

新技術開発探訪

コンクリートのひび割れを遠方から 検出が可能な新技術について

1. はじめに

わが国の社会資本ストックは、高度経済成長期などに集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されることから、社会資本を安全により長く利用できるよう、劣化や損傷の状況を確実に把握することで、戦略的な維持管理・更新を行うことが課題となっている。

そこで国土交通省では、平成25年3月21日に「社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置」をとりまとめ、その一環として新技術の開発・導入等に取り組むこととしている。

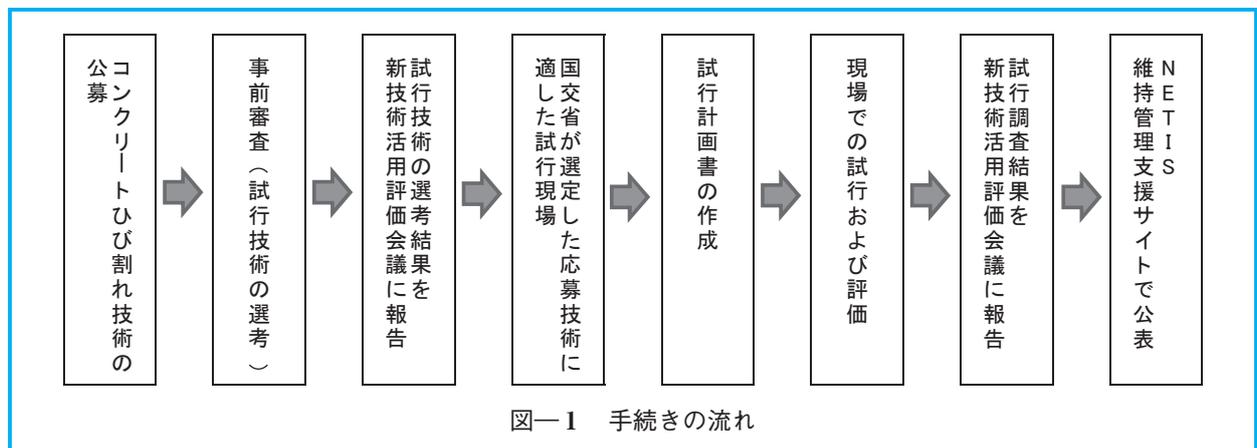
コンクリート部材に発生する「ひび割れ」については、水分の侵入による鉄筋の腐食等の原因となり、構造物の不具合と結びつく可能性が高く、

早期に発見することで予防的な対策を施すことが可能となるため、今回、「コンクリートのひび割れを遠方から検出可能な技術」を活用・評価するための新たな取り組みを行ったので紹介する。

2. 新技術活用システム（NETIS）の活用

従来、「コンクリートのひび割れ」については、近接目視点検や打音検査、触診等で直接人間が確認を行っているが、足場の仮設などによるコストの増大、熟練度による点検結果のバラツキが生じる可能性があるなどの課題がある。

このため、「公共工事等における新技術活用システム（以下「NETIS」という）」を活用し、すでに実用化段階にある「コンクリートのひび割れを遠方から検出が可能な技術」の公募を行った。



図一 手続きの流れ

応募された技術は、審査・選考を行い、国土交通省の管理している現場において選考された技術を試行し、評価結果については、「NETIS維持管理支援サイト」で公表予定とした。

公募後の手続きの流れを図—1のとおり示す。

3. 技術公募

(1) 公募条件

技術応募の要件は、以下のとおりである。

1) 要求技術

コンクリートのひび割れについて遠方から検出可能な技術

2) 要求性能

- ① 「目視」や「手作業」の組み合わせである従来技術を代替できるか、従来技術と新技術の組み合わせで代替できること。
- ② コンクリートのひび割れを遠方から精度良く測定できること。

3) 費用負担

試験および調査に関わる費用は応募者負担

4) 応募条件

- ① 審査・選考・試行の過程に関わる者および試行に関わる者に対して、応募技術の内容を開示しても問題がないこと。
- ② 応募技術を公共工事等に活用する上で、関係する法令に適合していること。
- ③ 選考された応募技術について技術内容等を公表するので、これに対して問題が生じないこと。
- ④ 応募技術に関わる特許権等の権利について問題が生じないこと。
- ⑤ 応募資格等を満足すること。

5) 応募資格

- ① 応募者自らが応募技術の開発を実施した「個人」および「民間企業」であること。
- ② 応募技術を基にした業務を実施する上で必要な権利および能力を有する「個人」および「民間企業」であること。
- ③ 各地方整備局から応募時点で指名停止など

の処分を受けている期間でないこと。

(2) 事前審査

提示した公募条件に対して、次の三つの視点で試行技術の選定を行った。

- ① 技術の詳細（応募技術の特徴等）
- ② 特許、技術審査証明等
- ③ 評価項目（現場適用性、経済性、検査・分析に要する時間、精度、確実性、遠方からの測定、検査・分析に関わる汎用性）

事前審査の結果、カメラ活用技術24件、レーザー活用技術4件、ロボット活用技術4件の計32件の試行技術を選定した。

4. 現場試行

(1) 試行方法

事前審査で選定された32件のうち29件の技術について、応募技術の特徴等を踏まえ、国土交通省が管理する現場を選定し、試行・評価を行った。

(2) 現場試行

試行に当たっては、実際の維持管理現場での活用を想定し、制限時間内に「機材設置→調査→機材撤去」までを行い、必要な人員・機材および安全性を試行するのに必要な手続き、時間内でどれだけ範囲を測定できたかも調査対象とした。

なお、カメラを活用した橋梁点検技術の試行実施現場の1例を写真—1に示す。



写真—1 カメラ活用の橋梁試行現場

また、現場試行技術の一覧を表—1に示す。

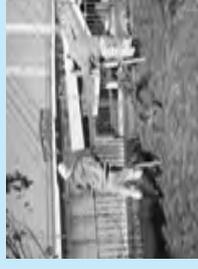
表一-1 現場試行技術一覧(1)

技術名称	デジタルカメラによるコンクリート表面遠隔調査手法	高所・橋梁点検ロボットカメラによる損傷計測把握	コンクリート構造点検システム	デジタル画像による分析・撮影支援システム	写真計測ソフト(フォトカルク)を用いたクラック計測	デジタルカメラによる構造物画像診断システム
試行構造物	橋梁	橋梁	橋梁	橋梁	橋梁	橋梁
活用技術	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ
副題	—	—	—	「ImageSR-無線撮影装置」	—	—
応募者	株式会社環境総合テクノス	株式会社日立産業制御ソリューションズ (三井住友建設株式会社)	西日本高速道路株式会社 (西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社) 西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社 (株式会社フジエンジニアリング) (株式会社エルゴビジョン)	株式会社中部EEN (アイエムソフト有株式会社) (株式会社ケミカル工事) (株式会社新日)	株式会社アイティエーティー	株式会社補修技術設計
概要	<p>現地において、デジタルカメラによるコンクリート表面の画像ならびにトータルステーションにより調査対象構造物の座標を取得し、室内においてパソコン処理により画像合成・劣化損傷図を作成する技術である</p> <p>写真画像データを見ることにより、施工方によるひび割れの確認が容易となる特徴を有している</p>	<p>橋梁やその他コンクリート構造物の近接目視が困難な部位に、高性能光學30倍の遠隔操作カメラを視準可能な位置に伸張(11.5m)ポールおよび欄干設置型架台により近づけ、それをタブレット端末(Windows, iPad)により操作し、損傷を計測把握、記録する方式である。また、軽量で可搬性に優れ、点検作業開始まで10分以内で準備可能な装置である</p>	<p>電動雲台に設置したデジタルカメラを用いて遠方よりコンクリート構造物平面の超高精細画像を撮影する。撮影した1枚1枚の画像を自動的に貼り合わせ、構造物面の全体画像を生成する。さらに、生成した画像から画像処理技術によってひび割れを自動検出するシステムである</p>	<p>デジタルカメラで撮影した構造物の画像を正射影変換処理したのち画像上でひび割れ幅の計測や表面変状を直接トレース、範囲指定することで長さや面積を計測する。CAD図面化や数量のエクセル連動にも対応する。解析結果をデータ保存することでより正確な経年変化情報が得られ、構造物の監視および診断・分析が可能となるシステム。直接遠隔撮影が困難な場所では遠隔操作による無線撮影装置を併用することで対応が可能</p>	<p>単眼のデジタルカメラを用いて測定的対象面を撮影し、対象面上の四つの特徴点の位置情報を基準としてクラックのある対象面を正面化し正確な位置情報を算出する。遠方の場合など、特徴点の位置情報が未知の場合は、光学式距離計等で特徴点までの距離を測定し、その3次元座標を算出して基準とした後、クラック位置を算出する</p>	<p>本技術は市販の一眼レフデジタルカメラを利用しコンクリート構造物の覆工面を撮影し得られたデジタル画像から専用ソフトウエアを使用しコンクリートひび割れを抽出する技術である。覆工面2mから最大300mまでの距離において運用可能である</p>
測定状況						

表一I 現場試行技術一覧(3)

技術名称	3Dレーザーキャナーを用いた覆工コンクリート等の変状管理	走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM(ミーム)	レーザー法によるトンネル壁面連続画像撮影	走行型トンネル撮影システム	外壁点検機 スーパーアイ	コンクリート構造物のクラック自動抽出システム
試行構造物	トンネル	トンネル	トンネル	トンネル	建築物	道路擁壁
活用技術	レーザー	レーザー	レーザー	レーザー	カメラ	カメラ
副題	—	交通規制が不要で、高速走行しながらトンネル覆工壁面カラー画像と高精度な三次元空間位置データを効率よく取得するシステム	—	画像によるトンネル覆工の変状調査	高倍率カメラとレーザー距離計を用いた外壁点検システム	望遠レンズで撮影した画像に自社製ソフトを適用し、クラックを自動で抽出する技術
応募者	阪神高速技術株式会社 (阪神高速道路株式会社)	パシフィックコンサルタンツ株式会社 (計測検査株式会社) (株式会社ニューシエック) (株式会社ウエスコ) (システムリサーチ株式会社)	日本工営株式会社 (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構) (株式会社ウォールナット)	株式会社東設土木コンサルタンツ (有限会社ジーテック) (R・W株式会社)	日本総合住宅生活株式会社 (株式会社昭和電気研究所)	株式会社アルファプロダクト
概要	本技術は、道路構造物(主に山岳トンネル)の変状について3Dレーザーキャナーにより計測することによりトンネル内の覆工コンクリート部に発生している1mm以上のひび割れやはく離などの損傷が容易に検出できるものである。またトンネルの空洞計測によって全体変状についても把握する手段として有効である。なお、本技術は阪神高速道路の道路構造物点検要領において、山岳トンネルの内空断面形状計測にも規定されている	3 CCDカメラによるトンネル覆工壁面の連続画像撮影システムと高精度3次元レーザー計測システムを車両に搭載し、覆工表面に発生したひび割れ、漏水、材質劣化等の変状とトンネル断面形状、変形モード、段差等を計測する。この技術を応用して、トンネル点検、健全度診断を行うもので、交通規制不要であり、従来点検より安全性、効率性、省力化、省コスト化が図れる	レーザー光をトンネル壁面に照射し、その反射光量の強弱を光検出器で捉えることにより壁面の変状(ひび割れ)情報を検出するものである。従来のCCDカメラと比較して撮影に照明を必要とせず省電力であること、大断面でのトンネル施設においても画像劣化がないことが特徴である。定量的にデータを取得し抽出、連続した変状画像として出力が可能である	本技術は複数台のデジタルビデオカメラを用いて走行しながらトンネル覆工部を撮影し、画像からひび割れ等の変状を精度良く検出するものです。撮影前にトンネル内を3Dレーザー測定し、画像の貼り合せ精度を高めます。撮影した画像を変換展開図作成支援ソフトウェア「CrackDraw21」に取り込み、ひび割れなどの変状を入力し、ひび割れ数量の自動算出、長期間の点検記録、詳細調査データ、補修履歴など各種情報を簡易に一元管理します	光学44倍のカメラユニットおよびレーザー距離計で構成された測定ヘッドと専用PCおよび高輝度モニターを組み合わせることにより、現場作業において劣化部の写真撮影、クラックや欠損部の寸法測定、あらかじめ入力しておいた図面上での位置特定および書き込みを同時に行うことができ、机上作業で簡単に点検図面、数量表、点検写真の出力することができ、外壁点検システム	望遠レンズを使用し、離れたところ(最大65.4m)から撮影した画像から、専用のソフトを使用してひび割れを自動で抽出するシステム。画像データも同時に得られるので、漏水や剥離等の情報も同時に得られる
測定状況						

表一 I 現場試行技術一覧(4)

技術名称	ウェーブレット変換を用いた ひび割れ画像解析技術 [t.WAVE]	コンクリート構造物における クラック形状自動抽出システム	Actis (アクティス)	デジタルカメラ画像処理を用いた コンクリートのひび割れ計測	ひび割れトータルステーション 画像計測システム	KUMONOS
試行構造物	道路擁壁	道路擁壁	道路擁壁	道路擁壁	道路擁壁	道路擁壁
活用技術	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ
副題	—	クラックの形状特徴を活用した クラック抽出技術	デジタル画像解析によるひび割れ 幅・長さ自動検出技術	ひび割れ計測の省力化と 高度情報処理	カメラ内蔵トータルステーション を利用した画像によるひび割れ幅 を計測し、長さや形を3次元座標 で計測するシステム	クラックスケール内蔵光波測量器 を用いたひび割れ計測システム
応募者	大成建設株式会社	株式会社構造計画研究所 (NECネットエスアイ株式会社)	株式会社保全工学研究所 (有限会社ジーエムシー)	株式会社大林組	コンピュータ・システム株式会社	関西工事測量株式会社
概要	本技術は、コンクリート構造物の ひび割れを検出して評価・管理す る技術である。コンクリート表面 に発生しているひび割れをデジタ ルカメラやビデオカメラで撮影 し、ウェーブレット変換や統計手 法および画像処理を組み合わせた 技術を用い、ひび割れ検出やひ び割れ幅・長さの情報を自動処理 で作成する。人為的な判断を介さ ないため、広範囲な調査に対して 効率良く、客観的で高精度かつ連 続的にひび割れの評価・管理がで きる	クラックをデジタルカメラなどで 撮影した場合、光環境によって は、クラックが一部検出できなか ったり、表面凹凸をクラックと誤 検知したりすることが発生する。 そういった問題を解消するため に、抽出したクラック形状をベク トルデータ化し、その形状特徴を 用いてクラックをより人の判断に 近い精度で検出できる技術を開発 した	市販のデジタルカメラを用いて遠 方にある対象面の高解像度の可視 画像を撮影する。パソコンを使用 し、撮影した画像の正対補正、尺 度設定処理を行い、ひび割れ部の 色調の違いを画像解析により分析 し、ひび割れ部を検出する。検出 したひび割れは、ひび割れ幅の値 を持ったベクトルとして自動的 に描画トレースする技術。出力結果 は、画像形式、デジタル形式とも 出力が可能	デジタルカメラによって撮影した 構造物のひび割れ部のデジタル画 像を、コンピュータによって画像 処理することにより、ひび割れ (位置、長さ、幅、パターン)を 正確に検出し、デジタルデータを 記録する技術	ひび割れ箇所をカメラ内蔵トータ ルステーションで計測することに よって、詳細な画像と、3次元計 測位置を同時に取得し、CADで 表示することができる 画像から幅を計測することができ る。画像の記録が残り、間違いの 修正ができる。現場の作業時間を 減らすことができる 無線LANにて、機械倒りになく ても操作が行え安全である	本技術は、離れた場所からコンク リート構造物に生じたひび割れの 幅・長さ・形状・3次元位置座標 が測定でき、測定したデータは、 専用アプリケーションソフトを介 してCAD図面として自動描画で きる。光波測量器を使用すること により、ひび割れのデータが3次 元座標データとして記録され、橋 台・橋脚等のひび割れ展開図やト ンネル等のアーチ状構造物の展開 図もデジタルデータで高精度に作 成できる
測定状況						

表一I 現場試行技術一覧(5)

技術名称	狭小空間点検ロボットmoogle	無線飛行体によるひび割れ検知システム	小型無人飛行装置によるコンクリート面の撮影技術	無人ヘリロボットによるコンクリート構造物のひび割れ検出技術	無人ヘリロボットによるコンクリート構造物のひび割れ検出技術	揺動制御型船上点検システム	技術名称
試行構造物	排水機場	橋梁	橋梁	橋梁	橋梁	港湾	揺動制御型船上点検システム
活用技術	ロボット(走行系)	ロボット(飛行系)	ロボット(飛行系)	ロボット(飛行系)	ロボット(飛行系)	カメラ	揺動制御型船上点検システム
副題	暗所、閉所空間におけるコンクリートひび割れ検出・測定技術	無線遠隔操縦飛行体を使用した構造物ひび割れ検出システム	—	コンクリート健全度調査システム	コンクリート健全度調査システム	画像による船上からの港湾・海上構造物の変状調査	副題
応募者	大和ハウス工業株式会社 (三菱電機待機システム株式会社)	株式会社富士建	株式会社アスコ	ルーチェサーチ株式会社 (広島工業大学工学部都市デザイン工学科)	ルーチェサーチ株式会社 (広島工業大学工学部都市デザイン工学科)	株式会社東設土木コンサルタンツ (東京電力株式会社) (有限会社ジーテック)	応募者
概要	走破性の高い小型のクローラロボットに、上下左右の回転、ズームができるカメラを取り付けることで、人が侵入できない狭いところでも遠隔で点検ができる装置。PC画面に映し出された映像によりコンクリートのひび割れを検出する。発見したひび割れに対して画面上に比較スケールを表示することにより、ひび割れ幅を測定する	無線飛行体(電動マルチローター)に高解像度デジタルカメラ(2,100万画素)を搭載し、構造物近くを飛行しながら画像の撮影を行い、それを基にひび割れの検出解析を行う 無線操縦により飛行体は200mまでの遠方で構造物正面からの写真撮影が可能である 写真をおおりの補正を行いつながり合わせ構造物全体の写真とし、ひび割れ解析ソフトを使用することにより、長さ、位置を効率良く抽出することができる	デジタルカメラを搭載した小型の無人飛行装置により、コンクリート壁面や上下の水平面を撮影する技術を提案する。本技術はデジタルカメラなどで撮影した画像を解析することで、ひび割れを検出する種々の既存技術に対し、検出の精度向上に欠かせない正対、近接画像を提供できる撮影技術である	高性能無人ヘリロボットにデジタルカメラ、熱赤外線センサー等を搭載し、コンクリート構造物表面を対象として、任意距離から任意方向かつ連続的な撮影を行う。調査目的に応じた調査、人員接近困難箇所の調査、リアルタイムで映像確認しながらの調査ができる。測定値は人的要因によるばらつきがない。独自開発の画像処理技術にて画像補正を行い、コンクリート表面のひび割れ分布を整理し、健全度の診断を行うことができる	本技術は、船の揺動をキャンセルする姿勢制御装置に設置したビデオカメラにより、船上から港湾・海上構造物をほぼ水平または鉛直に撮影できる技術である。撮影した画像を自社開発の変状展開図作成支援ソフトウェア「CrackDraw21」に取り込み、ひび割れ数などの変状を入力し、ひび割れ数量の自動算出や、長期間の点検記録、詳細調査データ、補修履歴など各種情報を簡易に一元管理可能とするものである	画像による船上からの港湾・海上構造物の変状調査	概要
測定状況							測定状況

(3) 解 析

現場試行で得られた調査結果に基づき各応募者が「ひび割れ」の判断を行い、調査報告書としてとりまとめた。

なお、各応募者の「ひび割れ解析」に関わる時間および人員は、自己申告となることから公表資料の対象から外した。

(4) 判 定

国土交通省が行った既存の「ひび割れ」調査結果を、各応募技術者から提出のあった調査報告書の結果と比較し、ひび割れの位置、長さ、幅についてどの程度正確に発見できたかを試行調査結果として判定した。

5. おわりに

応募技術の試行結果については、人工、安全性、施工性、測定最小幅、優れた点、留意点、試行調査結果の評価を行った。評価結果については、NETIS維持管理サイト (<http://www.m-netis.mlit.go.jp/news/20140911.html>) にて公表している。今後は、本公表を通し、技術の特性（長所短所や適用可能な構造物、現場条件など）に基づく適材適所での活用を促進していく。

本試行を進めるに当たり、ご協力いただいた方々に誌面を借りてお礼申し上げます。

国土交通省 大臣官房 技術調査課 課長補佐 林 利行
 国土交通省 中部地方整備局 企画部施工企画課 課長補佐 牛場 久典