

盛土直下を空気注入によって不飽和化した地盤の動的遠心模型実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○相原聡
愛媛大学大学院 正会員 岡村未対

1. はじめに

砂は飽和度を低下させると液状化強度が著しく増加する¹⁾ことから、地盤の不飽和化による安価な液状化対策工が検討されている。本研究では、盛土直下の地盤を空気注入によって不飽和化した地盤の液状化対策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。実験は無対策ケースと、地盤を空気注入によって不飽和化したケースの2ケース行った。地盤は8号硅砂を用い、底面には相対密度が約90%の層を約2cmの厚さで作製し、その上に空気注入口を設置し、空中落下法により相対密度が45%程度のゆるい地盤を作製した。地盤内の5地点に水圧計と加速度計を、盛土の中央域に加速度計を設置し、盛土の天端および底面にポテンショメータを設置した。間隙流体には水を用い、基礎地盤への通水は地盤を完全に飽和させるべく土槽全体に-98kPaの負圧をかけて通水した。通水終了後、いったん大気圧に戻し、さらに土槽全体に約10kPa程度の圧力変化を与え、そこで生じる水位変化から地盤中の空気量を計算して飽和度を求めた²⁾。

飽和度測定後、地盤上に盛土を設置し土槽を遠心装置に搭載した。盛土は豊浦砂とカオリン粘土を乾燥重量比が3:1で混合した試料を用いて作製した。遠心装置を始動し、ケース1では2ヶ所に設置した空気注入口から空気を送り込むことで地盤の一部を不飽和化した。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⁾。そのため遠心加速度場で地盤の応力がある程度大きくした状態で注入する必要があるが、遠心加速度の増加に伴い不飽和領域の幅が減少するため⁴⁾遠心加速度20g場で空気を注入した。図2は空気注入時の空気圧と空気流量の時刻歴である。注入圧力が静水圧と8号硅砂の空気侵入圧(5kPa)の和に等しくなった時点から空気流量が増加し、最終的に注入圧力を静水圧+7kPaまで増加させた。図1に示した地盤の空気注入領域は、空気注入による砂の変色を目視により特定したものである。五十嵐ら⁴⁾は、今回の模型と同様の飽和地盤を作製し、5地点に電気抵抗センサーを設置して、20g場にて本実験ケース1と同様の方法(ただし空気注入口は1箇所のみ)で空気を注入した後に、各地点の残留飽和度を求めている。図3はケース1の空気注入と同じく8号硅砂の地盤に遠心加速度20g場で静水圧+7kPaの注入圧力で空気注入し、注入を停止した後の飽

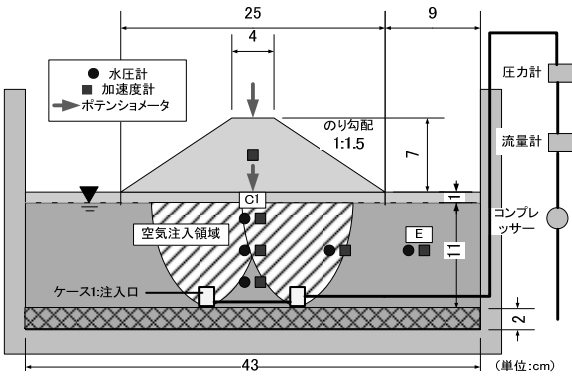


図1 模型地盤概要図

表1 実験条件一覧

ケース	地盤概要	基礎地盤		盛土
		相対密度(%)	飽和度(%)	締固め度(%)
0	無対策	43.8	99.9	94.6
1	地盤空気注入	44.5	99.8(空気注入前)	95.0

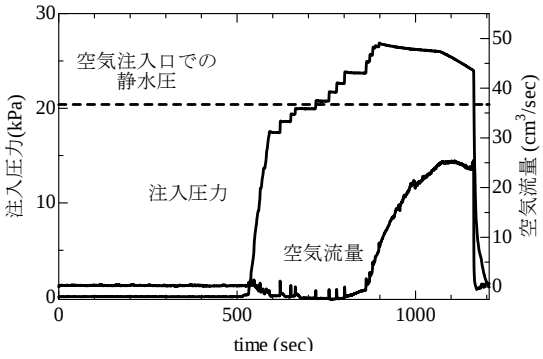


図2 空気注入時刻歴

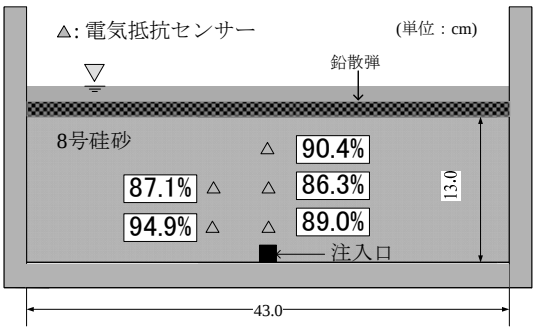


図3 空気注入後飽和度分布⁴⁾

和度の測定結果である。ばらつきはあるが、平均的には飽和度が 90%程度であり、本実験ケース 1 の地盤の不飽和領域の飽和度もこの程度であったと考えられる。動の実験は遠心加速度 40g 場で行い、地表面下 1cm まで水位を低下した後に、最大加速度約 9G と 11G の 2 段階の加振を行った。2 回目の加振は過剰間隙水圧が消散するように十分に時間を空けてから行った。

3. 実験結果

図 4 は各段階の振動時の入力加速度と、C1 地点及び E 地点の過剰間隙水圧の時刻歴である。無対策のケース 0 では両段階で水圧が大きく上昇し、また、応答加速度振幅の大幅な増幅や位相のおくれが見られたことから、地盤が液状化したものと考えられる。一方、ケース 1 では空気が注入された領域の C1 地点だけでなく、飽和領域の E 地点でも水圧の上昇量がケース 0 に比べて大幅に抑えられており、加速度の時刻歴にも上述したような液状化の兆候は見られなかった。地盤の不飽和化による液状化強度増加のメカニズムは、地盤中の空気が圧縮して水圧の上昇を抑えるため¹⁾であるが、不飽和化された領域だけでなくその周辺の飽和領域の水圧上昇も抑制されることは、井上ら⁶⁾によっても実験的に確認されている。図 5 に各段階の振動の沈下量を累積量で表す。ケース 0 では最終沈下量は約 18mm まで達したのに対し、ケース 1 では約 1.2mm となりケース 0 に比べ沈下量が激減した。写真 1、2 は実験終了後の両ケースの写真である。ケース 0 では基礎地盤で大きな変形し、盛土の天端、底面にクラックが発生した。ケース 1 では基礎地盤、盛土ともにほぼ実験前の形状を保っており、無対策に比べ明らかに変形が抑制されていることが分かる。

4. まとめ

盛土直下の基礎地盤を空気注入によって不飽和化させた地盤の液状化対策効果を検討するため、動的遠心模型実験を行った。空気を注入し不飽和化すると、不飽和化された領域だけでなく飽和領域でも水圧上昇が大幅に抑制され、また、沈下量が大幅に減少するなど液状化対策効果が確認された。

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（投稿中） 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 回技術発表会後援概要集 pp191-192

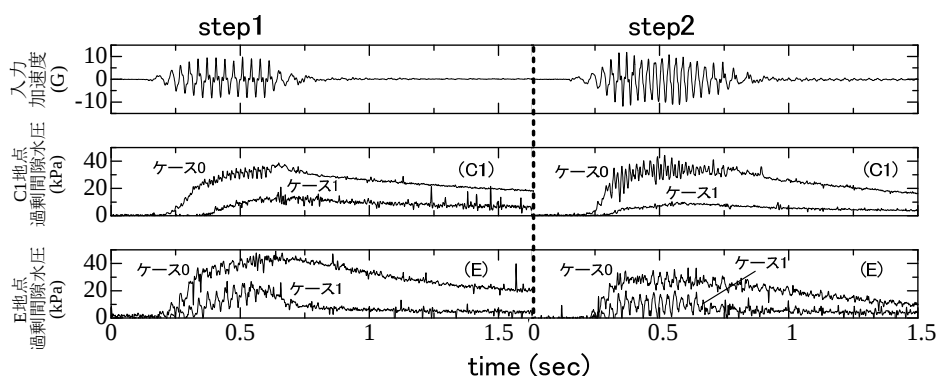


図 4 各段階振動時時刻歴

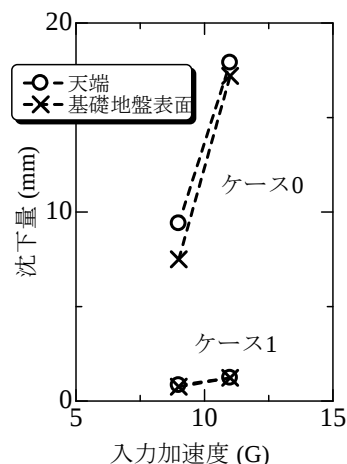


図 5 累積沈下量

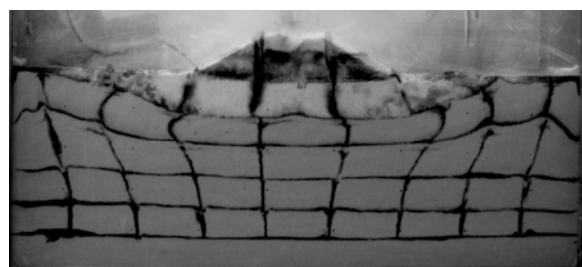


写真 1 ケース 0 実験後

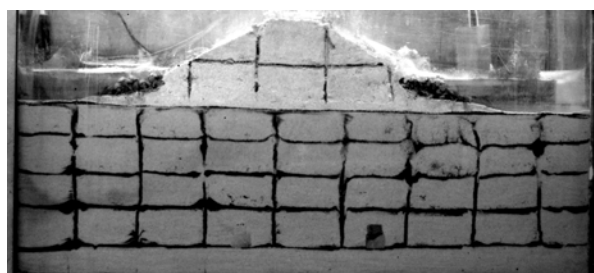


写真 2 ケース 1 実験後