

施工条件がPC 桁曲げひび割れ検知システムの回路抵抗値に及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○仁平 達也 土橋 亮太 井上 太郎 岡本 大

1. はじめに PC 桁において、腐食による PC 鋼材の破断等により、曲げひび割れ耐力が低下し、桁下面に列車通過時に瞬間的に曲げひび割れが発生することが懸念される。PC 桁の性能を評価する重要な変状かつ、検知が難しいこの変状を検知するために、著者らは、導電性塗料を用いた電気回路(ライン)を構築し、図1のひび割れに伴う導電塗料の破断を検知する原理による、図2に示すモニタリングシステムを提案し、現在耐久性試験を実施している<sup>2,3)</sup>。一般的には20℃程度の施工を想定するが、冬季はこれを下回る場合が想定される。本稿では、冬季の施工を想定した低温時の試験を実施し、回路抵抗値と経時変化に関する検討を行った。

2. 検討項目 図3に示すように、セメントボード表面に全長1mのラインを構築し、冬季施工と標準施工(20℃)を想定した試験を実施(東京都国分寺市1~2月)した。既往の施工方法<sup>2,3)</sup>と同様に、下塗り材硬化後に塗膜厚さ30μm程度の中塗り材をスプレー塗布し、硬化後(標準硬化時間:夏4時間,冬7時間)に、上塗り材を塗布した。経過時間に伴う回路抵抗値の変化を測定した。中塗り材塗布時の気温は9.6℃であった。

表1に検討パラメータを示す。セメントボードは、図4に示すように、外気温の平均値が12.9度(最低気温7.5度)の環境下、および20℃恒温環境下で供した。中塗り材塗布後から上塗り材塗布までの時間は16(冬季標準硬化時間の倍以上、実施工においては夕方塗布し翌朝確認を想定)、24、48、96、144時間とした、また、中塗り材の希釈剤を、施工実績のある酢酸ブチル(B)と、より低温時に硬化しやすいと考えられる酢酸エチルと酢酸ブチルの1:1の混合液(E&B)とし、施工実績から主剤:希釈剤を4:1とした。各パラメータで3ライン構築を基本としたが、抵抗値が安定しない、明らかに抵抗値が高い等、施工不良と判断したラインは除外した。

図5に検討項目を示す。検討①では、標準的な抵抗値を把握するため、中塗り材塗布後と上塗り材塗布後に抵抗値が安定した時点の値を検討した。検討②では、中塗り材によるライン構築が可能な経過時間を検討した。検討③では、上塗り材塗布が中塗り材を侵し急激に抵抗値が上昇する場合があることから、上塗り材塗布後の抵抗値の上昇程度を検討した。また、実施工では、ひび割れを模擬し強制的にラインを切断し抵抗値の上昇程度を確認する<sup>4)</sup>ことから、検討④ではこれが実施可能な経過時間を検討した。

表1 検討パラメータ

気温	中塗り材塗布後から上塗り材塗布までの時間	中塗り材の希釈剤(主剤:希釈剤=4:1)
20℃(恒温槽内曝露), 外気温(図4)	16, 24, 48, 96, 144 (h)	酢酸ブチル(B), 酢酸ブチルと酢酸エチルの混合液(B&E)

※各パラメータで3ラインを基本、ただし施工不良の場合に除外、30分間隔での計測

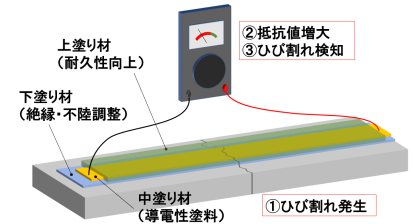


図1 ひび割れ検知の原理

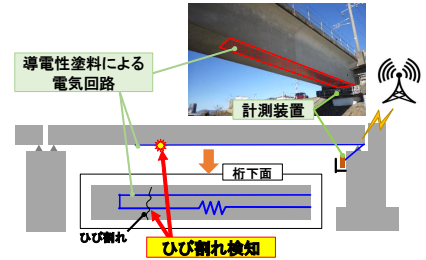


図2 PC 桁のモニタリングシステム

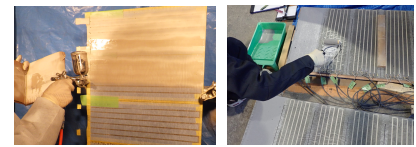


図3 施工状況

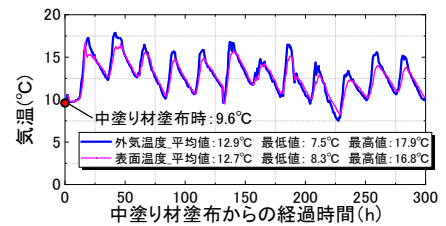


図4 気温

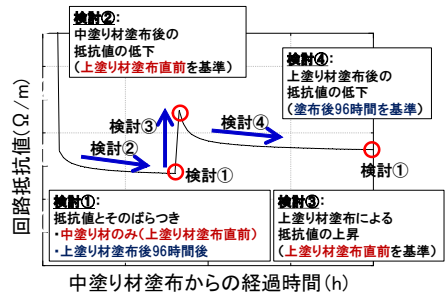


図5 検討項目

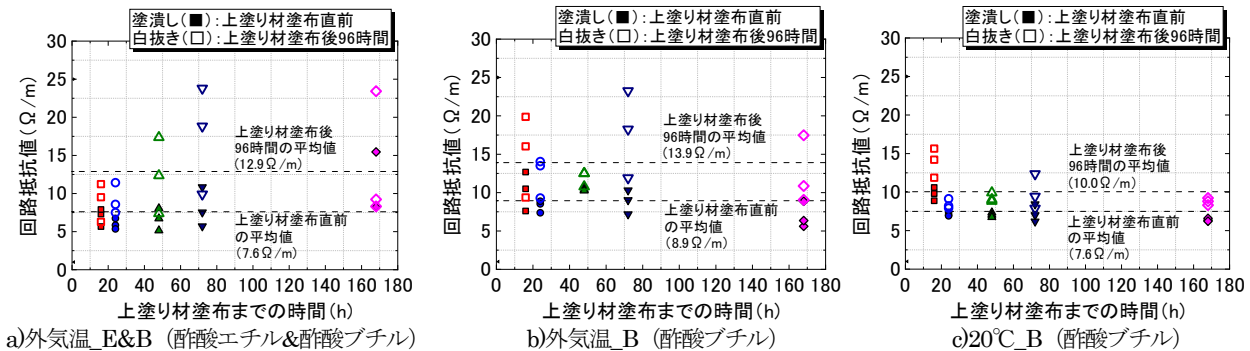


図6 上塗り材塗布直前と上塗り材塗布後96時間の抵抗値(図5の検討①)

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: 042-573-7280

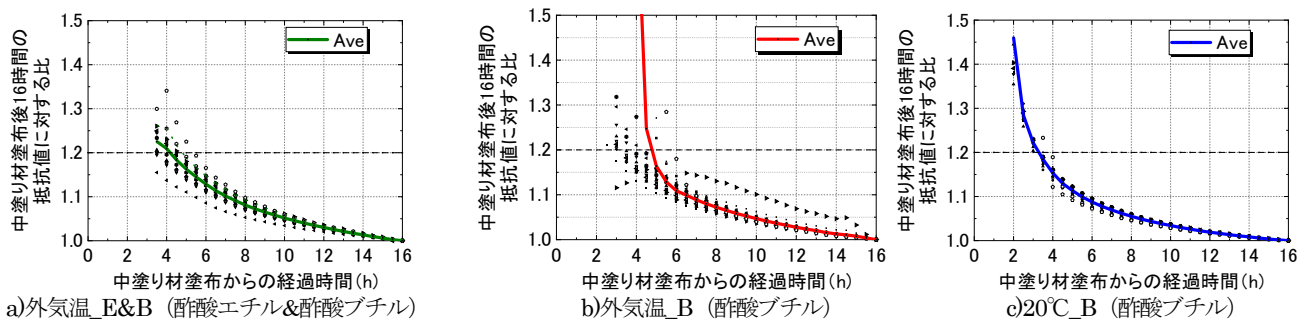


図7 中塗り材塗布後16時間の抵抗値を基準とした中塗り材塗布からの経過時間の抵抗値の推移 (図5の検討②)

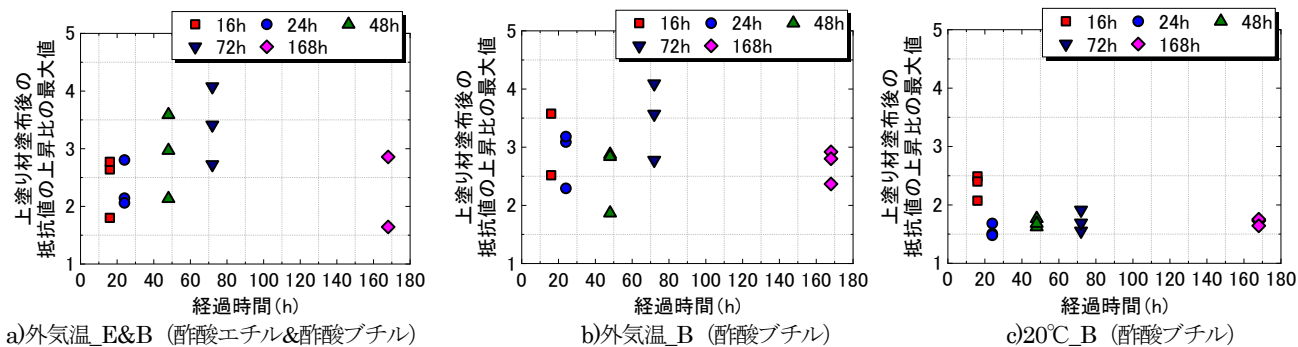


図8 上塗り材塗布後の抵抗値上昇比の最大値 (図5の検討③)

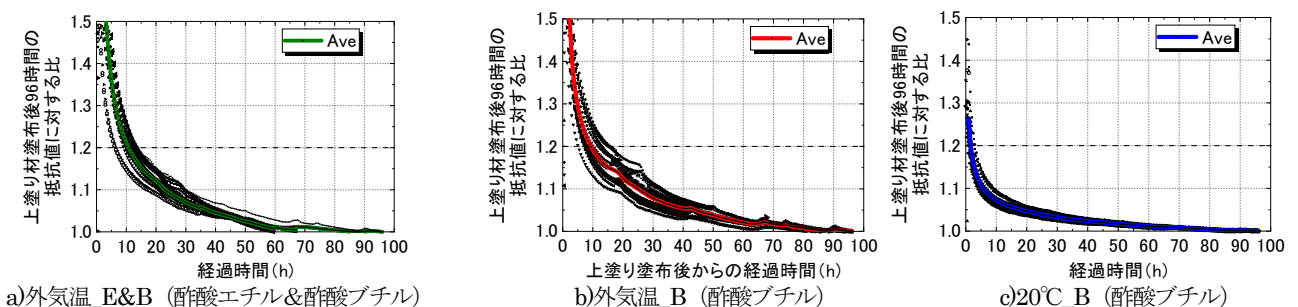


図9 上塗り材塗布からの経過時間と上塗り材塗布後96時間の抵抗値を基準とした抵抗値の比率 (図5の検討④)

3. 検討結果および考察 図6に検討①の結果を示す。図のa)~c)において、中塗り材塗布後16時間の抵抗値は $10\Omega/m$ 程度、最大 $15\Omega/m$ 以下となった。十分に値が安定した上塗り材塗布後96時間の抵抗値は $15\Omega/m$ 程度、最大 $25\Omega/m$ 以下となった。各図より、施工上問題となるような抵抗値および差異はなかった。実施工においては、これらの値を基準としてライン構築の可否を判断できると考える。なお、抵抗値のばらつきの要因として、セメントボードの表面の微細な凹凸や気泡痕等に伴う塗膜厚さのばらつきの影響、およびボード表面の付着物が塗料硬化後にはく離したことによる塗布不良箇所の発生の影響等が考えられる。図7に検討②の結果を示す。塗布後16時間を基準値とすると、未硬化による測定不能な状態がなく抵抗値が安定し、基準値の1.2倍以下となるのが、標準硬化時間と概ね同様である塗布後4~5時間となった。図8に検討③の結果を示す。希釈液によらず上塗り材塗布後30分~1時間で抵抗値が最大4倍程度となった。抵抗値の上昇がこれよりも大きく異なる場合には、中塗り材が上塗り材に侵された影響が大きく、ライン構築に支障が生じた可能性を推定することができる。図9に検討④の結果を示す。十分に値が安定した上塗り材塗布後96時間を基準値とすると、この基準値の1.2倍以下となるのがa)とb)で10時間程度、c)は3時間程度となった。

各図において、ばらつきの影響もみられるものの、希釈剤の比較において、同一外気温では、図b)の酢酸ブチル(B)よりも図a)の酢酸エチルと酢酸ブチルの混合液(E&B)の各値が概ね小さくなった。施工温度の比較において、同一希釈液では、低温時の図b)よりも $20^\circ\text{C}$ の図c)の各値が概ね小さくなった。

4. おわりに 導電塗料による安定的なライン構築を検討するために、気温や希釈剤をパラメータとした要素実験を実施し、ラインの抵抗値や上塗り材が抵抗値に及ぼす影響等を把握した。得られた結果をPC桁の曲げひび割れ検知モニタリングシステムにおける実施工の判断材料として活用する予定である。

謝辞：本検討を行うにあたり藤倉化成株式会社の相澤豪氏に協力頂きました、この場をお借りし感謝致します。

参考文献：1)橋直毅，仲山貴司，千葉卓也，西村司：導電材料を用いたひびわれ検知システムの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.1639-1644，2007。2)永坂亮介，仁平達也，岡本大，舟川勲，澁谷旬要：導電塗料を用いた鉄道PC桁のひび割れ検知手法に関する検討，第17回アップグレードシンポジウム，pp.1092-1097，2017。3)永坂亮介，仁平達也，岡本大：導電塗料を用いたPC桁曲げひび割れ検知システム，鉄道総研報告，Vol.32，No.2，pp.5-10，2018。4)前田友章，仁平達也：PC桁における導電塗料モニタリングの適用性，土木学会年次講演会CS9-05，2019。