

1995 年兵庫県南部地震被害事例に対して 地盤改良による再耐震設計の試み

熊本大学 正 員 秋吉 卓
熊本大学 学生員 植田正樹

八代高専 正 員 淵田邦彦
熊本大学 学生員 田口昌平

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震のように、軟弱な地盤における構造物では、被害が剛性の小さい基礎部に集中することから、上・下部でバランスのとれた耐震設計法が求められている。そこで、本研究では、基礎部（地盤と杭基礎）の動特性（固有周期）と上部構造物の固有周期との両方を考慮した応答スペクトルによる耐震設計法を提案し、実被害例に対して地盤改良による再設計を行いその妥当性について検討する。軟弱地盤をサンドコンパクションパイルによる締固め改良の程度により、地盤の液状化と杭の破壊を防ぎながら、構造物の応答の最小化が可能であることを示す。

2. 概要

表層地盤の地震応答解析においては、2次元有効応力解析プログラム NUW2¹⁾を用いた。また、地盤改良においては、サンドコンパクションパイル(SCP)工法の打設締固めをシミュレートするプログラム WAP3²⁾を用いる。上記の NUW2、WAP3 を用いて SCP により地盤改良した場合も含めた地震応答解析を行い、得られた地表面における応答加速度を、1自由度系構造物（水平のみ自由）へ入力することにより、地盤と構造物の固有周期による2次元の応答スペクトルが求まる。以上のプロセスにおいては、液状化を防止し、かつ、杭基礎にかかる曲げ応力及びせん断応力をその降伏応力及びひび割れ応力の範囲内に収めながら、応答が最小となるように、地盤の固有周期、すなわち締固め加振時間を決定する最適設計法を提案する。

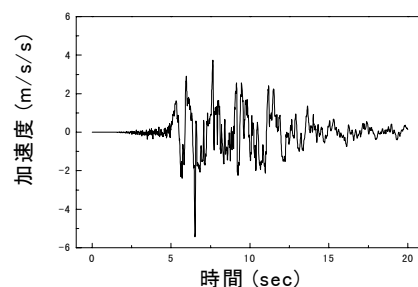


図1. 入力加速度

3. 解析結果

ここでは、1995 年兵庫県南部地震における軟弱地盤における被害事例³⁾について、地盤改良を段階的に施した地盤について、液状化の有無、杭基礎の破壊の有無を解析によって確認しながら、最適な施工条件（締固め加振時間）を示すことにする。入力地震波は、図1に示す1995 年兵庫県南部地震（ポートアイランド GL-32m、加速度波形 NS 成分）とし、最大加速度を 540gal のまま、基盤に入力した。また、解析対象地盤は、参考文献3)の整理番号 No.42 による地盤（図2の $T_c=0$ sec のケース）を用いて解析を行った。杭基礎は $\phi 400$ mm の AC 杭が使われており、地質としては全体的に砂質系地盤で、基盤面の深さは 20m としている。本事例では、液状化・側方流動・沈下・杭頭破壊・建物中破が生じていた。また、上部構造物の固有周期は $T_s=0.2$ sec であるが、地盤の初期固有周期 T_G は、図2の地盤の初期 N 値より $T_G=0.437$ sec である。この初期地盤を SCP 工法で締固めると、1ステージ当りの締固め加振時間が 10~30sec のとき、N 値はかなり改良されているが、それ以降ではほぼ終局状態となっているのがわかる。

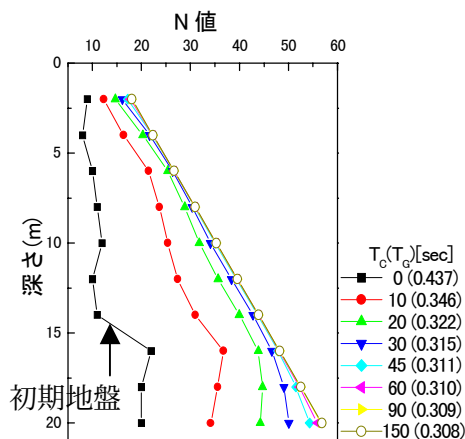


図2. 締固めによるN値の変化

図3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、 $T_G=0.305$ sec 前後で締固め限界になっていることがわかる。さらに、液状化限界として、液状化指数 $P_L=5$ を設定すると、この地盤においては液状化防止の範囲として、 $0.305 \leq T_G \leq 0.390$ sec 程度の範囲で T_c を決定することになる。

Key words：震害、地盤改良、耐震設計、応答スペクトル、固有周期、液状化

連絡先：〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1, TEL：096-342-3538, fax：096-342-3507

次に、杭基礎にかかる曲げ・せん断応力から、杭が破壊しない最小の締固め加振時間 T_c を求め、その T_c 以上とすることで、杭を設計することができることを示す。図 5 及び 6 から、杭が破壊しないような最小の加振時間は $T_c=10\text{sec}$ (このとき $T_G=0.359\text{sec}$) となり、したがって、液状化防止と杭破壊防止の両方の観点から、 $0.305 \leq T_G \leq 0.359\text{sec}$ の範囲となる締固めをすればよいことになる。

上で述べた 2 つの T_G の範囲を満たしている締固め条件の中で、応答スペクトルが最小になるように決定すると、その点の T_c が最適な地盤改良条件となる。解析対象地盤においては、液状化限界よりさらに杭破壊限界まで締固める必要があり、上部構造物の固有周期 $T_s=0.2\text{sec}$ を固定しておき、もし、加速度値で設計する場合は、図 7 の加速度応答スペクトル図より、結局、 $T_c=10\text{sec}$ が最適な条件だといえる。

4. まとめ

今回は、1995 年兵庫県南部地震の建築被害例の一部について耐震設計を行ったが、他の事例については紙面の都合上割愛し、発表時に述べる予定である。

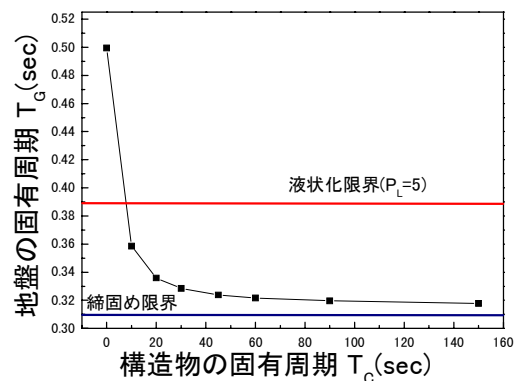


図 3. T_c と T_G の関係

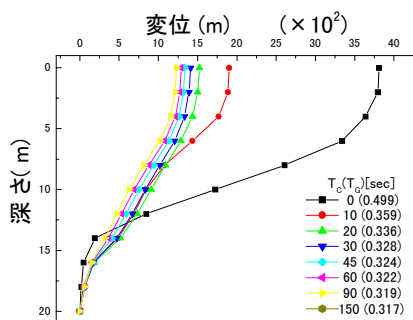


図 4. 地盤の最大水平変位

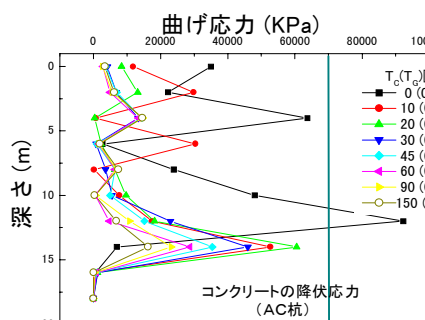


図 5. 杭の最大曲げ応力

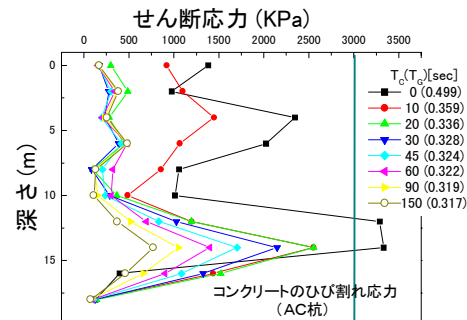


図 6. 杭の最大せん断応力

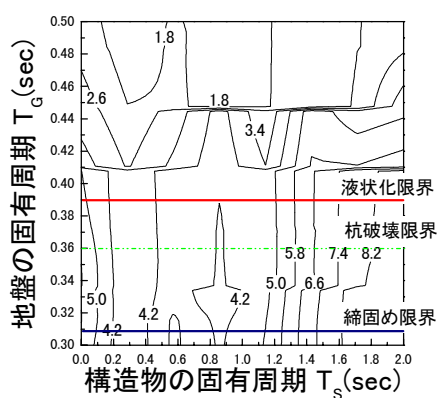


図 7. 加速度応答スペクトル
(m/s/s)

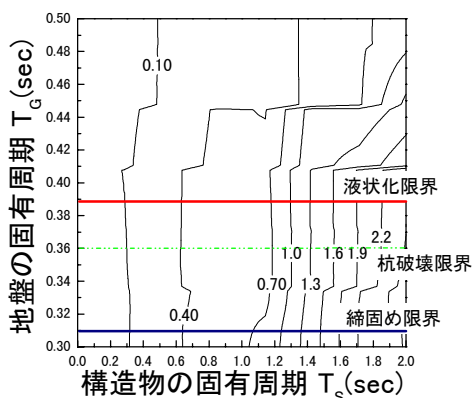


図 8. 速度応答スペクトル
(m/s)

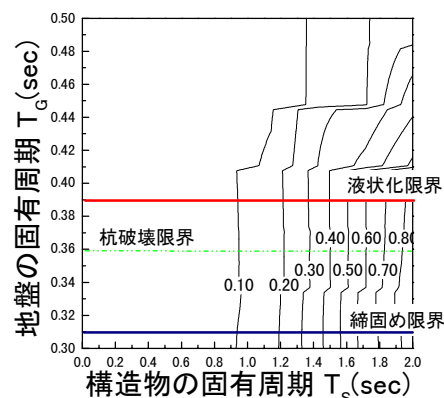


図 9. 変位応答スペクトル
(m)

参考文献

- 1) Akiyoshi, T. et al, Int.J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993.
- 2) Akiyoshi, T. et al, Proc. 9JEES, pp.949-945, 1994.
- 3) 妹尾・細井・永井：兵庫県南部地震における建物・基礎構造物の略算固有周期による検討（その 1 及びその 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp.29-32, 1999.9.