

レール継ぎ目部の不連続性を考慮したレールの動的応答に関する研究

○ 九州大学工学部

学生会員 弟子丸 将

(株) 九州電力

正会員 池田 健一

九州大学大学院 工学研究科

学生会員 中村 哲

九州大学大学院 工学研究科

正会員 角 知憲

1. はじめに

あらゆる軌道システムにおいて発生しているレール劣化現象の一つに波状摩耗がある。これは主に鉄道急曲線区間で波高数ミリ、波長数センチの正弦波状の摩耗がレール頭頂部に発生する現象で、発生要因の一つとしてレール小返り振動が考えられている。

本研究では、レール小返り振動を扱う際には特にレール継ぎ目部の挙動を把握することが重要であると考え、レール継ぎ目部の存在による不連続性を考慮した上で、その動的応答の解析・検討をおこなった。

2. 振動モデルの構築・解析

①レール小返り振動のモデル化

本研究において軌道の不連続性を考慮したレール小返り振動を解析したが、その際に図-1に示すようなモデルを仮定した。このモデルにおいて、 $K_{\theta'}$ 、 K_y' は軌道の不連続性を考慮するために導入した駆動点スティフネスである。(2-②参照) 軌道振動を解析する際は、レール小返り振動モデルを把握することが必要であると考え、まずレール小返り振動のモデル化をおこなった。

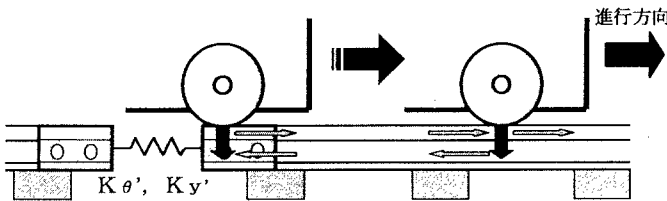


図-1 軌道振動モデル

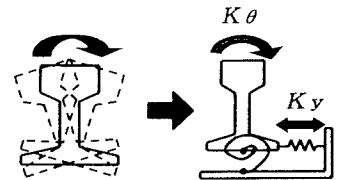


図-2 レール小返り振動モデル

本研究において仮定したレール小返り振動モデルを図-2に示す。

本研究においてはレール小返り振動のモデル化に際し、モデル図に表したように横曲げ振動とねじり振動モードに分けて振動を扱い、これらを合成したものをレール小返り振動として取り扱った。

また、図-3はモデルを用いて計算した値と実線において行った実験による値を表している。これよりレール小返り振動モデルに関して妥当性はあると判断した。尚、この適合によって用いられた物性値はPCマクラギ区間の一般的な物性値として考えられ、本研究において計算を行う際にはこれらの値を用いることとした。

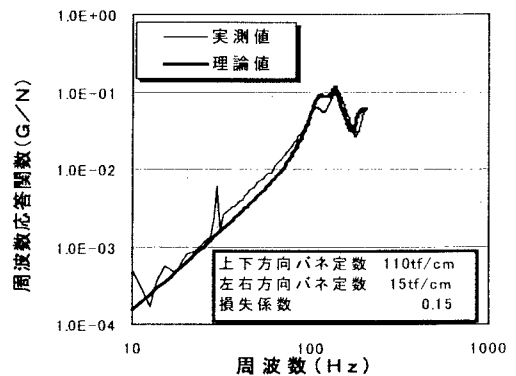


図-3 実験値との適合

②周波数応答関数の計算

図-1のモデルにおいて軌道の不連続性を考慮した振動の計算を行うための境界条件を数値的に与えるため、弾性支承上のレールの継ぎ目における駆動点スティフネスを導入した。この駆動点スティフネスにレール小返り振動モデルを導入することで軌道の不連続性を考慮した振動解析が可能となり、入力された振動に対する周波数応答関数が得られる。

その際、考慮すべき梁の挙動として曲げ・ねじり波伝播速度があるが、伝達速度は約4000m/secであり、それと比較して反射波の速度は非常に小さいため、連行車輪や締結装置からの反射波の影響は無視しても差し支えないと判断した。

③滑り速度の検討

車輪・レール間に生じた車輪の滑り速度や摩擦力の大きさによっては、滑り率と摩擦力の小さくなる領域、即ちネガティブダンピング領域に至り、この時レール小返り振動を助長する可能性がある。よって、振動に対する滑り速度を周波数応答関数を用いて計算し、その影響について検討をおこなった。

3. 数値計算結果及び考察

軌道振動モデルについて、数値計算を行った結果を図-4, 5, 6に示す。

図-4に異なる車輪位置（レール端点からの距離）における、周波数と周波数応答関数（加速度）の関係を示す。これより卓越周波数が100Hz付近に存在することが分かる。

この卓越周波数付近においては、車輪位置と周波数応答関数（加速度）の関係を調べたところ、特に継ぎ目部に車輪があるとき、これより応答が大きい周波数帯が存在することが分かった。

また図-5, 6に車輪位置が異なる場合の時間と滑り速度の関係を表す。レール継ぎ目部($x=0$)における滑り速度は、レール中央部($x=100$)における滑り速度に比べ大きく、レール・車輪間の動摩擦係数が大きくなり、小返り振動の変位を大きくする可能性がある。

4. 結論

本研究において、滑り速度はレール中央部に比べ継ぎ目部で大きくなり、その結果継ぎ目部でのレール小返り振動の変位も大きくなると分かった。これより、レール継ぎ目部において滑り速度を抑えるような加工を施すことでレール小返り振動を減衰させることが出来るのではないかと推測される。

今後、本研究においては無視した連行車輪の影響に関して更に検討を加え、必要であればその影響を加味した解析をおこない、本研究と比較する必要があると考えられる。

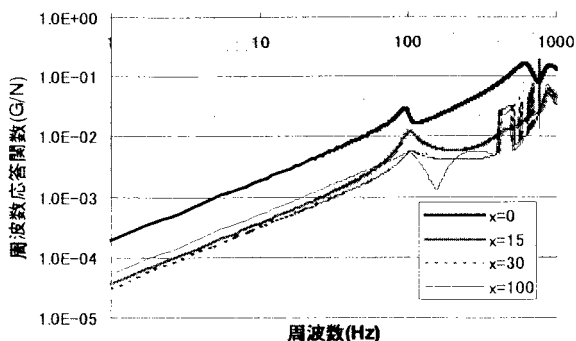


図-4 車輪下レールに於ける周波数応答関数

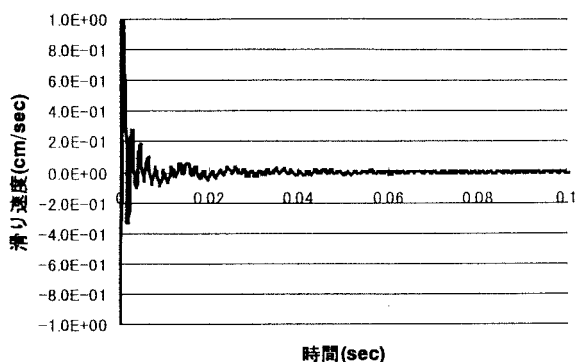


図-5 滑り速度($x=0$)

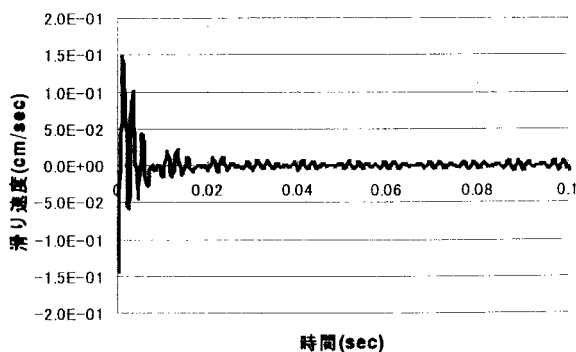


図-6 滑り速度($x=100$)