

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

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 森石 一志
 大林道路株式会社 非会員 山口 雄希
 iシステムリサーチ株式会社 正会員 西川 啓一

1. はじめに

近年、i-Constructionの推進を背景に、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、筆者らも、高性能な全地球航法衛星システム（GNSS）とともに、地上型レーザースキャナ（TLS）やモバイルマッピングシステム（MMS）、無人航空機（UAV）を用いた取り組みを行なっている。今後のさらなるICT技術の普及に鑑みると、三次元計測により得られたプロファイルの評価は、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。特に、任意の測線の情報を抽出可能なことや、高性能GNSSとの組み合わせで経時変化を容易に追跡できることは、三次元データを用いる代表的な利点である。本研究では、ウェーブレットコヒーレンス（以下、WTC: Wavelet Transform Coherence）¹⁾に基づくウェーブレット一致度（以下、WTA: Wavelet Transform Agreement）を提案し、各種三次元計測機器により得られたプロファイルの新たな解析方法について検討を行なった。なお、プロファイルのサンプリング間隔は全て0.1 mである。

2. WTC および WTA の概要

WTCは、式(1)で表される2つの信号 x と y の相関を表す尺度であり、無相関0から完全な相関1の値をとる¹⁾。

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

ここで、 $W_X(a, b)$ および $W_Y(a, b)$ は、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を表し、 $W_{XY}(a, b)$ はウェーブレットクロススペクトルであり、 $W_X^*(a, b)W_Y(a, b)$ で求められる。なお、*は複素共役、 S は平滑化演算子である。WTCは、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。一方、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、スケールごとのWTCを正規化し求められた信号の類似性をWTAとする。

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

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

図-1に、反復性の評価として、同一時期に、同一測線上で、同一の低速プロファイラにより計測された2つのプロファイルのWTAを示す。図中、矢印は、WTAが0.5以上の場合の位相差を矢印の向きで示す。例えば上向き矢印は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。図より、同一装置による反復性であっても、距離100 mまでにみられるように、路面種別や測線のズレなどの影響から、一致度が低い領域が確認できる。このように、WTAを用いることで、位置情報と波長情報を考慮した上で、異なるプロファイルの一致度評価することが可能となる。なお、相互相関関数に基づく全体の一致度は0.998であった。

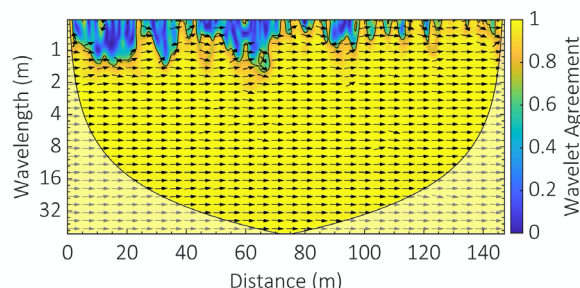


図-1 WTAによる反復性の評価例

3. 三次元計測により得られたプロファイルの検証

3.1. TLSによるラフネス計測

図-2は、機械センターで低速プロファイラとTLSを用いて得られた、ラフネスに対応する波長0.5～50 mを含むプロファイルの比較結果である。TLSによる計測は、高性能GNSSを組み合わせたターゲットレスによる方法²⁾で

キーワード 路面評価, 三次元計測, ウェーブレットコヒーレンス, UAV, TLS, MMS

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165 北見工業大学 工学部 社会環境系 TEL 0157-26-9496

実施し、縦断距離 25, 75, 125 m 付近に設置している。図より、波長 1 m 以下で一致度が低下する傾向は図-1 に示す反復性と同様の傾向であり、中波長領域では一致度が高く、全体では 0.963 であった。一方、プロファイル端部および中央部では波長 3 m 以下で一致度が低下する傾向となった。原因としては、点群レジストレーション時の角度のズレや、いずれの箇所も TLS 遠方もしくは直下であり点群密度が低いためと考えられ、改善に向けた取り組みを行っているところである。

3.2. MMS によるプロファイル変動解析

図-3 は、機械センターにおいて MMS で得られた点群データから、1 m 離れた測線のプロファイルを抽出し、波長 0.5~50 m の範囲で比較した結果である。図より、縦断距離 60~80m において波長 8 m 前後の大きな変動が生じていることが確認できる。ここでは、2 測線のプロファイルと比較したが、異なる時期に計測された同一測線のプロファイルと比較することで路面の経時変化の把握も可能である。三次元計測は、位置情報と共に任意の測線の情報が得られるため、今後、WTA を用い、波長と路面変状の関係を明らかにすることで、施工管理や維持管理の高度化へ貢献するものと期待できる。

3.3. UAV の飛行高度の影響

図-4 は、高性能 GNSS を搭載した UAV によって、高度 20 m および 40 m から得られたプロファイルデータの比較結果である。なお、ここでは、高度の違いによる評価に焦点を当て、プロファイルデータへのフィルタ処理は行っていない。図より、飛行高度が変化した場合、波長 3 m 以下の範囲で影響を受けることが確認できる。これは、高度が上昇したことによる解像度が減少したためと考えられる。以上のことから、計測対象となる波長に合わせ飛行高度を変更させることで、UAV の効率的な運用につながるものと考えられ、今後、真値との比較も含め検証を行なっていく予定である。

4. おわりに

本研究では、WTA を提案し、異なる条件で得られたプロファイルの位置および波長を考慮した比較検証方法について、各種三次元計測機器から得られたプロファイルを用いた検討を行なった。本研究成果は、高精度位置情報とともに、異なる機器で得られた点群データの相互比較による利用用途拡大に寄与し、舗装管理の高度化につながるものと期待できる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 森石一志, 富山和也: ICT 舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 75, No.2, pp.I_77-I_85, 2019 年 12 月.

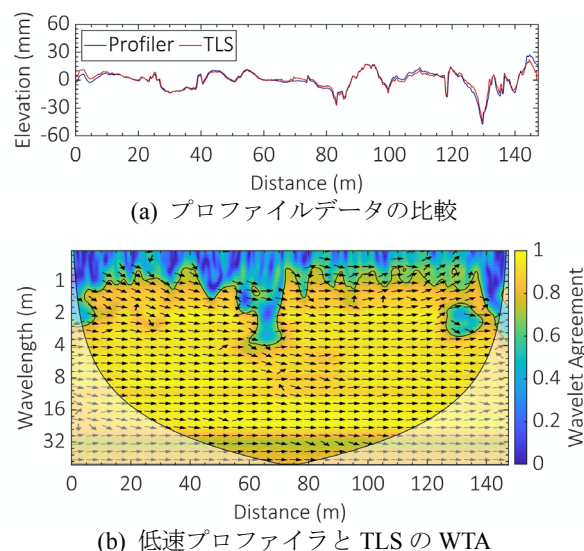


図-2 高性能 GNSS 搭載 TLS で得られたプロファイル

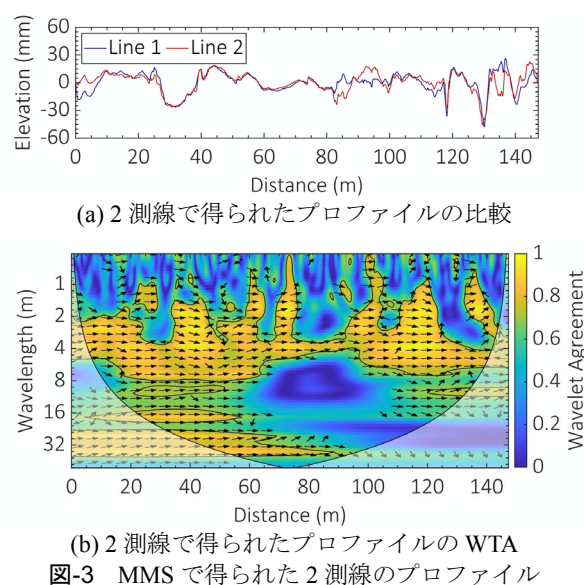


図-3 MMS で得られた 2 測線のプロファイル

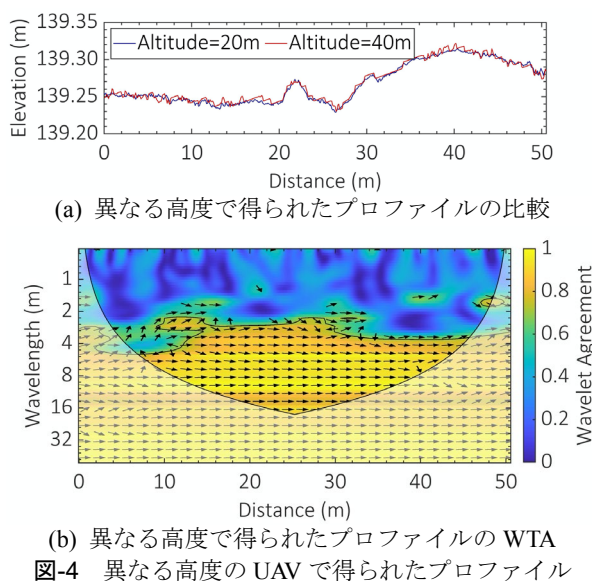


図-4 異なる高度の UAV で得られたプロファイル