

N-312

地下鉄防振まくらぎ軌道の周波数特性に関する一考察

東京都立大学
東京都立大学
東京都交通局

学生員 ○山沢 哲也
正会員 長嶋 文雄
正会員 古田 勝

1.はじめに

本研究では地下鉄防振まくらぎ軌道を対象にして行った輪軸落下試験及び車両の走行試験の結果から、防振まくらぎの防振性能について周波数領域から考察を行うとともに、車両の走行によって軌道に発生したと思われる入力加速度波の推定を試み、その周波数特性を示した。

2.防振まくらぎの振動性能試験

地下鉄防振まくらぎの振動性能を、表-1に示す3種の試験を行い確認した。試験対象となる軌道は、A・B・Cの3種の防振まくらぎ軌道と、「D:コンクリート直結」軌道の併せて4種類である。各軌道は、図-1に示す4か所の測定点で振動加速度の測定を行った。

3.周波数伝達関数

図-2に輪軸落下試験(実線)と軌道モーター走行試験(破線)における軌道の測定点間の周波数伝達関数の例を示す。この結果から次のようなことがわかった。

1)各軌道の周波数伝達関数は、各軌道の種類ごとに異なるが、試験方法の違いによる差は少ない。

2)「まくらぎ→道床」間の周波数伝達関数の

値は0.1～0.4程度であり、各周波数帯とも一様に振動が減衰する傾向にある。

3)「道床→下床」間の周波数伝達関数の値は1.0程度である。

これは「道床」「下床」間では各周波数成分があまり減衰せずに伝播していることを示している。

4.車両の走行による軌道への入力波

4.1入力加速度波の推定方法

①まず不規則な外力 $f(t)$ が系に作用する場合の系の応答 $y(t)$ のフーリエ変換 $Y[i\omega]$ は、この系に単位衝撃が作用したときの系の応答のフーリエ変換 $W[i\omega]$ (周波数伝達関数)と、外力 $f(t)$ のフーリエ変換 $F[i\omega]$ を用いて、

$$Y[i\omega] = W[i\omega] F[i\omega] \dots\dots\dots (1)$$

のように表すことができる¹⁾。

②軌道モーターの走行による軌道への入力波を「外力」とする図-1のような軌道構造系の「レール」について式(1)を適用すると、軌道モーター走行試験において「レール」で観測された振動波形のフーリエ変換 $Y[i\omega]_{\text{レール}}$ は、「レール」に単位衝撃が加えられたときの応答のフーリエ変換 $W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}}$ と、軌道への入力波のフーリエ変換 $F[i\omega]_{\text{外力}}$ との積で次のように表すことができる。

- 1)輪軸落下試験:重量約300kgfの輪軸を高さ2.5cmから落下。
 - 2)軌道モーター走行試験:速度20km/hと30km/hで走行。
 - 3)実車走行試験:都営12号線の車両を速度20km/hで走行。
- ・加速度波形は時間刻み=0.0002秒、データ個数=2048個で分析。

表-1 試験の内容

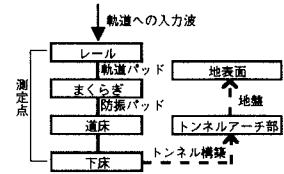


図-1 軌道振動の伝達経路

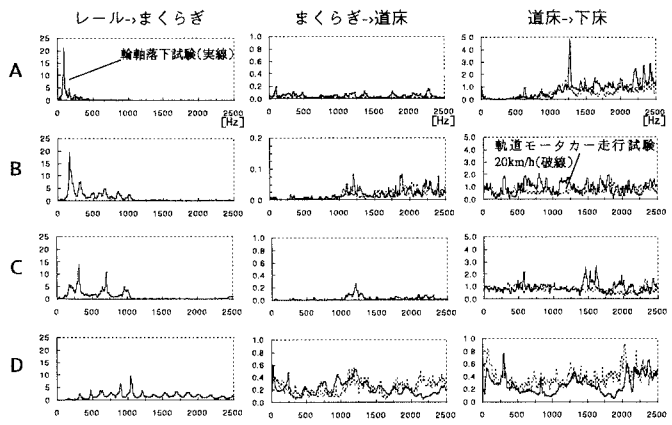


図-2 周波数伝達関数の例(軌道モーター走行試験は「レール」を未測定)

「レール」に単位衝撃が加えられたときの応答のフーリエ変換 $W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}}$ と、軌道への入力波のフーリエ変換 $F[i\omega]_{\text{外力}}$ との積で次のように表すことができる。

$$Y[i\omega]_{\text{レール}} = W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}} F[i\omega]_{\text{外力}} \dots\dots\dots (2)$$

すなわち軌道モーターの走行による軌道への入力波は、

$$F[i\omega]_{\text{外力}} = \frac{Y[i\omega]_{\text{レール}}}{W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}}} \dots\dots\dots (3)$$

と表すことができる。ここで、軌道モーター走行試験による「外力→レール」の周波数伝達関数は、輪軸落下試験によるそれと、本来同じものであるから(3)式は、

$$F[i\omega]_{\text{外力}} = \frac{Y[i\omega]_{\text{レール}}}{W[i\omega]_{\text{輪軸} \rightarrow \text{レール}}} \dots\dots\dots (3')$$

のように書き換えることができる。

③一方、輪軸落下試験に式(1)を適用すると、

$$Y[i\omega]_{\text{レール}} = W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}} F[i\omega]_{\text{外力}} \dots\dots\dots (4)$$

となるが、ここで「輪軸落下」という現象が、任意の定数 α を用いて「単位衝撃」の何倍かで表されるとすれば、

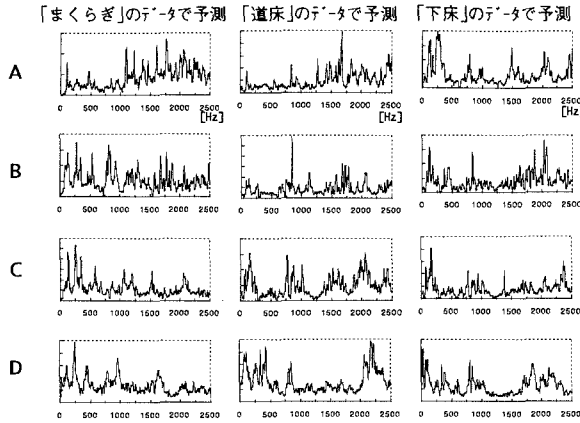


図-3 推定した軌道への入力波のフーリエスペクトルの例
(軌道モーターカー20km/h)スペクトル軸の目盛りは省略

$$Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{輪軸}} = \alpha W[i\omega]_{\text{外力} \rightarrow \text{レール}}^{\text{輪軸}} \dots\dots\dots (5)$$

のように、輪軸落下による「レール」の応答のフーリエ変換は、輪軸落下による「外力→レール」の周波数応答関数と任意の定数 α との積で表すことができる。

④結局軌道モーターカーの走行による軌道への入力波は、式(5)を式(3')に代入すると、

$$F[i\omega]_{\text{外力}}^{\text{軌軸}} = \alpha \frac{Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{軌軸}}}{Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{輪軸}}} \dots\dots\dots (6)$$

となる。

⑤また、図-1の「まくらぎ」について式(1)を適用すれば、

$$Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}} = W[i\omega]_{\text{レール} \rightarrow \text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}} Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{軌軸}} \dots\dots\dots (7)$$

となり、同じように

$$W[i\omega]_{\text{レール} \rightarrow \text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}} = \frac{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{輪軸}}}{Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{輪軸}}}$$

とすれば、軌道モーターカーの走行による「レール」のフーリエ変換 $Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{軌軸}}$ は、

$$Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{軌軸}} = \frac{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}}}{W[i\omega]_{\text{レール} \rightarrow \text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}}} = \frac{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}}}{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{輪軸}}} Y[i\omega]_{\text{レール}}^{\text{輪軸}} \dots\dots\dots (8)$$

と表すことができる。式(8)を式(6)に代入すれば、

$$F[i\omega]_{\text{外力}}^{\text{軌軸}} = \alpha \frac{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{軌軸}}}{Y[i\omega]_{\text{まくらぎ}}^{\text{輪軸}}} \dots\dots\dots (9)$$

を得ることができる。同様に「下床」についても、

$$F[i\omega]_{\text{外力}}^{\text{軌軸}} = \alpha \frac{Y[i\omega]_{\text{下床}}^{\text{軌軸}}}{Y[i\omega]_{\text{下床}}^{\text{輪軸}}} = \alpha \frac{Y[i\omega]_{\text{下床}}^{\text{軌軸}}}{Y[i\omega]_{\text{下床}}^{\text{輪軸}}} \dots\dots\dots (9')$$

のようにして、軌道モーターカーの走行により軌道に入力される波のフーリエ変換を求めることができる。

4.2 軌道への入力波の周波数特性 式(6),(9),(9')において任意の定数 α を定めることは容易ではない。そこで今回は、

軌道モーターカー及び実車の走行による応答のフーリエ変換を、輪軸落下による応答で除すことにより、軌道モーターカー及び実車の走行による軌道への入力波の周波数特性を求めることとした。求められた入力波の周波数特性の関数形を着目することにより、入力波がもつ特性を得ることができる。

4.3 入力加速度波の推定結果 図-3に軌道モーターカーのデータによって推定した軌道への入力波のフーリエスペクトルの例を示す。この結果から次のようなことがわかった。

1)「まくらぎ」で測定されたデータを基に推定した入力波のフーリエスペクトルは、「道床」や「下床」で測定されたデータによって推定した結果に比べ、各軌道での違いが大きい。これは加振源となる「台車・ばね下質量」と「レール・まくらぎ」とを含めた連成振動系を形成しているためであると考える。

2)推定された軌道モーターカーによる入力波のフーリエスペクトルは、走行速度が20km/hと30km/hとの10km/hの差では、影響はほとんど見られなかった。

3)軌道モーターカーと実車とによる入力波のフーリエスペクトルは、その傾向がよく似ている。

4)入力加速度波は全体的には1000Hz以上の高周波数領域に多くの周波数成分をもつが、500Hz以下の周波数領域に着目すると100Hz～250Hz付近に卓越周波数帯がある。

5. 車両の走行が地表面に及ぼす影響

また車両の走行が地表面に及ぼす影響を調べるために、

この入力波の推定結果を地盤のフィルタを通した結果を図-4に示す。この結果から地盤のフィル

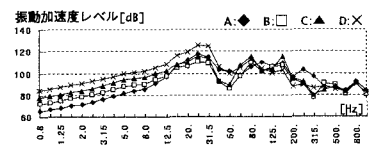


図-4 推定した入力波を地盤のフィルタに通した結果の例(軌道モーターカー20km/h)

タを通した入力波の周波数特性は、25Hz付近及び80～160Hzに卓越周波数帯をもつことがわかった。この結果は防振軌道の望ましい周波数伝達特性に関する情報を与える。

6. おわりに

輪軸落下試験及び車両の走行試験の振動測定結果から周波数伝達関数及び、車両走行による軌道への入力波の周波数特性を求めた。この入力加速度波の周波数特性を用いて、位相スペクトルを仮定することにより、車両走行による軌道への入力波形が推定でき、シミュレーション解析における入力波として利用することができると思われる。

参考文献:

- 1)小坪清真「土木振動学」第17章、森北出版、1973年4月初版