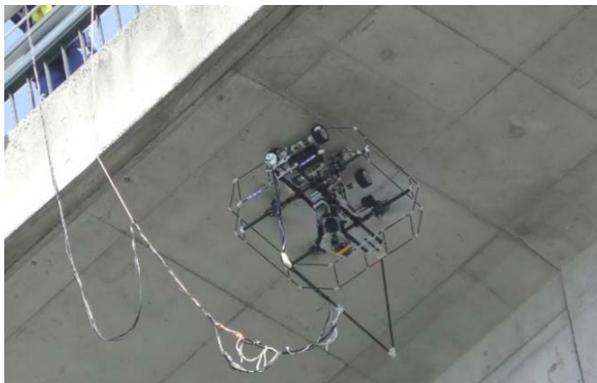


ロボット技術を活用した橋梁点検指針 (案)



平成 31 年 3 月

橋梁点検への新技術の適用性評価委員会

橋梁点検への新技術の適用性評価委員会

委員会の構成

顧問	藤野陽三	横浜国立大学先端科学高等研究院
委員長	黒田保	鳥取大学大学院工学研究科
副委員長	吉野公	鳥取大学大学院工学研究科
委員	六郷恵哲	岐阜大学大学院工学研究
	竹田宣典	広島工業大学工学部
	半井健一郎	広島大学大学院工学研究科
	岩波光保	東京工業大学環境・社会理工学院
	新田恭士	土木研究所
	信田佳延	科学技術振興機構
	松村英樹	松村技術士事務所
	澤邦洋	鳥取県建設技術センター
	長本敏澄	鳥取県測量設計業協会
	和田晶夫	島根県測量設計業協会
	奥村智洋	鳥取県コンクリート診断士会
	松浦寛司	島根県コンクリート診断士会
オブザーバー	宮武晃司	内閣府参事官
	若原敏裕	内閣府戦略的イノベーション創造プログラム
	池田朋広	中国地方整備局 港湾空港部
	藤原浩幸	中国地方整備局 道路部
	竹田幸詞	中国地方整備局 企画部
	早本慎也	中国地方整備局 境港湾・空港整備事務所
	河田英明	鳥取県 県土整備部 道路企画課
	前田達美	鳥取県 県土整備部 技術企画課
	大賀隆宏	島根県 土木部 道路維持課
	永田英明	境港管理組合
	金氏真	科学技術振興機構
	生井達朗	新エネルギー・産業技術総合開発機構
事務局	中村公一	鳥取大学大学院工学研究科
	藤井優	鳥取県 県土整備部 技術企画課
	日紫喜剛啓	リテックエンジニアリング
	西村正三	計測リサーチコンサルタント

江島大橋での点検方法検討委員会

委員会の構成

委員長	黒田 保	鳥取大学大学院工学研究科
副委員長	吉野 公	鳥取大学大学院工学研究科
委員	西土井 一 宏	鳥取県 県土整備部 道路企画課
	藤井 優	鳥取県 県土整備部 技術企画課
	大野 利 博	島根県 土木部 道路維持課
	藤原 強	境港管理組合
	澤 邦 洋	鳥取県建設技術センター
	反田 敏 博	鳥取県建設技術センター
	井上 和 大	鳥取県建設技術センター
	金 氏 眞	科学技術振興機構
	松村 英 樹	松村技術士事務所
	橋本 健 男	シンワ技研コンサルタント
	金村 誠	アキバ
	長本 敏 澄	鳥取県測量設計業協会
	和田 晶 夫	島根県測量設計業協会 (ワールド測量設計)
	奥村 智 洋	アサヒコンサルタント
	川本 篤 志	荒谷建設コンサルタント
	田中 孝 志	西谷技術コンサルタント
	松岡 晃 宏	サンイン技術コンサルタント
	山根 清 香	ヨナゴ技研コンサルタント
	橋本 健 男	シンワ技研コンサルタント
	溝本 浩 二	アトラス
	奥田 真 二	共立エンジニア
	細田 高 弘	日発技研
	藤井 俊 逸	藤井基礎設計事務所
オブザーバー	前田 達 美	鳥取県 県土整備部 技術企画課
事務局	中村 公 一	鳥取大学大学院工学研究科
	倉本 政 寛	鳥取県 県土整備部 技術企画課
	日紫喜 剛 啓	リテックエンジニアリング
	岡本 裕 昭	リテックエンジニアリング
	山田 宏	リテックエンジニアリング
	栗原 陵	リテックエンジニアリング
	西村 正 三	計測リサーチコンサルタント
	木本 啓 介	計測リサーチコンサルタント
	大町 正 和	計測リサーチコンサルタント

目 次

1. 総則	1
1.1 本指針(案)の目的	1
1.2 ロボット技術活用目的	3
1.3 ロボット技術の適用範囲	5
1.4 橋梁点検ロボットの種類	6
1.5 橋梁点検ロボットの選定	9
1.6 用語	11
2. 橋梁点検におけるロボット技術活用の基本	14
2.1 ロボット技術の活用方法	14
2.2 ロボット技術の活用が期待される利用ケース	16
3. ロボット技術の要求性能	19
3.1 ロボット技術に求められる機能と性能ならびに制約条件	19
3.2 画像撮影ロボットに求められる計測性能と性能評価	23
3.3 打音検査ロボットに求められる計測性能と性能評価	26
3.4 ロボット技術による取得情報の内容と精度	28
4. ロボット技術を活用した橋梁点検の手順	30
4.1 ロボット技術による点検の体制	30
4.2 ロボット技術を活用した橋梁定期点検の手順	32
4.3 ロボット技術を活用した点検実施計画の立案	34
4.4 ロボット技術の取得情報のデータ処理の留意点	36
4.5 健全性の診断に適した記録の作成	38
4.6 安全管理	40
5. ロボット技術が取得した計測データの保存	41
6. 計測データの有効活用方法	43
7. その他	45

【参考文献】

1. 総則

1.1 本指針(案)の目的

本指針(案)は、地方自治体に対する技術的助言と位置付けられた「道路橋定期点検要領」に基づいて実施される橋梁定期点検において、新技術(ロボット技術)を安全かつ適切に活用することを目的とする。

(解説)

本指針(案)は、地方自治体等が「道路橋定期点検要領」¹⁾に基づいて行う橋梁の定期点検において新技術(ロボット技術)を安全かつ適切に活用することを目的として、ロボット技術活用の基本的な考え方、ロボット技術の機能と性能、ロボット技術を点検に活用するための必要な手順、ロボットで取得したデータの処理および記録作成の留意点ならびにデータの保存・利用方法等について取り纏め、「道路橋定期点検要領」¹⁾で定義される狭義の‘点検’の範囲でロボット技術を適切に活用するための指針として示したものである。

発注者においては受注者から提出された計画等を評価する時の拠り所として、受注者においてはロボット技術の採用を検討する時の参考として、ロボット技術の開発者および提供者においてはロボット技術の性能を明示する時の参考として活用されることを期待している。

ロボット技術は今後さらなる普及・発展が期待されることから、本指針(案)においてはロボット技術を活用する対象橋梁、構造形式や対象部位等の適用対象を限定していない。ロボット技術の活用に当たっては、本指針(案)を参照し、活用ケースと効果ならびに選定するロボット技術の性能等を勘案して、個別の橋梁毎に適用対象を決定する必要がある。

本指針(案)に記載のない事項については、「道路橋定期点検要領」¹⁾および各地方自治体において定められた定期点検要領やマニュアル(以下、「自治体点検要領」という)等を参照するものとする。

わが国では道路インフラの老朽化対策に社会の関心が高まり、メンテナンスサイクルを回す取り組みが本格的に着手されている。道路橋については、平成25年6月の道路法改正により道路管理者による点検が法定化されるとともに平成26年6月には「道路橋定期点検要領」¹⁾が示され、5年に1回の近接目視を原則とした定期点検が開始されている。

このような中、地方自治体(県および市町村)の管理する道路橋は、道路橋全体の約9割の約66万橋に達し、市町村をはじめとした地方自治体では、財源が十分でない中で点検費用の確保や維持管理に携わる技術者の不足ならびに容易に近接できない部位・部材を有する橋梁も多いなど様々な課題を抱えている。

そのため、橋梁点検の効率化・高度化を図るための新技術(ロボット技術等)について、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」や国土交通省等の国の諸機関において技術開発と実証試験^{2), 3), 4), 5)}が行われており、それらのうちのいくつかの技術は国土交通省の新技术情報提供システム(NETIS)に申請・登録されるまでに至っている。しかしながら、橋梁点検ロボット技術の選定方法、ロボット技術の活用方法、要求される性能・精度やロボット技術の活用手順が必ずしも明確

化されておらず、ロボット技術の社会実装において、大きな課題となっている。

そこで、SIPインフラ地域実装支援鳥取大学チームでは、江島大橋においてロボット技術の実証試験⁹⁾を行うとともに、有識者等による「橋梁点検への新技術の適用性評価委員会」を開催し、ロボット技術の活用指針として取り纏めた。本指針(案)は、現時点の技術水準と実証試験成果とを踏まえて同委員会において審議されたものであり、今後のロボット技術の進歩に伴い必要に応じて随時追補・改訂されるべきものと考えている。

なお、「道路橋定期点検要領」¹⁾は平成31年2月に改定され、運用の留意事項に対応した付録の一般的な注意点の中で、『自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると定期点検を行う者が判断した場合には、その他の方法についても近接目視を基本とする範囲と考えてよい』ことが示された。道路橋定期点検における新技術(ロボット技術等)活用の位置づけが明記されたことにより、今後、地方自治体等でのロボット技術の活用が促進されるものと考えられるが、本指針(案)を参照して安全かつ適切にロボット技術が活用されることを期待するものである。

1.2 ロボット技術活用の目的

ロボット技術の活用は、ロボット技術の持つ優れた特長を生かして橋梁点検の効率化と高度化に資することを目的とする。

(解説)

本条文は、地方自治体等が行う橋梁点検にロボット技術を活用する目的を示したものである。橋梁点検ロボットとして開発されたロボット技術は、以下に示すような優れた特長がある。

- ・人が容易に近接出来ない部位・箇所に近接することができる(近接性)
- ・種々の検出器(センサー)により、様々な損傷を計測できる(多様な計測性)
- ・計測により客観的データを取得できる(データの客観性)
- ・取得したデータを正確に記録できる(記録の正確性)
- ・データを後で自由に取り出し再確認できる(記録の再現性)

ロボット技術の優れた特長を橋梁点検に活用することにより、橋梁点検の効率化および高度化などを図ることができる。

1) 点検の効率化について

本指針(案)でいう点検の効率化とは、大規模橋梁等での点検期間の短縮、省人力化、足場設置に伴う費用縮減や橋梁点検車の利用に伴う交通規制費用の縮減に加え、交通規制に伴う渋滞による社会的・経済的損失の軽減等をいう。

一般に、河川、水路、海峡あるいは峡谷を横断する大型橋梁においては、人による近接目視点検を行おうとすると、橋梁下部工の点検においては大掛かりな足場設置が必要になるとともに、上部工点検においては橋梁点検車を使わない場合はロープアクセス等の特殊な点検方法が必要になる場合が多く、橋梁点検車を使う場合は交通量が多い幹線道路や緊急輸送道路では交通規制に伴って発生する渋滞により社会的・経済的損失が大きくなる等の問題点がある。

ロボット技術を活用することにより、上記の問題点を解決し、点検期間の短縮や省人力化、点検費用の縮減ならびに交通渋滞に伴う社会的・経済的損失の軽減等を達成することができる。

2) 点検の高度化について

本指針(案)でいう点検の高度化とは、計測データの客観性、記録の正確性および再現性に基づく点検の高度化をいう。

人による近接目視点検の場合は、点検技術者が損傷と判断した部位についてはスケッチ図あるいは近接写真が判断の根拠として点検調書に添付されるが、点検技術者が損傷と判断しなかった部位については確認するすべがなかった。また、人が容易に近接できない部位では、近接目視点検が事実上困難になり、損傷の見落としが発生することも考えられる。

さらに、スケッチ図等では、損傷の状況や位置情報を正確に記録することは難しく、近接写真は部分的なものに限られるため、損傷全体を把握することは難しい。

一方、画像撮影ロボットを活用した場合は、橋梁全体あるいは部材全体の近接画像を一定の仕様で撮影し記録することから、損傷の程度の判定結果や損傷の発生位置を点検技術者と道路管理者が同じ近接画像から再確認することができる。これにより、損傷の程度の判定基準を点検技術者および道路管理者間で共有することによって健全性診断のレベル向上が期待されるとともに重大な損傷の見落とし防止にも繋がるものと考えられる。

また、打音検査ロボット、レーダーロボット、さらに今後技術開発が期待される部材内部を透視する非破壊検査ロボット等を併せて活用することによって、従来は点検技術者の主観的判断のみに頼っていた損傷の評価や原因推定を、計測データに基づいて行うことができるようになる。これにより、損傷が外観に現れる前に重大な損傷の早期発見が可能になり、有効な予防保全対策に繋げることができる。

例えば、土砂化が課題となっているRC床版の場合、電磁波レーダーを搭載した車両ロボットを用いて水の侵入による床版内部の湿潤状態を検出することができれば、床版下面に損傷が現れる前に予防保全的な長寿命化対策をとることが可能となる。

1.3 ロボット技術の適用範囲

橋梁定期点検におけるロボット技術の適用範囲は、損傷の原因や措置の要否などの診断に必要なデータの取得、加工処理から記録までを基本とする。

(解説)

本条文は、橋梁定期点検でのロボット技術の現状の技術水準における適用範囲を示したものである。

「道路橋定期点検要領」¹⁾においては、定期点検は道路橋の各部材の状態の把握と記録を行う狭義の‘点検’と設置環境下での外的作用等を踏まえた損傷の発生原因ならびにそれを踏まえた措置の要否を判定する‘健全性の診断’の二つの項目によって構成される。

‘健全性の診断’は点検技術者の知見と技術的判断を必要とする部分であるため、本指針(案)では、ロボット技術の適用範囲は狭義の‘点検’の部分であることを示し、かつ、データを取得し、加工処理したうえで‘健全性の診断’に役立つ情報として点検技術者に提供することがロボット技術活用の基本となることを示したものである。

なお、「道路橋定期点検要領」¹⁾の‘点検’には‘応急措置(第三者被害の可能性のあるうき・剥離部や腐食片の除去)’も含まれているが、現状のロボット技術では対応困難なため、これを適用範囲外とし、必要に応じて別途対応するものとする。

1.4 橋梁点検ロボットの種類

橋梁点検ロボットは、以下のような視点で分類することができる。

- (1) 目的・用途による分類(画像撮影ロボット, 打音・触診ロボット, 内部透視ロボット)
- (2) 移動機構による分類(車両型ロボット, 懸架型ロボット, 飛行型ロボット, ポール型ロボット, その他)
- (3) 制御方法による分類(自律制御型ロボット, 遠隔操作型ロボット)

(解説)

橋梁点検ロボットは、その機能から大きく分けて移動機構と検出器(センサー等)から構成されており、それぞれの種類と組み合わせから、様々な橋梁点検ロボットが開発されてきている。橋梁点検ロボットの活用が進むにつれて、さらに多くのロボットの開発が期待されることから、本条文では現時点で実用化レベルにあるものだけでなく、今後開発されるものを含めて橋梁点検ロボットを分類した。

(1) 目的・用途による分類

「道路橋定期点検要領」¹⁾に基づく橋梁定期点検においては近接目視が基本であることから、ロボット技術を活用する場合には画像撮影ロボットが必須となる。画像撮影に用いられる使用機器・技術としては可視光カメラ、ビデオカメラあるいはレーザーなどがある。

コンクリート部材表面の浮きは画像から検出・判定できないため、部材表面に浮きが疑われる場合は打音検査ロボットが用いられる。

また、コンクリート部材の内部欠陥や浮きを検出するために用いられる赤外線サーモグラフィ、床版コンクリート内部の欠陥を検出するための電磁波レーダー、鋼材の腐食減肉や疲労亀裂を検出する高感度磁気計測など、橋梁部材の内部欠陥を検出する非破壊検査技術の実用化が進んでいることから、このような計測機器を搭載した橋梁点検ロボットが開発される可能性が大いにある。

人による橋梁定期点検と同様、画像撮影ロボットで撮影した画像データをもとに対象部位の損傷程度の評価を行った上で、浮きあるいは内部欠陥が疑われる場合に打音・触診ロボットや内部透視ロボットを併用することになる。

表 1.4.1 目的・用途による橋梁点検ロボットの分類

分類	目的・用途	使用機器・技術
画像撮影 ロボット	橋梁に近接して画像を取得する	可視光カメラ, ビデオカメラ, レーザー
打音・触診 ロボット	橋梁に近接してハンマー又はピストンで部材面を打撃しマイクで打撃音を集音する	打撃ハンマー/打撃ピストン 集音マイク
内部透視 ロボット	橋梁に近接して橋梁部材内部の状態を把握する	赤外線サーモグラフィ, 電磁波レーダー, X線, 中性子線, 磁気計測

(2) 移動機構による分類⁵⁾

ロボットの移動機構に着目した分類であり、大きく5つに分類される(表1.4.2)。

「車両型ロボット」は、橋梁の橋面上に配置する台車や特殊車両にロボットを搭載して走行させるとともに、多関節アームや梁部材を用いてカメラ等を近接させる機構を有する。台車方式は、歩道部分や路肩部分に配置できる大きさに配慮されている。

「懸架型ロボット」は、主に高欄上に設置して走行させる方式で、梁部材を吊り下げて、カメラ等を近接させる機構を有する。梁部材の代わりにワイヤーを用いるものもある。

「飛行型ロボット」は、UAVにカメラ等の計測装置を搭載して点検個所に飛行して近接する機構であり、UAVの構造や制御方式、さらに電源の供給方式によって様々なロボットが開発されている。電源の供給方式としては、有線によるものやバッテリーによるものがある。

「ポール型ロボット」は、地上や橋梁構造上に設置し、ポールを伸縮させて点検個所に近接させる機構である。設置個所への移動は比較的軽量なため人力で行う場合が多い。

「その他」には、壁面や橋桁に吸着・固定して近接する「吸着型ロボット」等がある。

表 1.4.2 移動機構による橋梁点検ロボットの分類⁵⁾

分類	移動機構
車両型ロボット	搭乗型の台車や特殊車両に設置した多関節アームや梁部材の先端に計測装置を搭載して点検個所に近接する
懸架型ロボット	主桁や高欄からカメラ等を搭載した梁部材を吊り下げて点検個所に近接する
飛行型ロボット	計測装置をUAVに搭載して点検個所に近接する
ポール型ロボット	計測機をポールの先端に搭載して、ポールを伸縮させて点検個所に近接する
その他	壁面や橋桁に吸着して固定・移動する吸着型ロボット等

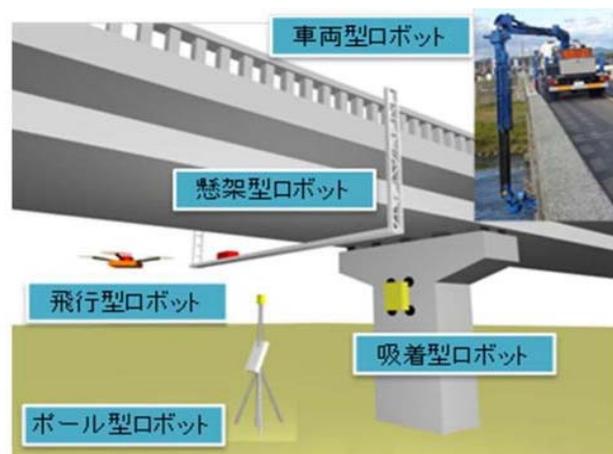


図 1.4.1 移動機構による橋梁点検ロボットの分類例⁵⁾

(3) 制御方法による分類

制御方法によってロボットを二つに分類することができる。一つは、事前に組み込まれたプログラムや設置された各種センサーの情報に基づいて移動し計測する「自律制御型ロボット」である。この自律制御型ロボットの多くはオペレータによって橋梁に近接、あるいは設置されたのち自律して移動計測を行う。

もう一つは、操作技術者が遠隔操作でロボットを操縦し、橋梁に近接して計測する「遠隔操作型ロボット」である。

自律制御型ロボットのほとんどは遠隔操作による制御も可能である。

表 1.4.3 制御方法による橋梁点検ロボットの分類

分類	制御方法
自律制御型ロボット	事前に組み込まれたプログラムや設置された各種センサーの情報に基づいてロボットが移動し計測する。自律制御が機能しない場合に備えて遠隔操作による制御が可能なシステムが多い。
遠隔操作型ロボット	操作技術者が遠隔操作でロボットを操縦し、橋梁に接近し、計測する。

1.5 橋梁点検ロボットの選定

橋梁点検ロボットは、橋梁の構造形式、構造諸元、架橋状況等を踏まえ、点検目的に応じて下記に示す(1)～(4)を考慮して選定する。

(1) 目的・用途によるロボットの選定

ロボット技術を活用して橋梁定期点検を実施する場合、人が近接して視るという行為の代わりにロボットを近接させて近接画像を撮影する画像撮影ロボットを選定する。次に、画像撮影ロボットの選定と同時に、対象橋梁の特性に応じて打音検査ロボットあるいはその他の非破壊検査機能を有するロボットを選定する。

(2) 運動性能(近接性能)によるロボットの選定

点検対象部位に対してロボットが確実にアクセスできるロボット技術を選定する。

(3) 計測性能によるロボットの選定

点検対象部位に確実にアクセスできるロボットの中から、必要とする計測性能を有するロボット技術を選定する。

(4) ロボット技術の組合せ

一つのロボット技術で橋梁全体の計測を実施できない場合は、各部位に最適なロボット技術を組み合わせる。

(解説)

本条文は、橋梁点検ロボットの選定と組み合わせについて、標準的な方法を示したものである。

(1) 目的・用途によるロボットの選定

橋梁定期点検は点検技術者が近接目視により行うことを基本としているが、ロボット技術を活用した橋梁定期点検においても、「視る」という機能の代替としての画像撮影ロボットによる近接画像撮影が基本となる。

点検対象の橋梁形式ならびに発生している損傷によっては、画像撮影ロボットの選定と同時に、打音検査やその他の非破壊検査機能を有するロボットを選定する。その他の非破壊検査機能としては、赤外線サーモグラフィによるコンクリートの浮きを検出する技術、あるいはボルトのゆるみを検出する技術が実用化されている。これ以外にも非接触で鋼材の腐食減肉や疲労亀裂を検出する非破壊検査技術が開発されているので、対象橋梁の特性に応じてこれらの非破壊検査装置を搭載した橋梁点検ロボットを選定する。また、上部工および下部工以外の部材として支承を点検する場合は、支承周りの狭隘部への近接が可能なロボットを選定する。

(2) 運動性能(近接性能)によるロボットの選定

人による近接が困難な橋梁または部位としては、高橋脚や河川、水路、海峡または峡谷を横断する大型橋梁の上部工が挙げられる。これらの対象橋梁または部位に対して計測機器を近接させる方法としては、地上または上部工に設置するタイプのロボットと、UAVを使った飛行ロボットがある。

地上や上部工に設置するタイプのロボットでは、計測機器を搭載するポール、懸垂ロッド、ワイヤーあるいはアームなどが点検対象の部位に近接できるだけの長さを有しているか、を確認する必要がある。歩道を占有するタイプのロボットでは、歩道がロボットの走行あるいは配置に十分な幅を有しているかを確認する必要がある。

飛行ロボットの場合、電源をケーブルで供給するタイプのロボットではケーブル長が十分な長さを有しているかを確認する必要がある。さらには、飛行ロボットの離着陸の場所を確保できるか、オペレータの足場(操縦場所)を操縦可能な位置に確保できるか、飛行位置制御のための機器類を設置する場所を確保できるか、等を確認する必要がある。

(3) 計測性能によるロボットの選定

運動性能を満足するロボットの中から、点検対象の橋梁に必要な計測性能を有するロボットを選定する。

(4) ロボット技術の組合せ

下部工の点検にロボット技術を活用するケースとしては河川、水路または海峡に設置された橋脚や、高所作業車では届かない高橋脚が多いと思われるが、このような場合、上部工に設置するタイプの点検ロボットでは下部工全体に届かない時には飛行ロボットが選定の第一候補となる。

上部工の点検にロボット技術を活用する場合、上部工に設置するタイプのロボットが選定の第一候補となる。ただし、上部工の桁高が大きい場合や上部工の幅員が大きく全体へのアクセスが難しい場合は飛行ロボットが候補となる。

支承、落橋防止装置など橋脚の上に在って上部工に近い位置にある部材に対しては、上部に設置するタイプのロボットが第一候補となる。

橋梁の構造形式、交差条件ならびに点検対象部位によって選定候補となるロボットが異なることから、一つのロボットで橋梁全体を点検できない場合には、複数のロボットを組み合わせで計画を立てるのが良い。

1.6 用語

本指針(案)で用いる用語を定義する。

(定期点検関連)

1) 定期点検

定期点検は、定期点検を行う者が、近接目視を基本として状態の把握(点検)を行い、かつ、道路橋毎での健全性を診断することの一連を言い、予め定める頻度で、道路橋の最新の状態を把握するとともに、次回の定期点検までの措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を得るために行うものである。

- ・点 検:道路橋の変状、道路橋にある附属物の変状や取付状態の異常について近接目視を基本として状態の把握を行うことをいう。必要に応じて実施する、近接目視に加えた打音、触診、その他の非破壊検査等による状態の把握や、応急措置を含む。
- ・健全性の診断:次回定期点検までの措置の必要性についての所見を示す。また、そのとき、所見の内容を法令に規定されるとおり分類する。
- ・応 急 措 置 :道路橋の状態の把握を行うときに、第三者被害の可能性のあるうき・剥離部や腐食片などを除去したり、附属物の取付状態の改善等を行うことをいう。

2) 措置

定期点検結果や必要に応じて措置の検討のために追加で実施する各種の調査結果に基づいて、道路管理者が、道路橋の機能や耐久性等の維持や回復を目的に、監視、対策を行うことをいう。具体的には、定期的あるいは常時の監視、対策(補修・補強)、撤去などが例として挙げられる。また、緊急に対策を講じることができない場合などの対応として、通行規制・通行止めなどがある。

3) 監視

監視は、対策を実施するまでの期間、道路橋の管理に反映するため、予め決めた箇所の挙動等を追跡的に把握することをいう。

4) 記録

定期点検、措置の検討などのために追加で行った各種調査の結果、措置の結果について、以後の維持管理のために記録することをいう。

5) 点検技術者

橋梁の定期点検を実施する技術者で、部材単位の健全性の診断において適切な評価を行うために橋の構造や部材の状態の評価に必要な知識および技能を有する者をいう。

6) 点検調書

「道路橋定期点検要領」¹⁾ または自治体点検要領等に基づく点検記録表のことをいう。

7) 損傷(変状)

従来、橋梁の点検要領等では、何らかの原因によって構造物に発生している本来あるべきでない状態を‘損傷’としており、‘損傷の種類’、‘損傷程度の把握’、‘損傷程度の評価’、‘損傷図’等の用語が一般的に用いられている。一方、「道路橋定期点検要領」

では、‘変状’の用語が用いられているが、自治体点検要領等でも‘損傷’の用語が使用されている場合が多いため、混乱を防ぐ意味で本指針(案)では、‘損傷’の用語を用いる。なお、自治体点検要領で‘変状’が使用されている場合や「道路橋定期点検要領」を参照する場合には、本指針(案)の‘損傷’を‘変状’に読み替えるものとする。

8) 損傷図

点検調書を構成する記録の一つの図表であり、重要な損傷位置や損傷の種類と大きさ等の情報を概略的に図化した図面をいう。

(ロボット技術関連)

9) 橋梁点検ロボット

橋梁の点検において点検技術者の診断に必要な情報の取得と提供を目的とした各種の点検機器と移動装置が組み合わされた機械であり、遠隔操作あるいは自動で近接して情報を取得することができる装置の総称をいう。

10) ロボット技術者(ロボット指揮者, 操作技術者, 記録操作技術者)

使用する橋梁点検ロボットの機能, 性能を熟知し, ロボット技術の点検時作業計画の立案, 点検技術者の下での橋梁点検ロボットによる作業実施およびデータ整理・解析を担う技術者の総称をいう。

11) UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

人が搭乗しない無人航空機の総称。

12) ドローン (Drone)

小型無人航空機の総称。

13) ロボットの基本諸元

外形寸法, 移動・計測原理, 技術が有する機能などロボットの基本的な構成および機能を示すもの。

14) ロボットの運動性能(近接性能)

ロボットが点検対象部位に近接するための性能として, 移動速度, 安定性を保持して点検対象部位に近接可能な距離, 耐風性能(計測可能な最大瞬間風速), 狭隘部に進入できる寸法など。

15) ロボットの計測性能

ロボットが取得する計測データの精度や記録の性能等。画像撮影ロボットの場合は最小ひびわれ幅の計測精度, 色識別性能など。打音検査ロボットの場合は検出可能なうきの深さなど。

16) ロボット技術の性能カタログ

ロボットの基本諸元, 運動性能および計測性能等を取り纏めて明示したカタログをいう。

(計測データ処理技術)

17) 展開画像(写真)

連続して取得した画像(写真)を, 部材単位またはある範囲内で各画像をつなぎ合わせて全体像を把握できるようにした画像(写真)をいう.

18) オルソ画像(写真)

展開画像(写真)を得る場合に, 画像(写真)の位置ズレをなくし, 正対した正しい大きさと位置が表示されるように画像処理(正射変換処理という)を行った画像をいう.

2. 橋梁点検におけるロボット技術活用の基本

2.1 ロボット技術の活用方法

橋梁定期点検におけるロボット技術の活用方法は、人による近接目視点検との組み合わせの視点から、以下の3つに分類される。

- (1) 近接目視点検の代替としての活用
- (2) 近接目視点検の補完としての活用
- (3) スクリーニングとしての活用

(解説)

本条文は、橋梁定期点検におけるロボット技術活用の基本的な考え方を示したものである。

平成31年2月に改定された「道路橋定期点検要領」¹⁾では、付録1の一般的な注意点の中で、『部材の一部等で近接目視によらないときの扱い』として、『自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると定期点検を行う者が判断した場合には、その他の方法についても近接目視を基本とする範囲と考えてよい』ことが示された。この運用に準拠してロボット技術の活用を図る方法について、人の近接目視点検との組み合わせの視点から(1)～(3)に分類した。

- (1) ロボット技術を人による近接目視点検の代替として活用する場合には、健全性の診断に必要なすべての情報を取得できる、との判断が必要になる。そのためには、橋梁の損傷種類に対してロボット技術が人による近接目視点検と同等の検出および計測性能を有することが必要になる。

着目すべき損傷の種類は、各部材の種別により異なり、例えば、コンクリート部材では、ひびわれ(床版ひびわれを含む)、鋼材露出・腐食、漏水・遊離石灰等であり、鋼部材では、防食機能の劣化、腐食、亀裂、破断、ボルトのゆるみ・脱落等となる。人が行う近接目視点検では、これらの外観の性状から状態把握を行うことが基本となっている。

外観の性状からの状態把握については、所定の性能を持つ画像撮影ロボットを用いることで必要な情報が得られることが実証試験等を通じて確認されており^{6), 7)}、近接目視の代替が可能である。ただし、現状のロボットの技術水準ですべての部材および損傷の種類に対して無条件で代替可能とは言えないため、活用に当たっては、ロボット技術の性能と制約条件を勘案してロボット技術の適用範囲を設定することが基本となる。

- (2) 部分的に橋梁点検車が使えない箇所がある場合、橋梁点検車を用いても近接できない箇所がある場合、または狭隘部など、種々の制約条件により人による近接が困難な部位がある場合は、画像撮影ロボットを補完技術として活用することで、すべての部位に対して人による近接目視と同等レベルの点検を実施することができる。

また、健全性の診断にあたって人による近接目視で把握できる範囲の情報では不足する時は、打音検査ロボットや今後開発が期待される触診ロボットならびに非破壊検査ロボット等を補完技術として用いることで必要な情報を補うことが可能である。

(3) スクリーニングとしての活用は、ロボット技術によって事前に橋梁の全体的な損傷状態を包括的に把握し、人による近接目視点検の範囲を絞り込むことであり、これにより点検の網羅性を確保しつつ、点検作業の効率化が期待できる。

スクリーニングの方法として、ロボット技術で事前調査を行い絞り込んだ範囲を人による近接目視点検を行う方法と、ロボット技術で事前調査を行うとともに、さらに精度の高いロボット技術を用いて人による近接目視点検を代替する方法の二つの方法が考えられる^{7), 8)}。

2.2 ロボット技術の活用が期待される利用ケース

ロボット技術の活用が期待される利用ケースとしては以下のようなケースがある。

- (1) 橋梁定期点検の効率化および社会的・経済的損失への軽減が期待されるケース
- (2) 客観的なデータに基づく点検の高度化が求められるケース

(解説)

本条文は、橋梁定期点検におけるロボット技術の活用目的および活用方法を踏まえて、ロボット技術の活用が効果が発揮もしくは期待される利用ケースを示したものである。

(1) 橋梁定期点検の効率化および社会的・経済的損失への軽減が期待されるケース

橋梁定期点検におけるロボット技術の活用が最も期待されるのは、人による近接が困難な橋梁および部位に対してロボットを近接させるケースである。大型橋梁や人の近接が困難な箇所がある橋梁において、高所作業車や橋梁点検車の設置が困難、あるいは高所作業車や橋梁点検車を使っても近接できない部位等がこれにあたる。これらの橋梁又は部位の点検にロボット技術を活用することによって、点検期間の短縮、点検の省人化および大規模な足場や機材の縮減等によって点検の効率化ならびに点検作業の安全性向上を図ることが期待できる。

さらに、交通量の多い幹線道路や緊急輸送道路に架かる橋梁の点検を実施する場合、橋梁点検車の使用による交通規制が大渋滞を発生させ、大きな社会的・経済的損失となる場合がある。このような場合にロボット技術を活用することにより、渋滞に伴う社会的・経済的損失への影響を軽減することが可能である。

以下に点検の効率化が期待できる橋梁の例を示す。

- ① 人による近接が困難な橋梁(人の近接のために大掛かりな資機材を必要とする橋梁)
 - ・長大橋(長支間橋梁を含む)、多径間橋梁
 - ・特殊橋梁(吊橋, トラス橋, アーチ橋, 斜張橋, 等)
 - ・山間部橋梁, 河川橋梁, 海上橋梁等
 - ・高橋脚等の近接が困難な部位がある橋梁
 - ・点検に多くの人員・日数や大掛かりな点検機械・足場が想定される橋梁
- ② 交通規制によって発生する渋滞に伴う社会的・経済的損失が大きな橋梁
 - ・長距離の交通規制(通行止含む)を必要とする橋梁
 - ・交通量の多い幹線道路や緊急輸送道路に架かる橋梁

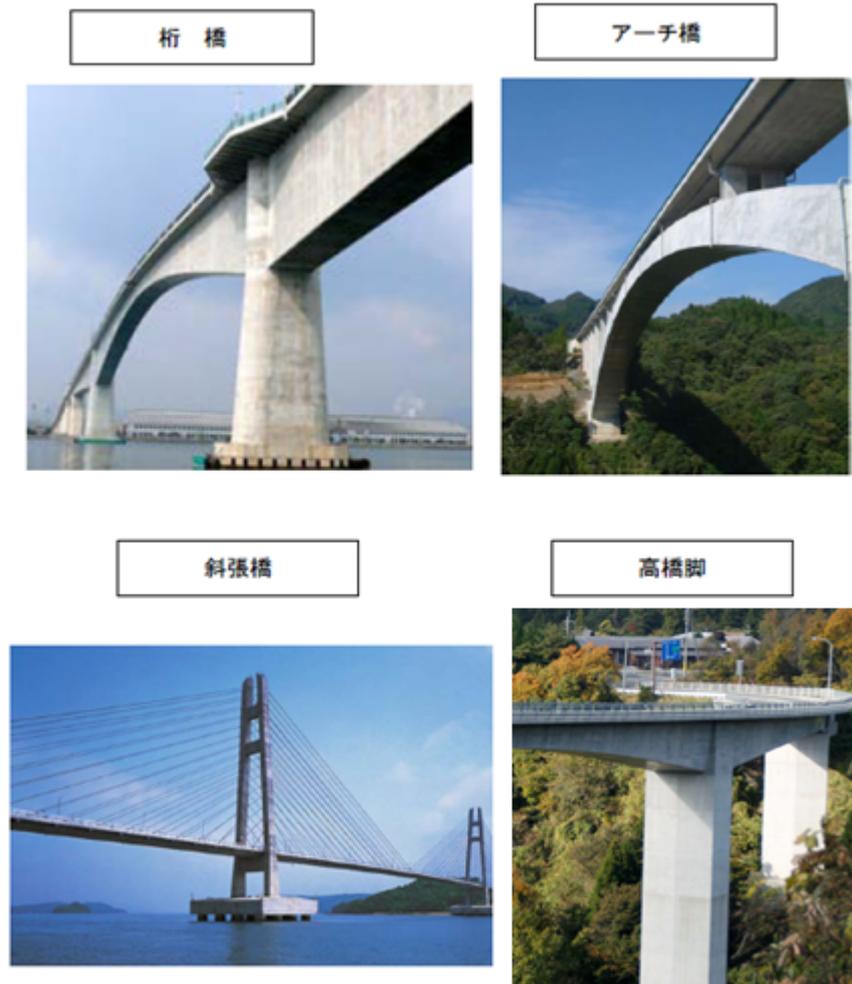


図 2.2.1 近接目視点検に大規模な足場の設置が必要となる橋梁の一例

(2) 客観的データに基づく点検の高度化が求められるケース

点検の高度化を目的としてロボット技術を活用する橋梁としては、緊急輸送道路上や交通量の多い国道や県道等にかかる橋梁、あるいは長大橋、多径間高架橋、特殊橋梁などの重要橋梁が挙げられる。これらの橋梁においては、大掛かりな補修・補強が必要な事態に至ると工事費用が膨大になるだけでなく、工事のための交通規制に伴う社会的・経済的損失が大きくなることから、橋梁の長寿命化修繕計画に基づいた高いレベルでの健全性確保が求められ、客観的なデータに基づく高度な橋梁定期点検が求められる。

橋梁定期点検の目的は、橋梁に発生する損傷を早期に発見し、診断することであり、その診断をもとに必要なかつ適切な予防保全対策を施して橋梁を長寿命化することである。したがって橋梁定期点検においては診断結果とともに、部材の健全性区分を判定した根拠となるデータ、すなわち主な損傷とその発生位置を示した損傷のスケッチ図と画像(写真)を点検調書に記載しなければならないが、損傷のスケッチ図の作成には時間がかかる上、作成する人によって損傷度の判定結果にも個人差が生じる。

一方、ロボット技術を活用した橋梁定期点検、例えば画像撮影ロボット技術を活用した点検では、点検対象部材全体の近接画像を撮影して計測データとして保存し、その計測データに基づいて部材の損傷度を判定することができる。現時点では近接画像から自動的に損傷図を作成する技術はまだ完成の域には達していないが、撮影した数多くの画像をつなぎ合わせて展開画像を作成する技術は完成しており、展開画像を大型画面に等倍で映し出してそれをスクロールすることにより、あたかも点検技術者が橋梁に近接して目視点検しているのと同じ感覚で部材の損傷度を評価・診断することができる。また、展開画像データを保存しておくことにより、損傷の位置を正確に自動抽出することができるだけでなく、過去と現在の損傷の変化を容易に比較できるようになる等、橋梁定期点検の高度化を図ることができる。

また、予防保全対策には損傷の原因や要因の推定が重要であるが、近接目視による外観調査のみでは推定できない場合がある。その場合には、詳細調査等が実施されるが、この場合にも非破検査ロボット等を用いて入手された計測データを活用することで、原因推定が行えるようになり、診断の高度化に寄与できる。

なお、定期点検以外のロボット技術の活用としては、追跡調査対象となった損傷のモニタリング、詳細調査、後工程での補修・補強設計や補修工事の現地調査、あるいは後工程での計測データの有効利用等がある。

計測データの有効利用とは、点検時の計測データを保存・蓄積し、一元管理を行うことによってデータの有効活用を図り、メンテナンスの各工程の効率化および高度化を促進することによってメンテナンスサイクルの向上を目指す方法である(6. 計測データの有効活用方法を参照)。

3. ロボット技術の要求性能

3.1 ロボット技術に求められる機能と性能ならびに制約条件

橋梁点検ロボット技術の開発者および提供者は、ロボット技術が適用される場面を想定して(1)～(3)に示す機能とその性能および制約条件を明示するものとする。

点検技術者は、明示されたロボット技術の性能と制約条件を元に適用性を評価し、点検計画を立案するものとする。

(1) ロボット技術に求められる機能と性能

橋梁点検ロボットには、以下の機能とその性能が求められる。

1) 運動機能(近接機能)と性能

① 近接機能

② 位置制御機能

2) 計測機能と性能

③ データ取得機能

④ 計測漏れ防止機能

⑤ データ記録・保存機能

⑥ データ処理機能

(2) 制約条件

ロボット技術の多くは環境条件や気候条件等により(1)の性能が影響されるため、性能を発揮できる制約条件を明示する必要がある。

(3) 安全性能

安全対策の観点から、ロボットが何らかの原因によって制御を失った場合においても、第三者に被害を及ぼさないように緊急対応する機能が求められる。

(解説)

本条文は、橋梁点検ロボットに求められる機能とその性能について、ロボット技術の開発者および提供者が明示すべき事項について示すとともに、点検技術者は、明示された橋梁点検ロボットの性能および制約条件をもとに、対象橋梁への適用性を評価したうえで点検計画を立案する必要があることを述べたものである。

ロボット技術の性能の明示方法としては、表3.1.1に示すような性能カタログを用いるのが良い^{9), 10)}。

(1) ロボット技術に求められる機能と性能

1) 運動機能(近接機能)と性能

① 近接機能

近接機能とは、点検対象部位に近接する機能である。飛行型ロボット以外の橋梁点検ロボットは点検対象部位に近接できるかどうかを判断することは容易であるが、飛行型ロボットはその空力特性によって近接が困難な場合があるので選定時には注意を要する。

② 位置制御機能

位置制御機能とは、ロボットが点検対象部位に近接した後、ロボットの位置を制御しかつ

その姿勢を安定させる機能である。

ロボットの位置を制御するにはロボットの自己位置を特定する機能が必要である。ロボットの自己位置を特定する方法としては全球測位衛星システム(GNSS)による方法が広く用いられているが、橋梁点検ロボットの場合は橋梁上部工の下に入ることが多く GNSS 機能を用いることができない。そのため測量に用いられるトータルステーションやレーザーレンジファインダ等の機器を用いて橋梁の部位に対するロボットの位置を計測して制御する方法や、車輪を構造物面に押し付けてロボットと構造物面の距離を一定に保つ方法などが用いられる。

車両型、懸架型およびポール型ロボットの場合は安定した地盤や構造物の上を移動することから自己位置および姿勢を制御することは比較的容易であるが、飛行型ロボットの場合は風を受けると流されやすく、構造物(橋梁)に近接するとその空力特性によって位置の制御や姿勢の制御が困難になる場合があるので注意を要する。

また、車両型、懸架型およびポール型ロボットの場合は計測機器が操作技術者から遠く離れることは少ないが、飛行型ロボットの場合は操作技術者とロボットの距離が離れるケースが多く、距離が離れるに従って操作技術者がマニュアル操作でロボットの位置を精度よく制御するのが難しくなる。したがって、飛行型ロボットを遠くから制御せざるを得ない場合は位置制御機構を有するシステムを選定するのが良い。

2) 計測機能と性能

③データ取得機能

ロボットが点検対象部位に近接して取得するデータは、ロボットの用途・目的によってその内容が異なり、画像撮影ロボットでは画像データ、打音ロボットでは打音データを言う。

取得するデータの要求精度によってデータの取得方法が変わり、データ量や計測速度が大きく変わることがあるので、ロボットを活用した橋梁定期点検計画を立案する場合は取得データに求められる要求精度を確認しておくことが重要である。

橋梁点検ロボット(画像撮影ロボット)が取得すべきデータ例を表 3.1.2 に示す。

④計測漏れ防止機能

計測漏れ防止機能とは、ロボットが計測した範囲をリアルタイムで確認することによって計測漏れを防止する機能であり、ロボットの位置制御機能と密接に関連する。

⑤データ記録・保存機能

データ記録・保存機能とは、ロボットが取得したデータを確実に記録するとともに、適切に保存する機能である。

ロボット技術を活用した点検では、損傷のある箇所だけでなく損傷の見られない箇所についてもデータを取得し、調査対象となる部材全体にわたって損傷の状況やその分布を確認できるようにする必要がある。そのため、従来の人による点検に比べて大量のデータが取得されることから、必要な情報を容易に抽出できるような整理が必要である。

⑥データ処理機能

ロボット技術を活用して取得したデータから人が直接損傷の程度を判定することは可能であるが、計測データによっては生データから損傷の程度を評価するのに熟練を要することが

ある。このような場合、計測データを処理することによって損傷の程度を短時間でかつ客観的に判定することが可能になる。

例えば、画像撮影ロボットで取得した画像を自動処理技術によってつなぎ合わせて展開画像を作成し、その展開画像を等倍スケールで大型テレビ画面上に映し出してスクロールすることによって、あたかも点検技術者が橋梁の対象部位に近接して点検しているのと同じ感覚で有害な損傷を探し出すとともに損傷程度の評価を行うことが可能になる。

さらに、AIを活用した自動処理技術の開発によって、展開画像からコンクリートのひびわれ図の作成や、錆汁や遊離石灰などの分布図を作成することが可能になれば、客観的に損傷の程度を評価することが可能になる。

打音検査ロボットの場合は、ロボットが取得した音データを人が聞いて損傷の程度を判定することも可能であるが、AIを活用した音データのデジタル処理によってコンクリートの浮き・空洞を自動検出する技術が発達すれば、客観的に損傷の程度を評価することが可能になる。

上記のようなAIを活用したデータ処理技術を開発するためには数多くのデータを蓄積する必要があるが、一方で計測データをメンテナンスサイクルの後工程で有効活用しようとする場合には、現時点で自動処理技術が完成していなくても計測データを保存しておけば将来自動処理技術が完成した時点で有効活用することも可能になる。

(2) 制約条件

ロボット技術の多くは、その使用に際して環境条件や気候・天候の制約を受けることがある。環境条件に関しては、下記に示すような制約が考えられる。

- ・ロボットの搬入・設置に関する制約(歩道占有の場合の歩道の幅など)
- ・ロボットの近接に関する制約(橋梁の部位によってロボットが近接できないなど)
- ・騒音(市街地では UAV の騒音が規定値を超える場合がある)
- ・電波障害(無線制御の場合は電波障害が制約条件となる場合がある)
- ・飛行制限(UAV の場合飛行制限によって飛ばせない場合がある)
- ・桁下空間の障害物の有無

また、気候・天候に関しては、下記のような制約が考えられる。

- ・雨天(画像撮影ロボットの場合、雨粒がレンズに付着するため雨天では計測できない)
- ・風(UAV は風速が制約条件となる)

したがって、点検計画を策定する段階で当該ロボットの制約条件を確認する必要がある。

(3) 安全性能

ロボット技術を橋梁定期点検に活用するにあたって、第三者に危害を及ぼさないための安全対策が求められる。第三者に危害を及ぼす恐れのある事故としては、

- ・部品の落下(すべてのロボットに共通)
- ・ロボットの転倒(車両型ロボットの場合)
- ・ロボットの落下(飛行型ロボットの場合)

- ・ロボットの逸走(車両型ロボット, 飛行ロボットの場合)
- などが考えられるが, これらの事故を未然に防ぐための安全対策が求められる。
- 特に, 飛行型ロボットについては制御を失って逸走すると大きな事故に繋がりがねないことから, 以下のような不測の事態が発生した場合を想定した安全対策が求められる。
- ・動力電源を損失した場合
 - ・動力機器の故障
 - ・制御電源を損失した場合
 - ・制御のための通信機能を損失した場合
 - ・制御機器や通信機器の故障
- 安全対策の構築にあたっては, 個々の不測の事態に対する対策だけでなく, すべての不測の事態のあらゆる組み合わせに対する対策が必要である。さらには, 一つの対策では十分ではなく二重三重の対策が必要となる。

表 3.1.1 ロボット技術の性能カタログの例

性能カタログ 標準項目	項目	定義	動作条件 環境条件
基本諸元	<ul style="list-style-type: none"> ・外形寸法 ・移動・計測原理 ・技術が有する機能 ※物理的に一意のもの 	各項目の説明 ※各定義を明確化するため, 必要に応じて試験方法も明記	— カタログ性能値を発揮する条件として記載すべき項目 【動作条件】 ・被写体との距離 ・位置精度 等 【環境条件】 ・風速の条件 ・天候・外気温 等
運動性能	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物近傍での安定性能 ・最小進入可能寸法 ・最大可動範囲 等 ※移動体としての能力を定量的に示すもの 		
計測性能	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影速度 ・検出可能な最小ひびわれ幅 ・計測精度 ・色識別性能 等 ※データの質に関わる能力を示すもの 		
安全性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボットの転倒, 落下, 逸走等に対する安全性 ・電源損失・機器故障に対する安全性 		

表 3.1.2 橋梁点検ロボット(画像撮影ロボット)が取得すべきデータ

位置	部位, 部材のどの位置に損傷が発生しているのか, 全体のうちの発生位置や他の部材との位置関係がわかるデータ(画像データ等)
範囲	損傷が発生している範囲の全体像がわかるデータ(画像データ等)
方向(パターン)	発生しているひびわれの方向やパターンの全体像がわかるデータ(画像データ等)
大きさ	ひびわれについては, 幅 W, 長さ L, ひびわれ以外は, 面積 A, 長さ L のスケールがわかるデータ(画像データ等)
量	相対的な変化量がわかるように基準となるものとの位置関係がわかるデータ(画像データ等). 明らかに動きがわかるような変化量については, 動画も有効
原因元	漏水や遊離石灰等, 水の経路がわかるデータ(画像データ等)

3.2 画像撮影ロボットに求められる計測性能と性能評価

(1) 画像撮影ロボットに求められる計測性能

画像撮影ロボットの開発者および提供者は、取得した近接画像から損傷程度を正しく評価するために必要な以下の計測性能と、その計測性能を確保するための条件を明示するものとする。

- 1) 計測可能な最小ひびわれ幅および計測精度
- 2) 損傷の大きさおよび位置の計測精度
- 3) 色の識別性能

(2) 画像撮影ロボットの性能評価

点検技術者は、明示された画像撮影ロボットの計測性能のうち精度検証が必要なものについては、実際の画像撮影と同じ条件で精度確認試験を実施するものとする。

(解説)

本条文は、画像撮影ロボットに求められる計測性能と性能評価について、基本的な考え方を示したものである。

(1) 画像撮影ロボットに求められる計測性能

各計測性能の明示の方法を以下に示す。

1) 計測可能な最小ひびわれ幅および計測精度

撮影した画像から計測可能な最小ひびわれ幅と、精度確認試験によって実証された計測精度(正答率)を記載する。

2) 損傷の大きさおよび位置の計測精度

撮影した画像から計測した損傷の大きさ(長さや面積)に関する計測精度や、損傷の位置のずれに関する計測精度を、精度確認試験によって実証されたデータに基づいて記載する。

3) 色の識別性能

色の識別性能を定量的に評価することは難しいが、コンクリートの錆汁や鋼部材の腐食を正しく識別する性能について、精度確認試験等によって実証されたデータに基づいて記載する。

上記の計測性能は、画像撮影ロボットに搭載されるカメラの諸性能によって左右されるが、最も重要なのは ①画像解像度、②画像の歪みおよびその補正性能、③色の識別性能の三つである。その留意点を以下に示す。

①画像解像度

計測可能な最小ひびわれ幅は画像解像度によって決まる。画像解像度は画素数と対象寸法で決まるため、幅の小さなひびわれを計測しようとする画素数の大きなカメラを使うか、点検対象に近づいて撮影するか又はズーム系のレンズを使用してズームアップして撮影する必要がある。その結果として、画像の枚数が増え、画像データが大きくなり、画像の確認あるいは画像の処理に時間がかかることになる。

対象物を撮影した画像では1画素当たりの撮影寸法が撮影画像の画素分解能となる。例

として横 1280×縦 800 画素の分解能を持つカメラで対象物の幅 1.28mを撮影した場合の画素分解能は 1.28 mm/画素となる。

0.1 mm幅のひびわれを計測するには、画像処理ソフトの性能にも関連するが一般的には 0.2～0.5 mm/画素で撮影することが推奨される¹¹⁾。

②画像の歪みとその補正性能

損傷の大きさおよび位置の計測精度を確保するには画像(原画像および展開画像)の寸法精度が一定レベル以上でなければならないが、画像の寸法精度には画像の歪みとその補正性能が影響する。

撮影画像に高い寸法精度を求めると、被写体に対して正対撮影しなければならないが、撮影現場において正対撮影できる場合は限られる。そのため撮影画像の後処理の画像処理工程で正対変換機能が必要となる。またカメラのレンズにも画像の歪みがあり、撮影画像に高い寸法精度を求めると画像処理においてレンズの歪み補正が必要となる。

橋梁点検では展開画像から損傷の程度を評価することが多いが、展開画像の作成段階で発生する原画像間のずれが寸法精度に影響を与える。

③色の識別

色は、色の三要素である色相、明度、彩度によって識別されるが、橋梁点検における色の識別においては、撮影時の撮影対象面の明るさが影響する。したがって、陽が当たっている部位と影になっている部位とではカメラの露出調整が必要であり、両者が混在している場合は露出を変えて2回計測するなどの工夫が必要となる場合がある。

色の近似値検出機能などにより錆汁や遊離石灰を自動識別する技術を利用できるが、損傷部と健全部の明度の閾値設定が必要になる。明度の閾値は撮影カメラと画像処理ソフトの双方でできる。

画像撮影においてはジャストフォーカス、ブレなしで撮影することが前提条件となるが、カメラ技術の発達によってオートフォーカス機能や手ブレ防止機能がカメラに備わっていることから通常は大きな問題とはならない。ただし飛行型ロボットで静止画を撮影する場合はUAVの移動速度とシャッタースピードに注意を払う必要がある。またUAV搭載のカメラにはカメラの傾きを自動補正するジンバル機能が付属しているので本機能の有効範囲を理解し利用することが望まれる。また、画像技術や画像処理技術の進歩は極めて早く、技術の進歩によってコストパフォーマンスが変化するので常に最新の技術に注意を払う必要がある。

(2) 画像撮影ロボットの性能評価

点検技術者は、画像撮影ロボットを活用した橋梁点検の計画段階においては、当該ロボット技術の性能カタログ等の技術資料に明示された運動性能(近接性能)をもとに、近接画像を撮影しようとする橋梁部位にロボットが近接できるかどうかを評価する必要がある。そのうえで、要求する計測性能を満足するためのロボットの仕様ならびに計測条件を確認し橋梁点検計画に反映する必要がある。

画像撮影ロボットの計測性能の確認は、ロボット開発者および提供者が実施した実証試験

等のデータをもとに行うことになるが、適用しようとする橋梁における計測条件が過去の実証試験での計測条件と異なる場合は、実際の計測条件で計測性能の精度確認試験を実施する必要がある。その場合、クラックスケールや様々な損傷度の画像を貼り付けた試験ヤードを準備し、実際の計測条件で精度確認試験を実施するのがよい⁶⁾。ただし、開発者および提供者において実証試験が行われている場合は、この限りではない。

表3.2.1に、要求性能に対する画像撮影ロボットの仕様および計測条件の一例を示す。点検技術者は、要求性能に応じて画像撮影ロボットの仕様や計測条件が変わることを理解したうえで点検計画を立案し計測業務の管理を行わなければならない。

表 3.2.1 画像撮影ロボットに求められる計測性能と仕様および計測条件の一例

項 目		ケース1	ケース2	ケース3
計測性能	計測可能な 最小ひびわれ幅	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm
	ひびわれ幅(w) 計測精度	$0.1\text{mm} \leq w < 0.3\text{mm}$ 許容誤差 $\pm 0.1\text{mm}$ 正答率 90%以上 $0.3\text{mm} \leq w < 0.6\text{mm}$ 許容誤差 $\pm 0.2\text{mm}$ 正答率 90%以上 $0.6\text{mm} \leq w < 1.0\text{mm}$ 許容誤差 $\pm 0.3\text{mm}$ 正答率 90%以上		
	損傷の大きさおよび 位置の計測精度	誤差 20%以内	誤差 20%以内	誤差 20%以内
	色の識別性能	良好	良好	良好
仕様および 計測条件	センサー画素数 (横×縦)	5, 986×3, 352	5, 986×3, 352	5, 986×3, 352
	レンズ焦点距離	9.3 mm	9.3 mm	9.3 mm
	レンズの明るさ	f/2.8	f/2.8	f/2.8
	撮影距離	2m	2~3m	3~4m
	撮影面積	2, 447 mm×1, 375 mm 3.36 m ²	3, 020 mm×1, 697 mm 5.12 m ²	3, 593 mm×2, 018 mm 7.25 m ²
	動画又は静止画	動画および静止画	動画および静止画	動画および静止画
	カメラ移動速度	静止状態で撮影 移動速度:0.5m/秒	静止状態で撮影 移動速度:0.5m/秒	静止状態で撮影 移動速度:0.5m/秒
	ラップ率	30%	30%	30%
	測線間距離	1.75m	2.10m	2.50m

3.3 打音検査ロボットに求められる計測性能と性能評価

<p>(1) 打音検査ロボットに求められる計測性能</p> <p>打音検査ロボットの開発者および提供者は、以下のような計測性能とその条件を明示するものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 検出可能なうき・空洞の大きさ(面積×空洞厚さ) 2) 検出可能なうき・空洞の深さ(コンクリート表面からの距離) <p>(2) 打音検査ロボットの性能評価</p> <p>打音検査ロボットの性能評価は、模擬試験体に対するブラインドテストや既知の損傷(うき・空洞)に対する実証試験の結果等に基づいて行うものとし、検出しようとする損傷(うき・空洞)に対する正答率で評価するのがよい。</p>

(解説)

本条文は、打音検査ロボットに求められる計測性能と性能評価に関して基本的な考え方を示したものである。

(1) 打音検査ロボットに求められる計測性能

打音検査ロボットの計測性能のうち、1)～2)の性能は、以下の①～③のそれぞれの機能の組み合わせによって決定付けられるため、その仕様も明示することが必要である。

- ①コンクリートの表面に打撃を加える機能
- ②打撃によって発生する音を収集・録音する機能
- ③収集・録音された音からコンクリートの損傷を判別する機能

打音検査ロボットの機能と性能についての留意点を以下に示す。

- ① コンクリートの表面に打撃を加える機能においては、打撃力にばらつきがあると発生する音にばらつきが生じて正確な判別ができない。そのため常に一定の打撃力を加える性能(打撃力の安定性)が求められる。打音検査装置を搭載する飛行ロボットの場合は、打撃装置を一定の力でコンクリート表面に押し付ける機能の安定性も併せて求められる。
- ② 打撃によって発生する音を収集・録音する機能においては、周囲の雑音と打撃によって発生する音をいかに切り分けるかが課題である。周囲の雑音を遮断する機能を備えるものや、収集・録音した後に雑音を除去する方法が用いられている。
- ③ 収集・録音された音からコンクリートの損傷を判別する機能としては、高い精度が求められるのは当然であるが、「どのような損傷を判別したいか」という要求性能を明確にすることがまず必要である。打音検査で判別したい損傷には「うき」や「空洞」があり、さらにそれらの大きさや深さの組み合わせを考えると非常に幅広い。従って、現段階ではロボットを活用して「検出したい損傷」を限定し、例えば「深さ30mm以下のうき・空洞の検出」に対する性能を求めるのが現実的である。

(2) 打音検査ロボットの性能評価

打音検査ロボットの性能評価は、実橋梁において発生している様々なうきや空洞に対して

性能検証するのは困難なため、一般に、模擬試験体に対するブラインドテストや既知の損傷(うき・空洞)に対する実証試験の結果等に基づいて行われることが多い。評価としては、検出しようとする損傷(うき・空洞)に対する正答率で評価し、検出可能な損傷の面積、厚さ、深さの範囲を示すのがよい。

打音検査ロボットを活用した橋梁点検の計画段階においては、当該ロボット技術の性能カタログ等の技術資料に明示された運動性能(近接性能)をもとに、点検対象の橋梁部位にロボットがアクセスできるかどうかを評価する必要がある。そのうえで、要求する計測性能を満足するためのロボットの仕様ならびに計測条件を確認し橋梁点検計画に反映する必要がある。

表3.3.1に要求される計測性能に対する打音検査ロボットの仕様および計測条件の一例を示す。実際の点検時には、点検技術者は、点検開始前に模擬試験体等でキャリブレーションを行っておくことが望ましい。

表 3.3.1 打音検査ロボットに求められる計測性能と仕様および計測条件の一例

項 目		性 能 等	
計測性能	検出可能なうき・空洞	面積:120 mm×120 mm以上 厚さ:1mm 以上 深さ:30 mm以下	
仕様および 計測条件	打撃機能	機械式打撃機構	球面状打撃子(鋼製)がバネの力で飛び出し コンクリート面に衝突する
		打撃子質量・数量	12g×4つ
		打撃間隔	ロボット進行方向:4 cm 直角方向:12 cm
		打撃回数/秒	2 回/秒
		打撃点密度	200 点/m ²
	打撃音 収集機能	マイク	コンデンサー型ステレオマイクロフォン(単一指 向性)
		ノイズ除去方法	ブラインド分離法
	損傷判別 機能	打撃音信号検出特性	鋼球落下(φ10 mm, 100 mm落下)と同等 ^{※)}
		打音信号解析	スペクトル分布面積比較(正規化周波数積算 値)による
	走行条件	ロボット走行速度	8 cm/秒

※)「打撃音信号検出特性が鋼球落下と同等」とは、飛行型ロボットの打撃機構で発生させた打撃音信号のスペクトルに、鋼球落下で発生させた打撃音信号スペクトル^{12), 13), 14)} とほぼ同等の傾向(空洞部の打撃音信号スペクトルには卓越した周波数帯が存在し、健全部の打撃音信号のスペクトルには卓越した周波数帯が存在しないという傾向)が見られることを意味する。

3.4 ロボット技術による取得情報の内容と精度

- (1) ロボット技術は、各部材の健全性区分を判断するために必要となる損傷の種類とその状態に関する情報を所定の精度で取得するものとする。
- (2) 道路管理者は、ロボット技術が検出すべき損傷の種類、損傷の種類毎に必要な精度、調査範囲等について仕様書等に提示するのがよい。

(解説)

本条文は、ロボット技術による取得情報の内容と精度に関して基本的な考え方を示したものである。

(1) 地方自治体が実施する橋梁定期点検では、「道路橋定期点検要領」¹⁾に準拠して橋梁の部材単位の健全性診断が実施されており、表 3.4.1 に示す I ～IV の区分を基本として判定されている。この判定に当たっては、部材にどのような損傷が発生し、その損傷の程度が構造安全性や耐久性に影響を与える損傷であるか、早期に進行する損傷であるか等を踏まえた損傷程度の評価(損傷度評価)と対策の要否を考慮して総合的に判断される。したがって、ロボット技術は、その判断に必要な損傷の種類と損傷度評価に供する客観的データを求められる精度で取得し、点検技術者に提供する必要がある。

損傷の種類としては、「国土交通省道路局国道・技術課:橋梁定期点検要領,平成31年3月」¹⁵⁾に示される表3.4.2の種類があり、部材の構造および材料に応じて検出する損傷を選択することが必要である。損傷の検出には、部材および損傷の種類によって求められる情報および精度が異なるため、ロボット技術に求められる検出性能および計測性能(精度)も損傷の種類によって異なることを理解する必要がある。

表 3.4.1 部材単位の健全性判定区分

区分		状態	措置の基本的な考え方
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態	監視や対策を行う必要がない状態
II	予防保全状態	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態	状況に応じて、監視や対策を行うことが望ましい状態
III	早期措置段階	構造物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状態	早期に監視や対策を行う必要がある状態
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態	緊急に対策を行う必要がある状態

(2) ロボット技術を活用した点検では、点検技術者は、ロボット技術が取得した情報(撮影画像等の客観的データ)から損傷の評価を行うため、取得情報の仕様や精度が予め具体的に提示される必要がある。そのため、道路管理者は、自ら定めた自治体点検要領等に基づいて、検出すべき損傷の種類および必要な精度、調査範囲等について仕様書等に提示することが必要になる。

表3.4.3は、「鳥取県県土整備部道路企画課：鳥取県道路橋りょう定期点検マニュアル，平成27年3月」¹⁶⁾を参考に，取得情報の精度の目安例を示したものである。

各技術が要求精度を満足しているかどうかの判断は，ロボット技術者から提出される性能カタログ等の資料をもとに，点検技術者が行うものとする。また，点検技術者は，精度とその確認方法を点検計画書に記載し，道路管理者の承認を得るものとする。

表 3.4.2 損傷の種類

材料	番号	損傷の種類	材料	番号	損傷の種類	材料	番号	損傷の種類
鋼	①	腐食	その他	⑬	遊間の異常	共通	⑩	補修・補強材の損傷
	②	亀裂		⑭	路面の凹凸		⑮	定着部の異常
	③	ゆるみ・脱落		⑯	舗装の異常		⑰	変色・劣化
	④	破断		⑰	支承部の機能障害		⑳	漏水・滞水
	⑤	防食機能の劣化		⑱	その他		㉑	異常な音・振動
コンクリート	⑥	ひびわれ			㉒		異常なたわみ	
	⑦	剥離・鉄筋露出			㉓		変形・欠損	
	⑧	漏水・遊離石灰			㉔		土砂詰まり	
	⑨	抜け落ち			㉕		沈下・移動・傾斜	
	⑩	床版ひびわれ			㉖		洗堀	
	⑪	床版ひびわれ						
	⑫	うき						

表 3.4.3 ロボット技術(画像撮影ロボット)による取得情報の精度提示例

要求性能・精度		
検出性能	有無	損傷の種類(表 3.4.2)の内，〇〇～〇〇の損傷の有無を確認できる。
	位置	損傷箇所と他の部材との位置関係をスケッチできる程度に検出できる。
	範囲	損傷の範囲について，「局所的」あるいは「広範囲」を判断できるような全体像が記録できる。
	方向 (パターン)	損傷の方向性(水平，鉛直，斜め，鋼材方向，鋼材直交方向)あるいは，パターン(網目状)が判断できる画像が記録できる。
	原因元	漏水や遊離石灰等，水の影響が懸念される損傷について，水の侵入経路を追跡できる。
計測性能	大きさ	【ひびわれ幅計測精度の評価(例)】 $0.1\text{mm} \leq w < 0.3\text{mm} \Rightarrow \pm 0.1\text{mm}$ ， $0.3\text{mm} \leq w < 0.6\text{mm} \Rightarrow \pm 0.2\text{mm}$ ， $0.6\text{mm} \leq w < 1.0\text{mm} \Rightarrow \pm 0.3\text{mm}$ の範囲を許容誤差とし，正答率が 90%以上をランクA，70%～89%をランクB，69%以下をランクCと評価する。 【ひびわれ長さ，剥離，鉄筋露出，漏水等】 5cm 以内の誤差で計測できる。 (長さ L=〇〇〇cm，面積 A=〇〇cm×〇〇cm)
	量	桁遊間や支承の変位量を，10mm 以内の誤差で計測できる。

4. ロボット技術を活用した橋梁点検の手順

4.1 ロボット技術による点検の体制

- (1) ロボット技術を活用した橋梁定期点検を行う点検技術者は、道路橋の定期点検を適正に行うために必要な知識および技術を有するとともに、ロボット技術の機能とその性能を把握し、その活用効果を判断できる能力を有する者とする。
- (2) 点検技術者は、計画時、点検時およびデータ処理・解析時等の段階で、必要に応じてロボット技術者の支援を受けるのがよい。

(解説)

本条文は、ロボット技術を活用した橋梁定期点検を行う体制について規定したものである。

- (1) 道路橋の定期点検を実施する点検技術者には、部材単位の健全性の診断において適切な評価を行うために必要な知識および技術を有することが要求される。そのため、点検技術者は、橋梁の状況とロボット技術が取得した情報を基に、総合的に判断する能力を有する橋梁の専門家等(橋梁に関する材料的、構造的および歴史的な知識を有し、鋼構造やコンクリート構造の損傷程度の評価、診断の技術を併せ持つ技術者、学識経験者、技術士、国土交通省技術者資格登録簿の資格技術者[点検・診断分野]および各地方自治体の認定技術者等)とすることが望ましい。

上記と同時に、点検技術者は、ロボット技術を活用した点検の適用性と活用効果を総合的に判断するとともに、適切な点検計画を立案する必要がある。このため、点検技術者にはロボット技術の機能と性能を把握した上で、点検対象の橋梁や現地の状況をもとに、ロボットの機能の適用性や計測時の制約条件、作業の安全性、さらには費用面を含めた活用効果を判断するための知見が求められる。

画像撮影ロボットを点検に活用する場合、ひびわれ等の微細な損傷の検出精度の設定には、ロボットに搭載するカメラの性能と、撮影した画像の後処理や保管までを総合的に考慮する必要がある。損傷の検出精度を高めると撮影範囲が狭くなるので写真枚数が増加し、広範囲の損傷把握用の展開画像等の後処理作業が増えるとともに、画像データの保存方法も課題となってくる。また、画像撮影位置を構造物により近づける必要があるが、ロボット操作の難易度が増し、作業時間も増加することになる。このようなことから、点検技術者は、微細な損傷の検出精度については、過度の要求をせず、必要最小限の精度を確保した活用が重要である等の見識も求められる。

- (2) ロボット技術を活用して点検を実施する段階では、点検技術者が自らロボットを操作して実施する場合と点検技術者の指揮の下でロボット技術者が操作して実施する場合が考えられる。特に、飛行型ロボットでは、専門の操作技術を必要とするとともに、それぞれのロボット技術の位置情報や画像の取得方法の特長を踏まえたフライトシミュレーションが必要になる。そのため、計画時や点検実施時に、ロボット技術者の支援を受けるのがよい。

また、撮影した画像やその他のデータ取得後の処理・解析にはそれぞれのロボット技術に応じた後処理・解析が必要となる。そのため、後処理・解析についてもロボット技術者の支援を

受けるのがよい。

ロボット技術者の支援を受けて実施する場合の点検の体制は、表4.1.1に示すような体制が考えられる。ここでは、ロボット技術者を作業内容に応じて分類したが、点検時の作業内容はロボット技術によって異なることから、適切な人員体制を計画することが必要である。

表 4.1.1 橋梁点検ロボットを用いた点検体制例

技術者区分		分 担
点検技術者		点検指揮, 安全管理
ロボット技術者	ロボット指揮者※	ロボット技術の作業指揮
	ロボット操作技術者※	ロボット操作
	記録操作技術者※	計測・記録, データ処理・解析
作業補助員		作業補助
安全監視員		安全管理

※場合によって兼ねることができる。

4.2 ロボット技術を活用した橋梁定期点検の手順

ロボット技術を活用した橋梁の定期点検は、以下の手順を基本とする。

- 1) 点検技術者は、現地踏査により橋梁の架橋状況を確認し、ロボット技術の適用性と活用効果を踏まえて、ロボット技術による点検範囲を設定する。
- 2) 点検技術者は、ロボット技術を活用した橋梁定期点検の実施計画を立案し、道路管理者の確認、承認を得る。複数のロボット技術を活用する場合は、それぞれの作業計画を立案する。
- 3) 点検技術者は、実施計画に基づき、ロボットによる近接点検を実施する。
- 4) ロボット技術者は、ロボット技術により取得・記録された画像情報等を整理して、点検技術者に提供する。
- 5) 点検技術者は、損傷の抽出を行うとともに損傷状況を把握し、損傷度の評価と部材単位の健全性の診断を行い、道路管理者に報告する。
- 6) 道路管理者は、点検技術者からの報告を受け、点検結果をもとに橋梁全体の健全性診断を行う。
- 7) 点検技術者は、点検結果を、点検要領あるいは道路管理者が定めた様式に基づいて記録する。

(解説)

本条文は、ロボット技術を活用した橋梁点検の手順の標準を示したものである。

ロボット技術を活用した橋梁定期点検の手順を図4.2.1に示す。ロボット技術を活用した手順では、従来の点検手順と比べて、実施計画の作成、ロボットによる近接点検、取得データの加工・整理、損傷程度の評価および記録の保管についてその方法や作業内容が異なる。それらの留意点については、4.3～4.5に述べる。また、点検時の安全管理の留意点については、4.6に述べる。

なお、従来定期点検の一環として行われてきた応急措置(剥離箇所のたたき落としおよび防錆処理等)は現状のロボット技術では行えない。そのため、応急措置の必要な個所については、別途の対応が必要である。

また点検の結果、詳細調査や打音検査等が必要と判断された場合には、別途対応が必要となる。この場合にも、ロボット技術を適用することが考えられる。

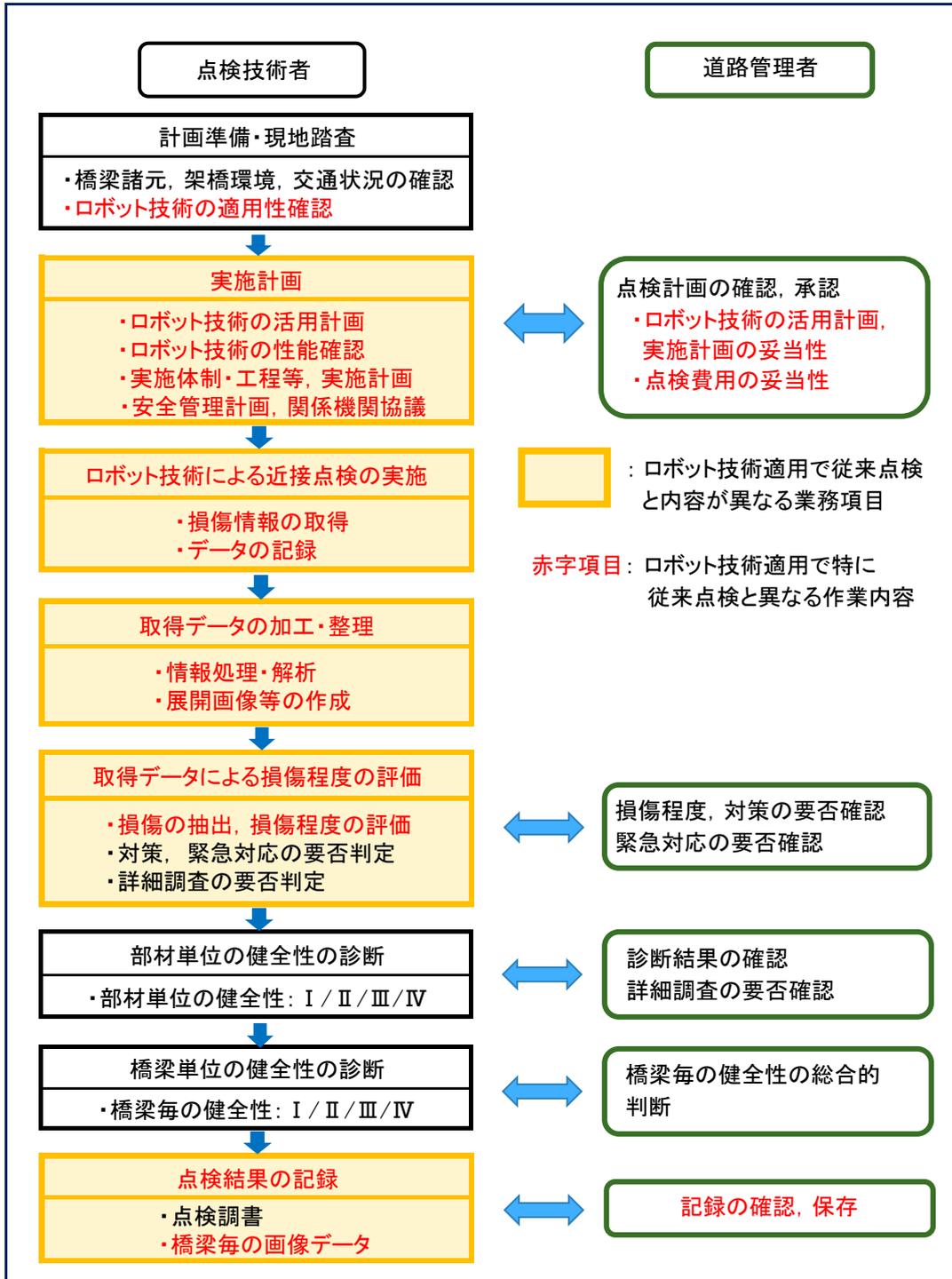


図 4.2.1 ロボット技術を取り入れた橋梁定期点検の手順

4.3 ロボット技術を活用した点検実施計画の立案

- (1) 点検技術者は、ロボット技術を活用した点検実施計画について、以下の事項を実施計画書に記載することを基本とする。複数のロボット技術を活用する場合は、ロボット技術によって作業の留意点や人員体制が異なるため、それぞれの作業計画を作成する。
- ① ロボット技術の活用計画(点検範囲)
 - ② ロボット技術の選定理由
 - ③ ロボット技術が取得する情報の精度管理計画
 - ④ ロボット作業の安全管理
- (2) 点検技術者は、ロボットを活用した点検実施計画について道路管理者の確認および承認を得るものとする。

(解説)

本条文は、点検技術者が作成する点検実施計画について示したものである。

- (1) 点検実施計画の立案に当たっては、現地踏査等により橋梁の架橋状況を確認し、ロボット技術の機能および性能と現地条件とを勘案してロボット技術の適用性を判断し、ロボット技術を活用して行う近接点検の範囲と従来の方法による点検の範囲と明示する必要がある(図 4.3.1 を参照)。同時に、ロボット技術の選定理由を記載することも必要となる。

複数のロボット技術を用いる場合は、各ロボット技術の活用範囲を明確にし、点検範囲の漏れがないことを確認する必要がある。

ロボット技術の取得情報の精度については、ロボット技術の性能カタログ(表 3.1.1 を参照)等をもとに、道路管理者が求める要求性能を満たすことを確認する。また、性能カタログに記載された性能を確保するための条件と対象橋梁の現場条件とが大きく異なる場合等、性能評価やキャリブレーションが必要な場合は、確認方法を示した精度管理計画を作成して点検の精度を担保するものとする。その他、確実な情報取得や点検漏れ防止の方法等についても予め精度管理計画に示すのが良い。

ロボット作業の安全管理は、選定したロボット技術により異なるため、所定の許可申請の準備はもとよりロボット自体の安全機能を確認するとともに、現場での交通環境を考慮した対策やロボット技術の操作時のリスクを想定した安全対策(追加対策)および安全管理(交通誘導員の配置、監視員の配置等)について十分に検討して、安全管理計画を作成する必要がある。

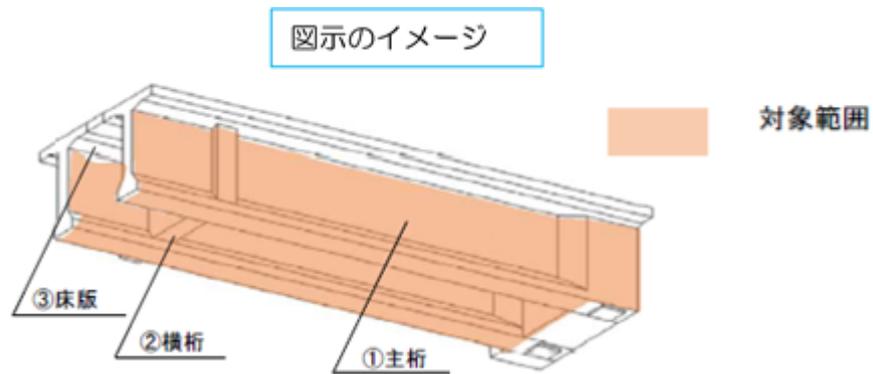


図 4.3.1 ロボット技術を活用して行う近接点検の範囲の明示例⁹⁾

なお、国土交通省の、「新技術利用のガイドライン(案)」⁹⁾には、発注者および受注者双方が新技術について確認するプロセスが示されているので、参照すると良い。

- (2) 実施計画の記載内容のうち(1)①～④については、従来点検と同様に道路管理者の確認と承認が必要な事項のため、条文のように記載している。

4.4 ロボット技術の取得情報のデータ処理の留意点

- (1) ロボット技術の取得情報は診断の根拠として後で参照可能となるように適切に記録し保存するものとする。
- (2) 画像データの場合、損傷の抽出および適切な損傷度評価のためには、全体の中での損傷位置が適切に明示されることが望ましい。

(解説)

本条文は、ロボット技術によって取得したデータの処理について示したものである。

- (1) 「道路橋定期点検要領」¹⁾および自治体点検要領等では、所定の点検調書の様式が定められ、部材の健全性診断区分の根拠資料として、損傷程度の評価を行った代表的な損傷写真の提示が求められる。また、診断において着目した主要な損傷の位置と損傷種類を示すため、スケッチ図(損傷図)とその損傷を示す代表的な損傷写真を貼付した記録も必要とされる。

点検技術者が行う診断の手順としては、まず損傷の抽出と損傷程度の評価(損傷度区分の評価)を行う必要があり、このためにロボット技術によって取得されたデータ(画像データ等)を参照することになる。

一般的に、ロボット技術が取得した大量のデータから損傷の抽出や損傷の定量的評価ならびに定性的評価を行うのは、熟練と時間を要することが多い。そのため、点検技術者が損傷種類に応じた損傷度区分の評価を容易に行えるようにデータ加工が必要になる。また、加工データも記録として残すことが必要となる。

データ加工の方法は、取得情報の種類(画像データ、たたき検査データ等)により異なり、それぞれのロボット技術に適した工夫が必要である。

- (2) 画像撮影ロボット技術では、一般に決められた範囲の画像を損傷の有無に関係なく連続的に取得するため、損傷が部材の全体の中でどの位置にあるかを特定できるようにデータ処理や加工が必要になる。

そのためには、取得した原画像に位置情報を付加する手法や展開画像を作成して部材全体に対する位置関係の把握を容易にするなどの手法が用いられる。

画像処理技術の発達により比較的容易に高精度な展開画像作成できるようになっており、損傷を抽出する手法として展開画像を用いる手法が有用である(図4.4.1, 図4.4.2)。例えば、ひびわれの場合、個別の原画像は撮影範囲が狭いため、抽出したひびわれの位置から部材の構造や耐久性に影響するような損傷であるかを判断するのは難しいが、展開画像を用いることによって、部材全体の中でどの位置にどのような形状で発生しているかを把握しながら損傷を抽出することが可能となる。ただし、ひびわれ幅を高い精度で計測する必要がある場合には、原画像を参照できるように展開画像と原画像の紐つけが必要になる。

また、漏水や遊離石灰についても、部材での位置情報とともにひびわれとの関連性、打ち継ぎ目との関連性などが把握できる。それらの結果は損傷の原因推定の重要な判断材料となるとともに、損傷の定量評価と併せて、対策の必要性の判断については部材単位の診断の根拠資料になる。

また、この展開図上に損傷の種類と損傷の程度を記述することによって、損傷図として記録することが可能である。

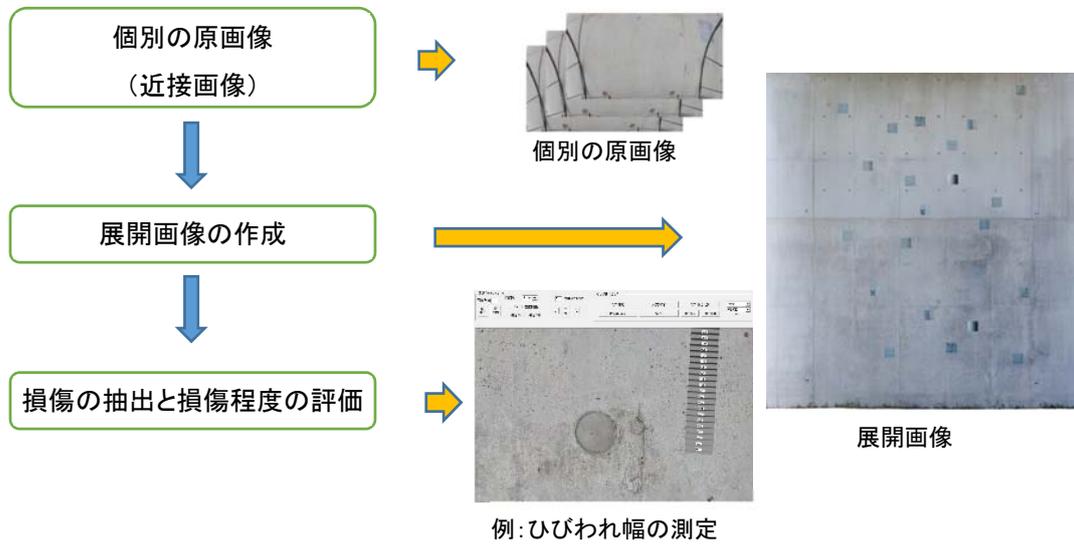


図 4.4.1 展開画像の利用

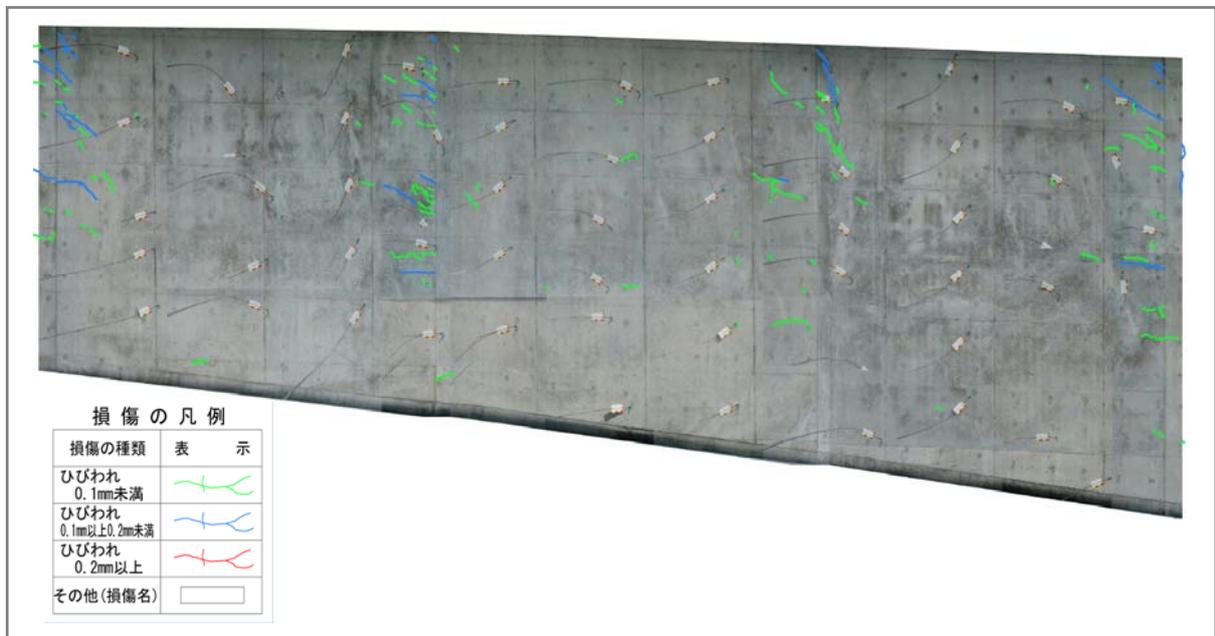


図 4.4.2 展開画像を利用した損傷図(主桁側面)の例

4.5 健全性の診断に適した記録の作成

健全性の診断に適用できる高精度な展開画像が得られた場合には、従来点検における健全性の診断結果の根拠資料としての損傷位置図(損傷図)および損傷写真の代わりとして、展開画像および損傷部写真を用いるなど、診断に適した合理的な記録手法としてよい。

(解説)

ロボット技術を活用した点検では、4.4で述べたとおり部材全体の展開画像を比較的容易に作成することができる。高精度な展開画像が得られた場合は、これを基に点検技術者は、近接目視と同様に部材の損傷状況(損傷の種類、程度、大きさ、範囲等)を確認しながら机上で仮想点検(バーチャル点検)が可能であり、損傷位置図も作成することができる。

しかしながら、今回実証試験を行った江島大橋のような大規模な橋梁において、高精度の展開画像からひびわれの損傷図を作成する場合には、従来点検よりも多大な労力が必要となる。そのため、ロボット技術の取得情報量に対応した合理的な診断結果の記録の方法が必要とされる。

一つの方法として、図4.5.1に示すように、一部材が大規模で広範囲な場合に部材を複数のブロックに分割して展開画像を作成し、展開画像をブロック単位で損傷程度の評価を行う手法がある⁶⁾。この手法では、それぞれのブロック単位で高精度な展開画像を作成し、モニター画面上に等倍の拡大画像とその拡大画像の位置が分かる縮小画像を同時に表示してバーチャル目視点検を実施する。拡大画像で損傷を抽出し、縮小画像で損傷の位置を確認することによって、ブロック毎に損傷程度を評価する。損傷程度の評価結果および展開画像での位置情報を含めた損傷画像を抽出して記録とし、点検調書に反映する。抽出画像には、スケール情報も併せて、損傷評価の根拠を示すものとする。

また、重要な損傷があるブロックについては、必要に応じて損傷図を作成することも可能である。

以上は、点検技術者が損傷の抽出ならびに損傷程度の評価を行う場合を想定している。ロボット技術や情報処理技術および解析技術は著しい進歩を遂げていることから、将来的には近接目視と同等な損傷の自動検出および評価が可能となることも想定されており、その場合は、さらなる効率化が期待される。

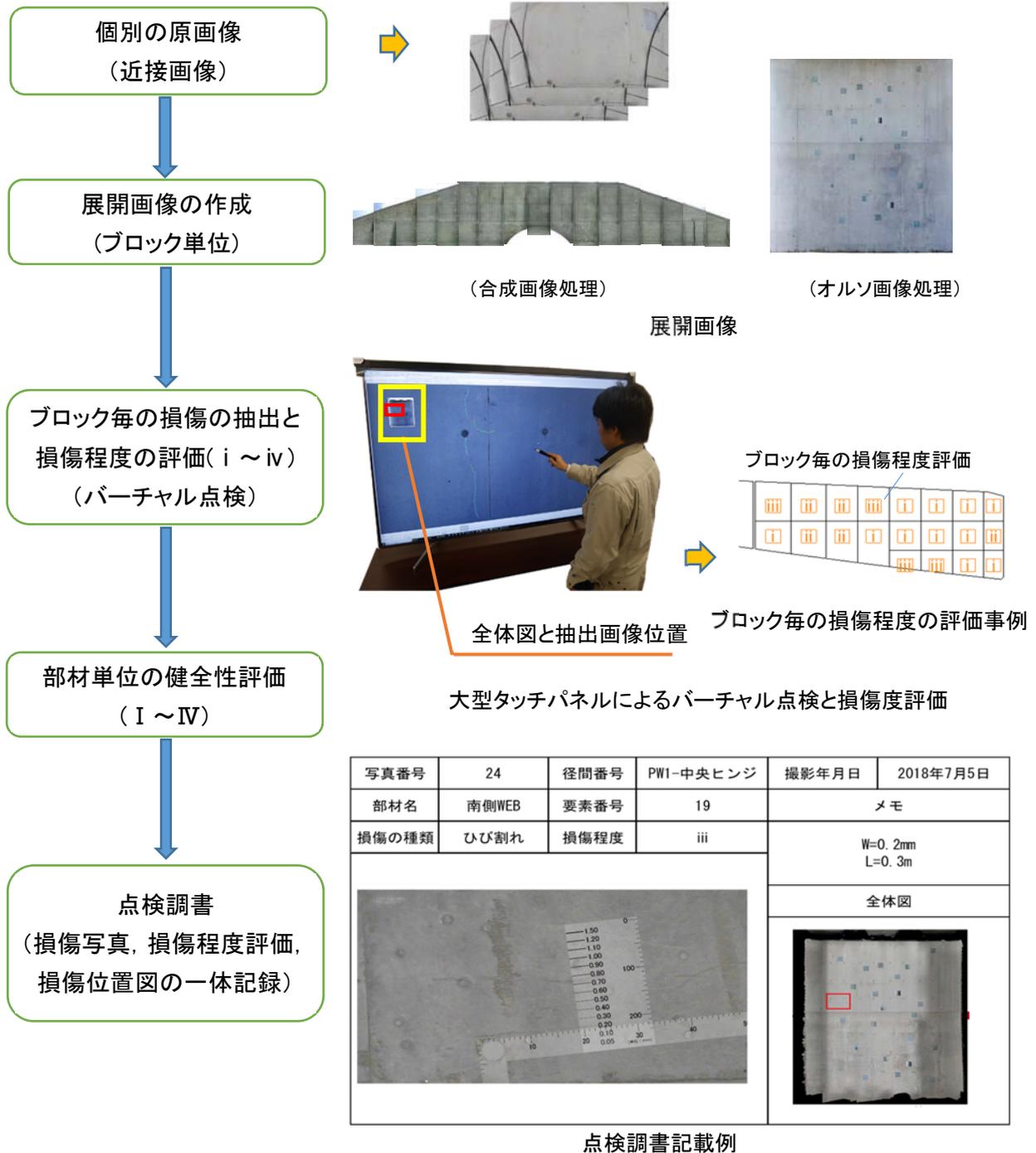


図 4.5.1 ブロック単位の展開画像方式による損傷程度の評価と記録

4.6 安全管理

ロボット技術を活用した点検を行う場合、ロボットの種類に応じた関係法令および条例を遵守するとともに、橋梁位置の環境条件、交差条件を考慮した安全対策と安全管理を行うものとする。

(解説)

ロボット技術を活用した点検時の安全管理については、点検技術者およびロボット技術者は、事前に使用するロボット技術の機能・性能、特にロボット技術の安全機能・性能を十分に理解するとともに、橋梁の位置での環境条件(気象条件等)、交差条件およびロボットの移動機構に応じて生じるロボット技術運用時のリスク(第三者被害も含む)を想定しておくことが必要である。安全管理計画では、想定したリスクに対して、さらなる安全上の措置(監視員の配置、交通誘導員の配置等)を事前に計画して対策を講じるなど、ロボット技術を活用した点検の安全管理に万全を期す必要がある。

飛行型ロボットを用いる場合には、航空法(平成27年法律第67号)をはじめとして関係法令(小型無人機等飛行禁止法、道路交通法、等)で決められた基本的なルールを遵守しなければならない。また、都道府県条例や市町村の条例により、UAVの利用が禁止された場所や制限された場所があるので注意を要する。

点検技術者およびロボット技術者は、上記の関係法令や条例を確認するとともに、必要に応じて事前に国土交通大臣の飛行許可や承認を得なければならない。

UAVの利用については、国土交通省から、「無人航空機(ドローン、ラジコン機等)の安全な飛行のためのガイドライン、平成30年3月27日」¹⁷⁾が公開され、基本的なルール(飛行の禁止空域、第三者被害防止も含めた飛行の方法)や注意事項が示されており、参照するとよい。第三者被害防止については、第三者又は第三者の建物、第三者の車両などの物件との離隔を30m取るなどがルール化されており、これに拠らない場合は承認を受ける必要がある。

また、飛行型ロボットによる点検時の安全管理については、橋梁の環境条件、現地気象条件(特に風の条件)、橋梁構造条件および交差条件と飛行の方法に応じて生じるリスクを事前に想定しておくことが必要である。例えば、橋梁の桁の風下側では風の乱れによって飛行型ロボットが不安定になることや電波障害、磁気障害等による逸走等などのリスクを想定し、二重、三重の対策を計画することが重要である。

5. ロボット技術が取得した計測データの保存

- (1) ロボット技術を活用した点検では、ロボット技術が取得した計測データに基づいて、点検技術者が損傷程度の評価や部材の健全性診断を行う。そのため道路管理者は、ロボット技術が取得した計測データのうち診断の決定に対する根拠(エビデンス)として必要なものについては、保存しなければならない。
- (2) データの保存にあたっては、保存されたデータが次回の橋梁定期点検における資料として、さらには今後の技術開発の基礎資料としても活用できるように配慮するものとする。
- (3) ロボット技術が取得した計測データ以外にも、使用した技術の概要や点検範囲とした橋梁構造の概要、ロボット技術活用の効果と問題点などについても、今後の活用効果向上や更なる技術革新のための参考として、その記録を残すことが望ましい。

(解説)

- (1) ロボット技術を活用した点検業務では、取得した計測データ等に基づいて、点検技術者が損傷程度の評価や部材の健全性診断を行う。そのため、通常の点検調書や調書に用いられる縮小画像データ以外に、損傷程度の評価や診断に用いた個別画像や展開画像などの計測データは、保存する必要がある。また、保存にあたって、一般的なデータ形式の採用やデータの精度を保った方法などに配慮する必要がある。
- (2) 画像データの保存形式としては、JPEG 形式、RAW 形、TIFF 形式等がある。JPEG 形式の場合、画像データを圧縮して保存するため、画質が低下する可能性がある。展開画像等の要求性能を満たすように、適切な記録画素数、圧縮率を選択する必要がある。なお RAW 形式、TIFF 形式では、画質は低下しないが、ファイル容量が大きくなる。今後の技術開発を踏まえ、適切な形式を選択することが必要である。
- (3) ロボット技術を活用した点検業務では、多様かつ膨大な高精度の計測データが取得されるが、ロボット技術が取得した計測データ(画像等)の納品の仕様については現時点で定まったものがない。一方、国土交通省が「点検支援技術(画像計測技術)を用いた3次元成果品納品マニュアル(橋梁編)(案)」¹⁸⁾等で保存すべきデータの標準化について検討を進めているので参考にするるとよい。

ロボット技術の利用記録として残すことが望ましい資料は、以下に示すような資料がある。

① ロボット技術の性能に関する資料

ロボット技術を活用した点検では、搭載するカメラの性能と、構造物とカメラとの離隔が、点検精度や作業効率に大きく影響する。今後の積算資料の参考となるように、ロボット技術の機能と性能に関する資料を残すことが望ましい。

② 橋梁構造に関する資料

ロボット技術を活用した点検では、構造部位の大きさや部材相互の離隔などが、ロボット技術による点検作業の効率や精度に影響を及ぼす。そのため、点検を実施した範囲の構造がわかるような構造一般図や点検対象範囲、点検対象規模(橋面積、下部工基数と下

部工点検対象面積)等を示した資料を残すのがよい。

③ 使用環境に関する資料

ロボット技術を活用した点検では、従来型の橋梁定期点検に比べて天候の影響を受けやすい。そのため、ロボット技術による点検を実施した日の降雨状況や、風速などの情報を残すのがよい。

④ ロボット技術を活用した効果

ロボット技術を活用したことで得られた効果を記録する。

⑤ ロボット技術を活用した問題点

ロボット技術を活用したことによって発生した当初想定していなかった問題点等を記録する。

6. 計測データの有効活用方法

ロボット技術によって得られた計測データを、橋梁毎に一元管理することにより、メンテナンスサイクルにおける後工程において有効活用を図ることができる。

(解説)

ロボット技術を活用した橋梁点検では、従来のように損傷部分のみの画像データ(写真)だけでなく非損傷部を含む点検部材全体の画像データ等を取得する。それらの点検データを一元管理し、必要な画像(写真)や損傷程度などの情報を二次元および3次元モデルへのデータ埋め込み等の手法を用いて「見える化」を図ることが考えられる。

図6.1に3次元モデルのイメージを示す。このシステムの場合、損傷のあった箇所をピンイメージで表現し、損傷程度に応じて色分けしている。このピンをクリックすれば、必要な個所の損傷の詳細データが現れ、損傷状況が確認できる。

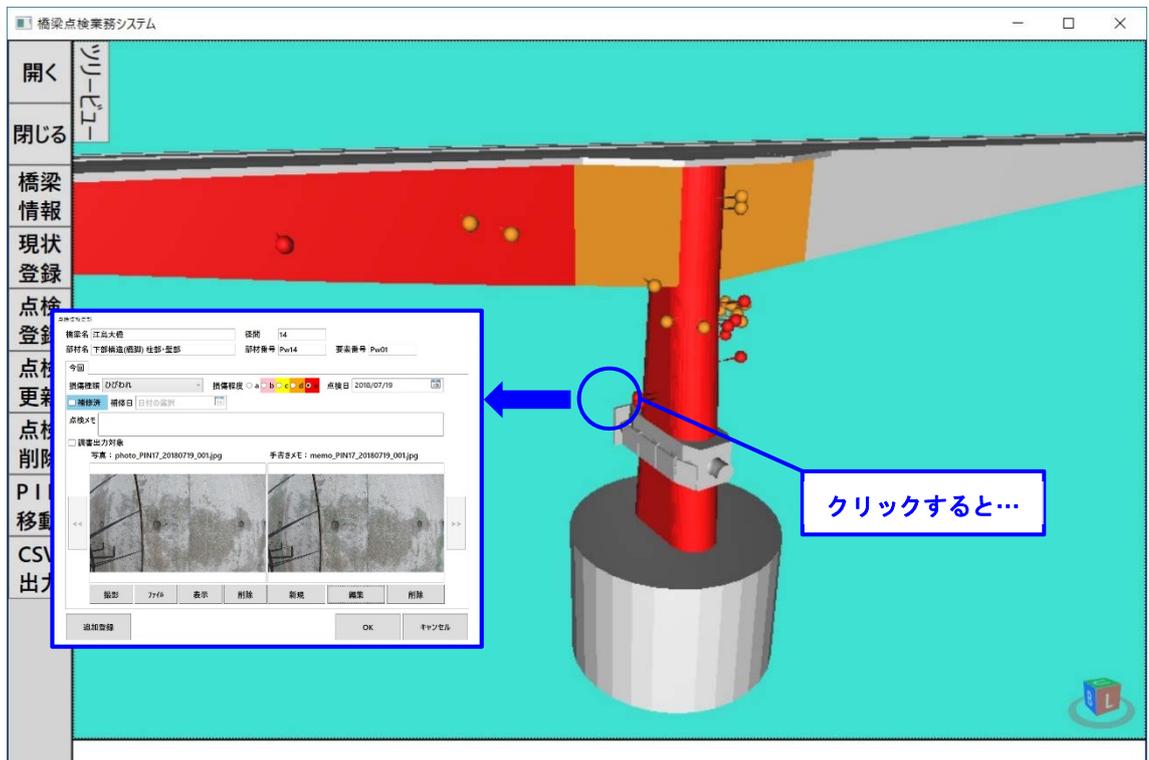


図 6.1 3次元モデルによる画像データの埋め込みイメージ例

このようなシステムにより橋梁全体の状況を必要な時に迅速に参照することが可能になり、次工程である補修設計や補修工事でも有効に活用できる。

例えば、補修設計においては、近接して踏査できない場合にも損傷の範囲の特定や対策工の設定にあたって有用な情報を取得でき、補修設計の効率と品質向上が図られる。また、補修工事においては、補修設計の内容と実際の損傷状況が確認できることにより、適切な施工計画の立案の基となる確かな補修工事の実現が可能であり、品質向上と施工コストの縮減が期待される。

このような効果から、措置(補修設計⇒補修工事)の効率化と品質向上が図られ、メンテナンスサイクルの向上が期待される。

さらに、取得データを長期にわたり蓄積すれば、橋梁の定期的なモニタリングを「見える化」することができる。その結果から重要な損傷の進行度や補修の再劣化等の分析を行うことが可能となり、橋梁毎の劣化予測や補修工法の改善に反映することができる。また、そのような活動を行うことが橋梁の長寿命化に寄与し、橋梁のアセットマネジメントの向上につながるものと考えられる(図6.2)。

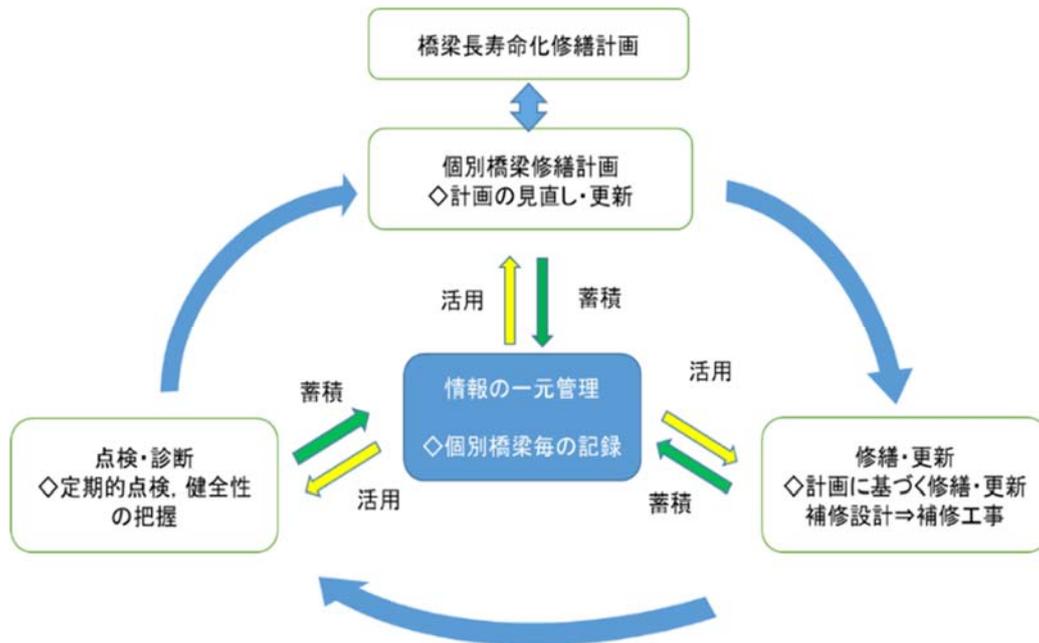


図 6.2 橋梁維持管理のメンテナンスサイクルの向上

7. その他

本指針(案)は、「SIP インフラ地域実装支援鳥取大学チーム」の研究活動の一環として、「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において開発された各種のロボット技術を、地方自治体における橋梁定期点検の支援技術として社会実装するために策定したものである。このため、本指針(案)では SIP インフラ等で開発され江島大橋プロジェクトの実証試験で使用したロボット技術をもとに作成しているが、これ以外のロボット技術についても本指針(案)に沿った活用が可能である。本指針(案)が、法定点検の橋梁点検要領の改定と相まって、今後のロボット技術開発の更なる発展ならびにロボット技術活用の進展につながることを期待する。

【参考文献】

- 1) 国土交通省道路局;道路橋定期点検要領, H26.6 [改訂, H31.2]
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4_1.pdf
- 2) SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術;インフラ技術総覧, H31.1
- 3) SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術 SIPインフラ地域実装支援チーム;SIPインフラ新技術地域実装活動報告書, H31.1
- 4) 藤野陽三;次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進, 日本ロボット学会誌34巻9号, H28.11
- 5) 国土交通省次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会;橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果, H28.3 <http://www.mlit.go.jp/common/001125338.pdf>
- 6) SIPインフラ江島大橋プロジェクト;実証試験報告書, H31.3
- 7) 岐阜大学SIP実装プロジェクト;平成29年度活動報告書, H30.4
http://me-unit.net/wp-content/uploads/2018/04/20180425-H29_Research_Report.pdf
- 8) 岐阜大学SIP実装プロジェクト 新しい橋梁点検技術の適用性評価委員会;ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針(案), H30.4
http://me-unit.net/wp-content/uploads/2017/01/20180425-Bridge_Inspection_Guideline.pdf
- 9) 国土交通省;新技術利用のガイドライン(案), H31.2
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo5_1.pdf
- 10) 国土交通省;点検支援技術 性能カタログ(案), H31.2時点
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo5_2.pdf
- 11) 日本コンクリート工学会;コンクリートの診断技術'18[基礎編], 3.4.2, H30.2
- 12) 鎌田敏郎, 浅野雅則, 国枝稔, 六郷恵哲:コンクリート表層部欠陥の定量的非破壊検査への打音法の適用, 土木学会論文集, No.704/V-55, 2002
- 13) 鈴木理絵, 多田祐希, 中村光, 三浦泰人;弾性波法による健全部判定に基づくコンクリートおよび断面修復部内部の欠陥検出, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 2018
- 14) 三浦泰人, 新田益大, 和田秀樹, 中村光:打音機構を搭載した飛行ロボットによる内部欠陥検出手法の開発と実橋梁への適用, 構造工学論文集, Vol.65A, 2019
- 15) 国土交通省道路局国道・技術課;道路橋定期点検要領, H31.3
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf
- 16) 鳥取県県土整備部道路企画課;鳥取県道路橋りょう定期点検マニュアル, H27.3
- 17) 国土交通省;無人航空機(ドローン, ラジコン機等)の安全な飛行のためのガイドライン, H30.3 http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
- 18) 国土交通省;点検支援技術(画像計測技術)を用いた3次元成果品納品マニュアル(橋梁編)(案), H31.3 <http://www.mlit.go.jp/common/001284069.pdf>

ロボット技術を活用した橋梁点検指針（案）

平成 31 年 3 月 28 日 発行

編集者 橋梁点検への新技術の適用性評価委員会

発行者 SIP インフラ地域実装支援鳥取大学チーム

〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

TEL : 0857-31-5523

E-mail : tkuroda@tottori-u.ac.jp

・本指針（案）の内容を他の出版物へ転載する場合には、必ず発行者の了解を得てください。

本取り組みは、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の中で、JSTが管理法人として担当した活動の一環です。

