

2009年駿河湾の地震における東名高速道路崩落地点 の地盤震動特性評価の試み

柴尾 享*・一井 康二*・秦 吉弥**・田森 賢太郎*・栗原 園実*・湯浅 香織*

Attempt of evaluation the ground shaking characteristics around the slope failure of Tomei Expressway in the earthquake of Suruga Bay in 2009

Susumu SHIBAO, Koji ICHII, Yoshiya HATA, Kentarou TAMORI, Sonomi KURIHARA and Kaori YUASA

A Slope failure of the embankment was observed at the Tomei Expressway around Makinohara Service Area in the earthquake of Suruga Bay in 2009. It is important to estimate the seismic ground motion of the site for the clarification of failure mechanism. In this study, microtremor measurements were executed around the site and other embankments along express way (Yoshida I.C.~Sagara-Makinohara I.C.~Kikugawa I.C.). And, the ground shaking characteristics around the site of slope failure was evaluated.

Keywords: Microtremor measurement, Ground shaking characteristics, Embankment, Slope failure

1. はじめに

高速道路盛土などの延長距離の長い線状構造物では、一か所の崩壊がシステム全体の機能不全につながる。2009年8月に発生した静岡県駿河湾の地震(M6.5)では東名高速道路牧之原サービスエリア付近における盛土法面が崩落し、高速道路に通行機能の不全が生じた。崩落地点の原因究明、さらに今後の高速道路盛土の耐震性評価^{1),2)}のためにも、当該地点の地震動を推定することが重要である。

そこで本稿では、強震動評価の前段階として、盛土崩落地点近傍及び高速道路沿いの地点（吉田I.C.~相良牧之原I.C.~菊川I.C.）において常時微動計測を実施し、盛土崩落地点周辺の地盤震動特性を評価した結果について報告する。



写真-1 東名高速道路牧之原SA付近の盛土法面の崩落地点
(応急復旧後の2009年9月19日撮影)

2. 常時微動計測の方法

2.1 常時微動計測地点

図-1に盛土崩落地点周辺における強震観測点の分布を示す。図-1に示すように、崩落地点周辺を囲むように強震観測点は分布しているが、当該地点近傍には、強震観測点が存在しておらず、地震観測の空白地域^{3),4),5)}となっている。そこで、本検討では、この空白地域を計測対象として、崩落地点近傍及び高速道路沿いの地点（吉田I.C.~相良牧之原I.C.~菊川I.C.）において常時微動計測を実施した。



図-1 盛土崩落地点周辺の強震観測点の分布⁶⁾

* 広島大学 大学院工学研究科 社会環境システム専攻

** 日本工営株式会社 中央研究所 地盤耐震グループ

2.2 常時微動計測の実施

図-2に盛土崩落地点近傍における常時微動計測地点を示し、図-3に東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間における常時微動計測地点とその周辺の強震観測点の位置を示す。盛土崩落地点近傍では、崩落地点を取り囲むように100～200m間隔で計測を行った。そして、東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間では、図-3に示すように、盛土部分では断面形状の変化に応じて、おおよそ100m間隔毎に計測し、切土部分については、おおよそ500m間隔で計測を行った。

盛土部では、平坦性が確保できる盛土法肩付近に速度計を設置して計測した。計測には、速度計（GEONET2-283D）を用いた。写真-2に微動計設置状況を示す。

計測時間は1計測点あたり660秒間とし、サンプリング周波数は100Hzとした。車両通行など雑振動が大きい場

合には、時間帯や実施日を変えて再度計測を行った。

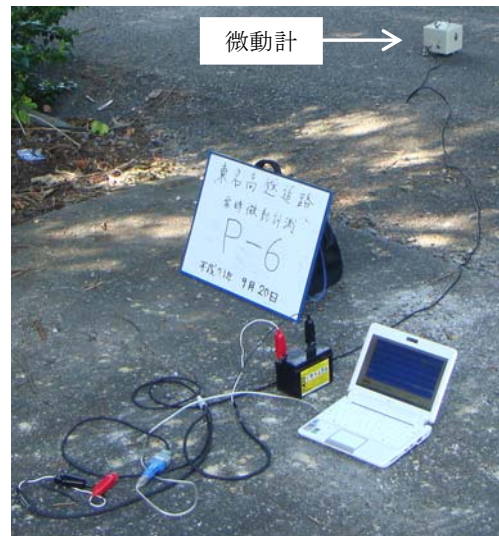


写真-2 微動計設置状況 (P-6)

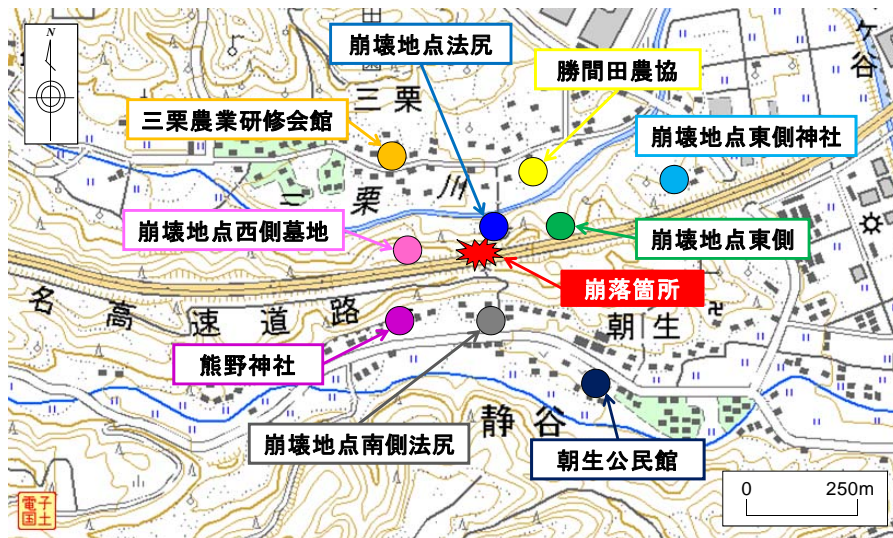


図-2 常時微動計測地点(盛土崩壊地点近傍) ⁶⁾



図-3 常時微動計測地点及びその周辺の強震観測点の位置 (東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間) ⁶⁾



(a) 崩落地点法尻



(b) 崩落地点西側墓地

写真-3 盛土崩落地点近傍における常時微動計測状況



(a) 盛土(P-34)



(b) 切土(P-23)

写真-4 東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間における常時微動計測状況

写真-3に、盛土崩落地点近傍における常時微動計測状況を示し、写真-4に、東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間における常時微動計測状況を示す。なお、微動計を設置する方向については、崩落地点近傍では、東西南北に合わせ、東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間の盛土及び切土部では道路縦断方向・道路横断方向に合わせて計測を行った。

2.3 常時微動計測データの処理方法

本検討では、常時微動計測の対象地点を高速道路近傍としたため、計測時に交通振動などの雑振動を含んでいた。そのため、ここでは、計測データの処理方法について述べる。図-4に常時微動計測によって得られた時刻歴波形の一例を示す。データの処理方法としては、まず、得られた時刻歴データのEW成分（道路縦断方向成分）のノイズの少ない振動レベルに応じて許容ラインを設定し、許容ラインを超えるようなノイズは解析対象区間から除

外した。また、縦断方向では許容ライン以下のノイズであっても、目視で確認できるノイズが水平動と上下動どちらかにある場合は解析対象区間から除外している。ただし、水平動と上下動の両方に許容ライン以下のノイズを有している場合は、振動数領域において水平動と上下動の比を取ることで、その部分の影響はキャンセル出来ると仮定した。そして、除外したノイズ以外の計測データの中から、比較的安定している81.92秒間のデータを目視で5区間選択し、この5区間のデータを解析対象とした。そして、選択した5区間のデータを高速フーリエ変換し、フーリエスペクトルを求め、バンド幅0.05HzのParzen Windowで平滑化を行った。そして、水平動フーリエスペクトルを上下動フーリエスペクトルで除して5区間、それぞれのH/Vスペクトル⁷⁾を算出した。そして、5区間のH/Vスペクトルを平均化してH/Vスペクトルを算出した。評価する周波数範囲としては、0.1～10Hzとした。

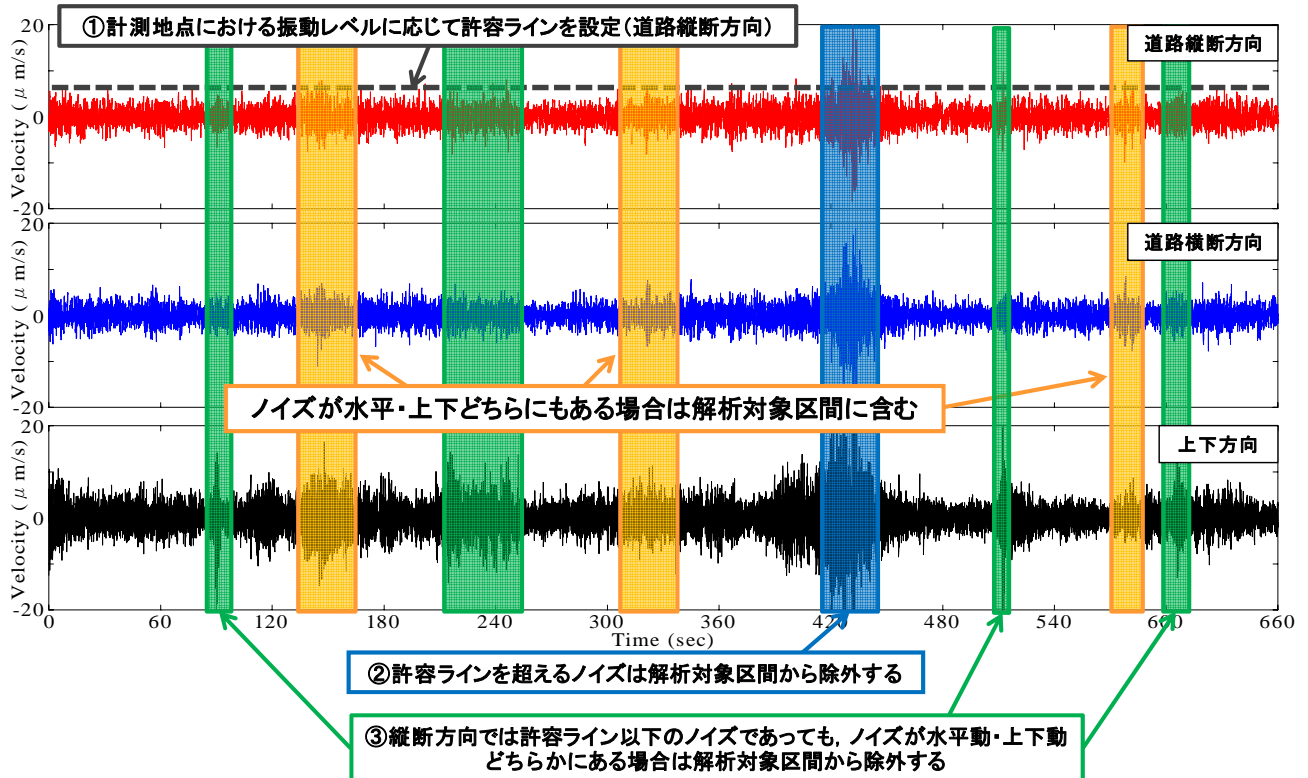


図-4 常時微動計測によって得られた時刻歴波形の一例

3. 崩落地点近傍の常時微動計測結果

図-5に崩落地点近傍の常時微動計測結果(H/Vスペクトル)を示す。図-5に示す崩落地点近傍のH/Vスペクトルは5Hz付近にピーク周波数を有している。また、崩落地点法尻、崩落地点から200m東側に位置する盛土法尻、朝生公民館、崩落地点南側法尻、熊野神社のH/Vスペクトルの形状が比較的類似していることから、この範囲では地盤震動特性がおおむね類似している可能性が高いと考えられる。特に崩落地点における3Hz周辺の谷は、朝生公民館においても観察されており、類似度が高い。そこで、朝生公民館において中小地震の観測を実施した。なお、朝生公民館における地震観測状況については別稿⁵⁾を参照されたい。

崩落地点から100m西側に位置する墓地のH/Vスペクトルは明瞭なピーク周波数を有しておらず、スペクトルの形状も異なっており、崩落地点の地盤震動特性とあまり類似していないと考えられる。

崩落地点から250m北西に位置する三栗農業研修会館、崩落地点から250m北東に位置する勝間田農業協同組合のH/Vスペクトルは、3~4Hz付近にピーク周波数を有している。これらの地点は三栗川による堆積層の影響により前者のH/Vスペクトルのピーク周波数よりも低周波側となっていると考えられる。このことから、崩落地点の地盤震

動特性とあまり類似していないと考えられる。

4. 高速道路沿いにおける常時微動計測結果

図-6に東名高速道路吉田I.C.~相良牧之原I.C.~菊川I.C.間の常時微動計測結果(H/Vスペクトル)を示す。また、図-7に東名高速道路吉田I.C.~相良牧之原I.C.~菊川I.C.間における表層地質図に常時微動計測地点をプロットした図を示す。図-7より、吉田I.C.周辺には①第4紀完新生堆積岩(海成)が分布している。そして、吉田I.C.から菊川I.C.に向けて②第4紀更新世堆積岩(段丘)、③第3紀中新世堆積岩、④第4紀完新生堆積岩(海成)、⑤第3紀中新世堆積岩、⑥第4紀更新世堆積岩(段丘)、⑦第4紀完新生堆積岩(海成)、⑧第3紀中新世堆積岩、⑨第4紀更新世堆積岩(段丘)、⑩第3紀鮮新生堆積岩類、⑪第4紀更新世堆積岩(段丘)の順に堆積岩が広く分布しており、菊川I.C.周辺では⑫第4紀完新生堆積岩(海成)が分布している。なお、図-6の表記のため、各地質に便宜的に番号を付与した。

図-6をみると、吉田I.C.~相良牧之原I.C.~菊川I.C.間に存在する盛土部の地盤震動特性はそれぞれ異なっていることがわかる。しかし、①~⑫の番号が示すように、表層地質の変化とスペクトル形状の変化に一定の対応関係がみられる。特に、P-17、P-18、P-19のH/Vスペクトルは崩落地点のスペクトル形状に比較的類似している。この

ことから、今後、高速道路盛土などの線状構造物の耐震診断等を合理的に行うためには、表層地質等の違いにより生じる個々のサイトの震動特性の違いを評価することが重要であること、さらに、近傍のサイトの震動特性は類似しているところもあり、ゾーニングにより合理的な対応が可能であると考えられる。

5. 地盤震動特性の分類の試み

以下に、地盤震動特性について、より詳細に分析する。図-6及び図-7を見ると、吉田I.C.周辺のP-1～P-4及び菊川I.C.周辺のP-42～P-48では2～4Hz付近においてH/Vスペクトルの卓越が見られ、比較的形状も類似している。地質的には吉田I.C.周辺及び菊川I.C.周辺において、共に①⑫第4紀完新生堆積岩（海成）が分布している。第3紀以後の洪積層や沖積層は、第3紀以前の岩盤に比べると軟らかいことから、より深い層の岩盤に対するせん断波速度のコントラストが比較的大きいと考えられる。従って、①⑫第4紀完新生堆積岩（海成）が分布している場所では比較的明瞭なピークを有する地盤震動特性である可能性が高く、計測結果は調和的である。また、このような場所では、地震動の増幅倍率が大きくなり、地震動が比較的大きくなる可能性が高いと考えられる。

切土部分であるP-22～P-27のH/Vスペクトルにおいては、3～4Hz付近に明瞭な谷を有するという地盤震動特性となっており、スペクトルの形状も非常によく類似している。図-7をみるとP-22～P-27は、⑨第4紀更新世堆積岩（段丘）が広く分布している。このことから、⑨第4紀更

新世堆積岩（段丘）が分布しているこの地域では3～4Hz付近に明瞭な谷を有する地盤震動特性である可能性が高いと考えられる。

P-6, P-7, P-9, P-11, P-20, P-29, P-31, P-35, P-36, P-39, P-41では明確なピークを有さないH/Vスペクトルの特性となっている。図-7をみると、これらの計測点の周辺には③④⑤⑥第3紀中新世堆積岩及び⑩⑪第3紀鮮新生堆積岩が分布している。第3紀中新世堆積岩及び第3紀鮮新生堆積岩のせん断波速度は大きく、これらの分布している場所では、以深の地層境界面でのせん断波速度のコントラストは小さいと考えられる。従って、③④⑤⑥第3紀中新世堆積岩及び⑩⑪第3紀鮮新生堆積岩が分布している場所ではフラットな地盤震動特性である可能性が高いと考えられ、計測結果はこれと調和的である。また、このときは、地震動の増幅倍率は小さく、地震動は比較的小さくなると考えられる。

以上のことから、東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間の地盤震動特性は大きく分けて、図-8に示す3種類のH/Vスペクトル形状に分類できると考えられる。一つ目は完新生堆積岩（海成）が分布する地域にみられる、2～4Hz付近においてH/Vスペクトルが卓越する地盤震動特性（タイプA）である。崩落地点の地盤震動特性はどちらかといえば、このタイプに属すると考えられる。二つ目は更新世堆積岩（段丘）が分布している地域にみられる3～4Hz付近に明瞭な谷を有する地盤震動特性（タイプB）である。そして、三つ目は中新世堆積岩及び鮮新生堆積岩が分布している地域にみられるフラットな地盤震動特性（タイプC）である。

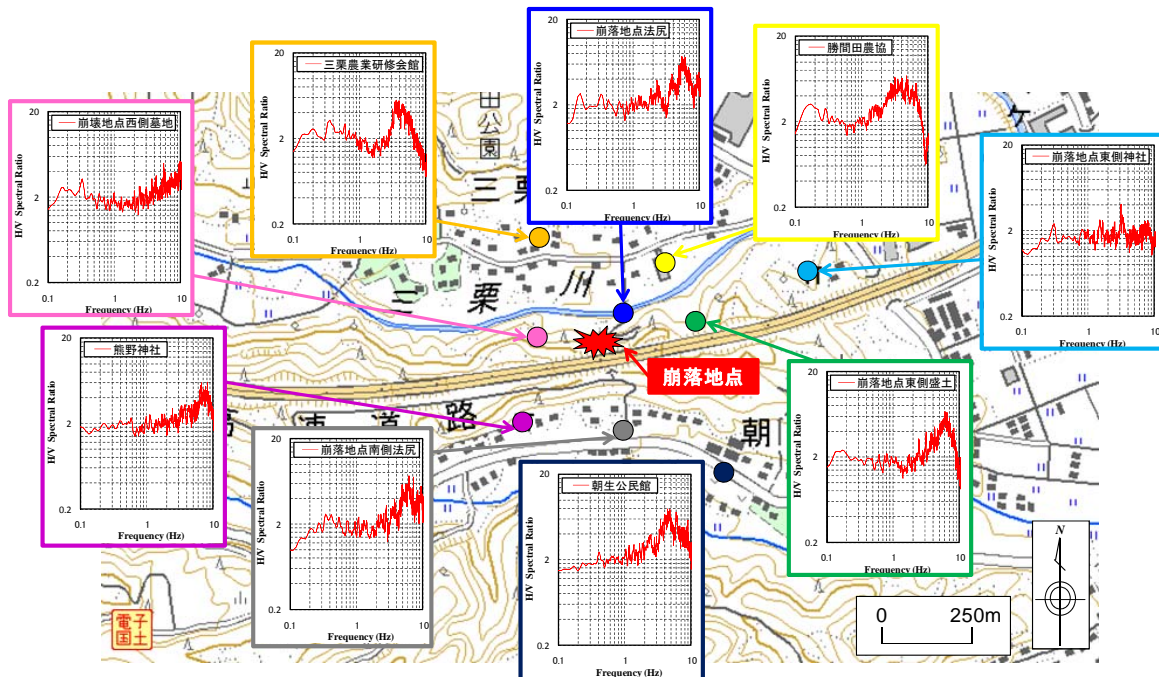
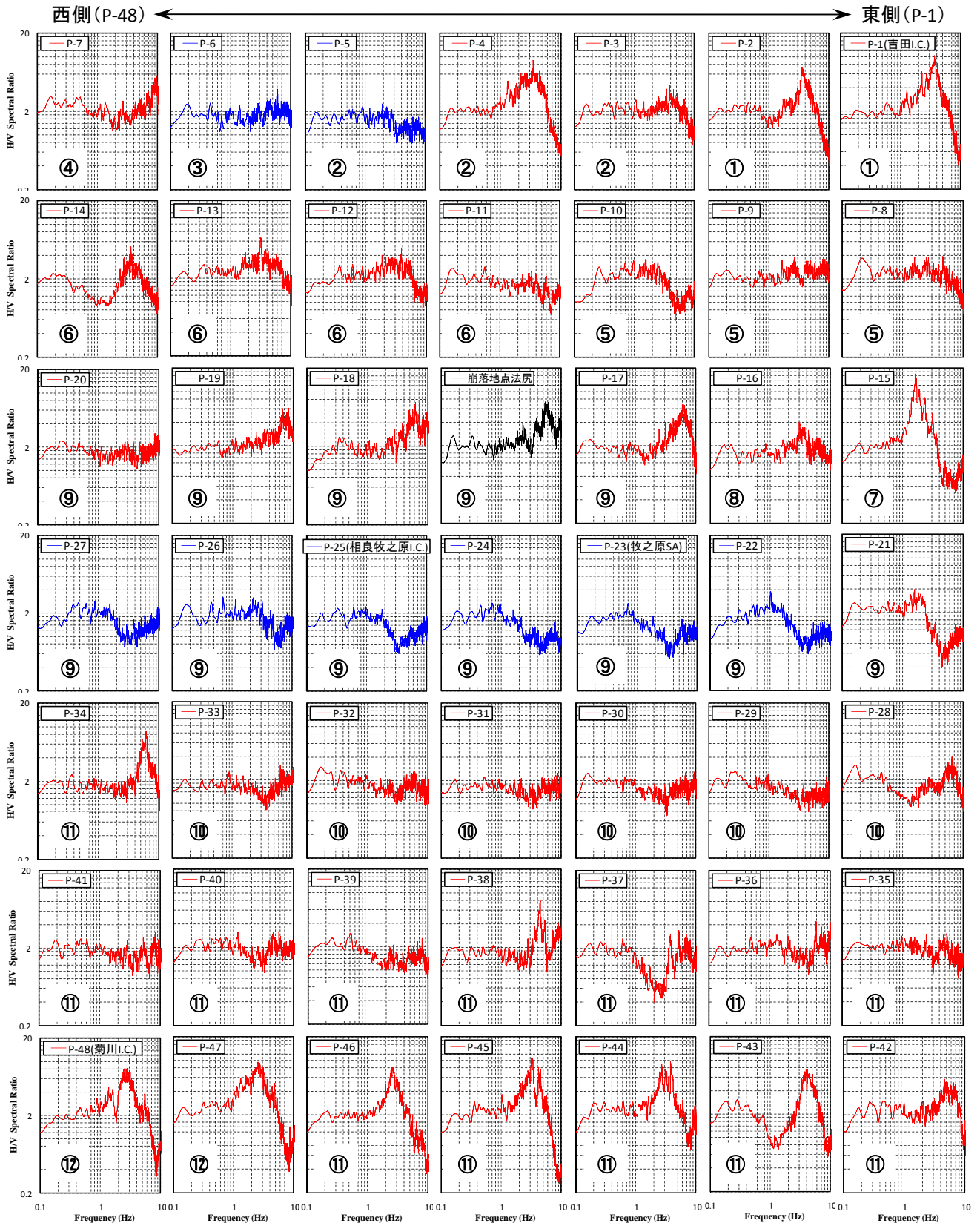


図-5 崩落地点近傍の常時微動計測結果（H/V スペクトル）
（横軸：周波数 0.1～10Hz，縦軸：H/V スペクトル比 0.2～20）



- ①第4紀完新生堆積岩(海成), ②第4紀更新世堆積岩(段丘), ③第3紀中新世堆積岩, ④第4紀完新生堆積岩(海成)
 ⑤第3紀中新世堆積岩, ⑥第4紀更新世堆積岩(段丘), ⑦第4紀完新生堆積岩(海成), ⑧第3紀中新世堆積岩
 ⑨第4紀更新世堆積岩(段丘), ⑩第3紀鮮新生堆積岩, ⑪第4紀更新世堆積岩(段丘), ⑫第4紀完新生堆積岩(海成)

図-6 東名高速道路吉田 I.C.～相良牧之原 I.C.～菊川 I.C.間における常時微動計測結果 (H/V スペクトル)

(横軸：周波数 0.1～10Hz, 縦軸：H/V スペクトル比 0.2～20, 赤：盛土, 青：切土, ①～⑫は表層地盤の分類に対応)

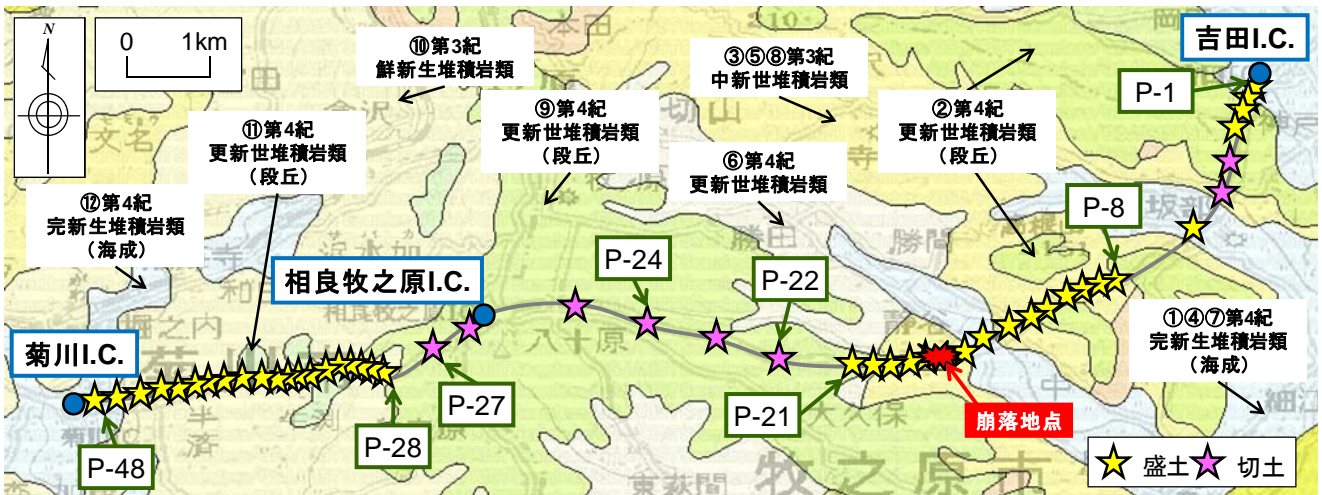
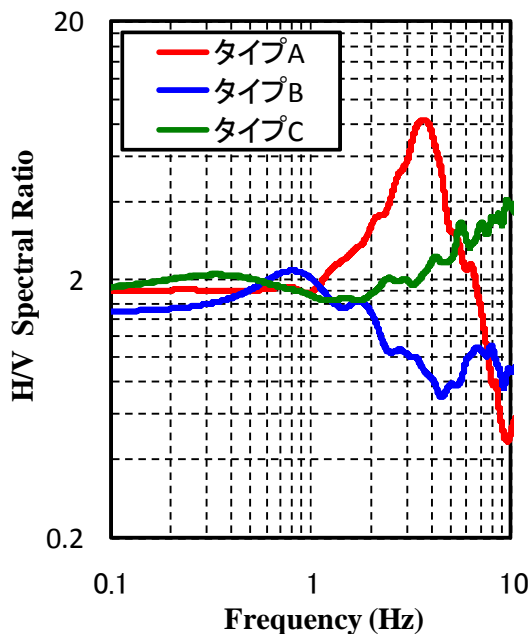


図-7 東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間の地質の分布⁸⁾



タイプA : 2~4Hz付近においてH/Vスペクトルが卓越する地盤震動特性
 タイプB : 3~4Hz付近に明瞭な谷を有する地盤震動特性
 タイプC : フラットな地盤震動特性

図-8 地盤震動特性の分類

6. まとめ

本研究では、2009年8月の静岡県駿河湾の地震(M6.5)による盛土崩落地点近傍及び高速道路沿いの地点(吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.)において常時微動計測を実施し、盛土崩落地点周辺の地盤震動特性を評価した。以下に得られた知見を示す。

1) 盛土崩落地点近傍の常時微動計測結果によれば、5Hz付近にピーク周波数を有するH/Vスペクトルとなる。また、崩落地点法尻、崩落地点から200m東側に位置する盛土法尻、朝生公民館、崩落地点南側法尻、熊野神社のH/Vスペクトルの形状が類似していることから、

地盤震動特性が類似している可能性が高い。

- 2) 高速道路沿いの地点(東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間)における常時微動計測の結果によれば、吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間に存在する盛土部の地盤震動特性はそれぞれ異なる。このことから、高速道路盛土などの線状構造物の耐震診断等を合理的に行うためには個々の特性を評価することが重要である。
- 3) 高速道路沿いの地点(東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間)における常時微動計測の結果を表層地質と関連付けて分類すると、東名高速道路吉田I.C.～相良牧之原I.C.～菊川I.C.間の地盤震動特性は、大きく分けて、3種類のH/Vスペクトル形状(タイプA・タイプB・タイプC)に分類することができる⁴⁾。

タイプAは、完新生堆積岩(海成)が分布する地域にみられる、2~4Hz付近においてH/Vスペクトルが卓越する地盤震動特性である。タイプAは、表層地盤の影響で地震動が大きくなる可能性が高いと考えられる。そして崩落地点の地盤震動特性はタイプAに属すると考えられる。

タイプBは、更新世堆積岩(段丘)が分布している地域にみられる3~4Hz付近に明瞭な谷を有する地盤震動特性である。

タイプCは、中新世堆積岩及び鮮新生堆積岩が分布している地域にみられるフラットな地盤震動特性である。タイプCは表層地盤の影響が小さいため、地震動は小さいと考えられる。

これらの検討により、高速道路沿いをいくつかのエリアに分割(ゾーニング)して地震動を評価することは合理的であると考えられる。このことから、今後の予定として、実際に高速道路沿いのゾーニングを実施し、崩落地点の地震動を評価したいと考えている。

謝辞

本研究では、NEXCO中日本、(社)土木学会地震工学委員会性能を考慮した道路盛土の耐震設計・耐震補強に関する研究小委員会(委員長:常田賢一(大阪大学大学院工学研究科教授)),牧之原市の方々の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秦吉弥・一井康二・加納誠二・土田孝・今村孝志: 盛土の耐震診断に基づく高速道路の通行機能の耐震性評価, 土木学会論文集F, Vol.65, No.1, pp.50-58, 2009.
- 2) 秦吉弥・一井康二・加納誠二・土田孝・柴尾享・今村孝志: 常時微動計測に基づく高速道路盛土の入力地震動設定法の検討, 土木学会論文集F, Vol.65, No.4, 2009. (掲載決定)
- 3) 湯沢豊・植竹富一: 静岡共同強震観測点におけるサイト増幅特性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.553-554, 2004.
- 4) 野津厚・長尾毅・山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007.
- 5) 秦吉弥・一井康二・野津厚・常田賢一・大角恒雄・柴尾享: 東名高速道路盛土崩落地点とその周辺におけるサイト特性の推定, 第6回地盤工学会関東支部発表会(Geo-Kanto 2009)講演集, 2009. (掲載決定)
- 6) 国土交通省国土地理院 電子国土Webシステム 地図閲覧サービス (ウォッチズ) <http://watchizu.gsi.go.jp/>
- 7) 例えば, 大町達夫・紺野克昭・遠藤達哉・年縄巧: 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, No.489, I-27, pp.251-260, 1994.
- 8) 国土交通省 土地・水資源局 国土調査課ホームページ <http://tochi.mlit.go.jp/tockok/index.htm>

平成21年10月30日 受理