高速道路盛土における微動と地震動の振動特性の比較

芝浦工業大学 正会員 紺野克昭 芝浦工業大学大学院 学生員 ○大塚悠大
東日本高速道路(株) 渡辺陽太 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング 安井敏洋
(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 生方健太 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング フェロー 永井 宏

１．目的

地震による高速道路盛土の被災事例は多数見られる．被災には強い入力地震動，盛土内水による強度の低下などの他，盛土材の S 波速度も影響していると考えられる．S 波速度の遅い盛土材で構成されている盛土は，地震動による応答値も大きくなり，損傷を受けやすいためである．したがって，地震対策のひとつとして，盛土材の S 波速度の調査が挙げられる．この調査には精度の他，低コストが求められる．そこで，本研究では比較的低コストで実施できる常時微動観測に着目する．常時微動は地盤や建物の振動特性の推定に利用されている．これらの振動特性は部材の S 波速度に依存していることから，S 波速度の推定にも応用可能である．

常時微動記録から振動特性を推定する場合，2 点間のスペクトル比（以下，伝達関数），1 点観測による水平動と上下動のスペクトル比（以下，H/V スペクトル）が用いられている．しかし，盛土における伝達関数，H/V スペクトルから得られる振動特性については，十分に明確にはなっていない．そこで，本研究では地震観測と常時微動観測を行い，両者の比較を通して，微動から得られる振動特性について検討したので報告する．なお，微動の上下動成分を考えるため，地震動の P 波区間についても解析対象とした．

２．地震観測と微動観測の概要

対象盛土は常磐自動車道那珂 IC 近くの片側 2 車線，盛土高 9.2m の台形状の盛土（92.3KP）である．地震観測は上り側斜面（勾配 1：1.8）の法肩と法尻の計 2 台の地震計（㈱近計システム，SDP-1000）で実施している[1)]．観測は 2012 年 10 月より開始し，2015 年 5 月までの計 31 地震の観測記録を解析対象とした．なお，当該盛土では 2013 年 1 月に盛土内水の水位を低下させることを目的に，砕石竪排水工が施工されており[2)]，地震記録は施工前の 8 地震，施工後の 23 地震である．使用した地震記録の震央距離と気象庁マグニチュード（Mj）の関係を**図 1**，Mj と最大加速度の関係を**図 2** に示す．一方，微動観測は**表 1** に示す通り，計 6 日間行っている[2, 3)]．観測は計 5 台の微動計（㈱ミツトヨ，SMAR-6A3P）の配置を換えながら行っている．本研究では 2 台の地震計に隣接して観測した微動記録を解析対象とした．

３．地震記録と微動記録の伝達関数

地震動の横断，縦断，上下方向の法尻に対する法肩の伝達関数を，施工前と施工後に分けて**図 2** に示す．なお，伝達関数は横断，縦断方向は S 波初動の 1 秒前から原則 10 秒間，上下方向は P 波初動の 1 秒前から原則 7 秒間の区間の記録を使用している．太線は平均値，網掛けは平均値±標準偏差の範囲を示している．図には示していないが法肩における水平動のスペクトルのピーク周期は 0.3～0.5s に見られたので，水平動の伝達関数のピーク周期は 0.3s 以上の最大ピークを読むことにした．図中には，平均値におけるピーク周期とピーク値を示しているが，同一方向では施工前後でほとんど変化がないことが分かる．一方，縦断方向のピーク周期は横断方向に比べて若干長く，これは盛土の幾何形状の影響によるものと考えられる．

同様に微動の伝達関数を**図 3** に示す．各方向とも微動と地震動の伝達関数の形状は類似していることが分かる．横断方向では微動のピーク周期は地震動のピーク周期に比べ若干長い傾向が見られるが，縦断，上下方向の両者のピーク周期はほぼ同じであることが分かる．また，地震動ではピーク周期より長周期側で振幅のばらつきが小さくなるのに対し，微動では大きくなる逆の傾向が見られた．

４．地震記録と微動記録の H/V スペクトル

地震動の法肩における横断，縦断方向の H/V スペクトルを**図 4** に示す．なお，地震記録の解析区間は水平，上下方向とも水平方向の伝達関数と同区間である．横断方向に関しては，施工後にピーク周期が若干短くなっていることが分かる．ただし，伝達関数に比べ H/V スペクトルの振幅のばらつきは大きく，このピーク周期の変動が施工に

キーワード 高速道路盛土，地震動，常時微動，伝達関数，H/V スペクトル，振動特性
連 絡 先 〒135-8548 江東区豊洲 3-7-5，Tel 03-5859-8357，konno@sic.shibaura-it.ac.jp

よるものかの判断は難しい．H/V スペクトルのピーク周期は伝達関数のピーク周期に比べて若干長い傾向になることが分かる．これは，伝達関数が法肩と法尻の間の盛土構造の影響を強く反映しているのに対し，H/V スペクトルは盛土下地盤の影響も含まれているため，盛土下の盛土施工前の表層地盤による影響も反映されたためと推測される．また，伝達関数の場合と異なり，H/V スペクトルの横断，縦断方向のピーク周期の差異は，ほとんどないことも分かる．

同様に法肩における微動の H/V スペクトルを**図 5** に示す. 伝達関数と同様に微動と地震動の H/V スペクトルの形状は類似している．しかし，横断方向のピーク周期は地震動と微動でほぼ同じであるが，縦断方向は微動の方が若干短周期であることが分かる．また，微動の H/V スペクトルのばらつきは地震動に比べて小さく，ピーク値は地震動に比べて約半分になっていることが分かる．

5．考察

微動から得られた伝達関数，H/V スペクトルのピーク周期は地震動のそれらと概ね一致することが分かった．このことは，微動を用いて実体波の振動特性をある程度推定できることを示している．ただし，微動と地震動のピーク周期の若干の差異や横断方向と縦断方向との若干の差異もある．前者の差異は微動に含まれる表面波の影響，後者は盛土の幾何形状の影響が原因と考えられる．今後，地震動と微動の数値シミュレーションを通し，これらの差異を明らかにするとともに，微動から得られるこれらのピーク周期から，盛土材の S 波速度の推定を試みていく予定である．

表 1　微動観測の実施日

No	実　施　日	備　考
1	2012/10/24(水)	対策工前
2	2012/11/26(月)	
3	2013/03/05(火)	対策工後
4	2013/06/24(月)	
5	2013/10/10(木)	
6	2014/07/31(木)	

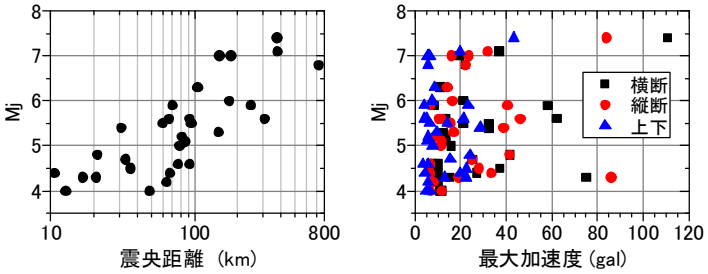
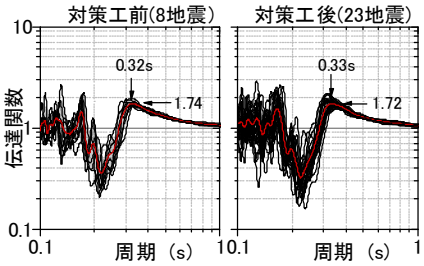
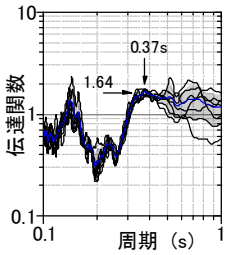


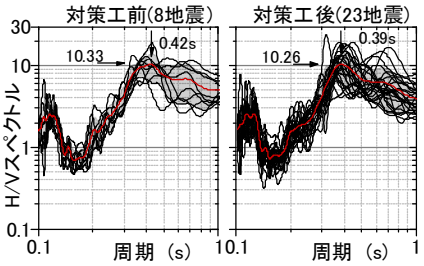
図 1　解析に使用した地震の震央距離，最大加速度と Mj の関係



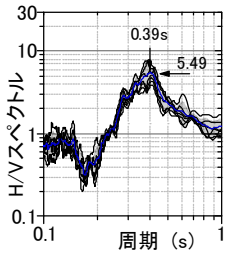
(a) 横断方向 (S 波区間)



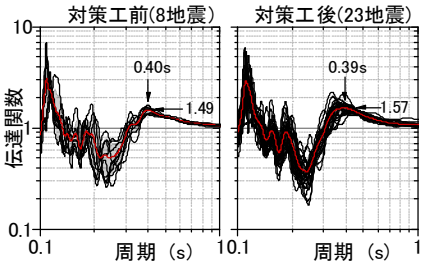
(a) 横断方向



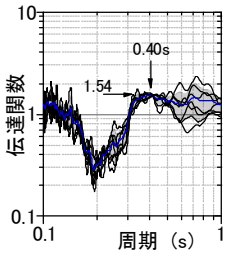
(a) 横断方向 (S 波区間)



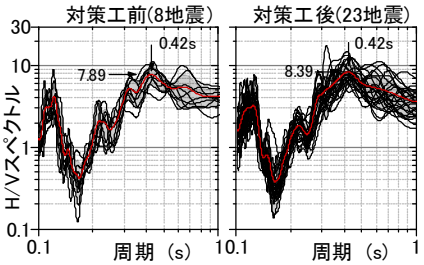
(a) 横断方向



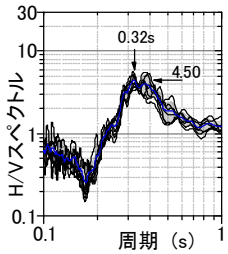
(b) 縦断方向 (S 波区間)



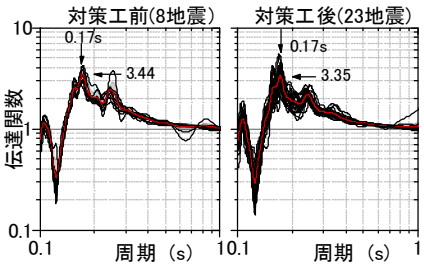
(b) 縦断方向



(b) 縦断方向 (S 波区間)

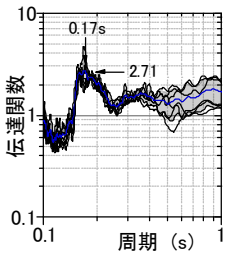


(b) 縦断方向



(c) 縦断方向 (P 波区間)

図 2　地震動の伝達関数



(c) 縦断方向

図 3　微動の伝達関数

図 4　地震動の H/V スペクトル（法肩）

図 5　微動の H/V スペクトル（法肩）

参考文献：1）紺野，鈴木，長尾，宮島，伊藤，堀内：常時微動を用いた高速道路盛土の振動特性の推定，土木学会第 68 回年次学術講演会，Ⅰ部門，2013．2）紺野，岩瀬，鈴木，長尾，安井，今野，脇本：砕石竪排水工施工後の高速道路盛土の微動特性の変化，土木学会第 69 回年次学術講演会，Ⅰ部門，2014．3）岩瀬，紺野，渡辺，長尾，安井，天野，中島：高速道路盛土の微動測定から推定した振動特性と盛土内水位の関係，土木学会第 70 回年次学術講演会，Ⅰ部門，2015.