

東大 正 角 知憲
東大 正 松本義司

1. はじめに

在来型の都市鉄道の発生する騒音では、車輪がレール継目を通過する際の衝撃に起因する成分が支配的なものである。この衝撃により、車輪とレールの接触点付近から発生する騒音については、東京都営地下鉄三田線のコンクリート高架研石道床区間における実測から、車輪が主要な音源であると推定できることは既に報告した。(前回全国大会)今回は、従来の実測結果に基づいて、レール継目における車輪・軌道の挙動、及び騒音発生機構を振動学的に考察し、各種の防音対策を考える際の一助とすることを試みたものである。

2. 解析モデル

継目衝撃音は主として車輪の面外振動により生じると考えられるので、モデルは、垂直面内、水平面内の挙動の連成を可能とするものでなければならない。このような連成を生じさせる要因としては、①枕木、車輪の曲げ振動、②レールの小返り、③車輪の踏面勾配、④車輪とレールの接触点のレールに対する偏心、などが挙げられる。このような要因を導入でき、レール継目付近の軌道構造の不連続性を考慮することが容易であることから、計算モデルとしては有限要素法による数値解析モデルを採用した。

モデルの設定にあたって、次のような仮定をした。

- 1) 車輪、軌道とも線型系である。
- 2) 車輪、軌道とも左右対称である。
- 3) レールは車輪荷重によって一様に小返りし、小返り角は車輪の踏面勾配に一致する。
- 4) レールはTimoshenko梁として挙動する。
- 5) ボギー側梁は疑似固定点とみなすことができる。

これらの仮定に基づいて設定したモデルを図-1に示す。

図中、 K_s , K_p , K_H は各々軸バネ、レールパッド、および、車輪・レール間の局部的接触変形によるバネを意味し、 S_w , S_c は木枕木、コンクリート枕木のレール締結部における駆動点スティフネス、 W は車輪踏面の駆動点スティフネス(隣接車輪)、 R は軌道モデルの境界として弾性支承上の半無限梁の端部を加振する場合の曲げ波を考慮した駆動点スティフネスを数値的に与えたものである。

3. 計算手順

図-1のような複雑な系の過渡応答解析を行なうために騒音の解析に要求される計算の精度がそれほど高くないことを念頭におきながら、次のような計算手順を採った。

- 1) 車輪系、軌道系別々に、各々をサブシステムに分割して他のサブシステムとの接合点のスティフネスを計算し、次のシステムの拘束条件とする方法で、車輪踏面(図-1のA点)、レール踏面(B点)の周波数応答関数を

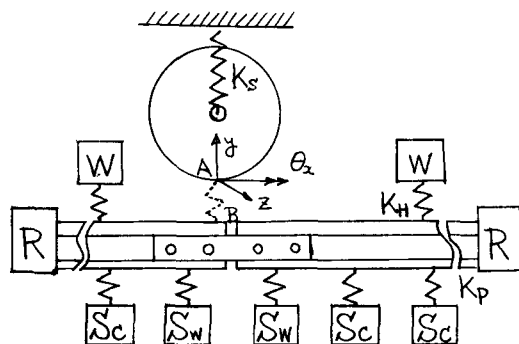


図-1. 車輪・軌道系モデル

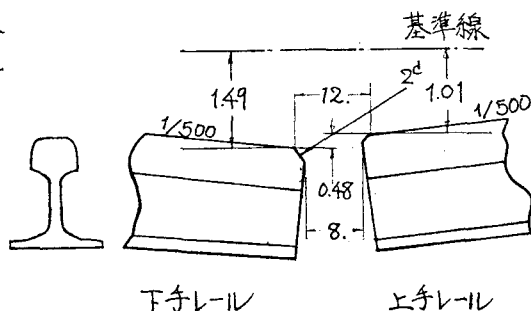


図-2. レール継目の不整(単位mm)

(都営三田線西台～高島平間7ヶ所の平均値)

計算する。

2) A, B各点の周波数応答関数は、系のダンピングを無視して有限個の共振、反共振点を与える解析関数で近似し、フーリエ積分によりインディシアル応答を計算する。

3) このインディシアル応答に、レール継目部における不整を用いて、車輪がレール遊間において空中に飛び出してから下り側のレールに接するまでの車輪、レールの挙動を推定する。この時、継目におけるレールの不整としては、三田線の現場における測定から、図-2のような値を使用した。

4) 車輪、レールの踏面を、両者の接触変形のパネ作用を考慮しつつ結合し、そのA点、B点に、3)で算出した車輪・レールの衝突速度を初速度として与える仮想的なインパルス入力を、2)と同様の方法で計算する。

5) この仮想的インパクト入力を、周波数成分に分け、車輪、レールの剛性によって分配する。

6) インパクト入力の分担分と、大きさを静的な輪重に一致するステップ入力とを加えて、車輪、又はレールに対する入力とし、各々の応答スペクトルを計算する。

7) 計算スペクトルは、データ処理に使用した計器(レベルレコーダ)の応動特性による補正を行なって、実測値と比較する。

4. 計算結果と考察

車輪がレール遊間を通過し、再び下り側レールと接触する際の車輪、レールの速度は計算上、次のようであった。

車輪	下向き	11 cm/s
	外向き	1.3 cm/s (踏面勾配による成分を含む)
レール	上向き	32 cm/s
	外向き	15 cm/s
	振り	1.3 rad/s (外向き)

また、前項6)の入力により、レール継目端の垂直方向加速度、及び車輪の面外振動による音響圧力を計算し、7)の補正を行なった結果を図-3、4に示す。

両図とも、一部の周波数領域を除いて、実測値と計算値が比較的良好一致していることを示している。

なお、計算値は50~63 Hzの低周波、及び図に示さなかった1.6 kHz以上の高周波領域で実測値と大きく異なっているが、低周波領域での相違は実軌道にある非線型性(空隙)の効果のため、高周波領域での相違は車輪の波動伝播を考慮し得なかったためではないかと推測される。

その他、継目の輪重載荷時の動的な不整が把握できなかったこと、多少ともある車軸の非対称性を考慮しなかったこと、計算技術上の問題から、車輪の面内、面外の振動の達成を無視したこと、などの問題点を残しているが、継目衝撃音の発生に関わる現象を、おおむね追跡することができ、防音対策としての軌道構造や車輪の改修の効果を評価する手段の一つとなり得ると考えている。

