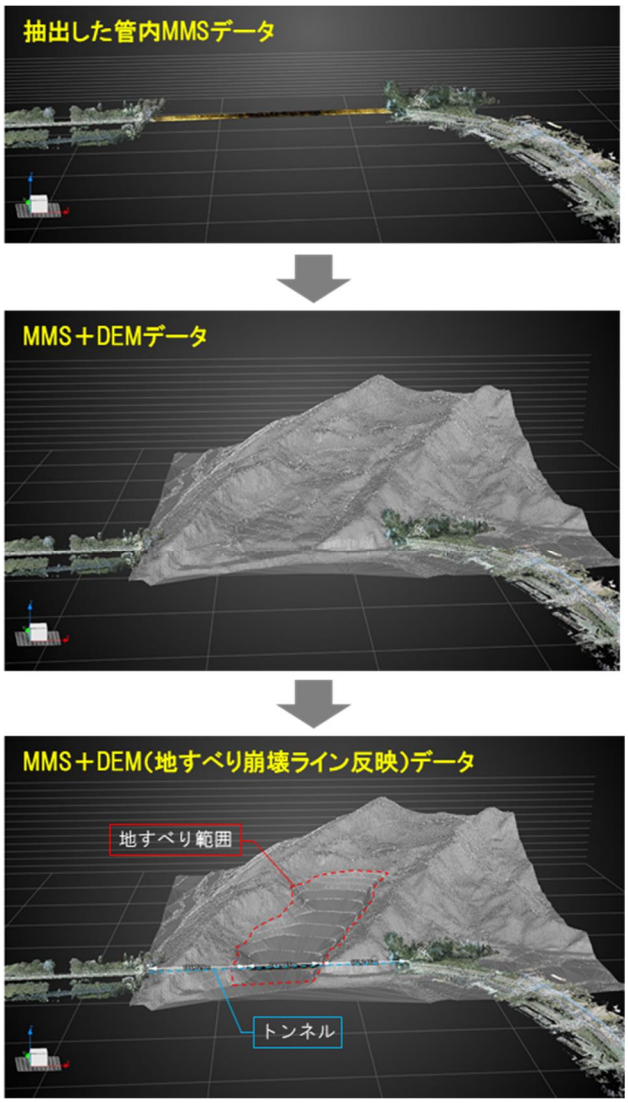

図-7　地すべり地形とトンネルの 3 次元モデル作成

(2) 点検支援技術の活用と3次元WEBクラウドの構築

トンネル内に確認されている変状の位置・規模の精度向上，関係者間の迅速な情報共有を目的として，点検支援技術の活用並びに 3 次元 WEB クラウドの構築を実施した．

活用した点検支援技術は画像計測技術とし，点検支援技術性能カタログに掲載されている，自社開発の「走行型可視光画像撮影による SfM 三次元画像解析システム（技術番号：TN010036-V0024）」を選定した．（図-8）

項目	計測機の概要
カメラ	・一眼レフカメラ 5～7台(ミラーレス)
カメラ波長	・可視光領域 ・フルカラー(sRGB)
有効画素数	・8,256×5,504 pixel
センサ	・CMOSセンサー 35.9mm×23.9mm
通信インターフェース	・USB3.0(5Gbps)
レンズ	・14-24mm f/2.8 ・14-30mm f/4.0

図-8　活用した画像計測技術

撮影した走行型画像は，SfM（Structure from Motion）解析手法でシームレスな 3 次元モデルを取得，そのモデルを 2 次元の画像展開図に変換し，従来のスケッチによる変状展開図と比較による変状の位置・規模の修正，進行性の有無について検証した．なお，変状の抽出には AI を用いて省力化を図った．（図-9）

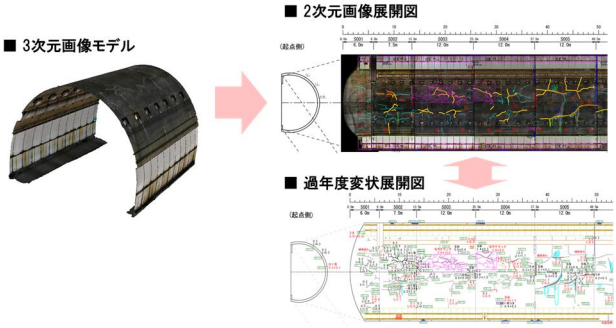

図-9　3 次元画像モデル及び 2 次元画像展開図の作成

また，本トンネルでは中間部に集水室が設けられているが，前述の走行型画像計測技術では内部の構造を表現できないため，iPhone による Lidar 計測を実施し，内部の点群データを取得した．（図-10）

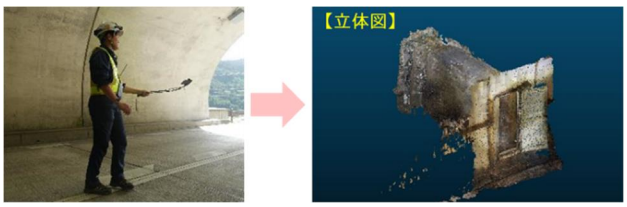

図-10　iPhone による Lidar 計測及び点群データ取得

さらに，本業務における関係者へのデータ共有方法として，これまでに作成した 3 次元モデルを WEB クラウドに格納した．本クラウドは，低スペックの PC やタブレットでも確認可能であり，WEB 上で地すべり崩壊ラインとトンネルの位置関係だけでなく，変状位置，規模，写真を状況と共にリアルタイムで報告することにより，関係者に正確かつ迅速な情報共有を可能とした．（図-11）

図-11　3 次元 WEB クラウドの構築

(3) トンネル維持管理におけるDXの効果

地すべりとトンネルの位置関係を可視化できたことで，現地点検作業の効率化，外力変状の確認の精度向上を図ることができた．結果として，当該区間変状は，進行性が確認されず，外力作用の発生は無いことを確認できた．

また，現地点検時に走行型画像計測を実施したことによる品質の向上，スケッチ・写真撮影の一部省略による現場作業時間の短縮に寄与できた．走行型画像計測で不足する部分においては，汎用機器である iPhone による Lidar 簡易計測により，データを補完することができた．

これら作成したデータを 3 次元 WEB クラウドにて関係者にリアルタイムで情報共有できたことで，点検後速やかに応急措置に着手することができ，さらにその結果を点検調書に反映することができた．

４．取組結果の考察

地すべり等の外力変状が想定されるトンネルの点検において，周辺地山とトンネルの 3 次元における BIM/CIM 化により，地山性状を踏まえた多角的な変状要因の考察，それを踏まえた健全性の診断が可能となった．今後，同様の条件下のトンネルにおいても応用できる，有効な取組であることを確認した．

また，本取組で作成したデータを継続的に管理・蓄積することで，外力変状の有無，変状の進行状況を 2 時期比較等により定量的に把握することができ，変状の判定精度の向上に繋がると考える．

さらに，作成した 3 次元モデルを WEB クラウドに構築することで，関係者への情報共有の効率化が図れるだけでなく，緊急性のある変状の早期対応を可能にし，道路利用者への安全・安心を確保するための有効な取組であることを確認した．

このように，トンネル維持管理における DX の取組を通して，単なるデジタル技術の活用に留まらず，トンネル維持管理の BIM/CIM を構築し，データ連携のプラットフォームとして WEB クラウドによる共有を図ることで，維持管理の高度化を実現した．

５．おわりに

国土交通省においては，全国の地方整備局において，直轄国道全線のMMSデータを整備しており，令和5年時点で約21,000kmのデータが取得済みとなっている．[2]本取組において，これら取得済みのMMSデータをトンネル点検に利活用できることを確認した．

一方で，本取組で関係者間のコミュニケーション方策として3次元WEBクラウドを活用し，円滑な情報共有を実現したが，維持管理時においては，全国的に効果的な情報共有・集約方法が確立されておらず，効率化に向けて迅速にデータを共有できる環境の構築を行う必要がある．（図-12）

図-12　今後のインフラ維持管理 DX のイメージ

本取組で生産性の向上，業務効率化等の一定の効果が確認できたことから，私は本稿で得た知見をさらに応用し，既存データ及び新規データの利活用，関係者との情報共有の方策，さらには設計施工BIM/CIMを維持管理に利活用するための方法等，維持管理の高度化・効率化に資する技術研鑽を進めていく所存である．

謝辞：本稿は国土交通省東北地方整備局能代河川国道事務所発注の業務における検討経緯と成果を踏まえて作成したものです．
DXの実施にあたり，ご協力・ご助言をいただいた能代河川国道事務所の皆様に感謝いたします．

参考文献

1) 建設省能代工事事務所，能代工事史，1980.
2) 国土交通省，MMSによる三次元点群データ等の提供事業，2022.