

第19回技術論文報告 IT賞受賞論文

光ファイバセンシングを活用した コンクリートの冬期養生管理

広島県土木施工管理技士会
極東興和株式会社

技術企画部 中森 武郎[○]
技術部工事課 阪本 誠

1. はじめに

近年、コンピュータの高性能化やインターネットインフラの普及にともない、土木インフラの施工管理や品質管理にICT (Information and Communication Technology) 技術が導入され始めており、橋梁施工においても身近な存在になりつつある。これらのICT技術の多くは、広範囲で複数の管理を効率化させるとともに、管理状況の「見える化」が可能で、リアルタイムに管理対象の変状を把握することで管理の確実性を向上させることが期待されている。

本稿では、ICT技術の一手法である「光ファイバセンシング (以下、光ファイバ)」の技術を活用したコンクリートの養生管理について報告する。

工事概要

- (1)工 事 名：小月バイパス王喜6号橋
PC上部工事
- (2)発 注 者：国土交通省中国地方整備局
山口河川国道事務所
- (3)工事場所：山口県下関市小月地区
- (4)工 期：平成25年7月11日～
平成26年3月31日
- (5)工事内容 (図-1)
構造形式：プレテンション方式
4径間連結中空床版橋
橋長：L = 68.600m
幅員：B = 11.500 ～ 14.250m

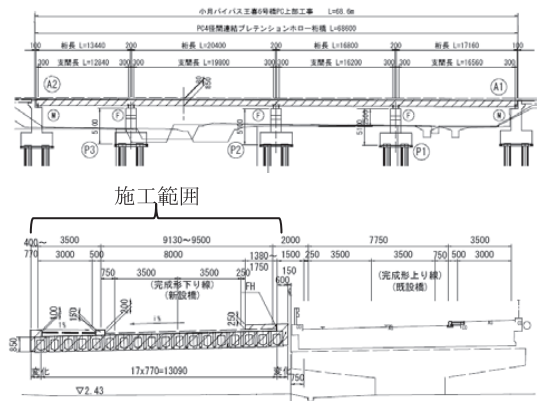


図-1 橋梁一般図

光ファイバの概要

光ファイバは、石英ガラスを主成分とした光を通す細径のケーブルで、一般的には高速・大容量通信技術に利用されることが多いが、これに近赤外線光領域のパルス光を入射し、反射波形を分析することで、光ファイバ自体を温度検知媒体とすることができ、光ファイバの長さ方向に沿った温度分布測定が可能となる。

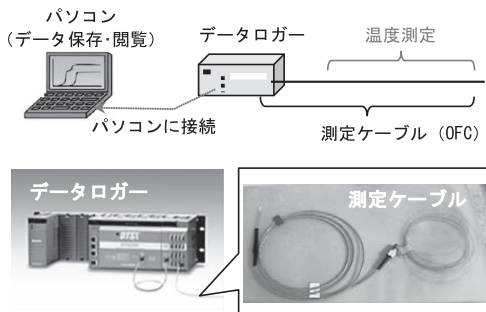
一般的に利用される熱起電力を利用した熱電対に比べて、光ファイバは多点・分布温度測定において威力を発揮するとともに、軽量、細径、電磁ノイズの影響を受けない・発生させない等の特徴が活かせる用途に有効と言われている。

(1)光ファイバ温度測定機の概要

今回使用した光ファイバ温度測定機は、データロガー「DTSX200」にφ0.25mmの

光ファイバ測定ケーブル（以下、OFC）を接続した構成であり（図－2）、以下の特性を有している。

- ・ 測定範囲はOFCの長さに依存するが、1 m ～ 6 kmと広範囲に設定でき、10cmから1 mの分解能で温度分布を測定できる。
- ・ 温度測定の許容範囲はOFCの熔融温度等に依存し、汎用的なOFCを用いた場合 $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ となる。一方、データロガーの性能としては $-200 \sim 800^{\circ}\text{C}$ までの温度測定が可能であり、高耐久なOFCを使用することで温度測定範囲を上げることが可能である。
- ・ 測定器が判別できる最小値である温度分解能は、1 km以下で 0.07°C 、6 km以下で 0.5°C となる。



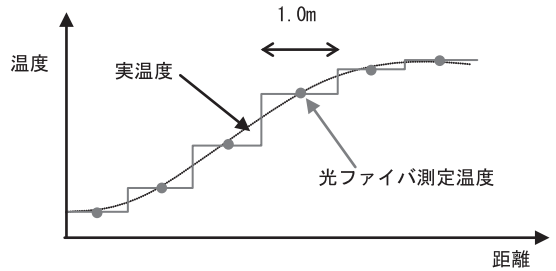
図－2 測定機材構成

(2)光ファイバによる温度分布測定の特性

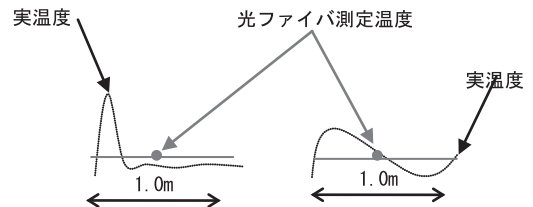
今回使用した光ファイバによる多点・温度分布測定は、熱電対等で測定する接点温度を多数測定する技術ではなく、温度分布を多数区間測定する技術である。

この温度分布とは、測定位置を中心としたOFC上の1 m区間における温度を平均して測定・表示するものであり、1 mの測定区間以下の範囲における温度の偏りや局所的な温度変化を詳細に捉えることは困難である（図－3）。

そのため光ファイバ技術は、対象物の全体的な温度変化や温度分布を把握するのに適した技術である。



a) 1m間隔の温度分布測定イメージ



実温度の温度分布状況を光ファイバでは把握できない（同様の平均温度で検知）。

b) 実温度と1 m平均温度

図－3 温度分布イメージ

2. 現場における問題点

本工事は、工場製品のプレキャスト桁を現地に搬入、架設した後に橋面施工を行う施工手順を要し、全体工程の後半に橋面施工（地覆コンクリート打設）を行うこととなる。そのため、工期内に上部工施工を完了するために地覆コンクリートを冬期である2月初旬に打設する必要があった。小月地区における2月の日平均気温は 4.6°C （最低 1.2°C ）であり、確実な保温養生が重要となる。

保温養生は、地覆全面をブルーシートで覆う放熱対策と外気温の低下が著しい夜間にジェットハーネスを用いた追加給熱を実施することとした（図－4）。しかし、バイパス拡幅工事である本橋の脇には供用中の道路が併走しており（図－5）、一般車が高速で走行する際の風圧によって保温用ブルーシートのめくれが懸念され、養生範囲全域（延長68m）で確実な保温養生が継続実施されているか監視・管理する必要があった。



図-4 保温養生状況

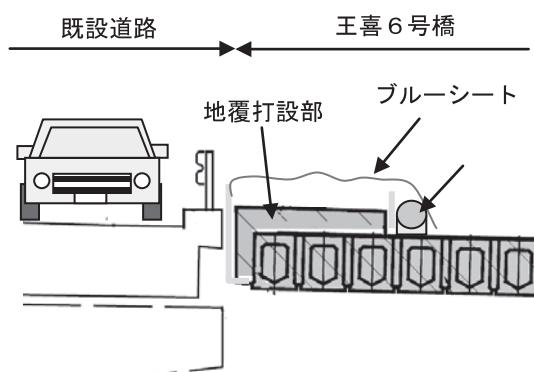


図-5 養生位置図

3. 対応策と適用結果

養生中、コンクリートの凍結や強度発現の不良を防止するため、本現場での保温養生対策により、養生期間中、地覆全域（延長69m）で養生温度 5°C 以上を確実に確保していること監視することとし、養生温度の監視に光ファイバ技術を活用することとした。なお、OFCは図-6に示すように、地覆天端付近の型枠側面に設置してブルーシート内の養生温度を計測した。

これにより、地覆全域の温度変化が把握でき、保温養生対策の効果や養生対策に不備（ブルーシートの損傷や給熱温度の不足）がある箇所を容易に確認することができる。

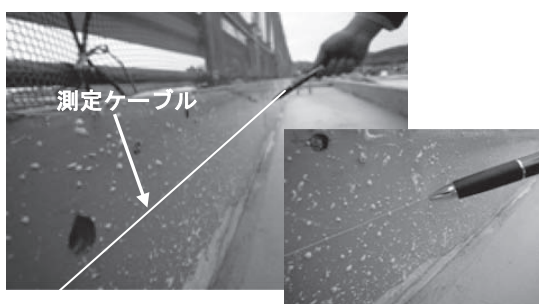


図-6 OFC設置状況

(1)養生温度測定結果

養生温度の監視（計測）は、コンクリート打設後の養生開始時（19:00）から材齢5日まで行い、ジェットハーネスによる追加給熱は、現場作業終了（19:00）から翌日の早朝（9:00）程度までの外気温が低下する夜間に毎日実施した。

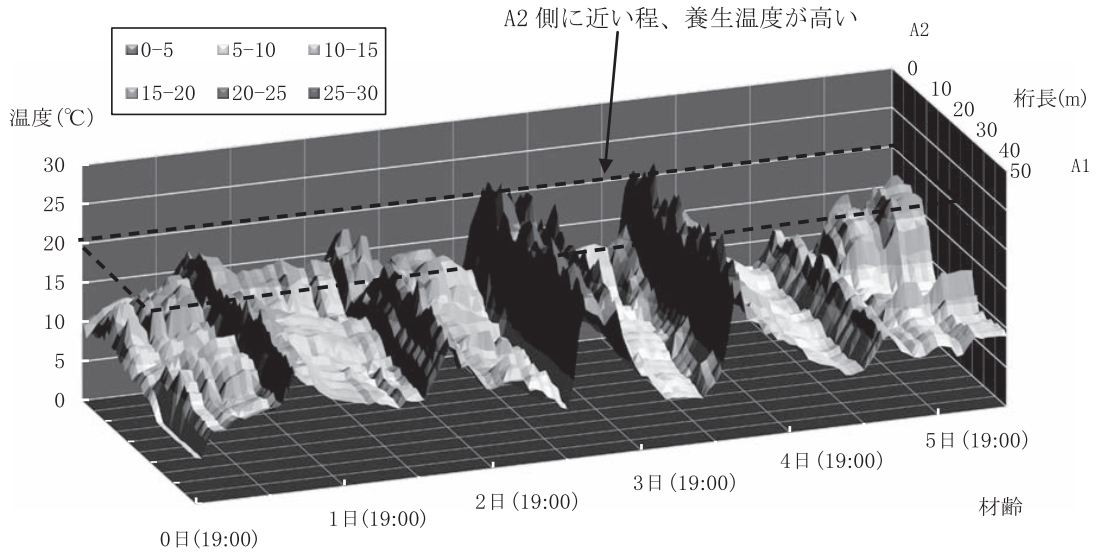
OFCによる養生温度の測定履歴は、測定範囲と時間、温度を3次元グラフで表現することができ（図-7）、全体の温度分布（温度履歴）をみることで、ジェットハーネスによる給熱をA2側から実施していることを把握することが可能であった。

また、養生温度が 5°C 以下となる青色の分布がグラフ内に存在しないことから、一目で保温養生対策が十分であったことを把握できた。

今回実施したOFCによる温度測定は、単に温度を測定する行為のほかに温度分布の「見える化」により保温養生の確実性と給熱対策（温度上昇部）の履行確認にも有効であったと思われる。

表-1 養生温度の抜粋

項目	養生温度 ($^{\circ}\text{C}$)	日時
最低温度	5.3	材齢3日 AM6:00
最高温度	25.2	材齢3日 AM10:00
平均温度	12.2	



図－7 養生温度管理結果

(2)OFCの設置について

養生温度を測定するため、コンクリート打設直後に型枠側面にOFCを粘着テープで貼り付けたが、石英ガラスで構成されたOFCは衝撃に脆く、特に低温環境で顕著となるため、ケーブル設置作業時の衝撃により断線が発生し、設置に多くの時間を要した。

今後は、OFCを事前に暖めることや、衝撃を受けやすい現場でのOFC設置・接続作業を部分的でも削減できるように、施工手順を検討する必要があると感じた。

また、精密なデータロガーを使用するため、設置場所（粉塵、防雨対策など）や電源供給に留意が必要で、使用にあたっては綿密な計画が必要である（図－8）。



データロガー保管箱内部

図－8 光ファイバ現場計測例

4. おわりに

今回実施した、冬期養生管理は光ファイバの特性を活用した施工管理の一例と考えており、この特性を活かした用途拡大を現在模索しているところである。

今後も、光ファイバ技術をはじめ、その他ICT技術を活用し、施工における品質向上や省力化に継続して取り組んでいきたいと考えている。

このような取り組みを通じて、関係各位には多大なご支援・ご協力を賜っており、ここに記して感謝の意を表すとともに、本報告がコンクリート構造物の品質向上の一助になれば幸いである。