

高速交通ネットワーク網における構造物 - 地盤系の振動伝播特性に関する一考察

大阪府立工業高等専門学校 正員 小幡 卓司
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 金谷 武伸
 北海道大学大学院工学研究科 正員 蟹江 俊仁
 北海道大学大学院工学研究科 正員 赤川 敏

1. まえがき

近年、道路交通、鉄道等の交通輸送ネットワークの高速化が進んでいる。高速道路では第二名神高速道路において一部設計速度 120km/h の区間が存在し、新幹線においては一部 300km/h の営業速度区間が設定されている¹⁾。また鉄道在来線においても、車両の改良により、130km/h ~ 140km/h の連続高速運転が行われている。

今後もさらなる交通ネットワークの高速化が望まれるが、一方で構造物 - 地盤系の動的相互作用による環境振動の増大の可能性が懸念される。すなわち、車両の高速化に伴い、構造物の振動が増大し、基礎・地盤を通じて地盤振動が遠方まで到達する可能性を有することは、交通ネットワークの高速化に制約を与えかねない大きな問題である。

そこで本研究では、車両高速運転時のデータを分析し、軟弱地盤における構造物 - 地盤系の振動伝播特性について考察を加え、ある程度遠距離まで振動が伝播するメカニズムについて一つの仮説を構築するに至った。

2. 高速運転データと振動特性

本研究で用いた加速度振動波形とフーリエスペクトルを図-1 に示す。本データは、30m の杭基礎を有する橋長 20m の PC 単純桁の高架橋上を、高速走行する車両通過時における動的応答である。また、地盤は表-1 に示すとおり、非常に軟弱で、杭先端の支持層 (N=50 以上) までは、地質の相違はあるものの、ほとんどの層で N=5 程度以下である。波形の測定位置は、橋脚は支承付近橋軸方向、主桁は L/4 点鉛直方向であり、地盤に関しては、橋桁直下、12.5m、25m の鉛直方向である。

なお、応答波形は得られた加速度応答値の最大値で無次元化を行い、フーリエスペクトルについても、個々の最大値で割り戻すことによって波形と同様に無次元化して表現している。

波形とスペクトルに着目すると、構造物においては、構造物の固有振動と車両による振動が混在しており、比較的高周波の車両走行に起因する振動が卓越する傾向が見られる。構造物に起因する振動と予測される応答は、橋軸方向に比較的大きく生じている 4Hz 付近の応答が、橋脚の橋軸方向 1 次モードと推定される。

次に、地盤の応答に着目すると、構造物から離れるに従い、明らかに 4Hz 付近の卓越振動数が認められ、

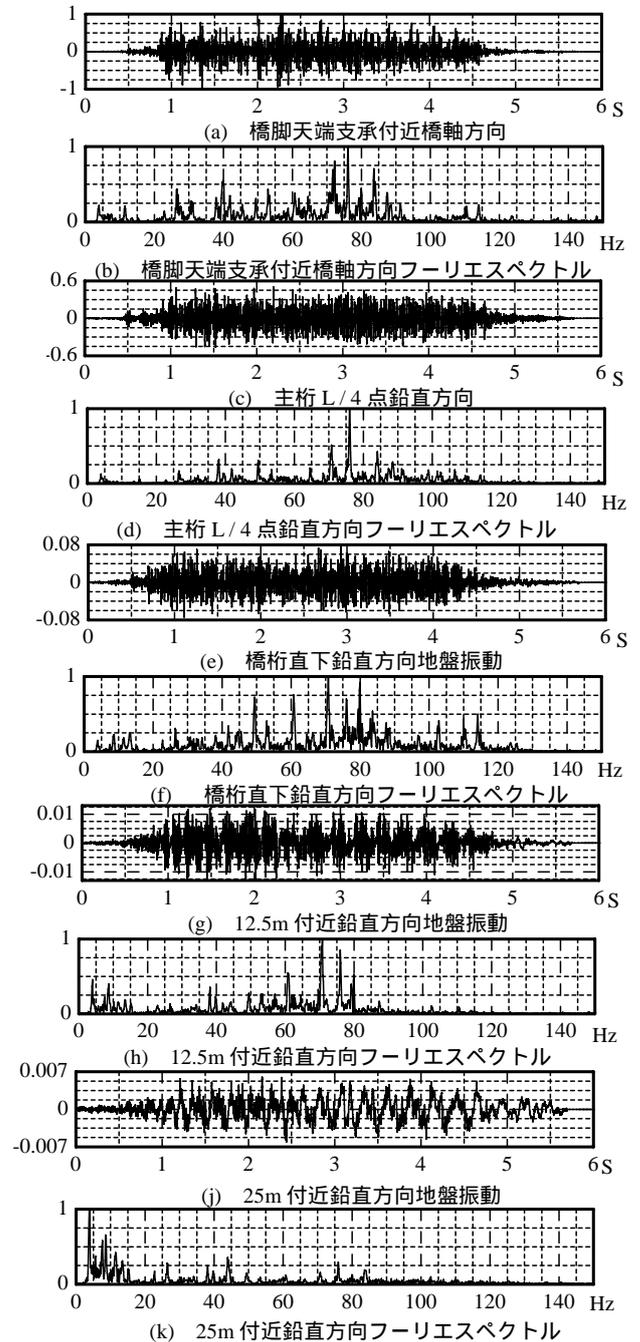


図-1 振動応答波形とフーリエスペクトル

これより軟弱地盤層の固有振動数は 4Hz 付近にあると考えられる。この 4Hz 程度の振動に対する減衰定数は、車両通過後の減衰自由振動波形から、およそ 7% 程度と地盤の減衰定数としては比較的小さい値であることが判明した。また図-2 は橋脚天端橋軸方向と 12.5m、25m

キーワード：振動伝播特性、構造物 地盤系、動的相互作用

連絡先：大阪府寝屋川市幸町 26-12 TEL:072-820-8583 email:obata@ipc.osaka-pct.ac.jp

の地盤におけるコヒーレンスと位相角である。これらを比較すると、4Hz付近で非常に強い相関性が認められ、構造物の1次モードと推定される振動と、地盤の固有振動が共振していると思われる結果となっている。この低周波振動は、表層の軟弱地盤におけるレーリー波の発生によるものと考えられる。

3. 振動応答の伝播メカニズム

一般に、フーチングのように地盤表面付近に加振源が存在する場合、レーリー波が発生することが知られており、その速度はS波とほぼ一致する。表-1からは表面付近のS波速度は100m/sec程度であり、図-1の地盤応答から卓越振動数を4Hzとすると、波長は25mと求められる。減衰定数を7%とすれば、100m進行しても振幅はおよそ3割しか減衰せず、約70%も残ることになる²⁾。

一方、図-1(j)の25m付近の地盤振動から、車両通過中のおよそ4.0secまでは、概ね70Hz~90Hz程度の高振動数の応答が地盤の固有振動数に重ね合わせたような波形となっているが、通過後は高振動数成分が急速に減衰あるいは拡散し、地盤の低周波のみが減衰自由振動するような振動性状に変化していることが分かる。

この現象は、地盤表層に減衰の小さい低周波の固有振動数を有する場合、これが伝送波の役割を果たし、高周波を遠方まで運ぶような傾向を有しているものと推定される。すなわち、軟弱地盤における、比較的長距離まで影響する波動伝播メカニズムは、以下のような仮定を行うことが可能と考えられる。

- 1) 車両 - 構造物 - 地盤系振動に、地盤と共振するような、10Hz以下程度の低次の固有振動数が存在する。
- 2) 地盤が軟弱で、表面波(レーリー波)の減衰が地盤としてはきわめて低い。
- 3) 車両通行時に、30Hz~100Hz程度の卓越振動数も同時に発生する。
- 4) 地盤の固有振動数と一致する応答が伝送波の役目を担い、30Hz~100Hz程度の応答を遠方まで運ぶ。

本研究のデータ分析結果からは、上記のような伝播メカニズムが十分に推測されると思われる。これに加え、入力源を特定し、地盤の振動特性、特に表面波の伝播特性を十分に把握した上で、構造物 - 地盤系の動的相互作用を考慮した解析を行うことによって、ある地点における地盤振動予測、さらに伝播距離とその強度の推定も可能になるものと考えられる。

4. あとがき

以上のように、本研究では高速交通ネットワークにおける振動データから、比較的長距離まで振動が伝播するメカニズムについて考察を加え、前述のような仮

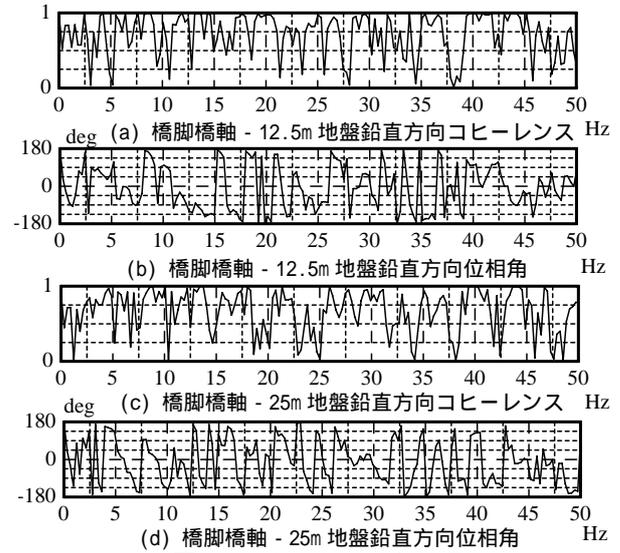


図-2 コヒーレンスと位相角

表-1 ボーリングデータ

深度 m	N値					密度 (g/cm ³)	剛性率 G (kN/m ²)	S波速度 v (m/sec)
	0	10	20	30	40			
1						1.66	1.66E+04	100.0
2								
3						1.65	1.25E+04	87.0
4								
5						1.62	2.22E+04	117.0
6								
7								
8								
9								
10								
11						1.63	2.31E+04	119.0
12								
13								
14								
15								
16						1.65	2.38E+04	120.0
17								
18						1.66	2.63E+04	126.0
19								
20						1.65	3.85E+04	152.7
21								
22								
23						1.59	2.65E+04	129.0
24								
25								
26								
27						1.80	1.00E+05	235.9
28								
29								
30						1.69	2.44E+05	380.0

説を構築することを試みたものである。

しかし、現状の分析結果の範囲では、あくまでも推測の域を出ないと思われるが、ある程度合理的な波動伝播メカニズムの説明が可能と考えられる仮説を構築することが出来たと考える。

今後の課題として、ボーリングデータ以外にも、地盤の表面波探査も含めた、より多くの実測データを収集し、解析を加えることによって、本研究の内容を検証する必要があるものと思われる。

【参考文献】

- 1) 第二名神高速道路建設促進協議会：第二名神高速道路
http://www.pref.osaka.jp/kotsudoro/daini/index.html
- 2) 土木学会 編：地震動・動的物性、動的解析と耐震設計 第1巻、技報堂出版、pp107~113、1989