

## 地盤振動低減工法開発に向けた取り組み



金田 淳\*



池本 宏文\*



高崎 秀明\*



谷口 善則\*

列車の高速化に伴う地盤振動の増大が想定されている。これまで、構造物近傍に設置する振動対策工についての研究を行い、対策工の効果の評価手法に提案を行ってきた。しかし、対象となる列車走行に起因する地盤振動を同一の方法で継続的に測定、整理した記録はないのが実状である。そこで、同一箇所において同一方法による地盤振動測定を継続的に実施した。その結果、地盤振動の周波数特性は車両編成の違いによる影響が大きいことが確認された。一方地盤間の振動伝達特性に車両編成の違いが及ぼす影響は小さいことが確認された。

●キーワード：地盤振動対策、振動レベル、振動周波数帯域特性

### 1. はじめに

列車が高速で走行すると、高架橋から橋脚に振動が伝わり、橋脚を加振源として地盤に振動を伝播する。その結果、付近の家屋の窓や戸が揺れたりすることがある。

また、列車の高速化に伴い、橋脚から地盤へ伝わる振動が大きくなることが想定されることから、高速列車のさらなる速度向上の実現に際して、地盤振動対策は重大な課題のひとつとなっている。

フロンティアサービス研究所では2007年より実効性の高い地盤振動対策工の設計施工法の確立を目的とし、これまで、地盤振動の解析手法について図1に示すような構造物近傍で実施する振動対策工（連続地中壁）の効果を評価する検討手法の提案をおこなってきた。<sup>1) 2)</sup>

現在、振動伝播状況の予測手法をさらに深度化するために、実際の地盤の振動、構造物から地盤への伝播状況の長期的な測定、検討を行っている。

本稿ではこれまでの測定、検討から得られた知見について報告する。

### 2. 測定概要

#### 2.1 測定の目的

列車走行により生じる地盤振動は常に一定ではなく、様々な要因に基づきばらつきが生じている可能性が否定できない。これまで対策工の検討等のために地盤振動の測定を行っているが、対策前後の各1回での測定となっており、継続的な測定及びその測定結果の統計的整理は行われていないのが実状である。ばらつきの状況を把握するために、同一地点において、同一方法での地盤振動測定を継続的に実施することとした。

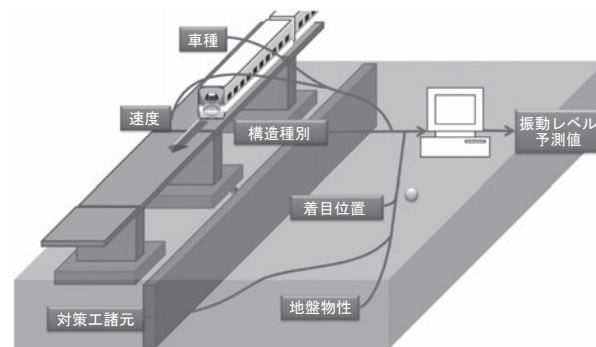


図1 振動対策工効果評価概要図

地盤振動の測定値にばらつきが生じる要因としては、次の事項が考えられる。

- ・加振源の違いによる影響
- ・振動媒体の物性の違いによる影響
- ・測定方法の違いによる影響

加振源の違いとは走行する列車の速度、車軸の配置、車両重量の違いの影響が考えられる。

振動媒体の物性の違いについては、気温、地下水位の変動に伴う地盤の特性の変化の影響が考えられる。

また、測定方法の違いについては、使用機器の違い、機器の設置方法の違いの影響が考えられる。

#### 2.2 使用機器の選定

公害に関連する地盤振動を測定する場合の基準として JIS Z 8735「振動レベルの測定方法」が規定されている。この場合、JIS C 1510「振動レベル計」に規定されている振動レベル計を用いて、振動レベルの測定を行うのが一般的である。

しかし、振動低減工の設計、評価の際に実施する動的応答解析には加速度が必要となることから、今回はサーボ型加速度計を用いた振動測定を行うこととした。なお、振動レベ

ルは測定された加速度時刻歴データをJIS C 1510に規定される方法に基づきポスト処理することにより計算している。

## 2.3 機器の設置方法

今回の測定の実施にあたり、測定方法の違いに起因する測定結果のばらつきは可能な限り少なくしなければならない。地盤上への加速度センサーの設置方法については詳細に定められた基準等はないため、設置方法の違いが測定結果に影響を及ぼすおそれがある。そこで、加速度センサーの設置方法が測定結果に及ぼす影響について検討した。

表1に検討した設置方法を、図2に設置方法の概略図を示す。

表1 設置方法

ケース	設置方法
1	整地し、締め固めた地表面に計器をじかに置く
2	計器にスパイクを取り付け、締め固めた地表面に計器を埋め込む
3	締め固めた地表面に石板を置き、その上に計器を置く
4	ケース2と同様に設置し、さらに計器の上に土嚢を設置
5	ケース1と同様に設置し、さらに計器の上に土嚢を設置
6	ケース3と同様に設置し、さらに計器の上に土嚢を設置
7	整地、締め固めを行っていない地表面に計器をじかに置く
8	整地、締め固めを行っていない地表面にスパイクを取り付けた計器を埋め込む

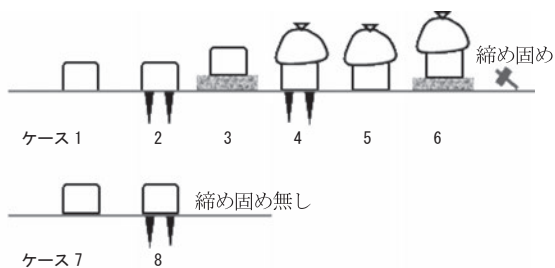


図2 計器設置方法略図

検討は試験A～Cの3回に分けて実施した。それぞれの試験では同一の振動を設置方法の異なる加速センサーで記録した。試験Aではケース1～4の比較を実施した。試験B、試験Cでは試験Aで用いた設置方法を1ケース含むよう、試験Bではケース4～6を試験Cではケース2、7、8の比較を実施した。図3～5に振動測定結果を示す。横軸は周波数(1/3オクターブバンドで整理)、縦軸は感覚補正振動加速度レベル(振動レベル)をオーバーオール値で正規化した振動レベル比を示す。

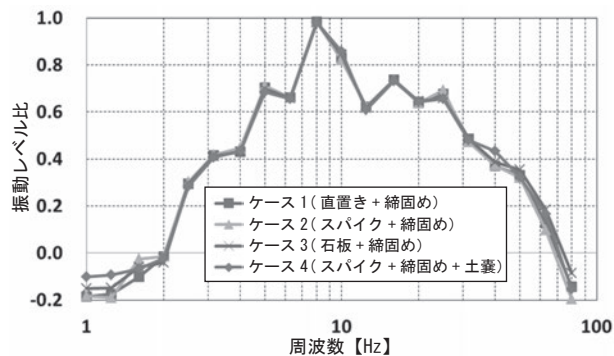


図3 センサー設置方法の影響(試験A)

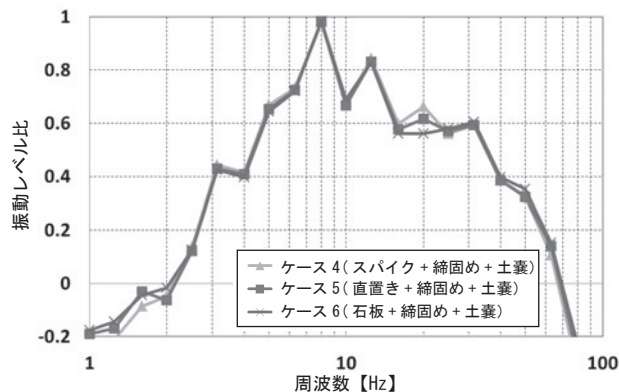


図4 センサー設置方法の影響(試験B)

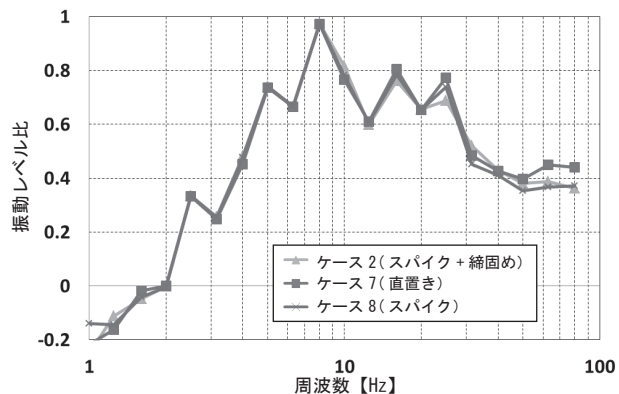


図5 センサー設置方法の影響(試験C)

図3はケース1、2、3、4の比較結果を示すものである。いずれのケースもピーク周辺の周波数領域についてはほぼ同様の形状、値を示しており、設置方法が測定値に及ぼす影響は小さいといえる。図4はケース4、5、6の比較結果を示すものである。こちらも図3と同様にピーク周辺の周波数領域について、ほぼ同様の形状、値を示していることから、これらの設置方法の違いが測定値に及ぼす影響は小さいといえる。図5はケース2、7、8の比較結果を示したものである。ケース7において、50Hz以降の高周波領域において、他のケースより振動レベルの測定値が高くなる傾向が見られる。これはケース7の設置方法の場合、設置共振が生じているためと推定される。

試験A～Cよりケース7を除き、加速度センサーの設置方法の違いが、測定値に及ぼす影響は小さいことが明らかになった。そこで、計器の設置時の作業量を勘案し、今回の測定における計器の設置方法はケース8の方法を用いることとした。

### 2.4 機器の設置位置

図6は加速度センサー設置の平面図を示したものである。振動の計測は地盤1～3及び橋脚1に示す位置に加速度センサーを設置して行った。

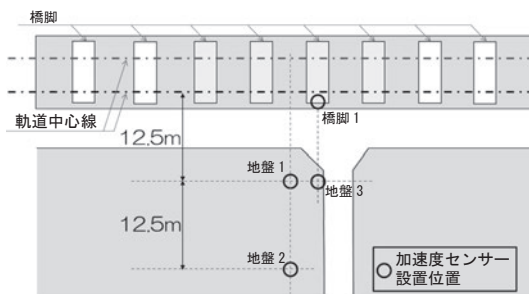


図6 加速度センサー配置平面図

## 3. 測定結果

### 3.1 振動周波数帯域特性

図7および図8に軌道中心線から12.5m離れた地盤の鉛直方向加速度の測定値より求めた振動レベル比の1/3オクターブスペクトル分布を示す。なお、図中A編成は10両編成(車両長25m)、B編成は16両編成(車両長25m×10両+車両長20.5m×6両)の列車であることを示している。なお、図中の測定列車の走行速度は230km/h～240km/hの範囲であった。

図7はある特定の日に着目し、編成、走行時間帯の影響を把握するために整理したものである。ピークを示す周波数帯域は走行時間帯に係らず同一である。またピーク周辺の周波数領域のオクターブバンドレベルはほぼ同一の値を示している。一方、編成の違いの影響を比較すると、3Hz及び10Hzの振動レベルについて差が見られる。これらのことより、走行時間帯が地盤振動の測定値に影響を及ぼすことはないが、走行編成の違いは測定値に影響を及ぼしていることがわかる。

図8はある特定の列車に着目し、走行時期(走行日)の影響を把握するために整理したものである。こちらも図7の場合と同様に、ピークを示す周波数帯域は走行日に係らず同様である。ピーク周辺の周波数領域の振動レベルについては若干の差が見られるものの、スペクトル形状は同様である。一方、編成の違いの影響を比較した場合、図7の場合と同様の形で3Hz及び10Hzの振動レベルについて差が生じている。特に10Hzは二番目に大きな値を示す周波数帯域であり、編成の違いが地盤振動の測定値に及ぼす影響が大きいといえる。

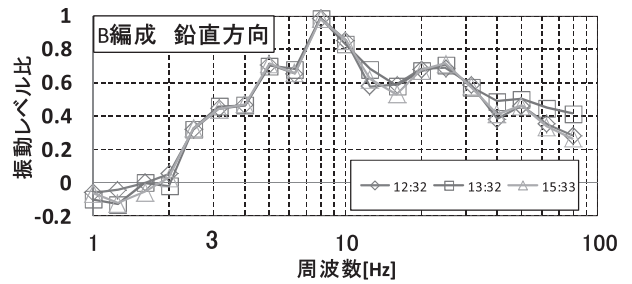
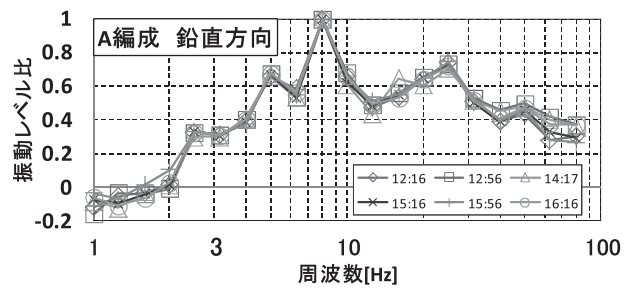


図7 編成別測定結果1

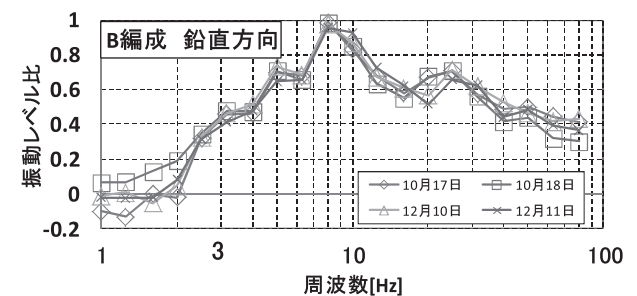
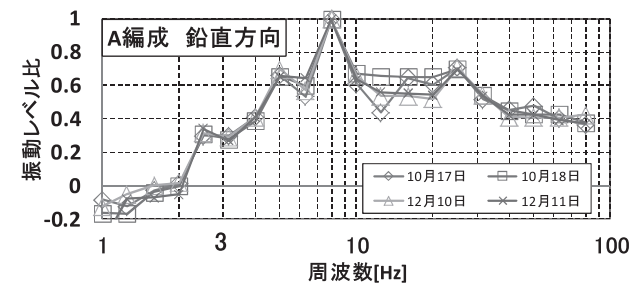


図8 編成別測定結果2

### 3.2 振動伝播特性

これまでの地盤振動解析においては、地盤を粘弾性体としてモデル化している。この取り扱いと実現象の整合性を検証するために、地盤内の振動伝播特性を確認した。

図9と図10は地盤の振動伝播特性を示すために、着目地盤において入力側の位置(すなわち地盤1、橋脚1)に対する出力側の位置(すなわち地盤2、地盤3)での加速度の伝達関数を示している。横軸は周波数とし、縦軸は加速度フーリエスペクトルの比として整理している。

図9は地盤1と地盤2の間の伝達関数を編成の違い別に示したものである。いずれの編成においても、4Hz、5Hz、10Hz付近で伝達関数が増幅する傾向がみられる。いずれの編成においても、伝達関数で示されるピーク周波数の位置

が一致し、形状がほぼ同様あることから、列車走行に起因する振動の地盤内の伝播特性に列車編成の違いが及ぼす影響は小さいと考えられる。

図10は橋脚1と地盤3の間の伝達関数を編成ごとに示したものである。いずれの編成においても、5Hz以下の低周波数域では振動が減衰する傾向を示しており、6Hz、8Hz付近では増幅する傾向を示している。こちらの結果からも、列車走行に起因する振動の地盤内の伝播特性に列車編成の違いが及ぼす影響は小さいといえる。

したがって、地盤振動解析において、地盤を、地盤構造、物性値に基づき粘弾性体としてモデル化することは、今回測定された実現象と整合していると判断できる。

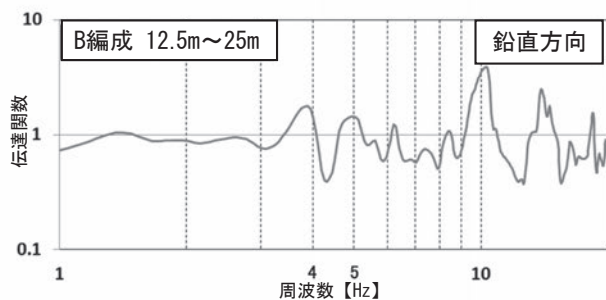
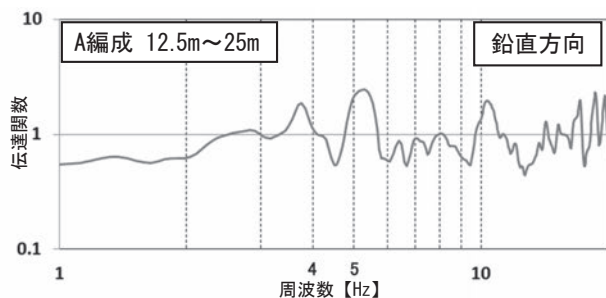


図9 伝達関数（地盤1・地盤2間）

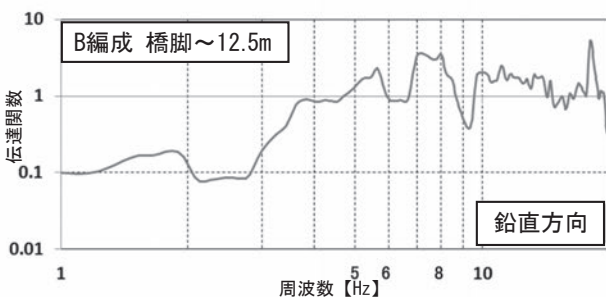
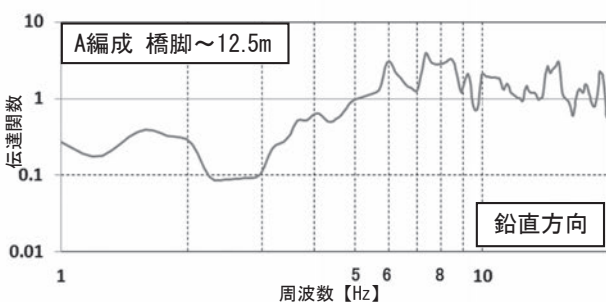


図10 伝達関数（橋脚1・地盤3間）

## 4. おわりに

同一箇所での地盤振動測定に取り組んだ結果、次の知見を得ることができた。

- (1) 加速度センサーを設置する際には地表面を十分に締め固めるあるいはスパイクを地面に埋め込むことにより設置共振と推定される高周波数域での振動レベルのずれを排除することができる。
- (2) 橋梁周辺の地盤において、列車の走行に起因する振動の周波数特性に車両編成の違いが影響を及ぼす。
- (3) 列車の走行に起因する振動について、地盤間の伝達関数は車両編成の違いによる影響が小さい。
- (4) 今回検討したデータの範囲内においては、車両編成・速度が同一であれば、振動の周波数特性はほぼ同様であり、列車走行の走行日、走行時間による差は小さい。

最後に、本研究の実施にあたり、中央大学理工学部 齋藤邦夫教授、研究開発機構 石井武司機構教授、理工学部 山田和史様に共同研究者として多大なご尽力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 中出千博, 渡邊明之: 実効性の高い地盤振動対策工の設計・施工手法の開発, テクニカルレビューNo27, 2009
- 2) 谷口美佐, 渡邊康夫, 清水満: 地盤振動の解析的検討手法の開発, テクニカルレビューNo37, 2011
- 3) 山田和史, 谷口美佐, 金田淳, 石井武司, 齋藤邦夫: 列車の走行時に生じる振動伝播に関する検討, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.
- 4) 山田和史, 金澤伸一, 石井武司, 齋藤邦夫: 振動計測機器の実用的な設置方法の検討, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013.
- 5) 山田和史, 金澤伸一, 石井武司, 齋藤邦夫: 交通振動測定における計測機器の設置方法の検討, 第9回地盤工学会関東支部発表会発表講演集, 2012.