

### Ⅲ-A120

### 液状化砂層の層構造と水膜の生成メカニズム

中央大学 正会員 國生 剛治  
同 上 学生員 〇故島 哲朗  
同 上 学生員 澤野 珠輝

#### 1. はじめに

実際の地盤は決して均質ではなく、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成り立っているのが通例である。このような地盤が液状化すると土粒子は沈下し、その結果、余剰間隙水は地表面に向かって上昇するが、その途中にある低透水層で捕捉され、その直下に水膜を生成すると考えられる。そして、この水膜によりせん断抵抗がゼロの面が形成され、側方流動の流動メカニズムに影響を及ぼすのではないかと考えられる<sup>1), 2), 3)</sup>。

筆者らは既に一次元地盤の模型実験により、砂層に挟まれたシルト層の直下に水膜が容易に生成されることを明らかにしている<sup>3)</sup>。また、液状化砂地盤に透水性の低い砂層が挟まれている場合にもその直下に水膜が生成することは、Elgamal ら<sup>4)</sup>の実験によって明らかにされている。本論文では、複数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、層構造の違いによる水膜の生成のされ方を検討する。

#### 2. 実験方法

図-1 に示すように、高さ  $z=211.5\text{cm}$ 、内径  $13\text{cm}$  のアクリル製の円筒土槽に砂を水中落下させ、飽和したゆ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 は粗砂層の間に細砂層を挟み込んだ3層地盤であり、case2 は下部砂層に粗砂、上部砂層に細砂を用いた2層地盤である。この実験で用いた試料の透水係数は、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る。そのときの模型地盤の過剰間隙水圧を5個の間隙水圧計（位置は図-1 参照）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. 実験結果と考察

図-3 は、case1 の沈下量の時刻歴を示している。case1 の場合、下部砂層の沈下に伴い、排出される余剰間隙水が透水性の低い中間砂層の底部に捕捉され、水膜が生成されるのが確認できた。その後、水膜は上の層へ浸透し消散した。一方 case2 の場合、case1 と同様に下部砂層の沈下により余剰間隙水が透水性の低い上部砂層底面へ排出されるが、上部砂層の底部の砂が激しく舞い、3秒程度の単時間は間隙

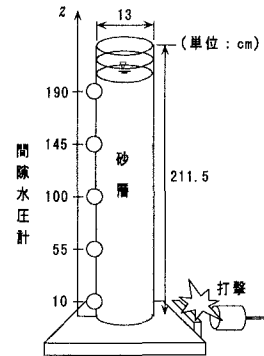


図-1 実験装置の概要

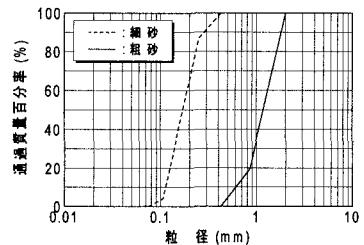


図-2 粒径加積曲線

表-1 実験条件

|      | case1 (3層地盤) |         |          | case2 (2層地盤) |         |          |
|------|--------------|---------|----------|--------------|---------|----------|
|      | 種類           | 層厚 (cm) | 相対密度 (%) | 種類           | 層厚 (cm) | 相対密度 (%) |
| 上部砂層 | 粗砂           | 93      | 29.9     | 細砂           | 90      | 38.5     |
| 中間砂層 | 細砂           | 5       | 48.2     | —            | —       | —        |
| 下部砂層 | 粗砂           | 97      | 43.7     | 粗砂           | 90      | 37.4     |

キーワード：液状化、透水性、間隙水圧

中央大学理工学部土木工学科 〒112-8551 文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1799 Fax 03-3817-1803)

の大きな部分を形成するが、明瞭な水膜は生成されなかった。

次に、図-4、5に case1、2 について円筒土槽に設置した間隙水圧計で測定した過剰間隙水圧分布の時間的変化を示す。ここで、高さ  $z$  は初期砂層高さ  $H$  で無次元化してある。図-4 より 3 層地盤の場合、液状化直後に中間砂層を挟んで上部砂層と下部砂層の過剰間隙水圧が同時に消散していくのがわかる。つまり、中間砂層を挟んで片面排水の状態では 2 つの砂層が液状化から回復していく。よって、上部砂層は下部砂層表面より早く有効応力が回復し始め、これにより中間砂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ことがわかる。このとき、中間砂層に働く動水勾配  $i_m$  は、上部砂層、中間砂層の水中単位体積重量、層厚をそれぞれ  $\gamma_u'$ 、 $\gamma_m'$ 、 $H_u$ 、 $H_m$  とし、上部砂層の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、

$$i_m = \frac{(\gamma_u' H_u + \gamma_m' H_m) - (\gamma_u' H_u - \sigma')}{\gamma_w H_m} = \frac{\gamma_m'}{\gamma_w} + \frac{\sigma'}{\gamma_w H_m}$$

$$= i_c + \frac{\sigma'}{\gamma_w H_m} \quad (i_c \text{ は限界動水勾配})$$

と求まる。これは、液状化直後には  $\sigma' = 0$  で  $i_m = i_c$  であったものが、上部砂層の有効応力の回復により、中間砂層に動水勾配  $i_c$ （砂粒子が沈降するための限界値）より高い動水勾配が働くことを示している。これにより、沈降しようとする中間砂層の砂粒子は高い動水勾配による浸透力により持ち上げられ、水膜を生成すると考えられる。土槽実験においては壁面摩擦が働くため、 $\sigma'$  はその分だけ小さくなり、摩擦のない実地盤とは異なる。しかし、図-4 より液状化が沈静化した  $t = 5$  秒以降において、 $i_m = 2.8$  と求めることができ、これより中間砂層に高い動水勾配が働き、それによって水膜が存続していることがわかる。これに対し 2 層地盤の case2 の場合、図-5 より case1 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. まとめ

以上の実験により、次のことが明らかになった。

- ・液状化砂層において、相対的に透水性の良い層に挟まれた層はその上の層の有効応力の回復により、高い動水勾配にさらされる。そして、その高い動水勾配による上向き浸透力が働き、挟まれた層の底部に明瞭な水膜を生成する。
- ・単なる 2 層地盤ではこのような部分的に高い動水勾配が作用するメカニズムが生じず、水膜は生成されない。

#### <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) 國生剛治：水膜現象（WFE）が液状化地盤の側方流動で果たす役割—不均質土質力学へむけて—、第 34 回地盤工学研究発表会、投稿中。
- 3) 國生剛治：水膜現象が液状化砂層の側方流動へ与える影響、土と基礎、Vol.47, No.4, pp11-14, 1999.
- 4) Adalier, K. and Elgamal, A.-W. : Post-liquefaction behavior of soil systems, the MS thesis dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, 1992.

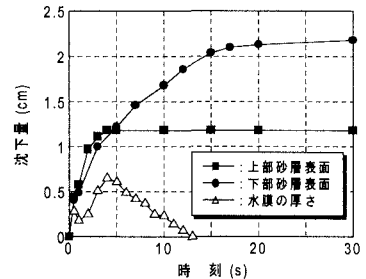


図-3 case1 の沈下量の時刻歴

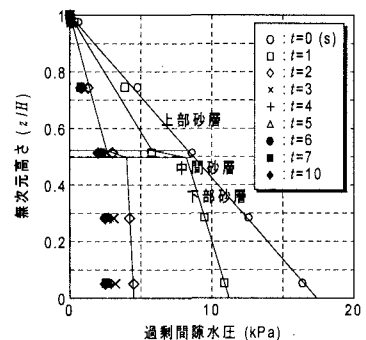


図-4 case1 の過剰間隙水圧の時間的変化

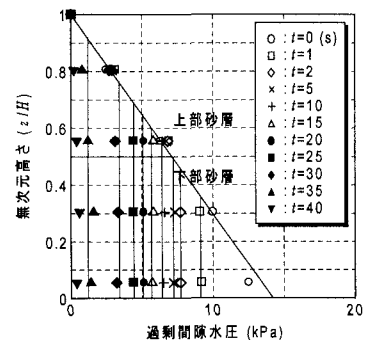


図-5 case2 の過剰間隙水圧の時間的変化