

砂質土地盤の液状化による噴砂のメカニズムに関する振動台実験

九州工業大学大学院 学生会員 ○張 磊

九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦

九州工業大学工学部 非会員 小家石 龍祐

1. はじめに

2011 年 3 月の東日本大震災では液状化により宅地被災数が 2.6 万棟を超す甚大な被害が発生した。被害の特徴は、噴砂の量が多かったこと、地盤の沈下や住宅のめり込み沈下量が大きかったこと等が挙げられる。そこで、戸建て住宅を対象とした液状化対策方法の開発が急務となっている。一方、宅地の液状化による住宅の沈下のメカニズムはまだ十分には明らかになっていない。過去の被災事例の地盤調査資料により、地下水位、液状化層の締まり具合や厚さや細粒分含有率、地震動の振幅と継続時間等の要因が宅地の液状化被害に影響することが分かっているが、これらの要因の影響に関してまだ十分には明らかになっていないと考えられる。そこで、本研究では砂質土地盤の液状化による噴砂のメカニズムや噴砂が地盤の沈下に与える影響を明らかにするため、低上載圧下における振動台実験を実施した。

2. 実験概要

本実験は 1.0m×1.0m の振動台実験装置を用いて行った。図 1 に模型実験の断面図を示す。土槽は内寸法で高さ 70cm、幅 45cm、奥行 140cm の箱型である。上載圧荷装置はエアコンプレッサーに接続し、空気圧により DL クレー層に上載圧を负荷するもので、18 個の容量 5ℓ、最大直径約 20cm のボール形状をしたゴム製エアバッグを内部に封じ込めたものである。これは上盤の開口部に適合し、DL クレー層と上盤の間に装填できるものである。また、なるべく均一に上載圧を负荷させるため、DL クレー層とエアバッグの間に厚さ 0.8cm の板を設置した。また、液状化による噴砂が発生する際に液状化砂の回り込み現象を確認するために、アクリル面側の砂層内にうどんを貼り付けた。図 4 にその貼付状況を示す。さらに、飽和砂層から DL クレー層への噴砂を抑制し、噴砂口のみから噴砂を起こすようにするため、透明のビニールシートを DL クレー層の底部に貼り付けた。地盤の沈下量については、加振前と加振終了後、地盤の高さを測定することで確認している。

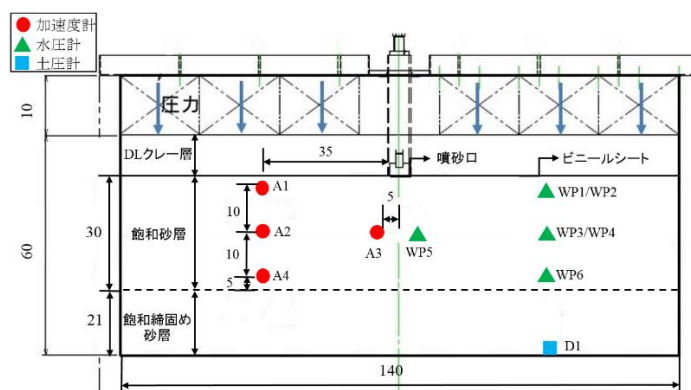


図 1 模型実験の断面図

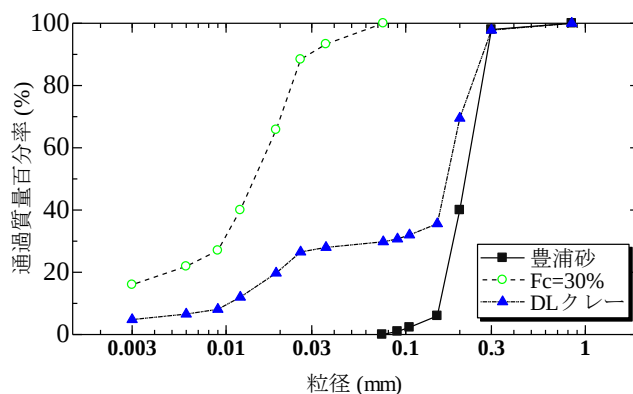


図 2 試料の粒径加積曲線

2.1 実験試料

本実験試料には豊浦砂と低塑性細粒分である DL クレーを、細粒分含有率 $F_c=30\%$ で混合したものをを用いた。これらの粒径加積曲線と試料の物理特性を図 2、表 1 に示す。ここで最大・最小密度 ρ_{dmax} 、 ρ_{dmin} の測定方法 (JIS A 1224) は、細粒分含有率 $F_c=5\%$ 以上の砂に対して適用範囲外であるが、参考のためこれらの値を求めている。DL クレーは図 2 から分かるように、 $75\mu\text{m}$ 以下の粒径のシルトを主体とした細粒分であり、低塑性 (NP)

表 1 試料の物理特性

細粒分 含有率 F_c	最大密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	最小密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	相対密度 D_r (%)
30%	1.966	1.453	60%

の材料である。本実験は細粒分含有率が液状化による噴砂の発生に影響すると考えて細粒分含有率 $F_c=30\%$ の条件で行った。この試料で模型地盤を作製する際に、水中落下法により、 $Dr=60\%$ 程度を目標相対密度とした。

2.2 模型地盤

本実験では飽和砂層の下に豊浦砂のみで締固め砂層を設置した。層厚 21cm の締固め層は最適含水比約 14% の豊浦砂を突固め法で相対密度 80% になるように下部から順に締固めて作製した。飽和砂層の作製においては試料を土槽に水位 5cm を保ちながら水中落下法で相対密度が $Dr=60\%$ 程度になるようになるべく均一に投入した。間隙水としては、水のみを用いた。また、加速度計と間隙水圧計の位置は、図 1 に示す通りである。ここで、水圧計は、鉛直方向にたるみのない状態で固定している。

2.3 実験条件

本研究では、入力波形は、レベル 2 地震動を想定した正弦波で、波数 30、入力周波数 5.2 Hz、加振時間 5.74s、入力加速度 500 Gal、上載圧 10kPa とした。また、噴砂口を開く時間は予備実験の結果等を考慮し、噴砂口のみから噴砂を起こすようにするため、加振開始の 1 秒後に設置した。

3. 実験結果及び考察

本ケースにおいて地表面の亀裂を模擬した噴砂口部から噴砂が確認された。飽和砂層の上層部、中層部と下層部の過剰間隙水圧比を図 3 に示す。うどんの動きで表わした砂質土の水平移動、鉛直移動の状況を図 4 に示す。

図 3 に示すように、2～3 秒で下層部の間隙水圧がまず大きく上昇し、ほとんど同時に上部の間隙水圧も大きく上昇している。また全ての過剰間隙水圧比が 1.0 程度まで上昇しており、地盤全体で液状化が発生したと考えられる。図 4 に示すうどんの動きの状況と、さらに実験のビデオにより、3 秒から 5 秒まで噴砂口部直下のうどんは噴砂口に向かって鉛直移動し、噴砂口で少し噴砂の様子が観察された。これは噴砂口を開くと上載圧がなくなり、噴砂口辺りで過剰間隙水圧比が 1.0 を超えて液状化による噴砂が発生したと考えられる。この間には噴砂口付近以外の地盤内に乱れは観察されず、5 秒から加振終了まで顕著な乱れが観察された。およそ 5 秒から噴砂口で大規模な泥水が噴出したが、加振終了後泥水がまた地盤内に逆に浸透し、土が緩く再堆積した。しかし、加振終了後の長い時間で上層部の砂が DL クレー層との隙間を噴砂口に向かって水平移動する様子が観察された。特に噴砂口辺りの砂の水平移動が顕著であった。地盤の平均沈下量は 1.2cm であるが、地盤の中心付近で最大沈下量は 2cm である。また、噴砂量が 0.82kg のみであり、地盤の沈下量から概算される砂の重量より少ない。従って、本ケースの $F_c=30\%$ においては加振後の液状化層の締めまり具合即ち、相対密度が大きくなっていたと考えられる。ただし、噴砂量としては加振前の地盤高さより上側に堆積した部分の重量を測定している。

4. まとめ

本研究では、砂質土地盤の液状化による噴砂のメカニズムに関する振動台実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 細粒分 DL クレーを 30% 程度含む状態であっても液状化が発生し、噴砂も観測された。
- (2) 概算の結果ではあるが、液状化による噴砂が発生し、模型地盤の相対密度は大きくなった。

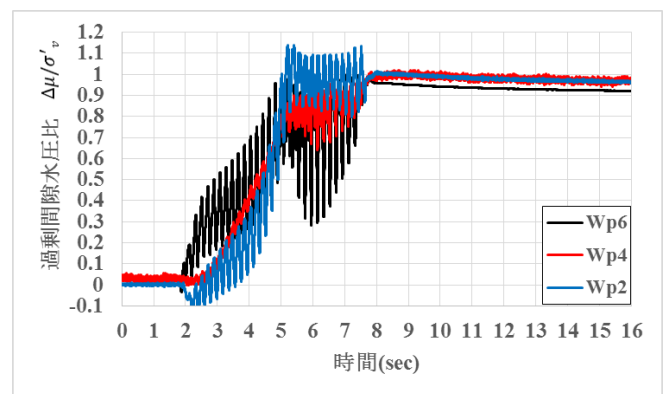


図 3 各深度での過剰間隙水圧比

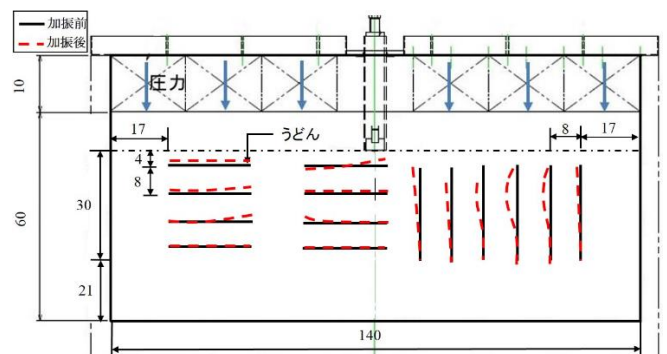


図 4 うどんの加振前と加振後の状況