

浦安砂を使った模型地盤の円筒土槽液状化実験と水膜発生メカニズム

中央大学理工学部 正会員

國生剛治

学生会員

○川上 拓馬 佐藤 真奈美

向井彩子

1 まえがき

2011年東北地方太平洋沖地震では千葉県浦安市において広範囲に液状化が発生し、住宅や社会インフラに多大の被害が発生した。特に、江戸川沿いの沖積地盤からなる元町に比べて、1968年以降に埋め立てた若齢地盤からなる中町や新町に被害が集中した。なぜ埋立地盤に液状化が集中したか、どの深度で発生したか、砂層に含まれる細粒分の量や塑性の影響など、未解明な課題が多い。

本研究では以前の研究¹⁾に習い、浦安市の原地盤から採取した試料を用いてアクリルチューブ内に試料を水中落下させて1次元層状砂層モデルを作成し、衝撃力によりモデルを液状化させ液状化発生時の各層の沈下や水膜発生のメカニズムを明らかにすることを目指している。

2 実験材料と実験条件

使用したのは浦安市で採取された地震時の噴砂であり、シルトと砂にふるい分け、それぞれシルト層、砂層に使用した。表-1, 2はシルト層、砂層の試料の物理特性を、図-1は使用する材料の粒径加積曲線を表している。実験で使用する円筒土槽はアクリル製で、高さ211.5cm、内径13cm、肉厚0.5cmである。円筒の側壁には下から50cmから100cmの位置に10cmずつ計6か所間隙水圧計を取り付け、上からA~Fとした。地盤に機械式ハンマーにより打撃を加えることによって瞬時に液状化を発生させる。モデル地盤の作成にあたっては水中落下法により行う。

モデル地盤は3層系であり、実験条件を表-3に示した。下から下部砂層、シルト層、上部砂層の順に堆積させている。上部砂層質量2.4kg、下部砂層質量13.8kgは変えず、シルト層の質量を0.9kg（初期シルト層厚さ、6.0cm）、0.3kg（初期シルト層厚さ、2.3cm）と変化させ試験を行った。図-2に砂層高さと水圧計の位置関係を示す。また、打撃を加えた瞬間から過剰間隙水圧が0に収束するまでの間ビデオカメラによる定点撮影を行い、シルト層の挙動を観察すると共に、アクリルチューブ側面に貼り付けたメジャーにより層境界の沈下や水膜厚さを測定した。

3 試験結果

3.1 過剰間隙水圧と水膜厚さの時間変化

図-3, 4にシルトの乾燥質量を0.9kg, 0.3kgとした2ケースの実験での時間変化を片対数グラフに示している。また、それぞれ打撃時刻0から終了時刻までの水圧計A~Fで計測された過剰間隙水圧と水膜の厚さの時刻歴を重ねて示している。

水膜はいずれも2ヶ所で発生した。シルト質量0.9kgの場合は打撃直後に下部砂層とシルト層との間に一つ目の水膜（水膜①と表す）が出来始め、打撃から180秒後に二つ目の水膜（水膜②）がシルト層内の上端から約5mmの位置に発生する。いずれの場合も、水膜②の発生以降それ以降の水圧がほぼ同じ勾配で低下する傾向が現れる。その後打撃から約384秒後に水膜②を境にしてそれ以下のシルト層全体が下部の水膜①の中へ突如落下し始めた。シルト質量0.3kgの場合は、打撃後40秒から80秒の間でシルト層が上端から5mmほどを残したまま下部水膜に落下し2つの水膜が一体化した。それに加えシルト質量0.3kgの場合は下部砂層とシルト層が混合し、落下したシルト層は下部砂層の中に消失した。シルト質量0.9kgの場合砂層とシルト層の混合は起こらなかった。また、いずれの場合においても水膜発生や消散時に過剰間隙水圧の変化が見られた。

〈キーワード〉 浦安、液状化、水膜、シルト

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 地盤工学研究室

TEL. 03-3817-1798 E-mail: usp.takuma@gmail.com

表-1 シルト層の試料の物理特性

ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	ρ_{dmin} (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
2.650	1.371	1.007	1.632	0.932

表-2 砂層の試料の物理特性

ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	ρ_{dmin} (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
2.687	1.507	1.166	1.304	0.783

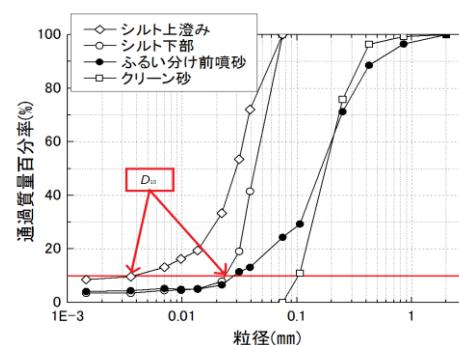


図-1 材料の粒径加積曲線

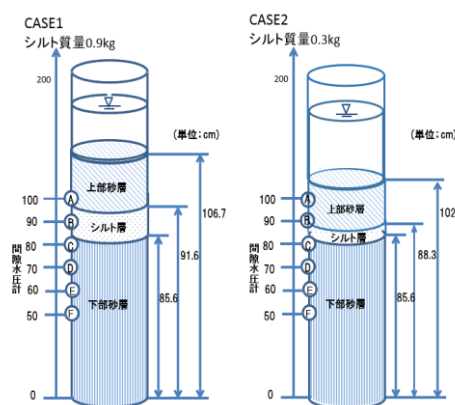


図-2 砂層高さと水圧計の概略図

表-3 砂層の条件

		CASE1	CASE2
上部砂層	乾燥質量(kg)	2.4	2.4
	初期層厚(cm)	15.1	14.6
シルト層	乾燥質量(kg)	0.9	0.3
	初期層厚(cm)	6.0	2.3
下部砂層	乾燥質量(kg)	13.8	13.8
	初期層厚(cm)	85.6	86.0

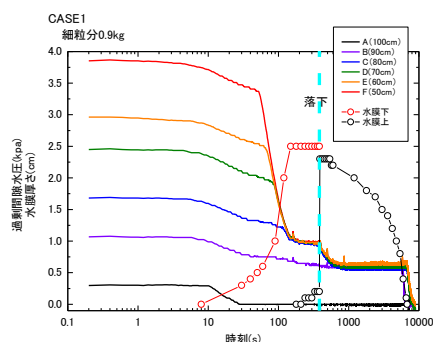


図-3 過剰間隙水圧と水膜厚さの時刻暦

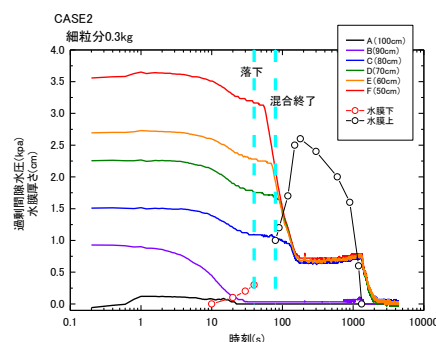


図-4 過剰間隙水圧と水膜厚さの時刻暦

3.2 過剰間隙水圧の深度分布形状の時間変化

図-5, 6はそれぞれシルト質量 0.9 kg, 0.3 kgにおける過剰間隙水圧の深度分布形状をいくつかの時間ステップについて表したものである。地表とシルト層の範囲を破線で示している。まずシルト質量 0.9 kgの場合(図-5), 打撃直後に全層が完全に液状化し, 過剰間隙水圧がほぼ三角形分布となる。その後上部砂層では 30 秒で液状化が終わるのに対し, 下部砂層では 120 秒まで砂層部分の過剰間隙水圧が減少しつづけ, 180 秒までには液状化がおさまる。シルト質量 0.3 kgの場合(図-6)も, シルト質量 0.9 kgの場合と砂層の液状化がおさまるまでの時間は同程度となっている。いずれの場合においてもシルト層の位置での直線の傾きが異なることから上下の水圧差による高い動水勾配を受けていることが推定できる。

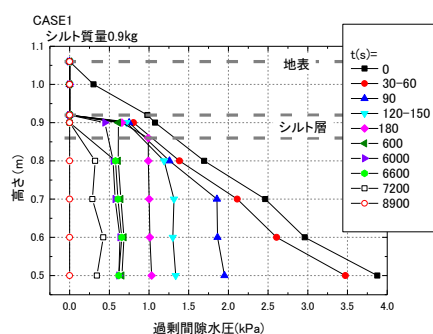


図-5 過剰間隙水圧の深度分布

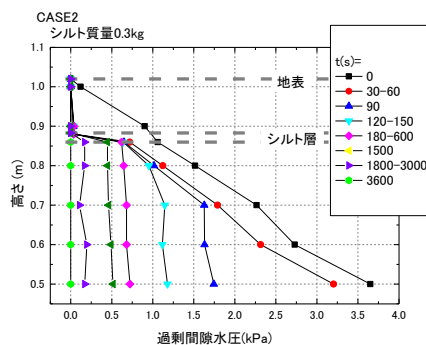


図-6 過剰間隙水圧の深度分布

3.3 水膜発生メカニズム

いずれの場合も水膜が2つの高さで発生したことに関して, シルト層内部での透水性の違いが原因であると考えられる。そこで透水係数 k に影響を与える要因である粒径について調べた。シルト層上部にできる水膜④より上部で落下せずに残った部分(厚さ 5mm 程度)と落下したシルト層のうち比較的下部の部分の粒度試験を行った結果, 10%粒径 D_{10} は図-1に示すようにそれぞれ以下ようになった。

$$D_{10} \text{ (上澄み)} = 0.0039 \text{ (mm)}$$

$$D_{10} \text{ (下部)} = 0.0239 \text{ (mm)}$$

両者の間には 6 倍程度の差があり, ヘーゼンの式 $k = \alpha(D_{10})^2$ にあてはめると, 透水係数 k は約 40 倍の差があることになる。したがって, 水中落下による堆積によってシルト粒径から先に沈降した結果, シルト層内で上部と下部において大きな透水性の差が生じ, それによって生じた上部の水膜を境に浸透力の違いにより下部シルトが下部の水膜に落下し, クリーン砂と混合する原因となっていると考えられる。このことは浚渫埋め立てた実地盤においても地震時液状化によって起こり得る現象であり, 層を超えて砂が交じり合ったことにより地震前後の地盤深度方向の物理特性の変化を引き起こす原因の一つとなる可能性がある。

4 まとめ

- 砂層に挟まれたシルト層の厚さを 2 種類に変化させた場合, 水膜の発生形態は異なるが, 砂層の液状化がおさまるまでの時間は同程度となっていた。
- 水膜④の発生の際に過剰間隙水圧の変化が見られ, 有効応力が回復していたことがわかった。
- シルト内の上下で D_{10} に 6 倍程度の差があり, 透水係数に非常に大きな差があることがわかった。この影響によってシルト層中で 2 枚の水膜発生, シルト層下部の落下, さらに砂層との混合という現象が連続的に発生すると考えられる。

(参考文献) 1) 故島哲朗「液状化地盤での水膜の生成メカニズムについての実験, 解析」中央大学理工学部 1999 年度修士論文