

インフラ維持管理への ロボット導入推進について

国立研究開発法人 土木研究所

先端技術チーム 上席研究員

森川博邦



国立研究開発法人 土木研究所

点検と補修



近接目視点検



破断した鋼材、上下が完全に分離している



破断が発見された翌日に緊急対策工事に入った



修繕後の状況(当て板補修・開口部設置)

法令による橋梁点検の義務化

2013年の道路法改正に伴い橋梁点検は、

①適切な時期に実施すること。

→ 5年に1回の頻度で実施すること。

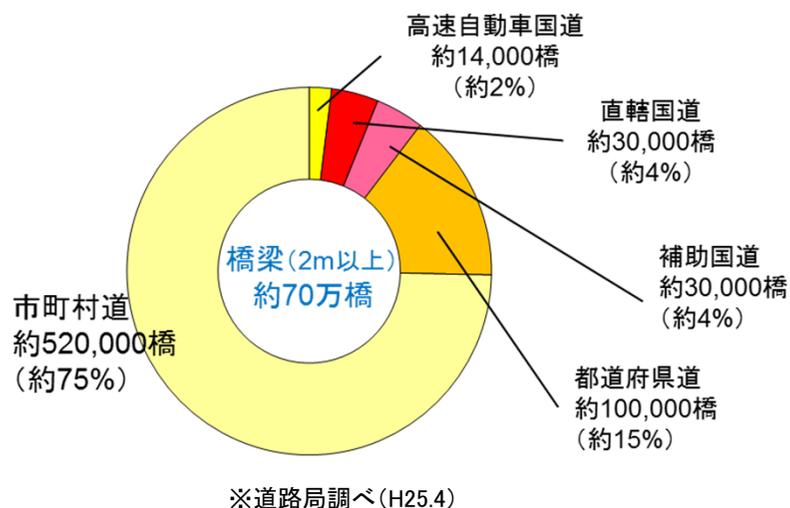
②適切な方法で実施すること。

→ 必要な知識及び技能を有するものが行う
近接目視を基本とすること
健全性の診断を行うこと

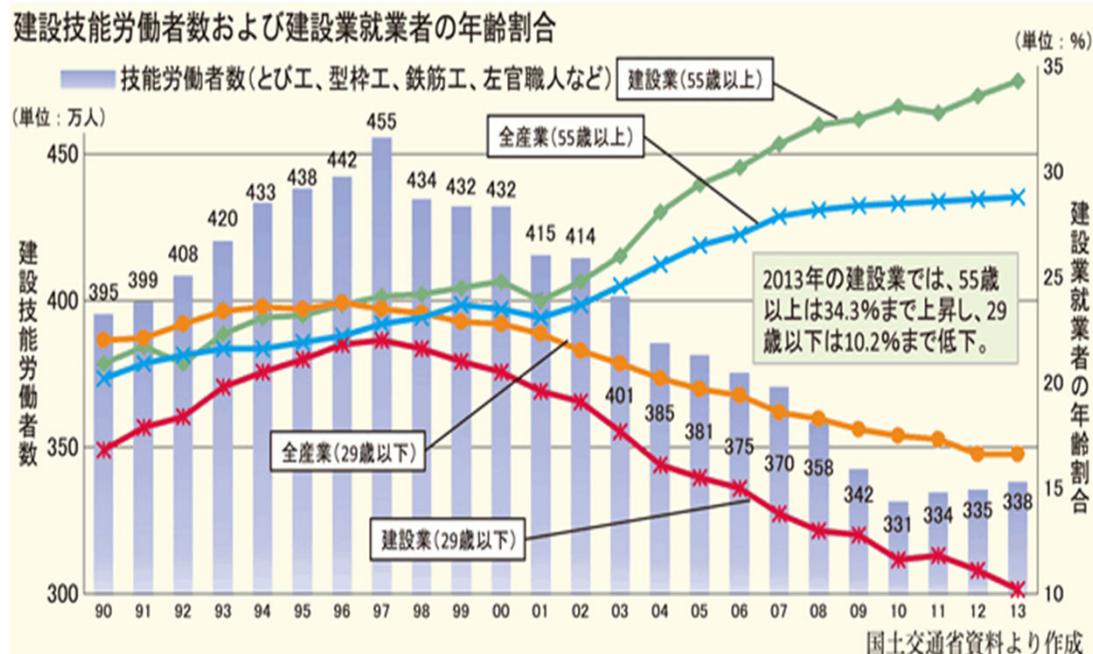
が定められた。

建設技能労働者数は、全体の1/3に相当する130万人が55歳以上。
道路橋は全国に約70万橋、道路トンネルは約1万本。
橋梁について、うち7割以上となる約50万橋が市町村が管理。

【道路種別別橋梁数】



【高齢化社会の到来と建設業の労働力減少】



1. 点検効率化のための新技術導入に向けた取組

- 点検ロボットの現場検証
- 新たな点検プロセス（新技術利用ガイドライン）

2. インフラ点検の未来像と課題

3. AI開発導入環境の整備について

5つの重点分野

次世代社会インフラ用ロボットとして、「現場検証・評価」及び「開発支援」を行う5つの重点分野と対象技術

I 維持管理

① 橋梁

- ・近接目視を**支援**
- ・打音検査を**支援**
- ・点検者の移動を支援



② トンネル

- ・近接目視を**支援**
- ・打音検査を**支援**
- ・点検者の移動を支援



③ 水中 (ダム、河川)

- ・近接目視を**代替**・支援
- ・堆積物の状況を把握



II 災害対応

④ 災害状況調査

(土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)

- ・現場被害状況を把握
- ・土砂等を計測する技術
- ・引火性ガス等の情報を取得
- ・トンネル崩落状態や規模を把握



⑤ 災害応急復旧

(土砂崩落、火山災害)

- ・土砂崩落等の応急復旧
- ・排水作業の応急対応する技術
- ・情報伝達する技術



次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会で評価された技術 ～課題の解決を前提に試行的導入に向けた検証を推薦～

橋梁



構造物点検ロボットシステム「SPIDER & Giraffe」

ルーチェサーチ



非GPS環境対応型マルチコプターを用いた近接目視点検支援技術

三信建材工業



マルチコプターによる近接撮影と異常箇所の2次元計測

夢想科学



マルチコプターを利用した橋梁点検カメラシステム（マルコTM）

川田テクノロジーズ



「橋梁点検カメラシステム 視る・診る」による近接目視、打音調査等援助・補完技術

ジビル調査設計



橋梁等構造物の点検ロボットカメラ

三井住友建設



橋梁下面の近接目視支援用簡易装置「診れるんです」

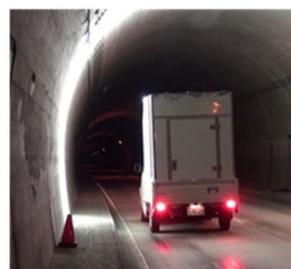
東北工業大学

トンネル



走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)

パシフィックコンサルタンツ



走行型高精度画像計測システム (トンネルトレーサー)

中外テクノス



道路性状測定車両イーグル (L&Lシステム)

西日本高速道路
エンジニアリング四国

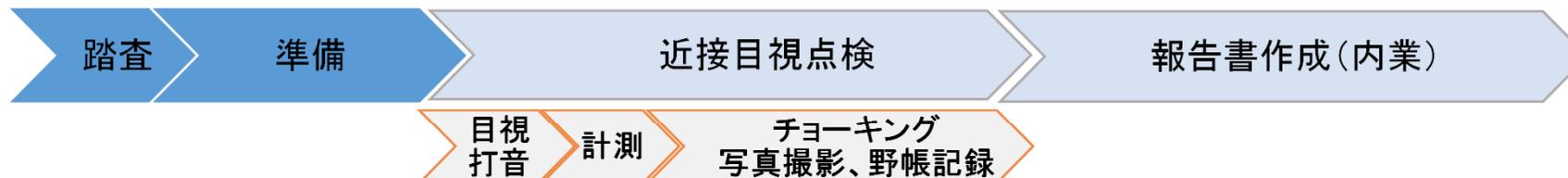


トンネル覆工非破壊検査システム
内部・表面調査システム

三井造船



【従来点検の進め方】



近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音(ハンマ等)、現地での計測・記録(チョーキングと写真撮影、野帳への記録)を実施。

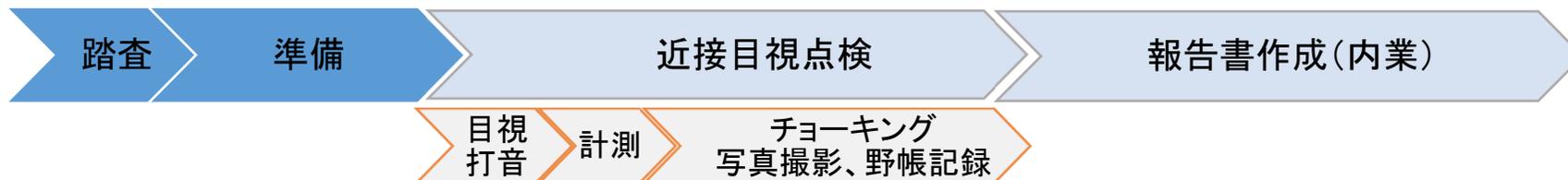


【ロボット手法(当面)】※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。



点検員による近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影の省略、及びロボットで十分計測可能な変状については、人による計測とチョーキングも省略することで効率化が実現する。

【従来点検の進め方】



近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音(ハンマ等)、現地での計測・記録(チョーキングと写真撮影、野帳への記録)を実施。



【ロボット手法(当面)】※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。



点検員による近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影の省略、及びロボットで十分計測可能な変状については、人による計測とチョーキングも省略することで効率化が実現する。

直轄現場における 点検記録作成支援ロボットの フィールド試行について

0: 定期点検の見直しに向けた検討

① 一巡目の点検結果を踏まえた効率化・合理化

- 損傷や構造特性に応じた定期点検の着目箇所を特定化することで点検を合理化
※歩掛りの設定
- 特徴的な損傷の健全性をより適切に診断できるように技術情報を充実
※必携など参考図書の作成



▲溝橋



▲水路ボックス



▲トンネル目地部



▲橋脚水中部の断面欠損



▲PC鋼材の突出



▲シェッド主梁端部破断

② 点検支援新技術の積極的な活用

- 近接目視を補完・代替・充実する技術の活用
※技術の活用環境の整備



▲橋梁の損傷写真を撮影する技術



▲トンネルの変状写真を撮影する技術



▲コンクリートのうき・はく離を非破壊で検査する技術

改訂のポイント！



定期点検(法定点検)の質は確保

近接目視を補完・代替・充実する技術の活用

省令

点検は(中略)知識及び技能を有する者が行うこととし、近接目視により、五年に一回の頻度で行うことを基本とする。

【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると判断した方法により把握しなければならない。

【付録1:定期点検の実施にあたっての一般的な注意点】

道路橋定期点検要領(改定版)

(4)状態の把握について

- 狭隘部、水中部や土中部、部材内部や埋込み部、補修補強材料で覆われた部材などにおいても、外観から把握できる範囲の情報では道路の状態の把握として不足するとき、打音や触診等に加えて必要に応じて非破壊検査や試掘を行うなど、詳細に状態を把握するのがよい。

(例)・トラス材の埋込部の腐食

- ・グラウト未充填による横締めPC鋼材の破断
- ・補修補強や剥落防止対策を実施したコンクリート部材からのコンクリート塊の落下
- ・水中部の基礎周辺地盤の状態(洗堀等)
- ・パイルベント部材の水中部での孔食、座屈、ひびわれ
- ・舗装下の床版上面のコンクリートの変状や鋼床版の亀裂

- 機器等が精度や再現性を保証するにあたって、あらゆる状況や活用方法を想定した使用条件を示すには限界があると考えれば、利用目的や条件に応じた性能を現地でキャリブレーションするなど有効と考えられる。

改訂のポイント!

(5)部材の一部等で近接目視によらないときの扱い

- 自らが近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると定期点検を行う者が判断した場合には、その他の方法についても、近接目視を基本とする範囲と考えてよい。

- その他の方法を用いるときは、定期点検を行う者が、定期点検の目的を満足するように、かつ、その方法を用いる目的や必要な精度等を踏まえて適切に選ぶものとする。

必要に応じてさかのぼって検証ができるように、近接目視によらないとき、その部位の選定の考え方や状態把握の方法の妥当性に関しての所見を記録に残すようにするとよい。

参考資料

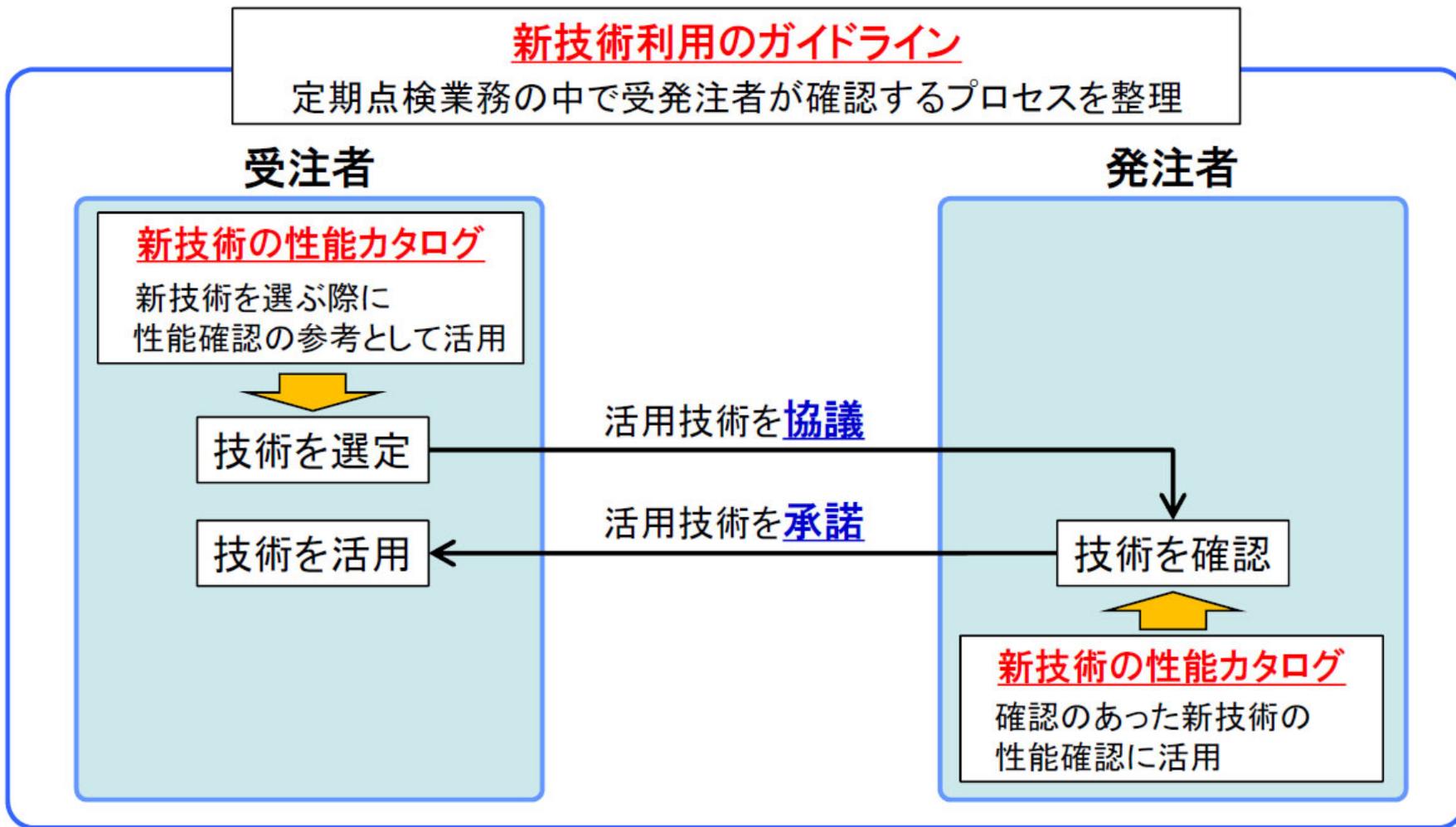
○新技術の性能カタログ

- ・点検支援新技術の性能を比較できる標準項目を規定した性能カタログを作成

○新技術利用のガイドライン

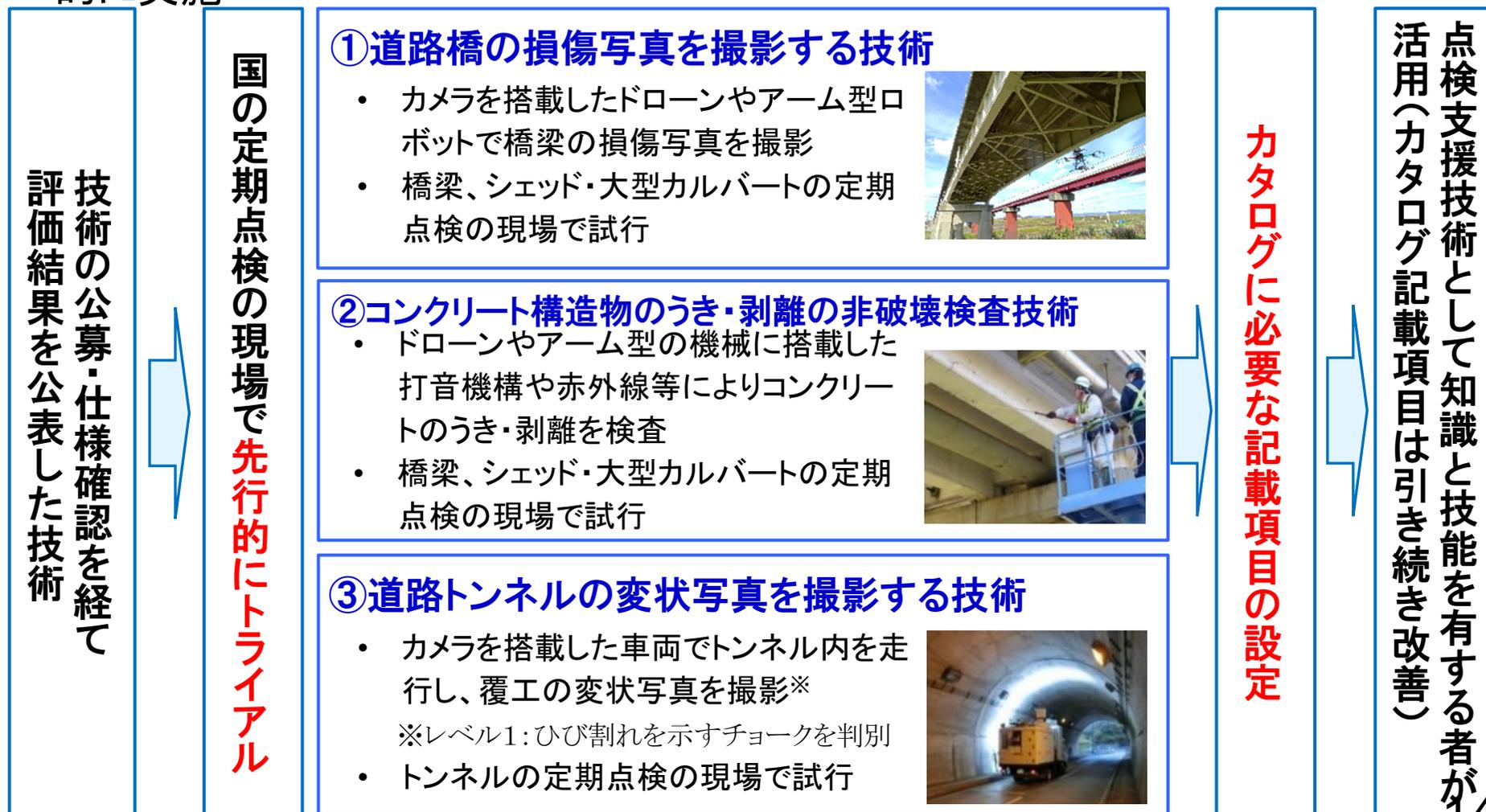
- ・定期点検業務の中で点検支援新技術を利用するにあたって受発注者が確認するプロセスを整理

- 定期点検業務の中で、受発注者間で使用する新技術を確認し、業務で活用
- 受注者が業務計画書を作成する際や受発注者間で協議・承諾する際の参考となる「新技術利用のガイドライン」・「新技術の性能カタログ」を作成



1:点検支援技術のフィールド試行

- 評価を公表した技術を対象に、直轄の定期点検において試行を実施
- 点検者(知識と技能を有する)の判断による活用に向け、性能把握できる「カタログ」と、定期点検(改訂後)の業務手順を想定し、マニュアル等の改善点整理を目的に実施



技術の公募・仕様確認を経て
評価結果を公表した技術

国の定期点検の現場で先行的にトライアル

①道路橋の損傷写真を撮影する技術

- カメラを搭載したドローンやアーム型ロボットで橋梁の損傷写真を撮影
- 橋梁、シェッド・大型カルバートの定期点検の現場で試行



②コンクリート構造物のうき・剥離の非破壊検査技術

- ドローンやアーム型の機械に搭載した打音機構や赤外線等によりコンクリートのうき・剥離を検査
- 橋梁、シェッド・大型カルバートの定期点検の現場で試行



③道路トンネルの変状写真を撮影する技術

- カメラを搭載した車両でトンネル内を走行し、覆工の変状写真を撮影※
- ※レベル1:ひび割れを示すチョークを判別
- トンネルの定期点検の現場で試行



カタログに必要な記載項目の設定

点検支援技術として知識と技能を有する者が活用(カタログ記載項目は引き続き改善)

3:点検支援技術使用計画による発注者への説明イメージ

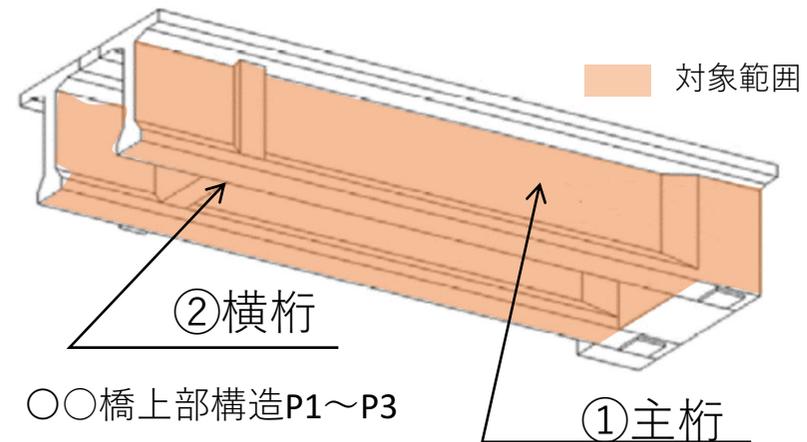
□ 点検支援技術の対象部位・部材、損傷の種類、支援の目的と支援の程度を具体的な個所を明示し説明する。

(※) 支援の目的: 共通仕様書上の項目「損傷の把握」「損傷程度の評価」「点検記録の作成」

(※) 支援の程度: 援用機器のみで行うか、もしくは近接目視との併用とするかの別

UAV使用計画のポイント!

【記載イメージ】



1. ○○橋上部構造P1～P3

①主桁

- 対象の損傷：ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰
- 損傷の把握：援用機器のみの使用
- 損傷程度の評価：援用機器と近接目視の併用
- 点検記録の作成：援用機器のみの使用

②横桁

- 対象の損傷：ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰
- 損傷の把握：援用機器のみの使用
- 損傷程度の評価：援用機器と近接目視の併用
- 点検記録の作成：援用機器のみの使用

③その他部材・損傷の種類：近接目視

損傷の種類		対象部材	
区分	種類	部位	部材種別
鋼部材	① 腐食	上部構造	主桁
	② 亀裂		主桁ゲルバー部
	③ ゆるみ・脱落		横桁
	④ 破断		縦桁
	⑤ 防食機能の劣化		床版
コンクリート部材	⑥ ひびわれ	対傾構	
	⑦ 剥離・鉄筋露出	横構	上横構
	⑧ 漏水・遊離石灰		下横構
	⑨ 抜け落ち	主横トラス	上・下弦材
	⑩ 床版ひびわれ		斜材、垂直材
その他	⑪ うき		橋門構
	⑫ 遊間の異常		格点
	⑬ 路面の凹凸		斜材、垂直材の埋め込み部
	⑭ 舗装の異常	アーチ	アーチリブ
	⑮ 支承部の機能障害		捕剛桁
共通	⑯ その他		吊り材
	⑰ 補修・補強材の損傷		支柱
	⑱ 定着部の異常		橋門構
	⑲ 変色・劣化		格点
	⑳ 漏水・滞水		吊り材の埋め込み部
	㉑ 異常な音・振動	ラーメン	主構(桁)
	㉒ 異常なたわみ		主構(脚)
	㉓ 変形・欠損	斜張橋	斜材
	㉔ 土砂詰まり		塔柱
	㉕ 沈下・移動・傾斜		塔部水平材
㉖ 洗掘		塔部斜材	
		外ケーブル	
		PC定着部	
		その他	
下部構造	橋脚	柱部・壁部	
		梁部	

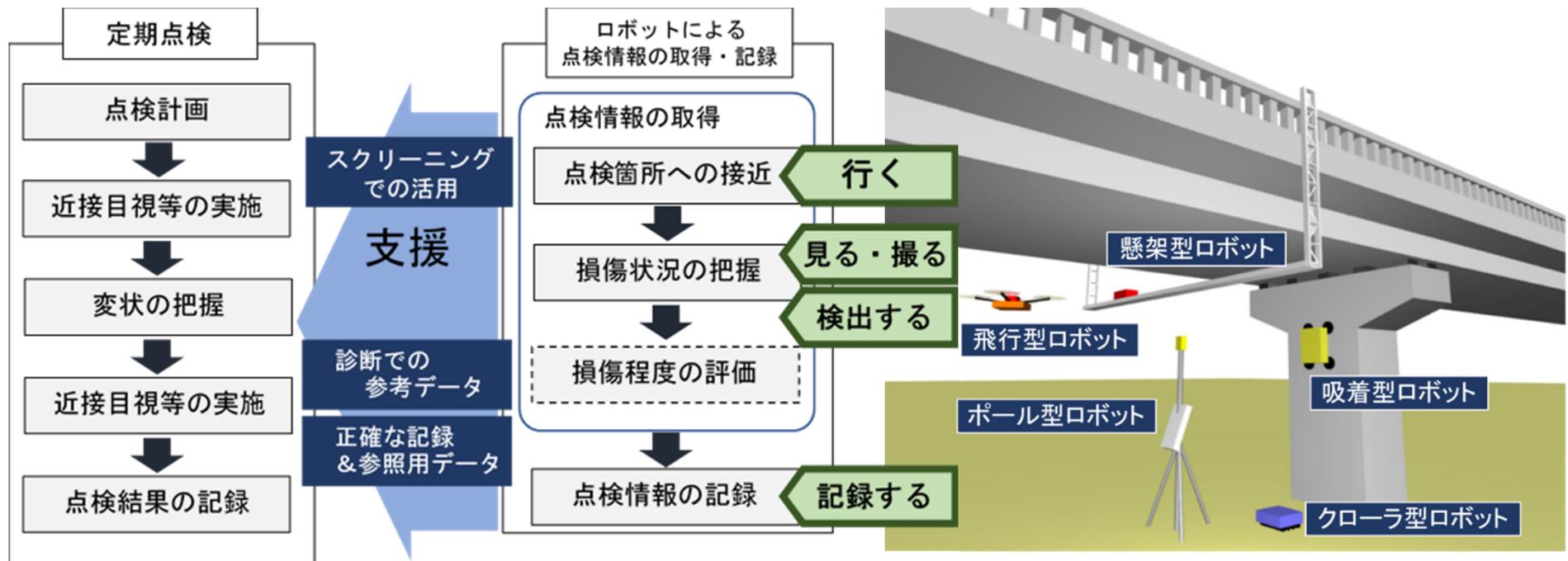
1. 点検効率化のための新技術導入に向けた取組

- 点検ロボットの現場検証
- 新たな点検プロセス（新技術利用ガイドライン）

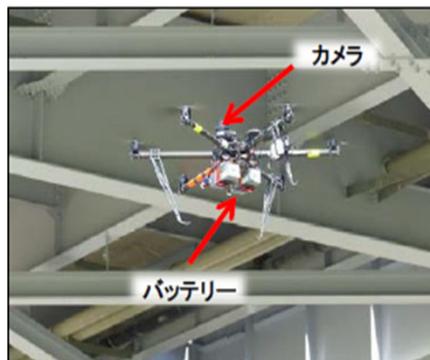
2. インフラ点検の未来像と課題

3. AI開発導入環境の整備について

橋梁点検ロボットの定義？



現状のロボットで点検できないところ



ロボット点検が困難な部位

- 部材が輻輳する狭隘部の点検は不可能（主桁、横桁、横構の部材が輻輳）
- 上弦材の下面、下弦材の上面に検査不可の部材がある。（弦材部材の部位）
- 橋台、端横桁に囲まれた狭隘部。特に内桁の支承周辺
- 内桁の下フランジ上面

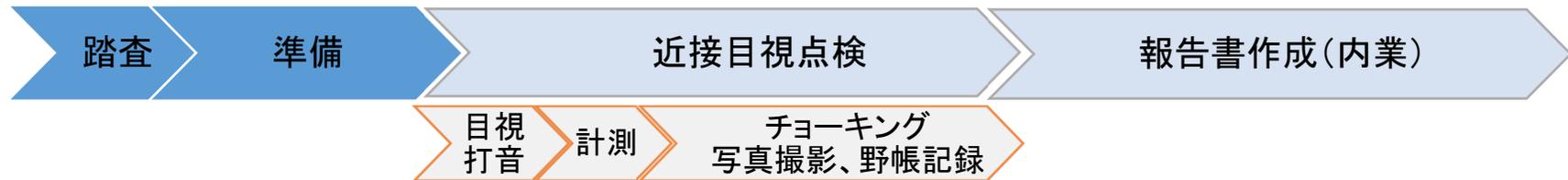


一部の飛行型ロボット（球殻型）

- 球殻でガードされているので桁の内部等に入り安全に接近できる。
- 下横構等を通り抜けて部材に接近できる。
- 主桁、端横桁と橋台・橋脚と囲まれた空間（伸縮装置の裏面）には進入出来ない。

「近接目視」の下でロボットが活用できる「利用場面」

【従来点検の進め方】



近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音(ハンマ等)、現地での計測・記録(チョーキングと写真撮影、野帳への記録)を実施。



【ロボット手法(当面)】※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。



点検員による近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までを行うが、写真撮影の省略、及びロボットで十分計測可能な変状については、人による計測とチョーキングも省略することで効率化が実現する。

ロボットには何を期待できるか？

【再現性】

同じ状態に対して同じ記録ができること

【汎用性】

特定の機器や業者によらないこと

【普遍性】

機器や業者が異なっても相対比較可能なこと

【信頼性】

検出限界や記録される寸法や色等の情報が明らかなこと

【経済性】 【効率性】 【安全性】 【正確性(検出率等)】

橋梁点検における課題？

近接目視が困難な箇所(point)の点検

高所や狭隘部の点検作業の過酷さ、人手不足の解消？

点検ロボットの画像から診断は可能か？

客観的事実(損傷の大きさ、位置等)



人が撮影した画像なら診断は可能か？

客観的事実(損傷の大きさ、位置等) + α



人が判断する + α の部分が重要

~~ロボット導入に向けた課題~~

- ~~ロボットが取得した膨大なデータの管理~~
- ~~..~~



ロボットの強み(優れた能力)とは？

【例えば、ロボットの優位性】

- ① 変状位置の記録能力 (記録の再現性)
- ② 分解能から見たひびわれ検出能力 (検出の精度)
- ③ 点検範囲・網羅性の確認 (点検漏れの防止)

【ロボット手法(当面)】※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。



点検員による近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影の省略、及びロボットで十分計測可能な変状については、人による計測とチョーキングも省略することで効率化が実現する。



【目指す将来像】※近接目視で確認できる全ての変状をロボットで確認できるレベル。



ロボットによるスクリーニング後の近接目視点検では、点検範囲の絞り込みが行ったうえで、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影とチョーキング(軽微な変状を除き)を省略することで、大幅な効率化が実現する。

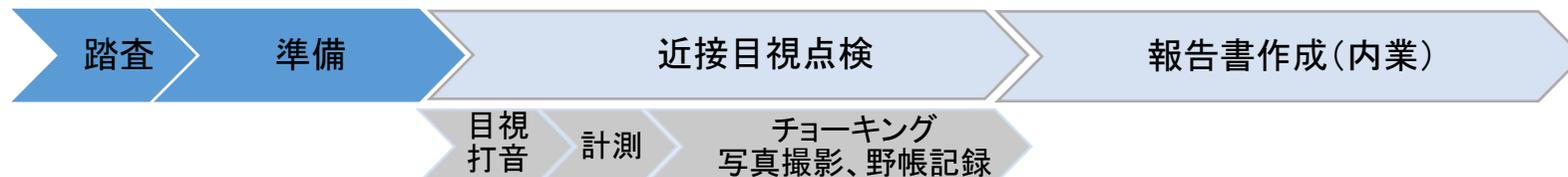
1. 点検効率化のための新技術導入に向けた取組

- 点検ロボットの現場検証
- 新たな点検プロセス（新技術利用ガイドライン）

2. インフラ点検の未来像と課題

3. AI開発導入環境の整備について

【従来点検の進め方】



近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音(ハンマ等)、現地での計測・記録(チョーキングと写真撮影、野帳への記録)を実施。



【ロボット手法(当面)】※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。



点検員による近接目視点検では、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影の省略、及びロボットで十分計測可能な変状については、人による計測とチョーキングも省略することで効率化が実現する。

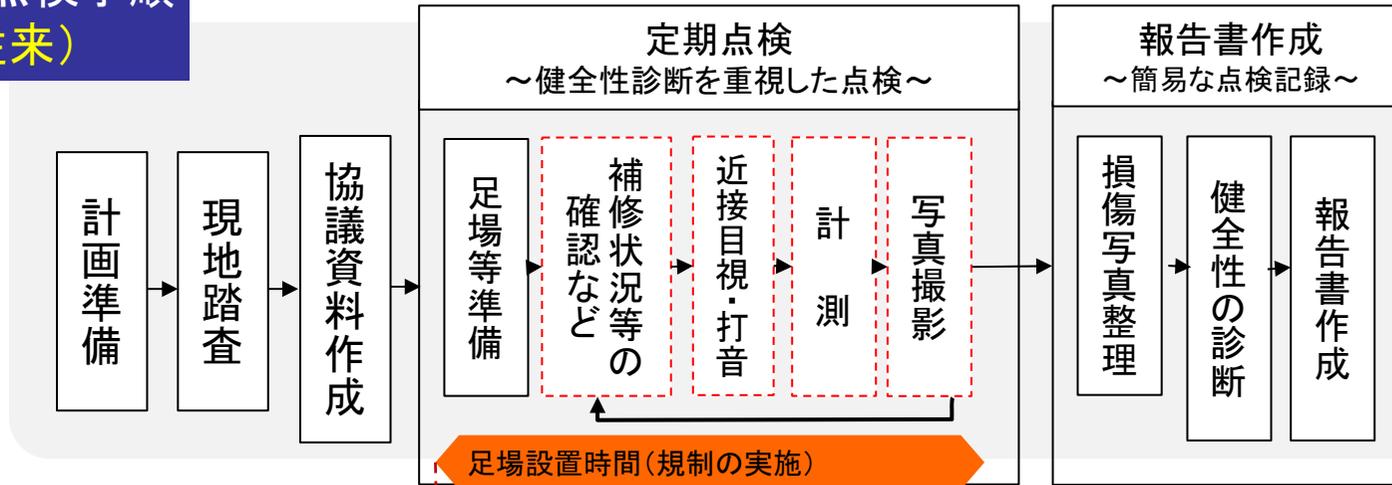
【画像AIでの点検】※近接目視に代わり変状をAIでスクリーニングできる技術の実現。



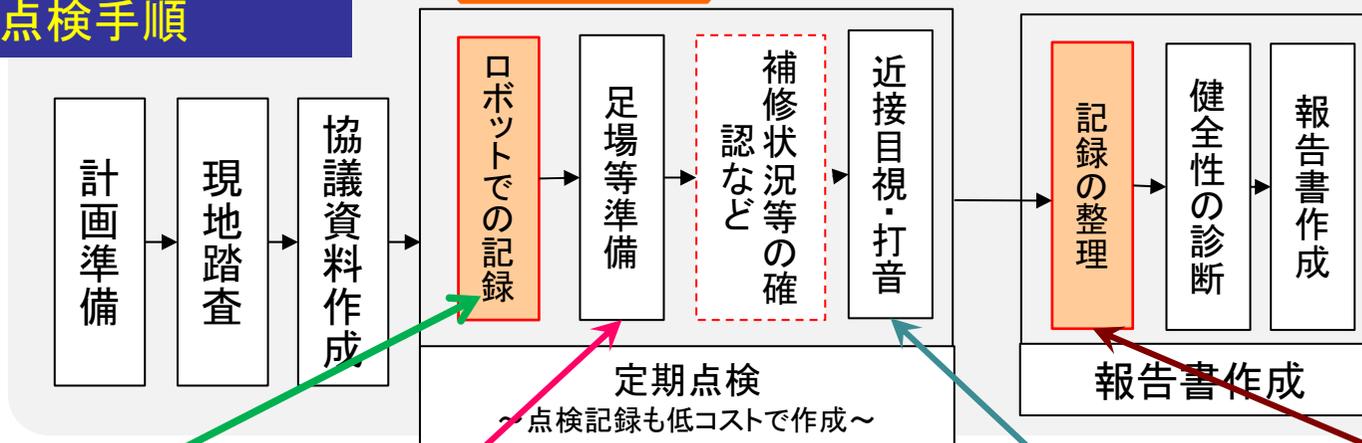
画像AIによるスクリーニング後の近接目視点検では、点検範囲の絞り込みが行ったうえで、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音までは行うが、写真撮影とチョーキング(軽微な変状を除き)を省略することで、大幅な効率化が実現する。

画像AIを併用した点検手順(自治体のイメージ)

現行の点検手順 (従来)



画像AIを活用した新たな点検手順



【ポイント1】

ロボットカメラ等により損傷状況を把握。画像AIによる損傷抽出、近接目視の計画支援。

【ポイント2】

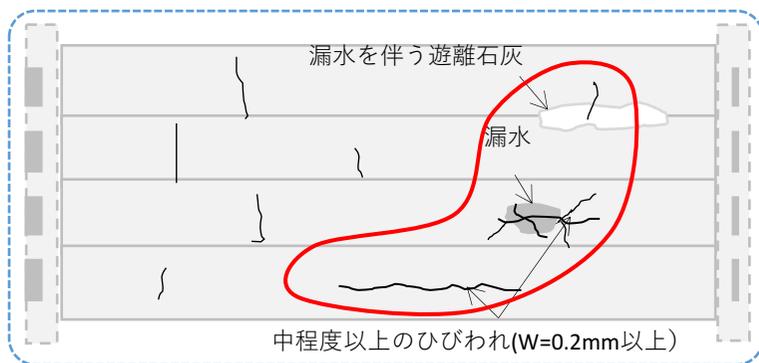
点検員が**必要な場合のみ、近接目視を実施**。事前の画像取得が困難な箇所の近接目視や打音検査を行う。

【ポイント3】

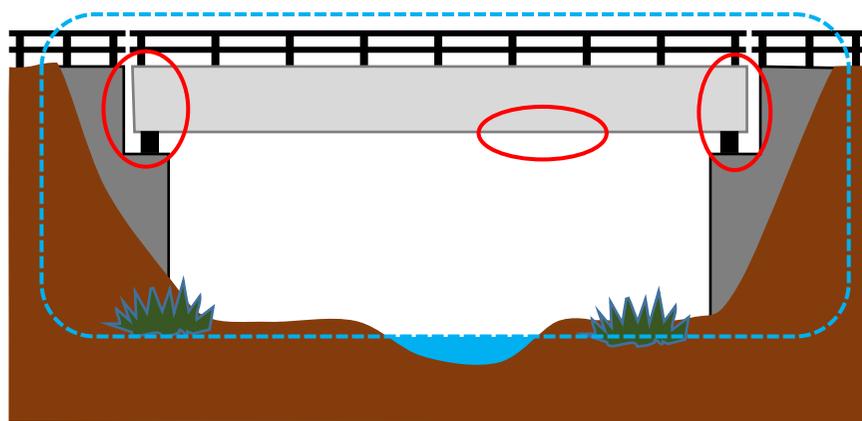
チョーキングの省略、計測の重点化、写真撮影の**省力化**により点検を効率化

【ポイント4】ロボットが撮影した写真をもとに、**損傷図に相当する再現性の高いデータを根拠に作成し納品。**

下面の損傷状況（ロボット+AI点検による損傷図）



○：点検員による近接確認範囲（全範囲） ○：点検員による詳細確認範囲



ロボット点検支援イメージ

はじめに、ロボット点検をおこない、床版橋下面の状況を把握し調書を作成する。

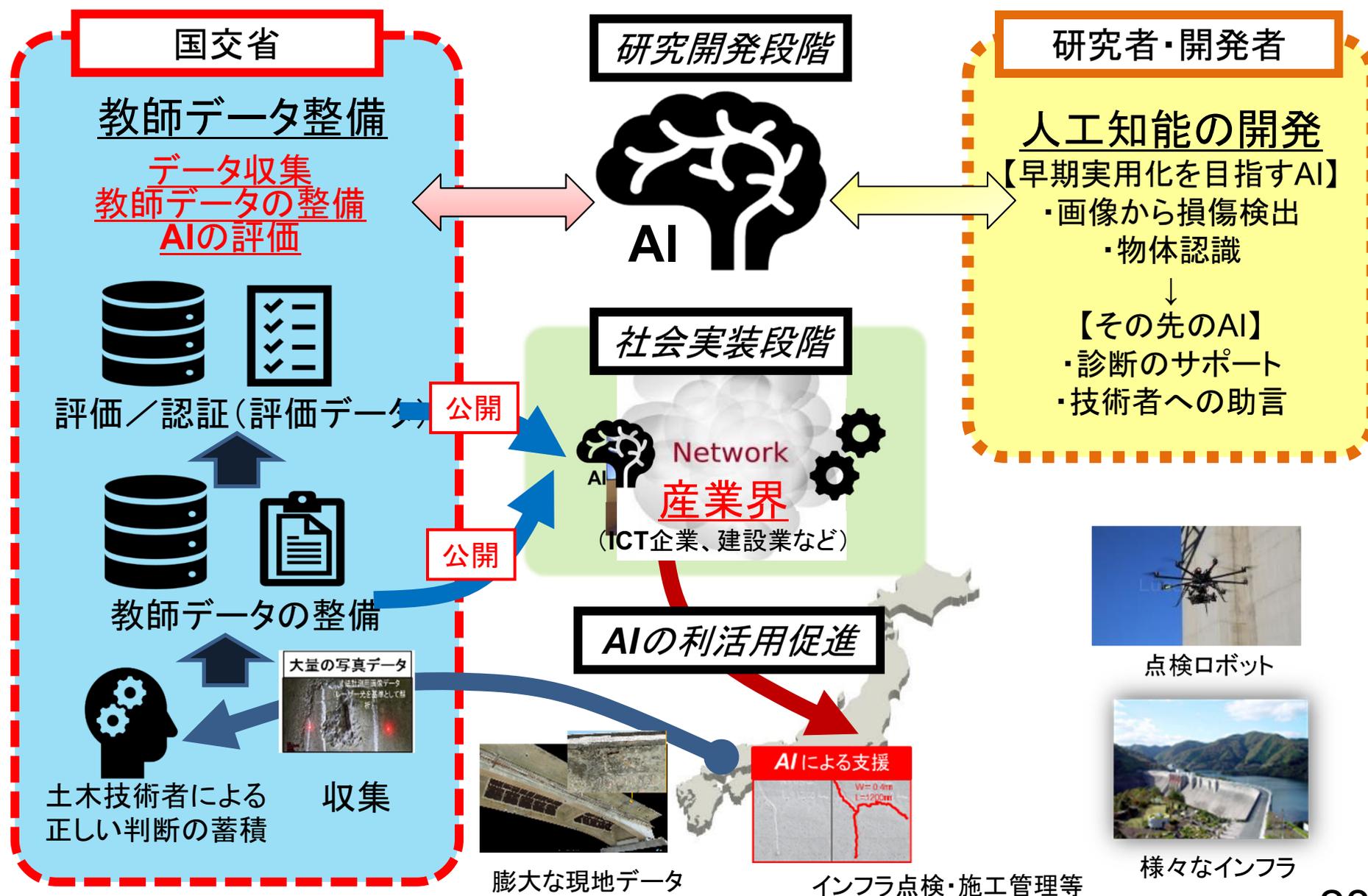
この結果を受けて、点検者は全体の損傷状況を近接してロボット点検結果の正当性を確認する。（近接確認）

同時に、ロボット点検調書および近接確認の結果、さらに詳細状況を把握すべき範囲について、詳細に確認（詳細確認）し、写真撮影、記録してロボット点検調書を補完する。

点検者による点検作業のメリハリがつけられることで、「点検作業」（調査、チョーキング、写真撮影、野帳記録）の低減と、「点検調書作成」における、データ整理、損傷図作成等の工数、費用の削減が期待できる。

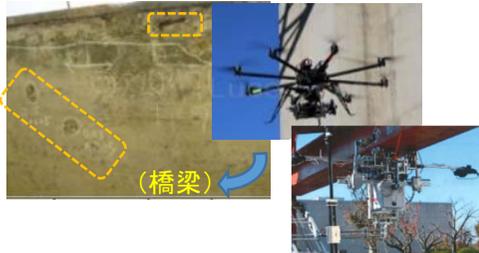
前提条件として、ロボット点検によるそれぞれの作業が点検者による作業の削減費用以内であること、また点検および調書の精度、品質が従来程度以上であることが必要。

AI開発を促進する教師データ整備について



○対象構造物・対象症状

橋梁の損傷・トンネルの変状

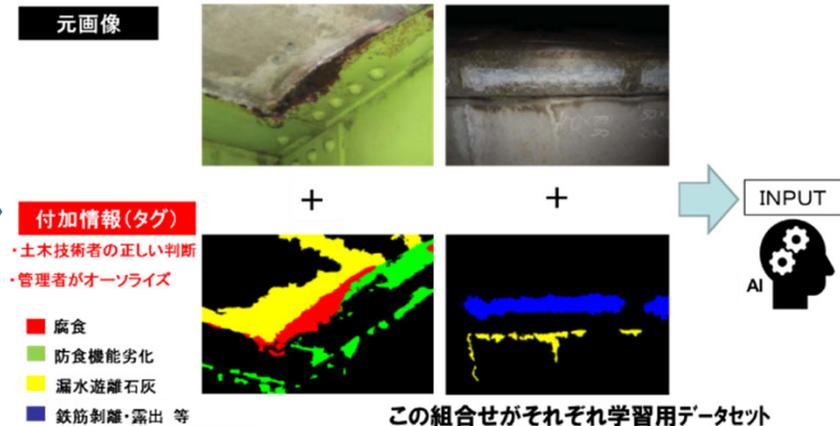


点検ロボットが取得した画像

- 橋梁定期点検要領に定める26種類の損傷※のうち、路面や洗堀、異常音・振動を除く損傷項目
- ロボットなどを用いて取得した大量の画像から損傷を自動検出する技術の実装を目指す。

※「定期点検要領」が部材ごとに規定する記録すべき損傷・変状

インフラ分野における高度な教師データの例



○取組み内容

【対象施策】

点検ロボット用AIのための教師データ整備(コンクリート部材の損傷判読)

- 教師データの整備、AI評価用データの整備
- 民間によるAI開発環境の整備(公開システム等)
- ロボット, AI開発者への目標性能のフィードバック



【アドオン施策】

- 点検ロボット用AIのための学習モデル開発
- 3次元での損傷情報の管理蓄積手法の開発
- 教師データ検証のためのAIプロトタイプの開発



1. 点検効率化のための新技術導入に向けた取組

- 点検ロボットの現場検証
- 新たな点検プロセス（新技術利用ガイドライン）

2. インフラ点検の未来像と課題

3. AI開発導入環境の整備について

4. さいごに

仕事の進め方を変えることで、 ロボット・AIは、効果を発揮する。

