

## 軟弱地盤における杭基礎系被害事例に対する液状化防止の耐震設計について

八代工業高等専門学校 正員 瀧田 邦彦 熊本大学工学部 正員 松本 英敏  
 熊本大学工学部 正員 秋吉 卓 鉄建建設 尻無濱昭三

**1. はじめに** 1995年の兵庫県南部地震では、臨海部の軟弱地盤で液状化による構造物の基礎部破損及び構造物傾斜などの被害が生じている<sup>1)</sup>。強い地震動による地盤剛性変化など地盤の振動特性変動が杭基礎構造へ大きく影響したことが被害の要因と考えられる。本研究では地盤 - 杭基礎系における液状化防止の地盤改良工法を反映した耐震設計手法開発を目的として<sup>2)</sup>、実被害例に対する地盤改良と液状化解析を行い、液状化及び杭破損の防止も含めて、地盤改良効果について検討する。

**2. 解析手法の概要** 図1は本研究で解析の対象とする、杭基礎 - 表層地盤 - 上部構造物系の模式図である。杭を含めた表層地盤の地震応答を解析する手法として、ここでは、Biotの2相混合体理論と井らの多曲面せん断機構モデルに基づいて著者らが開発している2次元有効応力解析プログラム NUW2<sup>3)</sup>を用いる。またサンドコンパクションパイル(SCP)工法の解析にはシミュレーションプログラム WAP3<sup>4)</sup>を用いる。さらに表層地盤の地表面における加速度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まで算定する。

**3. 数値計算結果と考察** 1995 兵庫県南部地震における建築基礎被害事例の調査結果を参照し<sup>1)</sup>、その中から液状化と杭基礎の被害を受けた13例について、水平方向は杭間隔基準、鉛直方向は2m間隔の要素分割で地盤 - 杭基礎系へとモデル化し、締固め加振時間10~150秒のSCP工法シミュレーションを段階的に実施し、各地盤モデルの液状化解析結果より、液状化の有無、杭基礎破損の有無を確認した。入力波としては1995年兵庫県南部地震時のポートアイランド(GL-32m)での記録(最大加速度 $5.4\text{m/s}^2$ )を基盤に入力した。図2は一例として被害事例No.1<sup>5)</sup>の地盤モデルにおけるN値

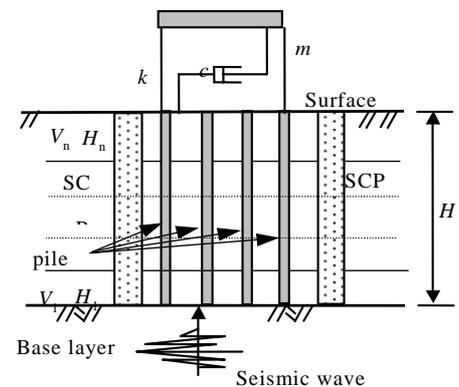
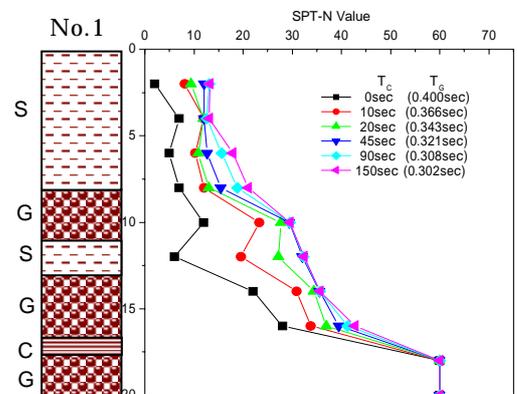
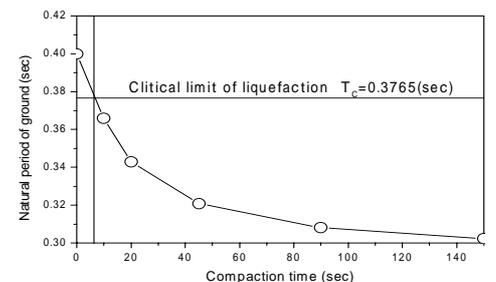


図1 解析モデルの模式図

の鉛直分布と地盤の平均固有周期を示したものである。この地盤は砂及び礫を主体とする構造で、締固めにより地盤の剛性が改善され、平均固有周期は初期地盤の0.40secから最小0.302secまで短くなっている。図2(b)の実線は液状化の限界(液状化指数 $P_L=5$ )を示したもので、締固め加振時間が10sec以上で液状化しにくい地盤となる。図2(b)の関係は液状化防止限界の地盤固有周期決定の目安となるもので、本研究で提案する耐震設計の基本といえる。図3, 4は杭の水平変位と過剰間隙水圧比の最大値の鉛直分布を示したもので、それぞれ被害事例No.1(PC杭)とNo.14(PHC杭)における結果である。図3の事例No.1の場合は、地盤改良により液状化が抑制されるとともに杭の変位も低減しているが、図4の事例No.14では、中間の粘土層の影響で地盤改良の効果が小さく、杭の変位も無対策時とそれほど変わらない結果となっている。図5(a),(b)は、それぞれ図3, 4における杭の曲げ応力の最大値分布を示したものである。両事例とも無対策時には粘土層が存在する付近に曲げ応力が集中し、許容応力7840kPa(既成コンクリート杭の長期許容応力度)を超えるのに対し、(a)の事例No.1では地盤改良によって曲げ応力は低減し杭の破損を防止するが、(b)の事例No.14では地盤改良の効果が小さく、粘土層の存在する深さ12m付近で曲げ応力が集中し、杭の破損を防止できない結果を示している。



(a) Soil profile and SPT-N value



(b) Relation between natural period of ground and compaction time

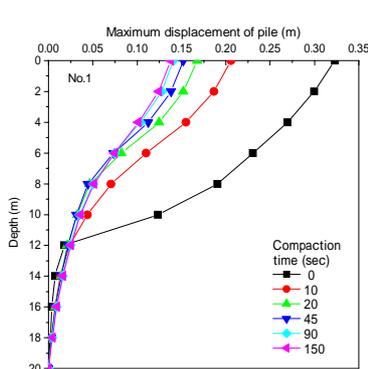
図2 地盤構造と地盤改良結果

キ - ワ - ド : 杭基礎, 液状化, 地盤改良, 固有周期, 耐震設計

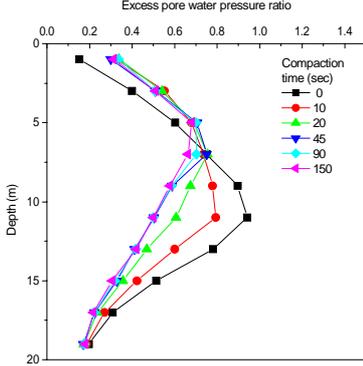
連絡先 : 〒866-8501 八代市平山新町 2627 Tel.0965-53-1346, Fax.0965-53-1349 (被害事例 No.1)

前記の13事例に対して以上のような解析を実施した結果をまとめたものが表1である。表の右2列は液状化と杭破損防止の可否を示しており、液状化と杭破損の両者とも防止できる設計例は13例中5例にとどまっている。とくにNo.14,41,47,63の4例はSCP地盤改良では液状化を防止できない設計結果を示しており、表層の深さ10~20m部分における厚い粘土層の存在が締固めを困難とし被害防止効果に大きく影響していると考えられる。

参考文献 1) 日本建築学会近畿支部調査委員会編：兵庫県南部地震による建築基礎の被害事例報告，1996。2) 秋吉他：土木構造材料論文集，第16号，pp.117-124，2000。3) Akiyosjhi, T. et al., Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993。4) Akiyosjhi, T., et al., Proc. of 9JEES, pp.949-954, 1994。5) 妹尾史郎他：日本建築学会学術講演梗概集，pp.29-32, 1999。

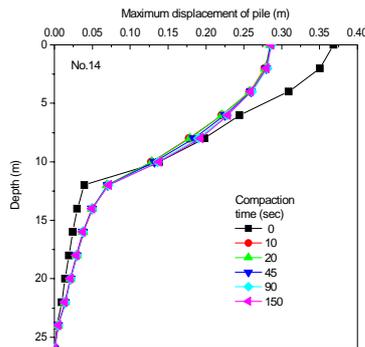


(a) Displacement of pile

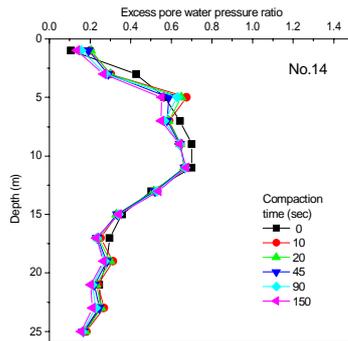


(b) Excess pore water pressure ratio

図3 杭の変位・曲げ応力の最大値分布（被害事例No.1）

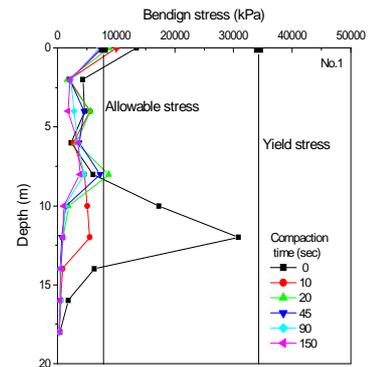


(a) Displacement of pile

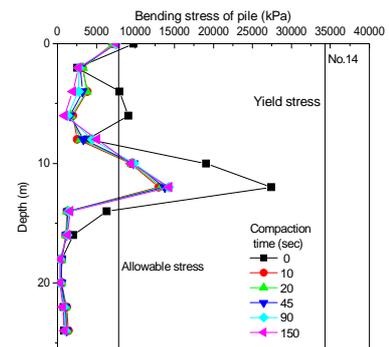


(b) Excess pore water pressure ratio

図4 杭の変位・曲げ応力の最大値分布（被害事例No.14）



(a) Damage example No.1



(b) Damage example No.14

図5 杭の最大曲げ応力の鉛直分布

表2 被害事例に対する地盤改良による液状化と杭破損防止の可否

No.	Depth	Natural period of ground		Distribution of clay layer	Natural period of structure	Possibility of prevention	
		Initial	Improved			Liquefaction	Damage of pile
1	20m	0.400sec	0.321sec	Not exists	0.190sec		
10	36m	0.800sec	0.737sec	20m-30m(10m)	0.160sec		
11	36m	0.800sec	0.728sec	18m-28m(10m)	0.120sec		
31	26m	0.420sec	0.378sec	14m-16m(2m)	0.250sec		
49	46m	1.070sec	0.970sec	24m-32m(8m)	0.240sec		
14	26m	0.360sec	-	12m-20m(8m), 22m-24m(2m)	0.100sec	×	×
41	38m	0.720sec	-	16m-26m(10m)	0.220sec	×	×
47	30m	0.630sec	-	4m-22m(18m)	0.380sec	×	×
63	32m	0.490sec	-	12m-20m(8m), 24m-26m(2m)	0.260sec	×	×
13	40m	0.700sec	0.648sec	22m-26m(4m), 38m-40m(2m)	0.330sec		×
43	22m	0.470sec	0.420sec	14m-16m(2m), 20m-22m(2m)	0.220sec		×
62	40m	0.873sec	0.852sec	16m-18m(2m), 22m-34m(12m)	0.380sec		×
67	40m	1.120sec	0.964sec	2m-6m(4m), 16m-20m(4m), 24m-26m(2m), 30m-32m(2m), 38m-40m(2m)	0.180sec	×	

( : Preventable, × : Not preventable)