

行政情報

インフラ維持管理への AI・ロボット等新技術の導入に向けた取組

川口 貴大

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」（以下、現場検証委員会とする）を平成26年2月に設置し、平成30年度までの5年間にわたって現場検証・評価を行ってきた。本稿では、現場検証委員会における取組の概要とともに、現場検証委員会を通じて開発・導入されたロボットに関する更なる活用範囲の拡大検討状況として、ロボットにより取得した大量の画像データを基に、構造物の損傷等を判読するAIの開発支援を行う取組や、画像から既設構造物の3次元モデルを作成し、モデル上で損傷等を管理する取組を紹介する。

キーワード：維持管理，AI，ロボット，3次元，点検，技術開発支援

1. はじめに

現在、我が国の社会インフラを巡っては、老朽化が進む施設数の急激な増加や、地震及び風水害等の災害リスクの高まり、人口減少・少子高齢化等の課題に直面しており、社会インフラの維持管理や災害対応に関しては、これらをより効果的かつ効率的に実施するため、作業を支援するロボット技術の開発・導入を迅速且つ集中的に進めていくことが求められている。

そこで、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（調査、施工）」という重要な場面におけるロボットについて、その開発・導入分野を明確化するなど実用化に

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16日に設置し、「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）」を平成25年12月25日に策定した（図-1）。

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」（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。現場検証委員会には、維持管理分野として「橋梁維持管理部会」、「トンネル維持管理部会」、「水中維持管理部会」の3部会、災害分野として「災害調査部会」、「応急復旧部会」の



図-1 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）

2 部会、合計 5 つの部会を設置し、5 つの重点分野それぞれに対して詳細な検討を行うこととした。

2. 現場検証委員会の取組と成果

H26, H27 年度は 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)。災害分野については、2 年間の取組を通じて H28 年度より現場での導入が可能となった。一方、維持管理分野については、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 インフラ点検用ロボットの例

以上の取組を通じて、H30 年度にはそれぞれの分野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。

水中 (ダム) 維持管理及び道路 (橋梁、トンネル) 維持管理については、マニュアル等の位置付けを以下に詳述する。

(1) 水中 (ダム) 維持管理

国土交通省直轄ダムにおけるダム堤体については、ダム総合点検実施要領・同解説 (国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 平成 25 年 10 月) に基づき、ダム管理者が行う日常管理における巡視・点検、ダム

管理者が専門家の意見を聴いて長期的観点から行うダム総合点検、ダム管理者以外の専門家等が行う定期検査により実施している。また、本要領の制定前より、国土交通省直轄ダムにおいては、管理開始後 30 年を目的に総合点検を実施してきた。

しかし、コンクリートダム堤体上流の水中部については潜水土等に頼らざるを得ず、安全性の問題や、調査時間 (潜水時間)・潜水深度の制約等の問題があるため、ロボットの活用が効果的と考えられる。

ただし、ロボットによる水中部点検では取得する映像・画像が主体となり点検方法は限られるため、ロボット活用の適否・調査対象等の決定に際しては、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点検を行う必要があることから、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。

(2) 道路 (橋梁、トンネル) 維持管理

道路構造物に関しては、老朽化する施設数の急速な増加を背景に、道路法施行規則の一部を改正する省令及び道路トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示が平成 26 年に公布、施行されたことで、道路トンネルや道路橋等の定期点検は近接目視により 5 年に 1 度の頻度で行い、その健全性を段階的に評価することとなった。

平成 30 年度には点検の一巡目が終了し、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会における定期点検要領改定に関する議論を通じて、平成 31 年 2 月に道路橋定期点検要領が改定され、同年 3 月に道路トンネル定期点検要領が改定された。

また、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。

そのため、国土交通省では上記を踏まえた点検支援技術の性能を示す標準的な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記載した「点検支援技術 性能カタログ (案) 平成 31 年 2 月」を整備するとともに、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。

3. 更なる点検業務の効率化に向けた取組

前章にて示した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点検記録用の写真を撮影することで、写真より損傷を判読し損傷図を作成することが可能となり、点検記録の作成支援を実現した。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。

点検支援技術等の活用環境整備により、現場で点検記録写真を取得する作業は省力化が可能となった。その一方で、点検支援技術等を用いて取得した写真の取扱いには注意が必要である。

点検支援技術等によって得られる高精細な写真は、画角が狭く撮影場所を理解しにくく、単純に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、構造物の損傷を判読する作業は、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。

膨大な写真の整理手法の一つとして、点検写真から点検対象物の全体構造を示す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、点検写真から構造物の損傷を判読する作業の効率化手法として、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上記二つの手法を紹介する。

(1) 3次元モデルを活用した損傷表現

現在の点検業務においては、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く、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、納品物としては十分である場合が多い。

しかし点検支援技術等によって撮影した高品質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、構造物の変状の経年変化を比較可能な形で構造物の点検記録を蓄積することが可能となり、点検成果の情報量向上により診断等を行う技術者の判断への貢献も期待される。

納品物を3次元モデルが生成可能な点検記録とするためには、撮影した写真に関する位置情報等のメタデータや、損傷の位置、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を納品する必要がある。しかし、これらのデータ項目や仕様の標準を規定しない場合、これは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のみに依存することとなり、互換性・継続性のないデータが蓄積されてしまう。

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。

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

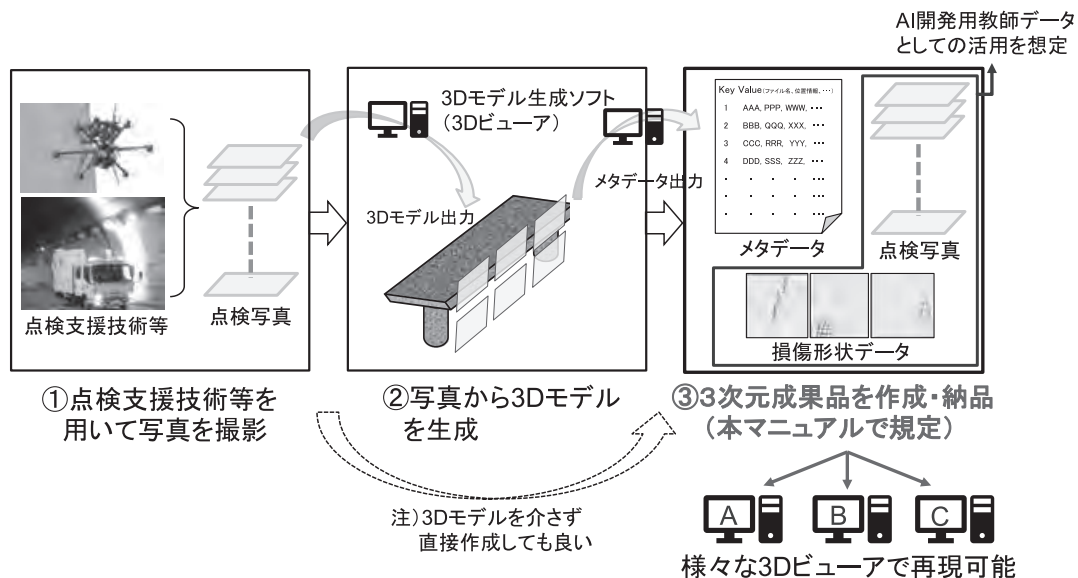


図-3 3次元成果品の納品までの流れ

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。

なお、本マニュアルで規定している納品物は「点検写真」、「損傷形状データ」、「点検写真のメタデータ」の3種類であり、それぞれの詳細は以下のとおりである。

(a) 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、損傷部以外の写真だけでなく、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。

点検写真については、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)。

(b) 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。

(c) 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-1 橋梁用教師データ作成用写真の撮影条件

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		
	仕様	留意点
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

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
位置座標記入方法	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, β, 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 ^{*1} (x, y, z) ・カメラの傾きを表すオイラー角(a, β, 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 _{UR} , y _{UR} , z _{UR} , x _{UL} , y _{UL} , z _{UL} , x _{DR} , y _{DR} , z _{DR} , x _{DL} , y _{DL} , z _{DL})

(2) 人工知能 (AI) を用いた損傷の自動判読

先述のとおり、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、点検記録の作成に必要な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。

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) から、AI が点検技術者の暗黙知やノウハウを学習するための教師データを用意し、これをもとに AI が個別に有するアルゴリズム (学習モデル) により学習を行う必要があ

る。学習を経た AI は、入力から結果を推論できるようになるため、損傷を自動判読が出来るようになる。

このような AI の開発を行い、高精度な自動判読が出来る AI へと成長させていくためには、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。教師データの作成自体は、点検で取得した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、点検写真が管理者の所有物であること、また、点検技術者の知識や技能を必要とするアノテーションの精度管理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。

上記の損傷を自動判別する AI の学習や、調書作成補助の流れは図-5 のとおりである。



図-4 点検フローの将来像

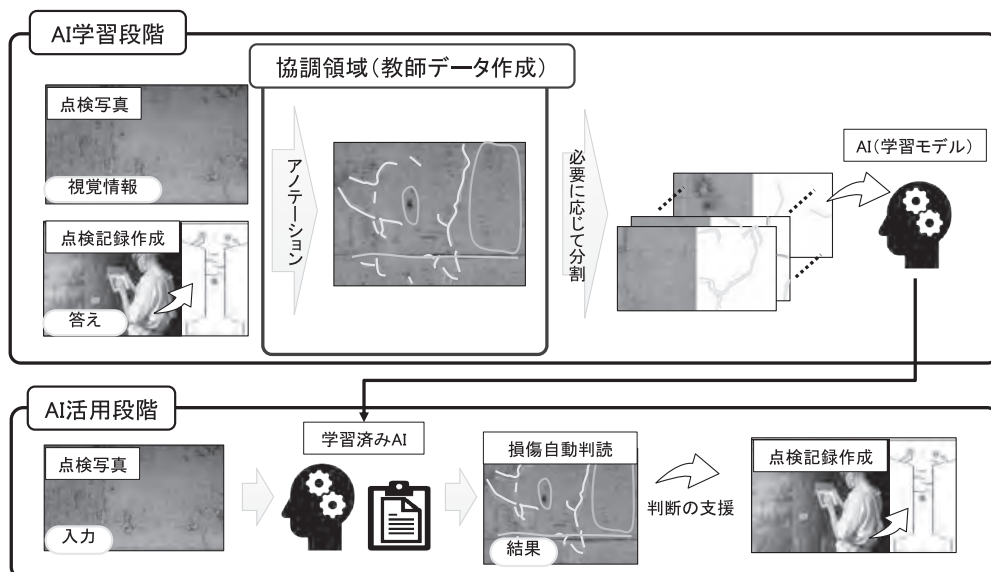
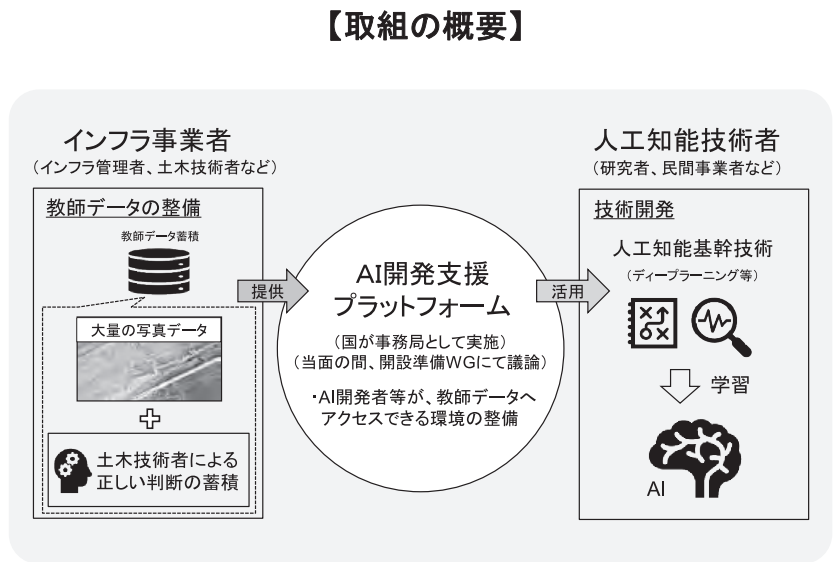


図-5 AI 学習に必要なデータと AI 活用のイメージ



図一六 AI開発支援プラットフォームの全体像

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(図一六)。

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)を設置し、検討を進めている。

第1回のAI-PF準備WGは平成30年11月27日に開催し、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。第2回は令和元年7月16日に開催し、教師データ提供に関する規約の検討や、今後の教師データ提供・プロトタイプAI開発に向けたスケジュールの共有を行った。また、第3回を令和元年11月19日に開催し、試作した教師データに対する意見聴取を行い、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。

また、今後AIの開発や精度向上を目指し、点検業務の高度化を推進していくためには、より多くの写真等を蓄積していく必要がある。そのため、点検支援技術の技術進展を踏まえた構造の撮り方を検証し、前節で述べた「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)」に適宜フィードバックして行くことも必要となる。

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。

点検支援技術等の様々な次世代社会インフラ用ロボットが市場に現れ、インフラ点検における人の作業の支援が図られる中、本稿で述べたロボットの更なる活用に向けた取組は、そのようなロボットの開発・導入を加速するだけでなく、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。

本取組をより良い成果に繋げるためにも、常に民間の技術シーズや現場のニーズの動向に注目しながら、国の役割、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。

JICMA

《参考文献》

- ・ 道路の老朽化対策
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>
- ・ 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
- ・ 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>

【筆者紹介】

川口 貴大(かわぐち たかひろ)
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 施工企画係長

