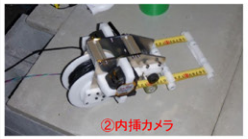
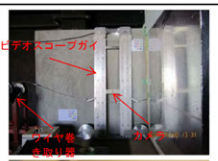
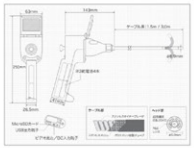
6. 模擬試験体による評価

6.1 検証実験を実施した調査機器の概要

検証実験では、共同研究者が表 6.1.1 に示す 5 機の調査機器を用いて実施した。

表 6.1.1　検証実験を実施した調査機器の概要整理

連携機関	A	B		C	D	E
点検方法	カメラを用いて対象部材の画像を取得	カメラを用いて対象部材の画像を取得		カメラを用いて対象部材の画像を取得	カメラを用いて対象部材の画像を取得	カメラを用いて対象部材の画像を取得
装置概要	カメラは光学30倍、手振れ補正機能を有する。コントラスト補正・霧除去等による画像補正を行う。モニター画面にクラックスケールを表示しひびわれ幅を特定する	①自走式、車載式の多関節ロボットアームを用い、支柱上部や橋脚側面、橋脚下部の点検検査を先端アタッチメントにウエブカメラを装着して行う。	②狭隘部の点検を目的とした装置。自由に伸縮する装置の先端に小型カメラを設置して状態を把握する技術。	橋梁下面の状態を橋面上の安全な位置からの遠隔操作により撮影されたビデオ画像を通して把握する。 操作橋面上から行う。	ビデオスコープガイドに、工業用ビデオスコープのカメラを設置し、沓座に固定した走行ガイド上を、ワイヤ巻き取り器を用いて自動走行させる。一度の走行で、2cm～5cm程度幅の画像を取得する。カメラ位置を段階的に変えて撮影し、画像を合成（重ね合わせる）することで、面的に損傷状況等を取得する。	ファイバースコープを用いて、狭隘部の損傷状況等の確認を行う。
装置概要図						
装置の構成 および 点検時に必要な機材	・点検専用カメラ ・操作端末（PC等） ・ポールユニット ・照明 ・発電機	・ロボットアーム ・ウェブカメラ ・発電機	・内挿カメラ本体 ・PC	・システム本体　一式 （クローラ台車タイプ・アーム・カメラ・発電器等）	・ビデオスコープガイド ・工業用ビデオスコープ ・ワイヤ巻き取り器 ・走行ガイドレール ・発電機	・ファイバースコープ ・コード固定用治具
カメラ規格※ 画素数	92万画素（1280×720）	92万画素（1280×720）	30万画素（640×480）	610万画素	30万画素（640×480）	30万画素（640×480）
カメラ規格※ ズーム	光学30倍	—	—	光学10倍	—	—
カメラ規格※ チルト	90°	120°	—	360°	—	90°
カメラ規格※ パン	360°（ポールユニット操作の効果を含む）	355°	—	360°	—	90°
評価項目※ ①解像度情報（ひびわれ幅）	操作端末（PC等）の画面に、撮影距離に応じたクラックスケール（縮尺自動調整）を表示されて、映像上のひびわれ幅を測定する。	定量値の取得は不可	定量値の取得は不可	ひびわれとクラックスケールを同一映像上で撮影（クラックスケールの設置も遠隔操作）。	クラックスケールを同時に撮影し、キャリブレーションを行う。	定量値の取得は不可
評価項目※ ②色調情報（カラー情報）	カラー情報を取得。暗所の撮影では、別途照明が必要となる。	カラー情報を取得。	カラー情報を取得。	カラー情報を取得。	カラー情報を取得。	カラー情報を取得。暗所でも、本体付属のLED照明で、撮影が可能。
評価項目※ ③範囲情報（寸法等）	操作端末（PC等）の画面に、撮影距離に応じたスケール（縮尺自動調整）を表示されて、映像上の対象物の寸法を計測する。	定量値の取得は不可	進入深さのみ、本体のスケールから読み取ることが可能。	装置本体に設置されているスケールから、カメラ位置の特定はできるが損傷の範囲情報の定量値は取得不可。	撮影画像に走行ガイド上での移動距離を同時に収録。	定量値の取得は不可
評価項目※ ④位置情報（座標取得）	定量値の取得は不可	定量値の取得は不可	進入深さのみ、本体のスケールから読み取ることが可能。	装置本体に設置されているスケールから、カメラ位置の特定はできるが損傷の位置情報の定量値は取得不可。	撮影画像に走行ガイド上での移動距離を同時に収録。撮影画像を合成後、位置情報の取得を行う。	定量値の取得は不可
適用条件※ ①近接困難箇所への適用	・近接不可部への対応が可能（ポール長11.5mまで）。 ・ポールの移動方法は、上下（鉛直）方向のみ。 ・狭隘部は、カメラ本体サイズ（150mm）以下で対応可。	・近接不可部への対応が可能（アーム長4.8mまで）。 ・狭隘部は、カメラ本体サイズ（150mm）以下で対応可。	・狭隘部への対応が可能（5cm以上の狭隘部に対応）。	・近接不可部への対応が可能（幅員方向：7.2m） ・狭隘部へは、カメラ本体サイズ（400mm）以下で対応可能。	・桁端狭隘部への対応が可能（桁遊間20mm以上）。	・狭隘部への対応が可能（スコープ本体の10mm以下）。
適用条件※ ②自然条件	・強風時は適用不可。 ・降雨・降雪は適用不可。	・強風時は適用不可。 ・豪雨時は適用不可。	・雨天時は不可。	・強風時は適用不可。 ・降雨・降雪の影響はなし。	・強風時は適用不可。 ・降雨・降雪は適用不可。	・降雨・降雪は適用不可。
適用条件※ ③現場条件	・ポーユニットの最大伸縮11.5m範囲内。 ・ポールユニットが垂直になるよう設置できる足元条件。	・ブーム長の4.8m範囲内。 ・クローラが走行できること。	・対象物近傍まで点検員が近接できること。	・作業空間（W=1.0m、L=2.7m）の制限あり。 ・高欄高さ1.4m以下、橋梁総幅員15m未満、桁高4m未満。	・桁端部の狭隘部に適用。遊間は2cm以上。 ・装置の設置において、沓座部に作業スペースが必要。	・対象物近傍まで点検員が近接できること。
適用範囲 ①適用性の高い範囲	・橋梁点検車、高所作業車が使用不可の条件で、点検員が桁下に立ち入ることが出来るケース。		・沓座等の狭隘部。	・橋梁点検車の適用範囲外の橋梁（歩道橋、トラス橋等）	・桁端部の狭隘部にのみに適用。	・沓座部、支承カバープレート内等、進入口がφ7mm以上あれば、ファイバースコープの挿入が可能。
適用範囲 ②適用不可条件	・高圧線近傍（ポールユニットの感電）	・クローラの走行が不可。 ・本体の設置が不可の箇所。	・点検員が近接不可の箇所。	・1.4m以上の高欄、防音壁等が設置されている橋梁。 ・跨線橋（高圧線の影響）	・桁端部の狭隘部に添架物等が通っている場合は、適用不可。	・点検員が近接不可の箇所。
その他特記事項		点検システムの運搬に、2tトラックが必要となる。		点検システムの運搬に、2tトラックが必要となる。	・ガイドの走行レールを設置するため、狭隘部のゴミ等の除去が必要。	

※表中の情報は、連携機関からの提出資料等（報告書・カタログ等）から取り纏めた。
※表中の黄色着色は、評価項目への対応可を示す。

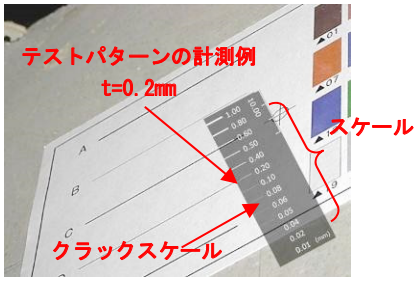
調査機器 A

『①ひびわれ幅の定量値取得と③範囲情報（寸法）』の取得技術

撮影距離に応じたクラックスケール（縮尺自動調整）が、操作端末の取得画像上に表示される。画面上で対象とするひびわれ幅を、画面上のクラックスケールで計測し、ひびわれ幅の定量値を取得する。クラックスケールには、寸法計測用のスケールもあせて表示される。

撮影状況

クラックスケールの表示

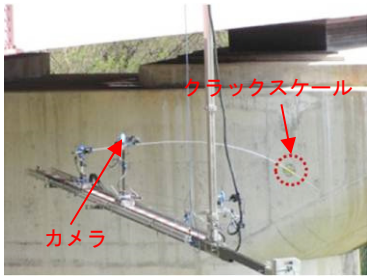


取得画像（例）

調査機器 B

『①ひびわれ幅の定量値取得』の技術

定量評価を行いたいひびわれ部にクラックスケールを、別途アーム（遠隔操作）を用いて近接させる。ひびわれとクラックスケールを同一映像上で撮影することで、ひびわれ幅の評価を行う。



調査機器（アーム部）

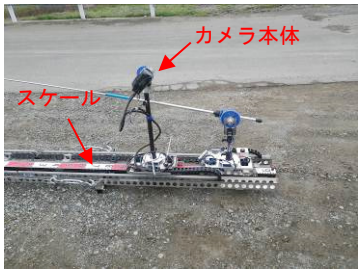
測定状況（オペレータ）

取得画像（例）

『③範囲情報（寸法）と④位置情報（座標）』の取得技術

調査機器のアーム部に設置されたスケールから、カメラが設置されているアーム先端の位置情報を取得する。なお対象とする損傷の範囲情報と位置情報を定量的に取得する機能は有していない。

カメラ設置アームのスケール



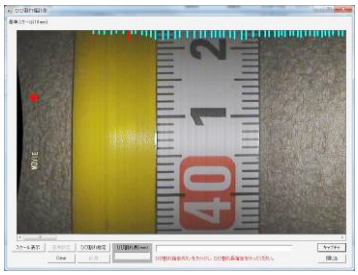
（左写真の拡大）

橋軸方向のスケール

（橋面に固定）

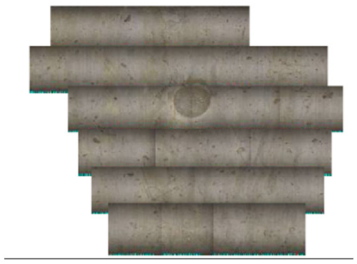
調査機器 D『①ひびわれ幅の定量値取得』の技術

測定開始前に、基準となるメジャーを測定し基準測定（キャリブレーション）を行う。キャリブレーションに応じて、クラックスケールを PC 画面上に表示させ、対象とするひびわれ幅をクラックスケールから読み取り定量値を取得する。



基準測定

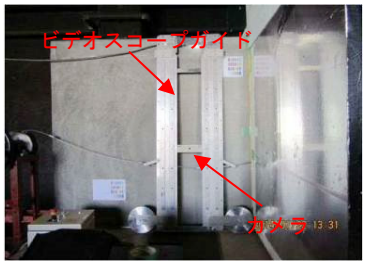
ひびわれ幅キャプチャ



取得画像（例）

『③範囲情報（寸法）と④位置情報（座標）』の取得技術

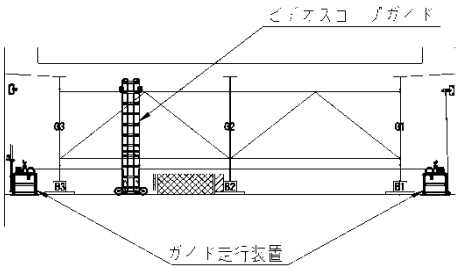
桁端狭隘部間に、ビデオスコープガイドを走行させるレールを設置し、そのガイド上のガイド走行装置（ワイヤ巻き取り機）を用いて自動走行させながら、画像を取得する。なお、橋軸直角方向への進入程度は、ガイド走行装置に備え付けてある距離計から定量値を取得する。また、段階的にカメラ位置を上下方向へ移動させることで、対象としたい狭隘部の画像を面的に取得する。



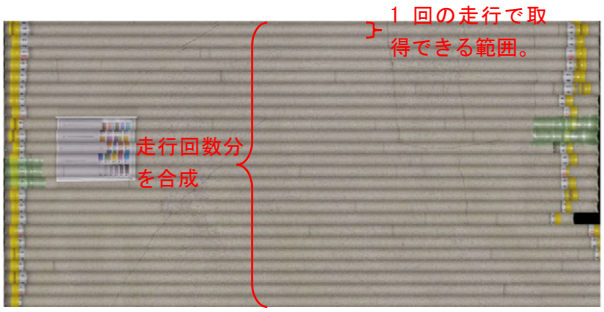
ビデオスコープガイド

ガイド走行装置

取得画像（例）



調査機器の設置方法



画像取得例（合成後）

6.2　検証実験結果

（1）検証実験結果の実施状況

表 6.2.1 に、検証実験の実施状況の一覧を示す。なお、実施の可否は共同研究者が判断した。

表 6.2.1　検証実験の実施状況の一覧

	内容	条件等	調査機器				
			A	B	C	D	E
Case1	添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）	対応	○	○	○	×	×
		進入口の狭隘度	250mm	250mm	400mm		
		近接方法	桁下から	桁下から	橋面から		
		備考		①ロボットアーム使用			
Case2	添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）	対応	○	○	△	×	×
		離隔狭隘度	200mm	200mm	200mm		
		近接方法	桁下から	桁下から	橋面から		
		備考		①ロボットアーム使用	損傷確認できず		
Case3	端横桁背面（鋼橋を模擬）	対応	×	×	×	×	×
		横桁下面と沓座の離隔					
		横桁と橋台胸壁の離隔					
		近接方法					
		備考					
	端横桁背面（ｺﾝｸﾘｰﾄ橋）	対応	×	×	×	○	×
		近接方法				足場から	
		備考					
Case4	狭隘な支承部	対応	○	×	×	×	×
		近接方法	足場から				
		備考					
Case5	落橋防止構造の背面等	対応	×	×	×	×	×
		近接方法					
		備考					
Case6	鋼トラス等の上下弦材	対応	○	○	×	×	○
		進入口	φ150mm	φ150mm			φ150mm
		備考		①ロボットアーム使用			
Case7	狭隘な桁下空間	対応	○	○	△	×	×
		供試体までのアクセス距離	3m	0m	6m		
		備考		①ロボットアーム使用	狭隘度600mm（設定外）		
Case8	ゲルバー部	対応	○	○	×	○	○
		狭隘度	100mm	50mm		30mm	50mm
		曲がり度	0回	0回		0回	0回
		進入深さ	500mm	1000mm		1000mm	1000mm
		備考		②内挿カメラ使用			

※実験実施を試みたが、結果的に損傷等の取得が不可となったものは、「対応：△」としている。
※対応不可の理由は、次頁以降に示す。

（平成 27 年 3 月現在）

(2) 検証実験の実施状況

検証実験の実施状況を、以降に試験体ごとに示す。

1)「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘)」の実施状況

「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘)」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.2(1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を、表 6.2.2(2)～(4)に示す。

表 6.2.2(1)　「パターン-1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘)」の実施状況等の集計

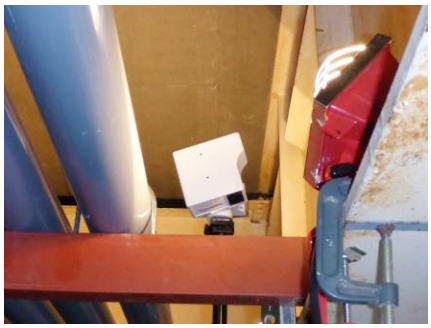
項　　目	A	B	C
1.狭隘度 （進入口の狭隘度）	250mm	250mm	400mm
2.近接方法	桁下から	桁下から	橋面から
3.作業時間合計	1.2 時間	1.75 時間	3.0 時間
準備時間	0.1 時間	0.5 時間	0.5 時間
作業時間	1.0 時間	0.75 時間	2.0 時間
撤去時間	0.1 時間	0.5 時間	0.5 時間
4.作業人員	4 人	4 人	2 人

※実施が困難だった理由

調査機器 D　→　対象としている狭隘部の構造が異なるため。

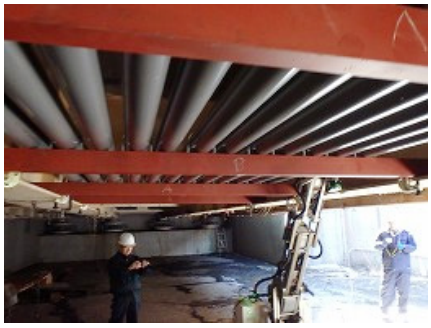
調査機器 E　→　対象としている狭隘部の構造が異なるため。

表 6.2.2(2)　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 A を用いた実験状況。カメラ本体を挿入できる狭隘度（250mm）に設定している。
	カメラ本体を狭隘部空間に挿入した状態。対象パネル（1 パネル分）の点検で、カメラの設置位置は 2 箇所であった。
	点検は、カメラを三脚で固定した状態で実施。手元の操作端末（PC）を用いて、カメラを遠隔操作（ズームや撮影方向の変更）して行う。
	損傷位置（ひびわれ発生位置）の情報取得（座標）は、点検員が目視にて野帳に記入する。

□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　1.0 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　1.2 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。照明使用のための電源が必須となる。

表 6.2.2(3)　調査機器 B の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 B を用いて、ブーム先端に設置したカメラを狭隘部空間に挿入した状態。
	カメラ本体を狭隘部空間に挿入した状態。対象パネル（1 パネル分）の点検で、カメラの設置位置は 1 箇所であった。手元の操作端末（PC）を用いて、カメラを遠隔操作（ズームや撮影方向の変更）して行う。
	調査機器 B を、定位置まで移動している状態。手元のリモコンで操作する。
	調査機器 B を、桁下まで吊り降ろし作業中の状況。移動・運搬に、2t ユニックが必要となる。

□作業時間:準備時間　0.5 時間＋作業時間　0.75 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　1.75 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 B の移動・運搬に、2t ユニックが必要となる。また、本体を動かすための電源が必須となる。

表 6.2.2(4) 調査機器 C の実施状況

状況写真等	説　明
	桁下点検状況。ブーム先端に設置されているカメラを狭隘部空間に挿入した状態。ブームの移動等は、橋面に設置した調査機器 C から遠隔操作する。
	橋面上に設置した調査機器 C。ブームの移動等の操作を行う。
	ひびわれ幅の定量値評価は、写真のようにクラックスケールを対象ひびわれと同一画像で撮影して取得する。 なお、損傷の範囲情報（寸法）と位置情報（座標）の定量値取得は不可である。
	調査機器 C の移動で、2t トラックが必要となる。また、準備・設置において、2m×10m 程度のスペースが必要。

□作業時間：準備時間　0.5 時間＋作業時間　2.0 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　3.0 時間
□作業人員：2 人
□特記事項：調査機器 C の移動・運搬に、2t トラックが必要となる。また、機械の準備・設置に、2m×10m 程度の作業スペースが必要である。

2)「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘)」の実施状況

「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘)」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.3(1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表 6.2.3(2)～(3)に示す。

表 6.2.3(1)「Case-2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」の実施状況等の集計

項　　目	A	B
1.狭隘度 （対象部材との離隔）	200mm	200mm
2.近接方法	桁下から	桁下から
3.作業時間合計	1.2 時間	1.5 時間
準備時間	0.1 時間	0.5 時間
作業時間	1.0 時間	0.5 時間
撤去時間	0.1 時間	0.5 時間
4.作業人員	4 人	4 人

※実施困難だった理由

調査機器 C　→　調査機器のカメラ本体が 400mm のため、狭隘部入口への進入が不可。

調査機器 D　→　対象としている狭隘部の構造が異なるため。

調査機器 E　→　対象としている狭隘部の構造が異なるため。

表 6.2.3（2）　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 A を用いた実験状況。カメラ本体を挿入できる狭隘度（250mm）に設定している。
	カメラ本体を狭隘部空間に挿入した状態。対象パネル（1 パネル分）の点検で、カメラの設置位置は 2 箇所であった。
	点検は、カメラを三脚で固定した状態で実施。手元の操作端末（PC）を用いて、カメラを遠隔操作（ズームや撮影方向の変更）して行う。
	損傷位置（ひびわれ発生位置）の情報取得（座標）は、点検員が目視にて野帳に記入する。

□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　1.0 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　1.2 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。照明使用のための電源が必須となる。

表 6.2.3(3)調査機器 B の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 B を用いて、ブーム先端に設置したカメラを狭隘部空間に挿入した状態。カメラは、狭隘部の進入口に設置。狭隘空間への進入は、カメラサイズの関係で不可である。
	カメラ本体を狭隘部空間に挿入した状態。対象パネル（1 パネル分）の点検で、カメラの設置位置は 1 箇所であった。手元の操作端末（PC）を用いて、カメラを遠隔操作（ズームや撮影方向の変更）して行う。
	調査機器 B を、定位置まで移動している状態。手元のリモコンで操作する。
	調査機器 B を、桁下まで吊り降ろし作業中の状況。移動・運搬に、2t ユニックが必要となる。

□作業時間：準備時間　0.5 時間＋作業時間　0. 5 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　1.5 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 B の移動・運搬に、2t ユニックが必要となる。また、本体を動かすための電源が必須となる。

3)「Case3：端横桁背面（鋼橋を模擬)」の実施状況

「Case3：端横桁背面（鋼橋を模擬)」においては、実験を実施した調査機器はなかった（表 6.2.4)。

表 6.2.4　「Case3：端横桁背面（鋼橋を模擬)」の実施状況等の集計

項　　目	ー
1.狭隘度 （対象部材との離隔）	
2.近接方法	実験を実施した 調査機器なし
3.作業時間合計	
準備時間	
作業時間	
撤去時間	
4.作業人員	

※実施困難だった理由

調査機器 A　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 B　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 C　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 D　→　実験中に調査機器と部材が接触する恐れがあったため実施不可と判断した。

調査機器 E　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

4)「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」の実施状況

「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」における各調査機器の実施状況の集計を表6.2.5(1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表6.2.5(2)に示す。

表6.2.5(1) 「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」の実施状況等の集計

項　　目	D
1.狭隘度 （対象部材との離隔）	50mm
2.近接方法	桁側面から
3.作業時間合計	9.5時間
準備時間	3.0時間
作業時間	5.5時間
撤去時間	1.0時間
4.作業人員	3人

※実施困難だった理由

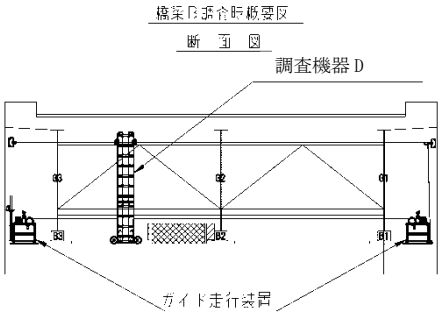
調査機器A　→　曲がり1回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器B　→　曲がり1回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器C　→　曲がり1回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器E　→　曲がり1回に未対応。桁側面からの進入も不可。

表 6.2.5(2)　調査機器 D の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 D を設置した状態。狭隘部（桁遊間）に、ビデオスコープガイドを走行させて、対象物を撮影する。
	調査機器 D のワイヤ巻き取り機。始終点の両側に設置する。調査機器 D に取り付けたワイヤーを巻き取ることにより、調査機器 D を走行させる。
	調査機器の設置状況。調査機器 D が橋軸直角方向に移動（図の左右方向）する。カメラ高さを段階的に変化させることで、対象物の全体を撮影（スキャンする）。
	調査実施状況。調査機器 D は、ワイヤ巻き取り装置を用いて、自動走行させる。

□作業時間：準備時間　3 時間＋作業時間　5.5 時間＋撤去時間　1 時間＝合計　9.5 時間
（点検対象は、橋台胸壁側の一面とした）

□作業人員：3 人

□特記事項：調査機器 D の準備（設置）、および測定に多くの時間を有する。また、調査機器 D の設置には、沓座に十分なスペースが必要となる。

5)「Case4：狭隘な支承部」の実施状況

「Case4：狭隘な支承部」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.6 (1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表 6.2.6(2)に示す。

表 6.2.6(1) 「Case4：狭隘な支承部」の実施状況等の集計

項　　目	A
1.狭隘度 （対象部材との離隔）	50mm
2.近接方法	橋台前面
3.作業時間合計	0.5 時間
準備時間	0.1 時間
作業時間	0.3 時間
撤去時間	0.1 時間
4.作業人員	4 人

※実施困難だった理由

調査機器 B　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 C　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 D　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 E　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

表 6.2.6(2)　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	点検状況。カメラ本体は、人力で容易に、移動・設置が可能。
	狭隘部（狭隘な支承部）の外側にカメラを設置して、対象部空間の点検（撮影）をしている状況。カメラ本体は、人力で支持する。狭隘空間への進入は、カメラサイズの関係で不可である。また、狭隘部の撮影時には、別途照明が必要である。

□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　0.3 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　0.5 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。照明使用のための電源が必須となる。

6)「Case5：落橋防止構造の背面等」の実施状況

「Case5：落橋防止構造の背面等」においては、実験を実施した調査機器はなかった（表6.2.7)。

表 6.2.7　「Case5：落橋防止構造の背面等」の実施状況等の集計

項　　目	ー
1.狭隘度 （対象部材との離隔）	
2.近接方法	実験を実施した 調査機器なし
3.作業時間合計	
準備時間	
作業時間	
撤去時間	
4.作業人員	

※実施困難だった理由

調査機器 A　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 B　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 C　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 D　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

調査機器 E　→　曲がり 1 回に未対応。桁側面からの進入も不可。

7)「Case6：鋼トラス等の上下弦材」の実施状況

「Case6：鋼トラス等の上下弦材」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.8 (1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表 6.2.8(2)～(4)に示す。

表 6.2.8 (1) 「Case6：鋼トラス等の上下弦材」の実施状況等の集計

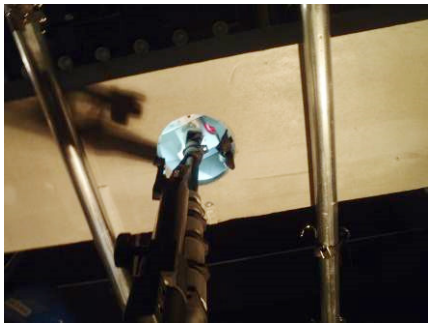
項　　目	A	B	E
1.狭隘度 （進入口）	φ150mm	φ150mm	φ150mm
2.作業時間合計	0.7 時間	3.5 時間	0.3 時間
準備時間	0.1 時間	0.5 時間	0.1 時間
作業時間	0.5 時間	2.5 時間	0.1 時間
撤去時間	0.1 時間	0.5 時間	0.1 時間
3.作業人員	1 人	4 人	2 人

※実施困難だった理由

調査機器 C　→　調査機器のカメラ本体が 400mm のため、狭隘部入口への進入が不可。

調査機器 D　→　調査機器自体が、桁端狭隘部のみ対応した装置であるため。

表 6.2.8 (2)　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	点検状況。カメラ本体は、人力で容易に、移動・設置が可能。進入口は、φ150mm（ハンドホール）から実施した。撮影画像は、無線で操作端末（PC）へ転送し、表示・保存する。
	カメラ本体を狭隘部に進入させた状態。三脚で設置する。
	同上
	狭隘部の撮影のため、別途 LED 照明を狭隘部に設置している。

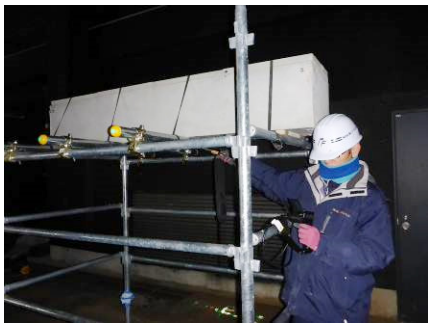
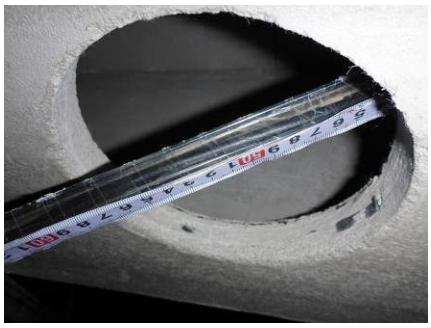
□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　0.5 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　0.7 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明（ここでは LED ライト）が必要となる。

表 6.2.8 (3)　調査機器 B の実施状況

状況写真等	説　明
	ウエブカメラ（本体）。カメラ本体は、人力で容易に、移動・設置が可能。進入口は、φ150mm（ハンドホール）から実施した。
	撮影画像は、無線で操作端末（PC）へ転送し、表示・保存する。
	ウエブカメラは、手持ちで狭隘部へ進入させる。

□作業時間：準備時間　0.5 時間＋作業時間　2. 5 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　3.5 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 B は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。

表 6.2.8 (4)　調査機器 E の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器の全景。調査機器 E のコード部は、自立しないため、別途ガイドを設けている（進入深さを把握するため）。
	ガイド先端のカメラは、手元の操作装置で、任意方向へ撮影方向を変化させることができる。
	点検状況。狭隘部内の撮影は可能であるが、損傷位置（撮影画像の位置）の特定は不可。
	調査機器 E を狭隘部へ進入させた状況写真。

□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　0.1 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　0.3 時間

□作業人員：2 人

□特記事項：調査機器 E は、人力で移動・設置が可能。調査機器 E 以外に、必要な機材はなし。

8)「Case7：狭隘な桁下空間」の実施状況

「Case7：狭隘な桁下空間」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.9 (1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表 6.2.9(2)～(3)に示す。

表 6.2.9(1) 「Case7：狭隘な桁下空間」の実施状況等の集計

項　　目	A	B
1.供試体までの アクセス距離	3.0m	0m
2.作業時間合計	0.8 時間	2.0 時間
準備時間	0.2 時間	0.5 時間
作業時間	0.5 時間	1.0 時間
撤去時間	0.1 時間	0.5 時間
3.作業人員	4 人	4 人

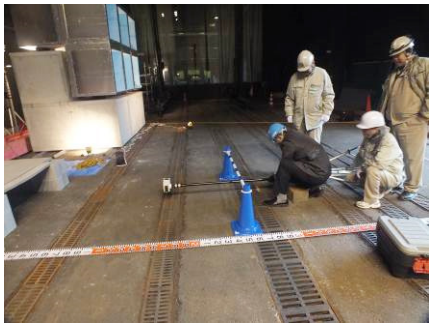
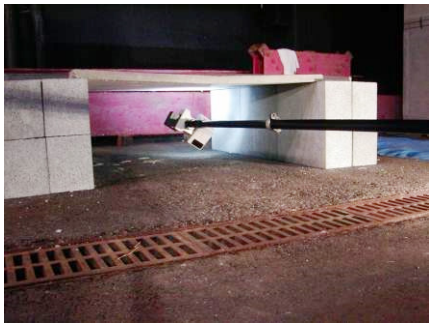
※実施困難だった理由

調査機器 C　→　調査機器のカメラ本体が 400mm のため、狭隘部入口への進入が不可。

調査機器 D　→　調査機器自体が、桁端狭隘部のみ対応した装置であるため。

調査機器 E　→　より狭隘な空間を対象とした装置であるため。

表 6.2.9 (2)　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	点検状況。カメラを設置した三脚を、水平に設置して対応している。
	対象物までの距離は、3.0m（三脚本体のたわみから、現場状況より決定した）。
	点検状況。撮影画像は、無線で操作端末（PC）へ転送し、表示・保存する。
	狭隘部にカメラを挿入した状況。

□作業時間：準備時間　0.2 時間＋作業時間　0.5 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　0.7 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。

表 6.2.9 (3) 調査機器 B の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 B（本体）。カメラ本体は、人力で容易に、移動・設置が可能。進入口は、φ150mm（ハンドホール）から実施した。
	撮影画像は、無線で操作端末（PC）へ転送し保存、現地にて表示する。
	調査機器 B は、手持ちで狭隘部へ進入させる。

□作業時間：準備時間　0.5 時間＋作業時間　2. 5 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　3.5 時間
□作業人員：4 人
□特記事項：調査機器 B は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。

9)「Case8：ゲルバー部」の実施状況

「Case8：ゲルバー部」における各調査機器の実施状況の集計を表 6.2.10(1)に示す。また、調査機器毎の実施状況を表 6.2.10(2)～(5)に示す。

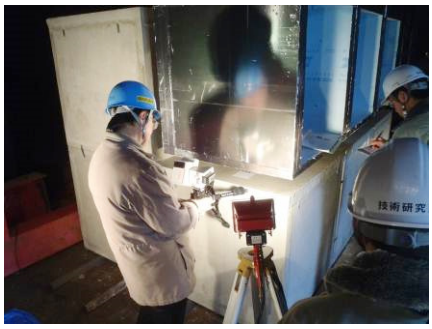
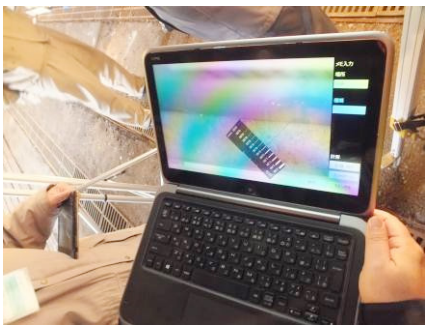
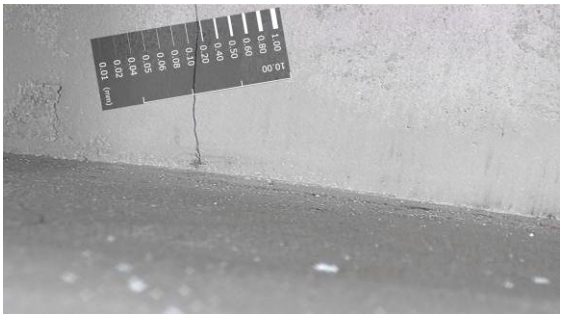
表 6.2.10(1)　「Case8：ゲルバー部」の実施状況等の集計

項　　目	A	B	D	E
1.狭隘度 （進入口の狭隘度）	100mm	50mm	30mm	50mm
2.評価を行ったパネル （全数 18 パネル） 1.0m×1.0m を 1 パネルとする	18 [100%]	6 [33.3%]	2 [11.1%]	2 [11.1%]
3.作業時間合計	4.2 時間	3.5 時間	11.0 時間	1.2 時間
準備時間	0.1 時間	0.5 時間	2.0 時間	0.1 時間
作業時間	4.0 時間	2.5 時間	8.0 時間	1.0 時間
撤去時間	0.1 時間	0.5 時間	1.0 時間	0.1 時間
4.1 パネル辺りの作業時間 （作業時間／パネル数）	0.22 時間	0.83 時間	0.56 時間	0.11 時間
5.作業人員	4 人	4 人	3 人	2 人

※実施困難だった理由

調査機器 C　→　調査機器のカメラ本体が 400mm のため、狭隘部への進入が不可。

表 6.2.10(2)　調査機器 A の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 A を用いた実験状況。カメラ本体に加え、照明が必要となる。 カメラ本体のサイズに比べ、狭隘部（100mm に設定）が狭いため、カメラ本体の狭隘部への進入は不可。
	カメラで撮影した画像データは、無線で PC 画面上に表示される。撮影距離に応じたクラックスケール（縮尺を自動変更）が、PC 画面上に表示される。ひびわれ幅は、PC 画面に表示されたクラックスケールを元に、点検員の判断で取得する。
	カメラから取得した、模擬ひびわれのひびわれ幅を評価している状況。
	調査機器 A は、位置情報を把握することを想定した機器ではない。そのため、損傷位置（ひびわれ発生位置）の情報取得（座標）を取得するためには、点検員がコンベックス等を用いて、目視にて取得する必要がある。

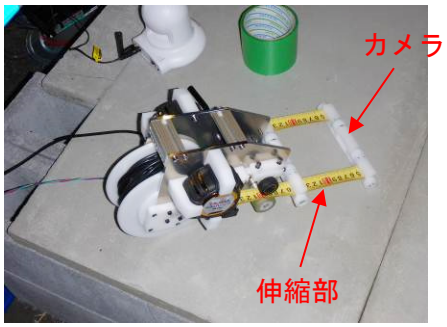
□評価を行ったパネル数（1.0m×1.0m を 1 パネルとする）：18 パネル/18 パネル［100%］

□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　4 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　4.2 時間

□作業人員：4 人

□特記事項：調査機器 A は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC と照明が必要となる。照明使用のための電源が必須となる。

表 6.2.10 (3)　調査機器 B の実施状況

状況写真等	説　明
	任意に伸縮する装置の先端に、小型カメラが設置されている（伸縮部は、コンベックス）。
	点検の実施は、最低 2 名が必要。損傷位置（ひびわれ発生位置）の情報取得（座標）は、進入方向については調査機器に示されている目盛（コンベックス）から取得する。
	曲がり度 1 回への対応。本実験では、伸縮部が折れ曲がり、実施は不可であった。
	撮影された画像は、有線で PC 画面に表示・保存。ひびわれ幅の定量的な評価は、不可となる。

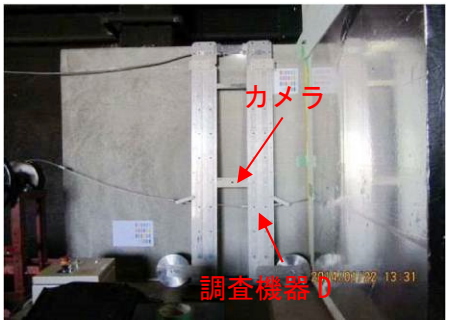
□評価を行ったパネル数（1.0m×1.0m を 1 パネルとする）：6 パネル/18 パネル［33.3%］

□作業時間：準備時間　0.5 時間＋作業時間　2.5 時間＋撤去時間　0.5 時間＝合計　3.5 時間

□作業人員：4 人

□特記事項：調査機器 B は、人力で移動・設置が可能。カメラ本体の他、PC が必要となる。その他、必要な機材はなし。

表 6.2.10(4)　調査機器 D の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器 D を設置するため、供試体の一部を撤去した状態。ビデオスコープガイドに、ファイバースコープが設置されている。
	実験の実施状況。調査機器 D 設置のために、供試体一部（左右）を撤去している。なお、装置は、躯体にアンカーを打込み固定する必要がある。
	計測状況。調査機器 D を、沓座に設置したレール上を自動で自走させる。カメラの高さを段階的に変化させることで、狭隘部全面を撮影することが可能である。
	画像は、動画で記録される。画面に、進入方向と高さ方向の座標が表示される（定量的な位置の特定が可能）。

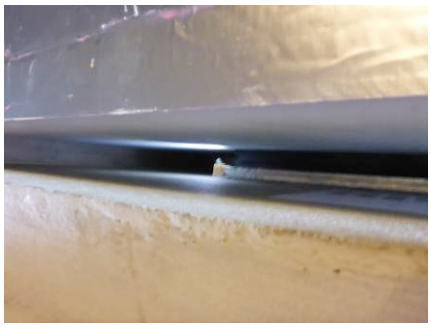
□評価を行ったパネル数（1.0m×1.0m を 1 パネルとする）：2 パネル/18 パネル［11.1%］

□作業時間：準備時間　2 時間＋作業時間　8.0 時間＋撤去時間　1 時間＝合計　11 時間

□作業人員：3 人

□特記事項：調査機器 D の準備（設置）、および測定には他の機器と比較して多くの時間を有する。また、調査機器の設置には、沓座に十分なスペースが必要となる。

表 6.2.10(5)　調査機器 E の実施状況

状況写真等	説　明
	調査機器の全景。調査機器 E のコード部は、自立しないため、別途ガイドを設けている（進入深さを把握するため）。
	実験の実施状況。ガイド先端のカメラは、手元の操作装置で、任意方向へ撮影方向を変化させることができる。
	損傷位置の特定は、別途コンベックス等で取得する必要がある。
	調査機器 E を狭隘部へ進入させた状況写真。本体の照明のみで、撮影は可能である。

□評価を行ったパネル数（1.0m×1.0m を 1 パネルとする）：2 パネル/18 パネル［11.1%］
□作業時間：準備時間　0.1 時間＋作業時間　1.0 時間＋撤去時間　0.1 時間＝合計　1.2 時間
□作業人員：2 人
□特記事項：調査機器は、人力で移動・設置が可能。調査機器 E 以外に、必要な機材はなし。

（3）検証実験結果

調査機器毎に検証実験結果を、4 章で設定した調査機器に求められる狭隘部における移動性能（図 6.2.1）と画像取得性能（表 6.2.11）の評価を行った。

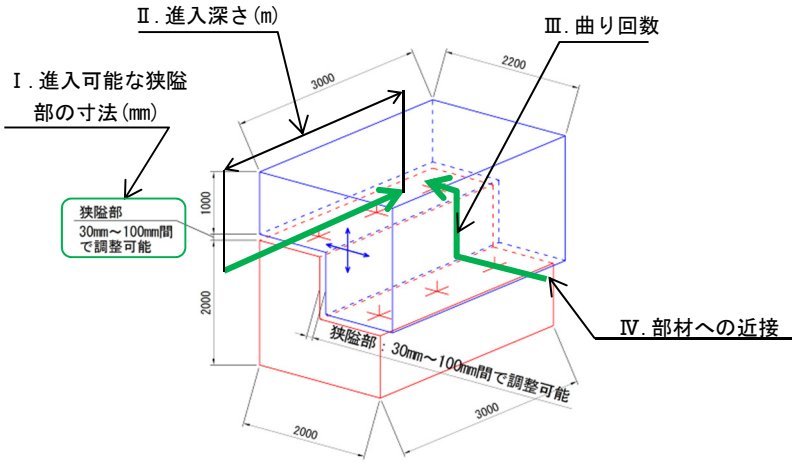


図 6.2.1　調査機器の狭隘部における移動性能評価項目

表 6.2.11　調査機器の画像取得性能評価項目

評価項目（損傷判別に必要な情報）	評価内容の概要	評価方法	評　価
①解像度情報（ひびわれ幅の定量値取得）	亀裂（塗膜割れ含む）やひびわれ幅の判定等においては、取得する情報（主に画像を想定）に対して、どこまで詳細な情報が取得できるか（解像度情報）を評価する必要がある。	線幅の異なるパターンを対象物に設置し、どの程度のひびわれ幅まで判別可能かを評価する。	最小判別可能幅
②色調情報	鋼部材の腐食・防食機能の劣化や剥離・鉄筋露出における鉄筋の腐食程度の判定等においては、取得する情報（主に画像を想定）に対して、損傷程度の評価に必要な色調情報が取得できるかを評価する必要がある。	カラーチャートを対象物に設置し、適切に色調情報を取得しているか評価する。	元画像との対比
③範囲情報（寸法情報）	損傷程度の判定において、その損傷発生の範囲が必要となる損傷（腐食の広がりやひびわれ間隔）に対しては、その損傷が発生している範囲の情報を取得する必要がある。	500mm×200mm※程度の広がりを持つ損傷の範囲（寸法）を、情報として取得出来るかを評価する。	最大誤差
④位置情報	主にひびわれ損傷に対して、その発生位置と形状を取得する必要がある。	発見した損傷が、部材のどの位置であるか正確に取得しているかを評価する。	位置精度

※ひびわれ・床板ひびわれの評価の際に、定量的に把握する必要がある間隔（0.5m と 0.2m）

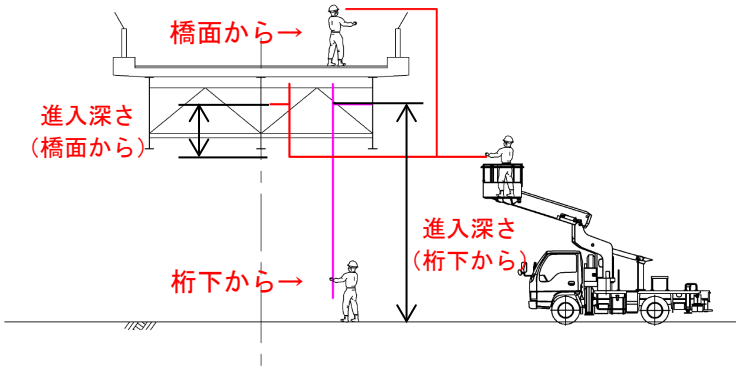
1)「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」の検証実験結果および評価

「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」における、各調査機器の検証実験結果を、表 6.2.12 に示す。

表 6.2.12（1）　「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」における検証実験結果

	項　　目		調査機器 A	調査機器 B	調査機器 C
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		250mm	250mm	400mm
	Ⅱ.進入深さ		11.5m	4.8m	1.3m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回	1 回	0 回
	Ⅳ.部材への近接		桁下から	桁下から	橋面から
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	12（15）	ー（ー）	7（15）
		正答率	80%	ー	47%
	②色調情報の取得		適用可能	適用困難	適用可能
	③範囲情報（寸法）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可
	④位置情報（座標）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可

※ここでの「Ⅲ.曲がり回数」は、狭隘部の進入口から先での曲がり回数とする。

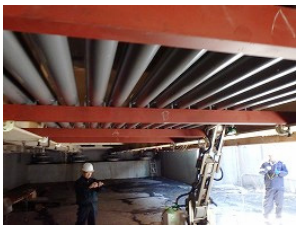
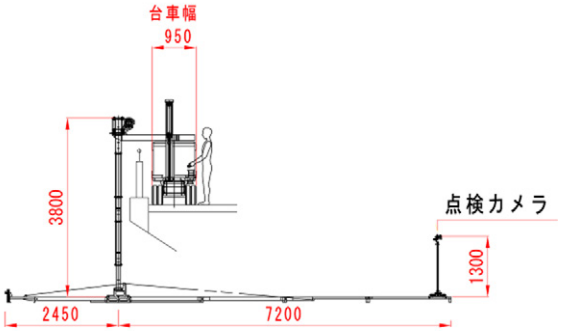


▲Case1 における移動性能の概念図

■狭隘部における移動性能

各調査機器の移動性能は、実験実施状況およびカタログ値等から評価した（表 6.2.12(2)）。

表 6.2.12(2)　各調査機器の狭隘部における移動性能の評価

調査機器	実験実施状況・カタログ値	狭隘部における移動性能
A	 カメラ→ 最大伸縮量：11.5m	Ⅰ.進入部の狭隘度：250mm ←カメラサイズ（150mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：11.5m ←三脚の伸縮量から決定。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 ←鉛直方向の伸縮のみ対応。 Ⅳ.部材への近接：桁下から
B	  ロボットアーム 最大伸縮量：4.8m	Ⅰ.進入部の狭隘度：250mm ←アームサイズ（200mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：4.8m ←ロボットアームの伸縮量から決定。 Ⅲ.曲がり回数：1 回 ←曲がり後のアームは 1.0m。 Ⅳ.部材への近接：桁下から
C	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：400mm ←カメラサイズ（300mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：1.3m ←カタログ値（左図）から。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 ←鉛直方向の伸縮のみ対応。 Ⅳ.部材への近接：橋面から

「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」における、各調査機器の検証実験結果を、以下に示す。

①ひびわれ幅の定量値取得の評価（テストパターンによる評価）

「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」において、テストパターン（TP）に表示した、A～E の線幅の評価結果をひびわれ幅の定量値取得の評価とする。ここでの評価は、ひびわれ幅の定量値評価が可能な 2 機器（調査機器 A：高所点検ロボットカメラ、調査機器 C：橋梁点検カメラシステム）について行った。各調査機器が取得したひびわれ幅の定量値を**表 6.2.12(4)～(5)**に示す。

調査機器 A は、ひびわれ幅 0.3mm 以上については一致率が 100%であるのに対し調査機器 C は、ひびわれ幅 0.2mm 以下で一致率が 100%であった（**表 6.2.12(3)**）。ただし、両機器ともひびわれ幅が不一致となったケースにおける誤差は、全て±0.1mm であった。

表-6.2.12(3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）

調査機器A

テストパターン１（TP1）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.2	×
B	0.2	0.1	×
C	0.5	0.5	○
D	0.4	0.4	○
E	0.3	0.3	○
テストパターン２（TP2）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.3	×
B	0.5	0.5	○
C	0.4	0.4	○
D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○
テストパターン３（TP3）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.5	○
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○
テストパターン４（TP4）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	（評価なし）	×
B	0.2	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.4	（評価なし）	×
E	0.5	（評価なし）	×

調査機器C

テストパターン１（TP1）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○
B	0.2	0.2	○
C	0.5	0.4	×
D	0.4	0.3	×
E	0.3	0.2	×
テストパターン２（TP2）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.4	0.3	×
D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○
テストパターン３（TP3）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.2	×
E	0.4	0.3	×
テストパターン４（TP4）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	（評価なし）	×
B	0.2	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.4	（評価なし）	×
E	0.5	（評価なし）	×

調査機器A　（N=15）

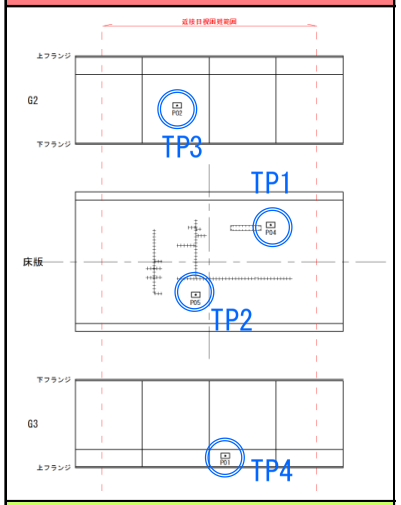
正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	2	67%	1	33%	0	0%
0.2mm	2	50%	2	50%	0	0%
0.3mm	2	100%	0	0%	0	0%
0.4mm	3	100%	0	0%	0	0%
0.5mm	3	100%	0	0%	0	0%

調査機器C　（N=15）

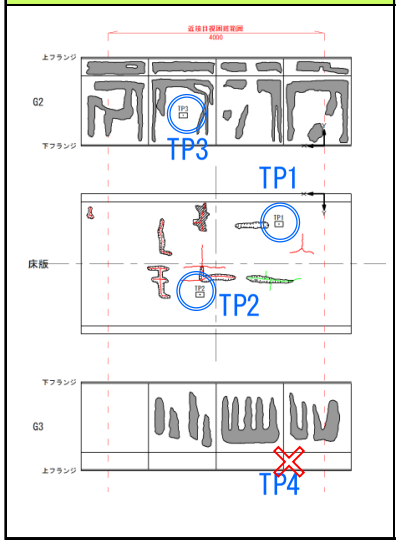
正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	3	100%	0	0%	0	0%
0.2mm	4	100%	0	0%	0	0%
0.3mm	1	50%	1	50%	0	0%
0.4mm	0	0%	3	100%	0	0%
0.5mm	0	0%	3	100%	0	0%

表 6.2.12(4)　ひびわれ幅評価の検証【調査機器 A】

正答値



実験結果



テストパターン1　（TP1）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	0.2	×
B	0.2	0.1	×
C	0.5	0.5	○
D	0.4	0.4	○
E	0.3	0.3	○

テストパターン2　（TP2）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.3	×
B	0.5	0.5	○
C	0.4	0.4	○
D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○

テストパターン3　（TP3）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.5	○
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○

テストパターン4　（TP4）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	（評価なし）	×
B	0.2	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.4	（評価なし）	×
E	0.5	（評価なし）	×

（単位：mm）

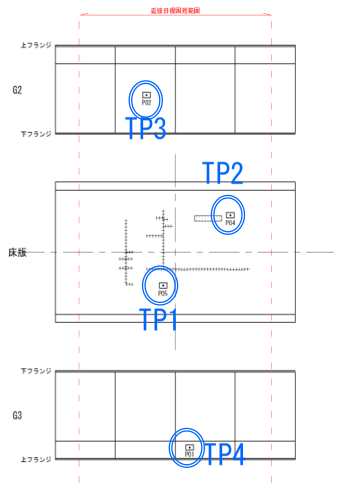
ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

（単位：mm）

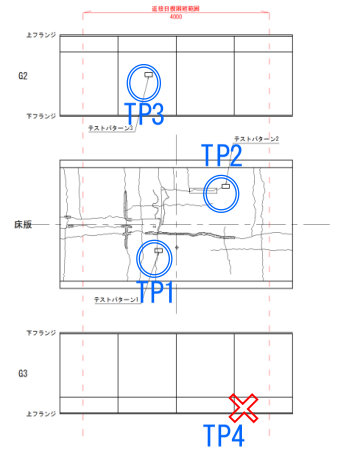
ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

表 6.2.12(5)　ひびわれ幅評価の検証【調査機器 C】

正答値



実験結果



テストパターン1　（TP1）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	0.1	○
B	0.2	0.2	○
C	0.5	0.4	×
D	0.4	0.3	×
E	0.3	0.2	×

テストパターン2　（TP2）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.4	0.3	×
D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○

テストパターン3　（TP3）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.2	×
E	0.4	0.3	×

テストパターン4　（TP4）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	（評価なし）	×
B	0.2	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.4	（評価なし）	×
E	0.5	（評価なし）	×

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

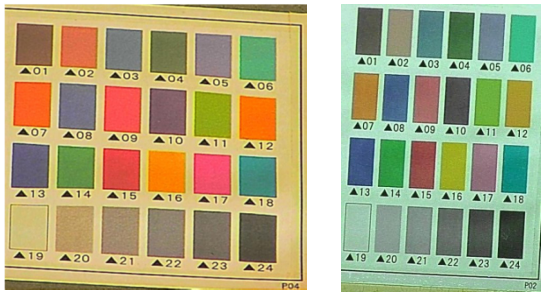
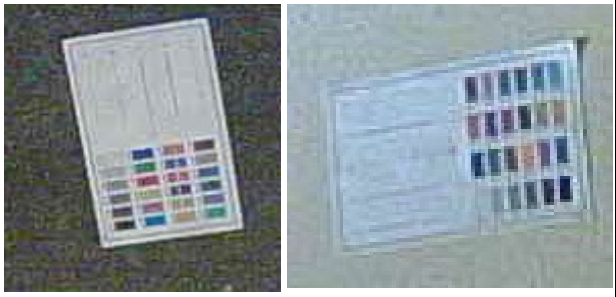
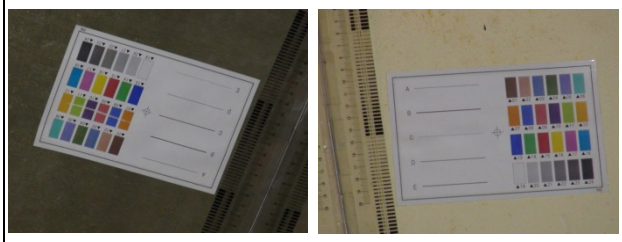
ここで、両調査機器ともテストパターン４（TP4）については発見が出来ていない。TP4 については、主桁ウエブ面の水平補剛材上部付近に設置したものであるため（右写真参照）、点検時の死角になったものと推測される。

▲テストパターン４の設置状況

②色調情報取得の評価

調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート（見本）との色調の比較を行った（表 6.2.12(6)）。

表 6.2.12(6)　調査機器毎の代表的なカラーチャート画像比較

調査機器	カラーチャート見本	代表的な画像	評価
A			左画像は、全体的に黄色がかった色調となっている。照明（ハロゲン）を使用していたことが要因を推測される。
B			取得画像は粗く、色調の判別は困難である。カメラ本体にズーム機能を有していないことが要因と推測される。
C			色調情報は、正確に捉えていると言える。床版（右画像背景）・主桁（左画像背景）の色調についても、概ね正しく取得していると言える。

※カラーチャート（見本）は全て共通。室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500）。

③範囲情報と④位置情報の評価

ここでの検証は、調査機器を用いて作成した損傷図と模擬試験体の設置前に予め近接目視点検を行って作成した損傷図（以下、正答値という）を比較することで評価を行った。評価結果の概要を表 6.2.12 (7)に示す。

また、全機器とも位置情報（座標）を定量的に取得する技術はなかった。

表 6.2.12(7)　損傷図の比較による評価結果

調査機器	評　価
調査機器 A	・床版ひびわれの形状は、概ね一致していると言える。 ・ひびわれ、テストパターンの見落としが見られる。 ・ひびわれの誤認も 1 か所確認できる。 ・床版ひびわれは、全て 0.1mm 以下であるが、実験結果では 0.3mm 以上としている。
調査機器 B	・床版ひびわれの形状に、大幅な相違が見られる（ひびわれの見落とし等）。 ・床版ひびわれ幅は取得していない。
調査機器 C	・全体的に床版ひびわれの誤認が見られる。 ・遊離石灰の発生箇所（範囲）は、概ね正確に取得していると言える。 ・テストパターンの見落としが見られる。

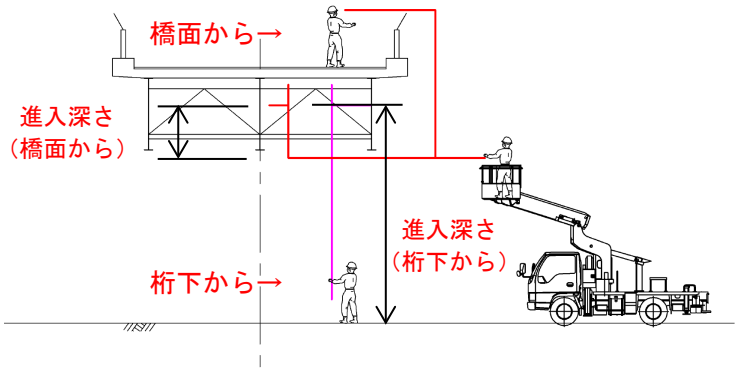
2)「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」の検証実験結果および評価

「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」における、各調査機器の検証実験結果を、表 6.2.13（1)に示す。

表 6.2.13(1)「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」における検証実験結果

	項　　目		調査機器 A	調査機器 B
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		200mm	200mm
	Ⅱ.進入深さ		0m	0m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回	0 回
	Ⅳ.部材への近接		桁下から	桁下から
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	5（5）	ー（ー）
		正答率	100%	ー%
	②色調情報の取得		取得可能	損傷の発見ができていない
	③範囲情報（寸法）		定量値の取得不可	
	④位置情報（座標）		定量値の取得不可	

※ここでの「Ⅲ.曲がり回数」は、狭隘部の進入口から先での曲がり回数とする。



▲Case2 における進入深さの概念図

■狭隘部における移動性能

各調査機器の狭隘部における移動性能は実験実施状況およびカタログ値等から評価した（表-6.2.13(2)）。

表 6.2.13(2)　各調査機器の狭隘部における移動性能の評価

調査機器	実験実施状況・カタログ値	狭隘部における移動性能
A	 カメラ→ 最大伸縮量：11.5m	Ⅰ.進入部の狭隘度：200mm ←カメラサイズ（150mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：11.5m ←三脚の伸縮量から決定。 Ⅲ.曲がり回数：0回 ←鉛直方向の伸縮のみ対応。 Ⅳ.部材への近接：桁下から
B	 アーム 最大伸縮量：4.8m	Ⅰ.進入部の狭隘度：200mm ←アームサイズ（200mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：4.8m ←アームの伸縮量から決定。 Ⅲ.曲がり回数：1回 ←曲がり後のアームは1.0m。 Ⅳ.部材への近接：桁下から

「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」における、各調査機器の検証実験結果を、以下に示す。

①ひびわれ幅の定量値取得の評価（テストパターンによる評価）

「Case2:添架物と桁の組合せ部(対象部材との離隔が狭隘)」において、テストパターン(TP)に表示した、A～E の線幅の評価結果を、ひびわれ幅の定量値取得の評価とする。ここでの評価は、ひびわれ幅の定量値評価が可能な、1 機器（調査機器 A：高所点検ロボットカメラ）について行った。各調査機器が取得したひびわれ幅の定量値を**表 6.1.13 (4)**に示す。調査機器 A は、テストパターン 1（TP1）に関しては、一致率が 100%であったのに対し、テストパターン 2(TP2)は、ひびわれ幅の定量値取得を行っていない（**表 6.1.13(3)**）。これは、TP1 は、狭隘部の入口から 300mm の位置に設置しているのに対し、TP2 は入口から 1400mm の位置に設置しているため（**図 6.2.2**）、ひびわれ画像の取得が不可であったためと推測される。

表 6.2.13(3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）

調査機器A

テストパターン１（TP1）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.5	○
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○
テストパターン２（TP2）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.5	（評価なし）	×
B	0.1	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.2	（評価なし）	×
E	0.4	（評価なし）	×

調査機器A　（N=5）

正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.2mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.3mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.4mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.5mm	1	100%	0	0%	0	0%

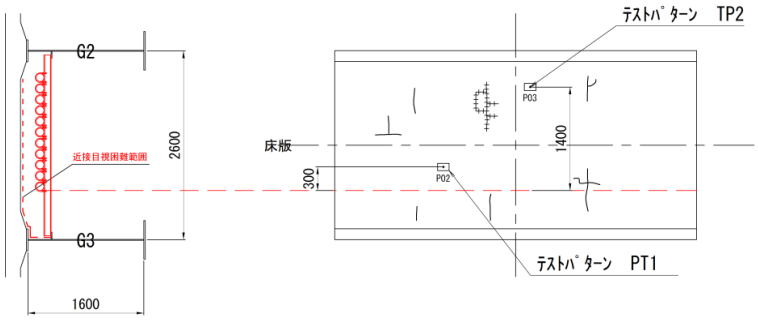
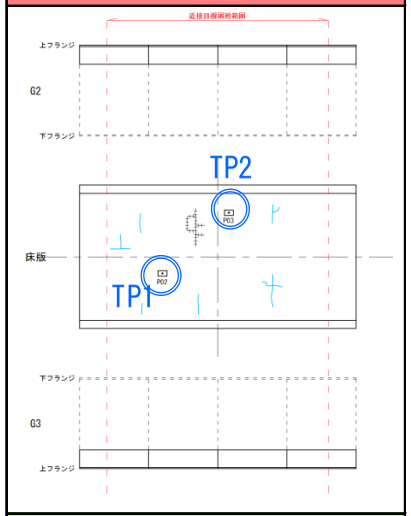


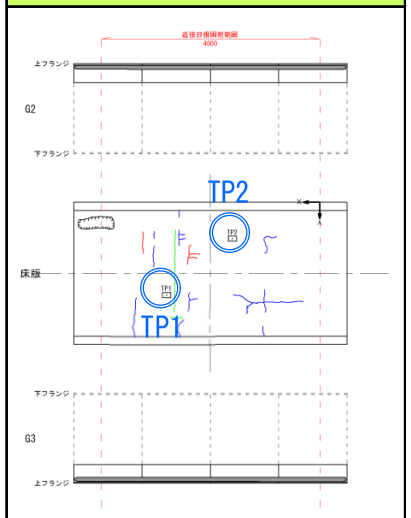
図 6.2.2　Case2 におけるテストパターンの設置位置

表 6.2.13(4)　ひびわれ幅評価の検証【調査機器 A】

正答値



実験結果



テストパターン1　（TP1）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.5	○
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

テストパターン2　（TP2）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.5	（評価なし）	×
B	0.1	（評価なし）	×
C	0.3	（評価なし）	×
D	0.2	（評価なし）	×
E	0.4	（評価なし）	×

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

（単位：mm）

ひびわれ幅評価精度の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

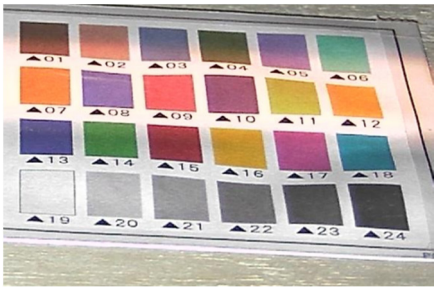
（単位：mm）

ひびわれ幅評価精度の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

②色調情報取得の評価

調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート（見本）との色調の比較を行った（表6.2.13(5)）。

表 6.2.13(5)　調査機器毎の代表的なカラーチャート画像比較

調査機器	カラーチャート見本	代表的な画像	評価
A			画像は対象物を斜め方向から撮影したものとなる。概ね色調の判別は可能であると言える。

※カラーチャート（見本）は室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500）。

③範囲情報と④位置情報の評価

ここでの検証は、調査機器を用いて作成した損傷図と、模擬試験体の設置前に予め近接目視点検を行って作成した損傷図（以下、正答値という）を比較することで評価を行った。評価結果の概要を、表 6.2.13 (6)に示す。

なお、両機器とも、位置情報（座標）を定量的に取得する性能はなかった。

表 6.2.13 (6)　損傷図の比較による評価結果

調査機器	評　価
調査機器 A	・床版ひびわれの誤認が、多数見られる。 ・遊離石灰の見落としが見られる。 ・床版ひびわれは、全て 0.1mm 以下であるが、実験結果では 0.3mm 以上としている。
調査機器 B	・損傷の発見が出来ていない。

3)「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」の検証実験結果および評価

「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」における各調査機器の検証実験結果を表6.2.14(1)に示す。

表 6.2.14(1)　「Case3：端横桁背面（コンクリート桁)」における検証実験結果

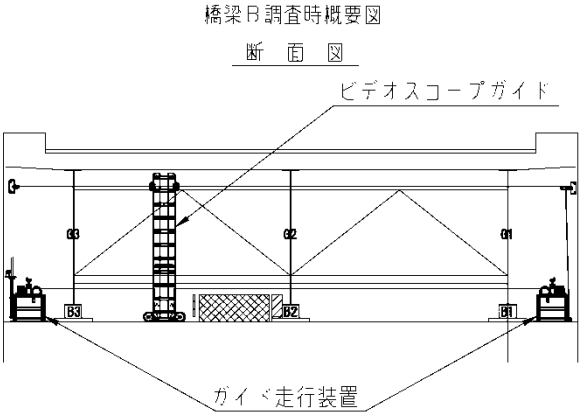
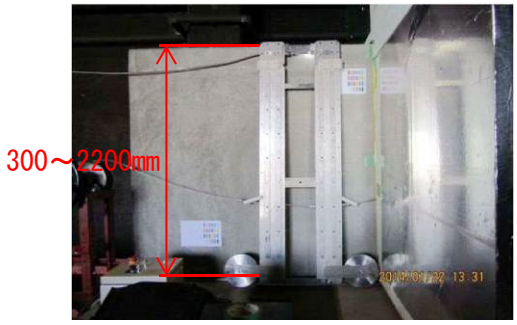
	項　　目		D
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		40mm（最小 20 mm まで対応可能）
	Ⅱ.進入深さ※		10m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回
	Ⅳ.部材への近接		桁側面から
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答率(回答数)	5（10）
		正答率	50%
	②色調情報の取得		取得可能
	③範囲情報（寸法）		誤差 50 mm以内
	④位置情報（座標）		誤差 50 mm以内

※進入深さは、調査機器の性能から決定する（カタログ値)。

■進入可能な狭隘部の寸法

各調査機器の狭隘部における移動性能は、実験実施状況およびカタログ値等から評価した（表 6.2.14 (2)）。

表 6.2.14 (2)　各調査機器の狭隘部における移動性能の評価

調査機器	実験実施状況・カタログ値	狭隘部における移動性能
D	  ※桁端の狭隘部（桁遊間部）の狭隘部点検に特化した機器である。	Ⅰ.進入部の狭隘度：20mm ←カタログ値から。 Ⅱ.進入深さ：10.0m ←橋軸直角方向への進入深さ。両側から進入させることで、幅員 20m まで対応可能 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接：桁側面から

「Case3：端横桁背面（コンクリート桁）」における、各調査機器の検証実験結果を、以下に示す。

①ひびわれ幅の定量値取得と④位置情報（座標）取得の評価（テストパターンによる評価）

「Case3：端横桁背面（コンクリート桁）」において、テストパターン（TP）に表示したA～Eの線幅の評価結果をひびわれ幅の定量値取得の評価とし、またテストパターンの中心座標の取得精度を、位置情報（座標）の定量値取得の評価とした。ここでの評価は、ひびわれ幅の定量値評価が可能な、1機器（調査機器D：桁端狭隘部外観調査装置）について行った。

調査機器におけるひびわれ幅の定量値取得の評価結果の集計を**表6.2.14(3)**に示す（詳細は、**表6.2.14(4)**）。ひびわれ幅の一致率は、全体（0.1mm～0.5mm）で50%である。ただし、ひびわれ幅が不一致とされたケースにおける誤差は、全て±0.1mmであった。

次に、位置情報（座標）取得の評価として、テストパターン（TP）の中心座標での誤差を評価した（**表6.2.14 (5)**）。評価の結果、設置されている2つのテストパターンにおいては、両方とも誤差範囲内であった。

表6.2.14 (3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）

調査機器D

テストパターン１（TP1）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○
B	0.2	0.2	○
C	0.5	0.4	×
D	0.4	0.5	×
E	0.3	0.3	○
テストパターン２（TP2）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.1	0.2	×
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.3	×

調査機器D　（N=10）

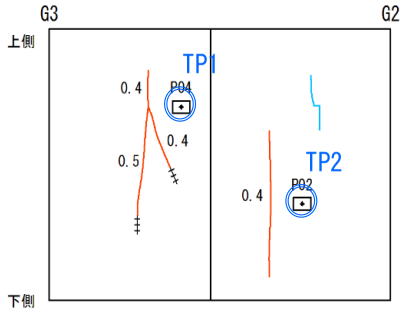
正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	1	50%	1	50%	0	0%
0.2mm	2	100%	0	0%	0	0%
0.3mm	2	100%	0	0%	0	0%
0.4mm	0	0%	2	100%	0	0%
0.5mm	0	0%	2	100%	0	0%

表6.2.14(4)　位置情報（座標）取得（テストパターンでの評価）

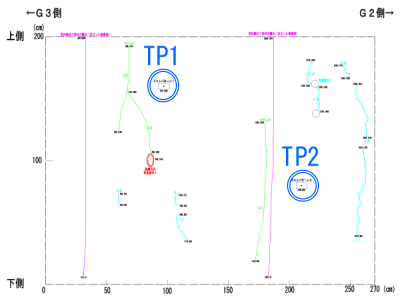
TP	正答値		実験値		誤差		判定
	X	Y	X	Y	X	Y	
テストパターンの座標							
1	1000	1600	970	1600	30	0	○
2	2100	800	2100	800	0	0	○

表 6.2.14 (5)　ひびわれ幅評価の検証【D：桁端狭隘部外観調査装置】

正答値



実験結果



テストパターン1　（TP1）　（単位：mm）

ひびわれ幅と位置情報の検証	正解		試験結果		判　定	
	X	Y	X	Y	X	Y
中心座標	1000	1600	970	1600	○	○
A	0.1		0.1		○	
B	0.2		0.2		○	
C	0.5		0.4		×	
D	0.4		0.5		×	
E	0.3		0.3		○	

テストパターン2　（TP2）　（単位：mm）

ひびわれ幅と位置情報の検証	正解		試験結果		判　定	
	X	Y	X	Y	X	Y
中心座標	2100	800	2100	800	○	○
A	0.2		0.2		○	
B	0.5		0.4		×	
C	0.1		0.2		×	
D	0.3		0.3		○	
E	0.4		0.3		×	

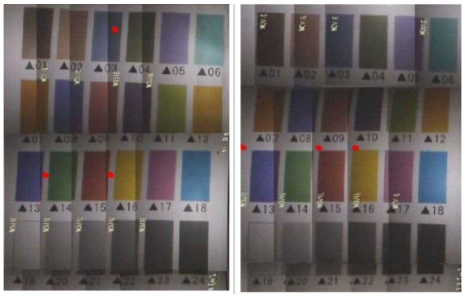
（単位：mm）

	正解		試験結果			
	X	Y	X	Y	X	Y
中心座標						
A						
B						
C						
D						
E						

②色調情報取得の評価

調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート(見本)との色調の比較を行った(表 6.2.14 (6))。

表 6.2.14 (6)　調査機器毎の代表的なカラーチャート画像比較

装置	カラーチャート見本	代表的な画像	評価
A			取得した画像は、若干ではあるが、見本より暗くなっている。

※カラーチャート（見本）は室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500）。

③範囲情報の評価

ここでの検証は、調査機器を用いて作成した損傷図と、模擬試験体の設置前に予め近接目視点検を行って作成した損傷図（以下、正答値という）を比較することで、評価を行った。評価結果の概要を表 6.2.14 (7)に示す。

表 6.2.14 (7)　損傷図の比較による評価結果

調査機器	評　価
D：桁端狭隘部外観調査装置	・全体的に、ひびわれ（実損傷）や模擬ひびわれ・模擬遊離石灰の発生位置・範囲等は適切に取得している。 ・模擬ひびわれの見落としが 1 か所見られる。

4)「Case4：狭隘な支承部」の検証実験結果および評価

「Case4：狭隘な支承部」における各調査機器の検証実験結果を**表 6.2.15(1)**に示す。

なお、本パターンにおいては 1 機器の実験を行ったが、損傷図が作成されなかったため評価対象外とした。

表 6.2.15(1) 「Case4：狭隘な支承部」における検証実験結果

	項　　目		調査機器 A
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		50mm
	Ⅱ.進入深さ※		評価なし
	Ⅲ.曲がり回数		0 回
	Ⅳ.部材への近接		足場から
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	―
		正答率	―
	②色調情報の取得		―
	③範囲情報（寸法）		―
	④位置情報（座標）		―

※進入深さに関しては、調査機器を狭隘部に進入できないため、評価なしとした。

▲実験状況（調査機器は狭隘部外側）

5)「Case6：鋼トラス等の上下弦材」の検証実験結果および評価

「Case6：鋼トラス等の上下弦材」における各調査機器の検証実験結果を表 6.2.16(1)に示す。

表 6.2.16(1) 「Case6：鋼トラス等の上下弦材」における検証実験結果

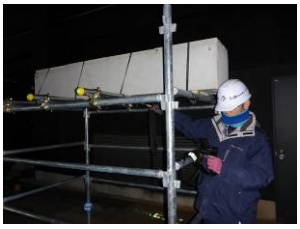
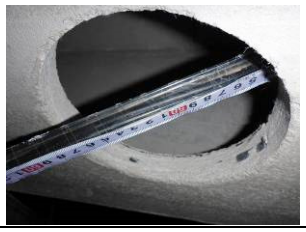
	項　　目		調査機器 A	調査機器 B	調査機器 E
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		φ150mm	φ150mm	φ150mm
	Ⅱ.進入深さ		0m	0m	0.5m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回	0 回	0 回
	Ⅳ.部材への近接※		地表面から近接（実験室内のため）	地表面から近接（実験室内のため）	地表面から近接（実験室内のため）
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	24（30）	ー（ー）	ー（ー）
		正答率	80%	ー	ー
	②色調情報の取得		一部、取得可能	一部、取得可能	取得不可
	③範囲情報（寸法）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可
	④位置情報（座標）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可

※部材への近接は、実験室内で実施しているため、現場の状況を正確に再現したものではない。

■狭隘部における移動性能

各調査機器の狭隘部における移動性能は、実験実施状況およびカタログ値等から評価した（表 6.2.16(2)）。

表 6.2.16(2)　各調査機器の狭隘部における移動性能の評価

調査機器	実験実施状況・カタログ値	狭隘部における移動性能
A	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：φ150mm ←カメラサイズ（150mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：0m ←カメラは狭隘部の進入口に固定。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接： バケット等
B	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：φ150mm ←カメラサイズ（150mm）から決定。 Ⅱ.進入深さ：0m ←カメラは狭隘部の進入口に固定。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接： バケット等
E	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：φ150mm ←調査機器Eを固定するためのガイドを進入させるため。 Ⅱ.進入深さ：0.5m ←ガイドが進入できる最大寸法。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接： バケット等

「Case6：鋼トラス等の上下弦材」における各調査機器の検証実験結果を以下に示す。

①ひびわれ幅の定量値取得の評価（テストパターンによる評価）

「Case6：鋼トラス等の上下弦材」において、テストパターン（TP）に表示した、A～E の線幅の評価結果を、ひびわれ幅の定量値取得の評価とする。ここでの評価は、ひびわれ幅の定量値評価が可能な、1 機器（調査機器 A：高所点検ロボットカメラ）について行った。調査機器におけるひびわれ幅の定量値取得詳細を、**表 6.2.16(4)**に示す。調査機器 A においては、設置したテストパターン 6 箇所の評価を行っている。ひびわれ幅 0.1mm においては、一致率が 100%であり、他のひびわれ幅に関しても、一致率は 6 割以上となっている。なお、ひびわれ幅が不一致とされたケースにおける誤差は、全て±0.1mm であった。

表 6.2.16 (3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）

調査機器A

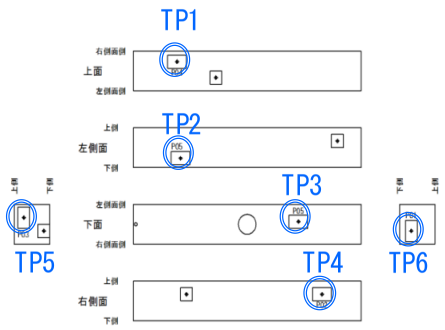
テストパターン１（TP1）				テストパターン４（TP4）			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○	A	0.2	0.2	○
B	0.2	0.3	×	B	0.5	0.5	○
C	0.5	0.5	○	C	0.1	0.1	○
D	0.4	0.4	○	D	0.3	0.3	○
E	0.3	0.2	×	E	0.4	0.4	○
テストパターン２（TP2）				テストパターン５（TP5）			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.3	×	A	0.5	0.5	○
B	0.5	0.5	○	B	0.1	0.1	○
C	0.4	0.4	○	C	0.3	0.3	○
D	0.2	0.2	○	D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○	E	0.4	0.4	○
テストパターン３（TP3）				テストパターン６（TP6）			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.1	0.1	○
B	0.5	0.4	×	B	0.2	0.2	○
C	0.4	0.5	×	C	0.3	0.3	○
D	0.2	0.3	×	D	0.4	0.4	○
E	0.1	0.1	○	E	0.5	0.5	○

調査機器A　（N=30）

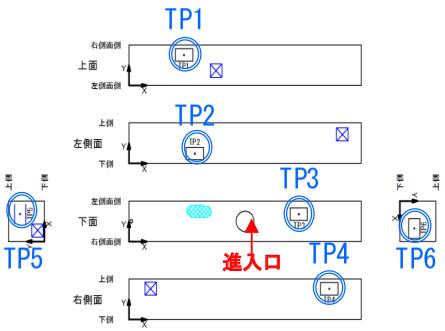
正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	6	100%	0	0%	0	0%
0.2mm	5	63%	3	38%	0	0%
0.3mm	3	75%	1	25%	0	0%
0.4mm	5	83%	1	17%	0	0%
0.5mm	5	83%	1	17%	0	0%

表 6.2.16(4)　ひびわれ幅評価の検証【調査機器 A】

正答値



実験結果



テストパターン1　（TP1）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	0.1	○
B	0.2	0.3	×
C	0.5	0.5	○
D	0.4	0.4	○
E	0.3	0.2	×

テストパターン2　（TP2）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.3	×
B	0.5	0.5	○
C	0.4	0.4	○
D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.1	○

テストパターン3　（TP3）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×
C	0.4	0.5	×
D	0.2	0.3	×
E	0.1	0.1	○

テストパターン4　（TP4）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.5	○
C	0.1	0.1	○
D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○

テストパターン5　（TP5）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.5	0.5	○
B	0.1	0.1	○
C	0.3	0.3	○
D	0.2	0.2	○
E	0.4	0.4	○

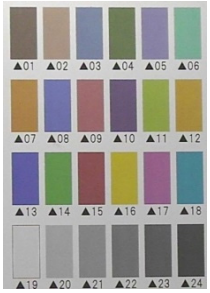
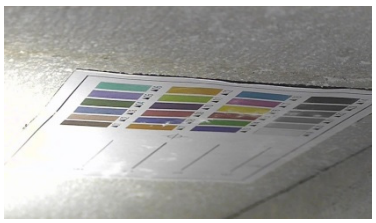
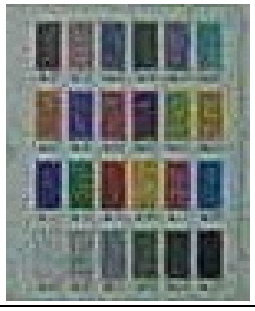
テストパターン6　（TP6）　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判定 ○：一致 ×：不一致
A	0.1	0.1	○
B	0.2	0.2	○
C	0.3	0.3	○
D	0.4	0.4	○
E	0.5	0.5	○

②色調情報取得の評価

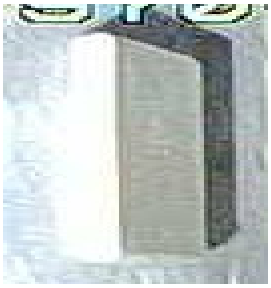
調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート(見本)との色調の比較(**表 6.2.16(5)**)および鋼材のテストピースにおける色調の比較（**表 6.2.16 (6)**）を行った。なお、鋼材のテストピース設置位置の概要を**図 6.2.3** に示す。

表 6.2.16 (5)　調査機器毎の代表的なカラーチャート画像比較

調査機器	カラーチャート見本	代表的な画像	評価
A		 	テストパターンと正対して画像を取得できるケース（左写真：TP5）では、色調は正確に取得できる。テストパターンに対して斜め位置での撮影の場合、色調取得の精度は劣る(右写真:TP1)。
B			テストパターンと正対して画像を取得できるケース（左写真：TP5）では、色調は正確に取得できる。テストパターンに対して斜め位置での撮影の場合、解像度及び色調取得の精度は劣る（右写真：TP1)。
E			光量不足により、色調の評価は困難である。

※カラーチャート（見本）は全て共通。室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500)。

表 6.2.16 (6)　調査機器毎の鋼材テストピース画像比較

鋼材ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ	調査機器 A	調査機器 B	調査機器 E
鋼材ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ① 	（画像取得なし）		（画像取得なし）
	—	解像度が低く、色調等の評価は難しい。	—
鋼材ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ② 			（画像取得なし）
	カメラ位置と正対位置での撮影。色調は概ね良好に取得できる。	解像度が低く、色調等の評価は難しい。装置本体の影の影響が見られる。	
鋼材ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ③ 			（画像取得なし）
	カメラ位置に対して。斜め位置での撮影。色調取得の精度は劣る。	解像度が低く、色調等の評価は難しい。	
鋼材ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ④ 			
	（画像取得が一部のため、評価不可。）	解像度が低く、色調等の評価は難しい。	対象物の一部の接写となる。鋼部材の腐食（断面減少）が確認できるが、色調の判断は難しい。

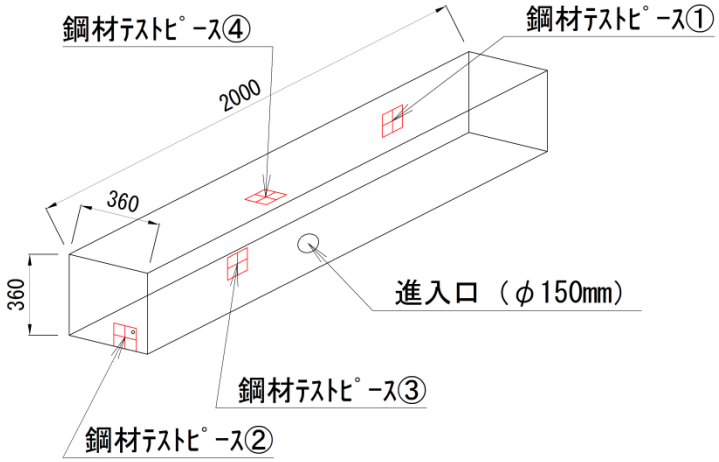


図 6.2.3　鋼材のテストピース設置状況

③範囲情報と④位置情報の評価

ここでの検証は、調査機器を用いて作成した損傷図と模擬試験体の設置前に予め近接目視点検を行って作成した損傷図（以下、正答値という）を比較することで、評価を行った。評価結果の概要を、表 6.2.16 (7)に示す。

なお、両機器とも位置情報（座標）を定量的に取得する性能はなかった。

表 6.2.16(7)　損傷図の比較による評価結果

調査機器	評　価
調査機器 A	・テストパターンおよび鋼材テストピースの設置位置は、概ね合致しているが、mm単位や数cm程度の精度はない。
調査機器 B	・テストパターンおよび鋼材テストピースの設置位置は、概ね合致しているが、mm単位や数cm程度の精度はない。

6)「Case7：狭隘な桁下空間」の検証実験結果および評価

「Case7：狭隘な桁下空間」における各調査機器の検証実験結果を表 6.2.17(1)に示す。

表 6.2.17 (1) 「Case7：狭隘な桁下空間」における検証実験結果

	項　　目		調査機器 A	調査機器 B
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		400mm	400mm
	Ⅱ.進入深さ（アクセス距離）		3.0m	0.0m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回	0 回
	Ⅳ.部材への近接		地上	地上
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	3（5）	―
		正答率	60%	―
	②色調情報の取得		取得可能	取得困難
	③範囲情報（寸法）		定量値の取得不可	定量値の取得不可
	④位置情報（座標）		定量値の取得不可	定量値の取得不可

※進入深さは、供試体までのアクセス距離とした。

■狭隘部における移動性能

各調査機器の狭隘部における移動性能は、実験実施状況およびカタログ値等から評価した（表 6.2.17(2)）。

表 6.2.17(2)　各調査機器の狭隘部における移動性能の評価

調査機器	実験実施状況・カタログ値	狭隘部における移動性能
A	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：400mm Ⅱ.進入深さ：3.0m ←供試体までのアクセス距離。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接：地上
B	 	Ⅰ.進入部の狭隘度：400mm Ⅱ.進入深さ：0m ←供試体までのアクセス距離。 Ⅲ.曲がり回数：0 回 Ⅳ.部材への近接：地上

「Case7：狭隘な桁下空間」における各調査機器の検証実験結果を以下に示す。

①ひびわれ幅の定量値取得の評価（テストパターンによる評価）

「Case7：狭隘な桁下空間」において、テストパターン（TP）に表示した、A～E の線幅の評価結果を、ひびわれ幅の定量値取得の評価とする。ここでの評価は、ひびわれ幅の定量値評価が可能な、1 機器（調査機器 A：高所点検ロボットカメラ）について行った。調査機器におけるひびわれ幅の定量値取得詳細を、**表 6.2.17(4)**に示す。なお、Case7 においては、テストパターンの設置は 1 か所である。0.1mm～0.3mm においては一致した結果であった（**表 6.2.17 (3)**）。ひびわれ幅が不一致とされたケースにおける誤差は、全て±0.1mm である。

表 6.2.17 (3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）

調査機器A

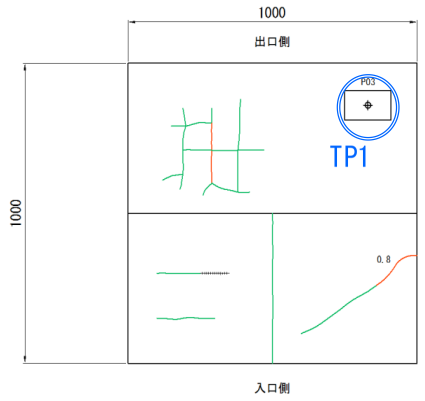
テストパターン１（TP1）			
No	正答値	実験結果	判定
A	0.5	0.4	×
B	0.1	0.1	○
C	0.3	0.3	○
D	0.2	0.2	○
E	0.4	0.5	×

調査機器A　（N=5）

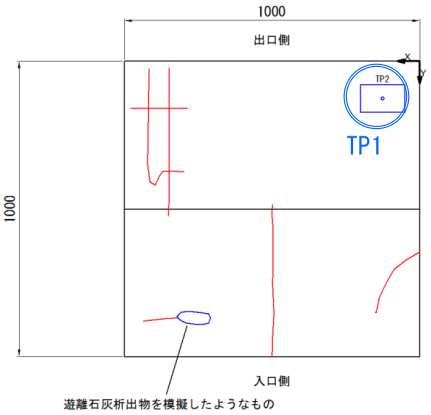
正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.2mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.3mm	1	100%	0	0%	0	0%
0.4mm	0	0%	1	100%	0	0%
0.5mm	0	0%	1	100%	0	0%

表 6.2.17 (4)　ひびわれ幅評価の検証【A：高所点検ロボットカメラ】

正答値



実験結果



テストパターン1　　（TP1）　　（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A	0.5	0.4	×
B	0.1	0.1	○
C	0.3	0.3	○
D	0.2	0.2	○
E	0.4	0.5	×

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致

（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

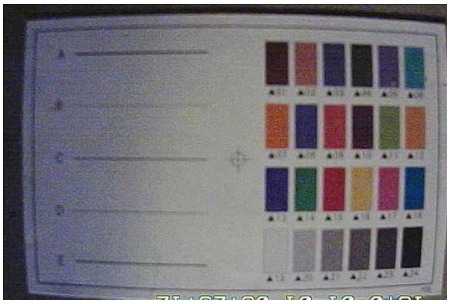
（単位：mm）

ひびわれ幅評価の検証	正答値	実験結果	判　定 ○：一致 ×：不一致
A			
B			
C			
D			
E			

②色調情報取得の評価

調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート（見本）との色調の比較を行った（**表 6.2.17 (5)**）。

表 6.2.17 (5)　調査機器毎のカラーチャート画像比較

調査機器	カラーチャート見本	カラーチャート画像	評価
A			概ね色調の判別は可能であると言える。
B			解像度が粗いため、色調の判断は難しい。

※カラーチャート（見本）は全て共通。室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500）。

③範囲情報と④位置情報の評価

ここでの検証は、調査機器を用いて作成した損傷図と、模擬試験体の設置前に予め近接目視点検を行って作成した損傷図（以下、正答値という）を比較することで評価を行った。評価結果の概要を、**表 6.2.17 (6)**に示す。

なお、両機器とも位置情報（座標）を定量的に取得する性能はなかった。

表 6.2.17 (6)　損傷図の比較による評価結果

調査機器	評　価
調査機器 A	・二方向ひびわれの形状が大幅に不一致となっている。 ・遊離石灰の発生位置に誤認が見られる。 ・ひびわれの見落としが見られる。 ・テストパターンの位置は、概ね一致している。
調査機器 B	・損傷の発生状況（形状）は概ね一致しているが、全てにおいて、スケールが異なっている（正確な寸法を捉えきれていない）。 ・テストパターンの位置は、概ね一致している。

7)「Case8（ゲルバー部)」の検証実験結果および評価

「Case8（ゲルバー部)」における各調査機器の検証実験結果を表 6.2.18(1)に示す。

表 6.2.18(1)　「Case8：ゲルバー部」における検証実験結果

	項　　目		調査機器 A	調査機器 B	調査機器 D	調査機器 E
狭隘部における移動性能	Ⅰ.進入可能な狭隘部の寸法		100mm	50mm	30mm	50mm
	Ⅱ.進入深さ(m)		1.0m	1.0m	1.0m	1.0m
	Ⅲ.曲がり回数		0 回	0 回	0 回	0 回
	Ⅳ.部材への近接		（評価しない）			
画像の取得性能	①ひびわれ幅の定量値取得	正答数（回答数）	80（100）	ー（ー）	17（20）	ー（ー）
		正答率	80%	ー	85%	ー
	②色調情報の取得		取得可能（進入口から 700 mm程度の位置まで）	取得困難	取得困難	取得困難
	③範囲情報（寸法）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	誤差 50 mm 以内	定量値の取得不可
	④位置情報（座標）		定量値の取得不可	定量値の取得不可	誤差 50 mm 以内	定量値の取得不可

※ここでの「Ⅱ.進入深さ(m)」は、再現供試体の形状から最大 1.0m となる。

①ひびわれ幅の定量値取得の評価（テストパターンによる評価）
対象調査機器：「A：高所点検ロボットカメラ」、「D：桁端狭隘部外観調査装置」

調査機器でひびわれ幅の定量値を取得できる、「A：高所点検ロボットカメラ」および「D：桁端狭隘部外観調査装置」の 2 機器について、評価を行った。ここでは、テストパターン(TP)に表示した、A～E の線幅の評価結果を、ひびわれ幅の定量値取得の評価とする。

なお、各々の調査機器で評価を行ったパネルは、**図 6.2.4(1)～(2)**に示す通りである。

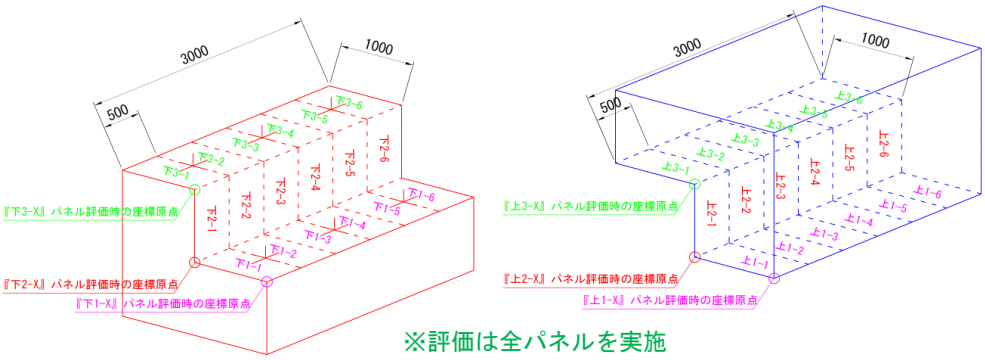


図 6.2.4（1）　「A：高所点検ロボットカメラ」が評価を実施したパネル

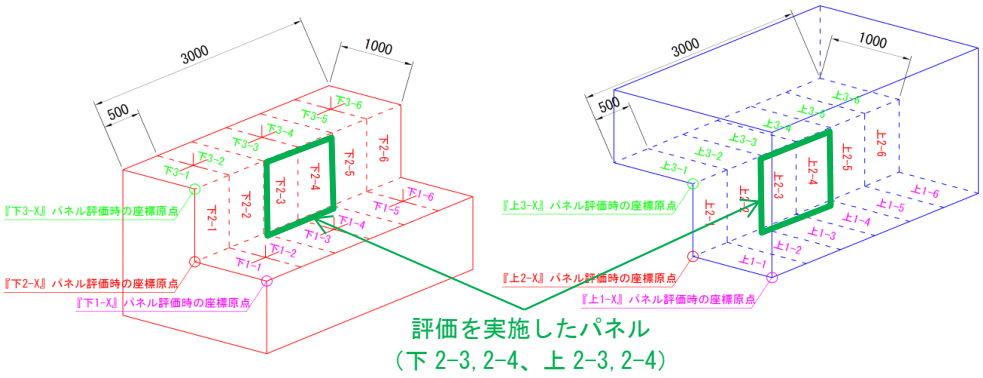


図 6.2.4（2）　「D：桁端狭隘部外観調査装置」が評価を実施したパネル

※実験に際し、調査機器の設置のため、左右の供試体を撤去する必要があった。

▲「D：桁端狭隘部外観調査装置」の実施状況写真

評価を行った 2 機器に関して、ひびわれ幅の定量値評価の結果を**表 6.2.18(2)～(3)**に示す。また、調査機器 A の評価結果詳細を**表 6.2.19 (1)～(3)**、**図 6.2.5(1)～(3)**に、調査機器 D の評価結果詳細を**表 2.6.20**、**図 6.2.6** に示す。

表 6.2.18(2) 調査機器 A のひびわれ幅評価結果（N=100）

正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	17	85%	1	5%	2	10%
0.2mm	18	75%	4	17%	2	8%
0.3mm	13	81%	2	13%	1	6%
0.4mm	16	80%	3	15%	1	5%
0.5mm	16	80%	4	20%	0	0%

※「ひびわれ幅」は、テストパターンの線幅を示す。

表 6.2.18 (3)調査機器 D のひびわれ幅評価結果（N=20）

正答値	正答値と実験結果値との比較					
ひびわれ幅	一致（±0.0mm）		誤差（±0.1mm）		誤差（±0.2mm以上）	
0.1mm	4	100%	0	0%	0	0%
0.2mm	5	83%	1	17%	0	0%
0.3mm	2	100%	0	0%	0	0%
0.4mm	3	75%	1	25%	0	0%
0.5mm	3	75%	1	25%	0	0%

※「ひびわれ幅」は、テストパターンの線幅を示す。

ひびわれ幅の定量値評価が可能な 2 機器について、正答値と実験結果値とを比較した結果、両機器とも、最小ひびわれ幅は 0.1mm まで判別可能であり、また全てのひびわれ幅において 8 割程度が正答値と一致する結果であった。ここで、誤差±0.1mm までの誤差を許容すると仮定すると、調査機器 A においては、9 割以上が正答値と一致し、調査機器 D では、全て一致した。

ここで、調査機器 A については、調査機器（カメラ本体）は設定した狭隘部の空間に進入させることが不可であったため、下写真に示す通り、狭隘部入口から狭隘空間を撮影する方法でテストパターンを撮影し評価を行った。従って、狭隘部入口から 500mm 以上の位置に設置されているテストパターン等では（斜め画角からの撮影となる）、評価が不可となるものが全体の 44%（不可 16／全数 36）であった。

▲「調査機器 A」の検証実験風景

Ⅰ．調査機器Ａの評価結果

表 6.2.19(1)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）【調査機器 A】

上１－１				下１－１			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○	A	0.2	0.2	○
B	0.2	0.2	○	B	0.5	0.4	×
C	0.5	0.5	○	C	0.1	0.1	○
D	0.4	0.4	○	D	0.3	0.3	○
E	0.3	0.3	○	E	0.4	0.4	○
上１－２				下１－２			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.5			A	0.5		
B	0.1			B	0.1		
C	0.3			C	0.3		
D	0.2			D	0.2		
E	0.4			E	0.4		
上１－３				下１－３			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.2		
B	0.5	0.5	○	B	0.5		
C	0.1	0.1	○	C	0.4		
D	0.3	0.3	○	D	0.2		
E	0.4	0.4	○	E	0.1		
上１－４				下１－４			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2			A	0.1	0.3	×
B	0.5			B	0.2	0.5	×
C	0.4			C	0.5	0.4	×
D	0.2			D	0.4	0.2	×
E	0.1			E	0.3	0.1	×
上１－５				下１－５			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2			A	0.1	0.1	○
B	0.5			B	0.2	0.2	○
C	0.4			C	0.5	0.5	○
D	0.2			D	0.4	0.3	×
E	0.1			E	0.3	0.3	○
上１－６				下１－６			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.6	×	B	0.5	0.4	×
C	0.4	0.5	×	C	0.4	0.4	○
D	0.2	0.4	×	D	0.2	0.2	○
E	0.1	0.3	×	E	0.1	0.1	○

：一致
：不一致

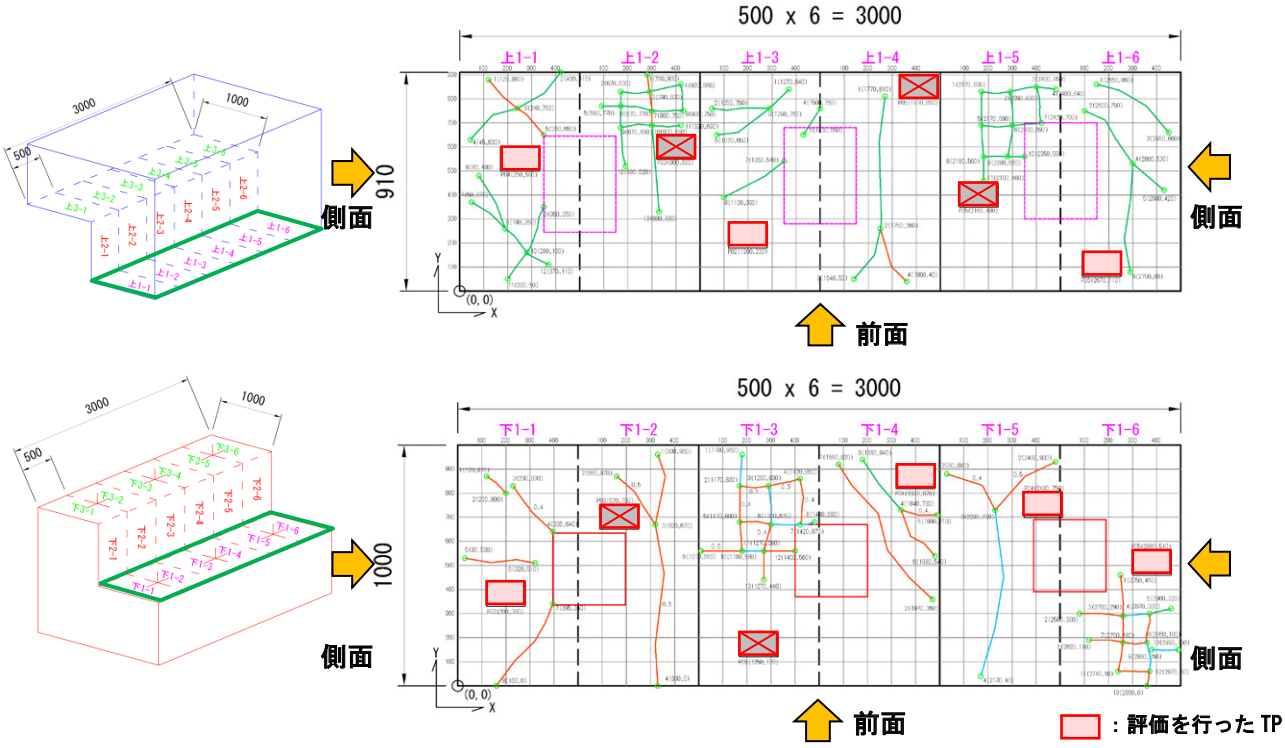


図 6.2.5(1)　テストパターン（TP）の設置位置と評価状況

表 6.2.19(2)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）【調査機器 A】

上２－１				下２－１			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.1	0.1	○
B	0.5	0.5	○	B	0.2	0.2	○
C	0.1	0.1	○	C	0.5	0.5	○
D	0.3	0.3	○	D	0.4	0.4	○
E	0.4	0.4	○	E	0.3	0.3	○
上２－２				下２－２			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.3	×	A	0.5		
B	0.5	0.5	○	B	0.1		
C	0.4	0.4	○	C	0.3		
D	0.2	0.2	○	D	0.2		
E	0.1	0.1	○	E	0.4		
上２－３				下２－３			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2			A	0.2		
B	0.5			B	0.5		
C	0.4			C	0.1		
D	0.2			D	0.3		
E	0.1			E	0.4		
上２－４				下２－４			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.1			A	0.2		
B	0.2			B	0.5		
C	0.5			C	0.4		
D	0.4			D	0.2		
E	0.3			E	0.1		
上２－５				下２－５			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.5			A	0.2		
B	0.1			B	0.5		
C	0.3			C	0.1		
D	0.2			D	0.3		
E	0.4			E	0.4		
上２－６				下２－６			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○	A	0.5	0.5	○
B	0.2	0.3	×	B	0.1	0.1	○
C	0.5	0.5	○	C	0.3	0.3	○
D	0.4	0.4	○	D	0.2	0.2	○
E	0.3	0.3	○	E	0.4	0.4	○

：一致
：不一致

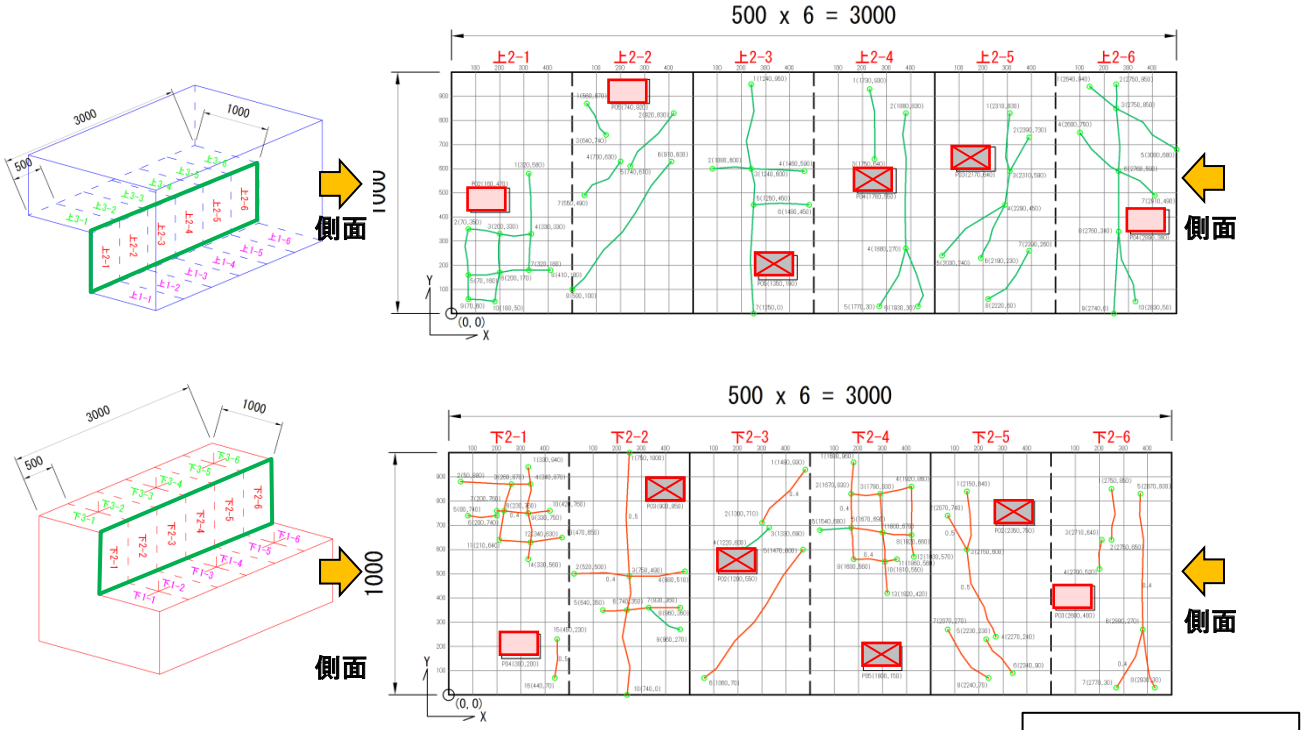


図 6.2.5(2)　テストパターン（TP）の設置位置と評価状況

表 6.2.19(3)　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）【調査機器 A】

上３－１ No	正答値	実験結果	判定	下３－１ No	正答値	実験結果	判定
A	0.5	0.5	○	A	0.2	0.2	○
B	0.1	0.1	○	B	0.5	0.5	○
C	0.3	0.3	○	C	0.1	0.1	○
D	0.2	0.2	○	D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.4	○	E	0.4	0.4	○

上３－２ No	正答値	実験結果	判定	下３－２ No	正答値	実験結果	判定
A	0.1			A	0.2	0.2	○
B	0.2			B	0.5	0.5	○
C	0.5			C	0.4	0.4	○
D	0.4			D	0.2	0.3	×
E	0.3			E	0.1	0.1	○

上３－３ No	正答値	実験結果	判定	下３－３ No	正答値	実験結果	判定
A	0.5	0.5	○	A	0.2	0.2	○
B	0.1	0.1	○	B	0.5	0.5	○
C	0.3	0.4	×	C	0.1	0.1	○
D	0.2	0.2	○	D	0.3	0.3	○
E	0.4	0.3	×	E	0.4	0.4	○

上３－４ No	正答値	実験結果	判定	下３－４ No	正答値	実験結果	判定
A	0.1			A	0.1	0.1	○
B	0.2			B	0.2	0.3	×
C	0.5			C	0.5	0.5	○
D	0.4			D	0.4	0.4	○
E	0.3			E	0.3	0.2	×

上３－５ No	正答値	実験結果	判定	下３－５ No	正答値	実験結果	判定
A	0.5			A	0.1		
B	0.1			B	0.2		
C	0.3			C	0.5		
D	0.2			D	0.4		
E	0.4			E	0.3		

上３－６ No	正答値	実験結果	判定	下３－６ No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.5	0.5	○
B	0.5	0.5	○	B	0.1	0.2	×
C	0.1	0.1	○	C	0.3	0.3	○
D	0.3	0.3	○	D	0.2	0.2	○
E	0.4	0.4	○	E	0.4	0.4	○

：一致
：不一致

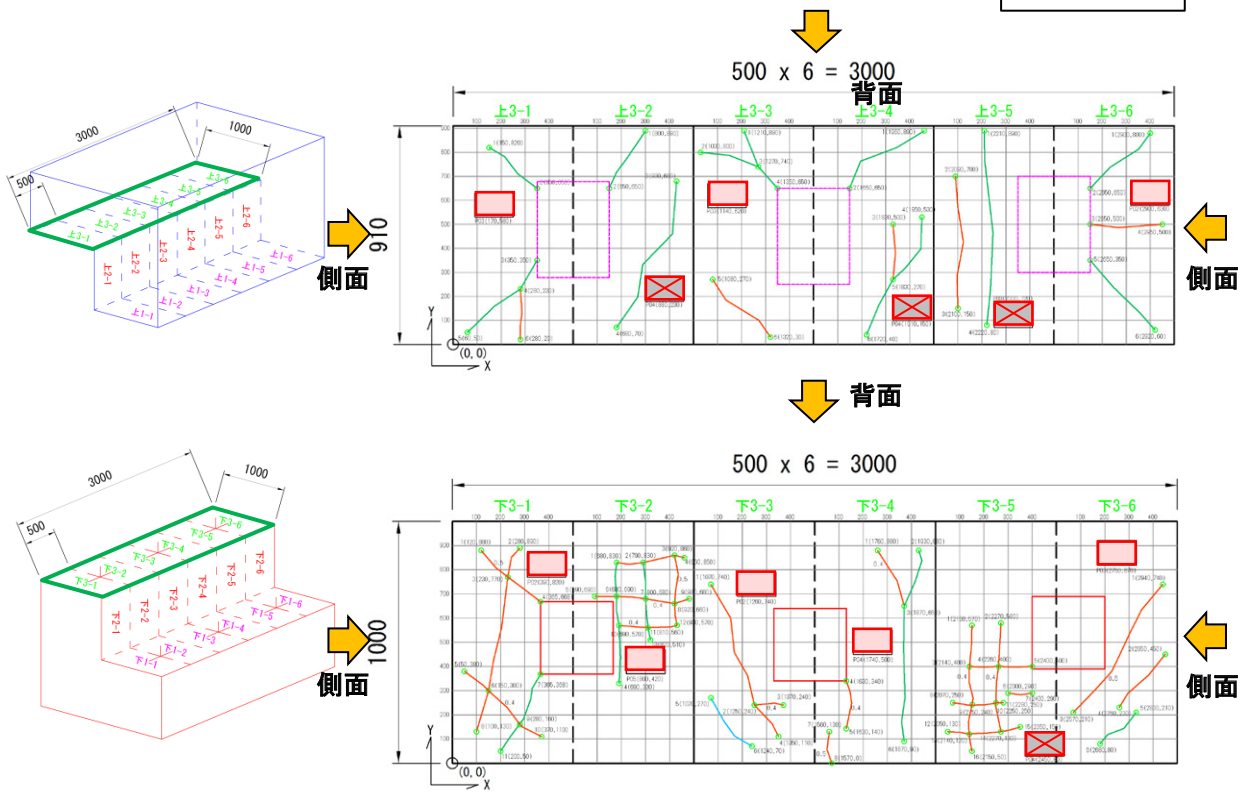


図 6.2.5(3)　テストパターン（TP）の設置位置と評価状況

：評価を行った TP
：評価不可の TP

Ⅱ．調査機器Ｄの評価結果

表 6.2.20　ひびわれ幅の評価結果（テストパターンでの評価）【調査機器 D】

上２－３				下２－３			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.2	0.2	○	A	0.2	0.2	○
B	0.5	0.4	×	B	0.5	0.5	○
C	0.4	0.3	×	C	0.1	0.1	○
D	0.2	0.1	×	D	0.3	0.3	○
E	0.1	0.1	○	E	0.4	0.4	○
上２－４				下２－４			
No	正答値	実験結果	判定	No	正答値	実験結果	判定
A	0.1	0.1	○	A	0.2	0.2	○
B	0.2	0.2	○	B	0.5	0.5	○
C	0.5	0.5	○	C	0.4	0.4	○
D	0.4	0.4	○	D	0.2	0.2	○
E	0.3	0.3	○	E	0.1	0.1	○

：一致
：不一致

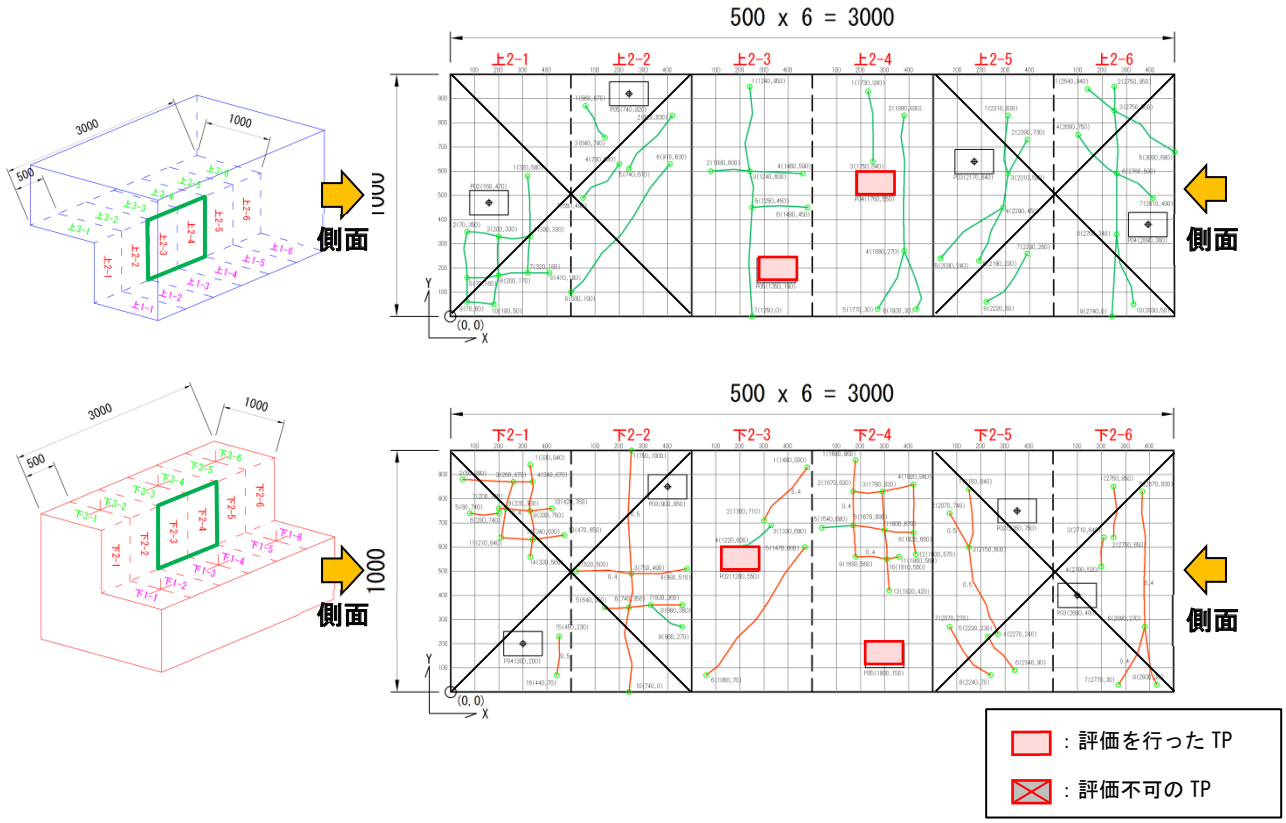


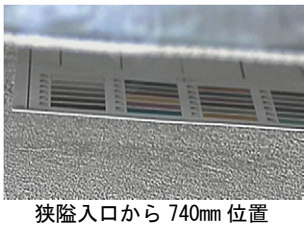
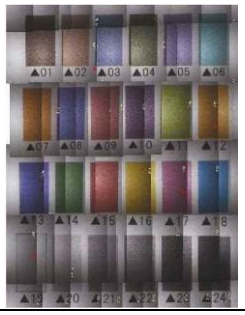
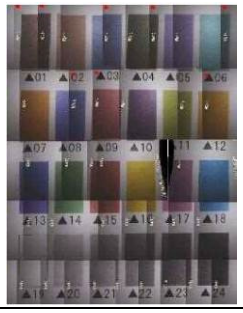
図 6.2.6　テストパターン（TP）の設置位置と評価状況

②色調情報取得の評価

対象調査機器：「調査機器 A」、「調査機器 B」、「調査機器 D」、「調査機器 C」

調査機器で取得したテストパターンのカラーチャート（見本）との色調の比較を行う。ここで、調査機器毎に代表的なカラーチャートの画像を、表 6.2.21 に示す。

表 6.2.21　調査機器毎の代表的なカラーチャート画像比較

調査機器	カラーチャート見本	代表的な画像	評価
A		狭隘部入口から 110mm 位置のテストパターン  狭隘入口から 740mm 位置のテストパターン	狭隘部入口から近接している範囲においては、対象物と正対に近い形で撮影できるため、色調は正確に捉えることができるが（左写真）、狭隘部奥側になると、斜め画像となるため、色調の判定は難しい。
B			取得する画像は、対象物に対して、斜方向となる。光量不足に起因すると推測されるが、色調の判別は難しい。
D		 	調査機器の特徴として、数枚の画像を重ね合わせて、カラーチャートの画像を取得している。色調の判定は概ね可能であるが、重ね合わせした画像毎に色調が異なっている。
E			個々の色に対する色調の判定は概ね可能であると言える。ただし、局所的な色調の判断は可能であるのに対し、広がりを持った色調への対応は難しいものと思われる。

※カラーチャート（見本）は全て共通。室内照明の下、別途撮影した（2304×1728、ISO-2500）。

③範囲情報（寸法）及び④位置情報（座標）の評価
対象調査機器：「D：桁端狭隘部外観調査装置」

調査機器で③範囲情報（寸法）及び④位置情報（座標）を定量的に取得できる、「D：桁端狭隘部外観調査装置」について、評価を行った。評価の内容を下記に示す。

③範囲情報（寸法）の評価

主に、再現供試体表面に模擬したひびわれ損傷の形状（調査機器で取得したひびわれ端点及び交点の座標）を予め取得した正しい座標値と比較する。

④位置情報（座標）の評価

調査機器で取得した、テストパターンの中心（マーク位置）の座標と、予め取得した正解の座標値とを比較する。

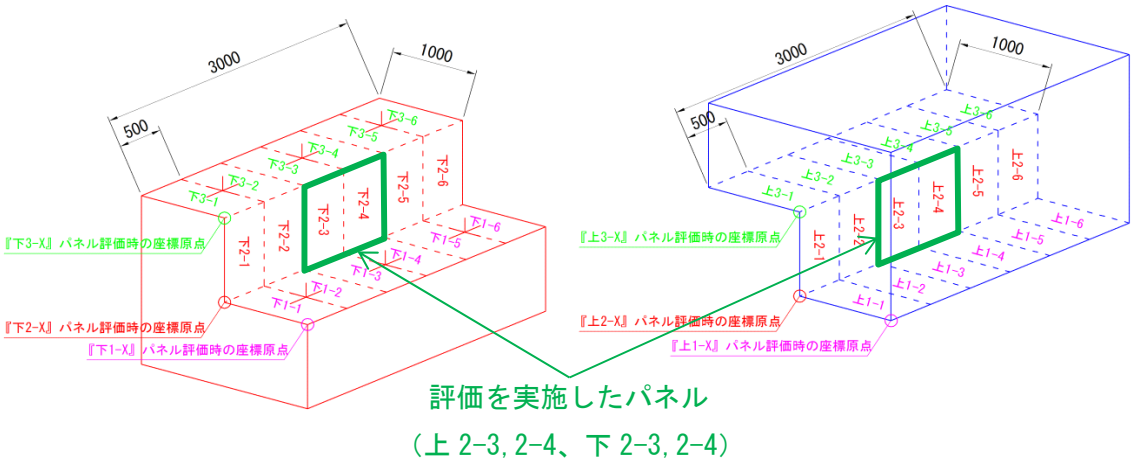
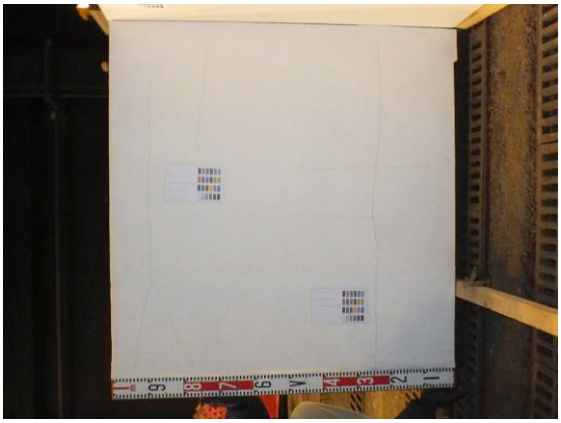


図 6.2.7　評価を実施したパネル（調査機器 D）

▲パネル状況（下 2-3, 2-4）



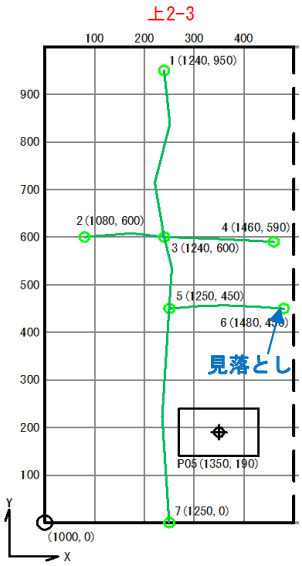
▲パネル状況（上 2-3, 2-4）

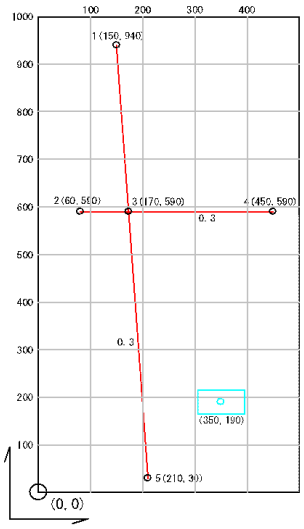
対象パネルの正解値（予め取得したひびわれ等の損傷情報）と「D：桁端狭隘部外観調査装置」において、取得した結果から作成したひびわれ図を併記したものを、表 6.2.22(1)～(2)に示す。また、ひびわれ損傷（模擬）の端点・交点座標、およびテストパターンの中心座標（中央マーク位置）の、正答値と実験値の評価判定を併せて示す。

表 6.2.22(1)　範囲情報及び位置情報の評価判定結果【調査機器 D】

正答値	実験結果	評価判定

＜パネル：上 2-3＞



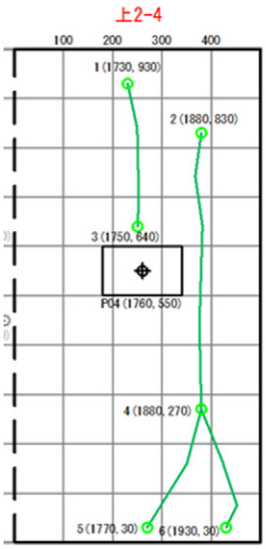


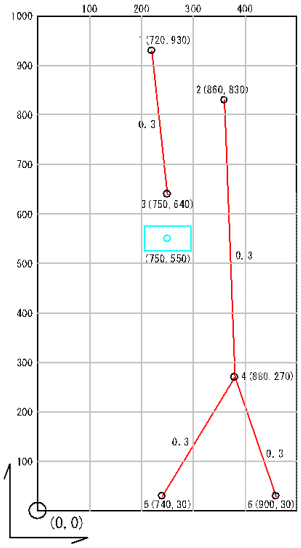
No	正答値		実験値		誤差		判定
	X	Y	X	Y	X	Y	
ひびわれの端点・交点の座標判定							
1	1240	950	1150	940	90	10	×
2	1080	600	1060	590	20	10	○
3	1240	600	1170	590	70	10	×
4	1460	590	1450	590	10	0	○
5	1250	450	－	－	－	－	×
6	1480	450	－	－	－	－	×
7	1250	0	1210	30	40	-30	○
テストパターンの座標							
1	1350	190	1350	190	0	0	○

：一致
：不一致

※ひびわれ 1 か所（No5－No6）の見落としあり。

＜パネル：上 2-4＞





No	正答値		実験値		誤差		判定
	X	Y	X	Y	X	Y	
ひびわれの端点・交点の座標判定							
1	1730	930	1720	930	10	0	○
2	1880	830	1860	830	20	0	○
3	1750	640	1750	640	0	0	○
4	1880	270	1880	270	0	0	○
5	1770	30	1740	30	30	0	○
6	1930	30	1900	30	30	0	○
テストパターンの座標							
1	1760	550	1750	550	10	0	○

：一致
：不一致

凡例

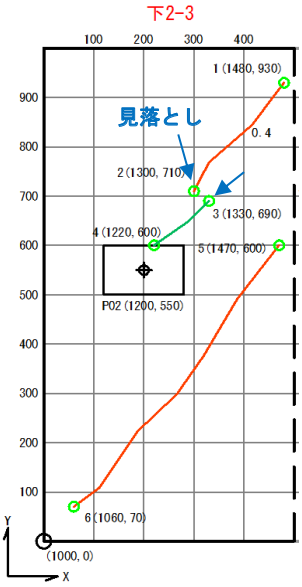
- 0.2mm未満
- 0.2mm以上0.3mm未満
- 0.3mm以上

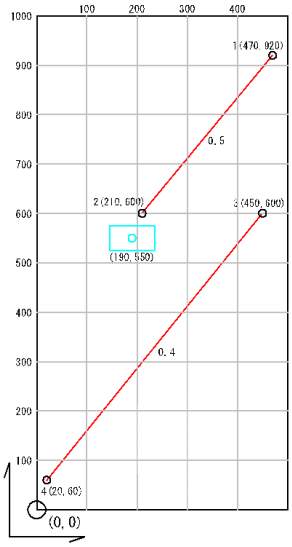
※評価判定は、誤差±50mm 以下を○とした。

表 6.2.22(2)　範囲情報及び位置情報の評価判定結果【調査機器 D】

正答値	実験結果	評価判定

＜パネル：下 2-3＞



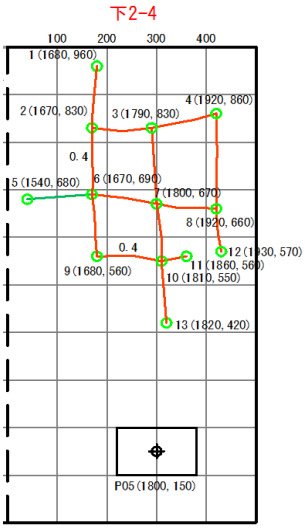


No	正答値		実験値		誤差		判定
	X	Y	X	Y	X	Y	
ひびわれの端点・交点の座標判定							
1	1480	930	1470	920	10	10	○
2	1300	710	－	－	－	－	×
3	1330	690	－	－	－	－	×
4	1220	600	1210	600	10	0	○
5	1470	600	1450	600	20	0	○
6	1060	70	1020	60	40	10	○
テストパターンの座標							
1	1200	550	1190	550	10	0	○

：一致
：不一致

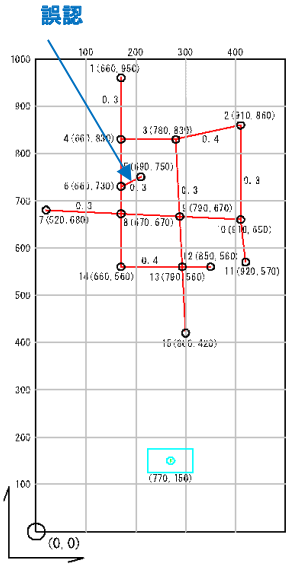
※ひびわれの端点、2 か所（No2、No3）の見落としあり。

＜パネル：下 2-4＞



凡例

- 0.2mm未満
- 0.2mm以上0.3mm未満
- 0.3mm以上



No	正答値		実験値		誤差		判定
	X	Y	X	Y	X	Y	
ひびわれの端点・交点の座標判定							
1	1680	960	1660	950	20	10	○
2	1670	830	1660	830	10	0	○
3	1790	830	1780	830	10	0	○
4	1920	860	1910	860	10	0	○
5	1540	680	1520	680	20	0	○
6	1670	690	1670	670	0	20	○
7	1800	670	1790	670	10	0	○
8	1920	660	1910	650	10	10	○
9	1680	560	1660	560	20	0	○
10	1810	550	1790	560	20	-10	○
11	1860	560	1850	560	10	0	○
12	1930	570	1920	570	10	0	○
13	1820	420	1800	420	20	0	○
テストパターンの座標							
1	1800	150	1770	150	30	0	○

：一致
：不一致

※図中、矢印箇所のひびわれの、誤認あり。

※評価判定は、誤差±50mm 以下を○とした。

調査機器Dで取得した、画像データ（対象パネル）を**図 6.2.8(1)～(2)**に示す。

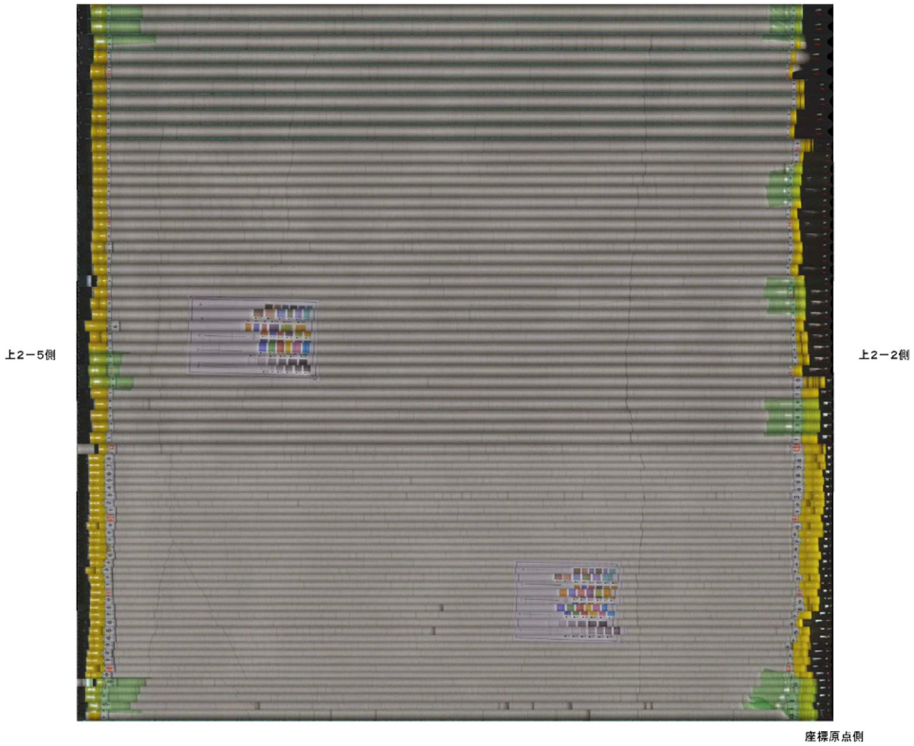


図 6.2.8(1)　調査機器Dで取得したデータ（パネル上 2-3、2-4）

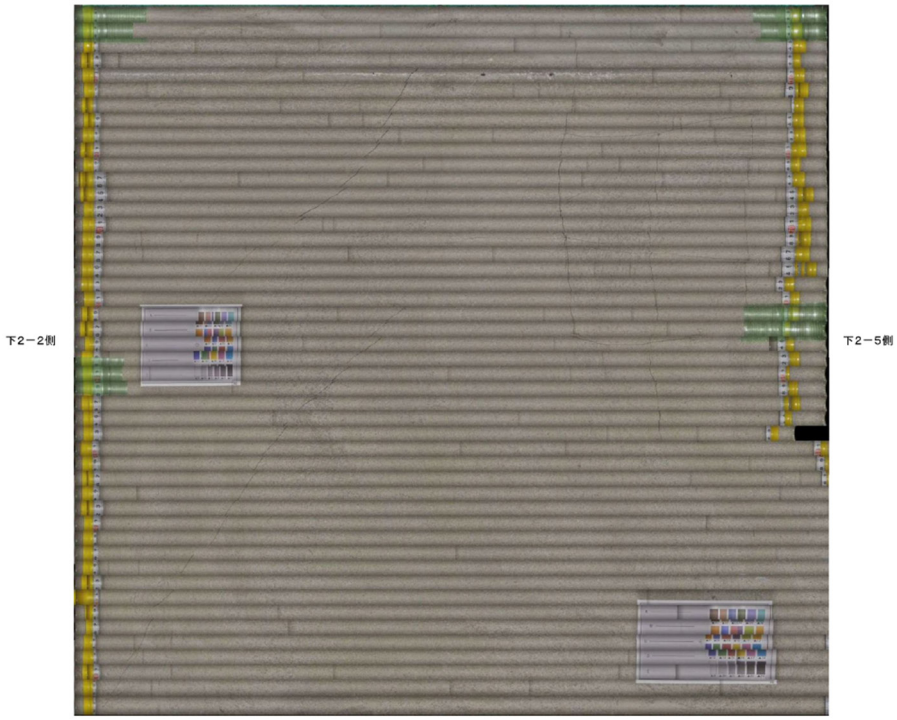


図 6.2.8(2)　調査機器Dで取得したデータ（パネル下 2-3、2-4）

（4）検証実験結果のまとめ

作製した模擬試験体ごとに行った検証実験結果を取りまとめた。

また、模擬供試体ごとに行った評価の取りまとめを**表 6.2.23（1）～（8）**に示す。

1）模擬試験体ごとの検証実験結果の概要と考察

①Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）

＜検証実験結果の概要＞

・A～C の調査機器が調査可能、D、E の調査機器が調査不可であった。

・進入可能な狭隘部の寸法は、検証実験を実施した 100 ㎜、250 ㎜、400 ㎜の内、A と B の調査機器が 250 ㎜、C の調査機器が 400 ㎜であれば調査可能であった。

・進入深さでは、A、B の調査機器はそれぞれ桁下から 11.5m、4.8m の範囲まで調査でき、橋面から調査した C の調査機器では主桁下面から 1.3m の範囲までは調査可能であった。

・画像取得性能に着目すると、色調情報は A、C の調査機器で取得できたが、B は画像を取得できたが色調の判断は困難であった。

・損傷の位置情報はどの調査機器も取得できなかった。

・調査を実施したひび割れ幅の正答率は調査機器 A で 80%、調査機器 C では 47%であった。

・範囲情報は定量値を取得できるものはなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 D、E が実施困難だった理由は、それぞれ対象としている狭隘部の構造が異なるためであった。

調査機器 D、E が実施困難だった理由から、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いかニーズを示すことによって、調査機器の開発目標となり、ニーズのある部位や構造に適用可能な調査機器が開発される可能性があると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に**表 6.1.1** で把握していた情報通りの結果となり、進入可能かどうかについては、検証実験によらずしても把握できる性能と考えられる。

曲がりに対応したものは調査機器 B のみであった。曲がりに対応した調査機器 B と曲がりに対応していない調査機器 A や C の試験結果を比較すると、曲がりに対応できるからと言って必ずしも曲がりに対応していない調査機器よりも多くの損傷を把握できるとは限らない。

部材への近接については、桁下から実施する調査機器（調査機器 A、B）と橋面から実施する調査機器（調査機器 C）の 2 パターンであった。橋の状況（桁下空間が高い、交差物件など）によっては部材への近接方法は異なると考えられるため、部材への近接

方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目であると考えられる。

Case1 では、損傷の見逃しがみられた。画像の取得性能が十分でなかったことにより見逃しが生じた可能性もあるが、一方でひびわれ幅の定量情報の取得が可能であったことから、一定の画像取得性能を有した機器で見逃しが生じたのは、その損傷が生じている部分に到達できなかったことが理由として考えられる。そのため、単純に進入深さ、曲がりといった指標を個別に評価するのでなく、これらをあわせて評価する必要があると考えられる。しかし、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして見逃しが生じ得る可能性について検証した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

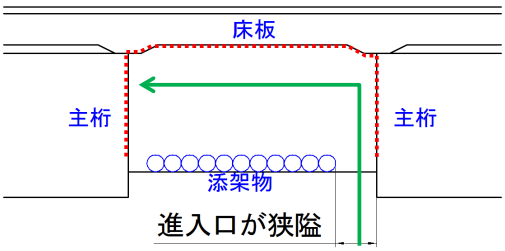
ひびわれ幅の定量的評価については、ひびわれ幅の情報を取得した調査機器 A で 80%、調査機器 C で 47%とある程度の正答率を有していた。両調査機器とも 100%の精度は有しておらず、適用する調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

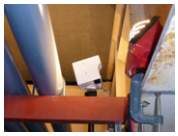
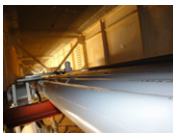
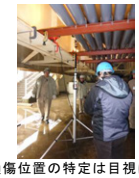
色調情報は、調査機器 A、C では取得可能であった。調査機器 B では画像は取得したものの、画像が粗く色調の判別が困難であった。取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、色調情報の取得機能も向上するものと考えられる。

範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、どの調査機器でも定量値を取得できなかった。曲がりや進入深さといった移動性能の向上が図られたとしても、発見した損傷の範囲や位置情報を正確に捉えられなければ適切な損傷程度の判断ができないため、これらの点は調査機器の性能の向上が望まれる。

表 6.2.23(1)　「Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）」の実験結果のまとめ

『Case1：添架物と桁の組合せ部（進入口が狭隘）』の実験結果の取りまとめ



調査機器		A	B-②	C	D	E
狭隘部における移動性能	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	250mm	250mm	400mm	点検装置自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	狭隘部のみを対象とした点検装置であるため、適用外となる。
	Ⅱ進入深さ	11.5m	4.8m	1.3m		
	Ⅲ曲がり回数	0回	1回	0回		
	Ⅳ部材への近接	桁下から（人力移動可能）	桁下から（人力移動不可能）	橋面から（人力移動不可能）		
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）	定量値の取得不可	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）		
	②色調情報	適用可能	適用困難	適用可能		
	③範囲情報（寸法情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可		
	④位置情報（座標情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可	定量値の取得不可		
特記事項		点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、カメラ固定用の三脚・操作用端末（PC）と狭隘部を撮影するための照明（要電源）が必要となる。	点検装置本体の運搬・移動には、2tユニックが必要となる。また、装置の操作には、別途電源が必要となる。	点検装置の運搬に、2tトラックが必要となる。また、点検装置の組立（準備）には、2m×10m程度のスペースが必要となる。橋梁への適用範囲は、遮音壁高さ1.4m以下、総幅員15m未満、桁高4m未満となる。		
検証実験実施状況		実験風景	実験風景	実験風景		
		 狭隘部への進入状況	 狭隘部への進入状況	準備状況		
		 損傷位置の特定は目視にて行う	点検装置の運搬	点検装置の運搬		

②Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）

＜検証実験結果の概要＞

・A、B の調査機器が調査可能、C～E の調査機器が調査不可であった。

・進入可能な狭隘部の寸法は、検証実験を実施した 100 ㎜、200 ㎜の内、A と B の調査機器ともに 200 ㎜であれば調査可能であった。

・進入深さでは、A、B の調査機器はそれぞれ桁下から 11.5m、4.8mの範囲までは調査可能であった。

・画像取得性能に着目すると、色調情報は A では取得できた、調査機器 B は損傷を発見できなかったため評価できなかった。損傷の位置情報は両機器とも取得できなかった。

・調査を実施したひび割れ幅の正答率は調査機器 A で 100％であった。

・範囲情報は定量値を取得できるものはなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 C、D、E が実施困難だった理由は、調査機器 C は狭隘部の進入が困難であったこと(進入口 200 ㎜に対してカメラ本体が 400㎜ であったため)、調査機器 D、E は対象としている狭隘部の構造が異なるためである。

調査機器 D、E が実施困難だった理由から、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いかニーズを示すことによって、調査機器の開発目標となり、ニーズのある部位や構造に適用可能な調査機器が開発される可能性がある。

調査機器 C が実施困難だったのは寸法によるものであるが、調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能と考えられる。

曲がりに対応したものは調査機器 B のみであった。曲がりに対応した調査機器 B と曲がりに対応していない調査機器 A の試験結果を比較すると、曲がりに対応できるからと言って必ずしも曲がりに対応していない調査機器よりも多くの損傷を把握できるとは限らない。

部材への近接については、桁下から実施する調査機器を対象とした。橋の状況（桁下空間が高い、交差物件など）によっては部材への近接方法は異なると考えられるため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目であると考えられる。

Case2 では、損傷の見逃しがみられた。画像の取得性能が十分でなかったことにより見逃しが生じた可能性もあるが、一方でひびわれ幅の定量情報の取得が可能であったことから一定の画像取得性能を有した機器で見逃しが生じたのは、その損傷が生じている部分に到達できなかったことが理由として考えられる。そのため、単純に進入深さ、曲がりといった指標を個別に評価するのでなく、これらをあわせて評価する必要があると考えられる。しかし、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして見逃しが生じ得る可能性について検証した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

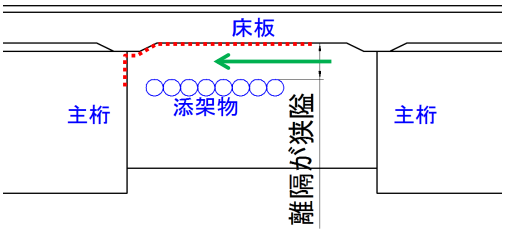
ひびわれ幅の定量的評価については、ひびわれ幅の情報を取得した調査機器 A で 100%（回答数 5）の正答率を有していた。Case2 では 100%の正答率となったが、他のケースでは、必ずしも 100%の正答率は有しておらず、対象とする構造に対して調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

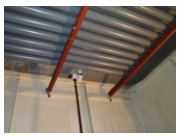
色調情報は、調査機器 A で取得可能であった。取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、さらに色調情報の取得機能も向上するものと考えられる。

範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、調査機器 A、B とも定量値を取得できなかった。曲がりや進入深さといった移動性能の向上が図られたとしても、発見した損傷の範囲や位置情報を正確に捉えられなければ適切な損傷程度の判断ができないため、これらの点は調査機器の性能の向上が望まれる課題といえる。

表 6.2.23(2)　「Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）」の実験結果のまとめ

『Case2：添架物と桁の組合せ部（対象部材との離隔が狭隘）』の実験結果の取りまとめ



調査機器		A	B-②	C	D	E
狭隘部における移動性能	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	200mm	200mm	点検カメラサイズが400mmのため、適用外	点検装置自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	狭隘部のみを対象とした点検装置であるため、適用外となる。
	Ⅱ進入深さ	0mm	0mm			
	Ⅲ曲がり回数	0回	0回			
	Ⅳ部材への近接	桁下から（人力移動可能）	桁下から（人力移動不可能）			
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）（但し、狭隘部入口から300mm以内）	損傷の発見ができなかった			
	②色調情報	適用可能（但し、狭隘部入口から300mm以内）				
	③範囲情報（寸法情報）	定量値の取得不可				
	④位置情報（座標情報）	定量値の取得不可				
特記事項		点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、カメラ固定用の三脚・操作用端末（PC）と狭隘部を撮影するための照明（要電源）が必要となる。	点検装置本体の運搬・移動には、2tユニックが必要となる。また、装置の操作には、別途電源が必要となる。			
検証実験実施状況		実験風景	実験風景			
		 狭隘部への進入状況	狭隘部への進入状況			
		損傷位置の特定は目視にて行う	点検装置の運搬			

③Case3：端横桁背面

＜検証実験結果の概要＞

・Case3 では鋼橋とコンクリート橋の桁端横桁背面をそれぞれ想定した検証実験を実施した。

・コンクリート橋を模擬した端横桁の背面は、D の調査機器のみ調査可能であったが、鋼橋を模擬した端横桁背面は部材接合部のボルトの突出により、D の調査機器でも調査不可能であった。

・D の調査機器は、桁端横桁の調査を対象にした調査機器であり、検証実験を実施した 50 ㎜の隙間でも調査可能であった。

・検証を実施したひび割れ幅の正答率は 50％であった。

・色調情報は取得可能で、範囲情報や位置情報は誤差 50 ㎜以内で定量値を取得できた。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 A、B、C、E が実施困難だった理由は、曲がりに未対応で橋台正面の端横桁と橋座の隙間から進入しても調査できないこと、桁側面からの進入も端横桁と胸壁の隙間の寸法が各調査機器の適用可能な寸法内でなかったことが挙げられる。

調査機器 D のみが調査可能であったことから、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いかニーズを示すことによって、調査機器の開発目標となり、ニーズのある部位や構造に適用可能な調査機器が開発される可能性がある。

調査機器 A、B、C、E が実施困難だった理由は曲がりや寸法によるものであるが、寸法については調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

曲がりについては、調査対象となる狭隘部のどの位置でどれだけの回数曲がる必要があるかが橋ごとに異なることを踏まえると、調査機器の曲がりの対応の有無やその回数を示すのみではなく、模擬試験体を用いて適用性を判断する方法も有効であると考えられる。

調査機器が進入する方向や箇所は、任意で決定できる。例えば、本ケースでは側面から進入することや橋台正面から進入することが考えられる。この条件は、調査の対象となる狭隘部や使用する機器により異なるため、模擬試験体を用いて適用性を判断する方法は有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能である可能性がある。一方で、鋼橋を模擬したケースでは、部材接合部のボルトの突出により調査可能な範囲内の寸法であっても調査機器 D が調査で

きなかった。そのため、進入可能な狭隘部の寸法は事前に把握した情報で調査の可否を判断できるものが多い一方で、想定していない事象によって現場で適用できなくなるケースも考えられることから、調査対象となる構造への各機器の適用性を事前に検証し、把握しておくことが重要であると考えられる。

調査機器Dは曲がりに対応していないがCase3の構造に対しては調査可能であった。対象となる構造や調査機器によっては曲がりに対応していなくても調査が可能な場合もあり、単に曲がりの回数を把握することも重要であるが、調査対象となる構造への各機器の適用性を事前に検証し、把握しておくことも重要であると考えられる。

部材への近接については、桁側面に調査機器Dを設置して検証実験を実施した。橋の状況（桁下空間が高い、交差物件など）によっては部材への近接方法は異なると考えられるため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目であると考えられる。

Case3では、損傷の見逃しがみられた（橋台側は見逃しなし、端横桁背面側で見逃しあり）。対象となる狭隘部の奥行方向には機器は移動しており、また一定の画像取得性能もあることから、カメラの向きによって損傷を発見できなかったと考えられる。そのため、対象となる部材の全範囲を移動できることに加えて、カメラの対象面を変更できることも必要と考えられる。しかし、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして見逃しが生じ得る可能性について検証した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

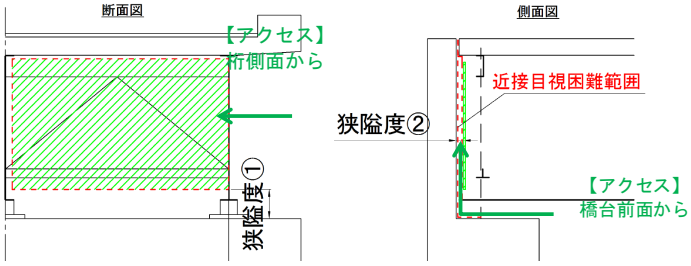
ひびわれ幅の定量的評価については、検証実験を実施した調査機器Dで50%（回答数10）の正答率を有していた。そのため、適用する調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

色調情報は、調査機器Dで取得可能であったが画像が暗く見えにくい部分も含まれている。そのため、取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、さらに色調情報の取得機能も向上するものと考えられる。

範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、調査機器Dにて、50㎜以内の誤差で把握することができた。調査機器を現場に適用するにあたっては、調査機器による調査がどの程度の誤差を有しているかを把握した上で実施するのが良いと考えられる。

表 6.2.23 (3)　「Case3：端横桁背面（鋼桁）」の実験結果のまとめ

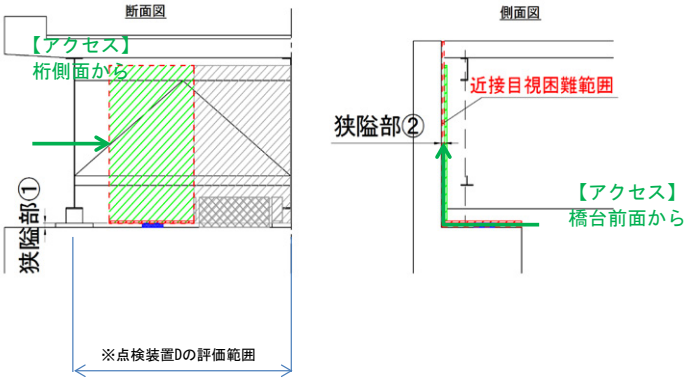
『Case3：端横桁背面（鋼桁）』の実験結果の取りまとめ

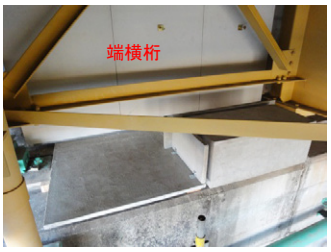


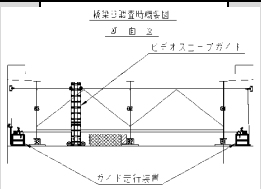
調査機器		A	B	C	D	E
動性能 狭隘部における移	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	再現供試体背面にボルトが突出している箇所があるため、適用外。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。
	Ⅱ進入深さ					
	Ⅲ曲がり回数					
	Ⅳ部材への近接					
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）					
	②色調情報					
	③範囲情報（寸法情報）					
	④位置情報（座標情報）					
特記事項						
検証実験実施状況						

表 6.2.23(4)　「Case3：端横桁背面（コンクリート桁）」の実験結果のまとめ

『Case3：端横桁背面（コンクリート桁）』の実験結果の取りまとめ





調査機器		A	B	C	D	E
性能 狭隘部における移動	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	40mm （最小20mmまで対応可能）	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。
	Ⅱ進入深さ				最大10mまで対応	
	Ⅲ曲がり回数				0回	
	Ⅳ部材への近接				桁側面から （沓座に作業スペースが必要）	
画像の取得性能	①解像度情報 （ひびわれ幅の定量評価）				最小0.1mm （誤差範囲±0.1mm以内）	
	②色調情報				適用可能	
	③範囲情報（寸法情報）				誤差50mm以内	
	④位置情報（座標情報）				誤差50mm以内	
特記事項					点検装置の設置の設置には、沓座に1.0m×1.0m程度のスペースが必要となる。 また、点検装置設置には、躯体にアンカーを打込み固定する必要がある。点検実施に際しては、電源が必要となる。	
検証実験 実施状況					 点検装置全景	
					 実験風景	
					 	

④Case4：狭隘な支承部

＜検証実験結果の概要＞

・A の調査機器のみ調査可能、B～E の調査機器は調査不可であった。

・調査を実施した調査機器 A も狭隘部に進入するのではなく、狭隘部の進入口付近(外部)から狭隘部を覗き込むように調査を実施したものである。

・進入口付近しか調査できていないため、ひびわれ幅、色調情報、損傷範囲の情報を取得できていない。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 B、C、D、E が実施困難だった理由は、曲がりに未対応で橋台正面の端横桁と橋座の隙間から進入しても調査できないこと、桁側面からの進入も端横桁と胸壁の隙間の寸法が各調査機器の適用可能な寸法内でなかったことが挙げられる。調査機器 A についても調査を実施しているが、狭隘部に進入することができなかった理由については他の機器と同様である。

調査機器 A～E が実施困難だった理由は曲がりや寸法によるものであるが、寸法については調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

曲がりについては、調査対象となる狭隘部のどの位置でどれだけの回数曲がる必要があるかが橋ごとに異なることを踏まえると、調査機器の曲がりの対応の有無やその回数を示すのみではなく、模擬試験体を用いて適用性を判断する方法も有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能と考えられる。

曲がりについては、狭隘部に進入した機器がないため本ケースでは考察するための情報を得られていない。

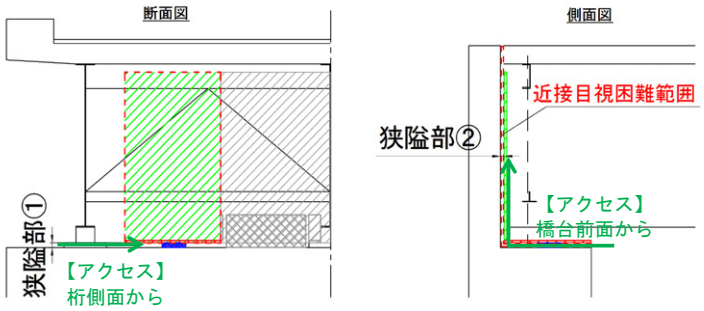
部材への近接について、調査機器 A は橋台前面から調査を実施することとした。橋の状況（桁下空間が高い、交差物件など）によっては部材への近接方法は異なると考えられるため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目であると考えられる。

■画像の取得性能について

画像の取得性能については、狭隘部に進入した機器がないため本ケースでは考察するための情報を得られていない。

表 6.2.23(5)　「Case4：狭隘な支承部」の実験結果のまとめ

『Case4：狭隘な支承部』の実験結果の取りまとめ



調査機器		A	B	C	D	E
動性能 狭隘部における移	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。 実験は実施したが、定量値を取得した評価項目がないため、適用外とした。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	点検装置自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。
	Ⅱ進入深さ					
	Ⅲ曲がり回数					
	Ⅳ部材への近接					
画像の取得性能	①解像度情報 （ひびわれ幅の定量評価）					
	②色調情報					
	③範囲情報（寸法情報）					
	④位置情報（座標情報）					
特記事項						
検証実験 実施状況						

⑤Case5：落橋防止構造の背面等

＜検証実験結果の概要＞

・A～E のいずれの調査機器でも調査できなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 A～E が実施困難だった理由は、曲がりに未対応で橋台正面の端横桁と橋座の隙間から進入しても調査できないこと、桁側面からの進入も端横桁と胸壁の隙間の寸法が各調査機器の適用可能な寸法内でなかったことが挙げられる。

調査機器 A～E が実施困難だった理由は曲がりや寸法によるものであるが、寸法については調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

曲がりについては、調査対象となる狭隘部のどの位置でどれだけの回数曲がる必要があるかが橋ごとに異なることを踏まえると、調査機器の曲がりの対応の有無やその回数を示すのみではなく、模擬試験体を用いて適用性を判断する方法も有効であると考えられる。

調査機器が進入する方向や箇所は、任意で決定できる。例えば、本ケースでは側面から進入することや橋台正面から進入することが考えられる。この条件は、調査の対象となる狭隘部や使用する機器により異なるため、模擬試験体を用いて適用性を判断する方法は有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能である可能性がある。

曲がりについては、狭隘部に進入した機器がないため本ケースでは考察するための情報を得られていない。

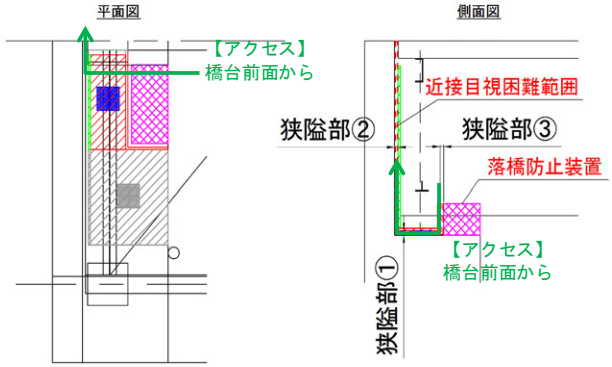
部材への近接については橋の設置状況によって、桁下空間が高いなどの理由で容易に落橋防止構造まで近接できない場合も考えられる。そのため部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別にも検討が必要な項目であると考えられる。

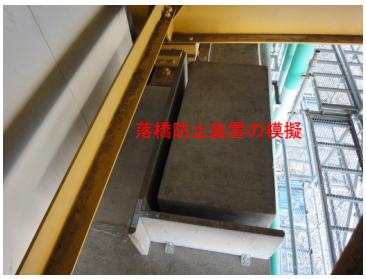
■画像の取得性能について

画像の取得性能については、狭隘部に進入した機器がないため本ケースでは考察するための情報を得られていない。

表 6.2.23(6)　「Case5：落橋防止構造の背面等」の実験結果のまとめ

『Case5：落橋防止構造の背面等』の実験結果の取りまとめ





調査機器		A	B	C	D	E
動性能 狭隘部における移	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。	点検装置自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	曲がり回数1回に未対応のため、適用外。 また、桁側面からの進入も不可。
	Ⅱ進入深さ					
	Ⅲ曲がり回数					
	Ⅳ部材への近接					
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）					
	②色調情報					
	③範囲情報（寸法情報）					
	④位置情報（座標情報）					
特記事項						
検証実験実施状況						

⑥Case6：鋼トラス等の上下弦材

＜検証実験結果の概要＞

・A、B、E の調査機器が調査可能、C、D の調査機器が調査不可であった。

・進入口となる水抜き孔（φ25）とハンドホール（φ150）では、水抜き孔から進入できた機器はなく、全てハンドホールから調査することとなった。

・進入深さは、A、B の調査機器がハンドホールから進入できなかったため 0m、E の調査機器は進入できたものの曲がりに対応できずに 0.5m となった。

・色調情報はすべての調査機器で取得したが、画像によっては色調の判断が困難である場合があった。

・範囲情報や位置情報についてはどの機器でも定量値を取得できなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 C、D が実施困難だった理由は、調査機器 C は狭隘部の進入が困難であったこと(進入口 200 ㎜に対してカメラ本体が 400㎜ であったため)、調査機器 D は対象としている狭隘部の構造が異なるためである。

調査機器 D が実施困難であった理由から、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いかニーズを示すことによって、調査機器の開発目標となり、ニーズのある部位や構造に適用可能な調査機器が開発される可能性がある。

調査機器 C が実施困難だったのは寸法によるものであるが、調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能でと考えられる。

曲がりに対応した調査機器はなかった。調査機器 B は曲がりに対応した機器であるが、狭隘部の条件によっては狭隘部内で曲がれないこともあることが分かる。そのため、単に曲がり回数を評価するだけではなく、対象とする構造に対して、調査機器の適用性を個別に判断することが重要と考えられる。

部材への近接については、実験室で実施したことにより鋼トラス等の点検を想定して正確に再現しているとは言い難い。そのため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目である。

Case6 では、ひび割れ幅の評価を行った調査機器 A では、損傷の見逃しがなかった。曲がりに対応していなくても、対象となる空間を移動でき、一定以上の画像を取得する性能

を有していれば、損傷の見逃しは防げると考えられる。しかし、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして見逃しが生じ得る可能性について検証した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

調査機器Eでは、コードを固定するためのガイドを用いて実験を行った。このように、本来想定されている方法に簡易的な工夫をすることで調査が可能となるケースも想定される。逆に、そのような工夫を施すことで調査可能と考えていた寸法内であっても調査を実施できないことも想定される。これについても、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして現場への適用性を予め把握するのが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

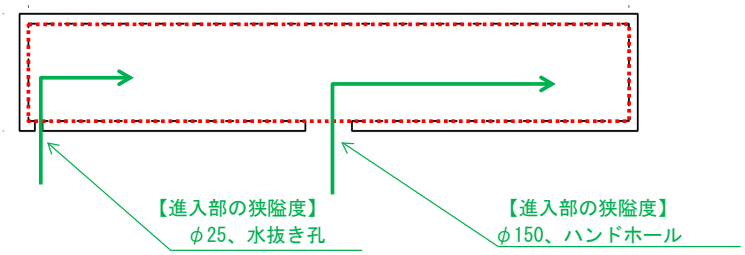
ひびわれ幅の定量的評価については、ひびわれ幅の情報を取得した調査機器Aで80%の正答率を有していた。一定の正答率は有しているものの100%の精度はなく、適用する調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

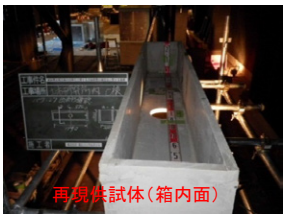
色調情報は、調査機器A、Bでは損傷面にカメラが正対できたものについては取得可能であった。一方で、損傷面がカメラに正対できないものは取得した画像が斜めに傾斜するなどして正確に情報を取得できないものもみられた。このことから、画像の取得性能のみだけでなく、損傷面に正対するための狭隘部内での移動性能も合わせて評価することが重要であることが確認できたと考えられる。また、調査機器Eでは画像を取得したものの、光量が不足し、暗い画像となっており色調の判別が困難であった。これについては、取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、色調情報の取得機能も向上するものと考えられる。

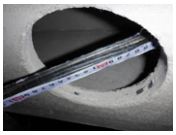
範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、どの調査機器でも定量値を取得できなかった。曲がりや進入深さといった移動性能の向上が図られたとしても、発見した損傷の範囲や位置情報を正確に捉えられなければ適切は損傷程度の判断ができないため、これらの点は調査機器の性能の向上が望まれる課題といえる。

表 6.2.23(7)　「Case6：鋼トラス等の上下弦材」の実験結果のまとめ

『Case6：鋼トラス・鋼アーチ等の上下弦材』の実験結果の取りまとめ





調査機器		A	B	C	D	E
狭隘部における移動性能	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	φ150mm	φ150mm	点検カメラのカメラ本体が400mmのため、狭隘部入口からの進入が不可。	調査機器自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	φ150mm
	Ⅱ進入深さ	0m	0m			0.5m
	Ⅲ曲がり回数	0回	0回			0回
	Ⅳ部材への近接	地表面から近接（実験室内のため）	地表面から近接（実験室内のため）			地表面から近接（実験室内のため）
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）	定量値の取得不可			定量値の取得不可
	②色調情報	一部適用可能（カメラ本体と正対できる面については対応可能）	一部適用可能（カメラ本体と正対できる面については対応可能）			適用不可（光量不足）
	③範囲情報（寸法情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可			定量値の取得不可
	④位置情報（座標情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可			定量値の取得不可
特記事項		調査機器本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、調査機器本体の他、操作用端末（PC）と狭隘部を撮影するための照明（要電源）が必要となる。	調査機器（ロボットアーム）から、カメラ本体を取り外し、人力で狭隘部進入口に設置した状態で実験を実施した。カメラ本体の他、画像保存用のPCが必要となる。			調査機器本体は、人力で移動・設置が可能。
検証実験実施状況		実験風景	点検カメラ			実験風景
		狭隘部への進入状況	実験風景			カメラ部
		狭隘部への進入状況	狭隘部への進入状況			 狭隘部への進入状況

⑦Case7：狭隘な桁下空間

＜検証実験結果の概要＞

・A、B の調査機器が調査可能、C～E の調査機器が調査不可であった。

・進入口の狭隘寸法は、検証実験を実施した 400 ㎜では、両調査機器ともに調査が可能であった。

・進入深さ（模擬試験体までの距離）では、A、B の調査機器はそれぞれ 3m、0mであった。

・画像取得性能に着目すると、色調情報は調査機器 A で取得できたが、調査機器 B では取得できなかった。損傷の範囲情報や位置情報は定量値を取得できなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器 C、D、E が実施困難だった理由は、調査機器 C は狭隘部の進入が困難であったこと(進入口 400 ㎜に対してカメラ本体が 400㎜ であったため)、調査機器 D、E は対象としている狭隘部の構造が異なるためである。

調査機器 D、E で実施困難だった理由から、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いかニーズを示すことによって、調査機器の開発目標となり、ニーズのある部位や構造に適用可能な調査機器が開発される可能性がある。

調査機器 C が実施困難だったのは寸法によるものであるが、調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能である可能性がある。

曲がりに対応した調査機器はなかった。調査機器 B は曲がりに対応した機器であるが、狭隘部の条件によっては、曲がりを行わなくても調査可能なケースもあると考えられる。そのため、単に曲がり回数を評価するだけではなく、対象とする構造に対して、調査機器の適用性を個別に判断することが重要と考えられる。

部材への近接については、実験室で実施したことにより主に河川や用水路を跨ぐことを想定している本ケースの点検を正確に再現しているとは言い難い。そのため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目である。

Case7 では、ひび割れ幅の評価を行った調査機器 A では損傷の見逃しがなかった。曲がりに対応していなくても、対象となる空間を移動でき、一定以上の画像を取得する性能を

有していれば、損傷の見逃しは防げると考えられる。しかし、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして見逃しが生じる可能性について検証した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

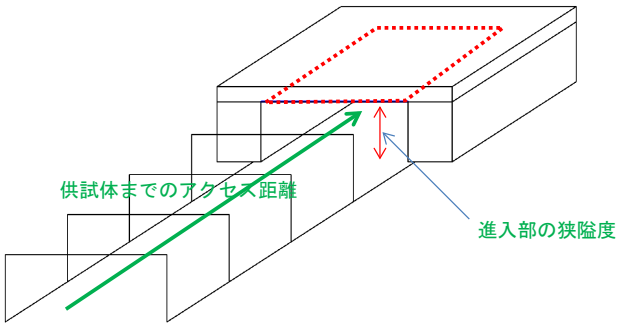
ひびわれ幅の定量的評価については、ひびわれ幅の情報を取得した調査機器 A で 60%の正答率を有していた。一定の正答率は有しているものの 100%の精度はなく、適用する調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

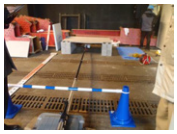
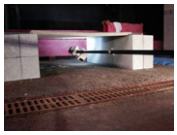
色調情報は、調査機器 A では取得可能であったが、調査機器 B では画像は取得したが画質が粗く色調の判断が困難であった。両調査機器とも、色調情報の取得のためには調査機器とは別途の照明器具が必要であった。画質が粗いことや別途の照明器具が必要であることについては、取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、色調情報の取得機能も向上するものと考えられる。

範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、どの調査機器でも定量値を取得できなかった。曲がりや進入深さといった移動性能の向上が図られたとしても、発見した損傷の範囲や位置情報を正確に捉えられなければ適切は損傷程度の判断ができないため、これらの点は調査機器の性能の向上が望まれる課題といえる。

表 6.2.23(8)　「Case7：狭隘な桁下空間」の実験結果のまとめ

『Case7：狭隘な桁下空間』の実験結果の取りまとめ



調査機器		A	B	C	D	E
狭隘部における移動性能	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	400mm	400mm	点検カメラのカメラ本体が400mmのため、狭隘部入口からの進入が不可。	点検装置自体が、桁端狭隘部のみに対応した装置であるため、適用外となる。	狭隘部を対象とした点検装置であるため、適用不可。
	Ⅱ進入深さ	3.0m	0.0m			
	Ⅲ曲がり回数	0回	0回			
	Ⅳ部材への近接	地上から	地上から			
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）	定量値の取得不可			
	②色調情報	適用可能（但し、要照明）	取得困難（画像は取得できるが、色調の判別が困難）			
	③範囲情報（寸法情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可			
	④位置情報（座標情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可			
特記事項		点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、カメラ固定用（水平方向）の三脚・操作用端末（PC）と狭隘部を撮影するための照明（要電源）が必要となる。	点検装置（ロボットアーム）から、カメラ本体を取り外し、人力で狭隘部進入口に設置した状態で実験を実施した。点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、画像保存用のPCが必要となる。			
検証実験実施状況		 実験風景	点検カメラ			
		アクセス距離	アクセス距離			
		 狭隘部への進入状況	狭隘部への進入状況			

⑧Case8：ゲルバー部

＜検証実験結果の概要＞

・A、B、D、E の調査機器が調査可能、C の調査機器が調査不可であった。

・点検が可能であった狭隘部の寸法は、A、B、D、E それぞれ 100 ㎜、50 ㎜、30 ㎜、50 ㎜であった。

・進入深さは、A の調査機器を除き、1ｍまで調査が可能であった。進入口が複数（前面、側面など）存在する試験体であったため、様々な進入方法で広い範囲を調査することができた。

・画像取得性能に着目すると、色調情報は調査機器 A のみで取得可能であった。

・調査を実施したひび割れ幅の正答率は調査機器 A で 80％、調査機器 D で 85％であった。

・損傷の範囲情報や位置情報は、調査機器 D では誤差 50 ㎜以内で定量値を取得できたが、その他機器では定量値を取得できなかった。

＜検証実験結果の考察＞

■調査の実施可否の判断について

調査機器Cが実施困難だった理由は、調査機器Cは狭隘部の進入が困難であったため(進入口 400 ㎜に対してカメラ本体が 400㎜ であったため)である。

調査機器 C が実施困難だったのは寸法によるものであるが、調査対象となる狭隘な構造と調査を実施する機器の双方とも寸法がまちまちであることを踏まえると、模擬試験体の狭隘部の寸法を可変できる構造とすることは、事前に調査機器の適用性を確認する上で有効であると考えられる。

■狭隘部における移動性能について

進入可能な狭隘部の寸法は、事前に把握していた情報通りの結果となり、検証実験によらずしても把握できる性能と考えられる。

曲がりに対応した調査機器はなかった。調査機器 B は曲がりに対応した機器であるが、狭隘部の条件によっては狭隘部内で曲がれないこともあることが分かる。そのため、単に曲がり回数を評価するだけではなく、対象とする構造に対して、調査機器の適用性を個別に判断することが重要と考えられる。

部材への近接については、実験室で実施したことにより評価を行っていない。そのため、部材への近接方法については、検証実験の結果だけではなく、点検の対象となる橋個別に検討が必要な項目である。

Case8 では、実験の対象とした面の数に違いがあるものの、ひび割れ幅の評価を行った調査機器 A では損傷の見逃しがあり、調査機器 D では見逃しはなった。見逃しがあった調査機器 A については、曲がりに対応していなくても、移動範囲が広かったことから、損傷位置にカメラが到達できない理由で損傷を見逃したのではなく、損傷位置に到達したにも

関わらず、損傷を見逃した場合があると考えられる。これについては、現段階では進入深さや曲がりといった移動性能でさえ適切に評価する体系を確立できていないことから、本検証実験のように模擬試験体と調査機器をマッチングして移動性能と画像の取得性能の両方を検証して、見逃しが生じ得る可能性について確認した上で現場へ適用することが良いと考えられる。

■画像の取得性能について

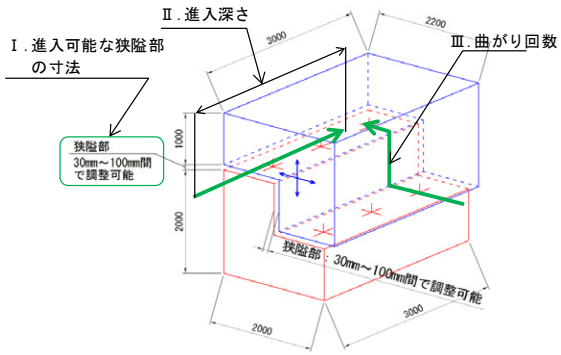
ひびわれ幅の定量的評価については、ひびわれ幅の情報を取得した調査機器Aで80%、調査機器Dで85%の正答率を有していた。一定の正答率は有しているものの100%の精度はなく、適用する調査機器がどの程度の正答率を有しているかを把握した上で現場へ適用するのが良いと考えられる。

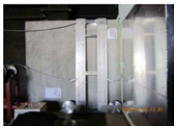
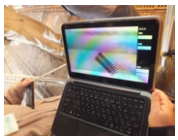
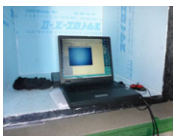
色調情報は、調査機器Aでは進入口から700㎜程度までは取得可能であったが、調査機器B、D、Eでは画像は取得したが色調の判断が困難であった。色調の判別が困難だった理由は移動性能が十分ではなく損傷面に正対できないことや正対しているにも関わらず画像が暗いなどであった。調査機器に取付けるカメラの画素数やズームやフラッシュ、ピント調整の機能が向上すれば、色調情報の取得機能も向上するものと考えられるが、損傷面に正対できるための移動性能も合わせて向上が必要であると考えられる。

範囲情報（寸法）、位置情報（座標情報）については、どの調査機器でも定量値を取得できなかった。曲がりや進入深さといった移動性能の向上が図られたとしても、発見した損傷の範囲や位置情報を正確に捉えられなければ適切は損傷程度の判断ができないため、これらの点は調査機器の性能の向上が望まれる課題といえる。

表 6.2.23(9)　「Case8：ゲルバー部」の実験結果のまとめ

『Case8：ゲルバー部』の実験結果の取りまとめ



調査機器		A	B-①	C	D	E
狭隘部における移動性能	Ⅰ進入可能な狭隘部の寸法	100mm	50mm	点検カメラサイズが400mmのため、狭隘部への進入が不可の為、適用外となる。	30mm	50mm
	Ⅱ進入深さ	進入不可	1.0m		1.0m	1.0m
	Ⅲ曲がり回数	0回	0回		0回	0回
	Ⅳ部材への近接	（評価しない）	（評価しない）		（評価しない）	（評価しない）
画像の取得性能	①解像度情報（ひびわれ幅の定量評価）	最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）	定量値の取得不可		最小0.1mm（誤差範囲±0.1mm以内）	定量値の取得不可
	②色調情報	狭隘部入口から約700mm以内は対応	狭隘部の暗所では適用困難		狭隘部の暗所では適用困難	局所的な色調の取得は可能だが、広がりを持った対象物には適用困難
	③範囲情報（寸法情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可		誤差50mm以内	定量値の取得不可
	④位置情報（座標情報）	定量値の取得不可	定量値の取得不可		誤差50mm以内	定量値の取得不可
特記事項		点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、操作用端末（PC）と狭隘部を撮影するための照明（要電源）が必要となる。	点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。点検時には、点検装置本体の他、画像保存用のPCが必要となる。		点検装置の設置の設置には、畳座に1.0m×1.0m程度のスペースが必要となる。また、点検装置設置には、躯体にアンカーを打込み固定する必要がある。点検実施に際しては、電源が必要となる。	点検装置本体は、人力で移動・設置が可能。
検証実験実施状況		実験風景	点検装置		 点検装置	点検装置
		 操作用端末	実験風景		実験風景全景	実験風景
		損傷位置の特定は目視にて行う	 画像保存用PC		実験風景	狭隘部への進入状況

2）検証実験結果の考察のまとめ

①調査の実施可否について

調査機器が対象としていない狭隘部の構造に対して、検証実験を実施しないケースがみられた。ここから、調査機器の開発者が、狭隘部の調査のニーズを想定して調査機器を開発していることが伺える。そのため、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いのか、そのニーズを示すことで調査機器の開発目標となると考えられる。

調査機器のサイズと狭隘部の寸法の関係、曲がりへの対応や狭隘部の構造の関係により検証実験を実施しないケースがみられた。調査機器のサイズや狭隘部の寸法は、個別に異なるパラメータであり、調査機器の曲がりへの対応や狭隘部内のどの位置で何回曲がる必要があるかも個別に異なるパラメータである。調査機器の現場への適用性を実験により検証するにあたっては、本研究で模擬試験体に設定したように狭隘部の寸法等を可変できる構造とするのが良いと考えられる。

②狭隘部における移動性能

狭隘部に進入可能かどうかについては、事前にカタログ等で得られた情報と大きな相違はなかった。このことから、狭隘部の進入口に機器を設置することができれば、調査機器が進入可能かどうかは検証実験を実施せずとも把握しやすいものと考えられる。

一方で、進入深さについては、検証実験のケースごとに同じ調査機器でもばらつきがみられた。これは、曲がりへの対応の有無等にもよるもので、狭隘部の構造とマッチングして検証が必要事項と考えられる。

また、曲がりに対応した機器が損傷を発見できず、逆に曲がりに対応していない機器が損傷を発見しているケースもみられた。このことから、単に曲がりが可能な回数を評価するだけではなく、調査を実施する構造への調査機器の適用性について検証する必要性が伺える。

本検証実験では、特定の狭隘部の構造に対して、高い移動性能を有している調査機器が存在することが分かった一方で、模擬試験体に設定した損傷の見逃しもみられることから、予め設定した進入可能な狭隘部の寸法、進入深さ、曲がり回数といった移動性能のみを評価するのではなく、実際に模擬試験体を用いた検証実験を実施し、調査機器が高い移動性能を有していても、損傷の見逃しや誤認がある可能性を把握し、適用範囲を明らかにした上で、調査機器を現場に持ち込む必要があると考えられる。

③画像の取得性能について

検証実験を実施した調査機器では、全てカラー画像を取得できる機器であったが、狭隘部の構造によっては、色調情報が正確に取得できるもの、できないものまちまちな結果となった。これらは、取付けられているカメラの性能による場合、カメラが損傷と正対できる位置まで到達できるかという移動性能による場合がある。そのため、画像の取得性能は

カメラの性能と移動性能の両方を検証できる模擬試験体を用いる性能試験法が有効であると考えられる。

ひびわれ幅については、一定の正答率を有している調査機器もみられるが、個別のケースでは100%の正答率を有していても、すべてのケースに渡って100%の正答率を有している調査機器はない。そのため、調査機器がどの程度のひび割れ幅の取得性能を有しているかを予め対象となる構造ごとに把握しておくことが、調査機器を現場で適用するにあたっては重要となると考えられる。

また、損傷範囲や位置情報については把握できる機器もみられたが、多くの場合、把握できない結果となった。そのため、道路橋のどの部位、構造に狭隘部が多いのか、そのニーズに対応した調査機器が開発されることに加え、損傷範囲や位置情報についても把握できる機器が開発されることが望まれる。

④まとめ

本検証実験を実施するにあたって予め定めた調査機器の性能（移動性能、画像取得性能）は、数値や検証実験を実施せずとも把握できる項目もある一方で、その多くは適用する狭隘部の構造によって性能がばらつく場合や取得できない場合がある。

そのため、調査の対象となる狭隘部の構造を模擬した試験体を作製し、それに対して調査機器の性能を確認することで、その調査機器の適用性や適用の範囲（どの位置まで調査できるか、誤差や誤認の可能性など）を把握し、現場へ適用するという本研究で提案する性能評価試験法は有効であると考えられる。

6.3　調査機器の性能検証実験を実施するにあたっての留意点

調査機器の性能を評価するために実施する模擬試験体を用いた性能検証実験を実施するにあたって留意すべき事項を以降に取りまとめる。

(1) 模擬試験体の製作

・模擬試験体は、3 章で類型化した 8 ケースの構造も参考に、調査の対象となる狭隘部の構造（形状や寸法）に対応した模擬試験体を製作する。

・模擬試験体には、点検の対象となる狭隘部に生じている可能性のある模擬損傷を付与する（鋼部材では亀裂や腐食、コンクリート部材ではひび割れや遊離石灰、桁端部では漏水など)。

・模擬試験体の製作にあたっては、試験体の設計図を作成するほか、付与した模擬損傷の情報（損傷の種類、形状、寸法、写真等）を記録し、のちに実施する調査機器の性能検証実験結果と照合できるようにする。

・模擬試験体に用いる材料・材質は、屋外に設置しても劣化しにくく、軽量かつ任意の形状に加工可能なものを使用することが推奨される。また、模擬試験体の汎用性を高めるため狭隘部の寸法は可変できる構造とするのがよい。

(2) 性能評価項目

・調査機器の性能は、狭隘部における移動性能及び画像の取得性能について評価を行う。

・ただし、以下の項目は、調査の対象となる狭隘部の構造によって、性能が変動しばらつくことが考えられるため、1 つのケースに対して実施した実験結果、確認された性能がが、他のケースにもそのまま当てはまるものではないことに留意する必要がある。

【狭隘部における移動性能の評価項目】

①進入可能な狭隘部の寸法

②進入深さ

③曲がり回数

【画像の取得性能】

①解像度

②色調情報

③範囲情報

④位置情報

(3) 調査機器の性能検証実験方法

・模擬試験体に付与した模擬損傷の種類や程度、位置などの情報は調査機器の試験者には明かさず、客観的な調査機器の性能検証結果を得る必要がある。そのため、複数の調査

機器を用いて性能を検証する場合、調査者どうしの情報のやり取りが生じないよう調査日時をずらすなど配慮が必要である。

・狭隘部の進入口に至るまでのアクセス方法は対象とはしていないため、作業員や調査機器の配置方法は別途、検討の必要がある。

(4) 調査機器の性能検証実験の評価、活用

・調査機器の性能検証実験の結果、近接目視と同等の点検結果を得ることは現段階では、困難であると考えられる。

・調査機器の損傷の検知精度は高いにこしたことはないが、調査機器は予めその性能が明らかであれば、その不確実性を考慮して現場へ適用すればよいものである。そのため、本性能試験法は、全ての性能評価項目を満足した調査機器でなければ現場への適用を認めないとするものではなく、調査機器の性能やその限界を把握した上で、現場で活用することを想定している。たとえば、性能検証実験の結果、50%の正答率であった調査機器を現場へ適用するにあたっては、損傷を発見できる確率や発見した損傷の評価の確からしさが 50%程度であることを踏まえ、橋梁の点検や診断に活かされたい。