

傾斜地盤に斜面と平行に低透水シームを挟み込んだ模型実験におけるエネルギー的検討

中央大学 学生会員 ○樺澤 和宏 正会員 國生 剛治
学生会員 清水 愛子 学生会員 吉川 陽

1. はじめに

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。地盤が地震によって液状化し、その後液状化から回復する際に間隙の再配分によって排水された余剰間隙水が透水性の低い層の直下に捕捉され、水の膜を生成すると考えられる。この現象を水膜現象（Water film effect）と呼び、この水膜に沿ってせん断抵抗力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ものと考えられる。

今回は、傾斜地盤に斜面と平行に低透水シームを挟み込んだ模型地盤において振動台実験を行い、振動終了後の水膜による流動についてエネルギー的検討から内部摩擦角を逆算した。

2. 実験概要

内寸法 1100 × 800 × 600mm の透明アクリル製土槽に水中落下法により細砂、非塑性材料、細砂の順で堆積させて、平均 6mm の厚さの低透水シームを挟み込んだ飽和傾斜地盤を作製する。この模型地盤を 3Hz、3 波の正弦波で土槽短辺方向に加振し、地盤を液状化させて流動の様子をビデオカメラで撮影した。低透水シームには非塑性材料（NP）を用いた。図-1 に実験で用いた試料の粒径加積曲線を、表-1 に各ケースの実験条件を示す。地盤の形状は図-2 に示すとおりであり、case2,3（図-2(b)）では流動の妨げとなる流動方向の土槽壁面の影響を軽減するために斜面上流部と下流部を削ってある。実験で用いた各試料の透水係数は細砂が 2×10^{-2} cm/s、非塑性材料が 2×10^{-4} cm/s である。

3. 結果と考察

図-3 は移動量の時刻歴を示しており、いずれのケースも振動終了後に水膜現象によってシームより上部で再流動が起きているのが分かる。case1 では流動方向の土槽壁面の影響で斜面下流側から圧縮するように流動が生じる。一方 case2,3 では斜面下流側の壁面の影響が小さいために振動中に下流部で大きく流動し、その後水膜によってシームより上部が一体となり流動する。そして土塊が土槽壁面に達すると下流側から圧縮するように流動する。

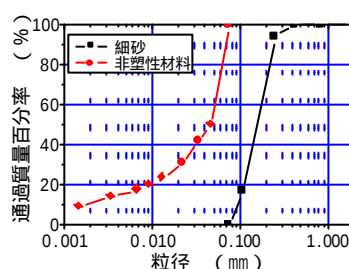


図-1 粒径加積曲線

表-1 実験条件

	case1	case2	case3
低透水シーム	非塑性材料		
土槽壁面の影響	あり	軽減	軽減
相対密度 (%)	25	30	34
入力加速度 (gal)	290	280	165
傾斜勾配 (%)	23	24	5

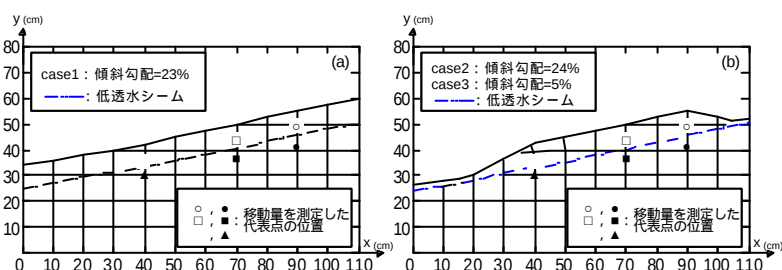


図-2 地盤形状と移動量を測定した代表点の位置

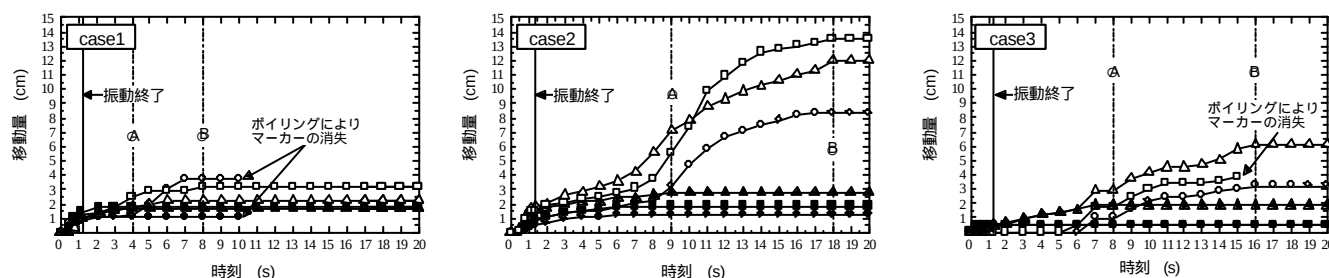


図-3 移動量の時刻歴

キーワード：液状化，水膜現象，側方流動，振動台実験，エネルギー的検討

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 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803

図-3 の移動量の時刻歴から振動終了後の水膜現象によって流動する区間 A ~ B においてエネルギー的検討を行うことにより，水膜沿いに発揮される内部摩擦角を定量的に評価することを試みた．A 点での位置エネルギーを E_{PA} ，運動エネルギーを E_{KA} ，B 点での位置エネルギーを E_{PB} ，運動エネルギーを E_{KB} とし，この区間で摩擦や粘性によって消費されるエネルギーを W とすると，

$$E_{PA} + E_{KA} = E_{PB} + E_{KB} + W \quad (1)$$

が成り立つ．さらにこの式を変形して

$$(E_{PA} - E_{PB}) + (E_{KA} - E_{KB}) = \Delta E_P + \Delta E_K = W \quad (2)$$

と表すことによって，位置エネルギーと運動エネルギーの変化量の和がその間に地盤内で流動により失われるエネルギーと等しいことを意味する．

位置エネルギーと運動エネルギーの変化を算出するためにビデオカメラで撮影した画像から低透水シームより上部の地盤を n 個 ($n = 8 \sim 10$) のブロックに分け，それぞれ以下の式で求める．

$$\Delta E_P = \sum_{i=1}^n M_{Ai}' gh_{Ai} - \sum_{i=1}^n M_{Bi}' gh_{Bi} \quad (3) \quad \Delta E_K = \frac{(\sum_{i=1}^n M_{Ai}' v_{Ai}^2 - \sum_{i=1}^n M_{Bi}' v_{Bi}^2)}{2} \quad (4)$$

次に，AB 間で消費されるエネルギー W をシーム底面に沿ったせん断抵抗による W_1 と壁面との間のせん断抵抗による W_2 ，流動土塊の体積変形に伴う消費エネルギー W_3 ，流動土塊のせん断変形に伴う消費エネルギー W_4 ，水膜中の水の粘性による消費エネルギー W_5 によると仮定し，次式で表す．

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \quad (5) \quad W_1 = \tan f' s \sum_{i=1}^n (d_i' \cos q_i A_i) \quad (6)$$

$$W_2 = s \sum_{i=1}^n 2 \frac{d_i'}{2} l m K_0 B_i \quad (7) \quad W_3 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (d_{xi}' e_{xi} + d_{yi}' e_{yi}) V_i \quad (8)$$

$$W_4 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (t_{xyi} g_{xyi}) V_i \quad (9) \quad W_5 = m_w \frac{\Delta v_{Av}}{\Delta d} s \sum_{i=1}^n A_i \quad (10)$$

ここで内部摩擦角以外の値はビデオの画像から計算できるので，式(2)から等価内部摩擦角 ϕ' を逆算できる．図-4 は相対密度と等価内部摩擦角の関係を表したものである．ここで低透水シーム沿いの砂に発揮される内部摩擦角の値と比較するために，静的傾斜実験¹⁾で得られた内部摩擦角 ($\phi' = 29^\circ$) をここでは均質な砂の内部摩擦角と考え，図-4 中では印で示した．また，図中に示す直線は今回の実験で低透水シーム直下の水膜沿いに発揮された等価な内部摩擦角の平均値を，点線は傾斜地盤に円弧状にシームを挟み込んだ別の実験結果の平均値を表したものである²⁾．均質な砂と比べて $\tan \phi'$ で計算したせん断抵抗の値が平均で約 13% にまで低減する．また，円弧状に低透水シームを挟み込んだケースよりもせん断抵抗が低くなった．これはシームの形状の違いにより水膜の生成厚さの連続性などが異なったものと考えられる．また，水膜沿いのすべりにも関わらず完全にゼロとならない．これは完全に地盤が切り離される前にシームに沿って強度が低下し流動が生じるためでないかと考える．

4. まとめ

- ・低透水シームを傾斜角と平行に挟み込んだ場合，水膜現象により摩擦抵抗が約 13% に下がる．
- ・シームの形状の違いにより水膜による流動時におけるせん断抵抗の低減率に違いが見られた．

参考文献 1) 國生剛治，樺澤和宏：静的載荷条件下における飽和砂斜面での水膜生成の可能性，土木学会第 56 回年次学術講演会，第 部門，pp. 346-347, 2001. 2) 樺澤和宏，國生剛治：液状化地盤の水膜現象による流動の模型実験とエネルギー的検討，土木学会論文集，投稿中

表-2 解析パラメータ表

パラメータ	記号
要素番号	n
シーム上部の水中質量 [kg]	M'
重力加速度 (=9.8 [m/s ²])	g
シームより上部の重心高さ [m]	h
土塊の流動速度 [m/s]	v
シーム上部の体積 [m ³]	V
シーム上部の質量 [kg]	M
内部摩擦角 [deg]	ϕ'
すべり面に沿った流動距離 [m]	s
有効応力 [kPa]	σ'
シームの傾斜勾配 [deg]	θ
シームより上部の底面積 [m ²]	A
土塊の高さ [m]	l
土槽と砂の間の摩擦係数 (=0.25)	μ
静止土圧係数 (=0.5)	K_0
土塊の幅 [m]	B
土塊のひずみ	ε
土塊のせん断ひずみ	τ_{xy}
水の粘性係数 (=1.307 [nPa·s])	μ_w
水膜の厚さ (=1 [mm])	Δd

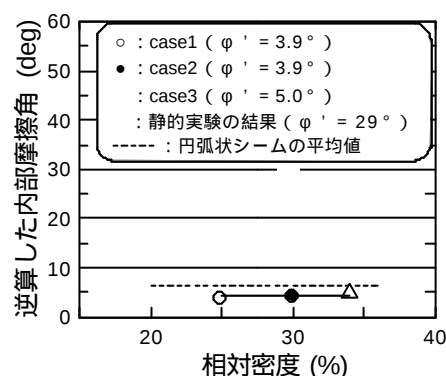


図-4 相対密度と逆算した等価内部摩擦