

鉄道道床における振動減衰の考え方

岐阜高専 正員 〇渡部 卓郎

岐阜高専 正員 鎌田 相互

1. はしがき

鉄道はこのところ、高速大量輸送機関としての重要性を再認識され、幹線区間においては、速度の向上、列車の長大化、運転回数増加などによって、軌道の受ける負担は、ますます大きくなっている。これに対応して、軌道構造は除々にではあるが改良工夫され、従来のバラスト道床に代わる、メンテナンスフリーの新しい支承体の研究も進み、その成果はスラブ軌道という形で現われ、山陽新幹線などで実用化されはじめた。しかし、スラブ軌道および在来の有道床軌道には、それぞれに技術的・経済的な得失があり、線区や路盤状態によって使い分けがなされてゆくものと考えられる。したがって、在来の有道床軌道構造は、なお将来にわたって使用される情勢にある。

古くから使用されてきた、この有道床軌道構造は、道床バラストという粗粒からなる粒状体を使用しているため、その力学的性質には、なお不明の点が多い。本報告では、列車通過によって道床およびまくら木、路盤に生ずる振動加速度値とそれらのスペクトル構造に着目して、道床における振動の減衰を、単にその絶対値だけではなく、振動数特性の点からも評価すべきことについての考え方を述べ、軌道における道床の役割割りについて考察しようとした。

2. 軌道の振動特性

軌道各部に生ずる上下方向振動加速度を測定するため、それぞれ保護ケースに収めたUA型加速度計をまくら木上面中央部(測定容量: 20 G, 固有振動数: 370 Hz)、道床上部(10 G, 285 Hz)、路盤上部(5 G, 200 Hz)の3箇所に埋設する。この加速度計からの信号は、増幅器を通じて、磁気テープ式データーレコーダーに同時収録させる。得られた上下方向振動の加速度記録のうち、代表的な列車について、機関車(または電車・気動車)の1台車2~3軸通過時を含む、たとえば0.2秒間を2000 Hzのサンプリング周波数でサンプリングしたのうち、1波形について400個(=0.2×2000)のデータを電算機によって処理する。

いま、軌道各部における振動波形の振動数成分構成を明らかにするため、得られた波形をフーリエ変換し、加速度フーリエスペクトルを求める。すなわち、振動加速度 $\ddot{x}_i(t)$ のフーリエ変換

$$F_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}_i(t) e^{j2\pi f t} dt \quad (1)$$

を計算する。ここに、 f : 振動数(Hz)、添字の i は $i=1, 2, 3$ のとき、それぞれまくら木上面、道床上部、路盤上部を表すものとする。

図-1は軌道各部における加速度スペクトルを、5~6列車のスペクトルの平均値で示したものである。平均値で示したのは、列車種別や通過速度の相違による影響を除去して、軌道固有の特性値をより明確に表わし得ると思われるからである。なお、加速度計のうち、道床・路盤に埋設するものは、それぞれ200 Hzおよび120 Hz以上の振動数

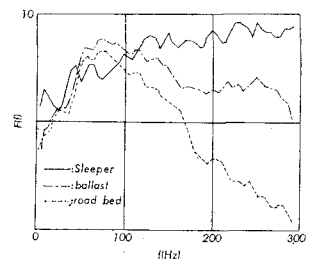


図-1 加速度スペクトル

成分に対しては感度は低下する。加速度計としては、目的とする振動数範囲で感度一様、かつその振幅に適合したものをを用いるのが望ましいことはいうまでもないが、両者を満足するものが入手困難であるので、各部での加速度振幅に見合った大きさのものを選び、感度低下に対しては、特性曲線に従って、一様感度とみなし得るように、スペクトル値に補正を考慮する必要がある。

図-1 において、まくら木のスペクトルは、300 Hz 程度までの振動数範囲では、著しいピークを有せず、半対数紙上において右上りの直線状（すなわち、振動数の増加に対して指数的に増大）、道床および路盤においては、1つのピークを有する形状となっている。これら各部のスペクトルを比較すると、まくら木から道床、路盤へと振動が伝達されるにしたがって、100～150 Hz 以上の振動成分は著しく低減されていることがわかる。また、50～100 Hz 以下の振動成分も低減されているが、その中間の振動成分は逆に増幅されている。このピークは主として路盤のばね作用によるものと考えられよう。

また、図-2 は、ある区間での軌道各部の自己相関関数

$$R_i(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \ddot{x}_i(t) \ddot{x}_i(t+\tau) dt \quad (2)$$

を示した。図-2 より、まくら木から道床、路盤へと振動が伝達されるにしたがって、長周期化される過程が明確に表わされている。また、

$R_i(\tau)$ の値は、 τ が大きくなると急激に小さくなっているが、これは軌道振動にランダムな成分が多く含まれていることを意味している。

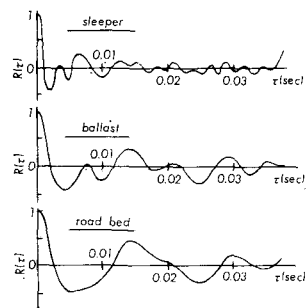


図-2 自己相関関数

3. 道床における軌道振動の減衰

軌道振動のように不規則振動とみなしうるような場合には、振動成分構成の点から現象をとらえることが重要である。2. で述べたように、まくら木上面における上下方向振動加速度 $\ddot{x}_1(t)$ のフーリエスペクトル $F_1(f)$ は、図-1 で“sleeper”と記された曲線で表わされているが、道床上部（加速度 $\ddot{x}_2(t)$ ，スペクトル $F_2(f)$ ）では“ballast”と記された曲線のようになる。このような変化が生じるのは、まくら木上面から道床上部に至る間の部分が、一種のフィルターの働きをしているからであると考えることができる。そこでフィルターの特性によって、振動の減衰を評価することを試みる。すなわち、まくら木上面から道床上部に至る間の部分のフィルター特性をスペクトルの比

$$H_{12}(f) \equiv F_2(f)/F_1(f) \quad (3)$$

で定義する。なお、この $H_{12}(f)$ は、この部分に入力として単位衝撃（Dirac のデルタ関数で表わされる）を与えたときのこの部分の線形応答（単位衝撃応答関数）のフーリエ変換（周波数応答関数）となっている。道床上部～路盤上部、まくら木～路盤上部についても同様にして

$$H_{23}(f) \equiv F_3(f)/F_2(f), \quad H_{13}(f) \equiv F_3(f)/F_1(f) \quad (4)$$

図-3 には、図-2 より求めた H_{12} ， H_{13} ， H_{23} の値を示した。まくら木上面～道床上部の部分のフィルター特性は 80 Hz 付近にピークを有する形状となっており、 $H_{12}(f) > 1$ となっている。

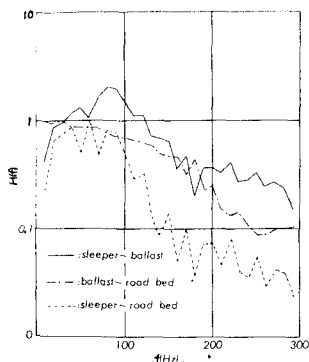


図-3 スペクトル比