

レール継ぎ目における小返り振動特性

九州大学大学院 工学研究科	学生会員	池田 健一
九州大学大学院 工学研究科	正会員	角 知憲
九州大学大学院 工学研究科	正会員	壇 和喜

1. はじめに

近年、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。これは鉄道急曲線区間を中心に波高数ミリ、波長数十センチの正弦波状の摩耗がレール頭頂面に発生する現象であり、この発生要因としてレール小返り振動が有力視されている。

本研究は、軌道上の弱点であるレール継ぎ目部がレール小返り振動に与える影響を考慮し、この振動動特性を明らかにすることを目的とするものである。

2. レール小返り振動のモデル化

レール小返り振動とは、レールが列車通過時に伴う横圧によってレールベースを中心に回転する振動のことである。(図-1左参照) この現象は主に鉄道急曲線区間で発生し、列車走行速度・曲率半径・カントの状態により回転方向・変位量などの影響を受ける。

このレール小返り振動のモデル化を行う際に、この振動を横曲げ振動モードとねじり振動モードに分けて扱い、それらを合成したものがレール小返り振動であるとしている。(モデル：図-1右)

また理論値との適合の際には、平成8年にJR長崎本線小長井保線区において行われたインパルスハンマーによるレール打撃応答試験¹⁾から得られたデータを用いており、その結果は図-2の通りである。

この結果、波状摩耗のピッチと列車速度から求められる周波数に対応している120Hz付近の周波数帯域において、横曲げ振動による影響は少なく、ねじり振動モードがほぼ小返り振動モードとして影響していることが分かった。

そこでこの周波数帯域の主成分であるレールのねじり振動についてさらなる解析を進めた。

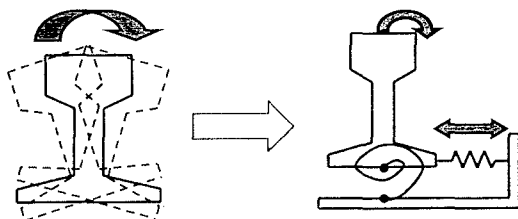


図-1 レール小返り振動モデル

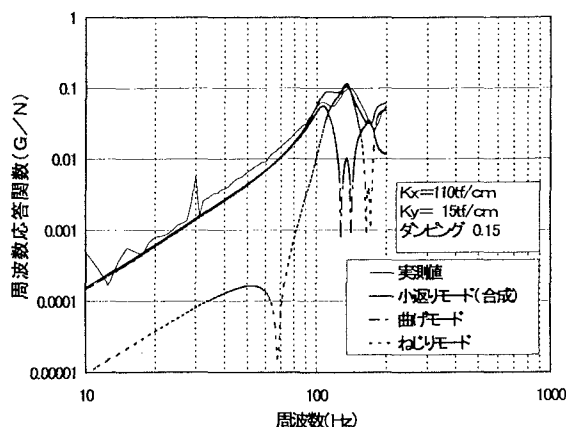


図-2 実験値と理論値の適合

3. 継ぎ目部の影響を考慮したモデルの構築

軌道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継ぎ目における駆動点スティフネス ($K\theta'$) を計算する。その際考慮すべき梁の挙動としてねじり波のレール伝播速度がある。

そこで、レールでのねじり波伝播速度を計算した結果を図-3に示す。

ねじり波の伝播速度は周波数依存性があり、そ

のピークでのねじり波伝播速度はレール中央部においてダンピング(C)が0.15の時、約4000m/secであることがわかった。これは鉄の疎密波の値にはほぼ一致している。また、継ぎ目部においてはねじり剛性が他の箇所より大きいことから固有振動数が低く、伝播速度は小さくなっている。

さらに、レールの固有振動数が80Hzであり、連行車輪、締結装置からの反射速度のオーダーがねじり波伝播速度に比べて一桁以上も小さいことから、これらによる反射波の影響を無視しても差し支えないと判断し、図-4のようにねじり振動の伝播を模式化した。

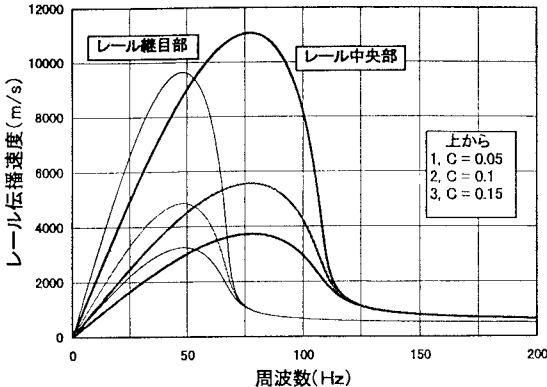


図-3 レールねじり波伝播速度

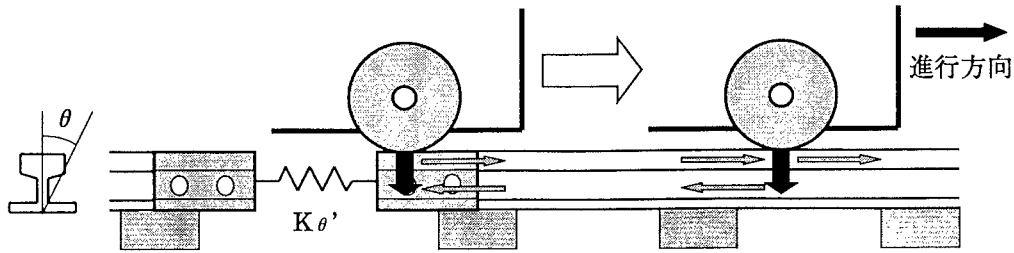


図-4 レール継ぎ目部を通過するボギーの模式図

4. 数値計算結果

列車車輪下におけるレールの小返り振動動特性を計算した結果、図-5、6のような結果が得られた。

図-5はある車輪位置でのレールの周波数応答を表したものである。これから卓越周波数が120Hz程度であることが分かる。

また、図-6はその周波数における車輪位置別のレール周波数応答を調べたものである。この結果、継ぎ目部に車輪があるとき、応答が大きい周波数帯域が存在することが分かった。

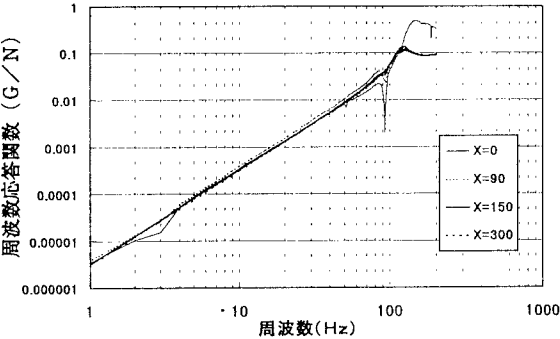


図-5 車輪下のレールにおける周波数応答

5. 結論

レール継ぎ目部の影響を考慮するため、駆動点ステイフネスを取り入れた解析計算を行った結果、レール波状摩耗の周波数成分であり、レール小返り振動の卓越周波数でもある120Hz帯域において、レール継ぎ目部の周波数応答が大きいことが分かった。これはレール継ぎ目部の伝播速度、ねじり剛性等が影響しているのではないかと推測できる。

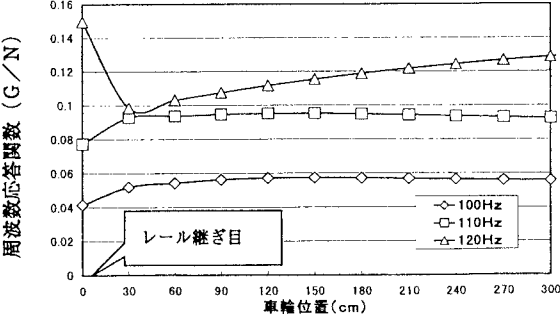


図-6 卓越周波数での車輪下レールの応答

(参考文献) 1) 池田健一, 急曲線内軌レールに発生する波状摩耗の基礎的研究 九州大学卒業論文 1997