

時間周波数解析による実物大スラブ軌道供試体の打音特性の評価方法に関する基礎的研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○稲葉 紅子 谷川 光 瀧上 翔太

1. 目的

寒冷地に敷設された一部のスラブ軌道においては、軌道スラブ底面とてん充層上面の間に、図1に示すような空隙の発生が報告されている。スラブ軌道の維持管理では、このような空隙を速やかに検知し、補修を順次行う必要がある。軌道スラブ-てん充層間の空隙検知に関する既往の研究では(例えば1,2)、打音法が有用であるとされ、時刻歴応答波形または周波数応答スペクトルを用いて空隙を判定している。本研究では、空隙判定のさらなる精度向上の観点から、打撃音の時刻歴応答特性と周波数応答特性を同時に評価できる時間周波数解析に着目し、基礎的な検討を行った。本稿では、時間周波数解析(連続ウェーブレット変換)を用いて、新幹線用スラブ軌道供試体に対して実施した打音試験の検討結果について報告する。

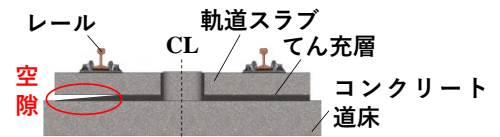


図1 軌道スラブ底面に生じた空隙

2. 新幹線用スラブ軌道供試体での打音試験

本研究では、既往の研究¹⁾で実施した打音試験の計測データを用いた。当該試験では、軌道スラブとてん充層の間に空隙を与えた新幹線用スラブ軌道供試体に対して、その上面を質量0.14kgのロードセル内蔵小型ハンマで打撃し、打撃位置から50mm離れた位置でプリアンプ一体型マイクロホン(サンプリング周波数:12800Hz)により音圧を計測した。このとき、打撃位置については、支承範囲2点(P1, P2)ならびに空隙範囲3点(P3, P4, P5)の計5点とした(図2参照)。図3に打撃音の時刻歴応答波形を、図4に周波数応答スペクトルを示す。なお、図3および図4については、音圧を打撃荷重(荷重の時刻歴応答波形の最大値)で除して正規化した。ここでは、正規化後の音圧を正規化音圧と呼称する。周波数応答スペクトルについては、時刻歴応答波形を高速フーリエ変換して求めた。

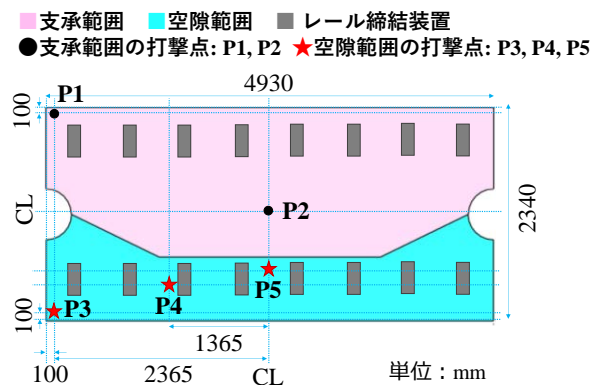


図2 打撃点の位置関係

図3より、時刻歴応答波形は、いずれの測点も、打撃開始後40msecまでに0Pa付近へ収束した。また、正規化音圧について比較すると、空隙範囲の測点の方が、支承範囲の測点よりも大きい傾向にあった。しかし、測点P4, P5の最大振幅比は、測点P3の1/3程度であり、支承範囲の測点P1, P2の値に近いことが分かった。

図4より、周波数応答スペクトルは、いずれの測点も、300Hz付近の帯域で卓越した。また、最大卓越値について比較すると、最大振幅比と同様、測点P3が最も大きかった。しかし、空隙範囲に位置する測点P4, P5の最大卓越値は、測点P1, P2よりも小さい値となった。

上述より、時刻歴応答波形または周波数応答スペクトルのいずれか一方のみを用いた評価方法では、支承範囲との境界部分から打撃位置までの位置関係について、詳細に把握することは容易ではないと考えられる。

図3より、時刻歴応答波形は、いずれの測点も、打撃開始後40msecまでに0Pa付近へ収束した。また、正規化音圧について比較すると、空隙範囲の測点の方が、支承範囲の測点よりも大きい傾向にあった。しかし、測点P4, P5の最大振幅比は、測点P3の1/3程度であり、支承範囲の測点P1, P2の値に近いことが分かった。

3. 連続ウェーブレット変換による打撃音の分析

図3に示した時刻歴応答波形に対して、連続ウェーブレット変換を行った。連続ウェーブレット変換とは、マザーウェーブレットと呼ばれる基底関数の振幅と位相を変化させることで、時刻歴応答波形を時間一周波数スペクトル(強度)のスペクトログラムに変換する時間周波数解析の一種である。本研究では、マザーウェーブレットとしてMorletの関数(帯域幅1.5Hz, 中心周波数1.0Hz)を用いて変換した。変換後のスペクトログラムを図5に示す。

キーワード スラブ軌道, てん充層, CAモルタル, 打音法, 時間周波数解析, 連続ウェーブレット変換

連絡先 〒185-8504 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 軌道・路盤 TEL 042-573-7276

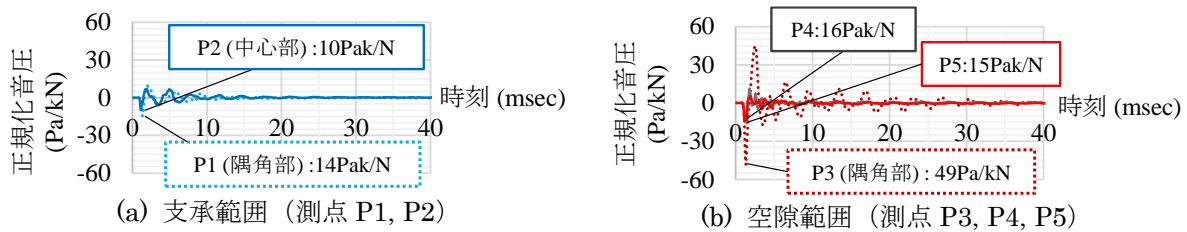


図3 時刻歴応答波形および最大振幅比（時刻歴応答波形の最大絶対値）

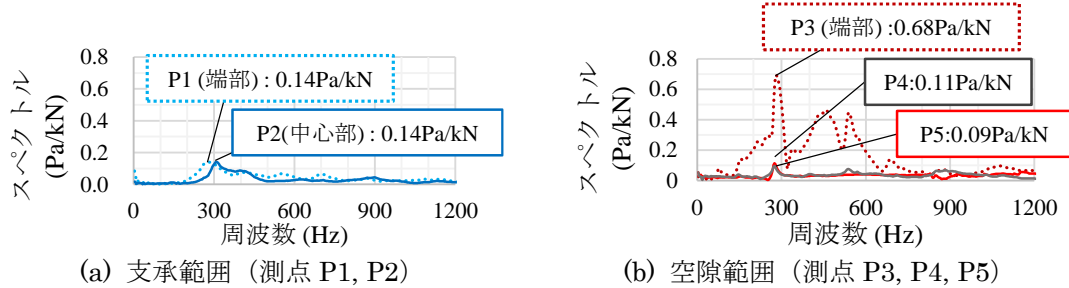


図4 周波数応答スペクトルおよび最大卓越値（周波数応答スペクトルの最大値）

同図より、支承範囲の測点 P1, P2 では、250~300Hz 付近の成分が、打撃開始から概ね 20msec まで継続することが分かった。一方、空隙範囲の測点 P3, P4, P5 では、測点 P1, P2 と比べて、250~300Hz 付近の周波数成分がより長く継続する傾向を示した。さらに、測点 P3 から、支承範囲との境界付近の測点 P5 に近づくにつれ、250~300Hz 付近のスペクトルが低下する傾向を示した。このことから、時間周波数解析により位置による違いも評価できる可能性が示された。

4. おわりに

本研究では、新幹線用スラブ軌道供試体で実施した打音試験を対象に、連続ウェーブレット変換による時間周波数解析を行った。その結果、空隙範囲の測点では、支承範囲の測点と比較して、250~300Hz 付近の成分が長く継続する傾向にあることが分かった。さ

さらに、隅角部から支承範囲との境界に近づくにつれ、当該帯域のスペクトルが減少する傾向を示した。これらは、既往の評価手法では捉えられなかった傾向であり、時間周波数解析を用いることで、スラブ軌道の打音特性をより詳細に把握し得る可能性があると考えられた。

参考文献

- 1) 稲葉紅子, 高橋貴蔵, 瀧上翔太, 桃谷尚嗣, 内藤英樹: 打音法による新幹線用軌道スラブ - てん充層間の空隙検知方法に関する研究, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 78, No.1, pp1-11, 2022.
- 2) 高橋貴蔵, 小滝康陽, 桃谷尚嗣, 板倉真理佳: 打音試験による鉄道用軌道スラブ底面の隙間の評価に関する基礎的研究, 第6回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム, Vol.6, pp.217-222, 2018.

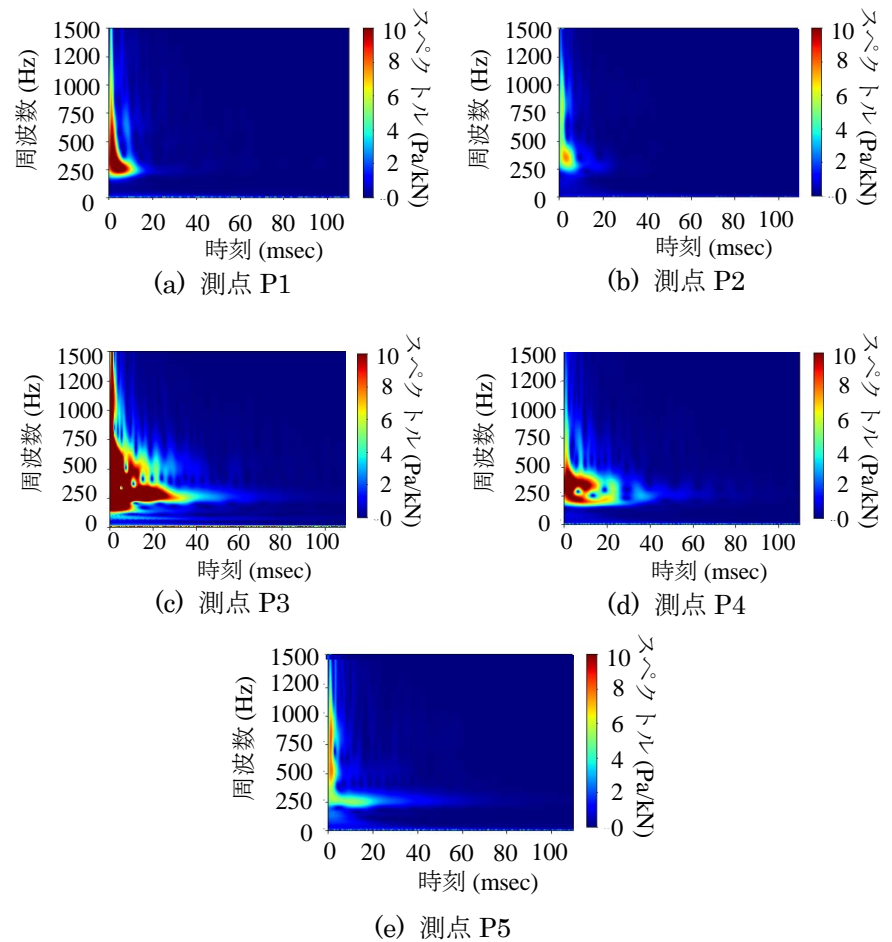


図5 連続ウェーブレット変換によるスペクトログラム