

コンクリートの表面変状調査システム

—トンネル覆工コンクリートの変状調査方法とその事例—

高橋 秀樹・椎名 貴快・熊谷 成之・内藤 欣雄

新幹線トンネルなどで発生したコンクリート塊剥落事故以降、コンクリート構造物の維持管理における点検・調査業務の重要性が再認識された。そこで筆者らは、従来の目視調査に替わり、作業労力と時間の省力化および調査精度の向上を目的とした、表面変状調査システムを開発した。

本システムは、主にトンネル覆工コンクリートを対象に、調査からデータ処理、変状展開図の作成までを統合したシステムである。デジタルカメラと光波測距計を搭載し、ひび割れの検出性能は0.2 mm以上、画像の位置座標データを利用してひび割れの経時変化も把握できる。本報文では、システムの概要および調査事例について紹介する。

キーワード：トンネル、覆工コンクリート、表面変状調査、デジタルカメラ、ひび割れ、変状展開図

1. はじめに

近年、各構造物の維持管理機関では竣工時及び供用期間中に厳しい品質検査が実施されている。この内、竣工時検査の一つとして、構造物表面の変状箇所を調査し、写真や展開図（ひび割れ発生状況や補修履歴等を記載）の形式で提出を義務付けるケースが増えている。従来、これらの調査は目視調査や打音検査を主体としていたため、作業労力と時間の省力化、さらに費用低減や精度向上が課題となっている。

本報文では、現在、西松建設・戸田建設共同研究開発中のコンクリート構造物の健全度評価システムの内、点検・調査を目的とする表面変状調査システムに関して、その概要とトンネルで実施した覆工コンクリートの調査事例を紹介する。

2. 表面変状調査システム

(1) 調査対象構造物と調査項目

表面変状調査システムの対象構造物を表-1に示す。本システムは、基本的にトンネルを対象構造物とし、

表-1 調査対象構造物

適用構造物	対応形状
トンネル（道路、鉄道、水路、共同溝等）	内径φ3.5~15m程度*
高架橋（道路、鉄道等）	梁下10m程度
その他（直立壁状構造物等）	（撮影距離で異なる）

*：二車線/三車線道路とJR単線のトンネルに標準対応。覆工条件は比較的平滑なコンクリート面とし、セグメント覆工については対応を検討中。

この他、高架橋（柱、梁、スラブ下等）や擁壁などの壁状構造物への適用も検討している。主な変状調査項目は表-2に示すとおりである。

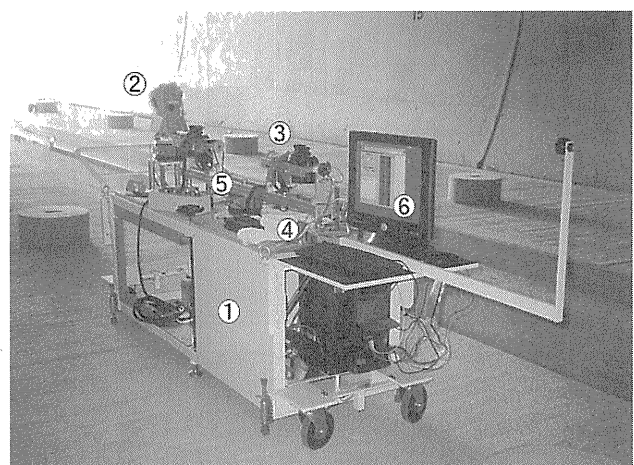
表-2 主な変状調査項目

調査項目	摘要
ひび割れ	0.2 mm幅以上のひび割れ箇所の検出
漏水・湧水	漏水・湧水、色むら箇所の記録
剥離・剥落	剥離・剥落部の面積測定、記録
断面測定	トンネル内空断面測定
補修箇所	ひび割れ注入、断面修復箇所の記録

(2) 調査装置

調査装置の概要を写真-1に示す。本装置に搭載された各機器及びその仕様を表-3に示す。

デジタルカメラに装着する単焦点レンズは、撮影画



①調査台車、②光波測距計、③デジタルカメラ、④レーザ距離計、⑤自動精密標準台、⑥制御・保存用パソコン

写真-1 調査装置

表—3 調査装置の仕様

(表中の丸付き数字は写真—1の調査機器の番号に対応)

① 調査台車	
台車寸法	W 2,200(プリズム装着時 4,400)×H 760×D 730
重量	調査機器未搭載時 60 kg 調査機器搭載時 140 kg
付帯装置	台車位置視準用プリズム (台車前後各々1個)
② 光波測距計 (1台)	
測距精度	2 mm + 2 ppm
付帯機能	自動追尾・自動視準・レーザ距離機能
③ デジタルカメラ (2台)	
単焦点レンズ仕様	35/50/85/135 mm (標準レンズ 85 mm) 解像度 3,040×2,016 pixel (613万画素) 撮影感度 ISO 320/400/800/1,600 相当 シャッタ速度 30~1/2,000 秒
④ レーザ距離計 (2台)	
測定精度	40 mm ± 3 mm
⑤ 自動精密整準台 (2台: 光波自動測距計, CCDカメラ用)	
整準範囲	約 ± 4° (Arc Deg.)
⑥ 制御・保存用パソコン (1台)	
仕様	CPU Intel Pentium IV 1.70 GHz 以上 HDD 80 GB 以上 搭載メモリ 1 GB 以上推奨 OS Microsoft Windows2000 日本語版 解像度 1,024×768 pixel 以上

角や撮影可能距離などが異なるため、対象構造物の形状や寸法に応じて適切なものを選定する必要がある。例えば、本調査装置において、オートフォーカス撮影で 0.2 mm 以上のひび割れを検出するのに必要なレンズ仕様を表—4 に示す。

表—4 単焦点レンズの仕様

	撮影条件 (トンネル断面 180° 撮影時)				トンネル断面適用例
	撮影画角	回転角度	撮影枚数	適用距離	
ワイド系 35 mm	約 25°	18°	11 枚	1.2~2.3 m	ボックス型 T 導水路 T
標準系 50 mm	約 18°	15°	13 枚	2.1~3.5 m	単線型 T 一車線道路 T
望遠系 85 mm	約 11°	9°	21 枚	3.3~4.6 m	複線型 T
望遠系 135 mm	約 7°	6°	31 枚	4.5~7.5 m	新幹線 T 高速道路 T

(3) 調査の手順及び特長

調査装置は、高解像度のデジタルカメラを用いてコンクリート表面を連続的に撮影し、ひび割れなどの表面変状箇所及びその状況を把握する。また、光波測距計を使用して、画像合成に必要なデータを計測する。

トンネル覆工コンクリートを対象とした場合の調査手順および代表的なトンネル断面における撮影条件 (撮影距離、使用レンズ、撮影時間) を、それぞれ表—5 および図—1 に示す。

本装置を用いて調査を実施した場合のシステムに関

表—5 調査手順

(a) 調査台車の組立て・設置	調査トンネルの中央、または任意の側線上に測定基準線 (撮影基点 2 m 毎) を設定し、調査台車を組立て・設置する。
(b) 撮影諸条件の入力	トンネル名、日時、トンネルの平面線形・縦断線形、断面寸法、基準点座標、撮影画角を入力する。
(c) 基準点の視準 (光波測距計の位置座標取得)	光波測距計を使用して、トンネル内に設置した二つの既知基準点 (既知座標 X, Y, Z) を自動視準する。
(d) 台車プリズムの視準 (台車の位置座標取得)	光波測距計を使用して、台車前後に取付けたプリズムを自動視準する。
(e) 画像座標の取得	光波測距計によって画像中央までの距離と角度を計測し、画像の座標値を取得する。
(f) 覆工コンクリート画像の撮影	制御ソフトの指令により、2台のデジタルカメラ (標準設置間隔: 1 m) をトンネル断面方向に任意の角度で回転させ、連続的に撮影する。1回の撮影で 1 m × 2台 = 2 m 幅の断面画像を取得することができる。
(g) 調査台車の移動	1回の撮影後、調査台車をトンネル縦断方向へ 2 m 移動し、以下 (c)~(f) を繰返す。

する主な特長を以下に示す。

- ① 付帯設備は不要:
仮設足場や高所作業車は不要
- ② 調査人員は 3 名程度
- ③ 調査速度は 300~400 m/日 (8 時間):
調査条件で変わる
- ④ 画像解像度 3,040×2,016 pixel (613 万画素):
0.2 mm 以上のひび割れ認識精度
- ⑤ 調査時に外部電源は不要:
装備バッテリーで連続 8 時間程度稼働
- ⑥ トンネル内空断面の測定可能:
設計標準断面に対する施工精度確認

(4) 画像処理

調査画像の処理手順を表—6 に示す。撮影した画像は、適宜、画質処理 (色調補正、シャープなど) を行った後、変形処理 (以下、あおり補正) によって平面画像に変換する。次に、トンネル断面方向に結合し、その結合画像から 1 m 幅の帯画像を切出す。さらに、これらの画像をトンネル縦断方向に連結してブロック画像を作成する。以上、一連の処理作業を迅速化するため、画像自動処理ソフトを開発した。

(a) 結合処理 (トンネル断面方向)

画像をソフト上に読込んだ後、画像中心までの距離と角度、使用レンズから画像サイズを求め、画像四隅の座標を算出する。次に、あおり補正処理を行った後、隣り合う画像をソフト上で自動的に結合する。最後に、幅 1 m の断面画像を切出す。画像結合処理の画面例を図—2 に示す。

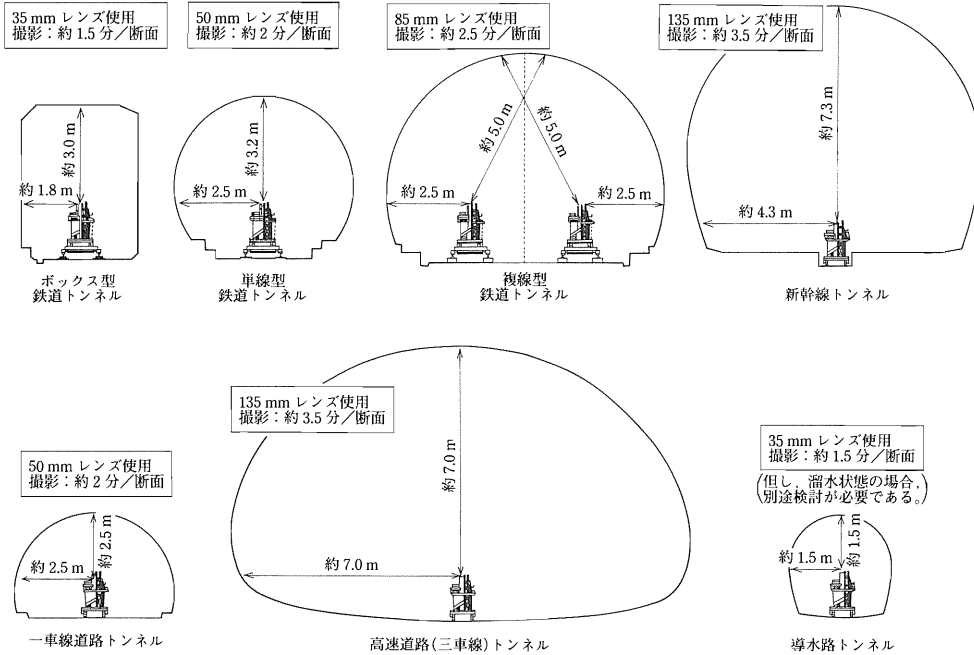


図-1 代表的なトンネル断面での撮影条件

表-6 画像処理の手順

(a) データの読み込み	画像データ及び CSV 形式データ (撮影距離と角度) の読み込み
(b) 画質処理	画像の色調補正, シャープなど
(c) 変形処理	あおり補正
(d) 結合処理	トンネル断面方向に画像を連結する
(e) 切出し処理	連結した断面画像から幅 1m の画像を切出す
(f) 連結処理	断面画像をトンネル縦断方向にブロック単位で連結する

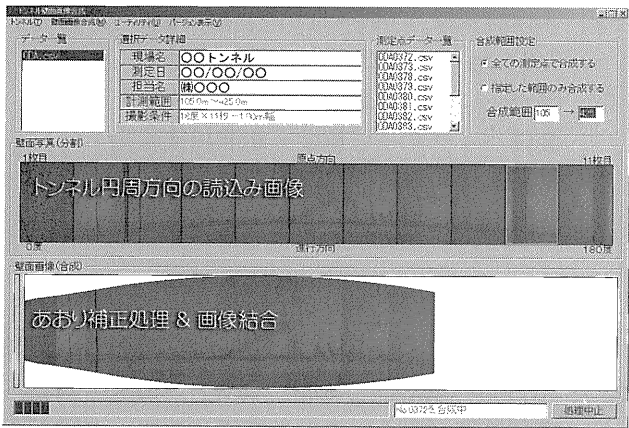


図-2 画像結合処理の画面

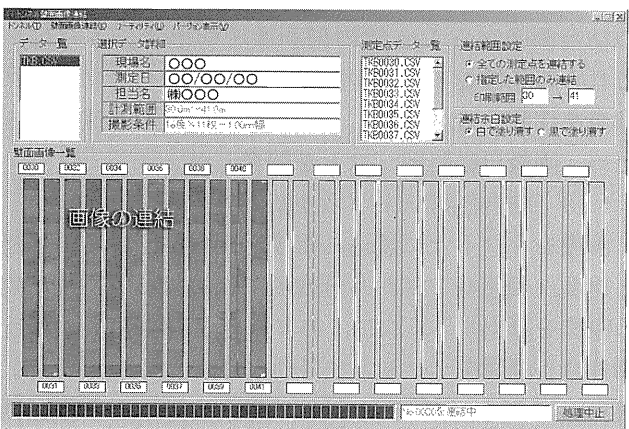


図-3 画像連結処理の画面

(b) 連結処理 (トンネル縦断方向)

画像の結合処理後, 切出された幅 1m の断面画像をトンネル縦断方向に連結し, ブロック毎の画像を作成する (図-3)。

(5) 変状展開図の作成 (a) ひび割れの抽出

ひび割れ抽出画面を図-4 に示す。撮影画像と同縮尺のひび割れスケールを使用して幅を特定し, マーキングする。また, 抽出したデータから, ひび割れ長さや密度などの数値データを

参照することができる。ひび割れ幅の表示区分や色調は任意に変更可能である。

(b) その他の変状の抽出

ひび割れ以外の変状 (漏水, ジャンカ, 遊離石灰等)

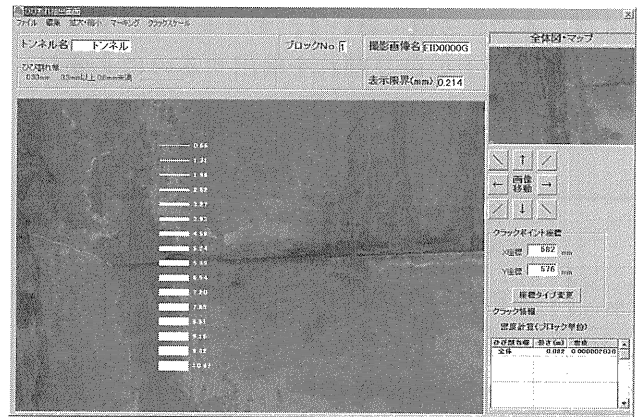


図-4 ひび割れの抽出画面

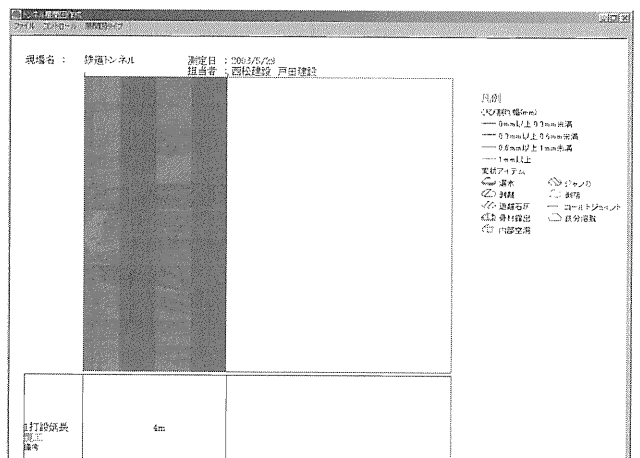


図-5 変状展開図の作成画面

は、事前に設定した記号を使用してマーキングする。又、各管理機関指定の記号を登録して使用することができる。更に、マーキング箇所の座標データをCSV形式で保存しているため、撮影画像とは別階層のデータとして認識し、表示/非表示が選択可能である。

(c) 変状展開図の作成

変状展開図の様式については、各管理機関の指定様式をソフト上で作成・登録して使用することが可能である。変状展開図の作成画面例を図-5に示す。

3. トンネル覆工コンクリートの調査事例

トンネル覆工コンクリートの調査事例を述べる。

(1) 調査事例①(写真-2)

- ・調査対象：馬蹄形鉄道トンネル(竣工前)
- ・事前状況：
 - ・坑口付近の二次覆工コンクリート天端部縦断方向に、乾燥収縮が原因と推定されるひび割れを確認
 - ・目視調査の全線実施済み
- ・撮影範囲：二次覆工コンクリート天端部60度
- ・使用レンズ：望遠系135mm単焦点レンズ
- ・撮影距離：約7.0m(天端部で最大約7.3m)
- ・撮影枚数：11枚(6度間隔撮影)
- ・調査延長：約450m
- ・調査期間：事前踏査1日、調査3日間
- ・調査人員：3名
- ・台車配置：トンネル中央(中央排水溝内)
- ・確認事項：ひび割れ認識性能の確認(目視調査結果との整合性の確認)

本調査システムによる展開図およびひび割れ抽出図、

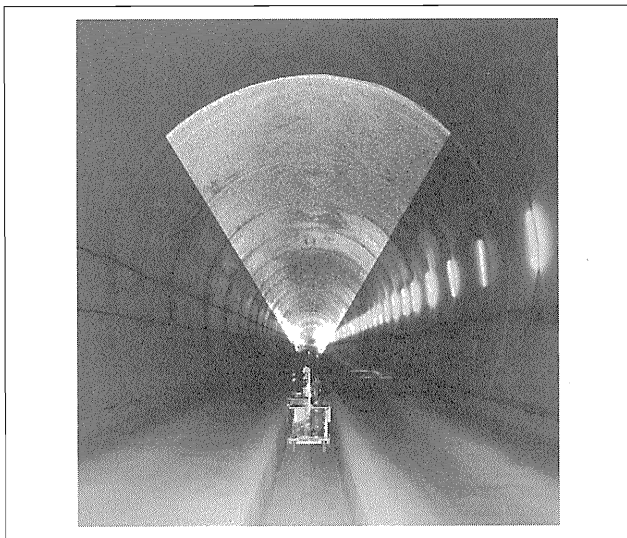


写真-2 トンネル調査実施状況

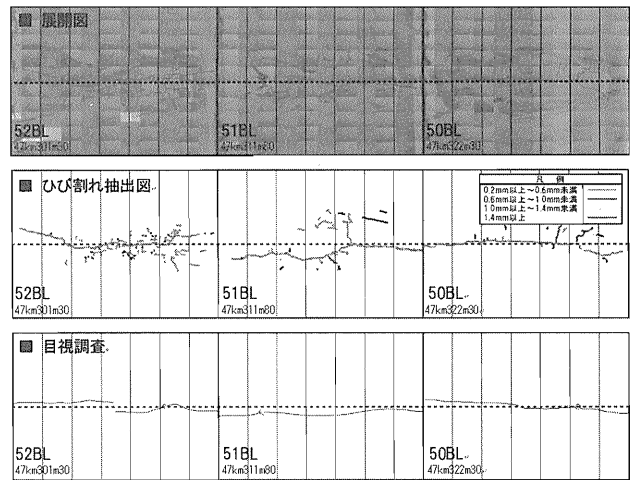


図-6 調査結果の比較

さらに目視調査の結果を図-6に示す。

本システムを用いた場合、微細なひび割れの抽出および発生位置の正確な特定ができる。52BLでは、縦断方向のひび割れ位置に目視結果との差が確認できた。

(2) 調査事例②(写真-3)

- ・調査対象：地下鉄道トンネル(供用中)
- ・事前状況：天端部を中心にひび割れ補修対策工の実施跡や剥落箇所等がみられる
- ・撮影範囲：二次覆工コンクリート(側壁から125度)
- ・使用レンズ：望遠系85mm単焦点レンズ
- ・撮影距離：約7.0~2.7m
- ・撮影枚数：14枚(9度間隔撮影)
- ・調査延長：約10m
- ・調査期間：起電停止後約3時間(装置搬入含む)
- ・調査人員：3名
- ・台車配置：線路軌道上
- ・確認事項：変状箇所及び内空変位計測結果の確認
展開図、変状抽出図および展開図内のA部拡大写

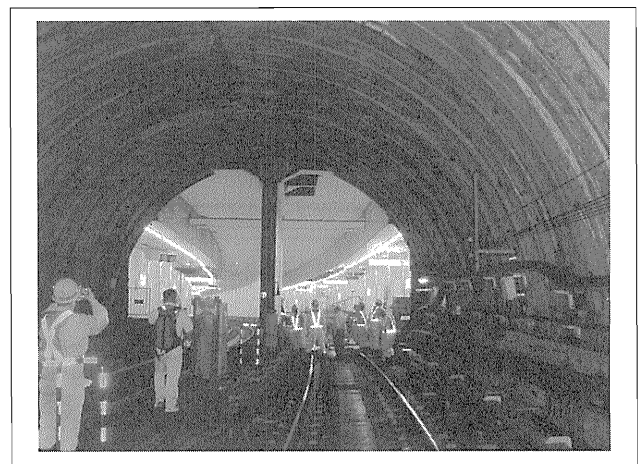
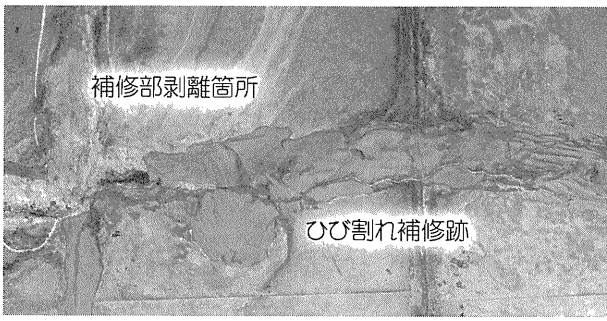
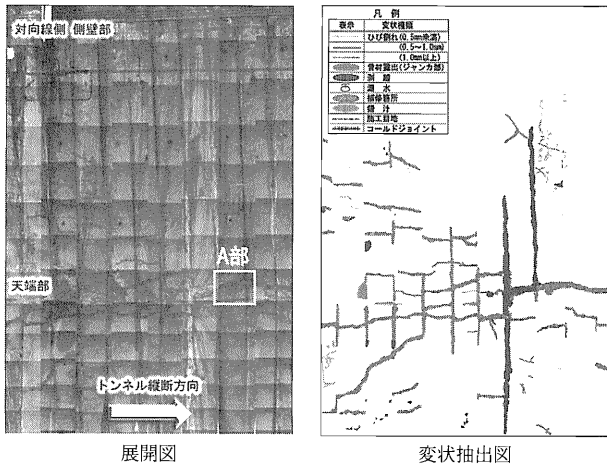


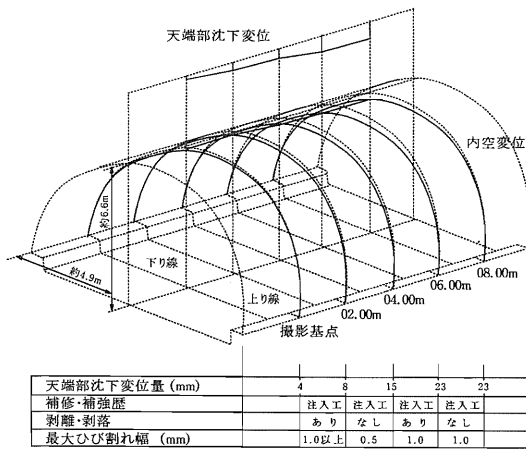
写真-3 トンネル調査実施状況



図一七 調査結果 (撮影位置：天端部；撮影距離：約5.0m)

真を図一七に示す。現状でのひび割れ補修箇所および剥離箇所の状況を正確に把握することができ、以後の維持管理業務に有効なデータの収集が可能である。

調査時に並行して簡易的に実施したトンネル内空変位計測の結果を図一八に示す。設計標準断面に対して、天端部が4~20cm程度沈下している結果を得た。



図一八 トンネル内空変位計測結果

4. おわりに

表面変状調査システムの概要とトンネル覆工コンク

リートの調査事例について報告した。本システムを用いることで、変状の種類や発生位置を正確に特定することが可能である。また、調査を定期的の実施し、データ解析を行うことにより、変状箇所の経時的な変化の追跡にも利用することができる。今後、特に既設構造物に対して、維持管理を目的とした詳細な点検・調査の実施機会が増加すると考えられる。このような現状から、本調査システムは、点検・調査における有効なツールとして期待できる。

JCM A

《参考文献》

- 1) 財団法人鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990.10.
- 2) 社団法人日本土木工業協会：コンクリート構造物の維持管理マニュアル，2000.6.
- 3) 高橋秀樹，椎名貴快，熊谷成之，田中 徹：トンネル覆工コンクリートの表面変状調査システムの開発，電力土木，No. 304，pp.121-125，2003.3.
- 4) 椎名貴快，松井健一，高橋秀樹他：デジタルカメラを用いたコンクリート表面変状調査システムの開発，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，pp.385-386，2002.9.
- 5) 三村朋裕，内藤欣男，田中徹他：表面変状展開図支援システムの開発，第58回年次学術講演会講演概要集，VI-154，pp.307-308，2003.9.
- 6) 椎名貴快，湊 康裕，高橋秀樹他：コンクリート構造物の表面変状調査システムの開発，シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」，日本非破壊検査協会，pp.343-348，2003.7.

【筆者紹介】



高橋 秀樹 (たかはし ひでき)
西松建設株式会社
技術研究所
技術研究部土木技術研究課
材料・施工グループ
課長



椎名 貴快 (しいな たかよし)
西松建設株式会社
技術研究所
技術研究部土木技術研究課
材料・施工グループ



熊谷 成之 (くまがい しげゆき)
戸田建設株式会社
土木工事技術部
技術課長



内藤 欣雄 (ないとう よしお)
戸田建設株式会社
土木営業統括部
環境ソリューションPJ
サブマネージャー