

2007 年能登半島地震により被害を受け修復された道路盛土の振動特性  
**VIBRATION CHARACTERISTICS OF HIGHWAY EMBANKMENT  
RESTORED AFTER DAMAGED DURING THE 2007 NOTO-HANTO  
EARTHQUAKE**

神野 邦彦<sup>1)</sup>、森 伸一郎<sup>2)</sup>、佐伯 嘉隆<sup>3)</sup>

Kunihiko KOHNO<sup>1</sup>, Shinichiro MORI<sup>2</sup>, Yoshitaka SAEKI<sup>3</sup>

1) 愛媛建設コンサルタント (愛媛大学 大学院博士後期課程学生)

<sup>1</sup> Ehime Kensetsu Consultants

e-mail : k-kohno@ekcwing.co.jp

2) 愛媛大学 大学院理工学研究科 准教授 工博

<sup>2</sup> Associate Professor, Ehime University, Dr. Eng.

e-mail : mori@dpc.ehime-u.ac.jp

3) パシフィックコンサルタンツ (元・愛媛大学 大学院学生)

<sup>3</sup> Pacific Consultants (Former Graduate Student, Ehime University)

e-mail : yoshitaka.saeiki@ss.pacific.co.jp

**ABSTRACT:** The 2007 Noto-Hanto earthquake of a magnitude of 6.9 occurred in Noto Peninsula on March 25, 2007, and it hit Noto Highway running along the peninsula. As a result, high road embankments completely collapsed at eleven sites locating between Tokuda-Otsu and Anamizu Interchanges along the highway. In order to estimate the seismic response characteristics of the embankments before damaged and those after reconstructed, array microtremor measurements were carried out on the restored embankments and outcropping original firm ground around them at all the eleven sites.

**キーワード：** 盛土、振動、地震応答、常時微動、2007年能登半島地震

## 1. はじめに

2007年3月25日に発生した能登半島地震 (M6.9) では、輪島市門前町や穴水町で震度6強が観測され、能登有料道路では徳田大津IC～穴水IC間の11カ所で盛土が大規模崩落した<sup>1) 2)</sup>。能登有料道路は能登半島の東側山間地を通る道路であるにも関わらずトンネルはほとんどなく、切り盛りにより道路が築造され、高盛土が多いという特徴を有している。崩壊した箇所は傾斜基盤上に盛られた谷埋め盛土もしくは腹付け盛土であり、崩壊土が長い距離を流動したことが特徴的であった。そのため、その原因の究明が望まれる。

我々は、傾斜地盤上に築造された盛土の地震応答特性を明らかにすることを目的に、復旧工事後の修復された道路盛土と残存した未崩壊盛土、およびそれらの基盤と同様と見なせる切土地盤を対象に、11カ所での常時微動測定と4カ所での表面波探査を実施した。本論文の目的は、崩壊盛り土11カ所における盛土堤体の法肩と堤体近傍の露頭基盤で同時測定した微動記録を用いて、大規模崩落箇所における傾斜基盤上の高盛土の地震応答特性や振動特性について明らかにすること、さらに、微動測定結果から盛土のおおよその地盤物性値を推定することである。

## 2. 対象地点および微動の測定と解析の方法

図1に能登有料道路の徳田大津IC～穴水IC間の道路盛土における11カ所の大規模崩落箇所の位置を示す。この約27km区間は、地形的に300m以下の稜線標高を有するなだらかな丘陵地よりなり、丘陵地は開析が進み、樹枝状に谷が存在している。谷の深い箇所については高盛土となっている箇所が多い。被災箇所は、このような谷埋め盛土が主体となっている。11箇所の崩落箇所の地質は、新第三紀中新世後期の穴水累層の火砕岩である凝灰角礫岩を基盤岩とし、風化・変質が進み脆弱な性状を示す。基盤岩の上位は、未固結堆積物である粘性土が表土として薄く分布する場合が多い。盛土材料は穴水累層の切土発生土からなり、残存盛土部のN値はN=3～5と低い。復旧工事完了後の2007年12月22日から2日間にわたり、愛媛大学地震工学研究室のメンバーを中心に9名が、2チームに分かれて11カ所の微動測定と4カ所の表面波探査を実施した。本論文では微動測定の結果のみ述べる。

常時微動測定には、24チャンネルまで測定できる振動測定器GEODAS-12-USB-24ch（物探サービス製）と、周波数が0.5～20 Hzで平坦な利得特性を有し3成分の感振器が内蔵された速度計CR4.5-2S（物探サービス製。以下、センサーという）を6台使用した。盛土と地山の振動特性を把握するのが目的であり、対象振動数は1～20Hz程度と考えた。センサーは、原則として盛土法肩（T）3箇所とその近傍の露頭基盤（R）1箇所の計4箇所、またはそれに加えて1～2箇所の地山、基盤に配置して同時測定した。盛土法肩3箇所のセンサーは、おおよそ盛土中心軸長さの1/4、1/2、3/4地点（それぞれ、T1、T2、T3）に配置し、水平2成分は盛土軸直角方向と軸方向に合わせた。図2に縦-10地点のセンサー配置例を示す。横田料金所近くの谷埋め盛土であり、T1～T3の3地点はいずれも崩壊部盛土があったところに相当し、T2地点が基盤（地山）まで最も厚い部分に相当すると考えられる。基盤と称している地点であるRは、ここでは盛土の端部に接するであろう地山の切土部道路路肩に位置する。法肩のセンサーは、ガードレールの真下で、車線に出ないようにして設置した。多くの対象盛土では、一般通行車両は崩壊・復旧部を迂回する道路を通るため、復旧部の盛土を通る車はほとんど無かった。また、道路の通行車両もまだ多くはなく、微動測定中に走行車両のない時間帯が大半であった。測定は、交通状況を見ながら100Hzサンプリングで300秒間の測定を2回実施した。

各測定地点における微動時刻歴から、基軸補正を施した後、通行車両などの影響がない振幅が安定しているデータを8セグメント（1セグメント：2048個のデータ）抽出したものをスペクトル解析に使用した。フーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比の計算では、8セグメント分の平均化を行い、さらに卓越振動数の大きさに応じて、バンド幅2.0Hzもしくは0.5HzでParzen ウィンドウを施して平滑化して見やすくした。

各測定地点における微動時刻歴から、基軸補正を施した後、通行車両などの影響がない振幅が安定しているデータを8セグメント（1セグメント：2048個のデータ）抽出したものをスペクトル解析に使用した。フーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比の計算では、8セグメント分の平均化を行い、さらに卓越振動数の大きさに応じて、バンド幅2.0Hzもしくは0.5HzでParzen ウィンドウを施して平滑化して見やすくした。



図1 能登有料道路の大規模崩落箇所（測定地点）

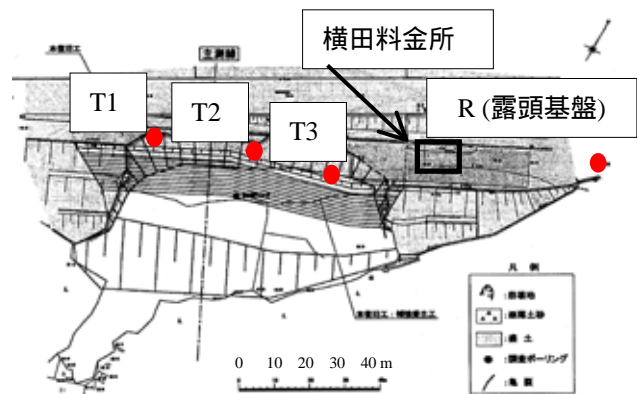


図2 縦-10地点のセンサー配置例  
参考文献1) p.26 被災平面図に加筆

さて本研究では、フーリエスペクトル比は、基盤に対する盛土法肩の水平動スペクトル比（以下、H/Hスペクトル比という）と、同一地点での水平/上下動スペクトル比（以下、H/Vスペクトル比という）の2種類を算出した。測定対象地点は山間地であり、微動レベルが極めて低く、対象振動数である1~20Hzの振動数範囲を対象とすると、地山では特に表面波の誘因となる交通振動・機械振動、風などがほとんど存在しないし、また、励起される素因としての地盤構造も考えにくい。そこで、盛土に走行車両がない場合は、盛土の載る基盤に伝播する振動は実体波が主体的であると仮定すると、基盤に対する盛土の水平動の比は基盤からの入射波に対する盛土の応答特性を近似的に表すものと考えることができる。したがって、本研究では、前述したH/Hスペクトル比が盛土の地震応答特性を表すものとして中心的に取り扱う。また、H/Vスペクトル比は、表面波の理論的振動特性より知られる基本モードの卓越振動数を検出するものとして、ロバストなツールとして広く利用されているが、表面波の卓越するようなインピーダンスのコントラストの存在が前提となり、水平成層地盤に対して有効である。盛土に対して理論的な根拠が確認されていないが、盛土の多次元性を無視して1次元地盤と見なせば、大局的には盛土層と基盤層の2層系を構成していることから、H/Vスペクトル比も測定地点直下の土柱の卓越を表すことが期待される。したがって、その可能性を検討することも本研究の目的である。

谷埋め盛土は底部と盛土軸両側の三方が基盤と接するため、盛土法肩の応答は本質的に実体波のほか盛土内で励起される表面波の成分から構成される。盛土軸方向ではRayleigh波が、軸直角方向ではLove波が主に励起されると考えられる。そこで、本論文では側方の基盤の影響を受けにくいと予想される軸直角方向成分のみ議論の対象とする。

### 3. 微動の測定結果と考察

#### 3.1 時刻歴とフーリエスペクトル

常時微動測定の結果のうち、時刻歴やスペクトル分析の結果に関する議論は、測定した11箇所のうち「縦-6」と「縦-10」の2地点を取り上げて進める。11カ所を対象にした議論はそれに続けて行う。

図3(a)(b)に縦-10地点のT2（盛土法肩）とR（基盤）における微動の速度時刻歴の1セグメントを示す。これら時刻歴は縦軸の縮尺を合わせており、振幅に関する単純な比較が可能である。2測点の同成分を概略比較すると3成分ともにRの全振幅が小さく、全成分ともに基盤より盛土の方で振幅が大きいが、長周期成分の振幅に違いがある。盛土内振動増幅特性を検討するには、この長周期成分の影響を差し引く必要がある。

図3(a)のT2（盛土法肩）の時刻歴波形より読み取ると、T2の水平2成分では2~2.5秒、鉛直成分では約1秒の周期成分が長周期成分として卓越していることがわかる。それに対して、その上に重なっている単純な小刻みな成分が明瞭であり、両成分ともに約5Hzであることがわかる。この5Hzの成分の振幅の大きさは、盛土軸直角方向成分の方が軸方向成分より3倍程度大きいことが明瞭である。一方、図3(b)のR（基盤）では長・短周期成分ともに判然とせず卓越振動数の読み取りは困難であるが、全振幅そのものが小さい。したがって、この微動状況下では盛土法肩で卓越する5Hzの成分が、基盤より盛土で大きいこと、盛土でも軸方向より軸直角方向の方が大きいことがわかる。したがって、この大きさの違いは盛土内増幅によるものと容易に理解できる。盛土軸方向の振幅が小さいのは、前述した盛土側面基盤の拘束効果が軸方向により顕著に現れていると理解できる。

さて、盛土では水平動成分に顕著な違いがあることを議論したが、基盤では図3(b)のR（基盤）の時刻歴を見る限り波形と振幅に顕著な違いは見られない。紙面の都合で詳細は省くがスペクトルでも系統的な違いは認められず、盛土の影響は無視できると考える。以降では、議論を軸直角方向に絞る。

図4(a)(b)に縦-10地点のT2（盛土法肩）とR（基盤）における微動の軸直角方向成分と鉛直成分のフーリエスペクトルを示す。両方とも0.5Hz以下の低振動数領域では平坦で1mm/s程度であり、ほとんど振動計のノイズレベルに等しいことがわかる。したがって、時刻歴でかろうじて読んだ2~2.5秒(0.4~0.5Hz)にはウィンドウ処理で見えなくなっている。両者ともに2Hz以上で有意な信号（微動）が得られていると考えられる。軸直角方向成分では、T2の軸直角成分で4.7Hzで明瞭なピークが見られ、時刻歴波形で読み取った5Hzの卓越が裏付けられる。Rでは、時刻歴波形では認識できなかったが、スペクトルでは4.7Hzの成分の卓越が明瞭である。この振動数での振幅は基盤に対して盛土法肩では約3倍に増幅していることがわかる。また、双方で鉛直成分でも同様の振動数で緩やかなスペクトルの膨ら

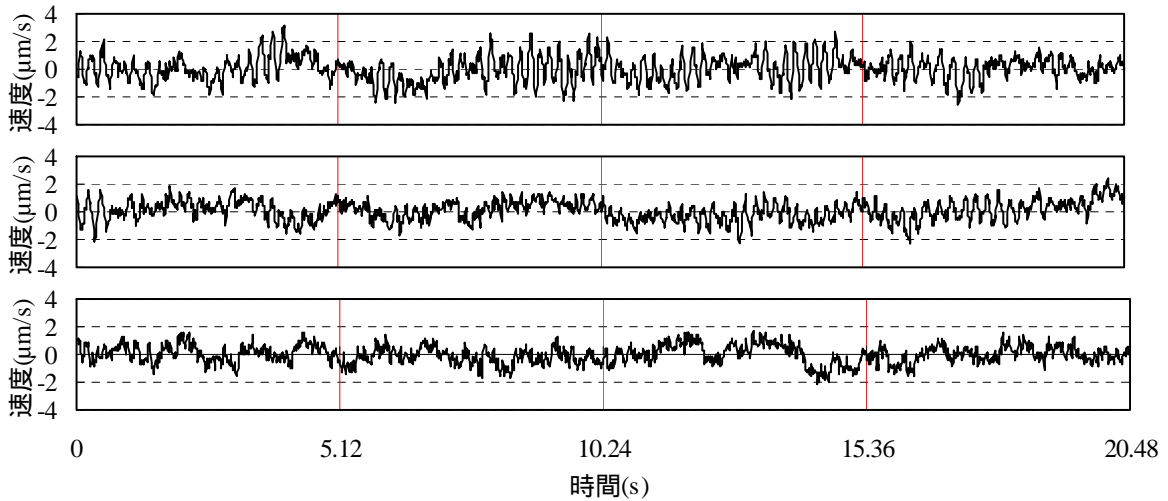


図3(a) 縦-10 測点 T2 の1セグメントの速度時刻歴 (上から盛土軸直角方向,軸方向,鉛直方向)

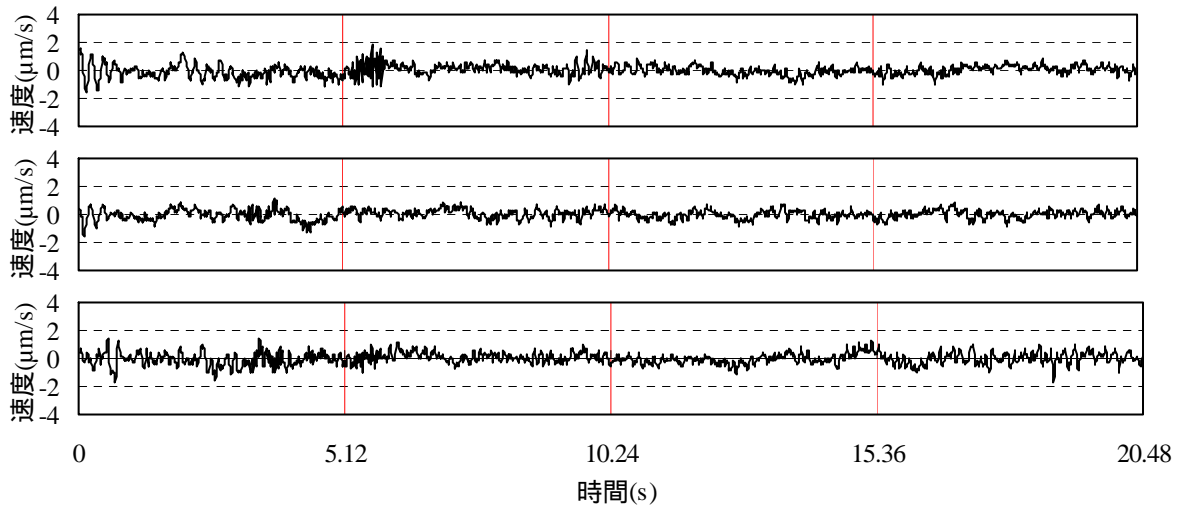


図3(b) 縦-10 測点 T4 の1セグメントの速度時刻歴 (上から盛土軸直角方向,軸方向,鉛直方向)

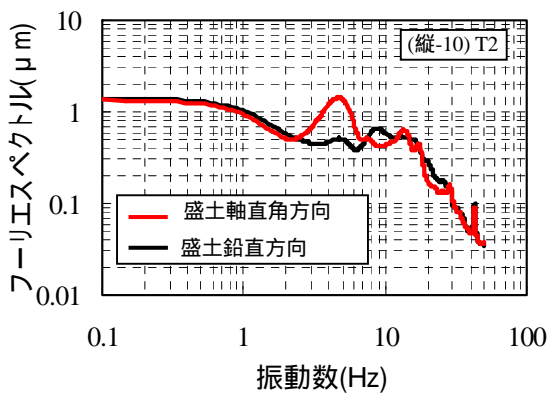


図4(a) 縦-10 測点 T2 のフーリエスペクトル

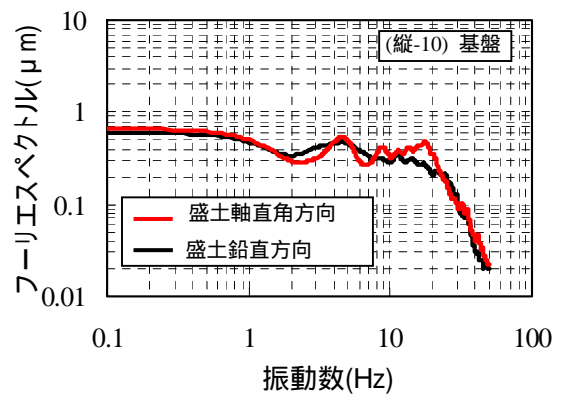


図4(b) 縦-10 測点 R(基盤)のフーリエスペクトル

みがある。さらに、軸直角成分ではT2において13 Hzで、Rにおいて18 Hzでもう一つの卓越が見られる。10 Hz以上の高振動数成分では基盤の方が、振幅が大きいという特徴がある。

### 3.2 地山の同一地点H/Vペクトル比による基盤の確認

図5(a)(b)に縦-6地点と縦-10地点における基盤(地山)のH/Vスペクトル比を示す。図5(a)で縦-6地点では5 Hzより低振動数では平坦ながら、26 Hzに明瞭なディップを伴う7~8 Hzにピークが認められ、硬質ではあるが下方にインピーダンスのコントラストのやや大きい硬質地盤があることが推察される。一方、縦-10地点では、13-18 Hzでやや大きくなり23-26 Hzで1にまで低下するという特徴を呈しながらも、10 Hz付近までおよそ1で平坦であることから極表層を除き硬質な地盤が下方に続くものと推察される。穴水累層の凝灰岩の風化度の違いが現れたものと理解できる。したがって、7 Hz以下の低振動数範囲に卓越を有するような盛土の増幅を検討するに当たっては、露頭地山を工学的基盤と見なし、良いことが確認できたものと考えられる。そこで、本論文では基盤と略して議論を進める。

微動の信号としての有意性から2 Hz以上で、基盤に対する盛土の増幅特性として7 Hz以下で有効な議論をすることができると考えられる。

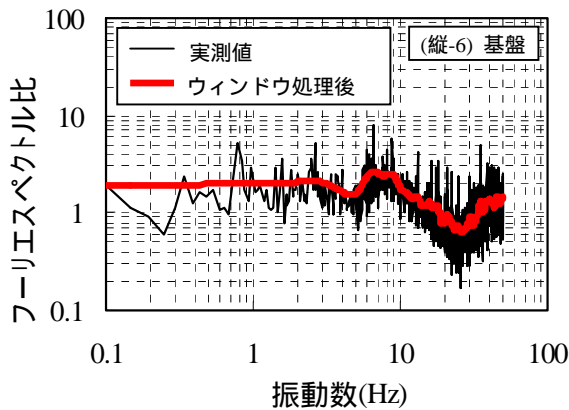


図5(a) 縦-6基盤のH/Vスペクトル比

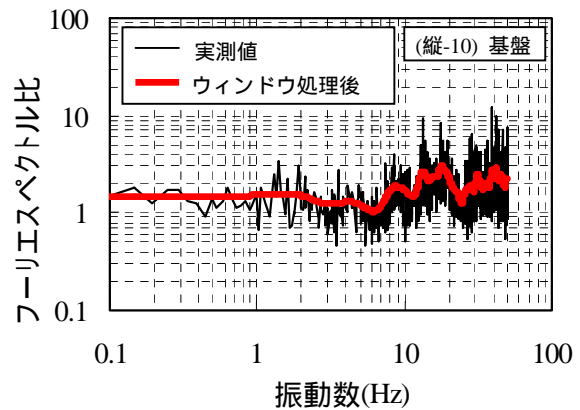


図5(b) 縦-10基盤のH/Vスペクトル比

### 3.3 基盤と盛土の2点間のH/Hペクトル比

ここでは、微動信号の有意性から2 Hz以上で議論する。縦-10地点に加えて縦-6地点について示す。縦-6地点での基盤(R)とは、隣接する切土部の道路の山側切土斜面直下に位置する。T1は地山の稜線上の表土を切り取った部分の盛土、T2は崩壊盛土中央部、T3は地山と接する盛土部分である。

図6に縦-6地点、図7に縦-10地点における盛土軸直角方向の基盤に対する盛土法肩のH/Hスペクトル比を示す。縦-6地点では、T1で3.8 Hz、T2で3.4 Hz、T3で4.3 Hzにピークが認められる。T2ではピークが鮮明で6倍程度の比率が認められるが、T1、T3の順でピークが不鮮明になり、T1で5倍、T3で4倍である。したがって、盛土厚が厚いほど低振動数で卓越し、比率が大きいと言える。

縦-10地点では、T1で4.5 Hz、T2で4.5 Hz、T3で4.3 Hz付近にピークが見られ、いずれも比率で6倍程度である。T2での時刻歴とフーリエスペクトルに関する考察ではこの振動数付近の成分波が3倍に増幅されていたことから、ウィンドウ処理したスペクトル比での比率の約1/2が増幅率に対応していると言える。縦-6地点ではスペクトル比率はピークで4~6であるので増幅率で2~3倍になるものと考えられる。

これらの増幅率は、盛土内の増幅によるものと考えられるが、増幅率の大きさから見ても下方の基盤(地山)は盛土に比べて十分に硬質な地盤であると考えられる。そのような基盤であるので、波動場としては実体波が卓越するものと推察できるため、露頭基盤に対する各点のH/Hスペクトル比は盛土のS波入力に対する振動特性、すなわち増幅特性(固有振動特性)を表現すると考えられる。したがって、基盤に対する盛土法肩のH/Hスペクトル比の卓越振動数は盛土の固有振動数と捉えることができる。盛土/基盤のH/Hスペクトル比は盛土堤体の増幅特性を把握するのに有効である。

なお、縦-6地点では7 Hz以上、縦-10地点では10 Hz以上で複雑なスペクトル比形状を示すが、前節で見たように地山の凝灰岩の風化度合いの違い(表面近くで強風化、下方で弱風化)に起因するものと推察され、この風化度の違いが基盤の振動特性に影響を与え、盛り土への入射波動となって影響を与えることが考えられる。

表1に、このようにして全測定箇所において読み取られたH/H比での卓越振動数(盛土の固有振動数)を示す。盛土の増幅に直接関係する固有振動数は、2.9~9.0 Hzと幅広いが、同じ盛土で場所による卓越

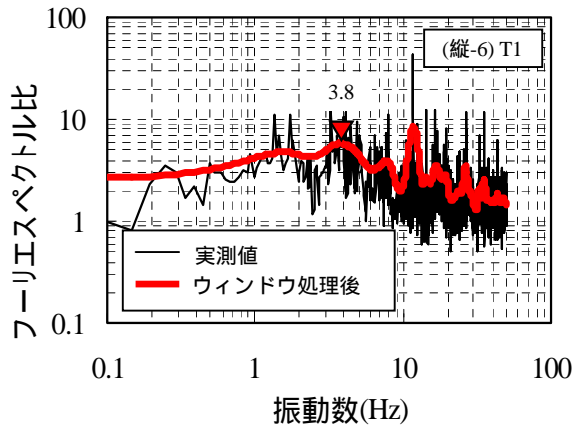


図 6(a) 縦-6 測点 T1 の H/H スペクトル比

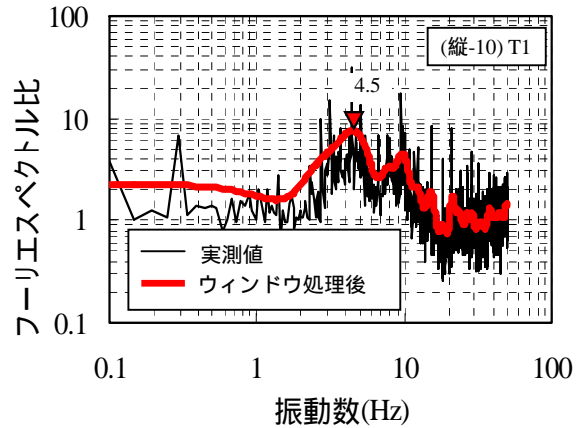


図 7(a) 縦-10 測点 T1 の H/H スペクトル比

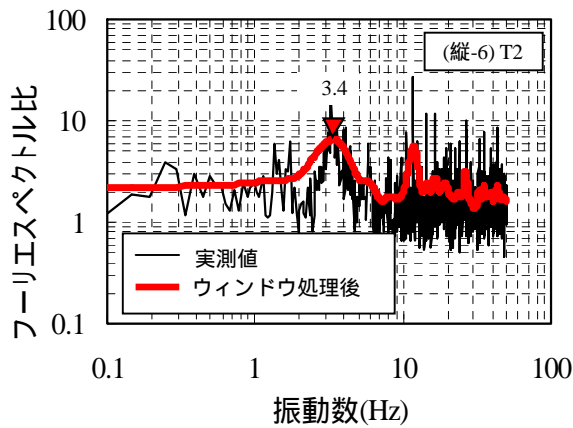


図 6(b) 縦-6 測点 T2 の H/H スペクトル比

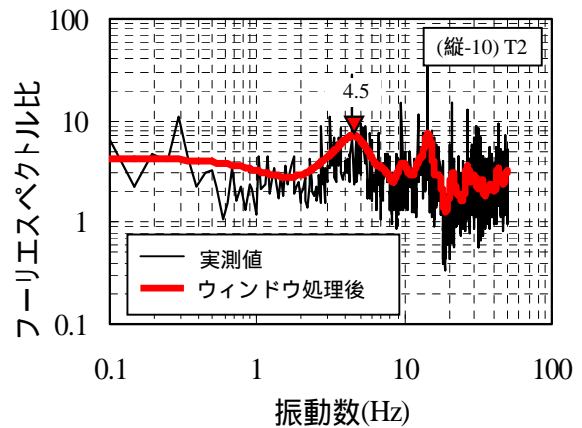


図 7(b) 縦-10 測点 T2 の H/H スペクトル比

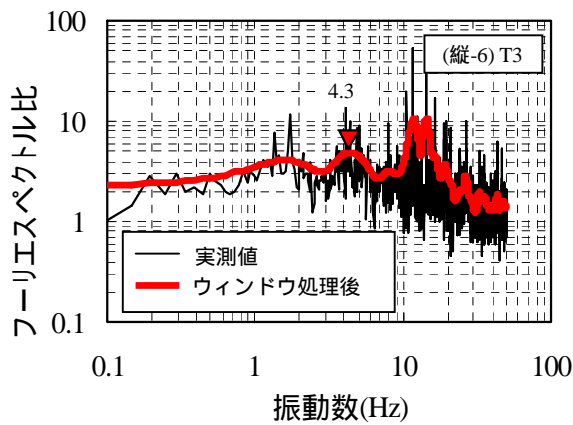


図 6(c) 縦-6 測点 T3 の H/H スペクトル比

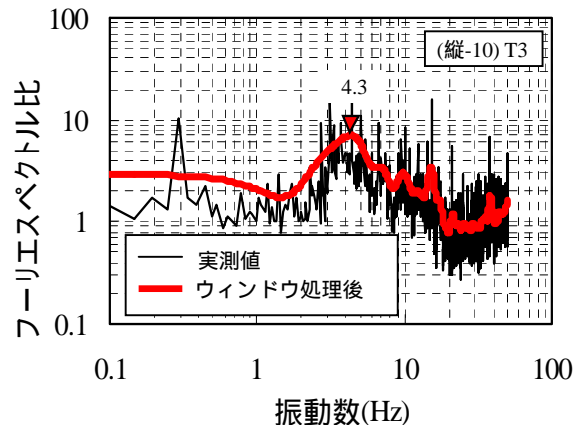


図 7(c) 縦-10 測点 T3 の H/H スペクトル比

振動数の違いは0~3.0 Hz程度であり、縦-12地点での6~9 Hzを除けば、3~6 Hzとなる。崩壊盛土箇所に近いが軟弱な地盤の穴水や遠いが地盤の良い富来のいずれでも、観測された地震動の5%減衰加速度応答スペクトルでは、この振動数範囲に相当する周期(0.2~0.3秒)に対応する固有周期で応答加速度が1000 Galに近い。したがって、盛土では500Gal程度の応答はあったものと思われる。

### 3.4 盛土の同一地点H/Vペクトル比

水平地盤で適用される H/V スペクトル比は、2層系の Rayleigh 波の理論変位モードの解を適用して表層の卓越振動数を推定するものである。基盤が水平であれば、盛土であっても、盛土軸方向に進む

Rayleigh 波の伝播を仮定すれば、H/V 比が適用できる可能性がある。また、Rayleigh 波の性質が直下の狭い地盤構造を反映するものであればなおさらである。しかし、盛土直角方向の振動では、盛土の上面・斜面や直下基盤面での波動の反射・屈折が複雑になることが予想されるため、特に法肩では適用が難しいことが容易に想像される。しかしながら、ここでは盛土法肩での同一地点 H/V スペクトル比の適用性について検討する。

図 8(a)(b)に縦-6 地点と縦-10 地点での盛土法肩 T1 の H/V スペクトル比（盛土軸直角方向）を示す。縦-6 地点では、H/V スペクトル比の卓越ピークは明瞭で山の裾野は広く 3.7 Hz であり、H/H スペクトル比での卓越振動数と同じかわずかに低い。また、いずれも卓越振動数の 2 倍程度の振動数あたりにディップが認められ、水平成層でのスペクトル形状と似る。縦-10 地点でも同様に、H/V スペクトル比の卓越ピークは明瞭で山の裾野は広く 4.6 Hz である。H/H スペクトル比での卓越振動数との関係やスペクトル形状での特徴は縦-6 地点で述べたことと同様である。

表 1 に全測定地点における H/V スペクトル比の卓越振動数 ( $f_{HV}$ ) を H/H スペクトル比の卓越振動数 ( $f_{HH}$ ) と併せて示す。この表からそれらの二者の関係を検討する。図 9 に H/H スペクトル比と H/V スペクトル比による卓越振動数 ( $f_{HV}$ )、 $f_{HH}$ ) をそれぞれ横軸と縦軸にしてプロットしたものを示す。両者の間には極めて強い相関があり、1:1 の直線に沿って分布するが、この直線よりわずかに下回り、前者は后者より 5~10% 大きいものが多い。すなわち、H/H スペクトル比の卓越振動数 ( $f_{HH}$ ) は盛土の増幅を表しているものと考えれば、深さ方向に同じ構造を水平成層として有する地盤の卓越振動数は盛土の卓越振動数よりわずかに低くなるので、H/V スペクトル比の卓越振動数 ( $f_{HV}$ ) はそのような見かけの水平地盤の卓越と見なすことも可能である。

表 1 H/V スペクトル比と H/H スペクトル比から得られた卓越振動数

No.	測点	H/H スペクトル比			H/V スペクトル比		基盤までの層厚 (m)
		卓越振動数 (Hz)	卓越周期 (s)	卓越振動数での振幅比	卓越振動数 (Hz)	卓越周期 (s)	
縦6	T1	3.8	0.26	5.8	3.7	0.27	21.0
	T2	3.4	0.29	6.5	3.4	0.29	21.0
	T3	4.3	0.23	4.9	4.0	0.25	21.0
縦9	T1	4.1	0.24	13.0	4.1	0.24	19.0
	T2	4.1	0.24	6.2	3.6	0.28	19.0
縦10	T1	4.5	0.22	7.6	4.6	0.22	9.5
	T2	4.5	0.22	7.1	4.6	0.22	9.5
	T3	4.3	0.23	7.0	4.2	0.24	9.5
縦14	T1	4.0	0.25	3.9	4.1	0.24	12.5
	T2	3.9	0.26	4.6	3.9	0.26	12.5
	T3	4.0	0.25	6.0	3.8	0.26	12.5
縦21	T1	9.0	0.11	3.8	8.3	0.12	7.0
	T2	6.1	0.16	3.7	6.1	0.16	7.0
	T3	6.0	0.17	2.9	5.3	0.19	7.0
縦26	T2	5.9	0.17	2.1	5.3	0.19	12.5
縦32	T1	2.9	0.34	1.9	2.9	0.34	31.0
	T2	2.9	0.34	2.0	2.9	0.34	31.0
	T3	3.2	0.31	2.4	3.1	0.32	31.0
縦38	T2	4.9	0.20	3.9	5.5	0.18	18.5
縦39	T1	3.8	0.26	12.0	3.5	0.29	14.5
	T2	4.3	0.23	19.0	4.0	0.25	14.5
	T3	4.2	0.24	9.5	3.9	0.26	14.5
縦41	T1	4.3	0.23	2.8	3.3	0.30	9.0
	T2	4.3	0.23	3.8	3.8	0.26	9.0
縦43	T1	3.7	0.27	5.1	2.8	0.36	13.0
	T2	3.7	0.27	2.8	3.1	0.32	13.0
	T3	3.7	0.27	4.3	3.2	0.31	13.0

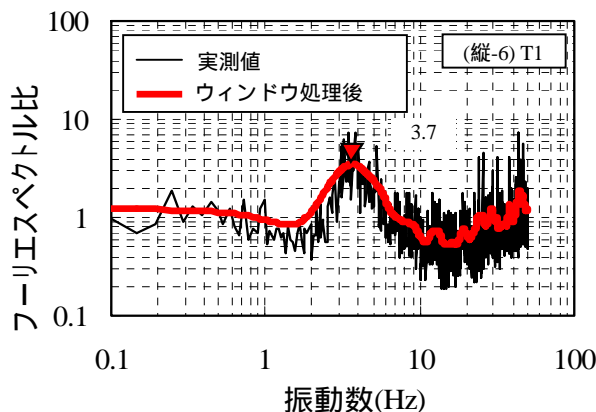


図 8(a) 縦-6 測点 T1 の H/V スペクトル比

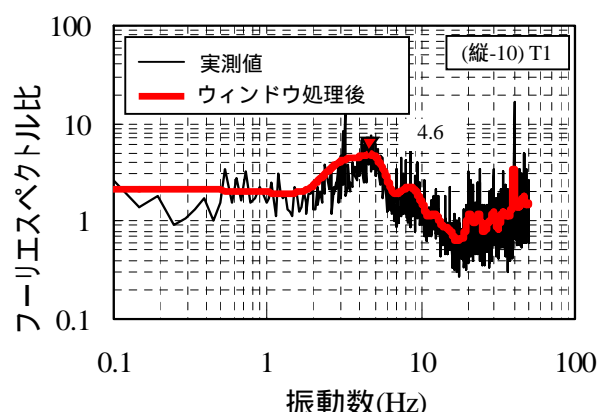


図 8(b) 縦-10 測点 T1 の H/V スペクトル比

#### 4. 盛土の固有振動数から推定される盛土のせん断弾性波速度

盛土直下の地山を工学的基盤と見なし、剛基盤仮定で盛土の固有振動数が算定できると仮定し、かつ、盛土形状の多次元効果が無視されると仮定すると、剛基盤上の一次元土柱を仮定することになり、いわゆる S 波の 1/4 波長則が適用できる。前章での考察により、H/H スペクトル比の卓越振動数は盛土の固有振動数と見なせるので、これらの対応関係から盛土層厚を仮定すれば盛土の総体的なせん断弾性波が推定できことになる。

図 10 に、H/H スペクトル比の卓越振動数から換算される卓越周期と各地点の測定地点における基盤までの盛土層厚との関係を示す。1/4 波長則に基づけば、原点を通る直線の傾きの 4 倍が平均せん断波速度を示すことになる。図中の  $V_s=200$  m/s 及び  $V_s=400$  m/s の直線は、1/4 波長則仮定による層厚と卓越周期との関係である。線形回帰の直線(図中赤線)の傾きは 65 となるので、平均的な盛土のせん断波速度は 260 m/s 程度であることがわかる。別途実施した表面波探査から得られているせん断波速度の平均は 260 m/s であり、その結果は整合している。したがって、各点と原点を結ぶ直線の傾きから各点の盛土総体的なせん断波速度が求められると考えられる。すると、復旧された盛土の見かけのせん断波速度は 170 ~ 380m/s 程度の範囲にあることがわかる。さらに、このような微動観測による振動特性調査に基づき盛土堤体の総体的な卓越振動数を評価することができることを示した。

#### 4. 結論

能登有料道路の傾斜基盤上の盛土を対象に常時微動測定を行った結果、盛土の振動特性として次の結論を得た。

- (1) 基盤に対する盛土法肩の H/H スペクトル比の卓越振動数は盛土の固有振動数と捉えることができ、盛土/基盤の H/H スペクトル比は盛土堤体の増幅特性を把握するのに有効である。
- (2) H/H スペクトル比と H/V スペクトル比による卓越振動数 ( $f_{HV}$ ,  $f_{HH}$ ) には極めて強い相関があり、1:1 の直線に沿って分布する。
- (3) 復旧された盛土の見かけのせん断波速度は 170 ~ 380m/s 程度の範囲にある。

#### 謝 辞

現地での常時微動測定の実施にあたっては、石川県道路公社の関係者ならびに愛媛大学工学部地震工学研究室の皆様には大変お世話になりました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) (社)地盤工学会：2007年能登半島地震道路災害データ集、2007
- 2) 為重誠、川村國夫、駒田秀一、宮村雅之、埴原強、室井辰盛：能登半島地震による能登有料道路の被災と復旧 - 盛土の被害と対策工事について -、地盤工学ジャーナルVol.4 No.4、2009年12月、pp.289-305.

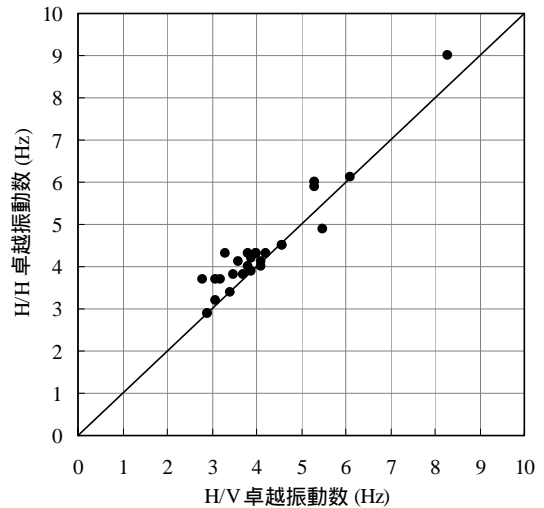


図9 H/V卓越振動数とH/H卓越振動数の関係(盛土軸直角方向)

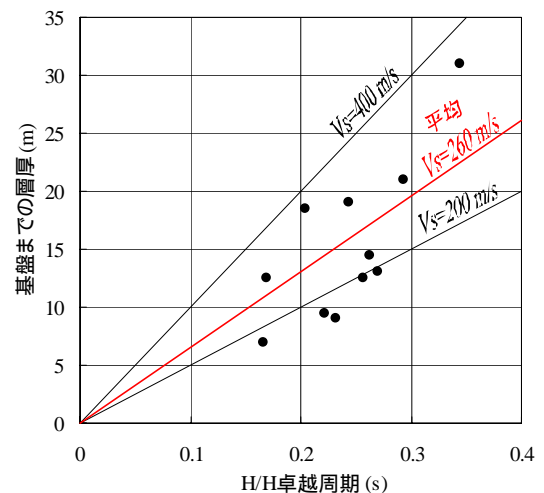


図10 H/H卓越周期と基盤までの層厚(盛土軸直角方向)