

地盤の不飽和化による液状化防止工法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 同 正会員 小松 満
 阪神高速道路公団 ○正会員 小川佳裕
 岡山大学大学院 学生会員 吉岡清次
 白石(株) 正会員 大内正敏

1. はじめに

地震発生に伴う噴砂や護岸の崩壊等の液状化による被害が、近年数多く報告されている¹⁾。地下水位が高く、堆積地盤が多いという我が国特有の地理的要因も、被害が拡大しやすい原因のひとつである。社会的な重要構造物である石油備蓄タンクや高層ビル群で、液状化対策が進む一方、都市化、過密化が進む一般庶民の住居や広域のライフラインでは液状化対策がまだある程度しか実施されておらず、地震時には大きな危険性を有する。そこで本研究では、一般庶民の民家を対象とした、過密都市部の地盤における液状化防止工法の提案を目的とした。都市機能に影響なく、小規模かつ低コストである地盤への空気注入という方法に着目し、不飽和化による液状化強度の増大を考慮し、施工方法及びその対策効果の検討を行った。

2. 試料の物理特性

試料として東京地域に分布している有楽町砂を用いた。液状化判定法により液状化すると判断される地盤である。図-1に粒径加積曲線を示す。なお透水係数は 5.6×10^{-4} cm/s、単位体積重量 2.71 g/cm³であり、間隙率 0.48 で各試験を行った。

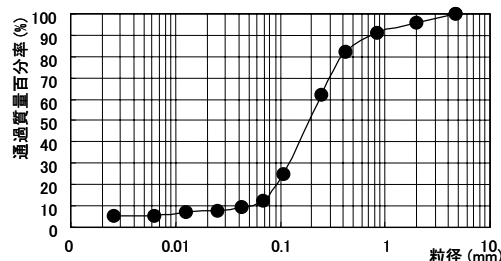


図-1 有楽町砂の粒径加積曲線

3. 空気注入による地盤の不飽和化及び持続性評価試験

空気注入によって地盤を不飽和化する方法及びその持続性について検討した。試験装置図を図-2に、試験結果を表-1、図-3に示す。試験は飽和供試体に上部から10kPaの背圧を加え、間隙水を排水させ不飽和化した後、被圧地盤再現のため49.2kPaの背圧を加えた。No. 3, No. 4のみ排水後、復水を行い、49.2kPaの背圧を加え、飽和度の経時変化を計測した。表-1に示す試験結果より、空気注入により飽和度が31%程度まで飽和度が低下しており、空気注入による不飽和化は可能だと判断できる。また図-3より経時変化より復水をしない場合、飽和度は上昇せず、復水をした場合も飽和度の回復速度が比較的遅く、100日以上経過しても急激な飽和度変化を生じない。この試験結果より、不飽和化した地盤の持続性も十分あると判断できる。

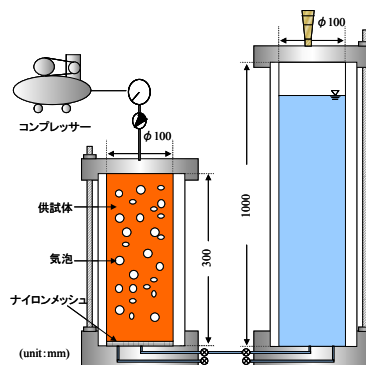


図-2 空気注入試験装置図

表-1 空気注入試験結果

		No.1	No.2	No.3	No.4
供試体 作製条件	間隙率	0.48	0.48	0.48	0.48
	排水前飽和度 (%)	98.5	98.2	98.6	98.5
	排水後飽和度 (%)	30.4	42.3	31.6	31.6
復水条件	DO値 (ppm)	-	-	10.5	10.5
	復水流量 (cm ³ /s)	-	-	0.5	0.5
復水後	飽和度 (%)	-	-	85.1	83.7
温度条件	室温 (°C)	20	20	20	20

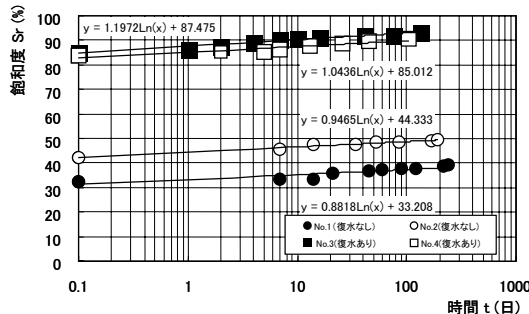


図-3 空気注入試験結果

4. 空気注入による影響評価試験

2次元モデル被圧土槽に空気注入を行い、その飽和度分布状況をFDR計測法を用いて計測した。飽和土槽の中央部に空気注入管を設置し、12.3kPaの空気圧で5cc/min(12.3kPa換算)の注入速度で空気注入を行った。試験結果

キーワード 液状化, 空気注入, 不飽和土

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市津島中 3-1-1

岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科

を図-4 に示す。空気注入を行った場合、まず注入管付近の飽和度が低下し、その後時間的遅れを伴い難透水層下の飽和度が低下した。空気注水量が増加するにつれて、上部から比較的均質に飽和度が低下した。これは水平方向へ空気の滞留が遮られていることも関係しているが、実地盤においても、室内試験と同様の結果が得られると考え、対象地盤を不飽和化することが可能であると言える。

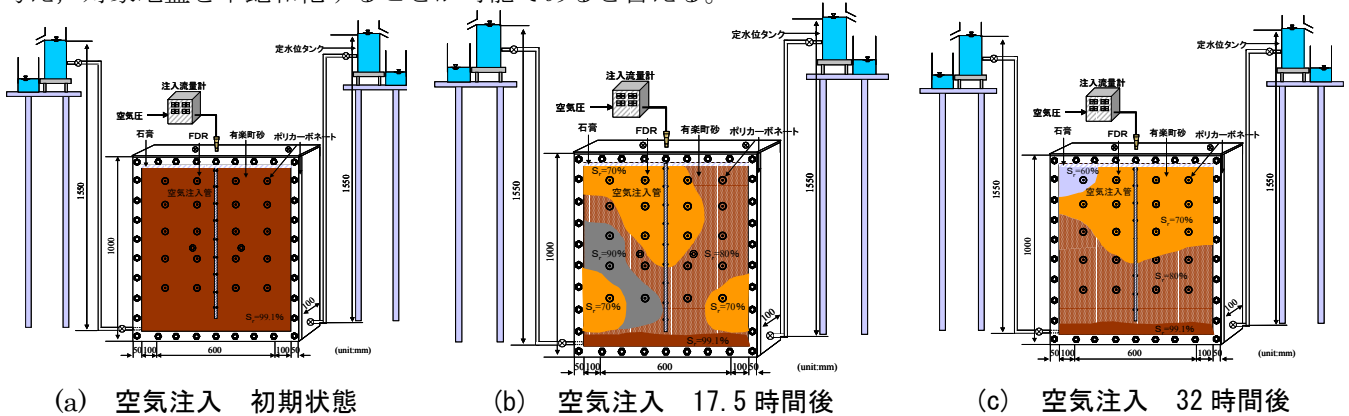


図-4 空気注水量と空気滞留状況結果

5. 繰返し非排水三軸試験を用いた液状化抵抗評価試験

飽和、不飽和両供試体の液状化抵抗の比較を行うため、繰返し非排水三軸試験を行い、それぞれの液状化抵抗を求めた。図-5 に花見川砂と標準砂²⁾を用いた試験結果を示す。不飽和供試体は飽和供試体に比べ、同じ繰返し載荷回数での繰返し応力振幅比が大きいことがわかる。これは不飽和供試体を用いた場合、空気が存在するため間隙水圧が上昇しにくいことが原因である。飽和度を70%まで低下すると液状化強度が約2倍程度まで増加し、不飽和地盤の液状化強度は期待できることが示された。

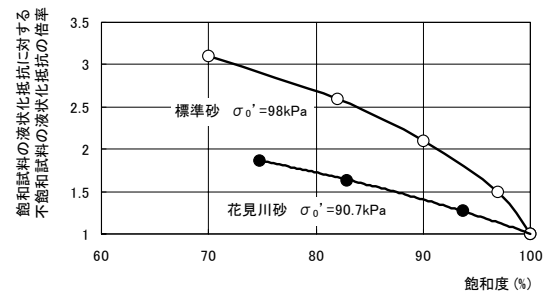


図-5 飽和度と液状化抵抗の試験結果

6. 実地盤での適応方法

本工法の地盤改良目標値は飽和度であり、実地盤で飽和度を確認することは、その地盤の液状化強度、また再度空気注入を行う時期等の維持管理に非常に重要なパラメータである。実地盤の飽和度を測定することは困難であるため、測定可能な比貯留係数を用いて飽和度算定式を導いた。ここで、間隙率 n の値は、飽和地盤の誘電率を測定することによって求められる。

$$S_r = 1 - 1.0 \times 10^{-3} \times S_s / n \quad \text{ここで、} S_r: \text{飽和度}(\%), S_s: \text{比貯留係数}(\text{cm}^{-1}), n: \text{間隙率}.$$

7. 結論

- (1) 地盤への空気注入により、不飽和化及びその持続性について十分液状化対策効果があると判断できる。
- (2) 空気注入管周辺部分の飽和度が卓越して低下せず、比較的均質に飽和度が低下する傾向にある。
- (3) 不飽和地盤において液状化抵抗が増加する理由は、空気が存在するため間隙水圧が上昇しにくいからである。
- (4) 実地盤での飽和度算定式を誘導し、比貯留係数から飽和度が求められることを確認した。

なお、標準砂を用いて不圧帯水層をモデルとして図-2の空気注入試験を行ったが、注入後の残存飽和度は98%程度であった。したがって、地盤内に注入した空気をトラップすることは困難であり、本工法は被圧砂質地盤に有効である。今後の課題として、注入した空気の地下水流動による移動、酸欠空気等の環境への問題がある。

[参考文献]

- 1) 安田進：液状化と流動に挑む，土木学会誌，Vol. 86，No. 5，pp. 31-34，2001.
- 2) 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版，pp. 35，1992.