

導電塗料を用いたひび割れ検知システムの研究

Detection of Cracks on Tunnel Concrete Lining with Electric Conductible Paint

小西真治¹⁾・須藤幸司¹⁾・深川良一²⁾・建山和由³⁾・毛利豊重⁴⁾

Shinji KONISHI, Koji SUDO, Ryoichi FUKAGAWA, Kazuyoshi TATEYAMA, Toyoshige MOHRI

Cracks have been recognized to be one of serious problems for tunnel maintenance. Development of convenient methods is requested to detect cracks on the concrete lining, precisely in early stages.

We employed electric conductible paint as a sensor for detecting cracks on the tunnel concrete lining. We have made some experiments with the concrete samples to study. The paper describes concept of detection with the paint and results of the various tests.

Key Words : crack, electric conductible paint, tunnel concrete lining

1. はじめに

トンネルの安全性、耐久性を考える場合、覆工コンクリートに発生するひび割れや剥離等の早期発見は重要である。例えば単独に生じたひび割れでも、放置するうちに他のひび割れと閉合して剥離、剥落へと進展する可能性を持っている。このような変状に対する検査は、目視や打音検査が一般的であるが、これは検査者の熟度によって変状の見落としや判定のばらつきが、また鉄道や道路トンネルでは検査の可能な時間が少ないといった問題が常につきまとうのが現状である。

そこで最近では、自走式の検査車、あるいは光ファイバーによるコンクリートひずみの監視等の手法が開発、導入される傾向にある。本稿で報告する導電塗料によるコンクリートのひび割れ検知システムも、人手に頼ることなく変状を監視できる手法の一つであり、簡易かつ確実にひび割れを検知し、さらに安価であるという特徴を持っている。現在、実用化に向けて各種の検討を行っているところであり、ここではこれまでに実施した実験及びその結果について報告することとする。

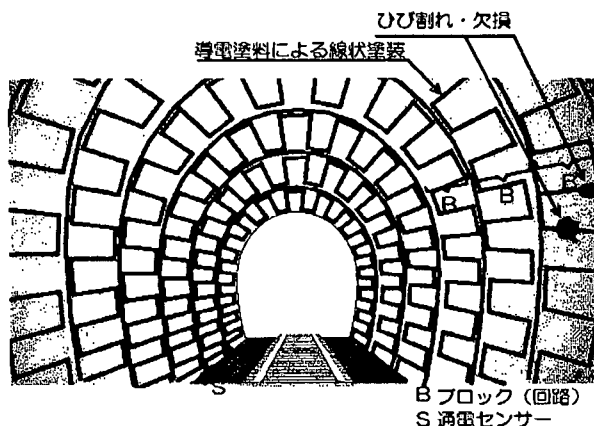


図-1 ひび割れ検知システム概念図

- 1) 正会員 (財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部
- 2) 正会員 立命館大学 理工学部土木工学科
- 3) 正会員 京都大学 大学院工学研究科土木工学専攻
- 4) 正会員 豊菱産業(株)代表取締役

2. 検知システムの概要

検知システムの概念を図-1、図-2に示す。コンクリート表面に導電性を有する塗料を帯状に塗布し、その両端間に電圧をかけると、通常は塗料の塗装厚や塗装幅に応じた抵抗値をもって電流が流れ

る(図-2上)。ところが、コンクリートにある程度の幅を持つひび割れが発生すると、同時に導電塗料の帯もひび割れ箇所で破断されて導通が損なわれる(図-2下)。したがって、コンクリートに塗布した塗料の導通を監視することにより、コンクリートのひび割れを検知することができる。このシステムを利用したのが導電塗料によるひび割れ検知システムの原理である。

具体的には、ひび割れ発生を検知したいコンクリート面に、導電塗料で所要のパターンを描き、通電センサーに接続して1ブロックの電気回路を構成し、センサーからの導通判定の信号を離れた場所へ送ることで、離れた場所でもひび割れや剥離の発生を検知することができるものである。検知したい部分が広範囲であれば、複数のブロックに分割し、それぞれにセンサーを設けることで、変状発生位置の特定が可能となる。また、経時的な記録をとることで、変状の生じた時期を特定することもできる。

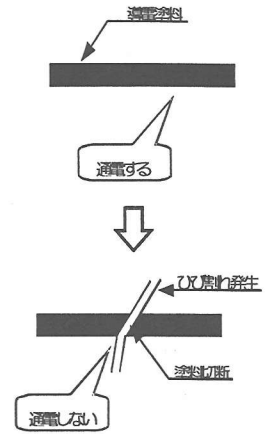


図-2 検知概略図

3. 耐久性

導電塗料のコンクリート面への塗布後の耐久性を確認するため、試験を行った。実験は、広く一般に水溶性導電塗料として使われている代表的なもの(成分;固形分:33.06%, 粘度:0.45Pa.S, PH8.8, 抵抗値29Ω・sq;以下”塗料A”とする)を使用し、屋内・屋外・軒下の3箇所にそれぞれ一定の塗料幅でコンクリートに塗布した導電塗料の抵抗値、形状変化を2週間ごとに計測し、100日程度経過したものについては抵抗値には変化がなかった。注目すべき点として、雨天時に抵抗が通常の1.5~2倍程度に増加したことが挙げられる。これは、一時的に塗料が乾燥状態から湿潤状態に変化し、それにより抵抗値が上がったと推測される。

また別塗料であるが、縮尺1/3のトンネル模型に塗布した暴露試験でも行っている(写真-1)。導電塗料の塗布幅は概ね2cm前後、延長は28mである。平成14年9月現在、塗布後2年強が経過しているが、剥がれ落ちや脆化等は確認されておらず、電気抵抗も当初の約350kΩから変動していない等、顕著な変化が見受けられない。

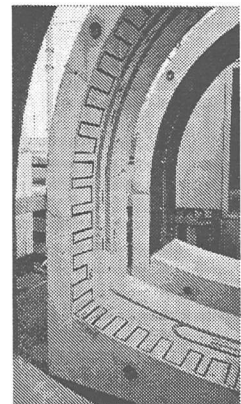


写真-1 暴露試験状況

長期試験の途中ではあるが、これらの結果から、導電塗料の耐久性には問題がないと考えられる。

4. 乾燥時間

導電塗料は、塗布後、溶剤の揮発に伴い乾燥状態となるが、これに要する時間の確認を行った。実験は、前述の塗料Aを3枚の塩ビ板に塗り厚を変えて導電塗料を塗布し、重量及び抵抗値の経時変化を測定した。測定結果を図-3、図-4に示す。質量に関しては図-3のように塗料、塗装厚によって若干に違いはあるものの塗装後

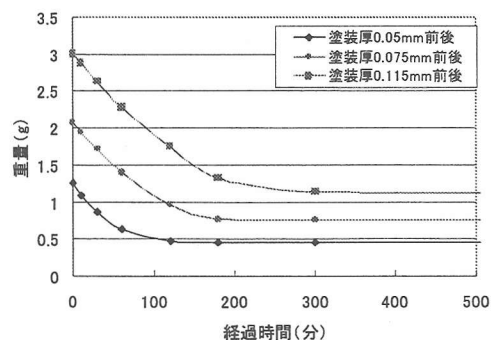


図-3 経過時間と重量の関係

300 分で重量変化はほとんどなくなった。

また、抵抗値にしても図-4 のように塗料、塗布厚によって若干に違いはあるものの塗装後 180～300 分で抵抗値の変化はほとんどなくなった。

この実験から乾燥に要する時間は、5 時間 (300 分) 程度と推定できるが、乾燥に関しては気温と湿度の影響を多大に受けるものであるため、誤差が大きいと考えられる。このため、ある程度の安全率をみる必要があるが、少なくとも塗布後 1 日程度の養生時間を与えれば、一般的な環境下では、導電塗料が乾燥状態になると考えられる。

5. 塗装の断面形状による抵抗値の測定

導電塗料の断面形状と抵抗値の関係を調べるために 2 つの試験を行った。また、塗料は、前述の塗料 A を使用した。

ひとつは、塗料幅と抵抗値の関係を調べるため、塗布厚を 0.05mm に固定し、塗布幅 10mm, 20mm, 30mm の 3 種類に変化させて抵抗値を測定した。測定結果を図-5 に示す。塗布幅 10mm の場合、かなりのばらつきがあるが 20mm 以上の場合には一定レベルとなった。

次に、塗料厚と抵抗値の関係を調べるため、同じ塗料で塗布幅を 20mm と一定にし、塗布厚を様々に変えて抵抗値を測定した。測定結果を図-6 に示す。塗布厚に関しては、厚さが厚くなるにつれて抵抗値が小さくなる傾向にあり、反比例の関係になっていると考えられる。

また、これらの実験の結果を利用して断面積と抵抗値の関係を調べた。その結果を図-7 に示す。塗料の断面積が大きくなるにつれて抵抗値が小さくなる傾向にあった。

これらの結果から、この導電塗料については、塗料幅が 20mm 以上で、断面積を 3mm² 以上とするように塗布できれば実際の現場においても十分な精度が保てることが分かった。

6. 検知性

導電塗料の塗装厚とクラック幅の関係を調べるため、塗料厚を変化させ、それがどの程度のクラック幅で破断するかを調査する試験を行った。また、ここでも、塗料は、前述の塗料 A で実験した。

破断の判断方法であるが、ここで、導電塗料の引き延ばしたときの変位量 (以下“変位”とする) と抵抗値の関係 (1 例) を図-8 に示す。これは、塗装の断面形状による抵抗値の測定でも述べているとおり、断面形状や塗料の種類で変位と抵抗値の値に関しては、さまざまな値を取るが、ある変位のところで抵抗値が無限大を示すという傾向は一致している。

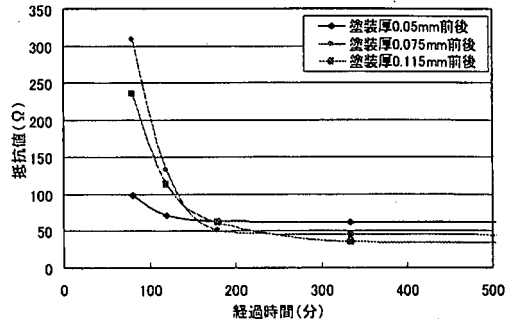


図-4 経過時間と抵抗値の関係

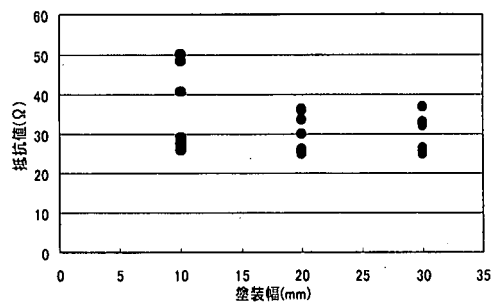


図-5 塗料幅と抵抗値の関係

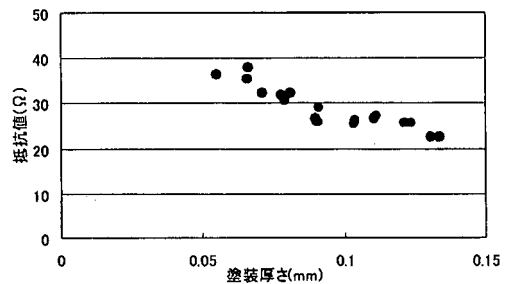


図-6 塗料厚と抵抗値の関係

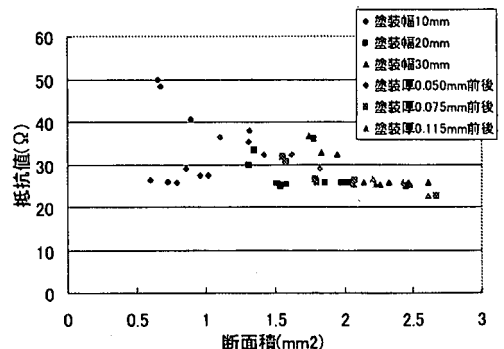


図-7 断面積と抵抗値の関係

ここでは、無限大の抵抗値が出た変位で破断したと判断することとする。

実験は、①2つに離れるように細工した供試体に導電塗料に幅 20mm・厚さ 0.1~0.35mm の条件で塗布する、②その供試体を一定の速度で離す、③その際の変位と抵抗値を測定する、④抵抗値が無限大になったときの変位を破断時の変位とする、という手順で行った。この破断時の結果を図-9に示す。実験より塗料厚を厚くするとひび割れ検知幅も比例して大きくなる傾向があることが分かった。

現実問題として実務上では、塗装厚を変えればひび割れは十分検知可能であると考えられる。

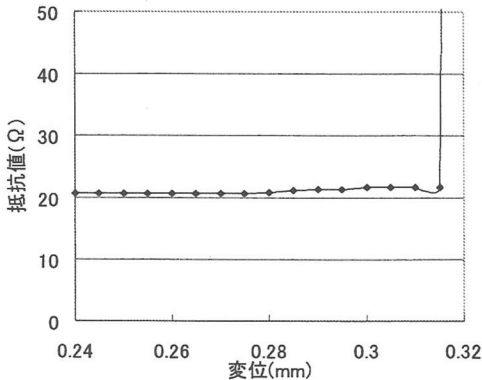


図-8 導電塗料の変位と抵抗の関係 (1例)

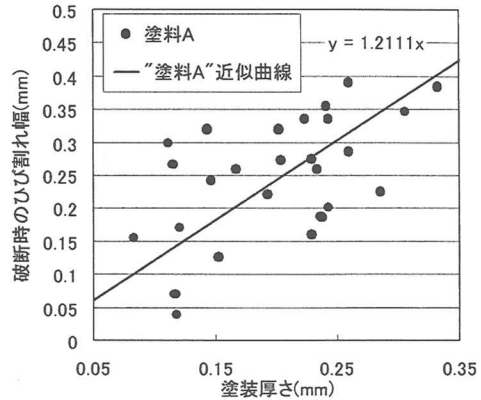


図-9 導電塗料の塗布厚と破断時ひび割れ幅の関係

7. おわりに

これまでの実験結果から、①塗布後1日程度で乾燥し安定した状態となること、②耐久性は十分確保されていること、③導電塗料によるコンクリートのひび割れ検知が十分実用可能であること、④導電塗料の塗布は、20mm 以上、断面積 3mm²以上で安定した検知が可能であること、⑤検知するひび割れ幅に応じて塗布厚設定を変化させればよいこと、等が分かった。

今後は、実用化に向けてさらに信頼性を高めるため、既に実現場で始めている検証試験(写真-2)を進め、通信・データ転送まで含めた総合モニタリングシステムを構築することを考えている。また、一様な塗り幅・塗り厚で塗布できるような塗布方法、破断した場所の特定方法、変位に対する従属性が高いものや検知幅により選定できるような塗料の開発・研究について検討を進めていこうと考えている。

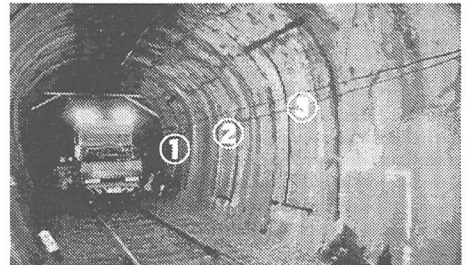


写真-2 実現場試験状況

〈参考文献〉

- (1) 岡田岳彰・小西真治・毛利豊重・建山和由:導電塗料を用いたひび割れ検知システムの研究, 平成 13 年度土木学会年次学術講演会
- (2) 中西芳之, 深川良一, 小西真治, 建山和由, 毛利豊重:導電塗料によるひび割れ検知システムに関する基礎的研究, 平成 14 年度土木学会年次学術講演会