

地盤改良による地震被害杭の再耐震設計について

熊本大学 学生員 〇田口昌平
八代高专 正 員 瀧田邦彦

熊本大学 正 員 秋吉 卓
熊本大学 非会員 藤納慎吾

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震では、強い地震動により比較的固い地盤では構造物が直接的に被害が生じた他に、埋立地や臨海部など軟弱地盤地域において地盤の液状化や側方流動による構造物の基礎部破損およびそれに伴う構造物の傾斜などの被害が多く見られた。構造物に関しては、耐震設計基準の改訂や既存構造物に対する耐震補強や制振(震)構法および免震構法などの設計法が確立されつつある。しかし、軟弱地盤における杭基礎構法については、地盤の振動特性が強震時の地盤剛性の変化に伴い変動することから、杭基礎側が受ける影響も複雑なものとなる。さらに、地盤-基礎系と上部構造物系の振動特性が不均衡となると、片方あるいは両方が被災する可能性もあるため地盤の振動特性改善を目的とした地盤改良に関しても、その施工条件などに対応していない場合が多い。そこで本研究では、地震での被害事例について、サンドコンパクションパイル(SCP)工法による地盤改良を新規に施したとき、軟弱地盤に対して杭支持構造物の再耐震設計が可能かどうかを検討する。

2. 解析手法

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 WAP3¹⁾を用いる。また、表層地盤の液状化解析、杭基礎の応力解析においては、2次元有効応力解析プログラム NUW2²⁾を用いた。以上のプロセスにおいては、液状化防止と杭基礎の破壊を起こさせないという制約条件下で、SCP 工法の最適な施工条件(締固め加振時間)の設定が可能かどうか検討することと、解析対象として、1995 年兵庫県南部地震で被災した杭支持構造物を取り上げて検討する。

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、示すことにする。また、解析対象地盤は、参考文献³⁾の整理番号 No.43 による地盤を用いて解析を行った。この原地盤は、図 1 に示すように 0~14m においては砂系飽和地盤で構成されており、地盤剛性が小さく液状化しやすい地盤と考えられる。また、それより下部は粘土層で構成されており、N 値 20 以上の堅い地盤となっている。地盤の初期固有周期 T_G は、 $T_G = 0.470\text{sec}$ である。杭基礎は $\phi 350\text{mm}$ の AC 杭が使われており、

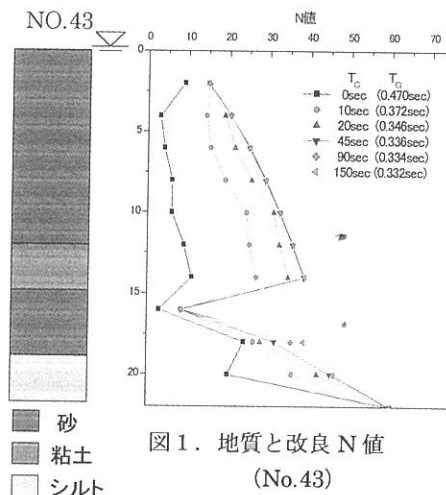


図 1. 地質と改良 N 値
(No.43)

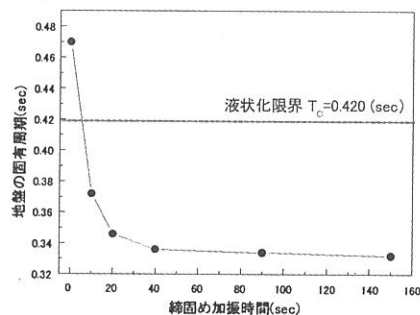


図 2. 地盤固有周期と締固め加振時間

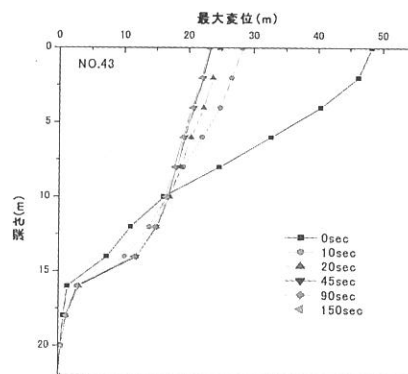


図 3. 地盤の最大変位の鉛直分布

Key words : 杭基礎、液状化、曲げ応力、締固め、SCP、有効応力解析

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

本事例では、液状化・沈下・杭頭破壊が生じていた。SCP 工法による締固めであるが、0～14m においてはN値が非常に大きくなり地盤剛性の増加が見られるが、それより下部では砂杭の圧入による程度の増加しか見られない。

まず、液状化防止について考察する。図2は、SCP 工法における1ステージあたりの締固め加振時間 T_c と地盤の固有周期 T_G の関係を表したものであるが、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 $T_G=0.420\text{sec}$ 以下に設計しなければならない。つまり、液状化防止のためには $T_c=10\text{sec}$ 以上で設計すればよいことが分かる。図3からも液状化による地盤の変位が低減されていることが分かる。

次に、杭基礎にかかる曲げ応力から、杭破壊防止が可能かどうか、可能ならば T_c を設定することで、杭を設計することができることを示す。ここで、図4から地盤下部に大きな力が生じている。特に、対策後には初期地盤よりも大きな応力が集中的にかかっており、締固めによる地盤改良が必ずしも杭の応力を低減するものでないことが分かった。結論として、この事例では杭破壊防止の条件は満たせないということになる。これらをまとめたものが表1であるが、SCP 工法では耐震設計が困難なものがあることが分かった。

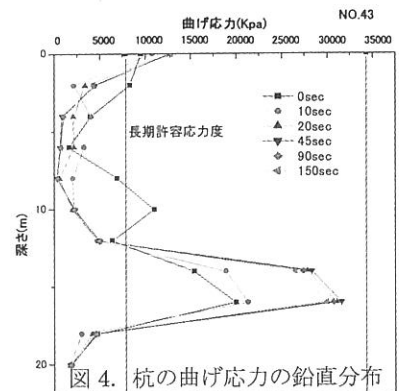


図4. 杭の曲げ応力の鉛直分布

NO.	地盤深さ	地盤固有周期		粘土層の状態	構造物固有周期	基礎部破壊防止の成否	
		初期	最適 SCP 後			液状化防止	杭破壊防止
1	20m	0.400sec	0.321sec	ほぼなし	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	×	○

(○：可能、×：不可能)

表1. 被害事例一覧表

4. まとめ

その他の結果については講演時にゆずる。

参考文献

- 1) Akiyoshi, T. et al, Proc. 9JEES, pp.949-945, 1994.
- 2) Akiyoshi, T. et al, Int.J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993.
- 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.