

## 3次元モデルを活用した維持管理情報の集約化

(株)オリエンタルコンサルタンツ ○北永弥吹

### 論文要旨

トンネル維持管理において、地質情報やトンネル構造、施工情報、点検結果情報等の把握は重要であるが、これらの情報は一括管理されていない。そのため現状は、必要な時に各業務・工事等成果から各情報の資料収集および整理を行っており、これらの作業に時間を要する。

そこで本稿では、トンネル維持管理において必要な調査設計から工事完了並びに点検結果情報等のデータベース化に加え、トンネル維持管理情報の集約化を目的とするBIM/CIMを活用した3次元モデルおよび3次元モデルを活用した今後の維持管理方法について説明する。

キーワード：トンネル維持管理 情報の集約化 BIM/CIMを活用した3次元モデル

### 1. まえがき

トンネル維持管理情報とは、地質情報やトンネル構造(覆工・支保構造等)、施工情報(切羽確認・変位計測等)、点検結果情報等が挙げられる。トンネルで発生する変状は、材料・施工・設計方法による内部原因や、外力作用や経年劣化等による外部原因など発生原因が様々であり、発生原因によって対策方針も異なるため、発生原因にあたってトンネル維持管理情報の把握は重要である。しかし、これらのトンネル維持管理情報は一括管理されていない。そのため現状は、必要な時に各々の業務・工事等成果から必要な情報の資料収集および整理を行っており、これらの作業に時間を要する。

そこで本稿では、トンネル維持管理において必要な地質調査、本土工設計、工事完了記録から点検・詳細調査結果、対策設計・工事記録等の情報のデータベース化に加え、トンネル維持管理情報の集約化(一括管理)を目的とするBIM/CIMを活用した3次元モデルおよび3次元モデルを活用した今後の維持管理方法について説明する。

### 2. 対象トンネル概要

BIM/CIMを活用した3次元モデルを作成するトンネルは、NATMの2トンネルとした。対象トンネルの点検および対策履歴等の概要について整理した(表-1)。

#### (1) 履歴調査

対象とした2トンネルは、平成9~10年に施工され、延長が450m程度のトンネルであり、約300mで同路線に位置する。対象トンネル周辺の地形は、標高300m以下の山地であり全体としてなだらかな丘陵性の地形を形成している。地質は、花崗岩が主であり所々で硬質な火山岩が貫入してい

る。この貫入岩が独立丘としてなだらかな花崗岩地形に突き出るように残っている。

表-1 対象トンネル概要

名称(仮)	Aトンネル	Bトンネル
延長	481.0m	435.0m
スパン数	45	41
施工年	平成10年	平成9年
覆工厚	40~45cm	40~45cm
RC区間	PS~S8, S39~PE	PS~S19, S33~PE
主な変状	ひび割れ, うき	ひび割れ, うき, 鋼材腐食
補修履歴(内容)	平成15・27年 ・令和4年 (はく落防止対策)	平成15・27年・令和4年 (はく落防止対策・漏水対策)

対象とした2トンネルともにインバートが設置され、坑門工および一部覆工はコンクリート内部に複鉄筋が入ったRC構造となっており、該当区間に発生した幅0.5mm程度のひび割れに対してひび割れ注入工等が施工されている。他にもはく落防止対策として、繊維シート工やFRPメッシュ工、Bトンネルについては、平成27年度に漏水対策としてひび割れ止水注入工が施工されている。

最新点検年度は令和5年度であり、前回点検時に確認されていた利用者被害が懸念される変状(ひび割れ・うき・鋼材腐食)は、令和4年度の対策工事にて適切な補修が実施されていることを確認している。

### 3. BIM/CIMを活用した3次元モデル計画

上記の地形地質やトンネル諸元、点検・対策年度および内容は、各業務から情報を収集したものであり、整理に時間を要した。

そこで3次元モデルの活用は、トンネル維持管理において必要な情報のデータベース化による一括管理を目的とした。また、地形地質や覆工・支保構造等のトンネル竣工までの基礎情報と、点検結果等の維持管理情報との関連性を一括で確認可能となれば、今後のトンネル維持管理の効率化が期待できる。

これらの目的を踏まえた3次元モデルを計画するにあたって、トンネル維持管理において必要な情報を整理した(表-2)。

表-2 トンネル維持管理における必要情報一覧

a)	点検・詳細調査結果情報
b)	対策履歴情報(対策内容含む)
c)	平面線形情報地
d)	地形地質情報
e)	トンネル覆工・支保構造情報(材料情報含む)
f)	切羽確認・岩判定・変位計測情報
g)	その他(施工時トラブル情報等)

上表の中で、c)~g)の情報はトンネル竣工までの基礎情報であり、今後の維持管理において変更がない固定情報と言える。一方、a)~b)の情報は既往の維持管理情報を蓄積するとともに、点検結果や対策履歴等は最新版への更新が必要な情報である。これらの維持管理情報の更新頻度については、点検や対策を実施した都度で更新することが理想である。しかし、各業務従事者がそれぞれの時期で情報の更新作業を行うことによって、情報の更新漏れが懸念されるため、5年毎に1度実施する定期点検実施時に更新する計画とした。

(1) 点検支援技術の活用

今後の維持管理における効率化を図るうえで、点検支援技術の活用は非常に重要となる。そのため、点検支援技術を活用することで取得可能な覆工展開画像、点群データなどの3D点検情報も3次元モデルに含めた。

画像計測技術は、トンネル内面の覆工等の変状を画像等で計測・記録し、展開画像を作成後、ひび割れや漏水等の視認可能な変状を自動抽出することで画像変状展開図の作成が可能である。計測・モニタリング技術は、トンネル壁面の3次元点群測量を実施することで点群データを取得する。取得後、点群データを分析することで、トンネルへの外力性影響の検討が可能である。

これらの点検支援技術を活用することで、正確な変状位置の把握による点検結果の高品質化はもちろんのこと、各データを蓄積することで可視化情報による変状進行性や

変位確認が可能となり、診断の透明性が確保できる。現在、点検支援技術を活用した際の成果物は、図-1・図-2に示す2次元資料として作成しているが、元々の取得時データは3次元であることから、3次元モデルに取り込むことで、これらの成果物(画像変状展開図・コンター解析図)を2次元資料に変換する作業が省略され、3次元データとして確認可能となる。

点検支援技術の活用頻度については、定期点検実施頻度と同じ5年毎に1度とし、3D点検情報の更新および蓄積を計画した。

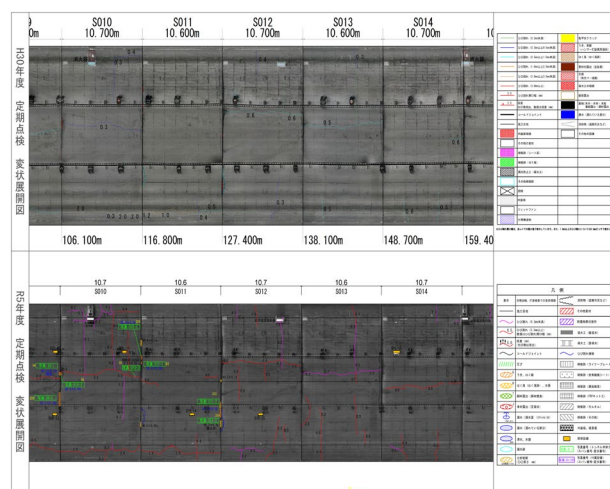


図-1 変状進行性の確認資料(画像変状展開図)

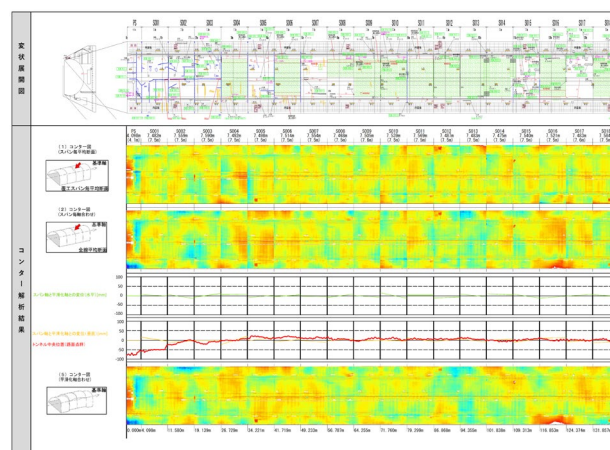


図-2 外力性影響の検討資料(コンター解析図)

(2) 固定情報・更新情報に区分した3次元モデル

トンネル維持管理において必要な情報(3D点検情報含む)すべてを1つの3次元モデルにて集約化した場合、データ容量が膨大となりトンネル維持管理情報の一括管理・活用が難しくなることが想定された。

そのため、表-2 に示した情報の中で c)～g)の固定情報と言えるトンネル竣工までの基礎情報と、a)～b)の更新情報と言える維持管理情報の2種類に区分し、3次元モデルをそれぞれ作成することとした。なお、点検支援技術を活用することで取得可能な3D点検情報は更新情報に区分する。

#### 4. 固定情報を集約化した3次元モデル

地質調査、本體工設計・工事完了記録に示されている地形地質や覆工・支保構造等のトンネル竣工までの基礎情報は固定情報であり、作成する3次元モデルはデータ更新が不要であり永久的に活用が可能となる。

固定情報を集約化した3次元モデルは、平面線形図から再現した線形に沿って覆工モデルを作成した。覆工モデルを作成するにあたって、点検支援技術(計測・モニタリング技術)を活用して取得した点群データを用いた(図-3)。点群データの取得については、交通規制が不要な走行型計測車両を使用した。

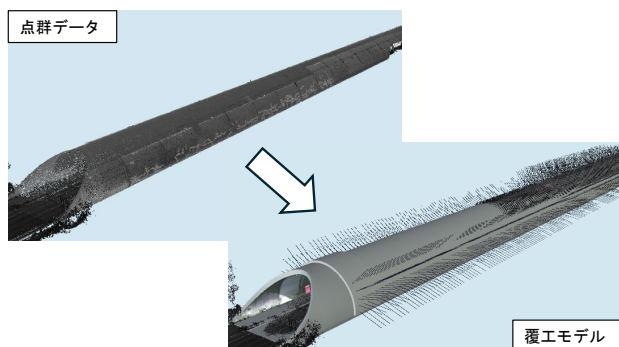


図-3 覆工モデル作成の流れ

作成した覆工モデルに路面、監査歩廊部を追加しトンネルモデルを構築した。また、排水工詳細図から排水モデルを作成した。トンネルモデル内の覆工厚は設計巻厚で再現しており、覆工モデルには各支保パターンに応じたロックボルトや補助工法を追加した(図-4)。

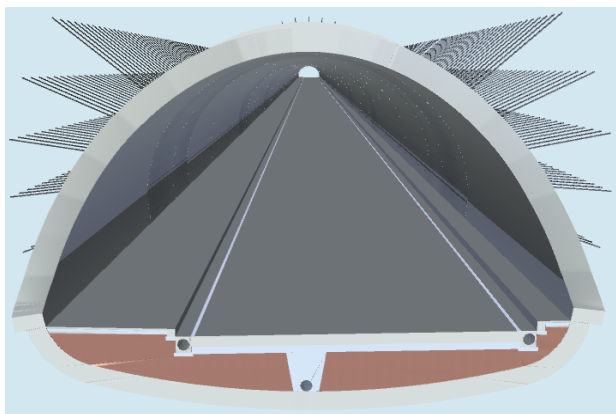


図-4 トンネルモデル

地形地質については、地質縦断図を参考にトンネルモデル周辺の地形地質をモデル化した。地質毎で地質モデルを色分け、番号付けすることで地質分布を確認可能とした(図-5)。

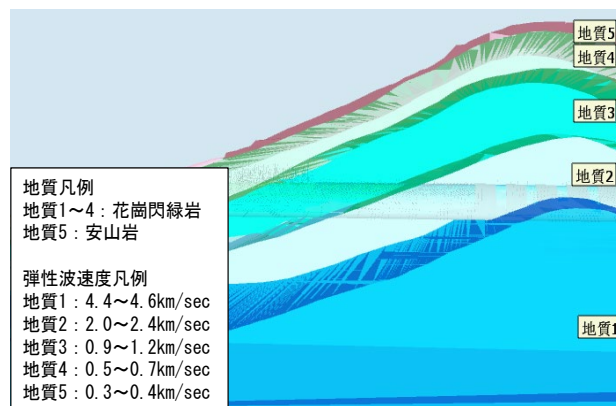


図-5 地形地質モデル

地質縦断図や支保パターン図、切羽確認・岩判定・変位計測情報等は、3次元モデル内にリンクを作成し、データベース化を図った(図-6・7)。

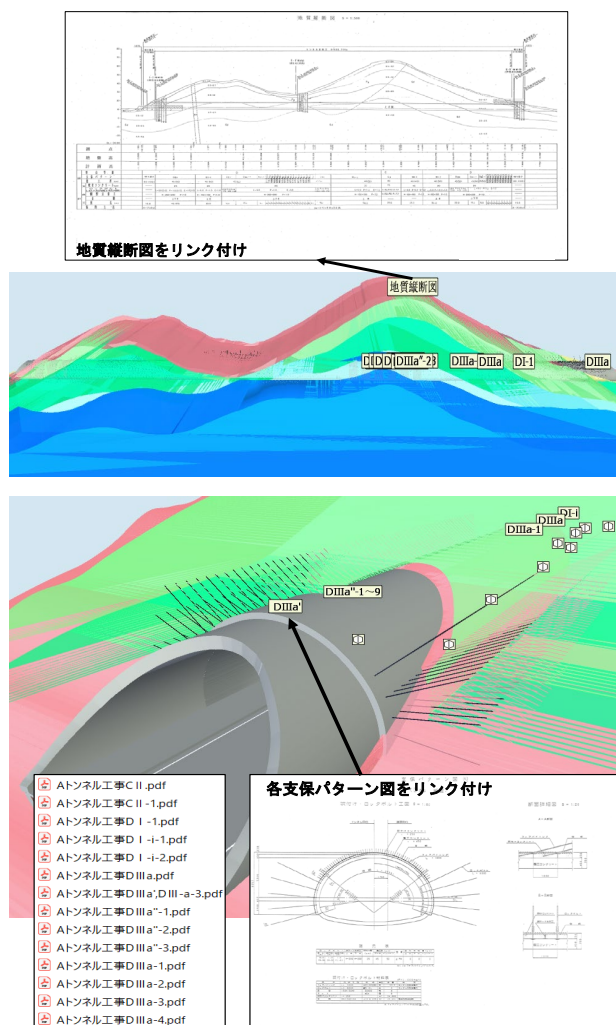


図-6 固定情報のデータベース化(1)

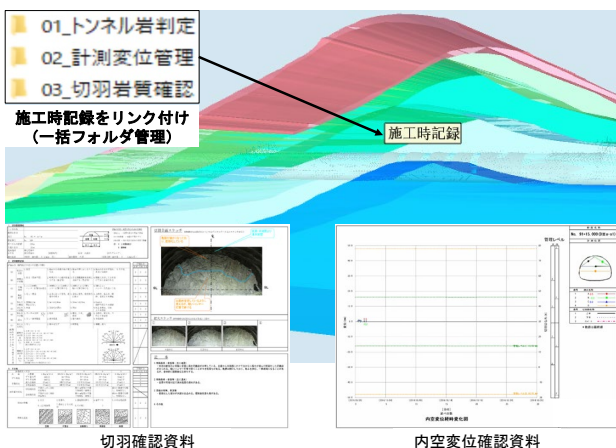


図-7 固定情報のデータベース化 (2)

切羽画像のオリジナルデータがある場合、切羽観察位置と合わせて3次元モデル化した内空断面内に反映することも可能である(図-8)。これによって、外力性の変状に対する地質との関連性が視覚的に確認可能となる。



図-8 3次元モデルへの切羽画像反映(イメージ)

## 5. 更新情報を集約化した3次元モデル

点検・詳細調査結果、対策設計・工事記録等に記載されている維持管理情報を集約化した3次元モデルは、更新が必要となる(図-10・11・12)。更新頻度は定期点検毎とし、過去の点検結果や対策履歴についても蓄積する。

### (1) 点検情報の取得方法

点検結果情報は、対策箇所の抽出や今後の対策方針を決定するうえで非常に重要な情報である。点検情報の取得方法については、近接目視・打音検査・触診が基本となる。

本稿の対象トンネルについては、近接目視の代替として点検支援技術(画像計測技術)を活用した点検を実施している。本節では、対象トンネルで実施した点検支援技術(画像計測技術)を活用した点検の一例を示す。

現地点検前に走行型計測により取得した覆工展開画像を基に画像変状展開図を作成する。作成した画像変状展開図は、同時に取得した点群データに基づいて作成しているため、変状位置が正確である。この画像変状展開図を確認することで現地点検前にトンネル状態の把握が可能であるとともに、現地点検時の近接目視の時間短縮および効率化が図れる。ただし、走行型計測によって取得した覆工展開画像では、坑門工や路面、照明設置背面の覆工は確認できない。また、うきや漏水(漏水量、滞水)の変状についても確認できない。これらの不可視部については、現地点検にて近接目視・打音検査・触診を実施する。現地で実施した近接目視・打音検査・触診結果を事前に作成した画像変状展開図に反映することで、変状展開図作成の効率化が図られるとともに高品質な変状展開図が完成する(図-9)。

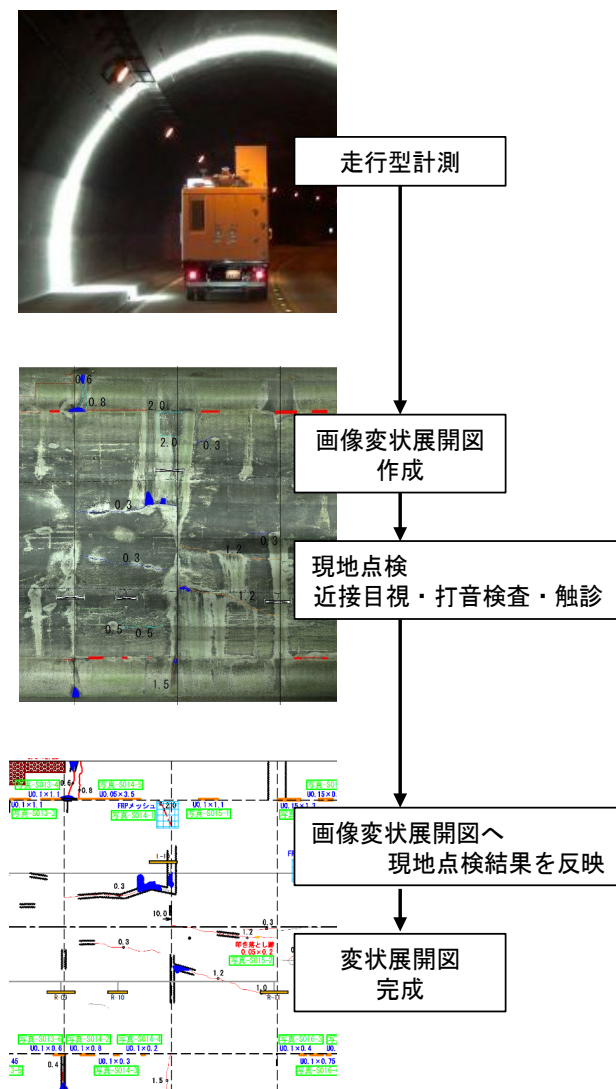


図-9 点検支援技術を活用した点検の流れ(例)

(2) 更新情報を集約化した 3 次元モデル内容

更新情報を集約化した 3 次元モデルは、固定情報を集約化した 3 次元モデルと同様の方法で覆工モデルおよびトンネルモデルを構築した。

最新の点検結果より確認した変状について、取得した点群データおよび作成した変状展開図に基づいて覆工モデルに反映した。さらに、走行型計測によって取得した覆工展開画像を関連付けて、実際の覆工状況を確認可能とした(図-10)。

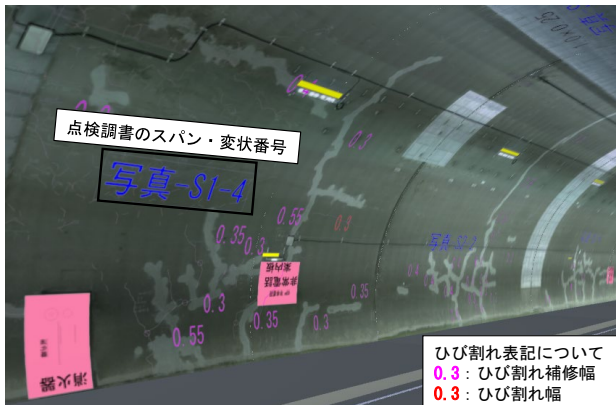


図-10 覆工モデル内面(点検結果・覆工展開画像反映)

また、現地点検にて記録した全ての変状写真を 3 次元モデル内にリンク付けした。リンク名は、点検調書のスパン・変状番号と整合させることで、変状確認の効率化を図った(図-11)。



図-11 変状写真とのリンク付け

さらに、3 次元モデル内に点検調書(写真台帳)へのリンク付けも行い、変状確認に加え、診断結果確認の効率化も図った(図-12)。

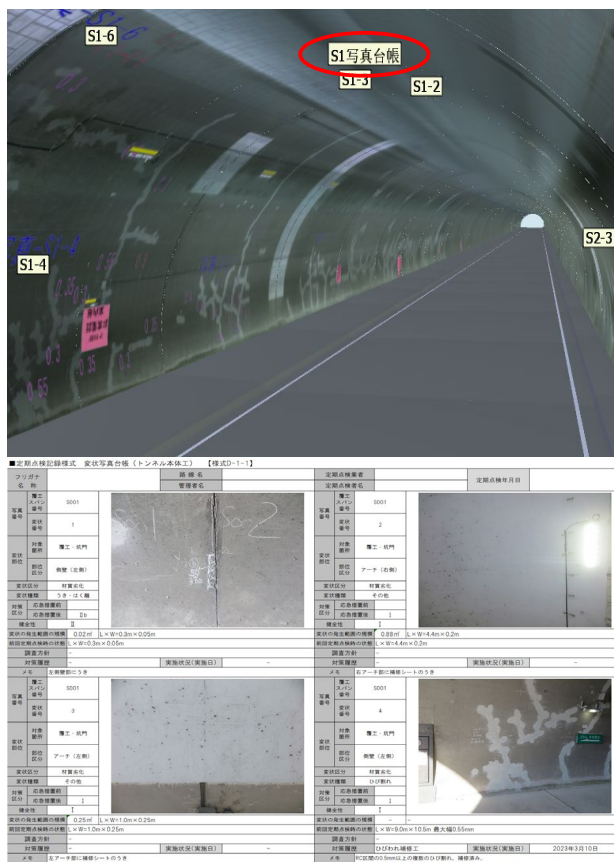


図-12 点検調書(写真台帳)へのリンク付け

変状発生位置から覆工・支保構造や地質を確認することは、変状の発生要因を推察するうえで重要となる。そのため、各スパンにビューポイントを設けることでスパン毎に確認できる機能とした(図-13)。

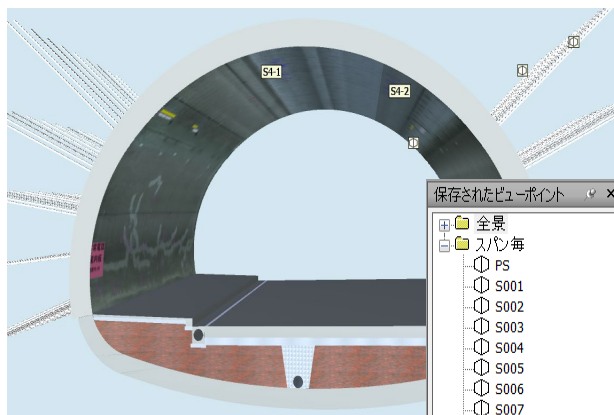


図-13 各スパンへのビューポイント追加

## 6. 今後の維持管理方法

トンネル維持管理情報の一括管理を目的に作成した 2 種類の 3 次元モデルは、維持管理を行う管理者目線でモデルを構築したため、変状の発生要因を視覚的に確認できることや、施工時にどの位置で切羽確認や変位計測が実施されており、その時の地質・切羽の状態と支保構造をモデル内でまとめて確認できるなど多くのメリットが挙げられる。診断を行ううえで、変状種類や位置・規模と地質状況や覆工・支保構造との関連性を確認することは非常に重要であり、それを一括で確認できるモデルを構築したことは、今後の維持管理における効率化に繋がると考える。また、取り扱う情報を固定情報と更新情報の 2 種類に分割した 3 次元モデルを作成したため、1 つの 3 次元モデルのデータ容量を軽減することに繋がり、トンネル維持管理情報の集約化に加えてデータ管理の効率化を実現した。

今後の維持管理方法として、点検支援技術の活用は必要となる。点検支援技術の活用を積極的に行うことで、覆工展開画像にて変状状態・位置等を正確に残すことや、過去の維持管理情報との関連性、変状進行性等を視覚的に残すことが可能となるため、診断の生産性向上、品質向上に繋がる。また、本稿で計画した 3 次元モデルを活用し、これまで蓄積した維持管理に必要な情報のデータベース化を進めるとともに、3 次元モデルとリンク付けすることでの一括管理を推奨する(図-14)。

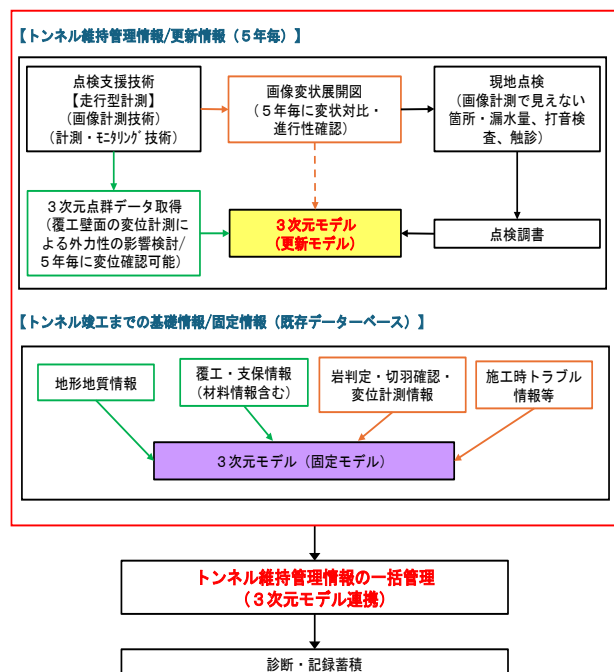


図-14 トンネル維持管理情報の一括管理化モデル概要

## 7. あとがき

本稿で紹介した 3 次元モデルは、対象とした 2 トンネルを含め、まだ 3 事例しか構築されていない。そのため多くのトンネルにおいて、維持管理情報の一括管理を目的とした 3 次元モデルの実用化を目指す。

今後の展望として、3 次元モデルの実用化を目指すために、内空変位や地中変位、ひび割れ長さや幅等の計測データ、点検データ、対策設計および工事データ、点群データ等を集約する際のフォルダ構成やフォルダ名称等の統一化が必要と考える。

また、点検支援技術(画像計測技術、計測・モニタリング技術)を活用することで、覆工変位箇所において計測結果と周辺の地質情報、トンネル構造などから発生した変位に対する外力性影響の有無を 3 次元モデル上で確認することが可能と考える。現在も 2 次元資料で確認可能であるが(図-2)、3 次元モデルにて外力性影響の有無を確認できることは、診断をサポート技術の一つとなるため特に若手技術者の人材育成に繋がる。

そのほかの可能性として、現在は 2 次元で作成している点検調査について、データ容量の課題はあるが、3 次元モデルによる代替が可能と考える。

### (1) 謝辞

維持管理情報の集約化(一括管理)を目的とする 3 次元モデルの作成するにあたって、私自身が BIM/CIM に携わることが初めての中、協働して頂いた業務関係者には厚く感謝を申し上げる。

調査や設計、施工段階では BIM/CIM の活用実績や用途が多く発表されている一方で、維持管理段階での BIM/CIM 活用実績はあまり多くない。その中で、維持管理段階での BIM/CIM 活用事例に携わることが出来た経験は、今後も活かしていきたい。