

スラブ軌道を対象とした打音試験における打撃音の伝播特性に関する数値解析的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○稲葉 紅子 谷川 光 高橋 成汰

1. 研究背景

新幹線の主要な軌道（線路を構成する設備のうち、路盤より上部の設備のこと）の一つにスラブ軌道がある。これは、軌道スラブ（RC または PRC からなる板状のプレキャスト部材）とコンクリート道床の間に、CA モルタル製のとん充層を充填した構造形式である（図 1）。

1980 年代以前に敷設されたスラブ軌道の一部において、とん充材が劣化し、軌道スラブ底面ととん充層上面の間に空隙を生じる事例が報告されている¹⁾（図 2）。スラブ軌道の維持管理では、軌道スラブの支持状態を健全に保つため、このような空隙を速やかに検知し、適切に補修することが求められる。これまでの検討²⁾から、打音試験が空隙検知に有効であるという知見が得られている。

しかし、当該研究は、打撃点近傍で集音することを前提としているため、軌道スラブ 1 枚あたり 150~200 箇所近くを打撃・集音する必要がある、検査効率において改善の余地があった。より効率的に打音検査を行うためには、打撃・集音点を合理的に配置することが求められる。例えば、打撃点を固定した状態で、集音点を複数配置するといった方法が考えられる。しかしながら、軌道スラブの支持状態の変化が打撃音の伝播特性に与える影響については明らかでない。打音検査を効率的に行う観点から、軌道スラブの支持状態の変化と打撃音の伝播特性の関係について解明する必要がある。

そこで、本検討では、音響・構造連成解析による数値解析的手法により、軌道スラブの支持状態の変化と打撃音の伝播特性の関係について論じた。

2. 解析モデルと解析例

2. 1. 解析手法

本検討では、打音試験を模擬するために、音響・構造連成解析³⁾を用いた。これは、弱連成型のマルチフィジックス解析手法の一つで、過渡応答解析で得られた応答速度を境界条件として、音響解析を行うものである。

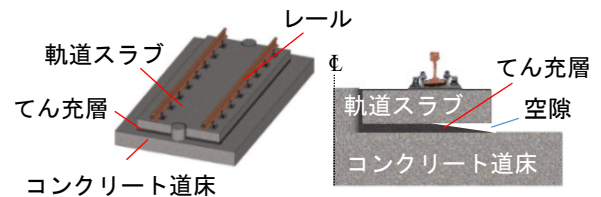


図 1 スラブ軌道 図 2 空隙の発生：1/2 正面図

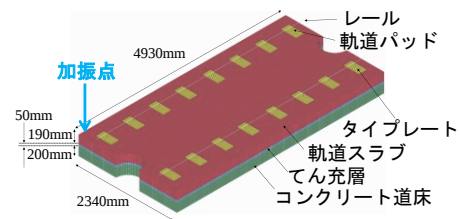


図 3 解析モデル（等角図）

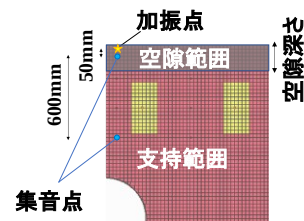


図 4 空隙深さと集音点の位置関係

2. 2. 解析モデル

解析モデルを図 3 に示す。本検討では、軌道スラブ上面隅角部に位置する 1 節点に、最大荷重 1000N、加振時間 0.4msec のインパルス荷重を入力荷重として与えた。さらに、軌道スラブ上面から鉛直上向きに 5mm 離れた位置で、音圧を計算した。材料物性値ならびに要素モデルについては、表 1 の通りとした。また、軌道スラブ - とん充層 - コンクリート道床間の各接触面について、付着や摩擦によって接触した状態となっている。そこで、本検討では、付着や摩擦による接触を模擬するため、ペナルティ法による接触解析によりモデル化した。ペナルティ法におけるパラメータは、ペナルティ係数を 0.1、静止摩擦係数を 0.3（とん充層上面）および 0.5（とん充層底面）とした。さらに、解析対象全体に対して、減衰定数 5.0%の質量比例型減衰を与えた。

2. 3. 解析パラメータ

本検討では、空隙深さ（軌道スラブ側面から支持・空隙範囲の境界部までの距離）を変化させた（図 4）。な

キーワード スラブ軌道、打音法、音響解析、過渡応答解析、音響・構造連成解析、時間周波数解析、スペクトログラム

連絡先 〒185-8540 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

表 1 材料物性値および要素モデル

	軌道 スラブ	てん充層	コンクリート道床	タイプレート	レール	鉄筋(D13) PC 鋼棒	軌道 パッド
密度(kg/m ³)	2350	1700	2350	7800	7800	7800	—
ヤング率(GPa)	31	1.26	26.4	200	200	200	—
ポアソン比	0.17	0.35	0.17	0.2	0.2	0.2	—
ばね定数(MN/m)	—	—	—	—	—	—	60
要素モデル	3次元6面体ソリッド要素				ビーム要素		ばね 要素

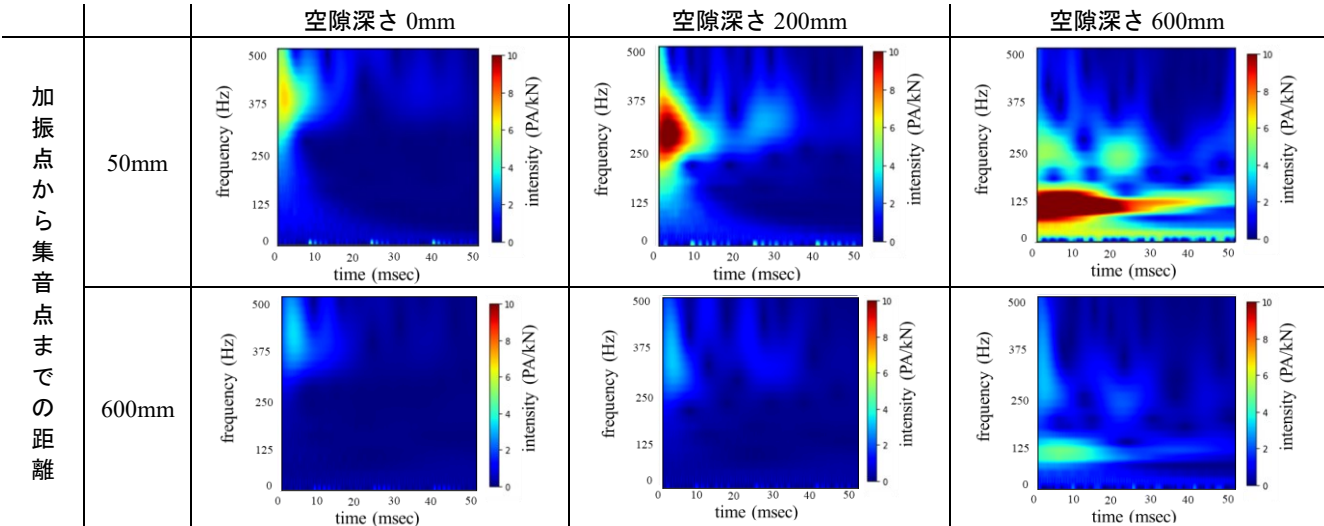


図 5 解析結果

お、空隙深さについては、0mm, 200mm, 600mm の計 3 パターンとした。また、集音点の位置については、加振点からレール直角方向に 50mm, 600mm 離れた位置の計 2 パターンとした。

本検討では解析結果をスペクトログラムにより整理した。スペクトログラムとは、時刻歴応答波形を、時間周波数解析することで得られる 3 次元の画像データのことである。これは、時間 - 周波数 - スペクトル強度から構成される。スペクトログラムの表示範囲については、時間域：0~50msec、周波数域：0~500Hz、スペクトル強度域：0~10Pa とした。

3. 解析結果

図 5 に解析結果を示す。同図より、以下に示す傾向が認められた。

- [1] 空隙深さ 0mm（空隙なし）では、加振開始から概ね 20msec 以内に音圧が収束する傾向にある。一方、空隙深さ 200mm 以上では、空隙深さ 0mm と比較して、500Hz 未満の成分のスペクトル強度が大きくかつ長く持続する傾向にある。また、空隙深さが拡大するに伴って、スペクトル強度の卓越帯域が低下する傾向にある。
- [2] 集音点が加振点から離れると、スペクトル強度が低

下する傾向にある。加振点から 600mm 離れた位置で集音したケースでは、空隙深さ 0mm と 200mm でスペクトログラムの差異が不明瞭であった。

4. 考察および今後の予定

前章の傾向[1]について、空隙範囲が拡大するに伴い軌道スラブの自由振動が励起され易くなるためだと考えられた。また、傾向[2]について、音圧計算点直下でのん充層の存在によって、軌道スラブのたわみ量が小さくなったことが影響しているものと考えられた。

今後は、打音試験のデータを蓄積し、打撃・集音点を合理的に配置するための検討を進める予定である。

参考文献

1) 湧上翔太, 高橋貴蔵, 吉川秀平, 桃谷尚嗣：高流動 CA ミルクを適用したスラブ軌道てん充層隙間注入補修に関する研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol. 20, pp. 119-124, 2016.
2) 稲葉紅子, 高橋貴蔵, 湧上翔太, 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), 78 卷(2022)1 号, pp. 1-11, 2022
3) 稲葉紅子, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣：スラブ軌道てん充層の欠損状態と打音特性の係る数値解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 42, No. 2, pp. 1600-1605, 2020