岐阜大学 SIP 実装プロジェクト

各務原大橋点検方法検討会 報告書

岐阜県橋梁点検マニュアルによる取得情報の要求性能
各務原大橋におけるロボット技術の評価

平成３０年４月

各務原大橋点検方法検討会

岐阜大学

各務原大橋点検方法検討会

検討会の構成

責任者	六郷 恵哲	岐阜大学工学部
副責任者	沢田 和秀	岐阜大学工学部
検討委員	森本 博昭	岐阜大学工学部
検討委員	國枝　稔	岐阜大学工学部
検討委員	木下 幸治	岐阜大学工学部
検討委員	中村 俊夫	各務原市
検討委員	細江 育男	大日コンサルタント
オブザーバー	川瀬 智彦	岐阜県建設研究センター
オブザーバー	翠 昭博	岐阜大学工学部
事務局	羽田野 英明	岐阜大学工学部
事務局	大野 知子	岐阜大学工学部

ワーキンググループの構成

メンバー	羽田野 英明	岐阜大学工学部
メンバー	矢島 賢治	岐阜県コンサルタンツ協会（大日コンサルタント）
メンバー	古澤 栄二	岐阜県コンサルタンツ協会（テイコク）
メンバー	溝部 美幸	岐阜県コンサルタンツ協会（ユニオン）
メンバー	加藤 波男	グラン・ソラリス
メンバー	吉川 知宏	各務原市
オブザーバー	加藤 一郎	岐阜県建設研究センター

【本報告書に関する問合せ先】
〒501-1193　岐阜市柳戸１－１
岐阜大学 工学部附属インフラマネジメント技術研究センター
岐阜大学 SIP 実装プロジェクト　　羽田野 英明 宛
電話／FAX：058-293-2436
Ｅメール　：gifusip@gifu-u.ac.jp

各務原大橋点検方法検討会報告書

目　　次

１．岐阜県橋梁点検マニュアルによる取得情報の要求性能 …… 1

２．各務原大橋におけるロボット技術の評価 …… 3

１．岐阜県橋梁点検マニュアルによる取得情報の要求性能

ロボット技術による点検の支援においては，点検技術者はロボットが取得した情報を基に損傷の状況を確認するとともに，重点的な近接目視の実施判断をするために損傷程度を評価する。重点的な近接目視の実施判断は，点検技術者が損傷の状況や損傷の程度から総合的に判断するものとするが，部材の健全性区分がⅡ以上と想定される場合を基本とする。このため，ロボット技術で取得される情報には，各部材の健全性区分がⅡ以上であるか否かを判断可能な性能が必要とされ，できるだけ定量的に評価するための目安が必要となる。

本資料は，「岐阜県橋梁点検マニュアル（H28.3)」に基づき，コンクリート橋を対象とした場合のロボット技術による取得情報への要求性能を示したものである。点検技術者が橋梁の各部材の健全性を判定するために求める情報（**表-1.1**）と，ロボット技術が提示すべきデータ（**表-1.2**）を整理した上で，それぞれの取得情報の要求性能を規定した（**表-1.3**)。但し，岐阜県橋梁点検マニュアルでは，健全性区分Ⅰを I_a と I_b に分類しており，これを判別する要求性能を考慮した。

表-1.1　点検技術者が求める情報

位置	発生位置によって，同じ損傷であっても，それが「橋の構造上，致命的な影響を及ぼしかねない重大な異常なのか」，緊急性の評価および原因推定の判断材料に利用する。
範囲	発生している範囲(全体 or 局所，粗 or 密)によって，その損傷が橋に与える影響度を考慮し，緊急性の評価および原因推定の判断材料に利用する。
方向 (パターン)	ひび割れは，発生している方向やそのパターンによって，原因推定の重要な判断材料となり，緊急性の評価の判断材料にも利用する。(水平，鉛直，鋼材方向，直行方向，網目状)
大きさ	損傷の大きさによって，橋に与える影響度を考慮し，緊急性の評価および原因推定の判断材料に利用する。(ひび割れについては，幅 W，長さ L，ひび割れ以外は，面積 A，長さ L)
量	桁遊間や支承移動量等の変位量によって，橋に与える影響度を考慮し，緊急性の評価および原因推定の判断材料に利用する。
原　因	漏水や遊離石灰等，水の経路によって，原因推定の重要な判断材料となり，緊急性の評価の判断材料にも利用する。

表-1.2　ロボット技術が提示すべきデータ

位置	部位，部材のどの位置に発生しているのか，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写真
範囲	発生している範囲の全体像がわかる写真
方向 (パターン)	発生しているひび割れ方向やパターンの全体像がわかる写真
大きさ	ひび割れについては，幅 W，長さ L，ひび割れ以外は，面積 A，長さ L のスケールがわかる写真
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写真 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	漏水や遊離石灰等，水の経路がわかる写真

なお，**表-1.3** に示した計測性能の「ひび割れ幅」の誤差（0.1mm）については，大きすぎるので 0.05mm にすべきとの考えもあった。しかしながら，現時点でのロボットに装着したカメラ能力では，0.05mm 単位でのひび割れ幅の識別が難しいこと，準用した岐阜県橋梁点検マニュアルでは，0.3mm のひび割れ幅を閾値としており，0.2mm（最小検出ひびわれ幅）＋0.1mm（誤差）であ

れば，その閾値を確実に検出できることから，このような性能規定とした。

表-1.3　ロボット技術による取得情報の要求性能

要　求　内　容			検証方法
検出機能	有　無	損傷の種類（**表-1.4**）を認識できる。	左記の項目について確認できる写真や損傷図が提供されること。 提供された写真や損傷図が，近接目視により作成された損傷図と比較して，損傷の位置，範囲，方向が概ね一致していること。
	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を検出できる。	
	方向（パターン）	損傷の方向性（水平，鉛直，斜め，鋼材方向，直交方向）あるいはパターン（網目状）を検出できる。	
	原　因	漏水や遊離石灰等，水の影響が懸念される損傷について，水の侵入経路や発生源を検出できる。	
計測性能	大きさ	【ひび割れ幅】 0.2mm 以上のひび割れ幅を 0.0～+0.1mm 以内※の誤差で計測できる。	近接目視により作成された損傷図に記載された損傷，あるいは人工的に作成した精度検証指標の計測結果が，概ね左記に示す許容誤差の範囲内であること。
		【ひび割れ長さ，剥離，鉄筋露出，漏水等】 5cm 以内の誤差で計測できる。 （長さ L＝ ○○○cm，面積 A＝ ○○cm ×○○cm）	
	量	桁遊間や支承の変位を，10mm 以内の誤差で計測できる。	

※　幅 0.3mm のひび割れ幅の検知漏れがないように，以下のような性能とする。
0.2mm のひび割れ幅に対して，測定結果を安全側に 0.3mm（0.2mm＋誤差 0.1mm）と出力することは許容する。
0.3mm のひび割れ幅に対して，測定結果が危険側に 0.2mm（0.3mm－誤差 0.1mm）とすることは許容しない。

表-1.4　損傷の種類

材料	番号	損傷の種類
鋼	1	腐食
	2	亀裂
	3	ゆるみ・脱落
	4	破断
	5	防食機能の劣化
コンクリート	6	ひびわれ
	7	剥離・鉄筋露出
	8	漏水・遊離石灰
	9	抜け落ち
	11	床版ひび割れ
	12	うき

材料	番号	損傷の種類
その他	13	遊間の異常
	14	路面の凹凸
	15	舗装の異常
	16	支承部の機能障害
	17	その他

材料	番号	損傷の種類
共通	10	補修･補強材の損傷
	18	定着部の異常
	19	変色・劣化
	20	漏水・滞水
	21	異常な音・振動
	22	異常なたわみ
	23	変形・欠損
	24	土砂詰まり
	25	沈下・移動・傾斜
	26	洗掘

「橋梁定期点検要領」（平成 26 年 6 月）に示される損傷の種類で，コンクリート橋で判定Ⅰb，Ⅱを対象とした場合に対象外となるものや，路面等の近接可能な項目については，灰着色により除外

各技術が要求性能を満足しているかどうかの判断は，ロボット開発者から提出される「近接目視点検による橋梁点検結果とロボット技術による点検結果を比較した資料」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，各技術の性能とその確認方法を点検計画書に記載し，道路管理者の確認を得るものとする。

２．　各務原大橋におけるロボット技術の評価

（1）対象橋梁の概要

各務原大橋（**写真-2.1**）は，岐阜県各務原市の木曽川に架かる 10 径間連続フィンバック橋（橋長 594m）である。風光明媚な木曽川の景観に配慮した設計が行なわれており，桁下からの景観（**写真-2.2**）も周辺環境に溶け込み，平成 25 年度には土木学会田中賞作品賞を受賞している。橋脚は張出部のない小判型（**写真-2.3**）であり，その高さは水面より 10m 程度である。橋脚天端幅は支点上横桁の幅と同一として景観面での配慮がなされている。

車道部の標準幅員は 7.5m（0.5＋2@3.25＋0.5）で，上下流とも 3m 幅員の自歩道（**写真-2.4**）が整備され，P5 橋脚付近と P7 橋脚付近では，その自歩道幅が 5m に部分的に拡幅（**写真-2.5**）されている。自歩道部の構造は，プレキャスト製ブラケットで支持された PC 版構造という特殊な形式となっている。歩道部 PC 床版下面には排水管と上水管（下流側のみ）が設置され，排水管と上水管は歩道部ブラケットに設置された支持金具で固定されている。

写真-2.1 各務原大橋

写真-2.2 主桁・ブラケットの構造

写真-2.3 橋脚の構造

写真-2.4 自歩道部（標準部）

写真-2.5 自歩道部（拡幅部）

（2）橋梁点検時の課題

本橋は，平成 30 年度に定期点検が予定されているが，歩道幅員が**写真-2.4** に示したように 3m と広く，歩車道境界にフィンバック部材もあるため，**図-2.1** に示すように一般的な大型橋梁点検車（BT400）を利用しても橋梁下面の点検作業ができない。特に，脚高が 10m 以上と高く，桁下からの点検作業が難しい河川内径間 P2～P9（420m）については，懐幅が 5m 程度の超大型橋梁点検車，あるいは点検足場設置，高所ロープ作業による橋梁点検作業が必要となり，コスト面での負担も大きい。

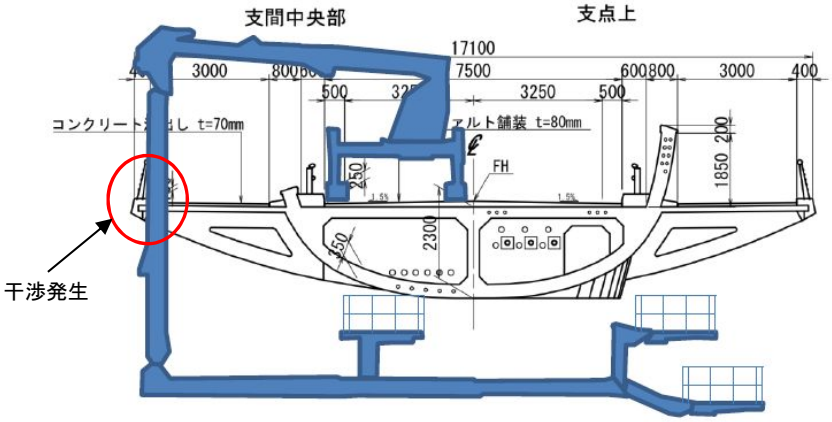


図-2.1 橋梁点検車（BT400）による橋梁点検

（3）対象ロボット技術

以下の５つのロボット技術のフィールド試験結果について精度検証を実施した。

表-2.1 精度検証の対象技術

ロボット技術		開発会社	特徴ある機能の例
ロボットカメラ系	橋梁点検ロボットカメラ	三井住友建設	PC 箱桁橋梁の内外面の効率的な点検
	橋梁点検カメラシステム	ジビル調査設計	遠隔地の専門技術者による損傷診断
ドローン系	二輪型マルチコプタ	富士通	3D モデルによる橋梁損傷状況の管理
	打音機構付点検ロボット	新日本非破壊検査	RC 床版の自動打音･近接点検による損傷判定
	可変ピッチ機構付ドローン	デンソー	自動飛行による近接撮影と損傷解析システム

以下に，各技術の特徴と活用時の留意点について述べる。

1）打音機構付点検ロボット（新日本非破壊検査）

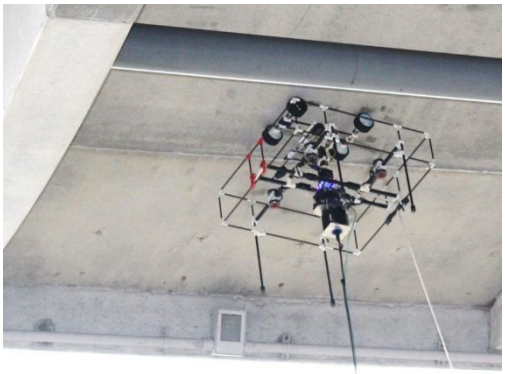
【特　徴】　①打音点検と同時に損傷部分撮影

②有線による電源供給（バッテリー交換などのロスタイムが少ない）

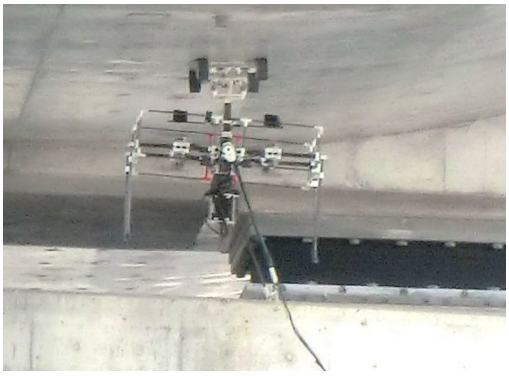
【留意点】　①垂直面への適用難

②撮影機能だけの利用は不得意

③膨大な画像の保存方法（近接画像のため画像容量が大きい）



(a)床版下面での稼働状況



(b)箱桁下面で稼働状況

写真-2.6　打音機構付点検ロボット

２）二輪型マルチコプタ（富士通）

【特　徴】　①3 種類のマルチコプタによる点検

②構造全体のひび割れ確認可能な高精密画像作成

③点検データの３D モデル管理

【留意点】　①主桁側面（曲面）への適用難

②画像撮影欠損部への対応

(a)大型マルチコプタ
車輪直径 100 cm

(b)中型マルチコプタ
車輪直径 40 cm

(C) 小型マルチコプタ
車輪直径 25 cm

写真-2.7 二輪型マルチコプタ

３）可変ピッチ機構付ドローン（デンソー）

【特　徴】　①現場点検時間の短縮(4K カメラ＋安定した UAV 飛行)

②ひび割れ自動検出

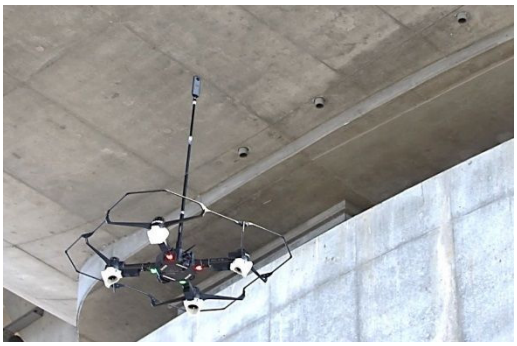
③全方向カメラによる狭隘部撮影

④損傷状況の３D 可視化

⑤0.1mm のひび割れ幅も撮影ができる安定した自動飛行による 1m 近接撮影

【留意点】　①損傷解析システムが開発中

非 GPS 環境下での自動飛行



全方向カメラによる支承部点検

写真-2.8 可変ピッチ機構付ドローン

４）橋梁点検ロボットカメラ（三井住友建設）

【特　徴】　①作業占有幅が 50 ㎝程度
②操作が容易（タブレット）
③機材がコンパクト（15 kg）
④PC 箱桁内の点検可
⑤20m離れて 0.2mm ひび割れ

【留意点】　①撮影の死角がでない操作
②強風時のカメラの揺れ

写真-2.9 橋梁点検ロボットカメラ

５）橋梁点検カメラシステム（ジビル調査設計）

【特　徴】　①作業占有幅 95 ㎝程度で歩道利用可
②打音点検ができる
③クラックスケール利用可
④遠隔地での診断適用可

【留意点】　①操作には習熟が必要
②水平アーム長及び、鉛直ロッド長より点検範囲に制限有り。

(a) 歩道部の占有状況　　(b)桁下での点検状況

写真-2.10 橋梁点検カメラシステム

（4）要求性能･精度と検証方法

第 2 回適用性評価委員会およびフィールド試験を踏まえて，要求性能を以下のように整理した。

表-2.2(a)　ロボット技術による取得情報の要求性能

要求内容			検証方法
検出機能	有　無	損傷の種類（**表-2.2(b)**）を認識できる。	左記の項目について確認できる写真や損傷図が提供されること。 提供された写真や損傷図が，近接目視により作成された損傷図と比較して，損傷の位置，範囲，方向が概ね一致していること。
	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を検出できる。	
	方向（パターン）	損傷の方向性（水平，鉛直，斜め，鋼材方向，直交方向）あるいはパターン（網目状）を検出できる。	
	原　因	漏水や遊離石灰等，水の影響が懸念される損傷について，水の侵入経路や発生源を検出できる。	
計測性能	大きさ	【ひび割れ幅】 0.2mm 以上のひび割れ幅を 0.0～+0.1mm 以内※の誤差で計測できる。	近接目視により作成された損傷図に記載された損傷，あるいは人工的に作成した精度検証指標の計測結果が，概ね左記に示す許容誤差の範囲内であること。
		【ひび割れ長さ，剥離，鉄筋露出，漏水等】 5cm 以内の誤差で計測できる。 （長さ L＝ ○○○cm，面積 A＝ ○○cm ×○○cm）	
	量	桁遊間や支承の変位を，10mm 以内の誤差で計測できる。	

※　幅 0.3mm のひび割れ幅の検知漏れがないように，以下のような性能とする。
0.2mm のひび割れ幅に対して，測定結果を安全側に 0.3mm（0.2mm＋誤差 0.1mm）と出力することは許容する。
0.3mm のひび割れ幅に対して，測定結果が危険側に 0.2mm（0.3mm－誤差 0.1mm）とすることは許容しない。

表-2.2(b)　損傷の種類

材料	番号	損傷の種類
鋼	1	腐食
	2	亀裂
	3	ゆるみ・脱落
	4	破断
	5	防食機能の劣化
コンクリート	6	ひびわれ
	7	剥離・鉄筋露出
	8	漏水・遊離石灰
	9	抜け落ち
	11	床版ひび割れ
	12	うき

材料	番号	損傷の種類
その他	13	遊間の異常
	14	路面の凹凸
	15	舗装の異常
	16	支承部の機能障害
	17	その他

材料	番号	損傷の種類
共通	10	補修･補強材の損傷
	18	定着部の異常
	19	変色・劣化
	20	漏水・滞水
	21	異常な音・振動
	22	異常なたわみ
	23	変形・欠損
	24	土砂詰まり
	25	沈下・移動・傾斜
	26	洗掘

「橋梁定期点検要領」（平成 26 年 6 月）に示される損傷の種類で，コンクリート橋で判定Ⅰb，Ⅱを対象とした場合に対象外となるものや，路面等の近接可能な項目については，灰着色により除外

（5）検出機能の検証

近接目視により作成された損傷図（ベンチマーク）とロボットが取得した情報から作成した損傷図を比較検証した。

１）打音機構付点検ロボット（新日本非破壊検査）

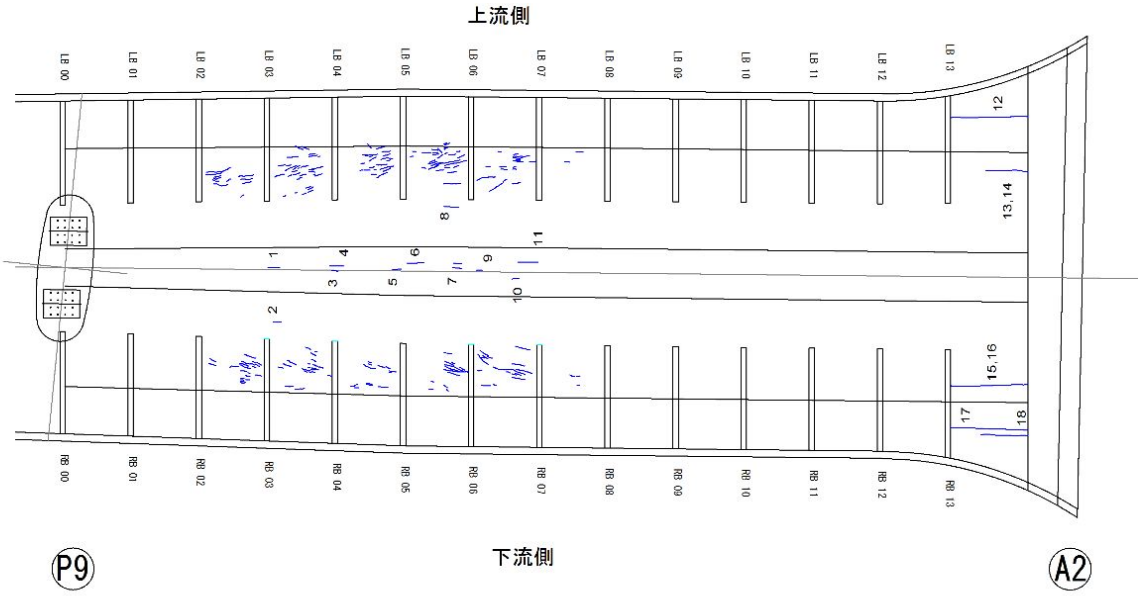


図-2.2(a) 従来手法による損傷図

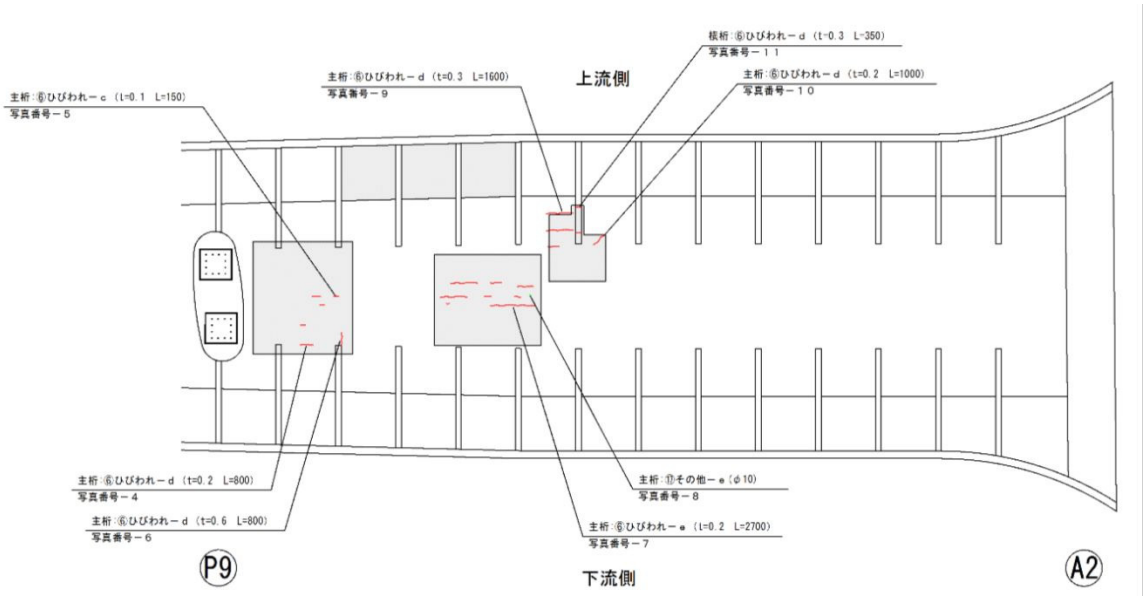


図-2.2(b) 打音機構付点検ロボットによる損傷図

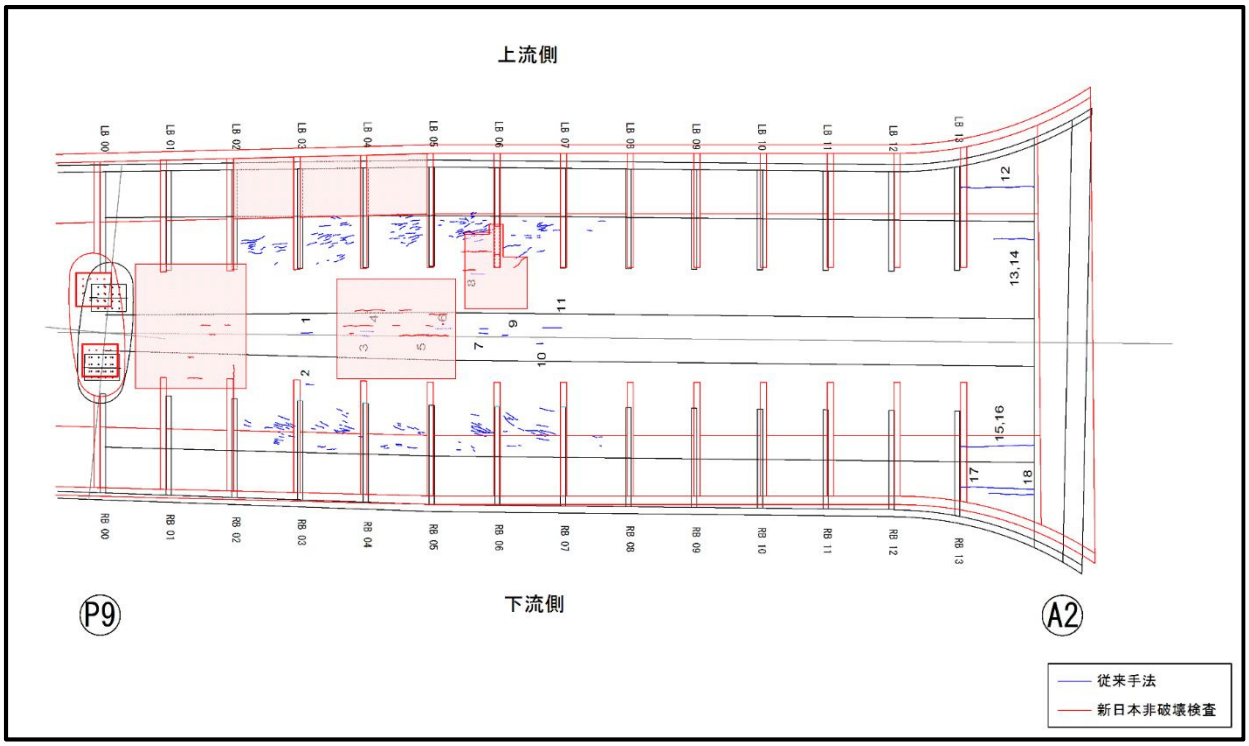


図-2.2(c)　重ね図（打音機構付点検ロボット＋従来手法）

２）二輪型マルチコプタ（富士通）

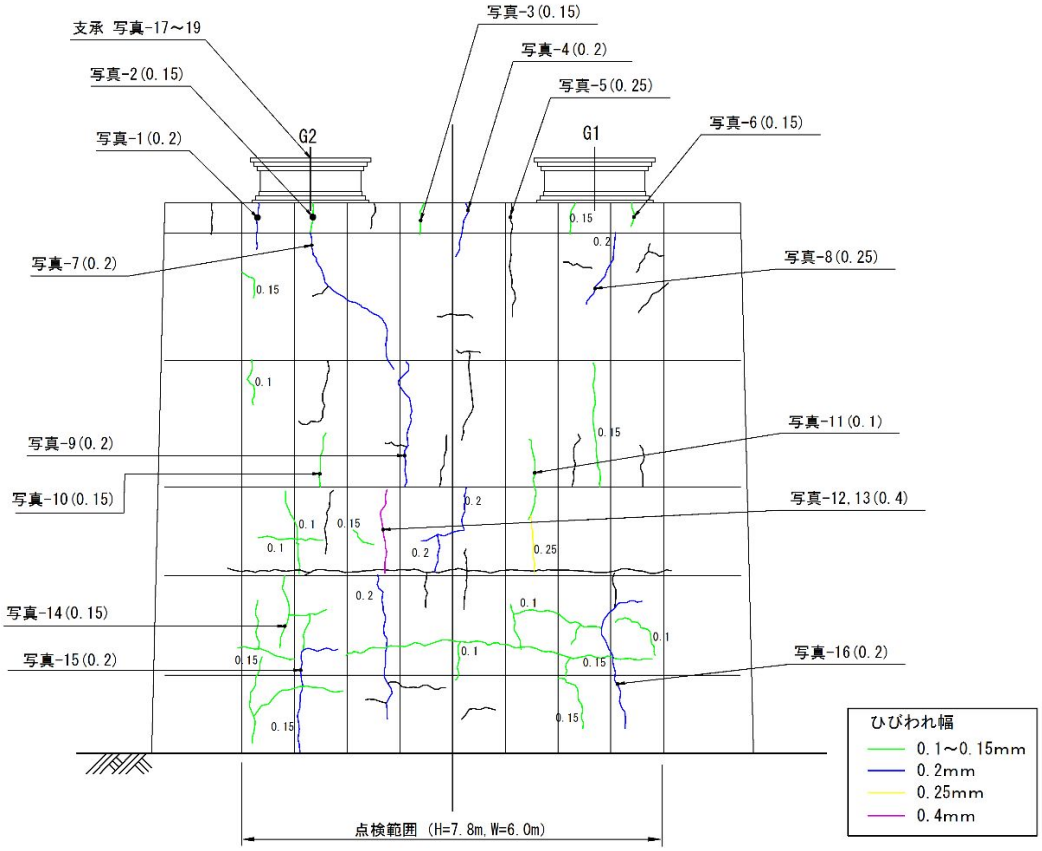


図-2.3(a) 従来手法による損傷図

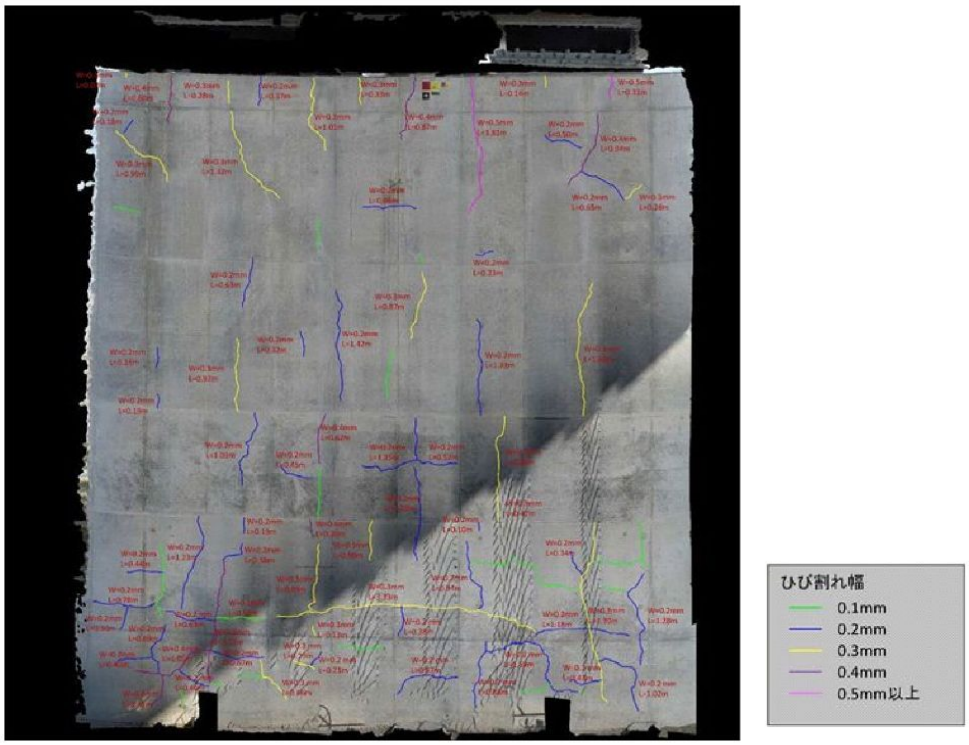


図-2.3(b) 二輪型マルチコプタによる損傷図

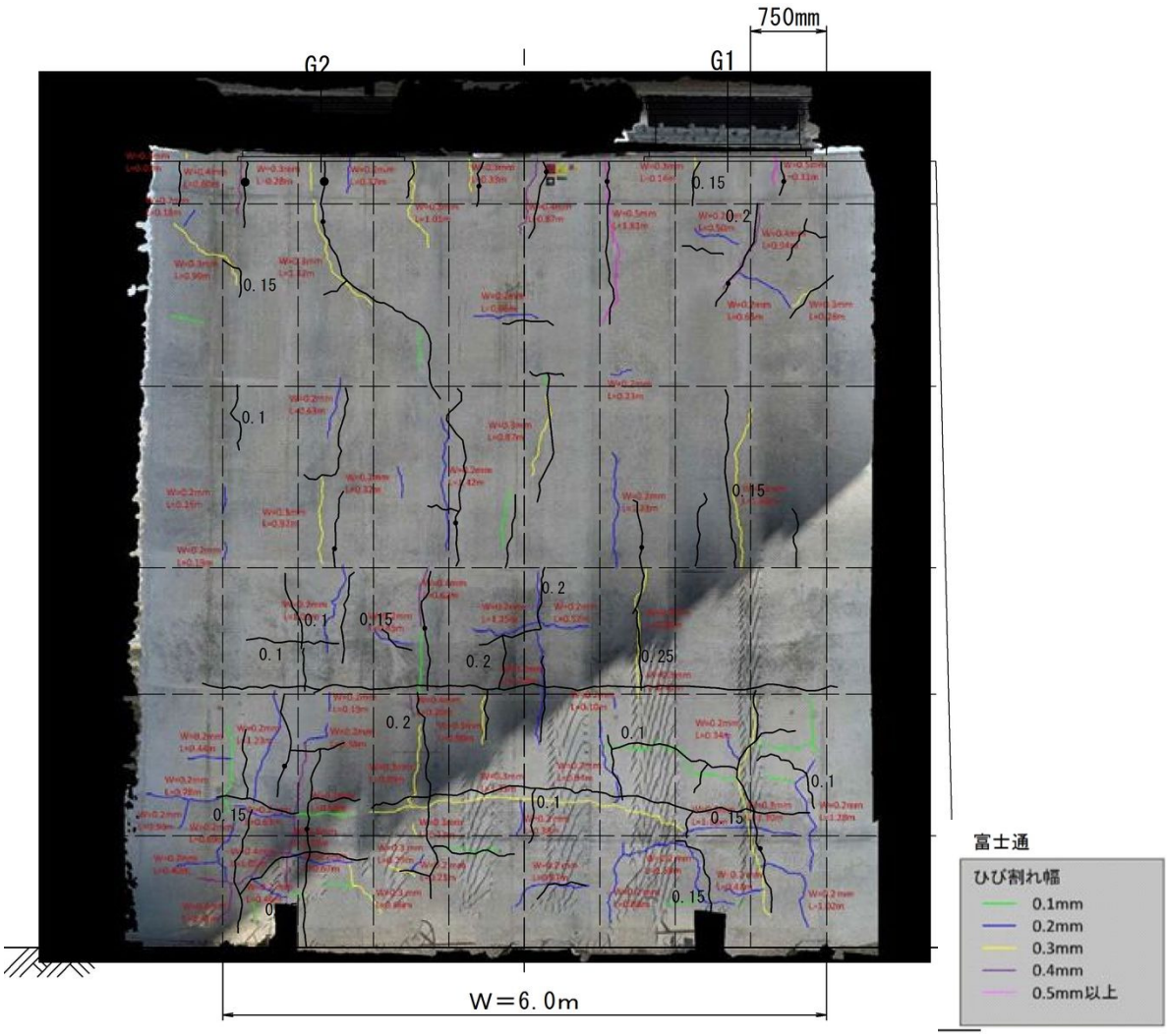


図-2.3(c) 重ね図（二輪型マルチコプタ＋従来手法）

３）可変ピッチ機構付きドローン（デンソー）

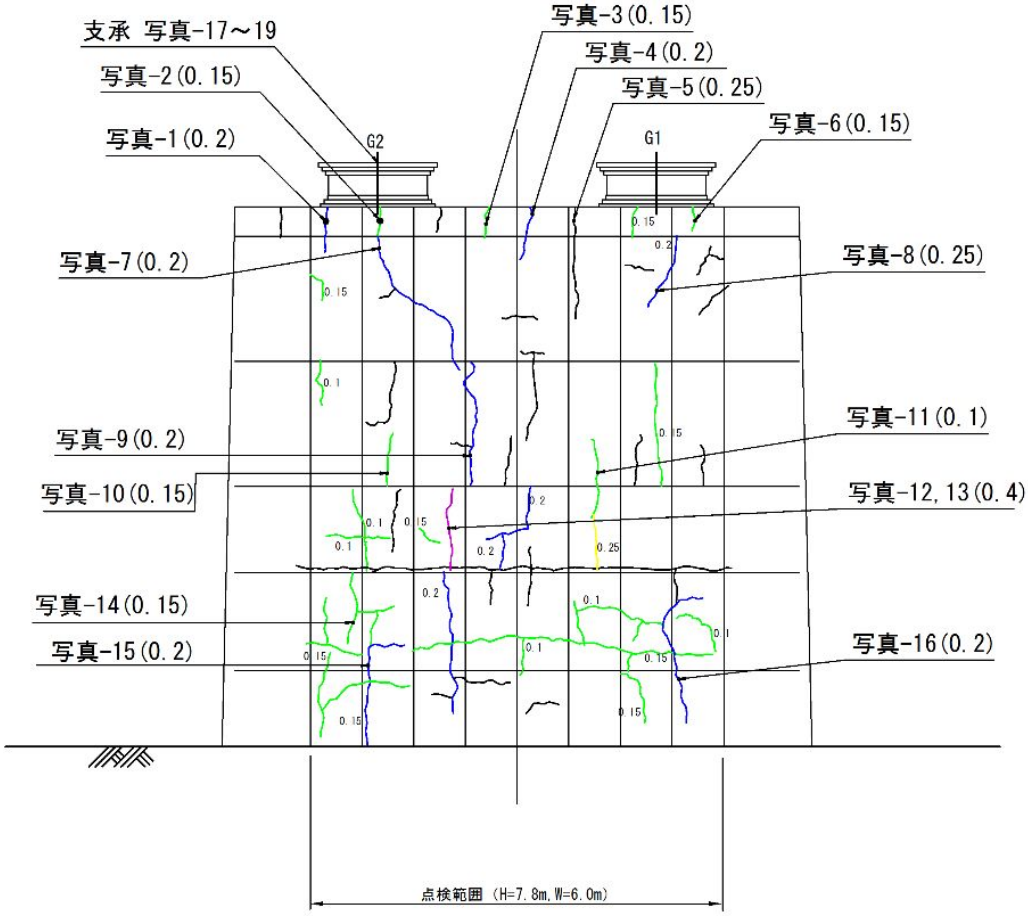


図-2.4(a) 従来手法による損傷図

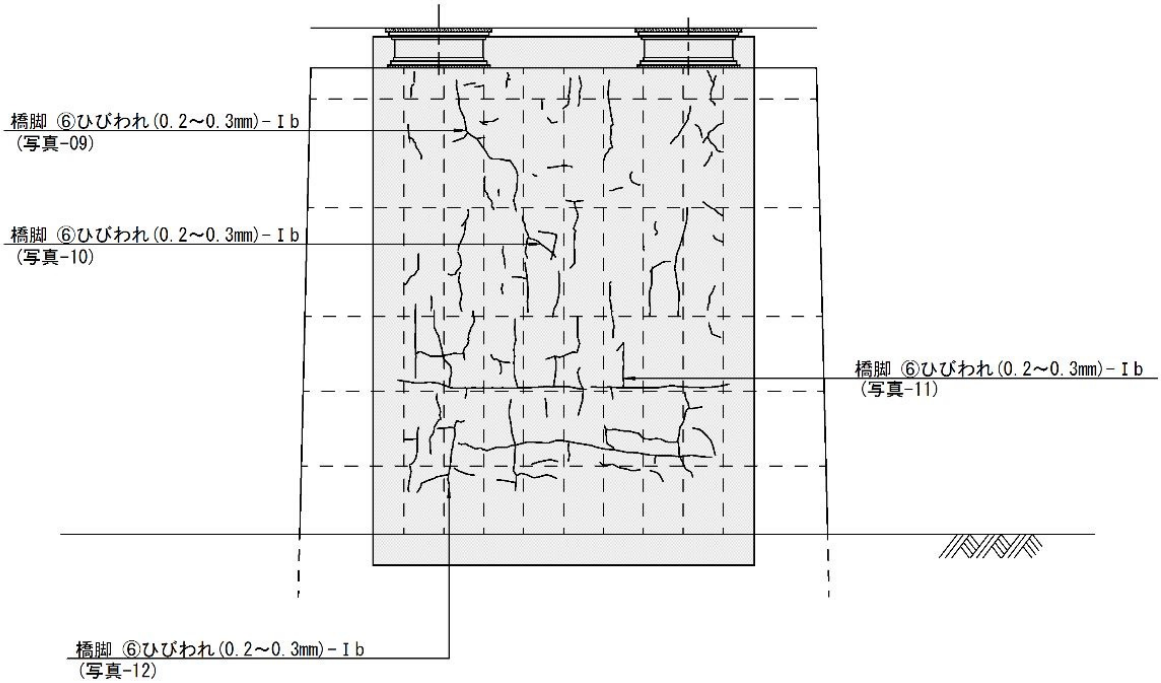


図-2.4(b) 可変ピッチ機構付ドローンによる損傷図

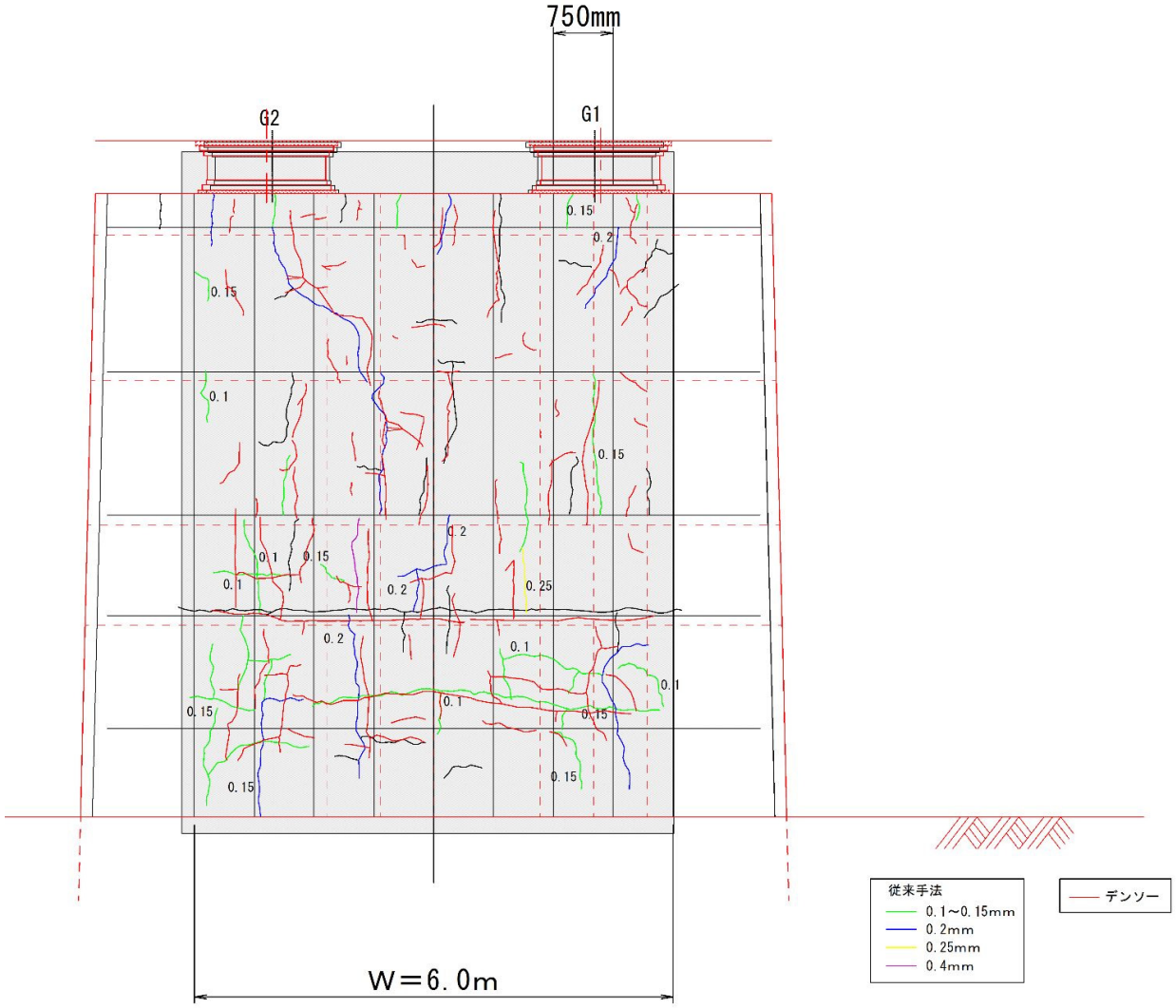


図-2.4(c) 重ね図（可変ピッチ機構付ドローン＋従来手法）

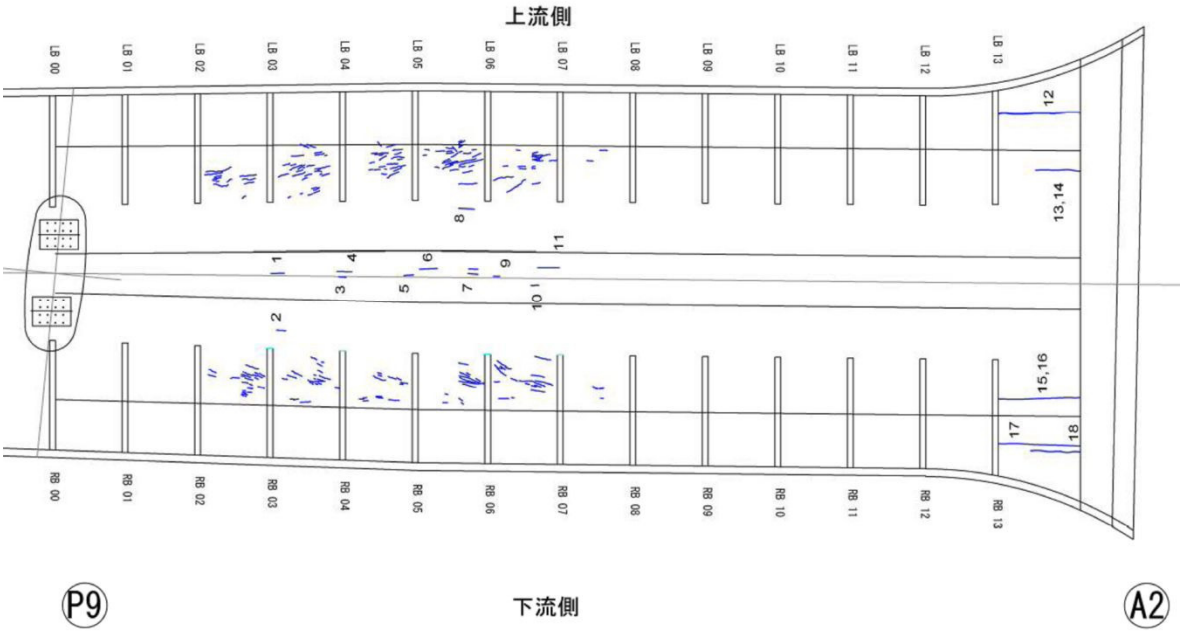


図-2.5(a) 従来手法による損傷図

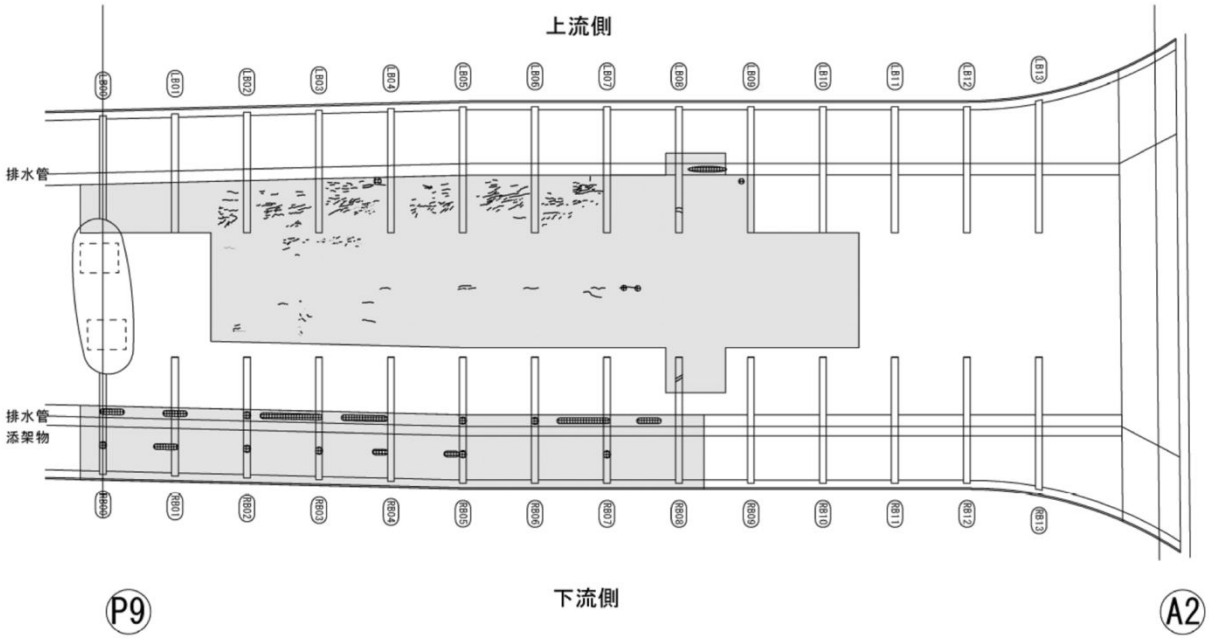


図-2.5(b) 可変ピッチ機構付ドローンによる損傷図

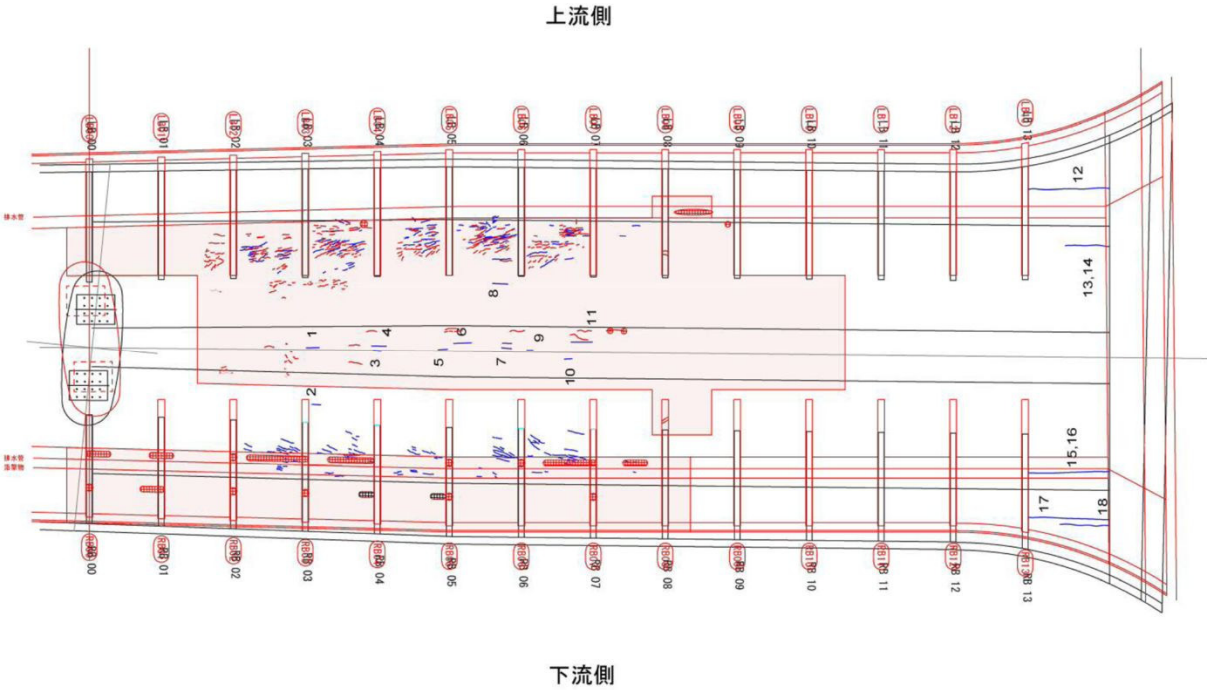


図-2.5(c) 重ね図（可変ピッチ機構付ドローン＋従来手法）

４）橋梁点検ロボットカメラ（三井住友建設）

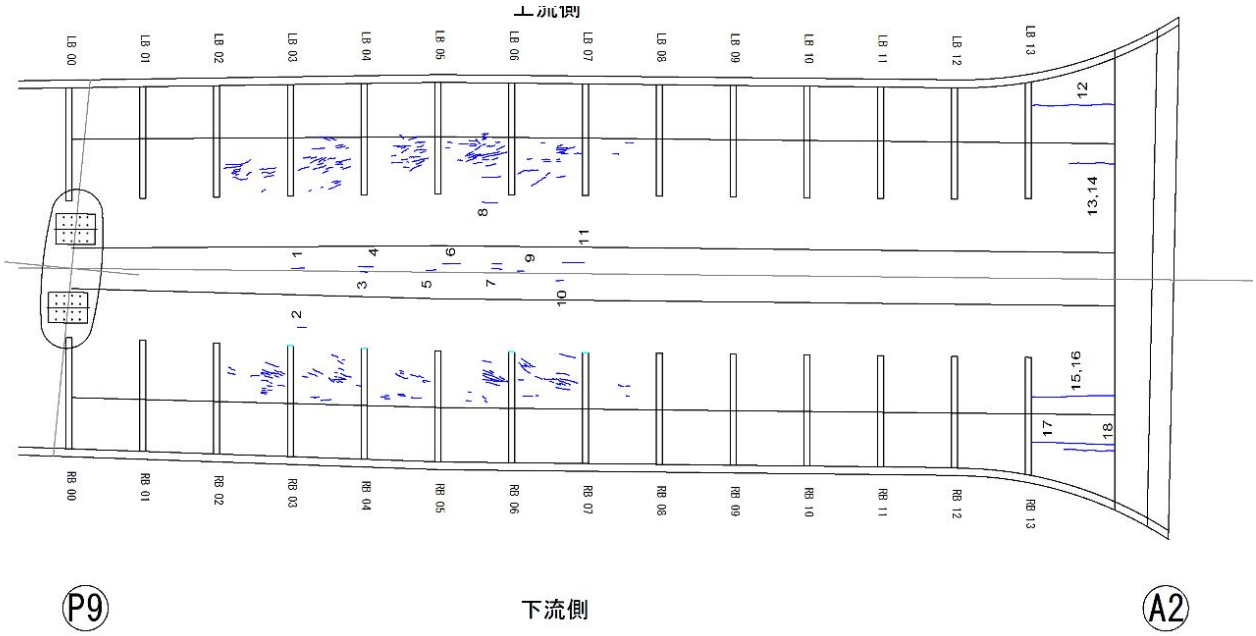


図-2.6(a) 従来手法による損傷図

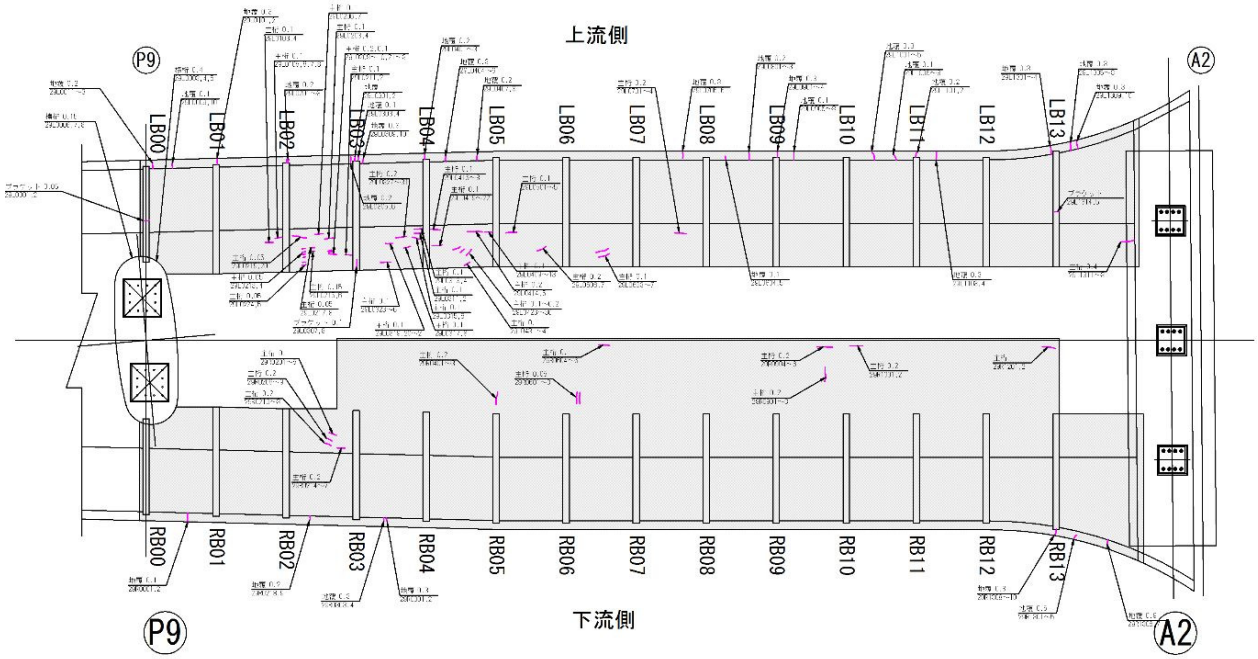


図-2.6(b) 橋梁点検ロボットカメラによる損傷図

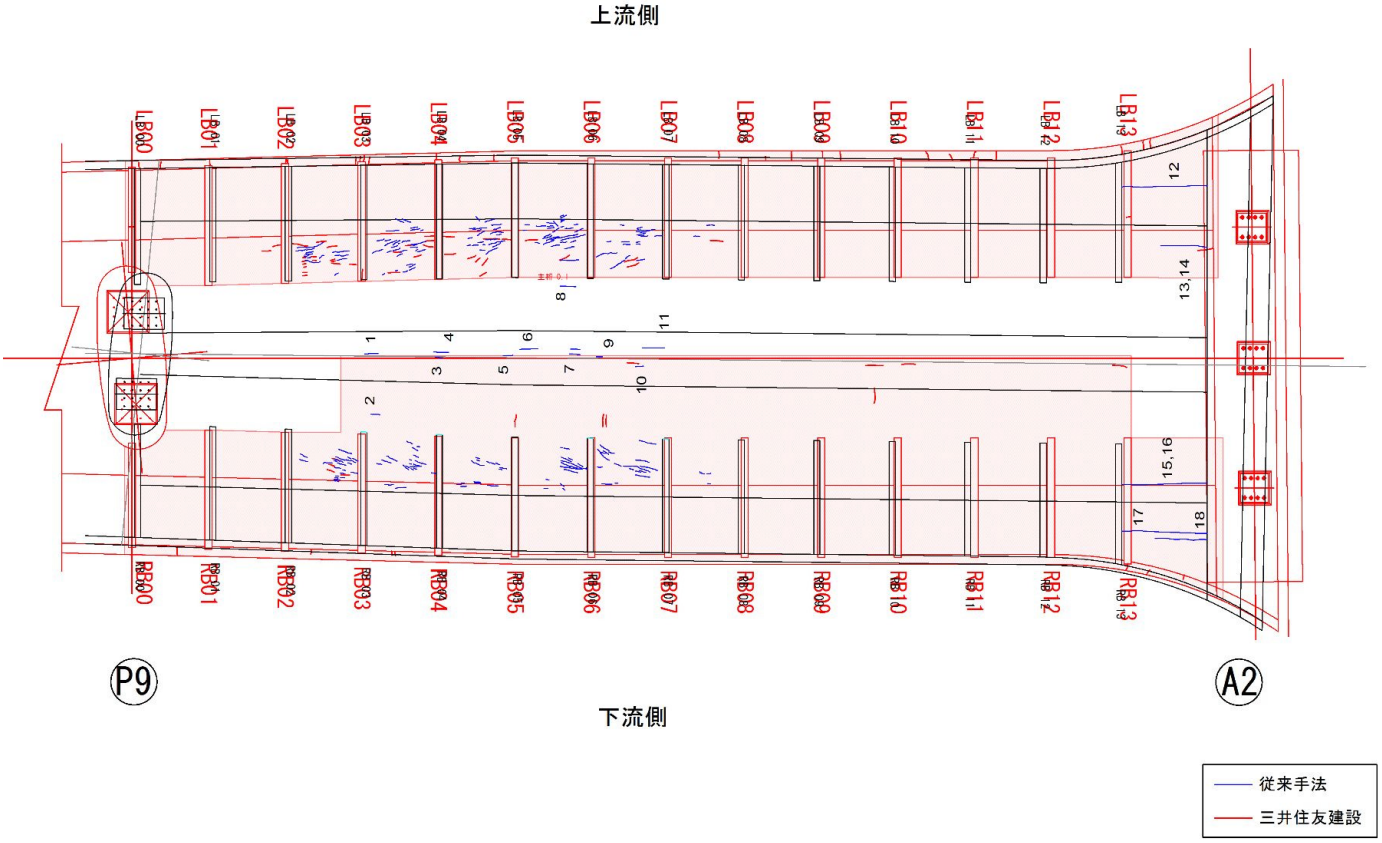


図-2.6(c) 重ね図（橋梁点検ロボットカメラ＋従来手法）

５）橋梁点検カメラシステム（ジビル調査設計）

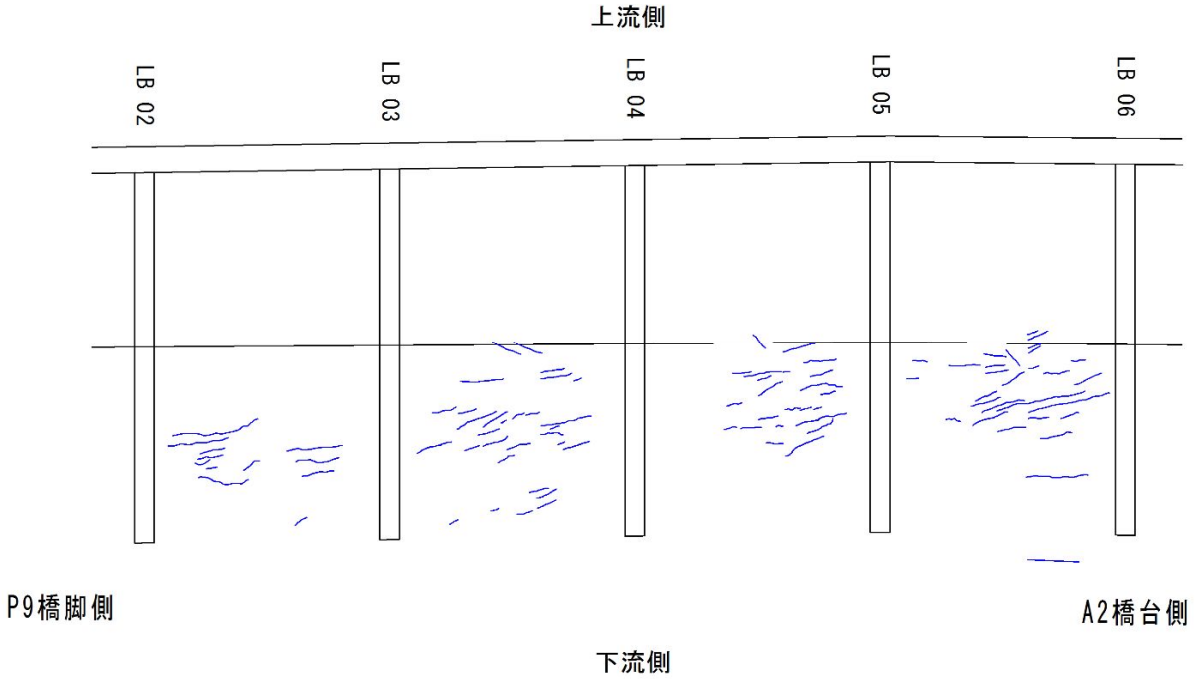


図-2.7(a) 従来手法による損傷図

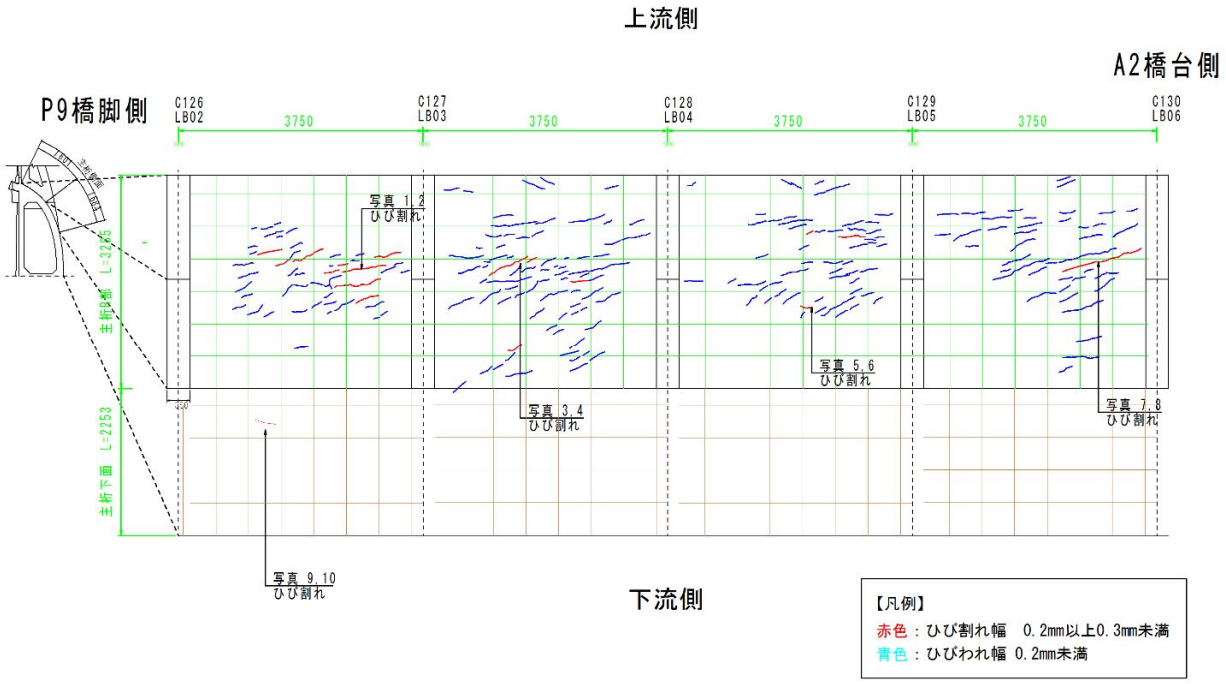


図-2.7(b) 橋梁点検カメラシステムによる損傷図

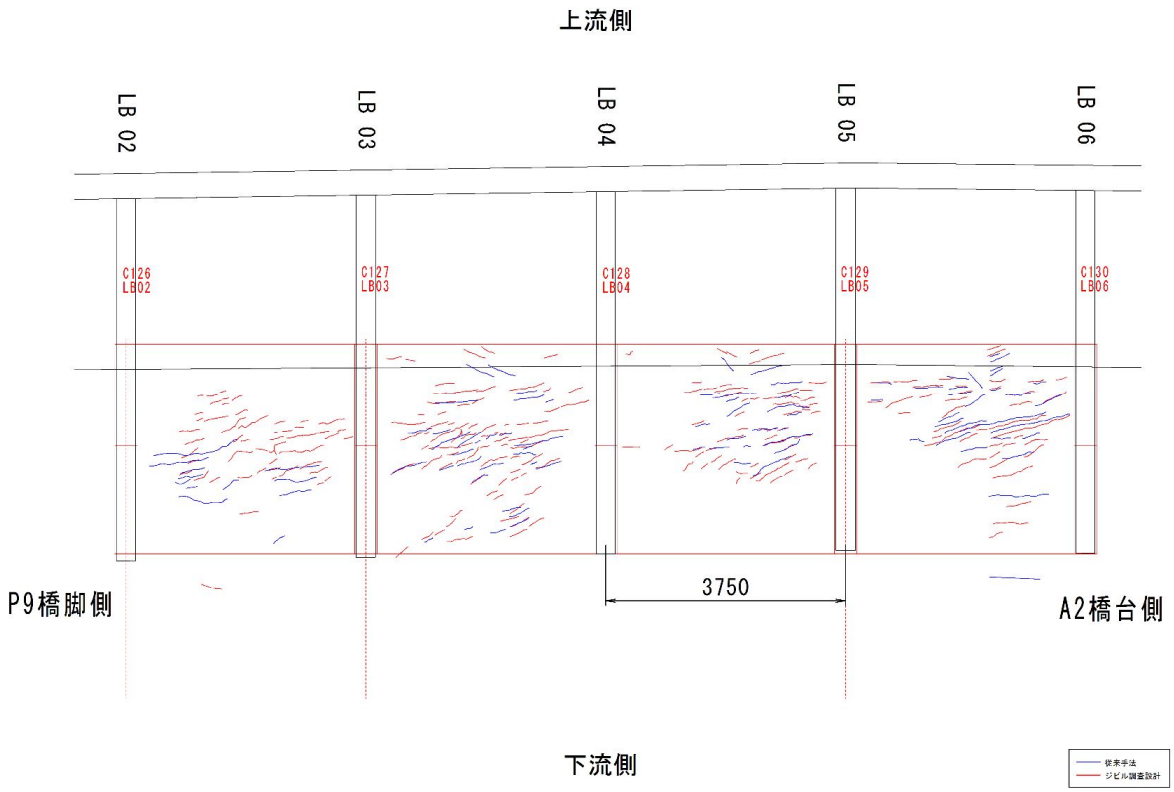


図-2.7(c) 重ね図（橋梁点検カメラシステム＋従来手法）

６）検出機能の検証結果

表-2.3 ロボット技術による取得情報の検出機能

要求内容			検証方法
検出機能	有　無	損傷の種類を認識できる。	左記の項目について確認できる写真や損傷図が提供されること。 提供された写真や損傷図が，近接目視により作成された損傷図と比較して，損傷の位置，範囲，方向が概ね一致していること。
	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を検出できる。	
	方向（パターン）	損傷の方向性（水平，鉛直，斜め，鋼材方向，直交方向）あるいはパターン（網目状）を検出できる。	
	原因	漏水や遊離石灰等，水の影響が懸念される損傷について，水の侵入経路や発生源を検出できる。	

表-2.4 検出機能の検証結果一覧

部位	打音機構付点検ロボット	二輪型マルチコプタ	可変ピッチ機構付ドローン	橋梁点検ロボットカメラ	橋梁点検カメラシステム
床版下面	○	△（ひびわれ検出精度に難あり）	○	○	○
主桁側面	△（上側のみ対応可能）	×（曲面対応不可）	○	△（非点検技術者の損傷認識不足）	○
主桁下面	○	△（ひびわれ検出精度に難あり）	○	△（非点検技術者の損傷認識不足）	×（水平アームの長さ不足）
支点上横桁	未調査（点検不可）	未調査（点検不可）	○	×（支承間不可）	○
ブラケット	△（下面のみ対応可能）	○	○	○	○
支承	未調査（点検不可）	○	△（支承間の精度が不明）	×（支承間不可）	×（水平アームの長さ不足）
排水管＆支持金具	未調査（点検可能）	○	○	○	○
上水管＆支持金具	未調査（点検可能）	未調査（点検可能）	○	○	未調査（点検可能）
地覆	未調査（点検不可）	未調査（点検可能）	○	○	○
電線管＆プルボックス	未調査（点検可能）	未調査（点検可能）	○	○	○
下部工（橋脚）天端上面	未調査（点検不可）	○	△（ひび割れ検出精度が不明）	未調査（点検不可）	未調査（点検不可）
下部工（橋脚）天端～水面上	未調査（点検不可）	○	○	未調査（点検不可）	未調査（点検不可）

○：概ね一致している
△：条件付（再検証が必要）
×：改良の必要がある

【評価結果】

①　損傷の有無

損傷の種類としては，ひび割れ，漏水，遊離石灰のみであり，これらの種類の認識は各技術ともに写真画像から認識可能な精度といえる。（○）

② 損傷の位置

損傷の位置については，概ね一致しているものと，そうでないものとの差が大きい結果となった。精度に難ありとなったものについては，以下の原因が挙げられる。（△）

1) 点検技術者ではない人による損傷の認識不足，抽出もれ
2) ロボットが取得した画像から人間が損傷図を作成しており，そこにロボットではない人の作業で発生する誤差
3) 損傷図に利用した構造図が同一のものではなく，重ね作業で発生した誤差
4) ベンチマークの精度（ベンチマーク以上にロボットが取得できている損傷もある）

③ 損傷の範囲

損傷の範囲については，各技術ともに損傷図に全体像が記録できており，局所的なのか広範囲なのかを判断するには，十分な精度である。（○）

④ 損傷の方向（パターン）

損傷の方向については，各技術ともにひび割れパターンが判断可能な損傷図である。（○）

⑤ 原因

原因については，各技術ともに，水の浸入経路を追跡でき，遊離石灰や漏水の周辺写真が確認できる。（○）

（6）計測性能の検証

１）精度検証指標

(a) 視認性の精度検証

(b) ひび割れ幅の精度検証

写真-2.11 精度検証指標

２）設置位置

【視認性マーク】

V1：主桁（下面）

V2：主桁（側面）

V3：下部工

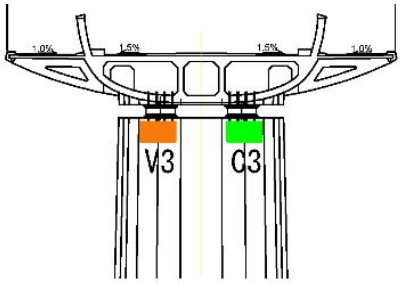
C4：床版

【クラックスケール】

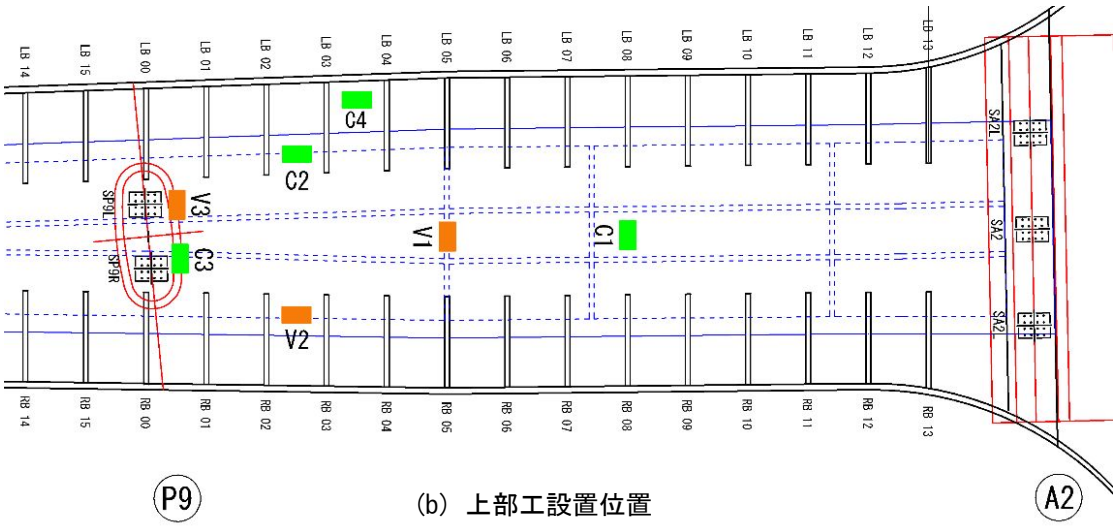
C1：主桁（下面）

C2：主桁（側面）

C3：下部工



(a) 下部工設置位置



(b) 上部工設置位置

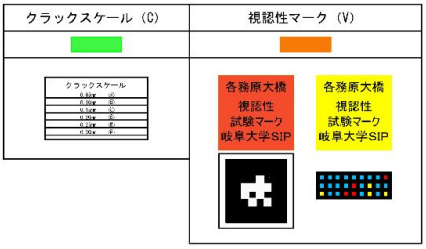


図-2.8 精度検証指標設置位置

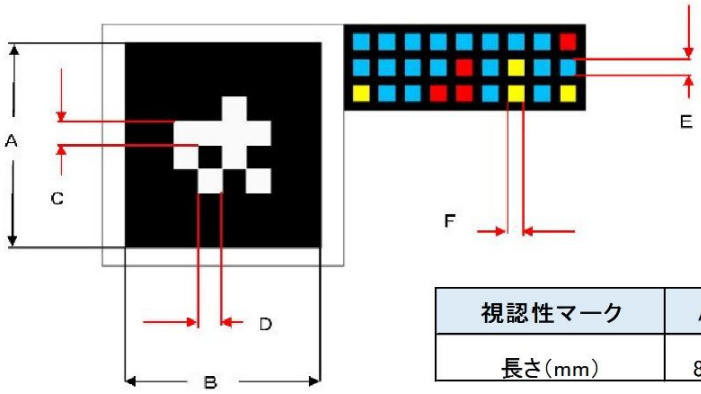
３）視認性マークの検証方法

図-2.9 に示す視認性マークを用いて，ひび割れ以外の損傷程度（長さ，面積，変形量等）の計測性能を評価した結果を**表-2.5** に示す。

寸法 A，B：長さ，面積（50mm オーダー）正解値 85mm → 従来手法では 100mm と表記

寸法 C～F：変形量（10mm オーダー）正解値 10mm，7mm → 従来手法では 10mm と表記

正解率は，正解値に対する寸法比率により算出する。



視認性マーク	A	B	C	D	E	F
長さ(mm)	85	85	10	10	7	7

図-2.9　視認性精度検証指標

表-2.5 視認性マークの計測結果集計表　　（）内寸法は計測値を示す

	部位	長さ mm	打音機構付き点検ロボット	二輪型マルチコプタ	可変ピッチ機能付ドローン	橋梁点検ロボットカメラ	橋梁点検カメラシステム
視認性マーク	主桁部 V1	A 85	△(55)	○(85)	○(84)		
		B 85	△(46)	○(82)	○(77)		
		50mmオーダー	**59%**	**98%**	**95%**	－	－
		C 10	○(6)	○(10)	○(10)		
		D 10	○(6)	○(10)	○(10)		
		E 7	○(5)	○(6)	○(7)		
		F 7	○(5)	○(6)	○(8)		
		10mmオーダー	**66%**	**93%**	**97%**	－	－
	主桁部 V2	A 85				○(80)	
		B 85				○(80)	
		50mmオーダー	－	－	－	**94%**	－
		C 10				○(10)	
		D 10				○(10)	
		E 7				○(7)	
		F 7				○(7)	
		10mmオーダー	－	－	－	**100%**	－
	下部工 V3	A 85	○(60)	○(86)	○(87)	○(80)	○(70)
		B 85	○(62)	○(84)	○(87)	○(80)	○(70)
		50mmオーダー	**72%**	**99%**	**98%**	**94%**	**82%**
		C 10	○(7)	○(10)	○(10)	○(10)	○(8)
		D 10	○(6)	○(10)	○(10)	○(10)	○(8)
		E 7	○(5)	○(6)	○(9)	○(7)	○(5)
		F 7	○(5)	○(6)	○(9)	○(7)	○(5)
		10mmオーダー	**68%**	**93%**	**89%**	**100%**	**76%**

４）ひび割れの精度検証

表-2.6 に示したクラックスケールを用いたひび割れ（幅，長さ）の計測性能を確認結果を表-2.7 に示す。ひび割れ寸法計測の評価方法を以下に示す。

ひび割れ幅の評価　○：誤差が 0.1mm 以下

△：誤差が 0.1mm より大きく，0.2mm 以下の誤差

×：誤差が 0.2mm より大きい

正解率は，○（１点），△（0.5 点）とし，総合点の 6 点に対する割合で示す。

ひび割れ長さ（50mm オーダー）：正解値 90mm→従来手法では 100mm と表記

正解率は，正解値に対する計測寸法比率により算出する。

表-2.6 クラックスケールの基本寸法

クラックスケール	Z	E	I	A	Y	C
クラック幅（mm）	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
クラック長さ（mm）	90	90	90	90	90	90

表-2.7　クラックスケールの計測結果集計表　　（）内数値は計測値を示す

	部位	幅 mm	長さ mm	打音機構付き点検ロボット		二輪型マルチコプタ		可変ピッチ機能付ドローン		橋梁点検ロボットカメラ		橋梁点検カメラシステム	
クラックスケール	床版部 C4	Ⓩ0.05	90	○(0.1)	○(83)					△(0.2)	○(95)	○(0.1)	○(95)
		Ⓔ0.10		○(0.2)	○(80)					○(0.2)	○(93)	○(0.1)	○(95)
		Ⓘ0.15		△(0.3)	○(77)					○(0.2)	○(94)	○(0.2)	○(95)
		Ⓐ0.20		○(0.2)	○(76)					△(0.4)	○(93)	○(0.2)	○(93)
		Ⓨ0.25		△(0.4)	○(75)					△(0.4)	○(94)	○(0.3)	○(93)
		Ⓒ0.30		○(0.4)	○(75)					△(0.5)	○(94)	○(0.3)	○(92)
		±0.1mm	50mm オーダー	83%	86%	－	－	－	－	67%	96%	100%	96%
	主桁部 C1	Ⓩ0.05	90	○(0.1)	○(72)	△(0.2)	○(90)	○(0.05)	○(90)	○(0.1)	○(90)		
		Ⓔ0.10		○(0.2)	○(75)	○(0.2)	○(90)	○(0.1)	○(90)	○(0.2)	○(90)		
		Ⓘ0.15		○(0.2)	○(78)	○(0.2)	○(90)	○(0.15)	○(90)	○(0.15)	○(90)		
		Ⓐ0.20		△(0.4)	○(72)	△(0.4)	○(90)	○(0.2)	○(90)	○(0.2)	○(90)		
		Ⓨ0.25		○(0.3)	○(73)	△(0.4)	○(90)	○(0.3)	○(90)	○(0.3)	○(90)		
		Ⓒ0.30		○(0.3)	○(72)	△(0.5)	○(90)	○(0.3)	○(90)	○(0.3)	○(90)		
		±0.1mm	50mm オーダー	92%	100%	67%	100%	100%	100%	100%	100%	－	－
	主桁部 C2	Ⓩ0.05	90							△(0.2)	○(92)	○(0.1)	○(90)
		Ⓔ0.10								○(0.2)	○(93)	○(0.1)	○(90)
		Ⓘ0.15								○(0.2)	○(92)	○(0.2)	○(90)
		Ⓐ0.20								○(0.2)	○(93)	○(0.2)	○(90)
		Ⓨ0.25								○(0.3)	○(94)	○(0.3)	○(90)
		Ⓒ0.30								○(0.3)	○(92)	○(0.3)	○(90)
		±0.1mm	50mm オーダー	-	－	－	－	－	－	92%	100%	100%	100%
	下部工 C3	Ⓩ0.05	90		○(74)	○(0.1)	○(90)			○(0.1)	○(92)		
		Ⓔ0.10			○(73)	△(0.3)	○(90)			△(0.3)	○(92)		
		Ⓘ0.15			○(75)	○(0.2)	○(90)			○(0.2)	○(92)		
		Ⓐ0.20			○(75)	△(0.4)	○(90)			○(0.2)	○(92)		
		Ⓨ0.25			○(80)	△(0.4)	○(90)			○(0.3)	○(92)		
		Ⓒ0.30			○(72)	△(0.5)	○(90)			○(0.3)	○(92)		
		±0.1mm	50mm オーダー	-	100%	67%	100%	－	－	92%	100%	－	－

5）計測性能の検証結果

表-2.8 に示す計測性能について，各務原大橋フィールド試験（平成 29 年 11 月実施）での検証結果を**表-2.9** に示す。

表-2.8 ロボット技術による取得情報の要求性能

要求内容			検証方法
計測性能	大きさ	【ひび割れ幅】 0.2mm 以上のひび割れ幅を 0～+0.1mm 以内※の誤差で計測できる。	近接目視により作成された損傷図に記載された損傷，あるいは人工的に作成した精度検証指標の計測結果が，概ね左記に示す許容誤差の範囲内であること。
		【ひび割れ長さ，剥離，鉄筋露出，漏水等】 5cm 以内の誤差で計測できる。 （長さ L＝○○○cm，面積 A＝○○cm×○○cm）	
	量	桁遊間や支承の変位を，10mm 以内の誤差で計測できる。	

※幅 0.3mm のひび割れ幅の検知漏れがないように，以下のような性能とする。
0.2mm のひび割れ幅に対して，測定結果を安全側に 0.3mm（0.2mm＋誤差 0.1mm）と出力することは許容する。
0.3mm のひび割れ幅に対して，測定結果が危険側に 0.2mm（0.3mm－誤差 0.1mm）とすることは許容しない。

表-2.9 各務原大橋フィールド試験による計測性能の検証結果

視認性マーク	部位	長さ mm		打音機構付き点検ロボット		二輪型マルチコプタ		可変ピッチ機能付ドローン		橋梁点検ロボットカメラ		橋梁点検カメラシステム	
	V1	50mm オーダー	10mm オーダー	△59%	○66%	○98%	○93%	○95%	○97%	－	－	－	－
	V2			－	－	－	－	－	－	○94%	○100%	－	－
	V3			○72%	○68%	○99%	○93%	○98%	○89%	○94%	○100%	○82%	○76%
クラックスケール	**部位**	**幅 mm**	**長さ mm**	**打音機構付き点検ロボット**		**二輪型マルチコプタ**		**可変ピッチ機能付ドローン**		**橋梁点検ロボットカメラ**		**橋梁点検カメラシステム**	
	C4	±0.1mm	50mm オーダー	83%	○86%	－	－	－	－	67%	○96%	100%	○96%
	C1			92%	○100%	67%	○100%	100%	○100%	100%	○100%	－	－
	C2			－	－	－	－	－	－	92%	○100%	100%	○100%
	C3			－	○100%	67%	○100%	－	－	92%	○100%	－	－

① 大きさ（ひび割れ幅）

クラックスケール幅の計測結果により，誤差 0.1mm で評価した。

概ね 0.1mm 以内（○）の精度は確保されており，一部で 0.1mm より誤差が大きいもの（△）があるものの，0.2mm 以上（×）の誤差のものはなかった。0.1mm より誤差が大きかったものについては，以下の原因が考えられる。

1) 撮影部位によって，ひび割れを斜め方向から撮影しているものほど，誤差が大きい。
2) 角度補正（台形補正）による誤差
3) 魚眼レンズのひずみ補正による誤差
4) クラックスケールが透明フィルムであり，角度によって構造物への影の映り込みにより，クラックの黒線を太く認識したことによる誤差

② 大きさ（ひび割れ長さ）

クラックスケール長さの 50mm オーダーの計測結果により評価した。

すべて 50mm 以内の誤差で計測できており，精度は十分満足できている。

③ **大きさ（剥離・鉄筋露出・漏水等）**

視認性マークの 50mm オーダーの計測結果により評価した。

すべて 50mm 以内の誤差で計測できており，精度は十分満足できている。

④ **量（桁遊間・支承変位量）**

視認性マークの 10mm オーダーの計測結果により評価した。

すべて 10mm 以内の誤差で計測できており，精度は十分満足できている。

（7）総合評価結果

各務原大橋でのフィールド試験での各ロボット技術の総合的な評価結果を**表-2.10** に示す。この総合評価を参考にする場合は，以下の点に留意していただきたい。

① 各務原大橋のフィールド試験での評価結果であり，構造形式や幅員等が異なる橋梁への適用については，その違いを考慮する必要がある。

② 評価結果は，平成 29 年 11 月のフィールド試験当時の技術内容に対する評価であり，精力的な技術改良が進められているので，時間的な経過に配慮する。

③ 技術によっては，部分的に開発途中の機能もあり，十分な作業効率が把握できなかったので，コスト的な評価は行っていない。

④ 損傷検出の際に，橋梁点検への精通度が低い技術者が行った部分で評価が低かった技術もある。**表-2.10** に示した総合評価結果では，その点に配慮して，一般的な橋梁点検技術者が行った場合の評価としている。

表-2.10 ロボット技術の必要機能の評価確認表（各務原大橋フィールド試験 H29.11時点での評価）

必要機能	必要機能の説明	各務原大橋に対する実装評価	UAV技術者による操作			点検技術者による操作	
			打音機構付 点検ロボット	二輪型 マルチコプタ	可変ピッチ 機構付ドローン	橋梁点検 ロボットカメラ	橋梁点検 カメラシステム
河川内径間での適用		A：問題なし B：条件付	B（ボート等利用）	B（ボート等利用）	B（ボート等利用）	A	A
各務原 大橋での 部材毎の 適用性	床版下面	A：適用可 B：条件付適用可 （適用条件） C：対象外	A (+) 打音点検可	A (-) 再検証要	A	A	A
	主桁（側面）		B 上側のみ点検可能	C 曲面対応不可	A	A	A
	主桁（下面）		A	A (-) 再検証要	A	A	B 中央部のみ点検不可
	支点上横桁		C 対応不可	C 対応不可	A	B 側面側のみ点検可	A
	ブラケット		B 下面のみ	A	A	A	A
	支承		C 対応不可	A	A (-) 再検証要	B 支承間の点検不可	B 支承間の点検不可
	排水管＆支持金具		A	A	A	A	A
	上水管＆支持金具		A	A	A	A	A
	地覆		C 対応不可	A	A	A	A
	電線管・プルボックス		A	A	A	A	A
	下部工（天端上面）		C 対応不可	A	A (-) 再検証要	C 対応不可	C 対応不可
	下部工（側面：天端～水面上）		C 対応不可	A	A	C 対応不可	C 対応不可
基本機能 （要確認）	点検技術者の現場での作業		画像判断	画像判断	画像判断	カメラ操作＋判断	カメラ操作＋判断
	撮影画像の現場確認・撮り直し（ピンボケ，逆光，明るさ不足等）		可能	可能	可能	可能	可能
	損傷らしき箇所の判断		画像解析	画像解析	画像解析	現場で実施	現場で実施
	損傷らしき箇所の自動検出機能（A：有り，B：開発中，C:当面無し）		C	B	B	C	C
	損傷らしき箇所の近接確認		撮影画像拡大	撮影画像拡大	撮影画像拡大	カメラズーム	カメラ近接
	損傷の自動判定機能（A：有り，B：開発中，C:当面無し）		C	B	B	C	C
	損傷画像へのマーキング（ひびわれ以外）		手動	手動	手動	手動	手動
	損傷画像へのマーキング（ひびわれ）		手動	自動（一部）	自動（一部）	手動	手動
	ひびわれ幅の計測		ピクセル計測	ピクセル計測	ピクセル計測	クラックスケール写込	クラックスケール写込
	納品された電子データ量（１１月フィールド試験分）		209 GB	5 GB	44 GB	0.02 GB	1.3 GB

1／3

表-2.10 ロボット技術の必要機能の評価確認表（各務原大橋フィールド試験 H29.11時点での評価）

必要機能	必要機能の説明	各務原大橋に対する実装評価	UAV技術者による操作			点検技術者による操作	
			打音機構付 点検ロボット	二輪型 マルチコプタ	可変ピッチ 機構付ドローン	橋梁点検 ロボットカメラ	橋梁点検 カメラシステム
点検情報の取得	点検情報の取得とは，損傷状況を確認する部材に近づいて，写真や動画等を撮影する，あるいはたたき点検等の非破壊検査を行う機能である。取得した写真や動画の解像度については，点検技術者による損傷状況の把握と，近接目視点検の必要性判断に必要な精度を有している必要がある。たたき点検等の非破壊検査の情報については，点検技術者がこれをもとに損傷程度を評価するのに十分な精度を有している必要がある。また，事前調査では近接目視が必要な損傷を漏れなく補足することが求められている。	Ａ：適切な精度有り Ｂ：一部で精度不足（項目） Ｃ：性能不足	B （4Kビデオ撮影） （たたき点検）	B （写真撮影）	A （４Kビデオ撮影） （写真撮影） （全方向写真）	A （写真撮影）	A （ビデオ撮影・写真撮影） （たたき点検）
		実装に際しての留意事項 追加すべき機能など	ひび割れ幅の精度改善 損傷検出は4K近接ビデオのため手作業による検出は非効率である。	ひび割れ幅の精度改善が必要である。	点検情報の取得精度は高い。 ４Kビデオ映像については，スロー再生等の機能追加が必要である。	無し	無し
点検情報の記録・整理	点検情報の記録とは，取得した写真や動画あるいは非破壊検査の情報を確実に記録するとともに適切に整理する機能である。ロボット技術による点検の支援を行う場合には，調査対象の部材範囲全体について，個別の損傷の状況や分布，損傷の見られない範囲を確認可能な情報を記録する必要がある。また，ロボット技術による調査では，従来の手作業の点検に比べて大量のデータが取得されるため，必要な情報を容易に抽出することができるような整理が必要である。	Ａ：容易に抽出可 Ｂ：機能追加・改良が必要 Ｃ：性能不足	B （写真台帳） （４Kビデオ映像）	A （3D損傷可視化）	A （写真台帳） （４Ｋビデオ画像） （3D損傷可視化）	A(-) 再検証要 （写真台帳） （合成写真）	A （写真台帳） （ビデオ）
		追加すべき機能など	ビデオ画像はゆがみ補正等が必要である。 ４K近接ビデオでの記録のためデータ量が膨大となる。	3Dモデルによる写真データのリンクがしっかり行なわれている。	４Ｋビデオには損傷部位のマーキング等があるとよい。	損傷の見られない箇所については，広範囲連続撮影機能による合成写真として記録する必要がある。	損傷の見られない箇所については，広範囲撮影のため画像の解像度が低い。 クラックスケールを当てるには熟練が必要である。
重点的な近接目視実施範囲を抽出するための資料の提供	重点的な近接目視実施範囲を抽出するための資料の提供とは，点検技術者が損傷状況を把握し，近接目視点検の重点的な実施を判断するために必要な資料を提供する機能である。特に，点検技術者による現場での情報取得指示や個別情報の確認が困難な場合には，写真等の位置関係を明確化して，点検技術者が部材範囲を漏れなく確認することを可能とする資料が必要である。	Ａ：実装可 Ｂ：機能改良すれば実装可 Ｃ：性能不足のため実装困難	A （損傷マップ）	A （損傷状況資料） （損傷オルソ画像）	A （損傷マップ） （3D損傷可視化）	A （損傷マップ）	A （損傷状況確認資料）
		追加すべき機能など	従来型点検の損傷マップと類似した形式で提供される	判りやすい資料であるが，作成手間が不明であり，コスト面での調査が必要である。	3Dモデルによる写真データのリンクは不十分である。	従来型点検の損傷マップと類似した形式で提供される	大変判りやすい資料であるが，作成手間がかかり，コスト面で難が残る。

表-2.10 ロボット技術の必要機能の評価確認表（各務原大橋フィールド試験 H29.11時点での評価）

必要機能	必要機能の説明	各務原大橋に対する実装評価	UAV技術者による操作			点検技術者による操作	
			打音機構付 点検ロボット	二輪型 マルチコプタ	可変ピッチ 機構付ドローン	橋梁点検 ロボットカメラ	橋梁点検 カメラシステム
点検調書作成のための資料の提供	点検調書作成のための資料の提供とは，指定様式に基づいた点検調書作成の効率化を図るための資料である。例として，損傷図作成を支援するためには，部材範囲の全体の損傷状況が確認可能なつなぎ写真が有効である。また，点検調書における損傷状況写真を抽出するためには，撮影部位の位置や範囲をわかりやすく整理した写真などが有効と考えられる。	Ａ：実装可 Ｂ：機能改良すれば実装可 Ｃ：性能不足のため実装困難	A （損傷マップ） （写真台帳）	A （３D損傷可視化） （損傷状況資料）	A （損傷マップ） （3D損傷可視化） （写真台帳）	A （損傷マップ） （写真台帳）	A （損傷状況確認資料） （画像・動画データ）
		特徴及び追加すべき機能など	従来型点検の損傷マップと写真台帳での形式で提供となる。 ４K近接ビデオからの損傷写真の抜粋処理の簡略化が必要である。	３D損傷可視化ソフトと，従来型点検の損傷マップと写真台帳に類似した形式での提供となる。	3Dモデルによる写真データのリンクが不十分である。	従来型点検の損傷マップと写真台帳での形式で提供となる。	今回の試験では提供されなかったが，従来型点検の損傷マップと写真台帳の形式での提供は可能である。
点検時の橋梁状況を記録したデータの提供	点検時の橋梁状況を記録したデータの提供とは，点検調書に記述されていない健全な部材範囲も含めて，点検時における橋梁の状態を確実に記録したデータの提供である。このようなデータが蓄積されることにより，損傷進行等の経年変化の把握が可能となる。また，場所や時間の属性が付加された写真データ，平面あるいは立体のモデルデータなど，将来の活用に向けたデータの蓄積が望まれる。なお，現時点では保存すべきデータの内容や形式は標準化されていないが，次回以降の点検技術者が容易にデータを参照できるよう，一般的なデータ形式の採用や，特殊なデータ形式については参照するためのビューワを合わせて納品するなどの配慮が求められる。	Ａ：実装可 Ｂ：機能改良すれば実装可 Ｃ：性能不足のため実装困難	B （４Kビデオ映像）	A （オルソ画像）	A （写真データ） （４Kビデオ映像）	A(-) 再検証要 （合成写真）	A （写真データ） （ビデオ映像）
		特徴及び追加すべき機能など	ビデオ画像はゆがみ補正等が必要である。 ４K近接ビデオでの記録のためデータ量が膨大となる。	オルソ画像の欠損部を無くす対応が必要である。	４Kビデオ映像については，スロー再生等の機能追加が必要である。 近接画像のみの部位については撮影位置を特定できるような措置，あるいはつなぎ写真が必要である。	損傷の見られない箇所については，広範囲撮影機能による合成写真として記録する必要がある。	損傷の見られない箇所については，広範囲撮影のため画像の解像度が低い。 点検作業時のビデオ画像は点検技術者が操作しているため，無駄が少ない。
総　合　評　価		Ａ：H30点検での活用を推奨 Ｂ：H30で改良機能の確認 Ｃ：性能不足のため対象除外	A （たたき点検専用）	A	A	A	A

各務原大橋点検方法検討会 報告書

平成 30 年 4 月 27 日　第 1 版発行

●編集者……各務原大橋点検方法検討会

責任者　六郷 恵哲

●発行者……岐阜大学 SIP 実装プロジェクト　羽田野英明

〒501-1193　岐阜市柳戸１－１

岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センター

TEL/FAX　058-293-2436

・本報告書の内容を複写したり，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。

・本報告書の内容に関するご質問は，下記の E-mail へご連絡ください。

E-mail：gifusip@gifu-u.ac.jp

・本報告書に関連する資料は，以下の URL からダウンロードできます。

http://me-unit.net/research/

戦略的イノベーション創造プログラム

インフラ維持管理・更新・マネジメント技術