

地盤の不飽和化による液状化時の盛土沈下抑制効果に関する研究

愛媛大学大学院 学生会員 ○岡本辰也

愛媛大学大学院 正会員 岡村未対

1. はじめに

砂の飽和度を低下させることで液状化強度が著しく増加する¹⁾ことが既往の研究により知られており、地盤の不飽和化による液状化対策工法に関する研究が進められている。本研究では、地盤の不飽和化による盛土の沈下抑制効果を検討することを目的とし、縮小模型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動的遠心模型実験を行った。

2. 実験方法

模型地盤概略図及び実験条件を図 1、表 1 に示す。実験は無対策実験と空気注入実験の 2 ケース行った。地盤には珪砂 8 号を用い、底面には $D_r=90\%$ の密な層を約 2cm の厚さで作製し、その上に空中落下法により $D_r=60\%$ の中密な層を約 12cm の厚さで作製した。図 1 に示すように、地盤内に加速度計と水圧計を設置した。また、盛土底面及び天端にポテンシオメーターを設置した。間隙流体にはメチルセルロース水溶液

(50cst) を用い、基礎地盤への通水は地盤を完全に飽和させるべく真空下にて通水した。通水後、一旦大気圧に戻し、土槽全体に約 10kPa 程度の圧力変化を与え、そこで生じた水位変化から地盤中の空気量を算出し飽和度を求めた²⁾。豊浦砂とカオリンを乾燥重量比 3:1 で混合した混合砂を、締固め度 95% に締固めて作製した盛土を地盤上に設置し、遠心装置に搭載した。遠心装置を始動し、ケース 2 では地盤内に設置した空気注入口から空気を送り込むことで盛土直下地盤を不飽和化した。地盤に空気を注入するためには、注入地点における静水圧と空気侵入圧 (AEV) の和以上の注入圧力が必要で、また、注入圧力が地盤の全応力以上になると地盤が割裂して空気みちがで、不飽和化されない³⁾。そのため、空気を注入する際は遠心加速度場で注

入する必要があるが、遠心加速度の増加に伴い、注入された空気に作用する浮力も大きくなり不飽和化される領域が狭くなる⁴⁾ので、遠心加速度 20g 場で空気を注入した。図 2 は空気注入時の注入圧力と土槽底面での水圧の時刻歴である。徐々に注入圧力を上昇させ、最終的に注入圧力を 46kPa まで増加させた。図 2 より、注入圧力が注入口での静水圧と珪砂 8 号の AEV (5kPa) の和 (約 30kPa) を超えたあたりで水圧が急激に上昇し始めており、空気が地盤内に注入されているのが分かる。図 1 に示した空気注入領域は、空気注入による変色した砂の領域を実験後に目視により特定したものである。図 2 より土槽底面での水圧の上昇量と空気注入領域から飽和度を計算すると、空気注入中の最低飽和度は約 51%，空気注入後の残留飽和度は約 93% であった。この実験の飽和度は、五十嵐ら⁴⁾が行った実験結果と良い対応を示している。動的実験は遠心加速度 40g 場で行い、地表面から 1cm の深さまで水位を低下させた後に、最大加速度約 70, 200, 250gal の 3 段階加振を行った。

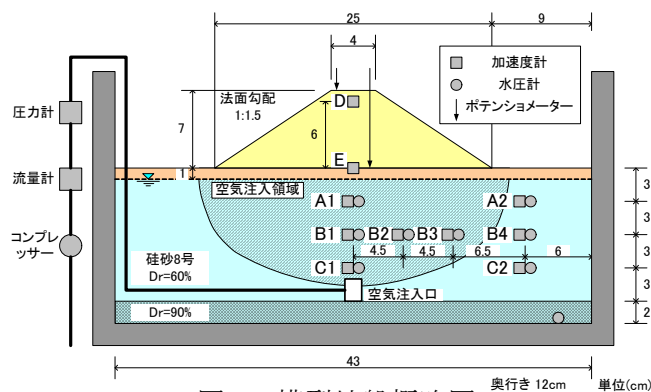


図 1 模型地盤概略図

表 1 実験条件一覧

実験ケース	地盤概要	基礎地盤		盛土
		相対密度 (%)	飽和度 (%)	締固め度 (%)
1	無対策	59.2	99.6	97.3
2	空気注入	59.2	99.3 (空気注入前)	94.7

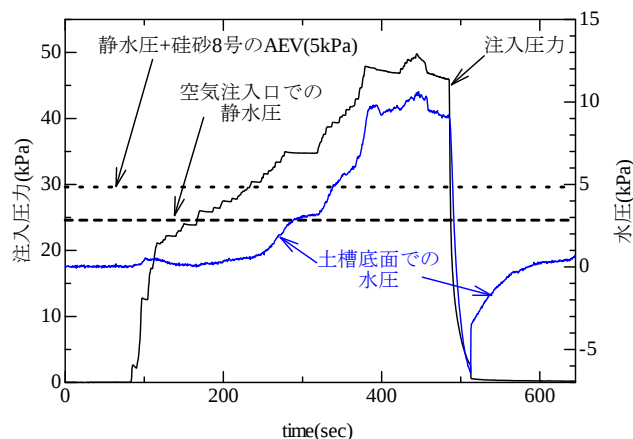


図 2 空気注入時刻歴

3. 実験結果

図 3 は、各段階加振時の入力加速度と、B1・B4・C1 地点の過剰間隙水圧の時刻歴である。70gal 加振では何れのケースも水圧がほとんど上昇していなかった。ケース 2 では空気を注入した不飽和領域内の C1 地点で、200gal 及び 250gal 加振で水圧の上昇が大幅に抑制されており、地盤深層では不飽和化による対策効果が確認できた。飽和領域内の B4 地点では、水圧は上昇しているものの、無対策よりも緩やかに上昇しており、水圧の最大値が小さくなっている。

不飽和化された領域だけでなく、周辺の飽和領域の水圧上昇も抑制された⁵⁾ものと考えられる。不飽和領域内の B1 地点では、無対策と同等の水圧が発生しており、地盤浅層では不飽和化による対策効果が得られていないことが分かる。しかし、水圧の上昇具合は緩やかであり、スパイク波形が見られないことから、地盤を不飽和化することで水圧上昇の仕方に違いが生じることが確認できた。

写真 1, 2 は実験後の写真である。ケース 1 では、 $D_r=60\%$ の層の深層まで変形している。ケース 2 は $D_r=60\%$ の層の浅層が変形していることから、地盤浅層では不飽和化による対策効果が小さいことが分かる。また、ケース 2 では盛土中央にクラックが入った。これは、地盤浅層の側方流動により、盛土は直線的に沈下したことで盛土に引張力が働いたことによるものと考えられる。図 4 に各加振段階の沈下量を累積量で示す。ケース 1 では底面の最終沈下量は約 13mm まで達したのに対し、ケース 2 では約 4mm となり、ケース 1 の約 3 割の沈下量であった。

4. まとめ

空気注入によって不飽和化させた地盤の液状化時の盛土沈下抑制効果を検討するため、動的遠心模型実験を行った。盛土底面の沈下量が無対策の約 3 割に抑制され、不飽和化による盛土沈下抑制効果が確認された。

参考文献：1) M. Okamura and Y. Soga: Effects of pore fluid

compressibility on liquefaction resistance of partially saturated sand, S&F, 46(5), 703-708, 2006 2)岡村未対, 来山博昭: 遠心加速度を利用した飽和地盤の作製法と飽和度計測法に関する研究, 土木学会論文集,

64(3), 2008 3)緒方宏行, 岡村未対: 飽和地盤中に対する空気注入時

の空気挙動に関する実験的研究, 土木学会四国支部平成 18 年自然災害フォーラム論文集, pp.89-92, 2006 4)

五十嵐ひろ子, 岡村未対: 遠心力場における飽和砂地盤への空気注入による地盤不飽和化の挙動, 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, pp.681-682, 2010 5)井上寿幸, 岡村未対: 部分的に不飽和領域が存在する地盤の地震時液状化特性, 土木学会四国支部第 15 回技術発表会講演概要集, pp.191-192, 2009

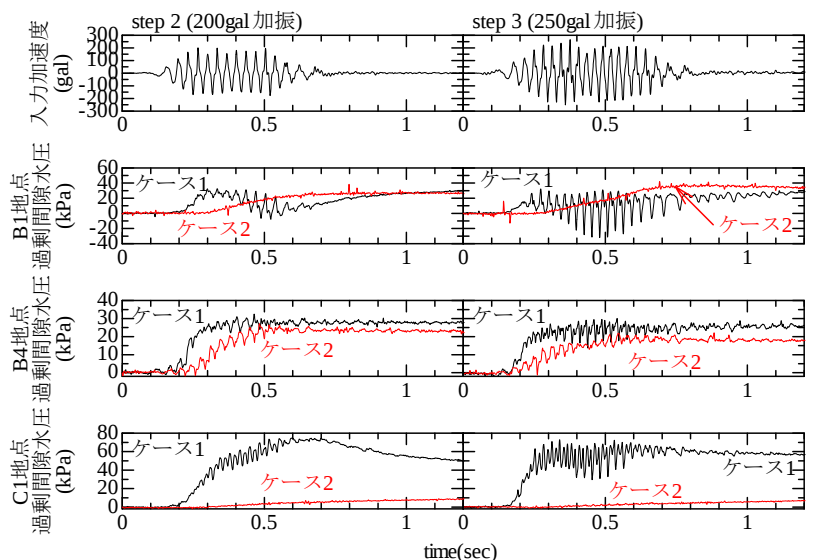


図 3 各段階加振時時刻歴

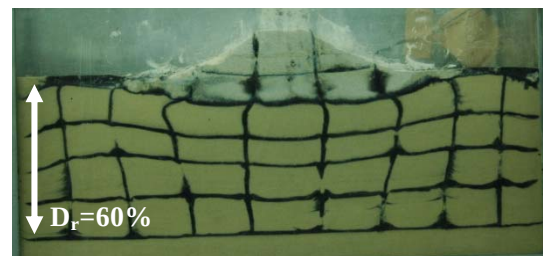


写真 1 ケース 1 実験後



写真 2 ケース 2 実験後

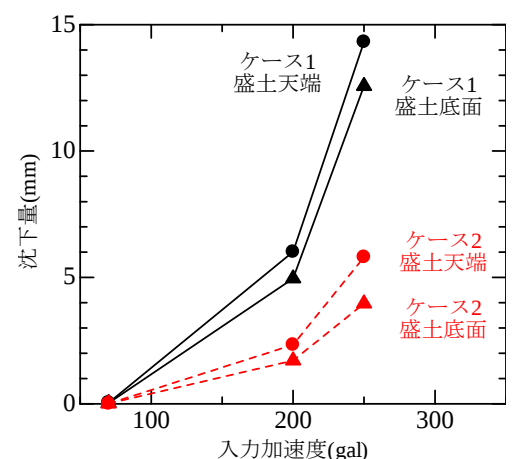


図 4 累積沈下量