

中間砂層の厚さによる液状化地盤での水膜生成形態の差異

中央大学 学生会員 伊藤 力  
中央大学 正会員 國生 剛治  
中央大学 学生会員 高橋 倫明

1. はじめに

これまでの実験で、砂層に透水性の非常に低いシルトシームを挟み込んだ場合において液状化実験を行うと、シルトシームの直下に余剰間隙水が捕捉され水膜が容易に生成されることを明らかにしてきた<sup>1)</sup>。更に種々の層構造の砂層モデルについて水膜の生成条件を検討した<sup>2)</sup>。また実際の地盤から試料を薄層ごとに採取し、ふるいわけ試験を行うことにより粒度分布を求め、透水性の異なる重層構造が水平方向へ連続的に存在していることを確認し、実地盤でも水膜が生成される可能性があることを示した<sup>3)</sup>。ここでは、粗砂 - 細砂 - 粗砂からなる3層系地盤において中間細砂層厚を変化させる事による水膜生成のされ方の違いを検討する。

2. 実験概要

図-1 は実験装置を示している。高さ  $z=211.5\text{cm}$ 、内径  $13\text{cm}$  のアクリル製の円筒土槽に試料を水中落下させ、飽和したゆる詰めモデル地盤を作成する。この時の実験条件は表-1 に示すとおりで、中間砂層厚を約  $5\text{cm}$ ,  $10\text{cm}$ ,  $15\text{cm}$ ,  $40\text{cm}$ ,  $60\text{cm}$  と変化させて Case1~5 の実験を行った。この実験で用いた試料の透水係数を同じ装置で定常浸透流により測定したところ、粗砂が約  $0.8\text{cm/s}$ 、細砂が約  $0.04\text{cm/s}$  であり、粒度分布については図-2 に示すとおりである。実験はバネの力を用いた打撃機によって、土槽に一定の打撃力を加え、砂層全体を瞬時に液状化させ、この時の過剰間隙水圧を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。

3. 結果と考察

表-1 の Case のうち、中間砂層厚が  $60\text{cm}$  の時(Case5)だけ水膜が生成されなかったため、水膜が生成された中間砂層厚が  $10\text{cm}$  の時(Case2)と比較し検討した。図-3 は沈下量および水膜厚さの時刻歴を示している。打撃の瞬間( $t=0\text{s}$ )から砂層の沈下が始まっていることがわかる。Case2, 5 共に下部砂層上面、砂層表面はほぼ同様の沈下量を示していることがわかる。両ケースの明らかな違いは水膜生成の有無である。Case2 では約  $15$  秒間に渡って明瞭な水膜が観察されたのに対し、Case5 では水膜がまったく観察されなかった。

まず Case2 では、下部砂層上面( $z=89.6\text{cm}$ ) 砂層表面( $z=201.3\text{cm}$ )共に、砂粒子の

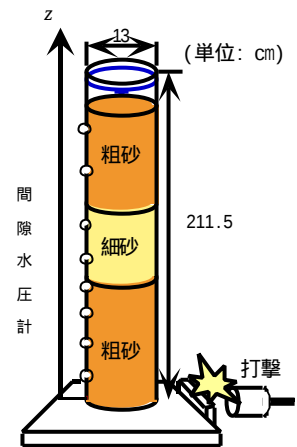


図-1 実験装置

表-1 実験条件

|       | 試料      | 上部砂層  | 中間砂層 | 下部砂層 | 水膜最大<br>厚さ(mm) | 水膜継続<br>時間 (s) |
|-------|---------|-------|------|------|----------------|----------------|
|       |         | 粗砂    | 細砂   | 粗砂   |                |                |
| Case1 | 層厚 (cm) | 99.5  | 5.3  | 95.4 | 8              | 19             |
|       | Dr (%)  | 42    | 14   | 37   |                |                |
| Case2 | 層厚 (cm) | 101.1 | 10.5 | 89.6 | 8              | 18             |
|       | Dr (%)  | 38    | 14   | 42   |                |                |
| Case3 | 層厚 (cm) | 93.9  | 15.7 | 88.4 | 5              | 14             |
|       | Dr (%)  | 45    | 20   | 48   |                |                |
| Case4 | 層厚 (cm) | 69.9  | 41.8 | 90.1 | 6              | 13             |
|       | Dr (%)  | 40    | 20   | 38   |                |                |
| Case5 | 層厚 (cm) | 50.3  | 62.7 | 89.7 | なし             | なし             |
|       | Dr (%)  | 35    | 19   | 40   |                |                |

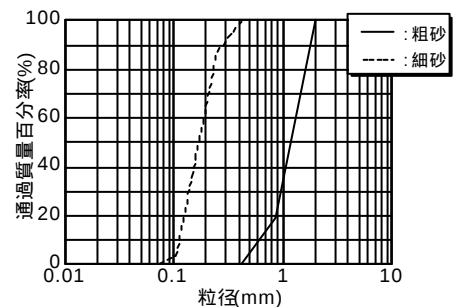


図-2 粒径加積曲線

キーワード：水膜、液状化、浸透力、動水勾配

中央大学理工学部土木工学科 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27 Tel03-3817-1799 Fax03-3817-1803)

再堆積による沈下を示した後、厚さ 8mm ほどに成長した水膜が上部へ浸透することで消散し、砂層表面の沈下が治まることがわかる。Case5 では下部砂層上面( $z=89.7\text{cm}$ )の沈下が速く、中間砂層上面( $z=152.4\text{cm}$ )の沈下がそれに対応していないが、水膜は観察されなかった。この間、中間砂層内ではボイリングを起こすのみであり、中間砂層の沈下終了時が砂層全体の沈下終了時となっている。すなわち、 $t=0\sim 34\text{s}$ の間は中間砂層が初期よりも間隙がゆるい状態にあり、水膜は生成されないが、やはりせん断強度の小さいゾーンが形成されていることになる。

図-4 は過剰間隙水圧の時間的変化を示している。打撃の瞬間( $t=0\text{s}$ )に全層が完全に液状化している。砂層は液状化から回復する際、下部から再堆積していくが、試料の透水性によりその速度が異なり、中間砂層の上下で水圧の差異が生じている。このとき中間砂層に働く動水勾配  $i_m$  は、上部砂層、中間砂層の水単体積重量、層厚を  $\gamma_u'$ 、 $\gamma_m'$ 、 $H_u$ 、 $H_m$  とし、上部砂層底面で液状化から回復した有効応力を  $\sigma'$ 、水の単位体積重量を  $\gamma_w$  とすると、

$$i_m = \frac{(g_u' H_u + g_m' H_m) - (g_u' H_u - s')}{g_w H_m} = \frac{g_m'}{g_w} + \frac{s'}{g_w H_m}$$

$$= i_c + \frac{s'}{g_w H_m} \quad (i_c = \frac{g_m'}{g_w} \text{ は限界動水勾配}) \cdots (1)$$

となる。

Case2 では中間砂層の上下で過剰間隙水圧の差異が生じ、また中間砂層厚  $H_m$  が小さいので、(1)式の右項が大きくなり、限界動水勾配より高い動水勾配にさらされ、水膜を生成するメカニズムが働いていることがわかる。水膜が生成されても、中間砂層厚が大きくなるにつれ、水膜厚さは薄く消散も早くなる。そして Case5 では中間砂層の上下で過剰間隙水圧の差異が生じているが、上部砂層と比べ中間砂層厚が相対的に大きいため、(1)式の右項が小さく動水勾配は最大でもほぼ  $i_m = i_c$  にしかならず、中間砂層を始め全層に渡りボイリング現象しか観察されなかった。

しかし、この実験結果では使用しているアクリル土槽と砂との間に摩擦力が働いており、液状化からの回復時に、その影響により理論水圧値よりも低い値をとっている。原地盤のように壁面摩擦の影響を受けなければ、Case5 でも間隙水圧の差異がより大きくなることで、(1)式における右項が大きくなり水膜が生成される可能性があるため、今後の検討が必要である。

#### 4. まとめ

- ・水膜は中間砂層の上下で限界動水勾配より高い動水勾配を取ることでにより生成される。
- ・同じ3層系地盤であっても、中間砂層と上部砂層の厚さにより水膜が生成されないことがあるが、それでも中間砂層がせん断強度の弱いゾーンとなる可能性はある。
- ・本実験結果は原地盤と異なり、壁面摩擦の影響を受けているため、今後その点の検討が必要である。

#### <参考文献>

1) Kokusho, T.: Water film in liquefied sand and its effect on lateral spread, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division, ASCE, Vol.125, No.10, pp817-826, Oct.1999 2) Kokusho, T.: Emergence of water film in liquefied sand and its role in lateral flow, 12WCEE(Auckland), CD-file; 0946, 2000 3) 國生、高橋、伊藤：埋立地盤の調査による地盤の不均質性の検討、第28回土木学会関東支部技術研究発表会、pp396-397、2001

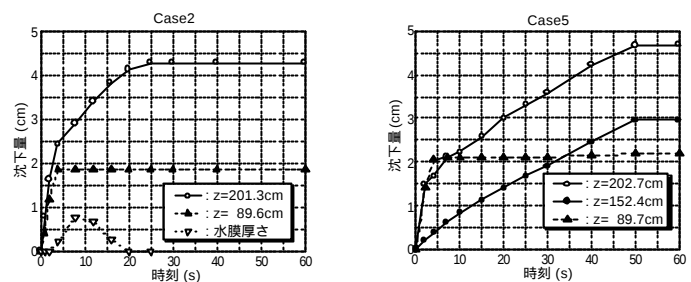


図-3 沈下量と水膜厚さの時刻歴

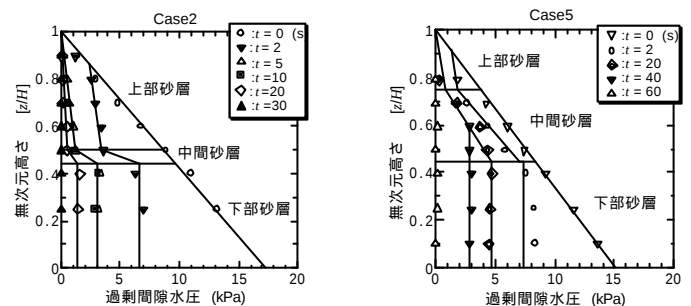


図-4 過剰間隙水圧の時間的変化