

地盤改良を反映した地表面構造物の応答スペクトルについて

熊本大学大学院 学生員○藤竹正臣
熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓
八代工業高等専門学校 正 員 淵田邦彦
熊本大学工学部 播谷敏史

1. はじめに

応答スペクトルは、耐震設計における有効な方法の一つであるが、都市直下で起こる地震に対して震源特性などを含めた地上構造物の応答スペクトルに関する研究は行われているものの¹⁾、表層地盤の動特性、特に地盤の液状化を考慮したり改良効果などを反映させた構造物の応答スペクトルを検討した例は少ない。そこで本研究では、地盤の地震応答特性、構造物の応答評価を行い、上部構造物の応答スペクトルから、地盤—基礎と上部構造物の耐震上最適な固有周期を見出し、それに対応する地盤改良の方法について報告する。

2. 解析手法の概要

図1の解析モデルへの入力地震波は、エル・セントロ波形(1940年)、千葉県東方沖地震(1987年)、兵庫県南部地震(1995年)のNS成分を最大加速度350galに調整して用いた。それぞれの地震波の特性をフーリエスペクトルで見ると、エル・セントロ波形は0.5~0.9sec、千葉県東方沖地震は0.35sec(短周期)、兵庫県南部地震は2.0sec(長周期)付近で卓越している。

また、表層地盤の地震応答を解析する手法としては、著者らが開発している2次元有効応力解析プログラムNUW2²⁾を用いた。一方、振動締め固め工法として施工実績の高いサンドコンパクションパイル(SCP)工法の打設締め固め過程をシミュレートするプログラムWAP3³⁾を著者らは開発しているが、これに鋼管杭を組み込んだ改良型、WAP3を用いて地盤改良を行った場合の表層地盤の地震応答解析を行い、地表面における応答加速度を1自由度系の上部構造物への入力地震動と考えると、その応答スペクトルを求めた。

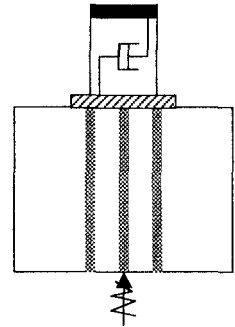


図1 解析モデル図

3. 解析結果

最初に地盤改良について検討するため、初期モデル地盤(N=8、細粒分含有率 $F_c=10\%$)を1mピッチのステージ締め固め加振時間(以後 T_c と記す。)ごとの改良結果を図2に示す。締め固め加振時間が長くなるに従いN値は増加する傾向にあり、 $T_c > 60\text{sec}$ ではほぼ終局状態になっている。ここで設定したモデル地盤は、細粒分含有率が比較的少なく均質な砂地盤のため、下部ほど堅く締め固まっている。なお、今回の解析

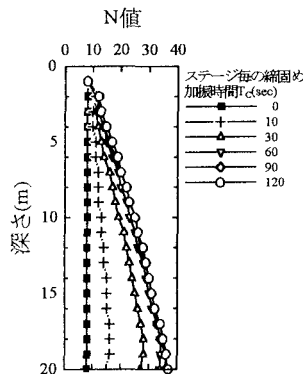


図2 SCP締め固めによるN値の増分

表1 SCP施工条件

パイルの間隔(m)	1.4
配置	三角形
加振力(ton)	60
パイル直径(m)	0.7
加振振動数(Hz)	9.3
加振時間(sec)	0~120

表2 鋼管杭諸元

ヤング率(kPa)	2.1E+8
実断面積(m ²)	1.5E-2
杭径(m)	0.5
杭長(m)	20
単位体積重量(N/m ³)	7.4E+4
断面2次モーメント(m ⁴)	9.2E-4

で用いたSCPの施工条件ならびに鋼管杭の緒元は、表1,2にそれぞれ示している。次にSCPによる締め固め効果について液状化判定したのが図3である。このプロットされた点は同一条件下でNUW2と1次元地震

応答解析 SHAKE による解析結果である。また、図中の実線および破線は以前、岩崎ら⁴⁾が行った実験結果を示している。今回の解析では液状化抵抗 F_L が若干小さな値となっている。そこで、これ以降の液状化判定は過剰間隙水圧を液状化抵抗 F_L に換算して液状化指数 P_L を求め、 $P_L=5$ を液状化限界とした。図 4 は、SCP 締固めによる T_c と P_L の関係を示している。 $T_c > 30\text{sec}$ の締固めでは、いずれの地震波でも液状化の可能性は低いが、 $T_c < 30\text{sec}$ の締固めでは、入力による P_L 値に違いが見られる。これは、それぞれの地震波のスペクトル構造と地盤動特性(固有周期)の変化との相対関係に起因していると思われる。図 5 は、兵庫県南部地震における対策工法の違いによる T_c と P_L の関係を示している。杭本数が多くなるにつれて短い締固め加振時間で液状化が回避できることがわかる。明らかに、杭の打設が地盤を含む基礎部全体の剛性を増加させていることを示している。この図で、杭なし地盤について見てみると、 $T_c=25\text{sec}$ で液状化限界に達し、 $T_c=60\text{sec}$ で締固め限界となっており、液状化を回避することを考えると、SCP のステージ締固め加振時間を $30\text{sec} \sim 60\text{sec}$ の範囲で決定すればよいことになる。図 6,7,8 は、兵庫県南部地震の杭なし地盤における加速度応答スペクトル、速度応答スペクトル、変位応答スペクトルを構造物の固有周期 T_s と地盤の固有周期 T_g によって等高線を用いて図化したものである。ここで上部構造物を木造とすると、その固有周期 T_s は、おおむね $0.4 \sim 0.8\text{sec}$ 程度なので T_s と T_g の分布範囲は、図中の矩形の内部となる。それぞれの応答スペクトルの最小値は、図中の A,B,C となる。したがって、兵庫県南部地震を入力地震波とした杭なし地盤においては、 T_s の最適値($T_s=0.4\text{sec}$)、 T_g の最適値($T_g=0.391$)と決定できる。これにより、SCP 加振時間が 25sec となり、これが最適施工条件となる。

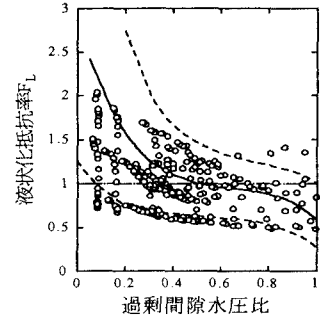


図3 SCP 締固めによる液状化抵抗率 F_L と過剰間隙水圧比の関係

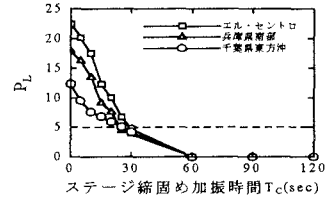


図4 地震波の違いによる T_c と P_L の関係

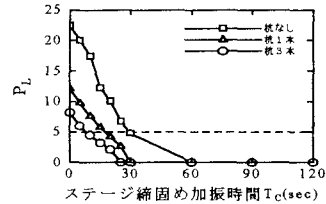


図5 兵庫県南部地震における杭本数の違いによる T_c と P_L の関係

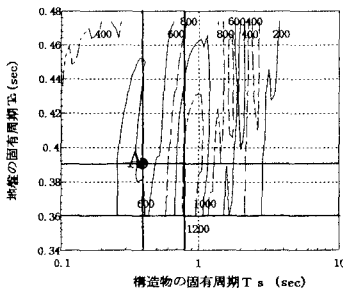


図6 加速度応答スペクトル(cm/s^2)

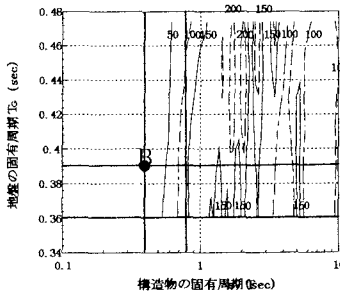


図7 速度応答スペクトル(cm/s)

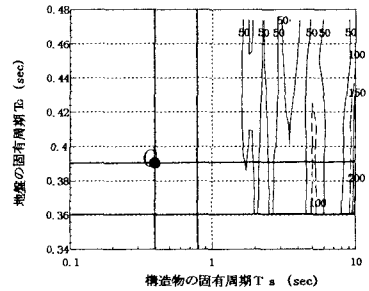


図8 変位応答スペクトル(cm)

まとめ

今回は、応答スペクトルから、杭なし地盤上の上部構造物の応答を抑える固有周期の決定と SCP による地盤改良の方法を示した。今後は、入力地震波の特性や、杭による影響を明確にすることが必要である。

参考文献 1) 佐藤ほか、第 1 回都市直下地震災害シンポジウム、pp.97-98,1996. 2) Akiyoshi,T. et al, Soil Dynamics and Earthquake Engineering., Vol.12, No5, pp.299-307, 1993. 3)Akiyoshi,T. et al, Proc.9JEEs,pp.949-954, 1994 4) 岩崎ほか、地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究、土木研究所資料、第 1729 号,pp.99~108,1981.9.