

コンクリート構造物のうき・剥離を検出可能な非破壊検査技術の評価

技術名	赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム	ボール打検機	回転式打音診断支援システム【S-SJ】		
開発者	西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社	日本電気株式会社	(株)ネクスコ東日本エンジニアリング		
NETIS番号	SK-110019-V	審査中(技術事務所名:関東地方整備局)	審査中(技術事務所名:関東地方整備局)		
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁等のコンクリート構造物のうき・剥離などの変状箇所を、赤外線法により、高精度かつ定量的に検出する点検技術。 遠望非接触の非破壊検査のため、足場や交通規制が不要。 独自に開発した損傷判定支援システムにより、解析作業の熟練度にかかわらず、赤外線画像から変状箇所の損傷状態を定量的に判定することが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 地上あるいは足場、高所作業車、橋梁点検車からコンクリート部材をボール打検機の使用により打音検査を補助、補強する。 ①高所にあるコンクリート部 ②点検ハンマーによる打音検査が困難な箇所 ③添架物で塞がれた箇所など近接して打音検査ができない箇所 ④横桁、対傾構が輻輳する構造 ⑤桁下の空間が狭く足場が設置出来ない場所。 	<ul style="list-style-type: none"> 六角の軸球体をヘッド部に持つ回転式打音点検器を使用して、コンクリート表面を連続的に回転打撃し、その打音を聞き取りやすく、また、その打音波形を分析し、うき・剥離損傷の有無をリアルタイムに表示する装置であり、点検の高度化を図るものである。 点検ハンマーによる打音点検が困難な狭隘部の点検が可能である。 		
測定状況					
対象物	コンクリート構造物のうき・剥離の検出	コンクリート構造物のうき・剥離の検出	コンクリート構造物のうき・剥離の検出		
従来の方法	点検ハンマーによる打音検査	点検ハンマーによる打音検査	点検ハンマーによる打音検査		
技術の特徴	必要な機器・装置等(計測)	冷却型高性能赤外線カメラ(素子:InSb)、調査支援モニター、デジタルカメラ(可視画像)、熱環境測定装置	打音点検用のハンマーとマイクと近接目視点検用のカメラ	回転式打音点検器と狭指向性のショットガンマイクロフォンおよびアンプ	
	必要な能力・資格等(計測)	無し	打音点検の経験	打音点検の経験	
	必要な機器・装置等(解析)	損傷判定支援ソフトを用いて赤外線サーモグラフィーの熱画像を自動解析し、変状を自動識別する。	点検員がヘッドホーンで打撃音を聴き、静音・濁音を判断する。	打音をマイクにて採取し、アンプにて暗騒音部分の周波数帯をフィルターカットすることで打音を聞き取りやすくし、打音の波形分析によりうき・剥離の損傷有無を判断する。	
	必要な能力・資格等(解析)	無し	打音点検の経験	打音点検の経験	
	概略費用	計測費用(直接人件費) ^{※2} 計測費用(直接経費) ^{※3} 解析費用(直接人件費) ^{※4} 計	53,855円(点検面積502.5m2) 8,060円(点検面積502.5m2) 74,790円(点検面積502.5m2) 136,705円(点検面積502.5m2)	43,985円(点検面積473.9m2) 50,000円(点検面積473.9m2) 18,200円(点検面積473.9m2) 112,185円(点検面積473.9m2)	52,060円(点検面積502.5m2) 43,170円(点検面積502.5m2) 46,170円(点検面積502.5m2) 141,400円(点検面積502.5m2)
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> 天候が雨天でないこと。 調査対象部位が湿潤状態でないこと。 亜鉛を含む防錆スプレーなど、金属系の塗料をコンクリート表面に塗布した部位でないこと。 熱環境測定装置に検出可能な温度差が発生すること。 調査対象に対する対象面角度の最小角度が30°以上確保できること。 撮影箇所から調査対象部位の視通が確保できること。 調査時間帯は原則として夜間とする。 コンクリート表面から4cm奥までのうき・剥離 日較差(1日の最高気温と最低気温の差)7℃以上が望ましい。 撮影距離約50m未満(ただし、レンズや、距離計の変更により80m程度まで対応可能) 	<ul style="list-style-type: none"> 適用箇所:主桁(フランジ、ウエブ)、横桁(フランジ、ウエブ)、床版下面、地覆側面、壁高欄。 点検員が桁下にアクセス出来ること。点検員が進入出来ないほどの水辺で無いこと。 天候が雨天で無いこと。 コンクリートのかぶり厚が3cmまでのうき・剥離。 高さ8m程度までは足場無しで打音検査が可能。それ以上は高所作業車、橋梁点検車を使用する。横構、対傾構が輻輳する構造など検査車/バケットでは近接が出来ない箇所に適用できる。側道橋と本線橋の狭隘な隙間でも打検機が届く範囲は点検が可能。 第三者被害予防措置のコンクリートの叩き落としは橋梁点検車、高所作業車に兼用して作業すればその場で実施することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用箇所:主桁(フランジ、ウエブ)、横桁(フランジ、ウエブ)、床版下面、地覆側面、壁高欄。 点検する部位に点検員がアクセス出来ること。梯子、高所作業車、橋梁点検車により近接する必要がある。 雨天時、強風時は実施困難。側道の重交通騒音などの環境音が特別に大きくないこと。 第三者被害予防措置のコンクリートの叩き落としは橋梁点検車、高所作業車に兼用して作業すればその場で実施することができる。 基本的には打音法であり、構造物へ近接する必要がある。 ハンマーによる打音法が困難な狭隘部の点検を行うことが出来る。 		
検証結果	①精度	検出率 ^{※5※7※10}	100% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:52箇所/52箇所、剥離:38箇所/38箇所)	76% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:127箇所/164箇所、剥離:6箇所/11箇所)	83% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:150箇所/182箇所、剥離:3箇所/3箇所)
	②効率性	ヒット率 ^{※6※7※10}	26%(90箇所/350箇所)	22%(133箇所/593箇所)	33%(153箇所/469箇所)
	検証対象部位・部材	主桁(フランジ、ウエブ)、横桁(フランジ)、床版下面、地覆側面、壁高欄	主桁(フランジ、ウエブ)、横桁(フランジ、ウエブ)、床版下面、地覆側面	主桁(フランジ、ウエブ)、横桁(フランジ、ウエブ)、床版下面、地覆側面	

※1 概略費用は橋梁構造形式RC連続T桁のうち1径間(径間長26.8m、幅8.3m、点検面積502.5m2)を対象に各技術が点検した範囲にかかる費用
 ※2 計測費用(直接人件費)には、機器のキャリブレーション等、計測の準備にかかる費用を含む
 ※3 計測費用(直接経費)には、付随して必要となる機器(橋梁点検車等)にかかる費用を含む
 ※4 解析費用(直接人件費)には、記録・調書の作成にかかる費用を含む
 ※5 検出率=(従来方法による点検で把握された損傷のうち、当該技術で検出できた損傷数)/(従来方法による点検で把握された損傷数)
 ※6 ヒット率=(当該技術で異常が検出された箇所数のうち、従来方法による点検で損傷が把握された箇所数)/(当該技術で異常が検出された箇所数)
 ※7 うき・剥離箇所数は、各技術が点検を実施した範囲の箇所数
 ※8 損傷の評価基準は橋梁定期点検要領 ⑫うき e ⑦剥離・鉄筋露出 c ~e
 ※9 第三者被害予防処置は、「橋梁における第三者被害予防処置要領(案)」(平成28年12月)に基づく措置
 ※10 このデータは、平成29年11月時点。ただし、Jシステムの検証結果については、平成27年10月から平成28年2月に実施した現場検証データである。

技術名	橋梁点検支援ロボット	近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システム	コンクリート構造物変形部検知システム「BLUE DOCTOR」	
開発者	ジビル調査設計株式会社	新日本非破壊検査㈱	㈱オンガエンジニアリング	
NETIS番号	QS-170024-A	審査中(技術事務所名:九州地方整備局)	審査中(技術事務所名:九州技術事務所)	
技術概要	橋梁点検の際に橋梁点検車が利用出来ない橋梁において全ての作業を橋面上から行い点検員に代わって橋梁下面に挿入した各種点検台車と一体になったロボットアームを遠隔操作で可動させて、赤外線サーモグラフィと打音検査装置との併用でうき・剥離を検出するものである。また、橋面上での占用スペースも小さく(幅1.5m、長さ3m)歩道に設置すれば車道の交通規制を回避出来る。	・有線式のマルチコプター上部に車輪駆動機構と点検機構を搭載、マルチコプターの飛行機能で橋梁の床版など人が容易に近づけない部位に接近、車輪を押し当てて走行しながら、特殊な機構による打音検査とカメラによる目視を実施する飛行と自走機能を持つ有線式飛行型点検ロボットである。また、点検により得られた打音信号は解析技術で可視化し、うきや剥離等の損傷検出に加え位置情報と合わせて点検調書作成を支援する。	・橋梁等のコンクリート構造物の浮き・剥離などの欠損部(空隙)の有・無及び深さを、移動式衝撃弾性波法により、高精度かつ定量的に検知するコンクリート構造物点検技術。欠損箇所表面にスプレーマーキング可能。打音点検で見つからない欠損部も検出可能で、かつ定量化が可能な打音検査を補助する技術。ロボットに搭載すれば打音点検前のスクリーニングとして、高精度、高効率な点検を可能とする技術である。	
測定状況				
対象物	コンクリート構造物のうき・剥離の検出	コンクリート構造物のうき・剥離の検出	コンクリート構造物のうき・剥離の検出	
従来の方法	点検ハンマーによる打音検査	点検ハンマーによる打音検査	点検ハンマーによる打音検査	
技術の特徴	必要な機器・装置等(計測)	橋梁点検支援ロボット(ベース車:自走式クローラ台車)、可視カメラ、赤外線サーモグラフィ、回転式打診装置、集音用マイク、録音装置、温度分析用ソフトウェア	・ドローン搭載型打音検査機構(打撃機構+マイク) ・PC(信号解析・表示、データ保存) ・モニター用タブレット	・ブルードクター伸縮スティックタイプ1式(マーキング機能付き) ・バッテリーパック或いはポータブル発電機(※マーキング機能を使用する場合) ・定点撮影用デジタルカメラ
	必要な能力・資格等(計測)	赤外線サーモグラフィによる熱画像の取得と打音点検の経験	飛行許可・申請を行う場合、飛行操作者は10時間の経験が必要	調査対象部位が手元より3m以上の場合、足場、高所作業車もしくは吸着走行型ロボット(開発中)が必要
	必要な機器・装置等(解析)	赤外線サーモグラフィによりスクリーニングし、打撃音をマイクで集音した結果を併用して、点検員がうきを判断する。	打撃装置からの打音をマイクにより集音し周波数分布の変化から変状を自動識別する	弾性波エコーを自動解析してLED表示される損傷を点検員が記録する。
	必要な能力・資格等(解析)	熱画像解析と直接打診の経験	打音信号解析の経験	打音点検の経験
	(参考)※1 概略費用	計測費用(直接人件費)※2 222,400円(点検面積202.8m2) 解析費用(直接人件費)※4 140,800円(点検面積202.8m2) 計 425,800円(点検面積202.8m2)	計測費用(直接人件費)※2 59,000円(点検面積138.0m2) 解析費用(直接人件費)※4 61,200円(点検面積138.0m2) 計 292,700円(点検面積138.0m2)	計測費用(直接人件費)※2 72,020円(点検面積478.4m2) 解析費用(直接人件費)※4 25,400円(点検面積478.4m2) 計 183,370円(点検面積478.4m2)
適用条件	・適用箇所:主桁(フランジ、ウェブ)、横桁(フランジ、ウェブ)、床版下面、地覆側面(側道橋が近接する箇所を除く)、壁高欄。 ・雨天時、強風時は実施困難。側道の交通騒音などの環境音が特別に大きくないこと。 ・橋梁総幅員は8m未満。主桁の高さが1.8m以下。地覆内側面から外側への張り出しが1.5m以下。高欄の乗り越え高さが1.5m以下。システムの組立、積み下ろしに必要な空間 w=3.0m L=15m程度が確保出来る。 ・打撃機の移動は、幅員方向に4mまでである。 ・赤外線サーモグラフィによりスクリーニングし、打撃音をマイクで集音し、点検員がうきを判断する。打撃機は構造物への近接が必要。 ・第三者被害予防措置のコンクリートの叩き落としは橋梁点検車、高所作業車に兼用して作業すればその場で実施することができる。 ・点検ハンマーと比較すると狭隙部の点検困難箇所の点検が可能。 ・車道を規制する橋梁点検車に比べて橋梁を占有する部分は小さくなるが検査装置が歩道を占有するため交通規制が必要である。 ・アーム型機構で点検できる面積は制限され、他の点検を併用する必要がある。	・適用箇所:主桁(下面)、床版下面、検査対象は検査装置の上面に限定される。垂直面、添架物が設置されている箇所は不可能。 ・打診装置が機械の中心にあり、機械の幅の半分(約50cm)は不可能。 ・UAVの飛行可能エリアまたは許可・申請の承認が必要 ・点検ロボットの作業範囲内(半径30m程度)への第三者の立ち入り制限がある。 ・日中、晴れまたは曇り、最大風速:4m/秒以下 ・打撃音をマイクで収集し、音を解析し、うきを判断する。 ・飛行モード時の安全確保のため橋面に親綱が必要。橋上に補助員を配置する必要がある。UAV飛行中に機体が落下することがあり、飛行体安全性に課題がある。 ・垂直面への適用は開発中であり、現状の装置では定期点検範囲の約27%の点検が出来る。 ・第三者予防処置のコンクリートの叩き落としは高所作業車により実施する必要がある。	・適用箇所:主桁(フランジ、ウェブ)、横桁(フランジ、ウェブ)、床版下面、地覆側面(側道橋が近接する箇所を除く)、壁高欄。 ・基本は打音法と類似の衝撃弾性波法のため、梯子、ステージ、高所作業車などを使用してコンクリート構造物への近接が必要である。打診装置が機械の中心にあるため機械の幅の半分(約5cm)分は叩けない。 ・伸縮スティックが付随するので手元から3m以内であれば足場、高所作業車が不要。 ・作業場所に雨がかからないこと、強風で無いこと ・打撃を与える労力を自動化し、弾性波エコーの解析により計測結果を定量化できる。従来の打音法と併用することが出来る。マーキング機能を使用しない場合はバッテリーパック、マーキング機能を使用する場合は電源(発電機等)が必要である。 ・第三者被害予防措置のコンクリートの叩き落としは橋梁点検車、高所作業車に兼用して作業すればその場で実施することができる。	
検証結果	①精度	検出率※5※7※10 68% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:67箇所/100箇所、剥離:4箇所/5箇所)	54% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:32箇所/58箇所、剥離:1箇所/3箇所)	60% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る(うき:100箇所/162箇所、剥離:4箇所/10箇所)
	②効率性	ヒット率※6※7※10 45% (71箇所/159箇所)	6% (33箇所/529箇所)	21% (104箇所/487箇所)
	検証対象部位・部材	主桁(フランジ、ウェブ)、横桁(フランジ、ウェブ)、床版下面、地覆側面	主桁(フランジ下面)、床版下面	主桁(フランジ、ウェブ)、横桁(フランジ、ウェブ)、床版下面、地覆側面

※1 概略費用は橋梁構造形式RC連続T桁のうち1径間(径間長26.8m、幅8.3m、点検面積502.5m2)を対象に各技術が点検した範囲にかかる費用
※2 計測費用(直接人件費)には、機器のキャリブレーション等、計測の準備にかかる費用を含む
※3 計測費用(直接経費)には、付随して必要となる機器(橋梁点検車等)にかかる費用を含む
※4 解析費用(直接人件費)には、記録・調書の作成にかかる費用を含む
※5 検出率=(従来方法による点検で把握された損傷のうち、当該技術で検出できた損傷数)/(従来方法による点検で把握された損傷数)
※6 ヒット率=(当該技術で異常が検出された箇所数のうち、従来方法による点検で損傷が把握された箇所数)/(当該技術で異常が検出された箇所数)
※7 うき・剥離箇所数は、各技術が点検を実施した範囲の箇所数
※8 損傷の評価基準は橋梁定期点検要領 ⑫うき e ⑦剥離・鉄筋露出 c ~ e
※9 第三者被害予防処置は、「橋梁における第三者被害予防処置要領(案)」(平成28年12月)に基づく措置
※10 このデータは、平成29年11月時点。ただし、システムの検証結果については、平成27年10月から平成28年2月に実施した現場検証データである。

【参考】概算費用内訳

別紙

※諸経費を含まない

技術名：赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム
 開発者：西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社

(502.5m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		53,855
	試験体設置・撤去、可視画像撮影	27,700
	赤外線調査	26,155
計測費用(直接経費)		8,060
	機械器具費(赤外線カメラ)	8,060
解析費用(直接人件費)		74,790
	赤外線画像解析	38,476
	展開図・調書作成	36,314
合計		136,705

注1) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である
 点検調書は「橋梁定期点検要領 平成26年6月 国土交通省道路局国道・防災課」による
 (以下、同じ)

技術名：ポール打検機
 開発者：日本電気株式会社

(473.9m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		43,985
	現地点検作業(準備工・点検工・後片付け)	43,985
計測費用(直接経費)		50,000
	機械器具費(ポール打検機)	50,000
解析費用(直接人件費)		18,200
	データ整理・調書作成	18,200
合計		112,185

注1) ポール打検機のレンタル料1台、1日の金額(現在開発中に付き変更の可能性あり)
 注2) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である

技術名：回転式打音診断支援システム【S-SJ】
 開発者：株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング

(502.5m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		52,060
	準備(S-SJ組立・動作確認等)	2,880
	点検(準備・片付け)	2,880
	点検(閾値設定含む)	46,300
計測費用(直接経費)		43,170
	機械器具費(S-SJ)	2,650
	高所作業車(幅広デッキ、ブーム型12m)	17,210
	運転手	12,110
	交通規制誘導員	11,200
解析費用(直接人件費)		46,170
	データ整理・調書作成	46,170
合計		141,400

注1) 機械器具費は損料として扱う
 注2) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である

【参考】概算費用内訳

別紙

※諸経費を含まない

技術名: 橋梁点検支援ロボット
 開発者: ジビル調査設計株式会社

(202.8m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		62,600
	現地点検作業(準備工・点検工・後片付け)	62,600
計測費用(直接経費)		222,400
	機械器具費(ロボット、ベースクローラその他機材込)	200,000
	交通規制誘導員	22,400
解析費用(直接人件費)		140,800
	データ整理・調書作成	140,800
合計		425,800

注1) 機械器具費は損料として扱う

注2) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である

技術名: 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システム
 開発者: 新日本非破壊検査株式会社

(138.0m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		59,000
	現地点検作業(準備工・点検工・後片付け)	59,000
計測費用(直接経費)		61,200
	機械器具費(ロボット賃料)	50,000
	交通規制誘導員	11,200
解析費用(直接人件費)		172,500
	データ整理・調書作成	172,500
合計		292,700

注1) 機械器具費は賃料として扱う

注2) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である

技術名: コンクリート構造物変形部検知システム「BLUE DOCTOR」
 開発者: 株式会社オンガエンジニアリング

(478.4m²/1径間)

項目	内訳	金額
計測費用(直接人件費)		72,020
	現地点検作業(準備工・点検工・後片付け)	72,020
計測費用(直接経費)		85,950
	機械器具費(BLUE DOCTOR スティックタイプ)	3,250
	高所作業車(12m/スーパーデッキ)	52,000
	高所作業車オペレーター	19,500
	交通規制誘導員	11,200
解析費用(直接人件費)		25,400
	データ整理・調書作成	25,400
合計		183,370

注1) 高所作業車(12m)が必要な場合である

注2) 機械器具費は賃料として扱う

注3) 調書作成は点検調書(その5)損傷図、点検調書(その6)損傷写真である