

中央大学理工学部 学生会員 ○ 澤野 珠輝  
正会員 國生 剛治  
川合 理恵 杉山 賢介

### 1 まえがき

自然地盤は、細かく見るとシルト質から礫質までの種々の薄い水平層の重層構造から成っているのが通例であり、つまり透水係数の異なる多くの層から構成されている。その透水性の差により液状化に伴う間隙水の上昇流は、透水性が相対的に低い層の直下に水膜を形成する。そして、それが液状化後の地盤の側方流動のメカニズムに影響をもたらしているのではないかと考えられる。本研究では液状化時に砂層中に含まれる低透水層の直下に水膜ができ、この水膜現象 (WFE) によってせん断面の抵抗力がなくなり、側方流動が生じやすくなる<sup>1)</sup>との仮説に基づいて、この水膜が生成する条件を明らかにすることを試みている。

### 2 実験条件と実験材料

図-1に実験に用いた高さ211.5cm、直径13cmの円筒土槽図を示す。そして、土槽には、細砂を水中落下させて飽和した高さ200cmのゆる詰めの模型地盤を作成する。表-1には用いた砂の条件を示す。その途中でその土槽の中間部 (底面からの高さ  $x=96\text{cm}$ ) に非塑性のシルト層を入れる。バネの力を使って一定打撃力を与える打撃機により土槽に約 40Gの水平加速度を与え砂層を液状化させる。その時の模型地盤の過剰間隙水圧を5個の間隙水圧計 a～e (図-1参照) で測定し、砂層の表面とその水膜下の砂層の沈下量の時間的変化をデジタルカメラで測定する。なお、実験条件を一定にするため、ここではシルト量を一定 (50g、平均厚さ3.85mm) にして実験を押し進めた。

### 3 実験結果と考察

図-3、4にシルト層のない場合とある場合の2ケースの実験でのデジタルカメラ映像から分析した砂層の沈下量の時間変化を示している。また、図-4には、シルト層直下に発生する水膜の厚さの時間変化も示している。ここに、シルト層がある場合のシルト層より下の下部層の表面 (土槽底面からの高さ  $x=96\text{cm}$ ) と、シルト層より上の上部層の表面 ( $x=200\text{cm}$ ) での沈下量を計測し、シルト無しの場合も同じ高さの砂層の沈下量を計測している。各図には時間変化傾向の明瞭な折れ曲がり点を①から⑤の記号で表している。これより②は下部層の沈下終了時点、③は上部層の沈下終了時点であり、ここまではシルト層の有無にあまりよらずほぼ同じような沈下傾向を示していると言える。ただ、シルト層有りの場合には③で沈下は完全には終了せず、④を過ぎて⑤の時点まで長期にゆっくりと沈下が継続する。最終的な沈下量はシルト層有りの方が上部層も下部層も多少大きいのが、表-1に示した相対密度による影響と思われる。一方、水膜の厚さは液状化直後から下部層表面の沈下量とほぼ同じペースで増加し、②の時点で最も厚くなる。すなわち、シルト層を難透水層として下部層から出てきた余剰間隙水がほぼすべて

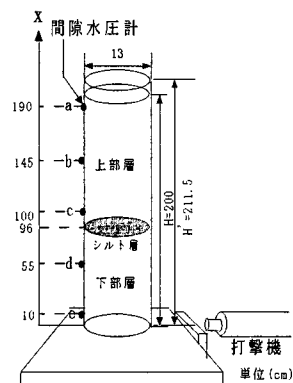


図-1 実験装置

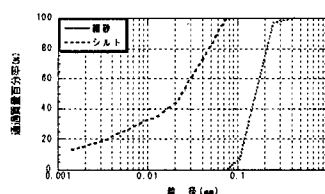


図-2 粒径加積曲線

表-1 砂層の条件

|                                   | CASE1 | CASE2 |
|-----------------------------------|-------|-------|
| シルト無                              | シルト入  |       |
| 土粒子密度 ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) | 2.640 |       |
| 上部層の相対密度 (%)                      | 13.5  | 12.7  |
| 上部層の相対密度 (%)                      | 41.0  | 39.3  |
| 最大間隙比                             | 0.978 |       |
| 最小間隙比                             | 0.605 |       |

キーワード：水膜、間隙水圧、沈下量

連絡先：〒112 文京区春日 1-17-23 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-38171803

て水膜になったと考えられる。その後、水膜は序々に厚さを減らし、④にて消滅する。図-5、6 は間隙水圧計 a ～ e で測定した過剰間隙水圧をシルト層無しとシルト層有りの場合について示したものである。シルト層無しの場合（図-5）は、下層から液状化がおさまり始め、③までで過剰間隙水圧が消散するのに対し、シルト層がある場合（図-6）は、シル

ト層をはさんで上部層と下部層それぞれで過剰間隙水圧の消散が生じていることが、間隙水圧計 c と e の類似性から見てとれる。すなわち、シルト層が難透水層となり、片面排水状態の 2 つの砂層が並行的に液状化からの回復過程をたどる。下部層の過剰間隙水圧は図-6 に示すように①での打撃による完全液状化から約 25 秒後の②での折れ曲がり点まで急速に低下しているが、図-4 に示した砂層の沈下カーブより、②の時点までで下部層の液状化が終了していることが分かる。その後、③の時点までで上部層の液状化が終了する。その間、下部層の各過剰間隙水圧は減少を示すが、②の時点以降は水膜の厚さが減少し、上部層が沈下しようとするときに、土槽に壁面摩擦が働くため本来②のレベルにとどまるべき下部層の過剰間隙水圧は上部層の液状化が終了する③のレベルまで低下してしまうものと思われる。その後、水膜が消滅する④まで各間隙水圧計は一定値を保つが、注意深く見ると

d、e はほぼ同一の値であるのに、a ～ c は砂層の表面からの深さに比例的に水圧が増加していることがわかる。すなわち、この間、水膜を水の供給源として、上向きの浸透流が生じていることがわかる。④以降、ゆっくりと有効応力の完全な回復が進み最終的に⑤で過剰間隙水圧はすべて消散する。

#### 4 結論

- (1) シルト層の有無による液状化が沈静化するまでに要する時間は大きくは変わらない。しかし、水膜がいったん発生すると液状化継続時間よりも長時間にわたり存在する。
- (2) シルト層直下の水膜は下部層の液状化が終了する時点で最大厚さとなり、その後シルト層と上部層砂層への浸透流により減少していく。この間、下部層砂層の過剰間隙水圧は壁面摩擦により減少するが、本来は高いレベルに維持されるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 國生 剛治・渡邊 一洋：液状化地盤の側方流動に及ぼす水膜現象(WFE)の影響、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、pp545-548、1197

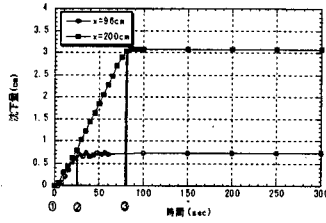


図-3 沈下量の時間変化  
(シルト層無し)

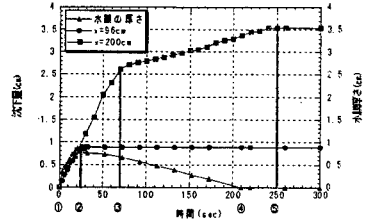


図-4 沈下量と水膜厚さの時間変化  
(シルト層入り)

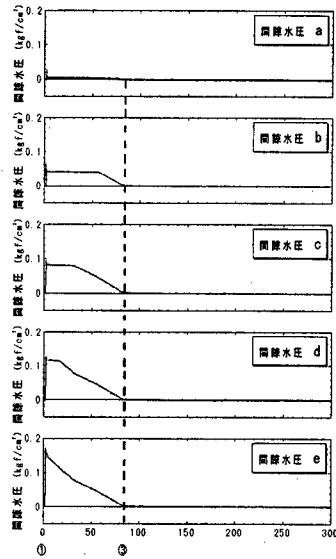


図-5 過剰間隙水圧の時間変化  
(シルト層無し)

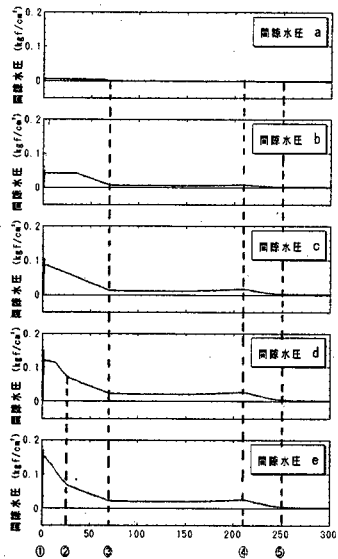


図-6 過剰間隙水圧の時間変化  
(シルト層入り)