

不飽和砂質地盤上の重力式岸壁の地震時安定性について

液状化 遠心模型実験 不飽和土

大成建設 正会員 ○小松本 奈央美
 東京工業大学大学院 国際会員 竹村 次朗
 東京工業大学大学院 非会員 関 栄

1. はじめに

間隙中に空気が存在する間隙流体の圧縮性が増加し、非排水繰り返しせん断による過剰間隙水圧の発生が抑制され液状化強度が増加し、これを利用した液状化対策として地盤の不飽和化の研究^{1,2)}がなされている。本研究では基礎、背面部に液状化層を有する重力式岸壁を対象として、地盤の地下水位を低下・再上昇させることにより不飽和履歴を与えたモデルを作成し、これに対して遠心模型振動実験を行い、飽和地盤模型の結果と比べることにより不飽和履歴とその範囲が液状化挙動に与える影響について検討した。

表1 試料の物性値

	Silica sand No.8	Silica sand No.3
Specific gravity: G_s	2.65	2.56
Mean particle size: D_{50} (mm)	0.100	1.47
Particle size: D_{10} (mm)	0.041	1.21
Coefficient of uniformity: U_c	2.93	1.26
Max. void ratio: e_{max}	1.333	0.971
Min. void ratio: e_{min}	0.703	0.702
Permeability coefficient: k (m/sec) (k in prototype scale with 50g)	2.0×10^{-5} (1.0×10^{-3})	4.6×10^{-3} (2.3×10^{-1})

2. 実験概要

本実験では表1に示す珪砂8号及び珪砂3号を用いて、液状化層と下部排水層を作成した。実験では、内径150×450×270mmの剛性容器を使用し、土槽底部にまず、締固めた厚さ40mmの珪砂3号を敷き、その上に空中落下法により相対密度(D_r)60%の珪砂8号を厚さ80mm作成し、図1に示す位置にケーソン模型(重さ1.6kg、高さ80mm、幅60mm、奥行150mm)を設置し、裏込め部も同様にして $D_r=60\%$ の珪砂8号を作成した。その後、真空タンク内で脱気水を土槽下部から徐々に浸透させることにより地盤を飽和させた。

飽和模型を50gの遠心力場に置き、図1に示す電磁バルブを開け土槽下部からタンクに排水することにより地盤の水位を低下させた後に、タンクに空圧を供給することで再び初期の水位まで上昇させることで不飽和履歴を与えた。このとき地盤内水位は排水層の間隙水圧計及びスタンドパイプで確認し、地盤内間隙水圧計を間隙水圧計で、体積含水率(飽和度)をTDR水分計で計測した。水位上昇後、体積含水率が一定値になったことを確認し、図2のような入力波を与えた。本研究では表2に示す通り不飽和履歴時の最低水位をパラメータとして計4種類の実験を行った。

表2 実験条件

Test Code	GL160	GL120	GL80	GL0 (Saturated)
Relative density D_r (%)	60			
Minimum water level in GWT lowering Z_{min} (mm)	-160 (2)*	-120 (1.5)*	-80 (1)*	0 (0)*

* Z_{min}/H_c : depth of desaturation normalized by caisson height

3. 実験結果及び考察

(1) 不飽和化過程

図3は、GL160の不飽和化過程の間隙水圧と体積含水率の経時変化である。水位の低下と共に体積含水率は減少し、体積含水率の値がほぼ一定になった後に再び初期の水位まで上昇させているが、体積含水率は初期値よりも低い値であり、空気が残留していることが分かる。

排水前の最大の体積含水率を飽和度100%とし求めた不飽和過程の各時点の飽和度の深さ方向の分布を図4に示す。排水により飽和度は20%程度まで低下した場所では、最終的な残留飽和度は、90%程度となったが、最低水位付近では、最終飽和度も80%程度までしか低下せず、残留値も95%程度となった。また、深度が深い部分の方が飽和度が高いことがわかる。

図5は、GL160の排水時の飽和度と間隙水圧の関係を示す。間隙水圧が-10kPaの地点で飽和度が減少していることから、毛管上昇高さは約1mであることがわかる。これは重力場において本模型地盤と同じサイズで実験したのでは、地盤を不飽和化できないことを意味しており、地下水面を有する地盤のモデル化における遠心模型実験の利点の一つを示している。

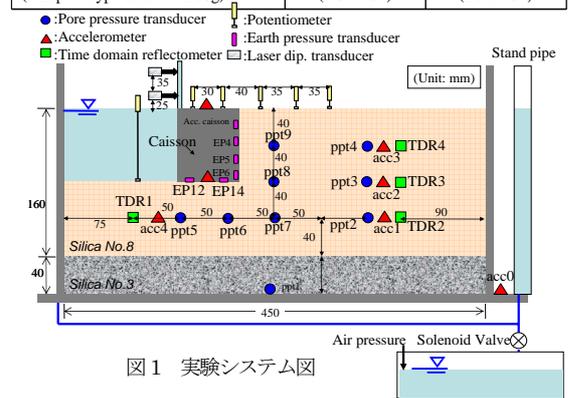


図1 実験システム図

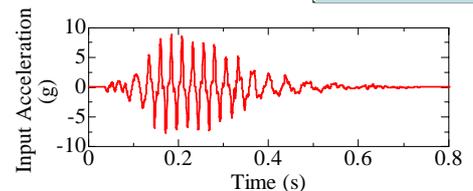


図2 入力加速度

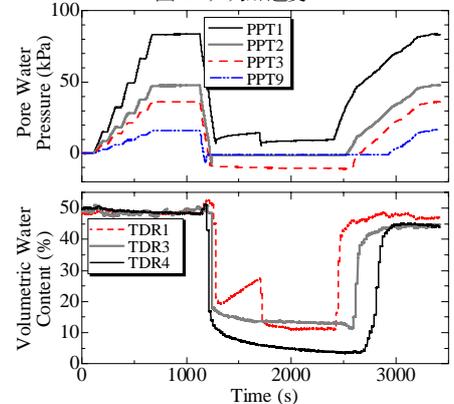


図3 GL160の不飽和化過程の経時変化

Seismic stability of gravity type quay wall on desaturated loose sand
 N.Komatsumoto, S.Seki, J.Takemura (Tokyo Institute of Technology)

(2) 加振実験

図6は各実験ケースにおける加振時の過剰間隙水圧の経時変化である。図中の点線は、有効上載圧 σ_{vo} を示している。飽和地盤のケースであるGL0のPPT5では早い段階で過剰間隙水圧が有効上載圧に達している。一方、不飽和地盤のケースであるGL160はGL0と比べ、過剰間隙水圧の上昇は緩やかで小さく、振動後期の段階で過剰間隙水圧は減少している。また、GL120, GL80に関しては不飽和領域外部分の過剰間隙水圧が上昇していることがわかる。

図7は加振中のケーソンの前面の底面圧(EP12)の経時変化を示している。これより、GL0の振幅がGL160と比べるとかなり大きく出ていることがわかる。この振幅は、ケーソンから地盤への動的荷重によるものと考えられる。また、ケーソン下部前面に設置してある間隙水圧計(PPT5)の過剰間隙水圧の振幅はこの動的荷重により発生すると考えられる。つまり、GL160において過剰間隙水圧が抑制されていることは、ケーソン下部地盤の剛性が増加したということである。

また、フーチングの挙動の経時変化を図8に示す。GL160は、飽和地盤であるGL0のケーソンの水平変位の約1/3、鉛直変位の約1/2、回転角の約1/2程度まで抑えられており、不飽和化の効果を確認することができる。一方、GL120、GL80に関しては、沈下量があまり抑制されておらず、ケーソン下部の液状化層がケーソン変位に与える重要性を確認することができた。

4. まとめ

90~95%に残留飽和度でも、液状化に伴う間隙水圧の上昇、動的な間隙水圧増分を抑えることができる。この間隙水圧抑制により、ケーソンの回転、沈下、水平変位は飽和のケースに比べると小さくなった。また、ケーソン変位は、下部の液状化によって増大するため、変形抑制にはケーソン下部まで不飽和化することの重要性を確認した。

参考文献

- 1) Okamura, M. and Soga, Y. (2006): Effects of pore fluid compression on liquefaction resistance of partially saturated sand, *Soils and Foundations*, 46(5), 695-700.
- 2) Takemura, J. Igarashi, R., Izawa, J., Okamura, M. and Masuda, M. (2009): Centrifuge model tests on soil desaturation as a liquefaction countermeasure, *Proc. 17th ICSMGE*, Alexandria, Vol. 1, 502-505.

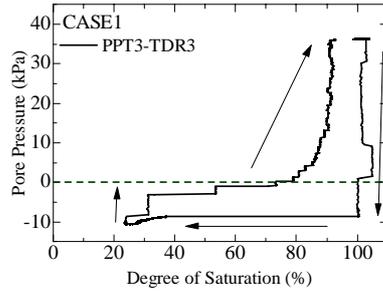


図4 不飽和化過程時の間隙水圧と飽和度の関係

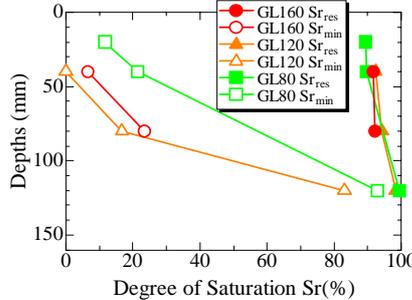


図5 深さ方向の飽和度分布

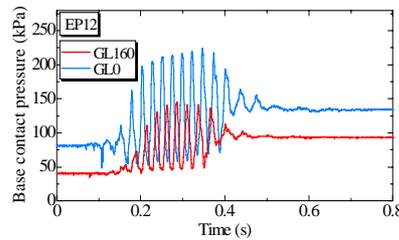


図7 加振時の底面圧の経時変化

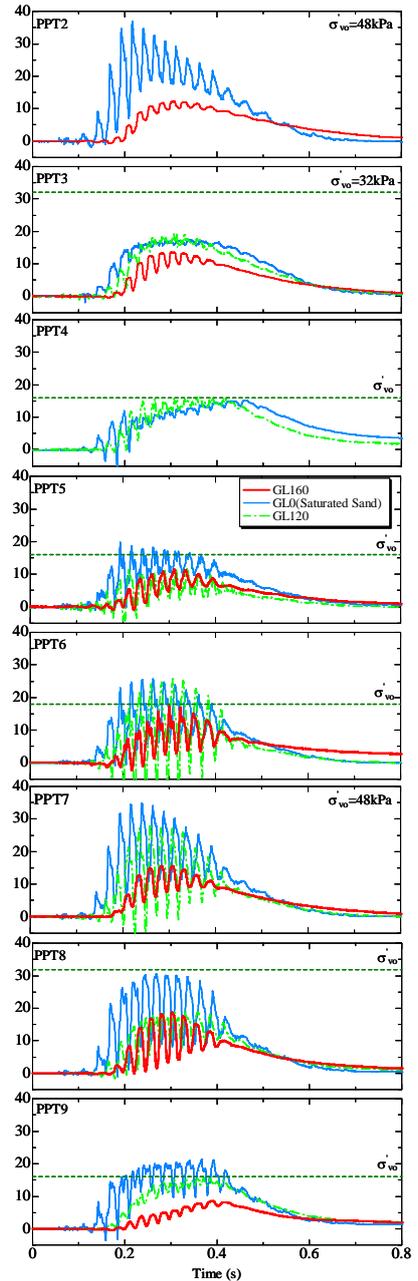


図6 加振時の過剰間隙水圧の経時変化

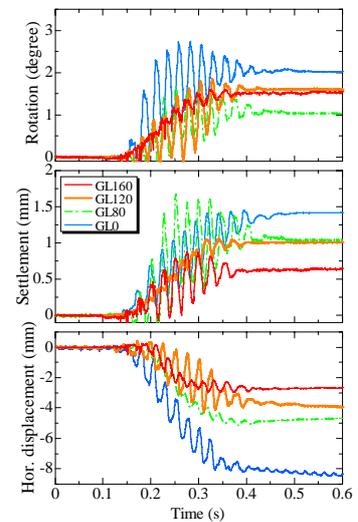


図8 加振時のフーチング変位の経時変化