

地震ハザード評価時の表層地盤増幅率の検討 -SH 波伝達関数と応答スペクトル増幅率の関係-

落合 努¹・荻本 孝久²

¹正会員 神奈川大学助手 工学部建築学科 (〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

E-mail: ochiai@kanagawa-u.ac.jp

²正会員 神奈川大学教授 工学部建築学科 (221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

E-mail: enomot01@kanagawa-u.ac.jp

地震災害を検討する場合、表層地盤特性の影響は大きく、この特性を簡便に評価することが重要となる。一般に、表層地盤増幅特性は、地盤調査結果などから SH 重複反射による伝達関数から求められる。しかし、広域な地震被害に対する被災リスクを検討する場合、詳細な地盤調査をおこなうことは費用や時間の面から困難である。そのため、微地形区分や AVS30 あるいは単点微動観測などに関するデータが活用されている。そこで、簡便に表層地盤特性を評価するための基礎的検討として、SH 波伝達関数と応答スペクトル増幅率の関係について分析を行った。地震災害は局所的には表層地盤の地震動エネルギー増幅特性に関係するものと考え両者の積分値を比較すると、相関係数が 0.9 以上の高い相関性が確認された。

Key Words: surface ground, transfer function, response spectrat, spectral intensity

1. 序論

地震時に建物被害に関して表層の地盤構造（工学的基盤以浅を表層地盤とする）が関係することは古くから知られている。例えば大崎¹⁾は、地盤の地震応答解析から地盤の卓越周期や増幅率など地盤震動特性を解析的に求める方法を示している。地盤震動特性は、構造物の地震時の挙動にも大きく影響する。特に、地盤と構造物の固有周期が一致すると共振現象を起こし、振動が増幅され大きな被害発生することは過去の数多くの地震で確認されている^{例えば 2, 3, 4, 5, 6)}。また最近では地盤震動特性を、応答スペクトル特性やエネルギー入力などの観点から数多くの研究がなされている^{例えば 7, 8, 9, 10)}。実務の面からも、例えば 2000 年に施行された限界耐力計算法において、工学的基盤上の表層地盤の震動特性となる卓越周期や応答スペクトル増幅率が考慮されている¹¹⁾。これらの状況から、地震時の建物被害に対して、地盤震動特性を把握することが重要であることは理解される。また、この応答スペクトル増幅特性を簡便に評価するため、K-NET や KiK-NET の実記録を用いて SH 波伝達関数と応答スペクトル増幅率の統計的な検討も進められている¹²⁾。この検討では両者のスペクトルを比較すると、卓越周期はほぼ一致するが増幅率が異なる（応答スペクトル増幅率は

フーリエスペクトル増幅率よりやや小さい）ことが確認されている。

通常個々の建物の耐震設計をおこなう場合は、個別に地盤調査がおこなわれ地盤震動特性を適切に評価されている。しかし、広域な地震被害に対する被災リスクを検討する場合、詳細な地盤調査をおこなうことは費用や時間の観点から困難であり、他の方法で地盤震動特性を評価する事が必要となる。広域に地震動強さを推定する方法の一つとして、防災科学技術研究所が公開している確率論的地震動予測地図（J-SHIS）がある¹³⁾。J-SHIS では、全国の 250m メッシュの地盤増幅率を公開しているが、卓越周期の情報はない。また、24 種類の微地形区分をベースとしている。め、都道府県単位など広域に概略を評価するには適しているが、市町村単位など狭いエリアを評価するにはやや正確性に欠ける。

近年、首都直下型地震や南海トラフ地震が危惧されている中、その被害想定や被害軽減のために、大都市を中心に既往の地盤資料の整理とともにハザードマップが整備されつつある。一方で中小都市においては作成のための各種資料の収集・整理に時間や経費が掛かるため十分な整備は進んでいない。そのため現在、簡易に地盤ハザード評価をおこなう方法が幾つか検討され^{例えば 14, 15)}、筆者らも常時微動を利用した簡易な地盤ハザード評価方

法を提案している¹⁹⁾。

本研究では、この簡便な地盤のハザード評価法として提案している評価値の妥当性について、解析的なアプローチにより基礎的な検討をおこなうことを目的とする。検討方法として、等価線形化手法に基づく1次元地盤の地震応答解析プログラム“DYNEQ¹⁷⁾”を用いた。検討対象として、規則的な多層地盤モデル(2層、3層)と不規則な実地盤モデルとする。簡易な地盤ハザード評価値を表層地盤のSH波伝達関数の積分値と定義した。また、地震動のエネルギー増幅特性は、スペクトル強度(SI値)に関係する事から速度応答スペクトル増幅率の積分値とし、両者の比較検討をおこなう。

なお、ここでは簡易な地盤ハザード評価値としてSH波伝達関数の積分値から定義している。SH波伝達関数は、地盤調査結果から地盤モデルを設定できればSH波の重複反射理論により計算可能である。しかし、前述したように広域的な地域の増幅率は十分な地盤調査データが得られない場合に設定は難しい。そのような場合は、増幅率の補正などの処理を考慮しつつ表層の地盤増幅特性と整合性が確認されている常時微動のH/Vスペクトル比を活用する方法も提案されている¹⁸⁾¹⁹⁾、将来的にはこれらの考え方を取り込み、H/Vスペクトル比を用いた簡易な地盤ハザード評価方法の検討をおこなう予定である。

2. 構造物の被害に寄与する地震動強さの評価

地震時の建物の応答あるいは被害に寄与する地震動の強さの評価については、耐震設計法における地震動の設定に関連して歴史的変遷があり、例えば地盤震動と地震動特性の関連性から長橋²⁰⁾により詳しくまとめられている。それによれば、建築物の耐震設計において、「地域別」や「地盤特性」、あるいは設計が対象とする地震自体の震源断層の特性をも考慮した設計用入力地震動の設定についての考え方と、それに基づく設計用入力地震動の強さのレベルについて紹介されている。

エネルギー釣合から構造物の耐震性を論じようとする試みは、G.W. Housner²¹⁾によって提案され、秋山らによって、完全弾塑性型に近い荷重-変形関係を持つ系の累積塑性変形を評価する有力な手法であることが検証され、現在エネルギーの釣り合いに基づく耐震設計法に反映されている²²⁾²³⁾。小川ら²⁴⁾は、損傷に寄与する地震入力エネルギーEdmを明確に定義し、その予測法を提案した。また、建物の耐震性を考える場合、地震入力エネルギーによる評価が有効であるとの観点から、郭ら²⁵⁾²⁶⁾は、建物の破壊に至る弾塑性応答に対する指標は、弾性応答の最大値と異なって、地震動の最大振幅のみならずその継続時間や周期特性にも大きく影響される。結果として地動加速度の全エネルギーPと地震動の卓越周期Tgの積

(PTg)、速度応答スペクトル強度(SI)、最大地動速度(Vmax)の三者が良好な指標であるが、Tgの変動による影響が大きいことを示している。また、同様な観点から秋山ら²⁷⁾²⁸⁾や岡野ら²⁹⁾は地震動の入力エネルギーの特性に関して地震動のエネルギーと速度応答スペクトルの関係性について報告している。また、北村ら³⁰⁾は、実際に兵庫県南部地震における建物被害から地震エネルギーの評価を実施して結果を報告している。

一方、地震動が表層地盤によって、その特性が大きく変わる現象としては周期特性と増幅特性として認識される。両者は表層地盤のひずみ依存性によって物理定数が変化するが、基本的には非線形震動特性における周期と増幅特性として考えられる。また、地盤と建物の動的相互作用効果として入力損失と地下逸散減衰として作用するが、一般的には個々の建物の設計段階における地震力として考慮される場合が多い。耐震設計の段階においても、地震動のエネルギー入力として、単に地震力あるいは共振現象として応答スペクトルを考慮するのではなく、地震動のもつエネルギー量が建物の被害に寄与する物理量として捉える考え方の方がより合理的であるとして採用されている。その場合は、地震動強さとして速度応答スペクトルの一定の周期範囲の積分値としてSI値が採用されている。このような地震動の強さの算定式に関しては、前述のG.W. Housnerにより(1)で定義されている²¹⁾。また、その物理的な意味については大崎³¹⁾により詳しく論じられている。

$$SI_h = \int_{T_1}^{T_2} sSv(h, T) dT \quad (1)$$

SI_h : スペクトル強度

T : 周期(s) (T₁, T₂: 本検討では0.1s, 2.5sとする)

sSv(h, T) : 地表面の速度応答スペクトル

h : 建物の減衰定数(本検討では5%と仮定)

以上のように地震時の建物被害に係る地震動の強さの評価の一つとして、地震動のエネルギーを考慮し速度応答スペクトルの積分値から求めるSI値が提案されている。なお、星ら³¹⁾によると、SI値は他の地震動指標に比べ、広域な地震被害の検討で重要となる木造建物被害との相関性が高いことが確認されている。

3. 検討方法

(1) 検討方法の概要

検討方法の概要を図-1に示す。一般に、工学的基盤面から地表面への地震動の伝播をSH波の重複反射理論で計算し、地表のフーリエスペクトルを工学的基盤のフーリエスペクトルで除すとSH波の伝達関数が求められる。

前述したように、構造物の地震被害に寄与する地震動強さの指標として、エネルギーの釣り合いを考慮しスペクトルの積分値で評価する考え方が提案されている。そこで、ここではそれを参考に(2)式のように SH 波伝達関数の積分値を簡易な地盤ハザード評価値とし P_E と定義した (図-1 中央列)。

$$P_E = \int_{T_1}^{T_2} R(T) dT \quad (2)$$

P_E : 簡易な地盤ハザード評価値

$R(T)$: SH 波伝達関数

一方 SH 波と同様に、地表の速度応答スペクトルを工学的基盤の速度応答スペクトルで除して、速度応答スペクトル増幅率 ($R_s(h, T)$) を求め、その積分値を(1)式を参考に SI_{Rs} と定義した (3)式, 図-1 右列)。前述したように、応答スペクトル増幅率は、実設計などで用いられる表層地盤特性を反映した値であり、その積分値は構造物の地震被災に寄与する指標となると考えられる。なお、応答スペクトル算出のための入力地震動は、実設計で多く用いられる 4 波と近年の被害地震による観測波 2 波の計 6 波とした (入力地震動の詳細は後述する)。

$$SI_{Rs} = \int_{T_1}^{T_2} R_s(h, T) dT = \int_{T_1}^{T_2} [sSv(h, T) / aSv(h, T)] dT \quad (3)$$

SI_{Rs} : 速度応答スペクトル増幅率の積分値

$R_s(h, T)$: 速度応答スペクトル増幅率

$sSv(h, T)$: 地表の速度応答スペクトル

$aSv(h, T)$: 工学的基盤の速度応答スペクトル

検討方針をまとめると、まず地盤モデルを設定して SH 波伝達関数を計算し、(2)式より求まるその積分値を簡易な地盤ハザード評価値 P_E とする。この評価値 P_E と、(3)式で求められ表層地盤特性を反映する速度応答スペクトル増幅率の積分値である SI_{Rs} の相関性についてパラメトリックに計算し、簡易な地盤のハザード評価値の妥当性について検討する。

(2) 地盤モデルの設定

本論文では、個々の建物ではなく被害想定やハザードマップなど広域を想定した分析に用いることを目的としている。そこで、まず単純化した地盤構造として規則的な地盤モデルでの検討を実施する。地盤モデルは、表層地盤 1 層と工学的基盤を組み合わせた 2 層構造モデルと、基盤と表層地盤の 2 層を規則的に組み合わせた 3 層構造モデルとした。2 層構造モデルは層厚と S 波速度を変化させて表-1 に示す 16 パターンを設定した。3 層構造モデルは、1, 2 層の層厚の組合せ 16 パターン、S 速度の組合せ 13 パターンを設定し、それぞれ表-2 に示す組合せ (例えば①-(1)の場合 1 層目の層厚 5 m で V_s が 100 m/s, 2 層目の層厚 5 m で V_s が 150 m/s) で合計 208 パターンを設定した。両モデルの工学的基盤の S 波速度は、表層地盤の震動特性 (卓越周期および増幅率) がやや明瞭に算定されるようにインピーダンス比を考慮して 700 m/s に設定した。また、表層地盤と工学的基盤の単位体積重量は全て 1.7 t/m^3 とし、地盤の減衰定数はそれぞれ 5.0%, 1.0% とした。地盤モデルの S 波構造を図-2(a), (b) に示す。

一方、実際の地盤は速度の逆転層の存在など複雑な地盤構造を示す。そこで、実地盤の表層地盤構造データを用いた実地盤モデルを設定した。実地盤モデルは、横浜

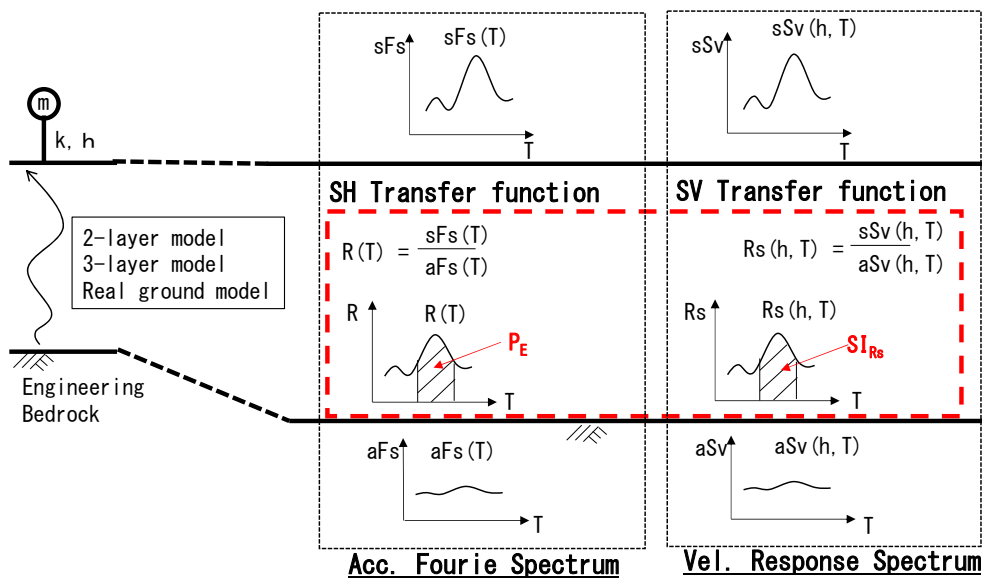


図-1 検討手法のイメージ図

市が設置した強震観測点 42 地点でのボーリング資料³²⁾から作成した地盤モデルを用いた。図-2(c)に実地盤モデルの S 波速度構造を示す。2 層地盤および 3 層地盤モデルは、層厚と S 波速度の組合せのため S 波速度構造にはやや規則性が認められるが、実地盤構造については様々な層厚と S 波速度により、逆転層など不規則な S 波速度構造をもつ地盤構造を示している。

なお、本来表層地盤を対象とした検討では、地盤の非線形性を考慮することが重要である。しかし、地盤非線形については地域性も大きく、また研究段階で未解明な点も多い。そこで、ここではまず基礎的な研究として地盤を線形と仮定した検討とした。

表-1 2 層モデルの層厚と物性

L	5m	10m	20m	40m
Vs				
100m/s	①	②	③	④
150m/s	⑤	⑥	⑦	⑧
200m/s	⑨	⑩	⑪	⑫
250m/s	⑬	⑭	⑮	⑯

表-2 3 層モデルの層厚と物性

layer thickness pattern					layer Vs pattern				
		2nd layer thickness(m)				2nd layer Vs(m/s)			
		5	10	15	20				
1st layer thickness(m)	5	①	②	③	④	Vs(m/s)	100	(1)	(2)
	10	⑤	⑥	⑦	⑧		150	(5)	(6)
	15	⑨	⑩	⑪	⑫		200	(9)	(10)
	20	⑬	⑭	⑮	⑯		250	(13)	(14)

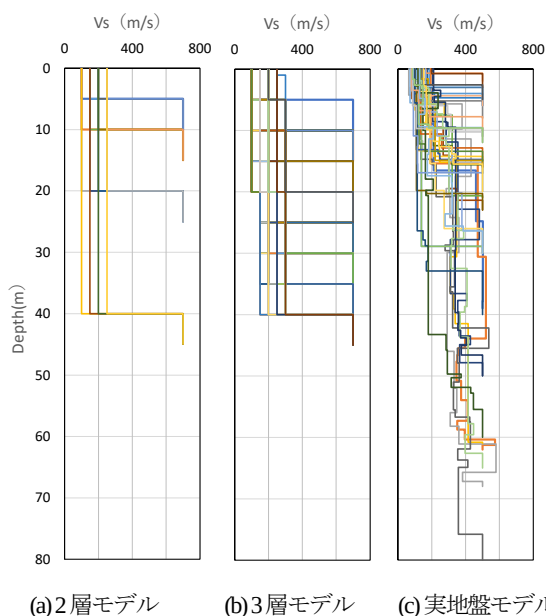


図-2 地盤モデルの S 波速度構造

(3) 入力地震動の設定

検討で用いる入力地震動は、実務の設計用地震動としてよく利用される ElCentro 波、Taft 波、Hachinohe 波、BCJ-L1 波の 4 波と、近年の被害地震として兵庫県南部地

震の JMAKOBÉ 波、熊本地震の KiK-net 益城、地表記録の Mashiki 波の 2 波、計 6 波とした。検討は線形仮定とするため、地震動の最大速度を 25kine のレベル 1 相当に基準化した。入力地震動の速度応答スペクトルを図 3 に示す。人工的に作成された BCJ-L1 波は設計用模擬地震動であり、周期 0.6 以上はほぼ平坦となる特性を示している。Hachinohe 波は、長周期成分をやや多く含み、ElCentro 波と Taft 波、JMAKOBÉ 波や Mashiki 波は短周期成分が卓越する地震動である。

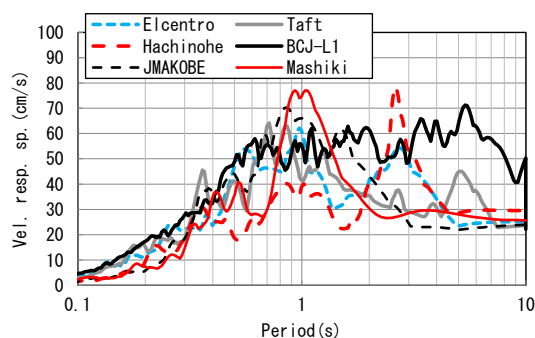


図-3 入力地震動の速度応答スペクトル

4. 検討結果

(1) SH 波伝達関数 R(T)

一般に、SH 波伝達関数は、水平成層構造の地盤を鉛直下方から伝播する 1 次元波動場における SH 波は重複反射理論に基づいて計算され、変位、速度、加速度の波動伝播のいずれの場合にも成り立つ。2 層構造モデル、3 層構造モデルおよび実地盤モデルの工学的基盤と地表面の SH 波伝達関数を計算し、図-4 に示す。図-4(a)より 2 層構造モデルでは卓越周期が 0.8 秒以上を示す地盤モデルが存在し、やや長周期側にピークを示す。図-4(b)に示す 3 層構造モデルは 1 秒以下にピークの地盤が多く、短周期側にシフトした地盤構造を示し、図-2(b)に示した S 波速度構造の 2 層目の構造に依存した地盤モデルとなっている。図-4(c)に示す実地盤構造モデルは、中間層の存在により速度の逆転層など複雑な特徴を示し、2 層地盤構造モデルと 3 層地盤構造モデルの中間的な特徴を示す地盤構造の伝達関数となっていることが分かる。

(2) 速度応答スペクトル増幅率 $R_s(h, T)$

速度応答スペクトルは入力地震動によって結果が変化する。ここでは、代表して BCJ-L1 波の場合の速度応答スペクトル増幅率を図-5 に示す。他の地震動の結果と比較すると、地震動の違いによって応答スペクトル増幅率の形状はやや異なることが確認できる。一方で、後述するように卓越周期は、地震動によらず概ね同様な傾向を示し、これは図-4 の SH 波伝達関数とも整合的である。

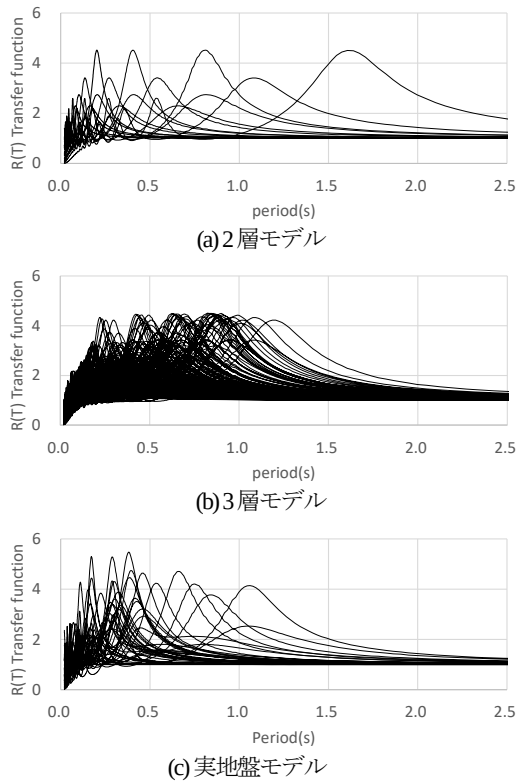


図-4 SH 波伝達関数 $R(T)$

(3) $R(T)$ と $Rs(h, T)$ の卓越周期と増幅率の比較

SH 波伝達関数 $R(T)$ と速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の卓越周期を図-6 に示す。いずれの地盤モデルでも両者はよく一致し、高い相関性を示し 1 : 1 の直線に近接している。また、入力地震動による違いも小さい。

SH 波伝達関数 $R(T)$ と速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の増幅率の比較を図-7 に示す。卓越周期と比べるとややばらつきが大きくなるが、全体的には正の相関が確認できる。また、値は全体に 1 : 1 の直線の下側に分布するため、 $Rs(h, T)$ の増幅率の方がやや小さく、1.0 ~ 0.7 程度となる。この関係は、Zhang ら¹⁹⁾による観測記録を用いた既往検討と整合している。

(4) $R(T)$ と $Rs(h, T)$ の積分値の比較

SH 波伝達関数 $R(T)$ の積分値 P_E と速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の積分値 SI_{Rs} を図-8 に示す。図には回帰曲線と相関係数も併記する。全体に正の相関が確認でき相関係数も 0.9 以上と高く、地震動によるばらつきも小さい。積分値を取ると、 P_E より SI_{Rs} の方が若干大きくなる傾向が確認できる。各モデルの SI_{Rs}/P_E のばらつきを図-9 に示す。今回の条件では、 SI_{Rs} は P_E の 1.1 倍程度となる。図-7 に示す通り増幅率は $Rs(h, T)$ の方がやや小さいが、積分値とすると逆転する。これは、スペクトルのピーク値がやや大きくなるのに対し、トラフ部がやや大きくなっていることに起因している。

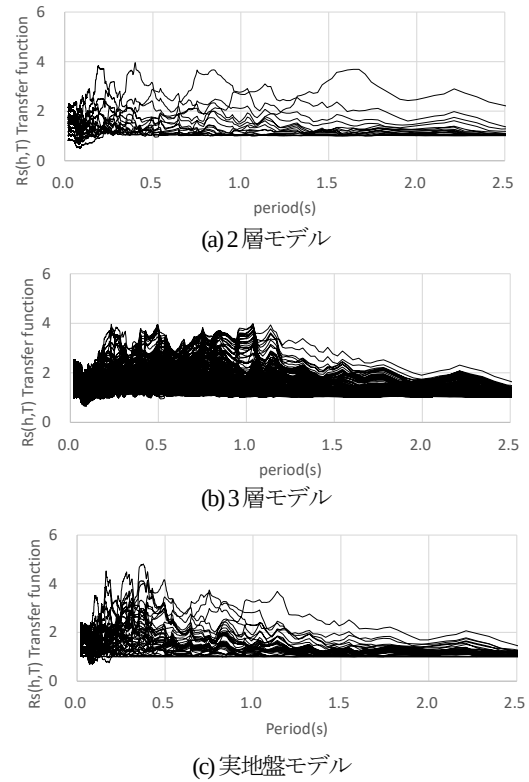


図-5 速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の例 (BCJ-L1)

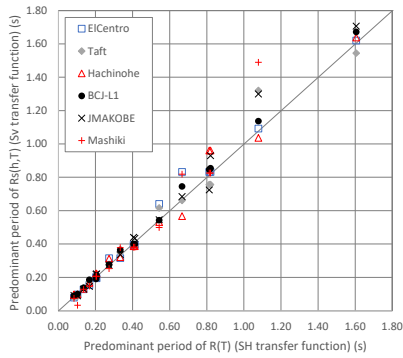
一部 3 層地盤の Mashiki 波の P_E が 3~4 付近で、 SI_{Rs} が大きくなる。これは、入力地震動と地盤の固有周期が一致することによる共振現象の影響と考えられる。

5. 結論

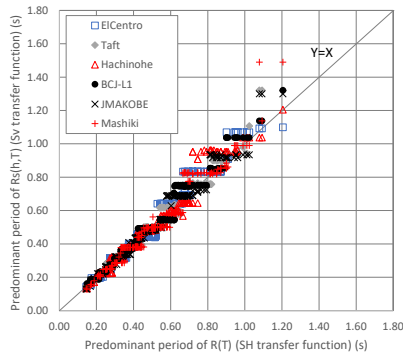
本研究では、実地盤モデルを含め様々な表層地盤モデルを 2 層構造、3 層構造モデルと設定し、表層地盤の SH 波伝達関数の積分値を用い簡易な地盤ハザード評価値 P_E の妥当性について基礎的な検討を行った。本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- ① SH 波伝達関数 $R(T)$ と速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の卓越周期は概ね一致する。
- ② SH 波伝達関数 $R(T)$ と速度応答スペクトル増幅率 $Rs(h, T)$ の増幅率は、ばらつきがあるものの正の相関があり、SH 波伝達関数の増幅率の方が大きい。
- ③ SH 波伝達関数 $R(T)$ の積分値 P_E と速度応答スペクトル増幅率の積分値 SI_{Rs} は正の相関があり、 SI_{Rs} は P_E の 1.1 倍程度となる。

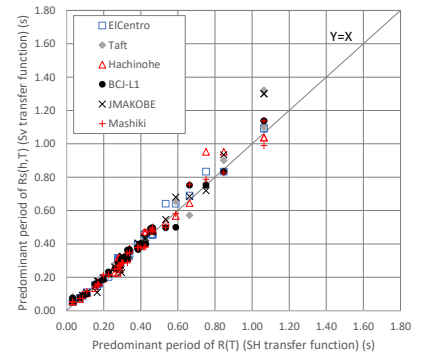
これらの結果から、 P_E を用いた地盤ハザード評価の実用性が示唆された。今後、本検討の理論的な解釈や常時微動結果を用いたより実用的な地盤ハザード評価法を検討するとともに、既往の地震災害における被害分布と比較する実証的な検討を実施したいと考えている。



(a) 2層モデル

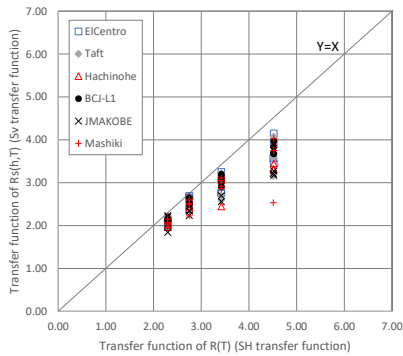


(b) 3層モデル

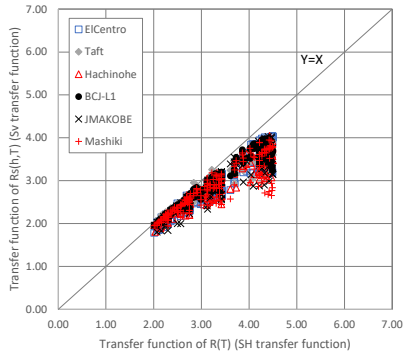


(c) 実地盤モデル

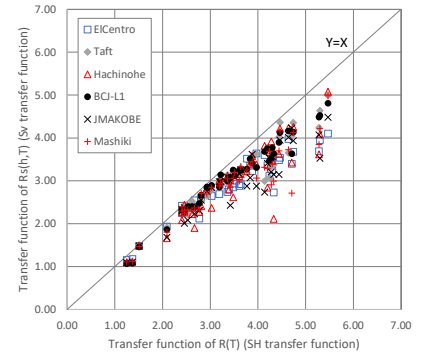
図-6 R(T)とRs(h, T)の卓越周期の比較



(a) 2層モデル

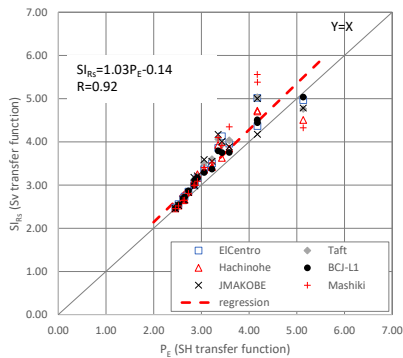


(b) 3層モデル

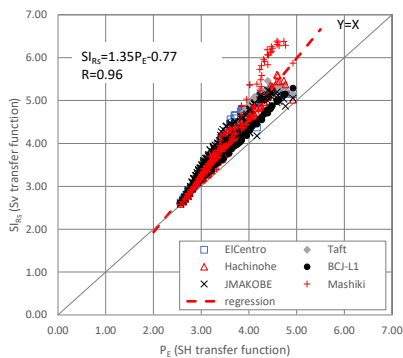


(c) 実地盤モデル

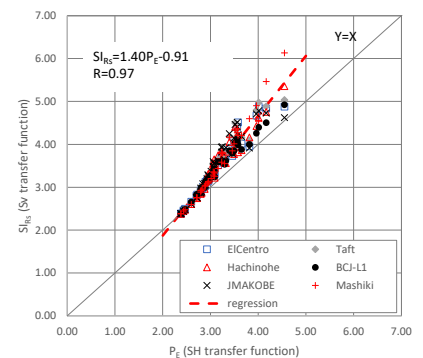
図-7 R(T)とRs(h, T)の増幅率の比較



(a) 2層モデル

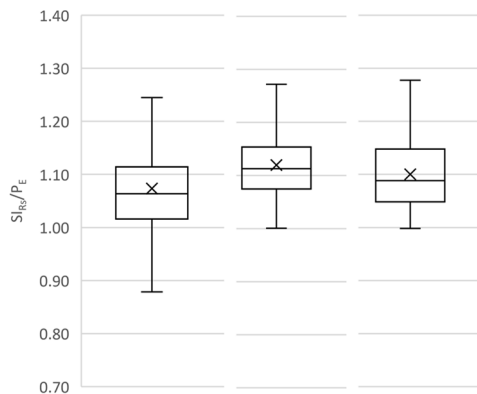


(b) 3層モデル



(c) 実地盤モデル

図-8 R(T)とRs(h, T)の積分値の比較



(a) 2層モデル (b) 3層モデル (c) 実地盤モデル

図-9 SI_{Rs} / P_E の箱ひげ図

謝辞：本研究を進めるにあたり，研究室に在籍して膨大な地震応答解析の計算とその整理に尽力してくれた諸氏に感謝します。また近畿大学講師・犬伏徹志氏，神奈川大学助教・張海仲氏には，本研究の遂行あたって種々の面で貴重な意見を頂いた。入力地震動は，気象庁，防災科学技術研究所から公開されている地震動データを使用させていただいた。記して心より感謝致します。

参考文献

- 1) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，pp.167-198，鹿島出版会，1997.
- 2) 国井隆弘，田中努：地震動の強さを評価する方法について，総合都市研究，第2号，pp.31-38，1978.
- 3) 翠川三郎，松岡昌志，作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性の評価，日本建築学会構造系論文集，No.442，pp.71-78，1992.
- 4) 林康裕，宮越純一，田村和夫，川瀬博：1995年兵庫県南部地震の低層建物被害率に基づく最大地動速度の推定，日本建築学会構造系論文集，No.494，pp.59-66，1997.
- 5) 林康裕，北原昭男，平山貴之，鈴木祥之：2000年鳥取県西部地震の地震動強さの評価，日本建築学会構造系論文集，No.548，pp.35-41，2001.
- 6) 野畑有秀，翠川三郎：木造建物の被害分布より推定した1948年福井地震の震源近傍における地震動強さ，日本建築学会構造系論文集，No.553，pp.27-32，2002.
- 7) 翠川三郎，作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の強震記録のエネルギー・スペクトルにみられる地盤特性の評価，日本建築学会構造系論文報告集，No.452，pp.31-37，1993.
- 8) 翠川三郎，作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の地震動応答スペクトルにみられる地盤特性の評価，日本建築学会構造系論文報告集，No.447，pp.31-37，1993.
- 9) 森井雄史，林康裕：表層地の地震動増幅特性と入射地震動特性が木造建物応答に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，No.568，pp.75-82，2003.
- 10) 境有紀：2011東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と建物被害の対応性—建物の大きな被害をより正確に推定する地震動強さ指標—，日本建築学会構造系論文集，Vol.78，No.683，pp.35-40，2013.
- 11) 小山信：建築基準法での限界耐力設計法における表層地盤の取り扱い，物理探査，第59号，第2巻，pp.163-169，2006.
- 12) Haizhong Zhang and Yan-Gang Zhao: Investigation of Relationship Between the Response and Fourier Spectral Ratios Based on Statistical Analyses of Strong Motion Records, Journal of Earthquake and Tsunami, 2020.
- 13) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>，(参照 2021.8.1).
- 14) 中村友紀恵，原忠，山田雅行：常時微動観測による地盤の揺れやすさリスク指標に関する研究，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.74，No.4 (地震工学論文集第37巻)，pp. I_675- I_685，2018.
- 15) 石田寛，源栄正人：地盤増幅を考慮した一様ハザード・スペクトルに基づく建築構造物の地震リスク評価法，日本建築学会構造系論文集，No.583，pp.23-30，2004.
- 16) 落合努，犬伏徹志，荏本孝久：常時微動による地域特性を考慮したハザードマップの作成，日本地震工学会論文集，Vol.19，No.5，pp.5_136-5_145，2019.
- 17) 吉田望：DYNEQ A computer program for DYnamic response analysis of level ground by Equivalent linear meshod, Version 4.00, 関東学院大学，2020
- 18) 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検討，構造工学論文集，Vol.56A，pp.324-333，2010.
- 19) Kawase, H., Nagashima, F., Nakano, K. and Mori, Y.: Direct Evaluation of S-wave Amplification Factors from Microtremor H/V Ratio: Double Empirical Corrections to “Nakamura” Method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 126, 105067, 2019.
- 20) 長橋純男：建築構造物を対象とした設計用入力地震動の強さ，地震，第2輯，第46巻，pp.513-532，1994.
- 21) Housner, G. W.: Behavior of structures during earthquake, ASCE, EM4, Oct. Journal of the Engineering Mechanics Division, Vol.85, Issue4, pp.109-130, 1959.
- 22) 加藤勉，秋山宏：強震による構造物へのエネルギー入力と構造物の損傷，日本建築学会論文報告集，第235号，pp.9-18，1975.
- 23) 秋山宏：建築物の耐震極限設計，東京大学出版会，1980.
- 24) 小川厚治，井上一朗，中島正愛：損傷に寄与する地震入力エネルギーに関する考察，日本建築学会構造系論文集，第530号，pp.177-184，2000.
- 25) 郭献群，西岡隆：地震動による構造物への入力エネルギーの特性とその評価，土木学会論文集，第410号/I-12，pp.405-413，1989.
- 26) 郭献群，西岡隆：地震動の強さの指標と応答スペクトルの変動について，土木学会論文集，No.428/I-15，pp.167-176，1991.
- 27) 秋山宏，楊志勇，北村春幸：岩盤・地盤条件を考慮した設計用エネルギー・スペクトルの提案，日本建築学会構造系論文報告集，No.450，pp.59-69，1993.
- 28) 秋山宏，北村春幸：エネルギー・スペクトルと速度応答スペクトルの対応，日本建築学会構造系論文集，No.608，pp.37-43，2006.
- 29) 岡野創，永野正行，今野晃，徳光亮一，土方勝一朗：応答スペクトルとエネルギー・スペクトルのスケールリング，日本建築学会構造系論文集，Vol.74，No.637，pp.477-486，2009.
- 30) 北村春幸，寺本隆幸，鶴飼邦夫，村上勝英，秋山宏，和田章：兵庫県南部地震における地震エネルギー入力評価，日本建築学会構造系論文集，No.503，pp.165-170，1998.
- 31) 星幸江，丸山喜久，山崎文雄：数値解析に基づく地震動 SI 値と木造建物被害の関係分析，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.65，No.1 (地震工学論文集第30巻)，pp.606-613，2009.
- 32) 横浜市総務局災害対策室：横浜市内域における地盤・地質調査委託 報告書，1997.

STUDY OF SURFACE GROUND AMPLIFICATION FACTOR
FOR EARTHQUAKE HAZARD EVALUATION
- RELATIONSHIP BETWEEN SH WAVE TRANSFER FUNCTION AND
RESPONSE SPECTRUM AMPLIFICATION FACTOR -

Tsutomu OCHIAI, and Takahisa ENOMOTO

When examining an earthquake disaster, the influence of surface ground characteristics is large, and it is important to evaluate these characteristics easily. In general, the surface ground amplification characteristics can be obtained from the transfer function by SH multiple refraction from the ground survey results. However, when examining the risk of damage caused by a wide-area earthquake, it is difficult to conduct a detailed ground survey in terms of cost and time. Therefore, data on micro-topography classification, AVS30, and single-point microtremor observation are used. It is considered that the seismic disaster is locally related to the seismic energy amplification characteristics of the surface layer ground. Therefore, as a basic study to easily evaluate the surface ground characteristics, we analyzed the relationship between the SH wave transfer function and the response spectrum amplification factor. Comparing the integral values of the two, a high correlation with a correlation coefficient of 0.9 or more was confirmed.