

対象路線に沿った地盤および高架橋の地震動増幅の空間変動

(公財)鉄道総合技術研究所 ○(正)岩田直泰 (正)津野靖士

1. はじめに

現在、地震後の列車の運転停止や再開の判断は、過去の地震における地表面の揺れの大きさと鉄道に関する被害の経験的関係から地表面の揺れを基準として行っている。しかし、構造物上を走行する鉄道車両や構造物上に存在する電化柱へは、その地点の構造物上の地震動が入力される。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の本震や余震では、東北新幹線において高架橋上の電化柱が広範囲に渡り折損・傾斜した事例が報告されている(例えば1)。よって、路線に沿った構造物の振動特性を事前に把握し、地震発生後に構造物上の地震動を素早く推定することは列車の安全運行にとって重要となる。本研究では、モデル路線において測定した微動に基づき高架橋の振動特性を把握し、別途算出した地表面の地震動を組み合わせることで高架橋上の地震動を推定して、地盤と高架橋の地震動増幅の空間変動に関する考察を行う。

2. モデル路線に沿った高密度な微動測定および高架橋の振動特性の同定

高架橋上の地震動を推定するモデル路線には、図1に示す宮崎リニア実験線を選定した2)。この路線は全線が高架橋で構成されているおり、中間地点(図1のSite A)と終端地点(同図のSite B)の地盤上と高架橋上において約2年間の地震観測を行った3)。また、地盤上と高架橋上において約0.1km間隔で微動測定を行った。このうち、地盤上で得られた微動のH/Vスペクトル比を路線に沿ったS波速度構造の推定に用い2)、地盤上と高架橋上の微動のフーリエスペクトル比を高架橋の振動特性の同定に用いた。この際、高架橋は1質点径にモデル化した4)。路線に沿った地盤のS波速度構造推定や高架橋の振動特性把握の詳細は参考文献2)および4)を参照されたい。

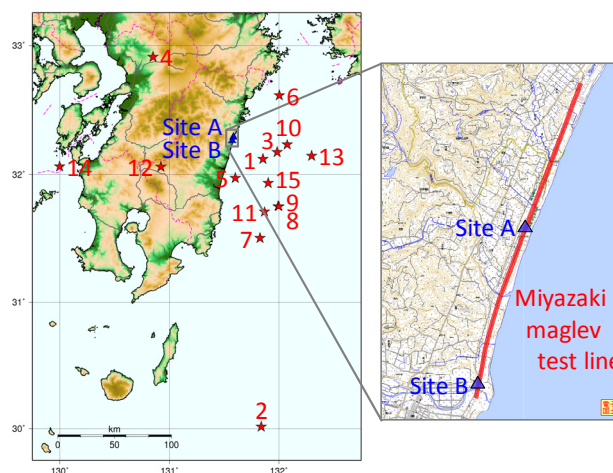


図1 宮崎リニア実験線の位置と対象地震の震央位置

3. 地盤上および高架橋上の地震動推定

モデル路線沿線での地震観測で得られたデータのうち、本研究では両地点の地表面の水平成分合成加速度が $1(\text{cm/s}^2)$ 以上を用いた。対象とした地震の一覧と震央位置を表1および図1に示す。これらの地震に対する地盤上と高架橋上の実測と推定の推定地震動を、各々図2と図3に示す。なお、本研究において推定する地震動指標は最大速度(cm/s)とした。地盤上の地震動は重複反射理論、高架橋上の地震動は微動に基づき同定した固有周波数と減衰定数を用いて1質点系モデルによる応答として推定した。これらの推定はSite Bの地盤上で観測された地震動を参照することにより行った。地震

表1 対象地震の一覧

No.	Date	Time	Mag.	Focal Dep. (km)	Epicentral region
1	Feb. 28, 2011	09:04	4.6	34	Hyuga-nada
2	Apr. 9, 2011	21:57	5.8	62	S.E. off Tanegashima island
3	Apr. 20, 2011	02:35	3.7	30	Hyuga-nada
4	Oct. 5, 2011	23:33	4.5	10	Kumamoto region
5	Jan. 20, 2012	17:36	3.9	37	Hyuga-nada
6	Jan. 30, 2012	03:18	4.9	39	Hyuga-nada
7	Feb. 9, 2012	12:55	4.6	22	Hyuga-nada
8	Feb. 29, 2012	01:22	4.5	28	Hyuga-nada
9	Feb. 29, 2012	19:33	4.1	25	Hyuga-nada
10	Apr. 3, 2012	18:10	4.1	20	Hyuga-nada
11	May 14, 2012	12:36	4.8	27	Hyuga-nada
12	Jun. 4, 2012	15:50	4.4	9	South Miyazaki pref.
13	Jun. 20, 2012	03:34	4.1	26	Hyuga-nada
14	Aug. 17, 2012	08:46	4.9	10	Amakusa-nada
15	Oct. 26, 2012	01:54	4.4	27	Hyuga-nada

動推定の詳細は参考文献2)および4)を参照されたい。その結果、推定はやや過少となっている地震も見られるが、概ね良好な推定ができたと考える。図4は、モデル路線に沿った地盤上と高架橋上の推定地震動(No.4, 2011年10

キーワード 地盤, 高架橋, 地震動推定, 地震動増幅, 空間変動, 宮崎リニア実験線

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 地震解析 TEL:042-573-7273

月5日、熊本県熊本地方の地震)を示す。この図には実測値も併せて示すが実測と推定は概ね一致しており、当該地震において地盤上および高架橋上とも全線に渡り良好な地震動が推定できたと考える。

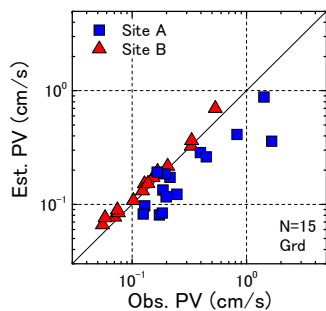


図2 地盤上の地震動推定

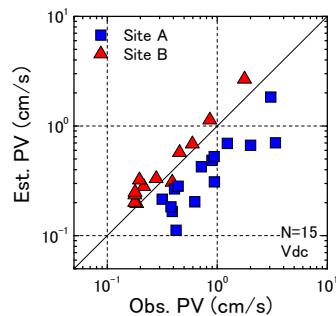


図3 高架橋上の地震動推定

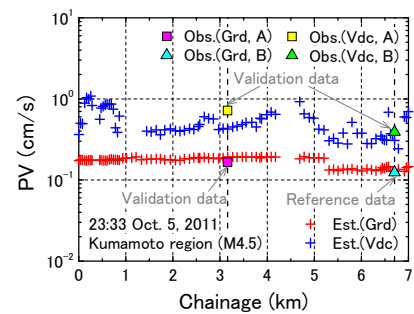


図4 路線に沿った推定地震動

4. 地盤ならびに高架橋の地震動の増幅特性

地震動の良好な推定が確認されたことから、地盤と構造物の増幅特性を算出した。図5は対象地震における Site B の基盤(Bsm)と地盤上(Grd)の推定地震動の関係を示す。基盤地震動は S 波速度が 700m/s の層の下面に対する入力地震動として求めた²⁾。図中の赤線は両対数をとった場合の傾きを 1 とした線形回帰直線であり、その切片を評価地点における平均的な増幅度(Amp)としている。図6は Site B における地盤上(Grd)と高架橋上(Vdc)の推定地震動の関係である。また、図7は対象路線に沿った全対象地震の平均的な増幅度を示す。ここで、Grd/Bsm は地盤、Vdc/Grd は高架橋の増幅度を表しており、この図によると構造物増幅は地盤増幅より小さいが、前者は後者と比べ空間変動の程度が大きいことが認められる。

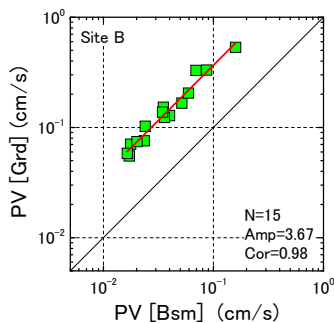


図5 地盤による地震動増幅

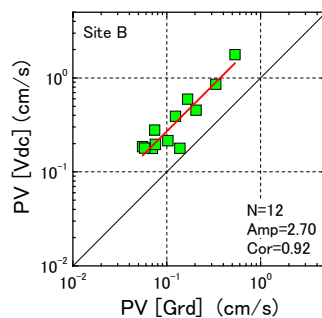


図6 高架橋による地震動増幅

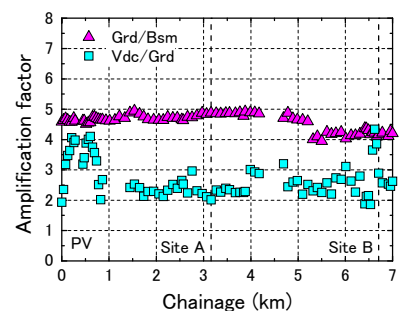


図7 路線に沿った地震動増幅特性

5. おわりに

本研究は、地盤および高架橋による地震動増幅の空間変動を把握することを目的とした。対象路線に沿って検討を行った結果、地盤増幅と比べ高架橋増幅は空間変動の程度が大きいことが分かった。高架橋上の地震動を正確に推定するためには、その空間変動が比較的大きいことから、微動等に基づき高密度に振動特性を把握する必要があると考える。なお、本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 水野光靖, 野澤伸一郎: JR 東日本の鉄道施設における地震被害と復旧状況, 土木学会誌, 96, 7, 13-16, 2011.
- 2) 岩田直泰, 津野靖士, 山本俊六: 宮崎県中部沿岸部における線状連続の S 波速度構造および地震動の推定, 物理探査, 67, 2, 2014.
- 3) 岩田直泰, 山本俊六, 野田俊太, 伊藤賀章, 津野靖士, 宮腰寛之: 宮崎リニア実験線および高千穂高原鉄道跡地における地震観測から得られた構造物の応答特性, 土木学会第 68 回学術講演会, I-134, 267-268, 2013.
- 4) Iwata, N. and S. Tsuno: Estimation of vibration characteristics and seismic responses of railway viaducts using microtremors data, *Proceedings of the 11th SEGJ International Symposium*, 2013