

高速道路盛土における微動観測と地震観測

芝浦工業大学大学院	学生員	大塚 悠大	芝浦工業大学	正会員	紺野 克昭
東日本高速道路		渡辺 陽太	ネクスコ東日本エンジニアリング		渋谷 正浩
ネクスコ東日本エンジニアリング		相山 公男	ネクスコ東日本エンジニアリング	正会員	伊勢谷真樹
			ネクスコ東日本エンジニアリング		生方 健太

1. 目的

前報¹⁾では、常磐自動車道那珂 IC 近くの高速道路盛土 (92.3KP) での地震記録、微動記録から得られた法肩と法尻のスペクトル比 (以下、伝達関数) の形状やピーク周期は比較的一致していること、同様に法肩での H/V スペクトルの形状やピーク周期も比較的一致していることを報告している。これらのピーク周期は盛土の S 波速度と関係していると考えられるが、対象盛土の S 波速度は不明である。観測に使用している 2 台の地震計 (近計システム, SDP-1000) では個々に GPS による時刻校正が行なわれているが、P 波の立ち上の時刻に大きな差が見られ、同期に問題がある可能性があった。そこで、新たに 2 台の地震計 (東京測振, CV-374A を感度 10 倍に変更) を既設の法肩、法尻の地震計に隣接させ (図 1)、1 台は GPS 時刻校正を行い、2 台間を同期ケーブルで接続して同時観測を行なった。本報告では、SDP-1000 を旧地震計、CV-374A を新地震計と呼ぶことにする。旧地震計は 2012 年 10 月から、新地震計は 2016 年 11 月から観測を行なっている。更に、新地震計は地震観測の他、連続観測も行なっている。

本研究では、前報以降も含めた地震記録と微動記録の伝達関数、H/V スペクトルの推定、新旧地震計の地震波形の比較、新地震計と微動計 (ミットヨ, SMAR-6A3P) の同時記録における振動特性の比較、法尻から法肩の S 波、P 波の伝播時間を用いた S 波、P 波速度の推定などを行なったので報告する。

2. 地震観測と微動観測の概要

対象盛土は片側 2 車線、盛土高 9.2m の台形状の盛土である。地震、微動観測は上り側の斜面 (勾配 1:1.8) で行なっている。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、砕石豎排水工が施工されている²⁾。前報に対し地震記録は 6 地震 (2015 年 8 月~2016 年 8 月) を追加し、微動観測は 1 回 (測定日: 2016 年 12 月 8 日) を追加している。

3. 地震記録と微動記録の伝達関数、H/V スペクトル

旧地震計で得られた地震記録に対する横断、縦断方

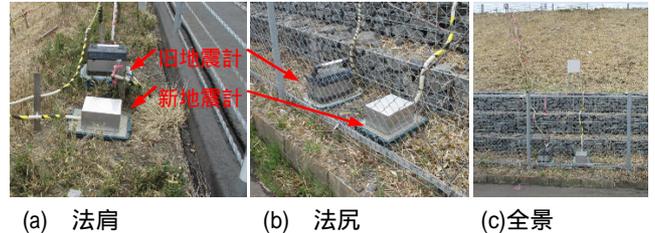
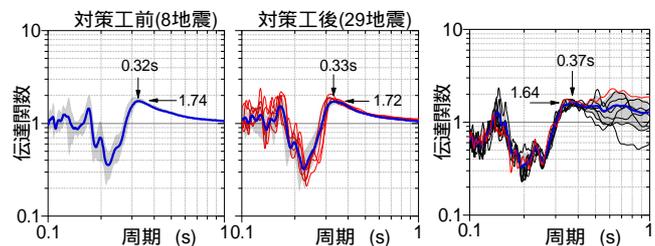
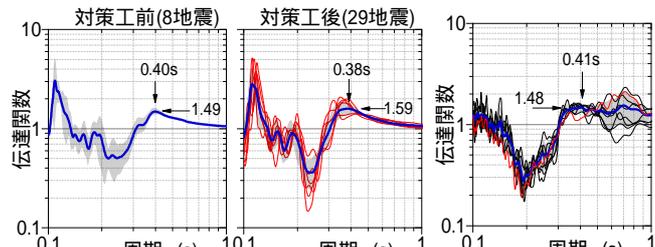


図 1 盛土の法肩と法尻における新旧地震計

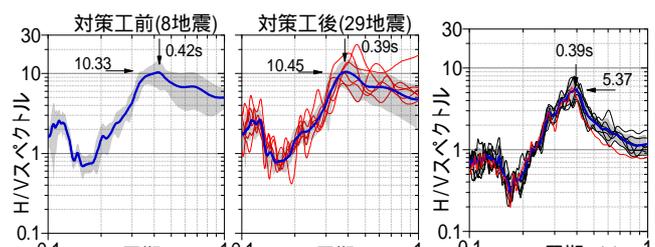


(a) 横断方向 (S 波区間)

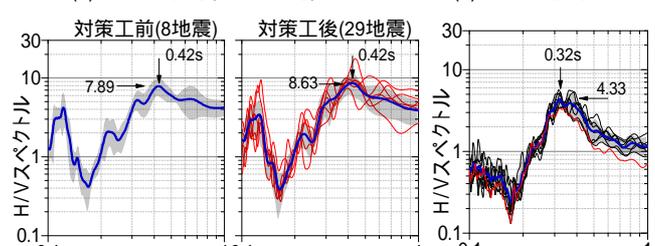


(b) 縦断方向 (S 波区間)

図 2 地震動の伝達関数



(a) 横断方向 (S 波区間)



(b) 縦断方向 (S 波区間)

図 3 微動の伝達関数

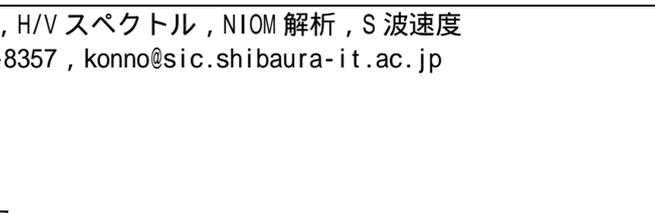


図 4 地震動の H/V スペクトル (法肩)



図 5 微動の H/V スペクトル (法尻)

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S波初動の約1秒前から原則10秒間の記録を使用している．青太線は平均値，網掛けは平均値±標準偏差の範囲を示している．赤線は追加した地震記録の結果を示す．同様に微動の伝達関数を図3に示す．赤線は追加した微動記録の結果を示す．地震動，微動ともに追加分に大きな変化は見られないことが分かる．

次に，旧地震計で得られた地震記録に対する法肩における横断 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．青太線は平均値，網掛けは平均値±標準偏差の範囲を示している．赤線は追加した地震記録の結果を示す．同様に微動の伝達関数を図5に示す．伝達関数と同様に，追加分に大きな変化は見られないことが分かる．

4. 新地震計について

2017年1月18日の茨城県沖で発生した地震(M_J4.2)の新旧地震計で得られた観測波形を図6に示す．ただし，前述の通り旧地震計では時刻校正に問題があったため，旧地震計の時間軸は調整している．両者の振幅はほぼ一致していることが分かる．したがって，新旧地震計とも盛土の挙動を精度よく記録していると推察できる．新地震計と微動計の同時刻の記録における伝達関数とH/Vスペクトルを比較した結果をそれぞれ図7，図8に示す．いずれも，スペクトルの形状は類似しているが，振幅には若干の差異が見られる．この差異は，微動計の設置状況の影響や新地震計の微動レベルにおける感度不足の可能性などが考えられるため，今後の検討課題とする．

5. 盛土材のS波速度の推定と考察

図6には新地震計の波形記録から読み取ったS波，P波の同位相のピークの時刻を記載している．なお，サンプリング周期は0.1sであるので，読み取り誤差は0.01秒程度以内と考えられる．S波の伝播時間は横断，縦断方向で異なりそれぞれ0.03，0.02sであり，P波の伝播時間は0.02sである．この伝播時間から推定されるS波速度は，横断，縦断方向でそれぞれ307，460m/s，P波速度は307m/sである．一方，当該記録に対し，NIOM解析³⁾から得られる入出力モデル波形を図9に示す．なお，使用した区間はP波，S波に関して，それぞれt=5-8s，t=12-17sである．図中の○印で示したピーク的位置は伝播時間に対応しており，波形記録から直接読み取った伝播時間との差は読み取り誤差(0.01s)以内であることが分かる．この伝播時間から推定されるS

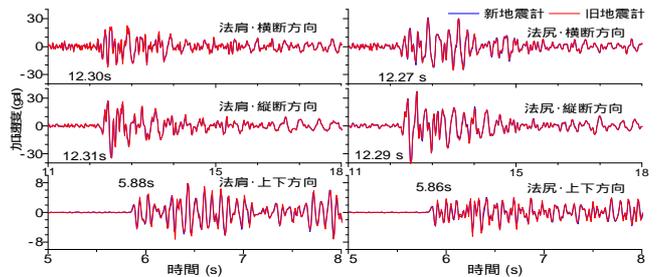


図6 2017年1月18日の茨城県沖で発生した地震(M_J4.2)の新旧地震計における観測波形の比較

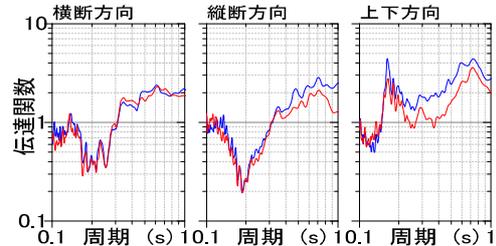


図7 新地震計と微動計の同時刻の記録における伝達関数の比較(青線:新地震計,赤線:微動計)

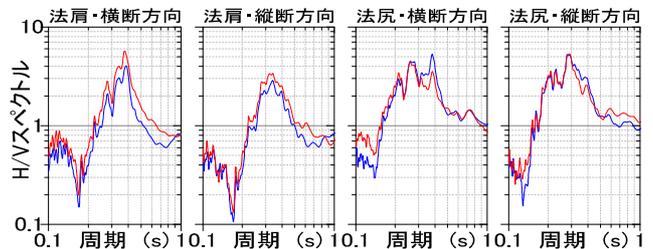


図8 新地震計と微動計の同時刻の記録におけるH/Vスペクトルの比較(青線:新地震計,赤線:微動計)

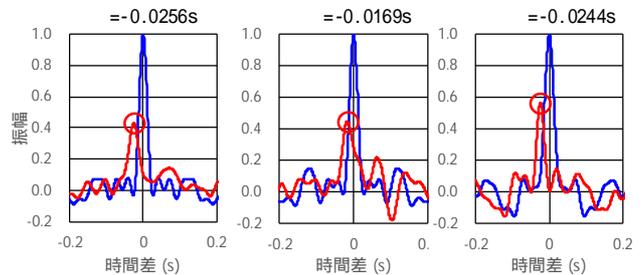


図9 図6の新地震計の観測波形に対するNIOM解析結果(青線:入力モデル波形,赤線:出力モデル波形)

波速度は，横断，縦断方向でそれぞれ359，545m/s，P波速度は377m/sである．他の2地震でも同様の検討を行っており，紙面の都合で詳細は省略するが，ほぼ同じS波速度，P波速度が得られている．今回の結果は，方向により推定されるS波速度が大きく異なること，横断方向のS波速度に比べてP波速度の方が遅いことなど解釈が難しい結果となった．今後，伝達関数やH/Vスペクトルから盛土材のS波速度の情報を抽出するために，今回の結果の解釈を検討していく予定である．

参考文献

1)紺野,渡辺,安井,生方,永井:高速道路盛土における微動と地震動の振動特性の比較,土木学会第71回年次学術講演会,部門,2016. 2)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,部門,2015. 3)Kawakami,H. and Haddadi,H.R.:Modeling wave propagation by using Normalized Input-output Minimization (NIOM), Soil Dyn. Earthq. Engng.,Vol.17, pp.117-126,1998.