

## 鉄道橋台周辺の地盤振動特性に関する一考察

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○坂本 寛章, 泉 翔伍, 近藤 政弘, 深田 隆弘  
(株)日建設計シビル 正会員 西山 誠治, 青木 佑輔

### 1. 概要

列車が走行する際に沿線で発生する地盤振動に関して、構造物の振動特性が地盤の振動特性に影響を与えることがある<sup>1)</sup>。本稿では異なる構造物上に加振源がある場合の構造物および地盤の振動特性について、振動レベル計測および解析により検証し、振動対策工の効果を評価したので報告する。

施工箇所の平面図、断面図をそれぞれ図1、図2に示す。上り内側線は壁式橋台上を走行し、上り外側線はパイルベント形式の橋台（以下、パイルベント式橋台と呼ぶ）上を走行している。

### 2. 地盤振動の特性

壁式橋台およびパイルベント式橋台列車走行時の地点Aにおける振動レベル計測値に対し、1/3 オクターブバンド周波数分析した結果を図3に示す。壁式橋台通過時には、16Hz帯にピークを有しているのに対し、パイルベント式橋台通過時には31.5Hz及び40Hz帯にピークを有している。

### 3. 構造物振動の特性

列車走行時の壁式橋台およびパイルベント式橋台の鉛直方向の振動速度を周波数分析した結果を図4に示す。壁式橋台では、30Hz以下に複数の卓越周波数が確認できる。一方、パイルベント式橋台では34Hz、36Hz、45Hz付近にそれぞれ卓越周波数が確認できる。橋台計測時の通過列車は約125km/hであったが、この時の列車に起因する固有振動数として、車輪間距離(2.1m)による16.4Hzもしくはそれ以下であると考えられ、パイルベント式橋台で得られた30Hz以上の卓越周波数は列車加振によるものではなく、構造物に起因するものと考えられる。2.で得られた周辺地盤での振動特性も踏まえると、加振点の振動特性が周辺地盤での振動特性に影響を与えていることがわかる。

### 4. 対策工の効果

列車通過時の振動低減対策として、図1で示す箇所の地盤中にEPS（発砲スチロール）地中壁（幅0.6m、深さ2.0mを基本）を施工した。対策前後において、同時刻の貨物列車で振動レベルの計測を実施した。1/3 オクターブレベル周波数分析結果を図5に示す。これより、対策工前のピークである31.5

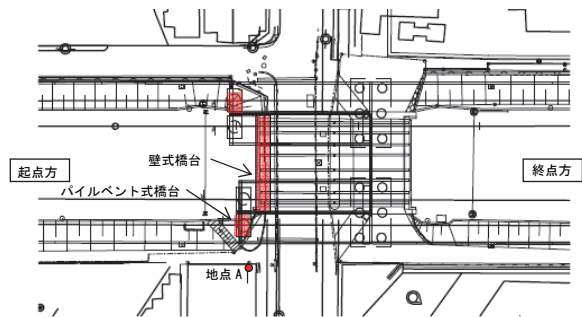


図1：概要平面図

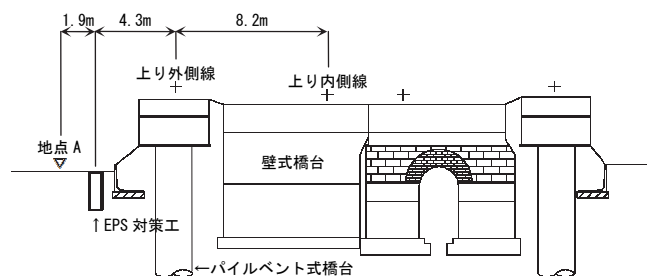


図2：概要断面図

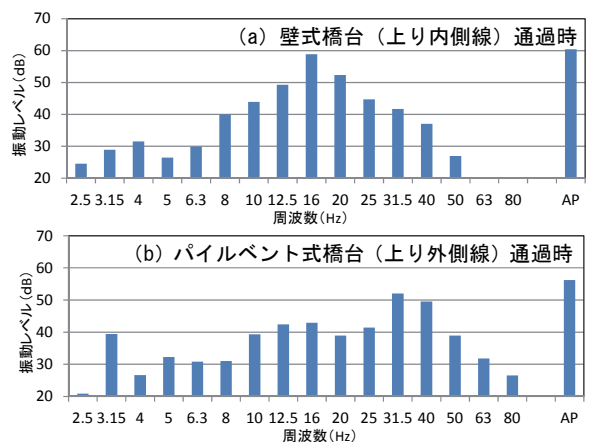


図3：1/3 オクターブバンドレベル周波数分析結果

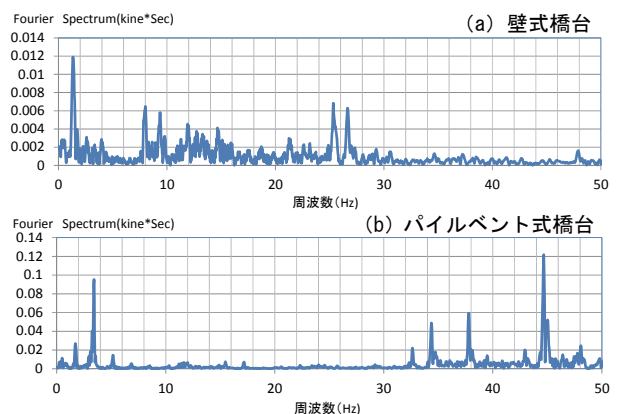


図4：列車走行時の橋台鉛直振動の周波数分析結果

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 西日本旅客鉄道(株) 構造技術室

Hz 帯およびその周辺の振動レベルが低減していることがわかる。

5. 解析による振動特性の評価

図2を対象として、対策前後について2次元FEMによる周波数応答解析により振動特性の評価を実施することとした。

(1) 解析条件

解析モデルを図6に示す。解析メッシュは、解析対象振動数を40Hzまでとして、GL-8.5m以浅の壁式・パイルベント式橋台・地点Aを含む27m幅範囲は、要素を波長の1/10以下、それ以外の範囲は、要素を波長の1/5以下となるように分割した。解析モデルの境界条件として、側方はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界とした。構造部材・地盤・EPS対策工は、平面ひずみ要素とした。

構造部材の物性値を表1に示す。鋼管杭は、中詰めコンクリート・中詰め土を考慮して等価物性を設定した。地盤は調査結果をもとに、EPSは文献<sup>2)</sup>を参考に表2の物性値とした。減衰定数は3%を基本として、EPSのみ1%とした<sup>2)</sup>。

(2) 解析結果

パイルベント式橋台上に1~60Hz程度の単位加振力を順次与え、地点Aの応答加速度を加振点の応答加速度で除して、対策前後の伝達関数を求めた結果を図7に示す。図7には、対策後の列車走行測定結果(4列車)より得られる伝達関数の平均値も、併せて示している。

解析で得られる対策前後の伝達関数を比較すると、31.5Hz以上の周波数帯で対策後の伝達関数が低下しており、4.で示される対策工の効果が再現されている。ただし、解析では16Hz付近の周期帯では、対策後に伝達関数が大きくなる。

対策後の伝達関数については、測定で得られる16Hz付近周期帯の伝達されやすい特性が、解析でも表現できている。ただし、解析での伝達関数は、全周波数帯で測定結果より大きい。2次元解析であるために、3次元挙動が表現出来ていないことが、原因の一つと考えられる。

6. おわりに

列車走行時において、異なる構造物が加振源となる場合の地盤振動特性を実測および解析により評価した。今回の検討では、列車走行時の構造物振動特性が周辺の地盤振動特性に影響を与えることがわかった。本検討で得られた知見から、振動対策工を設計する際には、構造物および周辺地盤の列車走行時の振動特性を把握した上で行うことが望ましいといえる。

参考文献

1) 石井, 林, 金田, 池本, 高崎, 齊藤: 鉄道高架橋から伝播される振動の特性, 第50回地盤工学研究発表会, pp.2409-2410, 2015.9  
2) 徳永, 森尾, 家村, 西村, 早川: EPSの振動低減効果に関する模型振動実験とそのシミュレーション解析, 構造工学論文集 Vol.44A, 1998.3

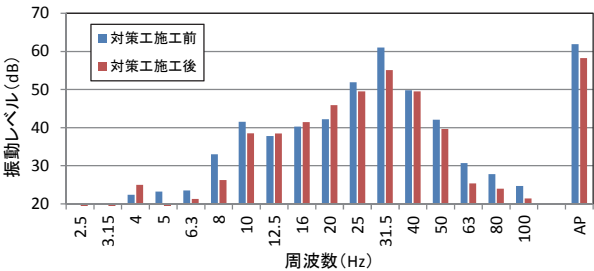


図5: 1/3オクターブバンドレベル周波数分析結果 (対策工施工前後)

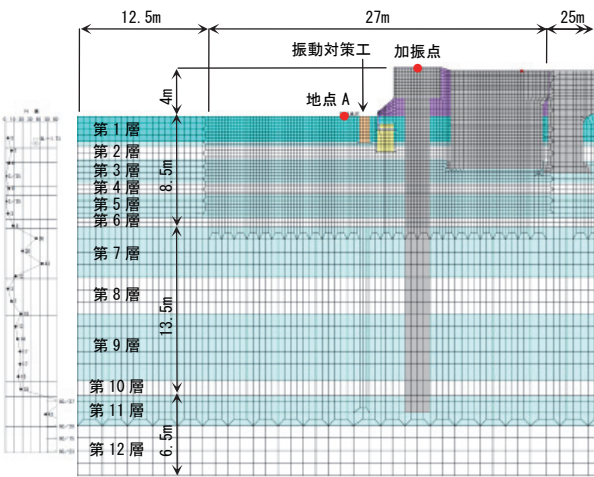


図6: 解析モデル(盛土左部分。解析はフルモデル)

表1: 物性値(構造部材)

| 対象        | 材料       | ポアソン比<br>ν | ヤング係数<br>E[kN/m <sup>2</sup> ] | 減衰<br>h | 単位体積重量<br>W[kN/m <sup>3</sup> ] | 備考                                   |
|-----------|----------|------------|--------------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 壁式橋台      | 無筋コンクリート | 0.20       | 2.20E+07                       | 0.03    | 23.0                            | f <sub>ck</sub> =18N/mm <sup>2</sup> |
| パイルベント式橋台 | RC       | 0.20       | 2.50E+07                       | 0.03    | 24.5                            | f <sub>ck</sub> =24N/mm <sup>2</sup> |
| 鋼管杭       | 鋼        | 0.30       | 2.00E+08                       | 0.01    | 77.0                            | SKK400                               |

表2: 物性値(地盤・EPS)

| 地盤          | 層厚<br>[m] | せん断波速度<br>Vs[m/s] | ポアソン比<br>ν | せん断弾性係数<br>G[kN/m <sup>2</sup> ] | 減衰<br>h | 単位体積重量<br>γ[kN/m <sup>3</sup> ] |
|-------------|-----------|-------------------|------------|----------------------------------|---------|---------------------------------|
| 盛土          | 4.000     | 148               | 0.45       | 35725                            | 0.03    | 16.0                            |
| 第1層(地下水位以浅) | 2.000     | 90                | 0.45       | 14037                            | 0.03    | 17.0                            |
| 第1層(地下水位以深) | 0.380     | 90                | 0.49       | 14037                            | 0.03    | 17.0                            |
| 第2層         | 1.100     | 150               | 0.49       | 38991                            | 0.03    | 17.0                            |
| 第3層         | 1.900     | 150               | 0.49       | 32110                            | 0.03    | 14.0                            |
| 第4層         | 0.800     | 150               | 0.49       | 38991                            | 0.03    | 17.0                            |
| 第5層         | 1.900     | 150               | 0.49       | 32110                            | 0.03    | 14.0                            |
| 第6層         | 0.700     | 150               | 0.49       | 38991                            | 0.03    | 17.0                            |
| 第7層         | 4.000     | 260               | 0.49       | 124037                           | 0.03    | 18.0                            |
| 第8層         | 2.900     | 200               | 0.49       | 61162                            | 0.03    | 15.0                            |
| 第9層         | 5.300     | 250               | 0.49       | 101937                           | 0.03    | 16.0                            |
| 第10層        | 1.200     | 250               | 0.49       | 108308                           | 0.03    | 17.0                            |
| 第11層        | 2.400     | 340               | 0.49       | 223894                           | 0.03    | 19.0                            |
| 第12層        | 3.965     | 410               | 0.49       | 342712                           | 0.03    | 20.0                            |
| EPS         | —         | —                 | 0.10       | 7100                             | 0.01    | 0.2                             |

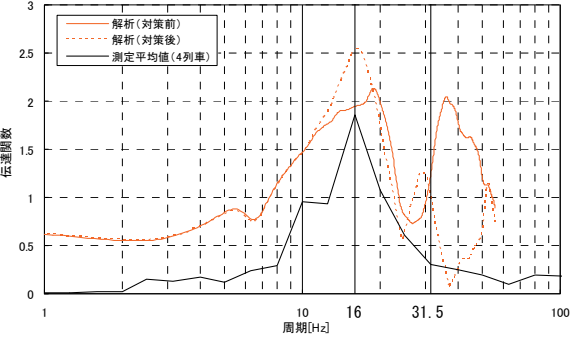


図7: 伝達関数(加振点⇄地点A)