

画像データによるはく落要注意箇所抽出方法の研究

小西 真治¹・川上 幸一²・三浦 孝智³・篠崎 真澄⁴
篠原 秀明⁵・村田 利文⁶・石川 雄章⁷

¹正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部 工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:s.konishi.r4r@tokyometro.jp

²正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部 工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:koui.kawakami@tokyometro.jp

³正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部 工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:t.miura.r4r@tokyometro.jp

⁴正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部 工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:m.shinozaki.m7x@tokyometro.jp

⁵正会員 (株) メトロレールファシリティーズ (〒103-0014 東京都中央区日本橋蠣殻町1-35-5いちご箱崎ビル3F)
E-mail:h.shinohara@metrorailfa.co.jp

⁶非会員 (株) ソーシャル・キャピタル・デザイン (〒107-0052 東京都港区赤坂9丁目6-28 アルベルゴ乃木坂601)
E-mail: murata@scdesign.co.jp

⁷正会員 東京大学大学院情報学環 (〒113-8654 文京区本郷7-3-1タワーズイノベーションズ学術研究館)
E-mail: ishikawa@iii.u-tokyo.ac.jp

鉄道ではトンネルからコンクリート片のはく落事故が発生すると、通常は同様の箇所が無い全線にわたり緊急点検し、疑わしい箇所を処理する。これには限られた時間での点検となるため検査結果のバラツキが伴い、また、膨大な労力も必要となることから、精度が高く、効率的な抽出方法が望まれていた。東京地下鉄(株)では、全トンネル区間の可視画像を撮影しデータ化しているが、これらの膨大なデータから、クラックや補修跡等の変状の形状を考慮してある変状箇所と同様の箇所を自動抽出できるシステムを研究開発している。これにより、はく落箇所と同様の条件の箇所を精度良く、迅速に抽出できる。今回、2種類の変状が複合交差している形状パターンについてよい結果が得られたので報告する。

Key Words : subway tunnel,maintenance,visual image data, suspicious place detection system

1. はじめに

東京地下鉄株式会社（以下、「東京メトロ」という。）は現在 9 路線、営業キロ 196.1km で一日に約 684 万人という大勢のお客様に利用していただいている。このうち、85%の 166.8km がトンネルであるが、鉄道構造物等維持管理標準¹⁾に準拠した適切な維持管理により安全・安定運行を保っている²⁾。

鉄道トンネルで覆工からコンクリート片の剥落が発生すると、通常は同様の箇所が無い全線にわたり緊急点

検し、疑わしい箇所を抽出し処理する。この抽出作業は、非常に労力がかかり、また、緊急であるがゆえの見落とし等のリスクもある。このため、精度が高く、効率的な抽出方法が望まれていた。

このようなことから、東京メトロは保有している全トンネル区間の可視画像データ（デジタルデータ）³⁾について、画像認識技術を利用して、クラックや補修跡等の変状の形状を考慮してある変状箇所と同様の箇所を自動抽出できるシステムを研究開発している。

今回、2種類の変状が複合交差しているパターンにつ

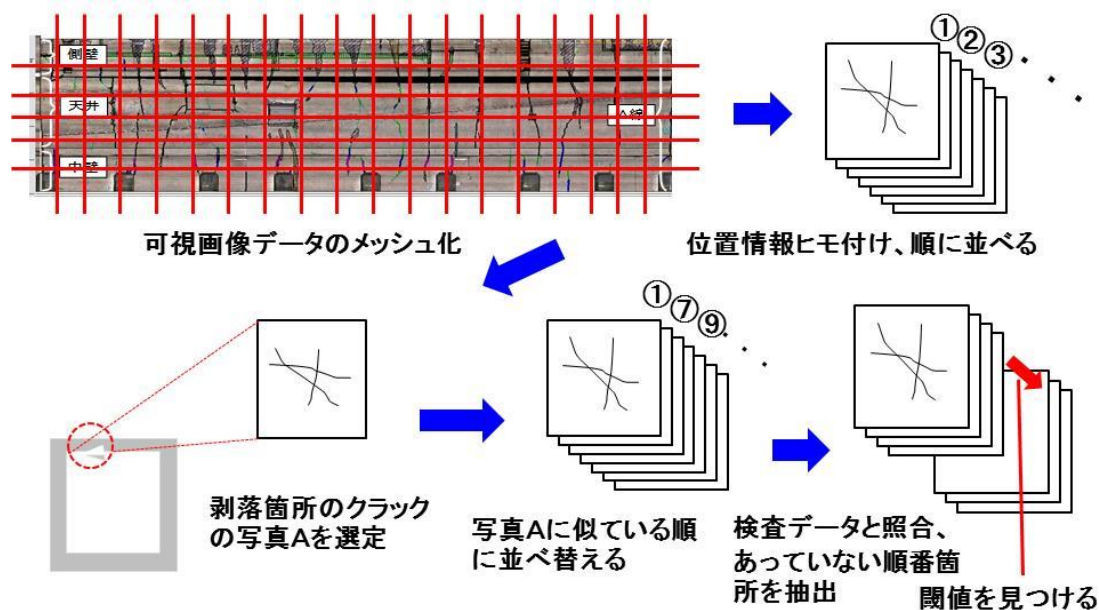


図-1 トンネルはく落要注意箇所抽出システムのご概念

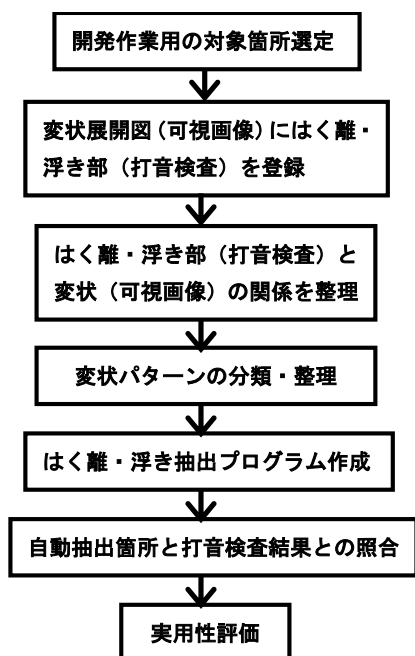


図-2 トンネルはく落要注意箇所抽出システムの開発手順

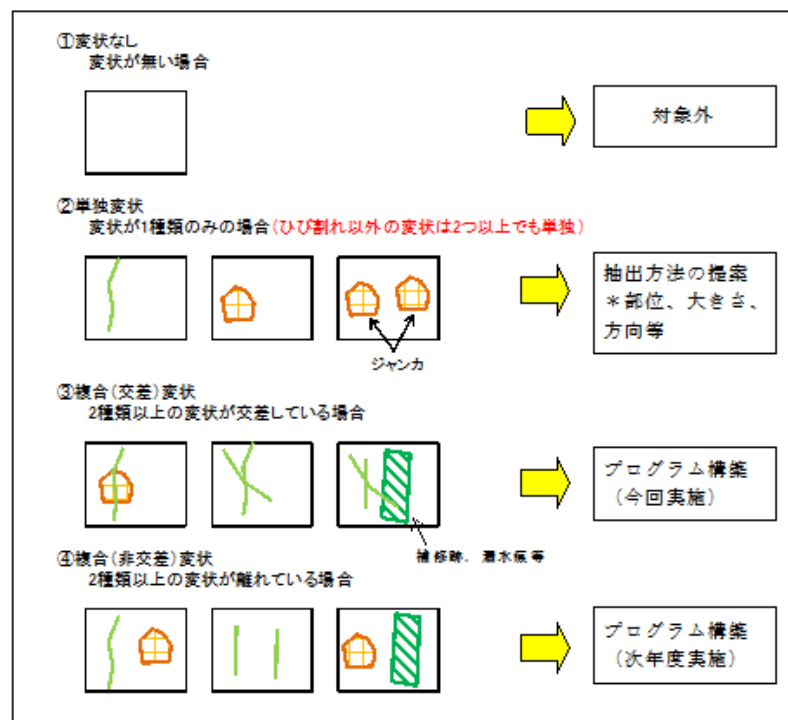


図-3 はく離・はく落の変状パターンの組合せ

いてのはく落要注意箇所（はく離・浮き箇所）抽出システムを開発し、良好な結果が得られたので報告する。

2. トンネルはく落要注意箇所抽出システムの概要と開発手順

トンネルはく落要注意箇所抽出システムは、ある変状パターンを指定するとトンネルの変状に関するデータベ

ースの中から同様のパターンがある箇所を自動抽出するものである。図-1にその概念を示す。

最初にある路線の特定の区間を選定し、可視画像の変状展開図に打音検査で発見したはく離・浮き部を登録し、その関係を整理した。次に変状パターンを分類、整理したのち、自動抽出するプログラムを作成した。その後、自動抽出を実行し、その箇所と打音検査結果を照合し、性能を評価した。図-2にトンネルはく落要注意箇所抽出システムの開発手順を示す。

表-1 項 目 (変状パターン)

	項 目	内 容
1	変状状況	単独変状, 複数変状, 重複変状
2	ひび割れの状況	閉合, 放射, 三日月, 分岐, 交差
3	ひび割れの方向	横断, 縦断, 斜め
4	ひび割れ幅	
5	変状の種類	漏水, 鉄筋露出, コールドジョイント
6	補修	

表-2 2変状の組合せパターン

番号	パター
1	ひび割れ + 補修跡
2	漏水・漏水痕 + 補修跡
3	ジャンカ + 補修跡
4	ひび割れ + ジャンカ
5	ひび割れ + コールドジョイント
6	コールドジョイント + 補修跡
7	コールドジョイント + 漏水・漏水痕
8	コールドジョイント + ジャンカ
9	ひび割れ + 漏水・漏水痕
10	漏水・漏水痕 + 析出物等
11	ジャンカ + アテ板補修
12	はく落・はつり跡 + 補修跡
13	ひび割れ + H鋼補修
14	ジャンカ + H鋼補修
15	鉄筋露出 + 補修跡
16	ひび割れ + 鉄筋露出
17	漏水・漏水痕 + アテ板補修
18	漏水・漏水痕 + 線漏水
19	ひび割れ + ひび割れ



(a) パターンひび割れ+補修跡 (b) ジャンカ+補修跡 (c) 漏水・漏跡+補修跡 (d) ひび割れ+ジャンカ

写真-1 代表的な変状の組合せパターン

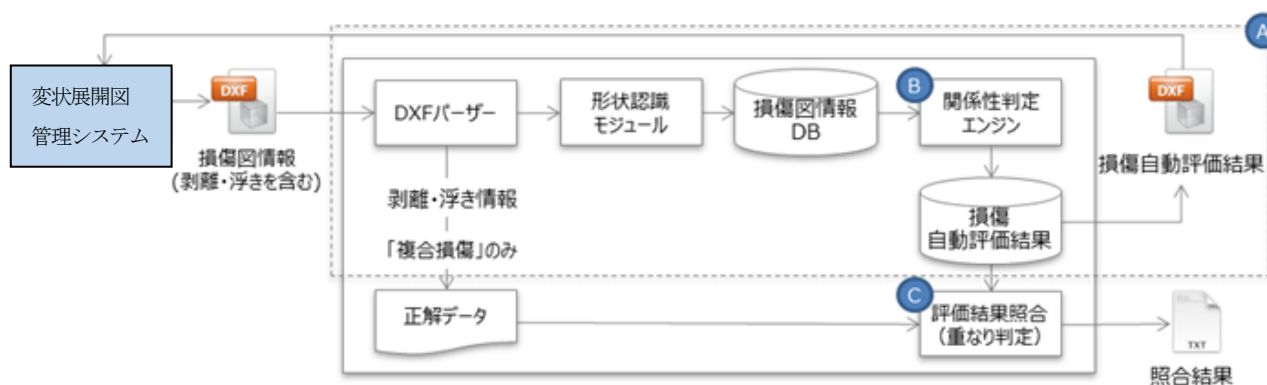


図-4 システム全体構成図

3. 抽出方法の検討

検討対象範囲は、特別全般検査を行った路線の打音検査で、はく離・浮き (B 判定以上) が 300 個存在した約 4.2km 間である。打音検査で見つかったはく離・浮き箇所について、表-1 に示す項目 (変状パターン) で整理した。これらのデータから、はく離・浮きを引き起こす

変状パターンは、大きく分類すると、①変状なし、②単独変状、③複合交差変状、④複合非交差変状、の四つのパターンになった (図-3)。

変状種類ごとの組合せは、2 変状の組合せが表-2 に示す 19 パターンになった。代表的な組合せを写真-1 に示す。今回は、複合交差変状かつ 19 パターンについて抽出プログラムを構築した。

4. はく落要注意箇所抽出システムの構成

システム全体の構成を図-4に示す。図中のAで、はく離・浮きに関する変状データ（ひび割れ、漏水等）の読み込み・処理・出力を改変可能なプラットフォームとしている。Bは関係性判定エンジンで、はく離・浮きが生じそうな箇所を抽出する部分である。Cは複合（交差）変状からどれだけのはく離・浮き部分を抽出できるか、潜在するはく離・浮き部の候補箇所をどれだけ抽出できるかを検証する部分である。

5. はく落要注意箇所抽出結果

はく落要注意箇所抽出結果を表-3に、展開図に記入したものの一部（50m 間）を図-5に示す。自動抽出されたはく離・浮き箇所は1,537箇所、打音検査ではく離・浮きと判定された箇所（以下、手動抽出と呼ぶ。）は175箇所、130箇所で適合していた。適合率は74%であった。抽出できなかった45箇所は、図-6にイメージを示すような、はく離・浮き箇所のうち2つの変状が全く重なっていたものであった。なお、図-7にイメージ

を示すような、二つの変状が交差しているものは100%抽出できていた。今後、変状が重なっているものについても抽出できるようにプログラムの改良を進める予定である。

パターン別の適合率をみると、率が高いパターンは、はく離・浮きの識別がし易い変状の組合せと考えることができる。今後、分析を進めることで、はく離・浮き発生の原因やメカニズムの解明に寄与できるものと考えられる。

表-3の一番右の列は、打音検査ではく離・浮きと判定されなかったが自動抽出された箇所で1407箇所存在した。これらは適合集集中箇所、潜在候補箇所および過検出箇所と考えられる。

適合集集中箇所は、三つ以上の複数の変状が存在する箇所で、図-5で赤枠が同じ場所で幾重にも重なって表示されている箇所である。この箇所は、はく離・浮きが発生する可能性が高く要注意箇所であると言える。

潜在候補箇所は、打音検査で、現在は、はく離・浮きが認識されていないが、変状の状態から見て、将来、はく離・浮きが発生する可能性が高い箇所である。この情報をうまく利用すると、予防保全につながる。また、これらに属さない箇所は、過検出されていると考えられる。

表-3 変状パターンごとのはく離・浮き箇所自動抽出結果と打音検査からの抽出結果との比較表

パターン	自動抽出 (交差)	手動抽出 (交差)	適合箇所	適合率	潜在候補箇所 適合集集中箇所
ひび割れ & 補修跡	306	69	59	86%	247
漏水・漏水痕 & 補修跡	146	33	18	55%	128
ジャンカ & 補修跡	98	13	8	62%	90
ひび割れ & ジャンカ	143	17	13	76%	130
ひび割れ & コールドジョイント	123	8	7	88%	116
コールドジョイント & 補修跡	77	5	5	100%	72
コールドジョイント & 漏水・漏水痕	71	5	4	80%	67
コールドジョイント & ジャンカ	70	9	6	67%	64
ひび割れ & 漏水・漏水痕	120	5	4	80%	116
漏水・漏水痕 & 析出物等	5	3	2	67%	3
ジャンカ & アテ板補修	4	-	-	-	4
はく落・はつり跡 & 補修跡	5	2	1	50%	4
ひび割れ & H鋼補修	4	1	1	100%	3
ジャンカ & H鋼補修	5	-	-	-	5
鉄筋露出 & 補修跡	1	1	0	0%	1
ひび割れ & 鉄筋露出	1	1	0	0%	1
漏水・漏水跡 & アテ板補修	2	1	1	100%	1
漏水・漏水跡 & 線漏水	11	1	0	0%	11
ひび割れ & ひび割れ（交差）	345	1	1	100%	344
	1,537	175	130	74%	1,407

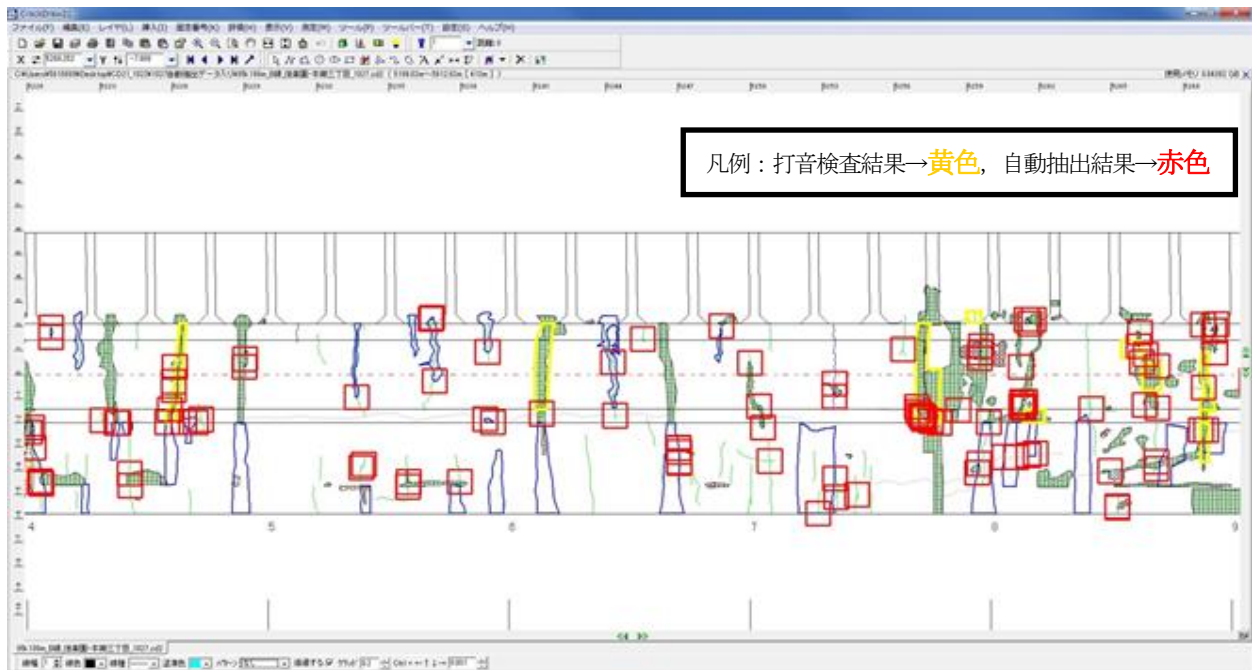


図-5 可視画像による変状および打音検査結果と自動抽出結果



図-6 2つの変状が重なる（交差しない）パターン



図-7 2つの変状が交差するパターン

過検出については、表-2 に示した変状パターンの見直しや細分化（①部位、②変状の大きさ、③ひび割れ幅、④ひび割れの方向性、⑤補修の時期、等）を進め自動抽出の精度を上げることで解消できると考えている。ここで補修の時期とは、建設時の補修か、供用時の漏水補修あるいは構築補修か、といった違いのことである。

6. まとめ

トンネルはく落要注意箇所である、はく離・浮き箇所の自動抽出システム構築を目的に、複合交差変状パターンについて可視画像データベースから指定した変状が自動抽出できるシステムを構築した。ある路線の4.2km区間を対象に適用し、自動抽出箇所を打音検査結果から抽出した箇所と比較した結果、適合率74%であることが分かった。これらのデータを再検討した結果、抽出率が100%でなかったのは、二つの変状が重なるパターンを認識できていないためであることが分かった。

今後は、実用化を目指して、変状パターンの見直し、変状種類の細分化、判定方法の見直し、等を行い、二つの変状が重なるパターンの認識や適合集中箇所、潜在候補箇所、過検出箇所を識別できるようにプログラムを改良する予定である。

さらに、図-3 に示す他の変状組合せ条件での検証を進める予定である。具体的には、「①変状なし」については、はく離・浮きに関する変状データがないため、システムを構築するのは困難であり、今後対象外とし、「②単独変状」、「④複合(非交差)変状」については、今回実施した「③複合(交差)変状」と同様に、変状パターンを細分化することで、はく離・浮き箇所の抽出精度を上げシステムを構築していく。

また、システムが完成した後は、図-8にイメージを示しているように、変状パターンとはく離・浮きの抽出率から、はく落のメカニズムを再検討する予定である。

このような研究開発を進め、このシステムを利用してより高度な維持管理につなげたいと考えている。

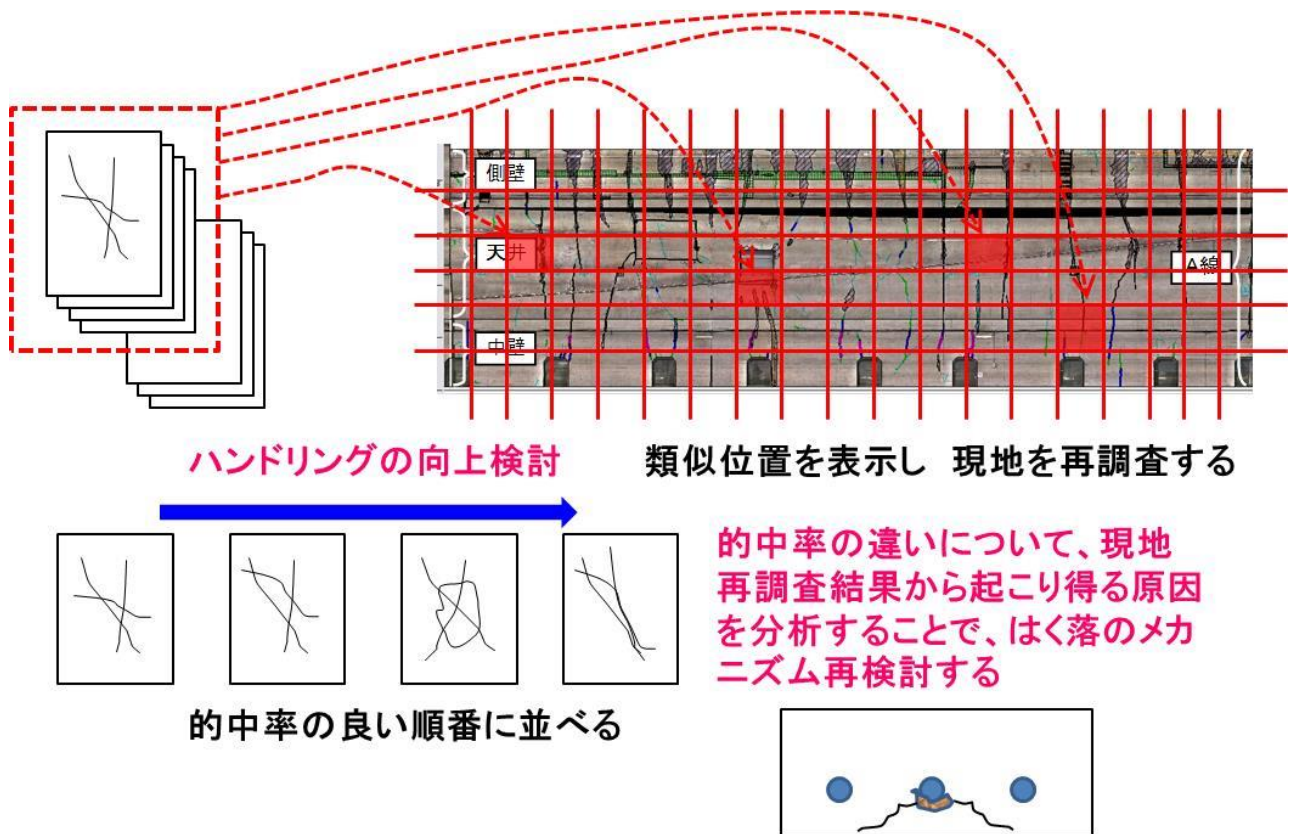


図-8 トンネルはく落要注意箇所抽出システムを用いたはく落のメカニズム再検討のイメージ

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，国土交通省鉄道局監修，丸善，2007.
- 2) 澤田一夫，針谷邦人，新川洋行，榎谷祐輝：東京地下鉄における特別全般検査（トンネル），日本鉄道施設協会誌 2月号，pp118-pp120，2013.
- 3) 川上幸一：東京メトロの土木構造物検査における ICT 活用，日本鉄道施設協会誌，Vol.53，No.2，pp.130-133，2015

(2015. 8. 7. 受付)

STUDY ON DETECTION SYSTEM OF SUSPICIOUS PLACE ABOUT SPALLING BY VISUAL IMAGE DATA

Shinji KONISHI, Kouichi KAWAKAMI, Takatomo MIURA, Masumi SHINOZAKI
Hideaki SHINOHARA, Toshibumi MURATA and Yusho ISHIKAWA

Railway companies have to carry out an emergency inspection for whole lines to search similar places to a place at which a spalling happened, when the spalling from a tunnel lining. After it, countermeasures are taken to the suspicious place about spalling, immediately. However, accuracy of the inspection become low with dispersion and great deal of labor is needed, because the inspection has to be finished within a limit time. For this reason, a new detection method which has high accuracy and good efficiency is required now. Tokyo Metro is researching and developing on the system. We have visible image data of whole lines as digital data and the system can detect similar places from our data base of deformation in our tunnel when a deformed place at which spalling happened is inputted. Recently, we applied for a deformation pattern of which two deformations intersect and got good results. This report describe the contents of the development and results.