

画像認識技術を利用したはく落要注意箇所 の自動抽出システムの開発

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

¹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4F)
E-mail:h.shinohara@metrorailfa.co.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:s.konishi.r4r@tokyometro.jp

³正会員 東京地下鉄(株)人事部総合研修訓練センター (〒136-0082 東京都江東区新木場4-4-15)
E-mail:koui.kawakami@tokyometro.jp

⁴正会員 東京地下鉄(株)鉄道本部 工務部 土木課 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:t.miura.r4r@tokyometro.jp

⁵正会員 東京地下鉄(株)鉄道本部 工務部 土木工務所 (〒110-0015 東京都台東区東上野5-6-6)
E-mail: m.taguchi.m7x@tokyometro.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タワエビキタス学術研究館)
E-mail: ishikawa@iii.u-tokyo.ac.jp

トンネルからのコンクリート片のはく落事故は鉄道にとって深刻な問題である。前兆のある箇所を見つけ出し事前に処理する必要があるが、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、ひびわれ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。昨年度報告¹⁾したシステムについて、変状パターンへの傾向分析機能や2種類の変状の複合非交差箇所抽出機能を追加し、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

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ないか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、東京地下鉄株式会社(以下、「東京メトロ」という。)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)²⁾について、画像認識技術を利用してひびわれ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(以下、DIMKS: Deformation place Imaginary Knowing Systemと呼ぶ)を研究開発している。

今回、変状パターンおよび変状組合わせを自動的に分類するプログラムを構築し、この機能を用いて「コンクリートの浮き・はく離」と「補修モルタルの浮き・はく離」に分けて分析した。その結果、発生頻度の多い組合わせは、前者では「ひびわれとコールドジョイント」の組合わせ、後者は「ひびわれと初期の補修箇所」の組合わせであることが分かった。また、昨年度報告した2種類の変状が複合交差しているパターンについてのはく落要注意箇所(浮き・はく離箇所)の抽出に加え、2種類以上の変状が複合非交差している箇所についても抽出する機能を追加し、自動抽出結果と特別全般検査結果およ

び新規打音検査結果との照合を行い、良好な結果が得ることができた。以下、これらの内容について述べる。

2. DIMKS の概要と開発手順

東京メトロが保有している全トンネル区間の可視画像データ (JPEG 形式) は、変状展開図 (DXF 形式) 化されている。図-1に可視画像、図-2に変状展開図を示す。

DIMKS は、このデータを利用し、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-3にその概念を示す。

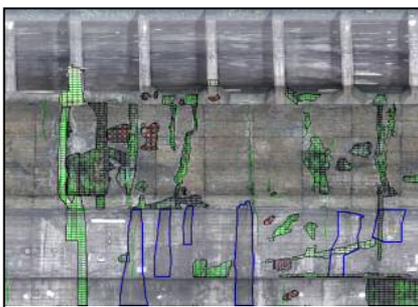


図-1 可視画像 (JPEG 形式)

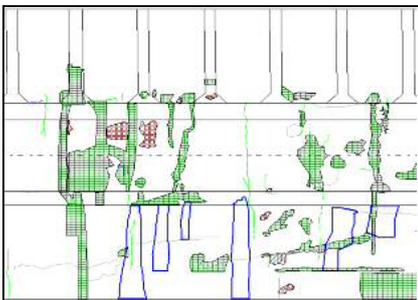


図-2 変状展開図 (DXF 形式)

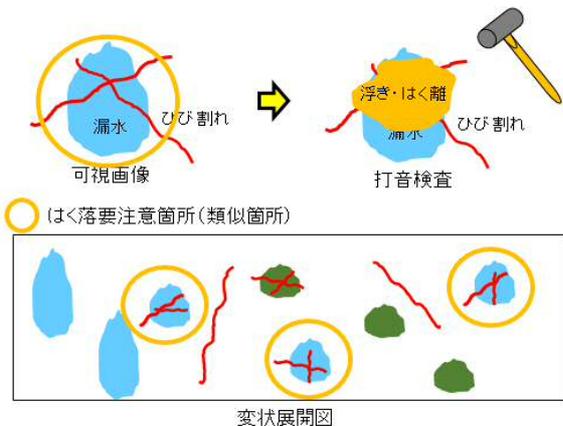
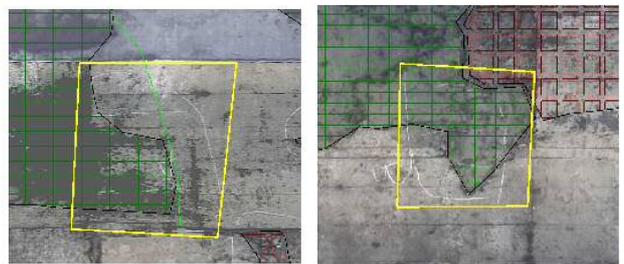


図-3 DIMKS の概念

最初にある路線の可視画像 (JPEG 形式) から作成された変状展開図 (DXF 形式) に特別全般検査の打音検査で発見した浮き・はく離データを登録した。登録した代表例を写真-1に示す。

今回新たに、変状パターンおよび変状組合わせを自動的に分類する「変状パターンの傾向分析機能」のプログラムを構築し、検索条件の設定等を簡便に行えるようにした。次に「はく落要注意箇所の自動抽出機能」に検索条件を設定し、はく落要注意箇所を自動抽出するプログラムを構築した。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-4にDIMKSの開発手順および図-5にシステム構成図を示す。



ひびわれ+補修跡

ジャンカ+補修跡

写真-1 代表的な変状の組み合わせパターン

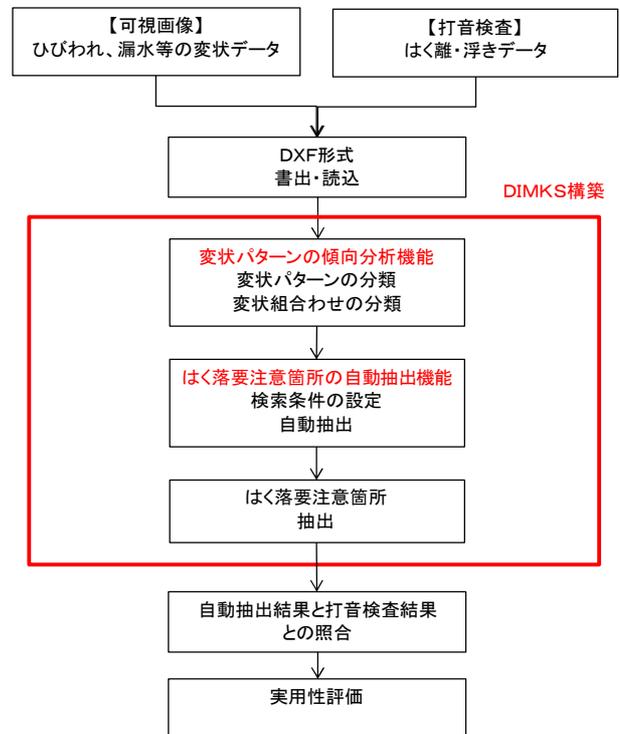


図-4 DIMKS の開発手順

3. 変状パターンの傾向分析機能

開発にあたっては、まず、ある路線の 17,355m 間の可視画像の変状展開図に特別全般検査の打音検査で発見した浮き・はく離 641 箇所を追加し、DIMKS の傾向分析機能で浮き・はく離とその近傍のひびわれや漏水等の他の変状との関係を分析し、複合交差変状および複合非交差変状のパターンを分類した。この分類にもとづき、可視画像の変状展開図から浮き・はく離箇所を自動抽出し、特別全般検査や追加で行なった打音検査結果と照合し、性能を評価した。

傾向分析機能では、浮き・はく離箇所を確認されているひびわれ、漏水等の関係について、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 4 パターンに分類した。図-6 に変状パターンを示す。

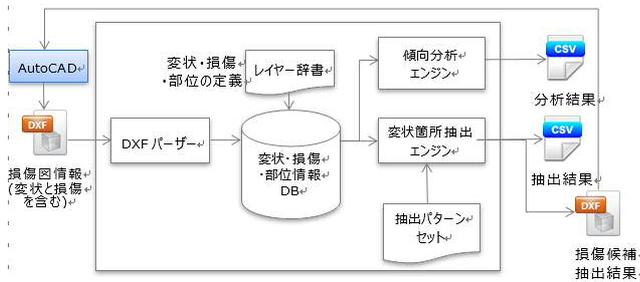


図-5 DIMKS のシステム構成

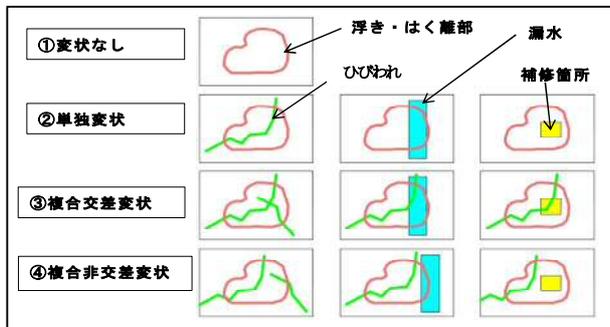


図-6 変状パターン

表-1 傾向分析機能の抽出項目および抽出結果 (例)

項目	抽出結果 (例)
部位	左側壁
座標 (x)	1123.91
座標 (y)	6.35
変状パターン種別	交差
変状組み合わせ	ひびわれ&建設・初期の補修
ひびわれ幅	0.5mm以上1.0mm未満
ひびわれ方向	縦断
長さ (m)	4.64
面積 (m ²)	3.89
非交差距離 (m)	0.48 *1

*1 非交差変状の場合

傾向分析機能では、個々の浮き・はく離箇所に関するひびわれ、漏水等の変状の位置情報 (部位、座標)、変状パターン (種別、組み合わせ)、ひびわれ情報 (幅、方向、長さ)、変状の大きさ情報 (面積)、また非交差変状の場合は、非交差距離を自動的に抽出し、CSV 形式での出力を可能とした。このデータは、はく落要注意箇所を抽出する際の基礎データとして活用した。表-1 に傾向分析機能の抽出項目および抽出結果 (例) を示す。

傾向分析機能により、浮き・はく離箇所を確認されているひびわれ、漏水等の関係について自動抽出した結果、補修箇所の浮き・はく離が多く見られることより、抽出結果は、「コンクリートの浮き・はく離」と「補修モルタルの浮き・はく離」に分けて分析した。表-2 および図-7、図-8 に各変状パターンの数量を示す。

表-2 変状パターンの数量

変状パターン	コンクリートの浮き・はく離	補修モルタルの浮き・はく離	合計
なし	18	23	41
単独	68	107	175
交差	121	226	347
非交差	54	24	78
合計	261	380	641

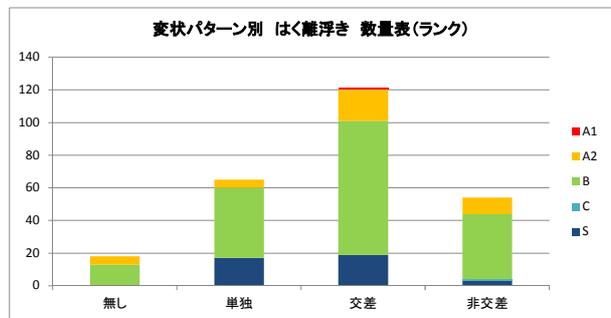


図-7 変状パターン (コンクリートの浮き・はく離)

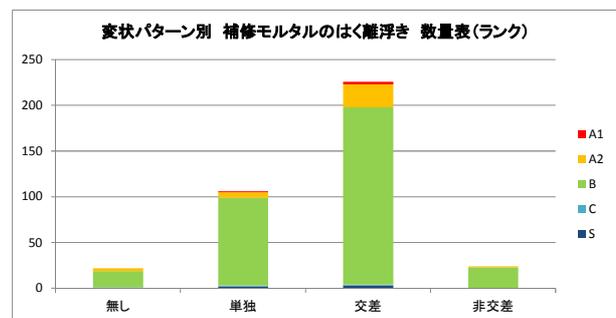


図-8 変状パターン (補修モルタルの浮き・はく離)

今回のはく落要注意箇所自動抽出機能の構築は、2つ以上の変状の組み合わせからなる③複合交差変状と④複合非交差変状について行うものとし、傾向分析機能により変状の組み合わせを分類した結果では、③複合交差変状は94種類、②複合非交差変状は30種類の変状組み合わせとなった。表-3に変状の組み合わせの代表例を示す。

次に「コンクリートの浮き・はく離」と「補修モルタルの浮き・はく離」の変状の組み合わせを分類した結果では、「コンクリートの浮き・はく離」で一番多いのは、ひびわれとコールドジョイントの組み合わせ、「補修モルタルの浮き・はく離」で一番多いのは、ひびわれと初期の補修の組み合わせであった。表-4および表-5に変状の組み合わせの代表例を示す。

以上の分析結果より、③複合交差変状と④複合非交差変状について、各変状パターンと類似した箇所を可視画像データ（変状展開図）から、はく落要注意箇所として自動抽出する機能を構築した。

表-3 変状の組み合わせ

複合交差変状	
変状の組み合わせ	
1	ひびわれ&建設・初期の補修
2	ひびわれ&析出物他&建設・初期の補修
3	ひびわれ&コールドジョイント
4	ひびわれ&劣化による補修
5	ひびわれ&H鋼補修跡

94	ひびわれ&鉄筋露出&&建設・初期の補修

複合非交差変状	
変状の組み合わせ	
1	ひびわれ&ひびわれ
2	ひびわれ&コールドジョイント
3	ひびわれ&析出物他
4	ジャンカ&ジャンカ
5	析出物他&建設・初期の補修

30	漏水・漏水痕&劣化による補修

表-4 コンクリートの浮き・はく離の変状の組み合わせ

複合交差変状	
変状の組み合わせ	数量
ひびわれ&コールドジョイント	18
ひびわれ&析出物他	11
ひびわれ&ひびわれ	8
ひびわれ&コールドジョイント&析出物他	4
.....	
合計	121

複合非交差変状	
変状の組み合わせ	数量
ひびわれ&ひびわれ	12
ひびわれ&コールドジョイント	10
ひびわれ&析出物他	3
ジャンカ&ジャンカ	2
.....	
合計	54

なお、この変状パターンの傾向分析機能は、変状展開図（DXF形式）が作成されているものであれば、トンネルの構造形式（開削、シールド、山岳他）あるいは、環境条件（塩害、外的要因他）等での分析に利用が可能となっている。

4. はく落要注意箇所の自動抽出機能

自動抽出機能の構築にあたっては、傾向分析機能から得た各種データ（ひびわれ幅、非交差距離等）の傾向を分析し、抽出の際の設定条件を決定した。設定条件はトンネルの構造形式（開削、シールド、山岳他）あるいは、環境条件（塩害、外的要因他）ごとに任意に変更することができる。今回の設定条件について表-6に抽出条件、図-9に設定イメージを示す。

表-5 補修モルタルの浮き・はく離の変状の組み合わせ

複合交差変状	
変状の組み合わせ	数量
ひびわれ&建設・初期の補修	36
ひびわれ&析出物他&建設・初期の補修	27
ひびわれ&劣化による補修	14
ひびわれ&H鋼補修跡	14
.....	
合計	226

複合非交差変状	
変状の組み合わせ	数量
析出物他&建設・初期の補修	5
ひびわれ&コールドジョイント	2
ひびわれ&建設・初期の補修	2
漏水・漏水痕&建設・初期の補修	2
.....	
合計	24

表-6 はく落要注意箇所の抽出条件

設定項目	値	単位	設定根拠
グリッド幅 抽出時のターゲット範囲	0.5	m	非交差距離と同じ
スキャン幅 範囲の移動距離	0.1	m	分析時間を考慮
非交差距離 変状と変状の距離	500	mm	分析結果より
ひびわれの幅 設定幅以上のひびわれを対象	0.3	mm	最小値
ひびわれの長さ 設定長さ以上の変状を対象	300	mm	分析結果より
ひびわれの方向 設定方向のひびわれを対象	横断 縦断 斜め	-	分析結果より
変状の面積 設定値以上の変状を対象	0.05	m ²	分析結果より

設定条件により自動抽出を実行した結果、ある路線の17,355m間で、複合交差変状について32,635箇所、複合非交差変状について85,542箇所がはく落要注意箇所として抽出された。この抽出結果は、適合箇所、適合集中箇所、潜在候補箇所に分類される。図-10に自動抽出結果の一例を示す。

全体的に抽出箇所が多くなったのは、適合集中箇所のように変状が複雑に重なっている箇所では、実際には1箇所の浮き・はく離に対して、多数の組合わせで抽出しているためである。潜在候補箇所は、ひびわれ箇所と補修箇所が多く含まれていた。この中には誤検出と過検出があり、図-11に示すようにひびわれの記入方法に課題（ひびわれ幅変化箇所の接合方法）があることが分かった。これについては、変状記入方法のルールを設定あるいはプログラムの改善により解消することができる。補修箇所については、今回は、「建設・初期の補修」と「劣化による補修」の2種類に分類した。補修箇所の抽出が多かったことより、「建設・初期の構築補修」、「建設・初期の漏水補修」、「構築補修」、「漏水補修」、「ひびわれ補修」等に細分化することにより、抽出精度が向上すると考えられる。

また、複合非交差変状の抽出が複合交差変状より多くなった要因は、非交差距離の設定を今回は、500mmとしたためであり、非交差距離については、打音検査結果との照合等により再検討することにより、抽出精度が向上すると考えられる。

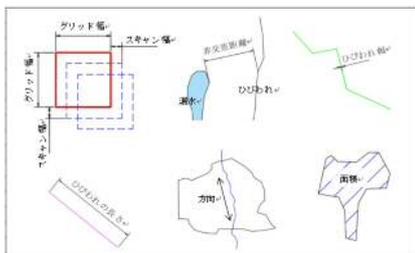


図-9 条件設定イメージ

5. 打音検査との照合

DIMKSにより自動抽出したはく落要注意箇所と特別全般検査結果とを比較した。複合交差変状で自動抽出したはく落要注意箇所は、32,635箇所、特別全般検査の浮き・はく離 347箇所のうち 334箇所まで適合（適合率96%）した。しかし、それ以外の箇所（潜在候補箇所）も多数抽出（過検出および誤検出）した。複合非交差変状では自動抽出したはく落要注意箇所は 85,542箇所、特別全般検査の浮き・はく離 78箇所のうち 71箇所まで適合（適合率91%）した。潜在候補箇所は 85,471箇所となった。設定した変状の組合わせが特別全般検査の浮き・はく離をほぼカバーしていた。適合集中箇所のほとんどは、実際には1箇所の浮き・はく離に対して多数の組合わせで抽出してしまうためであり、位置関係を考慮し1対1の対応に改善する必要がある。

次に、変状の多い736m間で特別全般検査では見つけられなかった浮き・はく離も含まれている可能性があるため、自動抽出した箇所と特別全般検査で見つけた浮き・はく離箇所から離れていた45箇所をサンプリングして、追加の打音検査を行った。この結果16箇所（適合率36%）で新たな浮き・はく離を見つけることが出来た。今後、設定条件の見直しおよびプログラムの改良を進めて抽出精度の向上を上げることにより、実際の検査の効率化および精度向上に役立てることができるとわかった。

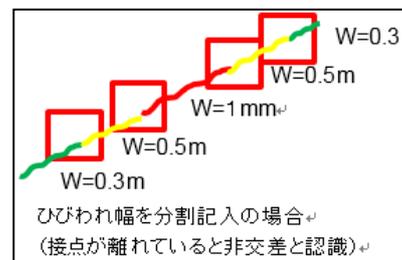


図-11 ひびわれ箇所の抽出結果例

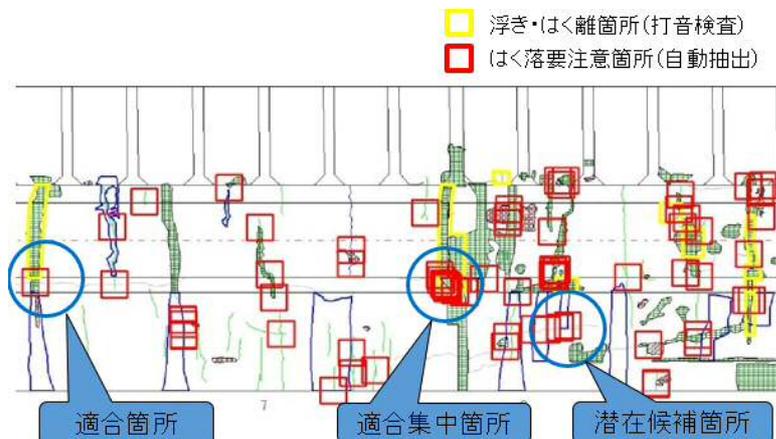


図-10 自動抽出結果の一例

6. まとめ

東京メトロのある路線 17,355m 間の可視画像および変状展開図と特別全般検査で発見された 641 個所の浮き・はく離データから「変状パターンの傾向分析機能」により、浮き・はく離とその近傍のひびわれや漏水等の変状との関係を分析し、2 変状以上からなる複合交差変状および複合非交差変状の変状パターンを分類した。その結果、発生頻度の多い組み合わせは、「コンクリートの浮き・はく離」では「ひびわれとコールドジョイント」の組み合わせ、「補修モルタルの浮き・はく離」では、「ひびわれと初期の補修箇所」の組み合わせであることが分かった。

これら分析結果から設定条件を整理し、「はく落要注意箇所」の自動抽出機能により、各変状パターンの類似箇所を抽出した。その結果、特別全般検査の浮き・はく離との照合は、複合交差変状は 347 個所のうち 334 個所で適合（適合率 96%）、複合非交差変状は 78 個所のうち 71 個所で適合（適合率 91%）し、設定した変状の組み合わせが浮き・はく離をほぼカバーしていた。

次に、変状の多い 736m 間について、特別全般検査では見つけられなかったはく落要注意箇所のうち代表 45 箇所について、追加の打音検査を行った結果、16 箇所（適合率 36%）で新たな浮き・はく離を見つけることができた。このように特別全般検査の見逃し箇所をカバーできることが分かったので、今後改良を進めて検査の精度向上に役立てることができるとわかった。

なお、今回自動抽出したはく落要注意箇所は、複合交差変状で 32,635 箇所、複合非交差変状で 85,542 箇所であり非常に検出数が多く、抽出箇所を打音検査で確認するには実用的ではない。今後は、「はく落要注意箇所の自動抽出機能」に部位、変状検出重複数、変状パターンご

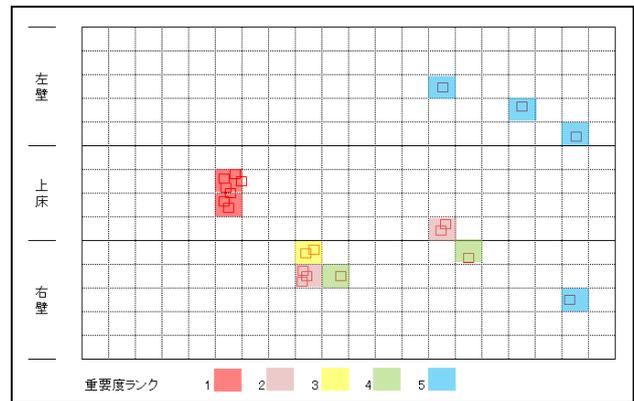


図-12 はく落要注意箇所のブロックごとの表示例

とに重要度を設定する機能を追加し、抽出したはく落要注意箇所については、ブロックごとに重要度ランクを表示する機能を追加することにより実用的なものを目指す。図-12 にはく落要注意箇所のブロックごとの表示例を示す。

また、今回はある路線の開削トンネルでの検討であり、他路線およびシールド等の他構造物に適用し、研究開発を進めることにより精度の向上を目指し、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。

参考文献

- 1) 小西真治, 川上幸一, 三浦孝智, 篠崎真澄, 篠原秀明, 村田利文, 石川雄章: 画像データによるはく落要注意箇所の抽出方法の研究, 第 25 回トンネル工学研究発表会, 報告部門, 土木学会, Vol.25, III-2, 2015.
- 2) 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.

(2016.8.5 受付)

DEVELOPMENT OF SUSPICIOUS PLACE DETECTION SYSTEM ABOUT SPALLING UTILIZING IMAGE RECOGNITION TECHNOLOGY

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

Spalling from a tunnel lining is a serious accident of railway companies. Because we have to detect suspicious places of spalling and take measures against them before accident occurs, 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 added a trend analysis function of deformation patterns and a detection function of non-crossing deformations to the detection system reported on last year. Consequently, we got good results. This report describe the detailed contents of the development and results.