

鉄道車両走行時の軌道材料の影響による荷重特性に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○池田 圭輔

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

鉄道総合技術研究所 正会員 洲上 翔太

1. 目的

近年、鉄道の営業速度の高速化が図られており、それに伴い線路やそれを支持する構造物に伝播する振動が増加する可能性があることから、荷重を支持する軌道において種々の防振対策が検討されている¹⁾。軌道における主な防振対策として、軌道支持ばね係数の変更が考えられるが、効果的な対策を実施するには、軌道に作用する車両の走行荷重とその振動特性を詳細に評価する必要がある。本研究は、その基礎的検討として、3次元有限要素により車両および軌道を忠実にモデル化した車両走行シミュレーションを実施し、走行速度の違い、軌道スラブやCAモルタルの材料物性値が軌道に作用する走行荷重特性に与える影響について定量的な考察を行った。

2. 解析概要

本研究では汎用有限要素解析ソフト *MSC.Marc* を用いて鉄道車輪の動的転がり接触解析を行った。使用した有限要素は、8節点を有する3次元ソリッド要素で走行速度、軌道スラブやCAモルタルの材料物性値をパラメータとした解析を行い、軌道のCAモルタル底部に作用する鉛直反力を走行荷重として評価した。また、車両モデルにおいて、車体・台車・輪軸からなる一車両モデルと輪軸のみのモデルを用いて走行荷重を検討した。

2.1. 解析対象および解析モデル

解析対象として、実際の新幹線の車両を車体・台車・輪軸で再現し、幾何学的な対称性を考慮した1/2領域モデルを用いた検討を行った。車両モデルは、車体は簡易な中空の長形状とし、半分の車軸と一つの車輪のみを有するモデルを、実際の新幹線車両の車輪間隔(図-1)で配置した。輪軸と台車、台車と車体の間には現実の車体の特性を考慮した3方向のばねを挿入している(表-1)。車体、台車、車軸、車輪は弾性体を仮定したソリッド要素でモデル化し、直径921mmの車輪は接触解析の精度を向上させるために詳細な要素分割を行った。スラブ軌道は、60kgレール、軌道スラブ、CAモルタルを弾性体としてソリッド要素、軌道パッドはばね要素でモデル化した。本解析では60m延長の軌道モデルに、軌道スラブを5m間隔で配置し、1方向のばねで表現された軌道パッドを軌道スラブ1枚につき625mm間隔で8締結した。モデル寸法は図-1, 2に示す通りである。

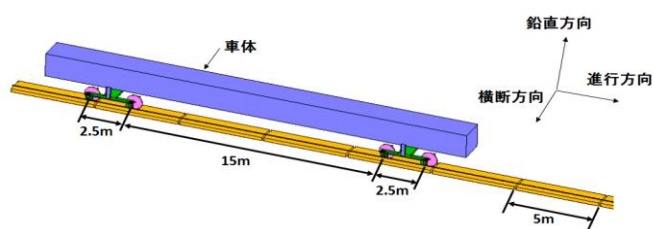


図-1 解析対象

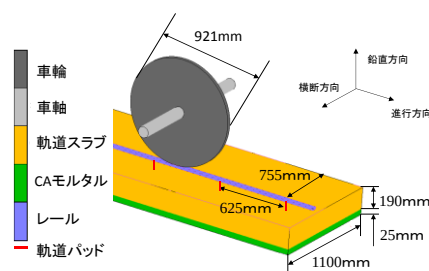


図-2 モデル寸法

2.2. 解析条件および解析ケース

入力条件として、軸重160kN相当を車体に分散荷重として与えた。また、車体、台車、車軸、軌道スラブ、CAモルタルの対称面の横断方向を変位拘束することで1/2モデルを再現し、加えてCAモルタル底部の鉛直方向変位を拘束した。本研究では車両の走行解析を行う前に車両重量を軌道で支えられた釣り合い状態を保持する解析を行い、自重の釣り合い状態を再現後に走行速度を変えて、軌道上の走行解析を行った。変化した軌道の材料物性値を表-2に示す。解析ケースを表-3に示す。レールの凹凸に関しては±3mm程度の高さの変化を考慮して解析を試みた。

キーワード 有限要素法, 振動低減, 走行速度, スラブ軌道

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744 ウェスト2号館11階1102号室構造解析学研究室 TEL 092-802-3370

2.3. 材料特性

車輪および車軸の材料特性は、密度 $7.85(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、弾性係数 $2.1 \times 10^5(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、ポアソン比 0.3 の一般的な鋼材の値を用いた。レールに関してはモデル化を簡易に行ったため、密度は 60kg レールと同等の質量 ($75(\text{g}/\text{cm}^3)$) となるように、また、弾性係数 ($2.835 \times 10^8(\text{N}/\text{mm}^2)$) も剛性が 60kg レールと同等のものとなるように調整した。軌道パッドのばね係数は $60(\text{MN}/\text{m})$ である。

3. 解析結果と考察

図-4、図-5 の各グラフは列車 1 車両の前方の 2 輪が進行方向 625mm、横断方向 1100mm のある評価範囲 (図-3) を通過した時の鉛直反力の総和である。図-4 には車両モデルの違いが走行荷重に与える影響を示す (通常の営業速度 V 時)。また、表-3 中の Case1 ~ Case6 の走行荷重時刻歴波形を図-5 (a), (b) にそれぞれ示す。図-4, 5 のグラフには 500Hz のローパスフィルタをかけてある。

3.1. 車両モデルの比較

車体・台車・輪軸で構成される一車両モデルと車輪のみのモデルの比較を行った。両者で異なる波形が得られ、前者のモデルはばねを介して台車、車体と連結され、車輪の上で台車、車体が振動しているために走行荷重波形の概形は変わらないが、低振幅で高周波な振幅が付加されており、車体・台車・輪軸をモデル化することが正確な走行荷重の評価には必要であることが認められた。

3.2. 走行速度の比較

図-5 (a) より Case1, Case2 のどのケースでも走行速度が増加すると得られる走行荷重も大きくなる傾向にあり、通常の営業速度 V から $1.25V$ になると加振力が 50% 程度増加することが認められた。一軸の通過時の荷重の抜け具合に大きな違いが見られる。

3.3. 軌道材料の違いによる比較

図-5 (b) より Case2 ~ Case4 を比較すると、Case2 は 1 輪目に比べ 2 輪目が通過した際の走行荷重のピーク値の方が大きな値を示しているのに対して、Case3, Case4 では 1 輪目の方が大きな値を示している。また、2 輪目が通過した後の荷重の抜け具合に違いがあることが認められた。

4. 結論と今後の課題

車両の走行解析を行った結果、走行速度が走行荷重に関係していることが確認された。また、軌道材料の違いが走行荷重に与える影響は少ないと考えられる。振動、騒音の低減効果を確認するには構造物の振動応答を確認する必要がある。今後は軌道の物性値を入力パラメータとした解析で、走行荷重に与える影響について定量的な検討を行い、振動低減に有効な物性値を検討する予定である。

参考文献

1) 田中博文, 古川敦, 長谷川雅彦, 金尾稔: 新幹線走行に伴う地盤振動

低減のための軌道における対策と効果, 土木学会論文集, vol.68, No.3, 583-596, 2012.

表-1 ばね, ダンパの物性値

	進行方向	鉛直方向	車軸方向
軸ばね(N/mm)	7450	925	5900
軸ダンパ		19.6	
まくらばね(N/mm)	2900	284	176
まくらダンパ		25	

表-2 軌道の基本物性値

	軌道スラブ	CAモルタル
密度(g/cm^3)	2.45	1.6
弾性係数(N/mm^2)	3.1×10^4	3.5×10^3
ポアソン比	0.17	0.3

表-3 解析ケース

	走行速度	弾性係数(N/mm^2)	
		軌道スラブ	CAモルタル
Case1	営業速度 V	3.1×10^4	3.5×10^3
Case2	1.25V	3.1×10^4	3.5×10^3
Case3	1.25V	1.55×10^4	3.5×10^3
Case4	1.25V	3.1×10^4	1.2×10^3

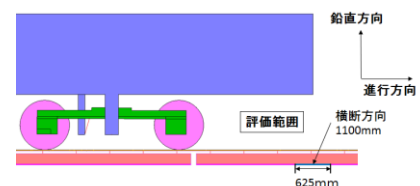


図-3 走行荷重評価範囲

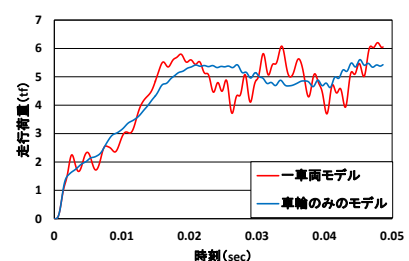
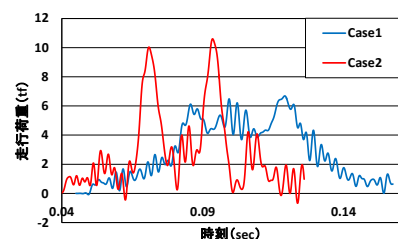
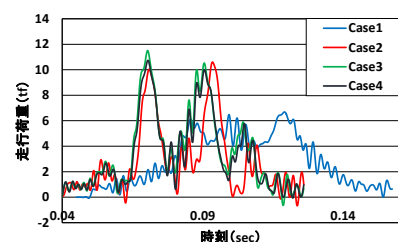


図-4 モデルの比較



(a) 走行速度の比較



(b) 軌道材料の違いによる比較

図-5 走行荷重-時刻歴波形