

2018

3

Vol.23 No.3

特集1:最新の複合材検査技術②

特集2:インフラを支える検査技術の最前線①

製品ガイド:探触子

試験・検査・評価・診断・寿命予測の専門誌

検査技術

Inspection Engineering

ISSN 1342-9825
CODEN: KGEIAS

発行:日本工業出版
<http://www.nikko-pb.co.jp>

OLYMPUS®

Your Vision, Our Future

NEW



頼れる機動力

検査のフィールドを選ばない
ハンドヘルド超音波探傷器の決定版、
EPOCH 6LT 新登場。

●橋梁 ●発電所 ●化学プラント ●航空機 ●鉄道の腐食や溶接部の検査、品質検査に。

片手操作が可能な小型・軽量ボディー

わずか890gの小型・軽量ボディーに片手操作でも疲れにくいエルゴノミックデザインを採用。グローブを着けた状態でも快適に操作できます。

検査の品質を高める探傷性能

当社超音波探傷器の主力機種「EPOCH 650」と同等の高い探傷性能(パルサー電圧:100V~400V、レシーバー帯域:DC~26.5MHz)を実現しました。

直感的なユーザーインターフェース

スマートフォンのように分りやすいアイコン表示。ロータリーノブとキーパッドでスムーズな操作が可能です。

www.olympus-ims.com

検査技術

2018年3月号 アブストラクト(要約)

■3Dレーザースキャナを用いた計測事例

/H-II検査計測 倉内友己 1

3Dレーザースキャナの概要について説明と、工場計測例や変位結果を用いてのアウトプット例を紹介する。

■トンネル壁面変状の走行式撮影システム技術

/中部EEN 衣笠貢司 4

トンネル壁面の劣化状態を時速10~20km程度で動画撮影し、0.3mm程度のひび割れ等を速度・曲率補正等を行い、1枚の正射影像解析し正確なデータ化するシステムの事例についてドローン画像解析含め紹介する。

■斜張橋斜材非破壊検査装置の開発と運用

/中日本高速道路 酒井秀昭 11

主桁を主塔から斜材(高強度鋼線のケーブル)で、斜めに吊る構造である斜張橋の重要部材である斜材の外観調査と、高強度鋼線の破断調査が可能な自走式斜材点検装置の概要について紹介する。

■自然電位による

コンクリート中の鉄筋腐食モニタリング手法

/香川大学 岡崎慎一郎 17

鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食モニタリングに関する基礎的検討を行った。小型試験体および大型試験体中の鉄筋に埋設センサを設置し、海水噴霧環境下における自然電位の長期的な推移を追跡し、鉄筋腐食推定手法を構築した。

■コンクリート中鋼材の電気防食および

防食効果のモニタリング方法について

/日本防蝕工業 山本 健 24

塗装を受けたコンクリート構造物が早期に劣化することがあり、この補修対策として電気防食工法がある。電気防食は、防食効果が高いことから数多くの実績がある。本稿では、電気防食工法の原理ならびに防食効果を確認するためのモニタリング技術について紹介する。

■宇宙用材料地上評価試験技術の実際

/宇宙航空研究開発機構 木本雄吾 29

「宇宙環境」を地上で模擬することはほぼ不可能である。よって宇宙環境の主要因を抽出し、模擬的に試験する。本稿では、宇宙用材料の試験評価技術について紹介する。

■丸棒の微小表面欠陥検出技術

/JFEスチール 阿相秀明 35

鋼材の厳格用途への適用を拡大していく上で、より高度な表面品質が求められており、探傷性能のレベルアップが必要である。通常探傷では検出できない微小表面欠陥の検出技術である2レベル判定法を確立したので、その内容を紹介する。

■音波ののもうやま話②

/アイ・エス・エル 宇田川義夫・他 38

探傷器画面で観測されるエコー波形と、探触子で受信される音波音圧波形との関係を、シミュレーションと実際計測結果を示して説明する。

■MHz電磁誘導加熱による

炭素繊維強化複合材料CFRPの非破壊検査

/岐阜大学 三宅卓志 45

炭素繊維強化複合材料CFRPの機械的特性に影響する織維状態(長さ、配向など)を、MHz帯の電磁誘導を用いて織維を直接加熱することにより、その発熱状態や伝熱状態から検出する方法について解説し、測定例を紹介する。

■非接触空中伝播超音波による複合材への適応事例

/ケン・オートメーション 矢尾板達也・他 49

水などの接触媒質を使用しない非接触空中伝播超音波は、有効な検査手法であるが、分解能や使用方法に制約がある。本稿では、複合材の検査事例を紹介する。

■本州四国連絡橋の点検・検査

/本州四国連絡高速道路 林 昌弘 54

本州四国連絡橋は、瀬戸内海に架かる三つのルートに架かる橋梁群である。海上という厳しい気象条件下に建設された長大橋を200年の長期にわたり適切に維持管理していくため、当社では様々な手法を用いて日夜点検管理・検査を行っている。本稿では、その中の代表的なものについて紹介する。

■磁石走行ロボットによる橋梁点検システムの開発

/熊谷組 永田尚人・他 61

高度成長期に建設された橋梁の老朽化が急速に進行しており、維持管理が喫緊の課題となっている。本稿では、目視点検の補助を目的とする橋梁点検用ロボットの開発と現場実証ならびにロボット改良の方向性を紹介する。

■鋼製支柱の腐食検査装置

/東京ガスエンジニアリングソリューションズ

浦辺安彦・他 68

鋼製支柱において、地表下で腐食している部分を検査する新しい腐食検査装置の紹介する。まず原理を概説し、鋼製支柱試験体を用いた腐食検出試験を行った結果について紹介するとともに、今後の展望について述べる。

■サンプリングモアレカメラのインフラ構造物への適用

/共和電業 前田芳巳 72

インフラ構造物の老朽化対策にともなう効率的な維持管理手法として注目を浴びている「サンプリングモアレカメラ」の概要と、橋梁計測の事例について紹介する。

P1712-09

解説

トンネル壁面変状の走行式撮影システム技術

Traveling-type photography system (technology) for deformed tunnel wall

車載式デジカメの走行時動画像よりひび割れ等の検出と図面化技術

(株)中部BEN 衣笠 貢司

1. はじめに

本誌2015年2月号では「インフラ保全における画像診断システム」でデジタルカメラ画像によりひび割れ幅0.2mm以上を検出可能な技術の現状と展開を紹介した。国土交通省「インフラ長寿命化計画」が進められてる中で国民生活やあらゆる社会経済活動を支える各種施設である橋、トンネル、建物などの構造物の長寿命化に対して持続可能なメンテナンスサイクルの構築に向けた取り組みが進められている。特に2012年の笹子トンネル事故以降、点検調査（道路構造物5年毎点検、特殊建築物3年毎点検が義務付け）、劣化対策が急務となつたが、増大する調査、修繕費用が課題となる中で、効率的な点検と適切な補修工事が今後、一層重要となつてゐる。

インフラの長寿命化に対応するなかで、従来の目や打音検査に頼らず、すでにセンサーや過去の点検履歴、インフラの利用者から得た大量のデータを分析し、効率的な補修計画を立てる「スマートメンテナンス」（賢い維持管理）の時代が到来しつつある。「高度なデジタル画像技術処理とIT機器を用いたリモート撮影装置による次世代の社会インフラ等保全技術開発および実稼働を目指す事業が進められている、ドローンやロボット・IoTの活用・人工知能AIの活

用など、さらなる新技術の開発も期待されてゐる。

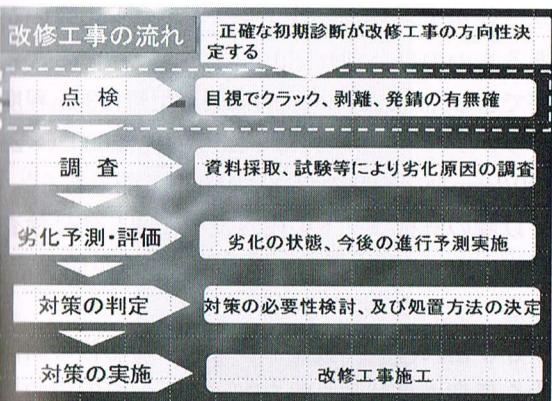
<技術開発内容>

- ・トンネルの（ひび割れ幅0.2mm以上を含む）壁面劣化状況は従来点検員による目視や手書きデータによる損傷図作成は精度が悪く、経年変化比較や施工時に誤差がある。限られた予算で汎用的なデジカメやPCを活用し、時速10~20km程度での走行し0.3mm以上のひび割れ幅、長さ、漏水、錆汁、エフロレッセンス等の形状、位置等を速度補正・曲率補正等を加え正確な解析とデータ化により、現場での近接目視点検の調査スピードの向上と規制日数、時間、人員の削減を実現し、IT機器を活用したデジタルデータ化を行うことで、安く正確な図面作成を実現するシステムづくり。
- ・赤外線画像とのコラボによるトンネル躯体より外部の水脈の位置や形態の図面化を図る。

このシステムを説明するにあたつて、まず前回でも説明した一般的な構造物で説明する。

2. 構造物の維持・改修工事の流れ

まず一般的構造物の維持・改修工事の流れの概略を説明すると、第1図の順で実施される。



第1図 構造物の維持・改修工事の流れ

初期診断により劣化に関する情報を得ることは、

- ① 損傷原因の推定
- ② 損傷原因を確定するための調査の必要性
- ③ 以降の補修・補強の必要性および方法を判断する重要な手がかり

となる。

本稿で紹介するデジタル画像診断支援システムは、第1図の点検と調査の部分の遠隔化、簡便化、経年観察比較を図り、著しい省力化を図るものである。

3. 構造物のひび割れ・劣化画像診断

(1) 初期診断について

一般的構造物を診断する場合の対象である構造物の表面変状には、以下のものが考えられる。

- ① ひび割れ（コンクリート部、溶接部）
- ② 剥落
- ③ 錆汁・鉄筋露出
- ④ 浮き（赤外線画像）・剥離
- ⑤ 金属部の腐食、疲労劣化
- ⑥ 遊離石灰、漏水等

以上のひび割れ、腐食、浮き等の調査を、デジタル画像と専用の画像診断ソフトの組み合わせにより行うシステムを開発・実用化している。本システムの実用化により、従来の手書き

による表面変状測定作業の高精度化・効率化および安全化が図られたが、そのほかにも、作成した劣化状況図がCADデータとして利用できることから、膨大な長さや面積の表示図面化およびその集計が容易である。また、ひび割れ幅等（0.2mm以上）を容易に求める等の優れた機能を有しており、過去のデータとの経年変化監視など、今後、工場・設備で応用が期待できると考える。

(2) 画像診断システムの概要

構造物の0.2mm以上のひび割れの長さ、劣化面積等の測定を実施するには、従来、現場でのクラックスケール等によるひび割れ幅計測と図面への手書きトレース方法がほとんどであった、また、道路舗装の場合は、高価な自動計測者で路面の写真を真上から撮影できる装置による方法に限られていた。

しかしながら、近年のデジタルカメラ（以下、デジカメ）とパソコン（以下、PC）の高性能化と画像処理技術の進歩により、これらを組み合わせることで、100m程度離れた構造物でも、画像を精度良く得ることが可能となった。

そこで、筆者は、2003年より市販のデジカメで撮影した任意の方向からの画像を、専用の画像処理ソフトにより真上から見た画像に変換（以下、正射影変換）して、構造物のひび割れ等の表面変状計測を効率的に行うために、蓄積した

システムの手順

1. 写真撮影
2. 図面読み込み基準点座標設定
3. 撮影画像と図面との相対座標指示
4. 画像正射影変換
5. 変状診断トレース
6. 診断図・集計表

第2図 画像診断システムの手順

ひび割れデータと照合し、画像を適正に処理するシステムを実用化した。以下に内容及び機能を紹介する。

(3) 画像診断システムの機能

本画像システムを用いた診断手順は、第2図のとおり、現場での作業はデジカメで写真撮影を行うのみで、あとは事務所でのPC作業となる。

従来の診断方法と比較すると、現場作業では調査時間の削減と足場などが不要になるため、仮設費が大幅に低減される。また、事務処理作業では記録がデジタル化されているため、診断精度の向上と事務量の削減となる。

① 写真撮影

構造物撮影に用いるデジカメの性能は撮影素子がフルサイズでF値2.8以下での光学レンズの機能をもつ機種（一眼レフ）を推奨する⁽⁸⁾。

撮影に際しては、あらかじめ基準となる型枠跡、目地などを設定した、撮影範囲の中に四隅の位置が識別できる状態で撮影する。

この際、正射影返還後の画質の低下を防ぐために、可能な限り正射面に近い方向から望んだ撮影をする。

第3図に、マンションを対象とした撮影事例を示す。



第3図 マンションの撮影実例

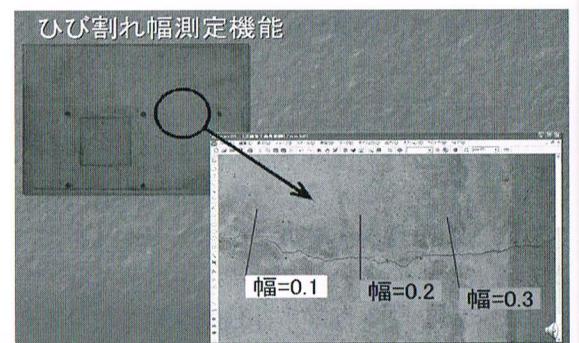
撮影範囲はデジカメの性能により多少異なるが、一般に、目標解像度が $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}/1\text{画素}$ 以下となるようにカメラ・レンズを組み合わ

せて使用する場合ではコンストラストに違いがあるもののひび割れ幅0.2mm幅を認識することができる⁽⁸⁾。なお、一般的に撮影距離は30m程度が多いが、レンズ300mm/F2.8焦点距離600（×2）で0.2mmひび割れの認識は明確に可能である⁽⁸⁾。

以降の解析ソフトの内容説明に関しては検査技術Vol.20、No.20⁽⁷⁾を参照、要点のみ説明する。

② ひび割れ幅測定機能

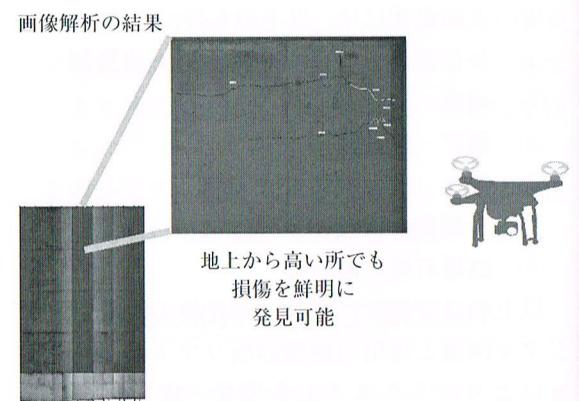
ひび割れ幅測定機能により、正射影後の画像から任意のひび割れ幅を0.1mm単位で安定的に測定し、ひび割れ幅を区分する（第4図）。



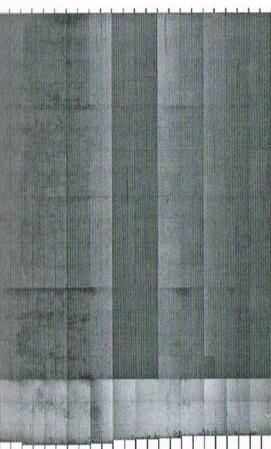
第4図 ひび割れ幅測定

③ ドローンの活用事例

近年に入ってドローンの活用が活発になり撮影した画像を用いて橋脚の損傷を調査した。より正面から接近できるため、正射影変換するときのゆがみがない画像にでき、鮮明に画像が撮



第5図 ドローン解析事例



第6図 ドローン解析の過程



第7図 ドローン解析の過程解析



第8図 ドローン解析の過程損傷の位置



第9図 赤外線画像とデジタル画像による外壁浮き、ひび割れ解析事例

られているため、従来の診断方法よりひび割れ幅0.1mm以下の小さな損傷もより多く捉えることができた反面、撮影された画像の時間帯や天候によってはハレーションや明るさ不足により不鮮明な画像で損傷を解析することができない場面が見受けられた（第5図～第8図）。

4. トンネル点検車を用いた画像解析

今回のテーマである「トンネル壁面変状の走行式撮影システム」を説明する。平成26年度研究開発及びものづくり補助金⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を活用させていただき開発・製作したトンネル点検車を用いた撮影状況である（写真1、写真2）。トンネ



写真1 トンネル点検車後方

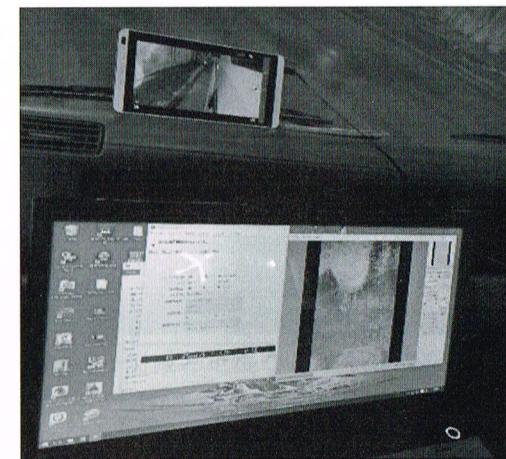
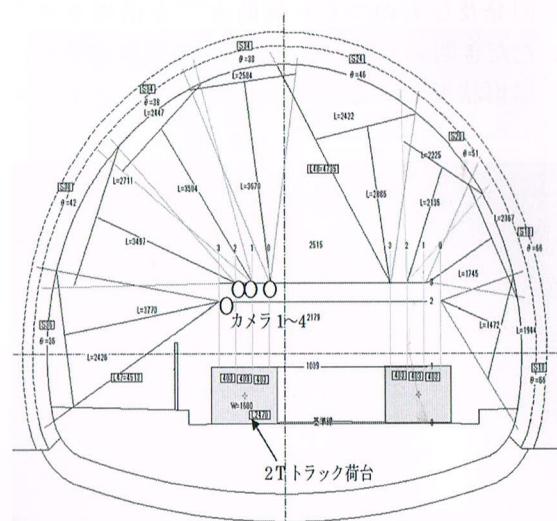
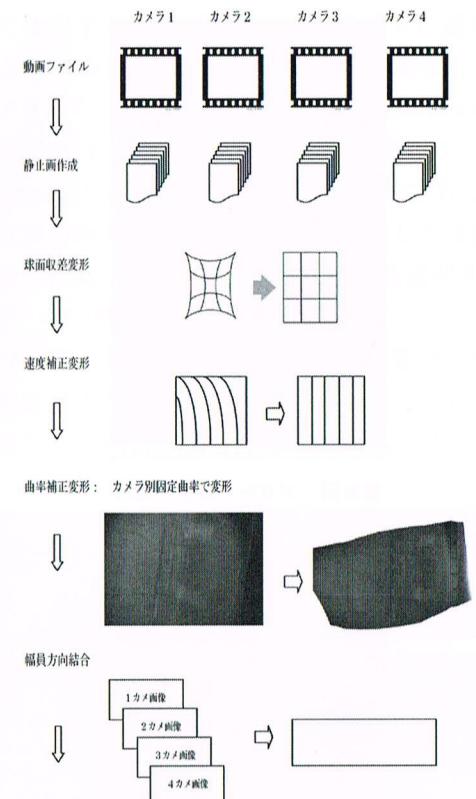
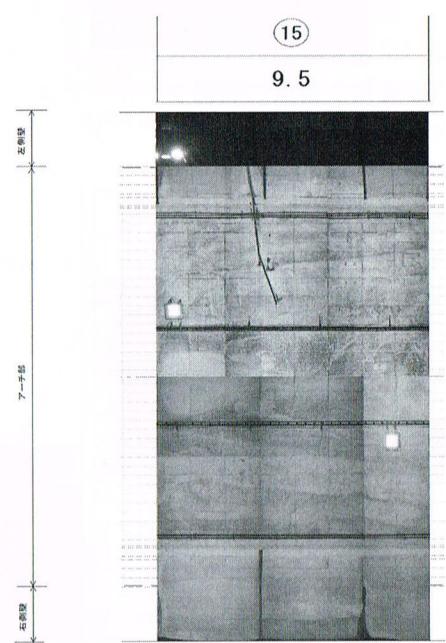


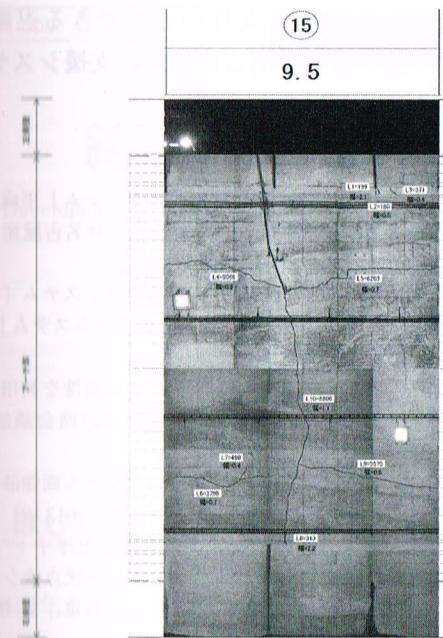
写真2 トンネル点検車内

ル点検車に搭載されている6台のカメラ及び24基の撮影用ライト（第10図）がトンネル内半断面を動画撮影し、速度補正・曲率補正等を実施して1枚の画像（第11図）にしたものを前に説明した画像診断ソフトにて正射影画像に変換して図面に貼り付ける（第12図）。

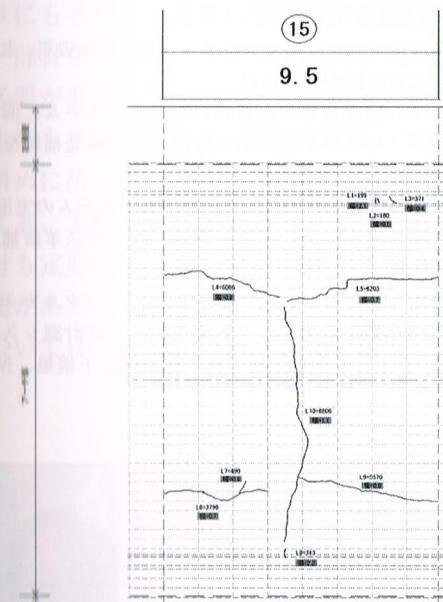
従来の点検方法に比べて損傷の位置がより正確であるほか、現場での作業時間が従来の点検よりも早いため、今後の活用が期待される（第13図、第14図）。

第10図 トンネル壁面撮影区割り
開発時図面⁽⁹⁾: 現在カメラ6基⁽¹⁰⁾第11図 トンネル画像解析のフロー図
開発時図面⁽⁹⁾: 現在カメラ6基⁽¹⁰⁾

第12図 トンネル壁面正射影合成画像



第13図 トンネル壁面合成画像解析後



第14図 トンネル壁面画像解析損傷の位置

6. その他参考事例

タブレット端末等を用いた「リモート撮影装置による遠隔操作での点検診断システム」の開発と、プラント施設での撮影・観察業務での保

全作業の安全確保と低コスト化、効率化の事例である。

現在も稼動している某プラント設備のコンクリート構造物の内部撮影装置での劣化調査事例（写真3～写真7）。

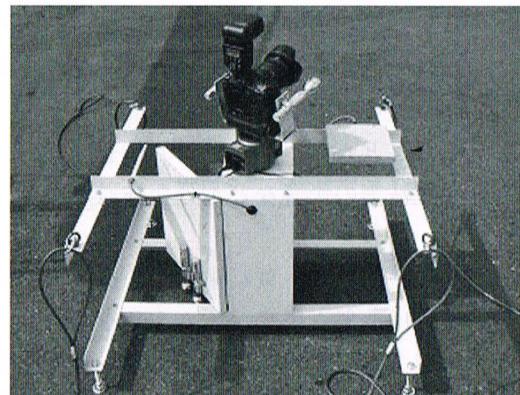


写真3 リモート撮影装置

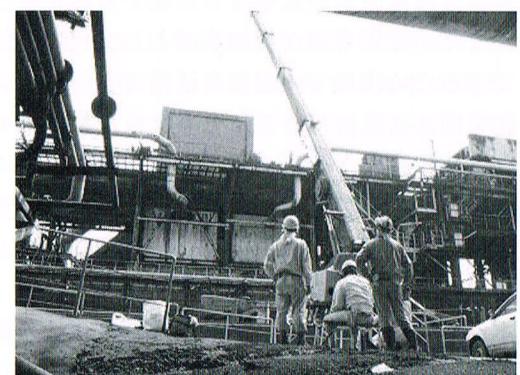


写真4 クレーンによる無線リモート装置投入監視



写真5 投入状況 (地上より高さ約30m・ブーム長60m)

無線リモート装置においては鮮明な撮影画像を確保できたが大規模なプラント施設内であり、一時的に流れ込む強い電波にリモートの電波が影響を受けて通信速度の低下及び急な回線が切断される状況も起きた。

以上の経験からプラント内等での調査業務に於いては無数の強力な電波が考えられ、無線だけでの対応ではなく、無線+有線、有線など調査方法の検討を進める必要がある。

これらのことからドローンでの調査等においても違法電波等の影響など十分な検討が必要である。

6. おわりに

本画像診断システムの採用により、人による撮影方法に比べて、点検作業及び写真枚数の削減により診断業務の大半が省力化が可能となった。また、撮影車両が規制車両として使用も併用できるため現場での規制を活用でき作業の安全化を図ることができることも大きな利点である。さらに道路トンネルだけでなく軌陸車への乗せ換までの鉄道トンネルでの撮影も可能になり延長の長い防音壁や連続壁などの調査等にも活用の可能性がある。

本システムにより得られる画像は、現地の間近での目視観察状況に近いことから、技術的な利用価値も高い。幅・長さ・面積測定、赤外線画像などの効率的な集計処理など、色の識別による各所の分析を詳細かつ迅速に可能にする優れた機能を有している。汎用性のある、常に先進デジタルカメラやPC技術をとり入れ、構造物の表面の画像解析にとどまらず構造物の変位計測および監視システムとしての活用もすでにスタートしている^{10)。} 画像解析診断支援システムは、市販のデジカメ・PCの性能が向上していけば、当社の画像解析技術も向上していくため、従来の損傷図より正確かつ低コストで提供できる点が強みである。また、AI技術の活用

と高齢者の経験知や女性の方ができる忍耐強く、正確性が必要である画像解析支援システムの業務も広めていきたい。

<参考文献>

- (1) 衣笠貢司：「デジタル画像診断支援システム」平成23年度名古屋市工業技術グランプリ奨励賞、(財)名古屋産業振興公社 (2012.2)
- (2) 国土交通省HP：NETIS新技術情報提供システム「デジタル画像による、構造物の点検・分析支援システム」、震災復旧・復興支援サイト
- (3) 井原正・加藤晃・加藤和義：「デジタル画像を利用した舗装路面のひび割れ測定」、第27回日本道路会議舗装、43-7 (2008.11)
- (4) 衣笠貢司：「インフラ保全におけるデジタル画像診断支援システムの活用」、プラントエンジニア (2013.12)
- (5) 山本拓治・大畠俊輔・衣笠貢司・三上恵津子：“デジタル画像解析手法を用いた簡易トンネル変状点検システム”、土木学会第69回年次学術講演会予稿集、VI-5、03 (2014.9)
- (6) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領 (2014.6)
- (7) 衣笠貢司：“インフラ保全における画像診断支援システム”、検査技術 (2015.2)
- (8) 高解像度カメラ使用マニュアル (案) 技術資料、東・中・西日本高速道路㈱ (2015.4)
- (9) トンネル壁面変状の走行式自動撮影システムに関する研究開発：平成26年度新あいち創造研究開発補助金事業 (2015.6)
- (10) トンネル壁面変状の走行式自動撮影システムの実用化：平成26年度補正ものづくり・商業・サービス革新補助金事業 (2016.9)
- (11) 大野雄史・加藤信二郎・衣笠貢司：“デジタルカメラと画像処理技術を活用した土木構造物の変位計測システムの研究”、土木学会第70回年次学術講演会予稿集、IV-076 (2015.9)

【筆者紹介】

衣笠 貢司

㈱中部EEN 代表取締役

<主なる業務歴および資格>

一級建築士、道路橋点検士、橋梁点検士、測量士、甲種火薬取扱責任者1級土木・1級管工事・1級造園施工管理技士等、振動・騒音防止公害防止管理者、他

<会社の主な事業内容>

建設コンサルタント・一級建築事務所。建築設計・監理 構造物の調査診断・設計業務、構造物の画像解析診断、バイオマス発電システム企画・設計・施工、再資源化装置EE22企画・販売。

