

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化
に関する共同研究報告書(Ⅲ-2)
— 橋梁点検時に提供可能な支援技術各論 —

令和 4 年 6 月

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究
点検 AI(画像解析)開発グループ

Copyright © (2022) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化 に関する共同研究報告書(Ⅲ-2) — 橋梁点検時に提供可能な支援技術各論 —

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究
点検 AI (画像解析) 開発グループ

要旨

「AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」(平成 30～令和 3 年度)の点検 AI (画像解析) 開発グループでは、安全かつ効率的な点検を推進するうえで、変状等の情報取得支援のための点検ロボットや、取得された点検の情報を立体的に把握するための 3 次元モデル、記録された変状等の大量な画像等の情報を効率的に整理することが可能な点検 AI の活用、点検時に取得された情報のデータ格納に向けた取り組みを進めた。

Ⅲ-1 では、点検時の支援技術となる点検ロボット・AI や点検データ格納の必要性や活用シーンについて述べる。

本資料Ⅲ-2 では、活用シーンに基づき進められてきた共同研究者の研究開発結果となる開発技術を述べる。

Ⅲ-3 では、トンネル点検手法及び診断への支援技術及び点検・診断によって取得されたデータの格納及びその活用について、現場での適用を想定した解説を述べる。

キーワード：点検ロボット，点検 AI，支援技術，変状情報，活用シーン

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究 平成 30～令和 3 年度

参加者一覧

国立研究開発法人土木研究所 a, b, c
アジア航測株式会社 a, b, c
アジア航測株式会社・株式会社イクシス c・富士電機株式会社 b, c
茨城県 b
株式会社エイト日本技術開発 a, c
一般財団法人橋梁調査会 a, c
Global Walkers 株式会社 c
首都高技術株式会社 c
一般財団法人首都高速道路技術センター a, c
大日本コンサルタント株式会社 a, b, c
株式会社デンソー c・株式会社岩崎 c
富山市 b
ニチレキ株式会社 b
株式会社日本海コンサルタント a, c
日本工営株式会社 a, c
日本無線株式会社 b
株式会社ニュージェック a, c
パシフィックコンサルタンツ株式会社 a, c
株式会社日立製作所 a, c
株式会社福山コンサルタント a, c
株式会社復建技術コンサルタント b
富士通株式会社 a, c
株式会社まざらん a
三菱電機株式会社 a, c
八千代エンジニアリング株式会社 a, c
国立研究開発法人理化学研究所 c

注) a～c は、次のとおり、所属する開発グループを示す。

a：診断 AI 開発グループ、b：点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ

c：点検 AI（画像解析）開発グループ

参加者名簿

令和4年3月31日現在

国立研究開発法人	構造物メンテナンス研究センター	西川 和廣	H30.9～
土木研究所	〃	金澤 文彦	H30.9～
〃	構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ	星隈 順一	R3.7～
〃	〃	桐山 孝晴	H30.9～
〃	〃	石田 雅博	H30.9～
〃	〃	大住 道生	H30.9～
〃	〃	澤田 守	H30.9～
〃	〃	上仙 靖	H30.9～
〃	〃	田中 良樹	H30.9～
〃	〃	大島 義信	H30.9～R2.3
〃	〃	廣江 亜紀子	H30.9～R2.3
〃	〃	森本 智弘	H30.9～H31.3
〃	〃	松本 直士	H30.9～R2.3
〃	〃	遠藤 正史	H30.9～R2.3
〃	〃	野田 翼	H30.9～R2.5
〃	〃	塚崎 翔太	H31.4～R3.3
〃	〃	余野 智哉	H31.4～R2.6
〃	〃	二宮 智大	H31.4～R2.7
〃	〃	増田 隆宏	H31.4～R2.7
〃	〃	中浦 慎之介	H31.4～R3.4
〃	〃	堀内 智司	H31.4～
〃	〃	坂本 佳也	H31.4～
〃	〃	吉田 英二	H31.4～
〃	〃	江口 康平	H31.4～
〃	〃	小野 健太	H31.4～
〃	〃	大西 孝典	H31.7～R3.9
〃	〃	藤木 裕二	R2.4～
〃	〃	夏堀 格	R2.4～
〃	〃	岩谷 祐太	R2.7～
〃	〃	菅原 達也	R2.7～
〃	〃	行藤 晋也	R2.8～
〃	〃	竹内 彩	R3.4～
〃	〃	佐藤 純弥	R3.4～
〃	〃	大西 達也	R3.10～
〃	技術推進本部先端技術チーム	新田 恭士	H30.9～R2.3
〃	〃	森川 博邦	R2.4～
〃	〃	田中 洋一	H30.9～H31.3
〃	〃	服部 達也	H31.4～R3.3
〃	〃	茂木 正晴	R3.4～
〃	〃	山内 元貴	H30.9～
〃	〃	下川 光治	H30.10～R3.3
〃	〃	榎本 真美	H30.10～R3.3
〃	〃	二宮 建	H31.4～
〃	先端材料資源研究センター材料資源研究グループ	古賀 裕久	H30.9～
〃	〃	中村 英佑	H30.9～H31.6
〃	〃	櫻庭 浩樹	H30.9～
〃	〃	加藤 祐哉	H30.9～H31.6
〃	〃	小沢 拓弥	R2.4～
〃	〃	小田部 貴憲	H31.4～R3.3
〃	〃	角田 貴也	R3.7～
〃	地質・地盤研究グループ	尾西 恭亮	H30.9～
アジア航測株式会社	社会インフラマネジメント事業部	山田 晴利	H30.9～
〃	社会インフラマネジメント事業部事業推進室	長尾 孝幸	H30.9～
〃	社会インフラマネジメント事業部社会インフラ技術部社会インフラ技術二課	藤ヶ崎 聡	H30.9～
〃	〃	高 恒	H30.12～
〃	社会インフラマネジメント事業部 PPP/PFI 推進室	高野 裕司	H30.9～

アジア航測株式会社	社会インフラマネジメント事業部東北インフラ技術部	青柳 健二	H30.9～
〃	社会インフラマネジメント事業部中部インフラ技術部	森 淳二郎	H30.12～
〃	社会インフラマネジメント事業部中部インフラ技術部社	中川 善士郎	H30.12～
〃	会インフラ技術一課		
〃	社会基盤システム開発センター	水上 幸治	R2.4～
〃	社会基盤システム開発センター先端技術研究所計測技	下川 光治	R3.4～
〃	術研究所		
〃	事業統括部事業戦略部道路プロジェクト	松井 晋	H30.9～
〃	事業統括部事業戦略部技術戦略室	中澤 明寛	H30.9～
〃	〃	佐野 実可子	H30.9～
株式会社イクシス	Technology Div. AI & DataService Team	山崎 一也	H30.9～
〃	代表取締役	山崎 文敬	H30.9～
〃	Technology Div. R&D Team	中山 鍊	H30.9～
〃	Technology Div. Product Team	阿部 翔太郎	H30.9～
〃	Technology Div. R&D Team	野田 道広	H30.9～R3.8
〃	Technology Div. AI & DataService Team	乾 文雄	H30.9～R2.8
〃	〃	友正 常雄	H30.9～R2.8
〃	〃	菅野 廣一郎	H30.9～R3.8
富士電機株式会社	営業本部営業統括室セールスプロモーション部	笛木 豊	H30.9～
〃	〃	大賀 英治	H30.9～
〃	技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究セ	矢尾 博信	H31.4～
〃	ンターセンシング技術研究部		
〃	〃	工藤 高裕	H30.9～
〃	〃	仲村 慎吾	H31.4～
〃	技術開発本部デジタルイノベーション研究所 AI ソリュー	浅野 貴正	H30.9～
〃	ションセンターAI 研究部		
〃	〃	竹内 豊	H30.9～
〃	技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究セ	土井 達也	H31.4～R2.3
〃	ンター電気エネルギー技術研究部		
茨城県	土木部道路維持課	石川 昭	H30.9～H31.3
〃	〃	長山 公信	H31.4～R2.3
〃	〃	柏崎 元治	R2.4～
〃	〃	大塚 将司	R3.4～
〃	〃	坂本 裕司	H30.9～H31.3
〃	〃	大和田 康文	H30.9～H31.3
〃	〃	笠森 裕史	H31.4～R3.3
〃	〃	深谷 健	R31.4～R2.3
〃	〃	鴨志田 龍	R2.4～
株式会社	インフラ保全事業部 中部支社	美藤 友郎	H30.9～
エイト日本技術開発	インフラ保全事業部 東京支社	松本 直樹	H30.9～
〃	〃	松村 翔	H30.9～
〃	インフラ保全事業部	則竹 義辰	H30.9～
〃	〃	小野 裕一	R2.8～
〃	インフラ保全事業部 中国支社	菖蒲迫 正之	H30.9～
〃	〃	高木 正行	H30.9～
一般財団法人	調査部	山本 和利	H30.9～
橋梁調査会	企画部	平安山 良和	H30.9～R2.3
〃	〃	石井 豊	H30.9～
Global Walkers	取締役 CTO	樋口 未来	H30.9～
株式会社			
首都高技術株式会社	技師長	永田 佳文	H30.9～R3.2
〃	構造管理部東京西管理課	遠藤 重紀	R1.4～
〃	構造管理部東京東管理課	布施 光弘	H30.9～
〃	〃	白石 有佳	R2.4～
〃	〃	新村 祐一	R2.4～
〃	〃	富田 大樹	R2.4～
〃	構造管理部神奈川管理課	金子 英樹	R2.4～
〃	インフラデジタル部インフラパトロール課	紺野 康二	H30.9～
〃	〃	高野 淳	R1.9～

一般財団法人	審議役	八崎 弘昌	H30.9～
首都高速道路技術センター	〃	眞仁田 裕	H30.9～
〃	〃	田嶋 仁志	H30.9～R2.6
〃	〃	御嶽 讓	R2.7～
〃	構造技術部コンクリート構造技術課	佐藤 祐輔	H30.9～
〃	〃	山田 将憲	H30.9～
〃	情報技術部土木情報技術課	繪嶋 武史	H30.9～
〃	構造技術研究所第一構造研究開発室	青木 聡	H30.9～
〃	構造技術研究所第二構造研究開発室	張 広鋒	H30.9～
〃	デジタル・イノベーション研究所第一 DI 研究開発室	小原 誠	H30.9～
〃	デジタル・イノベーション研究所第二 DI 研究開発室	日ヶ丸 幸俊	H30.9～R3.9
大日本コンサルタント	インフラ技術研究所	平山 博	H30.9～
株式会社	インフラ技術研究所技術開発部	横山 広	H30.9～
〃	インフラ技術研究所技術開発部保全エンジニアリング研究室	牧 祐之	H30.9～
〃	〃	小林 大	H30.9～
〃	インフラ技術研究所技術開発部 ICT ソリューション室	龍田 斉	H30.9～
株式会社デンソー	まちづくりシステム開発部 UAV ソリューション事業推進室	河内山 聡	H30.9～R3.3
〃	〃	加藤 直也	H30.9～
〃	〃	山崎 浩二	H30.9～R3.3
〃	〃	吉川 覚	R2.4～
〃	〃	光田 徹治	R2.4～
〃	〃	大杉 拓也	R3.9～
株式会社岩崎	企画開発部	後藤 紫郁	H30.9～
〃	〃	真柄 毅	H30.9～H31.1
〃	〃	山本 紀彦	H30.9～
〃	〃	村瀬 翔吾	H30.9～H31.1
〃	〃	河井 大地	H30.9～
富山市	政策参与	植野 芳彦	H30.9～
〃	建設部道路保全対策課	杉谷 真司	H30.9～R3.3
〃	〃	宇津 徳浩	H30.9～R3.3
〃	〃	黒崎 智治	R2.4～
〃	〃	酒井 陽介	R3.4～
〃	〃	藤田 博樹	R3.4～
ニチレキ株式会社	道路エンジニアリング部調査課	那珂 通大	H30.9～
〃	中部支店技術課	永塚 竜也	H30.9～R1.9
〃	道路エンジニアリング部調査課	佐藤 和久	H30.9～
株式会社	常務取締役	喜多 敏春	H30.9～
日本海コンサルタント	道路事業本部 兼 AI技術室	安藤 正幸	H30.9～
〃	技術事業本部 保全技術部	浦田 孔二	H30.9～
〃	社会事業本部 計画研究室 兼 AI技術室	塩土 圭介	H30.9～
〃	技術事業本部 プロジェクト 兼 AI技術室	多田 徳夫	H30.9～
〃	社会事業本部 計画研究室 兼 AI技術室	眞島 俊光	H30.9～R3.3
〃	道路事業本部 道路交通部 兼 AI技術室	形屋 陽一郎	H30.9～
〃	技術事業本部 構造設計部 兼 AI技術室	末松 雅隆	H30.9～R3.3
〃	〃	町口 敦志	H30.9～
〃	技術事業本部 プロジェクト 兼 AI技術室	中谷 明弘	H30.9～
日本工営株式会社	鉄道事業部	藤原 鉄朗	H30.9～
〃	道路事業部道路インフラマネジメント部	松山 公年	H30.9～
〃	〃	新聞 友祐	H30.9～
〃	中央研究所事業創生センター	中津井 邦喜	H30.9～
〃	中央研究所先端研究センター	中野 雅章	H30.9～R1.12
〃	〃	古木 宏和	R2.1～
〃	札幌支店技術第一部	秋山 成央	H30.9～
〃	社会システム事業部統合情報技術部	沼田 祐助	R1.4～
〃	道路事業部道路インフラマネジメント部	渡邊 大智	R2.4～
日本無線株式会社	ソリューション事業部事業企画開発部	南方 秀之	H30.9～
〃	交通インフラ技術部道路情報システムグループ	土屋 功	R2.4～
〃	〃	増田 亮	H30.9～
〃	技術開発本部研究開発部新領域開発グループ	島田 尚	H30.9～
〃	〃	大西 喬之	H31.4～

日本無線株式会社	技術開発本部研究開発部新領域開発グループ	轟 勇人	R2.4～
株式会社ニュージェック	国内技術本部交通・都市部門 道路グループ	白 星保	H30.10～
〃	国内技術本部交通・都市部門 道路グループ 橋梁チーム	入倉 雅人	H30.10～
〃	〃	橋本 欣也	H30.10～
パシフィックコンサルタンツ株式会社	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	中澤 治郎	H30.9～
〃	交通基盤事業本部	安田 亨	H30.9～
〃	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	森 康晴	H30.9～
〃	〃	芳賀 堯	H30.9～
〃	交通基盤事業本部インフラマネジメント部インフラ経営室	福澤 伸彦	H30.9～
〃	〃	仁野 元太	H30.9～R2.3
〃	交通基盤事業本部インフラマネジメント部トンネル室	重田 佳幸	H30.9～
〃	〃	山本 秀樹	H30.9～
〃	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	樋口 裕治	H30.9～
〃	交通基盤事業本部インフラマネジメント部インフラ経営室	田中 伸幸	H30.9～
〃	DS 事業本部情報事業部	川城 研吾	H30.9～
〃	〃	榎本 真美	R3.4～
株式会社日立製作所	環境事業部情報システムエンジニアリング部	古山 昇児	H30.9～
〃	〃	宮崎 剛	H30.9～
〃	〃	佐藤 啓香	H30.9～
〃	〃	田中 俊和	R2.4～
〃	社会イノベーション事業推進本部サステナブルインフラマネジメント部	柿本 真吾	H30.9～
〃	〃	増田 真也	H30.9～R2.3
〃	社会ソリューション第一営業本部 営業第一部	中村 有輝	H30.9～
株式会社	インフラマネジメント事業部	宮村 正樹	H30.9～
福山コンサルタント	〃	青島 亘佐	H30.9～
〃	〃	徳永 皓平	H30.9～
株式会社	構造技術部東京技術一課	唐木 正史	H30.9～
復建技術コンサルタント	〃	石川 雄貴	H30.9～
〃	〃	塚本 美咲	R3.4～
富士通株式会社	社会システム事業本部 防災システム事業部	田嶋 聡司	H30.9～
〃	〃	早川 誠	R1.7～
〃	〃	長谷川 英司	R3.1～
〃	〃	立脇 正敬	R3.1～
〃	〃	荒川 博史	H30.9～R3.9
〃	〃	菊地 英幸	H30.9～
〃	研究本部 先端融合技術研究所	渡部 勇	H30.9～
〃	デジタルフロント事業本部 デジタルビジネス事業部 ビジネストラansフォーメーション推進室	長谷 一也	H30.9～R1.7
〃	デジタルフロント事業本部 デジタルイノベーター推進統括部	根岸 仁	H30.9～R1.7
〃	〃	長澤 卓也	H30.9～R1.7
〃	〃	塚田 真希	H30.9～R2.3
株式会社まざらん	取締役	西垣 重臣	H30.9～R3.12
三菱電機株式会社	神戸製作所社会システム基盤技術部	中田 雅文	H30.9～
〃	情報技術総合研究所知能情報処理技術部知能情報応用技術グループ	松田 幸成	H30.9～R2.3
〃	先端技術総合研究所機械システム技術部構造強度信頼性グループ	葉名 紀彦	H30.9～R2.3
〃	社会環境事業部社会システム第二部	細野 秀人	R2.4～
〃	神戸製作所社会システム基盤技術部	佐久嶋 拓	R2.4～
〃	〃	眞鍋 七海	R2.4～
株式会社	事業開発本部第三開発室	中島 道浩	H30.9～
八千代エンジニアリング	事業統括本部国内事業部インフラマネジメント部	野田 一弘	H30.9～
〃	〃	関口 斉治	H30.9～
〃	技術開発研究所 AI 解析研究室	安野 貴人	H30.9～
国立研究開発法人	革新知能統合研究センターインフラロボット管理チーム	岡谷 貴之	H30.9～
理化学研究所	〃	大野 和則	H30.9～
〃	〃	岡田 佳都	H30.9～
〃	〃	菅沼 雅徳	H30.9～

注) 期間は本共同研究における担当期間を示す。H: 平成, R: 令和

目次

1	はじめに	1.1
1.1	研究の目的	1.1
1.2	共同研究体制	1.2
1.3	各グループの研究概要	1.3
1.4	本共同研究報告書の位置づけと構成	1.6
2	点検支援技術について	2.1
2.1	点検支援技術の目的	2.1
2.2	点検支援技術の種類	2.2
2.3	シーンに応じた点検支援技術の活用	2.4
3	点検支援技術一覧	3.1
3.1	点検ロボット	3.1
3.2	点検 AI	3.3
4	共同研究開発技術	4.1
4.1	UAV を活用したオルソモザイク画像および動画による橋梁点検技術ならびに 3次元点群データを活用した点検技術	4.1
4.2	ワイヤ吊下式目視点検ロボットによる橋梁点検支援	4.11
4.3	主桁下フランジ把持式点検ロボットによる橋梁点検支援	4.18
4.4	ひびわれ抽出 AI によるコンクリート床版点検支援	4.23
4.5	汎用ドローンによる橋梁点検支援	4.33
4.6	小型ドローンによる橋梁点検支援	4.38
4.7	劣化損傷自動検出 サービスによる橋梁点検支援	4.44
4.8	附属物基部の変状を検知する AI	4.51
4.9	マルチコプタ点検システム	4.55
4.10	支承塗膜劣化評価 AI, 剥離検出 AI, 床版耐荷性能評価 AI	4.61
4.11	橋梁のデジタル点検支援システム	4.65
4.12	AI 橋梁診断支援システム	4.92
4.13	VIS&TFC の適用による道路橋メンテナンス支援技術	4.98
4.14	AI を用いた道路橋の損傷状況の判定技術	4.98
4.15	異常検知 AI による橋梁点検支援	4.114
4.16	近接可能な小型ドローンを利用した高精細 3D モデルの構築	4.117
4.17	RC 床版の画像生成と変状発生後を検知する劣化指標による橋梁点検支援	4.122

1 はじめに

1.1 研究の目的

近年、社会インフラの老朽化が問題となる一方で、維持管理コストの増加や橋梁に関する専門知識を持った熟練技術者の減少などの問題が顕在化している。そのため、点検や診断の支援など、橋梁維持管理の信頼性向上を実現する技術開発が必要とされており、その解決策の一つとして AI (Artificial Intelligence) 技術に着目して、メンテナンスサイクルにおける点検・診断・措置の信頼性向上を目指し、研究開発に取り組んだ。

このような背景から、本共同研究は、診断のために必要な知識と技能を有する技術者が不足する地方公共団体における診断業務を支援するための診断支援技術（診断 AI）の開発、RC床版の土砂化の予防保全のための非破壊検査技術と AI による機械学習を用いた点検支援技術（点検 AI（床版の土砂化等））の開発、及び UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 等を用いて取得した変状情報などの点検記録を画像解析により効率的に整理することができる点検支援技術（点検 AI（画像解析））の開発を目的としている。

共同研究発足時の第 1 回全体会議の状況を写真 1-1 に示す。



写真 1-1 第 1 回全体会議（平成 30 年 10 月）

1.2 共同研究体制

本共同研究は、診断 AI 開発グループ、点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ、点検 AI（画像解析）開発グループの3つのグループに分かれて、平成30年度から令和3年度の間、それぞれの研究に取り組んだ（図 1-1）。茨城県と富山市は、道路管理者として現場のニーズを提供すること及び現地調査等の際のフィールドを提供することを目的に、各グループの研究に参加した。

診断 AI 開発グループと点検 AI（床版の土砂化等）開発グループは、構成事業者を一部変更した上で、令和5年度まで共同研究を延長し、引き続き、それぞれの研究に取り組んでいる。

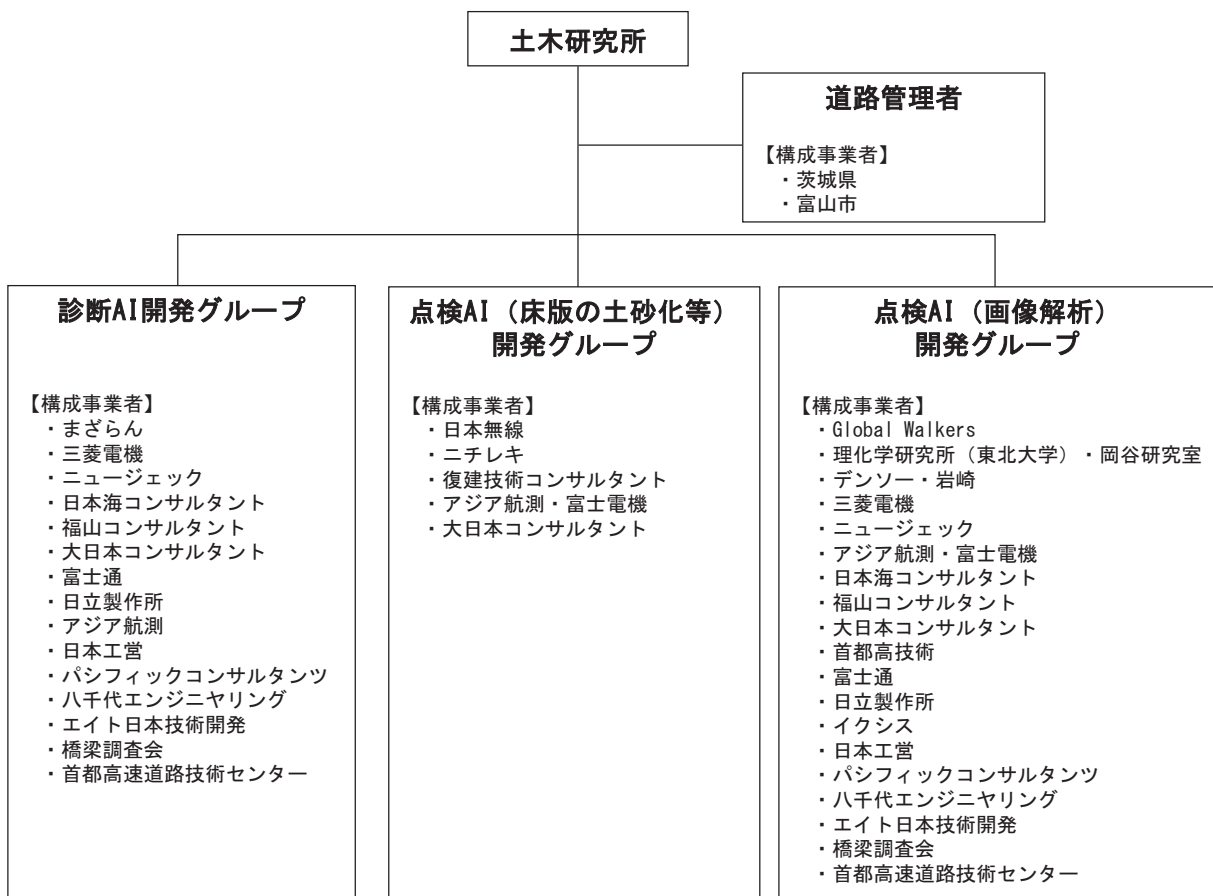


図 1-1 共同研究体制（平成30年度～令和3年度）

1.3 各グループの研究概要

1.3.1 診断 AI 開発グループの研究概要

診断 AI 開発グループでは、メンテナンスサイクルをより実効性のあるものとするため、特に技術力を要する診断の信頼性を向上させることを目的として、共同研究参加者及び招へい研究員が有する診断における知識や思考方法を基にした AI を活用した橋梁診断支援 AI システム（以下、「診断 AI システム」という。）の開発に取り組んだ¹⁾。診断 AI システムとは、橋梁の台帳情報や点検情報等を入力することで、対象となる橋梁の診断結果とその理由及び措置方針を提示するシステムである（写真 1-2、図 1-2）。

診断では、その診断結果に至った具体的な説明が求められることから、診断 AI システムの AI にはエキスパートシステムを採用している。共同研究参加者及び招へい研究員と議論（写真 1-3）を行いながら、診断における知識や思考方法をフローチャート化した診断のロジックを作成し、それを順次システム化することで、令和 3 年度には、対応可能な症例は限定されているものの、橋種の約 9 割を対象とする診断 AI システム Ver.1.0 を構築した。

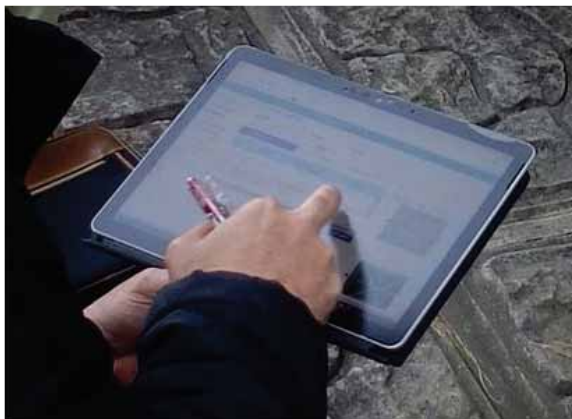


写真 1-2 診断 AI システムの使用状況



図 1-2 診断結果出力画面の例



写真 1-3 共同研究者及び招へい研究員で構成される検討会

1.3.2 点検 AI（床版の土砂化等）開発グループの研究概要

点検 AI（床版の土砂化等）開発グループでは、床版の土砂化という損傷に対して、予防保全を可能とするための非破壊検査技術に関する研究に取り組んだ。床版の土砂化は、床版上面に生じる損傷であり、従来の橋梁下面からの目視点検では、損傷が進行するまで発見が難しく、予防保全的な対応が困難である。その土砂化の発生原因は、舗装の下に入った水と輪荷重の影響によるものと考えられているため、舗装の下の滞水の有無を確認できる技術が必要となる²⁾。

そこで、実橋や模型供試体を対象に、各種非破壊検査技術（写真 1-4～1-8）を用いた舗装下の滞水検知の適用性の確認を行った。特に、電磁波レーダを用いた手法では、床版上面に滞水がある場合とない場合を比較すると、比誘電率の違いにより滞水がある場合の方が反射波の振幅が大きくなる特徴を利用して滞水の有無を判断可能であることを確認した。また、AI による機械学習を用いて、電磁波レーダの計測結果から床版上面の滞水を自動推定する学習モデルを構築した。

なお、この研究は、内閣府の「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」を活用しながら進めたものである。



写真 1-4 ハンディ式
電磁波レーダ



写真 1-5 カート式
電磁波レーダ



写真 1-6 超音波探査



写真 1-7 車載式電磁波レーダ



写真 1-8 MMS(Mobile Mapping System)
計測

1.3.3 点検 AI（画像解析）開発グループの研究概要

点検 AI（画像解析）開発グループでは、安全かつ効率的な橋梁点検を遂行するための支援技術に関する研究に取り組んだ。道路橋の点検時に効率的な変状等の取得を行ううえで、点検技術者への安全確保や足場・交通規制、取得された点検情報の整理について合理化・省人化を図るための点検支援技術（図 1-3）が求められる³⁾。

そこで、安全かつ効率的な点検や診断で必要となる情報の取得、将来の計画的な維持管理に必要となる情報の効率的な取得の支援を目的とし、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）等の点検ロボットによる点検支援技術、取得された情報を立体的・直感的に把握するための 3次元モデルの活用、床版等の広範囲に発生するひびわれや漏水・遊離石灰等の変状情報等を効率的に整理するための点検 AI(画像解析)、取得された変状等の情報の効率的なデータ格納技術について研究開発を進めた。

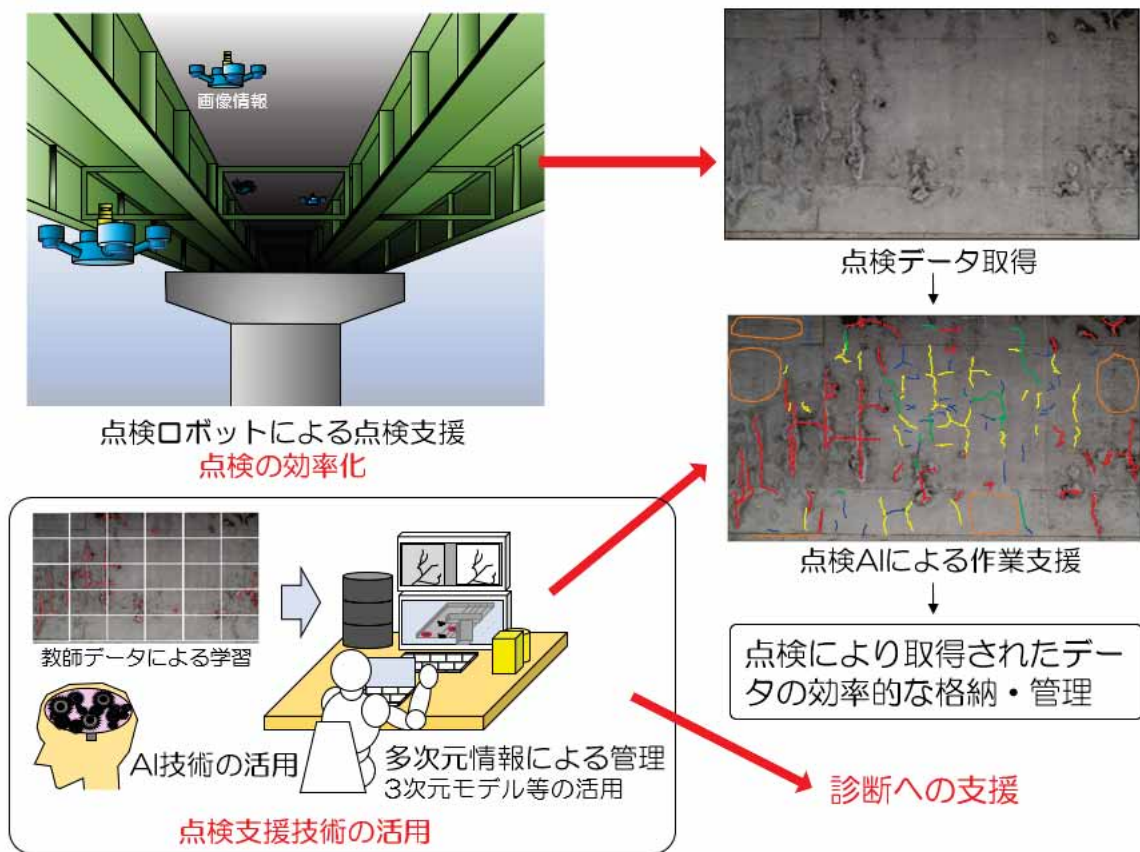


図 1-3 点検ロボット及び画像解析技術の活用による点検支援技術のイメージ

1.4 本共同研究報告書の位置づけと構成

本共同研究報告書は、点検 AI（画像解析）開発グループにおいて、平成 30 年度から令和 3 年度までに取り組んだ点検支援技術に関する研究成果をまとめたものである。

本共同研究は、従来の点検を効率的・効果的に実施するための支援技術等の現場適用を目的としたものである。したがって、本共同研究報告書で述べる内容は、今後、現場での点検を計画・実施するうえでの参考資料とされたい。

本共同研究報告書の構成は、図 1-4 に示すように 3 編構成としている。

Ⅲ-1 では、橋梁点検を実施するうえで必要とされる支援技術の考え方を述べている。橋梁点検時におけるアプローチ及び情報取得の支援技術となる点検ロボット、点検時に取得された情報に基づく 3 次元モデル化、取得された画像情報整理の支援に活用する点検 AI、点検データの格納手法について解説している。

本編Ⅲ-2 は、共同研究者によって研究開発された点検ロボットや点検 AI といった支援技術について現場での適用を想定し、活用シーンに応じた解説を述べている。

Ⅲ-3 では、トンネル点検手法及び診断への支援技術及び点検・診断によって取得されたデータの格納及びその活用について、現場での適用を想定した解説を述べている。

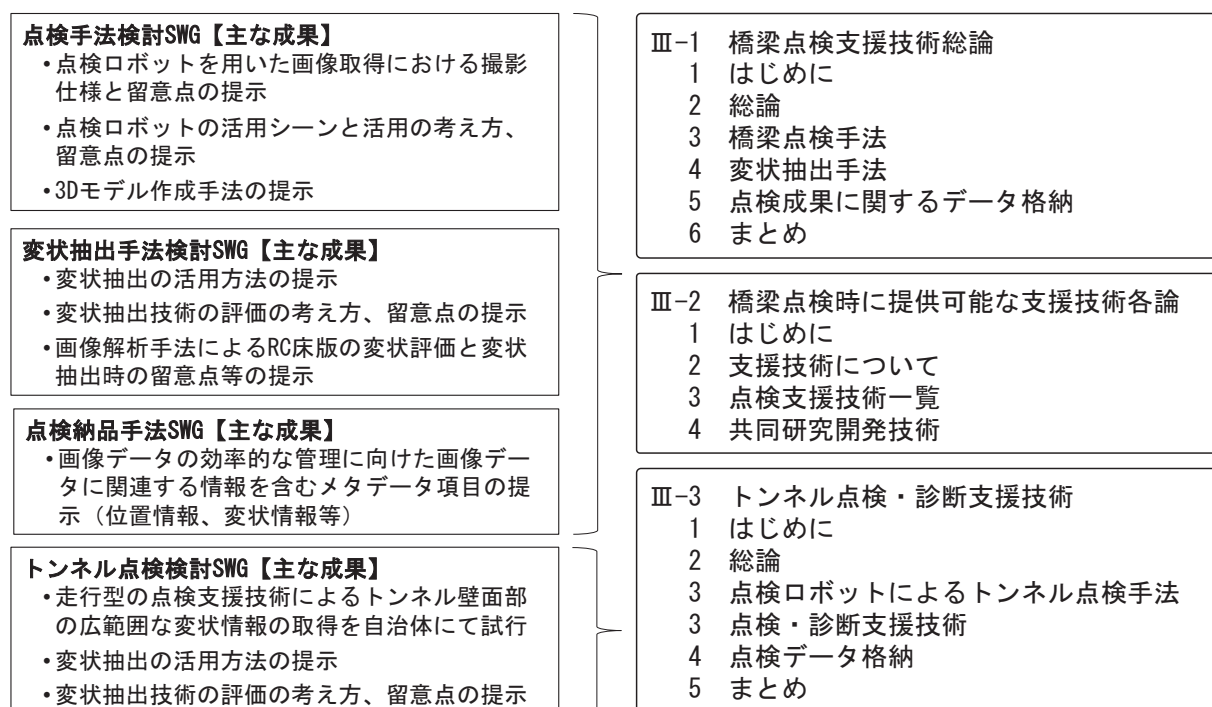


図 1-4 共同研究報告書の構成

参考文献

- 1) 澤田守，江口康平，石田雅博，道路橋の予防保全に向けた総合診断と診断AIシステムの研究開発，土木技術資料，第63巻，第10号，pp.8-11，2021
- 2) 藤木裕二，岩谷祐太・田中良樹，石田雅博，RC床版の土砂化の予防保全に向けた技術開発，土木技術資料，第63巻，第10号，pp.20-23，2021
- 3) 茂木正晴，二宮建，森川博邦，効率的な道路橋点検手法と点検AIシステムの研究開発，土木技術資料，第63巻，第10号，pp.28-33，2021

2 点検支援技術について

2.1 点検支援技術の目的

本報告書Ⅲ-1 で述べたように、国土交通省では、道路に関する新技術の活用として、点検支援技術性能カタログ（令和3年10月）（以下、「性能カタログ」）が公開・運用され、点検時に活用する支援技術は、点検時の作業の効率化を目指したものとなっている。

本共同研究では、図 2-1 に示す level1 及び既に公開・運用されている性能カタログに掲載されている技術（共同研究者による保有技術）の一部も踏まえ、作業の効率化、状態把握の質の向上を目的とした研究開発を進めた。

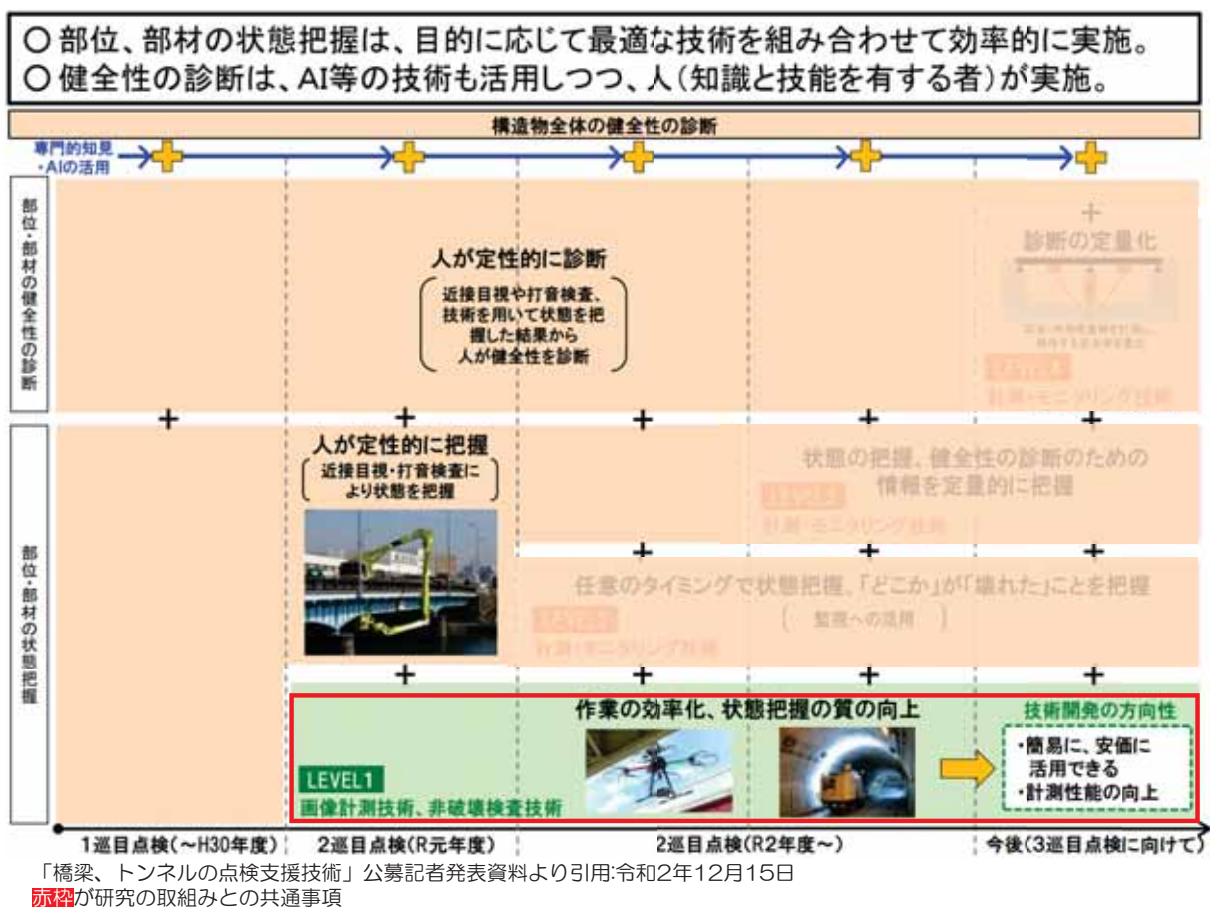


図 2-1 定期点検における新技術活用の方向性（案）

「（橋梁、トンネルの点検支援技術」公募記者発表資料より引用:令和2年12月15日）

2.2 点検支援技術の種類

2.2.1 点検箇所へのアプローチ技術と変状等の情報取得技術

現場での点検において、道路橋近接目視を原則としているものの点検時に道路橋点検士が直接アプローチすることが困難なハイピアや床版全体といった広範囲を安全かつ効率的にアプローチし、正確に橋梁の状態(変状等の情報)を取得することが望まれている。

支援技術としては、高所等への対応としてドローンのような飛行タイプのものや橋梁に把持しながら情報を取得するタイプ、遠望からブレなく正確に点検時の情報が取得可能なタイプ等、作業の安全性の確保、効率的な点検を可能とする支援技術が提案されている。

点検ロボットの代表的な写真等の提供が必要



ドローンタイプ



把持タイプ









点検ロボットによる点検支援
点検の効率化

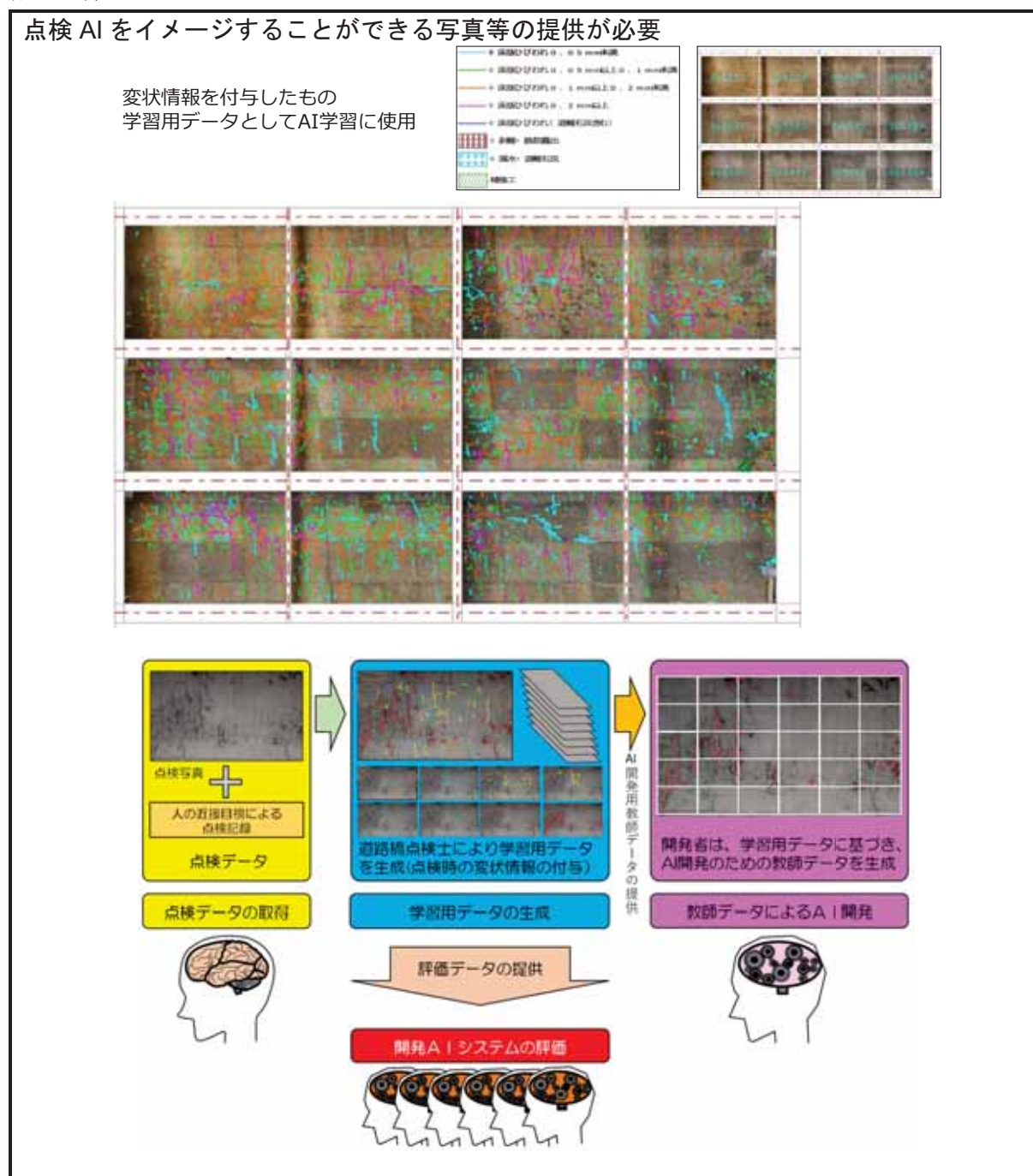


多次元情報による管理
3次元モデル等の活用

2.2.2 点検時に取得された変状情報等の整理

従来、道路橋点検士は、点検時に取得した変状等の情報を予めスケッチ等によって整理したものを平面図（CAD 図）にまとめ、その際に診断等が必要となる変状情報や次回以降の点検時において確認すべき変状等の情報を整理している。これらの作業は、道路橋点検士を中心とした技術者によって行われており、橋梁の規模によって取得された情報の整理に労力及び時間を有している。効率的な維持管理を推進するうえで、点検時に取得された変状等の情報を効率的に処理することが望まれている。

例えば、AI により画像として記録された変状等の整理の一部を AI が支援するといった技術が提案されている。



2.3 シーンに応じた点検支援技術の活用

これまで、図 2-2 に示すように人力を中心とした点検を行ってきた。

本共同研究では、Ⅲ-1 で述べたように人への点検支援の考え方や現時点での技術レベルに応じた活用シーンを提案した。

後述する共同研究者によって研究開発された支援技術は、図 2-3 に示すように橋梁に人が直接近接し、変状等の状況確認のための支援技術、点検 AI によって診断に必要な情報提供の支援や維持管理計画のための記録、診断・措置等への活用のためのデータ格納により、効率的かつ効果的な点検作業の支援として活用するもので、点検作業すべてを代替するものではなく作業の一部を支援するものとなっている。

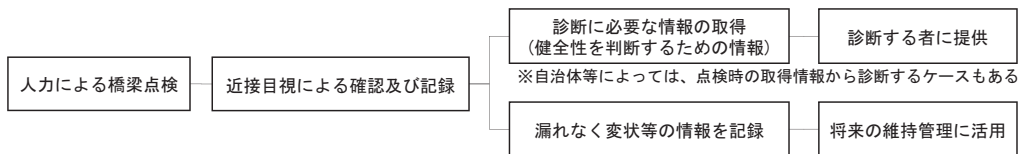


図 2-2 橋梁点検の基本的な流れ

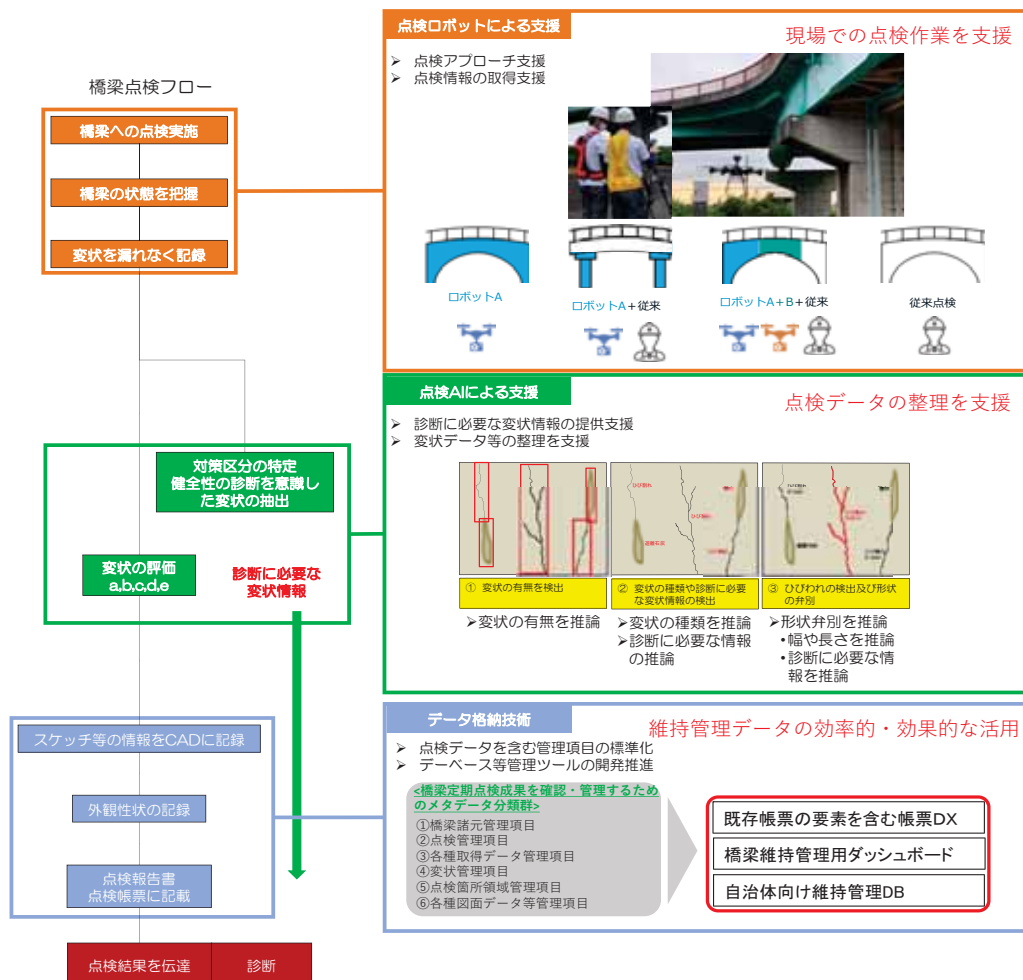


図 2-3 橋梁点検への支援技術の位置づけと活用シーン

3 点検支援技術一覧

III-2 では、点検時の支援技術となる点検ロボット・AI について、具体的な活用シーンや活用あたりの留意点等を述べる。

本章では、共同研究者によって研究開発された支援技術の概要を紹介し、次章で個別に開発技術を紹介する。

3.1 点検ロボット

橋梁点検の支援を行ううえで、共同研究者において表 3-1 に示すような点検ロボットの研究開発を行っている。

本共同研究における点検ロボットは、UAV によるものが多く、人が直接アプローチすることの難しい箇所への支援のほか、今後、維持管理データを DX によるロジスティック（維持管理の過程）を意識した維持管理データの効果的な活用となる 3次元モデル構築に関する支援技術を提案している。

表 3-1 点検ロボットにおける支援技術

共同研究者	支援技術	技術概要
アジア航測株式会社	UAV を活用したオルソモザイク画像及び動画による橋梁点検技術ならびに 3次元点群データを活用した点検技術	3次元モデルを UAV によって構築し、3次元モデルに基づく点検手法の提案及びデジタルツインによる点検を提案
株式会社イクシス	ワイヤ吊下式点検ロボットによる橋梁点検支援	鈑桁橋等、ワイヤを架設可能な部材を有する橋梁に適用可能、ワイヤ上を移動するため、橋の通行規制が不要 UAV と異なり、安定した撮影が可能で床版を網羅した点検撮影が可能
	主桁下フランジ把持式点検ロボットによる橋梁点検支援	構造物の高所の目視点検を主桁下フランジ把持式の移動式ロボットにてカメラ撮影を取入れて行う技術
首都高技術株式会社	汎用ドローンによる橋梁点検支援	事前踏査や部分的に近接困難な箇所および小規模な橋梁における目視支援、スクリーニングを安価で簡易に実施
	小型ドローンによる橋梁点検支援	
大日本コンサルタント株式会社	マルチコプタ点検システム	定期点検時の状況把握として、UAV による撮影により、鉄筋コンクリート橋脚（柱）に発生する「ひびわれ」、「剥離・鉄筋露出」などの変状を検出し計測、近接目視を支援する技術

共同研究者	支援技術	技術概要
株式会社デンソー	橋梁のデジタル点検支援システム	自社開発 UAV により人では近接が困難な大型の高架橋，斜張橋の橋横，橋下部，また強風や幅広橋直下の非 GNSS 環境等における点検支援
八千代エンジニアリング株式会社	近接可能な小型ドローンを利用した高精細 3D モデルの構築	近接目視支援や補修設計支援として，全方向衝突回避センサを有する小型ドローンにより取得した主桁，床版，支承部等の画像から橋梁 3D モデルを構築することによる点検支援

3.2 点検 AI

3.2.1 点検 AI による支援

橋梁点検によって取得された多くの情報を効率的に整理するため、本共同研究では、AI を活用することとした。表 3-2 に示すように共同研究者において点検 AI の研究開発を行っている。

本共同研究における点検 AI の多くは、Ⅲ-1 でも述べているように深層学習（Deep-Learning）よるものが多い。AI 開発者は、自身が利用している AI アルゴリズムに必要な教師データ生成を行い、推論したい事象に対応したものを提案している。

また、深層学習の中でも教師データを活用しない手法による変状を推論する点検 AI や変状を強調することによって道路橋点検士によるヒューマンエラーを抑止する支援技術を提案している。

表 3-2 点検 AI における支援技術

共同研究者	支援技術	技術概要
株式会社イクシス	ひびわれ抽出 AI によるコンクリート床版点検支援	床版画像からひびわれを自動検出し、ひびわれ幅等の解析も自動で行うことにより、点検作業を支援
首都高技術株式会社	劣化損傷自動検出サービスによる橋梁点検支援	ドローンにより取得された画像からひびわれ及び遊離石灰を自動で検出・推定し、点検作業の効率化や診断の支援
一般財団法人首都高速道路技術センター	附属物基部の変状を検知する画像解析 AI	車両走行時に撮影された映像から AI による変状の検出による目視点検支援技術
大日本コンサルタント株式会社	支承塗膜劣化評価 AI 剥離検出 AI 床版耐荷性能評価 AI	コンクリート部材や鋼製支承の画像やモニタリング時に定期的取得する床版画像から、損傷程度の評価区分や損傷の発生箇所を AI により推定し、道路橋点検士の橋梁点検時における変状記録作業やモニタリング時の耐荷性能評価を支援
株式会社デンソー	橋梁のデジタル点検支援システム	点検ロボット等から取得された変状等の情報を画像処理技術・AI・変状解析支援ソフトにより、点検・診断を支援
株式会社日本海コンサルタント	AI 橋梁診断支援システム	点検時における健全度・劣化要因を着色写真で明示することで、点検時における人の誤認防止を図るとともに、橋梁点検調書の自動作成を可能とする支援技術

共同研究者	支援技術	技術概要
日本工営株式会社	VIS&TFC の適用による道路橋メンテナンス支援技術	汎用的なデジカメで撮影した解像度の低い点検画像を VIS&TFC によりひびわれ等微細な損傷を強調し、点検時における変状の視認を支援
パシフィックコンサルタンツ株式会社	AI を用いた道路橋の損傷状況の判定技術	RC床版を主対象に、UAV等の点検ロボット等で取得された画像から変状を抽出し、診断に必要な情報を取得することで、橋梁点検車による近接目視点検すべき道路橋の絞り込みを行い、点検業務の効率化を図る
富士電機株式会社	異常検知 AI による橋梁点検支援	人力若しくは点検ロボット等で取得される床版の画像を対象とした AI による変状検出を支援
八千代エンジニアリング株式会社	RC 床版の画像生成と変状発生後を検知する劣化指標による橋梁点検支援	点検作業または点検後の調書整理において取得した変状画像に AI によるヒートマップ化を活用し、変状の見落防止を支援

3.2.2 研究開発された点検 AI の評価検証

III-1 で述べた活用シーン（図 3-1）に応じた評価手法（表 3-3）に基づき、本共同研究において研究開発された点検 AI の評価検証を行った。

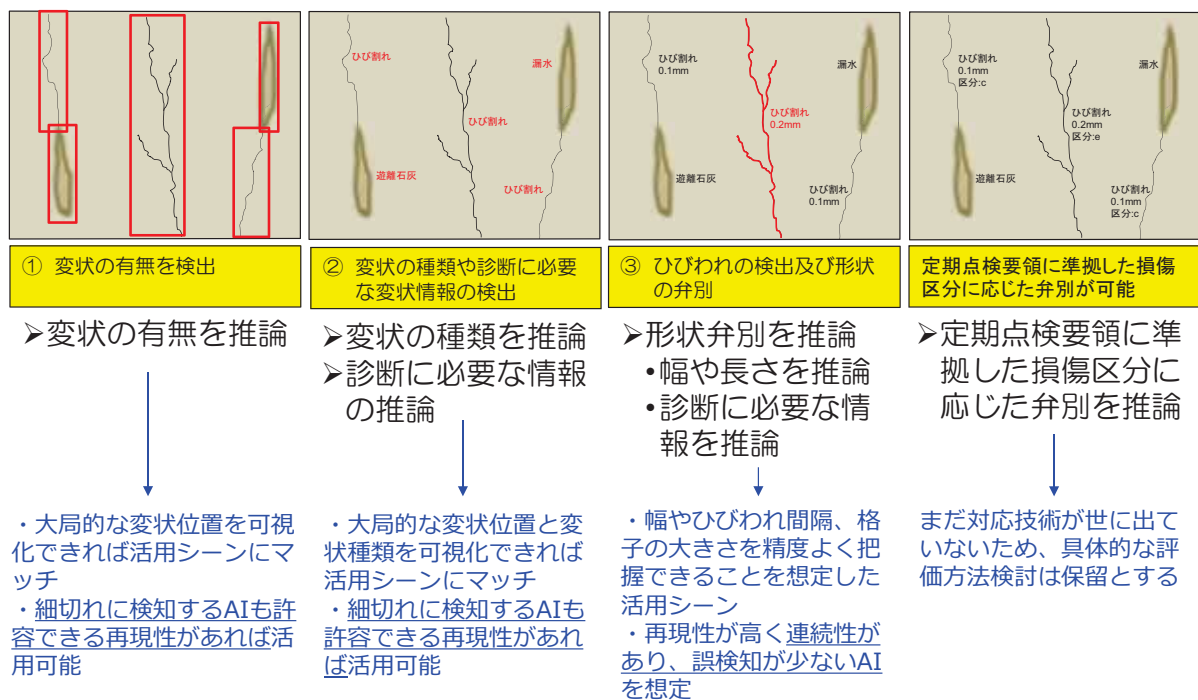


図 3-1 点検 AI の活用シーン

表 3-3 活用シーンごとの評価方法概要

点検AIの活用シーン	推論内容	点検AIの仕様 (支援の内容)	点検AIによる推論の出力	評価方法
活用シーン③-X 変状の有無を検出し、ひびわれ検出を 対象とし、幅・長さの検出を支援 ※開発技術の性能に応じて③-2,3,4・・・ として活用シーンを設定する	幅の弁別を推論	0.05mm未満 0.05mm以上0.1mm未満 0.05mm以上0.2mm未満 0.2mm以上	幅の分類に応じた弁別データ であること(ベクタデータ)	評価データの解答となるひびわれ 総箇所に基づき正解(TP)とな るひびわれ推論箇所を評価
	長さの弁別を推論	ひびわれ方向、ひびわれ 間隔、ひびわれ格子サイ ズを定量的に検出	幅に応じた定量的な長さデータ であること(ベクタデータ)	評価データの解答となるひびわれ 総延長に基づき正解(TP)とな る推論されたひびわれ総延長を 評価
活用シーン③-1 変状の有無を検出し、ひびわれ検出を 対象とし、特定の幅・長さの検出を支援	特定の幅を推論	0.2mm以上	特定の幅が抽出、定量データ であること(ベクタデータ)	評価データの解答となる特定ひ びわれ箇所に基づき正解(TP)と なるひびわれ推論箇所を評価
	特定の長さを推論	ひびわれ幅0.2mm以上の ひびわれ長さを検出	幅に応じた定量的な長さデータ であること(ベクタデータ)	評価データの解答となる特定ひ びわれの総延長に基づき正解 (TP)となる推論されたひびわれ 総延長を評価
活用シーン② 変状の種類検出を支援	変状の種類を推論	ひびわれ、漏水、遊離石灰、 鉄筋露出、剥離を検出	抽出された変状を種類別に明 示すること(ラスタ、ベクタデー タ)	評価データの解答に基づき正解 (TP)となる推論結果をブロック評 価
活用シーン① 変状の有無検出を支援	変状の有無を推論	変状の有無を検出	抽出された変状を明示すること (ラスタ、ベクタデータ)	評価データの解答に基づき正解 (TP)となる推論結果をブロック評 価

表 3-4 活用シーンの具体的な仕様

活用シーン	AIによる推論と評価内容 (道路橋点検士視点による評価を含む)
活用シーン①	変状の推論 変状の種類は問わない、ブロック評価 (10cmブロックによる評価)
活用シーン②	ひびわれ、漏水、遊離石灰、鏽汁、剥離、鉄筋露出の推論 変状の種類毎に推論、ブロック評価 (10cmブロックによる評価)
活用シーン③-0	ひびわれの推論 個々のひびわれの長さ、幅、ひびわれ総延長、ひびわれ幅の総合的な評価
活用シーン③-1	ひびわれ幅 0.2mm以上を推論 個々のひびわれの長さ、幅、ひびわれ総延長、ひびわれ幅の総合的な評価
活用シーン③-2	ひびわれ幅 0.1mm以上～0.2mm未満、0.2mm以上を推論 個々のひびわれの長さ、幅、ひびわれ総延長、ひびわれ幅の総合的な評価
活用シーン③-3	ひびわれ幅 0.05mm以上～0.1mm未満、0.1mm以上～0.2mm未満、0.2mm以上を推論 個々のひびわれの長さ、幅、ひびわれ総延長、ひびわれ幅の総合的な評価

評価検証は、本共同研究者にて研究開発された点検 AI について、表 3-4 に示す具体的な活用シーンにマッチするものか評価検証を行い、表 3-5 のような整理を行った。

本共同研究者において研究開発された点検 AI は、活用シーン①：2 件、活用シーン②：7 件、活用シーン③：4 件となる。

AI の性能を評価するうえでは、性能若しくは精度競争を PC ネットワークによって実施し、主に一致率や再現率によるスコア値をランキング形式で評価・公表する例が多い。橋梁点検の支援技術として活用する点検 AI を単にスコア値での評価とした場合、スコア値向上のみを目的とした開発やⅢ-1 で述べているように偏りのある評価となってしまうことが想定される。

そこで、共同研究者によって研究開発された点検 AI は、スコア値をランキング形式による評価ではなく、点検作業において、どのような支援の提供が可能となるものか道路橋点検士視点での定性的な評価を加えたものとした。

ただし、本共同研究で評価検証した結果は、少ない評価用データに基づくものであり、今後、多くの評価データに基づく評価検証を必要となる。

表 3-5 共同研究者において研究開発された点検 AI の活用シーン

評価対象 共同研究者	活用シーン					
	①	②	③-0	③-1	③-2	③-3
(株)イクシス		○		○		
首都高技術(株)		○			○	
大日本コンサルタント(株)		○				
(株)デンソー	○	○				
日本工営(株)			○			
パシフィックコンサルタンツ(株)		○				○
富士電機(株)	○					
八千代エンジニアリング(株)			○			

なお、評価検証の結果に関しては、「4 共同研究開発技術」にて紹介する個別技術において述べる。

4 共同研究開発技術

4.1 UAV を活用したオルソモザイク画像および動画による橋梁点検技術ならびに 3 次元点群データを活用した点検技術

(1) 研究開発者

アジア航測株式会社

(2) 技術活用目的

本技術は、鋼鈹桁橋の床版や橋脚などのコンクリート部材および支承や桁などの目視が困難な箇所の点検を支援するために Visual SLAM を搭載した点検用小型 UAV により損傷を把握するための方法を開発することを目的としている。狭い空間へも進入が可能な UAV を用いて、損傷箇所に近接した位置から撮影を行い、収集した画像をもとにして作成したオルソモザイク画像および動画を活用した点検を実現することを目指した。

さらに、DX への取り組みの一環として研究した、橋梁の 3 次元点群データを活用した点検技術についても紹介する。

(3) 技術の特徴

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

本技術では、点検用小型 UAV として全方向衝突回避センサーを有する Skydio 社の Skydio2 を使用している。※点検支援技術性能カタログの画像計測技術（橋梁）番号 BR010009-V0020 を参照のこと。

この UAV は、4 枚羽の機体の上面部と底面部に各 3 基ずつ、計 6 基の魚眼カメラを具備している。UAV を稼働させるためのバッテリーは、磁力で UAV 本体の底面部に装着されている。

移動装置の前面部にはセンシングデバイスであるデジタルカメラを有し、飛行中に動画撮影を実施できる。静止画を撮影する場合には、操縦者が操作する送信機に有線接続されたタブレット端末から操作が必要となる。

イメージセンサーは、SONY 製カメラで、型番は IMX577、センサーサイズは 1/2.3 インチ、ピクセル数は 4056pxel×3040pxel、焦点距離は 20mm[35mm 換算]である。測位機構は、GLONASS、SLAM、IMU、飛行運動制御機構の間で共用されている。撮影終了後に、UAV 本体のバッテリーを取り外した裏側に挿入されている microSD カードから撮影データを処理用端末にコピーし、処理を行う。

操縦可能な範囲は、最大で送信機から 200m である。ただし、周囲に電波を発するものや障害物が無いことが条件である。送信機から 200m を超える場合には、UAV からタブレット端末へ伝送する映像に乱れが生じる場合がある。

- ・近接撮影距離

映像信号を用いた全天球方向の近接物認識機能（Visual SLAMによる衝突回避機能）により、プロペラから約 30cm の距離まで近接が可能であり、狭隘部への進入可能幅は約 1.15m である。

B) 撮影性能

- ・画像の仕様

撮影用カメラは、動画と静止画の 2 種類の画像を取得することができる。動画は 4K 解像度、静止画は 4,056×3,040 ピクセルの大きさである。静止画のデータ形式は JPEG と RAW であり、動画のデータ形式は MP4 である。

- ・撮影角度

撮影角度は、カメラのピッチ角（機体に対して垂直方向の首振り角）で -110° ～ 90° の範囲で設定が可能である。

構造物近傍での安定飛行は、風速 11.2m/s 未満で可能であり、計測器が雨に晒されないことが条件である。

C) 鋼鈹桁橋の撮影方法

- ・床版の撮影方法（コンクリート部材）

床版の撮影では、床版のオルソモザイク画像を作成し損傷を抽出するために、1 ピクセルのサイズが 0.3mm となるように近接撮影時の距離を 0.8m とする。ラップ率は、撮影方向で 80%以上、コース方向で 70%以上とする。撮影に使用する UAV は、ラップ率を制御するための自動撮影機能は有していないので、手動制御で対応することとなる。

この時、風の影響や手動制御のミス等によるラップ率不足を解消するための対策として、近接撮影とは別に遠景からの撮影を行う（図 4-1-1）。

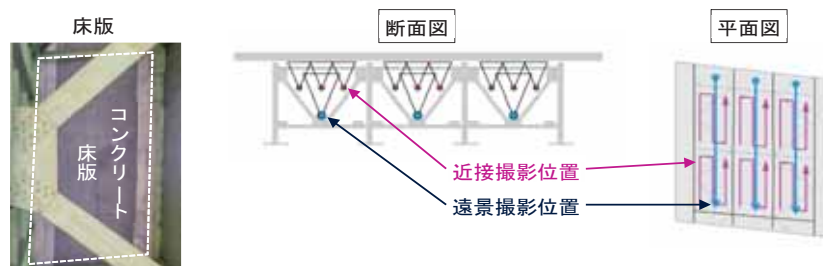


図 4-1-1 鈹桁橋床版の撮影計画

- ・桁間の撮影方法（鋼部材）

桁間の撮影では、鋼製桁の凹凸をすべて把握するために上下方向および往復の両方向について動画を撮影する（図 4-1-2）。

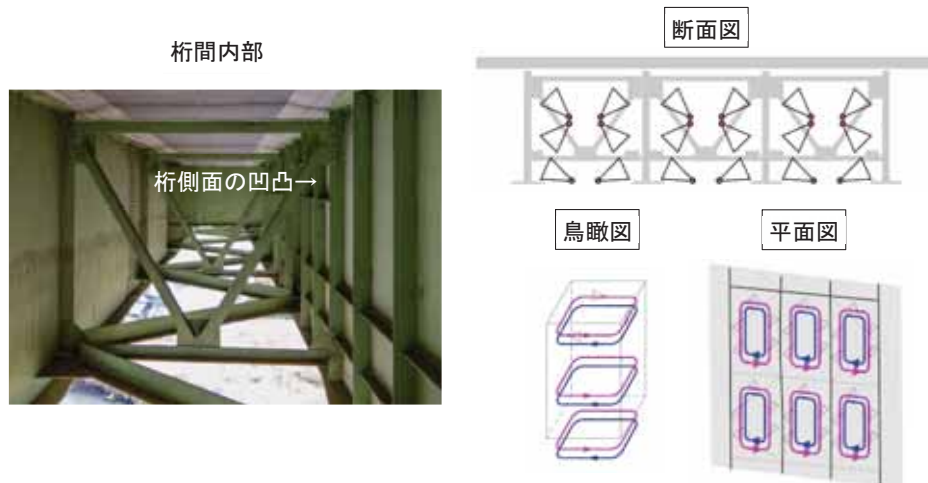


図 4-1-2 鋼桁橋桁間の撮影計画

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

- ・対象となる橋梁種類
鋼桁橋（RC床版）
- ・アプローチ可能部材
床版，橋脚，支承，主桁，横桁

B) 取得情報の内容

- ・撮影時の位置情報取得

GPS および GLONASS から受信される緯度・経度，並びに気圧高度計から取得される高さの値が画像の Exif 情報に位置情報として記録される。

- ・取得可能な損傷及び判別方法

コンクリート部材については，撮影した静止画像から，床版および橋脚のオルソモザイク画像を作成し，富士フィルムの社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」を利用して損傷を抽出する．オルソモザイク画像上で抽出された損傷を点検技術者が確認することで，発生位置や損傷の有無を判別することができる．確認可能な損傷は，ひびわれ，漏水・遊離石灰・鉄筋露出である。

鋼部材については，撮影した動画から，桁および支承の損傷の有無を判別する．確認可能な損傷は，腐食，塗膜割れ，ボルトの脱落などである。

このようにして確認した損傷内容について，画像ごとに橋梁名，径間番号，部材名及び損傷名を付記して一覧表にとりまとめる。

- ・ 損傷の位置情報取得

「(5) 橋梁の 3 次元点群データを活用した点検技術」で点検位置を 3 次元モデル上に記録した事例を紹介している。

3) 取得情報の表現

- ・ オルソモザイク画像化

コンクリート部材の床版および橋脚を対象に、オルソモザイク画像を作成する。オルソモザイク画像を用いて損傷の判別を行う上では、作成過程において、分解能の低下、テクスチャの潰れ、写真の接合部のズレなどが問題となる。それらの問題を解決するために、当社が開発した点検用オルソモザイク作成支援ツールを使用し、画質の劣化を防止する。

- ・ 3 次元モデル化

「(5) 橋梁の 3 次元点群データを活用した点検技術」で 3 次元モデルを用いた事例を紹介している。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

- ・ 具体事例

高い位置にある鋼鈹桁橋（RC 床版）を橋梁点検車で近接目視する際の課題として、広幅員の橋梁では点検車のアームが点検箇所まで届かないケースがあるほか、橋梁の幅員が狭く橋梁点検車の進入が困難なケースや橋梁の下面に添架物（水道管やケーブル）が設置されているために近接目視が困難なケースもある。こうしたケースにおける点検を支援するために、小型 UAV を用いた点検を試行してみた。

そのような事例の一つとして、国土交通省管理の新鬼怒川橋（鋼鈹桁橋）の桁下に添架物がある箇所を点検用小型 UAV で撮影し点検した結果を紹介する（図 4-1-3）。

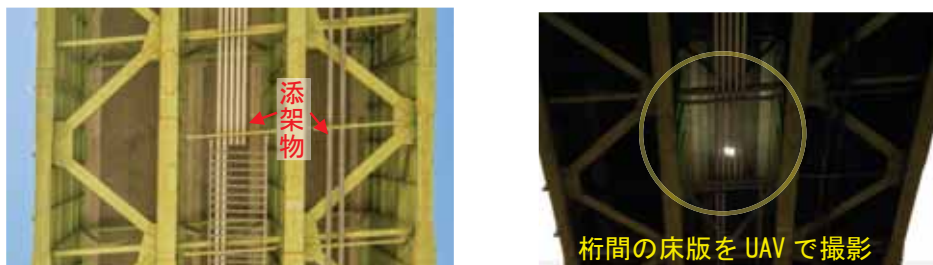


図 4-1-3 橋梁の下面状況と撮影風景

〔コンクリート部材〕

撮影した静止画像を用いて、当社が考案した鋼桁橋の撮影方法で取得した画像を当社が開発した点検用オルソモザイク作成支援ツールにより画像を作成し（図 4-1-4）、点検用オルソモザイク画像上で床版のひびわれを確認した結果を図 4-1-5 に示す。

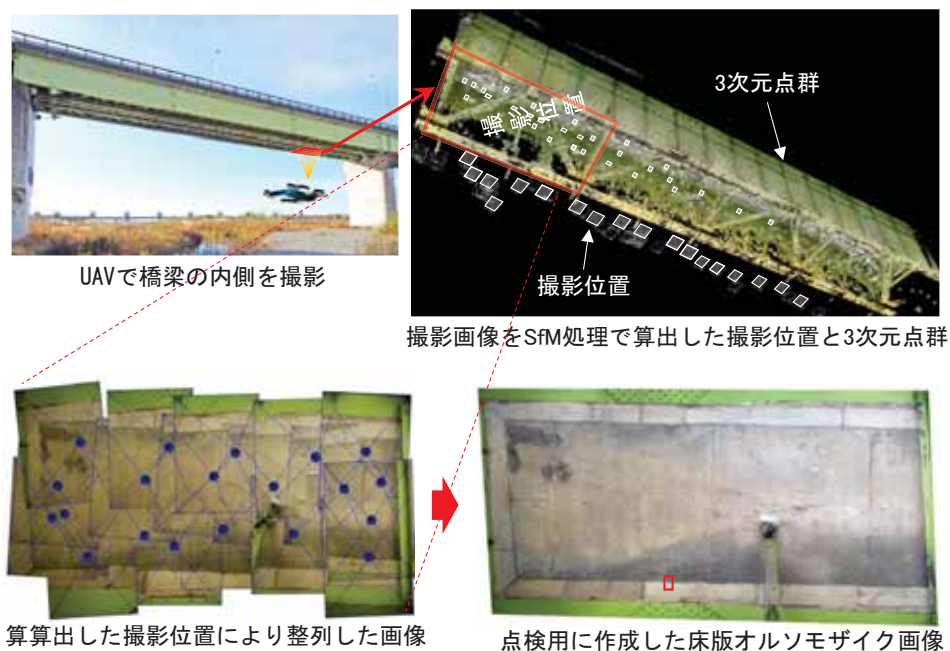


図 4-1-4 点検用オルソモザイク画像作成手法 実験場所：新鬼怒川橋（第 6 径間）

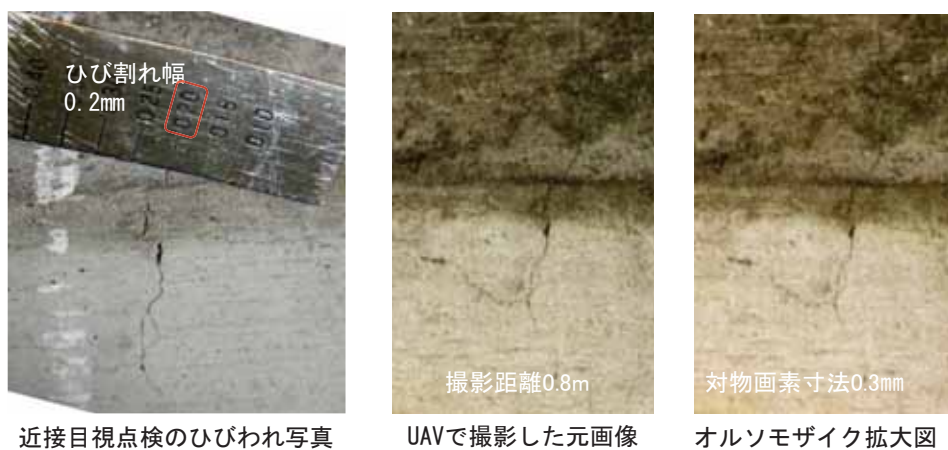


図 4-1-5 点検用のオルソモザイク画像作成結果（床版）

〔鋼部材〕

撮影した動画を用いて、桁間や支承の損傷を確認した結果を図 4-1-6 に示す。また、橋梁の暗い箇所において画像品質を確保するために、LED ライト付き UAV で撮影し、点検に必要な品質を有する画像を取得した（図 4-1-7）。



UAV で撮影した動画上の塗膜割れ



近接目視点検での塗膜割れ



UAV で撮影した動画上の支承の腐食



近接目視点検の支承の腐食

図 4-1-6 鋼桁橋の桁間および支承動画撮影結果



Skydio 2 LED 撮影



ERIOS2 LED 撮影

図 4-1-7 鋼桁橋の桁間の LED 撮影結果

※ERIOS2はLEDライトを搭載した屋内施設点検向け球体のUAV、LEDライトの比較検証用に撮影を実施

・導入活用効果

橋梁点検車のアームが届かない、近接目視が困難な広幅員の橋梁や橋の幅員が狭く橋梁点検車の進入が困難な橋梁、あるいは橋梁下面に設置された添架物（水道管やケーブル）のために目視が困難な部分がある橋梁などについては、遠方からの目視による点検が行われている。このような遠方からの点検では点検漏れが生じる恐れがある。そのような問題を解決するための支援策として、点検用小型 UAV で取得した画像から作成したオルソモザイク画像や動画を用いた点検方法を採用することによって、近接目視と同等の状態把握が可能となる。

2) 診断への情報提供

橋梁名，径間番号，部材名，損傷種類，画像名，画像データを提供可能である。

3) 成果品

床版と橋脚（コンクリート部材）のオルソモザイク画像，桁間（鋼部材）や支承の動画

(5) 橋梁の3次元点群データを活用した点検技術

1) 概要

国土交通省ではインフラ分野のDXを推進している。これからのインフラの維持管理は5G通信やBIM/CIMを活用したデジタル方式に転換することが予想される。橋梁分野においては，現況の橋梁モデルのデジタル化が必要になると考えられる。ここではデジタル化を支援する取り組みの一つとして，鋼桁橋の維持管理のための基盤となる3次元点群データの構築方法と3次元の点検システムについて紹介する。

2) 鋼桁橋の3次元点群データ構築方法

〔撮影方法〕

橋梁の全体形状がわかる画像を遠方から撮影するとともに，橋梁背面と内側までを段階的に撮影する。必要に応じて構造物の大きさの基準を知るために部材サイズの計測や基準点等を設ける（図4-1-8）。この他に点検に必要な各部材も同様の方法で撮影を行う。

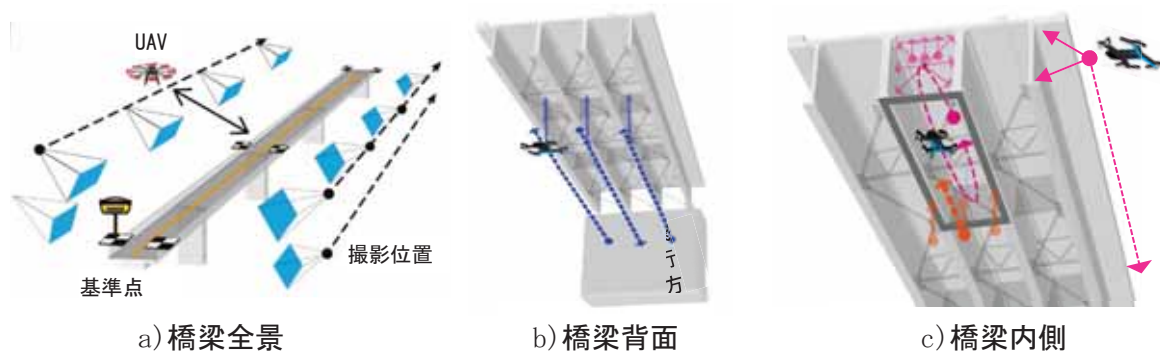


図 4-1-8 撮影イメージ

〔3次元点群データ構築方法〕

撮影した画像をもとにして，図4-1-9に示すとおり位置情報を取得するための橋梁全景の3次元点群データを構築する。次に構築したデータから橋梁背面や橋梁内側などの各部材に座標値を付与し正しい位置に調整する。最後に各部材を統合し点検用の3次元点群データを作成する。尚，作業環境や橋梁の規模を考慮して，必要に応じてデータを分割する。

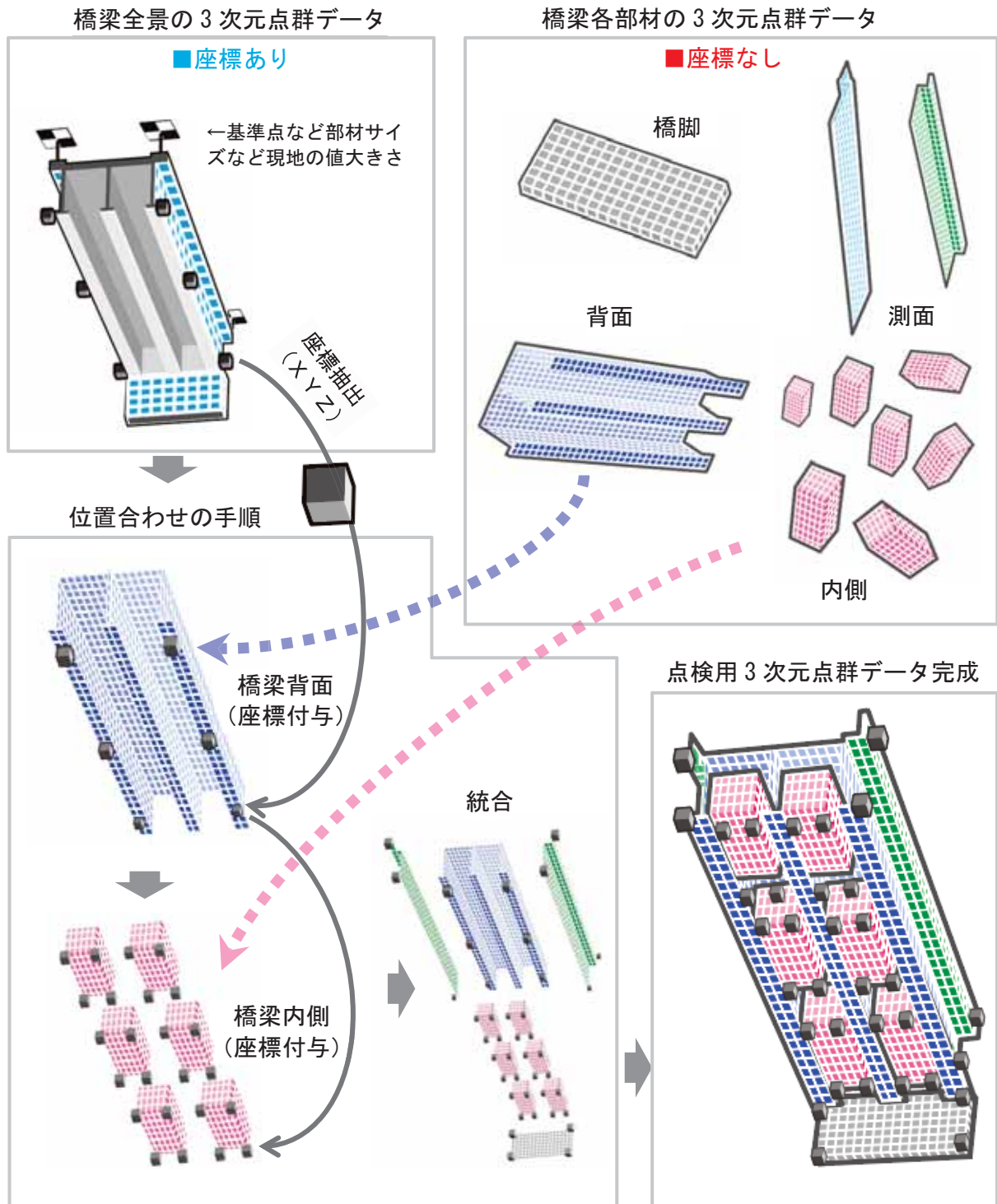
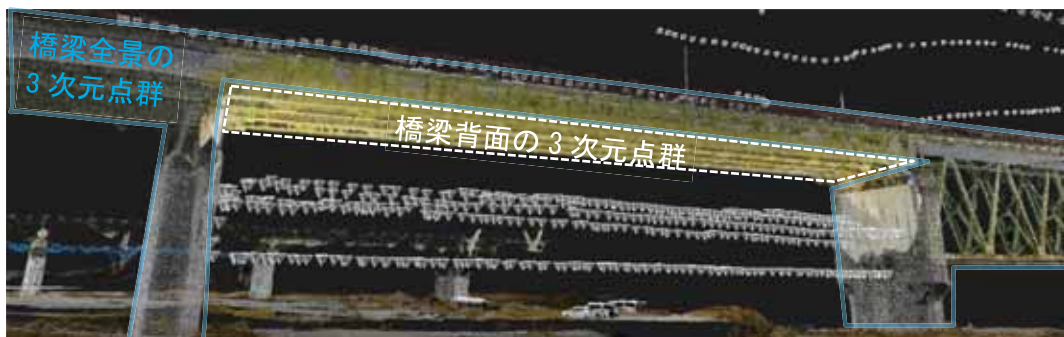


図 4-1-9 橋梁の3次元点群データ構築方法

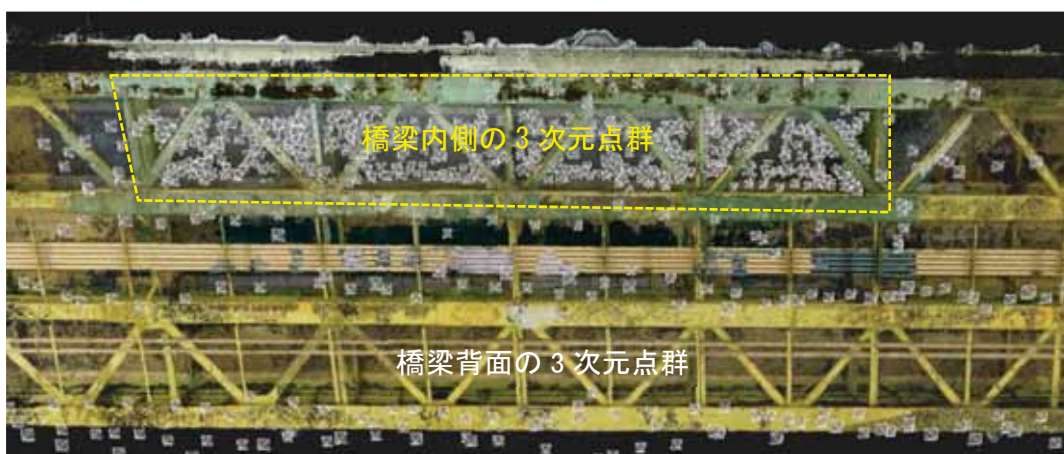
[3次元点群データ構築事例]

考案した3次元点群データ構築方法をもとに国土交通省管理の新鬼怒川橋（鋼鈹桁橋）の3次元点群データ構築した（図4-1-10）。

橋梁全景から橋梁背面に座標付与した3次元点群データ



橋梁背面から橋梁内側に座標を付与した3次元点群データ



橋脚の3次元点群データ



トラスの3次元点群データ



図4-1-10 橋梁の3次元点群データ構築結果

〔3次元点群データを活用した点検システム〕

前項で構築した3次元点群データを基に RECONSTRUCT 社が開発した点検システムの SfM 機能, 3次元モデル上の点検記録機能, 点検調書出力機能を活用し点検した。尚, このシステムのデータはクラウドサーバー上で管理され, ブラウザーで操作できるため情報共有が容易である (図 4-1-11)。

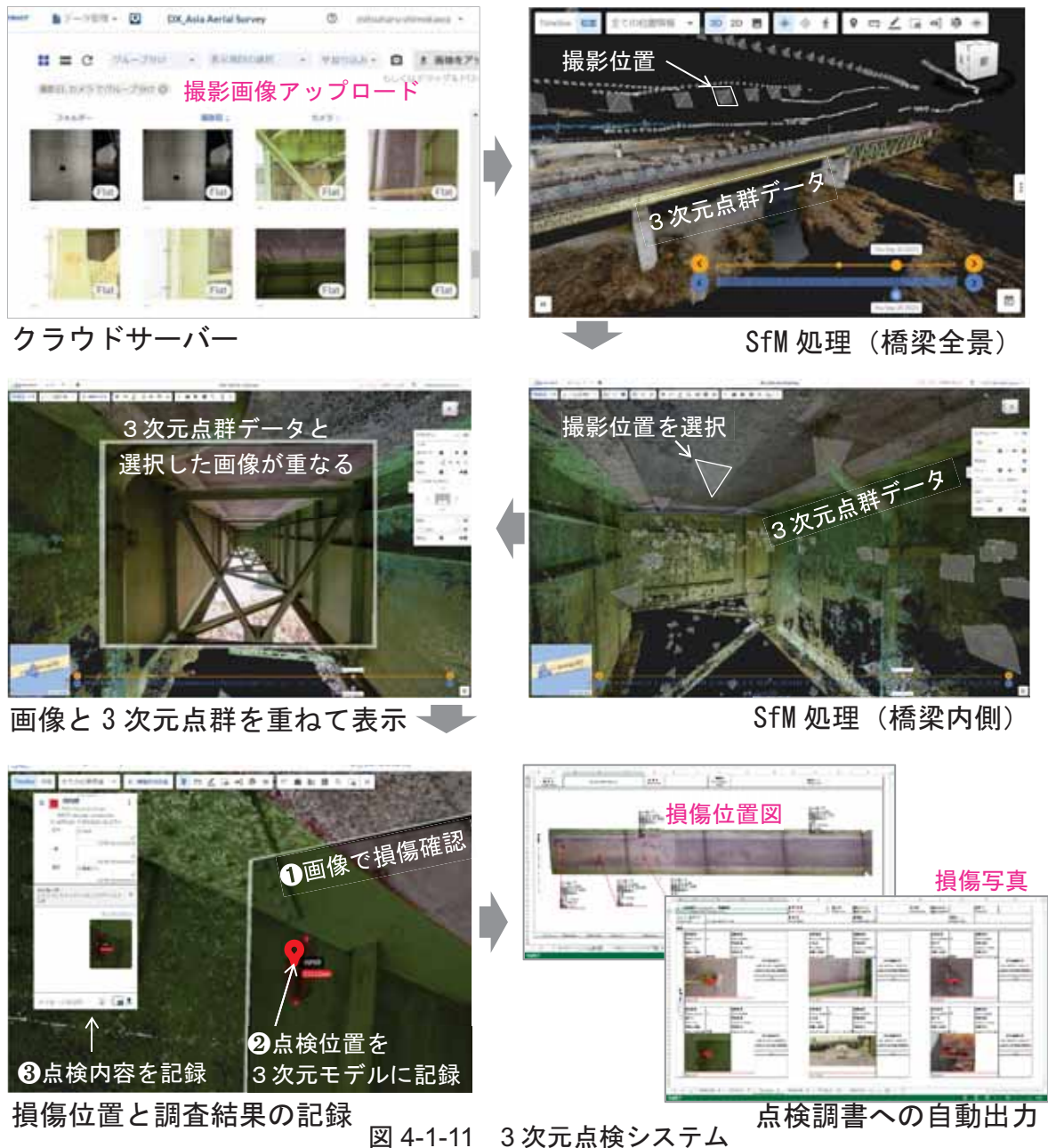


図 4-1-11 3次元点検システム

<参考文献>

- ・ 国立研究開発法人土木研究所, 橋梁 3次元モデルの構築 (検証事例), pp. 13-36, 2021
- ・ 森川博邦, 服部達也, 下川光治: UAV を活用したトラス橋および鉸桁橋の 3次元モデル作成方法に関する考察, 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会概要集, VI-883, 2021

4.2 ワイヤ吊下式目視点検ロボットによる橋梁点検支援

(1) 研究開発者

株式会社イクシス

(2) 技術活用の目的

写真 4-2-1 に示す本技術は、橋梁点検における近接目視支援を目的としている。具体的には、構造物の高所の目視点検をワイヤ架設式の移動式ロボットにてカメラ撮影を取入れて行う技術で、取得した画像データを用いて専用アプリケーションで床版のひびわれの自動検出を行うものである。



写真 4-2-1 RopeStroller 外観

(3) 技術の特徴

本技術の特徴に関して、以下に示す。

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

RopeStroller は、写真 4-2-2 に示すようにワイヤ架設式の移動式ロボットである。測定起点側と終点側にそれぞれ 2 箇所ずつ計 4 点で固定されたロープ 2 本をガイドローラーがロープ上に設置する機構で計測位置へ移動し停止して測定（静止画撮影）する。

技術的に移動可能な範囲は、ロープ 2 本を長さ最小 5m～最大 60m 範囲で測定起点側と終点側に敷設可能な範囲であり、測定点のロープ高さ設置位置は、桁下 40cm 以上隔離することとする。

ロープ上の RopeStroller の撮影位置への移動と位置調整は、本体に接続されている移動用のワイヤを、手動または自動巻取りウインチ装置で牽引することによって行う。



写真 4-2-2 RopeStroller の運用写真

・近接距離能力

近接能力は、桁下約 40cm の距離まで接近して、主桁下フランジ辺りの位置から上を向いて床版を撮影することが可能である。

B) 撮影性能

- ・画像の仕様

搭載したカメラは 1800 万画素のものである。撮影した画像データはカメラに内蔵される SD カードに記録・保存される。計測データは計測終了後にカメラから取り外して専用サーバーに伝送処理を行い、サーバー内のアプリケーションで画像解析を行う。

- ・撮影対応角度

撮影角度は、パン（機体に対して水平方向の首振り）・チルト（機体に対して鉛直方向の首振り）機能を有しており、その角度範囲は、水平±30度、鉛直±30度である。

- ・ラップ率

通常はオーバーラップ率 30%にて連続撮影を自動で行い、撮影した画像からオルソ画像を作成可能である。

- ・取得情報の保存形式

取得した画像は jpeg 形式で保存する。

- ・その他

赤外線画像も撮影可能

寸法	幅：633[mm] 奥行：594[mm] 高さ：289[mm]（突起物除く）
重量	約 15[kg]
給電方式	外部より給電
移動方式	ワイヤ吊下げ式
懸架ワイヤー長	最大 50m 程度
搭載可能カメラ重量	約 1[kg] 以下
観察カメラ	デジタル一眼カメラ
	コンパクトデジタルカメラ
操作方式	遠隔操作方式
	有線：LANケーブルおよび電源ケーブル
カメラ角度調整	Pan 軸：±30度 Tilt 軸：±30度

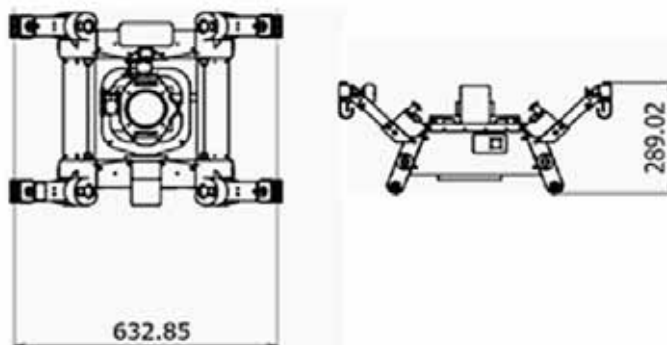


図 4-2-1 製品仕様

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

- ・対象となる橋梁種類
 鋼桁橋等，ワイヤを架設可能な部材を有する橋梁，アンカーを打てる橋梁
- ・アプローチ可能部材
 橋梁の上部構造（床版）

B) 取得情報の内容

- ・撮影の位置情報取得
 撮影開始位置からの移動距離を，回転式パルスカウンターにて算出して測位する．パルスカウンターはロープ上に接するガイドローラーに装着されている．
- ・取得可能な変状及び判別方法
 撮影した画像から，弊社の画像解析ソフト（自社開発ソフト）によって変状の有無を自動検出する．検出可能な変状は，ひびわれの箇所と，ひびわれの幅・長さである．その手順としては，まず撮影した画像からひびわれ箇所を自動抽出し，次にそれら撮影画像を1径間ごとにロボットの位置情報等を基にして自動でつなぎ合わせて，その結合画像に対してひびわれの幅・長さを自動抽出する．

検出可能なひびわれ幅の分解能と，撮影距離の関係は以下の通り．

ひびわれ幅分解能 0.05mm 撮影距離 0.5m 以内

ひびわれ幅分解能 0.1mm 撮影距離 2.0m 以内



AIデータ解析により，
変状部分を自動抽出
ひび割れ幅
 緑線：～0.2mm
 赤線：0.2mm～

図 4-2-2 取得可能な変状

- ・変状の位置情報取得

変状の位置情報は、撮影時に取得した位置情報を元に、画像上の各画素の座標を算出しておき、その画像上に変状（ひびわれ）の箇所を着色して表示した損傷マップを自動作成して得られる。ひびわれの損傷マップは、ひびの幅によって色分けして表示される。

- ・その他

クラウドから点検調書データをダウンロードして、出力する事が出来る。

3) 取得情報の表現

- ・オルソモザイク画像化の有無

オルソモザイク画像は、画像の撮影時に取得したロボットの位置情報等を基にして、写真 4-2-3、図 4-2-3 に示すように画像を自動でつなぎ合わせて作成される。

オルソモザイク画像における品質の担保は、オルソモザイク画像の一部において、元画像と比較し、明らかな画像劣化や特徴の潰れがないことを点検技術者の判断によって確認している。

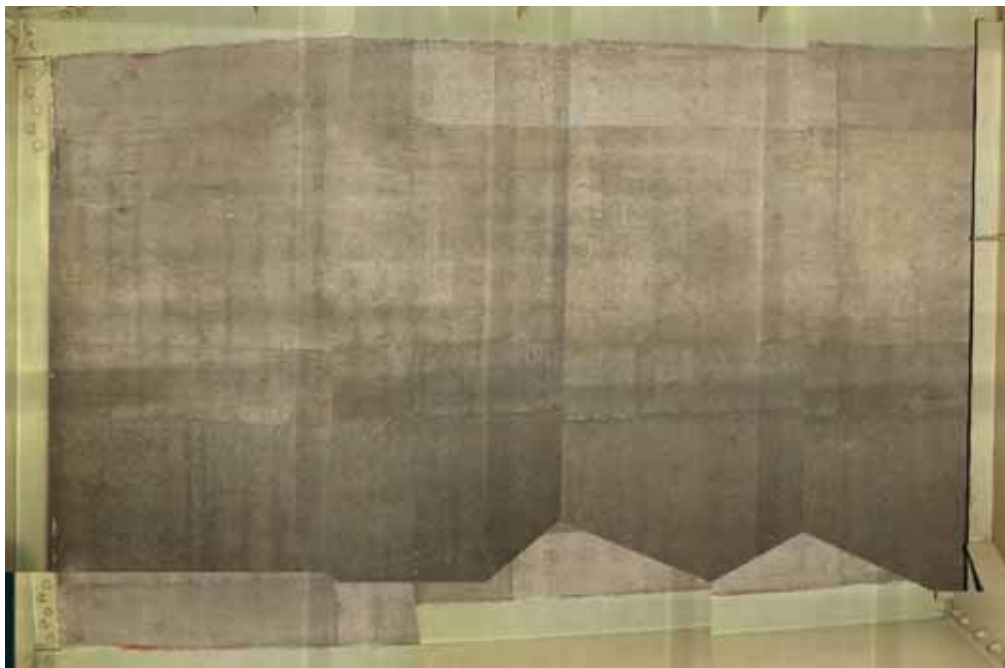


写真 4-2-3 撮影画像の合成例

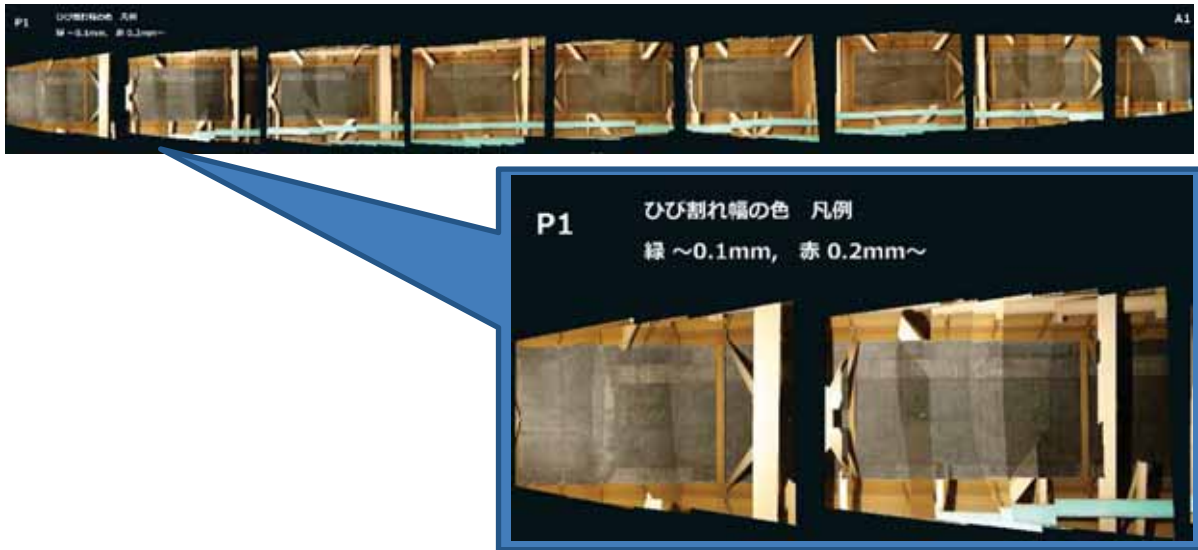


図 4-2-3 主桁間 1 列のオルソ画像例

・ 3次元モデル化の有無

床版を対象にしたオルソモザイク画像の作成にあたり、3次元モデル化は行っていない。しかし、抽出された損傷部分の画像を3次元点群などの3Dデータ上に重畳して出力する事が可能なため、調書作成などの内業時間短縮等の効果が得られる。

システム内で、点群に画像の撮影位置を設定することで重畳（図 4-2-4）を可能としている。



図 4-2-4 合成画像の3Dデータ重畳例

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

・具体事例

橋梁等の高所の点検作業において、従来は点検員が高所作業車を移動させながら点検箇所を直接目視点検しながら調書を作成していた。本技術の点検作業は、現場にてワイヤ架設式の点検ロボットを用いてすべての点検箇所を写真撮影し、その後に写真を用いて確認及び点検しながら、調書を作成する事が可能である。

・導入活用効果

従来の点検作業は、高所作業車の操作等に人手と時間を要し、人件費がかさむ課題がある。本技術のワイヤ架設式の点検ロボットでは、点検中の高所作業車の操作が不要のため、作業期間が33%短縮し、経済性は59%向上する効果が期待できる。

2) 診断への情報提供

事前に点検対象橋梁名、測定対象径間数などの点検調書の様式を専用のWEBアプリケーション（図4-2-5）に入力し、点検ロボットで計測記録した画像データを専用サーバーに伝送する事で、得られた損傷箇所の位置情報からひびわれ幅の損傷マップを自動作成して、以下の点検調書用データをクラウドシステムからダウンロードする事が出来る。

- ・JPEG形式で、個別の損傷抽出した画像と、つなぎあわせた1径間の画像
- ・DXF形式で、1径間の損傷位置の図面



直観的・視覚的にわかりやすい操作画面
構造物の種類別に点検結果は整理され、取得した位置情報に基づき、閲覧画面にて表示・検索を行うことが可能です。

コメント入力・結果出力
AIによる抽出、解析結果を元にデータを検索、コメントを登録
点検調書のフォーマットで出力を行えます。

図 4-2-5 点検結果の確認画面（クラウドシステム）

4.3 主桁下フランジ把持式点検ロボットによる橋梁点検支援

(1) 研究開発者

株式会社イクシス

(2) 技術活用目的

本技術は、橋梁点検における近接目視支援を目的としている。具体的には、写真 4-3-1 に示すように構造物の高所の目視点検を主桁下フランジ把持式の移動式ロボットにてカメラ撮影を取入れて行う技術で、取得した画像データを用いて専用アプリケーションで床版のひびわれの自動検出を行うものである。



写真 4-3-1 主桁下フランジ把持式点検ロボット Turrets

(3) 技術の特徴

本技術の特徴を以下に示す。

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

橋梁の主桁下フランジを挟む形で左右の走行ユニットを配置し、主桁間を 2 本のカーボンレールで連結、レールの上に配置された昇降機能付き観測装置によって、床版や上横構・ガセットなどの連結部の上面も点検可能となる。

下フランジ上の走行により径間方向を、カーボンレール上の走行により幅員方向を、特殊設計の逐次構築式の昇降装置により Z 軸方向に移動することができ、写真 4-3-2 に示すように、昇降装置先端の Pan 軸 /Tilt 軸の雲台とズーム機能付きのカメラによって、自由度の高い撮影位置を決定し各軸の位置取得センサにより撮影した画像には撮影位置情報が付加され、点検終了後のデータ整理や画像処理が可能となる。



写真 4-3-2 Turrets による撮影の様子

- ・近接距離能力

主桁下フランジの高さから最大で約 1.8m 程度の位置で床版を撮影可能である。

B) 撮影性能

- ・画像の仕様

搭載したカメラは 2020 万画素のものである。撮影した画像データは制御用の PC に記録・保存される。計測データは計測終了後に PC から取り外して専用サーバーに伝送処理を行い、サーバー内のアプリケーションで画像解析を行う。

- ・撮影対応角度

撮影角度は、パン（機体に対して水平方向の首振り）・チルト（機体に対して鉛直方向の首振り）機能を有しており、その角度範囲は、水平±30度、鉛直±30度である。

- ・ラップ率

通常はオーバーラップ率 30%にて連続撮影を自動で行い、撮影した画像からオルソ画像を作成可能である。

- ・取得情報の保存形式

取得した画像は jpeg 形式で保存する。

- ・その他

最大外形寸法 (L600mm×W3000mm×H300mm+昇降装置 H1500mm)

最大重量 (245N)

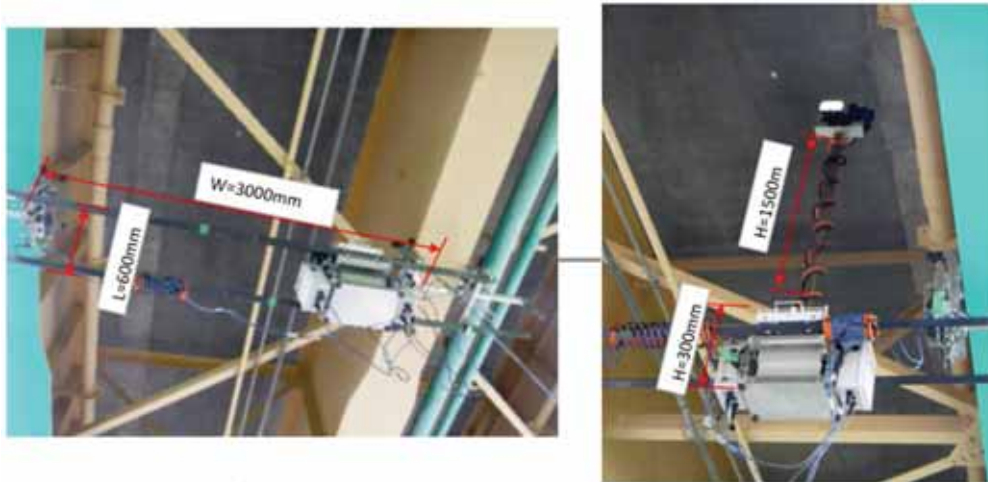


写真 4-3-3 Turrets の外観寸法

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

- ・対象となる橋梁種類
 鈹桁橋等, 把持可能なフランジを有する橋梁
- ・アプローチ可能部材
 橋梁の上部構造 (床版・鋼部材)
- ・適用条件の詳細

図 4-3-1,2 に示すように橋梁構造の形状や部材や配管等のクリアランス内で点検ロボット (Turrets) をセッティングすることが可能となる。

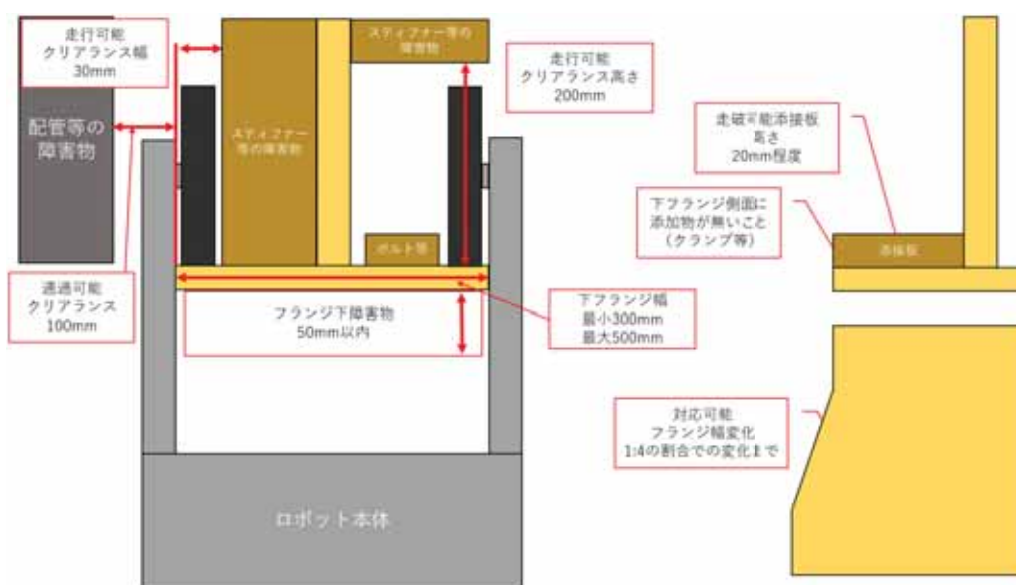


図 4-3-1 フランジ及び配管等への設置条件例



図 4-3-2 適用可能な桁間距離例

B) 取得情報の内容

・ 撮影画像

写真 4-3-4 に示す桁内，床版，ガセット部，下フランジ上面等について撮影することが可能となる。また，ひびわれを AI により解析することも可能。



a) 桁内



b) 床版



c) ガセット部



e) 下フランジ上面

写真 4-3-4 撮影可能箇所例

・ 撮影の位置情報取得

撮影開始位置からの移動距離 X,Y, Z と，カメラのパンチルトを測位する。

3) 取得情報の表現

取得した画像から図 4-3-3 に示すフォトグラメトリ(凸版印刷株式会社との共同研究)により, 3次元形状を復元, 3次元形状に撮影した画像を重畳して表示可能.

また, 3D レーザスキャナで取得した点群との重畳も可能.(ワイヤ吊下式目視点検ロボットによる橋梁点検支援の項参照)

3次元形状に重畳した画像は専用のソフトを用いて閲覧可能.

3次元で損傷位置を把握可能な為, 損傷位置の正確な記録, 修繕時の発注図書の作成に活用できる.

▶ フォトグラメトリと損傷画像の重畳 (凸版印刷との共同研究)



橋梁全景の復元



ガセット部分の3次元データと写真の重畳



桁内部の復元(3格間だけ試行)
黄色の矢印は撮影位置



3次元データとひび割れ抽出後の床版画像重畳

図 4-3-3 フォトグラメトリの3次元形状と画像を重畳した閲覧ソフト

※取得情報の表現・活用シーンに関しては, 「4.2 ワイヤ吊下式目視点検ロボットによる橋梁点検支援」, 「4.4 ひびわれ抽出 AI によるコンクリート床版点検支援」と同様な解析・出力が可能となる.

4.4 ひびわれ抽出 AI によるコンクリート床版点検支援

(1) 研究開発者

株式会社イクシス

(2) 技術活用の目的

本技術は、床版の点検において、取得された画像情報から変状抽出・整理(弁別)の支援を目的としている。具体的には、鉸桁橋等のコンクリート製床版のような広範囲にわたる点検時に人力による近接目視時に撮影された画像や、点検ロボット等の支援技術によって取得された画像からひびわれといった変状を抽出・整理する場合、人員及び時間を要する。そこで、本技術によって床版の撮影画像からひびわれを自動検出して、検査報告に必要なひび幅等の解析も自動で行うことにより、点検作業の支援を図るものである。

(3) 技術の特徴

本技術の特徴に関して、下記項目に関して記載する。

1) 主要仕様

A) 適用可能な画像

本技術は、人力若しくは弊社の点検ロボット等で取得される画像情報において、0.3mm/px 以上の画像精度を有する、撮影対象面に対して正対する方向から撮影された、ひびわれを画像で視認可能な程度の明るさの写真画像 (JPEG または PNG 形式) に対して適用可能である。

B) 推論可能な変状

コンクリート床版に発生する、通常のひびわれ(黒色)の他、ひびわれに沿った遊離石灰(白色)を検出することも可能。

2) 適用範囲

コンクリート製の床版を 0.3mm/px の解像度で正対して撮影した場合※、ひびわれ幅毎に 0.2mm 未満、0.2mm 以上を分けて検出可能である。
以下のデータを作成する機能を有する。

- ・ひびわれの幅を 0.1 mm 単位で算出して、写真上に色分け表示する機能
- ・ひびわれの長さを算出する機能
- ・ひびわれ箇所を記載した床版の CAD データを作成する機能

※弊社のロボットで撮影した場合、0.3mm/px で正対した画像を撮影可能。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

・具体事例

本技術の導入における作業例について、図 4-4-1 を用いて示す。

床版のひびわれ点検作業における改善例は、従来（図 4-4-2 上段）は、点検員が現場で点検範囲を移動しながら、近接目視によって損傷箇所を網羅的に確認し、クラックスケール等を用いた測定結果をメモやカメラで撮影して記録していた。そして、それらの情報を頼りに報告必要な箇所を判断して、写真等を添付した調書を作成していた。

本技術の導入後（図 4-4-2 下段、弊社のロボットで撮影を行う場合）は、人が現場でロボットの動きを事前確認し、ロボットを用いて手動又は自動で点検箇所の写真を網羅的に撮影する。そして撮影写真と撮影位置情報等の記録から AI によって自動で損傷箇所を抽出して、調書作成に必要な様々なデータが出力されるため、担当者は速やかに調書を作成する事が可能になる。

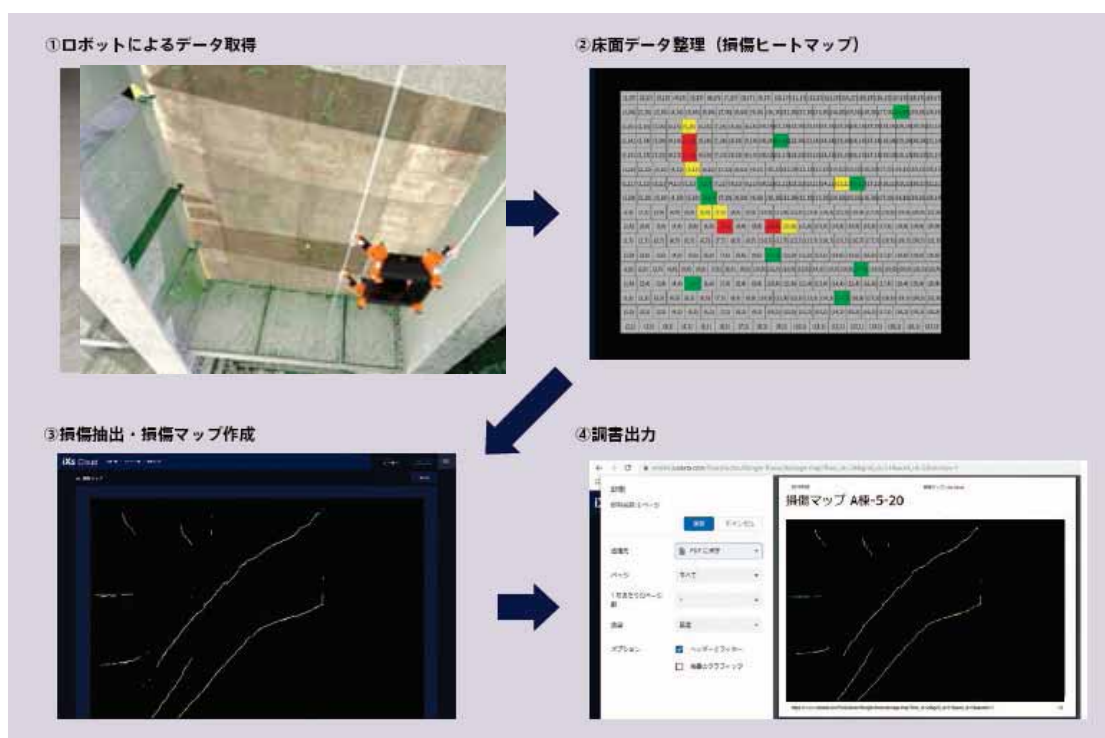


図 4-4-1 本技術による床版ひびわれ点検作業の流れ

・導入活用効果

本技術の導入後は、ロボットによる撮影速度の向上によって現場での点検・記録工程の所要時間が削減されて、損傷箇所の自動抽出と調書用データの作成機能によって報告調書作成工程の所要時間も削減されるため、点検作業全体で 50%程度の工数削減とトータルコスト低減の効果が得られる（図 4-4-2）。

加えて、従来は点検者の技量や主観によって点検結果の精度が変化してしまう傾向が

有ったが、本技術では AI 処理によって写真データから損傷を客観的に抽出するため、安定して高精度な点検結果が得られるメリットを有する。

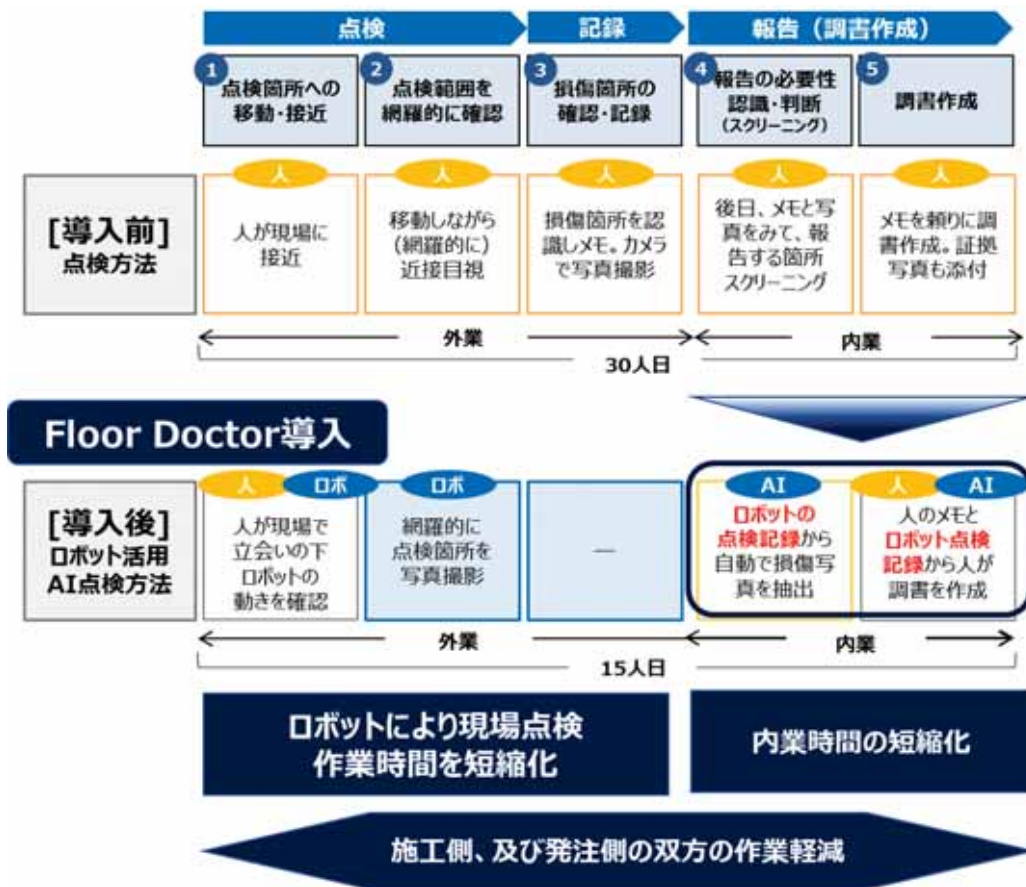


図 4-4-2 本技術の導入による改善例

2) 診断への情報提供

本技術により、以下のデータを作成して点検調書用に提供する事が出来る。

①ひびわれ検出画像

内容：ひびわれの幅を 0.1 mm単位で算出して、撮影した写真上にひびわれの位置・形状を色分け表示した画像データ (写真 4-4-1)

提供：弊社指定 Web サイトにて閲覧・印刷可能 (標準提供)



元の床版画像

ひびわれ抽出後

緑 0.2mm 未満 赤 0.2mm 以上

写真 4-4-1 ひびわれ検知画像の例

②ひびわれ集計表

内容：検出した全てのひびわれについて、主桁間の列単位(本システムではグリッドと呼ぶ)に、ひびわれの長さ・幅・合計面積を集計した統計データ (表 4-4-1).
 提供：弊社が Excel 形式のデータを納品 (標準提供)

表 4-4-1 ひびわれ集計表

	A	B	C	D
1	グリッド名	合計長さ [mm]	幅平均 [mm]	合計面積 [mm ²]
2	A1	527	0.31	16226
3	A2	647	0.33	21522
4	A3	662	0.37	24702
5	A4	350	0.36	12547
6	A5	857	0.36	30534
32	D1	1708	0.35	59984
33	D2	1022	0.35	35869
34	D3	1320	0.36	47613
35	D4	1248	0.43	53137
36	D5	410	0.34	14001
37	D6	1181	0.42	49631
38	D7	1647	0.42	68297
39	全体	33379	0.4	1273928

③損傷ヒートマップ

内容：検出した全てのひびわれについて、撮影した画像単位で色分けして、列別にヒートマップ表示したデータ (図 4-4-3).
 提供：弊社指定 Web サイトにて閲覧・印刷可能 (標準提供)

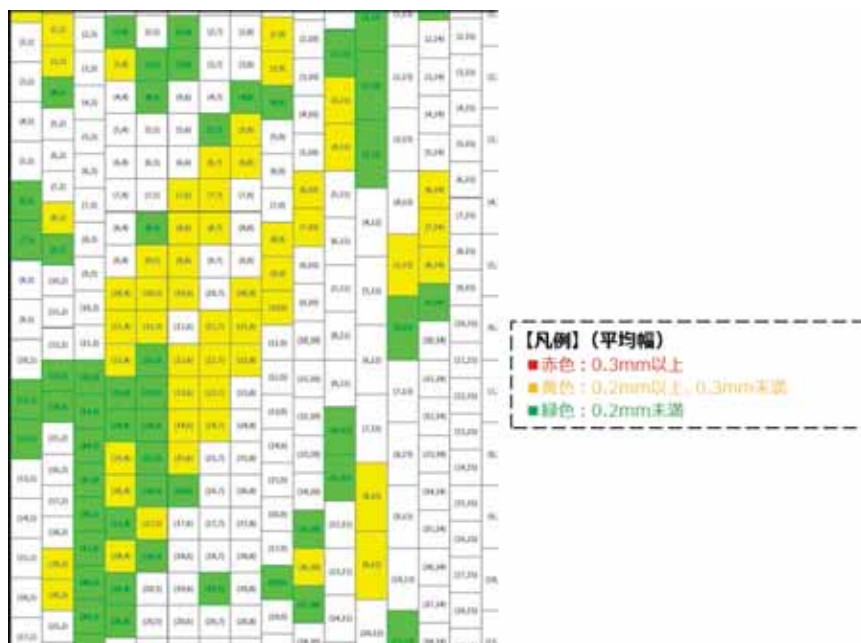


図 4-4-3 損傷ヒートマップ

④損傷マップ

内容：検出した全てのひびわれについて、列単位でひびわれの位置だけを色分けして表示した画像データ（ブラック背景）となる（図 4-4-4）。

提供：弊社指定 Web サイトにて閲覧・印刷可能（標準提供）

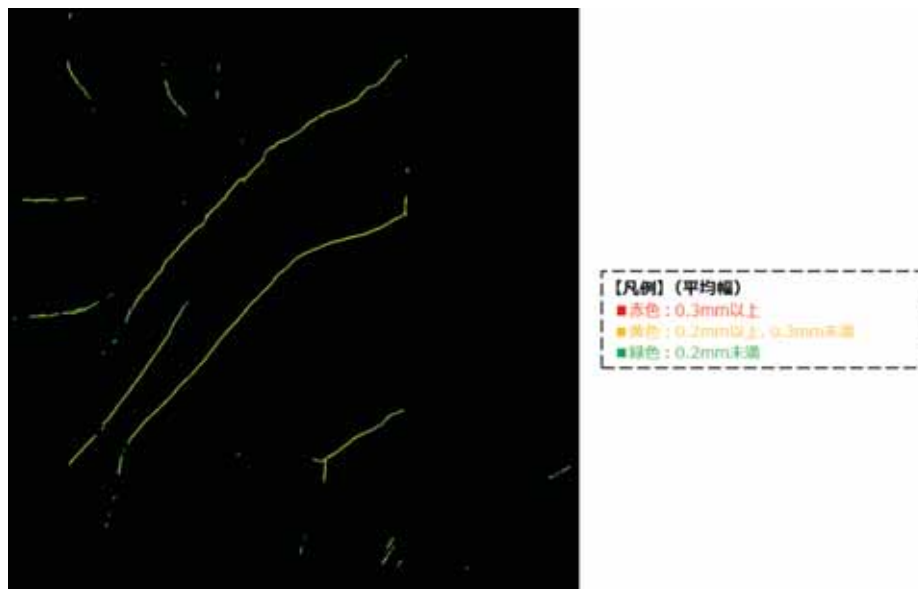


図 4-4-4 変状マップ

⑤画像付き変状マップ

内容：列単位のひびわれ検出結果にグリッド毎の結合画像を重ねたもの。変状マップに置き換わる形で Web サイトにアップロードされる (図 4-4-5)。

提供：弊社指定 Web サイトにて閲覧・印刷可能 (オプション提供)

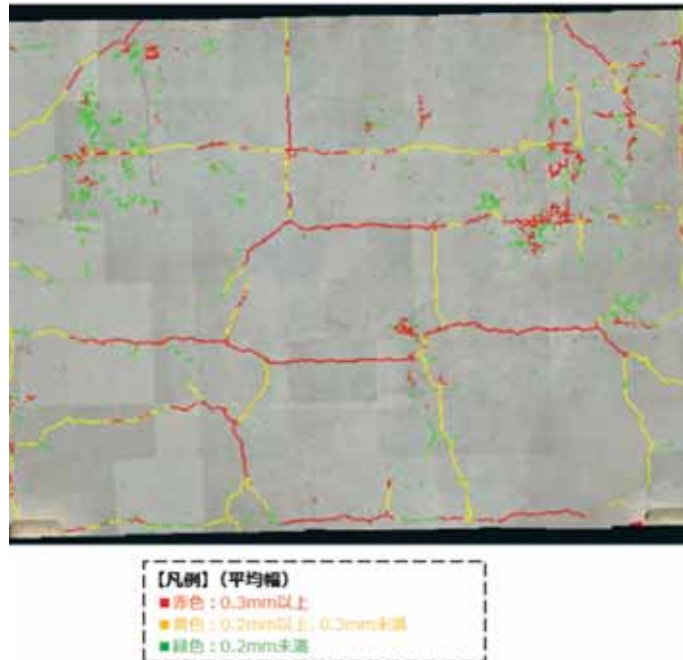


図 4-4-5 画像付き変状マップ

⑥DXF 重畳図

内容：DXF 図面に列単位のひびわれ検出結果，及び，長さとしびわれ幅を記載したデータを図面重畳したものとなる (図 4-4-6)。

提供：弊社が DXF または DWG 形式のデータを納品 (オプション提供)

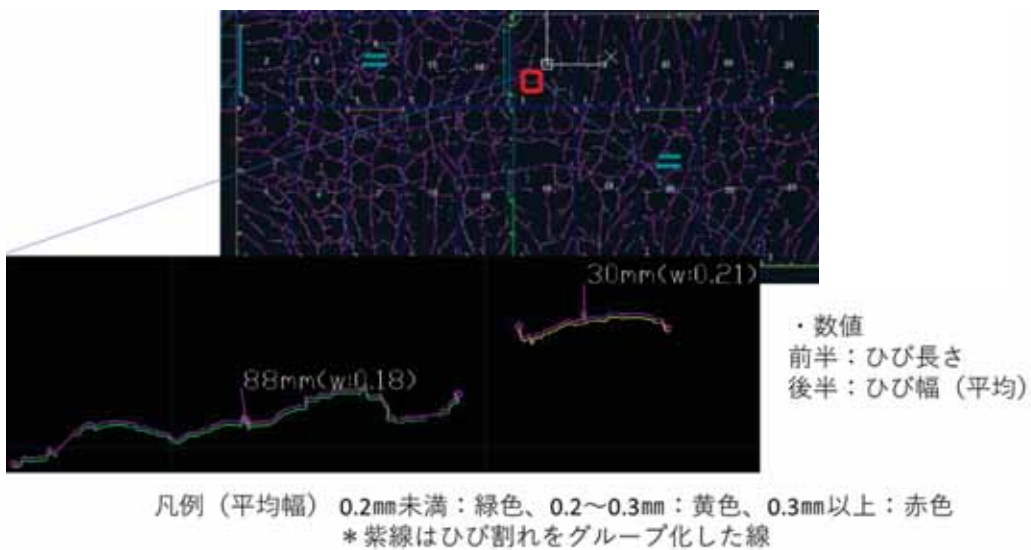


図 4-4-6 DXF 重畳図

⑦A3用DXF重畳図

内容：図 4-4-7 は、DXF 重畳図を A3 印刷した際に見やすくしたものであり、追加の情報として、各ひびわれの内、目立つ長いひびわれに長さ情報を記載（記載の有無は選択可能）する。

提供：弊社が DXF または DWG，および PDF 形式のデータを納品（オプション提供）

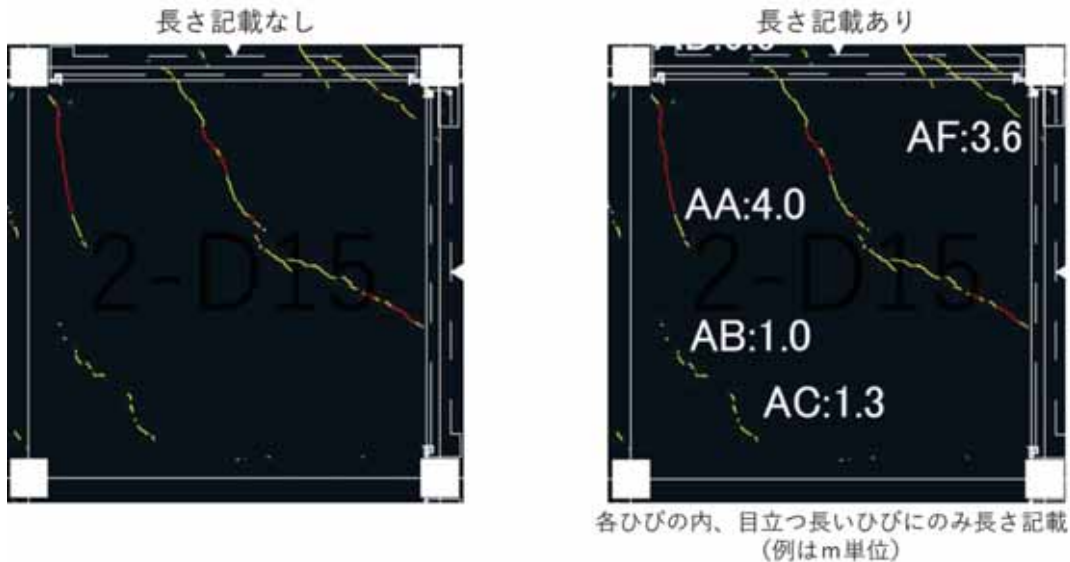


図 4-4-7 A3用DXF重畳図

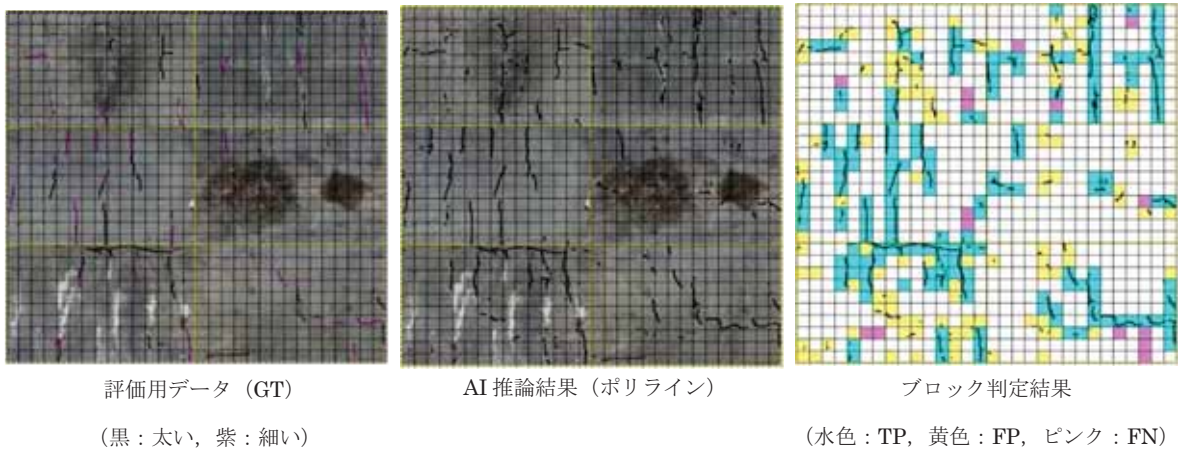
(5) 本技術の性能評価結果

本節では、本技術の性能評価結果の例として、国立研究開発法人土木研究所において実施された令和 3 年度の「点検 AI 開発技術評価(画像解析)」における評価結果を紹介する。

1) 活用シーン②：変状の種類や診断に必要な変状情報の検出（表 3-4）

- ・共同研究内で点検 AI 評価手法が提案され、評価用データに基づき本点検 AI によって推論した床版ひびわれ、遊離石灰、鉄筋露出、剥離の検出結果について評価を行った（漏水・錆汁は未対応）。本報告では、「床版ひびわれ」の評価結果を紹介する。
- ・床版ひびわれのブロック判定結果を図 4-4-8 及び表 4-4-2 に示す。細かいひびわれの未検知を FN 判定（変状の検知漏れ）と見なすか否かで上下段に分けてある。ひびわれの再現性は、細かいひびわれを含めても良好で FN は殆ど無い結果だった。誤検知（FP）と判定されたブロックには遊離石灰を伴うひびわれの推論結果が多く含まれていたが、評価用データ（GT）ではそれらは遊離石灰としてアノテートしていたため、ひびわれの有無としては誤検知（FP）とまでは言えず、GT と AI の仕様の違いであった。

床版ひびわれ（細かいひびわれの未検知は FN 判定）



床版ひびわれ（細かいひびわれの未検知は FN 判定としない）

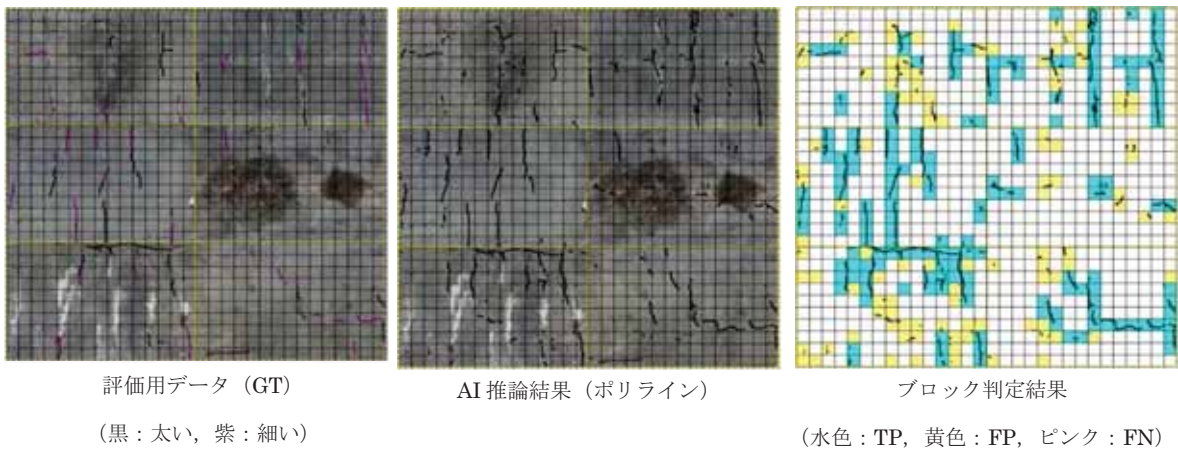


図 4-4-8 床版ひびわれにおけるブロック評価結果

表 4-4-2 ブロック評価におけるスコア値

①床版ひびわれ					
床版ひびわれ (細かいひびわれの未検知は FN 判定)			床版ひびわれ (細かいひびわれの未検知は FN 判定としない)		
Precision (適合率)	Recall (再現率)	F 値	Precision (適合率)	Recall (再現率)	F 値
0.63	0.92	0.75	0.63	1.00	0.77
(TP:176,	FP:105,	FN:15)	(TP:176,	FP:105,	FN:0)

- ・本技術は遊離石灰の有無に依らず、ひびわれを殆ど漏れなく検知出来ている事から、点検作業の流れの中では、目視による精密検査を行う前段階のスクリーニング評価として活用する事によって、時間の掛かる目視点検の対象箇所を限定できるため、その工数を大幅に削減する事が可能になると考えられる。
- ・また、床版の変状状況を全体的に把握する用途には、本技術単独でも十分な精度を有していると考えられる。

2) 活用シーン③-1：ひびわれ検出を対象とし、特定の幅・長さの検出を支援（表 3-4）

- ・点検 AI 評価手法に基づき提示された評価用データから、床版ひびわれの形状として、特定のひびわれ幅と長さを推論した結果について評価した。
- ・ひびわれ幅別の評価データと推論結果を図 4-4-9 に示す。

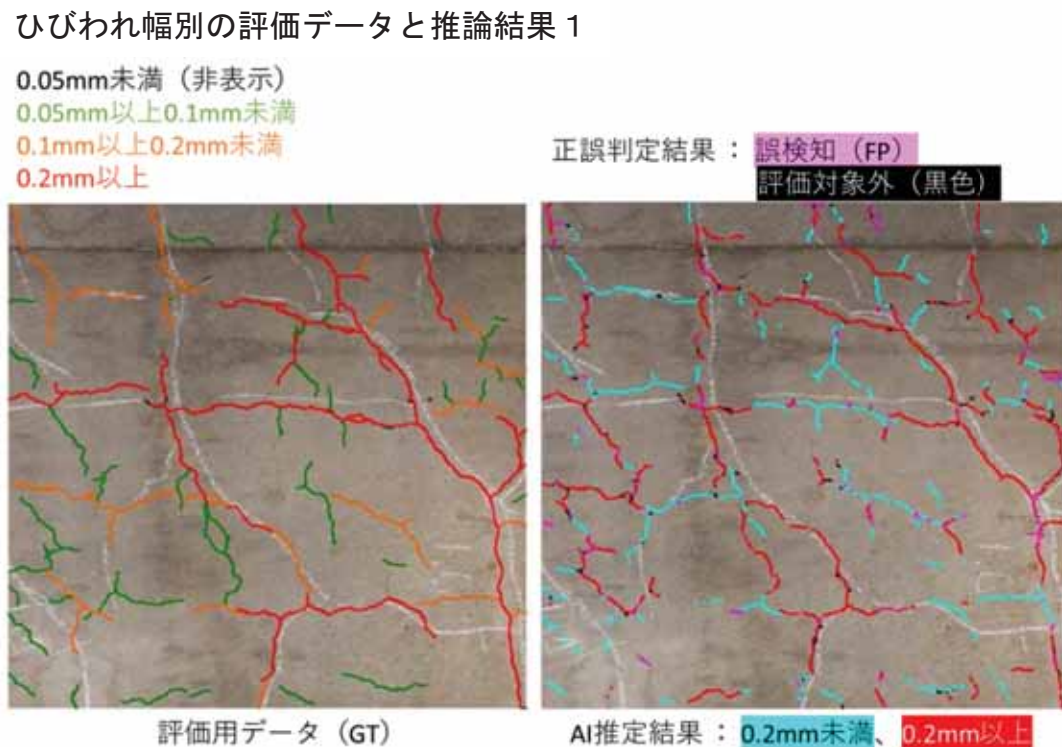


図 4-4-9 ひびわれの推論状況

最大幅 0.2mm 以上のひびわれ全 27 本について、完全に見落とししているものはなく、再現性として、活用シーン③-1 にマッチした高い結果が得られた。

ただし、本技術で推論しているひびわれ幅の一部が小さめな値として推論された理由は、連続した一本のひびわれ幅の平均値を算出して提示しているため、ひびわれ幅が部分的に太くなっている箇所の値を用いる場合と比べて、小さな値になる傾向となった。ひびわれ幅は、本技術の算出方法も含めて複数の測定方法が存在するため、実務活用時には留意点として利用者に周知する必要がある。

- ・ひびわれでないものを誤検知（FP）したものは少なく、適合性からも活用シーン③-1 にマッチングすると考えられる。ただし、ひびわれ周辺のノイズをやや検知しており（黒色）、推論結果にはノイズの影響による蛇行がやや見られた。

- ・提出データでは推論結果の横にひびわれ長さをテキストで提示していたが、この蛇行により多くの推論結果で実際のひびわれ長さよりも 1.2～1.5 倍程度長く表示される傾向があった。
- ・今回評価を行った、活用シーン（幅 0.2mm 以上のひびわれを検出）における Precision（適合率）を示す。この 0.2mm のひび幅は倉庫等のコンクリート床における補修必要性の判断基準とされることが多く、当該目的において最も実用的な基準と言える。

表 4-4-3 活用シーンにおける Precision

GT	Precision (適合率)	過大推論率	過小推論率
最大幅			
活用シーン③-1 ひびわれ幅 0.2mm 以上	92.6%		7.4%

- ・本技術は、表 4-4-3 に示すように 92%以上の高い適合率で、0.2mm 以上のひびわれ幅を検知出来ている結果となった。ただし今回の評価においては連続する最大幅 0.2mm 以上のひびわれの一部区間でも 0.2mm 以上と推論されていれば、TP とされていることに留意が必要である。
- ・本技術では、ひびわれ幅 0.2mm 以上の推論結果だけの提示とした場合は、見逃してはならないひびわれが推論されないケースも予想されるため、実際の実務支援においては幅 0.2mm 未満も含めた提示を行う運用が必要となる。（細かい提示方法は管理者の要望に沿って判断）

4.5 汎用ドローンによる橋梁点検支援

(1) 研究開発者

首都高技術株式会社

(2) 技術活用目的

本技術は、橋梁点検における事前踏査や部分的に近接困難な箇所および小規模な橋梁における目視支援、スクリーニングを安価で簡易に行うことを目的としている。

対象橋梁に対して写真 4-5-1 に示す ANAFI ウルトラコンパクト フライイング PF728005 (以下、ANAFI という) を用いてアプローチし、搭載したカメラにより近接目視点検対象部材へ接近し画像や動画を安価かつ簡易に取得するものである。

ANAFI は、次の点より選定した。

- ・機体の販売価格が 10 万円程度と市販のドローンの中で比較的安価であること。
- ・標準で 180 度チルト機能がついており、桁下から橋梁裏面を撮影できること。
- ・離着陸が自動で行われるため、経験の浅いドローン操作者でも扱いやすいこと。
- ・機体が小さく、経験の浅いドローン操作者でも扱いやすいサイズであること。
- ・機体が小さく、付属する装備も少ないため、飛行までに要する準備時間が短いこと。



写真 4-5-1 ANAFI 機

(3) 技術の特徴

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

ANAFI は、クアッドローターの UAV である。技術的に到達可能な飛行高度は、100m 程度であり、最大約 25 分間の飛行が可能である。また、飛行操作は操縦者による手動制御のみある。

・近接距離能力

近接能力は、目視内飛行を基本として操縦者の操作により任意に近接可能である。障害物検知センサ等はないため、撮影対象との衝突等を避けることを考慮し 2~3m の距離を保って撮影することが望ましい。

B) 撮影性能

・画像の仕様

別途搭載した情報取得用カメラは、4 K画素のものである。撮影した画像は、カメラ内の micro SD カードに保存される。

・撮影対応角度

撮影角度は、チルト機能（機体に対して垂直方向の首振り）のみを有しており、その角度は、±90度である。パン機能（水平方向の首振り）は有しておらず、水平方向への首振りは、機体の平行移動または回転によって対応する。

・ラップ率

ラップ率の制御に関する機能は有していないが、オルソモザイク画像による整理対応を行う部材に関しては、オーバーラップ率 60%、サイドラップ率 80%を目標として対応する。

・取得情報の保存形式

取得した画像は、jpeg, RAW 形式で保存する。

・その他

機体価格は、約 10 万円であり、現場での飛行準備時間も 5 分程度である。安価で簡易に作業が行える。

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

・対象となる橋梁種類

RC, PC, 鋼橋

・アプローチ可能部材

写真 4-5-2 に示す床版, 支承部, 桁へのアプローチを行う。



支承・桁の取得画像



支承・桁の取得画像



橋脚や附属物の取得画像



ドローンの操作状況

写真 4-5-2 アプローチ可能な箇所

B) 取得情報の内容

・撮影の位置情報取得

カメラが位置情報を取得できている場合において、画像の Exif 情報に緯度・経度・高度が記録される。位置情報がない場合は取得不可となる。

・取得可能な変状及び判別方法

撮影した画像から、技術者により変状の有無について確認する。確認する内容は、ひびわれ、遊離石灰、錆汁、腐食等の近接目視点検対象部材の対象物である。また、変状が確認できた画像は、画像名、橋梁名、径間番号、部材名及び変状名を紐づけた一覧表として別途整理・作成する。

・変状の位置情報取得

変状の位置情報の取得整理は行っていない。

3) 取得情報の表現

・オルソモザイク画像化の有無

ANAFI は、部分的な範囲での点検支援を想定しているためオルソモザイク画像化は行わないことを想定している。

オルソモザイク画像化を行う場合、品質の担保は、オルソモザイク画像の一部において、元画像と比較し、明らかな画像劣化や特徴の潰れがないことを点検技術者の判断によって確認する。

・3次元モデル化の有無

オルソモザイク画像の作成にあたり、SfMにて点群データは中間ファイルとして生成するが、点群データを基にした3次元モデル化は行っていない。支承部においては、オルソモザイク画像は作成しないため、点群モデルは作成されない。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

ANAFI は、山間部や河川上の橋梁全般に活用で可能と考えられる。具体的には、写真4-5-3に示すように山間部や河川上などの高架下へのアクセスが困難な橋梁に対して、踏査時などに橋梁の状態が把握できないことが考えられる。過去の点検結果を確認することや橋梁点検車で近接し初めて橋梁の状態が把握できる。

ANAFI を活用することにより、点検技術者（受注者）が、踏査時に高架下からの遠望橋梁の状態や点検に必要な現場状況を安価で手軽に把握することができ、近接目視点検および詳細調査を支援することを想定する。



河川上の橋梁

高架下へのアクセスが困難な橋梁

写真 4-5-3 ANAFIにおける支援箇所

踏査時に対象橋梁の床版や部材に可能な限り近接し、新規変状の有無や既存変状の画像を取得することで、近接目視点検時の点検精度や点検速度、詳細調査の必要性と必要な機材等を判断することが可能。

導入効果としては、全体工程として、事前踏査時に ANAFI での飛行撮影時間等は増加するが、トータルとして、効率および経済性も向上しメリットのある手法と考えられる。

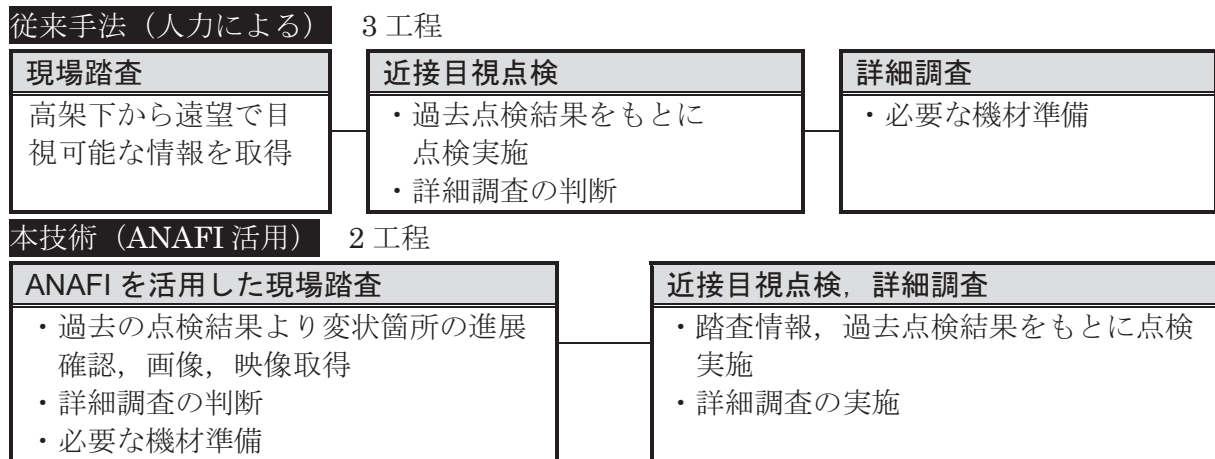


図 4-5-1 従来技術との比較イメージ

なお，以下に ANAFI を含めたドローンによる点検の一般的なメリット，デメリットを挙げる．

（メリット）

- ・現場において，短時間で点検が可能

ドローンにより対象橋梁を撮影するのみであるため，動画撮影であれば短時間で映像の取得が可能と考えられる．

- ・多くの人員を必要としない

ドローンの操縦者と補助者（2 名以上）で点検が可能

- ・安全に点検が可能

これまでの現場での事故（足場からの転落，足場内での転倒，高所作業車・橋梁点検車と構造物の接触など）は起きない

※法令上，近接目視が原則であるが，近接目視が困難な橋梁（足場も仮設が困難）もしくは橋梁の一部では，下記のメリットも考えられる．

- ・高架下等からの遠望目視より近接した画像・映像を確認可能

（デメリット）

- ・打音による点検が不可能

- ・橋梁の立地条件に左右される

都市部や住宅街等での飛行には制限があり，航空法により飛行申請が必要

- ・天候に左右される

雨天時や強風時の点検は不可能

2) 診断への情報提供

橋梁名，径間番号，部材名，変状名，画像名，画像データを提供可能である．

4.6 小型ドローンによる橋梁点検支援

(1) 研究開発者

首都高技術株式会社

(2) 技術活用目的

本技術は、橋梁点検における事前踏査、部分的に近接困難な箇所および小規模な橋梁における目視支援、スクリーニングを安価で簡易に行うことを目的としている。

具体的には、近接目視時に足場架設が必要となる床版、支承部等に対して、写真 4-6-1 に示す Skydio2(Skydio 社)を用いてアプローチし、搭載したカメラにより近接目視点検対象部材への点検方法検討用および状況に関する画像を安価かつ簡易に取得するものである。

Skydio2 は、次の点より選定した。

- ・標準で 180 度チルト機能がついており、桁下から橋梁裏面を撮影できること。
- ・指定したルートを飛行するプログラム制御、支障物への近接能力が約 50cm であること。
- ・機体が小さく、経験の浅いドローン操作者でも扱いやすいサイズであること。
- ・機体が小さく、付属する装備も少ないため、飛行までに要する準備時間が短いこと。



写真 4-6-1 Skydio2 機体

(3) 技術の特徴

本技術の特徴に関して、下記項目に関して記載する。

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

Skydio2 は、クアッドローターの UAV である。技術的および運用上到達可能な飛行高度は、最大 100m であり、最大約 20 分間の飛行が可能である。また、飛行操作は操縦者による手動制御と飛行前に機体の高度、向き、カメラ角度など設定することで、指定したルートを飛行するプログラム制御の 2 種類がある。撮影対象に応じて操縦操作を切り替えて行う。

・近接距離能力

近接能力は、約 50cm まで近接可能である。撮影対象までの距離は、上下 6 つの魚眼レンズで 360°対象物との距離を算出し、障害物を自動で回避する自律飛行が可能である。そのため GNSS の届きにくい橋梁下や電磁波が発生する高圧鉄塔周辺などの現場環境においても安定した飛行が可能である。

B) 撮影性能

・画像の仕様

別途搭載した情報取得用カメラは、4K画素のものである。撮影した画像は、カメラ内のSDカードに保存される。

・撮影対応角度

撮影角度は、チルト機能（機体に対して垂直方向の首振り）のみを有しており、その角度は、±90度である。パン機能（水平方向の首振り）は有しておらず、水平方向への首振りは、機体の平行移動または回転によって対応する。

・ラップ率

ラップ率の制御に関する機能は有していないが、オルソモザイク画像による整理対応を行う部材に関しては、オーバーラップ率 60%、サイドラップ率 80%を目標として対応する。

・取得情報の保存形式

取得した画像は、jpeg, RAW形式で保存する。

・その他

現場での飛行準備時間も付属物が少ないため短時間で行える。

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

・対象となる橋梁種類

RC, PC, 鋼橋

・アプローチ可能部材

写真 4-6-2 に示す床版, 支承部, 桁へのアプローチとなる。



桁間へのアプローチ状況



橋脚天端支承部へのアプローチ状況



桁端部へのアプローチ状況



桁間へのアプローチ状況

写真 4-6-2 具体的なアプローチ箇所

B) 取得情報の内容

・撮影の位置情報取得

カメラが位置情報を取得できている場合において、画像の Exif 情報に緯度・経度・高度が記録される。位置情報がない場合は取得不可となる。

・取得可能な変状及び判別方法

撮影した画像から、技術者により変状の有無について確認する。確認する内容は、ひびわれ、遊離石灰、錆汁、腐食等の近接目視点検対象部材の対象物である。また、変状が確認できた画像は、画像名、橋梁名、径間番号、部材名及び変状名を紐づけた一覧表として別途整理・作成する。

・変状の位置情報取得

変状の位置情報の取得整理は行っていない。

3) 取得情報の表現

・オルソモザイク画像化の有無

Skydio2 は、部分的な範囲での点検支援を想定しているためオルソモザイク画像化は行わないことを想定している。

オルソモザイク画像化を行う場合、品質の担保は、オルソモザイク画像の一部において、元画像と比較し、明らかな画像劣化や特徴の潰れがないことを点検技術者の判断によって確認する。

・3次元モデル化の有無

オルソモザイク画像の作成にあたり、SfMにて点群データは中間ファイルとして生成するが、点群データを基にした3次元モデル化は行っていない。支承部においては、オルソモザイク画像は作成しないため、点群モデルは作成されない。

(4) 活用シーン

1) 活用例①

活用例となる具体的な活用場所は、河川上の橋梁全般（トラス橋や斜張橋、吊り橋等の床版部や部材）を想定したものとなる。

点検技術者（受注者）が、対象橋梁の踏査を行う際に Skydio2 を活用し、近接目視点検の補助および詳細点検を支援することを想定。

踏査時に対象橋梁の床版や部材に安全に近接し、新規変状の有無や既存変状の画像を取得することで、詳細調査の必要性と必要な機材等を判断することが可能。Skydio2 の障害物の回避する機能により、主桁間などの汎用ドローンではアプローチしにくい現場環境においても安定した飛行が可能であるため、各部材への近接が行える。

導入効果として、図 4-6-1 に示すように再度詳細調査のために現場へアプローチする必要がなくなり、効率および経済性が向上することが考えられる。

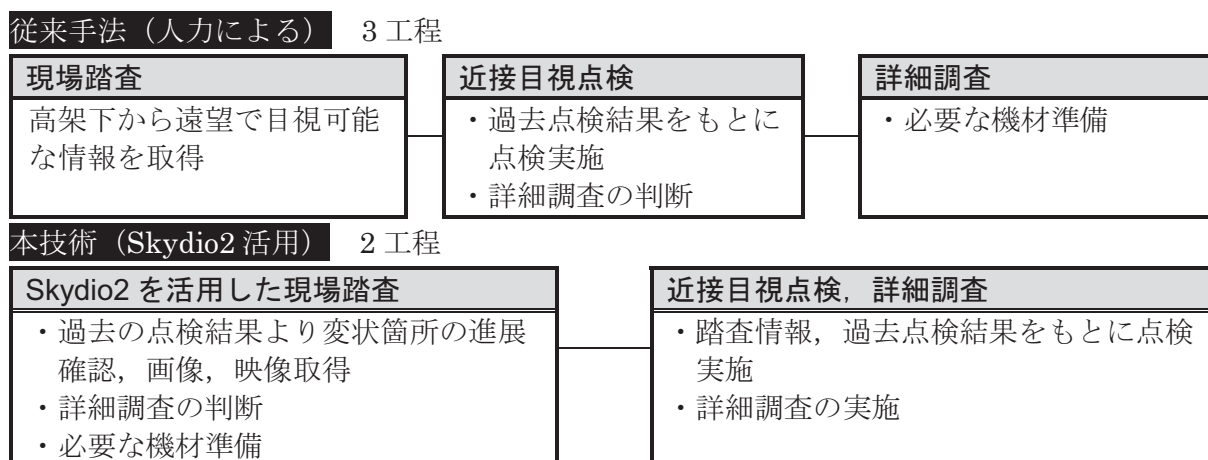


図 4-6-1 従来と活用例①の比較

2) 活用例②

写真 4-6-3 に示すトラス橋や斜張橋、吊り橋等の部材が入り組む橋梁全般への点検支援を想定したケースとなる。

点検技術者（受注者）が、これまで橋梁点検車では近接目視点検が不可能であった橋梁に Skydio2 を活用し、近接目視点検の補助および詳細調査を支援することを想定。

足場を仮設することで近接目視点検等の実施が可能であるが、足場の常設は困難である。例えば、経過観察が必要な変状箇所やある場合などは Skydio2 を活用する、近接目視点検自体を Skydio2 にて実施することも想定する。

トラス部材等に安全に近接し、新規変状の有無や既存変状の画像を取得することで、近接目視点検の代替え、詳細調査の必要性と必要な機材等を判断することが可能。Skydio2 の障害物を回避する機能により、汎用ドローンではアプローチしにくい部材が入り組んだ現場環境においても安定した飛行が可能であるため、各部材への近接が行える。

これにより、これまで近接が非常に困難であった現場へアプローチすることが可能となり、点検を実施する橋梁の安全性が向上することが考えられる。



トラス橋（入り組んだ部材で近接困難）

写真 4-6-3 具体的なアプローチ箇所

導入効果としては、図 4-6-2 に示す近接目視点検の代替え手法として活用できれば、必要な箇所への足場設置のみを行うなど効率性や費用面でも有効となると考えられる。

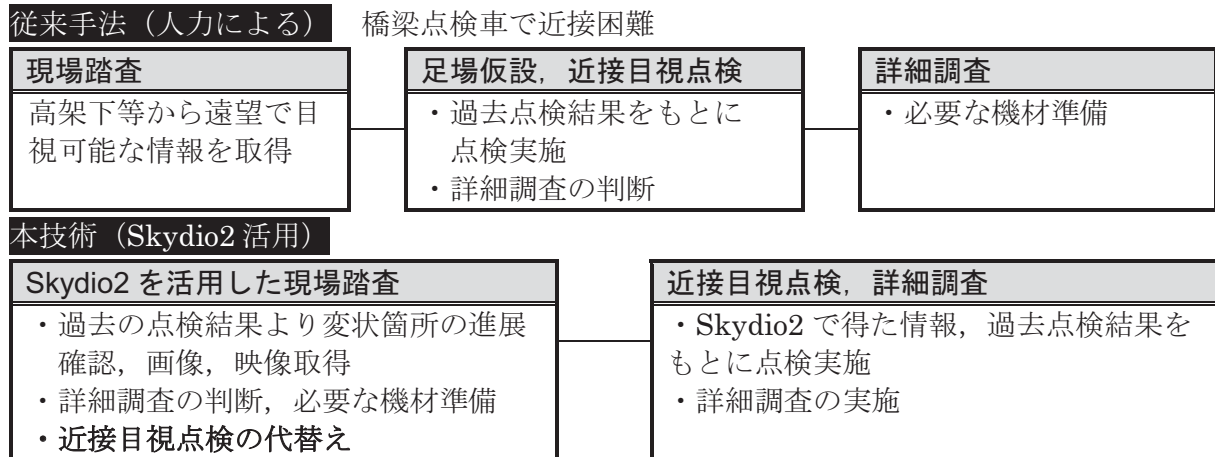


図 4-6-2 従来と活用例②の比較

なお, Skydio2 を含めたドローンによる点検の一般的なメリット, デメリットとして以下が考えられる.

(メリット)

- ・現場において, 短時間で点検が可能
ドローンにより対象橋梁を撮影するのみであるため, 動画撮影であれば短時間で映像の取得が可能と考えられる.
- ・多くの人員を必要としない
ドローンの操縦者と補助者 (2 名以上) で点検が可能
- ・安全に点検が可能
これまでの現場での事故 (足場からの転落, 足場内での転倒, 高所作業車・橋梁点検車と構造物の接触など) は起きない

※法令上, 近接目視が原則であるが, 近接目視が困難な橋梁 (足場も仮設が困難) もしくは橋梁の一部では, 下記のメリットも考えられる.

- ・高架下等からの遠望目視より近接した画像・映像を確認可能

(デメリット)

- ・打音による点検が不可能
- ・橋梁の立地条件に左右される
都市部や住宅街等での飛行には制限があり, 航空法により飛行申請が必要
- ・天候に左右される
雨天時や強風時の点検は不可能

3) 診断への情報提供

橋梁名, 径間番号, 部材名, 変状名, 画像名, 画像データを提供することが可能となる.

4.7 劣化損傷自動検出 サービスによる橋梁点検支援

(1) 研究開発者

首都高技術株式会社

(2) 技術活用の目的

本技術は、橋梁点検において取得された画像情報から変状抽出・整理(弁別)の支援を目的としている。具体的には、床版のような広範囲にわたる点検時にひびわれや遊離石灰等の変状を抽出・整理する場合、人員及び時間を要する。そこで、本技術では高架下から撮影した画像や、検査車両、ドローンに搭載されたカメラによる画像から点検や診断に必要な特徴を持ったひびわれおよび遊離石灰を自動で検出・推定することにより、点検作業の効率化や診断の支援を図るものである。

(3) 技術の特徴

1) 主要仕様

本技術は、テクノハイウェイ㈱が提供するクラウドサービスとして稼働している。利用は、同社が提供する Web アプリケーションまたは自社システムから WebAPI を介して行う。点検対象の撮影を、一般的なデジタルカメラのほか、検査車両、ドローンに搭載されたカメラを用いることで行い、撮影された画像をクラウドサービスへ送信し、結果を受信する。

本技術の劣化損傷検出システムは、画像の明るさや色合い等を正規化するなどの画像処理技術、特徴抽出および抽出された特徴パターンから劣化損傷を検出するディープラーニングを用いた検出技術により構成されている。これをクラウドサービスとして検出機能を提供するよう実装したことで、処理枚数に関わらず、入力画像の転送から 10 秒前後で結果を出力することが可能となっている。ただし、処理時間はインターネットの接続環境等により前後することがある。

A) 適用可能な画像

一般的なデジタルカメラによる手持ち撮影を基本とする。

離れた位置から撮影する場合は、望遠レンズを装着し、三脚に固定して撮影することが望ましい。

検査車両、ドローン等の移動装置に搭載されたカメラによって撮影する場合は、フォーカス、ブレ、コントラストに留意する。

画像の仕様は、ひびわれ幅 0.1 mmを検出するためには、対象を 0.3 mm/Pxel 以下で撮影する必要がある。

B) 推論可能な変状

本技術は、写真 4-7-1 に示す 0.2 mm以上のひびわれ変状の推論が可能である。

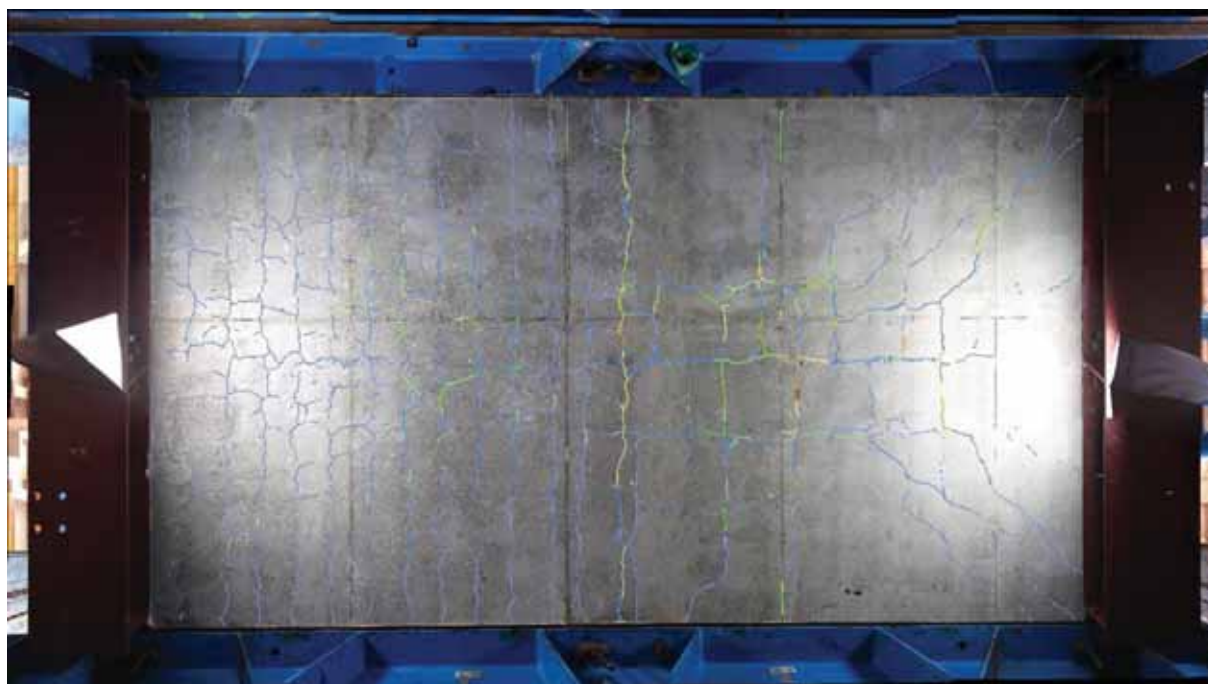


写真 4-7-1 ひびわれ検出例

C) 本技術の性能評価

推論可能なひびわれについて、本共同研究内で行った性能評価を以下に示す。

なお、本技術は、点検 AI 要領案に基づき、ひびわれ変状に関する推論性能の評価（ポリライン）を実施した。

評価用データ A では、ひびわれ変状の検出のみを目的とした推論性能について評価を実施し、評価用データ B では、ひびわれの幅・長さの推論性能について評価を実施した。

・評価用データ A（ひびわれ変状のみを検出する）

写真 4-7-2 に示す評価用データ A の仕様は、画像サイズ 6,000px×6,000px(6 枚の画像で構成、各画像 3,000px×2,000px)、実寸 3,000mm×3,000mm、(6 枚の画像で構成、各画像 1,500mm×1,000mm)、画素分解能 0.5mm/px、部材として RC 床版 (6 枚の画像は全て同じ橋梁) となる。



a) 評価用データ A



b) AI による推論結果

写真 4-7-2 評価用データ A と推論結果

<評価方法>

- 評価データの解答に基づき正解となる推論結果をブロック評価
- ブロックサイズ：10 cm×10 cm
- 精度算出方法：適合率，再現率，F 値を算出

<評価結果>

●床版ひびわれ（細いひびわれ^{※1}も検出対象とする場合）

- 再現率 79%
- 適合率 84%
- F 値 82%

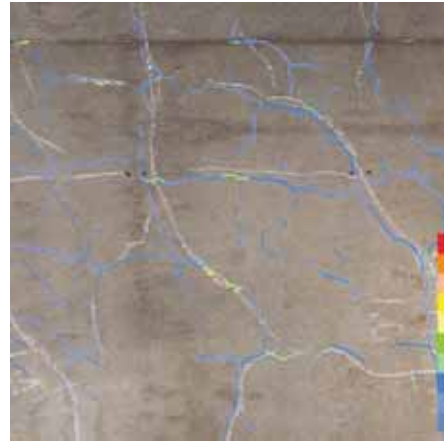
●床版ひびわれ（細いひびわれ^{※1}を検出対象としない場合）

- 再現率 99%
- 適合率 84%
- F 値 91%

※1：細いひびわれ＝0.2 mm未満のひびわれ

- ・評価用データ B (ひびわれの幅・長さを検出)

写真 4-7-3 に示す評価用データ B の仕様は、画像サイズ 3,000px×3,000px, 実寸 900mm×900mm, 画素分解能 0.3mm/px, 部材 RC 床版となる。



a) 評価用データ B

b) AI による推論結果

写真 4-7-3 評価用データ B と推論結果

<評価方法>

評価として、ひびわれ長さについては、評価データの解答となるひびわれ総延長に基づき正解となる推論されたひびわれ総延長を評価した。精度算出方法は、適合率、再現率、F 値とした。

ひびわれ幅の評価は、幅の分別：評価データの解答となるひびわれ総箇所に基づき正解となるひびわれ推論箇所を評価した。精度算出方法（幅の適合率）は、以下に基づき、適合率と過大（過小）推論率とした。

- 適合率 = AI が正しく幅を推定した箇所数 / AI がひびわれとして正しく検知した箇所数 × 100
- 過大（過小）推論率 = AI が過大（過小）に幅を推定した箇所数 / AI がひびわれとして正しく検知した箇所数 × 100

<評価結果>

【長さ】

- 細かいひびわれ^{*1}も検出対象とする場合
 - 再現率 71.0%
 - 適合率 94.4%
 - F 値 69.9%
- 細かいひびわれ^{*1}を検出対象としない場合
 - 再現率 88.7%
 - 適合率 94.4%

【幅】

●細かいひびわれ^{※1}も検出対象とする場合

- ▶ 適合率 (precision) 45.1%
- ▶ 過大推論率 26.5%
- ▶ 過少推論率 28.4%

●細かいひびわれ^{※1}を検出対象としない場合

- ▶ 適合率 (precision) 18.5%
- ▶ 過大推論率 —
- ▶ 過少推論率 81.5%

今回評価に用いたデータにおいて、幅 0.2mm 以上のひびわれ長さの再現率は良好であった。ひびわれ幅については、過少に推論する傾向にあったため、撮影対象にクラックゲージを貼り付ける等により、写真中にひびわれ幅の判断情報を追加し活用することが望ましい。

※1：細かいひびわれ＝0.2 mm未満のひびわれ

2) 適用範囲

コンクリート構造物：上部構造（主桁、横桁、床版等）／下部構造（橋脚、橋台等）

3) 点検における支援場面

【支援技術の活用場面 1】点検作業の効率化を目的とした活用

点検技術者が“劣化損傷自動検出 サービス”を活用することにより、写真 4-7-4 に示すように高架下から取得する画像を用いて、『ひびわれ』を自動で検出する。



写真 4-7-4 高架下から撮影

コンクリート構造物のひびわれ状況を定量的に示し道路管理者へ報告し、足場仮設による詳細点検や補修の必要性を提言することが可能である。

従来は、点検技術者が橋梁に近接してチョーキングやひびわれ幅、長さを計測していたが、高架下より所定の撮影方法で画像を取得するのみとなるため、効率が向上するとともに費用の低減も見込まれる。

活用に当たっての留意点として、本共同研究内での性能評価で 0.2 mm以上のひびわれを過少に推論する傾向にあったため、撮影対象にクラックゲージを貼り付けることや、写真中にひびわれ幅の判断情報を追加し活用することが望ましい。

実橋での実証評価の結果、図 4-7-1 に示すように検証の従来の点検時における作業と比較し、本技術の活用によって、約 50%の作業効率が期待できる。

従来手法（人力による）		計 11.3 人日	
現地点検	点検結果整理	調書等作成	
点検時間：1 日/100m 点検技術者：2 人	写真整理：1 人 (0.5 橋/日) 現地調書の精査：2 人 (1 橋/日) ※劣化状況による	カルテ作成：1 人 (0.5 橋/日) 損傷図作成：1 人 (0.3 橋/日) ※劣化状況による	
2 人日	4 日人	5.3 日人	
本技術（劣化自動損傷検出）		計 5.5 人日	
現地点検	点検結果整理	調書等作成	
点検時間： 0.25 日/100m 点検技術者： 1 人	写真整理： 1 人 (4 橋/日) 現地調書の精査：2 人 (1 橋/日) ※劣化状況による	カルテ作成：1 人 (0.5 橋/日) 損傷図作成：1 人 (1 橋/日) ※劣化状況による	
0.25 人日	2.25 日人	3 日人	

図 4-7-1 支援技術の活用場面 1 における従来手法との比較

※赤字：本技術により効率化されることが考えられる作業

【支援技術の活用場面 2】点検困難箇所への適用

点検技術者が“劣化損傷自動検出 サービス”を活用することにより、写真 4-7-5 に示すような橋梁点検車や高所作業車で近接が困難な橋梁（河川や港湾上の橋梁）において、高架下から取得する画像を用いて、『ひびわれ』を自動で検出する。



a) 高架下に高所作業車設置困難な例



b) 高架下から撮影状況

写真 4-7-5 点検困難箇所での点検

近接が困難な橋梁のひびわれ状況を定量的に示し道路管理者へ報告し、足場仮設による詳細点検や補修の必要性を提言することが可能である。

従来は、ロープアクセスや足場仮設により、橋梁に近接してチョーキングやひびわれ幅、長さを計測していたが、高架下より所定の撮影方法で画像を取得するのみとなるため、効率が向上するとともに費用の低減も見込まれる。

本共同研究内での性能評価で 0.2 mm以上のひびわれを過少に推論する傾向が見られたため、撮影対象にクラックゲージを貼り付けることや、写真中にひびわれ幅の判断情報を追加し活用することが望ましい。点検困難箇所で前述の措置が取れない場合は、過年度の報告書などをもとに道路橋点検士がひびわれの推論結果をチェックすることが望ましい。

4) 診断への情報提供

入力画像上に検出結果を描画した JPEG 画像のほか、CAD データ (DXF, SXF, SVG) として出力することが可能である。

出力内容は、オプション指定によって JPEG 画像ではひびわれ幅ごとの色分け、数値表示の有無等が選択でき、CAD データではレイヤー分け、数値情報の有無等が指定できる。

4.8 附属物基部の変状を検知する AI

(1) 研究開発者

一般財団法人首都高速道路技術センター

(2) 技術活用目的

首都高速道路では 5 年に 1 度の定期点検を接近点検により実施しており、高速道路上の構造物は車両の通行規制をした上で行っている。一方、日常点検としてパトロールカーによる巡回点検も実施されており、走行しながらの目視点検に加え、近年ではビデオ撮影により点検後にも状況を確認できるようにしている。このパトロールカーによる点検は大地震や台風等の発生後に臨時点検としても実施され、一般車両が安全に走行できるかを確認している。

パトロールカーによる走行中の撮影映像から変状を検出することが可能になれば、目視点検を支援でき、効率化が実現できる。本検討では、このような点検に適用可能な AI を目指している。

なお、本技術は現在研究開発中であるため、ここでは現時点の検討方針及び状況を記載する。

(3) 技術の特徴

1) 主要仕様

A) 適用可能な画像

本検討では、走行車両から遮音壁基部の画像データを得るため、車両の進行方向に対して垂直～やや前方を向いてビデオカメラにより撮影した(写真 4-8-1)。

映像の取得方法、学習に用いた画像の仕様は下記のとおりである。

<映像の取得方法>

- ・左側の遮音壁は左側車線を走行して撮影、右側の遮音壁は右側車線を走行して撮影
(最高速度は 60km/h)
- ・ハンディタイプのビデオカメラにより撮影
- ・1 秒間に 30 コマを撮影
- ・車両の進行方向に対して、垂直方向～やや前方を撮影
(本検討ではビデオカメラを手持ちで撮影したため、一律の角度とならない)
- ・遮音壁基部を中心として、上部に遮音壁の一部、下部にコンクリート高欄の一部が写るように撮影
(ただし、対象物までの距離は路側帯の幅員等により変化するため、撮影範囲は一定ではない)

<画像の仕様>

- ・映像は PNG ファイルに変換
- ・画像サイズは 1,920×1,080 ピクセル
- ・変状の検出を目的とするため、分解能については規定していない

<留意事項>

- ・出入口やダブルデッキ下層は暗いため、適切な照度を確保する必要がある



コンクリート高欄上に設置された遮音壁



遮音壁基部の撮影例

写真 4-8-1 撮影した映像（画像変換後）の例

B) 推論可能な変状

遮音壁基部のぐらつき等、道路利用者や高架下の第三者へ影響を及ぼす可能性のある以下に示す変状を対象にしている(写真 4-8-2).

- ① ベースプレートに接するモルタルの剥離
- ② ベースプレートとモルタルの間の隙間（ベースプレートの浮き）
- ③ ボルト・ナットの変状（ナット欠損，余長不足）

①のモルタルの剥離，②のベースプレートの浮きは，セマンティックセグメンテーションによるアノテーションを行う。

③のボルト・ナットの変状は，ボルト及びナットをそれぞれセマンティックセグメンテーションによるアノテーションを行い，画像解析により変状を検出する。

（例えば，ボルトの余長不足はナット高さに対してボルト高さの比率が小さい など）



モルタルの剥離



ベースプレートの浮き



ナット欠損（シングルナット）



ボルトの余長不足

写真 4-8-2 各変状の例

2) 適用範囲

対象とする部位は前述のとおり遮音壁基部であり、遮音壁の支柱をコンクリート高欄に固定する部分（写真 4-8-3 の赤囲み部分）としている。

道路利用者や高架下の第三者へ影響を及ぼさないことが重要であり、支柱が傾いたりぐらつくような事象を把握するため、前述した遮音壁基部の変状を検出することを目的としている。

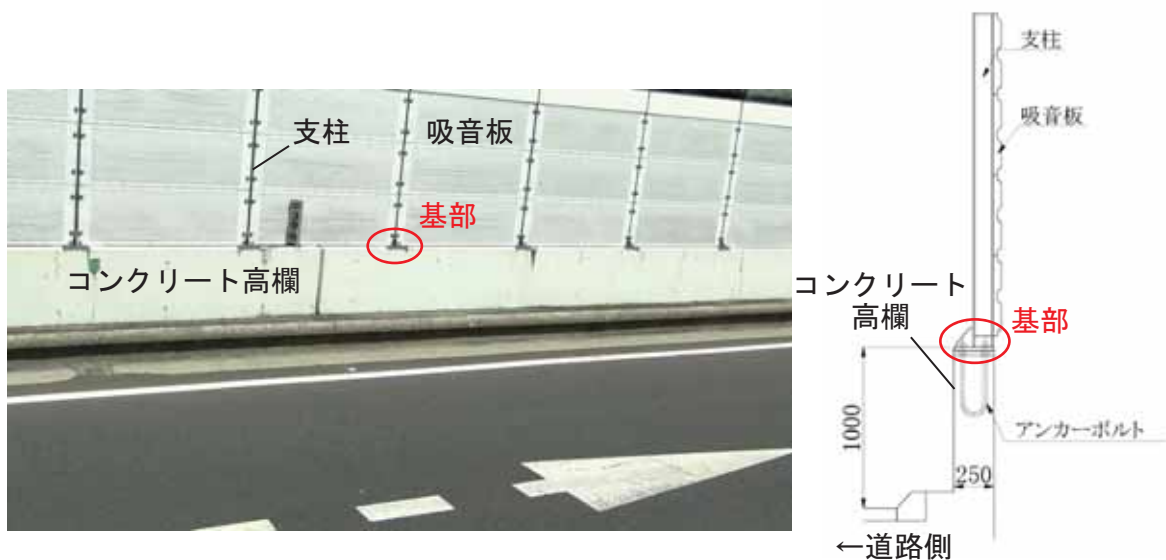


写真 4-8-3 遮音壁基部の位置

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

「技術活用の目的」に記した首都高速道路の点検において、本技術を以下のとおり位置づけている。

- ・定期点検：現状は接近点検が基本であるが、本技術の精度が十分に確保できれば将来的にスクリーニングとして活用することが可能。
- ・日常点検：定期的を実施している点検であり、本技術の活用が可能。
- ・臨時点検：本技術の主な活用シーンとして想定。

臨時点検は大地震や台風等の異常事態発生後に構造物等の変状を把握する目的で実施する点検であり、通行止め規制下において一刻も早く交通開放するため、安全を確認することが求められている。

臨時点検では、点検員は走行中の車両から目視で確認するため、人が確認する対象は明らかに緊急対応が必要な大きな変状に主眼が置かれる。本技術は対象構造物及び部位を遮音壁の基部とし、道路利用者や高架下の第三者へ影響を及ぼす可能性のある変状を検出することを目指す。AIによる変状の検出をスクリーニングとして活用し、変状の可能性のある箇所をピックアップした上で、点検員が現地で直接確認する流れを想定している。

なお、本技術が実用化された場合、遮音壁と同じようにコンクリート高欄上に支柱が設置されている標識柱や照明柱の基部に対しても活用シーンを広げられる可能性がある。

2) 診断への情報提供

本技術では、変状として検出された画像が出力される。これを人が診断し、必要に応じて現場で確認することを想定している。

なお、本検討の対象は附属施設物のため、主に本体構造を対象とする診断エキスパートシステムへの情報提供や連携は現時点で想定していない。

4.9 マルチコプタ点検システム

(1) 研究開発者

大日本コンサルタント株式会社

(2) 技術活用の目的

本技術は、マルチコプタ（※1）に搭載した光学デジタルカメラにより、鉄筋コンクリート橋脚（柱）に発生する「ひびわれ」、「剥離・鉄筋露出」などの変状を検出して計測するもので、近接目視を支援する技術として定期点検時の状態把握に活用することを目的としている。

※1 ドローンの一種で複数の回転翼を有する無人航空機。

(3) 技術の特徴

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

「マルコ®」の点検対象へのアプローチ技術は、マルチコプタ型の UAV である。実際の橋梁点検現場でのアプローチ実績は、陸上、海上、河川上に設置された橋脚（柱）に対して、最大水平距離≒120m、最大鉛直距離≒40m である。

・近接距離能力

近接距離能力は、機体に搭載した 2 次元 LiDAR により橋脚（柱）の表面形状を推定し、カメラ（機体）と橋脚（柱）表面との距離を $2.0\text{m} \pm 0.4\text{m}$ に自動制御している。同自動制御は、矩形柱、円柱および小判型柱に対応している。

B) 撮影性能

・画素の仕様

画素の仕様は、最小ひびわれ幅 = 0.1mm を確保するための撮影仕様として 0.4mm/px に設定している。同画素の仕様は、「マルコ®」機体に搭載された自動制御により確保される。

・撮影対応角度

撮影対応角度は、最小ひびわれ幅 = 0.1mm を確保するための仕様として正対（ $\pm 0^\circ$ ）に設定している。同撮影角度は、「マルコ®」機体に搭載された自動制御により確保される。

- ・ラップ率

ラップ率は、オルソモザイク化したときの面的な最小ひびわれ幅=0.1mm の確保およびフォトグラメトリ精度を確保するため、オーバーラップ率=80%程度、サイドラップ率=50%程度に設定している。

- ・取得情報の保存形式

取得情報の保存形式は、撮影段階では jpeg 形式（最高画質）、オルソモザイク作成段階では jpeg 型式（90）で保存している。

- ・その他

- 国土交通省が公開する「点検支援技術性能カタログ 令和 3 年 10 月 国土交通省」（「性能カタログ」と呼称する）に掲載中の技術である。
- 限定的な条件に対する性能が取りまとめられた「性能カタログ」を補完し、想定される実際の現場条件での運用を可能とする「技術マニュアル」を作成して配布している。
- 「マルコ®」機体には、自動間隔制御機能や自動正対制御機能が実装されており、矩形柱の他、円柱や小判型柱についても精度管理された飛行撮影が可能である。
- 遠かったり高かったりする部材の被写体照度を ISO 感度から推定する手法を開発し、実際の点検現場での精度管理を可能としている。
- 操縦者位置の大幅な移動、離着陸位置の大幅な移動がない良好な飛行撮影条件では、300m²毎時の飛行撮影能率を実現している。
- 飛行撮影したオリジナル画像だけでなく、損傷図画（※1）、損傷写真および精度管理結果まで納品可能であり、ロープ高所作業による近接目視成果と同様に取り扱うことが可能である。建設コンサルタントや点検会社に特別な技術や技能を要求しない。

※1 建設コンサルタントや点検会社の点検員による損傷の状態把握を支援する CAD 図。

- ・陸上橋脚に加え、海上橋脚（柱）=1 基、河川など水上橋脚（柱）=7 基の実績がある（写真 4-9-1）。



写真 4-9-1 河川内橋脚（小判型柱）実施例

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

- ・対象となる橋梁種類
鋼橋・コンクリート橋
- ・アプローチ可能部材
- ・RC 橋脚（柱）のうち，矩形柱，円形柱および小判型柱にアプローチ可能である．なお，化粧型枠の使用などにより表面に段差，溝などがある場合は適用が困難である．
- ・ただし，上部工桁下面，梁下面などから，また，地面，水面などから高さ=1.5m の範囲は最小ひびわれ幅=0.1mm 仕様の飛行撮影が困難であるため，別途，損傷の状態把握を行なう必要がある．同範囲は，一般に点検車を使用した上部工点検時や地上から近接目視点検を行なっている．
- ・また，操縦位置から機体を見通せることが必要である．

B) 取得情報の内容

- ・撮影の位置情報取得
本機器内に位置情報取得機能はなくオリジナル画像に位置情報がないが，オルソモザイク画像作成時に撮影位置の位置情報が任意の小座標系に対して自動的に取得される．また，位置情報の座標系に対応したオイラー角も自動的に取得され，これらの情報については追加費用が不要である．
- ・取得可能な変状及び判別方法
 - 取得可能な変状は「ひびわれ／剥離・鉄筋露出／漏水・遊離石灰／補修・補強材の変状／うき（※1）／変色・劣化／漏水・滞水／変形・欠損」である

※1 段差のついたひびわれなど部材表面に顕在化している場合のみ検出可能(写真 4-9-2).



写真 4-9-2 段差のついたひびわれが視認され「うき」と把握できる事例

出典：国土技術政策総合研究所資料第 748 号道路橋の定期点検に関する参考資料(2013 年版)橋梁損傷事例写真集

- ▶ 変状の判別方法は、まず、飛行撮影したオリジナル画像を使用して中間ファイルとしての 3 次元モデルを作成した後、同 3 次元モデルを使用して 2 次元オルソモザイク画像を作成する。作成した 2 次元オルソモザイク画像を目視して、点検員資格を有する技術者が損傷図画の作成を行なう。なお、「ひびわれ」幅の計測は、図 4-9-1 に示す「マルコ®」が保有する「基準ひびわれ画像」を使用して分類・計測を行なっている。現状、「ひびわれ」の検出については、損傷図画の作成効率の向上を確認した「テクノハイウェイ株式会社／ひびわれ検出クラウドサービス」(※2)を利用している。

※2 <https://www.technohighway.co.jp/>

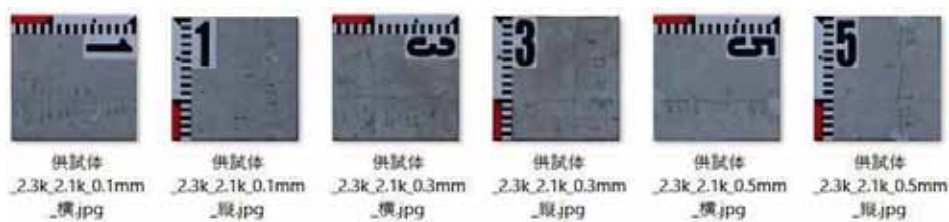


図 4-9-1 「マルコ®」が保有する「基準ひびわれ画像」例

・変状の位置情報取得

本機器内に位置情報取得機能は無いが、オルソモザイク画像作成に際する中間ファイルとして作成した 3 次元モデルを利用して、任意の小座標系に対する位置情報の取得が可能である。

3) 取得情報の表現

- ・ オルソモザイク画像化

Metashape(Agisoft 社)および Px4D(Pix4D 社)については計測精度を確認済み.

- ・ 3次元モデル化の有無

「マルコ®」の範囲では無し. ただし, オルソモザイク画像の作成過程で 3D モデルが作成されるため, アウトプットは可能.

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

具体事例：写真 4-9-3 に示す水路と法面に挟まれた高橋脚の矩形柱



写真 4-9-3 水路と法面に挟まれた高橋脚の矩形柱

- ・ 道路から水路を跨いだ位置に橋脚が設置されており, また, 背後が法面に取り囲まれていることから, 高所作業車の使用が困難であった.
- ・ また, 橋脚高さが高く, 大型点検車でも近接が困難な範囲があり, 従来, ロープ高所作業で近接目視を実施してきた.

- ・元請けコンサルが点検手法の検討を実施したところ，ロープ高所作業による近接目視点検に比較して「マルコ®」の点検精度が同等かつ安価であったため，損傷の状態把握を支援する技術として受注した．
- ・成果として，損傷図画，損傷写真および精度管理結果を納品した．

<具体事例における導入活用効果>

- ・従来技術（ロープ高所作業）に比較して安価であった．
- ・従来技術（ロープ高所作業）に比較して安全性が向上した．
- ・従来技術（近接目視）に比較して損傷図の正確性が向上した．
- ・損傷がない範囲を含めて網羅的に画像を取得しているため，次回診断時のベンチマークとなる．

2) 診断への情報提供

- ・損傷図画（近接目視の野帳に相当，CADで作図）
- ・損傷写真
- ・精度管理結果
- ・オリジナル画像
- ・オルソモザイク画像
- ・要望がある場合に任意の小座標系に対する生画像の x,y,z 座標およびオイラー角を提供可能．
- ・要望がある場合にクラウドベースで低密度に作成した 3次元モデルを提供可能．なお，より詳細な高密度，あるいは深度マップベースの 3次元モデルについては，別途，費用が必要．

参考文献

- 1) 道路橋定期点検要領 平成 31 年 2 月 国土交通省 道路局
- 2) 新技術利用のガイドライン（案） 平成 31 年 2 月 国土交通省
- 3) 点検支援技術 性能カタログ 令和 3 年 10 月 国土交通省
- 4) 国土技術政策総合研究所資料第 748 号道路橋の定期点検に関する参考資料(2013 年版)橋梁損傷事例写真集
- 4) 技術マニュアル マルチコプタ点検システム「マルコ®」 画像計測技術 川田テクノロジー株式会社 大日本コンサルタント株式会社

4.10 支承塗膜劣化評価 AI, 剥離検出 AI, 床版耐荷性能評価 AI

(1) 研究開発者

大日本コンサルタント株式会社*

※：本技術は，東京大学生産技術研究所，日本システムウェア株式会社，ショーボンド建設株式会社との共同研究成果でもある。

(2) 技術活用の目的

本技術は，橋梁点検の作業効率化や監視部材への対策実施時期の判定に資するシステムの開発を目的としている．具体的には，畳み込みニューラルネットワーク等の深層学習による画像分類やセマンティックセグメンテーションを応用して，橋梁点検時に点検技術者が撮影したコンクリート部材や鋼製支承の画像やモニタリング時に定期的取得する床版画像から，損傷程度の評価区分や損傷の発生箇所を推定することにより，点検技術者の橋梁点検時における変状記録作業やモニタリング時の耐荷性能評価を支援する．

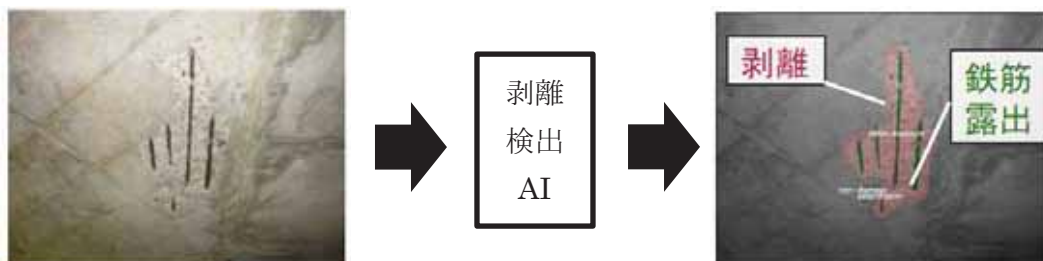
(3) 技術の特徴

1) 主要仕様

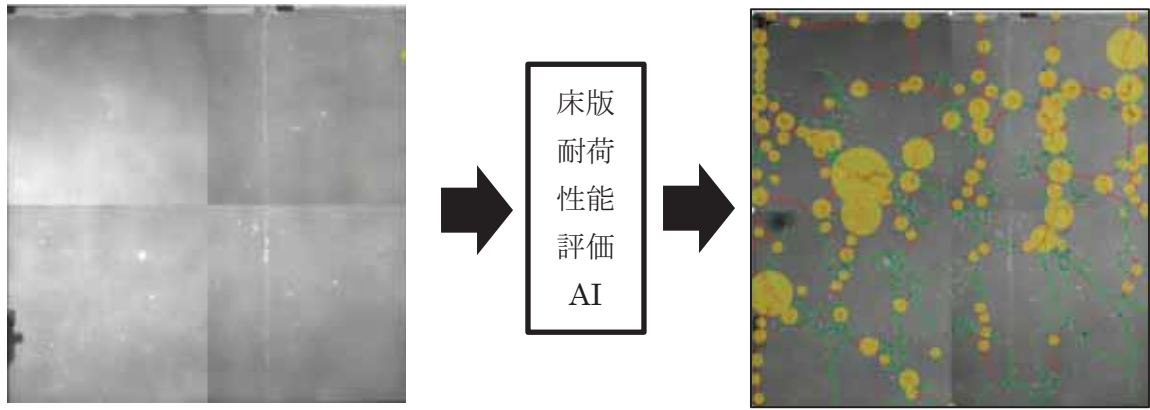
- 鋼製支承の点検写真画像から塗膜劣化の損傷程度の評価区分を自動で判定する⇒「① 支承塗膜劣化評価 AI¹⁾」



- コンクリート部材の画像から剥離・鉄筋露出箇所を明示する．⇒「②剥離検出 AI²⁾」



- コンクリート床版の画像に対して角欠け箇所および角欠けが発生しているひびわれを明示⇒「③床版耐荷性能評価 AI³⁾」



A) 適用可能な画像

①支承塗膜劣化評価 AI および②剥離検出 AI は、対象画像をそれぞれ 224px×224px, 512px×512px に縮小して入力する。③床版耐荷性能評価 AI は対象画像を 224px×224px で等間隔に切り出して推定するため、切り出し前の画像で損傷が識別可能であるか確認できればよい。①から③のいずれのケースにおいても、点検時に部材まで近接し、正対して撮影した画像で十分である。具体的には、肉眼で対象部材の損傷位置および損傷程度が確認できる距離で、デジカメの解像度が 300 万画素程度を想定している。

B) 推論可能な変状

①支承塗膜劣化評価 AI：画像中に映る鋼製支承に関して、塗膜劣化の損傷程度の評価区分 a,b,c,d,e のいずれかであることを推定する。

②剥離検出 AI：画像中に映るコンクリート部材に対して、剥離箇所と鉄筋露出箇所を推論し、当該箇所をポリゴンで可視化する。

③床版耐荷性能評価 AI：画像中に映るコンクリート床版に対して、角欠け（抜け落ち含む）箇所を推論し、ポリゴンで可視化する。合わせて、角欠けが発生しているひびわれ箇所を推論し、ポリラインで可視化する。

2) 適用範囲

抽出可能な変状については(3)1)B に記載した通りである。適用可能な部材は、①支承塗膜劣化評価 AI は鋼製支承が対象である。②剥離検出 AI はコンクリート部材全般に対して適用可能である。③床版耐荷性能評価 AI はコンクリート床版に適用可能である。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

①支承塗膜劣化評価 AI および②剥離検出 AI については、タブレット型の橋梁点検支援システムに組み込んで活用する予定である。タブレット型の橋梁点検支援システムとは、現在開発中のもので、点検技術者が現場で撮影した写真に対し推論を実施することで、点検における記録作業を支援する。例として、新潟県橋梁定期点検要領⁴⁾記載の点検記録作業のフロー（図 4-10-1）において、本技術の支援可能な範囲を示す。具体的には、鋼製支承点検時に撮影した画像に対して①支承塗膜劣化評価 AI が自動で塗膜劣化の損傷程度の評価区分を判定し、システムに記録する。点検技術者は AI の判定を確認し、問題があれば修正する。コンクリート部材については、撮影した画像に対して②剥離検出 AI を適用することにより、剥離箇所および鉄筋露出箇所を損傷図に出力する。点検技術者は出力された損傷図を確認し、自身の損傷見落としの有無をチェックすると共に、他の損傷を追記する。

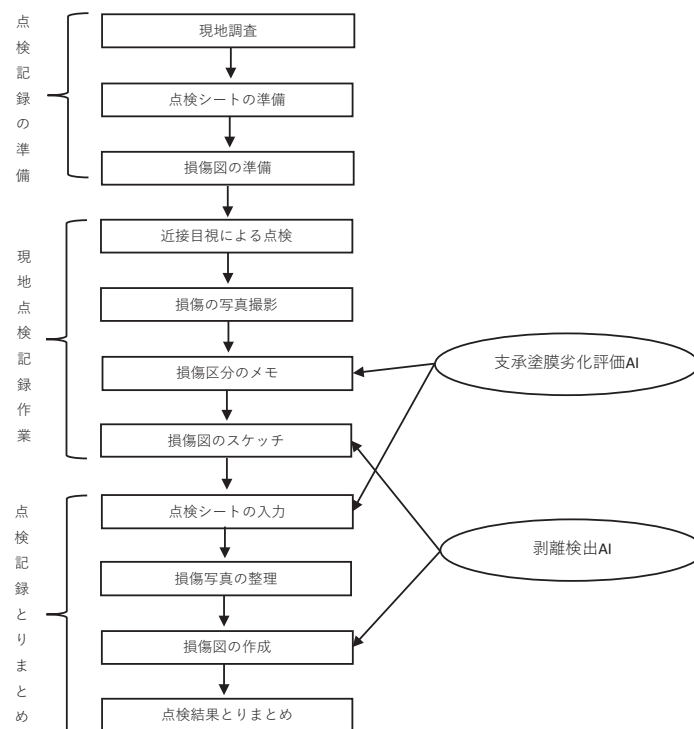


図 4-10-1 点検作業フロー

③床版耐荷性能評価 AI については、健全性の判定区分がⅢと診断されたコンクリート床版に対する措置として監視を選択した場合に利用する。具体的には、デジタルカメラが撮影したコンクリート床版の画像に対し、定期的に角欠け数と角欠けが発生しているひびわれの状態を集計する。集計値の時系列変化を確認し、急激な角欠け数の増加が発生していないかチェックすることにより、疲労破壊の兆候を検出する。

・導入活用効果

①支承塗膜劣化評価 AI については、鋼製支承の塗膜劣化の評価区分を自動判定して記録することにより、点検作業員が従来実施していた損傷程度の評価区分のメモ作業およびメモを点検システムに入力する作業にかかる労力を削減する。

②剥離検出 AI については、コンクリート部材の損傷図に自動で剥離箇所と鉄筋露出箇所を記載することにより、損傷図のスケッチ作業および損傷図作成作業を低減（剥離・鉄筋露出以外の損傷記載に注力することができる）するとともに、同損傷の見落としを防ぐ。

③床版耐荷性能評価 AI については、床版の疲労破壊の予兆検知機能として実装する。従来、床版の残存耐力はヤング係数比 15 の超過を判定基準にすることが多いが、これはかなり安全側の評価となる。本機能により、供用限界の判断や、補修等の対策を適切なタイミングで講ずることが可能となり、床版のライフサイクルコストを圧縮できる。

2) 診断への情報提供

①支承塗膜劣化評価 AI および②剥離検出 AI については、橋梁点検支援システムへのデータ入力が完了すれば損傷図が出力できる。損傷図に記載されている損傷の発生位置や損傷程度の評価区分は、診断における参考情報となる。③床版耐荷性能評価 AI については、床版の角欠け数および角欠けが発生しているひびわれの発生位置の時系列変化が診断への情報提供に資するデータとなる。ただし、①～③のいずれも、損傷に関する情報のみであるため、当該橋梁の諸元や環境条件等の情報は、別途の方法で取得する必要がある。

参考文献

- 1) 龍田斉, 長井宏平, 野村貴律, 平山博, 横山広, 宮川 輝幸: 鋼製支承の自動損傷判定に関する Deep Learning の有効性検証, 土木情報学シンポジウム講演集, vol.43, pp133-136, 2018.
- 2) 柏貴裕, 長井 宏平, 龍田斉, Helmut Prendinger, 井林康, Juanjo Rubio: 畳み込みニューラルネットワークを用いたコンクリート床版の損傷検出, 土木学会第 73 回年次学術講演会, CS10-016, pp.31-32, 2018.
- 3) 横山広, 龍田斉, 野村貴律, 安東祐樹, 長井宏平: AI 画像分析を活用した R C 床版疲労遷移点の検知に関する研究, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.783-790, 2020.
- 4) 新潟県土木部道路管理課: 新潟県橋梁定期点検要領[標準点検編], 2020.

4.11 橋梁のデジタル点検支援システム

(1) 研究開発者

株式会社デンソー

(2) 技術活用の目的

本システムは、橋梁の維持管理・更新スキームの中で、点検をデジタル化することによって省人化、精度向上するとともに、点検工程と上流・下流工程をデジタルの維持・管理情報で繋いで共有共用することで全体の効率化と精度向上に貢献することを狙って開発された。本システムは、撮影→画像処理→変状判別→変状解析の工程から成り、表 4-11-1、図 4-11-1 にその特徴を示す。また各工程でツールが準備されており、それを図 4-11-2 に示す。

表 4-11-1 デジタル点検の流れ

工程/ツール	成果物	実用中	実証中	開発中	特徴・訴求点
撮影 デンソー製UAV +市販点検ロボット +手撮り	近景写真（正対撮影） ◎観る向きと合意した画素分解能 （デンソー標準：0.3mm/px） 中景写真（射角撮影） 隣接する2面（以上）を写す。 ◎正対撮影の1-3倍の画素分解能	■	■	■	一眼レフカメラ搭載：高画質、大画角
					距離一定で撮影：画素分解能が均質な写真
					角度一定で撮影：SfMが歪まない
					ラップ率一定で撮影：3次元モデルやオルソモザイクが欠けない
画像処理 SfM	3次元モデル	■	■	■	寸法精度や形状精度が良い $\pm 0.1m$
	オルソモザイク	■	■	■	元写真と同等画質で面全体を出力する。（事例：0.3mm/pxで撮影し0.3mm/pxで出力） 写真位置情報がある一結合時の配置間違いがなく、処理が速い。
変状判別 デンソー製 点検AI	遠方観察に相当する構造の変位、 歪み、ズレの判別（3次元モデル）	■	■	■	3次元モデルを変状記録用パレットとしてだけでなく、構造視点（変形、ズレ）の点検用途として活用する。
	ひび割れ系の変状判別（ミクロAI）	■	■	■	ひび割れだけでなく、その進行形である漏水や石灰を伴うひび割れ、 錆汁を伴うひび割れ、剥離部稜線、鉄筋露出を判別する
	大面積の変状判別（マクロAI）	■	■	■	内部滞水が推定される“浸み”や内部ダメージ（ASRや滞水路路面圧）が推定 される“多方向ひび”、浮きが推定される“環状ひび”を判別する。
変状解析 デンソー製 橋梁の変状解析支援	変状の記録	■	■	■	点検AIを参考に、変状の3次元元的俯瞰や2時期比較から、点検士が補修・診断 に必要と判断した変状が、3次元モデルに転記される。点検AIの変状判別は、 属人性がなく見逃しが少ない為、記録の精度向上が可能となる。 3次元モデルには、変状の属性や他の点検結果を追加記録できる。
	点検結果の保存	■	■	■	変状が記録された3次元モデルと部材面ごとのオルソモザイクを保存する。 オルソモザイクには、3次元モデルには記録されなかった変状が残っており、 白図比較では難しい2時期比較が可能になる。点検AIが重畳されたオルソ モザイクによって、白図書き写しを代用できる可能性がある。
	変状の進行メカニズムと措置の導出	■	■	■	①変状の3次元解析、②2時期比較解析による進行の有無、③橋梁の環境・ 施工情報から、変状の進行を予測し、措置 ^④ を示唆する。 ※ 措置：補修の他に、詳細点検への移行、経過観察への移行、リスクなし判断を含む。

(2) -1 点検ロボット

近接目視や遠方観察の支援ツールとして橋梁の撮影を行う。点検の目的や橋梁のタイプ、環境条件によって異なるロボットを使い分ける。大型の高架橋、斜張橋の橋横、橋下部、また強風や幅広橋直下の非 GNSS 環境など、人や一般的なロボットでは近接が困難な場合は、自社開発の飛行ロボット（UAV）を用いる。また、大型橋での狭隘部への進入点検や小型橋の点検では、市販の小型点検用 UAV を用い、UAV が飛ばせないもしくは飛行型でないロボットが適する環境では定置型の点検ロボットを活用する（図 4-11-3）。



図 4-11-1 デジタル点検の流れ (イメージ)

点検ロボット																								
	<table border="1"> <tr><td>体格</td><td>1500×1500×525mm</td></tr> <tr><td>ペイロード</td><td>約2.0kg (カメラ+ジンバル)</td></tr> <tr><td>飛行時間</td><td>約15分</td></tr> <tr><td>航路維持性能</td><td>XY: ±0.3m, Z: ±0.05m</td></tr> <tr><td>低速制御性能</td><td>0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ... (m/s)</td></tr> <tr><td>衝突回避性能</td><td>上下&前方</td></tr> </table>	体格	1500×1500×525mm	ペイロード	約2.0kg (カメラ+ジンバル)	飛行時間	約15分	航路維持性能	XY: ±0.3m, Z: ±0.05m	低速制御性能	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ... (m/s)	衝突回避性能	上下&前方	<table border="1"> <tr><td>カメラ</td><td>Sony α6400, α7RIV</td></tr> <tr><td>レンズ</td><td>16, 28, 35, 50mm</td></tr> <tr><td>ジンバル</td><td>自社製3軸、上搭載/下搭載</td></tr> <tr><td>離隔</td><td>1.5~10m</td></tr> <tr><td>撮影位置記録</td><td>シャッター同期</td></tr> </table>	カメラ	Sony α6400, α7RIV	レンズ	16, 28, 35, 50mm	ジンバル	自社製3軸、上搭載/下搭載	離隔	1.5~10m	撮影位置記録	シャッター同期
体格	1500×1500×525mm																							
ペイロード	約2.0kg (カメラ+ジンバル)																							
飛行時間	約15分																							
航路維持性能	XY: ±0.3m, Z: ±0.05m																							
低速制御性能	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ... (m/s)																							
衝突回避性能	上下&前方																							
カメラ	Sony α6400, α7RIV																							
レンズ	16, 28, 35, 50mm																							
ジンバル	自社製3軸、上搭載/下搭載																							
離隔	1.5~10m																							
撮影位置記録	シャッター同期																							
解析ソフト	<p>橋梁の変状解析支援</p> <table border="1"> <tr> <th>変状の記録</th> <th>3次元俯瞰</th> <th>2時期比較</th> <th>措置の示唆</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>(設計図との比較)</td> <td> <p>橋梁設置の経路から内部へ導入した水分が凍結・膨張し、コンクリート内部を侵食させ、陥没・剥離などの状態への劣化原因が必要。劣化を責任者が確認し最終判断</p> </td> </tr> </table> <p>コンクリート橋梁 点検AI (マイクロAI)</p> <table border="1"> <tr> <th>変状の始まり</th> <th colspan="2">予防保全対象の変状</th> <th colspan="2">補修対象の変状</th> </tr> <tr> <td> ひび割れ</td> <td> 漏水ひび割れ</td> <td> 石灰ひび割れ</td> <td> 鉄筋露出</td> <td> 剥離</td> </tr> </table> <p>DENSO Crafting the Core</p>		変状の記録	3次元俯瞰	2時期比較	措置の示唆							(設計図との比較)	<p>橋梁設置の経路から内部へ導入した水分が凍結・膨張し、コンクリート内部を侵食させ、陥没・剥離などの状態への劣化原因が必要。劣化を責任者が確認し最終判断</p>	変状の始まり	予防保全対象の変状		補修対象の変状		ひび割れ	漏水ひび割れ	石灰ひび割れ	鉄筋露出	剥離
変状の記録	3次元俯瞰	2時期比較	措置の示唆																					
		(設計図との比較)	<p>橋梁設置の経路から内部へ導入した水分が凍結・膨張し、コンクリート内部を侵食させ、陥没・剥離などの状態への劣化原因が必要。劣化を責任者が確認し最終判断</p>																					
変状の始まり	予防保全対象の変状		補修対象の変状																					
ひび割れ	漏水ひび割れ	石灰ひび割れ	鉄筋露出	剥離																				

図 4-11-2 デジタル点検ツール

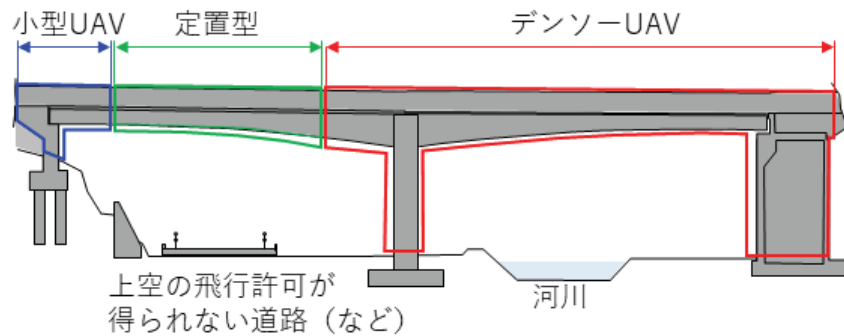


図 4-11-3 複数ロボットの適用例

(2) -2 解析技術

以下の 3 ツールで構成される。

- ①画像処理技術 : 大量の写真から SfM (Structure from Motion) を用いて、寸法や構造を正確に再現する 3 次元モデルや微細なひびわれまで判別可能な精緻なオルソモザイク画像を作成する。
3 次元モデルは、ひびわれなど微細な変状の記録パレットとしてだけでなく、構造的な歪み、ズレや体積や面積の大きい変状の判別用および解析用となる。
- ②点検 AI : 橋梁部位ごとのオルソモザイクのどこにどのような変状があるのかを判別する。
- ③変状解析支援ソフト : 点検 AI を参考にして、変状を記録し 3 次元俯瞰や 2 時期比較を行う。さらには橋梁の施工条件や環境条件、使用部材などを加味することによって、変状メカニズムと適切な措置を示唆する。

①②③は、複数の点検ロボットタイプを採用した場合でも、一定品質以上の撮影を実施することで可能であり、弊社製 UAV と他の方法（市販ロボット、手撮り）で撮影された写真の組み合わせも可能である。また、図 4-11-1 におけるどの工程の成果品であっても、事前の合意に基づき提供可能である。

尚、デジタル点検支援システムは開発途上であり、現時点では適用範囲に制約があるため、それを一覧にまとめて、図 4-11-4 に示す。

橋種	部材	桁下面	桁側面	床版	地盤	狹隘部	支承	橋脚上面	橋脚側面
コンクリート橋	箱桁								(図省略)
	T桁					開発技術で対応する場合 		他社技術で対応する場合 	
鋼橋	桁					開発技術で対応する場合 		他社技術で対応する場合 	
	鋼橋					開発技術で対応する場合 		他社技術で対応する場合 	

※1 撮影可能範囲は、UAV操作者が機体の位置と方向を視認できる範囲となる。それを超える領域の撮影技術は開発中であるため、他社ロボットとの組み合わせとなる。
 ※2 コンクリートT桁や鉄桁の桁側面の撮影可否は、桁間隔と桁高さによる。撮影仰角45°に対応する。
 ※3 桁内の上向き面の撮影は、小型機などで撮影可能な場合を除き、原則対象外となる。
 ※4 複雑なトラスの例

これらの撮影がSFM条件を満足する場合は、3次元モデルやオルソモザイクでの実状解析が可能となる。撮影条件が満足でない場合は、撮影動画や画像での直接実状解析となる。

図 4-11-4 デンソーUAVにより撮影可能な橋梁と部位

以下、(4)以降は、自社製点検ロボットと自社製点検 AI について解説する。点検ロボットは画像処理技術、点検 AI (変状判別) は変状解析支援ソフトとの連携を踏まえて解説する。

(3) 点検ロボットの特徴

点検ロボットは、以下の特徴が考えられる。

- ①着目している変状のみを撮影するピンポイント点検
- ②橋梁全体を逃さず撮影して「どこにどんな変状があるのか」を明らかにする網羅点検の両方に対応する。

本報告では、自社開発機を用いて網羅点検に適用する場合の具体的な特徴を述べる。

予め、橋梁の部位ごとに撮影時の画素の仕様を発注者と合意する。網羅点検では、合意した画素の仕様で漏れなく撮影し、点検に必要な画像が欠けることなく 3 次元モデルやオルソモザイクを作成する。

(3) -1 主要性能

(3) -1-1 機器性能

<点検ロボット (UAV) >

6翼型 UAV である。本機は、強風 (剥離風, 上昇風), 非 GNSS 環境, 磁気環境の悪化といった悪条件下でも, 図 4-11-2 に示すように自動飛行での航路精度と移動速度精度を実現している。

<航路制御性能>

- ・可変ピッチローターを用いた高速姿勢制御

本機は 6 翼それぞれに可変ピッチ機構があり, 各翼独自の回転数とピッチ制御を行う。可変ピッチの揚力応答は, 従来の固定ピッチでの回転数制御のみによる揚力応答よりも約 9 倍速い (図 4-11-5)。橋梁直下での剥離風で風速・風向が急速に変動する条件でも高速に機体姿勢を制御することによって, 機体は風に流されにくい。

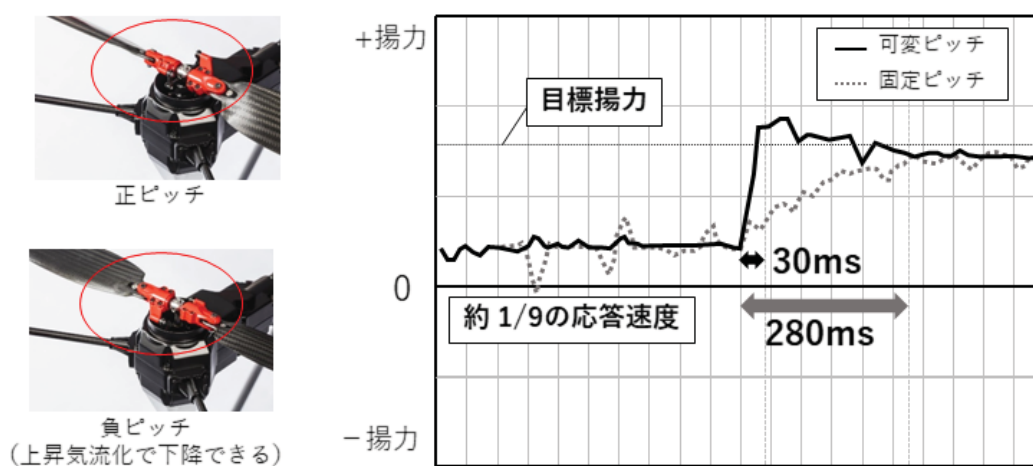


図 4-11-5 可変ピッチ機構

- ・トータルステーションを用いた非 GNSS 環境での自己位置推定

本機は非 GNSS 環境における自己位置推定のために, 機体に取り付けたプリズムを基地局にあるトータルステーションで追尾し位置把握する技術を開発し採用している。

自己位置を 200ms でフィードバックし可変ピッチの高速姿勢制御を行うことで, $\pm 0.15\text{m}$ の位置精度と 0.4m/s , 0.6m/s といった低速移動を実現している (図 4-11-6)。

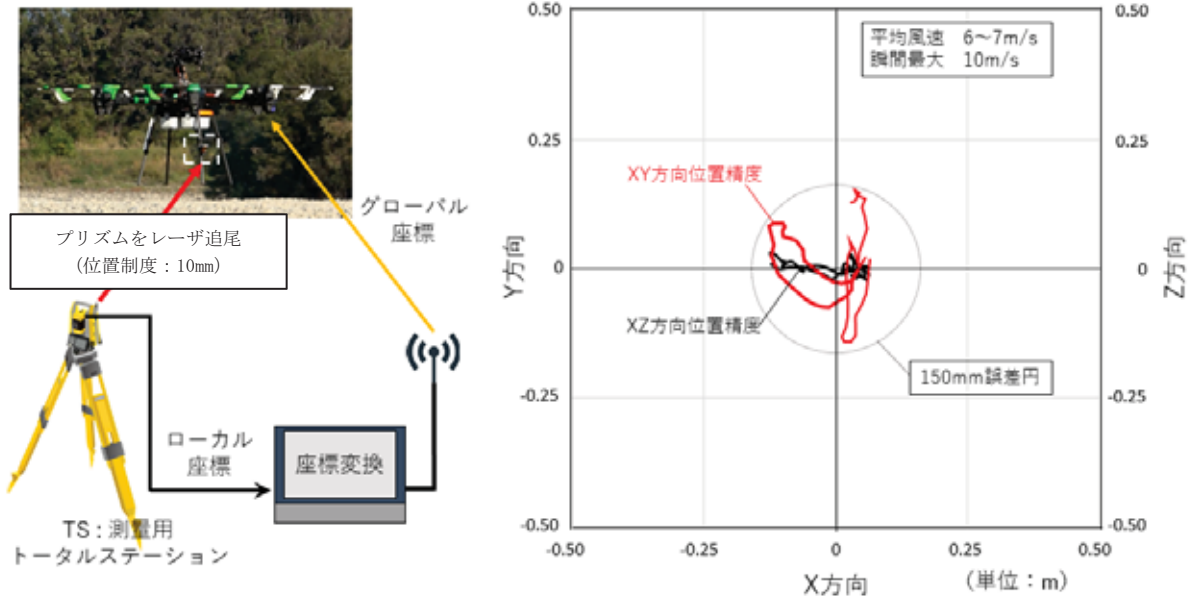


図 4-11-6 トータルステーションによる自己位置推定と定位性能

<点検撮影時の操作モード>

本機の操縦は、手動操縦、半自動操縦、自動操縦の 3 つのモードがあり、飛行ルーチンの中で表 4-11-2 に示すように使い分けている。

表 4-11-2 操縦モード

操縦モード	解説	主な使用シーン
手動操縦 (マニュアルモード)	機体の姿勢および上下方向の推力をパイロットが直接手動操縦する。	離陸時 着陸時 緊急回避時
半自動操縦 (ポジションモード)	パイロットの手動操作により移動するが、機体の速度と位置はフライトコントローラが制御する。 パイロットからの入力がない場合、その場で定位する。	手動～自動操縦への移行時 ピンポイント撮影時
自動操縦 (ミッションモード)	事前に作成した飛行経路をフライトコントローラの自動制御によってなぞるように飛行する。	網羅点検用の撮影時

(3) -1-2 撮影方法

<画像の仕様>

カメラ：フルサイズ 6100 万画素と APS-C2400 万画素のカメラを使い分ける。

レンズ：16mm, 28 mm, 35 mm, 50 mmを使い分ける。

点検画像撮影時の UAV の飛行環境と撮影すべき最小変状からカメラとレンズの組み合わせを選定する (表 4-11-3)。

表 4-11-3 判別したい最小ひびわれ幅とレンズ・離隔の関係（例）

判別したい 最小ひび割れ幅	必要な 画素分解能 ^{※1}	2400万画素カメラ使用時のレンズ長			
		16mm	28mm	35mm	50mm
0.1mm	0.3mm/px	距離： レンズと被写体の距離 ——	——	2.7m ^{※2}	3.9m
0.2mm	0.5mm/px	——	3.6m ^{※2}	4.5m	6.5m ^{※3}
0.3mm	0.7mm/px	2.9m ^{※2}	5.1m	6.3m	9.1m ^{※3}

※1 ひび割れなどの変状を所望の画質で撮影するとき、画素分解能は一つの条件である。
カメラ・レンズ性能と撮影条件に合わせた絞り、シャッタースピード、絞りなどの選定を行っている。
※2 標準設定の離隔が確保できない場合は、より短い焦点のレンズを採用する。
※3 標準設定の離隔では、撮影あり角度が大きくなる場合には、長い焦点のレンズを採用し、あり角度の低減を図る。
※ 50mmより長い焦点のレンズの採用、ズームレンズの採用、および3m以内に近接する撮影は、オプション扱いとなる。

<撮影角度>

UAV とカメラの間に 3 軸ジンバルを設置し、カメラの回転角、ロール角、ピッチ角を制御する。ジンバルは機体の上方または下方に設置可能であり、水平～垂直見上げまで、および水平～垂直見下げまでの撮影が可能である（図 4-11-7）。

尚、ジンバルは撮影角度の制御の他に、機体の 3 軸方向の姿勢変動を吸収する機能も持っており、ブレの小さい写真撮影を実現している。



図 4-11-7 ジンバル・カメラの搭載位置と撮影対象

<写真ラップ率>

点検に必要な画像が抜けなく、歪みなく結合するために、設定されたラップ率で撮影する。

航路精度と速度精度が高い自社開発機体を用いた場合の重複率を図 4-11-8 に示す。

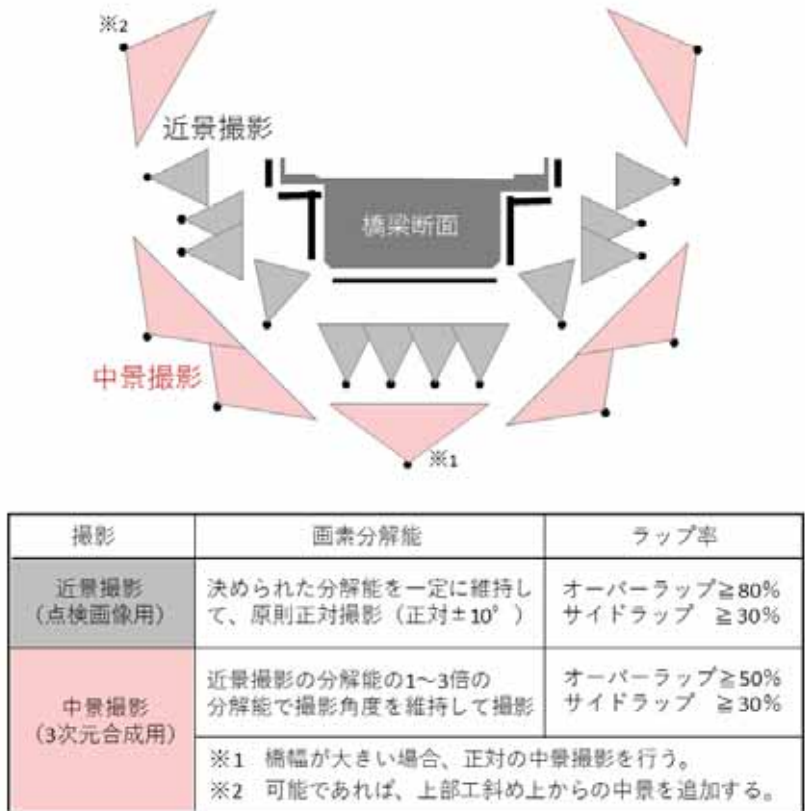


図 4-11-8 近景撮影・中景撮影のラップ率

<取得情報の保存形式>

画像は、部位や面ごとに、カメラ設定情報や撮影位置情報を付けて jpeg 形式で保存する(図 4-11-9)。開発した点検ロボットでは必ず撮影位置情報を付与できる。他の点検ロボットが併用されて位置情報が取得できない場合は、撮影ラップ率を大きくして対応する。

部材別・面ごとにフォルダ化 フォルダ名に紐づく画像番号付与

# 10 近景 桁側面 (北) ...	020_00165	
# 20 近景 桁底下面 ...	020_00166	
# 30 近景 主桁下面 SL...	020_00167	
# 31 近景 主桁下面 SL...	020_00168	
# 40 近景 PW2 (西) ...	020_00169	
# 50 近景 PW2 (東) ...	020_00170	
# 60 近景 PW2 (西) ...	020_00171	
# 70 近景 PW2 (西) ...	020_00172	
# 80 中景 I 主桁側面 (...)	020_00173	
# 90 中景 I 主桁下面 ...	020_00174	
# 100 中景 I PW2 (西...	020_00175	

写真プロパティに撮影条件と位置情報を付与

プロパティ	値	GPS	※1
絞り値	f/5	緯度	35; 31; 12.84200000000042478
露出時間	1/800 秒	経度	133; 12; 9.18099999998226224
ISO 速度	ISO-800	高度	29.39
露出補正	0 ステップ		
焦点距離	35 mm		

※1 トータルステーション (TS)からのローカル位置情報を TSのGPS位置情報を用いてグローバル位置情報に変換する。

図 4-11-9 画像と画像情報の記録

(3) -1-3 3次元モデルとオルソモザイクの精度

一定の航路と移動速度を維持し、撮影面との距離と撮影角度、ラップ率が安定した状態で撮影された位置情報付き写真群から高品質な SfM が行われ、形状再現性に優れた 3次元モデルと変状状態の再現性に優れたオルソモザイクを用いた高精度な変状判別が可能になる。

<3次元モデルの形状精度と活用法>

点検用近景写真と 3次元モデル用中景写真から、高画質で形状的に歪みの小さい（±0.1m）3次元モデルが形成される。写真位置情報に基づき、上部工と下部工など異なる部材を組み合わせた 3次元モデルを構成する。これは、部材間の相対的なズレや歪みを再現できるため、遠方観察に相当する構造変状の解析に活用できる。この事例を図 4-11-10 で紹介する。

<オルソモザイクの寸法精度、高精細画質と活用法>

近景写真+中景写真で 3次元モデル化し、そこから点検対象面の近景写真のみを指定してオルソモザイクを作ると、ドーミングと呼ばれる歪みがないオルソモザイクが得られる。

オルソモザイクの寸法精度は、別の橋梁で寸法検証マーカールを用いて±0.1m@10m 以下（相対距離では±0.03m）と検証されている。（図 4-11-11）

また、離隔一定（画素分解能一定）の写真群から得られるオルソモザイクは撮影時の画素分解能で出力できる（図 4-11-12）。

寸法精度に優れ、変状状態を正しく再現するオルソモザイクは、写真目視もしくは点検 AI による変状判別精度を高め、変状の 2 時期比較の精度も向上する。

<オルソモザイクの歪み、欠けや誤結合の低減>

写真位置情報に基づき、概ね写真配置が行われた状態から SfM の特徴点結合が行われるため、類似画像の誤配置と誤配置による正規位置の欠けがなくなる。

尚、SfM における 3次元モデルやオルソモザイクが歪むのは、ドーミングだけが原因ではない。結合画像を歪ませる写真を特定し除去する SfM 前処置がルーチン化されている。

また、SfM の欠けの要因である撮り逃しについては、現場での確認ツールが準備されており、その場で追加撮影することがルーチン化されている。（図 4-11-13）ピンボケやブレ画像については、オルソモザイク化したあとで点検画像として不適な部位があったとき、ピンボケ検出ソフトで元写真を特定し、除去している。

<精度以外の貢献>

正確な航路により写真枚数が低減され、写真位置情報により概配置されることにより、SfM 演算時間が短縮する。



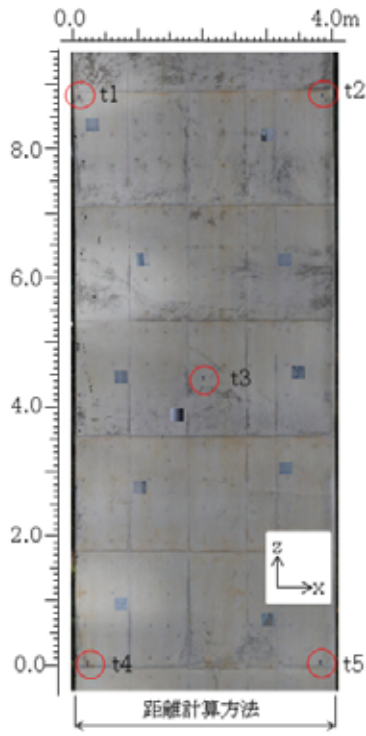
工程	解説								
3次元モデルの作成	 <p>近景写真と中景写真からSfMで橋梁全体を3次元モデル化する。 この撮影では、通行規制して上部工上部も撮影し、文字通りの一橋ごとの3次元化を行った。</p>								
橋梁構造チェックと歪み箇所の判別	 <p>3次元モデルで、P3橋脚部で高欄の屈曲を見つけた。</p>								
オルソモザイク化し設計図との比較	 <p>オルソモザイクからP3橋梁上部からA2橋台上部にかけて150mm下がっていることを計測した。</p>								
橋梁の歪み量検証 (レーザ測量と比較)	<table border="1" data-bbox="486 985 1236 1131"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="486 985 790 1041">P3→A2への変形量</td> <td data-bbox="790 985 1236 1041" rowspan="2">高精度SfMから計測された橋梁変形は、レーザ測量で検証されている。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 1041 630 1086">SfMから採寸</td> <td data-bbox="630 1041 790 1086">レーザ計測</td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 1086 630 1131">150mm</td> <td data-bbox="630 1086 790 1131">195mm</td> <td data-bbox="790 1086 1236 1131">高精度SfMから遠方観察に相当する。変形、歪み(角度)をその存在を指摘できる。</td> </tr> </table> <p>オルソモザイクの±100mmでは精度不足の場合は、レーザ計測を追加する。</p>	P3→A2への変形量		高精度SfMから計測された橋梁変形は、レーザ測量で検証されている。	SfMから採寸	レーザ計測	150mm	195mm	高精度SfMから遠方観察に相当する。変形、歪み(角度)をその存在を指摘できる。
P3→A2への変形量		高精度SfMから計測された橋梁変形は、レーザ測量で検証されている。							
SfMから採寸	レーザ計測								
150mm	195mm	高精度SfMから遠方観察に相当する。変形、歪み(角度)をその存在を指摘できる。							

図 4-11-10 高精度 SfM のデジタル点検への貢献



2点間(狭幅)のピクセル数をカウント→10050
 ピクセルカウント×撮影時ピクセル分解能
 =10050ピクセル×0.4mm/ピクセル=4020mm

座標(単位:mm)			距離(mm)			
評定点	レーザ計測値	UAV写真での測定値	区間	レーザ計測値	UAV写真での測定値	
t1	x	-96	-148 (+52)	t4-t1	8873	8871 (-2)
	y	4	0			
	z	8872	8870 (-2)			
t2	x	3642	3610 (-32)	t4-t2	9584	9553 (-31)
	y	4	0			
	z	8865	8812 (-53)			
t3	x	1783	1782 (-1)	t4-t3	4792	4766 (-26)
	y	4	0			
	z	4448	4421 (-27)			
t4	(0,0,0) 基準					
t5	x	3572	3592 (+20)	t4-t5	3574	3592 (+16)
	y	1	0			
	z	29	13 (-16)			
レーザ計測との差				レーザ計測との差		
		-53~+52		-31~+16		

10m当たりの寸法精度: ±0.1m

図 4-11-11 オルソモザイクの寸法精度検証結果

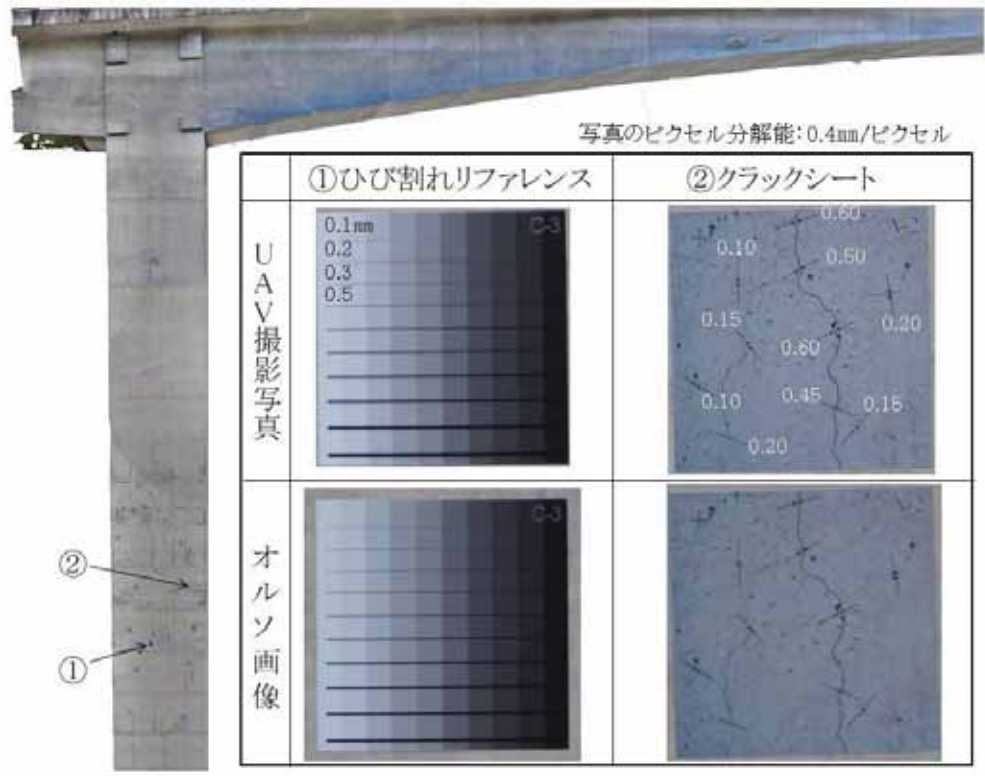


図 4-11-12 元写真とオルソモザイクの画質比較

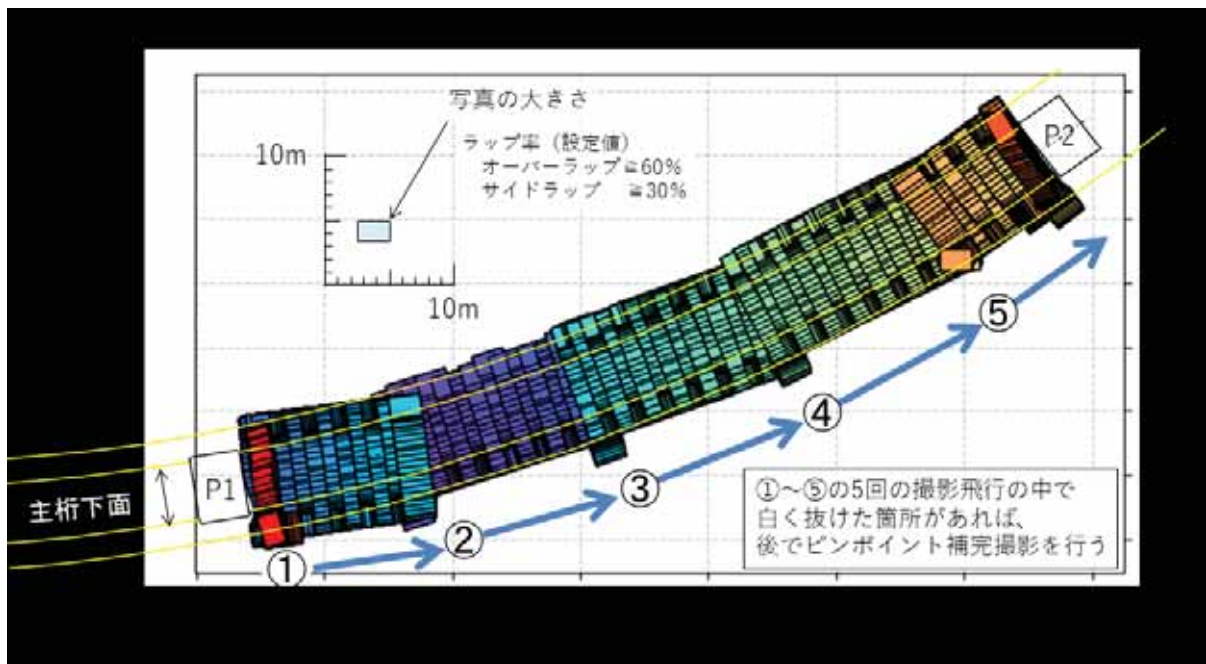


図 4-11-13 撮影漏れ確認ツール

(3) -2 デジタル点検

(3) -2-1 デジタル点検の手順

3次元モデル，オルソモザイクともにデジタルデータである．

以下の点検作業もデジタルで実施することを推奨している．

- ・点検 AI を用いた変状図作成
- ・橋梁条件，他の点検結果，調書に記録すべき変状の 3 次元モデルへの記入
- ・3 次元モデルにおける構造解析，変状の 3 次元解析，2 時期比較とメカニズム解析
 具体的事例は，(4) で解説する．

(3) -2-2 デジタルデータの保存

高精細・高寸法精度なオルソモザイクを保存する意義は，以下の 2 つがある．

1) 2 時期比較の精度

特定の変状が進行したかどうかを評価するとき，オルソモザイクの重畳比較を行うが，変状が歪みなく正しい位置に画像上に再現されているので正しい 2 時期比較が行える．具体的事例については，(4) で解説する．

2) 変状図の付加価値

オルソモザイクをそのまま変状図としている．従来手法では，点検士が診断に必要と判断した変状を白図に描き写しているが，選定する変状に個人差がでる場合がある．故意，故意でないに関わらず選定されなかった変状は，白図上ではなかったことになる．定期点検において，「変状が前回点検で変状がなかったのか？」「兆候はあったのか？」といった差は診断に影響する．オルソモザイクには変状情報はすべて残っているので，2 時期比較の精度が向上する．

今後点検 AI の活用が進む時、点検 AI は進化するので、ある時期の点検 AI 結果を残すよりも、オルソモザイクを保存して、2 時期比較をするその時点の最新 AI で比較する方が正確な変状解析が可能になる。この時、白図描き写しの工数が不要になる。具体的事例は、(4) で解説する。(4)-2 点検 AI の活用法 参照)

(3) -3 適用事例：点検困難橋への貢献

強風や非 GNSS 環境においても定められた航路を正確に飛行できるため、比較的大型・幅広で人による近接が難しい橋梁を点検してきた (図 4-11-14)。小型橋や狭隘部を撮影する場合、周辺に航路を妨害する樹木などがある橋梁、飛行禁止区域がある橋梁では、他社の点検ロボットを併用している。



図 4-11-14 点検支援した橋梁の例

(4) 研究点検 AI の特徴

点検 AI は、「画像の中のどこにどんな変状があるのか」を判別する。判別は変状種毎に色分けされたバウンディングボックス法で行う。点検士が変状を探す工数を無くし、バウンディングボックス内の変状を隠すことなく存在を示唆することで、点検士が記録すべき変状をより正しく判断をする支援を行う。

点検 AI は変状を判別する機能に限定している。変状のサイズやリスク（ひびわれの幅、長さ、面積・体積を持つ変状の大きさ、更には変状単位でのリスクランク）の判別機能は具備しておらず、点検士が変状解析支援ソフトを使って必要に応じて実施する。変状の採寸の他に、記録すべき変状の選別と 3 次元モデルへの記録、変状の進化メカニズムと措置の考察も、点検士が変状解析支援ソフトを用いて行う作業となる。バウンディングボックスでは 1 つの変状が複数に分かれているように見える場合に、それが 1 つのものであるかの判定も点検士が変状解析支援ソフトで行う。

(4) -1 変状判別性能

(4) -1-1 判別可能な変状

<マイクロ AI>


①ひびわれと、ひびわれから劣化が進行した変状 (②漏水を伴ったひびわれ, ③石灰を伴ったひびわれ, ひびわれから一部が脱落した④剥離痕 (但しひびわれ起因でない剥離も同じく判別する), 内部に浸入した水分が内部鉄筋を腐食した結果ひびわれから出てきた⑤錆汁, 剥離した結果の⑥鉄筋露出) の6つの変状を判別する (図 4-11-17).

ひびわれは、デンスーが採用しているカメラ・レンズでは、撮影時の画素分解能値の1/3程度の幅のひびわれを判別する (撮影時画素分解能が 0.3 mm/px 時の判別ひびわれ幅は 0.1 mm).

尚、ひびわれ以外の変状種判別においても、点検 AI が適用可能な画像の画素分解能は 0.7 mm/px 以下としている。点検 AI の結果出力時、変状種ごとのバウンディングボックスの色を顧客要求などに応じて変えることができる。


<マクロ AI>

内部滞水がひびわれもしくはコンクリートの微細孔を通じて表面に浸み出してできる環状の水分や石灰が見えている⑦浸み, 内部滞水が膨張することでできるコンクリート表面の⑧膨れ, 内部でアルカリ骨材反応が発生したときや路面からの繰り返し荷重が内部に負荷されたときにできる⑨格子状ひびわれ, ひびわれが環状に繋がって剥離の可能性があり「浮き」と呼称される⑩環状ひびわれ の4つの変状を判別する (図 4-11-15).

点検AI: どこにどんな変状があるのか? を判別する  橋梁条件、過去点検、写真以外の点検結果












人による診断を支援する: 変状ごとに劣化メカニズムを明らかにし、措置を示唆する (診断示唆もAI化していく)

バウンディングボックス法を採用している。



<点検士の声を反映して開発>

- AIはあくまでも示唆であるべきで、点検士には変状を隠すことなく全容を見せてほしい。
- 正確な点検と診断に対しては、全変状の正確な採寸は必ずしも必要ではない。
- 橋面から、上部工下面・下部工に至る水分の流れ・影響の把握が重要。
- 変状が進行しているか? が重要。
- 鉄筋露出や錆汁といった変状が、補修に繋がる診断材料になる。

	変状の始まり ひび割れ	漏水ひび割れ	変状の進行 石灰ひび割れ	剥離	補修対象への進行 鉄筋露出	錆汁
マイクロAI (実証中)						
	浸み	多方向ひび	内部損傷の兆候	浮き	膨れ	
マクロAI (開発中)						

点群画像で判別する

図 4-11-15 点検 AI で判別するコンクリート部材の変状種

<鋼材の点検 AI>

塗膜剥がれ，腐食（鏽），亀裂（破断した状態）を変状種として開発中。

<AI で判別しない変状>

構造的な変状 3次元モデルやオルソモザイクを設計図や前回結果と比較することで判別する変形（図 4-11-10）や変形の進行は，点検 AI の対象にしていない．点検士が画像を見て判断する．

(4) -1-2 変状判別性能

実証段階にあるマイクロ AI は，再現率と適合率の評価検証を実施している．再現率と適合率の算出は，AI 開発支援プラットフォームの開設準備ワーキング・グループ内（国土交通省総合政策局公共事業企画調整課）での活動方針に基づき行った．

<評価手順>

- ・対象画像を 0.1m×0.1m の正方ブロックで区切り，ブロック毎に AI の正誤判定を行う．
変状が存在することを正しく判別した : TP
変状がないことを正しく判別した : TN
変状を見逃した : FN
変状がないのにあると誤判別した（過検出） : FP
正方マスに複数の判定が混在する場合は，複数の判定を残す．
- ・TP, TN, FP, FN の正方ブロックの数をカウントする．
- ・再現率と適合率を計算する．
再現率 = $TP / (TP + FN)$ ， 適合率 = $TP / (TP + FP)$

<再現率と適合率の見方>

- ・再現率：見逃しの指標・・・0.90 ならば 10% の見逃しがあるということ．
- ・適合率：過検出の指標・・・0.85 ならば 15% の過検出があるということ．

開発している点検 AI では，再現率=0.90 の時，100 個の変状のうち 10 個を見逃すのではない．1 個の変状の中で不明瞭な 10% を見逃す場合が多い．変状がひびわれであれば，見逃すのは一本のひびわれの極細い部分やひびわれの末端である．ひびわれ以外の変状でも，見逃すのは，1 マスの 1/2 程度の微小な場合が多い．これらの見逃しは，維持管理への影響は小さいと見做し，許容する開発目標値として再現率 ≥ 0.90 としている．（一財）先端建設技術センターから提供されたひびわれ判別の検証用画像（B）における，デンスーAI の判別性能は，再現率 0.98，適合率 0.89 とほとんど見逃しがない水準になっている（図 4-11-16）．

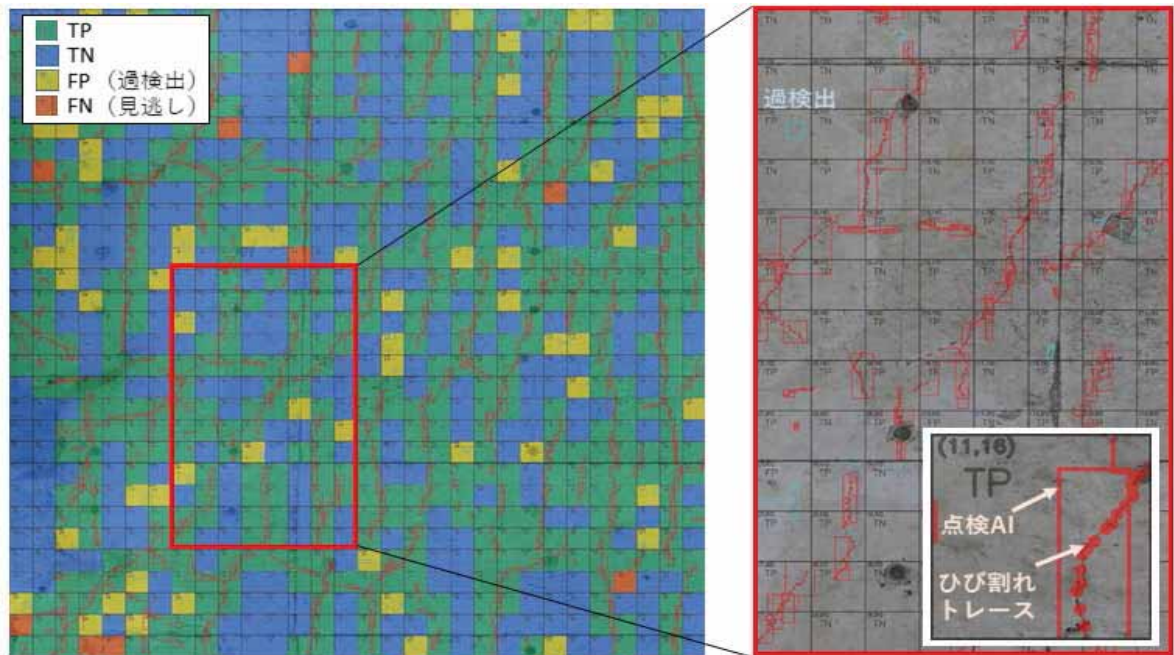


図 4-11-16 点検 AI のひびわれ判別状況
 (評価画像：Actec から受領したひびわれの検証用画像(B))

<点検 AI の評価と改良>

① デンソー内製の AI 評価画像での取り組み

点検 AI の感度を調整してまずは再現率 ≥ 0.9 を目指す。そこから教師データを増やして再現率をさらに上げつつ、適合率 ≥ 0.85 を目指す。

- ・ 実用可能レベル：再現率 ≥ 0.90 ，適合率 < 0.85 人が過検出を排除しながら使う。
- ・ 実用レベル：再現率 ≥ 0.90 ，適合率 ≥ 0.85 点検 AI をほぼ信頼しながら使う。

再現率，適合率の計算手順としては，撮影写真を予め教師用と AI 評価用に分け，図 4-11-16 に示す各ブロック毎に変状種毎の TP, TN, FP, FN を自動判定するソフトを用意して，AI 評価用画像を用いて再現率と適合率を計算した（図 4-11-17）。なお，評価用画像は，判別対象の変状数がそれぞれ 100 以上になるように作成し，再現率と適合率の信頼性の担保としている。

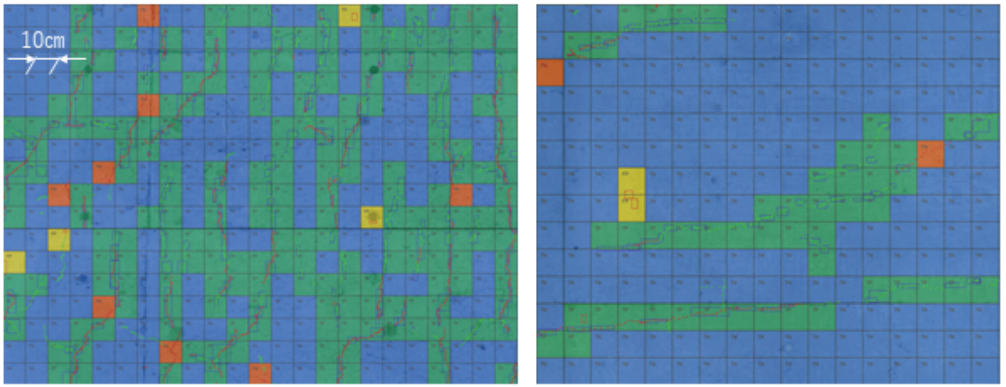
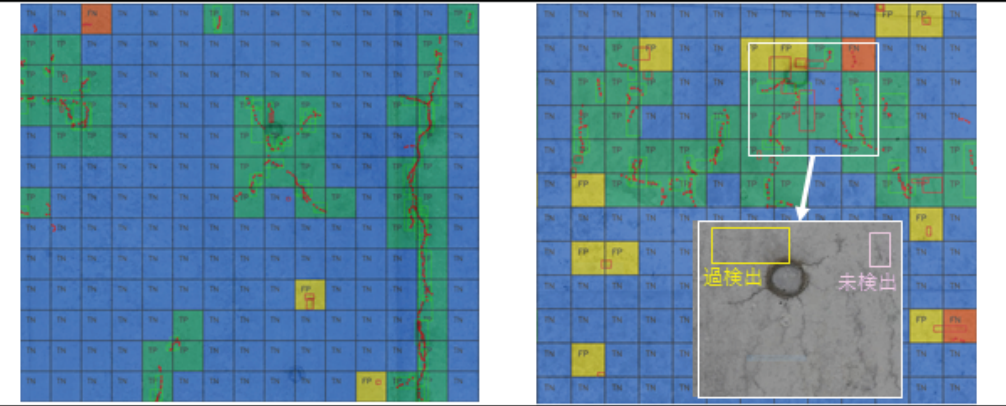
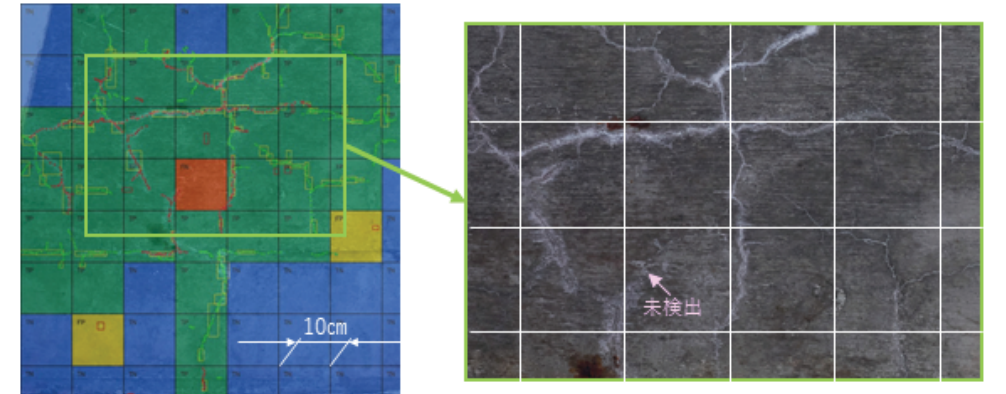
その結果，各変状で，再現率は 0.9 以上もしくは 0.88，0.89 と 0.90 に近い値を得ている。この点検 AI は実証段階にあり，複数の点検士から実用可能レベル，かつ再現率，適合率がともに 0.85 を超える変状は，点検 AI を信頼して使えるというフィードバックを得ている。

高い再現率と適合率を得るために，教師画像の選定と変状アノテーションのルールを設定し，健全性の反対区分となるⅡ，Ⅲの橋梁で撮影を行って適切な教師データを大量に学習させている。また複数の変状種を判別対象とする点検 AI において，特定変状に対する過学習に陥ることを回避するため，変状種ごとの教師データ数の差を大きくしないようにしている。

さらに，似て非なる変状の誤判別を低減するために，図 4-11-18 に示すように似て非な

る画像をアノテーションせずと与えて、変状ではないと学習させることも行っている。

現時点で、再現率 ≥ 0.90 、適合率 ≥ 0.85 を満足していない変状に対しては、更なる教師データの追加やAIの改良を行っていく。

変状種	検証用画像におけるAI判別状態	TP	TN	FP	FN
ひび割れ					
判別性能	再現率 0.97 適合率 0.88	大きなひび割れの一部を見逃すが、概ね正しく判別できる。コンクリート継ぎ目や斑点、チョークを過検出しない。			
漏水を伴うひび割れ					
判別性能	再現率 0.90 適合率 0.73	10cm未満（図中の1マスを超えない）漏水ひびを見逃す（FN）ことがある。線状の黒ずみを過検出（FP）することが多い。			
石灰を伴うひび割れ					
判別性能	再現率 0.88 適合率 0.86	再現率が0.90に達していないが、丸ごと見落とすことはない。			





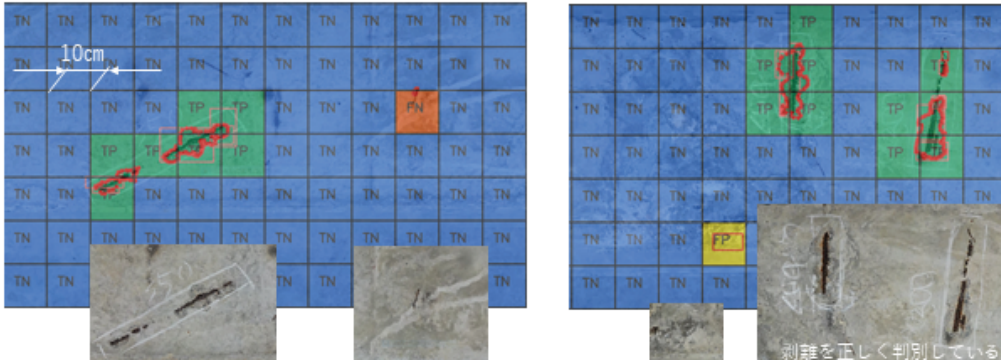
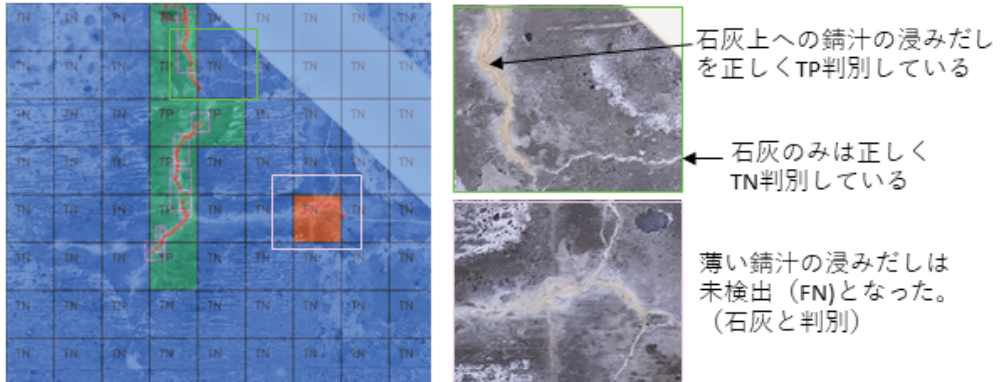
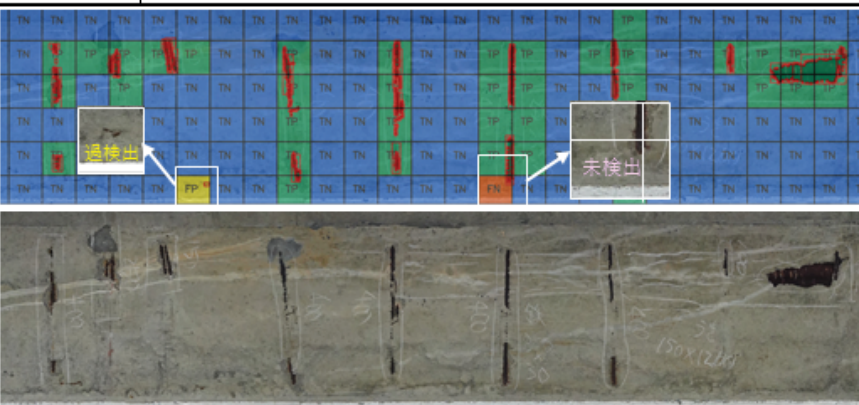
変状種	検証用画像におけるAI判別状態			
	 TP	 TN	 FP	 FN
剥離	 <p>剥離を正しく判別している 捨て鋼骨の僅かな剥離を見逃している 汚れを過検出している</p>			
判別性能	再現率 0.88 適合率 0.68	小さい未検出、過検出はあるが、実用上十分な判別性能と考えている。小さい環状変色部（汚れ）を過検出することがある。		
錆	 <p>石灰上への錆汁の浸みだしを正しくTP判別している 石灰のみは正しくTN判別している 薄い錆汁の浸みだしは未検出（FN）となった。（石灰と判別）</p>			
判別性能	再現率 0.92 適合率 0.81	石灰ひび割れ→錆汁ひび割れという進行を概ね分離できる判別性能と考えている。（薄い茶色の錆汁に対する判別性向上は、今後の課題）		
鉄筋露出	 <p>過検出 未検出</p>			
判別性能	再現率 0.89 適合率 0.92	再現率が0.9を若干下回るが、一つの鉄筋露出を丸ごと見落とすことはない。実用上十分な判別性能と考えている。		

図 4-11-17 点検 AI の変状種毎の性能（令和 3 年 11 月時点）







変状種	似て非なるもの (例)	
ひび割れ 	 黒くなった蜘蛛の巣	 コンクリートの継ぎ目
石灰を伴うひび割れ 	 白チョークのメモ 白チョークのトレース	 黒色のメモ
対処	<ul style="list-style-type: none"> ・似て非なる画像をバウンディングせずに教師データとして与える。 ・似て非なるものと変状が混在する画像では、変状のみをバウンディングして教師データとする。 	

図 4-11-18 過検出抑制のための学習 (似て非なる画像の処置)

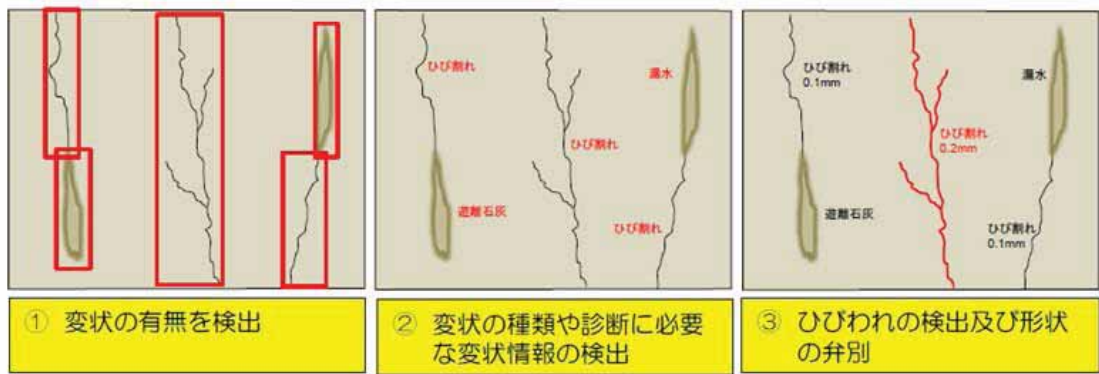
②評価用データに基づく推論と評価検証のフィードバックについて

共同研究において提案された点検 AI 評価要領に基づき、活用シーン②でエントリーし、提示された評価用データに対して変状推論を行った画像を提出した (図 4-11-19)。

共同研究内では、土木研究所が評価者となり、推論結果から適合率と再現率の算出と、道路橋点検士からの点検 AI に対するフィードバックが行われた。道路橋点検士からのフィードバックとデンソー点検 AI への反映について図 4-11-20 にまとめた。主なフィードバックは以下の通り。

- ・床版ひびわれ、遊離石灰、錆汁、剥離、鉄筋露出について、活用シーン②にマッチする。
- ・漏水については、土木研究所では広範囲に浸み出す漏水の範囲を GT としているのに対して、デンソーでは漏水を伴ったひびわれを判別対象としており、これの妥当性を説明する提案が必要。

このフィードバックの AI 開発への反映としては、デンソーは広範囲な漏水や石灰の浸み出しは別途開発中のマクロ AI で判別することになっているため (図 4-11-15 参照)、マクロ AI の開発とマイクロ AI の性能向上を進める。



シーン②でエントリー

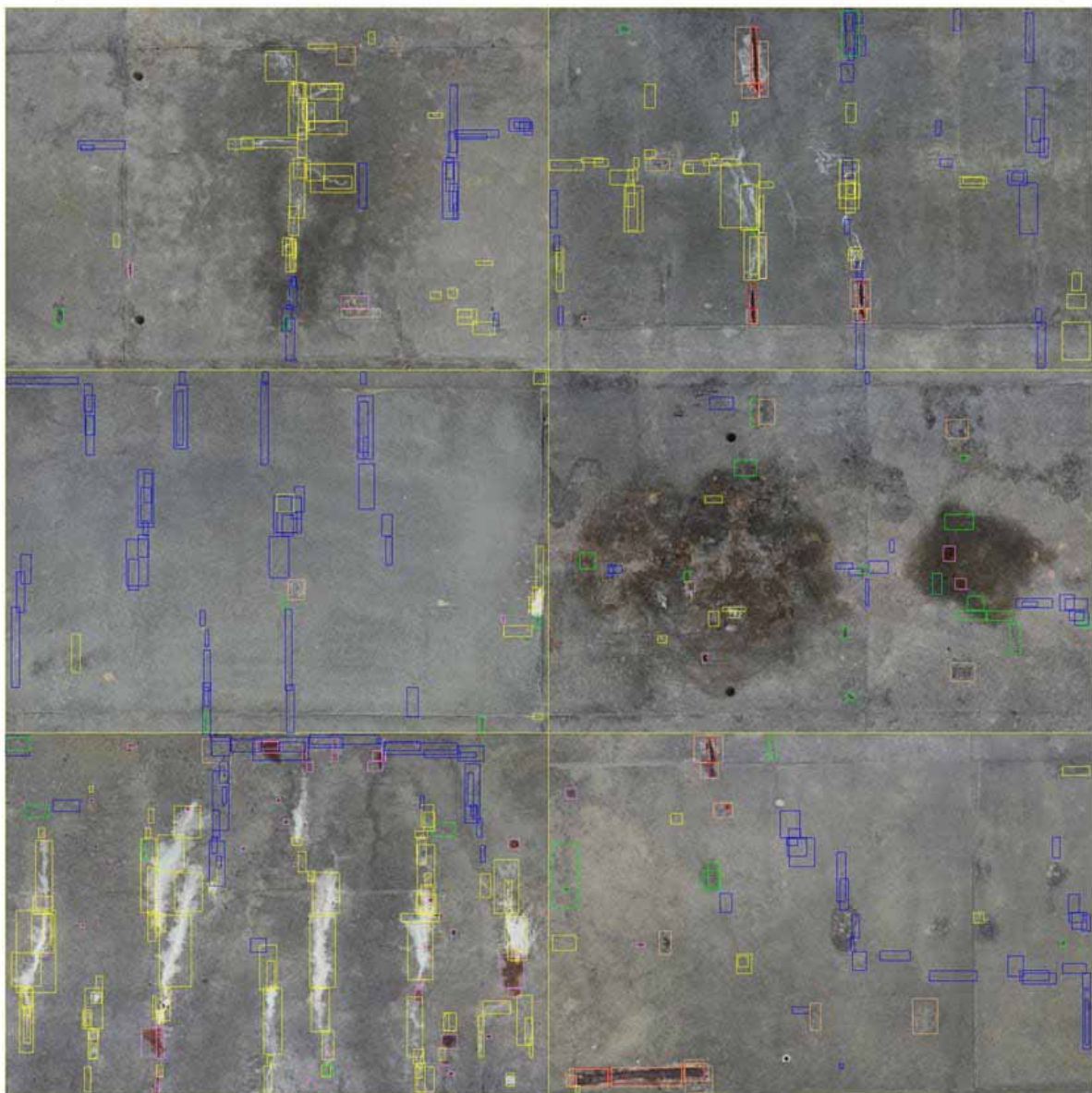
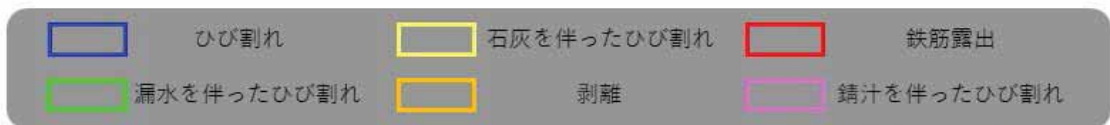


図 4-11-19 土木研評価画像におけるデンソー点検 AI の推論結果


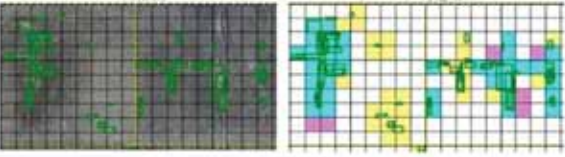
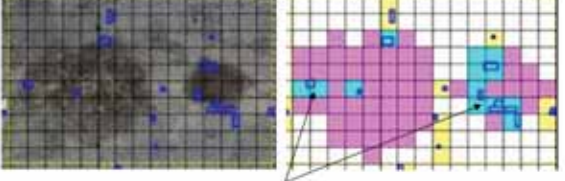




変状	デンソーAIの推論結果に対する 土木研の道路橋点検士のコメント (原文のまま)	対象画像とデンソーAIへの反映
床版 ひびわれ	太めのひびわれは的確に検知されており、 大局的なひびわれの発生箇所を把握できる。 活用シーン②にマッチングすると考えられる。	 <p>ブロック判定結果 水色：TP 黄色：FP ピンク：FN</p> <p>推論精度を高めるべく教師データを充実していく。</p>
遊離石灰	<ul style="list-style-type: none"> 再現率は良好であった。 適合率は0.59であったが、GTにはない規模の小さい遊離石灰が多く誤検知 (FP) と判定されたことが一因である^{※1}。遊離石灰の発生傾向を誤認するようなものではなく、活用シーン②にマッチングすると考えられる。 	 <p>AI推論 ブロック判定結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ※1 GTにはない規模の小さい遊離石灰 →これをTNにする再学習は行わない。石灰と示唆し、点検士の判断に委ねる。 コメントには記述されなかったが明らかに石灰ではない白濁模様を過検出していることがあった。→教師データの充実による改良を進める。
漏水	<ul style="list-style-type: none"> 広範囲に浸み出している漏水箇所において未検知 (FN) 判定となり、再現率が低い結果であるが、本技術^{※2}はひび割れからの漏水発生箇所を推論するAIであり、漏水の広がりを検出する仕様ではない。今回の評価ルールにおいては不利があった可能性がある。 →技術の妥当性を説明するうえで建設的な提案が必要^{※3} 広範囲に浸み出す3箇所の漏水について、各々その一部を正しく検知できていた。AI推論結果と推論元の画像を確認することで大局的な漏水の広がりを確認できると思われる。 ※2 本技術：デンソー製点検AI 	 <p>ひび割れからの漏水発生箇所を推論している。</p> <p>※3 技術の妥当性を説明するうえで建設的な提案 →本技術とは別に、面積の大きい変状を推論するマクロ点検AIを開発しており、そちらの重要な対象変状としている。</p>
錆汁	<ul style="list-style-type: none"> 再現率は良好であった。 適合率は0.27であったが、GTにはない規模の小さい錆汁が多く誤検知 (FP) と判定されたことが一因である^{※4}。錆汁の発生傾向を誤認するようなものではなく、活用シーン②にマッチングすると考えられる。 	 <p>※4 GTにはない規模の小さい錆汁 →これをTNにする再学習は行わない。錆汁と示唆し、点検士の判断に委ねる。</p> <p>※4 小さい錆汁と推論している</p>
剥離	<ul style="list-style-type: none"> 再現率は良好であった。 誤検知 (FP) は多くないが、誤検知のほとんどは表面気泡等の初期欠陥や環境起因の表面劣化であった^{※5}。精度の高い変状種類の分類という点では更なる技術向上に期待したいが、弱点となりえる箇所が可視化されており、活用シーン①または②にマッチングすると考えられる。 	 <p>※5 初期欠陥や表面劣化 (元画像)</p> <p>初期欠陥や表面劣化の過検出に対しては、教師データの充実による改良を進める。</p>
鉄筋露出	<ul style="list-style-type: none"> 再現率、適合率ともに良好であった。 未検知 (FN) はコンクリートの被り不足が一因の鉄筋露出であり、明らかに露出している鉄筋は精度よく検知できていた。活用シーン②にマッチングすると考えられる。 	 <p>明らかな鉄筋露出は正しく推論した 見逃しがあった</p> <p>部分的な鉄筋露出パターンの教師収集を行い、推論精度の向上を図る。</p>
その他	<p>バウンディングボックスはいたずらに広い範囲を囲っているわけではなく、バウンディングボックスによる評価の優位性は少なかったと考えられる。(むしろブロック評価における適合率では不利だったかもしれない)</p>	 <p>AI推論 (ひび割れ)</p> <p>変状示唆として理解しやすいバウンディングボックスの仕様を追求していく。</p> <p>適度なバウンディングボックスの幅が評価された</p>

図 4-11-20 土木研究所評価における道路橋点検士のコメントとデンソーAIへの反映

(4) -2 点検 AI の活用方法

点検士は、AI が重畳されたオルソモザイクから診断に必要な変状を選別する。それがオルソモザイクおよび3次元モデルに自動記録されるので、これらを点検調書用途に活用する。アナログ点検との違いを表 4-11-4 に示す。

表 4-11-4 アナログ点検とデジタル点検

遠方観察	目視点検	デジタル点検 <維持管理のDX化>
近接目視		
現場	<ul style="list-style-type: none"> ・現物から変形を見つけ、写真を撮る。 ・必要に応じてレーザ計測を追加する。 	UAVなど点検ロボットを活用して、3次元モデル作成手に従い撮影する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・変状を見つけ、チョークでマークし、撮影する。 ・変状を野鳥に描き取る。 	部位毎にフォルダ分けをする。 <チョーク、野鳥の廃止が可能>
画像処理	(レーザ計測が行われていれば) 3次元点群データを作成する。	3次元モデル作成手法*に従い、SfMで3次元モデル化する。 ※：デンソー社内規
	(なし)	部位ごと、面ごとにオルソモザイクを作成する。
変状図	写真で構造異常を説明する。	3次元モデルから構造の変形、歪み、ズレを確認する。 <写真では表現できないリアルな変形再現>
	野鳥と写真を参考に変状を白図に描き出す。	オルソモザイクに点検AI結果を重畳表示する。 <白図の廃止が可可能>
調書	白図の変状から診断レベル決定要因となる変状を選定して調書とする。	<ul style="list-style-type: none"> ・点検AIオルソモザイクから記録すべき変状を選定する。 ・選定変状に必要な情報(採寸結果、コメントなど)を付与する。 ・他の点検結果をオルソモザイクもしくは3次元モデルに追記する。 ・変状が自動転記された3次元モデルとオルソモザイクを保存する。 <デジタルデータ保管→前後工程との共用→地図データとの連携>
診断	橋梁の診断レベル	橋梁の診断レベル <変状毎の劣化メカニズムと措置>

保存するデータは、以下の3つとなる。

① 変状が記録された3次元モデルおよびオルソモザイク画像

これが、点検調書の基礎データになる。

② 点検 AI が重畳されたオルソモザイク

現点検で行われている[1] 実物もしくは画像から変状を見つける作業、[2] 見つけた変状を白図に描き写す作業 で懸念される工数の増加と見逃しや誤記を解消するために、寸法精度と画質に優れるオルソモザイクに判別性能が高い点検 AI 結果を重畳出力した画像をそのまま変状図にする。バウンディング法ではバウンディングの枠線が変状を隠さないで、オルソモザイクの変状を見て確認することができる。

③ 点検 AI 結果が重畳表示されていないオルソモザイク

点検結果が重畳されていないオルソモザイクは、次回点検時の2 時期比較用に保存する AI 技術は進化すること、使う AI が変わる可能性があること、当該点検以外の用途に対応可能にしておく必要があること* から、その時に採用される最新 AI を用いて解析するために、元のオルソモザイク画像を保存する。(※ 土木研究所 CAESAR で開発を進めている診断 AI システムへの画像提供も可能)

(4) -3 適用事例

実際には1つのオルソモザイクには複数の変状があるので、点検 AI は図 4-11-21 のように出力される。以下、点検 AI の適用・活用法をデンソーが開発した「橋梁の変状解析支援」ソフトを用いて説明する。

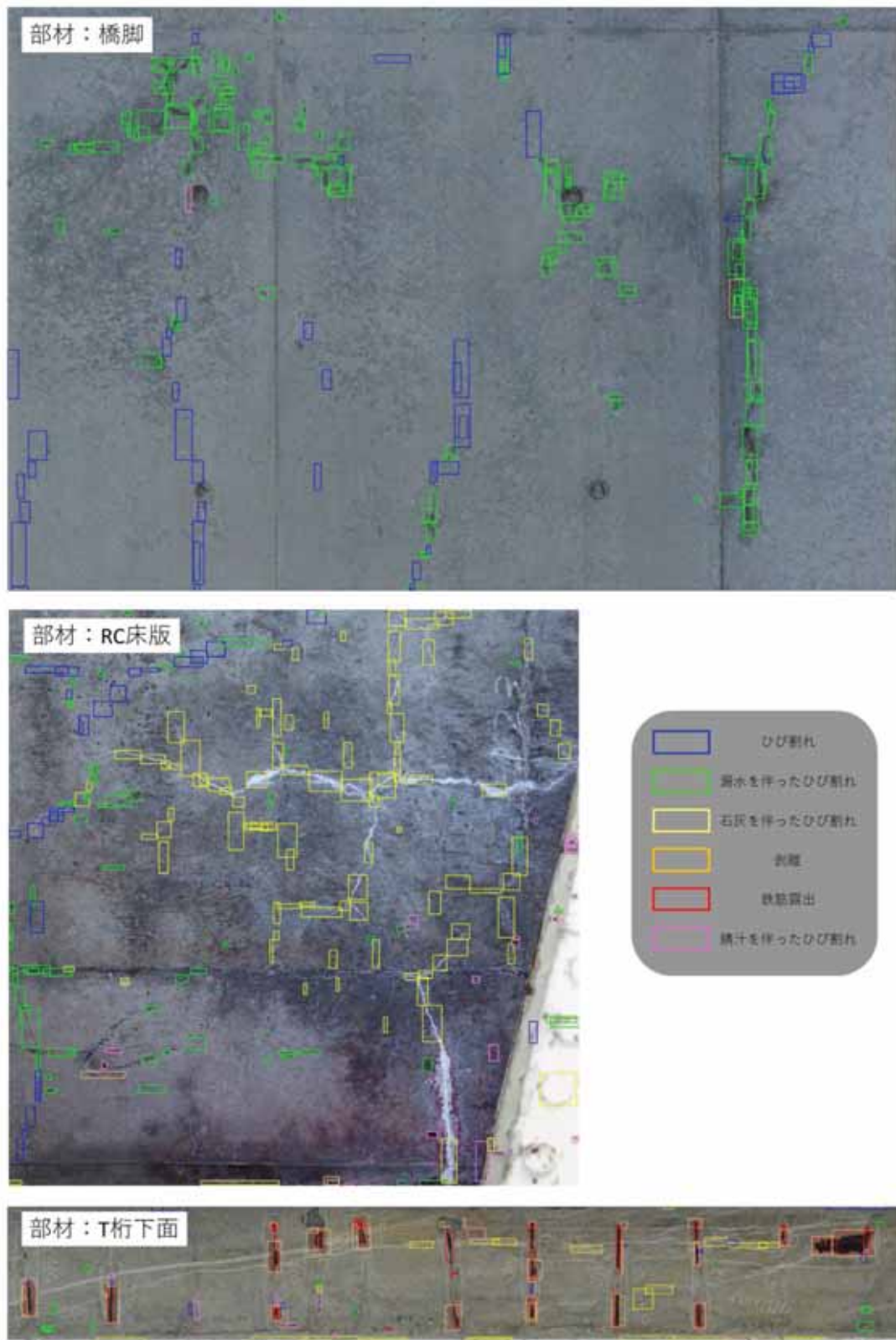


図 4-11-21 実際の点検 AI の出力

「橋梁の変状解析支援」では、点検 AI が判別した変状を、点検 AI から示唆されたものとして扱い、記録すべき変状を人が選定し、必要な解析を行う。

図 4-11-22～図 4-11-24 は、変状解析支援ソフトを用いて、点検 AI を活用して変状図を作成している時の画面をキャプチャーしたもので、図 4-11-22 では、点検 AI で示唆されたひびわれを点検士が確認し、ひびわれを測定し、補足説明を記入している。

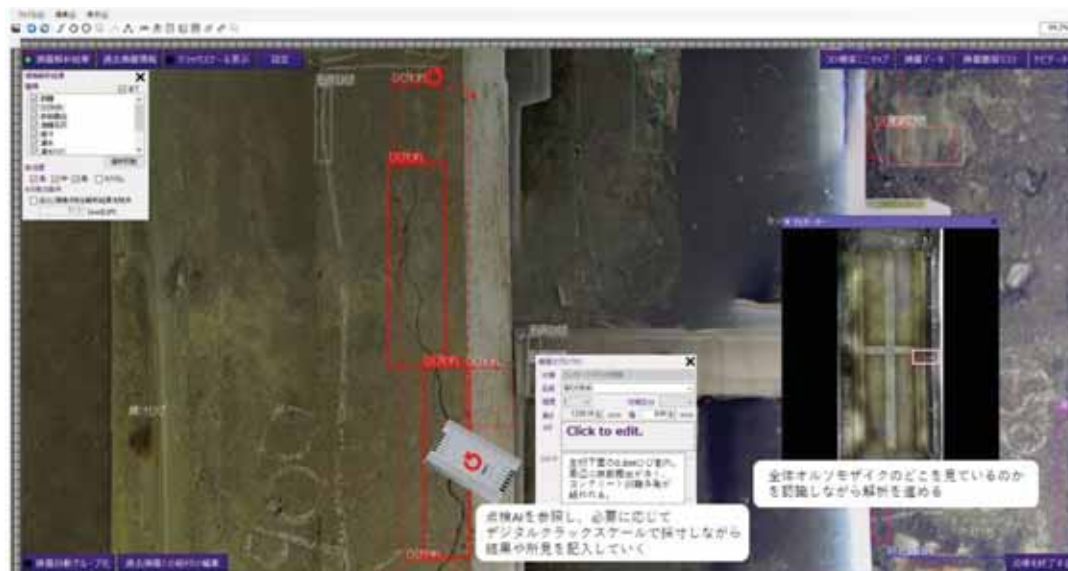


図 4-11-22 変状の記録

図 4-11-22 で、記録すべきとして選定され解析結果や所見が付与された変状は、オルソモザイクと 3 次元モデルに自動転記される。3 次元モデルでは、図 4-11-23 に例示されるように、上部工と下部工の変状分布を俯瞰できる。



図 4-11-23 変状の 3 次元俯瞰（点検士による実証の様子）

変状情報は、オルソモザイクに画像として残っているため、期間を隔てたオルソモザイクの点検 AI 結果で 2 時期比較ができる。図 4-11-24 の事例では、1 方向ひびわれが 2 方向ひびわれへと劣化進行したことが点検 AI で示唆され、点検士が確認した。

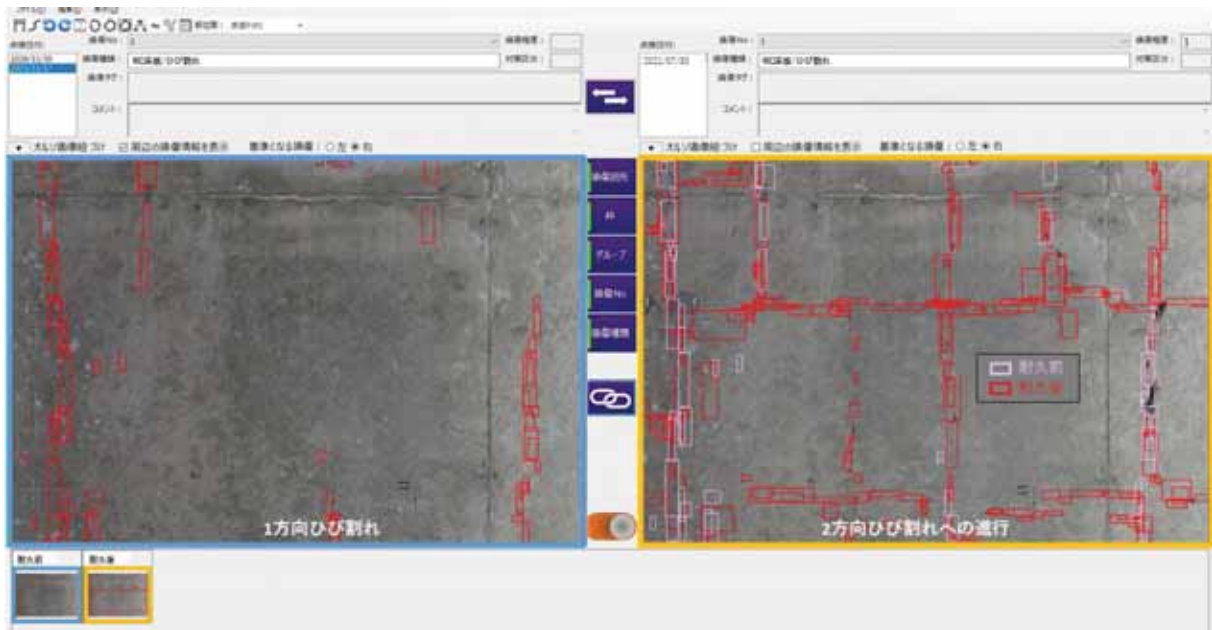


図 4-11-24 2 時期比較事例

(床版の輪荷重試験 (土木研究所) で撮影された写真をオルソモザイク化し点検 AI で変状判別した)

これらのデータを用いて、点検士が橋梁の診断だけでなく、変状に対して起点と劣化メカニズムを考察し措置を示唆できるように導くツールを目指して開発していく (図 4-11-25)。

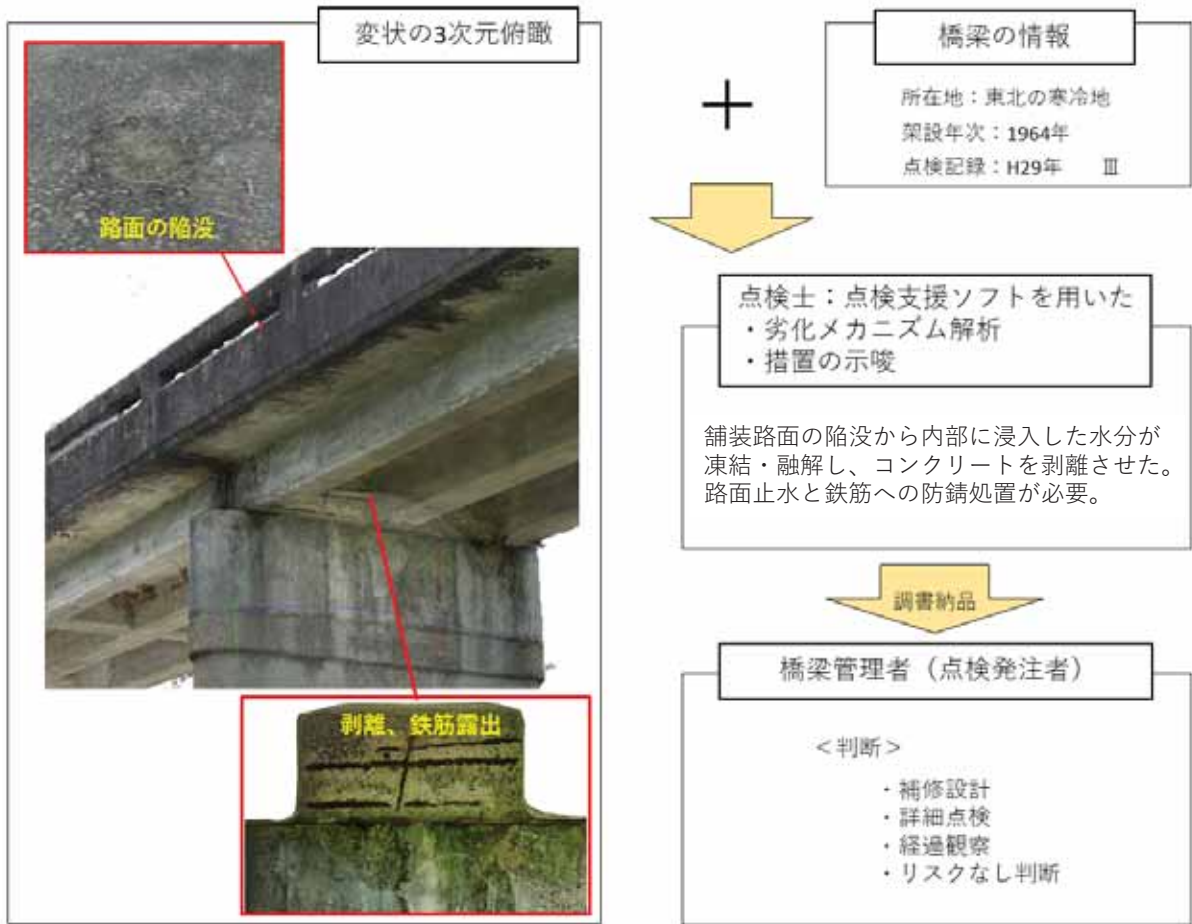


図 4-11-25 変状の劣化メカニズムの考察と措置の示唆（開発中）

(5) まとめ

橋梁のデジタル点検化を念頭において、点検ロボットと点検 AI の性能と活用方法および事例をまとめた。

<特長>

- ①点検ロボット：精密な撮影と高精度な SfM 処理によって、形状精度と寸法精度に優れた 3 次元モデルとオルソモザイクが作成できる。3 次元モデルからは、構造の変形量やずれ量を計測できる。
- ②判別精度の高い点検 AI は、点検士が実橋梁部材や画像から変状を探し出す作業をゼロにできる。点検 AI で示唆される変状を確認し、記録すべき変状を選定し、解析結果とともに 3 次元モデルおよびオルソモザイクに記録できる。変状が記録された 3 次元モデルを用いて点検士は変状分布を俯瞰できる。またオルソモザイクを保存しておくことで、点検 AI を用いた 2 時期比較が可能になる。

<発展性>

橋梁とその診断に留まらず、次のようなことができるように発展させたい。

- ・構造物（インフラ）の、変状ごとの起点と劣化メカニズムを推定し、措置を示唆する。
- ・他の点検や維持管理における前後工程とデジタル情報で繋ぎ、維持管理の工程の効率化に役立てる。

<デジタル点検のあり方>

網羅点検を前提に、橋梁の全ての面をオルソモザイク化して変状解析を行う場合には、ロボット点検や点検 AI を導入しても点検コスト低減を図るのは容易ではない。

- ・3次元モデルを、白図のパレットとしてではなく、遠方目視以上の変形・ズレ解析ができるツールとして活用する。
- ・点検 AI で変状が可視化されたオルソモザイクを用いてデジタル変状図とすることで、白図への書き写しというアナログ作業をなくす。更に、従来点検では記録されなかった変状は次回以降に残すことができないが、新技術では、調書に記録されなかった変状も保存されたオルソモザイクには場所と形状・様相が記録されており、変状が進行したときに比較できる。
- ・橋梁の診断だけではなく、変状毎のメカニズムと措置を示唆することによって、前後工程へ共有共用を図り、例えば点検調書、補修設計図、補修完了図をデジタルで共用し、別々にアナログなドキュメントを作るコストを削減するなど、新たな価値が価格換算されたうえで、現在のような1品1様な点検ではなく、発注者と受注者がデジタル点検を相互理解し、費用算出法を含めて点検法が標準化されたときに、維持管理全体での精度向上とコスト低減につながると考えている。

一方で、一度高精度なデジタル点検が実施されれば、続く点検はスポット点検でも十分な場合はあり、そのときは写真座標に従ってスポット撮影しオルソ変換し、点検 AI で劣化進行の有無をチェックすればよく、デジタル点検コストは大きく低減できると考える。

例えば、網羅点検は3回に1回とし、残り2回はスポット点検とする。もしくは、要注意変状はスポット点検の頻度を上げる、もしくは内部探傷など詳細点検を行う。また構造的な変形やズレをトレースしたい場合はレーザ計測を行う。など、状況に応じて適する点検調査技術を用いることが良いと考える。

4.12 AI 橋梁診断支援システム

(1) 研究開発者

株式会社日本海コンサルタント

(2) 技術活用の目的

橋梁診断業務において、図 4-12-1 に示すように診断技術者は橋梁の健全性や劣化要因を判定するが、診断技術者の経験差による判定結果のバラツキや見落としなどが懸念されている。このため、本技術は、健全度・劣化要因を着色写真で明示することで、このようなヒューマンエラーを防止することを目的としている。さらに、省力化・コスト縮減を目的として、橋梁点検調書を自動作成することを目指した。





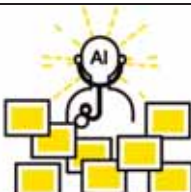


段階	現場点検時	診断時	調書作成時																					
これまでの手法	 <p>近接目視・計測・撮影記録</p>	 <p>見落としや個人差による判定結果のバラツキ</p>	 <p>資料収集・調査結果整理など膨大な人力作業</p>																					
技術活用による手法	 <p>近接目視・計測・撮影・記録とタブレット等による取得データの入力</p>	 <p>AI による見落としや判定結果のバラツキなどヒューマンエラーの回避</p>	 <p>判定結果確認と採用写真の選択で調書を自動作成し、省力化を実現</p>																					
結果と効果	 <p>AI による健全度判定結果の例</p>		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th colspan="3">健全性区分の凡例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">良</td> <td style="background-color: #90EE90;">健全度5 [A]</td> <td>健全</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;"></td> <td style="background-color: #ADD8E6;">健全度4 [B]</td> <td>軽微な損傷</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFDAB9;"></td> <td style="background-color: #FFDAB9;">健全度3 [C1]</td> <td>予防保全段階</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFDAB9;"></td> <td style="background-color: #FFDAB9;">健全度2 [C2]</td> <td>早期措置段階</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFDAB9;"></td> <td style="background-color: #FFDAB9;">健全度1 [E1]</td> <td>緊急措置段階</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">悪</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>本システムの導入効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●コスト縮減・工期短縮 <ul style="list-style-type: none"> ・判定作業の省力化 ・調書作成の省人化 ●品質の確保・向上 <ul style="list-style-type: none"> ・判定結果のバラツキ防止 ・損傷の見落とし防止 ・診断作業への提案 	健全性区分の凡例			良	健全度5 [A]	健全		健全度4 [B]	軽微な損傷		健全度3 [C1]	予防保全段階		健全度2 [C2]	早期措置段階		健全度1 [E1]	緊急措置段階	悪		
健全性区分の凡例																								
良	健全度5 [A]	健全																						
	健全度4 [B]	軽微な損傷																						
	健全度3 [C1]	予防保全段階																						
	健全度2 [C2]	早期措置段階																						
	健全度1 [E1]	緊急措置段階																						
悪																								

図 4-12-1 これまでの手法と技術活用による手法の対比

活用シーンは、点検技術者が点検作業完了後の報告書作成時に本技術を使用し、劣化状況とその位置を明示により診断技術者に着目箇所を示すものであり、詳細調査・試験項目選定に必要な劣化要因を提案している。

(3) 技術の特徴

1) 主要仕様

- ・本技術は、パソコン・タブレット等にインストールされているインターネットブラウザを経由して、本技術のウェブページに接続することで利用可能となる。
- ・AI判定は、表 4-12-1 に示すコンクリート部材の健全度（AI判定特有の指標である健全度 1～健全度 5，健全性 I・II・III・IV との対応表有）と劣化要因は、表 4-12-2 に示す 7 区分（ASR，塩害，中性化，凍害，収縮系・疲労，豆板系，健全部）を出力することが可能である。

表 4-12-1 健全度の判定（5段階）

健全度 5	健全度 4	健全度 3	健全度 2	健全度 1
健全性 I		健全性 II	健全性 III	健全性 IV
良		悪		
				
健全	軽微な損傷	予防保全段階	早期措置段階	緊急措置段階

※健全性と健全度との関係は一般の対応を示す。

表 4-12-2 劣化要因の判定（7区分）

ASR	塩害	中性化	凍害
 膨張ひびわれ (拘束方向・亀甲状)，ゲル，変色	 鋼材軸方向ひびわれ さび	 鋼材軸方向ひびわれ コンクリート剥離	 微細ひびわれ スケールアウト， ポップアウト，変形
収縮系	豆板系	健全部	
 ひびわれ（一方向・ 微細・隅角部）	 豆板，磨耗（すりへり）	 劣化のない状態	

- ・従来技術として複数人の熟練技術者による、16 橋 74 枚の写真判定を正として、本技術による正答率は、健全度 88%，劣化要因 92%であった。また、複数熟練技術者によ

る判定結果の正答率は、健全度 82%，劣化要因 82%であった。これより、本技術は従来技術である技術者ごとの判定の「ばらつき」を減らし、品質を向上できることが確認できた。

- ・道路橋定期点検要領（H31.3）に記載されている図 4-12-2 に示す様式 1・様式 2 の調書作成が可能となる。また、図 4-12-3 に示す本技術となる AI 橋梁診断支援システム Dr. Bridge®（以下、本システムという）のオリジナル調書の出力可能である。なお、橋梁定期点検要領（H31.3）で定める各様式の作成は対象外となる。



図 4-12-2 出力例：道路橋定期点検要領(H31.3)に記載されている別紙 2 (様式 1・2)

AI診断結果

業務情報・橋梁情報

業務年度	2020	業務名称	橋梁点検業務その1	橋梁管理者名	その他
橋梁管理番号	1001	橋梁名	RC床版橋	地域情報	ASR地域：○、塩害地域：○、凍害地域：—、凍結防止剤散布：—

点検結果

橋梁	健全性判定区分			劣化要因判定区分				備考
	調査採用	AI算出	技術者	AI算出	技術者	複合劣化		
上部構造	III	III	III	—	—	—	—	
主桁	III	III	III	塩害	塩害	<input type="checkbox"/>	—	
橋桁	—	—	—	—	—	<input type="checkbox"/>	—	
床版	—	—	—	—	—	<input type="checkbox"/>	—	
下部構造	III	III	III	ASR	ASR	<input type="checkbox"/>	—	
支承部	—	—	—	—	—	—	—	
その他	I	—	—	—	—	<input type="checkbox"/>	—	
対策の必要性	必要	対策方針	補修設計	緊急対応の必要性	不要	緊急対応方針	—	
点検所見	橋梁の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべきである。				点検所見メモ			

AI診断条件・結果

区間番号	部材・材料	写真情報		健全度					劣化要因							
		写真ID		IV	III	II	I									
1	主桁・RC	地域情報	ASR地域：○、塩害地域：○、凍害地域：—、凍結防止剤散布：—	健全度 1	健全度 2	健全度 3	健全度 4	健全度 5	ASR	塩害	中性化	凍害	収縮系・疲労	豆板系	健全全部	
		撮影距離	0.5m~1m													
		ひびわれ幅	無													
		断面欠損系	欠損有（小規模）、鉄筋露出有（減肉無）、うき無													
		備考	写真番号1、鉄筋露出(500×400mm)	0%	79%	17%	4%	0%	0%	96%	4%	0%	0%	0%	0%	0%
			AI判定 健全度2				AI判定 健全度2									
			技術者判定 健全度2(III)				技術者判定 健全度2(III)									

図 4-12-3 出力例：本システムによるオリジナル調書

- ・本システムの運用形態は、クラウドサーバーによるデータ保存となる。
- ・本システムの契約形態は、AI 診断及び調書作成が可能な 1 橋単位の契約(基本診断サービス)と AI 診断に限る写真 100 枚単位の契約(簡易診断サービス)となる。
- ・セキュリティ対策として、ログイン ID・パスワードによる接続を要する。
- ・OS は、パソコンでは Windows10、スマートフォンでは iOS または Android の利用が可能である。
- ・ブラウザは、パソコンでは Microsoft Edge または Google Chrome、スマートフォンでは Google Chrome が利用可能である。
- ・デジタルカメラは、解像度 108 万画素(横 1200×縦 900px)以上の写真を撮影できるデジタルカメラの利用が可能である。

A) 適用可能な画像

- ・AI 診断に使用する写真は、以下の撮影要件を満足する必要がある。
撮影距離 0.5～3.0m、撮影角度 60°～90°の写真。
人が写真から健全度及び劣化要因を診断できる写真（ピンボケ写真やコンクリート面への草木付着等がない写真）
- ・AI 診断に使用する写真は、撮影距離ごとに以下の解像度以上が必要である。
撮影距離：0.5～1.0m の場合：写真解像度 12 万画素(横 400×縦 300px)以上、
撮影距離：1.0～2.0m の場合：写真解像度 48 万画素(横 800×縦 600px)以上、
撮影距離：2.0～3.0m の場合：写真解像度 108 万画素(横 1200×縦 900px)以上
- ・診断できない写真の例を以下に示す。
蔦や草、フラッシュによる白飛び、陰影や漏水などにより、人間が写真から損傷が確認できない写真

B) 推論可能な変状

橋梁の主桁・床版・下部工などのコンクリート部材の劣化要因・健全度を判定することが可能である。

2) 適用範囲

- ・適用可能な範囲
橋梁及び溝橋（ボックスカルバート）のコンクリート部材（主桁・横桁・床版・下部工等）。
コンクリート面を近接目視して写真撮影できること（従来の点検と同様）。
- ・特に効果の高い適用範囲
本技術の撮影要件を満足する写真を撮影しやすい平面的な構造：RC 床版橋または溝橋（ボックスカルバート）

- ・適用できない範囲

鋼部材や舗装等については、AI 診断はできませんが、点検者が診断した結果を入力することで調書の作成は可能である。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

- ・誰が使うのか : 点検技術者・診断技術者
- ・誰を支援するのか : 診断技術者
- ・誰が情報の整理をするのか : 点検技術者
- ・誰が取得した情報を使うのか : 診断技術者
- ・いつ使うのか : 点検技術者が点検後や調査結果取りまとめ時に使用し、診断技術者が結果を確認する。
- ・どこで使うのか : インターネットとパソコンもしくはタブレット等が利用可能な現場及び室内
- ・何を支援するのか : 対象橋梁の「健全度」及び「劣化要因」の提案
- ・なぜこの技術を開発したのか : 診断技術者は経験に基づき健全度を判定するが、その時の判定に個人差があり、見落としなども懸念されるため、ヒューマンエラーを回避するために本技術を開発した。また、点検調書作成に多大な時間を要しており、作業の効率化・省人化のため開発した。
- ・どうやって支援するのか : 本システムに橋梁点検写真（入力写真）と諸元情報（橋梁設置位置、部位名称など）及び損傷情報（ひびわれ幅、欠損・鉄筋露出・うきの有無）の入力により、対象橋梁の「健全度」と「劣化要因」を自動判定し、調書に必要な写真の選定により点検調書を自動作成する。以上により点検業務の効率化・省人化を支援する。
さらに、点検技術者が点検作業完了後の報告書作成時に本技術を使用し、劣化状況とその位置の明示により診断技術者に着目箇所を示すとともに、詳細調査・試験項目選定に必要な劣化要因を提案する。

・具体事例

本システムを活用した橋梁点検業務では、現地で計測した情報や写真をその場で入力することが可能であり作業の効率化が図られる。また、本システムは調書を自動作成することで省力化が図れる。最後に有資格者が結果を確認することで従来と同等の安全性・信頼性が確保される。本システムを活用した橋梁点検の作業フローを従来の点検手法と対比した図 4-12-4 を示す。

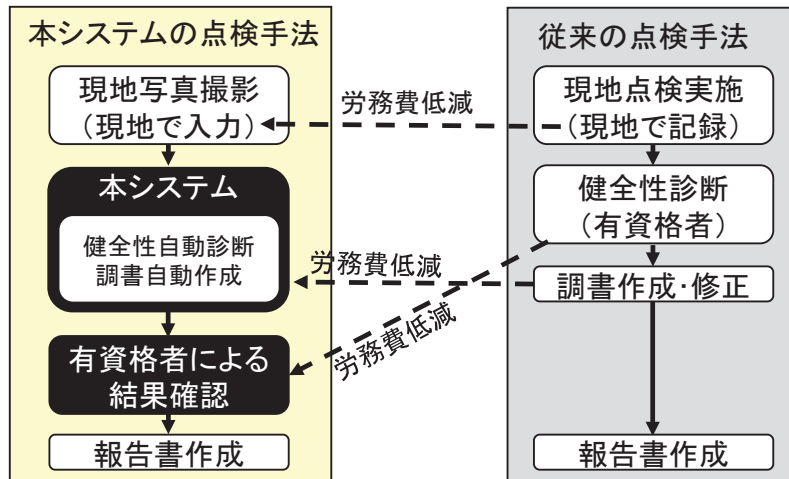


図 4-12-4 作業フローイメージ図

・導入活用効果

従来技術と本システムを活用した場合の労務費を比較すると、表 4-12-3 に示すように 10 橋あたりの点検作業労務量とした場合、75%削減される。

表 4-12-3 労務量比較表

	単位	従来技術	本システム	削減率
技師 (B)	人日	3.2	0.6	81.3%
技師 (C)	人日	1.6	0.6	62.5%
合計		4.8	1.2	75.0%

2) 診断への情報提供

・提供する情報の内容

橋梁の各コンクリート部材における健全度と劣化要因を色分けで明示する。
各部材の健全度を踏まえた橋梁全体の健全度を提案する。

4.13 VIS&TFC の適用による道路橋メンテナンス支援技術

(1) 研究開発者

日本工営株式会社

(2) 技術活用の目的

近年、点検現場での活用を目的とした変状抽出 AI が数多く開発されている。それらを構築するためには、学習データとして高画質画像を多く用意する必要があり、学習データの用意に手間が生じることが、AI 構築時の課題として指摘されている。

そこで日本工営では、従来点検で取得した低解像度画像の学習データとしての適用性向上および用意する学習データ数の削減による AI 構築の省力化が可能である「VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI」を構築し、ひび割れ分布図の作成支援について検討した。

(3) 技術の特徴

既存の点検作業による撮影写真は、汎用のデジタルカメラにより取得されており、取得できる画像解像度にバラツキがある。点検により画像の解像度は、0.2mm のひびわれ等、微細な損傷を視認することが困難な場合が多い。

この背景に対し、日本工営より提示する VIS&TFC は、PC 画面上でひびわれ等微細な損傷を強調し、解像度が低い画像からの損傷を視認しやすくするソフトウェアである。PC 画面上でリアルタイムに処理が可能であるため、既存画像にも適用可能である。VIS&TFC による処理画像は、jpg や png ファイルへの出力が可能であるため、日本工営では、これを AI の教師データとして利用し、損傷図作成の補助ツールとしての活用を検討した。

1) 主要仕様

A) VIS&TFC システムの概要

VIS&TFC システムは動画像・静止画を対象として、画像特徴の強調・判読支援、画像領域内外の分類・解釈をリアルタイム支援するシステムであり (図 4-13-1)、VIS^{*1} と TFC^{*2} から構成される。

*1) 錯視誘発画像特徴強調システム:VIS(Visual Illusion based-image feature enhancement System)

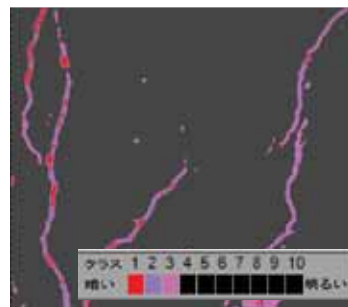
*2) 対象画像特徴領域内分類画像:TFC 画像(Target image-Feature area Classification image)



(a)入力画像



(b)VIS 処理画像



(c)TFC 処理画像

図 4-13-1 VIS&TFC 処理画像

VIS は、錯視誘発効果を利用して、画像鮮鋭化（ぼけの改善）、「凹凸、キメ、ざらつき」等の画像特徴量を強調・図化し、視認性の向上および画像判読の支援が可能な VIS 処理画像を出力する。TFC は、教師無しクラスタ分析（k-means 法：非階層型クラスタ分析）により、画像データをクラスタリングし、収束後のクラスタ重心が小さい（電磁波反射率が小さい）順に並べ変えることによって TFC 処理画像を出力する。

VIS&TFC システムの特徴として、低解像度画像に対する適用性の高さが挙げられる。先述した通り、VIS&TFC システムは画像特徴量の視認性を向上させるシステムであることに加え、入力画像の解像度に依存されにくい処理アルゴリズムである。そのため、従来点検で使用される汎用カメラで撮影した画像に対する有効性も期待できる。

・ VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の仕様

画像処理によってひび割れ分布図の作成を支援する技術は既に存在しているが、入力画像として高解像度画像を用意する必要があるため、汎用カメラで撮影した画像では満足しない課題が指摘されていた。

そこで、図 4-13-2 に示す通り汎用カメラで撮影した画像を入力画像として採用したうえで、VIS 処理画像および TFC 処理画像に変換することによって、学習データとしての適用性を確保した。また図 4-13-3 に示す通り、図 3 と同じ入力画像から技術者が作成したひび割れ分布図を学習データとした。

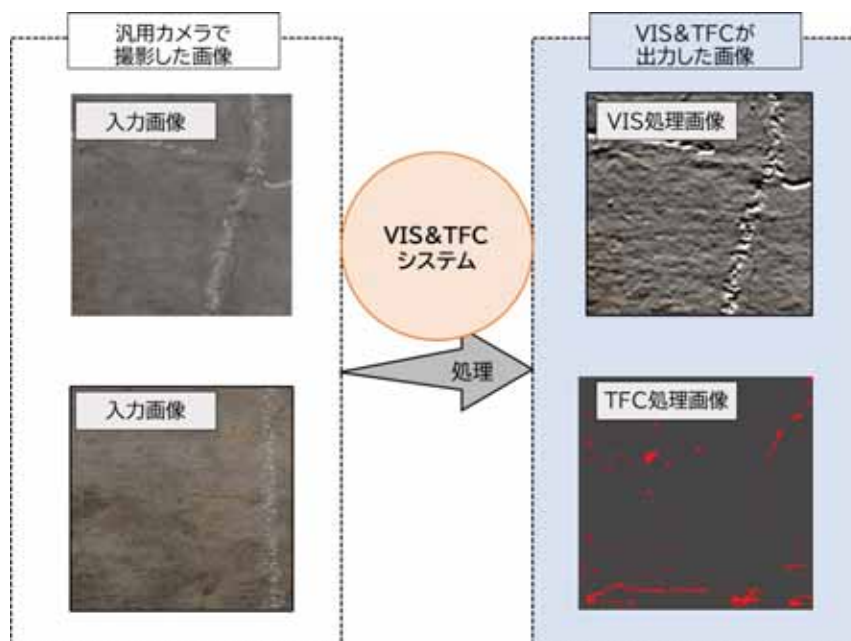


図 4-13-2 汎用カメラで撮影した画像に対する VIS&TFC システムの処理結果

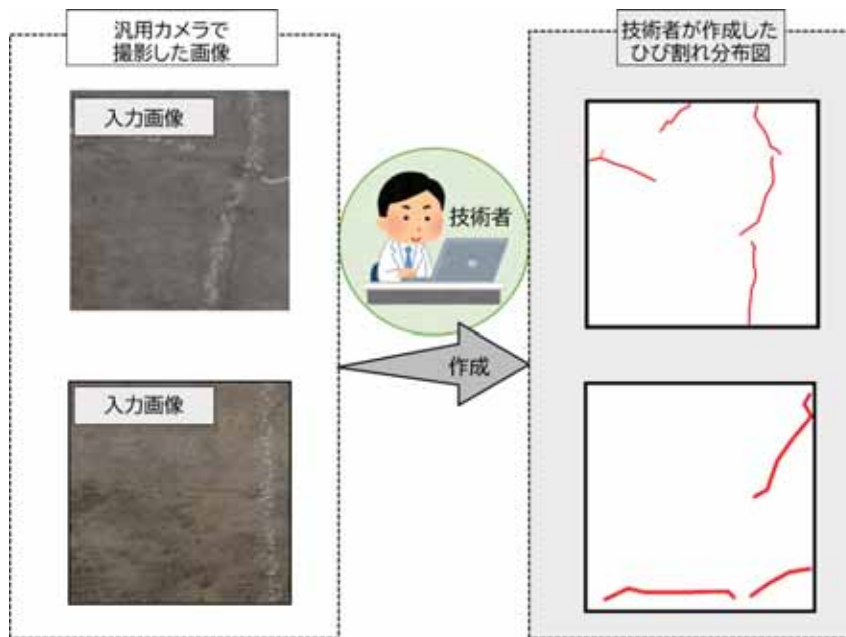


図 4-13-3 技術者によるひびわれ分布図の作成結果

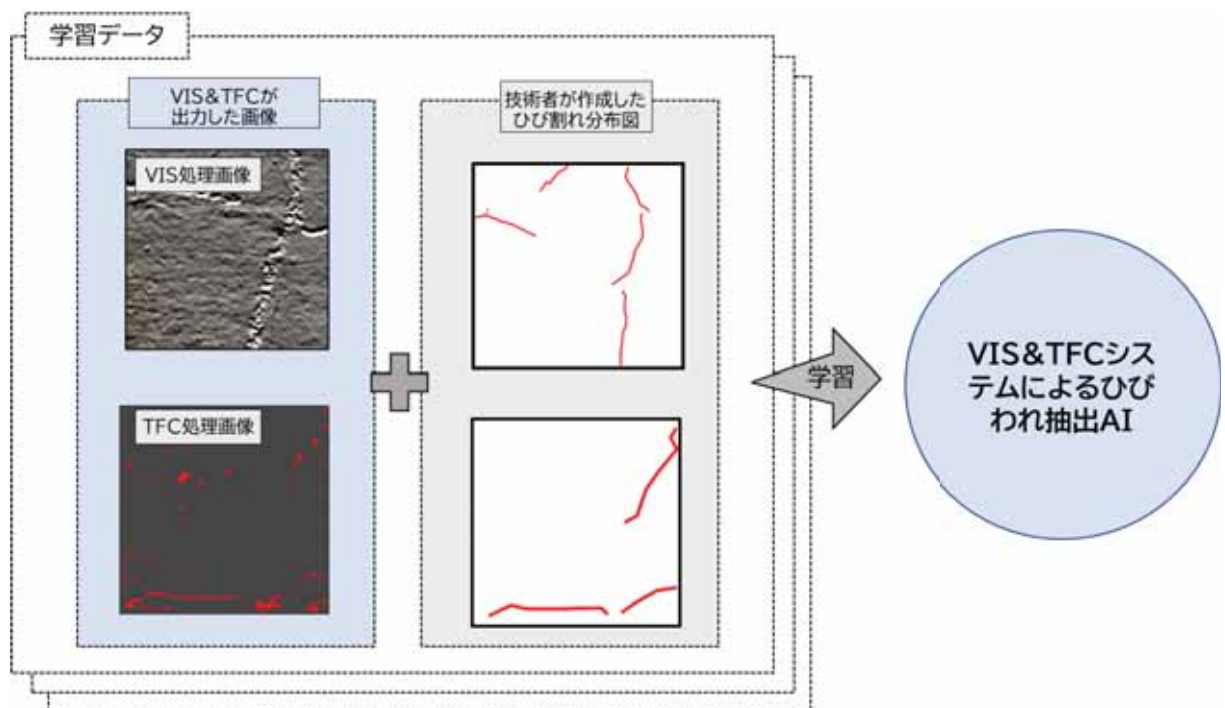


図 4-13-4 VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の構築

図 4-13-2~図 4-13-3 で作成した VIS 処理画像および TFC 画像，ひび割れ分布図を，複数の入力画像について用意し，それらを AI に学習させる方針とした．(図 4-13-4)．

また先述した通り，VIS&TFC システムは画像特徴量の視認性を向上させるシステムであるため，VIS 処理画像および TFC 処理画像を AI の学習データとする場合，AI が画像特徴量を学習するスピードが向上する．つまり，ある一定の抽出精度を確保するために必要な学習データ数の削減が期待できるため AI 構築の省力化に繋がると考えている．



図 4-13-5 VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の推論フロー図

表 4-13-1 VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の適用範囲

項目	適用範囲
抽出可能な変状	ひび割れ
適用可能な部材	道路橋 コンクリート部材
キーワード	画像内の損傷(ひび割れ)のリアルタイム強調処理
	従来点検との併用が可能
	0.2mmのひび割れ抽出
	損傷の見落とし防止
	低解像度画像の学習データとしての適用性向上
	AI構築の省力化
	ひび割れ分布図の作成支援

以上の検討結果より、図 4-13-5 に示す通り、汎用カメラで撮影した画像を VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI に入力し、ひび割れ分布図を自動出力することによって、ひび割れ分布図の作成を支援する AI として構築した。

B) 適用可能な画像

以下の画像に対しての適用が期待でき、0.20mm のひび割れを抽出することを目的とする場合、画像解像度は約 1.0(mm/pixel)以上が必要である。

- ・ 既存の点検調書上に保存されている写真 (100 万画素相当以上)
- ・ 技術者により汎用カメラで撮影された画像

C) 推論可能な変状

- ・ 「ひびわれ」を画像から抽出する。ポリゴンとして出力が可能。


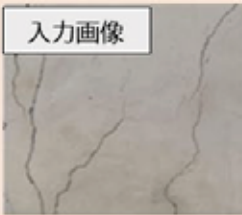



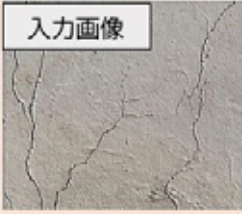
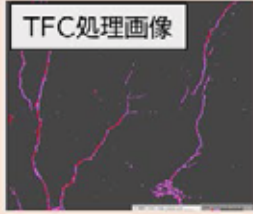


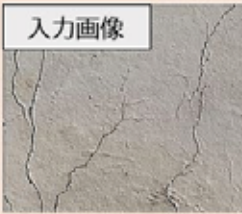

2) 適用範囲

表 4-13-1 に VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の適用範囲について示す。

(4) 活用シーン（点検における支援場面）

点検における VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI の活用シーンを表 4-13-2 に示す。表 4-13-2 で着色表示している「損傷の発見」、「損傷の記録」、「点検調書の作成」について活用できると考えている。

表 4-13-2 点検実施作業フローに対する支援場面

項目	VIS&TFCによるひびわれ抽出AIの活用シーン
<p>①損傷の発見</p> 	<p>ひび割れの強調・可視化</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>入力画像</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">➡</div> <div style="text-align: center;"> <p>VIS処理画像</p>  </div> </div>
<p>損傷の計測</p> 	-
<p>②損傷の記録</p> 	<p>ひび割れ箇所の抽出</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>入力画像</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">➡</div> <div style="text-align: center;"> <p>TFC処理画像</p>  </div> </div>
<p>損傷の評価</p> 	-
<p>③点検調書の作成</p> 	<p>損傷図作成補助</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>入力画像</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">➡</div> <div style="text-align: center;"> <p>ひび割れ分布図</p>  </div> </div>

① 損傷の発見の支援

技術者が点検現場で損傷を発見する際の支援技術として活用できると考えている。具体的には、VIS 処理画像を用いてひび割れを強調・可視化することによって、見逃し防止に寄与できる。つまり、点検結果に対する点検者の技量への依存度を軽減することができる。

VIS 処理画像は VIS&TFC システム上でリアルタイムでの画像入出力が可能のため、従来の点検作業への導入が容易である。表 4-13-6 のようにタブレット端末などへ実装することによって、点検現場での VIS&TFC 処理画像の閲覧が可能となり、損傷発見の支援となることが期待できる。



図 4-13-6 損傷発見の支援イメージ

② 損傷の記録の支援

技術者が点検現場で損傷を発見した後に、それらを野帳等の媒体へ記録する際の支援技術として活用できると考えている。具体的には、表 4-13-7 に示す通り TFC 処理画像を用いて画像特徴量を抽出することによって損傷の記録を支援する。

TFC 処理画像は VIS&TFC システム上で準リアルタイムでの画像入出力が可能のため、従来の点検作業への導入が容易であり、従来の点検手法と比較して、損傷記録に要する時間や手間の削減が期待できる。

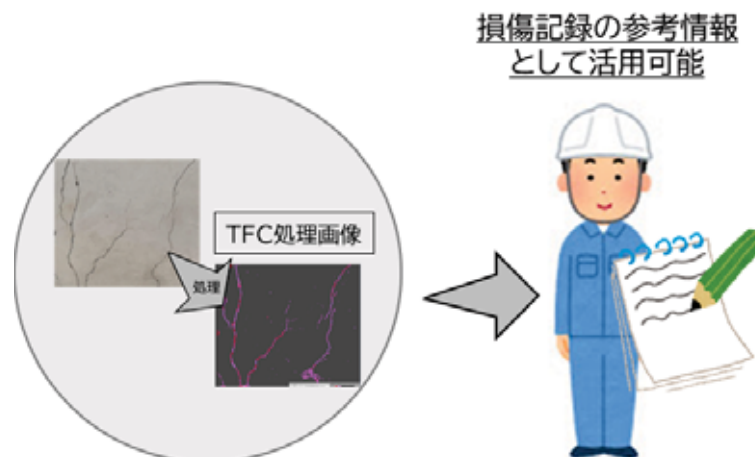


図 4-13-7 損傷記録の支援イメージ

③ 点検調書の作成の支援

技術者による点検を実施した後に、事務所等で行う点検調書の作成の支援技術として活用できると考えている。具体的には、表 4-13-8 に示す通り点検写真を VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI へ入力してひび割れ分布図を自動作成させたいうで、技術者が点検現場で計測した情報と併せて参考情報として活用し、点検調書の作成を支援する。

従来の点検手法と比較して、点検現場で損傷写真を撮影していれば、事務所でも損傷の再確認が容易となる。また、損傷図を作成するうえでの参考情報として VIS&TFC システムによるひびわれ抽出 AI によるひび割れ分布図を活用できるため、点検結果を調書として取りまとめる作業の省力化が期待できると考えている。

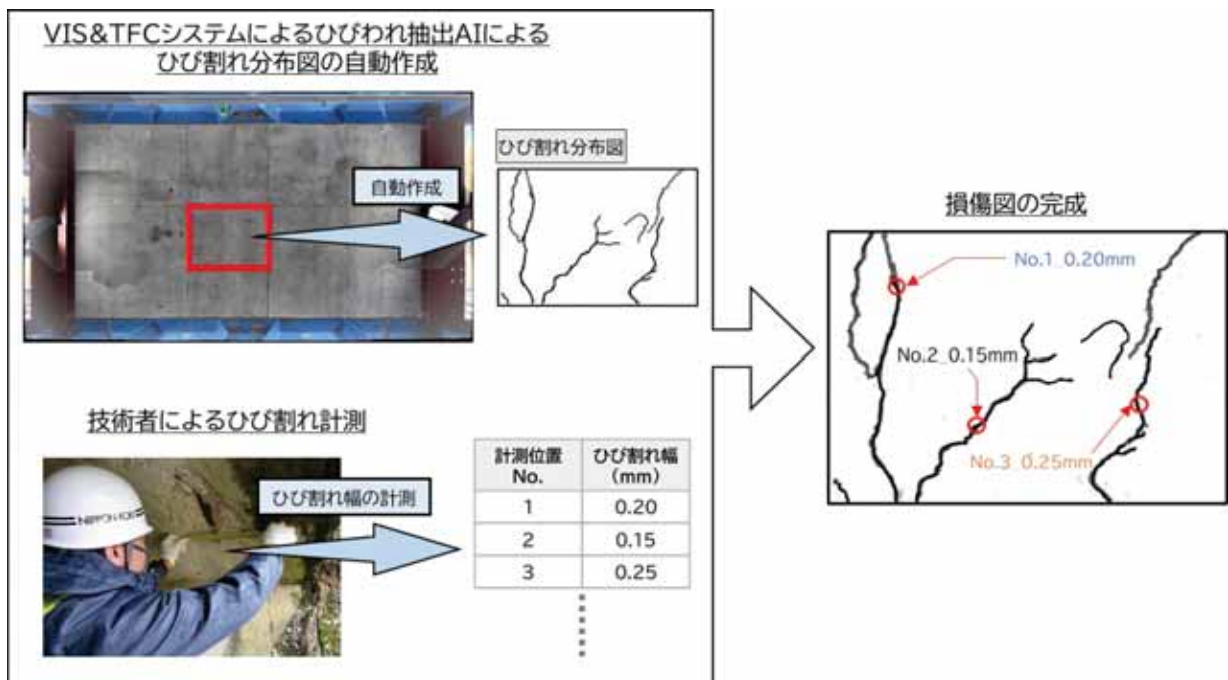


図 4-13-8 点検調書の作成の支援イメージ

■導入活用効果

- ・既存資料からのひびわれが抽出できる可能性がある。
- ・点検作業時の見落としのリスクを低減できる
- ・これまで点検写真で見えない、見えにくいひびわれを視認・抽出可能になる
- ・この抽出画像を教師データとして、AIの教師データとして利用する

具体例：セグメンテーションによるひびわれ抽出

- ① VIS&TFC によりひびわれ画像抽出
- ② 抽出画像をアノテーション画像として AI 教師データに利用
- ③ 教師データ画像の選別・ノイズ除去
- ④ セグメンテーションモデルによる AI 深層学習・ひびわれ抽出

試行段階での VIS&TFC 導入効果のイメージを図 4-13-9 に示す。図 4-13-9 より、汎用的なデジカメよりも解像度が低い画像に対して VIS&TFC を適用することにより、0.20mm のひびわれの特定・抽出が可能であることを示した。つまり、点検調書に添付されている画像や、既存の写真等へも適用可能であり、新たな点検手法の確立、高解像度画像の取得が不必要である。

この TFC 画像で抽出したひびわれを教師データにすることによって AI 構築への活用を図る。

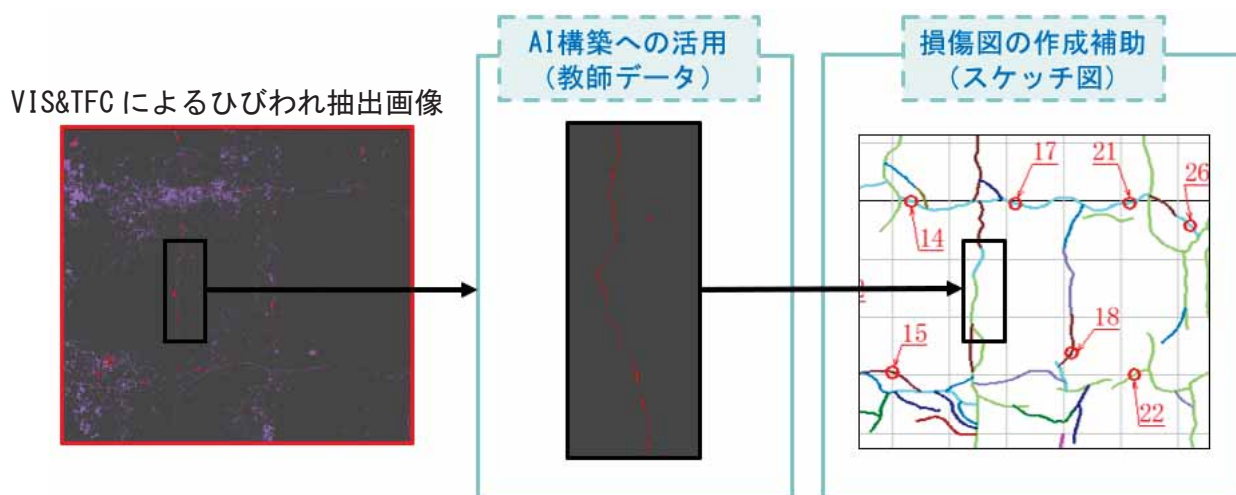


図 4-13-9 VIS&TFC によるひびわれ抽出画像を用いた AI 教師データ利用イメージ

■適用が難しい画像

- ・画像中の明暗濃度が大きいもの（直射日光と日陰が写っている（写真 4-13-1, 写真 4-13-2））
- ・画像中のひびわれの解像度が 1.0mm／ピクセルより粗いもの



写真 4-13-1 画像中の明暗の濃度差が大きい画像例



写真 4-13-2 ひびわれ部分のコンクリートが湿潤/乾燥による色調差が大きい場合

4.14 AI を用いた道路橋の損傷状況の判定技術

(1) 研究開発者

パシフィックコンサルタンツ株式会社

(2) 技術活用の目的

現在の道路橋の近接目視点検は、橋梁点検車等により点検員が点検対象部材に手の届く範囲に近づき、目視確認、打音、計測、記録（チョーキング、写真撮影）を実施しており、近接目視点検にかかる時間、橋梁点検車の手配、交通規制等が大きな負担となっている。

本技術は、特に点検時の負担が大きい RC 床版を主対象に、UAV 等の点検ロボット等で取得された画像から変状を抽出し、診断に必要な情報を取得することで、橋梁点検車により近接目視点検すべき道路橋の絞り込みを行い、点検業務の効率化を図るものである。

(3) 技術の特徴

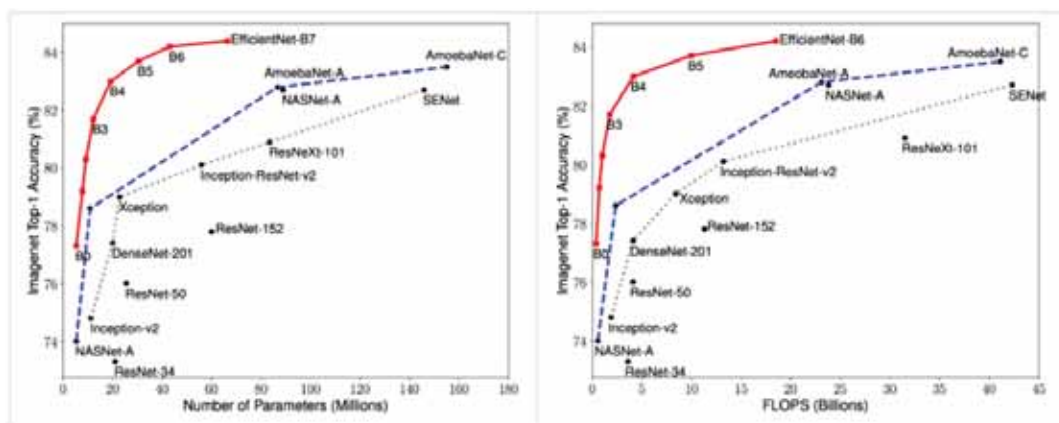
本技術の特徴を以下に記載する。

1) 主要仕様

画像分類 AI（モデル：EfficientNet（畳み込みニューラルネットワークを用いたモデルの一つ））による自動検出している。また教師データはコンクリート床版画像から、推論可能な変状の“本技術で判別する変状パターン”に示す変状ごとにラベル付けして作成している。

【EfficientNet とは】

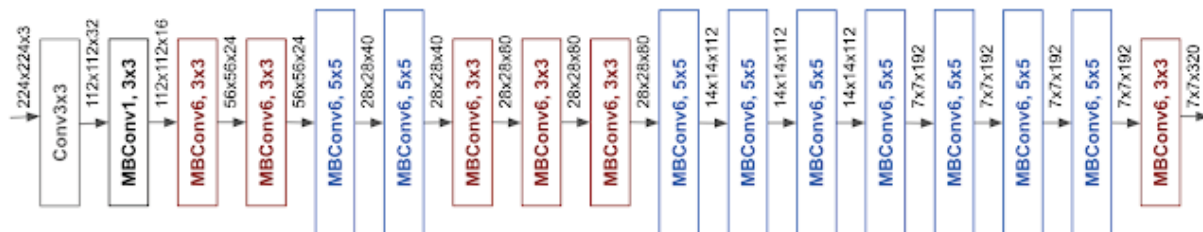
2019 年 5 月に Google Brain から発表されたモデルであり、従来手法と比べ少ないパラメータで高精度な検出が可能なモデルである。世界的なデータサイエンスのコンペティションである Kaggle でも多数用いられるなど、近年注目の物体検出の手法である。



引用：Tan, Mingxing, and Le.Quoc V. "EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks." arXiv preprint arXiv:1905.11946 (2019).

図 4-14-1 Imagenet における各モデルの性能

図 4-14-2 に示す EfficientNet は、比較的単純なネットワーク構造でありながら、パラメータ数を従来方式の 1/8 程度に抑えることが可能となり、またモデルのサイズ自体も相当に 8.4 倍程度小さくすることが可能である。速度面でも 6 倍程度と優れたモデル構築が可能となっている。



引用 : <https://ai.googleblog.com/2019/05/efficientnet-improving-accuracy-and.html>

図 4-14-2 EfficientNet のネットワーク構造

A) 適用可能な画像

RC 床版の点検画像に適用が可能。適用する画像の対象は、直轄定期点検システムに収められる橋梁定期点検画像台帳の画像と同等程度のもとし、画像サイズは概ね 2,000×1,500 ピクセル、JPEG 形式とする。

B) 推論可能な変状

本技術は令和 3 年 12 月時点では、RC 床版のひびわれ、漏水・遊離石灰を対象としている。

表 4-14-1 に対象とする損傷の種類、損傷のパターンとその概要（目的）を示す。

表 4-14-1 本技術の推論可能な変状

部位・部材	検討対象とする損傷の種類	本技術で判別する損傷パターン	概要
RC 床版	床版ひびわれ 漏水・遊離石灰	漏水・遊離石灰等の拡がり状況 ひびわれの方向 ⇒点状，面状，線状 (一方向・二方向)	● ひびわれの進行程度(疲労によるひびわれの進行程度)，劣化要因推定(ASR, 塩害, 乾燥収縮等)に活用 ● 鉄筋腐食部位の推定に活用(線状の錆汁は鉄筋や上フランジ, 点状の錆汁はスペーサや結束線等)
		漏水の種別 ⇒漏水，遊離石灰，錆汁・泥汁	● ひびわれが床版を貫通しているか，床版防水破損の有無，床版土砂化の有無，鉄筋腐食の有無等の把握に活用
鋼主桁	抜け落ち 剥離・鉄筋露出 腐食 防食機能の劣化 ボルトのゆるみ・脱落		開発中

本技術は、損傷検知 AI としてセマンティックセグメンテーションを、損傷パターン検

知 AI としてバウンディングボックスを採用している(図 4-14-3).

損傷パターン検知をバウンディングボックスとしたのは、後述のように本技術の主目的は近接目視点検箇所を絞り込み(スクリーニング)であり、ひびわれの 0.1mm, 0.2mm といった定量的な検知を目的とするのではなく、健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い損傷パターン等の抽出を目的としているためである。

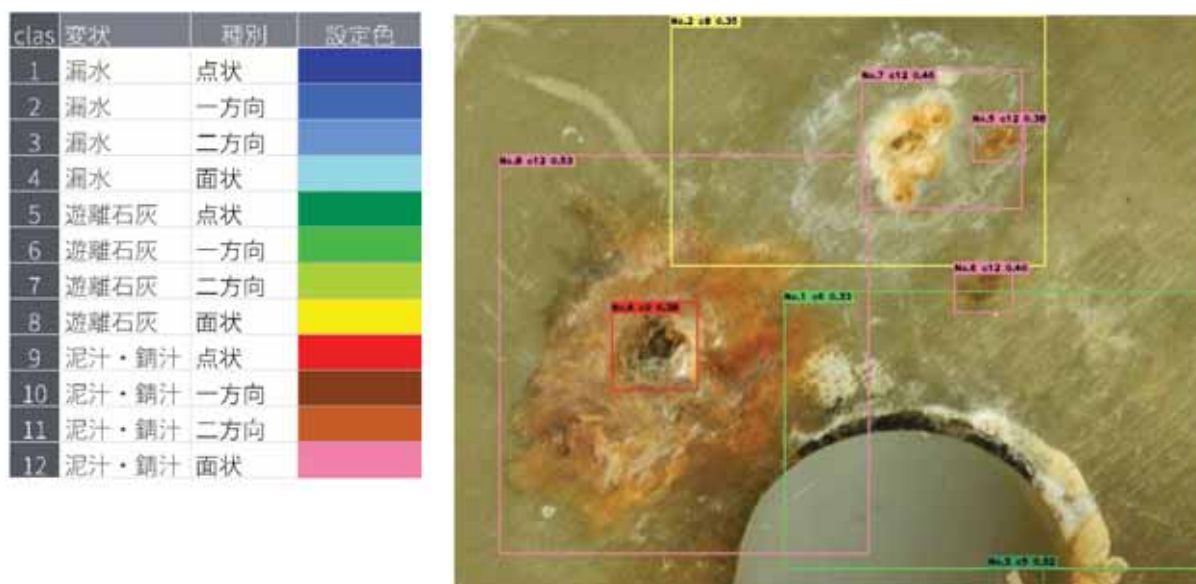


図 4-14-3 バウンディングボックスによる損傷パターンの抽出

2) 適用範囲

前項で述べたとおり、本技術は RC 床版に発生するひびわれ、漏水・遊離石灰を主対象としている。

道路橋の定期点検において、図 4-14-4 に示すように橋梁点検車等の使用や交通規制が必要となるのは主に上部構造の桁下部分の近接目視時であり、大きな負担となっている。

そこで、上部工の桁下部分(主桁と RC 床版)を対象に AI 診断技術等を開発することで、近接目視の効率化に大きく寄与すると考えられる。

点検車，交通規制が必要で，かつ損傷が発生しやすい鋼上部構造（RC床版と桁）を対象として効率化，コスト縮減を目指す。

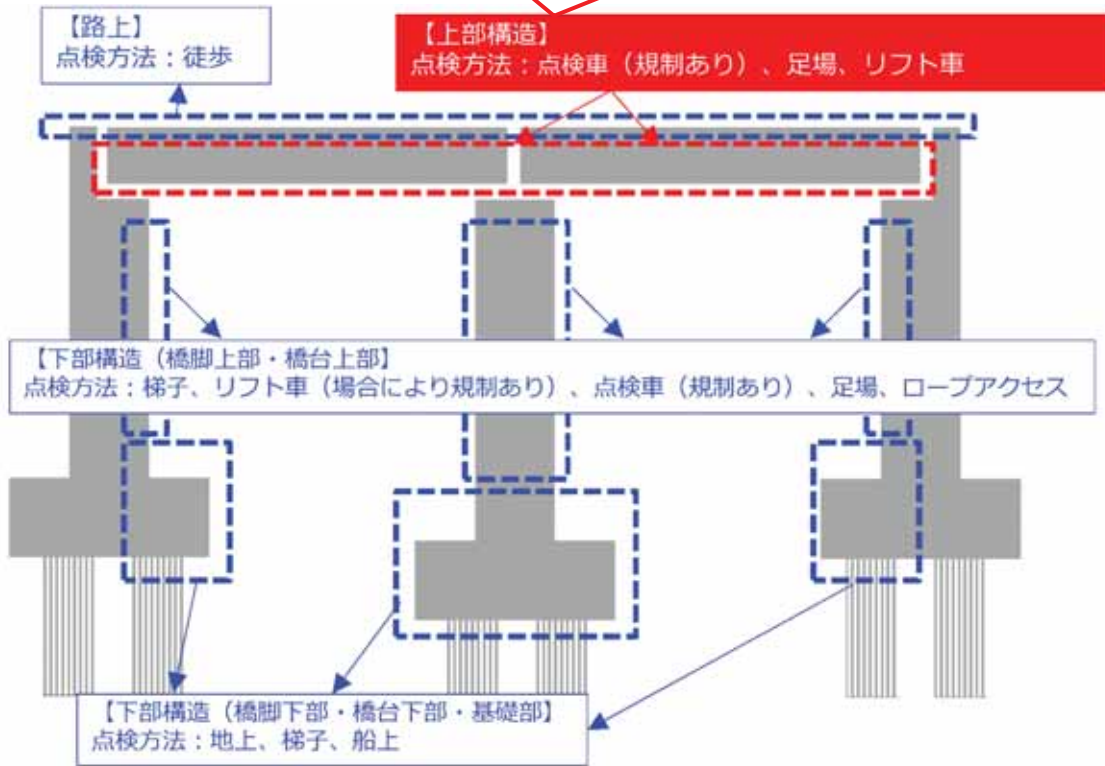


図 4-14-4 本技術の適用部材・部位

なお，本技術の開発の次段階では RC 床版の他損傷，鋼主桁の損傷を対象に損傷 AI 検知技術を開発し，上部構造全体への適用を目指している(図 4-14-5)。

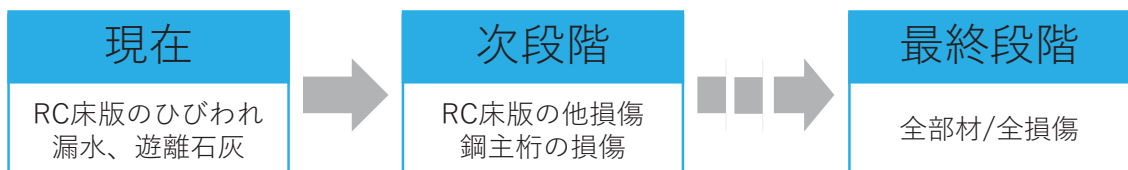


図 4-14-5 本技術の開発のフェーズ

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

従来の点検手法・手順と本技術を使用した場合の点検手法・手順を表 4-14-2 に示す。

表 4-14-2 本技術の活用シーン(従来手法との比較) 1/2

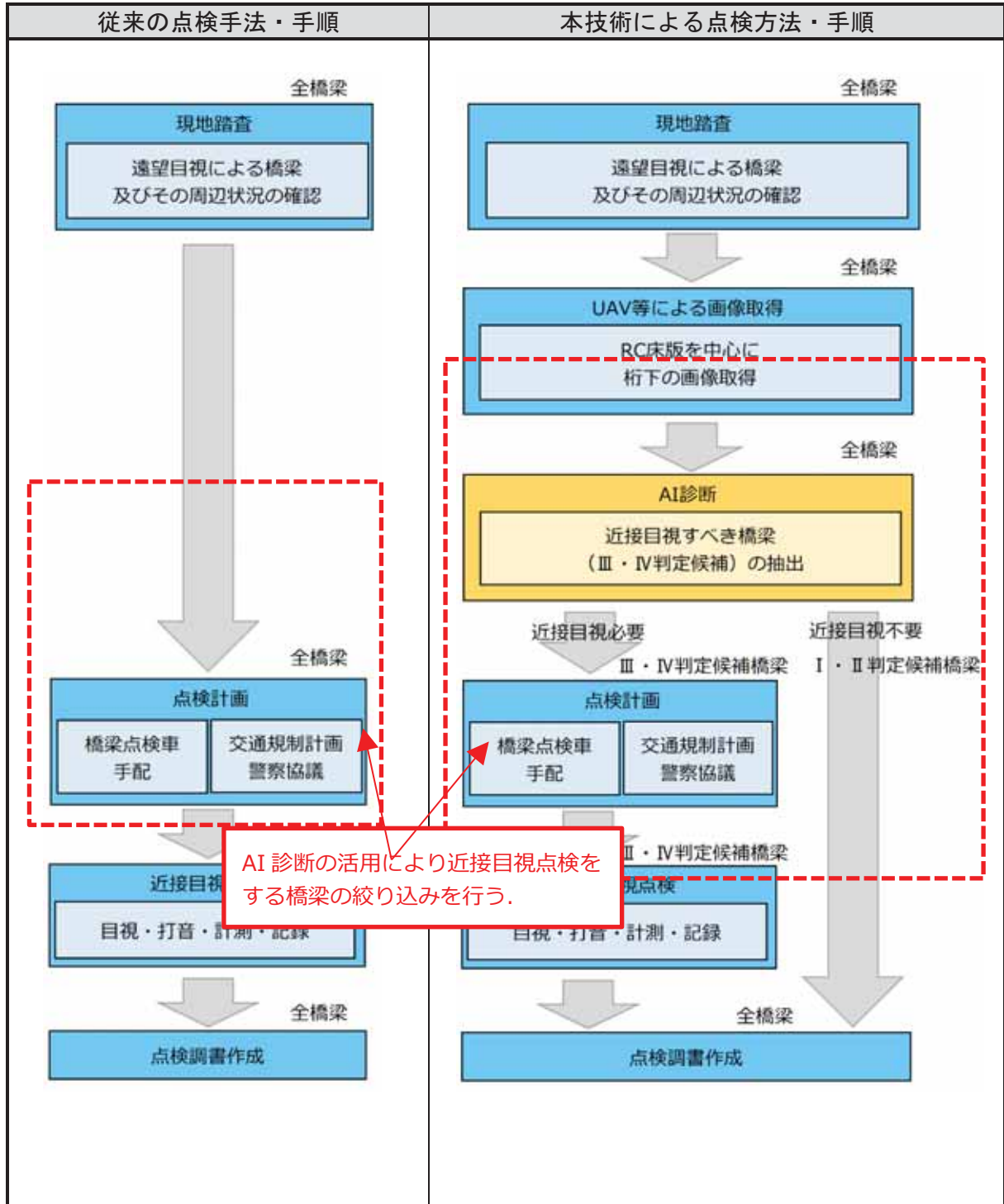


表 4-14-3 に示すように現地踏査後に定期点検対象の全橋梁について、UAV 等の他技術で画像を取得したのち、本技術で AI による損傷検出により健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い道路橋を抽出し、近接目視点検すべき橋梁を絞り込むことにより、効率化、コスト縮減を目指すものである。

健全度Ⅰ・Ⅱの可能性の高い道路橋は近接目視点検を実施せず、UAV 等の他技術で取得した画像により点検調書を取りまとめることを想定している。

表 4-14-3 本技術の活用シーン(従来手法との比較)2/2

部位・部材	従来の点検方法・手順	本技術による点検方法・手順
現地踏査	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠望目視などで対象橋梁の損傷の概況、想定される足場の種類、交通規制方法など、点検計画立案に必要な情報を収集する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠望目視などで対象橋梁の損傷の概況、想定される足場の種類、交通規制方法など、点検計画立案に必要な情報を収集する。 ● UAV 等のロボット技術を活用することを踏まえ、現場状況等の確認。
UAV 等による画像取得	—	<ul style="list-style-type: none"> ● UAV 等のロボット技術により、(特に橋梁点検車が必要となる上部工桁下を中心に)損傷状況の画像取得。【他技術活用】
AI 診断	—	<ul style="list-style-type: none"> ● 取得した画像に AI 診断を適用し、近接目視すべき道路橋(健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い道路橋)の抽出を行う。【本技術】 ● 診断に必要な情報(損傷パターン、形状、規模等)
点検計画	<ul style="list-style-type: none"> ● 現地踏査結果等を踏まえ、点検計画(足場の種類の決定、工程計画、交通規制計画、警察協議 等)を策定。 ● 全道路橋を対象。 	<ul style="list-style-type: none"> ● AI 診断の結果、「健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い道路橋」を対象に、点検計画(足場の種類の決定、工程計画、交通規制計画、警察協議 等)を策定。
近接目視点検	<ul style="list-style-type: none"> ● 全道路橋を対象に近接目視点検を実施。 ● 橋梁点検車を中心とした近接手段を確保したうえで実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ● AI 診断の結果、「健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い道路橋」を対象に、近接目視点検を実施。
点検調書作成	<ul style="list-style-type: none"> ● 近接目視点検結果を所定の様式にとりまとめ。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「健全度Ⅲ・Ⅳの可能性の高い道路橋」については、近接目視点検結果を所定の様式にとりまとめ。 ● 「健全度Ⅰ・Ⅱの可能性の高い道路橋」については、「UAV 等による画像取得」結果もとに所定の様式にとりまとめ。

2) 診断への情報提供

本技術の AI の推論結果（損傷等の抽出結果）は、表 4-14-4,5 及び図 4-14-6 に示すように診断の際の参考データとして、損傷番号、損傷種類、損傷パターン（一方向、二方向、点状、面状）、損傷内容（漏水、遊離石灰、錆汁・泥汁）等の情報を、画像（ラスター形式）及びテキスト形式で出力、診断者への提供が可能である。

表 4-14-4 本技術のアウトプット(診断への情報提供項目)

アウトプット	概要
画像	損傷写真(ラスター形式)に損傷箇所を凡例で表示。 凡例は損傷番号、損傷種類、損傷パターン(一方向、二方向、点状、面状)、損傷内容(漏水、遊離石灰、錆汁・泥汁)を識別可能。
テキスト (CSV 形式)	上記画像の情報(損傷番号、損傷種類、損傷パターン(一方向、二方向、点状、面状)、損傷内容(漏水、遊離石灰、錆汁・泥汁)など)をテキストで出力。

Class	名称	種類	設定色
1	漏水	点状	赤
2	漏水	一方向	青
3	漏水	二方向	黄
4	漏水	面状	緑
5	遊離石灰	点状	紫
6	遊離石灰	一方向	赤
7	遊離石灰	二方向	青
8	遊離石灰	面状	黄
9	錆汁・泥汁	点状	緑
10	錆汁・泥汁	一方向	赤
11	錆汁・泥汁	二方向	青
12	錆汁・泥汁	面状	黄



図 4-14-6 画像による出力

表 4-14-5 テキストによる出力項目と定義

#	項目名	項目説明	出力内容
1	File name	画像ファイル名	推論を行った対象画像の名称を出力。
2	Object No.	検出されたオブジェクトの番号	画像内で検出されたオブジェクトに連番を設定し、対応する番号を出力。
3	leak_spot	漏水点状	オブジェクトが「漏水点状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
4	leak_1d	漏水一方向	オブジェクトが「漏水一方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
5	leak_2d	漏水二方向	オブジェクトが「漏水二方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
6	leak_plane	漏水面状	オブジェクトが「漏水面状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
7	freestone_spot	遊離石灰点状	オブジェクトが「遊離石灰点状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
8	freestone_1d	遊離石灰一方向	オブジェクトが「遊離石灰一方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
9	freestone_2d	遊離石灰二方向	オブジェクトが「遊離石灰二方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
10	freestone_plane	遊離石灰面状	オブジェクトが「遊離石灰面状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
11	rust_mud_spot	錆汁・泥汁点状	オブジェクトが「錆汁・泥汁点状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
12	rust_mud_1d	錆汁・泥汁一方向	オブジェクトが「錆汁・泥汁一方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
13	rust_mud_2d	錆汁・泥汁二方向	オブジェクトが「錆汁・泥汁二方向」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。
14	rust_mud_plane	錆汁・泥汁面状	オブジェクトが「錆汁・泥汁面状」の場合は1を出力。それ以外の場合は0を出力。

4.15 異常検知 AI による橋梁点検支援

(1) 研究開発者

富士電機株式会社

(2) 技術活用目的

本技術は、橋梁点検において取得された画像情報から変状抽出の支援を目的とする。

近年の AI 技術の急速な進歩により、従来のルールベース手法では代替が困難であった人による高度な作業の自動化に、ディープラーニング技術をはじめとした AI 技術の適用が始まっている。

橋梁点検においても、近接目視時に撮影された画像や、点検ロボット等の支援技術によって取得された画像から、変状を抽出・整理する場合、人員及び時間を要しており、AI 技術適用による効率化や省人化が期待されている。

一般的に高精度の AI モデルを開発するためには、AI の学習データの質と量が重要となる。しかしながら、ひびわれ、漏水、遊離石灰などの変状の外観は千差万別であり、高い精度で変状の抽出を行うためには、さまざまな外観パターンを網羅した大量の学習画像が必要となる課題がある (図 4-15-1 (a))。

そこで、本技術では、正常データだけを使った学習 (図 4-15-1 (b)) による異常検知 AI を適用することで、正常な画像のみを学習させた AI モデルを用いて、正常状態から逸脱した箇所を変状として抽出し、点検作業の支援を図るものである。

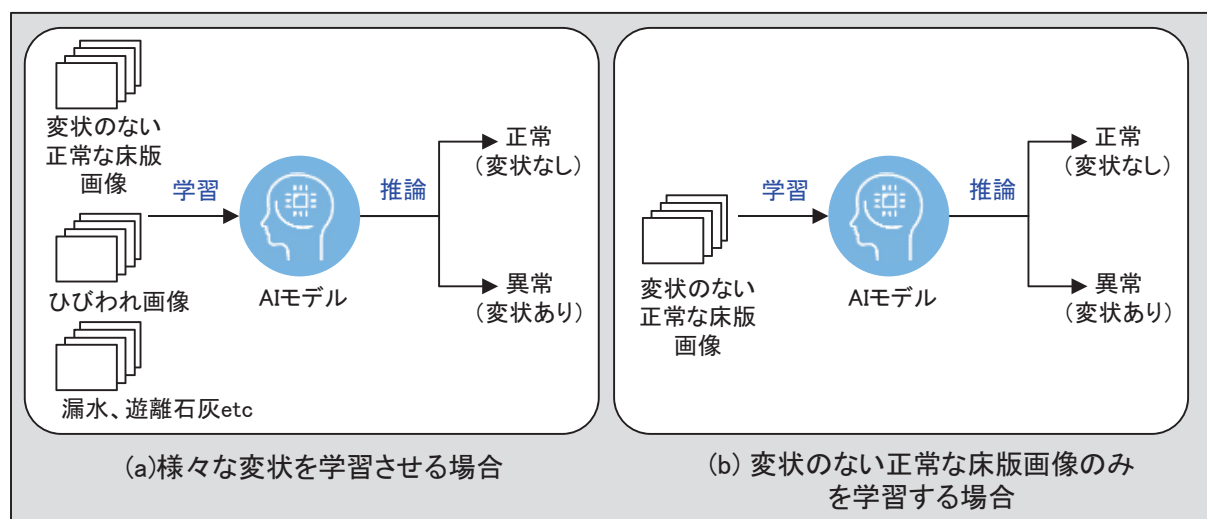


図 4-15-1 異常検知 AI の学習方法

(3) 技術の特徴

本技術の特徴に関して、下記項目に関して記載する。

1) 主要仕様

A) 適用可能な画像

人力若しくは点検ロボット等で取得される床版の画像を対象とする。本技術は、変状の有無の推論に特化している。変状の種類や損傷区分の分別は対象外である一方、人が視認できる程度の変状が撮影された画像であれば適用可能である。

B) 推論可能な変状

床版に発生したひびわれ、漏水、遊離石灰、剥離、鉄筋露出などの変状を、異常箇所としてバウンディングボックスで推論する。図 4-15-2 に床版ひびわれの変状検出例を示す。

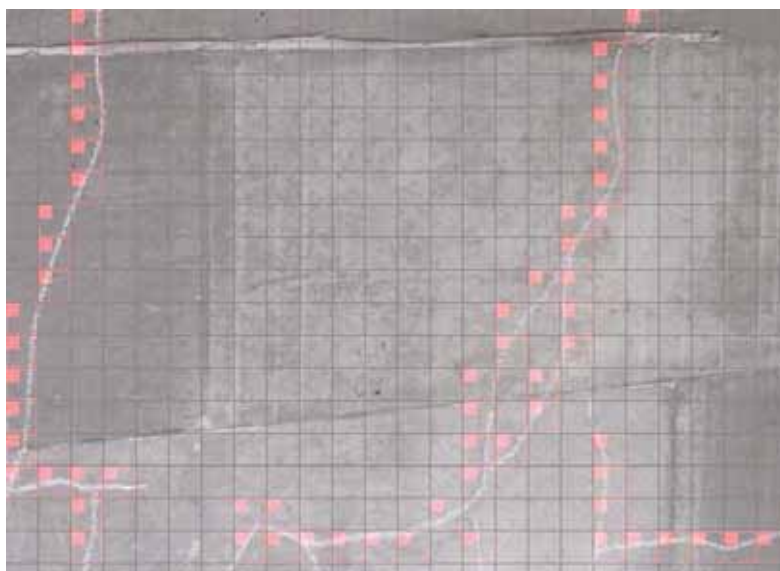


図 4-15-2 変状の検出例（床版ひびわれ箇所を矩形で赤色表示）

2) 適用範囲

正常な床版画像を学習に用いて AI モデルを作成しており、現状では、適用可能な部材は床版に限定される。今後、他部材の正常画像を学習した AI を用意することで、様々な部材に適用範囲が拡大可能と考えている。

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

本技術の活用シーンとしては、図 4-15-3 に示す 4 つの活用シーンのうち①に該当する。橋梁の点検時に取得された変状の有無、変状エリアの検出を支援し、変状を漏れなく検出することで、その後の作業負荷軽減を目的とする。詳細な変状の整理に関しては、人力により実施することを想定している。

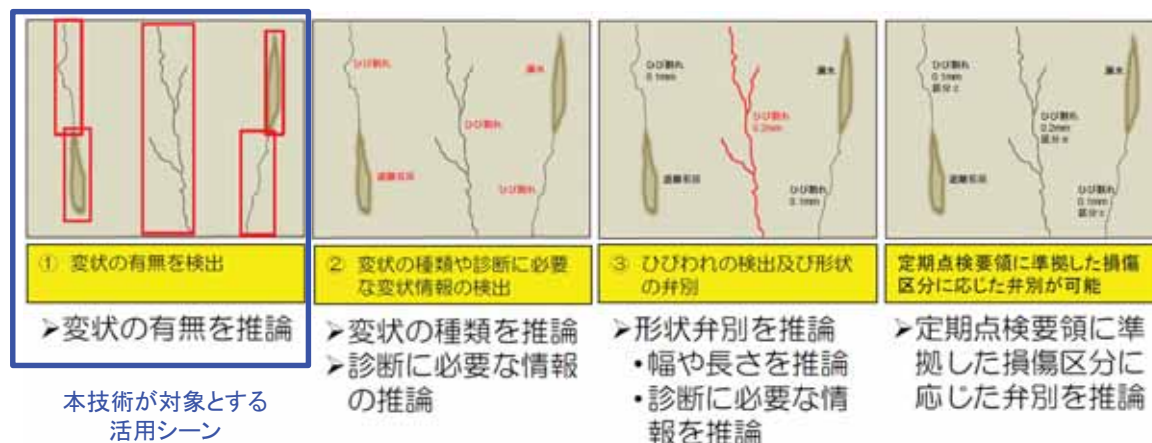


図 4-15-3 本技術が対象とする活用シーン（青枠が対象）

前述したように、正常な床版画像を学習させた AI モデルを用いて、正常状態から逸脱した箇所を変状として抽出するアルゴリズムを採用しており、さまざまな変状パターンへの対応が可能である。

2) 診断への情報提供

点検 AI によって、変状の有無の推論し、担当技術者によって整理・記録した結果を診断に提供することとなる。

4.16 近接可能な小型ドローンを利用した高精細 3D モデルの構築

(1) 研究開発者

八千代エンジニアリング株式会社

(2) 技術活用の目的

本技術は、橋梁の維持管理における近接目視支援、補修設計支援を目的としている。具体的には、近接目視時に重機が必要となる主桁、床版、支承部等に対して、小型ドローンを用いてアプローチし、搭載したカメラにより近接目視点検における対象部材の状況に関する画像を取得し、取得した画像から橋梁の 3D モデルを構築する技術である。

本技術で 3D モデルを構築することにより、支承周辺の事前調査、現況の復元（デジタルツイン）、クラウドを利用した遠隔での協議推進等への活用が可能である。

いずれは、近接目視の代替になるほか、野帳、点検調書が不要となり、点検の効率化に資する。また、作成された 3D モデルは補修、補強設計の際に図面作成等にも利用できるため、維持管理サイクル全体における活用シーンが見込まれる。

(3) 技術の特徴

本技術の特徴について、以下で述べる。

1) 主要性能

A) 機器性能

・アプローチ技術

全方向衝突回避センサを有する小型ドローン技術（技術番号:BR010009-V0020）（株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク）を利用し、対象物に近接する。2021 年 11 月現在、技術的に到達可能な飛行高度は、国内で最大約 200m であり、最大約 23 分間の飛行が可能である。また、飛行操作は、操縦者による手動制御、事前に設定した飛行ルートを飛行するプログラム制御、設定した対象物に対して自動で飛行ルートを選定する制御の 3 種類がある。撮影対象に応じて飛行操作を切り替える。

・近接距離能力

全景及び部材に最小 10cm まで近接した撮影が可能である。撮影対象までの距離は、Visual SLAM 及びジャイロセンサによる自己位置情報によりリアルタイムで処理を行うことで制御している。

B) 撮影性能

・画像の仕様

情報取得用カメラは、4K、1,200 万画素の解像度である。撮影した画像は、カメラ内の SD カードに保存される。

- ・撮影対応角度

撮影角度は、チルト機能（機体に対して垂直方向の首振り）のみを有しており、その角度は、±90度である。パン機能（水平方向の首振り）は有しておらず、水平方向への首振りは、機体の平行移動または回転によって対応する。

- ・ラップ率

ラップ率の制御に関する機能は有していないが、高精細な 3D モデルを構築するため、オーバーラップ率 60%以上、サイドラップ率 80%以上を目標とし対応する。

- ・取得情報の保存形式

取得した画像は、JPEG 形式(4,056×3,040 ピクセル)、MP4 形式(4 K60fps)で保存する。

2) 適用範囲

A) 適用可能な橋梁の種類及び部材

- ・対象となる橋梁の種類

RC, PC, 鋼橋

- ・アプローチ可能部材

主桁, 床版, 支承部, 橋脚, 橋台, 橋面

B) 取得情報の内容

- ・撮影の位置情報の取得

カメラが GNSS 情報を取得できている場合において、画像の Exif 情報に緯度・経度・高度が記録される。GNSS 情報がない場合は取得不可となる。ただし、飛行中に一度、GNSS 情報を取得すると、取得位置を起点として位置情報を記録する仕組みとなっている。

- ・取得可能な変状及び判別方法

現状は 3D モデルの構築が主眼であるため、変状処理に関しては未検討であるが、作成した 3D モデルから、弊社の技術者により変状の有無を目視確認することは可能である。ひびわれ(0.5~1mm 程度のひびわれ)、漏水、剥離・鉄筋露出、遊離石灰、防食機能の劣化は確認できる。

- ・変状の位置情報取得

変状の位置情報の取得整理は行っていない。

- ・その他

損傷サイズ，幅，長さの他，剥離の深さも確認可能である。

3) 取得情報の表現

- ・オルソモザイク画像化の有無

撮影した画像データからコンクリート面を対象とした画像処理 AI を用いたオルソ化，撮影できた全部材に対して高画質の連続画像化は可能であるが，3D モデル化とは直接的には関係がない。

- ・3次元モデル化の有無

取得した画像から SfM 処理により Las,Mesh 化し，表面テクスチャが張り付いた高精細 3D モデルを構築する。

(4) 活用シーン

- ・点検における支援場面（具体事例）

点検実施者が重機等を利用しないと近接できない場合，橋梁全体を 3D モデル化することで，第三者被害が考えられない橋梁の近接目視の代替手段に利用可能である。

また，撮影した画像に対して画像処理（合成）AI（具体例：「ひびみつけ」撮影範囲）の適用範囲が広がったが，認識の結果を 3D モデルに反映する所までは未実装である。

このデータを活用することにより，橋梁データの保管の基盤となること，補修・補強設計における基礎データとなることから，維持管理シーン全体でデータが活用可能となる。

耐震補強の計画にあたって，事前調査による支承周辺の確認，高精細 3D モデルによる現況の復元に活用可能であることを確認している。



図 4-16-1 ドローン撮影後における橋梁の復元（全景）

以下、すべて 3D モデルへ直接添付されているテクスチャデータである。



図 4-16-2 ドローン撮影後における橋梁の復元（床版の剥離・鉄筋露出）



図 4-16-3 ドローン撮影後における橋梁の復元（橋脚のひびわれ）



図 4-16-4 ドローン撮影後における橋梁の復元（橋脚コンクリート表面）

- ・導入活用効果

近接目視において重機が必要となる主桁，床版，支承部等に対して，近接するための設備・作業車等の削減が期待される．高精細に作成された 3D モデルは，補修及び補強設計の際に図面作成に利活用できる．

4.17 RC床版の画像生成と変状発生後を検知する劣化指標による橋梁点検支援

(1) 研究開発者

八千代エンジニアリング株式会社

(2) 技術活用の目的

5年に一度、橋梁を継続監視し、RC床版の経年変化を定量的・連続的に捉えるには、数値のスコアで表現した劣化指標が求められる。5段階評価をこえて、デジタルな劣化曲線を可視化できれば、より精緻な診断と対策の判断が可能となる。本技術は、RC床版の初期状態を画像生成し、変状を含む画像を読み込んだ際に、変状スコアを劣化指標として自動計算し、RC床版の損傷箇所を可視化したヒートマップを出力するものである。

本AI技術によって、鋼材・コンクリート部材が健全でない状態の変状、及び教師画像として未経験のまだ見ぬ変状についても画像上に強調することにより、変状の見落としのない点検作業の支援を図るものである。本AI技術を活用する場面としては、点検の現場作業、または点検後の調書整理において撮影した損傷写真に並列して、ヒートマップを図示して損傷に視点を合わせた損傷フォーカスを行い、変状の見落とし予防に用いる。

(3) 技術の特徴

本技術の特徴に関して、下記項目に関して記載する。

1) 主要仕様

A) 適用可能な画像

2021年3月に共同研究で、直轄橋梁400橋を対象にしたRC床版の近接目視画像10,400枚の画像が提供された。図4-17-1に、画像の縦横サイズ(H×Wピクセル単位)の画像数を示す。本技術を適用可能な画像サイズは、H1,500×W2,000すなわち300万画素以上である。

撮影条件は、図4-17-2に例示するように、角度・距離・解像度は指定していない。これは、ユニット画像の分類と画像生成において深層学習を駆使しており、柔軟に変状の特徴量を検知できるためである。共同研究で提供されたRC床版の近接目視画像に適用可能である。ただし、撮影距離が近すぎるドアップの損傷画像、遠隔すぎる全景の画像は対象外となる。

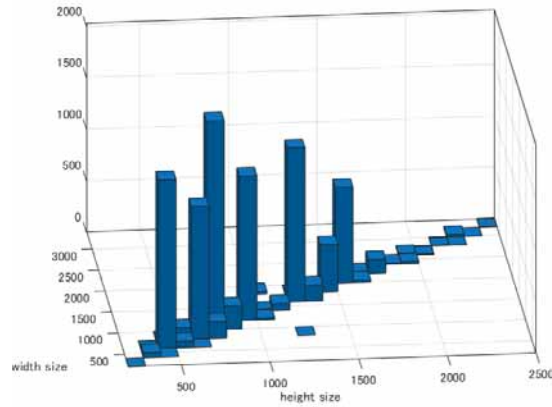


図 4-17-1 共同研究内提供の RC 床版の近接目視画像 10,400 枚の画像サイズ(2021 年 3 月)

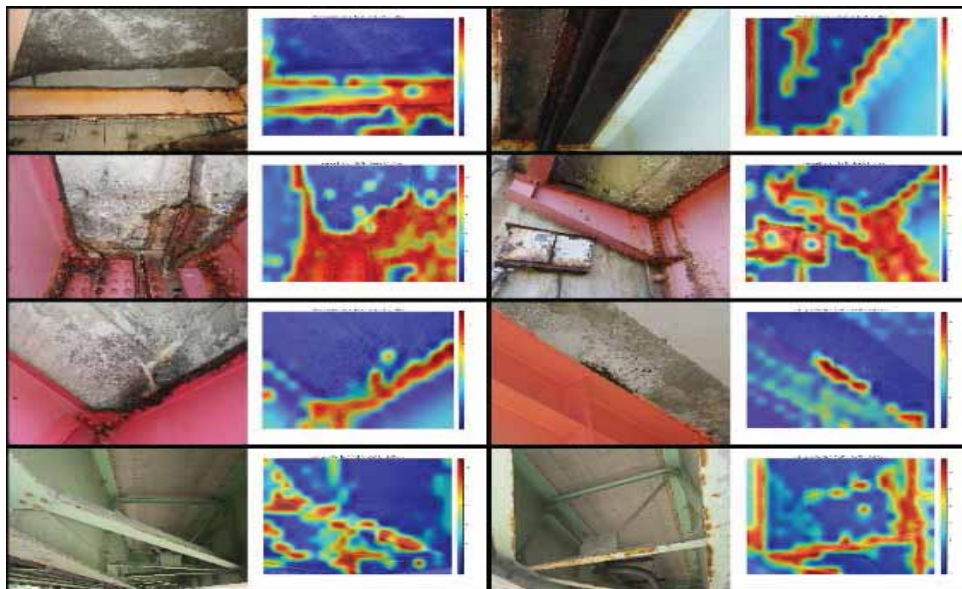


図 4-17-2 RC 床版の近接目視画像に適用したヒートマップ出力（鋼材の変状）

B) 推論可能な変状

RC 床版の近接目視画像に適用した結果、コンクリート部材では、剥離・鉄筋露出、エフロッセンス、顕著なひびわれを変状検知し、ヒートマップに可視化できる。ただし、近接目視画像に映る 0.2mm の微細なひびわれは、適用限界をこえる。

また、鋼材では、塗装表面の劣化、腐食、桁の継ぎ目におけるボルト腐食を変状検知し、ヒートマップに可視化できる。ただし、微細な亀裂は、適用限界をこえる。

2) 適用範囲

点検時に取得した画像から推論可能な変状は、コンクリート部材では、剥離・鉄筋露出、エフロッセンス、顕著なひびわれである。また、鋼材では、塗装表面の劣化、腐食、桁の継ぎ目におけるボルト腐食が点検した画像から推論可能な変状である。

見落とし予防の観点から再現率を高く初期構築しており、適合率の観点から健全な学習

範囲をこえた特徴量に過敏に反応しすぎる点に課題が残っている。今後、バリエーションをもって数多く健全な範囲の学習を繰り返すことにより、適合率も備えた的確な変状検知プロダクトに鍛え上げることが本 AI 技術の汎用化、頑健化の課題である。

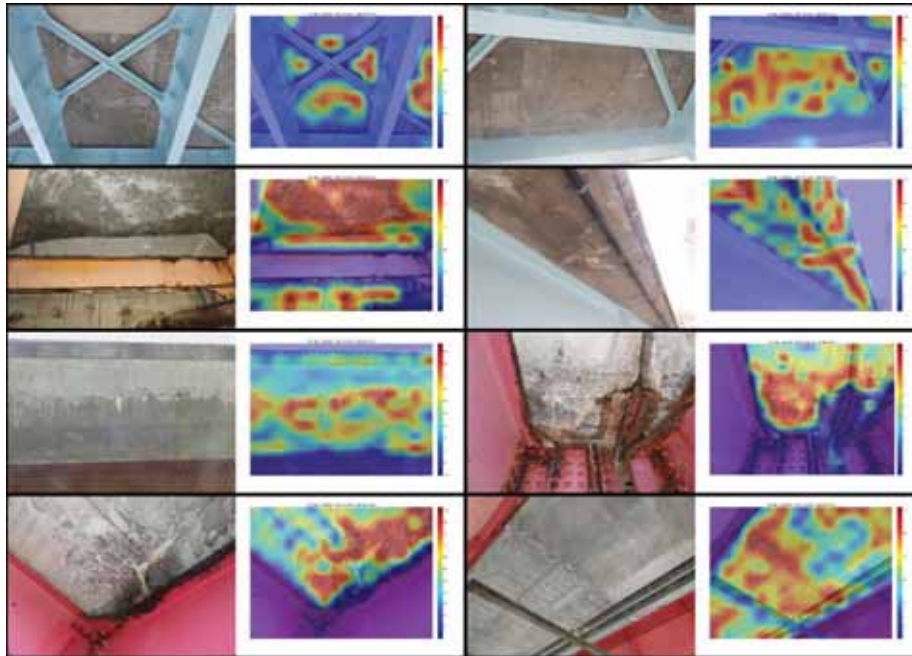


図 4-17-3 RC 床版の近接目視画像に適用したヒートマップ出力(コンクリート部材の変状)

(4) 活用シーン

1) 点検における支援場面

- ・ Who (だれが) : 経験年数が少ない人も含めた点検技術者
- ・ When (いつ) : 点検の現場作業, 点検後の調書整理
- ・ Where (どこで) : 橋梁点検の現場, 点検後のオフィス
- ・ What (なにを) : 見落としなく変状を把握し, 調書に整理
- ・ Why (なぜ) : 5年に一度, 橋梁を継続監視し, 経年変化を定量的に捉えるには5段階評価をこえて, 数値スコアで表現したデジタルな劣化指標が求められる。
- ・ How (どのように) : 点検の現場作業, または点検後の調書整理において撮影した損傷写真に並列して, ヒートマップを図示して損傷に視点を合わせ, 見落としを予防に用いる。

導入効果としては, 本 AI 技術によって, 鋼材・コンクリート部材が健全でない状態の変状, 及び教師画像として未経験のまだ見ぬ変状についても画像上で確認しやすくなり, 見落としのない点検作業の支援が可能となる。

近接目視画像を用いる場合の本 AI 技術の用途として, 漏れなく損傷を検知する手助け, ベテランの技術者でなくとも, 写真撮影しておけば見落としを予防するように損傷のヒー

トアップが自動生成されて損傷の箇所が浮き上がる，そんな場面をイメージする。

桁の継ぎ目におけるボルトの腐食は，特に見落としは避けなければならない。ボルトは，水がつきやすく，錆やすい一方で，塗り替え・ケレンしにくい。飛来塩分・桁下河川でなくとも，施工時の塗装が完全でない箇所が残る場合，5年でも腐食することがある。ひとの眼で見過ごしやすい箇所であっても，ボルトの腐食が検出しやすくなる。

さびと（塗装面の）汚れは，的確な検知が可能かについては，クラス分類の段階で，点検対象であるか，背景であるかを教師画像として識別し振り分けておく。塗装面に，錆汁がうっすらたれている場合があるが，それが腐食でないこと（健全であること）を画像生成において，学習させることが可能であり，汚れを腐食と誤検出することがないように本AI技術を構築可能である。

腐食の変状は，バリエーションが豊かで，塗装の判断は容易でないことが多い。塗り替えるかどうかを判断する手助けの劣化指標として，腐食の度合いをスコアリングできれば，一つの目安になる。

維持管理の活用場面としては，1）目視点検の現場でリアルタイムに，元画像とヒートマップのオーバーレイを並べて図示して見落としを予防する用途，2）ドローンの動画を持ち帰って，損傷が映っているフレームを自動的に取り出し，ヒートマップの重ね合わせを出力して点検調書作成を円滑化する用途が考えられる。

点検現場の通信環境が保持できれば，撮影した損傷写真をクラウドサーバーに通信して，推論の処理を行いヒートマップだけを端末に送り返す工夫も考えられる。

今後，RC床版の近接目視画像の他にも，適用できるか評価するため，バリエーションをもったトライアルを行い，変状検知技術の汎用化を検討する。

現状の近接目視画像を用いる場合は，角度・距離・カメラの解像度が不統一であり，5年前の撮影条件が異なる場合に，同一の単位に基づく数値比較は，尺度が異なるため不可能な状況にある。今後，劣化指標のデジタルな物差しを創発し，5年に1回の経年変化を追跡するためには，1）定点の視点場からの実践的な撮影条件の手順化，2）ドローンによる真正面からのオルソ画像に変換した条件での適用が考えられる。

2) 診断への情報提供

損傷の元写真とヒートマップを並列で保存しておくこと，診断のために点検調書を参照するときに，損傷に焦点を当てて確認しやすくなる。縦横 100×100 ピクセルサイズのユニット画像ごとに，変状スコアを自動計算することが可能であり，1枚の損傷写真ごとに変状スコアの統計値を算出できる。たとえば，ユニット画像ごとの最大平均スコア，平均変状スコアを劣化指標として自動計算しておくこと，劣化の進行度合いを判断する際の目安に参照できる。

執筆者

土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム	森川 博邦
土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム	茂木 正晴
土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム	二宮 建
アジア航測株式会社 社会インフラマネジメント事業部	山田 晴利
アジア航測株式会社 先端技術研究所	下川 光治
アジア航測株式会社 先端技術研究所	ウイン マーソー
アジア航測株式会社 社会インフラ技術部	藤ヶ崎 聡
アジア航測株式会社 社会インフラ技術部	高 恒
アジア航測株式会社 社会インフラ技術部	市野 友教
アジア航測株式会社 事業戦略部	松井 晋
アジア航測株式会社 事業戦略部	中澤 明寛
株式会社イクシス 代表取締役	山崎 文敬
株式会社イクシス Technology Div	徳田 肇道
株式会社イクシス Information Technology Team	山崎 一也
株式会社イクシス AI Team	石塚 高秋
株式会社イクシス Product Team	阿部 翔太郎
株式会社イクシス R&D Team	中山 鍊
首都高技術株式会社 インフラデジタル部インフラパトロール課	紺野 康二
首都高技術株式会社 インフラデジタル部インフラパトロール課	高野 淳
首都高技術株式会社 構造管理部東京東管理課	遠藤 重紀
一般財団法人首都高速道路技術センター デジタル・イノベーション研究所	御嶽 讓
一般財団法人首都高速道路技術センター デジタル・イノベーション研究所	竹鼻 淳志
一般財団法人首都高速道路技術センター デジタル・イノベーション研究所	小原 誠
一般財団法人首都高速道路技術センター 構造技術研究所	青木 聡
大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 技術開発部	横山 広
大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 技術開発部	小林 大
保全エンジニアリング研究室	
大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 技術開発部 ICTソリューション室	龍田 斉
株式会社デンソー まちづくりシステム開発部	光田 徹治
株式会社デンソー まちづくりシステム開発部	加藤 直也
株式会社日本海コンサルタント 道路事業本部兼 AI 技術室	安藤 正幸
株式会社日本海コンサルタント 技術事業本部橋梁技術部兼 AI 技術室	町口 敦志
株式会社日本海コンサルタント 技術事業本部	浦田 孔二
日本工営株式会社 中央研究所 技術開発センター	中津井 邦喜
日本工営株式会社 中央研究所 先端研究センター	古木 宏和
日本工営株式会社 道路インフラマネジメント部	渡邊 大智

パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラ経営室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	福澤 伸彦
パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラ経営室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	上谷 史淳
パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラ経営室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	堀井 久義
パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラ経営室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	仁野 元太
パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラ経営室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	田中 伸幸
パシフィックコンサルタンツ株式会社 橋梁保全室	交通基盤事業本部	インフラマネジメント部	中澤 治郎
パシフィックコンサルタンツ株式会社	交通基盤事業本部		安田 亨
パシフィックコンサルタンツ株式会社	デジタルサービス事業本部	情報事業部	川城 研吾
パシフィックコンサルタンツ株式会社 インフラデジタル推進室	デジタルサービス事業本部	情報事業部	榎本 真美
八千代エンジニアリング株式会社	事業統括本部	社会マネジメント事業室	中島 道浩
八千代エンジニアリング株式会社	事業統括本部	社会マネジメント事業室	野田 一弘
八千代エンジニアリング株式会社	事業統括本部	国内事業部 構造・橋梁部	関口 斉治
八千代エンジニアリング株式会社	技術創発研究所	AI解析研究室	安野 貴人

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.565-2 June 2022

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754