

PC 桁のひび割れを検知する導電性回路の検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○永坂 亮介 正会員 仁平 達也 正会員 岡本 大
藤倉化成(株) 非会員 相澤 豪

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下、PC) 桁は一般的に供用時のひび割れを許容しないが、施工時のグラウト充填不良等が生じた場合は、腐食による PC 鋼材の破断や劣化が原因で、曲げひび割れ耐力が低下し、桁下面に曲げひび割れが発生することが懸念される。この曲げひび割れは、PC 桁の健全度を把握する上で重要な変状であると考え、図-1 に示す、列車通過時に、瞬間的に発生するため目視による把握が困難である。これまで、著者らはコンクリート表面に、導電性を有する塗料(以下、導電塗料) により回路を構成し、破断時の通電の有無から、ひび割れを検知するモニタリングシステムについて検討してきた。

本稿では、これまでの知見を踏まえて、PC 桁下面に発生する曲げひび割れを検知する導電性回路の有効性を確認するため、導電塗料の種類等をパラメータとした一軸引張試験を行い、ひび割れ検知精度について検討した。

2. PC 桁に構築する導電性回路の概要

これまでに開発した導電性回路は、図-2 に示すように、エポキシ樹脂を主原料とした下塗り材、銀を含有する導電性を有する中塗り材、および耐紫外線の向上を目的とした、アクリル樹脂を主原料とした上塗り材の3層構造のラインで構築するものである。なお、PC 桁に発生する曲げひび割れは、グラウト充填不良箇所が不明であることや、PC 鋼材の破断箇所からある程度離れると有効プレストレスが回復すること等から、発生位置が不明である。一方、PC 桁の変状箇所への対策として、部分補強を施す場合は、曲げひび割れの発生位置を特定する必要がある。

これらの観点から、PC 桁については、図-3 に示す、異なる検知性能を有する塗料等を組み合わせることで、ひび割れ範囲の特定が可能な導電性回路を構築することとした。具体的には、ひび割れで容易に破断する範囲(以下、検知部)と、容易に破断しない範囲(以下、非検知部)を設け、コの字型の導電性回路を並列配置することで、各回路に応じた検知範囲を設定し、ひび割れが発生範囲を特定することを想定した。

3. 精度確認試験

3.1 試験概要

これまで、検知部の塗料としては、鉄道構造物の耐久性に関するひび割れ幅の制限値が 0.3mm 程度であることを踏まえ、0.2~0.3mm 程度のひび割れ幅を検知可能な塗料 A²⁾を開発している。非検知部の塗料は、ひび割れ位置を特定するため、検知部よりも大きなひび割れ幅を検知する性能を有する必要がある。そこで、塗料 A に比べ、塗料のガラス転移温度を低下させ、伸び性能(靱性)を向上させた、主原料をポリエステル樹脂とする塗料 B と、ウレタン樹脂とする塗料 C、および施工性や塗料との付着性等の観点から、ウレタンテープに塗料 C を塗布した、塗料 C+テープについて、一軸引張試験により検知ひび割れ幅を測定した。表-1 に



図-1 列車通過時に PC 桁に生じる曲げひび割れ

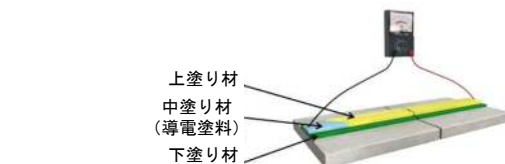


図-2 導電塗料を用いたひび割れ検知手法の概念図

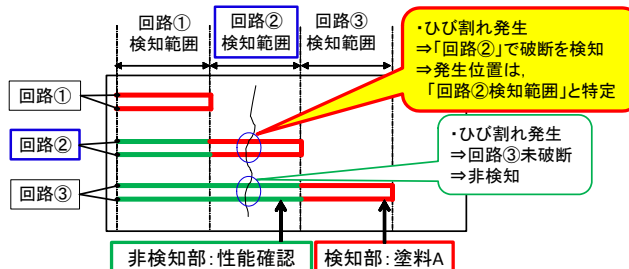
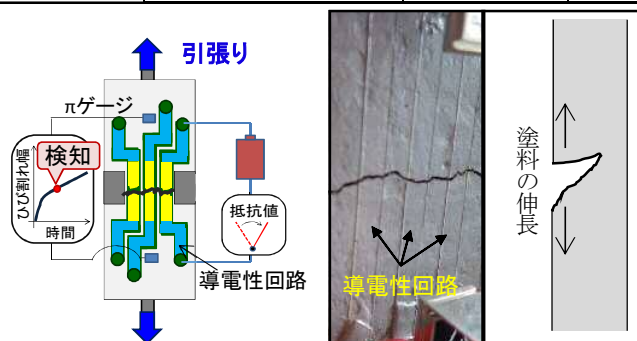


図-3 検知部と非検知部の塗布パターン(桁下面)

表-1 導電塗料の性質および計測数

中塗り材 (導電塗料)	材質	ガラス転移 温度(℃)	計測 数
塗料 A	銀含有	30~40	30
塗料 B	ポリエステル樹脂	1~10	45
塗料 C	銀含有ウレタン樹脂	-20~-10	45
塗料 C +テープ	ウレタン樹脂テープ	—	27



(a) 概念図

(b) 導電性回路の破断状況

図-4 精度確認試験の概要

キーワード 導電塗料, ひび割れ検知, モニタリング, プレストレストコンクリート桁

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鋼・複合構造 Tel : 043-573-7280

検討に用いた導電性材料および計測数を示す。図-4に精度確認試験の概要を示す。試験体は100×100×300mmの鉄筋コンクリート(圧縮強度:40N/mm²程度(28日強度),鉄筋(D16またはD19(SD345))である。導電塗料の塗布幅は5mmとし、塗布方法はスプレーガンによる吹付けとした。図-4(a)に示すように、試験体1体あたり3面に対して検知ひび割れ幅を測定できるよう π ゲージを設置し、1面に3ラインの導電性回路(合計9ライン/試験体)を構築した。本試験において、検知ひび割れ幅は、ひび割れにより導電塗料が通電しなくなった時点での π ゲージの値とした。

3.2 試験結果および考察

性能評価においては、ブリッジ現象²⁾等で検知不可となったデータは除外した。図-5に検知ひび割れ幅の度数分布を示す。図の曲線は度数の最大値がピークとなるよう正規分布を補正したものである。図より、検知ひび割れ幅は、概ね平均値を中心とした対称の分布であることから、正規分布を仮定して以下に検討した。

塗料B、塗料Cの検知ひび割れ幅の平均値は、塗料Aが0.212mmに対して、0.591mm、0.692mmとなった。標準偏差は、塗料Aが0.104mmに対して、0.360mm、0.426mmとなった。塗料Bと塗料Cともに、検知ひび割れ幅の平均値は増加したが、標準偏差が増加した。この原因の一つとして、塗料BとCは靱性が向上したため、図-4(b)に示すように、コンクリート表面のひび割れに対して、ある程度伸長しながら破断したことが考えられる。塗料C+テープは、平均値が2.130mm、標準偏差が0.865mmとなり、最も検知ひび割れ幅が大きくなった。図-6に示すように、塗布したテープ自体が伸長したことより、塗料のみの局所的な塗料が伸長する場合と異なり、塗料の靱性がより発揮されたものと考えられる。

図-7に検知ひび割れ幅の正規分布を示す。 -1σ (σ :標準偏差)を考慮した場合、塗料Bは0.231mm、塗料Cは0.266mmとなり、塗料Aの $+1\sigma=0.316$ mmの値より小さくなる。そのため、導電性回路に、PC桁で想定する、0.3mm程度のひび割れが発生した場合、非検知部が破断する可能性がある。その発生確率(斜線部)は、塗料B、塗料Cともに16%程度と推定された。一方、塗料C+テープは -2σ を考慮しても0.4mm程度となり、その発生確率は、2%程度と推定された。なお、0.4mmは塗料Aの $+2\sigma$ 程度であるため、図-3を想定するPC桁下面に発生するひび割れに対しても、検知部が破断し、非検知部は未破断となり有効に機能すると考えられる。

5. おわりに

(1) これまでに開発した塗料Aに比べ、伸び性能を向上させた塗料Bおよび塗料Cは、検知ひび割れ幅の平均値は増加したが、標準偏差が増加した。また、0.3mm以下のひび割れを検知する確率は16%程度であることが推定された。

(2) ウレタンテープに塗料Cを塗布した導電性回路は、0.3mm以下のひび割れを検知する確率が2%程度であると推定され、PC桁のひび割れを検知する導電性回路における、非検知部に適用可能であることを確認した。

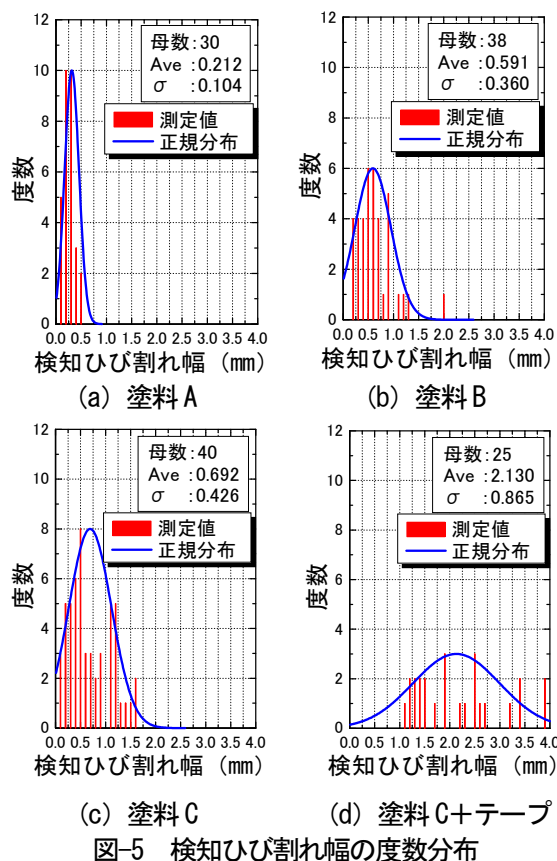


図-5 検知ひび割れ幅の度数分布

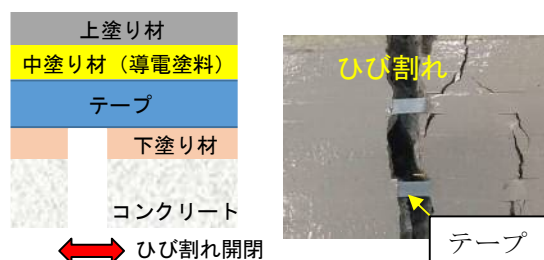


図-6 ウレタンテープの伸縮性能

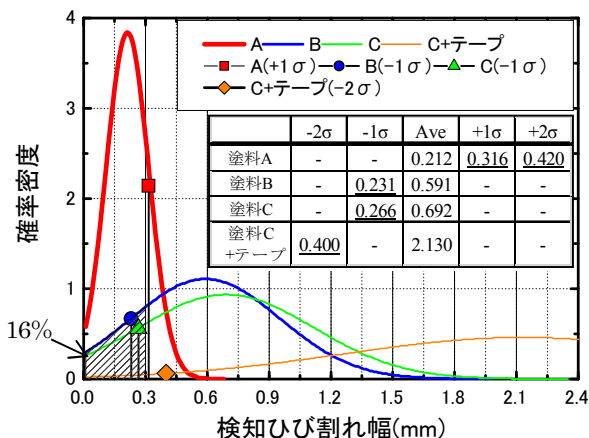


図-7 検知ひび割れ幅の正規分布