

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560568

研究課題名(和文)高解像度棒形スキャナを用いた新しい維持管理手法の開発

研究課題名(英文)Development of new maintenance method using high resolution type stick scanner

研究代表者

伊藤 幸広 (ITO, YUKIHIRO)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90223198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高解像度のラインセンサを搭載した棒形スキャナと新しい維持管理手法の開発を行ったものである。ラインセンサはCISタイプであり、読み取り解像度は1200dpiのものである。本装置を用いたコンクリート中の塩化物イオン量測定結果の補正方法を提案した。また、点検孔を利用したアルカリシリカ反応によって劣化した構造物のモニタリング方法を開発することを目的に実際の劣化構造物で実験を行った。

研究成果の概要(英文)：The high resolution type stick scanner has been developed for new maintenance method of concrete structures. The stick scanner has a CIS type sensor and resolution of image sensor is 1200dpi. A correction method of test for chloride ion content in hardened concrete by using this machine was developed. Furthermore, in order to investigate possibility of the ASR monitoring system by drilled hole, an experiment was carried out with a deterioration structure.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：棒形スキャナ ひずみ デジタル画像相関法 ラインセンサ コンクリート ASR モニタリング 点検

## 1. 研究開始当初の背景

建設後 50 年以上経過する構造物は、この先 10 年間で現在の 5 倍になるとの指摘があり、計画的・戦略的な維持管理手法の導入が進められている。コンクリート構造物の計画的な管理には、まず個々の構造物や部材の健全度（劣化度）をデータベース化する必要がある。膨大な情報収集を行うために、より安価で効率的な検査技術の開発が求められている。

コンクリート構造物の検査では、コアを採取して強度、中性化深さ、塩分物イオン量、ひび割れや空洞などの内部欠陥の状況を調査する方法が一般に行われている。しかしコア法では、コアの採取に際し比較的大きな装置を必要とすること、また、コストや試験時間の問題から一つの部材から多くの検査点数を取ることは行われていない。また、近年の耐震補強工事での鉄筋切断事故の問題と同様に、コア削孔の際に構造物内の鉄筋を部分損傷もしくは切断する危険性が残されている。

このようなコア法の持つ問題を解決する方法として、構造物に小径孔を削孔し、中性化深さや塩分イオン量などを検査する微破壊試験（局部破壊試験）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微破壊試験方法では、1つの測点で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。このような問題を解決すべく、コンクリート構造物に小径孔を削孔して構造物内部の状況を可視化できる棒形スキャナを開発し、コンクリート構造物の維持管理への適用性の検討を行ってきた。棒形スキャナは現在までに全国の多数の現場で使用され、その有効性は確認されているが、取得するデジタル画像の高精度化、劣化診断法の種類の拡張、長期モニタリングへの適用など新たな要求が生じてきた。

そこで本研究では、高解像度のセンサを搭載した新しい棒形スキャナを開発するとともに、塩化物イオン浸透深さなど現場のニーズの多い調査についても棒形スキャナによる検査が可能となるよう新たな検査手法の確立、点検孔を利用した ASR 劣化等の長期モニタリング方法を開発することを目的に研究を行うものである。

## 2. 研究の目的

棒形スキャナとは、スキャナ部と回路部からなり、回路部後部のリングを手動で回転させることで孔壁面の画像を撮影できる装置である。画像データは、本体に挿入した SD カードか USB ケーブルによって接続されたパソコンに記録できる。棒形スキャナに搭載したセンサは、長さ 210mm のコンタクトイメージセンサである。センサの読み取り解像度は 600dpi (dpi=dot per inch) であり、分解能は 0.042mm となる。特別な画像解析を行わずに 0.05mm 程度のヘヤクラックの幅を正確

に測定する場合には 600dpi の解像度では不十分であり、1200dpi 程度の解像度のセンサが必要となる。

棒形スキャナによる検査手順としては、コンクリート構造物に  $\phi 25\text{mm}$  の孔を削孔し、孔内を洗浄、乾燥した後に装置を挿入し孔壁面をスキャニングする方法である。ASR 劣化した構造物に削孔し、フェノールフタレイン溶液を孔内に噴霧し、スキャニングを行うとひび割れの幅・深さ、骨材の反応リム、中性化深さといった種々の劣化情報が1つの孔より入手可能である。ただし、本装置を用いた塩化物イオン浸透深さの検査方法についてはまだ確立されていない。

長期モニタリングに関しては、2010 年秋に開港した羽田空港 D 滑走路において、コンクリート床版に点検孔を予め設けた施工がなされており、その孔に棒形スキャナを挿入し定期的に調査を行うモニタリング方法が実施されている。しかし、このモニタリングの目的はひび割れの発生の確認であり、ASR 等の材料劣化は対象としていない。

以上のような背景とこれまでの研究成果を踏まえて、本研究では以下の事項を達成することを目的に研究を行う。

(1) 高解像度のセンサを搭載した新しい棒形スキャナの開発

従来の 600dpi のセンサに対して、1200dpi のセンサを搭載した高解像度の棒形スキャナを開発する。解像度が2倍になるため、画像変換回路の再設計、画像処理速度、記録メディアの選定、画像圧縮方法の検討を行う。1200dpi のセンサでは、分解能が 0.021mm となるため、より高精細な画像が取得でき微細なひび割れ等の確認、計測が可能となる。

(2) 塩化物イオン量の検査方法の確立

ドリル削孔粉を用いて塩化物イオン量を測定する方法が提案されているが、削孔する部分に粗骨材が存在すると大きな誤差が生じることが指摘されている。棒形スキャナを用いた塩化物イオン量の検査方法としては、次の方法を提案し検討を行う。

乾式で削孔し、表面から所定の深さ毎に削孔粉を収集し、電位差滴定法によって塩化物イオン量を測定する。棒形スキャナを用いて撮影した孔壁面の画像より、骨材分布（骨材量）を画像処理によって算出し、所定の深さ毎に骨材量の偏差による補正を行い塩化物イオン量の測定精度の向上を図る。

(3) 点検孔を利用した長期モニタリング方法の開発

点検孔内のひび割れを観察・測定することは、高解像度センサを搭載した棒形スキャナで可能となるが、ひび割れ発生に至るまでに生ずるひずみを測定することによってモニタリング方法としての高度化を計る。複数の画像を用いてデジタル画像相関法によりひずみを算出する方法を棒形スキャナ画像に応用し、構造物内部のひずみ計測から各種劣化の進展状況を詳細に把握するモニタリン

グ技術を開発する。

### 3. 研究の方法

研究目的に掲げた3つの項目を達成するための具体的な研究内容は次のとおりとなる。

(1) 高解像度のセンサを搭載した新しい棒形スキャナの開発

①高解像度センサ搭載棒形スキャナの製作  
1200dpiの高解像度センサを搭載した棒形スキャナを製作するために、以下の点に留意した開発を行った。

- ・1200dpiのセンサに合わせた画像変換回路の設計を行う。

- ・画像サイズが大きくなることによりA/D変換処理速度向上の検討を行う。

- ・従来装置の記録メディア（SDカード）の対応性を確認し、データ転送速度が不足する場合には高速書き込みが可能なメディアの検討を行う。さらに、画像圧縮方法についても検討を行う。

②色再現性および計測精度の検証

高解像度センサを搭載した棒形スキャナの色再現性および計測精度の検証を以下の方法で行った。

色再現性については、標準色紙を用いて評価する。標準色紙は塩ビパイプ内に貼付して、高解像度棒形スキャナによってスキャンを行った。写真-1には、標準色紙を貼付した塩ビパイプを示す。図-1には、色再現性の実験手順を示す。



写真-1 標準色紙を貼付した塩ビパイプ

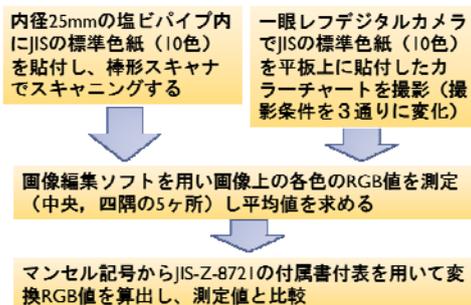


図-1 色再現性の実験手順

主走査および副走査の計測精度については、方眼紙を貼付したφ25mmの円管内の画像より評価した。写真-2には、方眼紙を貼付した塩ビパイプを示す。図-2には、計測精度の実験手順を示す。スキャン画像より、PhotoShopの画像解析ツールにより所定区間



写真-2 方眼紙を貼付した塩ビパイプ

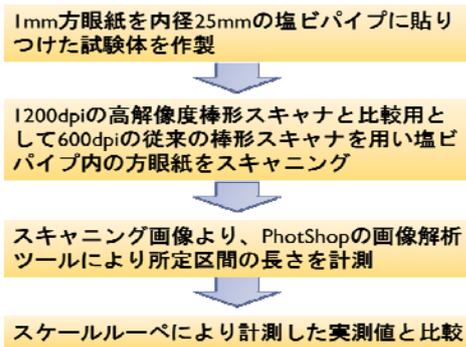


図-2 計測精度の実験手順

長さを計測し、スケールルーペにより計測した実測値と比較することにより精度の評価を行った。

③コンクリート孔のスキャン画像の評価

コンクリート供試体に削孔し、孔壁面の画像をスキャンし、ひび割れ幅の計測精度の検討および画像の精細さスキャン時の操作性および画像処理速度についても調べた。

実験では、削孔した孔内に孔軸方向および円周方向にひび割れを発生させたコンクリート供試体をそれぞれ作製した。写真-3には、供試体の外観を示す。



孔軸方向ひび割れ供試体



円周方向ひび割れ供試体

写真-3 供試体の外観

## (2) 塩化物イオン量の検査方法の確立

### ① 電位差滴定法と画像処理を用いた骨材量の補正による方法

検討した方法は、削孔した孔の壁面を棒形スキャナにてスキャニングし展開画像を取得した後、その展開画像を解析し試料中の骨材量を推定する。推定された骨材量から全塩化物イオン濃度測定値を補正するという方法である。本方法の実験フローを図-3に示す。測定精度を検証するために NaCl を混入した供試体を作製して試験を実施した。試験体の寸法はφ125×250mmであり、NaCl 混入量は、全塩化物イオン量が 0.3, 1.2, 3.0 および 5.0kg/m<sup>3</sup> の 4 種類となるようにした。削孔時に発生するドリル粉を深さ 20mm ごとに採取し、電位差滴定法によって全塩化物イオン量を測定した。その後、棒形スキャナを用いて孔壁面の画像を取得し、所定の深さ毎に粗骨材量の偏差による塩化物イオン量の補正を行い、従来法との測定精度の比較検討を行った。なお、所定の深さ毎にドリル粉を簡易に採取できる集塵装置を開発した。その外観を写真-4に示す。

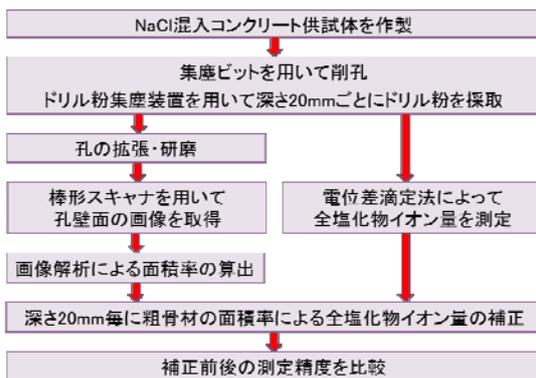


図-3 実験フロー



写真-4 集塵装置

### (3) 点検孔を利用した長期モニタリング方法の開発

#### ① 棒形スキャナによるひずみ計測に関する基礎実験

棒形スキャナによるひずみ計測精度を検証するため、塩化ビニル管の側面にひずみゲージを貼付した試験体を作成し、写真-5に示す引張試験機でひずみを 500μ、1000μ、1500μ、2000μ、および 2500μ の 5 段階に変化させた。所定のひずみ毎に管内面の画像を棒形スキャナで撮影し、デジタル画像相関法により塩化ビニル管内のひずみを解析により求めた。棒形スキャナによる解析値とひずみゲージ

値を比較し精度検証を行った。



写真-5 引張試験装置

#### ② 実構造物による劣化モニタリング

ASR が発生している実構造物を対象として、点検孔を削孔して孔内画像を取得し、劣化状況の観察を実施し、モニタリング技術としての現場適用性を調べる。対象とした構造物は、写真-6に示す橋梁のアバットであり、表面に亀甲状のひび割れが見られる ASR によって劣化した構造物である。



写真-6 モニタリング対象構造物

## 4. 研究成果

### (1) 高解像度のセンサを搭載した新しい棒形スキャナの開発

高解像度棒形スキャナの外観を写真-7にその仕様を表-1に示す。外形寸法は、W81×H94×L662mm であり、質量は 1522g である。従来の棒形スキャナと形状は同じであるが、ラインセンサを 600dpi から 1200dpi の高解像度に変更したことにより、エンコーダおよび画像取り込み方法の変更を行った。画像サイズが従来の約 4 倍となることから SD カードへの保存は行わず、USB コードで接続した PC に直接取り込む方法とした。また、読み取りサイズは孔軸方向 210mm、円周方向



写真-7 高解像度棒形スキャナの外観

80mm である。

表 - 1 高解像度棒形スキャナの仕様

項目	仕様
外形寸法	W81×H94×L662(mm)
質量	1522g
電源供給	充電機による電源供給(単3型充電機4本)
フィインセンサ	CISタイプ 読み取り解像度:1200dpi
読み取りサイズ	210mm(孔軸方向)×80mm(円周方向)
画像取り込み方法	USBコード接続によるPCに直接取り込み

図-4 は、高解像度棒形スキャナ、従来の棒形スキャナ、デジタルカメラによる屋内(蛍光灯)、屋外日陰、屋外日向において黒色(N1)標準色紙を撮影した時の RGB 値の比較である。標準色紙の RGB 値は、マンセル記号を用いて求めた変換 RGB 値とした。デジタルカメラ撮影による RGB 値は、周囲の照度の影響を受け誤差が大きく生じる。高解像度棒形スキャナは従来の棒形スキャナと比較して色再現性が良いことが分かる。なお、白(N9)、赤(5R4/14)および青(5PB4/12)の標準色紙の結果については、高解像度棒形スキャナと従来の棒形スキャナの RGB 値の差は小さい。

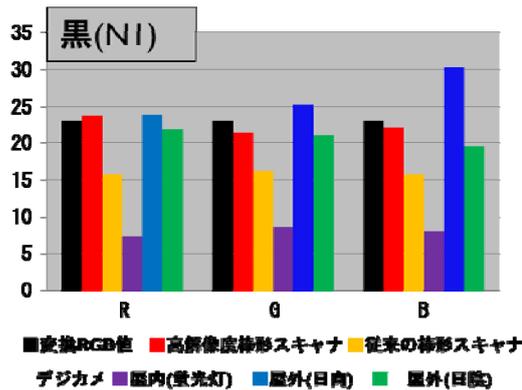


図-4 黒色 (N1) 標準色紙の RGB 値の比較

表-2 は、塩ビパイプ内に貼付した方眼紙をスキャンし、従来の棒形スキャナと高解像度棒形スキャナの計測精度を比較した結果である。円周方向においては、両者の差はないが、孔軸方向では、高解像度棒形スキャナの計測精度が高くなっており、計測誤差は 0.33% である。

表-2 従来の棒形スキャナと高解像度棒形スキャナの計測精度を比較

従来の棒形スキャナ				
	平均値(mm)	実測値(mm)	誤差(mm)	誤差(%)
孔軸方向	29.17	30.00	-0.83	-2.85
円周方向	30.07	30.00	0.07	0.23
高解像度棒形スキャナ				
	平均値(mm)	実測値(mm)	誤差(mm)	誤差(%)
孔軸方向	30.10	30.00	0.10	0.33
円周方向	29.93	30.00	-0.07	-0.23

図-5 および図-6 は、それぞれ孔内の孔軸方向および円周方向に発生したひび割れを棒形スキャナを用いて計測した結果である。ひび割れ幅は約 0.5 mm から 3.0 mm まで 6 段階に変化させた。棒形スキャナによるひび割れ幅の算出方法は、撮影画像からひび割れ部のピクセル数をカウントすることにより求めた。棒形スキャナによる計測は、孔軸方向および円周方向ともに高い精度を示しており、その誤差はひび割れ幅が広い領域においては 0.2 mm 程度、狭い領域においては 0.05 mm 程度であった。若干ではあるが、ひび割れ幅が狭い領域において、高解像度棒形スキャナの方が計測精度は高くなった。

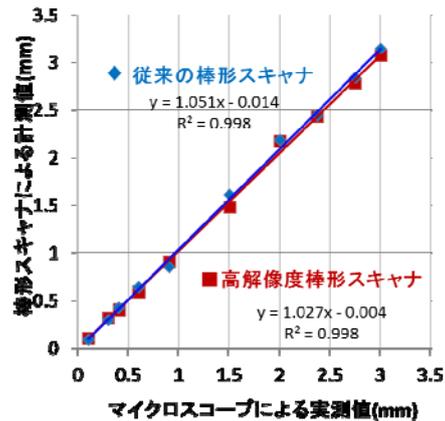


図-5 孔軸方向のひび割れ計測結果

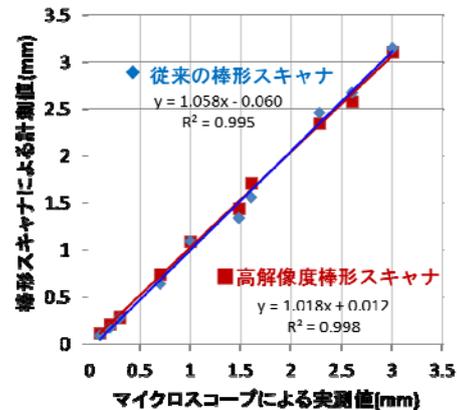


図-6 円周方向ひび割れ計測結果

(2) 塩化物イオン量の検査方法の確立

① 電位差滴定法と画像処理を用いた骨材量の補正による方法

深さ毎の全塩化物イオン量の補正前後の値の比較を図-7 に、各ケースの補正後の値の変動係数を表-3 に示す。図中の白丸のプロットが補正前の測定値であり、黒丸のプロットが画像解析により骨材量を補正した後の測定値である。図より、各ケースとも骨材量の補正を行うことで全塩化物イオン量が NaCl 混入量に近い値となった。補正後の各 NaCl 混入量別の誤差は、それぞれ -3.3%、-5.0%、-6.3% および -2.2% である。また、表より

変動係数は2.0%前後であり、5本の供試体のばらつきは小さく、本手法の有用性が証明された。なお、補正前の測定値がNaCl混入量よりも大きな値となった理由としては、フレッシュ時と硬化時のコンクリートの体積の違いによるものと考えられるが、既往の研究においても同様の傾向が見られ、ドリル削孔により採取した試料の測定値が大きくなる原因は明らかとなっていない。

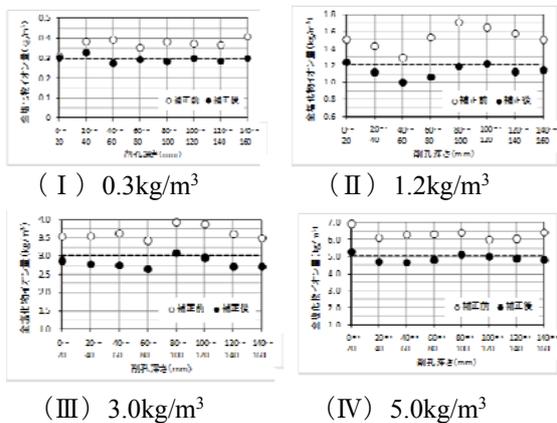


図-7 深さ毎の全塩化物イオン量の補正前後の値の比較

### (3) 点検孔を利用した長期モニタリング方法の開発

#### ① 棒形スキャナによるひずみ計測に関する基礎実験

計測したひずみ値は、塩化ビニル管の長手方向（ラインセンサ主走査方向）のひずみである。なお、本実験においては、高解像度棒形スキャナの不調であったため、従来の棒形スキャナを使用して実験を行った。

結果としては、ひずみゲージ値に対する棒形スキャナ画像から求めたひずみ解析値の誤差は、最大で36%、最小で14%であった。誤差の絶対値の平均は12%であり、良好な精度でひずみ計測が可能であることが明らかとなった。ひび割れに至るひずみ変化を定期的に計測し、コンクリート構造物の劣化進行過程をモニタリングするという新しい手法が可能であることが示された。

#### ② 実構造物による劣化モニタリング

実構造物による劣化モニタリング手法としての適用性について検討するために、アバット側面に発生したASRのひび割れを含むようにφ25mmの点検孔をダイヤモンドコアドリルにより削孔した。点検孔の深さは300mmであり、高精度棒形スキャナにより深さ方向に2回スキャニングし、取得した画像を合成して1枚の展開画像とした。その展開画像を写真-8に示す。また、孔口付近および深さ150mm付近の拡大画像を写真-9に示す。

画像より、ASRによって発生した微細なひび割れまで確認でき、また、ASR特有の粗骨材の周囲の反応環も確認することができた。点検後には、点検孔の孔口にシリコン製

のゴムキャップを挿入して養生を行った。本結果より、モニタリング手法として適用性があることが示された。

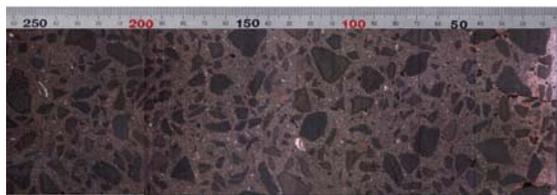


写真-8 点検孔の展開画像

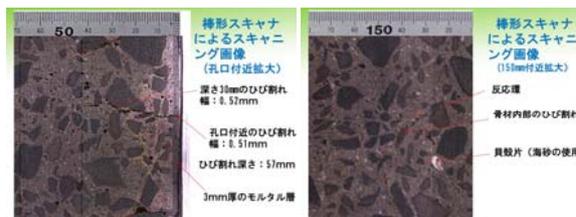


写真-9 部分拡大画像

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件) 査読無し  
 迫綾子、原田耕司、伊藤幸広、奥野裕太郎：  
 棒形スキャナを用いた骨材量推定による塩化物イオン量の補正方法、土木学会第69回年次学術講演会講演概要集、VI-491、pp.981-982、2014.9

〔学会発表〕(計1件)  
 土木学会、第69回年次学術講演会、2014.9、  
 大阪大学、迫綾子、原田耕司、伊藤幸広、奥野裕太郎、棒形スキャナを用いた骨材量推定による塩化物イオン量の補正方法

〔産業財産権〕  
 ○出願状況 (計1件)

名称：濃度補正システムおよび濃度補正方法  
 発明者：伊藤幸広、原田耕司、迫綾子  
 権利者：佐賀大学、西松建設  
 種類：特許  
 番号：特願2014-118357  
 出願年月日：2014年6月9日  
 国内外の別：国内

〔その他〕  
 ホームページ等  
<http://toshi1.civil.saga-u.ac.jp/itoy/index.html>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
 伊藤幸広 (YUKIHIRO ITO)  
 佐賀大学・工学系研究科・教授  
 研究者番号：90223198
- (2) 研究分担者  
 内田慎哉 (SHINYA UCHIDA)  
 立命館大学・理工学部・任期制講師  
 研究者番号：70543461