

水膜流動現象に及ぼすダイレイタンシー特性の影響

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生剛治

学生会員 ○高橋哲也 樺沢和宏 清水愛子 熊谷有為子

1. はじめに

過去の地震の被害には地盤の液状化に伴う側方流動が多く報告されている。その中には振動後、時間遅れの流動や地表面勾配が1%以下で流動した例がある。実地盤は粒径の異なる成層構造からなっているのが通例である。地盤が液状化から回復する際に、透水性の低い層が存在するとその層の下に余剰間隙水が捕捉され、水の膜が生成される。我々はこの現象を水膜現象と呼び、せん断抵抗がゼロもしくは極めて低い面が形成され、地盤の側方流動に大きな影響を与える可能性があると考える。今回は、振動終了時からの低透水シームより下部の砂の体積変化が水膜現象と流動に与える影響について検討した。

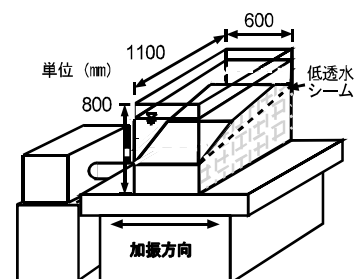


図 - 1 実験装置概略図

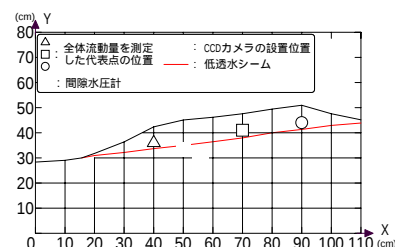


図 - 2 地盤形状図

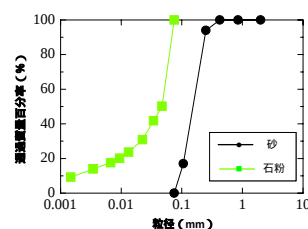


図 - 3 粒径加積曲線

表 - 1 実験条件

	低透水シーム(石粉) 平均厚さ	最大加速 度	勾配 (%)	相対密度 (%)
case1	8	282	23	50
case2	6	181	23	28
case3	6	299	14	54
case4	5	300	15	34
case5	5	160	15	36
case6	7	258	5	44
case7	6	164	5	34

表 - 2 流動量と流動割合

	最大点での全 体流動量(cm)	振動中		振動後	
		流動量(cm)	割合	流動量(cm)	割合
case1	15.6	2.0	0.13	13.6	0.87
case2	17.9	1.3	0.07	16.6	0.93
case3	11.7	1.5	0.13	10.2	0.87
case4	11.6	3.5	0.30	8.1	0.70
case5	3.2	0.4	0.11	2.9	0.89
case6	8.0	1.3	0.16	6.7	0.84
case7	6.1	0.7	0.11	5.5	0.89

2. 実験概要

図 - 1 は実験装置の概略図、図 - 2 は地盤形状図(15%勾配)、図 - 3 は実験で用いた試料の粒径加積曲線を示す。内寸法 1100×800×600mm の透明アクリル製土槽に細砂を水中落下法で緩結めに堆積させて、飽和傾斜地盤を作製する。その上に低透水シームを平均 6mm の厚さで堆積させ、さらにその上に細砂で台形型の盛土を堆積させた。低透水シームには石粉(Ip=0)を使用した。この模型地盤を 3Hz、3 波の正弦波で土槽の短辺方向に加振して、その流動を観察した。流動の様子を把握するために土槽内壁に貼り付けたマーカーの動きをビデオカメラで撮影し、実験を行った。表 - 1 は実験条件を表している。また、低透水シームより下部に CCD カメラを(X=55cm、Y=31cm)の位置(図 - 2 参照)に設置し、土粒子の動きを観察し、体積ひずみを測定した。体積ひずみの測定方法は、まず CCD 画像により円に近い形になるように土粒子を約 10 個選ぶ。それぞれの土粒子を振動終了時から流動終了時まで追ひ、各時間ごとに土粒子が囲む面積の変化を算出し、奥行き方向も同じ変形と仮定し、これを体積ひずみとした。実験で用いた細砂の土粒子密度は 2.742g/cm³、最大密度は 1.558g/cm³、最小密度は 1.216g/cm³ である。各試料の透水係数は細砂が 2×10⁻²cm/s、石粉が 2×10⁻⁴cm/s である。

3. 結果と考察

表 - 2 は図 - 2 で示す代表点での全ケースの最大流動量と振動中、振動後の流動量の割合を示したものである。この表から初期傾斜勾配が大きいほど流動量が大きくなる傾向があることがわかる。また振動後の流動量の割合が全体の流動量のおよそ 8 割以上を占めていることからいずれのケースも水膜が生成されて振動後に再流動が起こったことが分かる。

キーワード：水膜現象、振動台実験、再流動、ダイレイタンシー、液状化

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

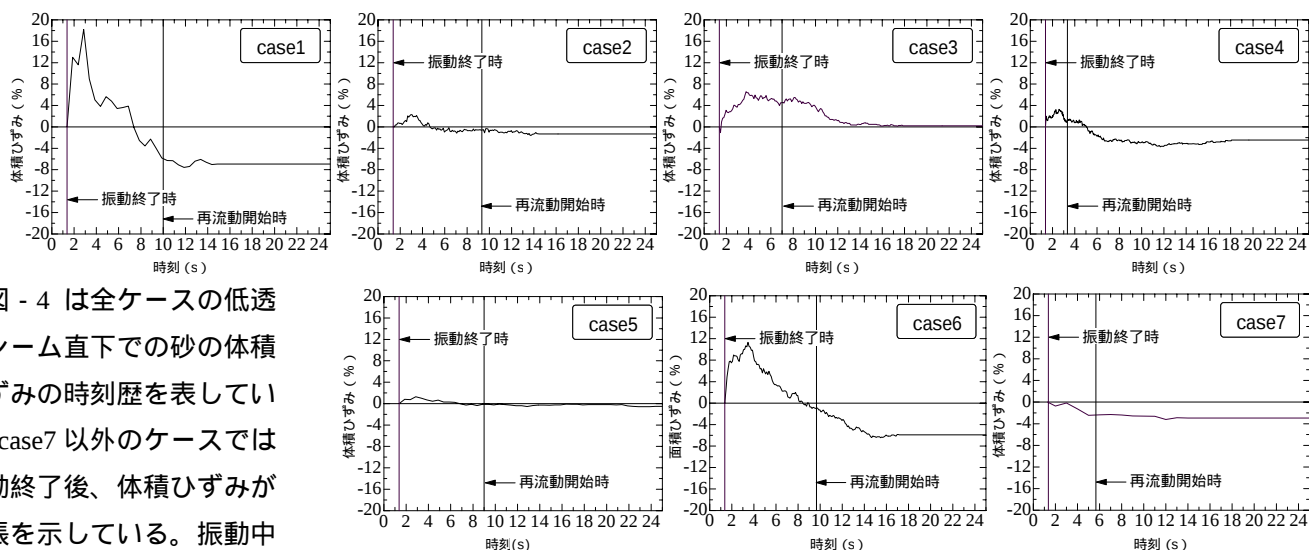


図 - 4 は全ケースの低透水シーム直下での砂の体積ひずみの時刻歴を表している。case7 以外のケースでは振動終了後、体積ひずみが膨張を示している。振動中から続く流動に伴って、せん断ひずみが増加し、ダイレイタンス現象が起こり、膨張したものと思われる。しかし、その膨張の程度は異なり、相対密度が大きい case1、3、6 が他のケースに比べて大きく膨張している。また、これらのケースはいずれも加速度が他のケースと比較して大きい。これらのことから相対密度が大きく、加速度が大きいと膨張しやすい傾向があることが分かる。また、いずれのケースでも、ある時点を経に収縮に転じている。図 - 5 は case1 の過剰間隙水圧の時刻歴を表し、水圧計の設置位置は図 - 2 に示す。振動終了後、水膜が生成されるにつれて、低透水シームより上部の地盤のせん断力が下部の地盤に伝わらなくなり、砂がダイレイトしなくなるため、図 - 5 に示すよう 10s あたりから、過剰間隙水圧が再上昇するものと考えられる。

図 - 4 体積ひずみの時刻歴

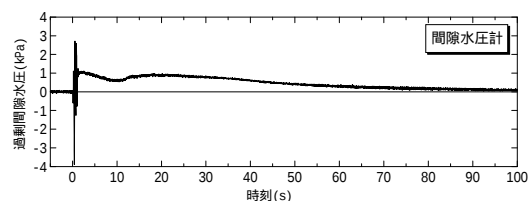


図 - 5 過剰間隙水圧の時刻歴

凡例

● : case1	相対密度 50% 傾斜勾配 23% 加速度 282gal	: case5	相対密度 36% 傾斜勾配 15% 加速度 161gal
○ : case2	相対密度 28% 傾斜勾配 23% 加速度 181gal	▲ : case6	相対密度 44% 傾斜勾配 5% 加速度 258gal
: case3	相対密度 54% 傾斜勾配 14% 加速度 299gal	□ : case7	相対密度 34% 傾斜勾配 5% 加速度 164gal
■ : case4	相対密度 34% 傾斜勾配 14% 加速度 301gal		

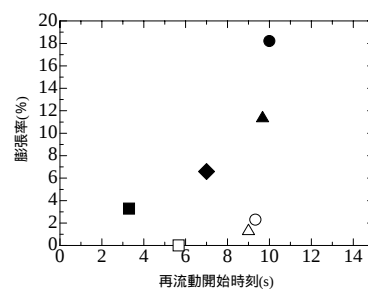


図 - 6 最大膨張率と再流動開始時刻の関係

図 - 6 は全ケースの低透水シーム直下での砂の体積ひずみについて、振動終了後からの膨張率が最大時の値を縦軸に取り、再流動開始時刻を横軸に取ったものである。凡例は図上に示す。再流動開始時刻は図 - 2 で示す地盤形状図の X=40cm、70cm、90cm の位置の低透水シーム直上での再流動開始時刻を平均したものである。また図 - 5 の黒いマークは最大加速度が約 280gal と大きく、白いマークは最大加速度が約 160gal と小さい場合を示している。加速度の大小によって傾きが異なるが、いずれの場合も最大膨張率が大きいほど再流動の開始時刻が遅くなっている。このことから最大膨張率が大きいほど、余剰間隙水が低透水シーム直下の地盤に吸収され、水膜が生成されるのが遅くなると思われる。また加速度が小さい場合は、加速度が大きい場合に比べて最大膨張率は小さく、低透水シームより下部の地盤が余剰間隙水をほとんど吸収しないと思われる。しかし、加速度が小さいほど余剰間隙水の発生量が少ないと思われることから再流動開始時刻が遅くなるものと考えられる。

4. まとめ

- ・低透水シームの直下の地盤は相対密度が大きいほど、そして加速度が大きいほど、正のダイレイタンス現象の影響を受けやすい。
- ・低透水シームの直下の地盤がダイレイタンス現象によって膨張するほど、水膜現象による再流動開始時刻が遅くなる。