

# インフラ維持管理における AI・3次元モデルを用いた ロボット技術の活用拡大に向けた取組

国土交通省総合政策局 公共事業企画調整課

○ 川口 貴大  
渡邊 賢一

## 1. はじめに

我が国の社会インフラの維持管理をめぐっては、老朽化の進行、現場の担い手不足等が喫緊の課題となっている。国土交通省では、より効率的なインフラ点検を実施するための社会インフラ用ロボットの活用手法等を示すマニュアルを整備し、現場導入を推進してきた。

一方、点検支援技術等から得られる膨大な写真の整理作業や、構造物の変状等を抽出する作業には時間を要するため、これら作業の効率化が求められている。

効率化を実現する手法として、点検写真から構造物の3次元モデルを自動生成し、変状等を把握出来るビューアを用いて膨大な写真を管理することや、AIを用いて変状等を自動抽出することが有効であると考えている。

これまで、現場で取得したデータから3次元モデルを生成する試行や、AI開発に必要な教師データを作成し、開発者による教師データ品質の確認・AI性能評価手法の検討等を行ってきたため、本稿ではこれらの取組を紹介する。

## 2. 社会インフラ用ロボット現場導入の経緯

国土交通省及び経済産業省では、社会インフラの現場ニーズに基づき、国内外の異分野も含めた産学の技術シーズを踏まえ、「維持管理・災害対応」に関するロボットの活用化に向けた方策を検討するため、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を平成25年7月に設置し、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野（5つの重点分野）」を同年12月に策定した（図-1）。



図-1 5つの重点分野

これを受け、国土交通省では社会インフラの維持管理や災害対応分野におけるロボットの開発・導入を促進し、現場実装を支援することを目的に「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会<sup>1)</sup>」（以下、現場検証委員会とする）を平成26年2月に設置し、技術の現場検証・評価を行うこととした。

H26、H27年度は現場検証委員会を通じて5つの重点分野に関する様々な技術を公募し、検証・評価を通じて実用性を高めるための技術改良を促進した（H26年度：67技術、H27年度：70技術）。災害分野においては2年間の取組を通じて現場での導入が可能となった一方、維持管理分野においては、点検を支援し効率化を図るために必要な点検精度や作業の効率性について課題が残る技術も多く、H28年度以降も検証を引き続き行うこととした。

H28、H29年度はH27年度に検証・評価を受けた一部の技術に対して、ロボットによる点検支援の位置付け（ユースケース）を想定した上で、実用化に向けて達成すべき要求性能を設定し、精度検証や作業時間の短縮に伴う経済性等の検証を実施した（H28、29年度：16技術）。検証を行ったロボットの例を図-2に示す。



図-2 社会インフラ用ロボットの例

以上の取組を通じて、H30年度には維持管理分野の水中構造物（ダム）及び道路構造物（橋梁、トンネル）の領域において技術を活用する手法をマニュアル等にとりまとめ、実現場において技術を活用できる環境を整備した。

ロボットを用いた点検はロボットにより撮影した映像・画像を中心に行うこととなるため、水中構造物については、ロボット活用の適否・調査対象等の選定を行う上でダム総合点検等の目的を十分理解するとともに、ロボットの特性を踏まえて判断

する必要がある。このため、ロボットによる水中部点検の対象選定手法や点検手法等を「水中部点検におけるロボット活用マニュアル（案）【ダム堤体編／ダム放流設備編】平成31年2月」にとりまとめた<sup>2)</sup>。

道路構造物については、平成30年度に行った定期点検要領の改正までの過程の中で、インフラ点検用ロボット等「点検支援技術」は「点検に必要な知識及び技能を有する者」が点検の対象部位・部材・範囲や使用目的を判断した上で定期点検に活用するという方向性が示された。このため、点検支援技術の性能を示す性能評価項目を策定した上で、その開発者から現場検証等を通じて提出された性能値を「点検支援技術 性能カタログ（案）平成31年2月」にとりまとめるとともに、定期点検業務等において受発注者が点検支援技術を活用する際に、技術を選定し点検業務内で活用するまでの業務プロセス等を「新技術利用のガイドライン（案）平成31年2月」にとりまとめた<sup>3)</sup>。

これら現場検証委員会の取組を通じて様々な社会インフラ用ロボットが導入され、インフラ維持管理の効率化の実現に至った。

### 3. 更なる点検業務の効率化に向けた取組

社会インフラ用ロボットの中でも維持管理において活用されるインフラ点検用ロボット等（以下、点検支援技術等とする）は、ひび割れ等の損傷が判読可能な高精細な写真を撮影できるため、点検技術者は写真を基本として損傷図を作成することが出来るようになる。これにより、現地でのチョーキングやクラックスケールを用いた計測等を簡略化でき、人の作業を効率化するとともに、交通規制による損失時間を削減することが期待される。

一方で、点検支援技術等によって高精細な写真を撮影するには、構造物の近傍に寄って撮影する必要があるため、撮影された写真は画角が狭く単体では撮影場所を理解しにくく、単純に撮影した写真を蓄積していくだけでは膨大な写真の整理だけに内業の工数を要する恐れがある。また、帳票作成に必要な、構造物の損傷を判読し損傷情報を記録する作業は、点検写真と過去の点検成果等をもとに人手で行う必要があり、この作業の効率化には至っていない。

まず、膨大な写真を整理する手法の一つとして、点検写真から構造物の3次元モデルを作成し、損傷の経時的な変化を把握出来るビューアを用いて管理する手法が考えられる。また、点検写真をもとに損傷情報を記録する作業を効率化する手法としては、人工知能（AI）を用いた損傷の自動判読技術が有効であると考えられる。

以下、現在国土交通省にて検討を進めている道路構造物に適用可能な上記二つの手法を紹介する。

### 3.1 3次元モデルを活用した損傷表現

点検業務においては、点検にて損傷が認められた箇所の写真や損傷情報等を帳票等によって記録を残せば、点検支援技術等によって撮影した写真の全てを納品する必要はない。

しかし、点検支援技術等によって撮影した高精細かつ膨大な画像から3次元モデルを生成し、正確な損傷位置を3次的に記録・蓄積することが出来れば、損傷の経年変化を容易に比較することが可能となり、診断等を行う技術者の判断への貢献も期待される。

これを実現するためには、3次元モデルの生成を可能とするデータ項目や仕様の標準を規定し、これらが成果品として納品される仕組みが必要である。

そこで、国土交通省では3次元モデルの作成に必要なデータに関する共通のデータ項目や仕様を規定し、点検支援技術等により取得した点検写真から、3次元モデルを生成するアプリケーション等を介して成果品を作成し納品する方法（図-3）を示す「点検支援技術（画像計測技術）を用いた3次元成果品納品マニュアル（トンネル編／橋梁編）（案）平成31年3月」を作成した<sup>4)</sup>。

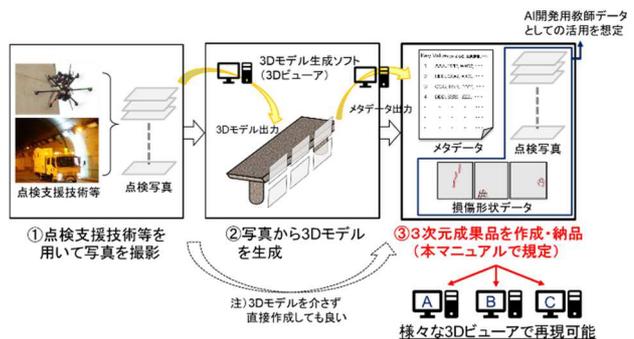


図-3 3次元成果品の納品までの流れ

これに基づく納品を行うことで、3次元モデルを生成し損傷を管理するアプリケーションに依存しない、互換性・継続性のあるデータを蓄積することが可能となる。

なお、本マニュアルで規定している納品物は、点検時に撮影した「点検写真」、損傷の位置や形状等を撮影した写真や3次元モデルに付加した「損傷形状データ」、撮影した写真に関する位置情報等を記載した「点検写真のメタデータ」の3種類であり、それぞれの詳細を以下に示す。

#### (1) 点検写真

点検支援技術等により撮影した写真の生データを示すものであり、3次元モデルを作成するためには、損傷部のみの写真だけでなく、損傷部以外の写真も必要であるため、損傷部以外も撮影対象となる。

点検写真は、その精度を適切に担保するため、点検写真の撮影条件を定めて、これに基づき適切に精度管理を実施する必要がある。本マニュアルでは、撮影した写真を後述するAIの技術開発に必要な教師データ作成のための写真として納品する場合の撮影条件を参考に示している（表-1）。

表-1 橋梁用教師データ作成用写真の撮影条件

仕様		留意点
幅0.1mmのひび割れを検出する場合、0.3mm/画素以下とする。 使用するカメラに応じて、撮影範囲(視野サイズ)を決定する必要がある。 長手方向の視野サイズ(mm) = 長手方向のカメラ画素数 × 0.3mm 縦方向の視野サイズ(mm) = 縦方向のカメラ画素数 × 0.3mm		
カメラ機種	ミラーレス一眼カメラまたは同等以上	安定した高画質を確保するために必要 センサーサイズは、APS-C以上 コントラストAFは使用しないこと 被写体深度を確保するために必要
ISO感度	ISO200以下	ISO感度を上げてしまうと画像が平滑化してしまいひび割れが検出できない場合がある
ラップ率	オーバー・サイド30%以上を確保	平面展開図への合成処理時に必要となる
撮影角度	正対を原則とする	環境条件によるが、概ね10度までとする

(2) 損傷形状データ

損傷形状データは、損傷の概略、損傷の位置・形状、損傷の範囲などの情報であり、3次元モデルまたはレイヤ構造図画ファイル(2D)のいずれかの方法から選択してデータを作成することとなる。3次元モデルによる損傷形状データは、損傷を示す3次元のポリライン(ひび割れ等)、ポリゴン(腐食、遊離石灰等)を3DCAD等によって図示し、作成する。また、レイヤ構造図画ファイル(2D)による損傷形状データは、点検写真と分離可能なレイヤ構造を持たせて重畳された2次元図面上に損傷を示すポリライン、ポリゴンを図示し、作成する。

これは、従来の点検調書では損傷図として納品されていたデータに相当する。

(3) 点検写真のメタデータ

点検写真のメタデータとは、対象となる構造物が位置する座標系情報、点検写真またはカメラの位置座標・角度情報等を記載したテキストデータ(CSVファイル)のことである。

特に、位置座標・角度情報については撮影した写真が3次元空間上のどの位置、角度に存在するかを表現するために必要な情報であり、この表現方法には①点検写真の中心位置座標・角度②カメラの中心位置座標・角度③点検写真の四隅座標等が考えられる。

本マニュアルでは、これらメタデータの表現方法を規定しており、その一例を表-2に示す。

表-2 点検写真のメタデータ項目の一例

項目	入力条件	説明
位置座標	必須	位置座標の記入方法が、写真中心位置座標であれば0、カメラ中心位置座標であれば1、写真四隅座標であれば2を記入する。
位置座標	必須 (位置座標記入方法「0」の場合)	・点検写真の中心位置を表すXYZ座標(x, y, z) ・点検写真の傾きを表すオイラー角(a, B, γ)または四元数(q0, q1, q2, q3)
	必須 (位置座標記入方法「1」の場合)	・カメラの中心位置を表すXYZ座標(x, y, z) ・カメラの傾きを表すオイラー角(a, B, γ)または四元数(q0, q1, q2, q3)
	必須 (位置座標記入方法「2」の場合、3点以上)	・点検写真四隅(右上、左上、右下、左下)のXYZ座標(x <sub>UR</sub> , y <sub>UR</sub> , z <sub>UR</sub> ; x <sub>UL</sub> , y <sub>UL</sub> , z <sub>UL</sub> ; x <sub>DR</sub> , y <sub>DR</sub> ; x <sub>DL</sub> , y <sub>DL</sub> , z <sub>DL</sub> )

今後、定期点検業務等を通じて撮影した写真を

用いた3次元モデル作成の検証を行い、3次元モデルの活用場面の検討等を行い本マニュアルの見直しを図ることで、このような3次元モデルを活用した点検業務の高度化を目指す。

3.2 人工知能(AI)を用いた損傷の自動判読

また、現在は点検支援技術等を用いて取得した大量の写真から、人手により損傷を判読しているが、将来的には人工知能(AI)を活用して損傷を自動判読することにより、点検記録作成に要する人の作業を支援することが出来ると考えている。点検フローの将来像について、図-4に示す。



図-4 点検フローの将来像

従来点検では、人が構造物を近接目視し、その視覚情報(入力)を頼りに点検要領(ルール)に基づき点検記録(結果)を作成していた。この流れをAIで実現する場合、まず、点検で取得した写真(入力)と点検技術者が判断した点検記録(結果)を基に、その判断のポイントをAIが学習するための教師データが必要となる。教師データを用いてAI(学習モデル)が学習することで、AIは入力から結果を推論できるようになり、損傷の自動判読を行う。

このようなAIの開発を行い、自動判読の精度向上を実現するためには、AIに学習させるための教師データを大量に準備する必要がある。教師データ作成に必要な作業自体は、点検写真のどこに損傷があるかを写真上にタグ付け(アノテーション)するだけであるが、納品された点検写真は施設管理者の所有物であること、また、損傷箇所を示すアノテーションの精度管理には点検技術者の知識や技能を必要とするため、AI開発者のみでは開発が

困難であることなどから、教師データの整備をまずは協調領域として国が行うことで、民間のAI開発を支援することが出来ると考えている。AIの開発や活用の流れを図-5に示す。

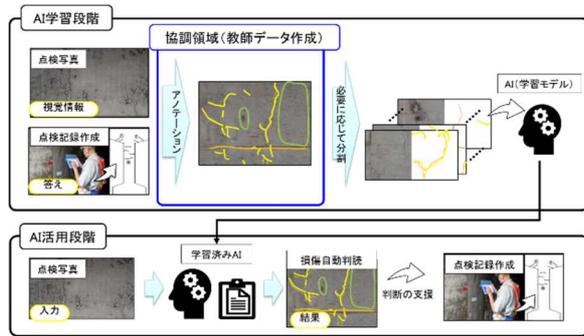


図-5 AI 学習に必要なデータと AI 活用のイメージ

そこで、国土交通省では、教師データを作成し、これをAI開発者へ提供しAI開発を支援するとともに、開発されたAIの性能評価等を行うことを目的に「AI開発支援プラットフォーム」の設立を検討している(図-6)。



図-6 AI 開発支援プラットフォームの全体像

本プラットフォームの設立に先立ち、良質で効率的な教師データ整備のあり方や、点検に関するデータの取得・保存・分析・活用を円滑に行うデータ基盤のあり方の検討等を行うために「AI開発支援プラットフォームの開設準備ワーキンググループ」(以下AI-PF準備WG)を設置<sup>6)</sup>し、検討を進めている。

平成30年11月2日に第1回のAI-PF準備WGを開催し、教師データとする元写真に求める仕様やアノテーションの仕様を検討してきた。令和元年7月に第2回を、令和元年11月に第3回を開催し、試作した教師データに対する意見聴取を通じて、今後協調領域として整備する教師データの仕様の見直しを行った。

令和2年度以降は、過年度整備した教師データを用いて試作されたAIの性能評価試行や、AIを実現場に導入した際の活用効果の検証を行う予定である。AIの性能評価試行は、過年度整備した教師データの内、WGの会員に公開していないデータを用いて実施する試験であり、統一された条件下

で定量的に検出率を評価することで、現状のAI性能を明らかにするとともに、実装に向けて現状のAI技術が解決すべき課題を明らかにすることが出来る。また、AIの活用効果の検証は、通常の内業作業と比較してAIを活用した際にどの程度の負担軽減がなされるか、作業時間の測定や作業員へのヒアリング等を通じてその効果を明らかにすることで、点検技術者がAIを活用するインセンティブを高めることが出来る。

このように、今後はAIの実装や活用推進に向けて取組を進めることが重要となってくる。

#### 4. おわりに

建設技能労働者数が減少し、老朽化が進むインフラを数多く抱える我が国においては、既存のインフラを効果的、効率的に維持管理していくことが重要である。

様々な点検支援技術等が市場に現れ、インフラ点検における人の作業の支援が図られる中、本稿で紹介した点検業務の更なる効率化を目指すロボット技術に関する取組が、更なる点検支援技術等の開発・導入を後押しし、インフラ維持管理全体の更なる効率化・高度化につながることを期待している。

本取組を推進する中だけでなく、その先の施策を検討する際にも、常に民間の技術シーズや現場ニーズの動向に注目しながら、国の役割や着手すべき協調領域を適切に見極め、新しい技術の社会実装による建設現場の生産性向上に貢献して参りたい。

#### 参考文献

- 1) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会  
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei\\_constplan\\_fr\\_000024.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000024.html)
- 2) 指針・ガイドライン等(水管理・国土保全局)  
[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/index.html)
- 3) 道路の老朽化対策(道路局)  
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>
- 4) ICTの全面的な活用  
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei\\_constplan\\_tk\\_000031.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html)
- 5) AI開発支援プラットフォームの開設準備WGの設置(平成30年7月27日記者発表)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001247205.pdf>