

論文 常時微動観測に基づくサイト増幅特性評価とこれを考慮した設計地震動評価

朝長 光¹・西 恭彦²・青柳 広樹³・神澤 拓⁴・坂井 公俊⁵

¹正会員 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部
(〒231-8315横浜市中区本町6-50-1横浜アイランドタワー)
E-mail: tomonaga.hik-5r2i@jrtr.go.jp

²正会員 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部
E-mail: nishi.tak-67y6@jrtr.go.jp

³独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局
E-mail: hir.aoyagi@jrtr.go.jp

⁴公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター
E-mail: kanzawa.taku.14@rtri.or.jp

⁵公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター
E-mail: sakai.kimitoshi.36@rtri.or.jp

各地点の地震動は、地震基盤面よりも上層の地震増幅特性（サイト増幅特性）の影響を強く受ける。そのため、鉄道構造物の耐震設計においてもこの影響を適切に考慮した上で、設計地震動を評価する必要がある。しかし、鉄道の建設地点においてサイト増幅特性を直接評価した報告は限られている。

そこで本検討では、延長の長い路線を対象として多数の常時微動観測を実施するとともに、各地点のサイト増幅特性の評価を行った。続いて、得られたサイト増幅特性と標準L2地震動で想定しているサイト増幅特性を比較することで、各地点での詳細な検討の必要性を確認するとともに、サイト増幅特性の大きな地域において、この影響を標準L2地震動に取り入れることで、各地点で用いるL2地震動の設定を行ったので、これらの結果について報告を行う。

Key Words : microtremor obserbation, site amplification factor, Level 2 earthquake ground motion

1. はじめに

鉄道構造物の耐震設計標準¹⁾（以下、耐震標準）では、構造物の安全性照査に用いるL2地震動を「強震動予測手法に基づき地点依存の地震動として算定する」ことを原則としている。ただし、詳細な検討をしない場合は、標準応答スペクトルを用いた簡易な手法により算定されたL2地震動（標準L2地震動）を用いることもできる。

ここで、詳細な検討が必要な場合とは、①モーメントマグニチュード $M_w=7.0$ よりも大きな震源域が建設地点近傍に確認される場合、②耐震設計上の基盤面より深い地盤構造の影響によって地震動の著しい増幅が想定される場合、のいずれかに該当する地点である。①については、巨大海溝型地震の震源域が陸地直下に潜り込むような地点の近傍や、中央構造線などの大規模な内陸活断層などが存在する地点の近傍に該当するか否かを資料等か

ら調査することで判定が可能である。②については、耐震設計上の基盤面以深の地盤構造の影響によって、局所的に大きな地震動となる可能性があるため、建設地点の深部地盤による地震増幅特性（以下、基盤サイト増幅特性）が、標準L2地震動で想定している増幅を上回るかどうかによって判定することができる。

このうち、②の基盤サイト増幅特性の評価は、従来の鉄道構造物の耐震設計では一般的に実施していなかったため、具体的な評価方法、評価事例等の公開情報が乏しいという現状があり、これら資料を整理することは重要である。

そこで本検討では、基盤サイト増幅特性を簡易に評価することを目的として、比較的延長の長い領域を対象とした常時微動観測を実施した。さらにこの結果から、標準L2地震動の適用性を判定するとともに、詳細な検討が必要な地域において標準L2地震動を補正することで、

当該地点の設計地震動を評価したので、これら結果の紹介を行う。

2. サイト増幅特性について

鉄道構造物の耐震設計においては、従来から図-1に示す表層地盤（耐震設計上の基盤面～地表面）の違いによる地表面地震動の変化を地盤種別として分類し、各地盤種別ごとの標準地震動を設定していた。一方で耐震設計上の基盤面よりも深部の地盤が地震動特性に与える影響については無視し、全国一律の基盤設計地震動を用いていた。

こうした中で、1995年の兵庫県南部地震の発生以後、地震観測網が急速に整備されるとともに、活発な地震活動の結果として、多数の高密度地震観測記録が蓄積された。そしてこれら観測記録を分析した結果、比較的距離の近い地点であっても、深部地盤（地震基盤（ $V_s=3\text{km/s}$ 程度の岩盤）～耐震設計上の基盤面）が異なると、地表面で得られる地震動の特性が大きく変化することが確認された。これを受けて、耐震標準¹⁾においても、設計地震動を評価する際に地点毎の深部地盤による地震増幅特性を適切に考慮する必要性が明記されている。

ここで本検討においては、深部地盤の地震増幅特性を「基盤サイト増幅特性」、地震基盤から地表面までの地震増幅特性を、「地表面サイト増幅特性」と記載することとする（図-1）。この地表面サイト増幅特性は、基盤サイト増幅特性に、耐震設計上の基盤面よりも浅い地盤による増幅特性（表層地盤増幅特性）を含めたものである。

また、大規模地震が発生した場合の震源近傍の地震動を対象とすると、表層地盤増幅特性は土の非線形挙動によって大きく変化する。そして、対象とする地震動のレベルによってこの影響は変化する。一方で、耐震設計上の基盤面よりも深い岩盤においては、このような非線形挙動の影響は相対的に小さく、地震動のレベルによらず概ね同等であると考えることができる。そのため、耐震標準では表層地盤における増幅特性と、深部地盤における増幅特性を分離して議論しており、本検討においても同様の扱いをしている。

3. 沿線の基盤サイト増幅特性の評価方法

(1) 基盤サイト増幅特性の評価手法

a) 評価手法の整理

サイト増幅特性を評価する手法は大きく分けて、理論的な方法と経験的な方法の2種類がある。

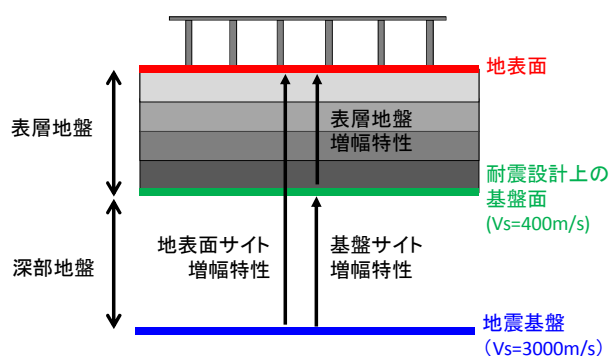


図-1 本検討における地震増幅特性の定義

理論的な手法は、地表から地震基盤までの3次元地盤を有限要素等で直接モデル化するとともに、解析によって地震増幅率を求める手法である。理論的な方法によって鉄道構造物の周期帯（0.3~1.5秒程度）で信頼性を有する地震増幅特性を評価しようとした場合には、計算容量が非常に大きくなる。さらに、現状の物理探査手法、地盤調査手法では、表面波を含む地震動を0.3秒程度までの短周期成分に対して高精度に再現できるような3次元地盤構造を把握することは困難である。そのため理論的な手法は、評価にかかる作業量と得られる精度の観点から、広域の鉄道路線を対象とした場合のサイト増幅特性評価手法として現実的な手法とは言えない。

一方で、経験的な手法のうち、代表的なものとしてスペクトルインバージョンによる方法^{例えは2)}がある。これは、複数の地震の複数地点での観測記録を用いて、最小二乗法により各地震の震源特性と、各地点のサイト特性を評価するものである。このスペクトルインバージョンを最も単純な事例に沿って概念的に説明すると、以下のようになる。まず、岩盤が露頭した地点（サイト増幅=1の地点、基準点）と、サイト増幅特性を評価したい地点（対象地点）において、同時に地震観測を実施した結果、ある地震による記録が2地点で同時に取得できたとする（震源特性が同一）。この地震の震源から両地点までの距離が同一である場合（伝播経路特性が同一）に、両地点の観測記録のフーリエスペクトルの比率（対象地点/基準点）を算出することで、対象地点のサイト増幅特性を得ることが出来る。しかしながら実際には地点毎の震源距離が変化したり、地震毎のばらつきを低減するために複数の地震記録を用いる必要があるために、震源特性、伝播経路特性を各地震、各地点ごとに評価、補正を行うこととなる。

このスペクトルインバージョンに基づく経験的な手法は、幅広い周期で信頼性の高い結果が得られるという特長があるが、分析に適した複数の地震観測記録が必要となるため、長期間にわたる多点での地震観測を実施する必要がある。そのため、延長の長い新線の建設を考えた

場合には適用が困難である場合が多い。そこで本検討では、これに代わる手法として、全国の公的観測点を対象としてスペクトルインバージョンによって評価されたサイト増幅特性³⁾を基準として補正を行うことにより、建設地点近傍のサイト増幅特性を推定する方法を採用した。

b) 観測手法の整理

公的観測点の地表面サイト増幅特性を基準として補正を行うためには、公的観測点と評価地点の両方で地震観測もしくは常時微動観測を実施することが考えられる。

このうち地震観測による方法は、2地点で得られた同一地震の観測記録のフーリエ振幅スペクトルを用いることで、サイト増幅特性の比率を直接的に算定できるため、最終的に得られるサイト増幅特性の信頼性は非常に高い。一方で、延長の長い路線の建設を考えた場合には、地震観測のための期間確保や広範囲での同時観測といった観点で実施が困難である場合もある。

また常時微動観測による方法は、微動記録から算出されるH/Vスペクトル比と地表面サイト増幅特性との間に相関があるという仮説に基づき、両者が比例関係にあるという工学的判断の下に行っていること^{例えば4)}と、観測中に他のノイズ成分まで含んでしまう可能性があること等から地震観測と比較すると信頼性がやや劣る。しかしながら、多点での同時観測が不要であること、地震観測と比較すると1点あたりの観測時間が非常に短いこと等の利点を有している。

以上を踏まえて、本検討では常時微動観測を実施し、この結果に基づいて各地点での詳細な検討の必要性の判定を行うこととした。

(2) 基盤サイト増幅特性の評価手法

本検討において実施した常時微動観測に基づく基盤サイト増幅特性評価の流れを図-2および以下に示す。

- ①地表面サイト増幅特性の既知点（基準点）と評価対象地点において、3成分の常時微動観測を実施する。各地点の水平成分、鉛直成分それぞれの波形から比較的静穏な時間を切り出した後にフーリエ変換し、鉛直成分に対する水平成分のフーリエ振幅の比（以下、H/Vスペクトル比）を算出する。
- ②この H/V スペクトル比が各地点のサイト増幅特性に類似しているという性質を利用して、両地点の地表面サイト増幅特性の補正係数として2地点の H/V スペクトル比の比率（評価地点／基準点）を算出する。
- ③上記②で得られた地表面サイト増幅特性の補正係数を基準点の地表面サイト増幅特性³⁾に乘じることで、評価地点における地表面サイト増幅特性を算出する。
- ④上記③の地表面サイト増幅特性から表層地盤の影響を取り除く。具体的には、地盤調査結果から得られるせん断弾性波速度、単位堆積重量を用いて、重複反射理

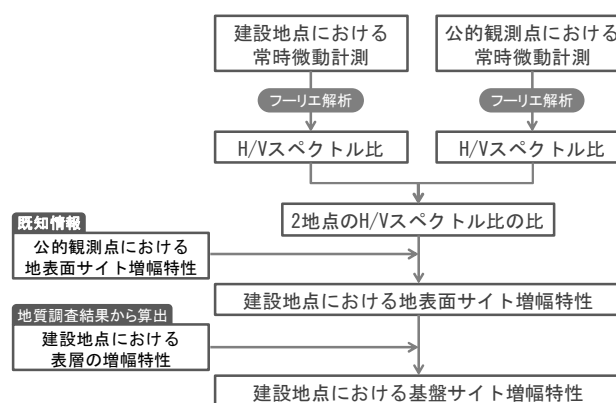


図-2 常時微動観測による基盤サイト増幅特性の評価手順

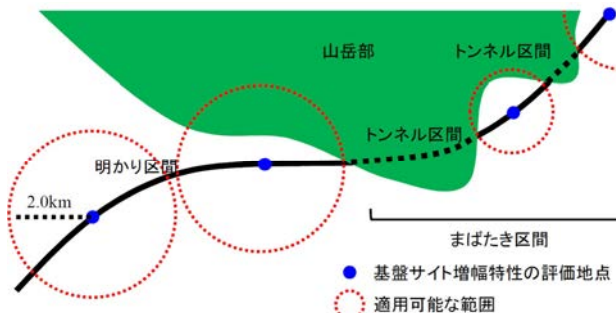


図-3 観測実施個所の選定イメージ

論によって表層地盤の地震増幅特性を算定する。次にこれを、上記③の地表面サイト増幅特性から除去することで、評価地点の基盤サイト増幅特性とする。

- ⑤上記④で得られた基盤サイト増幅特性と標準L2地震動で想定している基盤サイト増幅特性（全国の平均＋標準偏差）を比較することで、深部地盤における地震増幅の大小を判定する。

4. 沿線の基盤サイト増幅特性の評価

(1) 常時微動観測の実施地点の選定

a) 沿線上の観測地点

基盤サイト増幅特性は、深部地盤の影響であるため、表層地盤の特性と比較するとその空間変動は比較的小さいことが想定される。そこで本検討では、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁹⁾を参考に、図-3に示す通り約4km間隔の地点を抽出して常時微動観測を行うこととした。ただし、トンネル区間に挟まれた“まばたき”区間では、深部地盤構造が急激に変化することが予想されるため、4km間隔にとらわれず観測を実施した。最終的に、今回対象とした約25kmの区間において選定した観測地点を図-4に示すが、合計で沿線10箇所において常時微動観測を実施した。

b) 基準点の選定

基準点となる公的観測点は、対象とする沿線の近傍に

においてサイト増幅特性が評価されている地点を選定することを基本とした。ただし、隣接する公的観測点が近傍に複数存在する場合は、各地点のH/Vスペクトル比の傾向や、防災科学研究所J-SHISによる地震基盤深度等の概略的な深部地盤構造に関する情報⁷⁾を参考として基準点を選定した。これは、今回対象とする基盤サイト増幅特性は地震基盤～耐震設計上の基盤面の地盤による地震増幅であるため、同一地域では地点間の距離よりも深部地盤構造の方がより高い相関を有するという既往の知見によるものである。今回検討を行った約25kmの区間（図-4）においては、地震基盤の深さ等を勘案してNo.1～No.6までは公的観測点 α を基準点として、No.7～No.10は公的観測点 β を基準点として用いることとした。

(2) 常時微動観測の実施方法

常時微動観測に使用したセンサー及びデータロガーの概要を表-1に、観測の実施状況を写真-1に示す。センサーをコンクリートやアスファルトのような安定した場所に設置する場合は、センサーを直接設置している。これとは異なり、センサーを土の上に設置する場合は、設置箇所を十分に踏み固めたのちにブロック石等を敷き、その上に設置することで、可能な限り質の高い記録が得られるように配慮を行った。また、測定地点の周辺道路の交通量が少ない時間帯に観測を実施する等、特定のノイズ源の影響を小さくするための配慮を行っている。

サンプリング周波数は100Hzとし、得られた微動記録の信頼性を確認するために、2台のセンサーを並べて同時に観測を実施した（写真-1）。

(3) H/Vスペクトル比の算定

得られた常時微動観測結果から、H/Vスペクトル比を算出する。具体的な算定手順を以下に示す。

- ・使用した機器において信頼性の低い周波数の影響を除去するために、得られた記録に0.1Hz-30Hzでフラットな特性を持つバンドパスフィルター処理を施す。その後、観測地点周辺で発生した交通ノイズなどの影響が少ないと判断される40.96秒の区間を目視で10区間抽出した。
- ・各測点10区間のデータをX（南北方向）、Y（東西方向）、Z（鉛直方向）それぞれ、フーリエ振幅スペクトルを計算し、バンド幅0.2Hzのparzenウィンドウによってスペクトルの平滑化を行った。
- ・各水平成分（X、YおよびXY成分）のフーリエ振幅を鉛直成分（Z成分）のフーリエ振幅で除することでX/Z、Y/Z、XY/ZのH/Vスペクトル比を各区間で計算した。ここでXY方向はX方向とY方向の自乗和平方根 $\sqrt{(X^2 + Y^2)}/2$ として算出した。結果の一例として図-4のNo.8地点における各成分のフーリエ振幅スペクトル

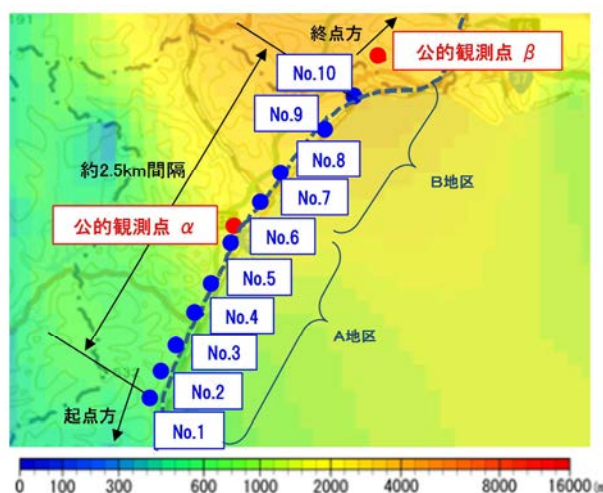


図-4 常時微動観測の実施地点と対象地域の地震基盤深度の分布（J-SHIS map⁷⁾に加筆）

表-1 観測に用いた機器の特性

地震計	タイプ：サーボ型速度計 成分：上下、水平2成分の3成分 固有周期：5秒 出力感度：4V/kine 周波数平坦範囲：0.2-50Hz RMSノイズ（1Hz時）：1nm/s以下 ダイナミックレンジ140dB以上
記録器	チャンネル数：3ch 分解能：24ビット 入力レンジ： $\pm 5V$ アンプゲイン：1, 2, 4, 8, 16倍, OFF ダイナミックレンジ：128dB サンプリング周波数：100Hz



写真-1 観測機器の設置状況

とH/Vスペクトル比を図-5に示す。なお、最終的なサイト増幅特性の計算には、XY/Zのデータのみを用いるが、水平方向の振動に特異な方向依存性がないことを確認するために、X/Z、Y/Zの評価も実施している。以降では、XY/Zにおける10区間の平均値をH/Vスペクトル比として取り扱う。

- ・2台同時に観測した微動記録に対して、上記手順に基づくH/Vスペクトルをそれぞれ独立に算出する。両者の結果を比較することで、結果の信頼性や有効な周波数帯域の確認を行う。今回の計測では、両機器によるH/Vスペクトル比が良好に一致していたため、以降の検討ではいずれか1台の結果のみを用いて整理を行っている。

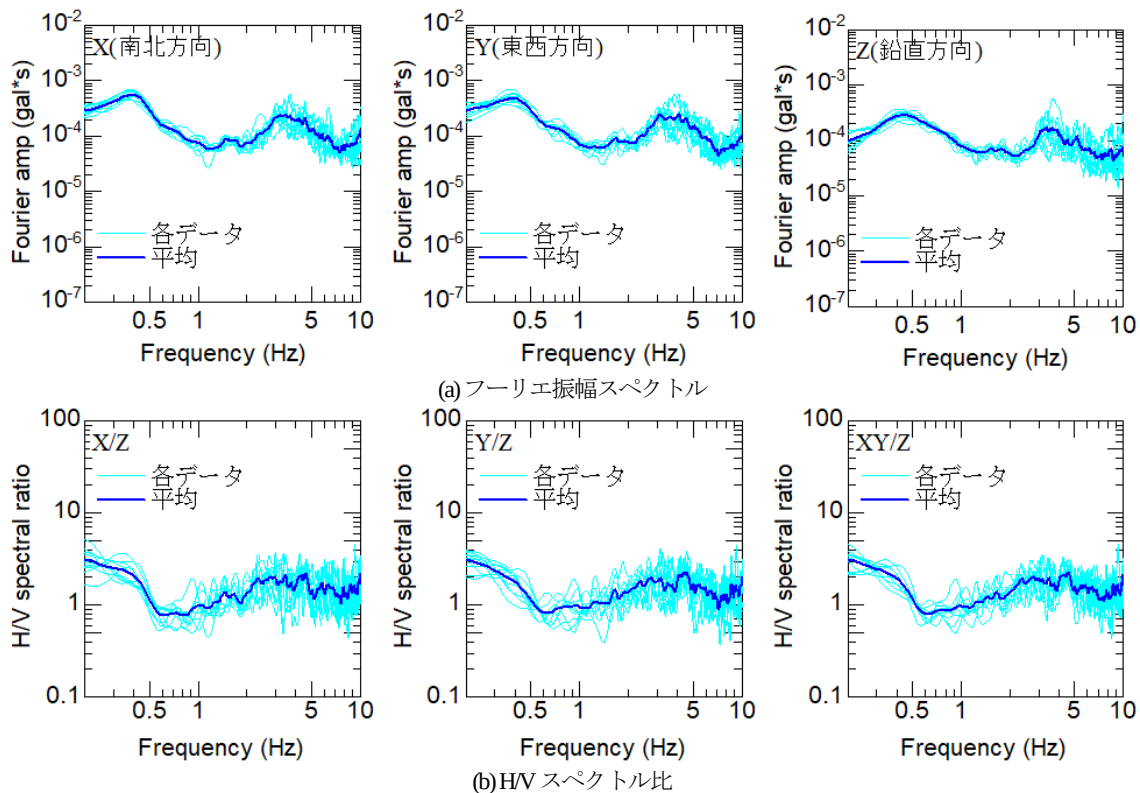


図-5 フーリエ振幅スペクトルと H/V スペクトル比の算出結果 (No.8 地点)

(4) 地表面サイト増幅特性の推定

上記(3)で算定したH/Vスペクトル比を用いて、地表面サイト増幅特性の推定を行った。図-4のNo.8地点における地表面サイト増幅特性の評価結果を図-6に示す。この図において、(a)は評価地点と公的観測点でそれぞれ評価したH/Vスペクトル比を、(b)、(c)は、両地点のH/Vスペクトル比の比率を示している。この(b)、(c)が両地点のサイト増幅特性の補正係数である。これを既知である公的観測点のサイト増幅特性に乗じることで、評価地点における地表面サイト増幅特性を算定した(図-6(d))。No.8地点におけるH/Vスペクトル比は、基準とした公的観測点 β のH/Vスペクトル比と比較的類似しており、結果的に補正係数も全周期帯域において概ね1前後の値となっている。そのため、最終的な地表面サイト増幅特性も公的観測点 β のサイト増幅特性と概ね同等の値となった。

(5) 基盤サイト増幅特性の推定

上記(4)で得られた地表面サイト増幅特性から地表面地盤増幅特性を取り除くことで、評価地点の基盤サイト増幅特性を求める。

表層地盤増幅特性は、当該地点で実施している地盤調査結果(ボーリング調査、PS検層)から得られるせん断弾性波速度、層厚、単位体積重量を用いて重複反射理論により算定した。この際、表層地盤の減衰は、既往の

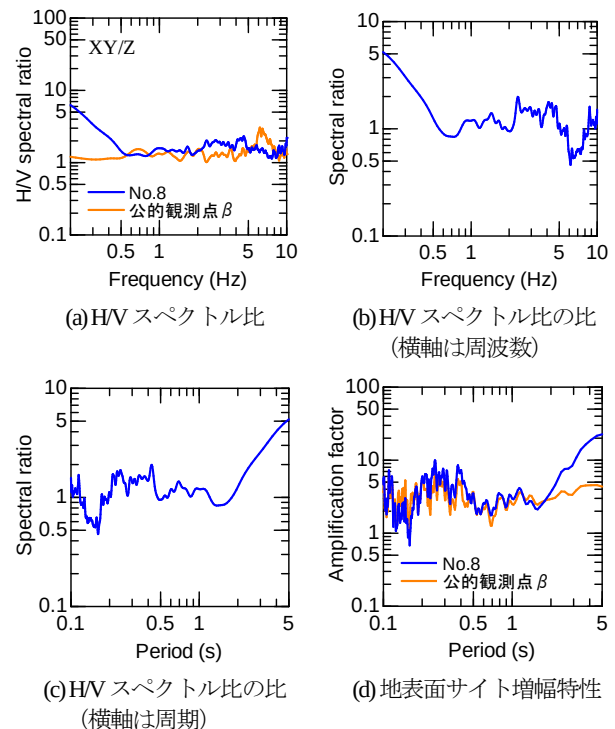


図-6 地表面サイト増幅特性の推定結果 (No.8 地点)

検討⁹⁾に基づいて式(1)のように周波数 f に依存する形で設定した。

$$Q = 114f^{0.92} \quad (1)$$

表層地盤増幅特性の評価結果の一例として、No.8地点において設定した地盤物性値の一覧を表-2に、この物性

を用いて算定した表層地盤増幅特性を図-7に示す。当該地点は比較的地盤が良好であるため、1次モードのピークは周期0.2秒辺りに見られ、一般的な鉄道構造物の周期帯周辺での表層地盤の増幅は小さい（概ね1.0である）ことが確認できる。

最後に、地表面サイト増幅特性から表層地盤の増幅特性を除することで、基盤サイト増幅の評価を行った。No.8地点の基盤サイト増幅特性の評価結果を図-8に示す。大まかな傾向は地表面サイト増幅特性と同様であるが、表層地盤の影響を除去したことで、短周期側の増幅が多少小さくなっていることが分かる。

(6) 対象地域全体での基盤サイト増幅特性の傾向

鉄道構造物の耐震設計を考えた場合には、各評価地点で個別に結果の判定を行うのではなく、同等の深部地盤特性を有すると考えられる地域を一つのエリアとして区切り、同一エリア内の複数の結果を総合的に解釈して最終的な判断を行うことが望ましい。今回対象とした区間では、10箇所で常時微動観測を実施しているが、最終的には、2つのエリア（A地区、B地区）に分類して結果の解釈を行うこととする。この時、A地区では基準として公的観測点 α を利用し、観測点番号No.1~No.6を対象としており、B地区では基準点として公的観測点 β 、観測点番号No.7~No.10を対象としている。

それぞれの地区で評価を行った基盤サイト増幅特性を全て重ね描いた結果を図-9に示す。また、これらの図には、標準L2地震動で想定している基盤サイト増幅特性も記載している。これらの結果より、A地区においては多くの地点で幅広い周期帯域において標準L2地震動で想定している増幅を比較的大きく超過していることが分かる。一方、B地区においては周期0.4秒付近、4秒以降において標準L2地震動で想定している増幅を超過する地点もあるが、全体的な傾向としては概ね標準L2地震動で想定している増幅よりも小さくなっている。

以上の結果から、B地区では地震増幅の観点からは詳細な検討は必要ないと判断した。一方で、A地区については、地震増幅の観点から詳細な検討が必要であると判断し、この影響を考えてL2地震動を設定することとした。

5. 基盤サイト増幅特性の影響を考慮した設計地震動の設定

前章までの検討の結果、A地区では深部地盤による地震増幅の影響が大きいと判定された。そこで、この影響を適切に考慮した上で設計地震動を設定する必要がある。一般に、L2地震動の算定においては、震源特性・伝

表-2 表層地盤の物性値 (No.8 地点)

層 No	層厚 h(m)	せん断弾性波速度 Vs(m/s)	単位体積重量 $\rho(t/m^3)$
1	4	130	1.8
2	7	250	1.8
3	6	350	1.8
4	---	490	1.9

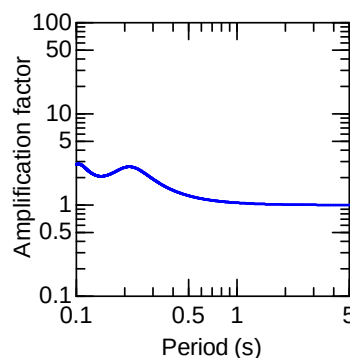


図-7 表層地盤増幅特性の評価結果 (No.8 地点)

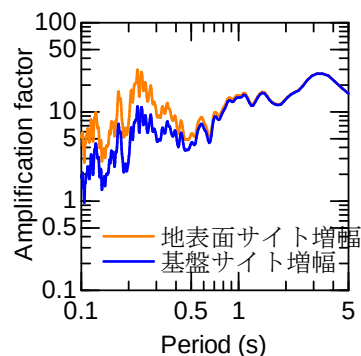


図-8 基盤サイト増幅特性の評価結果 (No.8 地点)

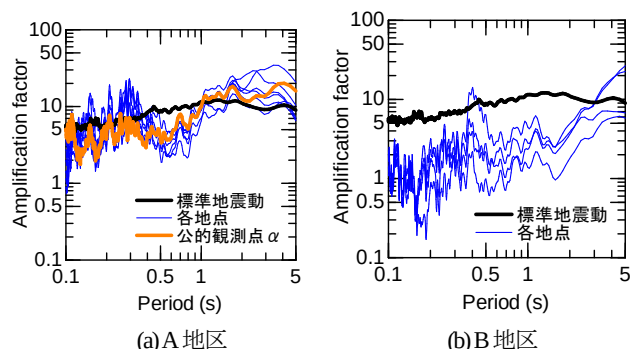


図-9 各地区の基盤サイト増幅特性の評価結果

播経路特性・地点特性を考慮した強震動予測手法に基づき、地点依存の地震動を算定することが望ましく、当該地点においても本手法を用いることが有効であると考えられる。しかしながら、当該地点周辺にはそれほど大きな震源域が存在しないことや、前述したサイト増幅特性の超過程度もそれほど大きくなることから、本検討では、標準L2地震動を基準として、サイト増幅特性の影響を補正することで、対象地点のL2地震動を簡易に設定す

ることとした。

具体的には、対象地点における基盤サイト増幅特性 $G_t(\omega)$ と、標準地震動で想定している基盤サイト増幅特性 $G_{L2}(\omega)$ の比から補正倍率を評価し、これを次式のように標準L2地震動のフーリエ振幅 $F_{L2}(\omega)$ に乗ずることで $F_t(\omega)$ を算定し、得られた結果をフーリエ逆変換することで、時刻歴波形を算定する。

$$F_t(\omega) = F_{L2}(\omega) \cdot \frac{G_t(\omega)}{G_{L2}(\omega)} \quad (2)$$

ここで、図-9 (a)には基準とした公的観測点 α における基盤サイト増幅特性も示しているが、A地区では地点ごとの地震増幅特性に大きな変化は見られず、かつ公的観測点 α と概ね同等の基盤サイト増幅特性となっていることが分かる。ここで、鉄道構造物の耐震設計を考えた場合、狭い領域ごとに設計地震動が変化することは実務的であるとは言えず、ある程度の範囲において同一の地震動を用いることが望ましい。また、地震観測記録により評価を行った公的観測点 α の基盤サイト増幅特性と、常時微動観測によるNo.1~No.6地点の基盤サイト増幅特性では、最終的に得られた結果の信頼性が異なっていると同時に、一般的に鉄道構造物の周期帯域を考えた場合に、周期0.3秒以下程度の短周期領域での地震動の大小は、鉄道構造物の地震被害にはそれほど影響を与えないことが想定される。以上を勘案し、本検討では公的観測点 α の基盤サイト増幅特性を用いて当該地域の設計地震動を評価することとした。この時、標準L2地震動のサイト増幅特性を下回る周期帯では、原理的には地震動を低減することもできるが、本検討では安全側の配慮として地震動の低減は行わず、補正倍率の最小値を1.0とした。

補正前後のフーリエ振幅スペクトルを図-10に、時刻歴波形を図-11に示す。この時刻歴波形の弾性加速度応答スペクトルを図-12に示す。図-10を見ると、当然ではあるが周期1.0秒以上の周期帯においてフーリエ振幅が補正されていることが分かる。また、今回の補正量は極端に大きい値ではないため、時刻歴波形においては補正前後でそれほど大きな違いは見られない。一方で、弾性加速度応答では、周期1秒以上において多少応答が大きくなっていることが確認される。

6. まとめ

本検討では、比較的延長の長い路線を対象として、常時微動観測に基づいて基盤サイト増幅特性の傾向を把握した。さらに、この基盤サイト増幅特性から詳細な検討の可否を判定するとともに、詳細な検討が必要と判定された地域に対しては、サイト増幅特性の影響を考慮したL2地震動の評価を行った。

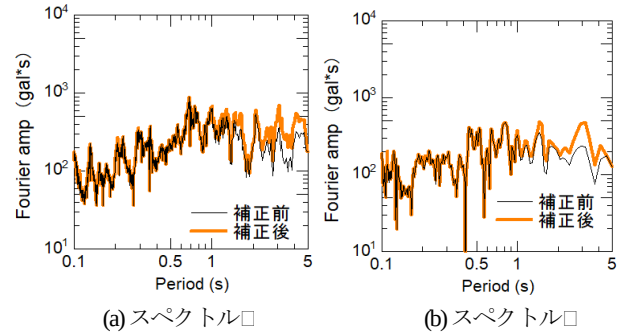
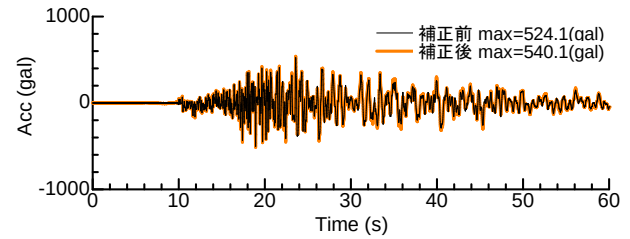
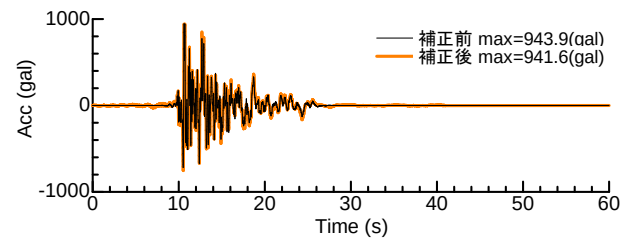


図-10 フーリエ振幅スペクトルの補正結果



(a) スペクトル□



(b) スペクトル□

図-11 L2地震動の補正結果

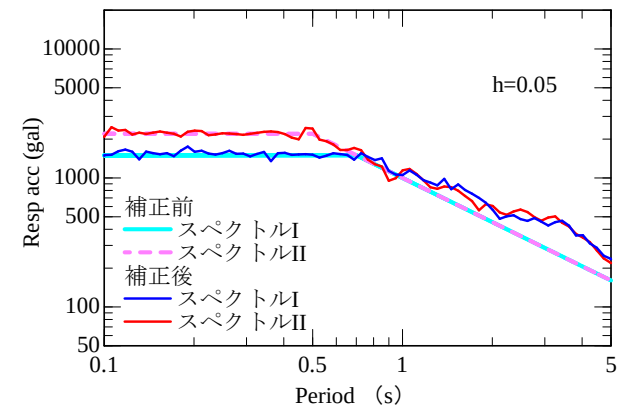


図-12 弾性加速度応答スペクトルの算定結果

なお、本検討で評価を行った地震動は、耐震設計上の基盤面位置の地震動である。そこで、実構造物の設計を行う際には、当該地点における表層地盤の影響を適切に考慮した上で、地表面地震動を評価した後に、各構造物の地震作用を算定する必要がある。この時には、設計地震動を上回るような地震により、構造物が想定外の被害を受ける可能性についても配慮した上で、構造物全体系として脆性的な破壊に至らないような配慮を行うことも重要である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012.
- 2) 岩田知孝，入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性、伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震 2，第 39 巻，pp.579-593，1986.
- 3) 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共振観測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，第 7 巻，第 2 号（特集号），pp.215-234，2007.
- 4) 長尾毅，山田雅行，野津厚：常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究，構造工学論文集，Vol.56A，2010.3.
- 5) 国土技術政策総合研究所：サイト増幅特性及び，強震観測地点情報，<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/site.html>（2018 年 1 月参照）
- 6) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 7) 防災科学技術研究所 J-SHIS map，<http://www.jshis.bosai.go.jp/map/>（2019 年 1 月参照）
- 8) 坂井公俊，室野剛隆，川野有祐：耐震設計上注意を要する地点の簡易抽出法に関する検討，土木学会論文集，Vol. 70，No. 4，pp.527-534，2014.

(2019.4.5 受付)

EVALUATION OF SITE AMPLIFICATION FACTOR AND DESIGN EARTHQUAKE MOTION BASED ON MICROTREMOR OBSERVATION

Hikaru TOMONAGA, Takahiko NISHI, Hiroki AOYAGI
Taku KANZAWA and Kimitoshi SAKAI

Ground motions are much affected by site amplification factor from deep ground. Therefore, it is important to properly consider the influence of site amplification factor when setting the design ground motion. However, there are few reported cases of evaluation results of site amplification factor at construction sites of railway structures. In this study, we report the result of evaluating site amplification factor by using microtremor observation. Furthermore, using this site amplification factor, level 2 earthquake motion was evaluated.