

導電塗料を用いたひび割れ検知システムの研究

(株)横河ブリッジ
(財)鉄道総合技術研究所
藤倉化成(株)

正会員 ○永田 考
正会員 小島芳之 仲山貴司 橋 直毅
正会員 西村 司

1. はじめに

トンネル覆工の健全性を考える場合、覆工コンクリートに発生するひび割れやはく離等の早期発見は重要である。現在の発見は目視や打音により行われているが、人為的なばらつきが大きく、また、トンネル覆工は広範囲にわたるために検査には時間を要する上、欠陥部の見落としといった不具合が多く見られることがある。さらに、鉄道トンネルや道路トンネルにおいては、供用時には列車間合いや道路占用等といった時間と場所の制限を受けるのが現状である。そこで、これらの制約を回避するために、人手に頼らずに自動的に覆工コンクリートに発生するひび割れやはく離等といった損傷を検知するコンクリートのひび割れ検知システムを開発した。このシステムは導電塗料を用いる方法であり、コンクリート表面に塗布した導電塗料がコンクリートにひび割れが入ると同時に破断され、電気を通さなくなることを利用してひび割れを検知する手法である(図1参照)。本稿では昨年度の報告¹⁾以降に実施した性能確認試験結果および実トンネルの計測結果について報告する。

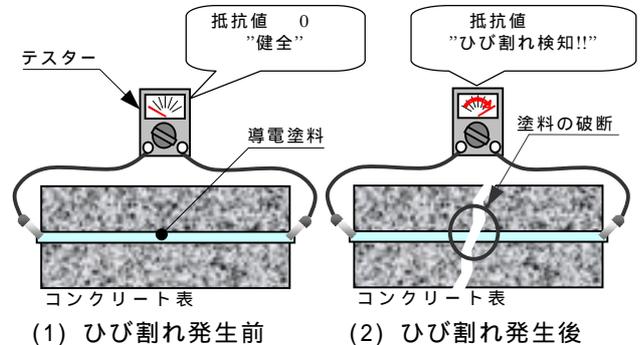


図1 導電塗料におけるひび割れ検知の原理

2. 導電塗料を用いたひび割れ検知システムの概要

導電塗料によるひび割れ検知システムは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、その電気抵抗値の変化を測定することにより、コンクリートのひび割れを検知するものである。

具体的な設置イメージを図2に示す。トンネル覆工の場合、ひび割れ発生を検知すべき覆工面に対して、このようなパターンの導電回路を複数施し、各回路に通電センサーを接続させる。このセンサーから抵抗値の信号を坑外の管理施設へ伝送することで、ひび割れやはく離等のトンネル覆工の変状情報を得ることができる。検知したい覆工面が広範囲であれば、導電回路を細かい複数のブロックに分割することで対応できる。また、抵抗値信号を経時的に記録すれば、ひび割れが生じた時刻を確認できる。

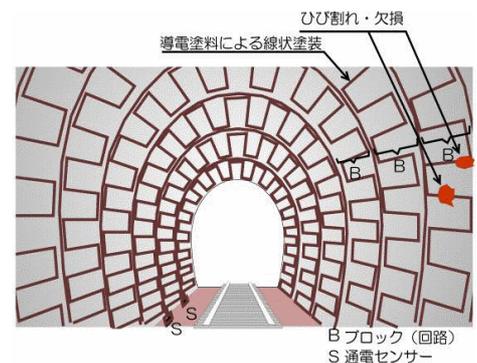


図2 トンネル覆工における設置例

3. 導電塗料の仕様

導電塗料の塗装仕様は、導電塗料の回路抵抗値の増減によってひび割れの発生を判定するため、明確な抵抗値の差が必要である。また、長期にわたる性能の維持が必要である。そこで、図3に示すように導電塗料を周辺環境からの影響を防ぐための上塗り塗料、通電性を有するコンクリート表面と導電塗料との絶縁性を維持する下塗り塗料の3層構造とした。各塗料は、試行錯誤的に検討を行った結果、上塗り塗料にはアクリル樹脂、導電塗料には銀を含有したポリエステル樹脂、下塗り塗料にはエポキシ樹脂を採用した。なお、この塗料仕様において、トンネル内の環境条件に対する性能確認試験として、耐アルカリ試験(JIS A 6909)、凍結融解試験(JIS A 1148)、促進耐候性試験、キャス耐食試験(耐塩分)を実施した。その結果、各試験後の供試体は、各環境条件下にあっても母材との付着性、通電性を維持できることが確認され、ひび割れ検知性能を長期にわたり維持することができる耐久性を有することがわかった。

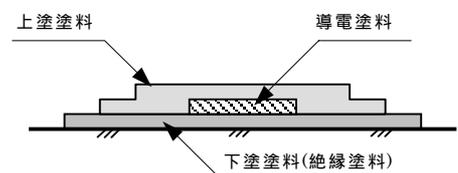


図3 導電塗料の仕様(3層構造)

4. ひび割れ検知性能試験

鉄筋コンクリートにおいては、0.2mm以下の微細なひび割れは、通常の場合は補修対象とはならない²⁾。したがって、本システムも覆工コンクリートを管理する上ではひび割れ幅が0.2~0.4mm程度の有害なひび割れの発生を検知する性能が理想である。そこで、導電塗料によるひび割れ検知幅を確認するために引張試験を実施した。今回は写真1に示すように導電塗料を塗布した鉄筋コンクリート供試体(寸法50×50×240mm)を作り、断面中心に配置した1本の鉄筋棒を引張り、表面に強制的にひび割れを発生させ、ひび割れ幅と導電塗料の抵抗値の関係を調べる試験を実施した。導電塗料の塗布幅は5, 10, 20, 30mmの4種類とした。

キーワード: 導電塗料, ひび割れ, 覆工コンクリート, 試験施工

連絡先: 〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地 TEL:047-435-6203 FAX:047-435-6154

引張試験結果を図4に示す。横軸はひび割れが発生する断面付近の変位であり、縦軸は導電塗料の抵抗値である。荷重载荷により徐々にひび割れ幅を増加させ、ひび割れ幅が 0.2~0.5mm 程度に達したときに導電塗料の抵抗値が $1.0 \times 10^6 \Omega$ 以上に急増している。したがって 0.2~0.5mm 程度のひび割れ発生が検知できるといえる。また、塗料幅が 20mm や 30mm と広い場合は比較的大きなひび割れが発生したとしても通電可能となるブリッジ現象が生じやすいことがわかった。逆に、塗料幅が 5mm の場合は、ブリッジ現象が発生する頻度が少なくなるが、実際の施工を考えた場合には不都合が多い。以上から、塗布幅はひび割れ検知精度や施工性を考えて 10mm が最良でひび割れ検知幅は 0.2~0.5mm 程度であることがわかった。

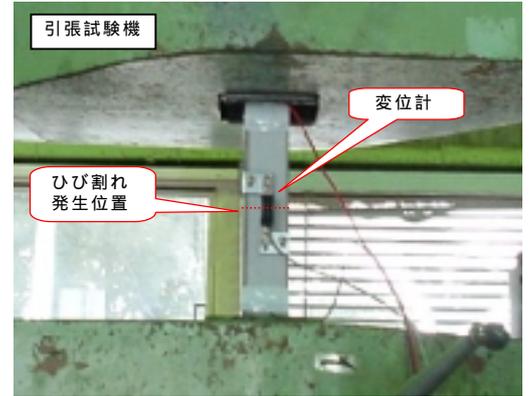


写真1 ひび割れ検知性能試験状況

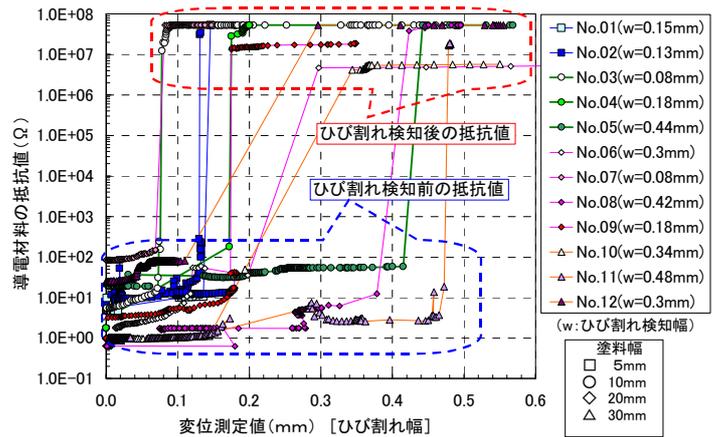


図4 ひび割れ幅と導電塗料の抵抗値の関係

5. 実トンネルにおける現地実験

実用化に向けて、平成16年12月より実際のトンネルを対象に本システムを施工し、トンネルの変状監視を行っている。対象トンネルは経年約50年の鉄道トンネルの横坑であり、既存の多数のひび割れが存在している。この既存のひび割れを誘発する目地等が存在しており、これの変動を予想し、ひび割れ等を横断するように導電塗料の回路を施工した。また、変位変動は既存ひび割れ付近に変位計を設置して測定した。なお、既存のひび割れ誘発目地部はモルタルパット³⁾により平成17年10月に再施工した。

現地計測の結果として、回路抵抗値とひび割れ変位量の経時変化を図5に示す。なお、図中のひび割れ幅は平成16年12月からの増分量である。平成16年12月から平成17年12月初旬までの約1年間、各回路の抵抗値は100Ω未満の小さい値で安定し、ひび割れ幅の変化も小さい。目視検査においても特に変状の進展が見られなかった。このことから、本システムはトンネル坑内の粉塵、列車走行による風圧、水分等の環境条件に対する耐久性には問題がないことがわかった。その後、回路2は平成17年1月に急激に抵抗値が $1.0 \times 10^4 \Omega$ を超過するまで増大し、通電不可能な状態となった。目視検査より、回路2のひび割れ誘発目地部において、ひび割れによる導電塗料の断線を発見した。この部分のひび割れ幅はモルタルパッド施工以降に 0.4mm 程度増加していた。このことは、本システムによってひび割れを検知できたことを意味している。



写真2 導電塗料施工状況

今回の結果から、実トンネル内の環境において長期計測を行うことにより、導電塗料が耐久性を有することを実証でき、ひび割れの進展を検知できたといえる。また、ひび割れ誘発目地以外のひび割れには顕著な進展性はないことが判断できた。以上から、本システムは実トンネルにおいて実用上問題がないことがわかった。

6. 結論

導電塗料を用いたひび割れ検知システムは、検知性能試験、各種耐久試験、現場計測によって、コンクリート表面に生じたひび割れを簡易に捉えることができ、十分に有用であることがわかった。今後は、施工・計測事例の増加、ひび割れ検知精度の向上、塗布方法を向上、最適な塗布パターン検討などを行う予定である。

【参考文献】

- 1) 導電塗料等を用いたひび割れ検知の研究, 土木学会第60回年次学術講演会, 6-287, 平成17年9月
- 2) 日本コンクリート工学協会編:コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003-, pp.61-74, 2003.6.
- 3) 鉄道総合技術研究所編:変状トンネル対策工設計マニュアル, p.12, 1998.2.

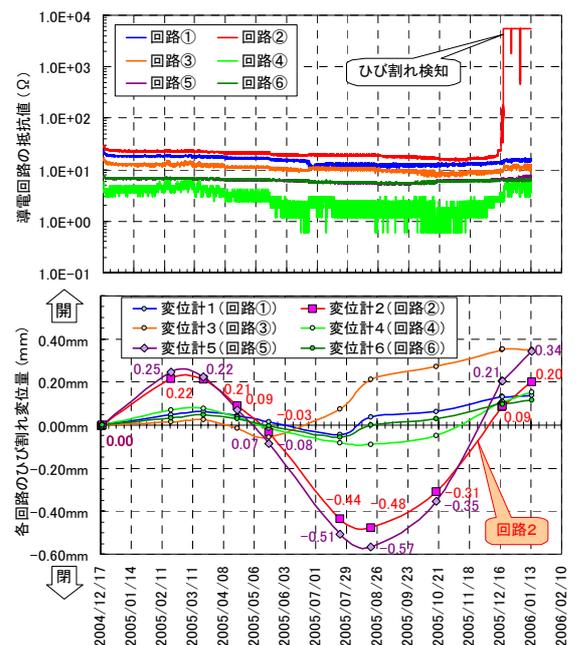


図5 各回路抵抗値とひび割れ変位量の経時変化