

関東平野における設計用地震応答スペクトルの提案(その3:工学的基盤からの地盤増幅に関する検討)

限界耐力計算 解放工学的基盤
非線形増幅特性 応答スペクトル

正会員 山田 悦子** 久田 嘉章*
秋山 友昭** 福元 俊一**

1. はじめに

改正建築基準法においては、解放工学的基盤からの地盤の増幅を簡易に評価できる限界耐力計算手法が新たに設けられ、既に使用されている。地盤増幅度の評価に関しては、近年の応答解析手法の発達により、適切な地盤定数と手法の選定を行えばより精度の高い結果が得られるようになってきているが¹⁾、今回は1次元の重複反射理論解析手法として比較的簡便で広く使用されているSHAKE²⁾を用いて、地盤増幅度に関する検討を行ったので、(その1, 2)に引き続き報告を行う。

2. 地盤周期によるタイプ別分類

従来、構造体の耐震判定指標のうち地盤指標は、地盤周期によって決まる3種類の地盤種別の係数によって区分されていることが多い³⁾。しかし、地盤種別区分における第2種地盤といえども周期 $T=0.2\sim 0.75$ と幅広く、基盤の深度や V_s の変化程度によっては地盤の増幅度は大きく変化することが予想される。特に建物には固有の周期があり、表層地盤の特性によって増幅された周期との関係から大きな影響を受けることも多く、地盤種別毎の係数がそれぞれ同一というのはなじまない。よって、地盤は一樣ではないものの、工学基盤($V_s=400\text{m/s}$)から上位の地層を、周期 $0.16\sim 0.80$ 秒にいたる等価な平均 V_s と基盤深度の関係に整理し、簡単なマトリックスを作成して表-1に示した。

3. 限界耐力計算及びSHAKEによる地盤の応答

(その2)の報告で示した手法により、関東平野の各エリアにおいて工学的基盤の波形が求められる。ここでは、関東地震をターゲットにしていることから、M8クラスの海洋型地震の代表的例としてメキシコ地震のラ・ウニオンで観測された地震波(NS)を位相として用いた波形を作成した(図-1)。地域のタイプはA3を代表例として示す。なお、工学的基盤における応答スペクトルへのフィッティング回数は20回とした。

同地震波形を用いて、限界耐力計算およびSHAKEの等価線形手法(有効ひずみ0.65, 収束判定5%)による計算を行った。それぞれ、地盤は粘土・砂質土の等価な1層地盤として設定して行い、SHAKEの非線形特性カーブは告示⁴⁾を使用した。地表と入力基盤における加速度応答スペクトル($h=0.05$)の伝達関数を図-2に示すとともに、多層地盤モデルでの応答結果も参考までに示した。応答倍率は、限界耐力、SHAKEによる1層地盤、SHAKEによる多層地盤の順に概ね低くなっている。

4. タイプ別の伝達関数の包絡関数

3.で示した応答倍率の結果によれば、地盤を精度良く調査して地震応答解析を行えば、比較的地盤の応答は1層地盤としてモデル化したものより低くなる傾向にある。しかし、調査を行う時間の余裕がない場合もあり、その際SHAKEによる1層地盤の応答結果を採用すれば安全側の設計が可能である。そこで、今回地盤増幅度の計算を行ったZoneA3における砂質土・粘土地盤それぞれの加速度応答の伝達関数の代表的なものを図-3に示す。さらに、実際の地盤は単一地盤ではないことから、砂質土・粘土地盤の単一層として計算した応答の伝達関数を包絡するような関数形を求め同図に記載した。地表での応答倍率、解析後の地盤周期は表-2に示す通りである。なお、応答倍率の包絡関数の形状は原則として限界耐力計算に準拠して定め、表-3及び図-4に示した。

今回示したA3以外の他のエリア(A-2,3~B-1,2,3)においても同様な計算を実施しているが、ほぼ同様な倍率・包絡形状の傾向を確認している。工学的基盤の波形を作成する段階で、他の観測地震波の位相を用いた波形でも応答倍率やその形状など検証しており、概ね似通った特性を示したことも確認している。

ここで示した応答倍率の値は、今後構造耐震判定の地盤の増幅度の指標として正規化された係数に変換される予定である。本研究の最終成果として、対象となる敷地の工学的基盤における応答スペクトルが提示され、それぞれの地盤のタイプ別の応答スペクトルの伝達関数も関数形の形で示される予定である。さらに、該当する等価な V_s 、基盤深さがその敷地で選択できれば、上記数値を用いて地表の波形が作成可能なシステムになっており、独自に建物の地震応答解析も可能なシステムとして公開を予定している。なお、地盤調査を詳細に行い独自に入力地震動を策定可能な場合や、SHAKEに限らず非線形地震応答解析が可能なケースではこのシステムを必ずしも使用する必要はなく、その際の目安になることを期待したい。

【参考文献】1) 吉田望, 澤田純男, 中村晋: 地盤の地震応答解析の精度に対する手法の影響, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.763-768, 2002 2) Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.: SHAKE A Computer Program for Earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No.EERC72-12, University of California, Berkeley, 1972 3) 建築研究振興協会, 構造調査コンサルティング協会: 既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル, 2000 4) 建設省告示第1457号, 2000

表-1 等価1層地盤における深度毎の周期

ρ (kN/m ³)		Vs (m/s)	基盤までの深度 (m)				
粘土	砂		10	15	20	25	30
15.21	17.17	100	0.40	0.60	0.80	-	-
15.70	17.66	150	0.27	0.40	0.53	0.67	0.80
16.19	17.66	200	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
16.68	17.66	250	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48

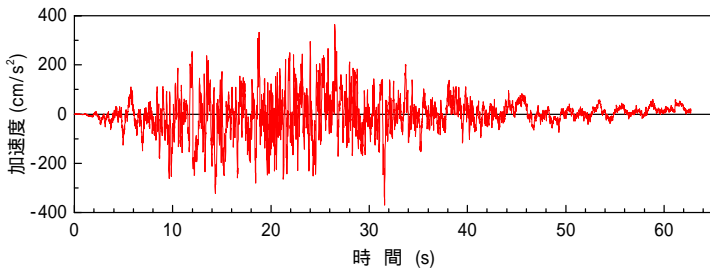


図-1 解放工学基盤の入力波形例(A3タイプ)

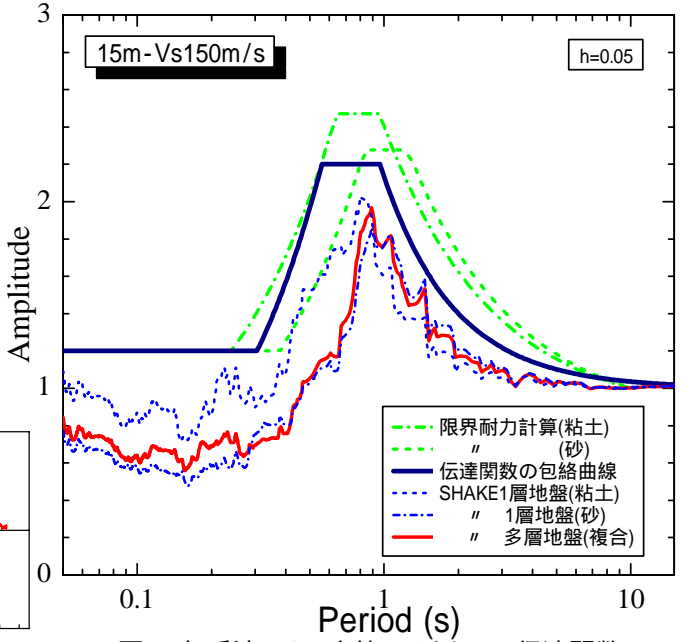


図-2 各手法による応答スペクトルの伝達関数

表-2 各周期の増幅倍率

Vs (m/s)	基盤までの深度 (m)				
	10	15	20	25	30
100	2.4 (0.85)	2.1 (1.46)	2.2 (1.86)	-	-
150	2.2 (0.39)	2.0 (0.80)	2.1 (0.89)	2.0 (1.08)	1.9 (1.86)
200	1.9 (0.25)	1.9 (0.45)	1.8 (0.89)	1.9 (0.85)	1.9 (0.89)
250	1.7 (0.19)	1.7 (0.30)	1.7 (0.45)	1.6 (0.54)	1.6 (0.85)

()内は最大増幅倍率を示したときの周期Tmax

表-3 Vs毎の包絡線提案式

Vs (m/s)	提案式	
100	1.2	$T \cdot 10^a$
150		$(b/T^{1.5})+1$
200		
250		

a,bはケース毎に決定

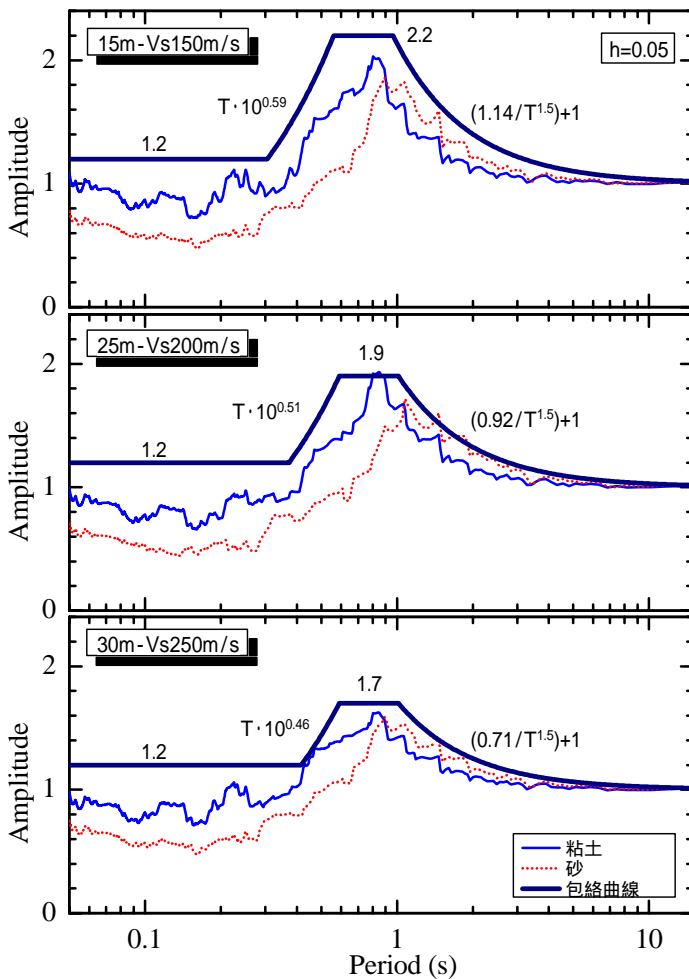


図-3 応答スペクトルの伝達関数と包絡線例

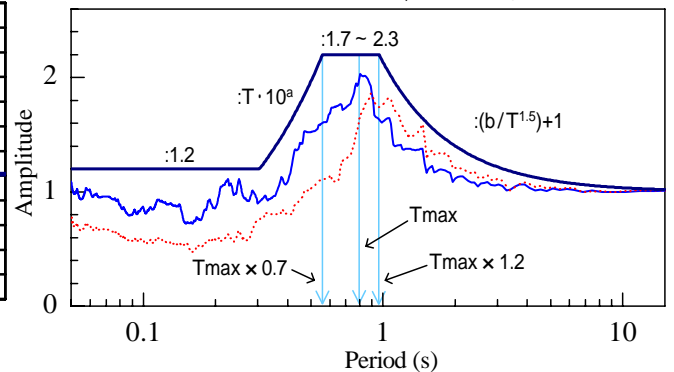


図-4 包絡線の提案式

* 工学院大学建築学科 教授・工博

** 株式会社東京ソイルリサーチ

* Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.

** Tokyo Soil Research Co., Ltd.