

# 空間把握による橋梁及びトンネルの維持管理の高度化に向けた インフラ用ロボット情報一元化システムの取り組み

岡島朝治<sup>\*1</sup>, 森川博邦<sup>\*1</sup>, 近藤弘嗣<sup>\*2</sup>, 新田恭士<sup>\*3</sup>, 緒方正剛<sup>\*4</sup>

## The efforts of the unification system of robotics information for civil infrastructure for the advanced maintenance by the space notation of bridges and tunnels

Tomoharu Okajima<sup>\*1</sup>, Hirokuni Morikawa<sup>\*1</sup>, Koji Kondo<sup>\*2</sup>, Yasushi Nitta<sup>\*3</sup> and Seigo Ogata<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> 国土技術政策総合研究所, 社会資本施工高度化研究室, National Institute for Land and Infrastructure Management, Advanced Construction Technology Dev

<sup>\*2</sup> 国土交通省, 総合政策局, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Policy Bureau

<sup>\*3</sup> 土木研究所, 技術推進本部, Public Works Research Institute, Advanced Technology Research Team

<sup>\*4</sup> 先端建設技術センター, 研究部, Advanced Construction Technology Center, R&D Dept.

インフラ用ロボット情報一元化システムは, 平成 25 年に開始された「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の取り組みの一つであり, ロボット技術がインフラ分野で活用されること, そのための技術開発と社会実装の促進を目指して, 仕組みの構築を行っているものである。

本論文では, ロボットの技術開発と社会実装を促進する場としてのコミュニティ活動を通して, インフラロボットを橋梁点検, トンネル点検に導入すべく議論を重ねた結果として, 取りまとめを行った点検成果品納品要領(案)について, その内容と期待される効果について述べる。

**Key Words**: ロボット, 橋梁点検, トンネル点検, 納品要領, 3次元, AI

## 1. はじめに

インフラ用ロボット情報一元化システムは, インフラ用ロボットに関する情報を検索できるデータベースと, ロボット関係者が情報交換やコミュニケーションを行う場を提供するコミュニティを一体的に運営する仕組みで, 国土交通省国土技術政策総合研究所(以下, 国総研)において構築に向けた検討が進められている。維持管理分野(橋梁, トンネル, 水中)および災害分野(災害調査, 応急復旧)の5分野で利用可能なロボット・ロボット技術情報を一元化し, ロボット関係者(行政, 民間, 大学)が利活用しやすい情報を提供するデータベースと, ロボット関係者間で課題解決, カイゼンに向けた議論ができる場のコミュニティで構成されたものである<sup>(1)</sup>。

特にコミュニティでは, 設立当初よりロボットの技術開発と社会実装を促進することを目的とし, 社会インフラ分野への早期のロボット導入に向けた様々な取り組みを進めている。

コミュニティ活動の1つとして, 維持管理分野でロボット導入を促進させるためには, 3次元での点検成果の納品を実施した方が効果的であるとの観点に立ち, 行政とロボット技術保有者, 点検業者等, 実務に携わ

るメンバーによる「ロボット点検成果品の納品要領検討WG」が設置され, 議論を重ねてきた。その成果として, 平成30年3月に国土交通省より「点検記録作成支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル(橋梁編)(案)」と「点検記録作成支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル(トンネル編)(案)」が公表された。

本論文では, このコミュニティ活動の内容と, 各点検記録作成支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル(案)により期待される効果について考察するものである。

## 2. ロボット点検成果品の納品要領検討WG

「ロボット点検成果品の納品要領検討WG」では, 発注者側が求めるロボットを活用した公物管理の効率化(ニーズ)に対し, 定期点検にインフラ点検用ロボット(シーズ)を導入するための動機付けとして, 成果品の納品形態の一つとしての3次元モデルの在り方(保持しておくべき情報等)について, 意見交換を中心としたコミュニティ活動を行った<sup>(2)</sup>。発注者, ロボット開発者, 点検を

行う建設コンサルタント等により構成された WG を昨年度 4 回実施した。

(1) 第 1 回ロボット点検成果品の納品要領検討 WG (開催日：2017 年 5 月 9 日，参加 37 名)

国土交通省のインフラ用ロボット現場検証委員会における点検用ロボットの「ユースケース」と「リクワイアメント」の議論の深まりを踏まえ，ロボット点検成果品の納品形態を見えるものにするために，「ロボット点検成果品の納品要領」素案についての意見交換を目的に開催した。



Fig. 1 The 1<sup>st</sup> Working Group

(2) 第 2 回ロボット点検成果品の納品要領検討 WG (開催日：2017 年 7 月 12 日，参加 34 名)

第 1 回 WG において各参加者より提示されたロボット点検成果品に対するニーズから具体的な成果物のイメージの共有を行った。

本 WG では，特に成果品に関する各社の提案内容を踏まえ，WG としての案として，①異なる点検業者が扱えるようにすべき，②年度内に実装可能なデータモデルとすべき，③画像については多目的利用 (AI 等) を念頭に置いたものとすべき，④橋梁定期点検要領で使われている用語との整合を取るべき，との 4 点を，合意事項として取りまとめた。



Fig. 2 The 2<sup>nd</sup> Working Group

(3) 第 3 回ロボット点検成果品の納品要領検討 WG (開催日：2017 年 10 月 25 日，参加 34 名)

本 WG では，特にインフラ用ロボットにより取得できる画像データに対し，現状，撮影に関する規定がないことを課題として位置付け，構造物の点検における撮影マニュアル (案) としての取りまとめを目的とした。撮影に関する基本事項として適用範囲や作業フロー，使用機材について明確にすることが重要であるとの確認を行った。



Fig. 3 The 3<sup>rd</sup> Working Group

(4) 第 4 回ロボット点検成果品の納品要領検討 WG (開催日：2017 年 11 月 7 日，参加 30 名)

本 WG では，これまで提示された成果品に関する各社の提案内容を議論し，写真等取得データと 3 次元モデルとを組み合わせて納品物とすることを前提に，WG としての納品要領案の取りまとめを行い，①モデルの種類，②モデルの詳細度，③モデルと写真の位置関係について，合意を得ることができた。



Fig. 4 The 4<sup>th</sup> Working Group

Table 1 Sample references of robot inspection

項目	収集資料の概要
次世代社会インフラ用ロボット現場検証・評価結果	平成 27 年度次世代社会インフラ用ロボット現場検証・評価結果 http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000149.html (Fig. 5 参照)
経済財政諮問会議	第 7 回 国と地方のシステムワーキング・グループ (平成 29 年 10 月 10 日) 資料 4-2 インフラ維持管理・更新分野の研究開発やインフラ・データプラットフォームの構築について (国交省) (Fig. 6 参照) http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/reform/wg6/291010/agenda.html
ICT 導入協議会	第 5 回 ICT 導入協議会 (平成 29 年 7 月 31 日) 【資料-3】 維持管理での ICT 導入の現状と課題 http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html (Fig. 7 参照)

3. 3次元成果品納品マニュアル(案)

点検対象となる橋梁・トンネルの外観を網羅的にデジタル写真撮影可能なロボットにより取得した橋梁・トンネルの点検記録の納品仕様を定めたマニュアル「点検記録ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル(仮称)」の素案を作成した。

**3.1 マニュアル作成の背景** 現在検証評価が進められているロボットを用いた橋梁・トンネルの点検では、膨大な量の写真が取得、納品されるとともに、個々の写真は対象を接写したものであるため、該当箇所がわからないものとなり、写真のみの納品・保管では後利用の際の課題がある。

**3.2 作成方針** 3次元成果品納品マニュアル(案)は、写真データや3次元データ・変状展開図等のデータをロボット点検成果物として施設管理者が受取る際の受取方法を定めるものとし、ロボット開発者が成果品を無理なく納めることができるとともに、施設管理者による再利用に資するものとする。

**3.3 既存資料の収集** ロボット点検納品マニュアル(案)の検討に当たり、既存資料の収集整理を行った。収集資料の一覧を Table. 1 に示す。



Fig. 5 The relationship between work-flow of the current tunnel inspection method and the requirement



Fig. 6 The overview of the proof of concept for next infrastructure robotics in 2015



Fig. 7 Development and implementation of next infrastructure robotics



Fig. 8 The focus of an ICT implementation for an infrastructure maintenance

### 3.4 ロボット点検納品マニュアルの構成検討

ロボット点検納品マニュアルに盛り込むべき要領・基準内容について検討を行った。その内容として、Table. 2に示すとおり、①電子納品要領、②データ作成要領、③データ交換標準が考えられる。

しかし、③データ交換標準については、現時点では、点検ロボット開発業者各社が合意に至る標準的なスキーマモデル作成が困難と考えられることから、③を対象とはせず、①電子納品要領、②データ作成要領を対象に検討を進めることとした。

### 3.5 データ作成・納品方法の検討

構成の検討結果を踏まえ、次の7つの項目について検討を進めた。

(1) 点検写真と3次元モデルとのリンク方法 3次元モデルをクリックすることで点検写真が表示されるためには、点検写真と3次元モデルのリンク付けが必要である。リンク方法として、次が想定される。

a : 3次元モデルにリンクポイントを設定し、点検写真のパス・ファイル名を記録する。

b : 点検写真の中心位置座標、パス・ファイル名をメタデータとして記録して、点検写真と3次元モデルを関連づける。

点検写真の中心位置座標等を抽出して利用したい場合に、方法aはソフトウェアに依存するため、データ抽出が困難な場合が想定される。一方、方法bは、点検写真の中心位置座標、パス・ファイル名が外部ファイル(CSV形式)で記録されるため、データ利用が容易である。点検写真と3次元モデルの関連づけに関しては、メタデータによるものとした(Fig. 9参照)。

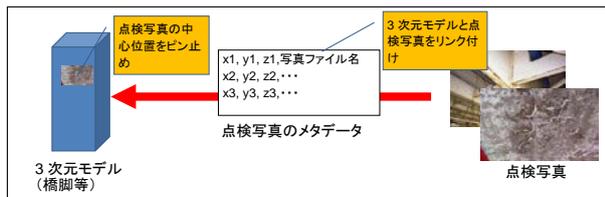


Fig. 9 The image of linkage between an inspection photos and the 3D-Model

なお、ロボット点検納品マニュアルでは、リンク用のデータの記録方法を規定し、ソフトウェアの実装方法まで規定しているわけではないので、ソフトウェア上では方法aでリンク付けしても問題はないとした。

(2) 点検写真の向き 点検写真の中心位置座標を記録しただけでは、3次元モデルに対する点検写真の向きまで特定できない。そのため、写真の向きを特定する方法として、オイラー角又は四元数を記録することが一般的である。必要に応じて、オイラー角、四元数のいずれかをメタデータとして記録する方針とした。

なお、オイラー角、四元数の定義は以下の通り。

- ・オイラー角  $\alpha, \beta, \gamma$  : 水平面に平行な面に対しz軸の正の向きを基準としたときの、写真のz軸、x軸、y軸廻りそれぞれの回転角度(ラジアン)。回転は $\alpha, \beta, \gamma$ の順とする。

- ・四元数  $q_0, q_1, q_2, q_3$  : 水平面に平行な面に対しz軸の正の向きを基準としたときの、写真の回転を表す四元数(クォータニオン)。

(3) 撮影日時 経年変化把握のために点検写真の撮影日時の記録が必要である。点検写真の撮影日時の記録方法として次の方法が想定される。

- ・Exif情報に原画像データの生成日時、デジタルデータの生成日時があり、原画像データの生成日時を記録する。

- ・メタデータに点検写真の撮影日時を記録する。

点検写真の撮影日時に関しては、Exif情報に記録することを基本としたが、動画から写真データを生成する際にExif情報が自動付与されない場合も想定されることから、メタデータにも点検写真の撮影日時の項目を設定した。メタデータでは、原画像データの生成日時がExif情報として記載されている場合は省略可能とした。

Table. 2 Contents of outline and standard

対象要領・基準	説明
① 電子納品要領	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象成果品、フォルダ構成、ファイル構成、ファイル命名規則など、成果品の納品仕様を定める。</li> <li>・参考となる基準は、土木設計業務等の電子納品要領、CIM事業における成果品作成の手引き(案)など。</li> </ul>
② データ作成要領	<ul style="list-style-type: none"> <li>・写真データの作成方法(解像度、フォーマットなど)、モデルデータの作成方法(形状モデルの種別、属性データなど)、写真の添付方法、旗上げなどの注記情報の表記方法など、データ作成仕様を定める。</li> <li>・参考となる基準は、デジタル写真管理情報基準、CIM導入ガイドラインなど。</li> </ul>
③ データ交換標準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データ構造、符号化方式など、データスキーマを定める。</li> <li>・参考となる基準は、LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)など。</li> </ul>

(4) 3次元モデルの種類 点検対象となる構造物の3次元モデルは、点検ロボット開発者で仕様等が異なることが想定され、3次元モデルの種類を狭く限定することはソフトウェア開発の阻害につながる可能性がある。

このため、3次元モデルの種類は、①サーフェスモデル、②ソリッドモデル、③点群モデル、④テクスチャモデルから選択可能とした (Table. 3 参照)。

Table. 3 Variety of 3D Model

モデルの種類	説明
サーフェスモデル	サーフェスモデルは、構造物を面によって表現した形状モデルである。
ソリッドモデル	ソリッドモデルは、構造物を表面と中身で表現したモデルである。
点群モデル	点群モデルは、点の集合によって、3次元形状を表現したモデルである。
テクスチャモデル	テクスチャモデルは、3次元モデルの表面に写真を貼り付けたモデルである。

(5) 座標系、標高基準 3次元モデル等で用いる座標系、標高基準は任意とした。ただし、3次元モデル、メタデータ、損傷形状モデルの間でリンクを確保するために、共通の座標系、標高基準を用いる方針とした。なお、座標系に関しては、主要な座標系を例示したが、測量座標系、ローカル座標系に加えて、ロボット点検成果品の納品要領検討WGメンバーより提案された円筒図郭の仮想座標系を Fig. 10 に示す。

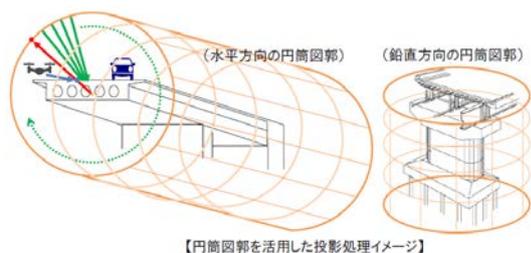


Fig. 10 The image of virtual coordinate of cylinder figure framework

(6) データ閲覧方法 現状では、点検対象構造物の3次元モデル、及び3次元モデルからのリンクによる点検写真の閲覧は、点検ロボット開発者のソフトウェアに依存する。データ閲覧方法を確保するために、必要に応じて、専用ビューソフト及び操作マニュアルを成果品として併せて納品する方針とした。

点検ロボット開発者によっては、専用ビューソフトの再配布が認められていない場合も想定されるた

め、専用ビューソフトの入手方法を示したドキュメントを納品する代替方法も可能とした。

今回検討したロボット点検納品マニュアルでは、点検写真は一般的な JPEG 形式等、点検写真のメタデータは CSV 形式で記録する方針としている。点検写真のメタデータでは、点検写真の中心座標 (必須記入) 及び向き (任意記入) を記録しており、将来的にはロボット開発業者以外が提供するソフトウェアを用いて点検写真からテクスチャモデルを構築し、データ閲覧することも可能と考えられる。

(7) データ納品方法 データ納品方法の検討に当たり、留意点を次に示す。

- ・「土木設計業務等の電子納品要領」に則ったフォルダ構成とし、「ICON」フォルダ下に「ROBOT」フォルダを作成し、成果品を格納する方針とした (Fig. 11, 12)。
- ・成果品を格納する各フォルダには適宜サブフォルダを設けてよい方針とした。
- ・電子媒体 (CD-R, DVD-R, BD-R) のほかに、HDD (ハードディスクドライブ) による納品方法も規定する。
- ・ファイル圧縮についても許容し、留意事項を示した。

#### 4. 「3次元成果品納品マニュアル (案)」により期待される効果と今後の課題

4.1 期待される効果 i-Construction の取り組みに、点検記録作成支援ロボット等を活用したインフラの空間把握が位置づけられ、橋梁及びトンネルの定期点検においてロボットを用いて3次元成果品を納品する際の納品仕様を定めることを目的に、平成30年3月に「点検記録支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル (橋梁編) (案)」及び「点検記録作成支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル (トンネル編) (案)」が国土交通省より公表された。これにより、例えば、橋梁定期点検業務における高橋脚でのロープワーク等の危険性を伴う点検業務でのインフラ用ロボットの活用 (安全性の確保) が期待されるとともに、計測の迅速化 (撮影に要する時間の短縮) が期待できる。

一方で、従来、人が行っていた点検では、近接目視により損傷箇所を見つけ、写真を撮影していたのに対し、インフラ用ロボットでは、網羅的に撮影するため膨大な枚数の写真が取得され必要なデータの抽出の手間の増大が懸念される。そこで、今後期待されるのが AI (人工知能) の活用による画像判読処理、つまり損傷程度の把握を目的とした AI の活用である。AI 開発

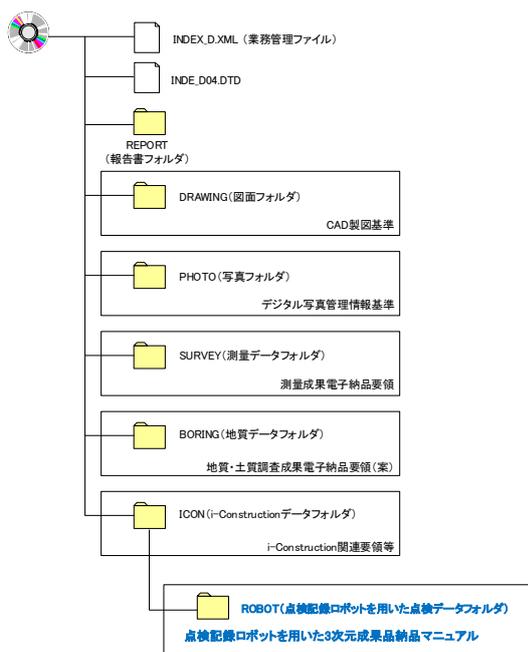


Fig. 11 Position of the ROBOT folder in the delivery for civil infrastructure design

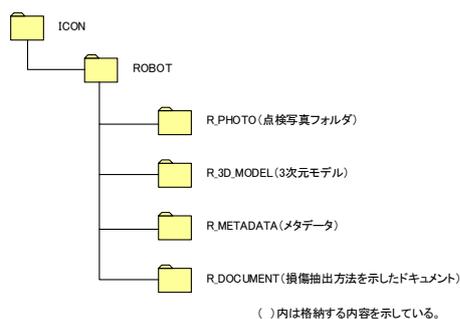


Fig. 12 Folder constitution of the delivery of tunnel inspection using the robot

には、例えばロボット等により撮影された画像データに土木技術的に品質の担保された損傷等の情報を紐づけた大量の教師データが必要であり、3次元成果品納品マニュアル(案)により納品されたデータが活用できる可能性がある。これにより、大量の画像データの処理の負担が軽減できることが期待できる。

**4.2 今後の課題** 平成30年3月に国土交通省より公表された「点検記録作成支援ロボットを用いた3次元成果品納品マニュアル(案)」は、第1版であり、今後は現場での試行、点検ロボット開発業者等のソフトウェア開発動向などを踏まえて、適宜、規定内容の見直しを図っていく必要がある。

また、今回、対象外としたデータ交換標準(データスキーマ)に関しては、データ交換・利用場面でスムーズな連携が可能のように一定レベルの標準化が必要であると考えている。点検ロボット開発業者のソフト

ウェア開発を阻害しない範囲での標準化に向けて、今後も継続的に検討を進める必要がある。

インフラ用ロボット点検データの納品が進むと、各地方整備局、事務所、出張所等において、大容量データが年々蓄積されることが想定される。大容量データに対応した保管管理環境の整備が必要であり、今後の検討課題である。

今後、点検業務にロボットを積極的に活用し、点検成果の利活用を進めるためには、AIの活用は必須である。また、その品質は、取得された画像データへ損傷情報をどのように紐づけるか、教師データとしての品質に左右される。そのためにも、ロボットの活用だけでなく、教師データとしての活用を意識した撮影方法の確立、損傷情報の紐づけ方等について議論をしていく必要がある。

## 5. おわりに

本論文では、インフラ用ロボット情報一元化システムにおけるロボットの技術開発と社会実装を促進する場としてのコミュニティ活動を通して、インフラ用点検ロボットを橋梁点検、トンネル点検に導入することを目的とし、発注者、ロボット開発者、点検者による議論を重ね、WGの成果として、点検成果品納品要領(案)として取りまとめを行ったことを紹介した。

今後、点検業務への導入が期待されるインフラ点検用ロボットの導入と、その後工程の利活用としてのAIの活用について述べた。

本年度より、本マニュアルを活用した点検業務が各地方整備局実施されることから、次のステップに進むための課題の抽出およびその解決方法について議論を進めていきたい。

本論文で扱った「インフラ用ロボット情報一元化システムの構築」、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人:国土交通省)によって実施した。

## 参考文献

- (1) 杉谷康弘, “災害用ロボットに関するデータベースの試行的公開”, 建設機械施工, Vol.70, No.1, pp.10-13, 2018.
- (2) 舛田裕司, 森川博邦, 新田恭士, 緒方正剛, “インフラ用ロボット情報一元化システムの構築に関する研究”, 第17回建設ロボットシンポジウム, OI-4, 2017.