

(III-86) 液状化時の噴砂・噴泥発生における地震の加速度と非排水層のせん断強度について

千葉工業大学 学生会員 ○媚山 隆 荒井 伸介

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

地震考古学では、有史以前の遺跡で発掘される下部砂礫層から上部の粘土層内に向う噴砂の痕跡が、大きな地震によって液状化が発生したことを示すものとして注目されている。この噴砂の痕跡は、地震の強さと土の強度の関係によって様々な形態を有する。

本研究は、噴砂の形、痕跡から過去の地震の強さを推定するための基礎実験として、噴砂現象の発生と地震の加速度および非排水粘土層のせん断強さとの間にどのような関係があるかを室内模型実験によって調査したものである。

2. 実験の概要

図1、図2、は実験装置の概略を示したものである。砂地盤はあらかじめ水で満たした土槽(奥行き30cm、長さ120cm、高さ80cm)の上面から珪砂を自由落下させて作成した。砂地盤の層厚は45cmとし、飽和砂層の下部より15.5cm、22.5cm、29.5cm、36.5cmの位置に黒色に着色した珪砂7号をふるい水平方向のマーカラインを作成した。また、図1に示すように過剰間隙水圧計を飽和砂層上部より5cm、17.5cm、30cmの砂層内に設置した。砂地盤の上部には非排水層としてベントナイト粘土を配置した。粘土層の厚さは約3.5cmと6cmの2種類に変化させた。また、粘土層の上に、振動時の粘土層の変形を防ぐために、板おもりと7cmの珪砂層を配置した。振動台の振動周波数は4Hzの正弦波とし、振動台の最大加速度を100~400galの間で4種類変化した。実験では、振動開始と同時に最大加速度に到達させ、約30秒間振動を継続した。また、振動停止10秒後まで間隙水圧を計測した。着色した珪砂のマーカの乱れと過剰間隙水圧比の値から液状化の発生を確認し、噴砂現象の有無は乾燥砂層上面での砂・水の噴出によって判定した。表1に飽和砂層・粘土層の土質特性を示す。

3. 液状化時の地盤の応力状態と噴砂現象

実験ではすべての条件・高さにおいて黒砂のマーカの乱れにより液状化の発生が確認された。しかし過剰間隙水圧比から見ると、すべての実験の各々の位置では、過剰間隙水圧比が1を超えない場合があり、過剰間隙水圧比の値からは液状化を確認できない場合もあった。図3は振動時に各間隙水圧計で観測された過

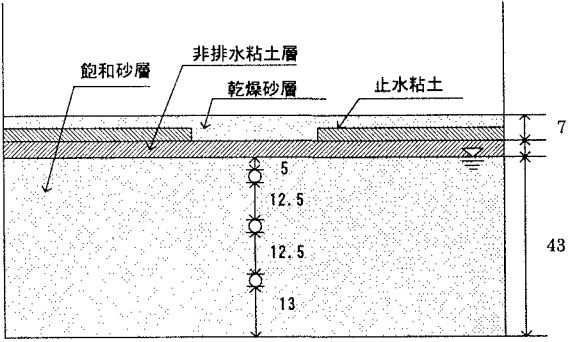


図1 土槽側面 (単位: cm)

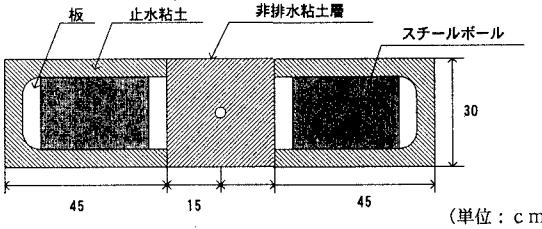


図2 土槽平面 (単位: cm)

表1 試料の土質特性

	飽和砂層	粘土層
含水比 w (%)	30.36	—
透水係数 k (cm/s)	0.031616	—
内部摩擦角 ϕ (°)	36	—
液性限界 w_L (%)	—	287.91
塑性限界 w_P (%)	—	46.39
塑性指数 I_P	—	241.52
湿潤密度 ρ (g/cm ³)	1.276	—

キーワード: 液状化 噴砂 砂質土 振動実験 せん断強さ

連絡先: 〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 TEL047 (478) 0449 FAX047 (478) 0474

剰間隙水圧の経時変化の一例（最大加速度 400gal、粘土層の厚さ 3.5 cm、非排水層のせん断強度 0.517KPa）を示したものである。図 3 より、飽和砂層内の剰間隙水圧は深度が深いほど、大きくなるのがわかる。次に各実験で得られた深度別の剰間隙水圧分布から鉛直方向の動水勾配の経時変化を求めた。この動水勾配より浸透力を計算し、飽和砂層上面から 11.25cm（A 点）、23.75cm（B 点）の位置での振動時における砂層のモール円の頂点を結んだ有効応力経路を描いたものが図 4 である。図 4 には、三軸圧縮試験で得られた砂層の破壊線を併せて示してある。

図 4 から飽和砂層上面下深度 11.25cm の位置では振動開始後 0.16 秒後に破壊が生じ、23.75cm の位置では振動開始直後 0.17 秒後に破壊が生じたことがわかった。このことから図 4 に示した実験では振動開始直後に液状化が生じたことがわかる。この他の実験においても同様の結果が得られた。

次に、非排水粘土層の全応力を求め非排水層の破壊の有無を検討する。初期状態において非排水層の土被り圧が等方的に作用しているとし、振動後は飽和砂層上部 5cm で計測された剰間隙水圧と 17.5cm で計測されたものの動水勾配より粘土層下面の剰間隙水圧を求め、それが、鉛直方向に全応力として作用するとした。図 6 は、このようにして求めた非排水粘土層の全応力経路である。図には、ペーンせん断試験で求めた粘土層の非排水せん断強さを併せて示してある。図 6 から非排水層の全応力経路は、非排水せん断強さに 1.08 秒後に達している。このことより、粘土層は、下方向からの剰間隙水圧により、せん断破壊したことがわかる。また、この時、粘土層を突き抜けた噴砂が確認された。

すべての実験について、噴砂現象の有無を条件別に示したものが、表 2、表 3 である。非排水層のせん断強さは、含水比を調整して変化させた。表 2、表 3 より、非排水層のせん断強さが等しい場合、地震の加速度が大きい程、噴砂現象は起こりやすく、また、加速度が同じ時は、非排水層が厚いほど、噴砂現象は起こり難いことがわかる。このことから、噴砂の発生には非排水層の強度と地震の加速度が関係していることがわかった。今後は、噴砂の形体についても詳細に調査し、過去の地震における噴砂痕跡から地震の強さを定量的に確定できるよう研究を続行したい。

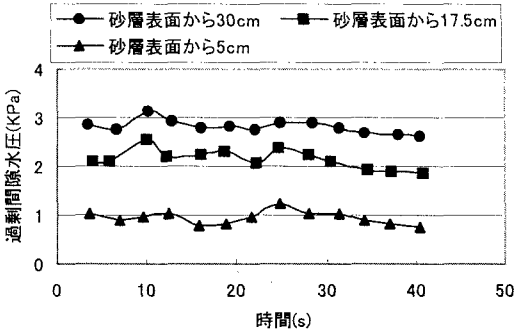


図 3 深度別剰間隙水圧の経時変化

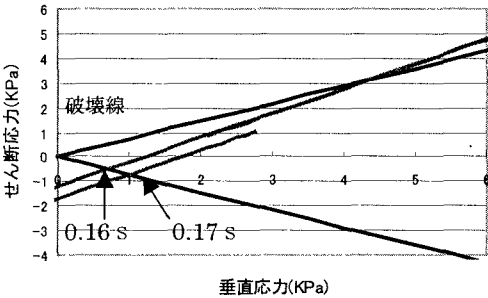


図 4 砂層の有効応力経路

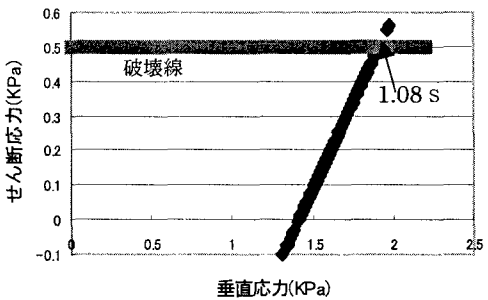


図 5 粘土層の全応力経路

表 2 噴砂現象の有無（非排水層：3.5cm）

せん断強度 (KPa)		0.502	0.836	1.339
加速度 (gal)				
400		○	○	×
300		○	○	—
200		○	×	—
100		×	×	—

表 3 噴砂現象の有無（非排水層：6cm）

せん断強度 (KPa)		0.669	0.836	1.339
加速度 (gal)				
400		○	○	—
300		×	×	—
200		—	—	—
100		—	—	—