

IV-402

列車走行による周辺地盤の振動計測と評価

東海旅客鉄道（株）	正会員	神田 仁
岡山大学環境理工学部	正会員	竹宮 宏和
東洋建設（株）	正会員	合田 和哉
東海旅客鉄道（株）	正会員	長戸 博
同	正会員	宮本 秀郎

1. はじめに

高速鉄道の開発に際しては、周辺環境を悪化させないことを前提として車両軽量化等の振動対策を行っているが、軌道及び地盤における効果的な振動低減対策についても、並行して開発を進めている。本研究ではこのための基礎調査として、列車走行による周辺地盤の振動発生要因及び振動伝播特性を把握するために、路盤・地盤振動を測定しデータ分析を行った。また、岡山大で開発された3次元地盤振動解析法¹⁾によるシミュレーション結果と観測データとを比較し、考察を行った。

2. 振動測定概要

振動測定は、静岡県内の東海道新幹線沿線で行った。計測データの測点は、図1に示すように上下線の軌道直下及び保守用通路の路盤の合計4箇所に加速度計（3方向）を埋設し、列車通過時の振動加速度を列車速度及び車種重量別に整理した。なお、以下では鉛直方向の観測値について論ずる。近傍箇所の地盤調査結果では、N値50以上の基盤上にN値1～6程度の軟弱層が約7m堆積している。

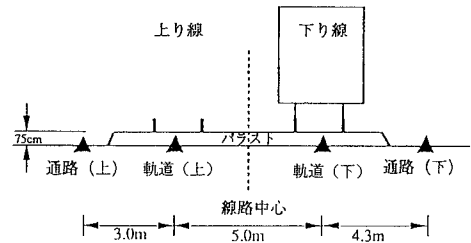


図1 計測データの測点

3. 観測波形と分析

観測波形の一例として図2に、300系下り列車が252km/hで走行した場合の下り線軌道直下(a)及び上り通路(b)の加速度波形とフーリエスペクトルを示す。スペクトルには複数の明瞭なピークが認められるが、これらは地盤の固有振動数というよりは、起振源である列車の軸間隔によって生ずる見かけの振動数である。このスペクトルは、4.と付録で示されるように、列車の車軸間隔と速度を用いて定式化される。

通路(図2(b))のスペクトル形状を直下(図2(a))と比較すると、通路では振動が地盤を伝播する過程で25Hz程度以上の高周波成分が減衰し、その中で列車の荷重列に起因する特定の振動数成分のみが卓越している。

また、当該地盤を剛基盤上の一様な成層地盤($V_s=120$ m/s; 層厚 7m)とみなしたときの固有振動数は8.5(Hz)となり、上り通路(b)のスペクトルではこの遮断振動数以下の振幅が低減されていることが分かる。

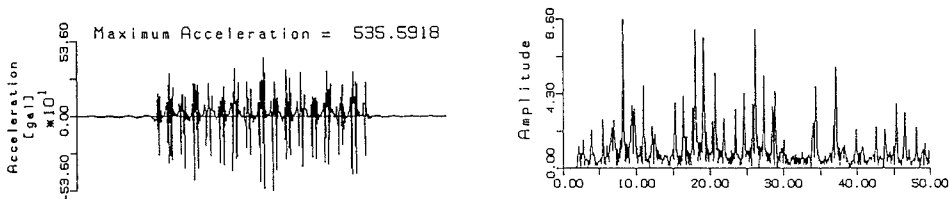


図2(a) 下り列車(300系)による下り軌道直下の振動加速度・フーリエスペクトル

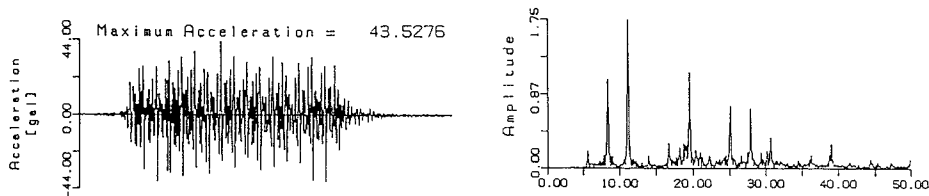


図2(b) 下り列車(300系)による上り通路の振動加速度・フーリエスペクトル

4. 荷重列によるスペクトル振幅の定式化

図3に示す新幹線車両の荷重列によるフーリエスペクトル振幅 X_k は、付録に示す計算により、車軸間隔と列車速度に依存するパラメータ $a, (a+b)$ と l の 2^n 倍を周期とする $\cos$ 波の積で表現できる。

$$X_k = \left| \frac{128}{N} q \cos \frac{2\pi ka}{2N} \cos \frac{2\pi k(a+b)}{2N} \cos \frac{2\pi kl}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 2l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 4l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 8l}{2N} \right|$$

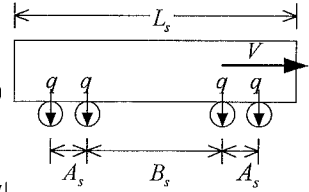
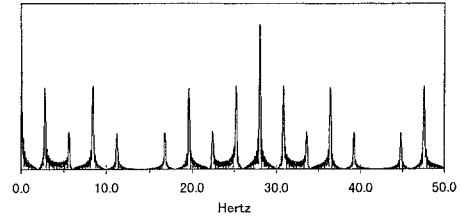


図3 新幹線列車の車軸間隔

図4に図2の条件で計算した X_k を示す。図2(b)のスペクトルと卓越振動数が一致している。


 図4 荷重列スペクトル X_k

 5. シミュレーション¹⁾と観測値の比較、考察

シミュレーションは図5に示すような新幹線軸重に相当する荷重列(16両)を、現地盤をモデル化した一様成層地盤の地表面に与えたときの応答を求め、最大値を観測値と比較した。入力荷重は静的な荷重の移動(移動載荷)と周波数を持つ荷重の移動(移動加振)の両方を扱える。

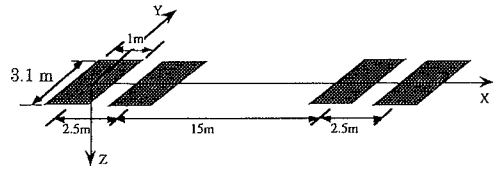


図5 新幹線1両の荷重分布

図6が上り列車通過時の上り通路($y=3.0\text{m}$)及び下り通路($y=9.3\text{m}$)での移動載荷による応答加速度を、観測値と合うような補正係数 α を乗じて示したものである。すなわち α は、解析値の何倍が観測値に等しくなるかを示す。

図のケースの他、応答加速度と応答速度の両方について線路からの距離を変えて検討した結果、 α の値は $0.7 \sim 5.0$ となった。

解析の精度としては未だ十分とは言えないが、地盤を詳細にモデル化することや、移動加振の周波数を適切に定めること等により、この差はより小さくなると期待される。

参考文献 1) 川端他:列車走行による周辺地盤の振動評価法, 第51回土木学会年次学術講演会概要集, 1996.9.

付録: 荷重列スペクトルの定式化 有限フーリエ係数の定義より、

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m \cos \frac{2\pi km}{N}, \quad B_k = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m \sin \frac{2\pi km}{N}$$

新幹線の場合、図3の軸間隔が16両分繰り返されることから、

$$A_k = \frac{2}{N} q \sum_{n=0}^{15} \left(\cos \frac{2\pi knl}{N} + \cos \frac{2\pi k(a+nl)}{N} + \cos \frac{2\pi k(a+b+nl)}{N} + \cos \frac{2\pi k(2a+b+nl)}{N} \right)$$

ここに、 $a = A_s/V \times f$, $b = B_s/V \times f$, $l = L_s/V \times f$, V : 列車速度, f : サンプリング周波数(Hz), q : 軸重

上式を、三角関数の公式 $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha+\beta}{2} \cos \frac{\alpha-\beta}{2}$, $\sum_{n=0}^{N-1} \cos(\alpha + n\beta) = \cos \left(\alpha + \frac{N-1}{2} \beta \right) \sin \frac{N\beta}{2} / \sin \frac{\beta}{2}$

及び $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$ を用いて整理すると、

$$A_k = \frac{128}{N} q \cos \frac{2\pi ka}{2N} \cos \frac{2\pi k(a+b)}{2N} \cos \left(\frac{2\pi k(2a+b)}{2N} + \frac{15}{2} \frac{2\pi k \cdot 2l}{2N} \right) \cos \frac{2\pi kl}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 2l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 4l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 8l}{2N}$$

となる。同様の計算により、 B_k は

$$B_k = \frac{128}{N} q \cos \frac{2\pi ka}{2N} \cos \frac{2\pi k(a+b)}{2N} \sin \left(\frac{2\pi k(2a+b)}{2N} + \frac{15}{2} \frac{2\pi k \cdot 2l}{2N} \right) \cos \frac{2\pi kl}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 2l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 4l}{2N} \cos \frac{2\pi k \cdot 8l}{2N}$$

となり、スペクトル振幅 $X_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$ が導かれる。

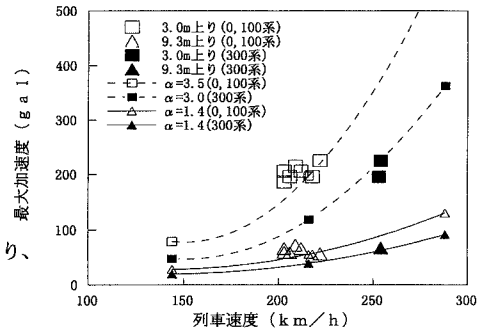


図6 解析結果と観測値の比較