

(III-22) 液状化時の砂層に働く動水勾配と水膜の生成メカニズム

中央大学 学生会員 大庭 紀明
中央大学 正会員 國生 剛治
中央大学 学生会員 故島 哲朗
中央大学 学生会員 伊藤 力

1. はじめに

自然地盤は決して単一な砂層からできているのではなく、粒径の異なるシルト質砂や礫質砂を含む多くの薄層の重層構造から構成されているのが通例である。このことから各層での透水性の違いが生じる。今、地震により自然地盤が液状化すると土粒子は沈降し、その結果、余剰間隙水は地表に向かい上昇しようとする。しかし、その途中に透水性の低い層があると、その層で余剰間隙水は捕捉されてしまい、低透水層の直下に水膜を生成することになる^{1),2)}。この水膜によってせん断抵抗がゼロの面が形成され、液状化後の地盤における側方流動の流動メカニズムに影響を及ぼすものと考えられる。そこで我々は、円筒土槽を用いて一次元モデルの地盤を作成し、様々な条件下での水膜の生成メカニズムを明らかにすることを目的としている。

我々は既に模型実験により、砂層に低透水層が挟まれている3層系地盤の場合、その低透水層の直下に水膜が生成されることを明らかにしている³⁾。ここでは、2層の透水性の異なる砂層で構成された一次元地盤について模型実験を行い、水位の位置の違いによる水膜の生成のされ方の違いを検討した。

2. 実験方法

図-1に示すように、高さ $z=211.5\text{cm}$ 、内径 13cm のアクリル製の円筒土槽に砂を水中落下させ、飽和したためる詰め模型地盤を作成する。このときの実験条件は表-1に示すとおりで、case1、case2ともに、下部砂層に粗砂、上部砂層に細砂を用いた2層地盤であるが、case1は全体が飽和しているのに対し、case2では上部砂層と下部砂層の境界から10cmまでが飽和しているが、その上は不飽和になっている。case2の上部砂層については、境界から10cmの位置まで飽和砂層を作成し、表面に水位を一致させた後、上部に乾燥砂を入れた。砂層の透水係数は、粗砂が約 0.8cm/s 、細砂が約 0.04cm/s であり、粒度分布は図-2に示す。そして、ばねの力を用いた打撃機によって、一定の打撃力を加えて砂層を瞬間的に液状化させ、この時の過剰間隙水圧を6または8個の間隙水圧計で測定する。また、生成される水膜の厚さと砂層の沈下量をデジタルビデオカメラで撮影する。

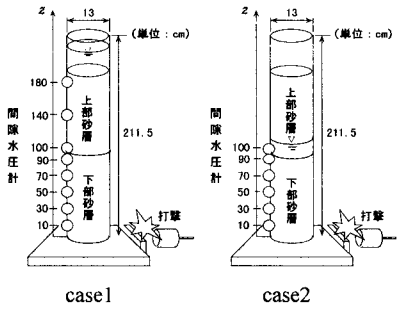


図-1 実験装置の概要

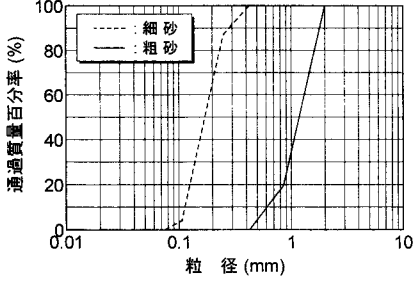


図-2 粒径加積曲線

表-1 実験条件

	case1(2層地盤・全飽和)			case2(2層地盤・上側不飽和)		
	種類	層厚(cm)	相対密度(%)	種類	層厚(cm)	相対密度(%)
上部砂層	細砂(飽和)	95	46	細砂(不飽和)	81	62
				細砂(飽和)	10	40
下部砂層	粗砂	95	39	粗砂	95	38

キーワード：液状化 透水性 動水勾配 浸透力

連絡先：中央大学理工学部土木工学科土質研究室 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1799)

3. 実験結果と考察

case1 と case2 の実験結果において、実験中に目に見えてわかった明らかな違いは水膜の生成の有無である。case1 の場合、液状化直後の砂層の沈下に伴い、余剰間隙水が透水性の低い上部砂層底面へ排出される。このとき上部砂層の底部の砂が少し舞い上がるが、明瞭な水膜の生成は確認できなかった。一方 case2 の場合、上部砂層の底部に最大厚さ約 8 mm の水膜が生成され、それが 13 秒間存続することが確認できた。

次に、図-3、4 に case1、2 について、過剰間隙水圧分布の時間的変化を示す。これは円筒土槽の底部から、case1 については、高さ 10cm、30cm、50cm、70cm、90cm、100cm、140cm、180cm の位置に設置した 8 個の間隙水圧計で、また case2 については、高さ 10cm、30cm、50cm、70cm、90cm、100cm の位置に設置した 6 個の間隙水圧計で測定したもので、高さ z は初期砂層高さ H で無次元化してある。図-4 から見て取れるように、case2 については上部砂層の上側は不飽和であるから液状化せず、過剰間隙水圧は発生していない。よって、上部砂層の不飽和層と飽和層の境界面の過剰間隙水圧は常にゼロである。一方、上部砂層の下側の飽和層や下部砂層では液状化が生じ、過剰間隙水圧は液状化前の有効応力分だけ上昇している。このことにより、上部砂層の下側の飽和層はその上下の水圧差により高い動水勾配にさらされているのがわかる。このとき、この飽和層に働く動水勾配は限界動水勾配 $i_c = \gamma' / \gamma_w$ (ここに、 γ' は上部砂層の土粒子の水中単位体積重量、 γ_w は水の単位体積重量) より高い動水勾配になっている。これにより、沈降しようとする上部砂層の砂粒子は高い動水勾配による浸透力によって持ち上げられ、下部砂層の沈下に伴って排出された間隙水による水膜が生成されたのではないかと考えられる。これに対し全飽和の case1 の場合は図-3 により、全層において限界動水勾配にほぼ等しい動水勾配となり、case2 のように高い動水勾配が働くメカニズムが存在していないことがわかる。よって、上部砂層の砂粒子は沈降してしまい、明瞭な水膜は生成されないと考えられる。

4. 結論

- 以上の実験により、次のことが明らかになった。
- ・単なる飽和した 2 層地盤では、限界動水勾配よりも大きな動水勾配が働くメカニズムが生じないため、水膜は生成されない。
 - ・上部砂層よりも下部砂層の方が透水性の良い 2 層地盤で、上部砂層の上側を不飽和とした場合では、上部砂層の下側の飽和層の部分に限界動水勾配以上の動水勾配が働くメカニズムが生じるため、水膜は生成される。このことは、実地盤の地表付近は不飽和であることが多いことから、粗砂・細砂の境界があれば実地盤においても容易に水膜が生成される可能性を示唆している。

<参考文献>

1) Seed, H.B.: Design problems in soil liquefaction, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE Vol.113, No.8 pp827-845, 1987
2) 國生, 故島, 澤野: 液状化砂層の層構造と水膜の生成メカニズム, 土木学会第54回年次学術講演会, 第Ⅲ部門, pp238~239, 1999

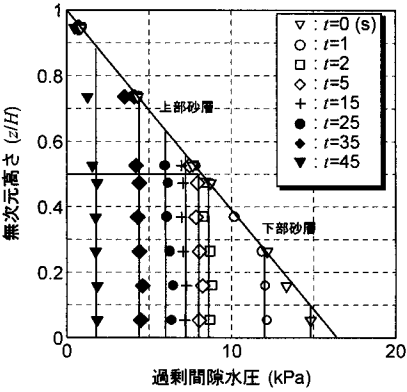


図-3 case1 の過剰間隙水圧の時間的変化

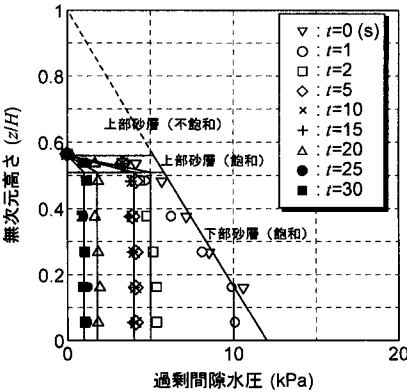


図-4 case2 の過剰間隙水圧の時間的変化