

高架橋交通振動における振動源スペクトルの推定

11T0232K 津田 直毅
指導教員 関口 徹

1. はじめに

近年車両の大型化、高速化が進み、道路交通による地盤や建物の振動が問題となっている。道路交通に起因する地盤振動を評価する際には、各種道路上における車両走行外乱を地盤に対する加振力という形に置き換えて評価を行う必要があるが、高架道路の設計時における適切な地盤加振力スペクトルが定められていない。

地盤加振力スペクトルを求める方法として3次元有限要素法を用いたものがあるが、この方法は杭や地盤のモデル化が煩雑で計算に長い時間を要するため、複雑なモデルの場合は実用的ではない。

そこで本研究では、地盤加振力スペクトルの算出を、実務での使用を想定した単杭の重ね合わせを用いた簡易な手法で行うことを目的としている。

2. 高架道路を加振源とする応答変位の評価方法

高架道路で発生する振動は、加振力となって橋脚基礎杭の杭頭に作用する。これにより杭に振動が伝わり、周辺地盤へ伝搬することで地表面振動(変位)が生じる。周辺地盤の変位を $\{U\}$ 、変位の伝達関数を $[Z]$ 、杭頭に作用する加振力を $\{b\}$ とおくと x 、 y 、 z の3成分に関して以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{yx} & Z_{zx} \\ Z_{xy} & Z_{yy} & Z_{zy} \\ Z_{xz} & Z_{yz} & Z_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

本研究では、杭基礎近傍地盤における変位の伝達関数を、石田ら¹⁾、西本ら²⁾の簡易評価手法を用いて算出し、杭頭に作用する加振力スペクトルを逆算した。

逆算した加振力スペクトルを用いて遠方の応答変位を求め、同位置の観測記録と比較することにより本手法の妥当性を検討した。

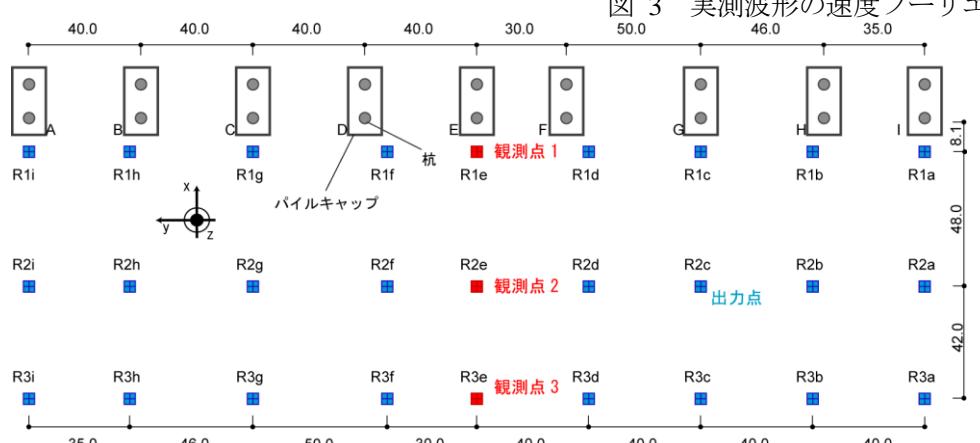


図 1 対象としたサイトの配置図と解析出力点

3. 振動計測の概要

図1に対象とした高架道路の橋脚のパイルキャップと観測点の配置を示す。南北に延びた高架の高速道路の東側の幅約180mの公園で振動計測が行われている。

観測点1で計測された時刻歴波形について、石田ら³⁾の手法で繰り返し現れる波形形状のパターン分類を行った結果、典型的な形状の代表波としてType1、Type2を抽出した。

図2にType1、Type2それぞれの実波形を、図3に速度フーリエスペクトルを示す。Type1は車両ばね上振動数帯域(3Hz付近)のみの周波数成分を有し、Type2は同振動数帯域に加えてばね下振動数帯域(10Hz付近)にもパワーを持つ。

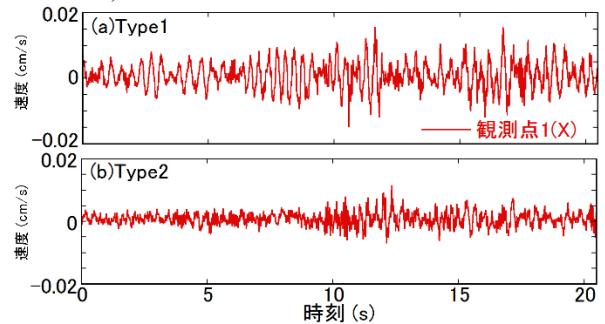


図 2 実測波形

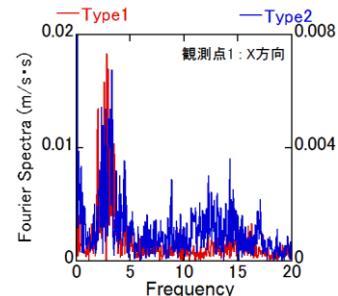


図 3 実測波形の速度フーリエスペクトル

4. 地盤応答シミュレーション解析

4.1 変位の伝達関数算出

シミュレーション解析に先立ち、単杭の重ね合わせによる手法 Superposition of Single Pile (以下 SSP) の変位応答解の精度検証のため、3 次元有限要素法解析プログラム SASSI との比較を行った。表 1, 2 にモデルの地盤と杭の物性を示す。

図 4 に、観測点 2 における SASSI と SSP との伝達関数の比較を示す。いずれの成分も低い振動数帯(3Hz 付近)ではおおむね近い値となっているが、高い振動数帯になるほど SASSI の結果とずれが生じる。これは、SASSI において考慮されているパイルキャップが SSP において考慮されていないためと推測される。

4.2 複数橋脚からの応答の重ね合わせの考慮

弾性論の重ね合わせの法則を用いると、観測点 1 における応答は、本来は橋脚 A~I から伝搬した振動の重ね合わせだが、基礎と地盤の条件が同じであれば、橋脚 E に加振力が作用した際の R1a~R1i での応答の和と等価となる。なお、観測点 1 における伝達関数を求める際、図 1 のとおり観測点 1 の最近傍橋脚とその両脇 4 本ずつの計 9 本の橋脚の影響を考慮している。

4.3 遠方の応答変位の算出

遠方の応答変位を算出するため、式(1)に基づき加振力 $\{b\}$ を求めた。得られた加振力を用いて観測点 2, 3 における応答変位を算出した。

図 5, 6 に同位置の観測記録と比較したものを示す。また、SSP から得られた解析結果は、周波数領域において平滑化を行っている。Type1 から求められた応答変位は車両ばね上振動数帯域(3Hz 付近)のみの周波数成分を有しており、おおむね観測記録の周波数特性を再現している。また、Type2 から求められた応答変位においても、ばね下振動数帯域(10Hz 付近)の周波数成分を有していることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、単杭の重ね合わせを用いた簡易手法により高架橋の加振力の算出を行った。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 単杭の重ね合わせによる手法を用いることで、良好な地盤応答のシミュレーション結果を得た。
- 2) 単杭の重ね合わせによるモデルと、パイルキャップを考慮に入れたモデルを比較すると高い振動数領域において伝達関数に差異が生じることがわかった。本手法において、パイルキャップを考慮にいれたモデル化を今後の課題とする。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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、2014
- 3) 石田理永、猪飼吉宏、名雪剛、中井正一:道路網の発達した地域一帯の地盤振動性状の把握、第 35 回地盤工学研究発表会(岐阜)発表講演集 2 分冊の 2, pp. 2357-2358, 2000

表 1 地盤物性

層厚 [m]	単位体積質量 [t/m ³]	S 波速度 [m/s]	ボアソン比
3.6	1.70	130	0.480
2.8	1.50	130	0.493
2.9	1.80	150	0.491
8.3	1.50	130	0.493
7.1	1.60	180	0.486
4.8	1.80	280	0.465
4.0	1.55	230	0.477
4.8	2.00	590	0.298
8.8	1.90	380	0.252
	1.95	440	0.380

表 2 杭物性

単位体積重量[t/m ³]	ヤング率	減衰定数	ボアソン比
0.167	2.06×10^4	0.03	0.167

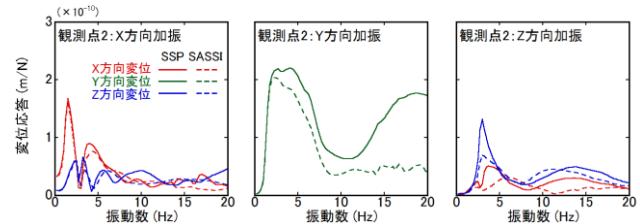


図 4 SASSI と SSP による伝達関数の比較

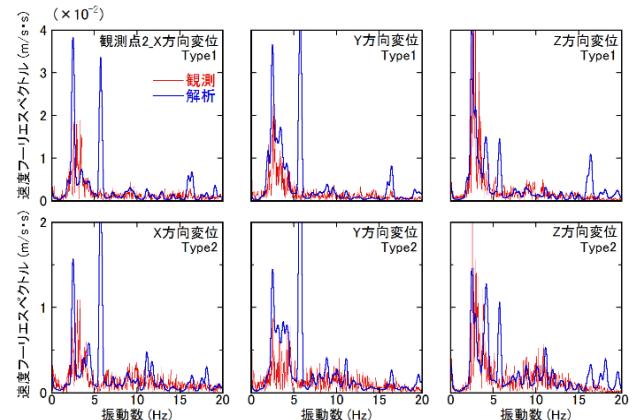


図 5 観測点 2 における観測波形と解析結果の速度フーリエスペクトル

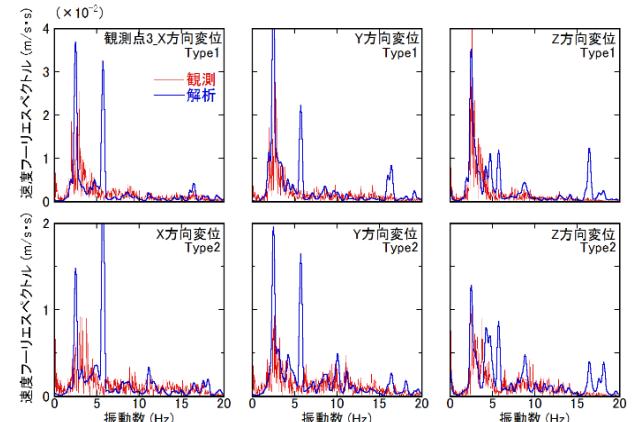


図 6 観測点 3 における観測波形と解析結果の速度フーリエスペクトル