

地盤改良を考慮した応答スペクトルについて

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓  
 八代工業高等専門学校 正員 〇 瀨田 邦彦  
 熊本大学大学院 孫 遜  
 八代工業高等専門学校 植田 正樹

1. はじめに 表層地盤の液状化は地表付近や地表面上の構造物に大きく影響するため、液状化の可能性のある地盤上に構築される構造物においては、液状化を含めた周辺地盤の地震応答を適切に評価することが重要といえる。本研究では、既存の2次元 FEM による有効応力解析プログラム「NUW2」<sup>1)</sup>、及び振動締め固めによる改良工法のシミュレーション手法<sup>2)</sup>を用いて改良された地盤に対して応答解析を実施し、また地表面上における地盤の応答を入力として、地表面上の1自由度系構造物の応答スペクトルを求め、表層地盤の地震応答特性やそれらが地上構造物の応答スペクトルへ及ぼす効果などについて検討する。特に地盤と1自由度系の両固有周期を2軸にとって空間応答スペクトル面を表わし、そのコンター表示より地盤改良を反映した地盤の固有周期と応答スペクトルとの関係について検討する。

2. 表層地盤の地震応答解析手法 解析の対象モデルは、Fig.1 のような軟弱な表層地盤の地表面上に設置された1自由度系(水平振動のみ)の構造物とする。この1自由度系の応答評価に際し、その支配パラメータとして構造物の固有周期  $T_s$  と表層地盤の固有周期  $T_G$  の2つを取り上げる。構造物の固有周期  $T_s$  は質量とばねより得られるが、表層地盤の固有周期  $T_G$  については、そのせん断波速度の分布 ( $V_1, V_2, \dots, V_n$ ) 及び各層の厚さ ( $H_1, H_2, \dots, H_n$ ) を用いて、 $T_G = 4 \sum_{i=1}^n (H_i / V_i)$  より算定する。なお、 $i$  番目の層の N 値  $N_i$  が得られている場合には、 $V_i = 80N_i^{1/3}$  よりその層のせん断波速度  $V_i$  を求める。表層地盤の地震応答解析は、Biot の2相混合体理論<sup>3)</sup>を基に、井合らの構成式<sup>4)</sup>を組み込んだ、2次元有効応力解析プログラム「NUW2」<sup>1)</sup>を用いて行う。著者らは、また、サンドコンパクションパイルによる振動締め固め地盤改良工法のシミュレーション手法を提案し、その解析プログラム「WAP3」を開発している<sup>2)</sup>。ここでは両手法を用いて、SCP 改良地盤における上記の解析を実施する。

3. 数値計算結果と考察 基盤層の上にこれより軟らかい厚さ  $H=20m$  の砂質性の表層が載っている地盤構造モデルを解析の対象とした。表層地盤は地表下面下3mまで飽和しているものとし、密度  $1900 \text{ kg/m}^3$ 、透水係数  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  及び細粒分含有率 10%とした。地盤の剛性は、液状化しやすい表層地盤を想定して、Fig.2 の○印に示すような分布とした。一方、このモデル地盤に、TABLE 1 に示すような各ステージごとの締め固め加振時間の条件を変化させて SCP 地盤改良を行った場合のせん断剛性の分布も Fig.2 に示している。入力地震波は、主として兵庫県南部地震(ポートアイランド GL-32m で記録された NS 成分(1995))の最大加速度を 250gal に調整したものを用い、モデル地盤の基盤層底部を固定境界としてこれに鉛直下方から入射するものとし、ここでは水平なせん断振動についてのみ検討した。

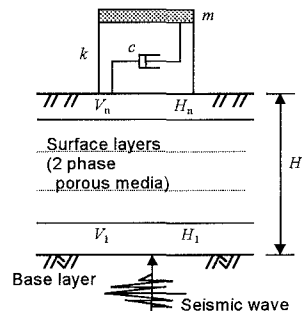


Fig.1 Surface ground layers and SDOF structure

TABLE 1 CONSTRUCTION CONDITIONS OF SCP METHOD

Term	Conditions	
Array	Rectaglar	
Pile space (m)	3.0	
Compacting force (kN)	600	
Radius of pile (m)	0.4	
Vibrating frequency (Hz)	9.3	
Compacting time par 1 stage (sec)	SCP1	30
	SCP2	60
	SCP3	90
	SCP4	120
	SCP5	150

無対策地盤に対して SCP による締め固め加振時間が増すほど、表層のせん断波速度がその剛性改良により増加し、表層の平均的な固有周期は短周期化されていくが、その様子を図化したものが Fig.3 である。図中締め固め加振時間 90 秒以上では液状化がほぼ抑制されている。

Fig.4 は、地盤の平均固有周期と構造物の固有周期を2軸として、これらに直交する方向に応答スペクトルの軸をとって応答スペクトル曲面を3次元表示したものであり、(a),(b)はそれぞれ加速度及び変位の応答スペクトルを表わしている。これらの図より、地盤及び構造物の固有周期に対する最大応答値の分布特性を読み取ることができる。

キーワード: 応答スペクトル、液状化、地盤改良、固有周期、1自由度系  
 連絡先: 〒866 八代市平山新町 2627, Tel.0965-35-1611, Fax.0965-33-0616

さらに、Fig.5 は Fig.4 の地盤と構造物の固有周期を2軸として応答スペクトルを等高線表示したものであり、(a)、(b)はそれぞれ加速度及び変位の応答スペクトルを表わしている。Fig.5 より、2つの固有周期に対する構造物の応答の分布特性が読み取りやすくなっている。そこで千葉県東方沖地震(1987)、El Centro 地震記録波(1940)と十勝沖地震(1968)の八戸での記録及び鹿児島県北西部での地震記録(1997)を加えた、5つの地震波に対して応答スペクトルを求め、それらの平均したものを Fig.5 と同様に表したものが Fig.6 である。Fig.6 は Fig.5 よりも等高線がわずかながらなめらかに表示されている。Fig.6 より、地上構造物の応答量があるレベル以下にするための、地盤と構造物の固有周期 ( $T_G$ ,  $T_S$ ) の組み合わせを容易に決定できることから、これらの図は、地盤と構造物の動特性を考慮した耐震設計への応用も可能と考えられる。また地盤の固有周期  $T_G$  は Fig.3 のように SCP の締めめ加振条件と関連しているので、液状化を防止するための地盤改良の施工条件を設計することへの応用も可能であろう。

**4. まとめ** 軟弱な表層地盤の、液状化も含めた動特性を考慮した地上構造物の応答評価を目的として、表層地盤の地盤改良が地上構造物の応答スペクトルに及ぼす効果等について検討した結果、表層地盤及び構造物の両固有周期を用いて地上構造物の応答を管理する方法を提案した。ここで提案する応答スペクトルは、表層地盤の液状化特性を反映させたものであり、液状化防止のための地盤改良条件を設計することに应用できることも示した。

**参考文献** 1)Akiyoshi, T. *et al*, Int. J. Soil Dyn. and Earthq. Eng., 12(5), 299-307, 1993. 2)Akiyoshi, T. *et al*, Proc. of 9th Japan Earthq. Eng. Symp., 949-954, 1994. 3)Zienkiewicz, O.C. *et al*, Int. J. Num. and Analy. Meth. in Geomech., 8, 71-96, 1984. 4)Iai, S., *et al*, Soils and Found., JSSMFE, 32(2), 1-15, 1992.

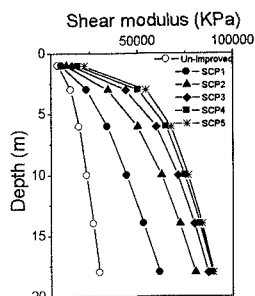


Fig.2 Distribution of shear modulus of surface layers

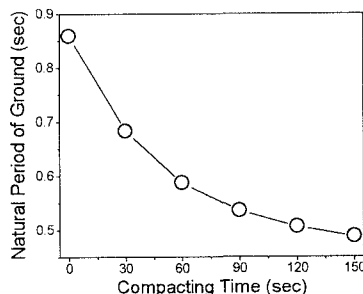
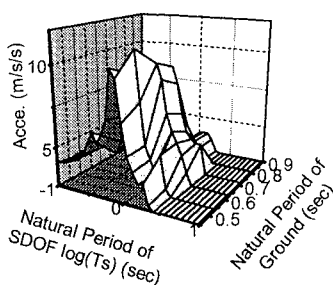
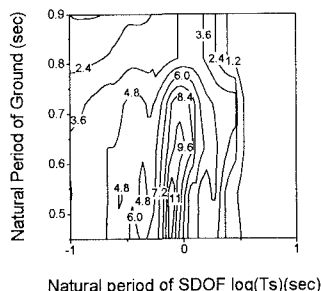


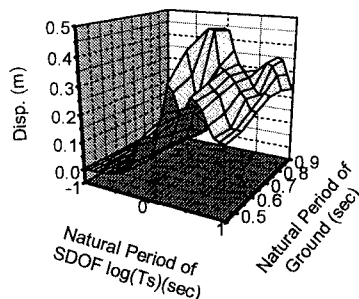
Fig.3 Relation between natural period of ground layers and compacting time



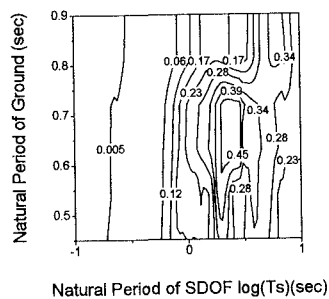
(a) Acceleration



(a) Acceleration



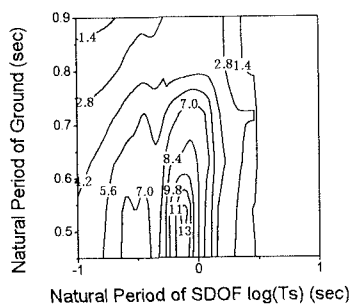
(b) Displacement



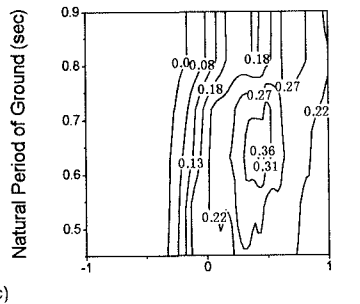
(b) Displacement

Fig.4 Response spectra in 3D space

Fig.5 Response spectra in contour line



(a) Acceleration



(b) Displacement

Fig.6 Averaged response spectra