

千葉工業大学 学生会員 八木 直人 飯田 泰弘 清水 耕治
 千葉工業大学 正会員 小宮 一仁 渡邊 勉 清水 英治

1. はじめに

地盤の液状化に伴う噴砂・噴泥現象は多くの地震で発生し、新潟地震（1964年）を契機に、液状化現象の発生メカニズムに関する研究が数多く行われ、地盤内の過剰間隙水圧の上昇に起因した噴砂・噴泥現象の解明が行われてきた。しかしながら兵庫県南部地震（1995年）では、液状化しにくいと考えられていた均等係数の大きい粗粒の山砂（まさ土）が液状化し、質量約10kgの礫が地表に噴き出すという現象が報告された。このように液状化に伴う噴砂・噴泥現象については、その発生メカニズム等未解明な部分が多い。

本研究は、模型振動実験及び動的過渡応答解析によって、液状化層上部に存在する非液状化層の厚さや形状あるいは剛性の不均一性が、噴砂・噴泥現象の発生にどのように関わっているのかについて基礎的な考察を行ったものである。

2. 実験の概要

図1は、実験装置の概略を示したものである。地盤は、あらかじめ水で満たした土槽（縦30cm×横60cm×高さ36cm）の上面から2mmのふるいを通し、7号珪砂を自由落下させて作成した。地盤の層厚は20cmとし、5cmおきに黒色に着色した珪砂7号をふるいマーカラインを作成した。砂地盤の上層には粘土層を配置し、非排水層をモデル化した。粘土層の密度は一定（ $\rho_s=1.76\text{gf/cm}^3$ ）とし、その厚さや形状を変化させて振動実験を行った。なお図1に示すように、振動台に加速度計、また砂地盤表面から5cm・10cmの位置に間隙水圧計を設置した。振動台の振動周波数は図1に示す水平方向に4Hzの正弦波、最大加速度は約250Galとし、振動開始と同時に最大加速度に到達させ、30秒間振動を継続した。

実験では、過剰間隙水圧の測定値および着色珪砂7号のマーカの乱れにより液状化発生を確認し、また噴砂・噴泥現象の有無は、非排水層に発生した亀裂からの砂や水の噴出によって判定した。

表1に、砂地盤および非排水粘土層の物理特性を、図2に非排水粘土層の配置パターンを示す。

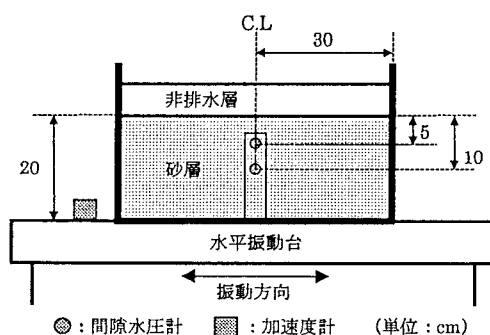


図1 実験装置

表1 試料の物理特性

	配置パターン	湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	塑性指数 I_p	非排水せん断 強度 (kN/m^2)
非排水 粘土層	ケース1～3 ケース4(軟側)	1.76	25.9	11.0
非排水 粘土層	ケース4(剛側)	1.88	—	67.1
液状化層	ケース1～ケース4	1.92	—	—

キーワード：液状化、噴砂現象、砂質土、有限要素法解析

連絡先 〒275 千葉県習志野市津田沼2-17-1

TEL.0474(78)0449 FAX.0474(78)0474

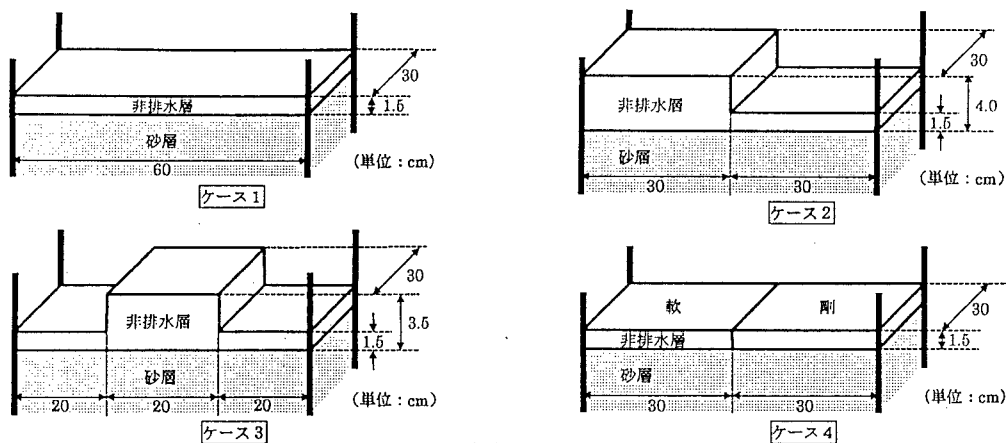


図2 非排水層の形状

3. 実験結果および考察

表2は、各ケースにおける液状化および噴砂現象発生の有無をまとめたものである。実験を行ったすべてのケースにおいて砂地盤に液状化が発生した。

非排水層粘土層の厚さを1.5cmとしたケース1においては、砂層の液状化と同時に非排水層が大きく波打ったものの、亀裂等は生じず地表面に達する噴砂・噴泥と呼べる現象は確認することはできなかった。一方、ケース1と同じ粘土を用いて異なる層厚の非排水粘土層を配置したケース2およびケース3では、非排水層の層厚が変化する部分において亀裂が発生し噴砂が確認できた。また、剛性の異なる非排水粘土層を配置したケース4では、剛性が変わる中間部に亀裂が発生し、砂の噴出は確認されなかったものの砂層中の水が噴出した。

液状化層の上部に非排水層が存在する地盤における噴砂・噴泥現象は、地震時の揺れによって非排水層に亀裂が入り、液状化により間隙水圧の上昇した液状化層から間隙水や砂が非排水層の亀裂を通して地表面に現れることで発生する。今回の実験では、非排水層の亀裂は、非排水層の層厚や剛性が変化する部分に発生し、噴砂が地表に現れた。これは、層厚や剛性が変化すると、地震時の非排水層の応答周波数が異なるため、その接続部分に大きなせん断応力が発生して非排水層が破壊するためであると考えられる。

4. 解析結果

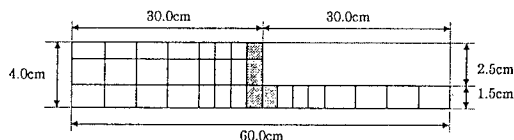
前節3.に示した、非排水粘土層の亀裂の発生要因を確認するために、ケース2の実験における非排水粘土層の弾塑性動的過渡応答有限要素法解析を実施し、粘土層の塑性領域の進行状況を調査した。入力パラメータは、実験に用いた粘土の要素試験で得られた値を用い、砂地盤の液状化を模して粘土層下部に集中質量を作用させた。

図3は、解析で得られた塑性領域の進行状況を示したものである。図から明らかなように、粘土層厚の変化する部分で塑性領域が生じており、砂地盤の液状化に伴いこの部分に亀裂が発生する可能性が高いことが示された。

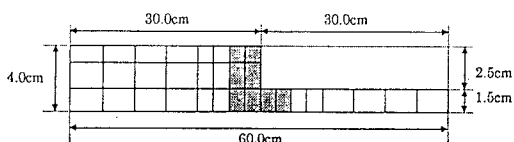
表2 液状化および噴砂現象の有無

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
液状化	有	有	有	有
噴砂	無	有	有	有*

*は、水の噴出だけで砂の噴出は見られなかった。



(1) 振動開始後 0.10秒後



(2) 振動開始後 0.17秒後

図3 塑性領域の進展 (ケース2)