

地盤改良を反映した応答スペクトルによる耐震設計法について

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓 八代工業高等専門学校 正員 瀧田邦彦
八代工業高等専門学校 学生員 植田正樹 熊本大学工学部 学生員 ○甲斐志郎

1. はじめに

軟弱な地盤中で構造物の耐震性を評価する際、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である。そこで、本研究では、地盤改良を考慮した表層地盤の固有周期(T_G)と構造物の固有周期(T_B)を同時に考慮することにより、両固有周期に基づく応答スペクトルからバランスのとれた地盤—基礎と上部構造物の耐震設計法について検討する。上部構造物については、阪神・淡路大震災での被災記録より、その固有周期の分布する範囲が概ね特定されるので¹⁾、応答がより小さくなる地盤の固有周期を決定できるようになり、これより最適な地盤改良施工条件を割り出すことが可能になる。

2. 解析手法の概要

表層地盤の地震応答を解析する手段として、本研究室で開発している 2 次元有効応力解析プログラム NUW2²⁾を用いた。一方、地盤改良については、サンドコンパクションパイル(SCP)工法の打設締固め過程をシミュレートするプログラム WAP3³⁾を開発している。上記の NUW2 と WAP3 を用いて SCP により地盤改良した場合も含めた表層地盤の地震応答解析を行ない、得られた地表面における応答加速度を入力加速度とし、1 自由度系とみなした構造物の応答スペクトルを求めた。

3. 解析結果

入力地震波として、1995 年の兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドで記録された NS 成分のものを、最大加速度を 2.5m/s^2 に調整した。また、今回の解析対象地盤は神戸市の実地盤⁴⁾を用いて解析を行った。

解析地盤の初期 N 値は図 1 のようになり、細粒分含有率(F_L)は 10% で一定であった。この初期地盤を、締固め 1 ステージごとの T_c を 30sec の締固めで行くと、N 値はかなり改良されており、 $T_c=60\text{sec}$ 以上の締固めではほぼ終局状態となっているのが分かる。

この SCP による締固めの効果の判定については、図 2 を用いるが、図中のプロットされた点は、同一条件下で NUW2 と 1 次元地震応答解析プログラム SHAKE による対応結果である。

図中の実線および破線は以前、岩崎ら⁵⁾が行った実験結果である。図 3 は各深さごとの過剰間隙水圧比の変化を表したもので、この過剰間隙水圧比を液状化抵抗率(F_L)に換算し液状化指数を求め、 $P_L=5$ となる所を液状化限界とした。その結果、 $T_c=30\text{sec}$ で締固めを行った場合において、液状化指数が $P_L<5$ となり、この地盤における液状化限界は $T_c=30\text{sec}$ となっている。

図 4 は 1 ステージごとの締固め加振時間(T_c)と地盤の固有周期(T_G)の関係であるが、 $T_G=0.36\text{sec}$ 前後で締固めの限界になっていることがわかる。よって、この地盤の場合では、液状化を避けることのできる範囲として、 $0.36 \leq T_G \leq 0.40$ 程度の範囲で締固め加振時間を決定することになる。

一方、上部構造物の固有周期(T_B)の範囲を図 5 (RC 造、S 造、SRC 造建築)に示すような構造物の被災記録から大まかにではあるが求めることができる¹⁾。この被災記録によると構造躯体の被害と両固有周期の関係は、地盤の固有周期(T_G)<建物固有周期(T_B)となる場合において構造躯体の損傷を生じやすい。したがって、

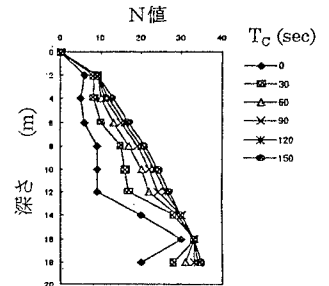


図1 SCP締固めによる
N値の増分

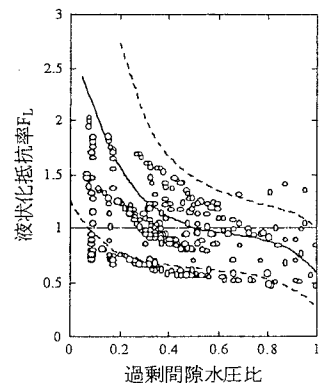


図2 SCPによる F_L と過剰
間隙水圧比との関係

構造物の固有周期を地盤の固有周期よりも小さくなるような範囲にとることで、これを建物の固有周期の範囲とすることができ、このモデルでは、締固め限界が $T_G=0.36$ なので構造物の固有周期の制約範囲としては $T_S \leq 0.36$ となるような範囲をとる。

図 6、7、8 は、地表面応答加速度を入力とする、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であり、 T_S と T_G によって等高線を用いて図化し、上記で求めた T_G 、 T_S の制約範囲を表したものである。この内部でそれぞれの応答スペクトルの最小値となるような固有周期をとると図の A、B、C、となる。よって、兵庫県南部地震を入力地震波とした杭支持地盤においては、加速度による設計の最適値は($T_S=0.15\text{sec}$, $T_G=0.406\text{sec}$)と決定できる。これより SCP 加振時間が 30sec となり、これが地盤の最適施工条件となる。

4. まとめ

今回は、応答スペクトルから、杭を有する地盤上の上部構造物の最適耐震設計する手法と SCP による地盤改良の方法を具体的に示した。

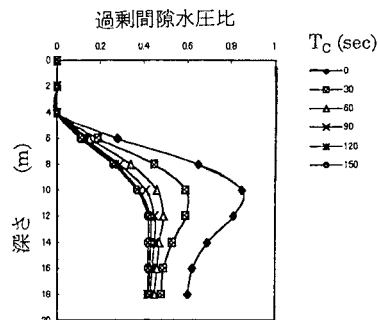


図 3 過剰間隙水圧の比較

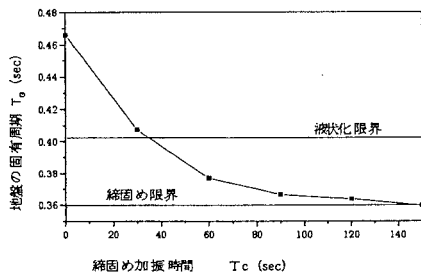


図 4 地盤改良と固有周期の関係

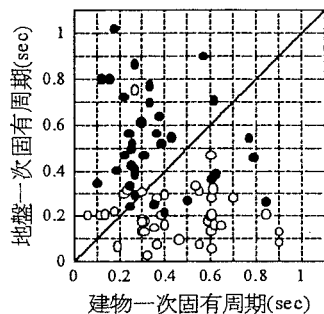


図 5 被害分布図

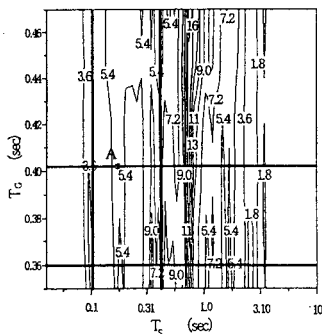


図 6 加速度応答スペクトル

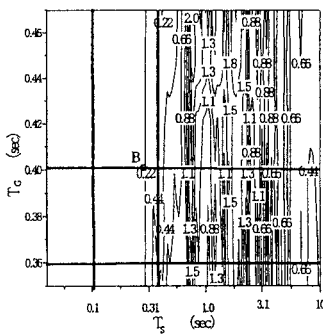


図 7 速度応答スペクトル

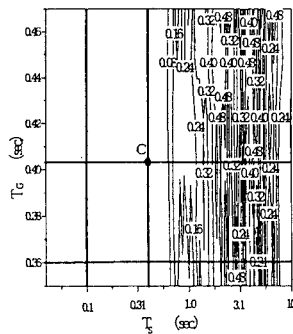


図 8 変位応答スペクトル

参考文献

- 1) 妹尾史郎他：日本建築学会学術講義概集、1999年9月、pp.29—32。
- 2) Akiyoshi, T. et al, Soil Dynamics Earthquake Engineering, Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993。
- 3) Akiyoshi, T. et al, Proc. 9JEES, pp.949-954, 1994。
- 4) 建築基礎における液状化・側方流動対策検討委員会：兵庫県南部地震における液状化・側方流動に関する研究報告書、1998年3月。
- 5) 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。