

画像計測による PC まくらぎの動的応答に関する基礎的検討

九州旅客鉄道株式会社 正会員 ○箕浦 慎太郎
九州旅客鉄道株式会社 川崎 恭平
鉄道総合技術研究所 正会員 谷川 光

1. はじめに 有道床軌道では、列車走行による繰り返し荷重を受けることでバラストの細粒化や移動が生じて支持剛性の低下や浮きまくらぎが発生する。浮きまくらぎの発生により軌道の動的応答が大きくなり、軌道状態の急速な悪化を招くため、適切な周期での保守やより効果的な対策工法の開発が必要である。軌道の動的応答を抑制し列車の走行安全性の確保と乗り心地の向上を図るためには、列車通過時の動的応答を把握・評価する必要があるが、軌道状態と動的応答の関係を営業線で定量的に検討した事例は少ない。そこで本研究では、比較的簡易に高精度な動的計測が可能な画像測定に基づく非接触変位測定手法¹⁾を用いて、列車通過時の PC まくらぎの動的変位計測を実施し、軌道支持状態と動的変位の関係についての基礎的な検討を実施した。

2. 検討手法

2. 1. 計測対象 表 1 に計測対象列車を示す。対象線区は当社内の 2 級線直線ロングレール区間 200m であり、使用されているまくらぎは 3 号 PC まくらぎである。本計測では対象線区内の連続する PC まくらぎ 7 本の計測を 4 箇所実施することで合計 28 本の PC まくらぎを対象とした動的変位計測を実施した。まくらぎの支持状態の推移についても調査するために、マルチプルタイタンパ(以下、MTT)施工前、MTT 施工後、MTT 施工 1 ヶ月後と計測時期を変えて 3 度計測を実施した。計測対象列車は普通列車 1 種類及び特急列車 1 種類の合計 2 種類とし、各列車通過時の PC まくらぎの動的変位を計測した。

2. 2. 画像測定に基づく非接触変位測定手法 図 1 に微小変位計測システムを、図 2 に PC まくらぎに設置した格子状ターゲットを示す。本検討では画像計測の手法としてサンプリングモアレ法に基づく微小変位測定システム²⁾を用いて PC まくらぎの動的応答を測定した。本手法は比較的短い露光時間でサブピクセルでの高精度な変位測定が可能であり、また測定前にターゲットの設置が必要ではあるものの非接触で対象物の動的変位を測定可能である。ターゲットは格子状に並んだ正方形からなり、この正方形の間隔(以下、格子ピッチ)を変えることで計測の分解能を調整可能である。計測では 3 台のカメラを用いて連続する 7 本の PC まくらぎを同時に計測した。撮影時の画素数は約 80 万画素、フレームレートは 200fps とした。格子状ターゲット(格子ピッチ 10mm)は PC まくらぎの端部に設置した。なお今回の計測では、一部の計測ケースでは計測用カメラの振動に起因すると考えられる計測ノイズが見られたため、ノイズ除去のため計測結果の 7 点(0.35 秒)の単純移動平均を求め、その結果より最大変位を算出した。また計測対象の PC まくらぎについて、軌道支持状態の把握のために小型 FWD を用いた支持ばね係数及び応答変位遅延時間の計測も併せて実施した²⁾。

3. 検討結果 図 3 に PC まくらぎの動的変位計測結果の例を、図 4 に連続する 7 本の PC まくらぎの最大変位の計測結果の例を示す。

表 1 計測対象列車

列車種別	線区最高速度	車両重量
普通列車	100km/h	33.0t
特急列車	130km/h	39.8t



図 1 微小変位測定システム

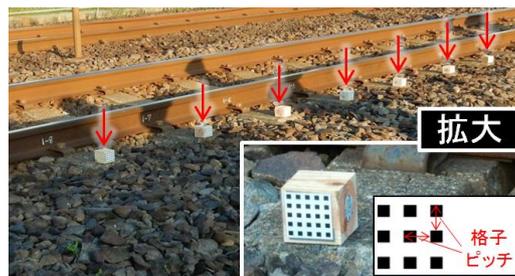


図 2 格子状ターゲット

キーワード 画像計測, PC まくらぎ, 動的応答, 小型 FWD, マルチプルタイタンパ, 支持ばね係数
連絡先 〒812-8566 福岡県福岡市博多区博多駅前 3-25-21 九州旅客鉄道(株) 施設部保線課 TEL092-474-2449

なお図3は図4中のまくらぎ番号7のPCまくらぎの動的変位である。図より、例えばまくらぎ番号7のPCまくらぎでは、MTT施工により施工前と比較して最大変位が約46%程度まで減少したが、MTT施工1ヶ月後にはMTT施工前の約74%程度まで増加していた。

図5に画像計測手法により計測したPCまくらぎの列車通過時の最大変位と小型FWDにより求めた支持ばね係数との関係を、図6に画像計測手法により計測したPCまくらぎの列車通過時の最大変位と小型FWDにより求めた応答変位遅延時間の関係を示す。応答変位遅延時間は浮きまくらぎがあると大きくなることが知られている²⁾。なお図5中の理論値とは、車両重量からレール長手方向への荷重分散の影響を考慮(分散係数0.5)して求めた静的荷重を、小型FWDで求めた支持ばね係数で除することで求めた変位である。図5及び図6より、浮きまくらぎの発生により動的変位が大きくなり、特急列車通過時には最大で約3.4mmの動的変位が発生していた。対象線区内では最大変位が約0.5mmに抑えられている箇所もあり、支持状態により動的変位に6倍以上の差が出るのが分かった。またばらつきも大きいものの、支持ばね係数及び応答変位遅延時間とまくらぎ最大変位には一定の関係性が見られた。図6より、MTT施工後には応答変位遅延時間が小さくなり、浮きまくらぎが解消されまくらぎの動的変位も減少することが確認された。

4. まとめ 画像測定に基づく非接触変位測定手法を用いて列車通過時のPCまくらぎの動的応答に関する検討を実施した結果、MTT施工前後及び1ヶ月経過後の動的変位の推移を定量的に評価することができ、浮きまくらぎの発生により動的変位が大きくなる傾向が確認された。また対象線区では浮きまくらぎの発生により最大で約3.4mmの動的変位が発生し、直線ロングレール区間であっても支持状態により動的変位に6倍以上の差があることが分かった。今後も異なる線路条件での計測や継続的な計測を実施し、軌道を構成する各種パラメータが動的変位に与える影響の評価や、動的応答の推移について検討を実施する予定である。

参考文献 1)箕浦, 徳永, 渡辺, 上半: サンプルングモアレ法に基づくコンクリート構造物のひび割れ検知手法, 第72回土木学会年次講演会, 2016, 2)谷川, 中村, 桃谷: 小型FWDを用いた軌道支持剛性評価法における浮きまくらぎの影響の検討, 鉄道工学シンポジウム論文集 Vol. 20, pp. 161-168, 2016

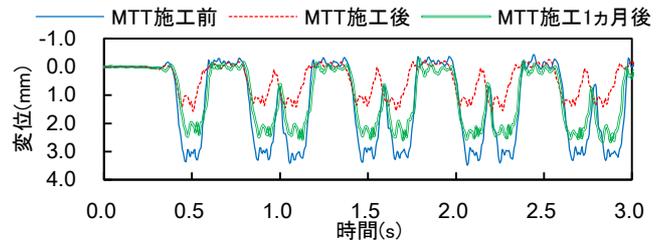


図3 動的変位計測結果の例(時刻暦波形)

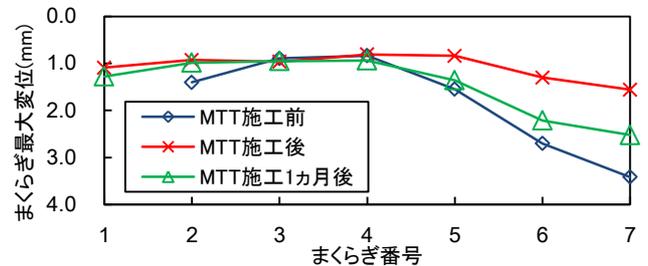
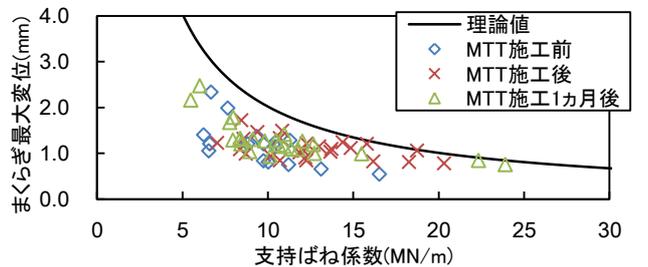
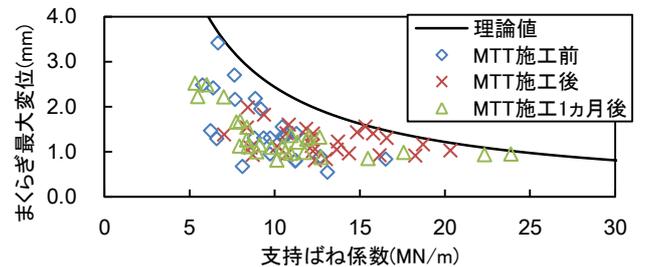


図4 PCまくらぎの最大変位の例

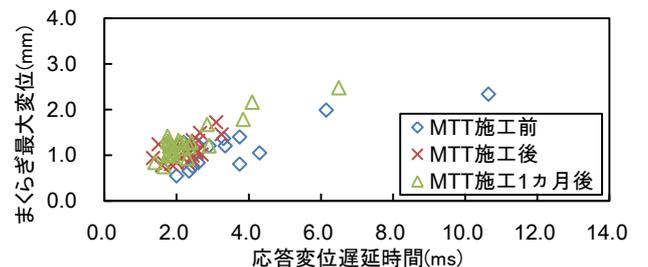


(a) 普通列車通過時

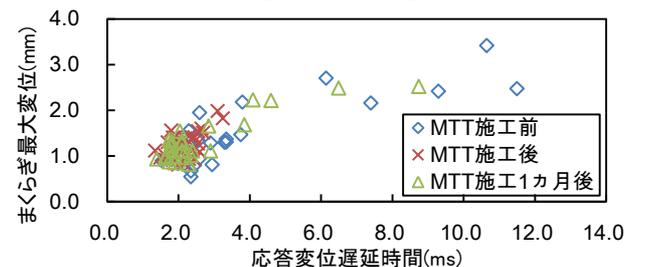


(b) 特急列車通過時

図5 列車通過時の最大変位と支持ばね係数の関係



(a) 普通列車通過時



(b) 特急列車通過時

図6 列車通過時の最大変位と応答変位遅延時間の関係