

実務設計を目的とした高架橋の交通振動による加振力の推定

13T0241F 名執 里穂
指導教員：関口 徹

1. 研究の背景・目的

環境振動の一つとして道路交通振動があるが、近年の都市交通網の発達について高架道路などによる周辺地盤や建物の振動が依然として問題となっている。そういった問題を防止するためには、建設前の環境アセスメントや設計時においてより詳細な検討を行う必要があるが、そのためには道路交通による地盤振動を高架橋基礎から地盤への加振問題に置き換える評価をする必要がある。

しかし、現在使われている簡易手法は高架道路による振動を評価できず、それを考慮できる3次元有限要素法を用いた手法は計算に莫大な時間がかかるなど、問題点が多くある。よって、高架道路でも利用することが可能で、振動数ごとの評価も可能である簡易な振動予測の手法が求められる。

本研究では、群杭を持つ高架橋において、直近の振動波形データから1橋脚単独での地盤への加振力を逆算する。また求めた加振力から遠方での地盤応答変位を算出し、実際の計測データと比較することで推定した加振力の妥当性を評価する。目的としては、複数の高架橋におけるそれらの解析を通して、設計時に使える加振力スペクトルを検討することである。

2. 加振力の逆算及び応答解析の手法について

ここでは西本ら¹⁾の单杭モデルの重ね合わせ手法を用いて、橋脚の基礎に使用される群杭から地盤への振動伝搬を表現している。解法として2次要素を用いた軸対称有限要素法と薄層法を組み合わせた手法を用いている。薄層要素と有限要素の間のエネルギー伝達境界については、東城ら²⁾によって定式化されたものを使用している。この手法を利用し、計算時間の短縮やモデルの作成の簡略化を行う。

加振力については、これを直接求めるのは難しいため、高架橋の直近で実際に計測した振動波形データを用いて逆算することで求めることとする。なお、周辺地盤の変位を $\{G\}$ 、変位の伝達関数を $[Z]$ 、杭頭に作用する加振力を $\{f\}$ とすると(1)の式が成り立つ。各添え字は各方向を示しており、(1)式を変形し、加振力 $\{f\}$ を逆算し求める。

なお、伝達関数 $[Z]$ は石田ら³⁾、西本ら¹⁾の簡易評価手法を用いて求めている。

図1に、用いている解析手法の概念図を示す。遠

方位置での応答変位を求め、同位置での実際の計測データと比較した。

$$\begin{Bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{yx} & Z_{zx} \\ Z_{xy} & Z_{yy} & Z_{zy} \\ Z_{xz} & Z_{yz} & Z_{zz} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

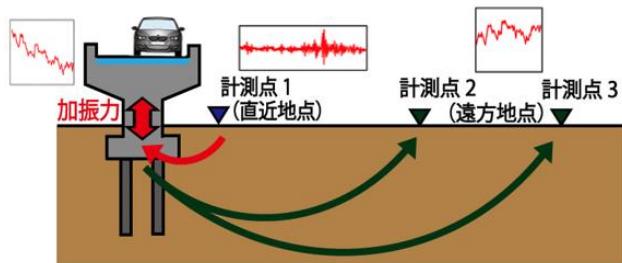


図1 解析手法の概念図

3. 対象サイトと解析モデル

加振力の算出に当たり、供用前に振動計測が行われた2か所の高架橋を対象に解析を行った。以下、U、A高架橋とする。振動が計測された地点は、橋脚中心から橋軸直交方向にU高架橋では6.7m、21.5m、66.9mの3地点、A高架橋では5.9m、26.4m、70.5mの3地点である。高架橋に近いほうから計測点1、2、3とする。

表1に2つの高架橋における杭の基礎物性を、表2に杭の基礎諸元を示す。なお、杭の基礎物性はU、A高架橋ともに同じであり、解析はパイルキャップを無視して行っている。

表1 杭の基礎物性

ヤング率 [N/m ²]	単位体積重量 [kN/m ³]	ポアソン比	減衰定数
2.50×10 ¹⁰	24.5	0.167	0.05

表2 杭の基礎諸元

	杭本数	杭長	杭心間隔	杭径
U高架橋	6本	22.5m	2.8m	1.2m
A高架橋	4本	21.5m	4.3m	1.5m

4. 推定加振力の逆算

橋脚近傍点である計測点1における加速度時刻歴を加速度フーリエスペクトルに変換したものを使用し、(1)式に基づく逆算で加振力を算出する。図2に計測点1における加速度フーリエスペクトルを、

図3に求めた推定加振力を示す。U、A高架橋共に各方向の加振力は、概ね地盤近傍の観測スペクトルのピークと同様の傾向を示している。また、これらの波形はダンプトラックの単独走行によるもので、大型トラック走行の加振力の卓越振動数は3～5Hzとなっており、図2、3からもその付近にピークが確認できる。そのほかU、A高架橋ともに15Hz附近に顕著にピークが表れているのが分かる。

5. 推定加振力による地盤応答の予測

逆算で求められた加振力を用いて、橋脚中心から遠方（観測点2、3）での応答を算出し計測記録と比較を行った。図4、図5にU、A高架橋の結果をそれぞれ示す。計測点2でほぼ同等の振幅レベルを再現できているが、遠方の計測点3では解析結果の振幅が小さくなっている。3Hz～5Hzにおけるピークについては、解析結果においてよく再現ができている。

6. 加振力の比較及び設計用加振力の推定

図6に、木村ら⁴⁾により推定された3つのサイトにおける加振力とU、A高架橋の加振力を比較したものと示す。さらに、5つの加振力の平均、平均土 σ 及び平均+ σ を双曲線で近似したものをその上に示した。なお、暗振動の影響により、本来応答の小さな2Hz以下の極めて低い振動数域では加振力が大きくなるため、平均及び平均土 σ を算出する際には省いてある。5つの平均+ σ においては3Hz、10Hz、15Hzにおいてピークが存在し、特に3Hz、15Hzで顕著である。このピンクの破線で示す平均+ σ の近似曲線の値を加振力とすれば、安全側の設計ができると考えられる。

7. まとめ

本研究では、軸対称有限要素法と薄層法を組み合わせた簡易手法を用いて、1橋脚単独での加振力を複数のサイトで求め比較し、設計時に使える適切な加振力の評価を行った。

得られた加振力はその橋脚近傍の観測波形の特徴を捉えてはいるが、遠方の応答解析に用いた場合、計測点が橋脚中心から離れるほど解析の値は実際の計測値よりも小さくなる。

推定された5つの加振力を基に、設計用加振力スペクトルを双曲線の式で提案した。

参考文献

- 1)西本昌、中井正一、関口徹：群杭を有する高架橋基礎－地盤系の交通振動伝搬簡易評価法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.349-350、2014
- 2)東城峻樹、中井正一、関口徹：異なる径の混在する群杭基礎の動的挙動に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp.223-224、2011
- 3)石田理永、中井正一：高架橋の複数橋脚を考慮した交通振動による地盤応答の予測、日本建築学会構造系論文集、No.621、pp.25-31、2007
- 4)木村聰志、中井正一、関口徹、岩田克司、石田理永、西本昌：橋脚近傍の地盤振動測定値を用いた高架橋交通振動の加振力の推定に関する検討 その2 加振力の逆算、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.395-396、2016

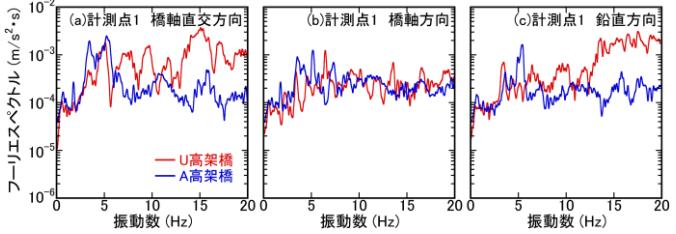


図2 橋軸直近の加速度フーリエスペクトル

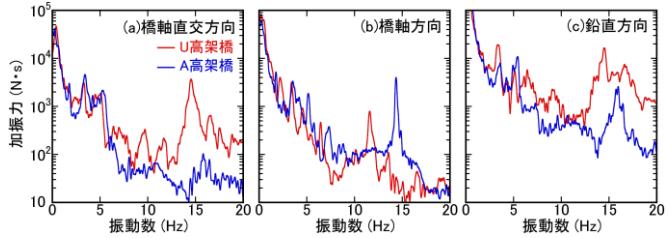


図3 各橋脚における推定加振力

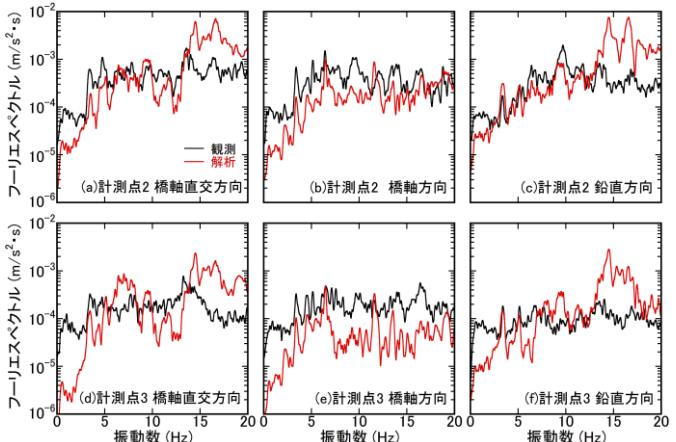


図4 推定加振力による遠方応答 (U高架橋)

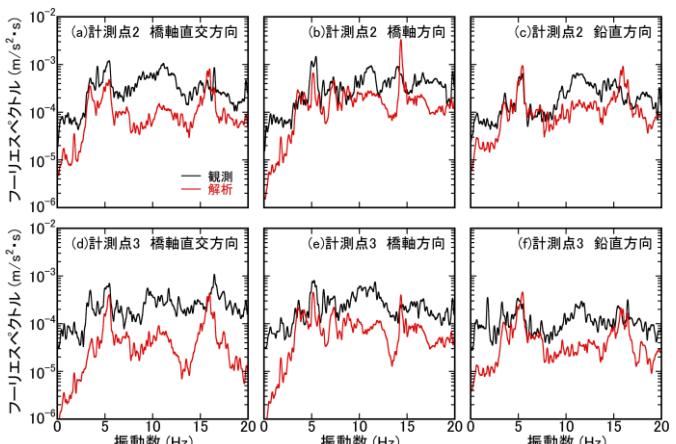


図5 推定加振力による遠方応答 (A高架橋)

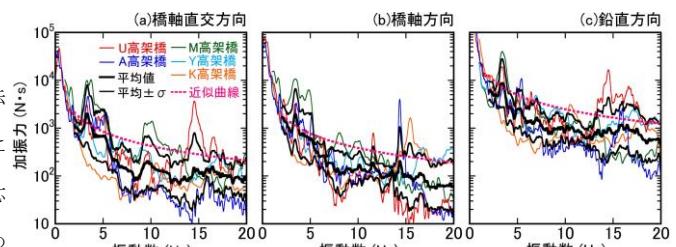


図6 推定加振力の比較と平均及び平均土 σ