

空気注入によるシルト地盤の不飽和化

愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対
UC San Diego Ahmed Elgamal

1. はじめに

地盤の液状化は、飽和地盤特有の現象である。わずかでも飽和度を低下することによって液状化強度が著しく増加することはよく知られており、地盤の不飽和化は液状化対策工法のアイデアとしては以前からあった¹⁾。しかしながら、地盤を不飽和化する簡易な方法がなく、また仮に不飽和化できてもその不飽和状態が長期間持続するのか、等の疑問もあり、本格的な実用化に向けた取り組みはなされていない。

一方、地盤中に貫入したケーシングパイプから空気を放出するだけで地盤の飽和度がかなりの程度飽和し²⁾、また一旦不飽和化された砂地盤中の空気が26年経過しても残留した事例などが近年報告され³⁾（図1）、空気注入による地盤不飽和化が安価な液状化対策法として研究されている。

既往の報告では、粒径の比較的大きな砂やレキは空気注入により飽和度が著しく低下するが細粒分をある程度含んだ土やシルトなどはほとんど低下していない。本研究では、粒径の小さな土に対して遠心場にて空気注入実験を行い、細粒土を空気注入により不飽和化できるかどうかを調べた。

2. 実験方法

用いた試料は塑性指数10程度の塑性を有する粘土混じりシルト質砂である。図3に試料の粒径過積曲線を示す。この試料の細粒分含有率は45%、塑性指数は15である。また図1のSCP工法では不飽和化されない範囲の土である($D_{50} < 0.001\text{mm}$)。この試料の水分特性試験を行ったところ、空気侵入圧は32kPaであった。

実験では内径285mmの円筒形容器内にスラリー化した試料を水中落下させ、所定の位置に空気注入ノズルを設置し、70gの遠心加速度場にて自重圧密し飽和地盤を作製した。遠心装置を一旦停止し、層厚を160mmに調節し地表面上に数mmの水を張った後、70gまたは30gの遠心加速度場にて注入ノズルに空圧を供給し、地盤表面をCCDカメラで観察すると共にレーザー変位計で水位を測定した。注入ノズルは地表面から95mmまたは110mmの深さで、地盤の平均的な水中密度は0.9であった。実験は30gと70gで行った合計2ケースであり（表1）、空圧は何れのケースでも段階的に増加させた。

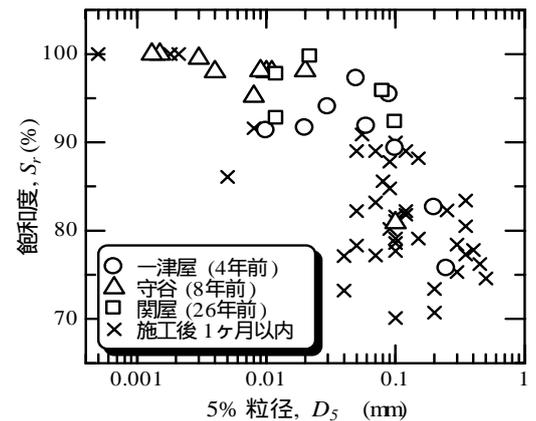


図1 SCP改良地盤の飽和度と土の5%粒径の関係²⁾³⁾.SCP工法では砂杭打設中にケーシング先端から数百kPaの圧力で空気が排出されている。

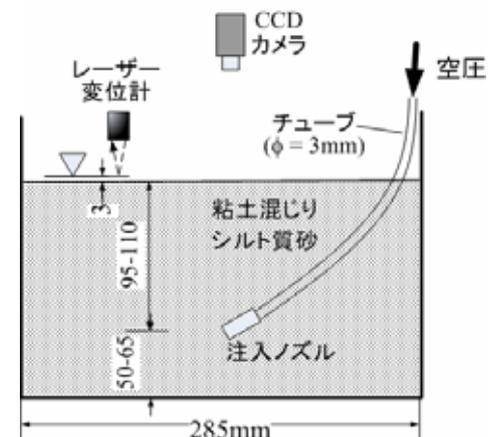


図2 遠心模型の概略

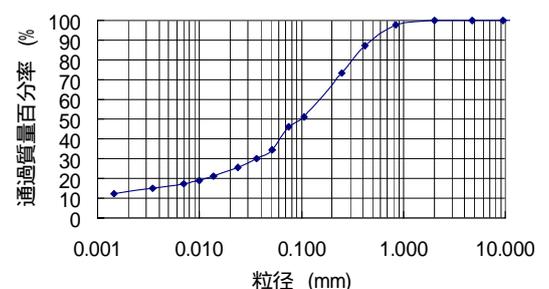


図3 用いた試料の粒度分布

キーワード 液状化, シルト, 液状化対策, 不飽和, 空気注入

連絡先 〒160-0004 愛媛県松山市文京町3番 Tel 089-927-9820

3．結果及び考察

空気注入ノズル位置における静水圧は，表 1 に示す通り 70g では 79kPa，30g 場では 34kPa である．図 4(a) は供給した 70g 場での実験で計測された水位高さと空気圧の時間変化である．空気注入圧が 108kPa の間は水位及び地表面の様子に変化はなく，空気圧を 122kPa にすると水位が上昇し始めた．これより，地盤中に空気を注入するためには静水圧に加えおよそ 30～40kPa の圧力を与える必要があり，この圧力は空気侵入圧にほぼ等しい．その後空気圧を 135kPa として放置したところ，およそ 30 分後に水位の上昇が止まったので，空気の供給を停止し，水位が落ち着いた後に遠心装置を停止した．このときまでに水位は約 2mm 上昇した．実験中に地盤表面からは気泡の噴出が観察された．図 5 は実験終了後の地表面の噴出跡のスケッチであり，地表面のほぼ全域から気泡が噴出したことがわかる．ノズル設置深度よりも浅部の地盤が一様に不飽和化されたと仮定し，水位上昇分を地盤中に残留した気泡の体積として飽和度を求めると 95% である．

一方，30g 場で空気を注入した実験の空気圧，水面高さの時間変化を図 4(b) に示す．空気圧を 27kPa から段階的に上昇したが水位はほとんど変化せず，空気圧を 54kPa としたところでチューブの周囲と容器側面の 2 力所から空気が噴出し，残留水位の変化も見られなかった．ノズル位置での全土被り圧は約 55kPa であり，空気圧が全土被り圧とほぼ等しくなったところで地盤中に空気みちが形成されたものと考えられる．

以上より，地盤中に空気を注入するためにはノズルに静水圧と土の空気侵入圧の和以上の圧力を供給する必要があること，この圧力が全土被り圧以下であれば地盤は不飽和化されるが全土被り圧以上であると空気みちが形成され地盤は不飽和されないことがわかる．

表 1 空気注入口での圧力

	遠心 加速度	静水圧 (kPa)	有効土被り 圧(kPa)	空気注入圧 (kPa)
SI1	70g	78.6	70.7	108,122,135
SI2	30g	33.7	30.3	27,36,45,54

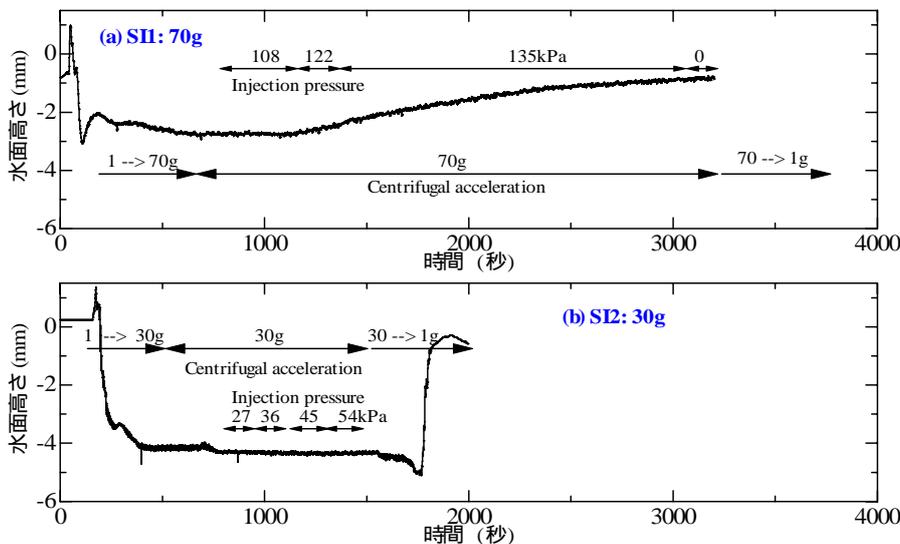


図 4 水面高さ，空気圧，遠心加速度の時間変化

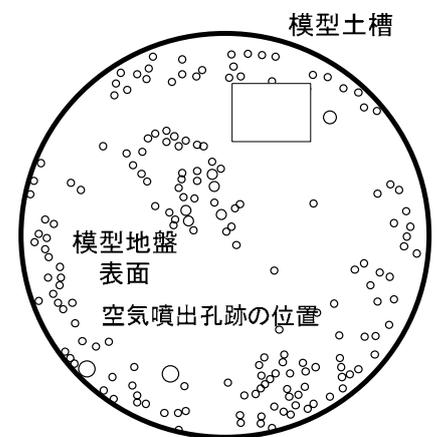


図 5 70g 場での注入後の地盤表面の噴出跡

4．まとめ

本研究では細粒分を比較的多く含む土を用い，遠心模型実験装置により空気注入実験を行った．その結果，細粒土は空気侵入圧が大きく，特に地盤浅部では空気注入に必要な圧力が土被り圧を超えるため不飽和化することが困難であるが，土被り圧が大きな条件では細粒土でも空気注入によって不飽和化できることがわかった．

参考文献

- 1) 白石：地震による液状化地盤の側方流動と液状化防止法私案，土と基礎，47(10)，31-34，1999
- 2) Okamura ら：Liquefaction resistance of sand deposit improved with sand compaction piles, Soils and Foundations, 43(5), 175-187, 2003
- 3) Okamura ら：Degree of Saturation and Liquefaction Resistances of Sand Improved with SCP, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132(2), 258-264, 2006