

# トンネルに関する各種情報の統合と 地理空間情報による維持管理および新規建設への適用

バトバートルチョイジルスレン\*・三谷泰浩\*\*・谷口寿俊\*\*・本田博之\*\*\*

## Integration of various types of information on tunnels and geospatial information to tunnel maintenance management and new tunnel construction

Chojjilsuren BATBAATAR\*, Yasuhiro MITANI\*\*, Hisatoshi TANIGUCHI\*\*, Hiroyuki HONDA\*\*\*

**Abstract:** For tunnels' construction, different operators conduct the investigation, design, construction, and maintenance of tunnels. As a result, information on each stage of tunnel construction is not managed in an integrated manner, and information on tunnels is not efficiently utilized, which is a challenge for tunnels.

In this research, we established a data platform that was constructed by reorganizing various data related to the existing tunnel as three-dimensional spatial information and integrating them using the Geographic Information System (GIS). The data platform was used for maintenance management of the existing tunnel and construction support of the new tunnel being built adjacent to the existing tunnels. The results showed that the constructed system is effective for the maintenance management of existing tunnels and the construction of the new tunnel.

**Keywords:** トンネル (tunnel), 3次元モデル (three-dimensional model), 維持管理 (maintenance), データプラットフォーム (data platform)

### 1. はじめに

日本では 2016 年から国土交通省より、i-Construction の考えが提示され、建設の調査・設計・施工・検査、さらに維持管理・更新までの全ての建設プロセスにおいて情報通信技術 (ICT) を利活用することで、建設生産性と安全性、効率性の向上を目指すことが提案された<sup>1)</sup>。これに伴って、土工などの分野で i-Construction に関する取り組みが積極的に行われてきているが、維持管理に関する取り組み事例はほとんど存在しない。

国土交通省道路局の道路メンテナンス年報によると、日本にはトンネルが約 1.1 万箇所あり、このうち現在 (2021 年度) 建設後 50 年を経過したトンネルは約 23%存在するが、10 年後には約 37%に増加するとされている<sup>2)</sup>。そのため、維持管理段階においても、i-Construction の一環として、調査・設計・施工などの情報を維持管理に活かせるように各段階における様々な情報を一括して管理・利活用することが望まれている。

しかしながら、実際のトンネルの建設においては、調査から維持管理までの各段階で担当する事業者が異なるため、各段階において取得される各種情報が異なるデータベースや形式で管理されることに加え、古い情報に関しては、2次元の情報であることが多いことから空間的な位置関係を把握しづらく、蓄積されたデータが有効に活用できていない。本研究においては、1998 年から供用が開始されているトンネル (以下、I 期線トンネルと称する) を対象として、調査設計時からの各種情報の収集を行い、これらの情報を用いてトンネルの維持管理にいかに関与するかについて検討を行う。さらにこのトンネルの路線の渋滞緩和のため 2021 年から隣接して新たなトンネル (以下、II 期線トンネルと称する) の建設が開始されており、I 期線トンネルの情報が新たに建設される II 期線トンネルの設計、施工にいかに関与できるかについて検討を行う。

本研究の流れを図 1 に示す。具体的には、まず、建設生産プロセスにおける各段階の情報を 3次元空

\* 学生会員 九州大学大学院工学府土木工学専攻 (Kyushu University)

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1105 室 Tel : 092-802-3396

\*\* 正会員 九州大学大学院工学研究院附属アジア防災研究センター (Kyushu University)

\*\*\* 非会員 九州大学大学院工学研究院附属アジア防災研究センター (Kyushu University)

間情報として GIS（地理情報システム）上で整理・統合することでデータプラットフォームを構築する。そして構築したデータプラットフォームを用いて I 期線トンネルの維持管理への利活用方法について検討を行う。さらに、隣接して掘削が開始された II 期線トンネルに対して、施工支援や建設に伴う地表面変状のモニタリングなどにより、構築したデータプラットフォームの利活用の具体的な事例を示す。

## 2. データプラットフォームの構築

I 期線トンネルの過去の調査、設計、施工、維持管理の各段階の情報と II 期線トンネルの調査、設計、施工に関する情報から、I 期線トンネルの維持管理と II 期線トンネルの施工に資するデータを抽出する。その中で、調査段階の情報には、トンネルが施工された際の地山のボーリング調査や標準貫入試験（N 値）、孔内水平載荷試験、岩石試験などの結果及びそれによる地質縦断図がある。設計・施工段階の情報には、トンネル断面形状や支保工などのトンネル諸元・構造情報、施工記録や実施支保パターンなどの施工実績情報が含まれる。また、維持管理段階の情報として、トンネル供用開始から現在までの点検データや補修記録などの情報がある。これらの情報は、縦断図・平面図のような 2 次元図面形式、または帳票形式で管理されている。したがって、全ての図面を一元的に管理するために、形状情報をもとにモデル化し、各モデルに座標値を持たせることで、図 2 に示すように、GIS で 3 次元空間的に統合する。そして、トンネルの維持管理段階の覆工点検画像をテクスチャとしてトンネルの 3 次元モデルに貼り付けることで点検情報も統合する（図 3）。さらに、帳票形式の情報に関しては、3 次元形状と紐付けてモデルの属性情報として時系列で整理・格納することで、高速道路トンネルの各段階の情報を一元管理できるデータプラットフォームとする。

そして、そのデータプラットフォームを用いることにより、各情報の時空間的な関係を把握し、I 期線トンネルの路面変状や覆工ひび割れなどの原因推定に適用することで I 期線トンネルの維持管理を支援する。また、II 期線トンネルを掘削する区間の地盤

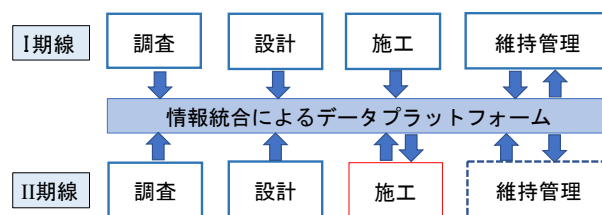


図 1 研究の流れ

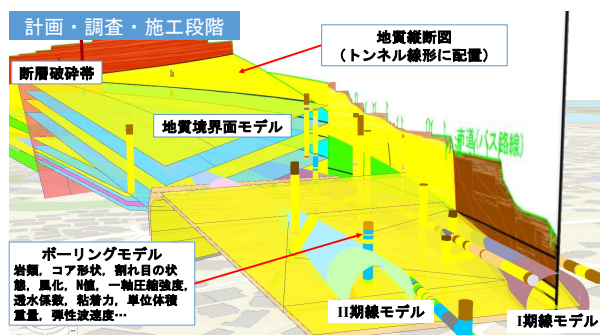


図 2 トンネル施工段階までの情報統合例

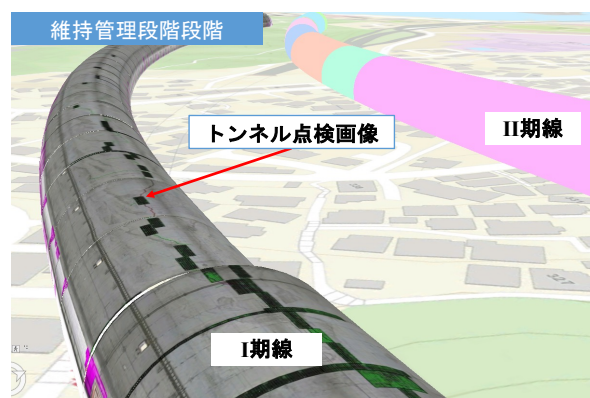


図 3 維持管理段階の情報統合例

状況を把握することで II 期線トンネルの設計・施工を支援することができる。これに加えて、I 期線の維持管理・II 期線の施工プロセスにおいてデータを逐次更新することで、両トンネルの維持管理・施工プロセスに際して情報の高度利用が可能となる。

## 3. トンネル維持管理への利活用

### 3.1. 覆工ひび割れの分析

データプラットフォームに統合された点検画像を用いて、トンネルのひび割れや補修工のフィーチャクラスを作成し、各ひび割れに長さや発生時期と幅などの情報を追加する。そして、トンネルのひび割れが発生した時期に対して色分けを行うことで、トンネルのひび割れの位置分布と進行性を時空間的に

把握する。一例として、図4の赤い点線で示されているエリアに含まれるひび割れが2015年から2019年までに横断方向に進展していることを確認できた。このように、ひび割れの進行を空間的に把握することが可能となる。また、GISを用いることでひび割れの空間的な分析を行うことができるため、ひび割れの発生方向なども定量化することができる。対象トンネルでは、縦断・横断・斜め方向に発生した全ひび割れの個数をもとに分析した結果を図5に示す。この結果により、トンネル全体のひび割れの中で斜め方向ひび割れが多く、進行性が高いことを把握でき、トンネルのひび割れ箇所や形状、方向性、進行性など点検情報に付加価値をつけて定量的に分析できる。

### 3.2. 覆工ひび割れの原因推定

トンネルの覆工ひび割れの分析結果と計画・調査段階で作成した地質モデルにより、ひび割れの箇所や方向、進行性および周辺地質情報などの相対的な位置関係を把握し、ひび割れの発生原因を推定する。I期線トンネルにおいては、ひび割れが非常駐車帯付近に集中していたことから、図6に示すように、周辺の地山の分布状況の確認を行うと、この非常駐車帯付近には、膨潤性地山が存在し、近くに多くの漏水が発生しており、このひび割れが、膨潤性土圧によって引き起こされた可能性が高いと判断できる。このように、各段階の地山情報や点検情報を用いることで、覆工に発生するひび割れの原因も推定できる。

### 3.3. 路面変状の面的なモニタリング

I期線トンネルでは、路面の盤膨れが確認されているため、路面変状の把握のために道路側道部分での側線上で水準測量が実施されている。しかしながら、このような計測では、側線上の変位しか把握できず、路面の面的な盤膨れ挙動は把握できない。そのため、地上型レーザスキャナを用いてトンネル内空全体を計測することで、路面の変状を面的に把握する。具体的には、トンネルの点群LASデータを取得し、この点群LASデータのZ座標(標高値)を基にGIS上でラスタデータに変換し、図7に示すようにトンネルの路面標高ラスタデータを作成する。

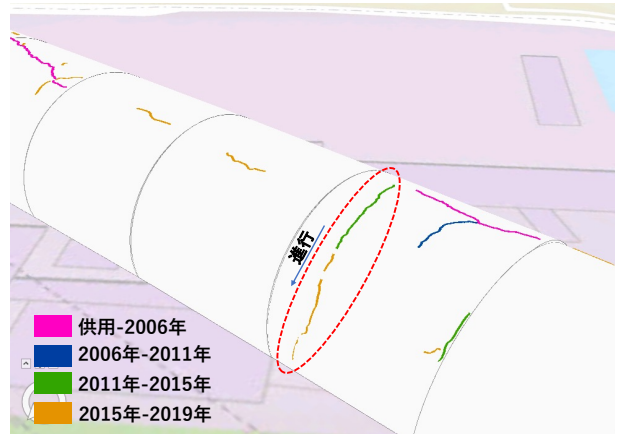


図4 各時期に発生したひび割れとその割合

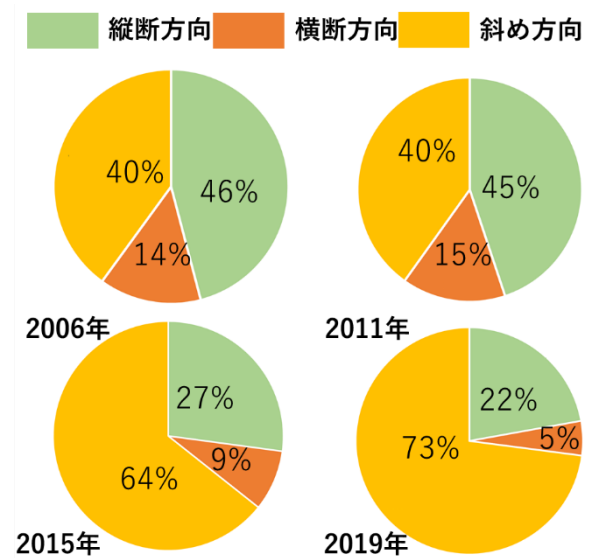


図5 トンネル全区間のひび割れの方向の割合

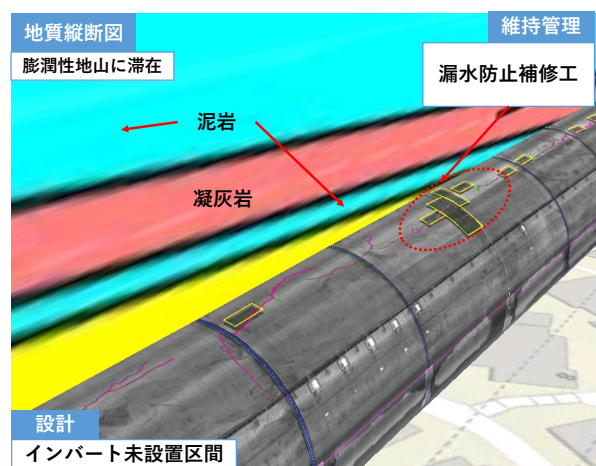


図6 地質状況とひび割れ分布との関係

そして、トンネル内空の点群データを定期的を取得し、トンネル路面の基準標高ラスタデータとの差分を取ることで、路面の変状を面的に把握する

ことができる。図8に路面の盤膨れと切削オーバーレイ工事による路面変形量を算出した結果を示す。このように点群データをGISに統合することで、路面の変状を定量的かつ面的に可視化することができ、路面の補修や変状対策などに資することができる。

### 3.4. 路面変状の原因推定

前述した路面変状の原因を推定するために、データプラットフォームから、解析に用いる地質モデルをGISで作成し、数値解析にインポートすることで路面変状の再現解析を実施して路面変状の発生原因について検討を行う。検討に際しては、膨潤層の物性値と範囲をパラメトリックに変化させ、路面変状の再現を行う。その結果、経時的に変化する膨潤域の変化が把握でき、この解析結果を再びGIS上で3次元的に可視化することで、膨潤域の経時変化を明らかにすることができた(図9)。具体的には、トンネルの下に存在する膨潤層の範囲が断層破砕帯から離れるほど狭くなっており、膨潤層への地下水の供給は断層破砕帯によることが想定された。また、膨潤層の影響範囲はII期線トンネルとは反対側に拡幅していることから、II期線への影響は小さいことも想定される。このように、数値解析による結果もGIS上のデータプラットフォームに統合することで、トンネルの変状原因を推定し、最適な補修方法選定の支援、さらには新設トンネルの建設への支援も可能となることがわかった。

## 4. II期線トンネルの建設への利活用

### 4.1. II期線トンネル施工への支援

I期線トンネル調査段階で得られたボーリングデータ、地質縦断面図と切羽スケッチの施工記録を用いてGISの補間機能を用いて地質境界面を作成することで地山の地質モデルを作成する。そして地質境界面とII期線トンネルの位置関係から掘削断面の切羽状況を10m毎に予測する(図10)。このようにII期線トンネルの掘削前に切羽の状況を把握することで、トンネル掘削時の対策に役立てることができる。予測と実際の切羽画像を比較した結果を図11に示す。図に示すように、予測結果と実際の切羽の状況は概ね合致するが、予測した切羽スケッチと異なる状況

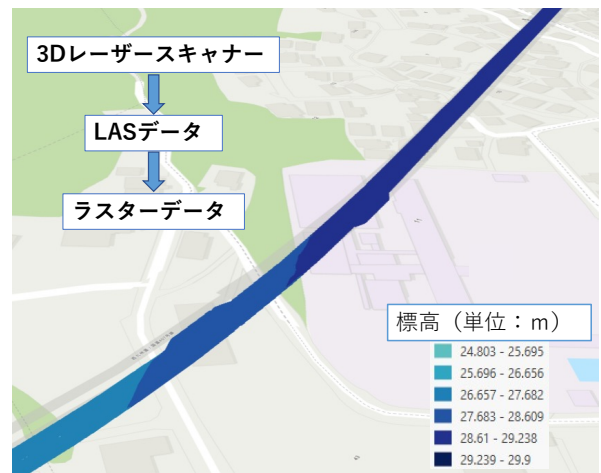


図7 トンネル路面の標高ラスターモデル

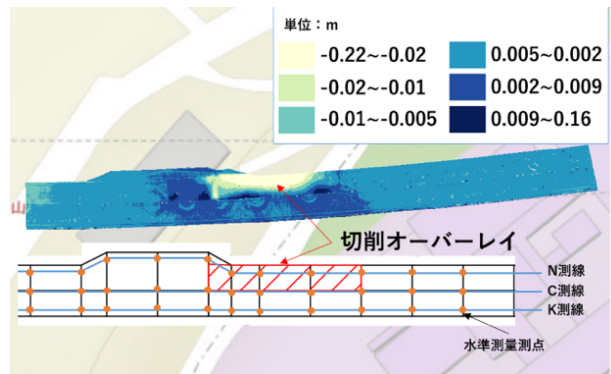


図8 路面切削量の出来高測定結果

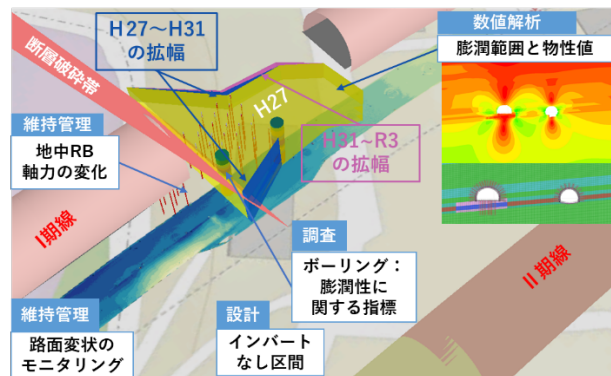


図9 数値解析による膨潤層の把握と可視化

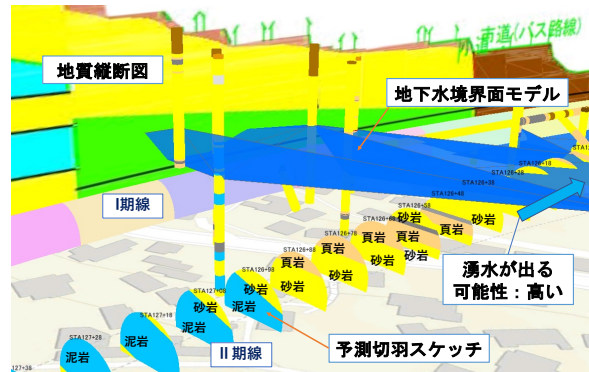


図10 II期線トンネルの予測切羽スケッチ

も発生する。そのため、施工により得られる実際の切羽や湧水、肌落ちなどの情報などをプラットフォームに逐次追加することで、掘削の進行とともに地質境界面の位置の確度が増すことでⅡ期線トンネルの施工を支援することができる。

さらに、図 10 に示すように、調査段階の情報から地下水面の境界面を作成することで、新設トンネルの湧水箇所の間隔の予測も行うことができる。

#### 4.2. 新設トンネル施工による地表面変位のモニタリング

Ⅱ期線トンネルの直上は、多くの建物が存在することから、トンネル掘削に伴う地表面の変動監視も重要となる。そこで、Ⅱ期線トンネル施工による影響範囲を考慮し、トンネル坑口周辺の点群データを定期的に取得している。そして、トンネルの路面変状のモニタリングと同じ手法で2時期の点群から差分を算出することで、わずかな地表面変動も正確に把握する。

### 5. おわりに

建設生産プロセスの各段階の情報を、3次元空間情報としてGISを用いて整理・統合することで、情報を一元管理できるデータプラットフォームを構築した。そして、この統合したデータプラットフォームを用いることで、点検情報の多方面からの分析が可能となるとともに、数値解析との融合や掘削施工に伴う路面変状のモニタリングなど、維持管理に留まらず、Ⅰ期線トンネルの各段階の情報をを用いたⅡ期線トンネル建設への支援を確認でき、GISを用いたデータプラットフォームの有用性を明らかにした。

今後、Ⅱ期線トンネルの建設による得られる新たなデータを本データプラットフォームに統合することで、Ⅱ期線トンネルの維持管理にも用いられるデータベースを構築する予定である。また、Ⅰ期線トンネルは24年前に施工され、施工時の記録が十分に保管されておらず、そのため、Ⅱ期線トンネルの施工段階から得られる情報を追加することで、Ⅱ期線トンネルのみならず、Ⅰ期線トンネルの維持管理にもより高度に活用されるデータを取得することが期待される。

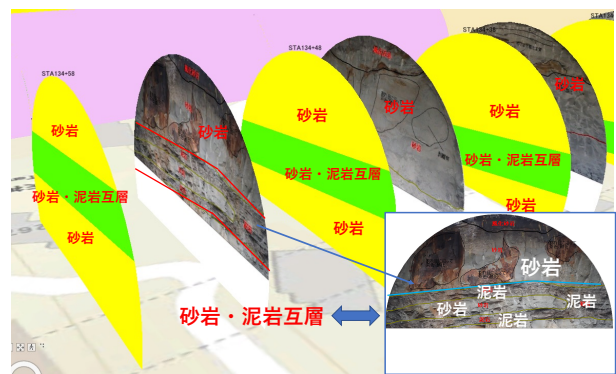


図 11 予測切羽スケッチと実際の切羽画像

### 謝辞

本研究にあたり、貴重なデータの提供をいただき、様々なご協力いただきました西日本高速道路（株）に、この場を借りて感謝申し上げます。

### 参考文献

1. 国土交通省（2016）ICT の全面的な活用（ICT 土工）について． < [https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000648822.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000648822.pdf) >
2. 国土交通省道路局（2021）道路メンテナンス年報 < [https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r02/r02\\_08maint.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r02/r02_08maint.pdf) >