

東京大学 正 田代充宏

正 松本嘉司

正 大嶋孝二

## 1. はじめに

レール上を車輪が走行する場合、レール・車輪の微細な凹凸により、両者に振動を生じ騒音を発生するメカニズムについては理論的考察が行われている。<sup>1)2)</sup> 一方、車両の製造技術の進歩により、輪軸の重量も減少してきている。そこで、理論的考察を踏まえて、輪軸質量の低減が騒音・振動に与える効果とその限界を考えてみる。

2. 一般部足行時の車輪とレールの相互作用<sup>1)</sup>

凹凸のあるレール上を凹凸のある車輪が走行する場合、右図を参照する。

$$y_w = y_r + r + w \quad (1)$$

ここに、 $y_w$ : 車輪基準面の垂直位置、 $y_r$ : レールの位置、 $r$ : レールの表面粗さ、 $w$ : 車輪の表面粗さである。(1)式を時間で微分し、レールの速度 $v_r$ を下向きを正にとり、車輪の速度 $v_w$ を上向き正にとると

$$v_r + v_w = \dot{r} + \dot{w} \quad (2)$$

上式をフーリエ変換し、レール頂面の機械インピーダンスを $Z_r$ 、車輪踏面の図-1. レール上を走行する車輪

$$F = (Z_r Z_w / Z_r + Z_w)(V_r + V_w) \quad (3)$$

ここに、 $V_r$ 、 $V_w$ それぞれ、 $\dot{r}$ 、 $\dot{w}$ のフーリエ変換である。 $r$ と $w$ には相関はないとすると、 $F$ のパースペクトル $S_f(w)$ は、 $r$ 、 $w$ の空間スペクトル $S_r(k)$ 、 $S_w(k)$ を用いて次のように表わされる。

$$S_f(w) = |Z_r Z_w / Z_r + Z_w|^2 [S_r(k) + S_w(k)] w^2 / U \quad (4)$$

ただし、 $w = kU$ 、 $w$ : 円振動数、 $U$ : 走行速度である。

騒音領域の周波数帯で垂直方向振動を考える場合、輪軸を集中質量とみなすと<sup>2)</sup>

$$Z_w \approx i m \omega \quad (5)$$

ここに、 $m$ : 輪軸の質量である。また、レールをばね支持上の無限長の梁とみなせば、その頂面の周波数応答関数 $H_R$ は図-2に示すようになる。<sup>4)</sup> 十分周波数の高い領域では、 $H_R \approx -1/m \omega^2$ となるような実効質量 $m_e$ を用いて、図中破線に示すように

$$Z_R \approx i m_e \omega \quad (6)$$

とすると(4)式は、近似的に次のように書くことができる。

$$S_f(w) \approx |m_e m \omega / m + m_e|^2 [S_r(k) + S_w(k)] w^2 / U \quad (7)$$

上式を用いて輪軸軽量化の効果をおおよそ知ることが出来る。

## 3. 輪軸軽量化の効果の実験的検証

輪軸重量の相異なる2つの車両タイプとして、広島電鉄3000形と同3500形(軽快電車)をとりあげる。

3500形は電動機の装備方式の変更、中空車軸の採用により、高周波振動に影響する1輪当り重量が3000形560 kg に比べ280 kg と半減している。(輪軸および弾性体を介する輪軸に装着される重量物の総和である。)

走行実験は、広島電鉄島根の五日市・楽々園間の碎石道床軌道を使用し、昭和55年9月4日、および13日に行、た。軌道、および地盤の振動を計測し、 $1/3$  オクターブ分析を行、たが、図-3に測定した点の一部の位置を、

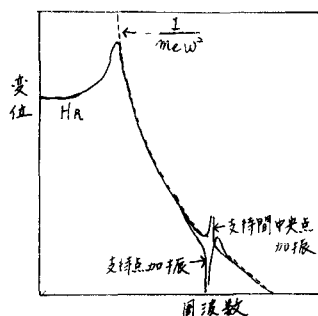
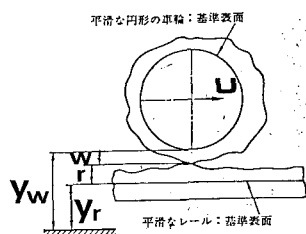


図-2 レール周波数応答<sup>4)</sup>

また、図-4,5,7には、その点の測定結果を示す。図からわかるように、軌道振動には有意な減少がみられるが、同波数の低い地盤振動では変化がない。

#### 4. 数値計算と考察

数値的にレールの周波数応答関数を計算し、 $m_c$ を求めたところ、約1200 Kgであった。 $S_A(k)$ 、 $S_W(k)$ に変化がないとすると、(7)式より $S_f(w)$ は約5dB低下することが期待できる。3000形実測値に対し、この低下量を考慮して3500形の予測値としたものを図-4中に書き入れてある。また、車外騒音<sup>3)</sup>(図-3中のM-3)についても同様の処理を行、てみたが、図-6に示すようにレール振動と同様の結果を得た。

実測値は予測値よりさらに小さい。その理由としては、

(1) 車軸の曲げ変形その他の弾性変形を考慮せず輪軸質量を与えたが、動的には、これらの影響が考えられる。

(2) 3000形と3500形とで、 $S_W(k)$ に相異がある、可能性はある。

ことなどがあげられる。レール振動の変化と走行騒音の変化は良く対応しているので、いずれにせよ、輪軸の軽量化は、相応の騒音低減効果を有すると言える。

#### 5. 結論

一般部走行の場合、輪軸の軽量化による騒音低減効果は確認された。問題は、車内製作技術の工で、これ以上どれだけ輪軸質量を減少できるかである。また、輪軸軽量化により、地盤振動の軽減は期待できない。

- 参考文献 1) 凡・リヨン(松本嘉司監訳) 交通騒音 技報堂  
2) 佐藤吉彦 軌道高周波振動の理論解析 鉄道技研報告 No. 1013  
3) 日本鉄道技術協会 軽快電車の走行実用実験研究報告書  
4) 森藤良夫 等間隔ばね支持されたはりの振動の解法とレール振動への応用 鉄道技研報告 No. 1118

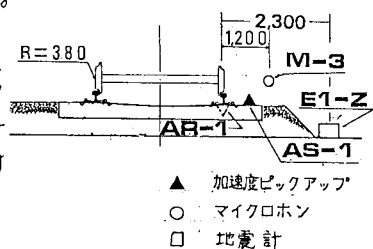
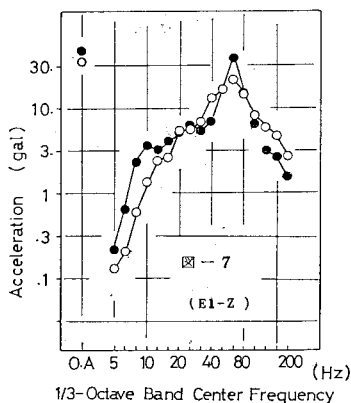
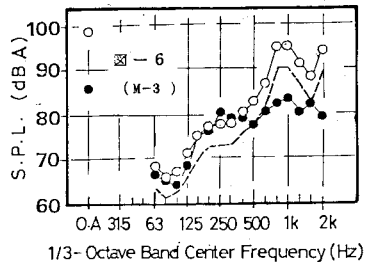
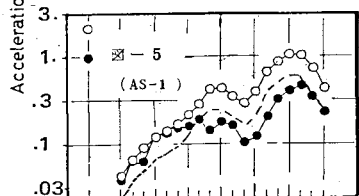
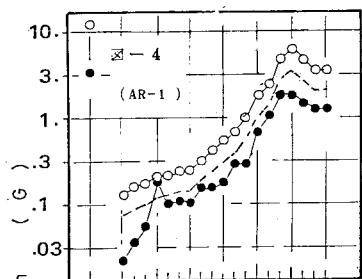


図-3 測定点



○ 3000型車両  
● 3500型車両  
----- 予測値  
走行速度 60 Km/h