

長期計測における分布型光ファイバ計測機交換時の計測データ連携方法

鹿島建設（株） 正会員 ○青鹿弘行 今井道男 吉村雄一 藤原航太郎 岡本圭司

1. 目的

土木構造物の経年変状を監視する目的で分布型光ファイバ計測を長期的に行う場合、土木構造物の寿命に対して計測機のそれは短いため、計測期間中に計測機の交換が複数回発生することが予測される。計測機の交換が発生するとその前後の計測データは多くの場合で“計測機固有のゼロ点位置”と“測点間隔”が一致せず、比較解析ができないことがある。本稿では、この問題に対処するために考案した計測データ連携方法を報告する。

2. 分布型光ファイバ計測データの連携

2.1 仕様の異なる分布型光ファイバ計測機を用いた際の問題点

図-1にブリルアン散乱光を用いた分布型光ファイバ計測の中心周波数の例を示す。中心周波数はひずみに依存することが知られている。仕様の異なる計測機に交換した場合、図-1に示すデータ A、Bのように、同じ対象物でひずみ変化が無いにもかかわらず、計測データが一致していないことがわかる。これは、計測機内蔵の校正用光ファイバケーブルの長さの違いによる計測機固有のゼロ点位置の不一致、および測点間隔の不一致の累積によるものである。測点間隔が一致しない理由を以下に示す。

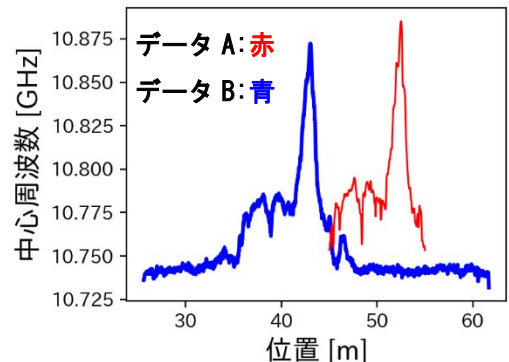


図-1 比較解析できない計測データ

分布型光ファイバ計測機が出力する計測データの測点間隔は、計測機の計測間隔、真空中の光の速度、光ファイバの屈折率によって以下の式(1)で決まる。

$$\text{【測点間隔 (m)】} = \text{【計測間隔 (s)】} \times \text{【光の速度 (m/s)】} \times \text{【光ファイバの屈折率】} \quad (1)$$

計測間隔は計測機が内蔵する時計の性能で決まり、高性能な時計ほど小さい誤差で細かく時間を刻むことができる。そのため計測機的设计次第で測点間隔に変動が発生する。また光の速度は設定された桁数に切り捨てられている場合がある。この桁数によって測点間隔に最大±3.5%程度の変動が発生する。光ファイバの屈折率については、ケーブルを交換しない限り変化することはないため測点間隔に影響を与えることはない。

以上により、計測データの連携には、計測機固有のゼロ点位置の補正と測点間隔の補正が必要になる。

2.2 計測データ連携方法の概要

ブリルアン散乱光を用いた分布型光ファイバ計測データは、位置と中心周波数の2次元系列データである。AとBのデータを比較解析するために、計測データを連携させる方法の概要を図-2に示す。

まず、データAを基準として、データBを位置方向に伸縮させたり、スライドさせたりする補正を行う(図-2内①②)。この時、伸縮率を α 、スライド量を β とする。 α と β の補正だけでもデータの概形は一致するが、データAとBは離散的な測点データの集まりであるため、各測点の位置が一致しなければ比較解析可能な状態にはならない。そこで“データ補間”によって、データAの位置でデータBの中心周波数を表現したデータB'を計算する必要がある(図-2内③)。最後に、データB'とデータAの概形を一致させる。そのために、2つのデータがどれだけ似ているかを定量的に表す“類似度”を計算(図-2内④)しながら、 α と β を少しずつ更新していき、最も類似度を高くする α と β を決定する(図-2内⑤)。

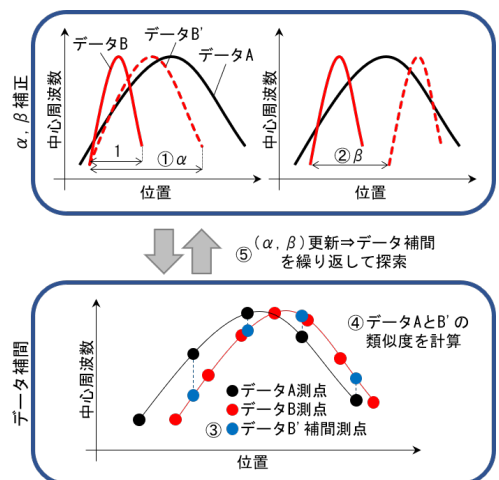


図-2 計測データ連携方法の概念

キーワード 光ファイバセンサ, 長期計測, 維持管理

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 検証

3.1 検証条件

“データ補間”と“類似度”の計算方法を変えながら、計測データ連携方法の検証を行った。データ補間法には、線形補間、3次スプライン補間、秋間補間¹⁾の3種を試行し、類似度計算法では Pearson の積率相関係数（以下、Pearson）、動的時間伸縮法（以下、DTW）、ユークリッド距離（以下、EUC）の3種を試行した。また、類似度計算時限定の前処理として中心周波数の最小値を0、最大値を1とするスケール処理を行った。さらに、比較を単純にするため Pearson は1との差分を表示した。このため、類似度は3種とも0に近いほど高い類似を示す。計測データ連携の成否は Pearson を基準とし、類似度が0.01未満（99%を越える正の相関）²⁾で成功とした。

3.2 検証結果

Pearson, DTW, EUC をそれぞれ計算しながら、線形補間、3次スプライン補間、秋間補間で計測データ連携を行った結果を図-3～図-5に示す。

検証の結果、類似度を Pearson または EUC で計算した場合、線形補間、3次スプライン補間、秋間補間の全てで、類似度が0.01未満となり連携の成功を確認できた。また、わずかな差ではあるが、データ補間法の中では線形補間が最も高い類似度を示した。Pearson と EUC の間には類似度に差があるが、同じデータ補間法内では α と β が同値であるため、Pearson と EUC の間に優劣は無いと判断した。

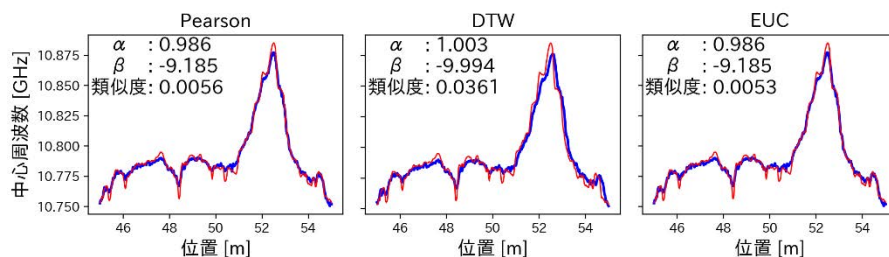


図-3 線形補間による連携結果(データ A:赤, データ B:青)

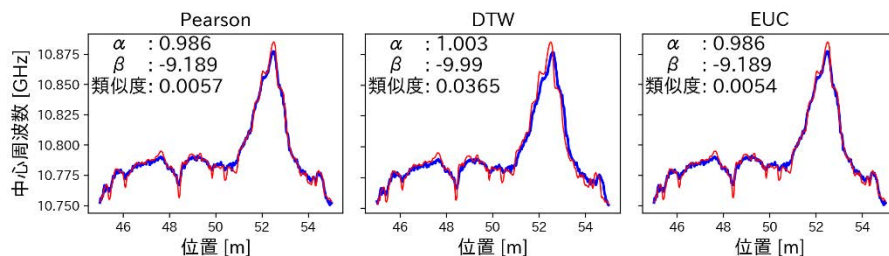


図-4 3次スプライン補間による連携結果(データ A:赤, データ B:青)

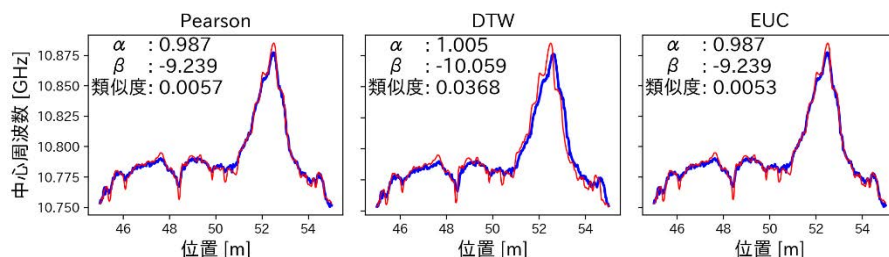


図-5 秋間補間による連携結果(データ A:赤, データ B:青)

4. 適用方法

ひずみ状態が大きく異なる場合には縦軸の相違が大きくなり、本方法内の“最適な α と β の決定 (図-2 内⑤)”が難しくなる点に留意が必要である。このため実際の計測機交換では、交換前後のひずみ状態が大きく変化しない短期間の内に最適な α と β を決定しておく必要がある。 α と β は計測機に紐づいた値であるため、一度設定してしまえば次回交換時まで有効であり、以降はひずみ状態に関わらず計測データ連携が可能であると考えられる。

5. 結論

仕様の異なる分布型光ファイバ計測機のデータを、比較解析可能な状態に連携する方法を提案し、データ補間法と類似度計算法の組合せでその効果を確認した。その結果、Pearson または EUC で類似度を計算し、線形補間によってデータ補間を行った場合、最も高い類似度で連携に成功することが確認できた。引き続き、これらの実適用に向けた検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 秋間浩 : A method of univariate interpolation that has the accuracy of a third-degree polynomial. ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 17, No. 3, September 1991, 341- 366.
- 2) 古澤忠義, 林田清華 : デブスゲージによるひずみ推定手法の検証, 近畿地方整備局研究発表会論文集, 調査・計画・設計部門 : No.11, 2013.