

# 論文 鉄道コンクリート構造物の全般検査支援システムの開発

長谷川 淳史\*1・曾我部 正道\*2・川村 力\*3・石井 秀和\*4

**要旨**：鉄道構造物の維持管理では、検査員の目視調査に基づく全般検査が重要な役割を果たしている。本検討では、鉄道構造物の全般検査の実態を明らかにするとともに、鉄道コンクリート構造物の維持管理に適した全般検査支援システムを構築した。具体的には、クライアント/サーバー方式による、携帯端末（PDA）を用いた対話式検査支援システムを構築し、検査業務の効率化を図った。併せて、全般検査を支援する技術データベースを構築した。

**キーワード**：維持管理，目視検査，携帯端末，データベース，コンクリート，変状事例

## 1. はじめに

図-1に鉄道構造物の維持管理体系の例を示す<sup>1)</sup>。鉄道構造物の維持管理は、2年に1回の頻度で実施される全般検査を主体としている。全般検査では、目視調査による変状の抽出と健全度判定が実施される。表-1に鉄道構造物における健全度区分の例を示す。

近年、高度経済成長期に建設された既設コンクリート構造物に対する維持管理が重要となってきたが、鉄道構造物の維持管理部門は、昨今の厳しい経営環境や社員の年齢構成の歪みから全体として縮小傾向にあり、経験豊富な検査員の不足が強く懸念されている。

このため、検査業務の根幹となる目視調査の精度向上、標準化、効率化は重要な課題の一つとなっており、現場での運用を重視した全般検査支援システムの開発が急務となっている。

そこで本検討では、鉄道構造物の全般検査の実状を明らかにするとともに、これに基づき、対話式検査支援システム及びデータベースからなる支援システムを構築することとした<sup>2),3)</sup>。

## 2. 全般検査業務に関する実態調査

### 2.1 調査方法

全般検査支援システムを開発するためには、

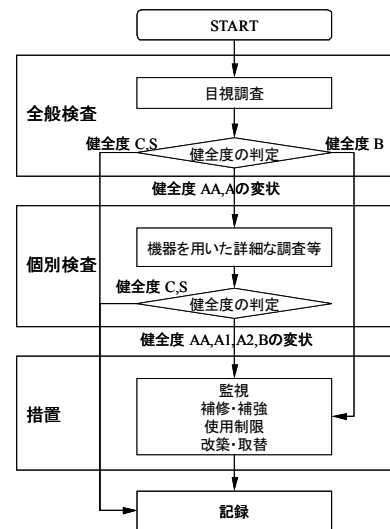


図-1 鉄道構造物の維持管理体系の例

表-1 健全度判定区分

| 健全度 | 構造物の状態   |
|-----|--|
| A   | AA 運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはその恐れのある構造物。              |
|     | A1 進行している変状等があり、構造物の性能が低下しつつあるもの、または、大雨、出水、地震等により構造物の性能を失う恐れのあるもの。 |
|     | A2 変状等があり、将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの。                               |
| B   | 将来、健全度Aになる恐れのある変状等があるもの。   |
| C   | 軽微な変状等があるもの。   |
| S   | 健全なもの  |

各鉄道事業者における構造物やその検査体制の現状等を十分に把握しておく必要がある。

「鉄道構造物の維持管理に関する委員会」は、2001年度に139の鉄道事業者に対して、構造物

\*1 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 研究員 (正会員)

\*2 (財)鉄道総合技術研究所 博(工) 構造力学研究室 主任研究員 (正会員)

\*3 (財)鉄道総合技術研究所 工修 コンクリート構造研究室 研究員 (正会員)

\*4 (株)BMC

の検査業務に関する記述式のアンケート調査<sup>4)</sup>を実施しているが、検査の実施内容については、各鉄道事業者が個々に定めており、その詳細は必ずしも明らかではない。目視調査に基づく全般検査では、鉄道構造物の維持管理業務の大半を担っているにも関わらず、その手法等については十分に把握されていないのが実状である。

そこで本検討では、上記結果を踏まえ、各鉄道事業者の経営形態や規模、地域性等を考慮して代表的な21社を選定し、全般検査業務の実情をより詳細に調査することとした。

調査は、各鉄道事業者の検査機関において記述式アンケート及びヒアリングを実施し、併せて代表的な構造物の変状とその対策を収集し、現地において検査業務の実情を把握した。

## 2.2 調査結果

### (1) 検査組織

検査を実施している組織の業務形態は、14社(67%)が検査を担当する現業機関であるが、7社(33%)は本社や計画部門などの非現業機関であった。また個別検査を実施する上位検査機関を設置しているのは10社(48%)であった。

図-2に各検査機関が管轄している範囲の例を示す。管轄距離は会社の規模に応じて様々であり、構造形式の割合に、傾向は見出せなかった。

各機関における構成人員は10名以下が多数を占めた。所有資格は、土木施工管理技士が多く、各機関に数名程度の割合であった。

図-3に各検査機関において、検査業務に当たる日数を示す。管轄範囲、構成人員が異なるため一概に比較できないが、年間2ヶ月程度を現地調査に、1ヶ月程度を検査記録の作成等に充当する傾向となっている。また検査は、16社(76%)で春又は冬に集中して行なわれていた。残る期間は、補修工事や小額工事の計画・積算・施行、苦情対応などに充てられており、4社(19%)では、軌道保守業務も兼務していた。

### (2) 目視調査

図-4に河川橋梁における目視調査の実施例

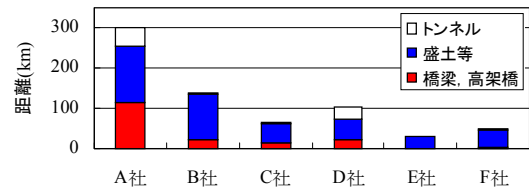


図-2 各検査機関の管轄範囲の例

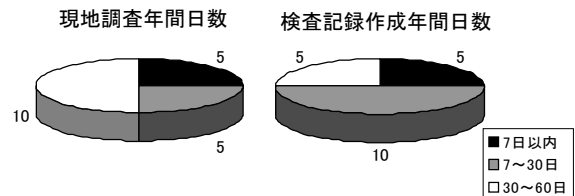


図-3 高架橋における目視調査の実施例

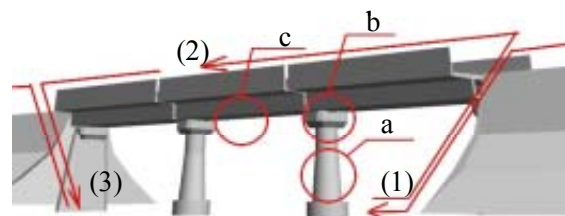


図-4 河川橋梁における目視調査の実施例

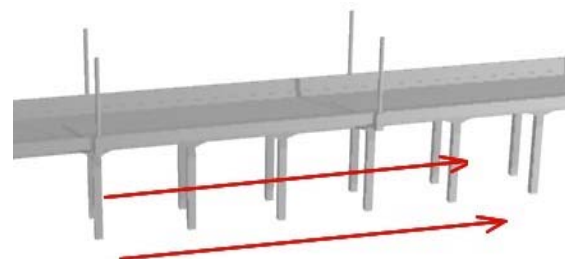


図-5 高架橋における目視調査の実施例

を示す。検査班は、鉄道事業者により異なるが、一般に検査員2名、記録係1名、列車見張員1名程度の編成で行われることが多い。

目視調査の装備は、双眼鏡、クラックゲージ、コンバックス、カメラ、点検ハンマー、検査記録簿である。徒歩巡回による全数調査が基本であるため、重量のある機器は使用できない。目視による調査項目は、ひび割れ幅・長さ・進行状況、浮き、はく離、はく落、スケーリング、鋼材の腐食状況、鋼材露出の程度、遊離石灰や漏水の有無、表面の変色等である。

一般的な目視調査の手順は、起点側から河原に下り(1)、橋脚、支承、桁(a,b,c)を可能な限り近

接して目視による調査する。次に桁上に上り(2)、更に対岸に下りて(3)、同様に橋脚、支承、桁を目視で調査する、というものであった。

橋梁 1 箇所当たりの平均的な検査時間は、橋梁の規模にもよるが平均すると 10～30 分が 15 社(71%)を占めた。

図-5 に高架橋における目視調査の実施例を示す。検査班の構成、装備、調査項目は、河川橋梁の場合と同様である。張出スラブ、中間スラブの下に分かれ、側道や高架下を歩きながら調査を行う。必要により高架橋上面からも調査が行われる。

ラーメン高架橋の場合、微小なひび割れまでを全数調査するのは困難であるため、状態の悪いものから記録がなされる。変状は、同じ施工区間であれば全体として同じ傾向となるため、ブロック単位あるいは高架橋単位で健全度判定が行われる例も多い。

ラーメン高架橋 1 ブロック当たりの検査時間は、3 径間(20～30m)で概ね 10 分前後を要する。

図-6 に 1 日当たりの検査数量の総括を示す。長区間連続する高架橋の方が検査効率が高く、11 社で 1km を超えた。橋梁の場合、特に山間部で効率が低下する傾向にある。これらの検査数量は、構造物の変状の程度によっても異なる。

### (3) 健全度判定

図-7 に各社の健全度判定基準を示す。検査業務において、何らかの形で健全度判定を実施している事業者は 13 社(62%)であった。また、検査業務で保守標準を参考としている鉄道事業者は 12 社(57%)であった。変状を発見した場合、補修の要否のみをその場で判断している事例などもみられた。一方、健全度判定例や変状事例の充実に対する要望が多く聞かれた。

### (4) 記録

検査記録の様式については、半数が電子化されていた。検査記録簿自体は比較的簡易なものが多かった。また、同じ鉄道事業者でも異なる書式で記録している場合が見られた。

一方で、管理台帳等と併せて全社的なデータ

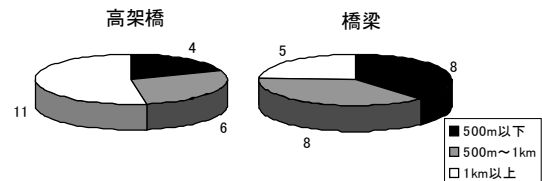


図-6 1日当たりの検査数量

| 【建造物保守管理標準】 |               |
|-------------|---------------|
| A           | → 個別検査(詳細な検査) |
| B           | → 措置(監視等)     |
| C           | → 記録          |
| S           | → 記録          |

| 【A社】    | 【B社】 | 【C社】 |
|---------|------|------|
| A : 健全  | A 悪い | ○ 良い |
| B : 要検討 | B ↓  | × 悪い |
| C : 要検討 | C    |      |
| D : 措置  | S 良い |      |

図-7 各社の健全度判定基準

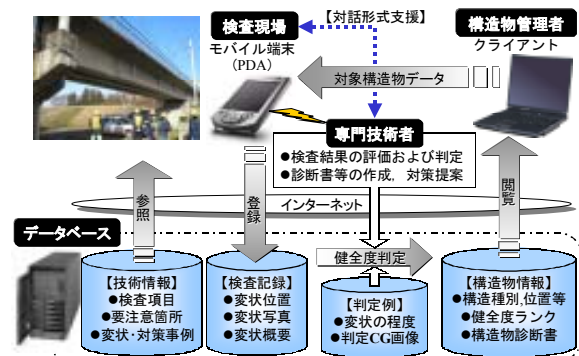


図-8 システム構成

ベースを構築している鉄道事業者もあった。

このうち幾つかは、十分に機能していなかった。この原因は、システムが詳細に構築されてはいるが、逆に入力が膨大となり過ぎ運用に支障をきたしている等システム構成に起因するものと、担当者の人事異動やハードあるいはソフトウェア環境の更新など、システム維持に起因するものとに大別することができる。

## 3. 全般検査支援システムの開発

### 3.1 システムのコンセプト

前章の調査結果に基づき、全般検査支援システムを構築した。図-8 に全体システムの概要を示す。本システムのコンセプトは以下に示すとおりである。

#### (1)ハードウェア環境

個々の検査現場では小型・軽量の携帯端末

(PDA) を使用し、検査機関の事務所にクライアント PC を配置し、インターネットを経由して集中サーバ（技術情報データベース）とデータ通信を行うクライアント／サーバ方式とする。サーバは、複数の鉄道事業者による集中運用体制とし、ユーザーコストの低減を図る。

### (2)ソフトウェア環境

サーバー側の環境にはユーザーコスト性に配慮した Active Server Pages (ASP) 方式を採用し、クライアント側は汎用 Web ブラウザで作業を行う。集中サーバの使用によりソフトウェア等の更新を同時に行うことができ、システムの維持管理が容易となる。

### (3)対話式検査支援システム

PDA を用いた対話式検査支援システムにより目視調査を行う。現状の目視調査における所要時間を踏まえ、実用性に配慮したシステムとする。変状の生じている構造物の記録を主体とし、調査時間の短縮を図るものとする。最終的な報告書作成までを一元的に行えるものとする。

### (4)技術情報データベース

集中サーバには、検査データに加え、健全度判定例集、変状及び対策事例集等からなる技術情報データベースを構築し、目視検査を支援する。

## 3.2 対話式検査支援システムの構築

図-9 に構造物情報画面の例を示す。これらの諸元は初回のみ検査事務所において入力する。

図-10 に目視調査の記入画面の例を示す。現地で発見した構造物の変状は、PDA 端末を用いて、事前に登録した図面上に記録する手法とした。過去の検査履歴を参考としながら個々の変状について確認することができる。変状が発見された構造物については、検査事務所で図-11 に示す変状概要や図-12 に示す変状写真などを登録することとなる。

図-13 に健全度判定画面の例を示す。健全度判定は、現地または検査事務所で、判定例を参考にして健全度判定を行い、全般検査を終了する。

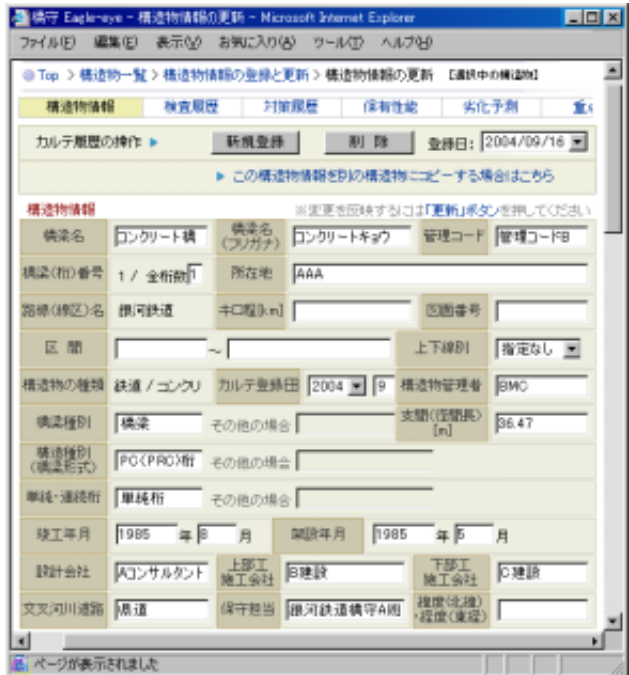


図-9 構造物情報画面

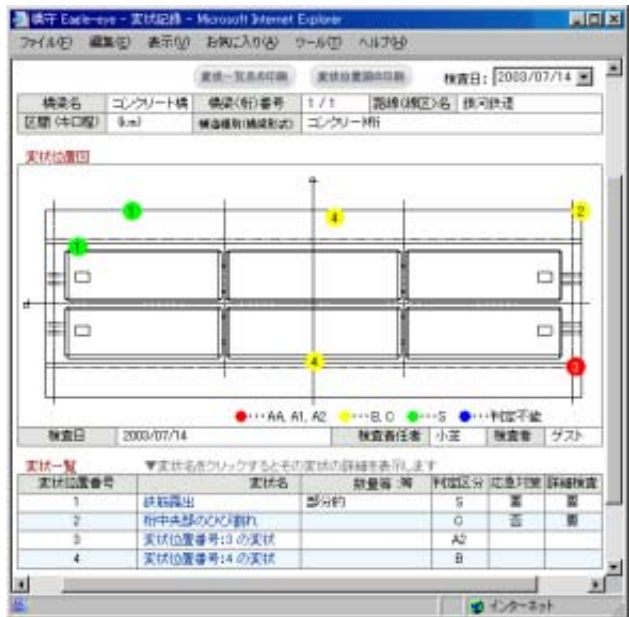


図-10 変状位置画面

目視調査を、対話式の PDA により構造形式・変状発生位置・変状種別の入力を支援したことで、記録作業が容易となり、作業性を改善することができた。また、検査結果は検査記録簿書式に自動的に変換され即座に出力することができる。これにより机上作業の負荷を軽減することが可能となった。検査結果は、集中サーバのデータベースに蓄積され、散逸されることなく同一書式で管理することにより、記録の保存性が向上した。



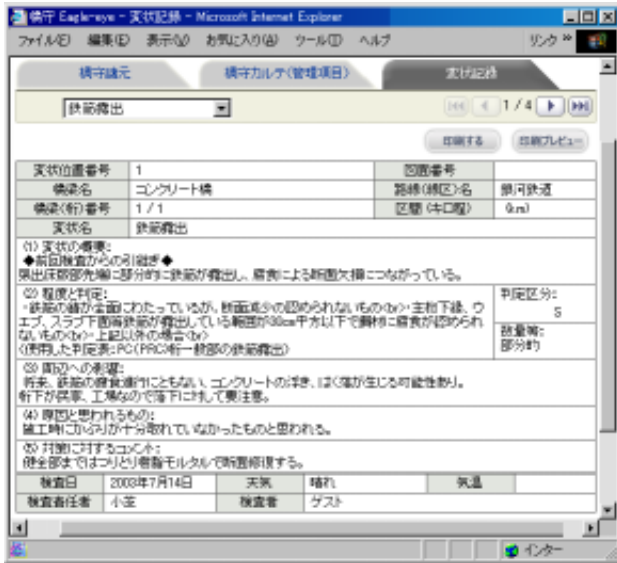


図-11 変状概要画面

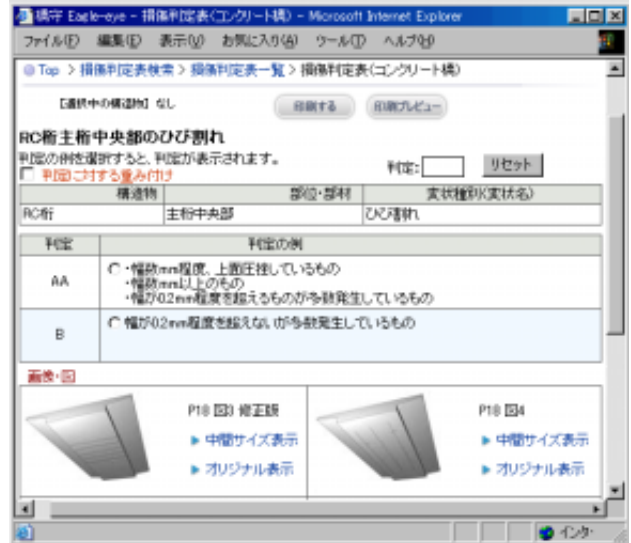
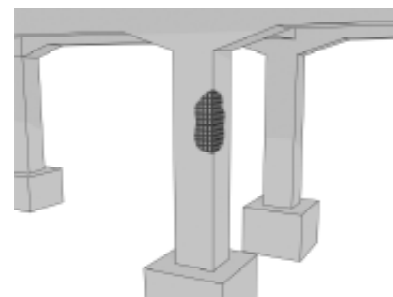


図-13 健全度判定例画面



図-12 変状写真登録画面



- 柱の高さ30cm程度以上全周にわたり鉄筋が完全に露出しているもの：判定AA
- 柱の1面の鉄筋前面露出しているもの：判定A
- 柱が30cm<sup>2</sup>以上露出し、腐食しているもの：判定A
- 柱が30cm<sup>2</sup>以下露出し、腐食しているもの：判定B

図-14 健全度判定図

### 3.3 技術情報データベースの構築

#### (1)健全度判定例

図-14 に健全度判定図の一例を示す。判定ランクは建造物保守管理の標準・同解説<sup>1)</sup>に従い、AA～S ランクに区分した。判定図は、3DCG ソフトウェアを用いて同標準記載の鉄道コンクリート構造物に関する判定図及び 2 章の調査結果を踏まえ 71 パターンの電子画像を作成し、データベースに蓄積した。これにより、現場において携帯端末からの判定図の参照が容易になるとともに、判定時における検査員の個人差の影響を排除し、判定結果の信頼度の向上を図った。

#### (2)変状・対策事例

表-2 にコンクリート構造物における変状・対策事例データベースの構成を示す。構造種別、部材種別、変状の種類、変状の原因、補修・補強工法ごとに分類し、キーワードによる検索を

可能とした。なお、変状・対策事例は、2 章の調査結果に基づき国内 100 箇所の代表的な実鉄道構造物の変状についてまとめたものである。また、併せて対策の具体的な事例についても紹介した。図-15 に変状事例の参照画面の一例を示す。これらのデータは、現場において携帯端末から参照することができ、検査時において同種の変状に関する情報を得ることができる。

#### 3.4 実地検証

図-16 に全般検査支援システムの実地検証状況を示す。PDA を用いた検査、ASP による検査結果の登録、データベースシステム等、いずれも運用状況は良好であり、現在までに、16 鉄道事業者、1230 構造物(鋼橋を含む)の全般検査が本システムにより実施された。

表-2 コンクリート構造物の変状・対策事例データベースの分類項目

| 構造種別  | 部材種別  | 変状の種類  | 変状の原因  | 補強・補修工法   |
|---|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>RC単純スラブ桁</li> <li>RC単純T形桁</li> <li>PC単純桁, 連続桁</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>張出しスラブ</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>はく離, はく落</li> <li>鋼材露出, 鋼材腐食</li> <li>ジャンカ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>構造欠陥</li> <li>建設時の初期欠陥</li> <li>中性化</li> <li>塩害</li> <li>凍害</li> <li>化学的侵食</li> <li>アルカリ骨材反応</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ注入</li> <li>断面修復</li> <li>表面被覆</li> <li>再アルカリ化</li> <li>脱塩</li> <li>電気防食</li> <li>はく落防止</li> </ul> |
| RCラーメン高架橋   | <ul style="list-style-type: none"> <li>梁</li> <li>スラブ</li> <li>柱</li> <li>高欄, 地覆</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>エフロレッセンス</li> <li>表面気泡</li> <li>錆汁, 漏水</li> <li>すりへり</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>疲労</li> <li>火災</li> <li>地震</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼板巻き, 鋼板接着等の補強</li> </ul>  |
| RC橋脚, 橋台  | <ul style="list-style-type: none"> <li>く体</li> <li>フーチング</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>PCグラウト充填不良</li> <li>PC鋼棒の突出</li> </ul>                              |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>部材取替え, 受換え</li> </ul>  |
| 支承部   | <ul style="list-style-type: none"> <li>シュー</li> <li>台座</li> <li>周辺部</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>支承部の変状</li> </ul>   |  |   |



図-15 変状事例画面



図-16 全般検査の実施状況

#### 4. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鉄道構造物の全般検査に必要とされる所要時間に関して調査を行った。構造物の規模に

もよるが橋梁では10~30分程度、ラーメン高架橋では1ブロック10分程度を要する。

- (2) 橋梁及び高架橋の一般的な目視調査の方法について調査した。調査方法に鉄道事業者ごとの差異はみられなかった。
- (3) 携帯端末を用いた対話式検査支援システムを構築した。全般検査において検査員が行う各作業の過程をシステム化し、検査業務の作業性の改善を図った。
- (4) 71パターンの健全度判定図及び100箇所の変状・対策事例をデータベース化し、判定や変状種別の特定等の精度の向上を図った。

本システムが今後の鉄道構造物の維持管理体制の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術所：建造物保守管理の標準・同解説，鉄道総合技術所，1987.9
- 2) 鎌田卓司ほか：既設コンクリート構造物の目視検査支援システムの構築，土木学会第59回年次学術講演概要集，I-135，2004
- 3) 山口ほか：iDCを利用したデータ管理とP2Pネットワークを利用した目視支援システムの開発，土木学会第57回年次学術講演概要集，2002
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道技術基準のための調査研究報告書 第IV編 線路等の検査方法に関する調査研究，IV-1，2003.4