

地盤条件の違いが地盤振動へ与える影響について

中央大学 学生会員 ○本間 悠介・清水 敏文
中央大学 正会員 石井 武司・斎藤 邦夫

1. はじめに

列車が高架橋を走行すると、その荷重は橋脚を伝わり周辺地盤を振動させる。地盤の振動特性には、振動源である列車の走行速度や車両数などの加振力特性、伝播する地盤の構成やその物性が複雑に関係しているものと考えられる。そこで本研究では、実測データに基づいて、地盤振動に及ぼす列車速度や車両数等の加振力特性ならびに地盤条件の影響を検討した。

2. 実測データの分析

表-1 走行列車のグループ分け

グループ	列車数(本)	編成車両数	列車速度
A	11	多い	速い
B	3	多い	遅い
C	2	少ない	速い
D	5	少ない	遅い

検討は、ボーリング調査に加えて PS 検層・密度検層などの地盤調査データが明らかな地点を測定対象に選定した。その地盤構造は、基盤までの深さが 24m、N 値がおおよそ 4 の主にシルトから成る地盤である。せん断波速度は鉄道標準²⁾を参考に、N 値より求めた。その高架橋を走行する 21 本の下り列車を対象に、下りの軌道中心直下、直下から 12.5m 地点ならびに 25m 地点の 3 箇所における鉛直方向の加速度を測定した。12.5m 地点で測定された 21 本の加速度波形の 1/3 オクターブバンドスペクトル(振動レベルの周波数特性)を図-1 に示す。同図は各列車の波形ごとにその最大値で正規化した。振動レベルのピークは全列車とも 8Hz 付近である。次のピークは列車ごとに異なるものの、いくつかの列車はそのピークが重なる。そこで周波数特性の形状に着目して、その形状が近いもの同士を分類した。その結果、表 1 のように列車速度と編成車両数で 4 つのグループに区分できた。

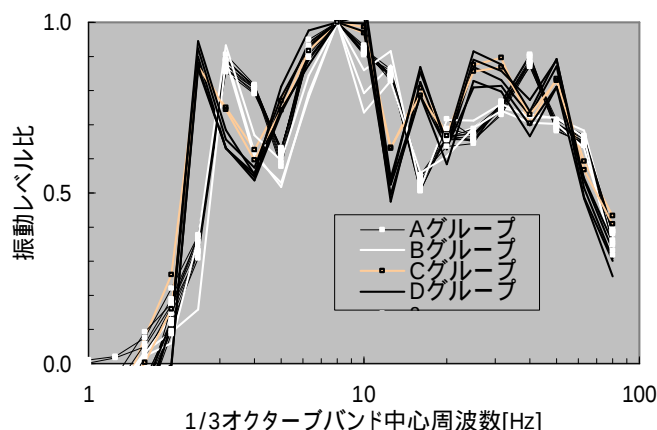


図-1 振動レベルの周波数特性

3. 再現計算

列車振動によって地盤に生じるひずみは小さく、変形が直ぐに元へ戻るため、地盤を線形の粘弾性体と仮定する。高架橋を列車が走行すると、その通過とともに時間差をもって橋脚から地盤へ振動が伝わる。ここで扱う鉛直振動は加振点の橋脚を中心に広がるので、この地盤の振動はここを中心とした軸対称とみなすことが出来る。地盤は線形な材料とみなせるから、ある計測地点の振動は複数の橋脚から伝播した波形の重ね合わせたものになる。よって列車の通過時に橋脚に作用する加振力が求まれば、様々な地点の振動や対策の効果を評価することが可能になる。

加振力の算定に当たり、地盤振動を測定した 3 つの地点はある橋脚から隣の橋脚側へ 7m ずれた測線上(橋軸直行方向)になるので、その測線を挟む上り側 2 つと下り側 2 つの橋脚から振動が伝わると仮定する。また、列車通過時の加振力は 4 つの橋脚とも同じ加振力が載荷されるとする。このような仮定を設ければ、地盤の伝達関数および加振力の妥当性を確認するために、列車速度に応じた時間差を持ってこの加振力を 4 つの橋脚に載荷して、12.5m 地点の振動レベルを算定する。地盤の伝達関数は複素応答解析を適用した軸対称 FEM 解析で求める。対象の橋脚は杭基礎構造であるので、FEM 解析にあたっては杭の扱いが問題になる。ここでは下り線のみを扱っているため、杭に作用する荷重はその耐力に比べて小さい。そのため橋脚に作用した振動は主にフーチングの底面や杭の周面から地盤に伝わるという可能性が考えられる。そこで、杭の無いモデルと有るモデルで比較を行った。図-3 に杭の無いモ

キーワード 地盤振動 交通振動 数値解析 地盤のモデル化 振動シミュレーション

モデルで求めた振動レベルと実測値の比較を示す。計算結果は、概ね $y=x$ のグラフ上にあり、再現性が良いことが示せた。一方、杭の有るモデルで計算した結果は実測値から乖離した。よって、この現場においては、橋脚からの加振力はフーチングから地盤に伝わるものと判断できる。

表-2 計算パターン

地盤モデル	N値
A1	0,1,2,3,4,5,6
A2	0,1,2
B	0,1,2

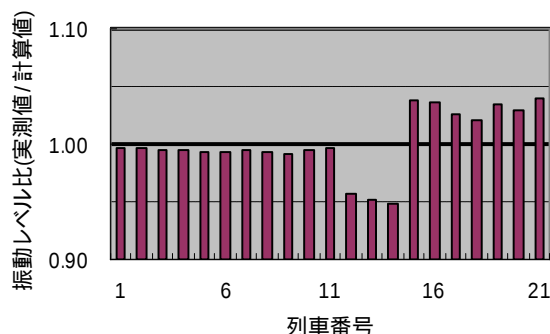


図-3 解析結果と実測値の比較

解析に用いる地盤モデルは、鉄道標準³⁾を参考とし、図-4のようにN値が基盤まで一様なA1地盤、N値の異なる2層からなるA2地盤、N値が深度に比例するB地盤の3パターンである。具体的には、地表面のN値は表2のように仮定し、A2地盤については第一層の層厚を10m、15m、20mの3ケースを設定した。減衰定数は8%に設定し、粘性土の地盤を想定した。

数値実験に用いる走行列車は、表-1に示したA、B、

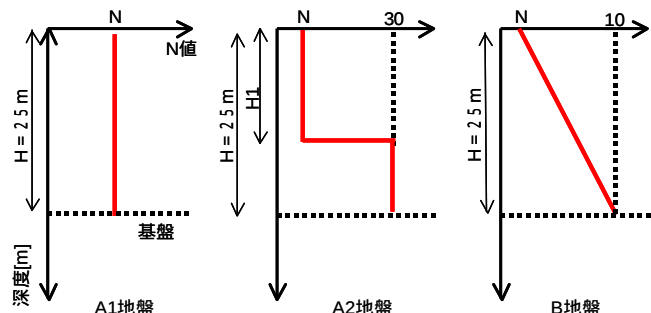


図-4 地盤モデル

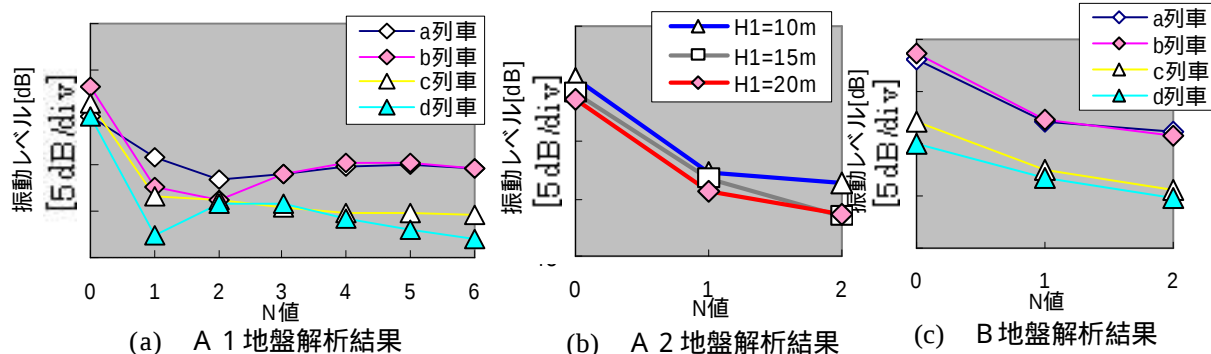


図-5 地盤のN値と振動レベル(オーバーオール)の関係

CおよびDのグループからそれぞれ1本ずつ代表として選択した4本である。これらの列車の加振力は「3.再現計算」と同様に直下の計測値から求めた。A1地盤の数値実験で得られたN値と振動レベルの関係を図-5(a)に示す。N値=0の場合は相対的に振動レベルが高く、N値=3以上で振動レベルはほぼ一定となるものの、列車速度により違いが現れた。振動レベルに走行速度の違いが大きく影響することがわかる。A2地盤にa列車の加振力を入力した結果を図-5(b)に示す。第1層の層厚による振動レベルの差は小さく、むしろN値による影響が大きい。他の列車の加振力を入力しても、同様の結果になった。B地盤の数値実験で得られたN値と振動レベルの関係を図-5(c)に示す。他の地盤モデルと比較すると、B地盤の振動レベルが高いことがわかる。A1地盤の結果と同様に、列車速度の違いによる振動レベルの差が顕著に現れた。

各地盤パターンの振動レベルの特性から、N値が大きくなると概ね低くなる傾向が認められた。またN値が大きくなるとその変化量に対する振動レベルの変化は小さくなり、一定の振動レベルへ収束する傾向にある。

5. まとめ

実測データの分析および数値実験の結果から次のような知見を得た。

- ・ 全列車で8Hz付近の振動数が卓越している。走行速度と編成車両数の違いにより周波数特性が異なる。
- ・ N値=0～2ではN値が高いほど振動レベルは低くなる。N値=3以上ではほぼ一定の振動レベルとなる。

参考文献

- 1) 唐澤里英, 塩見和利, 神田政幸, 川西智浩: 鉄道高架橋近傍での地盤振動の簡易評価法、土木学会第62回年次学術講演会、pp333-334、2007.9。
- 2) 運輸省鉄道局監修: 鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計、pp46、pp.109-111、1999.11。
- 3) 運輸省鉄道局監修: 鉄道構造物等設計標準・同解説、基礎構造物・杭土圧構造物 pp.96-97、1997.3。