

# 道路盛土の耐震性評価のための地震動設定手法 に関するアンケート調査

一井 康二<sup>1</sup>・秦 吉弥<sup>2</sup>・村田 晶<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 広島大学大学院工学研究院准教授 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: ichiikoji@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本工営株式会社中央研究所主任研究員 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

E-mail: hata-ys@n-koei.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学大学院自然科学研究科助教 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: murata@t.kanazawa-u.ac.jp

道路盛土の耐震性評価のためには、盛土のある各地点における地震動を適切に設定する必要がある。今日までに様々な地震動設定手法が提案されていることを踏まえると、盛土の耐震性評価に適した地震動の設定手法を議論しておくことは有用である。そこで本稿では、委員会活動の一環として、地震工学の研究者・技術者を対象にアンケート調査を実施した結果について報告する。アンケートの内容は、種々の地震動設定手法の長所・短所についての技術者の認識の実態と、著者らが提案している常時微動計測結果により線状構造物である道路盛土をゾーニングする方法を実務に適用する際の課題である。

**Key Words :** earthquake, embankment, questionnaire, input seismic motion, microtremor measurement

## 1. はじめに

道路の耐震検討においては、橋梁等のほかにも、盛土の地震時崩壊の発生の有無、崩壊の範囲や程度を全線にわたり把握することが重要である。そのため、各盛土地点における耐震性評価のための地震動を合理的に設定することが望ましい。

今日、様々な地震動設定手法が提案されているが、それぞれの手法毎に長所・短所が異なると考えられ、道路盛土の耐震性評価に適した地震動の設定手法についての検討を行うことは有意義である。また、手法の難易度によっては、技術者の判断や力量などにより設定される地震動の精度等が異なってくる事態が発生する可能性も、実務的には考えられる。

(社)土木学会地震工学委員会では、「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)」を平成20年度より設置し、道路盛土の地震時応答特性・設計地震動、変形量予測、耐震補強工法などについて検討を行っている。本稿では、委員会活動の一環として、地震工学の研究者・技術者を対象にアンケート調査を実施した結果について報告する。アンケートの内容は、種々の地震動設定手法の長所・短所についての技術者の認識の実態と、著者らが提案している常時微動計測結果により線状構造物である道路盛土をゾーニングする方法を実務に適用する際の課題である。

## 2. アンケート回答者の概要

本アンケートは、(社)土木学会および(社)地盤工学会の名簿などから日本国内における地震工学を専門とする技術者・研究者を200人抽出し、回答候補者として選定した。事務局からアンケート書類を回答候補者宛てに郵送(2008年9月初旬)し、候補者が紙面上でアンケートに回答を記入し、回答結果を事務局に返送する方式で実施した。有効回答期間は約1か月間とした。その結果、有効回答数は83通(有効回答率41.5%)であった。

図-1に回答者の属性を示す。回答者自身に対する調査内容は、所属機関(同図(a))、実務経験年数(同図(b))、役職(同図(c))、所有資格(同図(d))、業務内容(同図(e))、などの計7項目である。

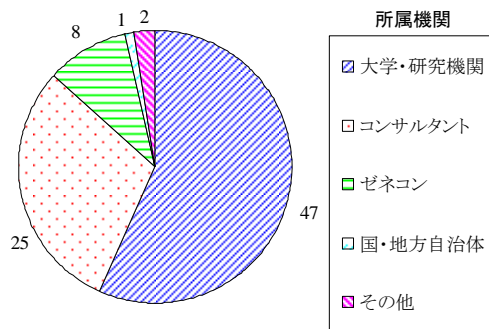
この図によれば、所属機関としては大学・研究機関が過半数、建設コンサルタントが約3割、ゼネコンが約1割を占めている。その他の機関としては、日本高速道路(株)(NEXCO)などで占められている。実務経験を5年単位で分割すると偏りなく分布していることが読み取れる。なお、本アンケートでは、大学・研究機関での在籍年数についても実務経験として計算している。また、実務経験年数の分布と対応するように、就いている役職も幅広い。所有資格としては、技術士(建設部門もしくは応用理学部門)、博士(工学、理学、農学、学術)、1級土木施工管理技士、1級建築士の4つの資格に着目した結果、どれ

一つ以上の資格所有率は、83人中72人(約87%)となっており、技術レベルの高い方に本アンケートを回答いただいたと判断できる。ただし、年代にばらつきがあること、資格の位置づけもそれぞれ異なることを考えると、技術レベルは高くとも、明瞭な技術者像を提示できるような集団にアンケートできているわけではない点には注意が必要がある。

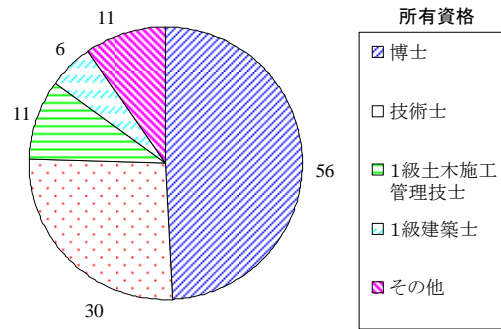
業務内容(複数回答可)については、約7割の回答者が研究の項目を挙げている。回収率等を勘案して回答候補者を選定した際、偏りがあった可能性もあると思われる。具体的な研究内容については、記載有無に差異があったため、一概に定量的な評価はで

きないが、約半数にあたる57人中28人が地震動に関する内容を挙げている。また、本稿の内容に直結していると思われる地震動設定の項目を挙げた回答者は、83人中30人(約36%)となり、4割程度であった。

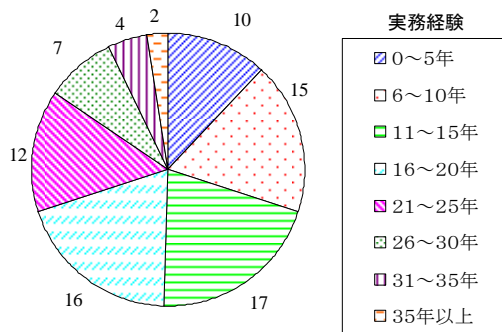
図-1(f)は、図-1(e)において地震動設定を業務内容として挙げた回答者の所属機関を整理したものである。この図より大学・研究機関とコンサルタント・ゼネコンでそれぞれ約半数ずつを占めている。なお、後述するアンケート項目に関連して、常時微動計測の経験の有無等の項目も質問したが、これらの質問の回答は該当する検討内容のところで述べる。



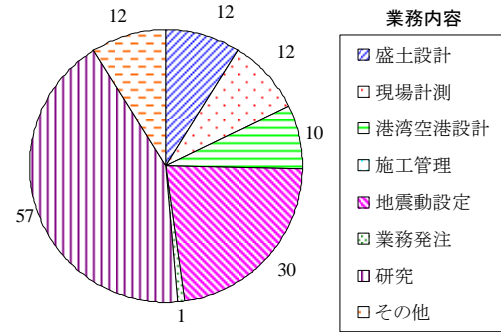
(a) 所属機関



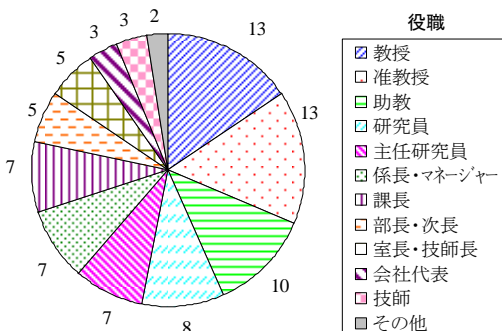
(d) 所有資格 (複数回答可)



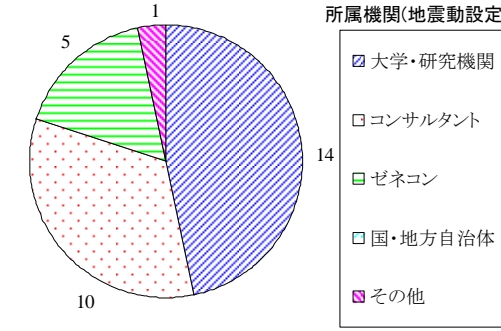
(b) 実務経験



(e) 業務内容 (複数回答可)



(c) 役職



(f) 地震動設定を業務内容とする回答者の所属

図-1 アンケートの回答者の属性

### 3. 地震動設定手法の特徴についての調査

#### (1) 質問内容

まず、最初に、種々の地震動設定手法の特徴に関して、技術者の認識を調査した。アンケートの設問内容は以下に示すとおりである。ここに、以下の文面や表は、表番号などを除いて、回答者に送付したものと同一である。

『質問Ⅱ：盛土の耐震性評価を実施するための検討地震動を設定することになりました。以下に示す代表的な設定手法が提案されていますが、それぞれの長所・短所に該当すると思われる言葉を下記のキーワードから選んでご記入いただき、あなたの推奨手法についてもご記入（複数回答可）ください。（図-2および表-1参照）』

- ・ 手法 1：既往の地震による代表的な観測地震波をそのまま採用
- ・ 手法 2：距離減衰式などの経験的手法を用い地震動の振幅レベルを調整した地震波を採用
- ・ 手法 3：各種スペクトルにフィッティングさせたスペクトル適合波を設定・採用
- ・ 手法 4：統計的グリーン関数法などの半経験的手法を用いて地震動を計算・作成
- ・ 手法 5：ハイブリッド法などの理論的手法を用いて地震動を計算・作成

#### (2) 回答結果

選んで頂いた地震動設定手法のキーワード(図-2参照)に対し、図-3に示すように項目ごとに一般的な優劣を考慮したポイントを付与して、5段階評価を行った。ここに、費用および作業性については、キーワード記載順(図-2参照)とポイント付与順を反転させていることに留意されたい。また、入力データ(パラメータ)の数については、一概に優劣を考慮できないため、キーワード記載順(図-2参照)の通りにポイントを付与した。

図-4に、各キーワードに対する平均値ならびに標準偏差を示す。同図は、長所として回答した方の5段階評価ポイント(左図)、短所として回答した方の5段階評価ポイント(中央図)、有効回答数(右図)を各地震動設定手法に対してそれぞれ比較したものである。ただし、同じ特徴を長所としても短所としてもみなすことができる場合があり、その点を考慮すると設問自体に問題があったともいえ、結果の解釈はそのまま行うことは難しい面もある。例えば、図-4(d)中央図に示す手法4の回答結果には標準偏差が示されていない。これは、手法4の短所として理論性・科学性を指摘した回答者が少なく、数少ない回答者の全員が3点となる回答をしたためである。一方で、図-4(c)の手法1および手法2も、短所としての回答者が少ないが、数少ない回答が異なっていたため、大きな標準偏差となっている。このように、回答毎の母集団のサイズが異なる結果となったこと

も問題であり、解釈が非常に難しい。

とはいえ、回答を分析すると、図-4(a)および図-4(c)に示すように、費用および作業性に関しては、手法1および手法2の評価ポイントが高く、優れていると評価されている。一方、手法4および手法5の評価ポイントは低く、劣っていると評価される。

図-4(b)および図-4(d)に示すように、信頼性および理論性・科学性に関しては、手法3および手法4の評価ポイントが比較的高く、若干優れていると評価されている。一方で、手法1および手法2の評価ポイントは比較的低く、若干劣っていると評価されている。しかしながら、評価ポイントにあまり大きな差異はない。特に、手法1、手法2、手法3の評価ポイントはほぼ同様である。

図-4(e)に示すように、入力データ(パラメータ)の数に関しては、手法5の評価ポイントが最も高く、一方で、手法1の評価ポイントが最も低い。ここでは、各地震動設定手法に顕著な差異が確認できる。

<費用>				
ア：極めて高い	イ：高い	ウ：普通	エ：安い	オ：極めて安い
<信頼性>				
カ：極めて高い	キ：高い	ク：普通	ケ：低い	コ：極めて低い
<作業性>				
サ：極めて煩雑	シ：煩雑	ス：普通	セ：手軽	ソ：極めて手軽
<理論性・科学性>				
タ：極めて高い	チ：高い	ツ：普通	テ：低い	ト：極めて低い
<入力データ(パラメータ)の数>				
ナ：極めて多い	ニ：多い	ヌ：普通	ネ：少ない	ノ：極めて少ない

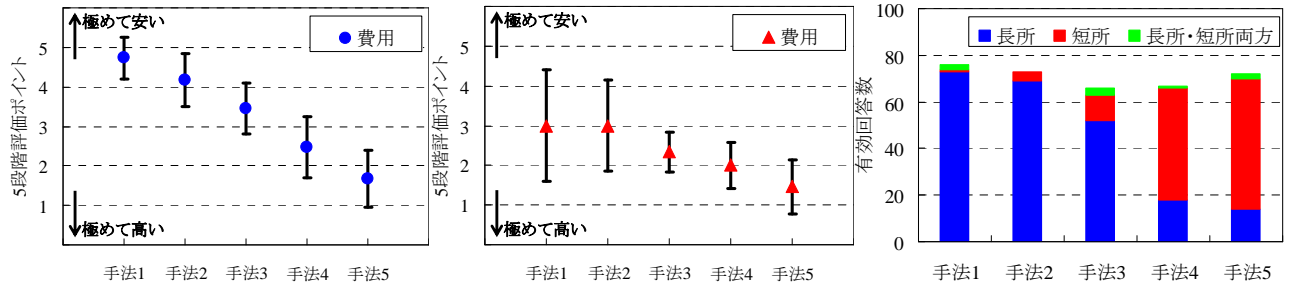
図-2 地震動設定手法のキーワード

表-1 質問Ⅱの回答例

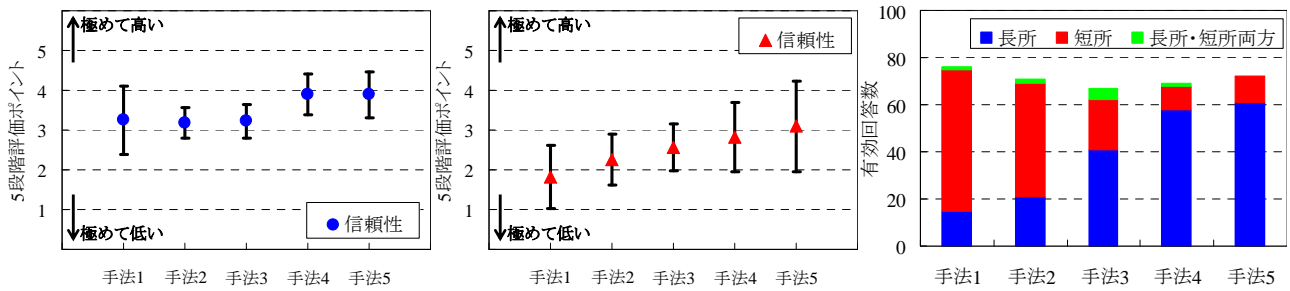
	長所	短所
手法1	ア, ク, シ, テ, ノ	オ, ク, ス, ニ, ハ
手法2	オ, ス, ト	エ, ケ, セ, ヌ, ヘ
手法3	ケ, テ, ネ	ア, シ
手法4	カ, サ, ナ, ハ	ウ, ク, ス, ツ, ヌ
手法5	コ, ソ, ツ	サ
推奨手法	手法4と手法5	

<費用>				
5：極めて安い	4：安い	3：普通	2：高い	1：極めて高い
<信頼性>				
5：極めて高い	4：高い	3：普通	2：低い	1：極めて低い
<作業性>				
5：極めて手軽	4：手軽	3：普通	2：煩雑	1：極めて煩雑
<理論性・科学性>				
5：極めて高い	4：高い	3：普通	2：低い	1：極めて低い
<入力データ(パラメータ)の数>				
5：極めて多い	4：多い	3：普通	2：少ない	1：極めて少ない
優 ← → 劣				

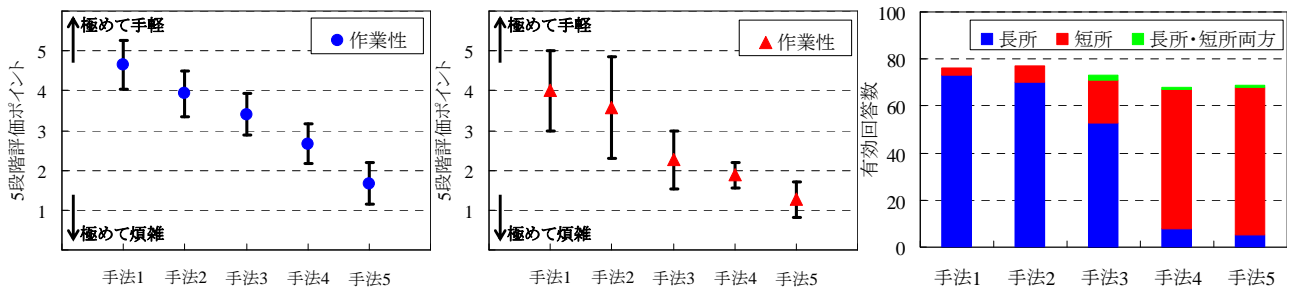
図-3 キーワードの5段階評価（ポイントの付与）



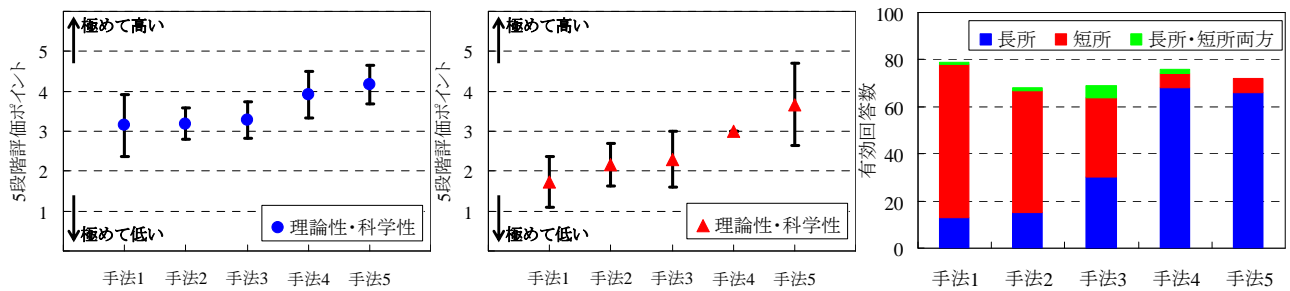
(a) 費用 (左図: 長所, 中央図: 短所, 右図: 有効回答数)



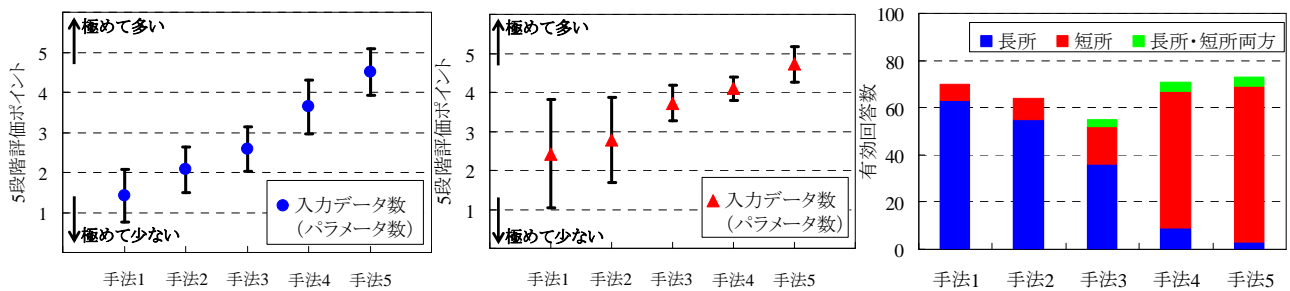
(b) 信頼性 (左図: 長所, 中央図: 短所, 右図: 有効回答数)



(c) 作業性 (左図: 長所, 中央図: 短所, 右図: 有効回答数)



(d) 理論性・科学性 (左図: 長所, 中央図: 短所, 右図: 有効回答数)



(e) 入力データ (パラメータ) 数 (左図: 長所, 中央図: 短所, 右図: 有効回答数)

図-4 地震動設定手法の特徴 (回答者全員)

そして、手法 1 および手法 2 では、入力データ数が比較的少ないことが長所として挙げられ、手法 4 および手法 5 では、入力データ数が比較的多いことが短所として挙げられる傾向が強い。また、図-4(e)の右図からわかるように、入力データの数の大小は、長所としても短所としても解釈できるとする回答者の割合も比較的多い。特に、この傾向は、手法 3、手法 4、手法 5 において顕著に表われている。

なお、図-4 で示したものと同様の検討について、回答者の所属機関や業務内容を考慮した比較も実施したが、大きな差異は確認できなかった。

## 4. 常時微動計測についての調査

### (1) 質問内容

著者らは、道路の各地点ごとに地盤震動の特性などが異なってくる<sup>たえば、リ</sup>ことを踏まえ、常時微動計測により地盤震動特性を評価し、線状構造物である道路盛土を震動特性の類似した区間にゾーニングする方法の適用事例等を示してきた<sup>2),3)</sup>。もちろん、この手法については賛否両論あることが考えられる。そこで、特に否定的な意見が出る可能性のある 2 項目として、常時微動の計測条件の影響と、計測結果の解釈に関する技術者の判断のばらつきを把握すべく、これらに関連した項目をアンケート調査に含めることとした。本章では、まず、常時微動の計測条件に関する調査結果を示す。

アンケートの設問内容は以下に示すとおりである。ここに、以下の文面や図は、図番号などを除いて、回答者に送付したものと同一である。

『質問 III：図-5 のような形状を有する既存の高速道路盛土の耐震診断に用いる地震動を検討するため、常時微動計測を実施することになりました。あなたは、1.どの位置で、2.どのような、常時微動計測を実施しますか？実施位置を図示したうえで、その計測時間などの計測条件などもお書きください(図-6 参照)。』

なお、本質問における高速道路盛土の形状や寸法など(図-5 参照)は、道路盛土の地盤調査に関する既往のアンケート調査<sup>4)</sup>と同様のものである。

### (2) 回答結果

図-7 に 83 人の有効回答者が選定した常時微動計測条件を示す。同図(a)は、常時微動計測の代表的な回答位置を示したものである。この図より法肩および法尻での同時計測が最も多くなっており、次いで、法尻のみ、法尻+中腹+法尻、天端のみ、周辺平坦地盤の順となっている。計測位置の選定に関するコメントによれば、法尻において常時微動計測を行い当該地点の基礎地盤の震動特性を把握すると同時に、車両通行に伴う振動が少ないのであれば、法肩、天端、中腹などにおいても計測を行い盛土自体の震動特性についても把握しておく必要があるなど

の意見が比較的多く寄せられた。また、法尻のみににおいて常時微動計測を実施すると盛土の震動特性の影響を受ける可能性があるため<sup>たえば、5)</sup>、盛土法尻から盛土幅程度離れた平坦な水平成層地盤上において常時微動計測を実施すべきであるとの意見も比較的多く寄せられた。

同図(b)は、常時微動計測時間に関する回答を 10 分間隔で取り纏めたものである。この図より 11~20 分間、1~10 分間の順に多くなっており、両計測時間の回答で過半数以上を占めている。これは、一般の常時微動計測が、この程度の計測時間で実施されているということを示しているものと思われる。一方で、20 分間を超える回答が 1/4 以上あり、60 分を超える計測時間の回答もあったことは、高速道路であるため、ノイズ等の影響を懸念した回答であることも考えられる。この点については、交通量等の条件を明示してないため、設問の不備に起因してばらつく回答となったとも解釈できる。

同図(c)は、常時微動計測方向に関する回答である。この図より断面、延長、鉛直方向の計 3 方向での計測が 6 割以上を占めている。同図(d)は、常時微動計測機器に関する回答である。この図より約半数が比較的低周波数領域までの計測が可能な速度計を選定している。この理由は定かではないが、低振動数領域の計測により、なるべく深いところまでの情報を取得したいといった理由が考えられる。一方で、速度計よりも加速度計の方が一般に安価で取り扱いが容易なことから、加速度計を選定した回答者は、「この程度の計測であれば加速度計でも十分である」という判断をしていた可能性もある。本設問では、制約条件が明確でないため、一概にどちらがよいとは結論付けることができない。

なお、アンケート回答者のうち、常時微動計測の経験があるのは 61 人であった。しかし、常時微動計測の経験者の回答と回答者全員の回答を比較しても、計測時間に関する回答に若干の違いがあったほかは、大きな差異は確認できなかった。これは、本アンケートの回答者の多く(約 73%)が常時微動計測に関する経験を有しているためでもあるが、基準化等がされていないにもかかわらず、常時微動の計測方法にある程度の一般性が存在しているからであると解釈することもできる。

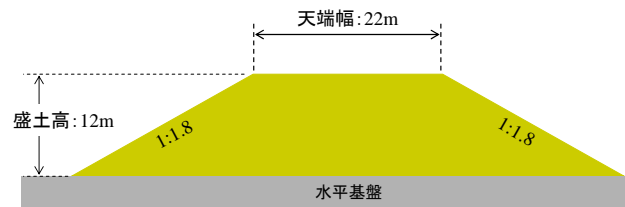


図-5 質問 III において対象とする高速道路盛土<sup>4)</sup>



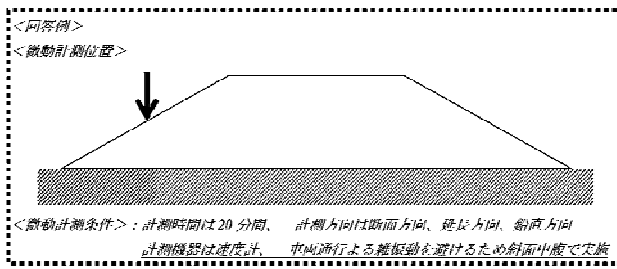


図-6 質問IIIの回答例

## 5. H/Vスペクトルに基づくゾーニング についての調査(その1)

### (1) 質問内容

実際に常時微動計測を行った場合、計測結果をH/Vスペクトルで示し、地盤震動特性を分析することが多い。著者らも、H/Vスペクトルの形状に基づいて道路の区間を類似した震動特性ごとにゾーニングを実施してきた。しかし、H/Vスペクトルの形状によりゾーニングを実施した場合、技術者の判断が介在するため、ゾーニングの結果に普遍性が見られるかどうかは不明である。すなわち、技術者の判断によって、ゾーニングが大きく異なる可能性があり、実務において常時微動計測結果を用いる場合の障害となる恐れがある。そこで、ゾーニングの判断が技術者によりばらつく可能性の有無や程度を明らかにすることを目的に設問を設けた。

アンケートの設問内容は以下に示すとおりである。ここに、以下の文面や図は、図番号などを除いて、回答者に送付したものと同一である。また、本質問における高速道路盛土と常時微動計測結果(図-8および図-9)は、高速道路の通行機能の耐震性評価手法の適用<sup>2),6)</sup>を行った盛土と同地点である。

なお、回答例には、他と傾向が異なるために判断できない地点という趣旨で「特異点」の例示を示している。しかし、アンケート文面中には、特異点の定義を明確には示していない。

『質問IV：日本国内のある高速道路のインターチェンジ(SJ I.C.～SW I.C.)間において常時微動計測を実施した結果(H/Vスペクトル：0.05HzのParzen Window)を示します。計測場所は盛土の法尻位置で、計測点数は対象I.C.間(約11km)の計41地点です。得られた地盤震動特性(H/Vスペクトルの特性)に基づいて、対象I.C.間を複数のエリアに分割(ゾーニング)したいと思います。それぞれ指定する分割エリア数に応じた、分割するエリアの端部の位置番号を明示してください。(図-8、図-9、図-10参照)』

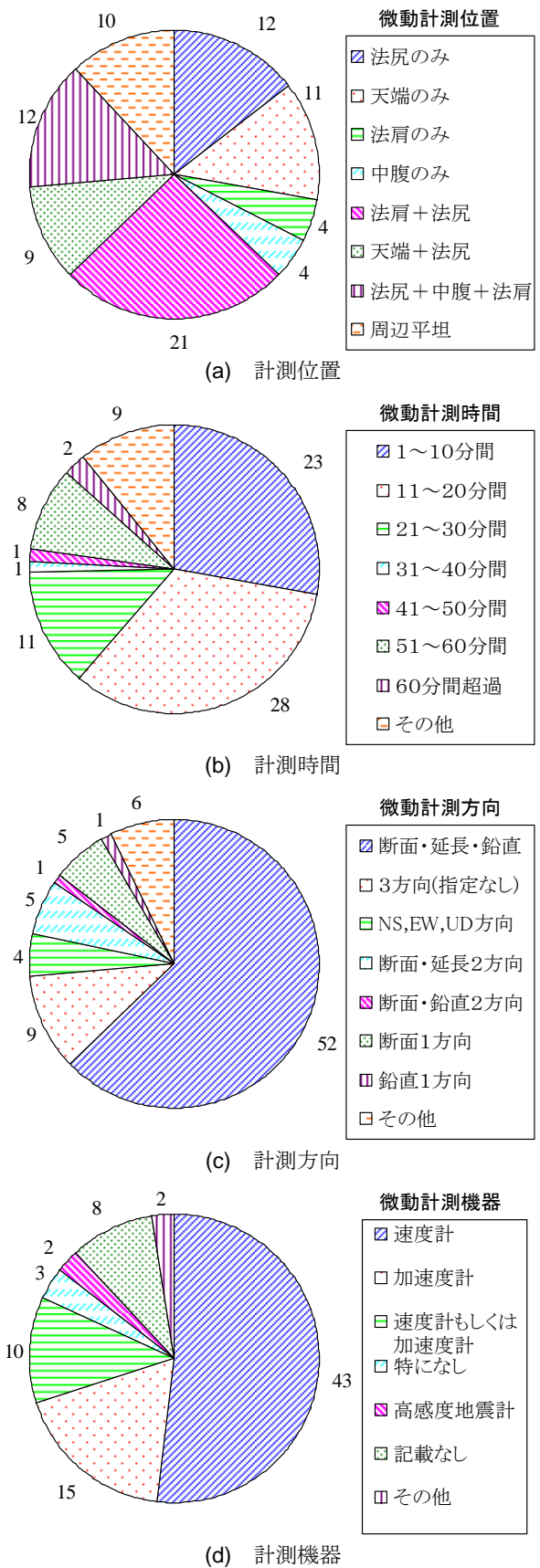


図-7 常時微動計測条件  
(回答者全員)

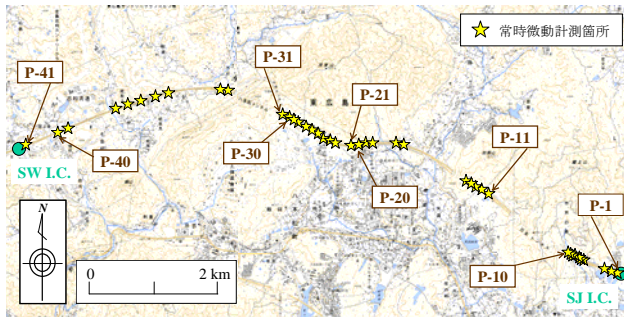


図-8 高速道路盛土法尻における常時微動計測位置

<回答例>

・2つのエリアに分割する場合:

① P-1～P-20、② P-21～P-41

・特異点: P-11～P-17

※ 補足コメント等 (自由記述)

H/V スペクトルの形状や卓越周波数などを参考にI.C.間のほぼ真ん中で分割した

図-9 質問IVの回答例

## (2) 頂いた意見およびコメント

回答結果を述べる前に、自由意見として記述いただいた意見およびコメントをまず概観する。

まず、本質問は、ゾーニングのための情報として検討対象地点の地形図(図-8)とH/Vスペクトル(図-10)のみを提示しているため、情報が少なく、ゾーニングの実施は困難であるとの回答が比較的多く寄せられた。すなわち、実際にゾーニングを実施する際には、与えられた情報以上に、現地の地質等に関する情報を収集・整理することも肝要で、問題設定としては不十分であるという意見である。また、与えられた情報から無理に実施する場合には、H/Vスペクトルのピークの有無で分割する程度のゾーニングしか実施できないとの意見が多くみられた。

つまり、ゾーニングの観点がはっきりしていないので、地形やH/Vスペクトルだけの情報で分割するのは困難であり、道路下の地盤構造、盛土の施工時期、周辺の地質・断層の分布などもゾーニングに反映すべきとの意見が多く寄せられた。これらの意見はもっともであるが、これらを反映した調査項目の設定は難しく、今後の課題である。

さらに、必ずしもエリアが連続的になるとは限らないため、2つまたは4つのエリアに分割するのは困難であり、飛び地があっても良いとの意見もあった。

そもそも、常時微動の計測結果(H/Vスペクトル)を信じてゾーニングを行うことや、ゾーニングを行うこと自体についても賛否両論ある課題である。実務的には、予算や検討期間、入手可能な情報の質と量などの個別の事情に応じて用いる手法が選択されることが一般的であろう。その意味では、かなり強引な課題設定であったにもかかわらず、意図を組んで多くの方に回答いただいたことになる。深く、皆様に感謝の意を表したい。

そして、本報告では、検討対象地点における地形

および常時微動計測結果(H/Vスペクトル)のみの情報をもとに道路盛土のゾーニングをあえて実施した場合として、回答結果を以下の通り分析した。

## (3) 回答結果(指定分割エリア数: 2)

図-11に83人の有効回答者が選定したゾーニングパターンの回答結果(2分割指定の場合)を示す。同図(a)は分割点、同図(b)は特異点の位置である。

ここに、同図(a)および同図(b)の縦軸の回答率とは、分割点および特異点の回答数を有効回答者数(83人)で除したものである。図-11(a)に示すように、約8割の回答者がP-17とP-18の境界での分割を選択している。特異点としては、図-11(b)に示すように、P-5, P-34, P-38, P-41を選択する回答が多い。これらの結果を踏まえた最多回答を得たゾーニングパターンを図-11(c)に示す。ゾーニングの判断材料としては、H/Vスペクトルの形状、ピーク周波数、地形情報などを挙げた回答者が非常に多く見られた。一方で、H/Vスペクトルのパターンが多岐にわたっているため、2分割するのは、不可能との回答も見受けられた。また、西端にあたるP-41を特異点に挙げた回答者の意見として、設問はインターチェンジ(I.C.)間の地盤震動特性などを対象としているが、ゾーニングの対象区間をI.C.間に特に限定する必要はないとの意見もあった。

この結果をまとめると、2分割の困難性は指摘されているものの、約80%の回答者が同意する分割点が設定できている。すなわち、ある程度普遍性のあるゾーニングが可能だと解釈できる。一方で、特異点の回答率は、最も大きなものでも約50%の同意に留まっており、分割位置ほどの普遍性は確認できない。なお、これらの結果は、回答者のうち、常時微動計測ならびにゾーニングの経験がある者38人の回答においてもほぼ同様であった。

## (4) 回答結果(指定分割エリア数: 4)

図-12に83人の有効回答者が選定したゾーニングパターンの回答結果(4分割指定の場合)を示す。同図(a)は分割点の位置、同図(b)は特異点の位置である。図-12(a)に示すように、約8割の回答者がP-10とP-11の境界およびP-17とP-18の境界、約4割の回答者がP-31とP-32の境界での分割を選択する結果となった。また、分割不可の回答は、約1割であり、2分割指定の場合(図-11(a)参照)と大きな差異はない。特異点としては、図-12(b)に示すように、P-5, P-34, P-38, P-41を選択する回答が多く、この結果は、2分割指定の場合(図-11(b)参照)と同じ結果である。図-12(c)には、最多回答を得たゾーニングパターンを示す。ゾーニングの判断材料としては、2分割指定の場合に見られたH/Vスペクトルの形状、ピーク周波数、地形情報だけでなく、指定分割数の自由度が増えたため、施設情報や維持管理などを挙げた回答者が数多く見られた。具体的には、P-10とP-11の境界およびP-31とP-32の境界に位置する延長1km程度のトンネルを考慮した回答が目立った。



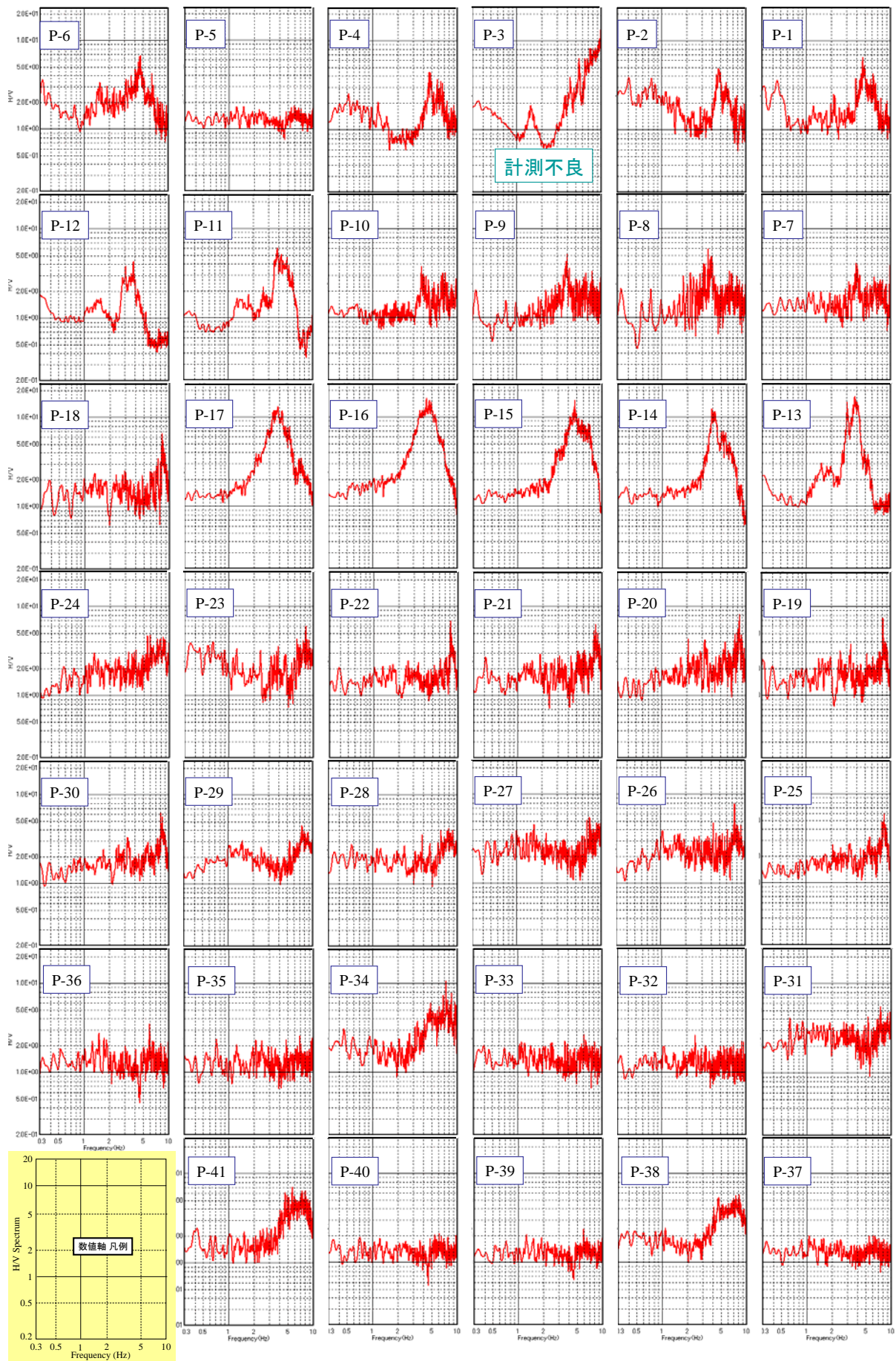
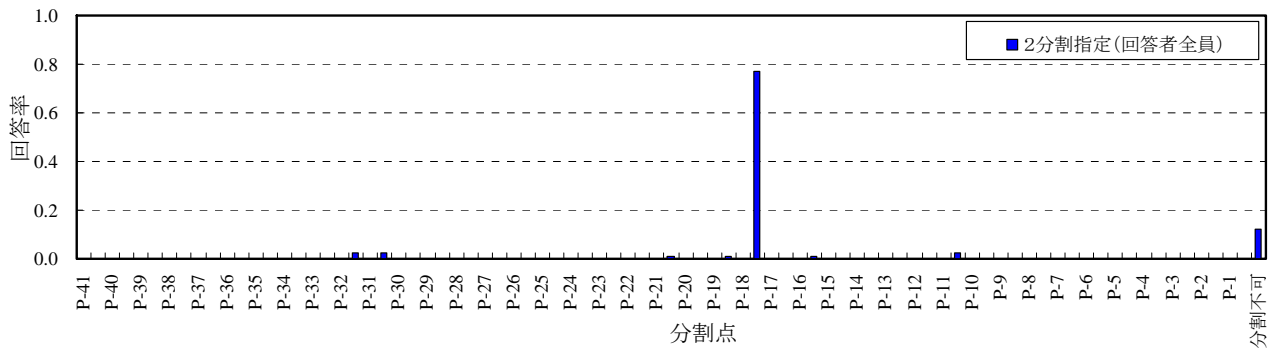
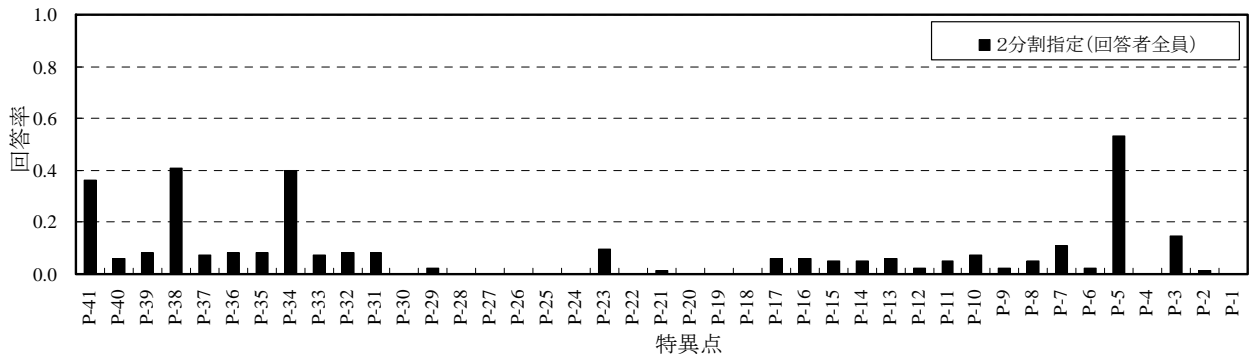


図-10 各計測地点におけるH/Vスペクトル

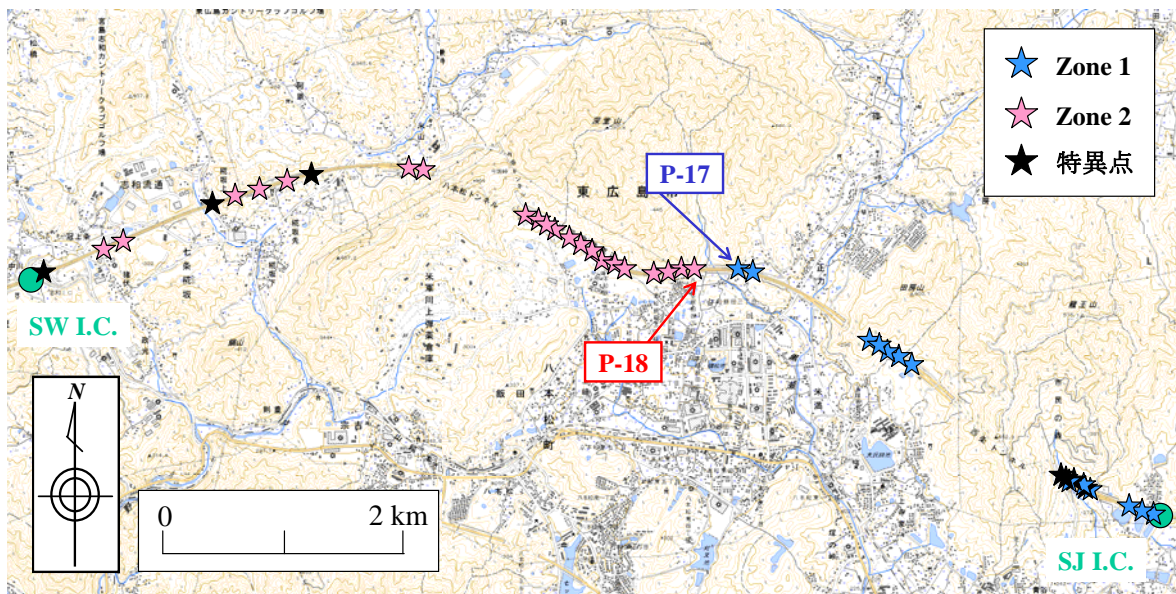




(a) 分割点の位置



(b) 特異点の位置



(c) 最多回答のゾーニングパターン

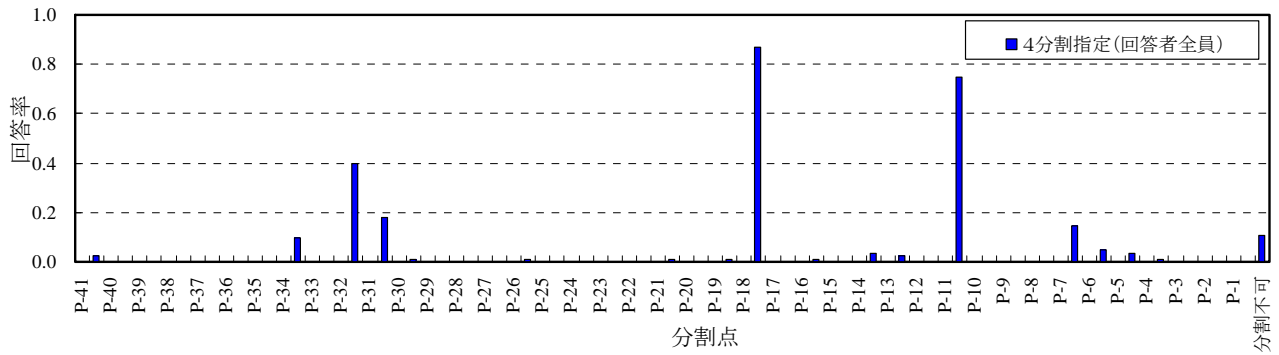
図-11 2分割指定の場合のゾーニングパターン (回答者全員)

また、維持管理の容易さを考慮して各々のゾーン長が概ね同等になるように分割する回答もあった。

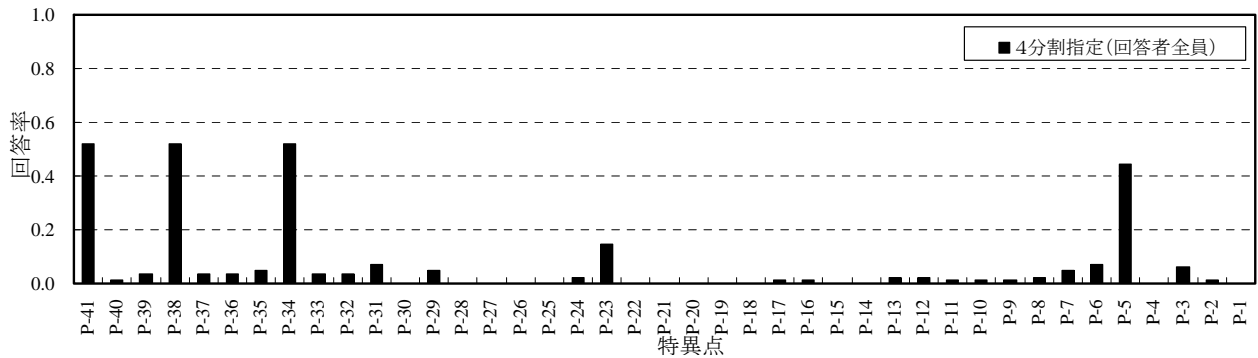
この結果をまとめると、4分割であっても40～80%の回答者の同意が得られる分割点が設定できている。すなわち、指定分割数の増加により普遍性は若干低下するが、それでも、ある程度は普遍性のあるゾーニングが可能であることがわかる。

一方で、特異点の同意率は最大でも50%程度である。また、指定分割数が特異点の選択に及ぼす影響は比較的小さいこともわかった。

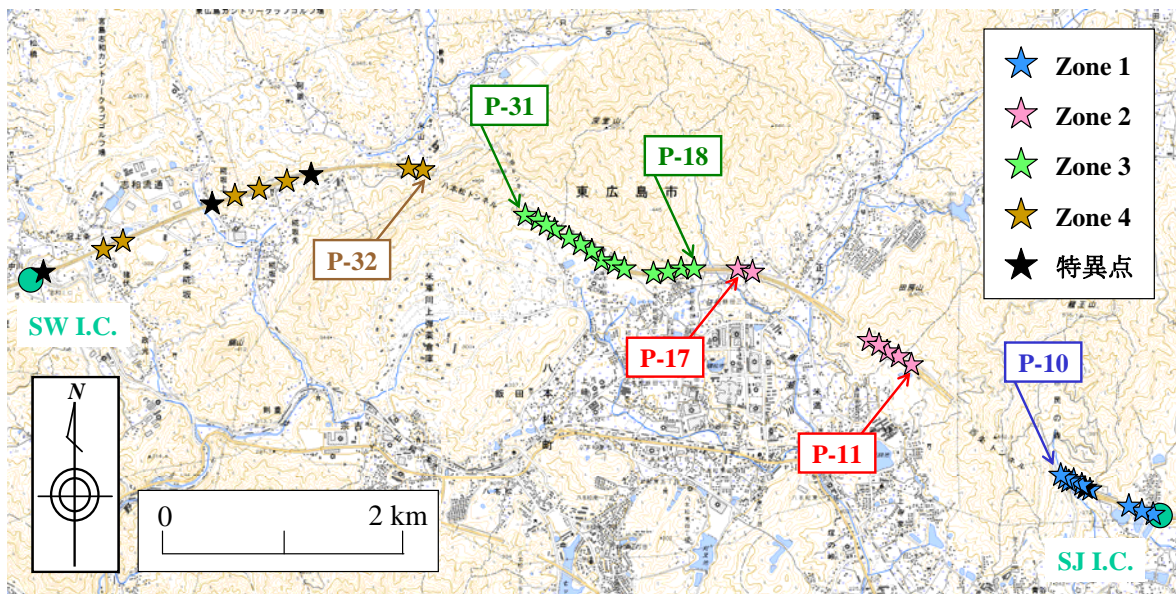
なお、常時微動計測ならびにゾーニングの経験がある者38人の回答においても、ほぼ同様の結果であることを確認した。



(a) 分割点の位置



(b) 特異点の位置



(c) 最多回答のゾーニングパターン

図-12 4分割指定の場合のゾーニングパターン (回答者全員)

## 6. H/Vスペクトルに基づくゾーニング についての調査(その2)

### (1) 質問内容

前章の高速道路盛土のゾーニングに関する設問では、日本国内における匿名の地点の盛土を対象とし

ていた。しかしながら、実際の実務などでは、H/Vスペクトルの特性のほかに検討対象地点周辺の地形・地質情報、強震観測点の分布、大地震による被災実績などもゾーニングの判断材料になると考えられる。すなわち、与条件の種類や数によって分割数や分割位置などのゾーニングの傾向が変わってくることも予想される。



そこで本検討では、2007 年能登半島地震において被災した能登有料道路における常時微動計測結果(H/V スペクトル)に基づいてゾーニングを実施する質問を設けた。アンケートの設問内容は以下に示すとおりである。ここに、以下の文面や図は、図番号などを除いて、回答者に送付したものと同一である。

『質問 V：2007 年能登半島地震で被災した能登有料道路(徳田大津 I.C.～穴水 I.C.)間において常時微動計測を実施した結果(H/V スペクトル：0.05Hz の Parzen Window)を示します。計測場所は盛土の法尻位置で、計測点数は 17 地点です。得られた地盤震動特性(H/V スペクトルの特性)に基づいて、徳田大津 I.C.～穴水 I.C.間をそれぞれ複数のエリアに分割(ゾーニング)したいと思います。あなたが提案するゾーニングエリアの端部の位置情報を明示してください(最大 8 分割としてください)。(図-13、図-14、図-15 参照)』

なお、この設問では、具体的な地名が与えられているため、必要に応じて、地質図等を入手して分析することも可能である。このため、これは単なるアンケートではなく業務ではないか、というコメントも頂いた。深くお詫びしたい。

## (2) 回答結果

図-16に83人の有効回答者が選定したゾーニングパターンの回答結果を示す。同図(a)は分割数の分布、同図(b)は分割点の位置、同図(c)は特異点の位置である。

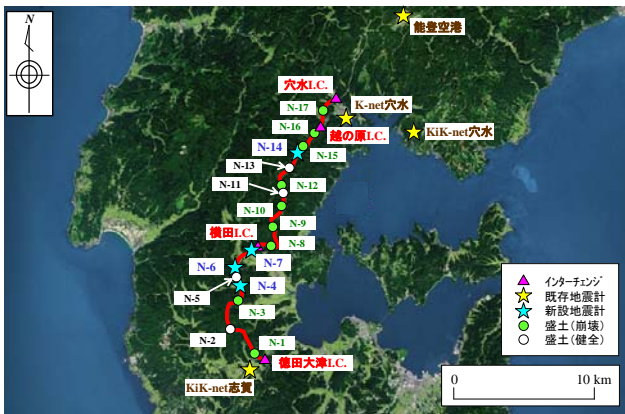


図-13 能登有料道路盛土法尻における常時微動計測位置

＜回答例＞  
・分割案(ゾーニング案)を明示してください。(最大 8 分割)  
① N-1～N-7、② N-8～N-13、③ N-14～N-17  
・特異点：N-5、N-6  
※ 補足コメント等(自由記述)  
H/V スペクトルの形状や卓越周波数などを参考に I.C.間のほぼ真ん中で分割した

図-14 質問 V の回答例

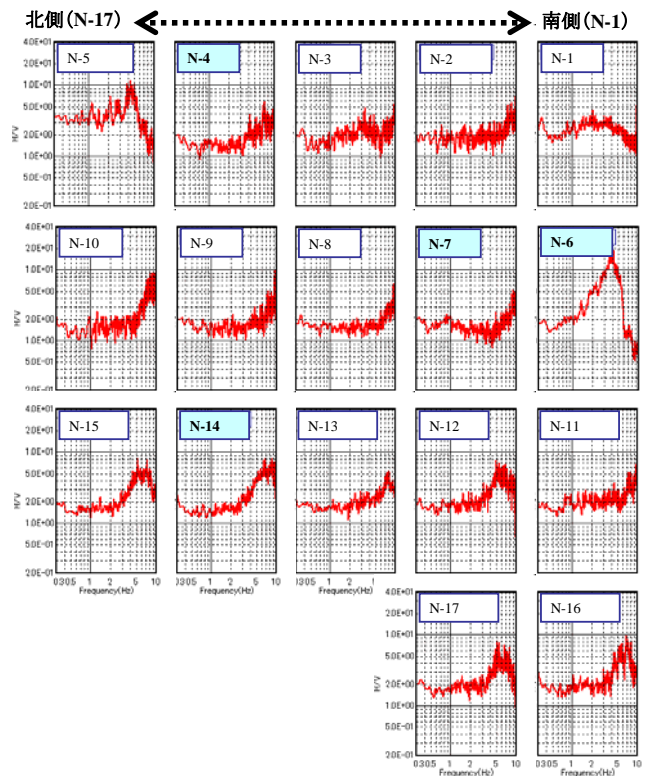


図-15 各計測地点における H/V スペクトル

ここに、これらの図の横軸の回答率とは、分割数、分割点、特異点の回答数を有効回答者数(83人)で除したものである。図-16(a)より分割数としては、4 分割および 5 分割が全体の約 7 割を占めており、図-16(b)より分割点としては、N-4 と N-5 の境界および N-6 と N-7 の境界に対する回答率がいずれも 8 割を上回っている。また、図-16(c)より特異点としては、N-1 の回答率が最も高くなっている。

図-17 に分割数 4 ならびに分割数 5 の場合の典型的なゾーニングパターンを示す。ゾーニングの根拠として数多くの回答が寄せられたのは、各ゾーンに対して地震計設置位置(N-4、N-6、N-7、N-14 および KiK-net 志賀)が最低でも 1 つ以上含まれるように分割する方法である。つまり、常時微動計測結果から推定される地盤震動特性よりも比較的精度が高いと考えられる地震観測記録から推定される地盤震動特性を利用して、各ゾーン内の地盤震動特性を代表させる方法である。さらに、分割数 4 と分割数 5 のゾーニングパターンの違いは、N-1 の取り扱いの違いによるものである。すなわち、N-1 を H/V スペクトルの特性や地形情報などから特異点と考えゾーニングする方法(分割数 4)と、KiK-net 志賀と N-1 の距離が比較的近いために両地点の地盤震動特性が類似していると予想してゾーニングする方法(分割数 5)の違いである。

図-18 に常時微動計測ならびにゾーニングの経験者 38 人が選定したゾーニングパターンの回答結果を示す。図-18 と図-16 を比較すると、顕著な差異は確認できないが、経験者のほうが分割数 5 の回答

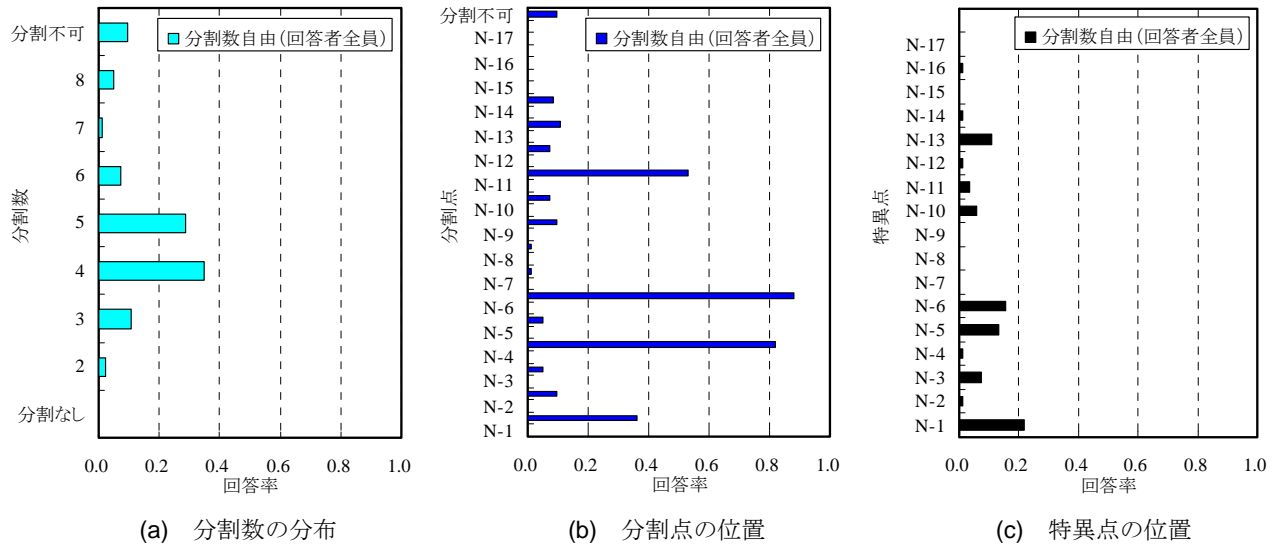


図-16 分割数自由の場合のゾーニングパターン (回答者全員)



図-17 能登有料道路におけるゾーニングパターン

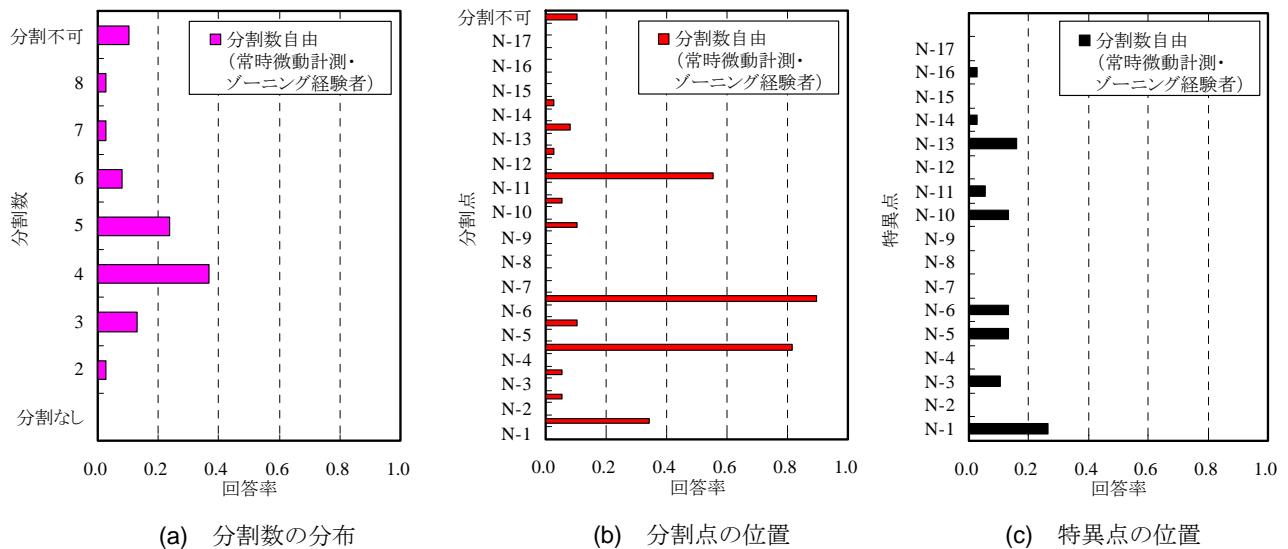


図-18 分割数自由の場合のゾーニングパターン (常時微動計測ならびにゾーニングの経験者)



率が若干低く(図-18(a)参照), さらに特異点としての N-1 の回答率が高くなっている(図-18(c)参照). この理由として, N-1 と KiK-net 志賀の地盤震動特性が類似しているとは本アンケートの情報だけでは十分に判断できないため, N-1 を特異点と考え, 4 分割するゾーニング方法を選択したとのコメントが比較的多く寄せられた.

これらの結果をまとめると, 分割数が自由な場合では, 端部(I.C.地点)の取り扱い方法に差異はあるものの, 50~80%の回答者の同意が得られる分割点が存在した. よって, 分割数を指定しなくても, 道路盛土におけるゾーニングには, 技術者の判断の違いがあまり大きく影響していない可能性が高いと考えられる.

## 7. 調査結果のまとめ

以上のアンケート結果は, 地震動の設定手法の特徴, 常時微動の計測方法, H/Vスペクトルによるゾーニングの3項目について, 以下のようにまとめられる.

### (1) 地震動の設定手法の特徴

地震動の設定手法には種々のものがあり, 費用の安いものから高いもの(作業性が手軽なものから煩雑なもの)(入力データの少ないものから多いもの)まで, 特徴が異なる. また, 費用や作業性ほど明瞭ではないが, 信頼性や理論性・科学性も, 手法により異なる. しかし, これらの特徴は, 長所にもなれば短所にもなり得るものであり, 状況に応じて(採用する耐震診断手法にも応じて), ふさわしい手法を採用することが肝要であると思われる. 本アンケートの結果は, 個々の技術者にとっては自明のことであるかもしれないが, これらの各手法の特徴を示しているものであり, 手法選択時の参考資料として使っていただきたい. なお, 本アンケートでは, アンケート文案には明示していないものの, 動的解析を実施することを前提とした調査になっていたものと思われる. この点については, 結果の解釈時に留意が必要である.

### (2) 常時微動の計測方法

アンケート結果によれば, 常時微動の計測位置を除く常時微動の計測条件(計測時間・計測方向・使用機器)については, 回答者に概ね共通の認識があることが確認できた. これは, 上述したとおり本アンケートの回答者は, 地震工学に比較的精通している研究者・技術者であったためである可能性が高い. しかし, 未だ基準化等がなされていない常時微動計測について, ほぼ共通した認識があることは, 実務での利用においても安心できる情報である.

一方で, 常時微動の計測位置については, 回答が

概ね一様にばらつく結果となった. これは, 道路盛土の耐震診断に用いる入力地震動を検討するための常時微動の計測条件が質問の趣旨であったが(質問III参照), 盛土自体の特性の把握が目的であると誤解され, 質問の趣旨がうまく伝わっていなかった可能性がある.

また, 実際の道路盛土(特に法肩)における常時微動計測では, 車両通行に伴う雑振動の影響を受けることが十分に予想され, 本アンケートにおいても回答者から車両通行振動を懸念するコメントが多数寄せられた. また, 雑振動を軽減する方法として, 夜間計測を推奨する回答も多く寄せられた. しかしながら高速道路盛土などでは, 夜間は大型車の通行が多く雑振動を避けるのは困難という計測実績を踏まえた回答もあった. これらを考慮すると, 単なる計測方法ではなく, 実際の計測データのデータ処理方法に関する議論も必要であると考えられる.

### (3) H/Vスペクトルによるゾーニング

上述した常時微動計測結果(H/Vスペクトル)を与条件の中心としたアンケート結果では, ゾーニングのパターン(高速道路盛土の分割位置や分割数など)には, 基本的に回答者による大きな差異が生じないことを確認した. これは, H/Vスペクトルによるゾーニングを実際に実務に適用する際には安心材料である.

また, 実務上の観点として, 常時微動計測結果(H/Vスペクトルの形状やピーク周波数)だけではなく, 川や谷などの地形情報, トンネルなどの施設情報, 維持管理の容易さ, 強震観測点の分布状況などもゾーニングの根拠として重視されることを確認できた.

なお, 一般にゾーニングは, その目的や観点(耐震設計・補強の観点, 維持管理の観点, 災害復旧の観点など)によって大きく異なってくる可能性が高い. 仮に, 本アンケートの目的であった道路盛土の耐震性評価のための地震動設定に関するゾーニングであれば, ゾーニングの目的を検討対象地点におけるサイト特性(地盤震動特性)がほぼ同じであるエリアを区分することとなるが, 実際には種々の目的を同時に考慮して区分されることも考えられる. このような複合的な目的・観点からの検討の必要性も, 今後の課題として示唆された.

## 8. 結論

本稿では, 道路盛土の耐震性評価のための地震動設定手法に関する実態と課題について把握するために, 委員会活動の一環として日本国内における地震工学の研究者・技術者に対してアンケート調査を行った結果について報告した.

その結果, 地震動設定手法の特徴(長所および短所)については, 回答者に概ね共通の認識があるこ

とを確認した。さらに、常時微動の計測条件についても、回答者に概ね共通の認識があることを確認した。しかし、常時微動の計測場所については、計測結果の利用の目的により、違いがあることを確認した。H/Vスペクトルに基づくゾーニングについては、H/Vスペクトルがゾーニングに利用できるかどうかも含めて考え方に違いはあるものの、半数以上の技術者が同意できるゾーニングの分割方法が存在することを確認した。

今後は、このアンケート結果を踏まえ、個々の状況下における最も合理的な地震動設定手法の合理的な決定法などを検討していくことが望ましい。

**謝辞：**本アンケートの実施にあたっては、匿名回答者の皆様にご協力いただきました。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の委員の皆様には、アンケート結果を取り纏める上で貴重なご意見をいただきました。能登有料道路における常時微動計測では、金沢大学の学生（現卒業生）の皆様（唐沢格氏、北川輝氏、北爪慎氏、山道康平氏）および広島大学の学生（現卒業生）の皆様（栗原園実氏、柴尾享氏、田森賢太郎氏）にご協力いただきました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 柴尾享，一井康二，秦吉弥，田森賢太郎，栗原園実，湯浅香織：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，広島大学大学院工学研究科研究報告，Vol.58, No.1, 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, pp.529-541, 2009.

- 3) 秦吉弥，一井康二，村田晶，野津厚，宮島昌克：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した線状構造物における地震動の推定とその応用—2007年能登半島地震での道路被災を例に—，土木学会論文集A, Vol.66, No.4, pp.799-815, 2010.
- 4) 一井康二，秦吉弥：耐震性検討のための地盤調査と調査結果の解釈についての課題，土木学会論文集C, Vol.65, No.2, pp.456-466, 2009.
- 5) 森伸一郎，佐伯嘉隆，神野邦彦：道路盛土の簡易的増幅スペクトルの開発，第44回地盤工学研究発表会平成21年度発表講演集(CD-ROM)，No.685, pp.1369-1370, 2009.
- 6) 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.

(2011. 12. 8 受付、2012. 2. 25 修正、2012. 3. 6 受理)

## A QUESTIONARY SURVEY ON THE CHOICE OF EARTHQUAKE MOTION DETERMINATION METHOD FOR ROAD EMBANKMENTS

Koji ICHII, Yoshiya HATA and Akira MURATA

The method to determine the input strong ground motion is a key factor in the seismic performance assessment of road embankments. However, the procedure to choose the method is dependent on the experience and capability of the engineers. In this study, a questionnaire survey to 83 researchers and engineers of the earthquake engineering field in Japan is conducted to reveal their recognition on the features for various earthquake motion determination method. The procedure to conduct microtremor measurement for input strong motion determination and zoning judgement based on H/V spectrum obtained by microtremor measurements are also investigated. The results of the questionnaire are useful for a reference in practical earthquake motion determination for road embankments.