

第V部門 ウェーブレット一致度による位置情報を考慮した路面プロファイル計測精度の検証方法

北見工業大学工学部	正会員	○富山	和也
大林道路株式会社	正会員	山口	雄希
大林道路株式会社	正会員	森石	一志
北見工業大学工学部	学生会員	幸谷	宥毅
北見工業大学工学部	非会員	板垣	智哉

1. はじめに

近年、三次元データを活用した効率的な道路の維持管理に関する検討が活発化しており、計測後に任意の測線上で路面プロファイルを抽出可能なことや、位置座標との組み合わせにより経時変化を追跡できることは、舗装管理上の大きな利点となる。今後さらなる ICT 技術の普及に鑑みると、三次元計測により得られた路面プロファイルの評価は、舗装の施工および維持管理の効率化を図る上で欠かせないものと考えられる。一方、地上型レーザースキャナ (TLS) に代表されるように、広範囲の三次元計測データを得るためには、異なる地点で得られた点群の合成が必要であり、点群が重複する箇所において局所的にプロファイルの歪みが生じる可能性がある。そこで、本文では、位置および波長情報を同時に考慮し信号の類似性評価が可能なウェーブレット一致度 (*Wavelet Transform Agreement*, 以下, *WTA*)¹⁾に基づき、TLS で得た点群を例として、プロファイル計測の妥当性および信頼性を担保するための新たな検証方法について報告する。

2. *WTA*の算出方法

異なる2つのプロファイルの類似性を評価する手法として、波形の相互相関関数を応用した一致度 (*Profile Agreement*, 以下, *PA*) が提案されている²⁾。しかし、*PA*は、対象とするプロファイルについて、事前のフィルタ処理で決められた波長範囲内で評価区間全域に渡り類似性を把握するものであり、解析段階でプロファイルの位置情報が失われてしまう。一方、*WTA*は、位置および波長情報を同時に識別可能なウェーブレットコヒーレンス (*Wavelet Transform Coherence*, 以下, *WTC*)³⁾に基づきプロファイルの類似性を評価するものである。そのため、*WTA*を用いた解析では、基準装置に対する計測精度やプロファイルの経年変化を、局所的な位置および波長情報とともに把握することが可能である。

ここで、 $W_X(a, b)$ および $W_Y(a, b)$ を、それぞれ信号 x と y のスケール a および位置 b における連続ウェーブレット変換とすると、*WTC*は式(1)で表される³⁾。

$$WTC(a, b) = \frac{|S(W_{XY}(a, b))|^2}{S(|W_X(a, b)|^2) \cdot S(|W_Y(a, b)|^2)} \quad (1)$$

なお、 $W_{XY}(a, b)$ はウェーブレットクロススペクトルであり、 $W_X^*(a, b)W_Y(a, b)$ で求められ、*は複素共役、 S は平滑化演算子である。*WTC*は、2つの信号 x と y の類似性を無相関0から完全な相関1の間で表し、フーリエ変換に基づく手法と異なり、信号の定常性を仮定することなく、異なる信号の類似性について、位置および波長情報を同時に評価することが可能である。しかし、式(1)で表される類似性は、その定義上、各信号波形の相似性にのみ依存し、振幅の大小については考慮されない。そこで、スケール a における信号 x と y の振幅の標準偏差をそれぞれ σ_{xa} および σ_{ya} とし、式(2)で表される調整係数 F により*WTC*を正規化することで求められる値を*WTA*として定義する。スケール a および位置 b における*WTA*は式(3)で求められる。

$$F(a) = \min(\sigma_{xa}, \sigma_{ya}) / \max(\sigma_{xa}, \sigma_{ya}) \quad (2)$$

$$WTA(a, b) = F(a) \cdot WTC(a, b) \quad (3)$$

3. 点群データから得られたプロファイルの検証

(1) 検証試験の概要

本研究は、北見市内のオホーツク地域創生研究パーク（旧北見競馬場）を試験ヤードに実施した。試験ヤードで得られた点群データを図-1に示す。検証は、図-1に示す起点BPから終点EPまでの延長80m区間で実施し、TLSは、BP側からEP側に向かい20、40、60mの位置で盛替え点群の合成を行なった。本報告では、TLSとしてRIEGL社製のVZ-400iを、基準プロファイラとして事前に精度が確認された低速プロファイラを対象に検討した結果を述べる。



図-1 試験ヤードの点群データ

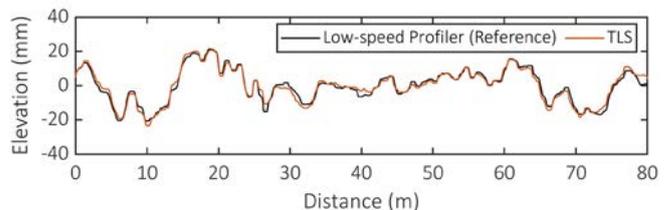


図-2 路面プロファイルの比較

(2) 路面プロファイルの検証結果

本検証は、プロファイルのサンプリング間隔を0.1mとし、波長0.5mから50mの路面ラフネスを対象に行なった。図-2に路面プロファイルの比較結果を示す。図より、局所的に高さ1mm程度の違いがみられるが、空間領域での波形の類似性が確認できる。

図-3に低速プロファイラとTLSのWTAを示す。なお、図中の矢印は、WTAが0.5以上の場合の位相差の向きを示す。例えば上向きの矢印は1/4サイクルの位相遅れを表す。また、薄い白で覆われた範囲は円錐状影響圏である。

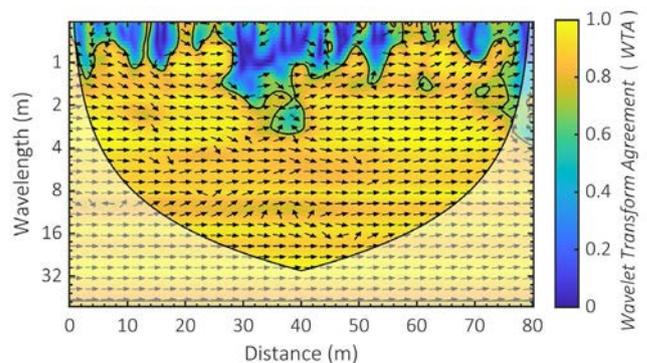


図-3 低速プロファイラとTLSのWTA

図-3より、波長1m以下では、WTAが0.5未満となる箇所が多くみられる。これは、基準とした低速プロファイラとの

わずかな測線のずれに起因するものであり、同一プロファイラで同一測線を繰り返し計測した場合の比較においても同様の傾向となることが確認されている。一方、波長1m以上では高いWTAが得られているが、距離40mおよび80m付近で波長3m前後の局所的なWTAの低下がみられる。当該箇所は、複数の箇所から計測された点群が集中する点ならびにTLS遠方であるため、点群合成時の角度のズレや点密度が低いことが影響しているものと考えられる。このように、WTAでは、位置および波長に着目し、プロファイルの計測精度を可視化することが可能である。

4. おわりに

本研究では、WTAを用い、路面プロファイルの計測精度を検証する方法について検討した。その結果、WTAにより、位置および波長ごとに局所的なプロファイルの類似性を把握することで、路面計測の改善につながる情報を得られることが明らかとなった。本研究成果は、近年機器の多様化が進む路面プロファイルの計測において、得られた結果の妥当性ならびに信頼性を担保し、より質の高い路面管理の実現に貢献するものと期待できる。

参考文献

- 1) 富山和也, 森石一志, 山口雄希, 西川啓一: ウェーブレットコヒーレンスによる三次元計測で得られるプロファイルデータ解析, 土木学会第75回年次学術講演会, V-526, 2020.
- 2) Karamihas, S.M. and Gillespie, T.D.: Development of Cross Correlation for Objective Comparison of Profiles, The University of Michigan Transportation Research Institute, 2002.
- 3) Grinsted, A, Moore, J.C., and Jevrejeva, S.: Application of the Cross Wavelet Transform and Wavelet Coherence to Geophysical Time Series, Nonlinear Processes in Geophysics, Vol. 11, Issue 5/6, pp. 561-566, 2004.