

東京電力 正会員 土居賢彦 正会員 佐藤 博
早稲田大学 正会員 浜田政則
東海大学 正会員 川上哲太郎

1. まえがき

側方流動の発生メカニズムを解明するために、大型土槽を用いた完全液状化時における側方流動実験・液状化している砂の物性に関する実験¹⁾、及び、流体モデルによる実験結果の数値解析²⁾を実施してきた。その結果、次の2点が明らかとなった。

- ・液状化している砂の挙動は流体的である。
- ・流体モデルにより、実験における側方流動地盤の挙動が再現できる。

しかし、前述の実験では、模型地盤が液状化し流動を開始した後も模型地盤は加振状態にあり、液状化した地盤（砂）の流動特性を正確に捉えていない等の実験上の問題点がある。また、実際の地盤に側方流動が発生した場合、流動終結後に地表面勾配は残留しており水平になることはない。傾斜が残留する事実を液状化した砂は流体であると仮定したのでは十分に説明することはできない。むしろこのことは、側方流動が発生した地盤の剛性が回復し、地盤の特性が流体から固体へと移行したためであると考えた方がより合理的であると考えられる。筆者らは、この点に着目して、液状化した砂の側方流動の発生に伴う地盤の剛性の回復並びに、性質の移行を明らかにすることを目的として実験を実施した。

2. 実験概要

実験装置の概要を図-1示す。本実験装置は、土槽内に水平に作製した模型地盤を、土槽端部の油圧ジャッキにより土槽全体を水平から最大4.2%まで強制的に傾斜させる機構を備えている。模型地盤には遠州灘浜砂を使用し、その作製には土槽外に設置したボイリング装置により繰り返し緩詰め地盤の作製が可能となっている。実験条件を表-1に示す。なお、計測項目は、側方流動終了後の最終流動量を計測するために、模型地盤中にターゲットを、流動量の時刻歴を計測するために巻込型変位計を、過剰間隙水圧を計測するために水圧計を設置した。実験手順は以下の通りである。

表-1 実験条件

相対密度 D_r (%)	傾斜角度 θ (%)
20, 40, 60	0, 2.1, 4.2

- ①模型地盤が完全液状化に達するまで加振し、完全液状化の状態を水圧計で確認した後、加振を停止する。
- ②加振停止後も液状化状態を維持していることを確認し土槽を傾斜させる。

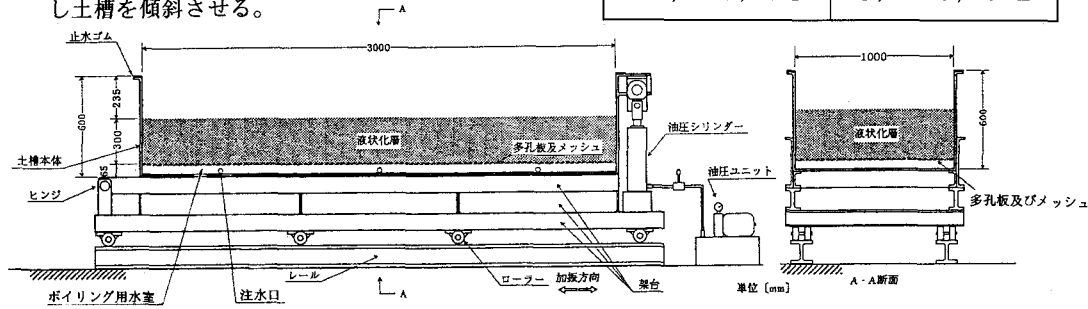


図-1 実験装置の概要

3. 実験結果

実験結果の一例 ($D_r=20\%$) を図-2、3に示す。模型地盤の流動は土槽傾斜とほぼ同時に開始し、傾斜終了とほぼ同時に終結している。土槽傾斜開始後 ($\theta=4.2\%$ のケース)、急激に間隙水圧が低下している。

この水圧の低下は約10秒以降の水圧の低下と比較して大きくなっている。また、水圧の低下は、地中変位が最大に達した付近（約10秒）で同じく最大となり、その後、傾斜終了とともに自然な間隙水圧の低下へと移行している。この間隙水圧が急激に低下する現象は、間隙水圧の自然な消散により液状化が終結しつつあることも考えられることから、加振後、土槽の水平を保持して間隙水圧が自然に消散するまでに要する時間を計測した実験（ $\theta = 0\%$ のケース）を実施した。その結果を図-2に示す。この実験では、約7秒で加振を停止しているが約12秒付近（約5秒間）まで液状化が継続していることが確認できる。この結果に対して土槽を傾斜した実験では、加振停止から流動終結までの時間は約4秒であり土槽の水平を保持した実験の液状化継続時間（約5秒間）内にある。このことから土槽の傾斜に伴う間隙水圧の急激な低下は、間隙水圧の自然な消散によるものではないと判断できる。

模型地盤の側方流動終了時の地表面形状（ $\theta = 4.2\%$ 、 $D_r = 20\%$ ）を図-4に示す。模型地盤地表面の形状は側方流動が発生しているにも関わらず土槽中央付近で土槽傾斜終了時の傾斜を維持している領域がある。それに対し、模型地盤の側方流動方向の上流側、下流側ではほぼ水平となっている。本実験では、この記録以外に傾斜角度（ θ ）、相対密度（ D_r ）を変化させた実験を実施しているが、いずれも共通した結果が得られた。

4. 考察

既往の側方流動が終了するまで加振を継続した実験結果では、側方流動終結後の地表面は水平になっており、液状化した砂の挙動は流体的であると判断された。しかし、本実験のように加振停止後、側方流動を発生させる実験条件下では、側方流動終了後の地表面の状態は、傾斜が残留する領域、及び、水平になる領域が存在している。傾斜が残留する領域においても液状化は確認されており、液状化した砂が流体的な性質から固体的な性質へ移行したものと推測される。このような地盤の性質の移行は、前述の実験結果より、間隙水圧の自然な消散による液状化の終結によるものではなく、液状化した地盤（砂）がせん断変形により大きな歪を生じた時に、砂粒子の骨格構造が回復したためであると推定される。

5. あとがき

本実験結果は、液状化した地盤の流動特性は地盤傾斜に対する依存性は低く、地盤内部に発生したせん断歪等の土質的な条件が支配的要因であることを示唆している。今後は、流動モデルを提案し実験結果との比較検討、並びに、模型地盤を加圧し、拘束圧下における地盤の流動特性について解明する予定である。

【参考文献】1)土居他：液状化による側方流動地盤の挙動と物性に関する実験的研究、第22回地震工学研究発表会、1993 2)佐藤他：液状化による側方流動の数値解析と考察、第22回地震工学研究発表会、1993

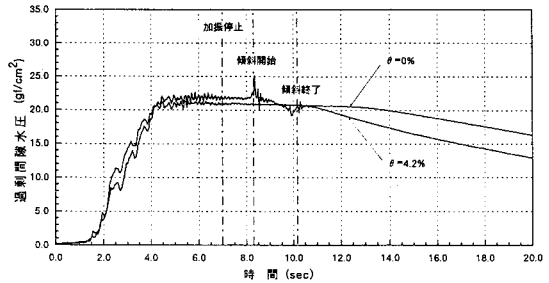


図-2 間隙水圧計経時変化

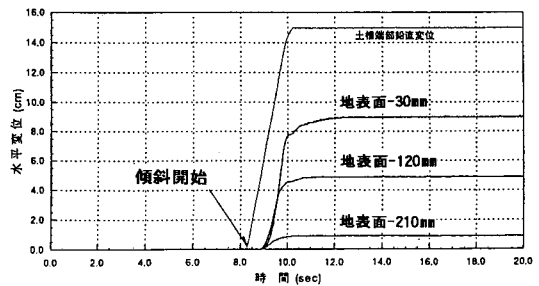


図-3 地中変位計経時変化（ $\theta = 4.2\%$ ）

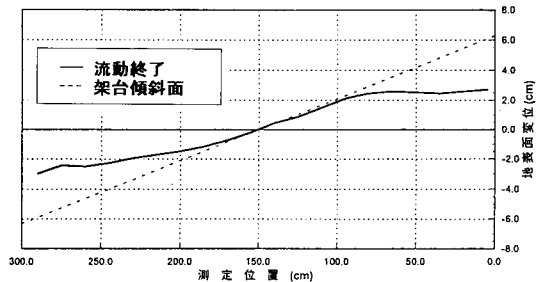


図-4 側方流動終了時の地表面形状