

鉄道沿線樹木等の3D形状測定とそのレール温度予測モデルへの適用

鉄道総研 正会員 ○浦川 文寛
 鉄道総研 正会員 箕浦 慎太郎
 鉄道総研 正会員 渡辺 勉

1. はじめに

レール温度が過度に上昇すると、圧縮の軸力により線路が水平方向に張り出す、「軌道座屈」の危険性が高まる。軌道座屈は脱線に繋がる重要な問題であるため、レール温度を予測して精度良く管理することが望まれている。図1に示すレール温度予測モデル¹⁾では、DSM (Digital Surface Model、周辺地物(地形、建物、樹木等の総称)の高さを含む標高)データを使用した日射量解析を行い、レールに入射する熱量を計算することで、日陰を考慮してレール温度分布を推定することが可能である。都市部では、近年の仮想空間の利用拡大を背景に、3D都市モデルの整備とオープンデータ化が進められているが、山間部では市販のDSMデータの購入が必要である。また、山間部の日陰は樹木の影響が大きいと想定されるが、山間部のDSMデータの更新頻度は数年程度であるため、植生の変化に対応できない可能性がある。そこで本稿では、線路周辺の樹木等の3D形状を車上カメラと画像解析技術を用いて簡易に測定し、レール温度予測モデルに適用する手法を提案する。

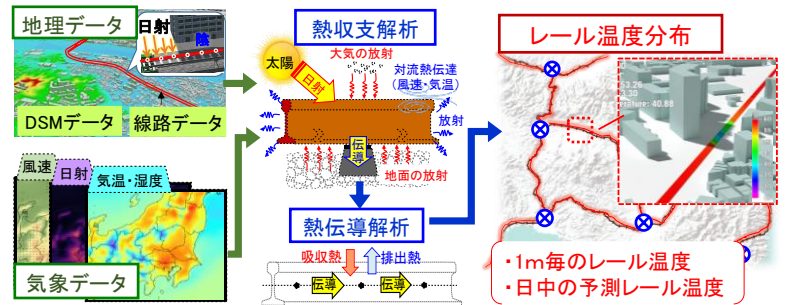


図1 レール温度予測モデル¹⁾

2. 沿線樹木等の3D形状測定

図2(a)に示すように、鉄道総研の所内試験線にて試験車両を速度約30km/hで走行させ、車上カメラにより車両の前方と側方(曲線内側)の周辺地物を連続的に撮影し、市販のSfM多視点ステレオ写真測量²⁾ソフトウェア3DF Zephyrを用いて撮影した画像から3D形状モデルを作成した。さらに、3D形状データを点群データとして出力し(図2(b))、汎用GISソフトウェアArcGIS Proの内挿ツール³⁾により1mメッシュ標高に変換、ジオリファレンスツール³⁾により緯度経度を付与することで、DSMデータに変換した(図2(c))。



図2 車載カメラによる沿線樹木の3D形状測定とDSMデータ変換

3. 3D形状測定結果を使用したレール温度推定試験

3.1 試験条件

前章の形状測定結果(図2(c))を用いてレール温度を推定し、レール腹部に設置した熱電対による測定値と比較する。レール温度の測点は、図2(c)に示す点1、点2、点3である。レールはJIS 50kgNレール、まくらぎは6号PCまくらぎで、

表1 解析パラメータ

項目	値	項目	値
レール表面の放射率	頭頂面:0.2	軌道パッド熱伝導率	0.25 W/(mK)
	頭頂面以外:0.75		軌道パッド厚さ
ステファンボルツマン係数	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$	レール鋼密度	7820 kg/m ³
地表面の反射率	0.3	レール比熱	461 J/(kgK)
下向き赤外放射	1.2 MJ/(m ² h)	レール熱伝導率	50 W/(mK)
地表面の放射率	0.95	レール断面積	0.00642 m ²

キーワード レール温度予測, SfM多視点ステレオ写真測量, 車載カメラ, GIS, 日射量解析, 軌道座屈
 連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2丁目8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7291

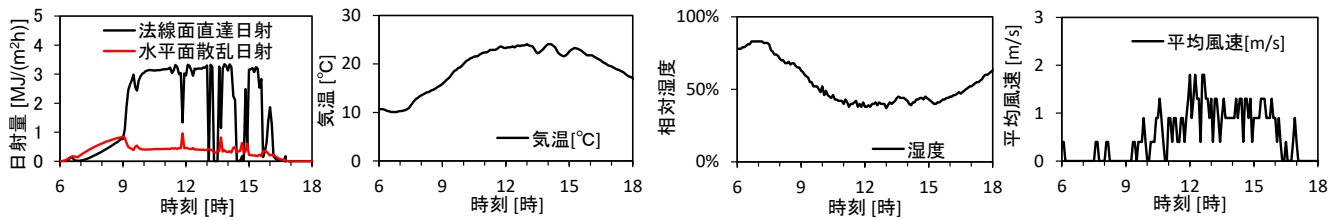


図3 レール温度推定に使用する気象データ（点1付近の測定結果）

解析パラメータには表1に示す値を、気象データには点1付近で測定した値（図3）を使用した。日時は2020年10月29日である。

3.2 試験結果

図4に、日射量解析（ArcGIS Proの“ポイントの日射量”ツールを使用）を行い、図2(c)のDSMデータから算出した日射量分布を示す。

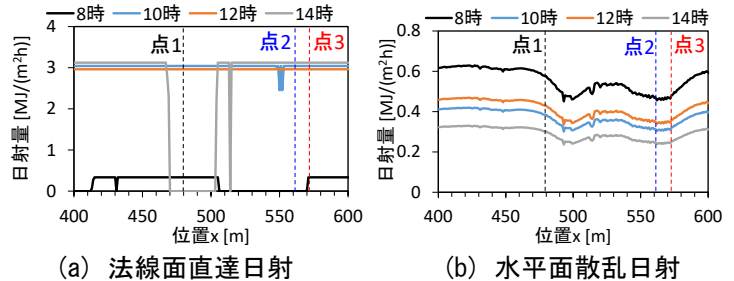
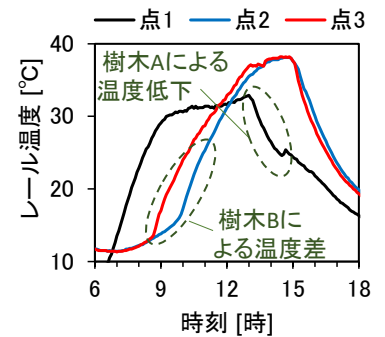


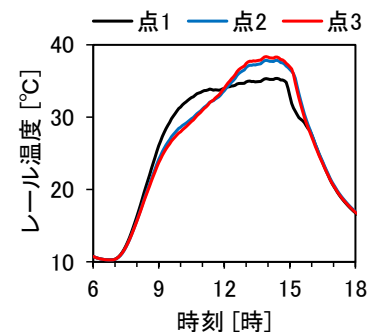
図4 日陰を加味した日射量分布（日射量解析結果）

図4(a)より、点1付近は14時頃に樹木Aの日陰（直達日射がゼロ）となり、点2付近は8時の時点で樹木B等の日陰となる。また、点3は樹木Bによる日陰と日向の境界に位置し、8時頃には日向となることが分かる。図4(b)より、樹木Aと樹木B、およびその他建物によって散乱日射の一部が遮れるため、 $470\text{m} < x < 600\text{m}$ の範囲では、周囲よりも散乱日射が低下することが分かる。

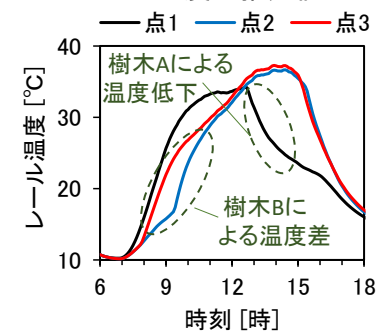
図5に、点1、点2、点3のレール温度の測定値と比較を示す。図5(a)より、点1の測定結果では、樹木Aの陰により13時以降でレール温度が低下した。また、点2と点3は、日出直後（7時頃）暫くは樹木Bにより日陰となるが、点2では日向となる時刻（レール温度が急激に上昇を始める時刻）が10m離れた点3より約1時間遅く、午前中のレール温度が点3より低くなった（図5(a)）。図5(b)に、DEM（Digital Elevation Model、建物や樹木等の高さを含まない地表面の標高モデル）に建物の高さを加算した標高データ（樹木の高さを含まない）による推定結果を示すが、測定で見られた樹木による温度変化の傾向は再現できていない。図5(c)より、3D形状測定結果（樹木の高さを含む標高データ）を用いたレール温度の推定値では、測定値との間で若干の差が生じたが、上述の樹木A、樹木Bによる影響については測定値と同様の傾向が得られた。以上より、提案した樹木の形状測定法を適用することで、レール温度の再現性を向上できることが分かった。



(a) レール温度の測定値



(b) 市販の地図データ（樹木含まず）を用いたレール温度の推定値



(c) 3D形状測定結果（図2(c)）を用いたレール温度の推定値

図5 レール温度推定結果

4. まとめ

試験線のレール温度は樹木等の陰により場所毎に差が生じたが、本稿で提案した3D形状測定法を適用することで、これら温度差を含むレール温度の再現性を向上できることが分かり、提案手法の有効性を確認できた。今後は、3D形状測定、市販およびオープンデータを活用したレール温度の詳細な予測により、夏季の特別巡回や運転規制等、管理の効率化の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 浦川文寛, 渡辺勉, 木村成克: GISデータを使用した広域レール温度予測法、鉄道総研報告 - 軌道技術 -, Vol. 34, No. 4, pp. 53-59, 2020
- 2) 織田 和夫: 解説 Structure from Motion (SfM) 第一回 SfMの概要とバンドル調整, 55巻, 3号, pp. 206-209, 2019
- 3) ArcGIS Pro ジオプロセッシングツールリファレンス (最終閲覧日: 2021年3月30日) <https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>