

コンクリート構造物検査用棒形スキャナの開発

伊藤 幸広・高橋 洋一・宮本 則幸

コンクリート構造物に小径のドリル孔を穿孔し、中性化深さや塩化物イオン浸透深さなどを検査する局部破壊試験が、実際の検査業務でも用いられるようになってきた。著者らは、構造物に開けた小径ドリル孔の孔壁面の状態を専用のスキャナ（棒形スキャナ）を用いて撮影し、1つの検査孔から維持管理に必要な複数の情報を取得するという、効率性、経済性、安全性に優れた検査技術について開発を行った。本報は、棒形スキャナの構造や性能および一連の検査手順について述べ、さらに実構造物の検査業務で実施した事例について報告するものである。

キーワード：局部破壊試験、小径ドリル孔、棒形スキャナ、デジタル画像、中性化、ひび割れ

1. はじめに

少子高齢化社会へと移行する中、社会保障支出の増大に伴い、国・地方自治体とも社会資本整備に関わる公共投資を削減する方向にある。一方で、1955年頃から始まった高度経済成長期には、大量の社会資本が急速に整備されたが、これらは既に建設後30～50年経過した高齢化（老朽化）施設となっており、社会資本を維持更新するための予算確保も急がなければならない。しかし現状では、限られた予算内で合理的かつ効率的に維持管理を行う必要があり、一部の自治体では従来の維持管理計画の見直しやアセットマネジメントを代表とする各種マネジメント手法を新たに導入する動きがみられる。

蓄積された社会資本ストックの維持更新費を縮減するためには、老朽化施設のみならず耐用年数に満たない施設においても、その劣化状況を詳細に調査し、データベース化することから始めなければならない。

国土交通省では、2008年度から5カ年計画で、全国の下水道、橋梁、トンネル、港湾施設などを大規模に調査することを決め、これらの施設を管理する自治体にも補助金を出して調査協力を要請することとした。現状においては、下水道を定期的に検査している自治体は全体の3割程度であり、橋梁に至っては1割程度という指摘もあり、この一斉調査によって、全国的な構造物の劣化状況の実態が明らかとなり、社会資本ストックの延命化に繋がるものと期待される。しかし、橋長15m以上の道路橋だけでも全国に約14万

橋あり、また、下水道の総延長は38万kmにも及ぶことから、いかに経済的、効率的に調査を進めるかが大きな課題であろう。

2. コンクリート構造物の検査方法の問題点

今後膨大な調査を進めて行く上では、対象となる構造物や部材が、鋼、コンクリートのいずれであっても、検査方法には、費用、検査時間、作業性といった要件を重要視しなければならない。特に、コンクリート構造物では、鋼構造物と比較し劣化機構の種類が多いため、検査項目が多くなる傾向にあり、検査費用や時間といった点が問題になるものと考えられる。なお、コンクリートの各種劣化状況を検査する簡易な非破壊検査方法も数多く提案されているが、コンクリートが粒子径の大きく異なる材料から構成され不均質であることから、非破壊検査に高い精度を求めることは難しい。

コンクリート構造物の検査においては、コア試験体をサンプリングし検査する方法が従来より多く用いられてきた。採取されたコア試験体からは、圧縮強度、中性化深さ、塩化物イオン含有量、骨材の反応性、内部のひび割れ状況など様々な情報が得られ、非常に合理的な方法である。しかし、コア抜き検査では、比較的大きな装置を必要とすること、コストや作業性の問題および構造物に損傷を与えることなどから、一つの構造物や部材から多くのサンプルを採ることは行われていない。

一般に、コンクリート構造物の検査において検査精

度を上げるためには、サンプル数を多くすることが不可欠である。この理由としては、コンクリートが不均質であり、また、劣化機構の多くが気温・湿度などの環境作用の影響を大きく受け、一つの部材内であっても採取位置によって検査値が大きくばらつくためである。

また最近では、橋梁などの耐震補強工事での鉄筋切断事故を契機に、コア抜き検査が実施できないケースが増えてきている。鉄筋間隔が狭い場合や内部に渡り配筋が過密な場合など、コア削孔の際に鉄筋を部分損傷もしくは切断する危険性がある時には、その適用を見合わせるべきである。

このようなコア抜き検査の持つ問題を解決する方法として、構造物に小径のドリル孔を穿孔し、中性化深さや塩化物イオン浸透深さなどを検査する局部破壊試験（微破壊試験）にここ数年注目が集まっている。しかし、これまでに提案されている局部破壊試験方法では、1つの検査孔で1つの検査項目しか実施できず効率性・経済性に問題が残されている。

以上のような背景から、構造物に開けた小径ドリル孔の孔壁面の状態を専用のスキャナ（棒形スキャナ）を用いて撮影し、1つの検査孔から維持管理に必要な複数の情報を取得するという、効率性、経済性、安全性に優れた検査技術の開発を行った。本報は、開発した棒形スキャナの構造や性能および一連の検査手順について述べ、さらに実構造物の検査業務で実施した事例について報告するものである。

3. 棒形スキャナの概要

(1) 棒形スキャナの構造

小径ドリル孔の孔壁面の状態を撮影するために開発した棒形スキャナは、写真—1に示す外観のものであり、その仕様は表—1に示す通りである。孔壁面の画像の読取り（スキャニング）方法としては、PCカードを介してパソコンに接続した棒形スキャナを孔内に挿入し、手で棒形スキャナを孔軸に対して1回転させるのみという簡易な方法である。写真—2は、実際にスキャニングを行っている状況であるが、手元のスイッチでソフトが起動し、スキャナの回転に合わせて孔壁面の画像がリアルタイムでノートパソコンのモニタ上に表示されるシステムである。

棒形スキャナで画像を読取る原理は、紙面などを読取る一般のスキャナと同じ原理を用いており、イメージセンサの移動距離をエンコーダで計測し、イメージセンサで読取った画像のラインデータと合成すること



写真—1 棒形スキャナの外観

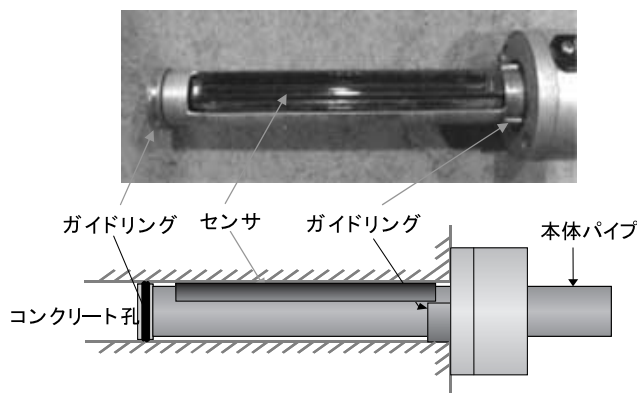


写真—2 スキャニング状況

表—1 棒形スキャナの仕様

センサ部	センサタイプ：密着型イメージセンサ（CIS） イメージセンサ長：120 mm 読み取りサイズ：105 mm × 356 mm 読み取り解像度：300 × 300 dpi （1677万色フルカラー） 焦点距離：1 mm
ケーブル	ケーブル長（コネクタを含む）：766 mm
動作環境	パソコン：PC-AT 互換機 （PCカードTYPE IIスロット必須） CPU：Pentium-100 MHz 以上 メモリ：32 MB 以上

により2次元画像を作成するものである。棒形スキャナに用いたセンサには、小型化のため密着型イメージセンサ（CISセンサ）を採用したが、この種のセンサは焦点深度が1 mm程度であるため、孔壁面とセンサとの距離が大きく変化するとピントの合わない画像となる。この問題を解決するため、センサが焦点距離を保ったまま、孔軸を中心に安定した回転ができるように、スキャナの先端部と孔口挿入部にガイドリングを設けて回転を支持した。センサ部およびガイドリングの形状は、図—1に示す通りである。ガイドリングは、本方法で穿孔する孔径（φ 24.5 mm）より直径で1 mm小さいものとした。



図—1 センサ部およびガイドリングの形状

ピントが合った高精細な画像でも、エンコーダからの移動距離データがイメージセンサで読取った画像の

ラインデータと一致しないと、画像に圧縮やトビが生ずる。エンコーダからの移動距離データを間欠なく安定して伝えるため、図-2に示すように、スキャナ本体パイプにエンコーダから連動するローラーを密着させ、移動距離を読取る機構とした。なお、このエンコーダ部と孔口に挿入するガイドリングの部分は前後に移動できるようになっており、深さ3 cm から25 cm までの孔に対してスキャニングが可能となっている。

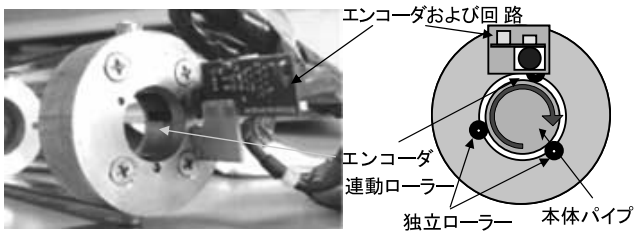


図-2 エンコーダ部の形状

(2) スキャニング画像の特徴

本スキャナに用いた密着型イメージセンサは焦点深度が浅いことから、ピントがあった画像では被写体までの距離が一定と考えることができる。すなわち、密着型イメージセンサでは読取り解像度が同じならば、画像内のピクセルは常に同じサイズになる。本スキャナでは読取り解像度を 300 dpi × 300 dpi (dpi = dot per inch) に設定しているため、画像内の1ピクセルの一辺サイズは 84.7 μm となる。確認のため写真-3のように孔内にスケールを貼付し、スキャニングした画像よりピクセルサイズを求めたところ、理論値とよく一致した。デジタルカメラによる各種計測で必要となるスケールの写し込みが本スキャナでは不要であり、画像内の任意の2点間の距離はピクセル数から容易に求めることができる。なお、1スキャンで取得できる最大長さ 105 mm の孔壁面の画像は、画素数として約 110 万画素 (ピクセル) あり、0.5 mm 以下の細骨材やひび割れなども確認できる高精細な画像である。



写真-3 孔内にスケールを貼付したスキャニング画像

また本スキャナでは、ピクセルサイズが一定であることに加え、縮小光学系センサが持つレンズ収差による画像ひずみの問題がないため、画像の重ね合わせを

正確に行うことができる。1スキャンの最大長さより深い孔で、連続した孔壁面の画像を作成する場合には、図-3のように隣り合う画像間で共通する部分を撮影しておき、パソコン上で画像の合成を行う。画像の重ね合わせは通常目視で行うため誤差が生じるが、合成画像の孔軸方向のひずみは 0.5 % 程度であった。

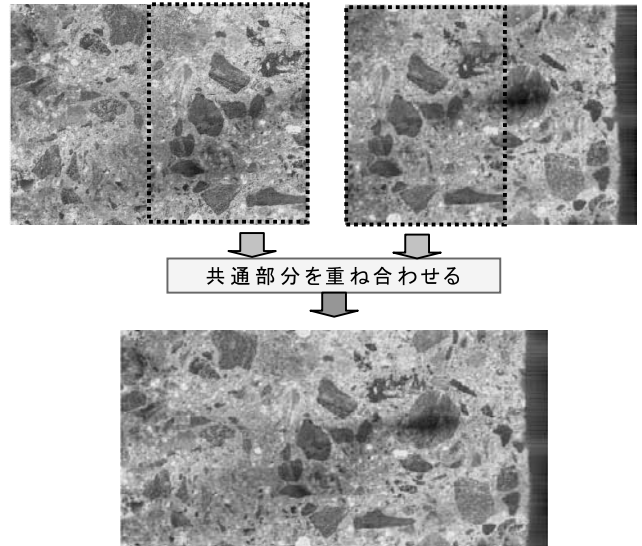


図-3 画像の合成方法

画像内に写ったひび割れの幅や中性化深さなどの計測は、ピクセル数のカウントから容易に行うことができるが、デジタル画像の特性を利用した各種解析も可能となる。例えば、図-4は画像処理により粗骨材 (5 mm 以上の骨材) を抽出した画像であり、これより粗骨材の面積率や個数を計算することができる。すなわち、孔軸方向における材料分離の程度を評価することが可能となる。

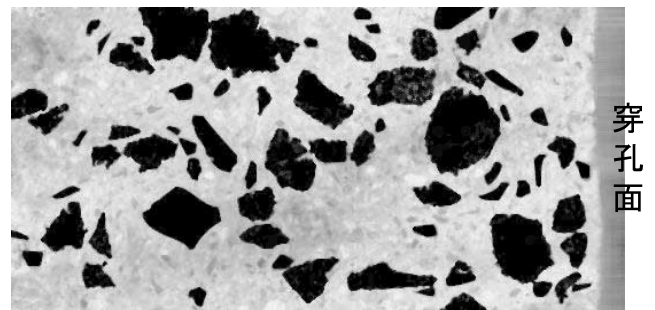
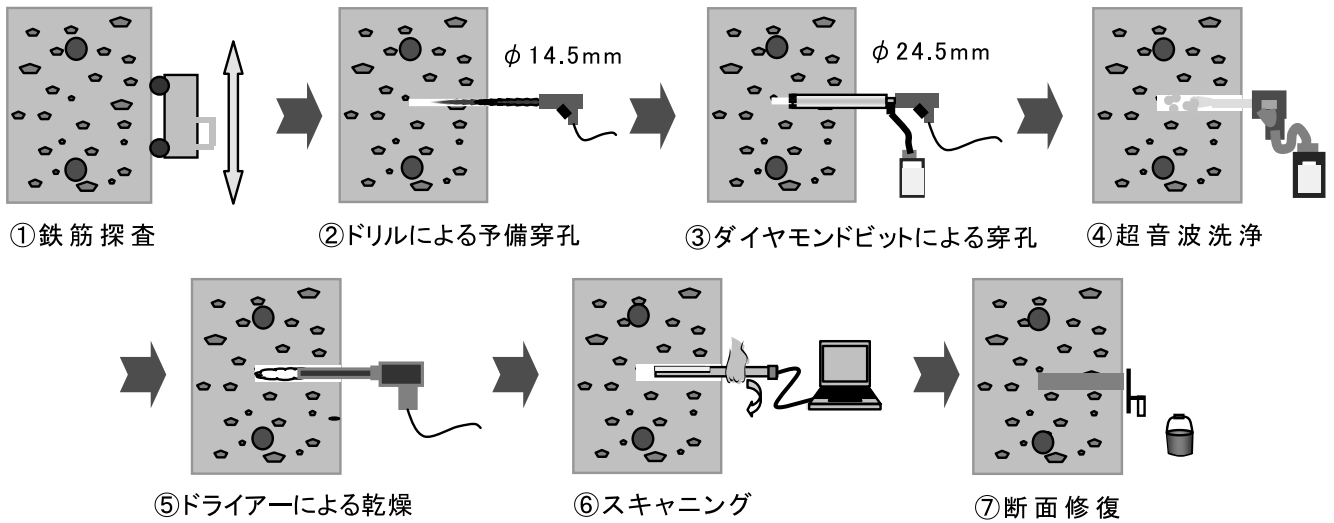


図-4 画像処理により粗骨材を抽出した画像

4. 検査手順

穿孔から棒形スキャナによる画像取得までの一連の検査手順は、図-5に示す通りである。検査作業と



図一五 検査手順

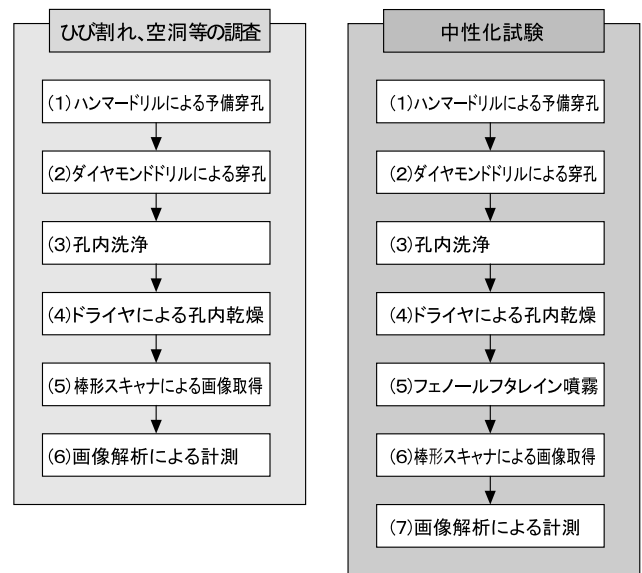
しては、まず鉄筋探査を行い、穿孔位置を特定する。本方法が提案する穿孔方法としては、最初に振動ドリルまたはハンマードリルによってφ 14.5 mm の孔を予備穿孔し、次に、写真一 4 に示すガイド棒を取り付けた小径ダイヤモンドコアビットによりφ 24.5 mm の孔を穿孔する。予備穿孔を行う目的としては、現在の鉄筋探査装置は深さ十数 cm 以深の探査精度が低いため、予備穿孔によって鉄筋の存在を確認すること、ダイヤモンドコアビットに取り付けたガイド棒（φ 13 mm）が予備穿孔の孔に沿って先進することにより、コア孔の真円性、直線性が高くなること、および全体の穿孔時間が短くなることの3つの目的がある。穿孔後は、孔内に切り粉（ノロ）が残るため洗浄、乾燥を行うが、別途開発した超音波洗浄装置¹⁾を用いると微細なひび割れ内に詰まった切り粉であっても確実に短時間で洗浄ができる。

で行い、硝酸銀溶液を塗布した後変色した境界部分をスキャンングすることにより確認が可能である。その一例を写真一 5 に示す。



写真一 4 ガイド棒付ダイヤモンドコアビット

ひび割れや空洞などの内部欠陥の調査においては、乾燥直後にスキャンングすることにより検査が可能であるが、中性化深さの測定では、孔内にフェノールフタレイン溶液を噴霧した後にスキャンングを行う。それぞれの検査の流れは図一 6 に示す通りである。塩分浸透状況の調査においては、穿孔や清掃を全て乾式



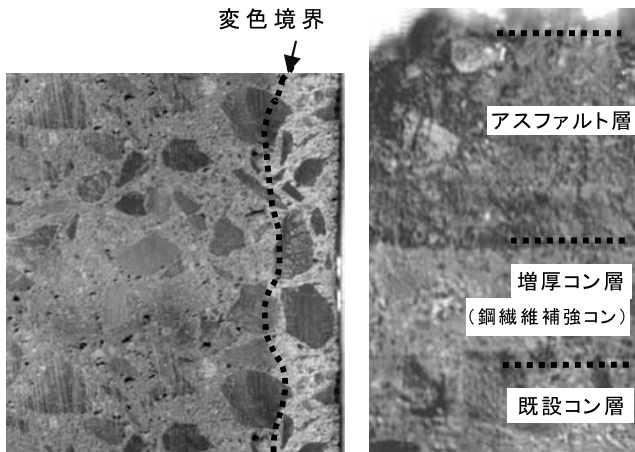
図一 6 各種検査の流れ

穿孔開始からスキャンングさらに断面修復までに要する時間はおよそ 30 分である。一般のコア抜き作業と比較すると、本方法の工程は多いが作業時間は短くなり、また、構造物に与える損傷の程度も小さく、鉄筋を切断する危険性がない。

5. 適用事例

(1) 道路橋 RC 床版の調査事例

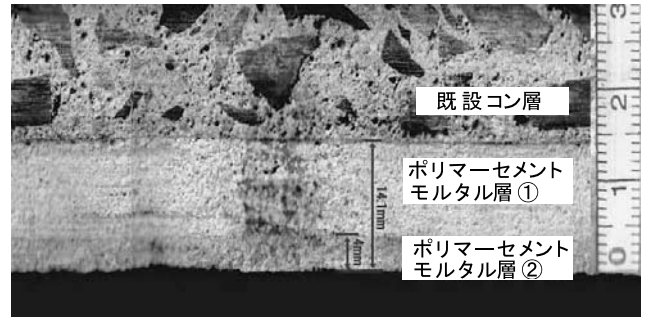
旧基準で設計された道路橋の RC 床版では、既設 RC 床版上面に鋼繊維補強コンクリートを打継ぐ上面



写真一五 乾式穿孔で孔内に硝酸銀溶液を塗布した例

写真一六 床版の画像 (1)

鉄筋を切断する危険性が高いが、本方法では過密配筋の構造物でも安全に調査ができる。



写真一七 床版の画像 (2)

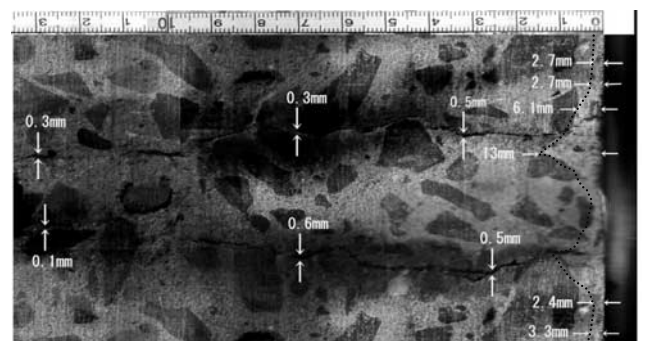
増厚工法により補強された事例が多くある。しかし、施工時の既設コンクリートの表面処理が適切でない場合や荷重の繰返し作用が激しい場合には、既設コンクリートと増厚コンクリートの間で剥離を生じ、新旧コンクリートが一体化して外力に抵抗することができず、床版の疲労寿命が極端に短くなることが懸念されている。写真一六は、上面増厚工法により補強された床版のひび割れ調査の一例である。この画像は、アスファルト層表面から既設コンクリート層まで穿孔した孔のスキャニング画像であるが、既設—増厚層間での剥離や微細なひび割れは確認されなかった。このような調査において、従来のコア抜検査を実施すると、ひび割れ面でコアが分断して採取されるため、ひび割れ幅の測定はできない。また、ひび割れが無く、各層間が十分に付着している場合であっても、コア削孔やコア採取の際のねじりや曲げ応力により、コアが層間で分断し採取されることがあり、ひび割れの存在の判定が難しくなる。

RC床版の補強では、床版の引張側に補強鉄筋を配置しポリマーセメントモルタルなどで増厚する下面増厚工法も多く採用されている。写真一七は、下面増厚工法により補強された床版を下面から穿孔し、フェノールフタレイン溶液を噴霧した後のスキャニング画像である。既設コンクリートとポリマーセメントモルタルの層間には剥離が見られず、2層に分けて施工されているポリマーセメントモルタルも良好な付着状態であった。フェノールフタレイン溶液の塗布により、ポリマーセメントモルタルの部分は赤変し、アルカリ性を保持していることが確認できるが、既設コンクリートの部分は中性化が進行していたことが明らかとなった。下面増厚工法では補強筋のピッチが100mm以下と狭い場合が多く、通常のコア抜きによる方法では

(2) 道路橋橋脚の調査事例

既設橋の落橋防止のため、橋脚の縁端拡幅を場所打ちコンクリートで行い、桁掛り長を確保する耐震補強工法が各所で採用されている。この工法では、既設コンクリートやあと施工アンカーの外部拘束の影響が大きいため、施工時に温度ひび割れが発生するケースがある。ひび割れが発生した縁端拡幅コンクリート部の耐久性診断のため、本方法により内部でのひび割れの状況および中性化深さの調査を行った。検査孔は、コンクリート表面に対して垂直に、またひび割れが孔の中心を通るように穿孔した。写真一八は、原画像に同縮尺のスケールを合成し、ピクセル計測したひび割れ幅や中性化深さの値を挿入したものである。これより、ひび割れ深さは130mm以上と、かぶりより深くまでひび割れが存在することが確認でき、ひび割れ幅も表面から130mmの位置で0.3mm程度あることが明らかとなった。ひび割れの深さや内部での幅は、ひび割れの発生原因の推定に有用な情報となる場合が多い。このケースは、ひび割れが深く、内部においてもその幅が縮小しないという典型的な外部拘束による温度ひび割れのパターンと言える。

中性化状況については、ひび割れから離れた位置と



写真一八 橋脚ひび割れ部の画像

ひび割れ周辺では中性化深さが大きく異なることが分かる。ひび割れから離れた位置では、中性化深さは2.5 mm 程度であるのに対し、ひび割れ部では最大で13 mm と、5 倍以上の中性化深さとなっている。これは、和泉らの研究²⁾が示すように、内部においても幅が縮小しないひび割れが存在すると、ひび割れに沿って中性化領域が広がるという結果と一致している。中性化深さから構造物の耐久性などを評価する場合には、健全部のみならず欠陥部においても中性化深さを測定する必要がある。以上のように、本方法は構造物の原位置で、1つの検査孔から中性化深さやひび割れ幅などの各種計測ができるという特徴がある。

6. おわりに

小径ドリル孔を利用した棒形スキャナによる検査方法は、従来のコア抜きによる方法に比べ効率的にかつ安全に作業ができ、また、構造物の原位置での情報を精度良く取得でき、さらに、後の解析によって種々の分析が可能となるという特徴を持つ。現在は、高解像度の棒形スキャナの開発や穿孔時間短縮のための装置改良を進めている。また、アルカリシリカ反応や凍害などの劣化診断への適用性についても検討を行っている。



《参考文献》

- 1) 浦義裕・伊藤幸広・林田雅明・山内直利：内視鏡および棒形スキャナによるコンクリート構造物検査方法のための超音波洗浄装置の開発、平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集第1分冊、pp.518-519、2004年
- 2) 和泉意登志・嵩英雄：コンクリートのひびわれ、打継ぎ、豆板部における中性化の進行、セメント・コンクリート、No.448、pp.50-55、1984年

【筆者紹介】



伊藤 幸広 (いとう ゆきひろ)
佐賀大学 理工学部 都市工学科
准教授 博士 (工学)



高橋 洋一 (たかはし よういち)
株計測リサーチコンサルタント
九州事業部 事業部長



宮本 則幸 (みやもと のりゆき)
株計測リサーチコンサルタント
企画開発部長

建設の機械化／建設の施工企画 2004年バックナンバー

平成16年1月号(第647号)～平成16年12月号(第658号)

1月号(第647号)
ロボット技術特集

5月号(第651号)
リサイクル特集

9月号(第655号)
維持管理特集

■体裁 A4判
■定価 各1部840円
(本体800円)

2月号(第648号)
地震防災特集

6月号(第652号)
海外の建設施工特集

10月号(第656号)
環境対策特集

■送料 100円

3月号(第649号)
地下空間特集

7月号(第653号)
安全対策特集

11月号(第657号)
除雪技術特集

4月号(第650号)
行政特集

8月号(第654号)
情報化施工特集

12月号(第658号)
新技術・新工法特集

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>