

MR デバイスを活用した水路トンネルの調査・点検手法と維持管理業務の効率化

水路トンネル調査・点検ナビゲーションシステムの開発と適用

大津 慎一

水路トンネルの調査・点検では、近接目視により既往の損傷状況と現況を比較することでひび割れ等の進展状況を確認する。またその結果をもとに補修や補強などが必要となる箇所も見極める。しかしながら水路トンネルは照明施設がなく藻類の繁茂やコンクリート壁面などの汚れによってひび割れ等の判別が困難となり、現地での照合作業に多くの時間を要する。

これら水路トンネルの調査・点検の現状を踏まえ、MR (Mixed Reality: 複合現実) デバイスを用いて既往の調査・点検記録などを3D画像としてトンネル壁面に重ね合わせ、既往の損傷箇所や定期的な点検を要する箇所などへの迅速なナビゲーションを可能とするシステムを開発し、実現現場での適用を行った。本稿では開発した調査・点検ナビゲーションシステムについて報告する。

キーワード: 水路トンネル, 維持管理, 調査・点検, MR

1. はじめに

筆者らは、以前から道路トンネルに関わる維持管理とICTを組み合わせることで維持管理における調査／点検や維持補修工事などの情報の流れを一元的に管理・保存し、データ登録や帳票／記録の出力などといった作業の効率化や省力化についての研究を進めてきた。この中で原位置での情報の閲覧や登録を行う端末としてタブレット等の情報端末を使用してきたが、こういった一般的な情報端末では原位置での情報や位置などの検索を行うために手動もしくはマーカー等の補助的な手段が必要となり、情報の検索や位置の照合に手間がかかる場合があった。そこで筆者らは、現在注目を集めているMRデバイスの利便性に着目し、原位置での情報端末として活用する方法について検討を行った。

MR (複合現実) デバイスは、HMD (ヘッドマウントディスプレイ) と情報端末によって構成されるAR (拡張現実) デバイスの一種である。拡張現実とは、デバイスのモニタ上で内蔵のカメラ画像と様々な情報を三次元画像として重ね合わせることで使用者が直感的な位置と情報の関連付けを支援する仕組みである。それに対して複合現実とは、拡張現実と同様に使用者の位置と情報の関連付けを支援する仕組みであるが、使用者が装着するHMD上で様々な情報を三次元画像として表示して利用者の実視界との重ね合わせを行うことがで

き、視覚による直感的な位置と情報の関連付けが可能となる。また装着者の移動に伴い自身の位置をリアルタイムに更新するといった機能も有している。近年、様々な分野でMRデバイスが注目されており、工場施設のメンテナンスや機器操作のナビゲーションなど製造業の分野で活用が進められている。また建設業界でも、BIMやCIMなどと組み合わせることで生産性や品質の向上を図る試みが進められている。

本稿では、これら特長を踏まえMRデバイスを活用したインフラ施設の維持管理手法の検討とシステム化、および水路トンネルにおける活用事例について報告する。

2. 社会インフラにおける維持管理の現状

我が国の社会資本の多くは、戦後の復興から高度成長期を通して急速に整備が進められてきた。そのため今後数年で建設後50年以上となる設備の割合が加速度的に増加する見込みであり老朽化の問題に直面している。

国土交通省では、道路トンネルについて平成14年度に「道路トンネル定期点検要領 (案)」を策定し、2～5年の間隔で確実に定期点検を実施し維持補修工事を実施する対策を講じている。一方、地方自治体では、国土交通省のマニュアルに準ずるあるいは独自のマニュアルなどを整備し調査／点検を実施する自治体

や、実施予算や人員等の不足により適切な調査・点検の実施が難しい自治体など、トンネルの管理者によって維持管理の水準にばらつきがある状況であった。しかしながら平成24年の笹子トンネル天板崩落事故後、道路法の改正や点検要領の改訂により、すべての道路管理者に5年ごとの定期点検の実施や点検内容の記録と保存などの義務が明確化された。

農業や工業などに関わる水インフラについても道路インフラと同様に、その多くが半世紀以上の長い期間供用がなされており、施設の補修や補強を含む維持管理の見直しや効率化を必要とする時期を迎えている。また定期点検についても、その用水施設の使用用途に応じて経済産業省や農林水産省などの所管となる官公庁が定める要領や管理基準などにより、施設管理者による定期点検の実施や点検内容の記録と保管などの義務が明確化されている。しかしながら開水路や水路トンネルなどといった用水施設では、延長が数kmを超えるものも多く、断面も小さいため車両等の進入が難しい。そのため道路構造物のように点検車両などの大規模な点検機器を導入することが困難であり、目視観察や打音検査などによる点検作業が主となるが、水路

トンネルでは写真—1のように基本的に照明施設が整備されていないため非常に暗い。また平常時は水で満たされているため写真—2に示すように表面の汚れや藻類の繁殖が著しく、ひび割れや漏水箇所などの位置の特定が困難を極め、現地での調査・点検作業に多くの時間を要する場合がある。そのため用水施設における維持管理の効率化を図るためには、ひび割れ等損傷箇所の迅速な位置特定を可能とする手法の確立が必要となる。

3. MR デバイスを用いた水路トンネル維持管理の効率化

筆者らは、これら水路トンネルや用水路などの用水施設における調査・点検の作業環境を踏まえ、MR デバイスを用いることで開水路や水路トンネルなどといった用水施設の調査／点検作業において既往のひび割れ等の損傷箇所への迅速なナビゲーションを可能とするシステム（以下、本システム）としての構築を行った。

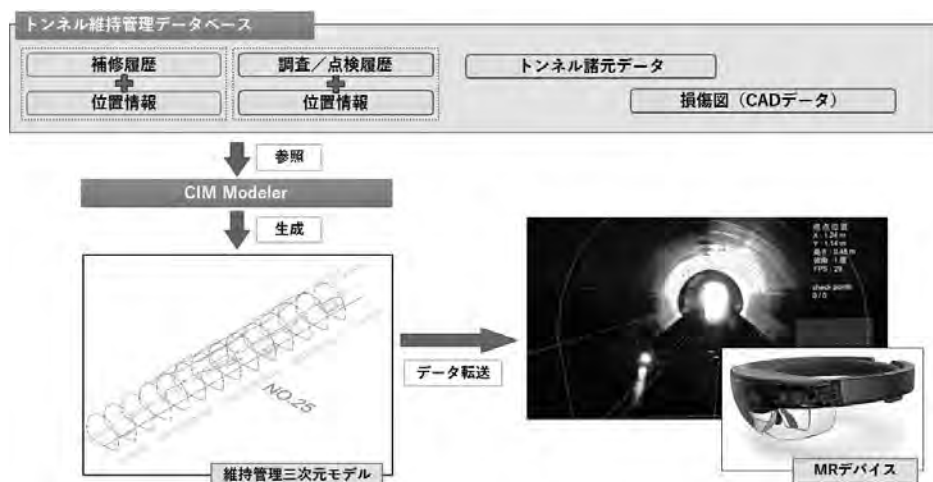
本システムは、図—1に示すようにMR デバイスにダウンロードした既往の損傷箇所等の維持管理情報



写真—1 水路トンネル構内



写真—2 水路壁面の状況



図—1 水路トンネル調査／点検ナビゲーションシステム

を含む三次元モデル（以下、維持管理モデル）を三次元画像として点検者の実視界と重ね合わせることで、既往のひび割れ等の損傷箇所や定期点検箇所などの位置や形状を視覚情報として提供する。本システムの概要を以下に示す。

(1) MR デバイスによるナビゲーション

MR デバイスは先にも述べたように HMD と情報端末によって構成される機器であり、利用者の実視界に三次元画像などを重ね合わせることで、壁に隠れた配管設備などといった目視での確認が困難なものであっても視覚情報としてその位置や形状などを正確に把握することが可能となる機器である。これを活用することで図一2に示すような視覚情報を利用者に提供し、コンクリート壁面の汚れやトンネル構内の照明などといった現地作業環境によって通常目視が困難な状況であっても、既往のひび割れ等の損傷箇所の位置を特定し利用者を迅速にナビゲーションすることが可能となる。また定期点検箇所についてはその位置だけでなく、過去の点検状況の帳票などを表示することも可能である。



図一2 ナビゲーション画面

(2) 調査／点検データのデータベース化

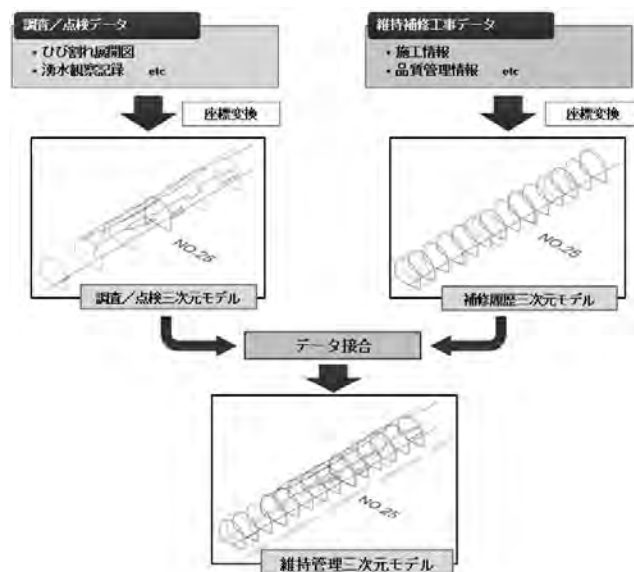
ひび割れ等の位置や形状などを視覚情報として提供しナビゲーションを実現する上では、本システムにおいて現地作業に即した維持管理モデルを構築する必要がある。しかしながら、ひび割れ等の損傷図や定期点検の帳票などといった調査／点検に関わる記録は、現状、紙ベースやCADデータ、文書データなどの個別ファイルとして管理されていることがほとんどであり、維持管理モデルの生成時にデータの変換や整理等の手間が生じる。

そこで本システムでは、水路トンネルなどの設計データや施工情報、定期点検記録などの情報を一元的に管理・蓄積する水路トンネル維持管理データベース

を構築することで、独自アプリケーションを介したデータの登録や閲覧、帳票等の作成などを可能としている。また定期点検の実施区間や反映する情報の種別を設定することで、MR デバイスにダウンロードする維持管理モデルの生成も可能である。これにより維持管理に関わるデータの整理や維持管理モデルの作成にかかる労力を削減し、維持管理業務の効率化・省力化を図ることができる。

(3) 維持管理モデルの生成

維持管理モデルの生成では、図一3に示すように定期点検区間の形状、既往の損傷状況、維持補修工事の履歴に関する情報をデータベースから参照し、それぞれ独立した三次元モデルを生成し、各モデルを基準点によって位置や方向を合わせ接合することで三次元モデルの生成を行っている。従来の調査／点検業務では、ひび割れ等の損傷箇所の位置や形状をひび割れ展開図といった平面展開図に記録しとりまとめを行っている。そのため水路形状と組み合わせて三次元モデルを構築するには、水路形状に合わせて平面展開図を座標変換し、水路形状を表す三次元モデルの表面に張り付けるといった工程が必要となる。平面的な面で構成される構造物の場合には、平面展開図を面ごとに分割して三次元モデルに張り付けることでモデル化することが可能である。しかし曲面を含む構造物では、平面展開図を単純に面分割して張り付ける方法でモデル化することは難しい。そのためUV マッピングなどの手法を用いて平面展開図をメッシュ分割し、曲面等に近似するなどの手法を用いる必要がある。水路トンネルにおける損傷状況のモデル化の手法を図一4に示す。



図一3 維持管理モデル生成の流れ

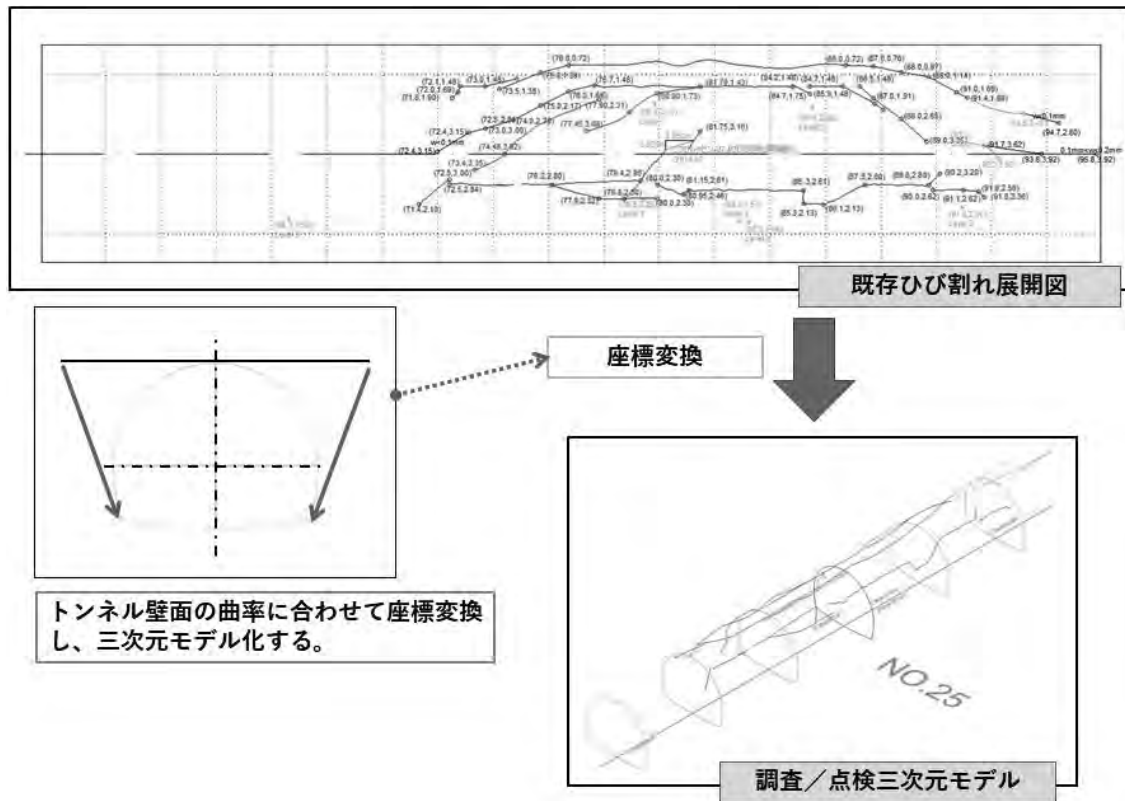


図-4 水路トンネルにおける座標変換

4. 水力発電用水路トンネルにおける適用事例

以下に水力発電用水路トンネルの定期点検作業における本システムの適用事例を示す。本事例は、民間企業が所有する水力発電用水路トンネルにおいて当社が実施している定期点検において適用した事例となる。

本導水路は、大正時代に築造された導水路であり供用から100年近く経過する水力発電用導水路となる。水路延長は開水路と水路トンネルを合わせて約5kmとなる。今回は、このうち過去に維持補修工事を実施した水路トンネルの目視点検に適用した。本水路トンネルは、一般道と交差する箇所があり、車両の通行などによって補修箇所に変状が発生していないか経過観察を行っている。新たな変状が確認された場合には、補修前の変状位置およびその状況と照合を行い対策方法について検討を行うが、維持補修工事によって以前のトンネル壁面が隠れてしまい、既往の損傷箇所およびその状態を目視確認することができない。そこで今回の適用では、既往の損傷箇所や定期点検箇所などへのナビゲーションと合わせて、維持補修工事によって目視確認ができない損傷箇所についてもトンネル壁面の補修状況に左右されないナビゲーションを実現させた。

適用状況を図-5に示す。また本システムの実視野と三次元画像の重ね合わせの精度は、図-6に示



図-5 システム適用状況

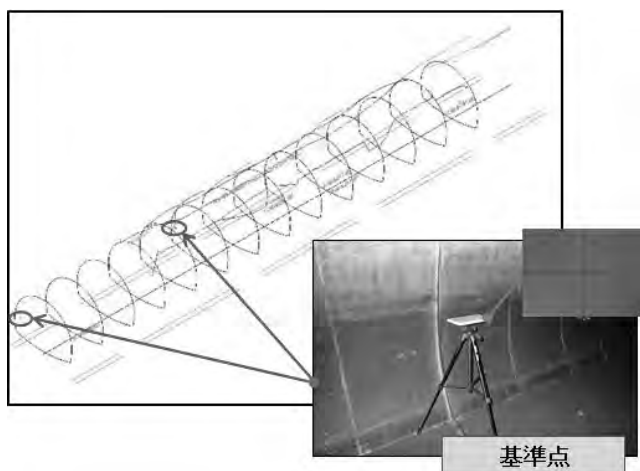


図-6 ナビゲーションの精度

すように本適用全体において約 50 mm となった。これはひび割れなどの長さや形状などを計測する上では十分な精度とはいえないが、点検者を既往の損傷箇所等にナビゲーションするには十分であると考ええる。

(1) 基準点による位置合わせ

本システムを現地作業で利用するためには、調査／点検を実施する作業区間と維持管理モデルの初期位置合わせを行う必要がある。本システムでは、現地および三次元モデルにそれぞれ対応する基準点を 2 点設定することで位置と方向の設定を行っている。基準点による位置合わせ状況を図一 7 に示す。



図一 7 基準点による位置合わせ

(2) 構内照明の確保

従来の水路トンネルにおける定期点検では、点検実施者が目視でトンネル壁面のひび割れ等の損傷箇所の位置および状況を確認できるよう十分な照明を確保する必要がある。そのためバッテリー式の仮設照明など十分な明るさの確保が可能な設備を設置して対応する必要がある。しかしながらバッテリー式の照明機器は大きく重量もあるため、設置や盛り替えなどに手間を要する。本システムでも、MR デバイスが自分の位置を検知するために一定の明るさを確保する必要がある。また点検者の安全を確保する上でも最低限の照明が必要となる。

本現場適用では、照明機器の設置や盛り替えが容易であり、かつシステムの稼働や点検者の安全確保に必要な明るさが確保可能な照明機器として、ホームセンターなどの一般店舗でも入手可能なキャンプ用 LED ランタンを照明機器として採用した。図一 8 に示すように LED ランタン程度の明るさでも MR デバイスによる位置検知が可能であり、水路トンネル内における本システムの稼働が可能である。



図一 8 LED ランタンによる構内照明

5. おわりに

本稿では、水路トンネル維持管理の効率化・省力化を目的とした MR デバイスを活用した水路トンネル調査／点検ナビゲーションシステムの開発およびその適用について報告した。本システムを活用することで簡易的な照明機器や基準点の設置だけで、既往のひび割れ等の損傷箇所や定期的な確認を要する箇所などへのナビゲーションが可能となった。

しかしながら本システムは、維持管理データベースに登録されているひび割れ展開図などの点検記録や補修工事履歴を三次元モデル化し、現地作業におけるナビゲーションといったフィードバック機能しか有していない。今後、継続的に水路トンネルの調査／点検業務に活用し業務の効率化を図るためには、フィードバックだけでなく原位置での点検記録の登録などといった入力機能も必要不可欠となる。また水路トンネルの維持管理を継続する上では、調査／点検、評価／設計、補修／補強工事といった一連のサイクルを円滑に実施する必要があり、各プロセス間での情報共有も必要となる。今後はこういった点も踏まえ、維持管理サイクル全体をサポートするシステム開発を進める。

JCMMA

【筆者紹介】

大津 慎一（おおつ しゅんいち）
三井住友建設㈱
技術本部 建設情報技術部

