

国鉄・鉄道技術研究所 正員 佐藤吉彦

国鉄・鉄道技術研究所 正員 須永陽一

1. はじめ

鉄道における騒音振動の低減に関連して、各種軌道の開発が進められているが、列車走行に先立ってその効果を確認し、列車走行時に地上各部に発生する振動を予測する方法として、輪軸落下試験が有効であろうことについて、昨年度の当土木学会年次学術講演会において報告した¹⁾。しかし、この方法を具体的に適用することになると、その解析システムの構成に際していくつかの留意すべき点があることが明らかにされた。そこで、これらの検討を含めて、この解析システムの開発について以下に報告する。

2. 輪軸落下により地上に発生する振動と列車走行により地上各部に発生する振動

昨年度の報告のうち、この解析システムの開発に関連する部分の概要を述べれば次のとおりである。

まず、輪軸落下試験について、そのモデルを図1のようにとり、輪軸が $\alpha=0$ のときに輪軸/レール間の接触ばねを介して接触し、このとき $v=\sqrt{2g\alpha}$ （ここで、 α : 落高）という初速度で軌道を衝撃するものとし、得られるデータを $1/3$ オクターブバンドのエネルギーレベルとして、 $0.001g$ を 0 dB として dB 表示するとした場合に於て、地上各部の振動加速度は

$$\text{DB}(Y_{\text{add}}) = 20 \log_{10} \left\{ \frac{\Delta M V}{\pi g} \cdot \left| \frac{W^3 \bar{K} \text{ARY}_i(j\omega; X)}{K - \bar{M}W^2 - \bar{K}MW^2 \text{AR}(j\omega)} \right| \right\} + 60 \dots (1)$$

（ここで、 $\Delta = 10^{\frac{\log 10^2}{2}} - 10^{\frac{\log \alpha^2}{2}} = 0.2316$ 、 g : 重力加速度）と与えられる。

一方、列車走行による地上各部の振動については、これを車輪/レール間の凹凸による加振として解析から振動加速度の $1/3$ オクターブバンドレベルが

$$\text{DB}(S_{RY\text{add}}) = 20 \log_{10} \left\{ \frac{\sqrt{A} \Delta M V}{\pi g} \cdot \left| \frac{W^3 K \text{ARY}_i(j\omega; X)}{K - MW^2 - KMW^2 \text{AR}(j\omega)} \right| \right\} + 60 \dots (2)$$

（ここで、 A : 車輪/レール間凹凸の係数、 V : 走行速度、 M : 車両ばね下質量、 K : 車輪/レール間接触ばね係数）と与えられる。

この両式で、特に $\bar{M}=M$ 、 $\bar{K}=K$ の場合には、1内の式が等しくなることから換算落高 α が

$$\alpha = \pi A V^2 / (2g \Delta)$$

と与えられるということであった。

3. 解析システムの構成と問題点の検討

この解析システムの構成の全体図を示したのが図2である。

すなわち、輪軸落下試験で得られる衝撃力として地上各部の振動加速度等のデータを A/D 変換して、必要なフィルタ処理を行ない、引続いて高速フーリエ変換を行なって軌道アドミタンス AR および伝達関数 ARY_i を求めて、必要なパラメータとして $\bar{M}$ 、 $\bar{K}$ 、 M 、 K 、 A 、 V を α 等を入力し、列車走行時の振動加速度の予測値を $1/3$ オクターブバンドレベルとして求めようというものである。

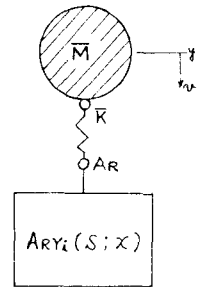


図1 輪軸落下試験のモデル

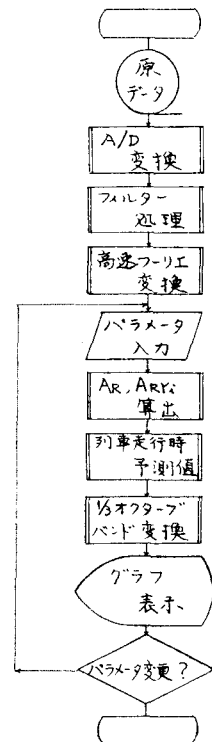


図2 解析システムの構成

この際、問題となるのは次の2点である。

(1) フィルター特性

(2) 高速フーリエ変換の結果から $1/3$ オクターブバンドレベルの変換

ここで、(1)は実際の列車走行の場合には車輪/レール間の接触部において接触点円が形成され、これより短い波長の車輪/レール間の凹凸による加振は低減されるのに対して、輪軸落下による場合にはこの部分にも加振周波数成分をもってしるので、これをローパスフィルターによってカットしようというものである。この接触点円の長径 C は

$$C = \alpha \cdot \sqrt[3]{P \cdot \frac{D_w D_r}{D_w + D_r} \cdot \left(\frac{1 - \nu_w^2}{E_w} + \frac{1 - \nu_r^2}{E_r} \right)} \quad (3)$$

(ここで、 α : 定数、 P : 輪重、 D_w : 車輪直径、 D_r : レールの曲率直径、 E_w, E_r : 車輪、レールのヤング係数、 ν_w, ν_r : 車輪、レールのポアソン比)と与えられ、これを新幹線の場合について計算すると、 7.1 mm と与えられ、カットオフ周波数は 210 km/h の場合には 3645 Hz となる。

次に、(2)の高速フーリエ変換の結果を $1/3$ オクターブバンドレベルに変換する問題であるが、軌道の振動データをフーリエ変換すると、これはデータの有効長とウィンドーの問題に關連するのであるが、通常極めて凹凸の激しいデータが得られ、真の卓越周波数を明らかにできない場合が多い。そこで、このような段階では、むしろ $1/3$ オクターブバンドレベル程度の解析を行なう方が大勢を誤らないと考えられる。ここで、データから $1/3$ オクターブバンドレベルを得る方法としては、直接データにデジタルフィルターを掛ける場合と、高速フーリエ変換を行なったデータからこれを得る場合とが考えられる。

この際、輪軸落下試験によるデータは有限の確定現象であることに着目する必要がある。ということ、この場合には、 $f(x)$ のフーリエ変換を $F(u)$ とすると、パーセバルの定理から導かれるエネルギー定理(レイリーの定理)により

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} |F(u)|^2 du$$

が成立するというものである。

したがって、輪軸落下によるデータから $1/3$ オクターブバンドに相当するエネルギーレベルを求める際には、高速フーリエ変換を行なったデータを2乗したもののついでに $1/3$ オクターブバンド間の和を求めれば良いことになる。逆に、時間領域のデータからこれを求めるためには、時間領域のデータを $1/3$ オクターブバンドフィルターを通して、これの2乗和を求めれば良いことになる。

4. 解析結果

以上のシステムにより実際に解析を行ない、列車走行データとの比較を行なった結果の1例を示したのが図3である。

この結果によれば、全体のレベルと周波数に応じた順きの程度は、車輪/レール間の凹凸の状態によって異なるので、これを別とすれば大域的特性においては、ほぼ合致して居ると言えよう。

文献

1) 佐藤吉彦「輪軸落下試験による列車走行時に地上各部に生ずる振動の予測」第33回土木学会年次学術講演会講演集Ⅳ-133、昭和53年9月。

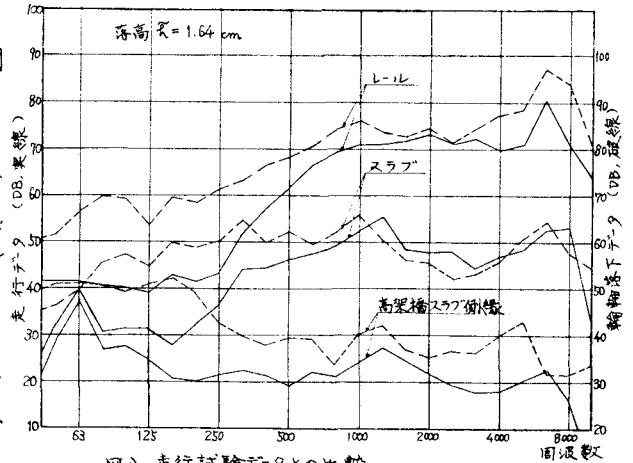


図3 走行試験データとの比較