

ひずみ制御型繰返し三軸試験によるSCP改良効果の評価

東北大学工学部 学生員○安中 雅人
東北大学大学院 学生員 増田 昌昭
東北大学工学部 正会員 風間 基樹

1. はじめに

1995年1月の兵庫県南部地震により阪神地区は多大の被害を被った。特に神戸ポートアイランドでは、液状化によって、人工島が数十cm沈下するという被害が発生した。しかしながら、人工島の被害を詳細に調べてみると、地盤改良が施された地盤の沈下量は小さく、液状化に対する一定の地盤改良効果が実証されたとも言える¹⁾。

液状化対策のための地盤改良工法の中にサンドコンパクションバイブル工法（SCP工法）がある²⁾。この工法は、地盤中に密な砂柱を構築し、原地盤を高密度化する工法であり、粘性土から砂質土まで効果が期待できる工法である。この工法では、設計で考慮される砂杭のピッチやその効果をN値の増加をもって評価しているのが現状である。SCPが施される地盤は多種多様であることから、工法の実施に当たって試験工事を先行的に行ったり、施工しながらN値の増加を確認しながら行われることが多い。本研究では、このSCP改良のうち、液状化対策としての同工法の効果を室内試験レベルで評価するための方法論を述べ、その適用を試みたのでそれを報告する。なお、阪神大震災級の地震動レベルの荷重を受ける場合、埋立地での液状化対策の在り方が現在解決すべき緊急の課題になっている。

2. SCP改良効果の評価方法

SCPの改良効果は、砂質系の原地盤においては打設時の高密度化、粘性土系の地盤に対してはそれに加えて打設後の圧密による効果が期待できる。この効果は、一般的には施工前後のN値の増加によって判断されている。しかし、粘性土系の地盤に対しては、改良効果が即時に現れることが少なく、特に細粒分を含む地盤に対する効果の評価が問題になっている。そこで、ここでは特に細粒分を多く含む土にも適用できるような評価方法を以下のように提案する。

SCP改良による土の液状化強度の増加の評価を、定ひずみの繰返し三軸試験を用いて行う。従来行われているような一定応力の繰返し試験を用いない理由は、一回の試験によっていわゆる液状化強度曲線に対応するものを得ることができることと、繰返しによるせん断抵抗の喪失を表現できると思われるからである。また、密度上昇や圧密による強度増加を原地盤に対する過圧密の効果と捉ることとする。例えば、図-1のように、OCRの変化によって増加する強度の割合がある一定の関係を示すとする。図-1は、永瀬ら³⁾が行った一定応力繰返し三軸試験から求めたOCRと液状化強度増加率の関係を示しており、液状化強度はOCRのほぼ0.5乗に比例して増加している。これは、過圧密の効果の入っていない改良前原地盤の過圧密による強度増加曲線を表す。一方、改良効果があるならば、改良前後の地盤の液状化強度を書くと、図-2のようになるはずである。したがって、原位置の鉛直応力を正規圧密応力と考えて強度増加率を評価したならば、図-3のようになることになる。すなわち、図-2あるいは図-3からわかるようにSCPの改良効果は等価な過圧密効果を持って評価できることになる。この方法は、SCPの効果を等価なプレロードの效果に換算するという意味あいもある。以上がここで提案する方法論である。

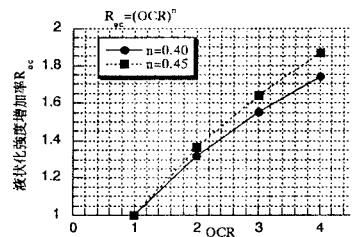


図1 OCR～液状化強度増加率関係

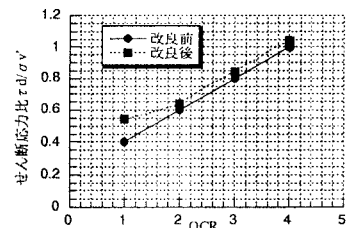


図2 OCR～液状化強度関係

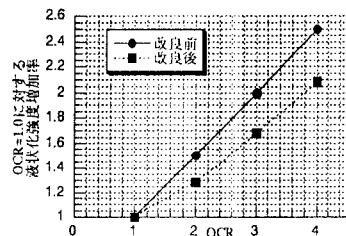


図3 OCR～液状化強度増加率関係

3. 細粒分を多く含む地盤への適用

前章で説明した評価方法の実地盤への適用を試みた。対象としたのは、東京国際空港で行われたSCP改良試験工事で得られたSCP改良後の杭間不攪乱試料（以下試料Aと呼ぶ）と改良前の埋め土地盤の同じく不攪乱試料（以下試料Bと呼ぶ）である。二つの試料

表1 試料の物理特性

	土粒子密度	乾燥密度	細粒分含有率	平均粒径 (mm)	間隙比	N値
	Gs	ρ_d	Fc	D50	e	N
試料A	2.673	1.407	33.0	1.509	0.904	12
試料B	2.687	1.375	53.0	0.0815	0.971	9

は、いずれも埋立地盤であり、細粒分を30-40%含む土である。その試料の物理特性を表-1に示す⁴⁾。残念ながら、両地盤の試料は同一地点で採取されたものでない。しかしながら、仮に二つの試料のOCRの増加による液状化に対する強度増加が同じならば、前章で示した評価が可能である。

(1)ひずみ制御非排水繰返し三軸試験試験 供試体寸法は、高さ10cm、直径5cmである。試料Aは、深さ3.5~4.7mから採取されたもので、有効土被り圧は0.465kgf/cm²、試料Bは深さ8~9mから採取されたもので有効土被り圧は、0.930kgf/cm²である。各試料はそれぞれOCR=1.0、2.0、3.0、4.0に相当する応力条件のもとで圧密した後、せん断ひずみ片振幅1%の定ひずみ繰返し三軸試験を行った。載荷速度は0.1Hzで行った。なお、定ひずみ繰返しせん断試験の液状化抵抗は、繰返しに伴う、せん断応力の低下をから評価することとした。

(2)試験結果 図4(A)(B)に繰返しせん断応力と繰返し回数の関係を示す。定ひずみ繰返しせん断によって間隙水圧が上昇するとともにせん断応力比は小さくなる。

図から、過圧密履歴が液状化抵抗の上昇に寄与していることが分かる。しかし、試料Aは繰返しが100回を越えても、まだある程度の強度を持っており、繰返しにより劣化が生じているが液状化に至ったとは見えないような粘性土特有の性質を示している。一方、試料Bは、過剰間隙水圧の上昇に伴って、せん断抵抗が失われており、液状化したと言えるであろう。また、試料AのOCR3と4の間では過圧密の効果が逆転している。試料の説明では述べなかったが、試料Aには細粒分と同時にレキが多く含まれており、試験結果にこの影響が現れていると考えている。次に、繰返し回数N=20の時の応力比に着目し、そのときの応力比とOCRの関係を図-5に示す。試料Bの結果は、ほぼOCRと一定の関係があるように見えるが、試料AはOCR=3の結果が異常である。総じて、この実験にみる限り、2章で説明したような関係は得られなかった。

4. 結論

本研究ではSCP改良地盤液状化対策効果を室内試験レベルで評価する方法を提案し、実地盤に適用した。実験結果は、評価方法の妥当性を十分支持するものになっているとは言えないが、今後良質な試料について再検討する予定である。

参考文献 1)YASUDA, S. et al.: EFFECT OF SOIL IMPROVEMENT ON GROUND SUBSIDENCE DUE TO LIQUEFACTION, Special Issue of Soils And Foundations pp.99-107, Jan 1996. 2)軟弱地盤対策工法：土質工学会編 3)永瀬英生，宍道玲：過圧密履歴を受けた不攪乱砂の液状化強度，第30回土質工学研究発表会pp.845-846, 1995.

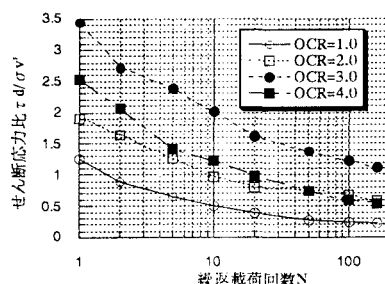


図4(A) 試料A液状化強度曲線(ひずみ1%)

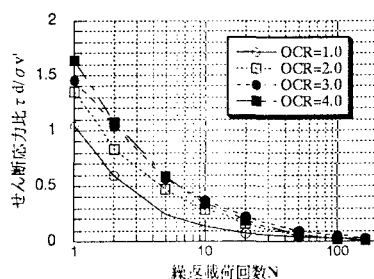


図4(B) 試料B液状化強度曲線(ひずみ1%)

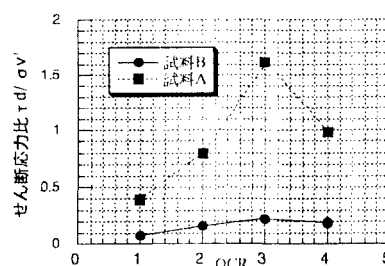


図5 OCR～せん断応力比関係