

飽和地盤への空気注入による不飽和化挙動に関する実験的研究

香川セキスイハイム(株) 正会員 ○細川晃一
 愛媛大学大学院 学生会員 増田雅士
 愛媛大学大学院 正会員 岡村未対
 東京工業大学大学院 学生会員 五十嵐玲奈
 東京工業大学大学院 正会員 竹村次朗

1. はじめに

土の液状化強度は、飽和度の減少と共に急激に増加することが知られており、地盤を不飽和化することが出来れば有効な液状化対策となり得る。地盤を不飽和化する方法のひとつとして、地盤中に空気を注入することがあげられ、これがコスト的にも優れていると考えられる。過去の研究では縮小模型実験を用いた空気注入実験は行われているものの、注入された空気の挙動や不飽和化される地盤範囲、飽和度などについてはほとんど明らかとなっていない。また縮小模型実験では深い地盤における応力状態を再現できないため、実地盤における現象を再現できないというデメリットがある。そこで本研究では、縮小模型実験ながら実地盤と同等の応力レベルを模型内に再現できる遠心模型実験装置を用い、飽和地盤への空気注入実験を行った。また不飽和化地盤の液状化強度を検討するため、遠心場において動的加振実験を行った。

2. 模型地盤

模型地盤は、図1に示す特性を持つ8号珪砂を用いて作製した。まず乾燥した8号珪砂を空中落下させて相対密度約60%に作製し、脱気槽内で土槽底部より脱気水をゆっくりと浸透させて飽和した。地盤作成の際、体積含水率測定用のTDR水分計、加速度計、間隙水圧計を地盤内の所定の位置に設置した。模型地盤の概要を表1に、測定器配置箇所を図2に示す。図中の変位計は地盤表面及び水位の変化を計測するためのものである。また空気の注入圧力によって地盤に割裂クラックが発生することを防ぐために地盤表面に層厚約5.0cmのジルコン砂(土粒子比重 4.7)を敷設し上載圧を付与して実験を行った。

3. 遠心模型実験

実験は、東京工業大学の MarkIII 遠心模型実験装置を用いて行った¹⁾。実験ケース1では模型地盤を遠心模型実験装置に搭載し、地盤中央位置において47Gの遠心加速度を与えた

のち、模型地盤中央底部に設置した無数の細孔を有するインジェクションパイプに圧力制御にて空気圧を供給し、空気を注入した。圧力は時間とともに段階的に上昇させた。このとき TDR 水分計と水位測定用の変位計により、地中の空気量を測定するとともに、ビデオカメラによって地盤側面の様子を観察した。

ケース4では空気注入実験とは別に、遠心場において地盤の水位を一度低下させ、再び覆水することにより作製した不飽和地盤を加速度振幅 30g、100Hz の正弦波で加振した。またケース3は比較のために行った

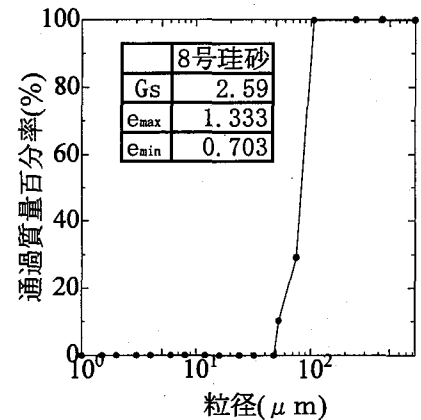


図1 試料の物理特性

表1 実験概要

実験ケース	case1	case2	case3	case4
地盤高さ(cm)	15.3	16.0	15.4	15.0
間隙比	0.76	0.88	0.92	0.92
上載圧(kPa)	69	40	34	35
加振加速度振幅(G)	47	1	30	30
遠心加速度(G)	47	1	47	47

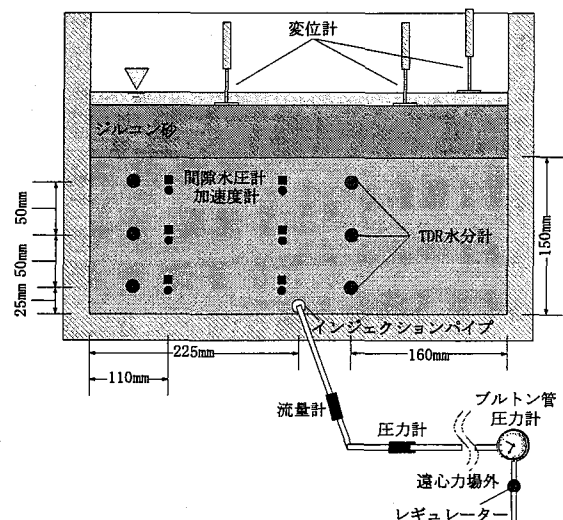


図2 地盤概要及び測定器設置図

飽和地盤の加振実験である。

4. 実験結果

図 3(a)は実験ケース 1 における空気注入実験中の供給空気圧、模型地盤の水面高さの変化量、及び TDR 水分計で測定した体積含水率の変化量の時間変化を示したものである。図 3(a)から約 1500 秒付近で空気が入り始め、空気供給圧力を上昇するとともに水面も上昇していることがわかる。TDR 水分計の値は最大で 2.0%程度減少した。また地盤側面のビデオカメラより地盤全体に空気の層が広がる様子が確認された。このことより地盤全体が不飽和化されたものと考えられる。しかしながら空気注入停止後の残留水位の上昇量は約 0.7mm であり、この 0.7mm の上昇量は地盤全体の平均飽和度に換算すると飽和度 99.0%となる。

図 3(b)は同試料を用いた重力場での空気注入実験(ケース 2)の結果である。地盤高さ、上載圧は遠心場での実験とほぼ同様の条件で行ったが、こ

の実験では水位は最大で約 45mm 上昇し、空気注入停止後、一日経過後の残留水位上昇量は約 25mm(地盤の平均飽和度約 68%)であり、遠心場での実験と比べ、飽和度の低下は大きい。遠心場においては地盤中の気泡に作用する浮力が 1G 場と比べ大きくなるため空気が地盤表面に向けて抜けやすくなり、結果的に飽和度の低下が小さいものとなったと考えられる。

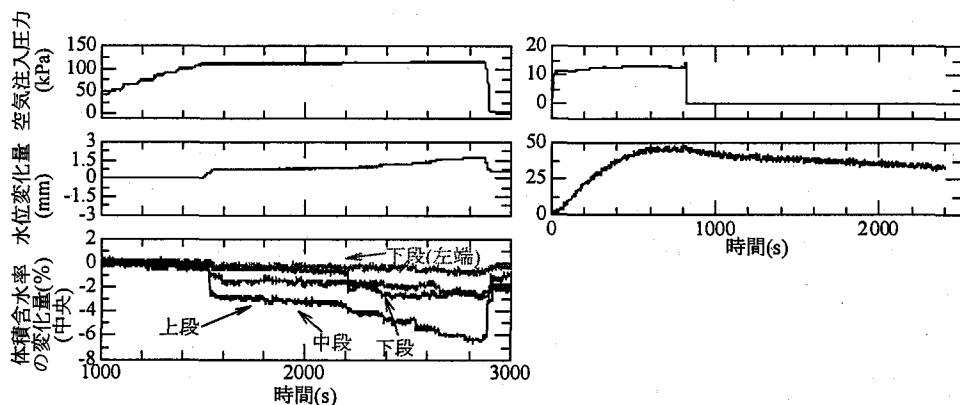
図 4 は水位低下・覆水により不飽和化した地盤(ケース 3)と無対策の飽和地盤(ケース 4)に対して行った動的加振実験の結果である。図は加振時の過剰間隙水圧比の時刻歴を示しており、不飽和化地盤の方が飽和地盤に比べ過剰間隙水圧の上昇が抑えられていることがわかる。また地盤下層の方が上層より液状化強度の増加が大きいことが確認できる。これは空気の圧縮効果が深さ方向に依存するためである⁽²⁾。

5. まとめ

本研究では遠心場において飽和地盤に空気を注入した。遠心場において実験を行うことで地盤に割裂クラックが発生することなく地盤全体が不飽和化されたことを確認した。しかし、残留飽和度の低下という面では重力場に比べ、遠心場ではその低下が小さいことがわかった。

不飽和地盤の液状化強度を模型地盤により検討する場合、地盤の応力状態を実地盤と同等にする必要があるが⁽³⁾、遠心場において動的加振実験を行うことにより、不飽和化された地盤全体の液状化強度が増加することを確認した。

参考文献：1) Takemuraら(2002): Development of horizontal-vertical 2D shaker in a centrifuge, Proc. Physical Modelling in Geotechnics、2)曾我泰匡ら:不飽和度の液状化強度に及ぼす空気の圧縮性の影響,第40回地盤工学研究発表会,pp.511-512,2005、3)Okamuraら(2006):Effect on liquefaction resistance of volumetric strain of pore fluid, S&F,46(5)



(a)遠心場 (b)重力場
図 3 空気注入圧力、水面変化量、体積含水率の変化量

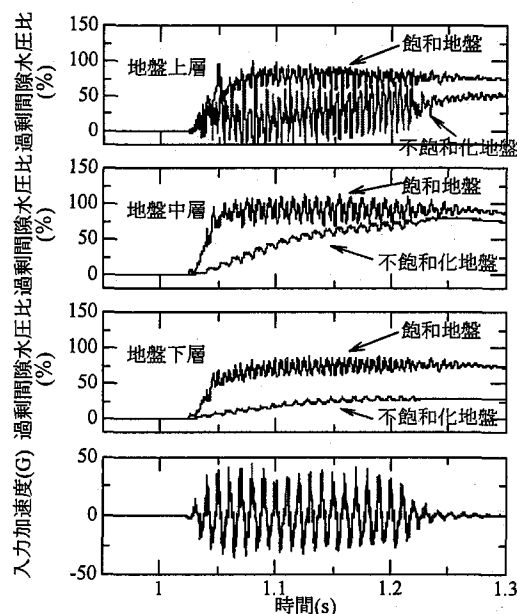


図 4 過剰間隙水圧の時刻歴