

IV-310 弾性接触理論を考慮した動的輪重シミュレーションモデルについて

(勸) 鉄道総合技術研究所 正会員 石田 誠

(勸) 鉄道総合技術研究所 正会員 三浦 重

1. はじめに

現在、日本を含む世界各国の鉄道で速度向上が大いに進められている。高速化によりレール頭頂面の凹凸特に、溶接部の凹凸が著大輪重を発生させることが考えられ、このことにより直接的には軌道材料を破壊しさらには軌道構造全体に多大な影響を与えることであろう。本研究は、レール頭頂面の凹凸により発生する動的輪重をヘルツの弾性接触理論を用いてレール/車輪間の接触ばねを非線形のばねとしたシミュレーションモデルを提案し、従来の線形接触ばねを用いたシミュレーションモデルと比較検討し、さらに台車より下の一車輪モデルと全車体モデルの比較検討を行ったものである。

2. シミュレーションモデル

図1および2に一車輪モデルと全車体モデルを示す。図1のモデルでは、レール/車輪間の接触ばねを線形の場合とヘルツの非線形接触ばねとした場合について検討した。図2のモデルでは、接触ばねはヘルツの非線形ばねとし、一車輪モデルでは扱ことが出来ない左右レールの片側に凹凸がある場合を検討した。また、ヘルツの非線形ばねを用いた一車輪モデルと全車体モデルについては、レールと車輪の双方が新品の場合と双方が摩耗した場合について検討した。

3. ヘルツの接触ばね

レールと車輪は三次元で接触するので、三次元のヘルツの弾性接触理論における力と変位（接触する弾性体の接近量）の関係を利用してレール/車輪間の非線形ばねを考えた。関係式を以下に示す。

$$P = K_c * \delta^{3/2}, \quad 1/K_c = \left(\frac{3}{8\pi\mu} \right)^{3/2} \cdot \left\{ \frac{8(m^2-1)}{m^2 E} \right\} \cdot (\delta \sum \rho_i)^{1/2} \cdot J^{3/2}$$

ただし、 P ；輪重、 δ ；変位、 μ ；両弾性体の主曲率面間の角度を含む円積分値、 J ；接触だ円の長径と短径の比をパラメータとする円積分値、 $\sum \rho_i$ ；主曲率の和、 E ；縦弾性係数、 m ；ポアソン比

ここで輪重変動を考えると、

$$\Delta P = K_c * (\delta + \delta_0)^{3/2} - P_0$$

ΔP ；輪重変動、 P_0 ；静止輪重、 δ_0 ；静止時の変位
のようになる。

4. 計算条件

軌道の条件はバラスト軌道（軌道ばね係数50MN/m、軌道減衰係数0.15MN*sec/m）、50N レール（有効質量75kg）とし、車両の条件は電車特急485系に60人程度の乗車を仮定し、走行速度を100km/hとした。図3に計算を行うにあたり、仮定したレール頭頂面の凹凸形状を示す。なお、仮定する凹凸はすべて正弦波とした。ヘルツの非線形接触ばねについては、レールと車輪の双方

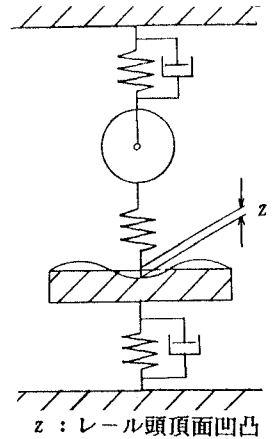


図1 一車輪モデル

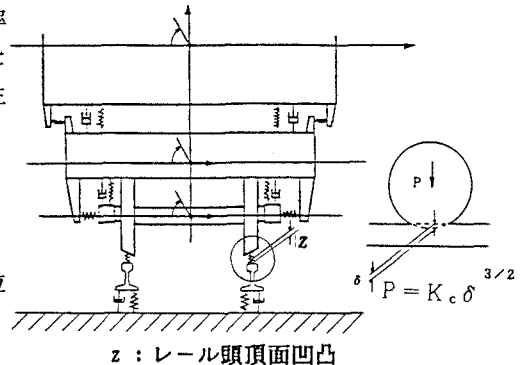


図2 全車体モデル

が新品の場合(レール頭頂面の断面方向の曲率半径を0.3m)、車輪踏面の断面方向の曲率半径を無限大とした。)と双方が摩耗した場合(レール頭頂面の断面方向の曲率半径を1.2m、車輪踏面の断面方向の曲率半径を2.25mとした。)を仮定した。線形接触ばねについては、ばね係数を従来から用いられている1961MN/mとした。

表1 輪重変動計算結果

	一車輪モデル		全車体モデル			
	線形接触ばね	ヘルツ接触ばね	凹凸両側		凹凸片側	
			新品	摩耗	新品	摩耗
ケースⅠ	11.8	11.9 11.8	12.8	12.8	11.5	11.4
ケースⅡ	178	189 211	173	211	178	171
ケースⅢ	46.1	46.2 46.2	46.2	46.2	40.7	40.4

(単位 kN)

4. 輪重変動計算結果

計算結果を表1に、代表的なシミュレーション波形を図4に示す。以下に、計算結果を述べる。

- (1) 線形接触ばねとヘルツの非線形接触ばねについては、ケースⅠとⅢではほぼ一致しているが、ケースⅡで非線形ばねの方が大きい。
- (2) 一車輪モデルと全車体モデルについては、ケースⅠで全車体モデルの方が少し大きい、ケースⅡおよびⅢではほぼ同様な値である。
- (3) レールと車輪の新品断面と摩耗断面については、ケースⅡを除くとほとんど変わらないが、ケースⅡではレールの片側に凹凸がある場合には摩耗断面の方が大きい、両側に凹凸がある場合は摩耗断面の方が大きい。
- (4) レールの片側と両側に凹凸がある場合については、両側に凹凸がある場合の方がほとんどの条件で大きい。

5. まとめ

- (1) 波長が1m程度の凹凸においては、線形接触ばねとヘルツの非線形ばねはほぼ同様な結果が期待できるが、溶接部のような波長10~20cm程度の凹凸においては、同様な結果は期待できない。つまり、線形接触ばねモデルは、凹凸の波長によりばね係数を変える必要があるものと考えられる。
- (2) レールと車輪の新品断面と摩耗断面の輪重変動に与える影響は、凹凸の波長が10~20cm程度より大きい場合は大きくないが、それより小さい場合については大きいと考えられる。
- (3) 一車輪モデルと全車体モデルについては、全車体モデルに両側の凹凸を考えた場合が一車輪モデルにあたり、ほぼ同様な結果が得られた。
- (4) 今後は、実測データによる検証はもちろんのこと、凹凸波形について正弦波以外のものも含めて、特に溶接部の短波長凹凸におけるシミュレーションの深度化が必要である。

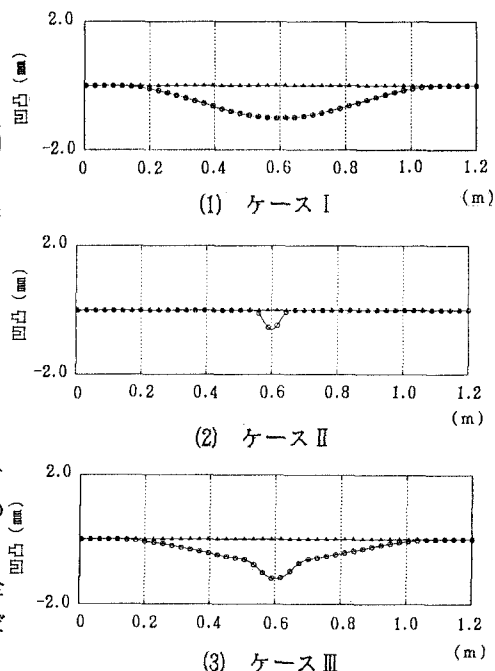


図3 計算に用いた凹凸形状

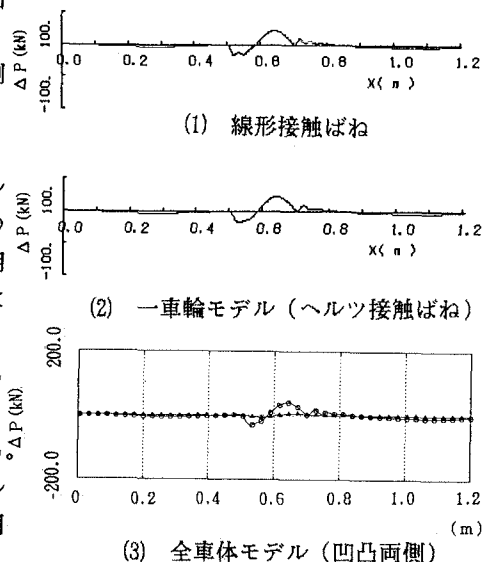


図4 シミュレーション波形(ケースⅢ)