

鉄道車両走行時に軌道に作用する荷重特性に関する解析的研究

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、鉄道における営業速度の高速化が図られているが、鉄道車両の高速化に伴い、線路やそれらを支持する土木構造物に伝播する振動が増加する可能性があるため、特に荷重を直接的に支持する軌道において種々の防振対策が実施されている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低下が挙げられるが、効果的な対策を実施するためには、車両走行により軌道に作用する荷重および振動特性を詳細に評価する必要がある。そこで本研究では、その基礎的段階として、3次元有限要素により車両および軌道を簡易にモデル化した車両走行シミュレーションを実施し、車両の走行速度の違い、レール凹凸の有無が軌道に作用する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* を用いて動的転がり接触解析²⁾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ある。本研究では主に高速鉄道において採用されるスラブ軌道を対象とし、走行速度の違い、レール凹凸の有無によってスラブ軌道のてん充層であるCAモルタルに作用する鉛直反力を走行荷重として評価した。

2.1. 解析対象および解析モデル

本研究の解析対象として、実際の新幹線一車両を車体・台車・輪軸で再現し、また幾何学的な対称性を考慮し法線方向に対象としたモデルを採用した。本解析においては、車両モデルは簡易に半分の車軸と一つの車輪を有する一軸一輪モデルとし、実際の車両の車輪間隔(図-1)で4つ配置した(レール凹凸ありは前方の車輪2つのみ)。車軸、車輪は弾性体としてソリッド要素でモデル化した。車輪に関しては、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。車輪の直径は921mmとする。また、スラブ軌道モデルについては、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。60m分のスラブ軌道モデルを作成し、軌道スラブの配置間隔は5m、軌道パッドは1方向のばねを挿入しており、軌道スラブ1枚につき625mm間隔で8締結配置した。モデル寸法は図-1, 2に示す通りである。

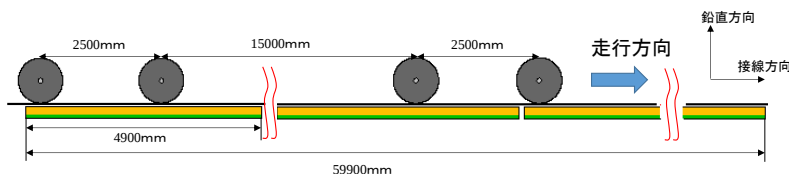


図-1 解析対象

2.2. 解析条件および解析ケース

境界条件として、軸重 160kN 程度が作用するよう車輪の重心位置に鉛直集中荷重として与えた。また、車軸、軌道スラブ、CAモルタルの対称面の法線方向を拘束することで1/2モデルを再現している。CAモルタル底部の鉛直方向を拘束した。レールの凹凸は振幅最大、約0.3mmの波形を入力している。本研究では車両の走行解析を行う前に自重が作用して車両重量を軌道で支えられた釣り合い状態を作る解析を行っている。自重の釣り合い状態を再現後に走行速度、レールの凹凸を変えて軌道上の走行解析を行った。解析ケースは表-1に示す4ケースである。なお、レールの要素分割数は凹凸なしに比べて凹凸ありの時の方が非常に細かなものとなっている。

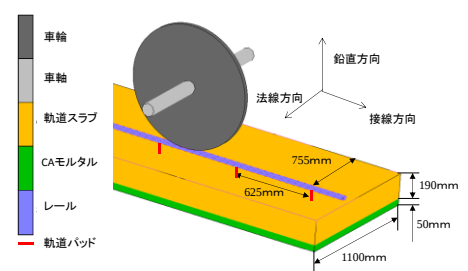


図-2 モデル寸法

キーワード 有限要素法, 振動低減, 走行速度, レール凹凸

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

車輪および車軸に入力した材料特性は、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。また、軌道の各部材の材料特性を表-2 に示す。レールに関してはモデル化を簡易にするため、密度および弾性係数については、60kg レールと同等の質量と曲げ剛性を有することを条件に、等価な密度と弾性係数を求めて使用した。

3. 解析結果と考察

車輪のモデル化においては、自重解析で得られた車輪内の鉛直応力分布を用いて、最大値（最外縁要素）の 10%以上の応力を示す範囲を対象に、アスペクト比が概ね 1 対 1 となるように細かな要素分割を行った（図-3）。表-1 の Case1～Case4 の走行荷重時刻歴波形を、図-4 (a) および (b) にそれぞれ示す。グラフは接線方向 625mm、法線方向 1100mm の評価範囲で求めた鉛直反力の総和であり、車両の前方 2 車輪が通過した時間帯のものである。なお、図-4 中の各矢印は各走行速度の評価範囲の接線方向中央を通過時の目安である。

3.1. レール凹凸なし

図-4 (a) より、レールに凹凸が無い箇所では走行速度を変えた Case1 と Case2 を比較すると、速度 320km/h、260km/h とともにほぼ同様の波形が得られていることがわかる。車輪通過後のピーク値も殆ど変わらないことから、レールの凹凸が無い場合は走行速度の影響は殆ど見られないことが分かる。

3.2. レール凹凸あり

図-4 (b) より、レールに凹凸が存在する箇所では走行速度を変えた Case3 と Case4 を比較すると、速度 320km/h の場合は 260km/h の場合よりも振幅が大きく、また 2 番目の車輪通過時に大きな反力が生じる結果が認められた。

4. 結論と今後の課題

走行速度、レール凹凸の有無を考慮した新幹線の走行荷重解析を行った結果、レールの凹凸が無い場合は、走行速度が荷重のピーク値に与える影響は殆ど無いが、レールに凹凸がある場合には、走行速度が荷重に与える影響は無視できないことが確認された。

今後は、得られた解析結果の定量的な精度を確認するため、既往の研究結果と照らし合わせながら、台車・車体の特性を考慮したモデルを用いて、振動低減に効果的な軌道の材料特性について詳細な検討を行う予定である。

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.
- 2) 坂井宏隆, 高垣昌和, 林雅江, 相川明, 奥田洋司, 殷峻: 大規並列計算による車輪/レール間の転がり接触挙動の解析, RTRI REPORT Vol.27, No.10, Oct.2013

表-1 解析ケース

走行速度	レール凹凸	
	なし	あり
320km/h	Case1	Case3
260km/h	Case2	Case4

表-2 軌道の材料特性

	60kgレール	軌道パッド	軌道スラブ	CAモルタル
密度(g/cm^3)	75	-	2.45	1.6
弾性係数(N/mm^2)	2.835×10^8	-	3.1×10^4	1.2×10^3
ポアソン比	0.3	-	0.17	0.3
ばね係数(MN/m)	-	60	-	-

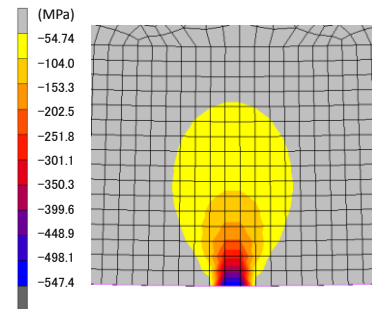
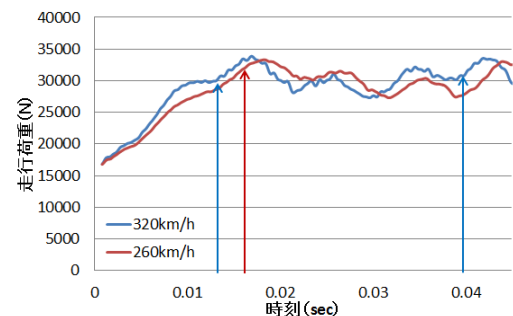
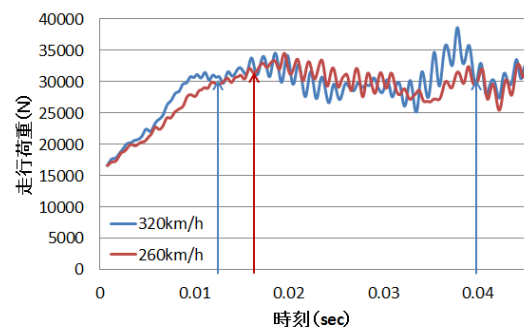


図-3 鉛直応力分布



(a) 凹凸なし



(b) 凹凸あり

図-4 走行荷重時刻歴波形