

☒ 6.8 Case1-3-2 (-0.1)

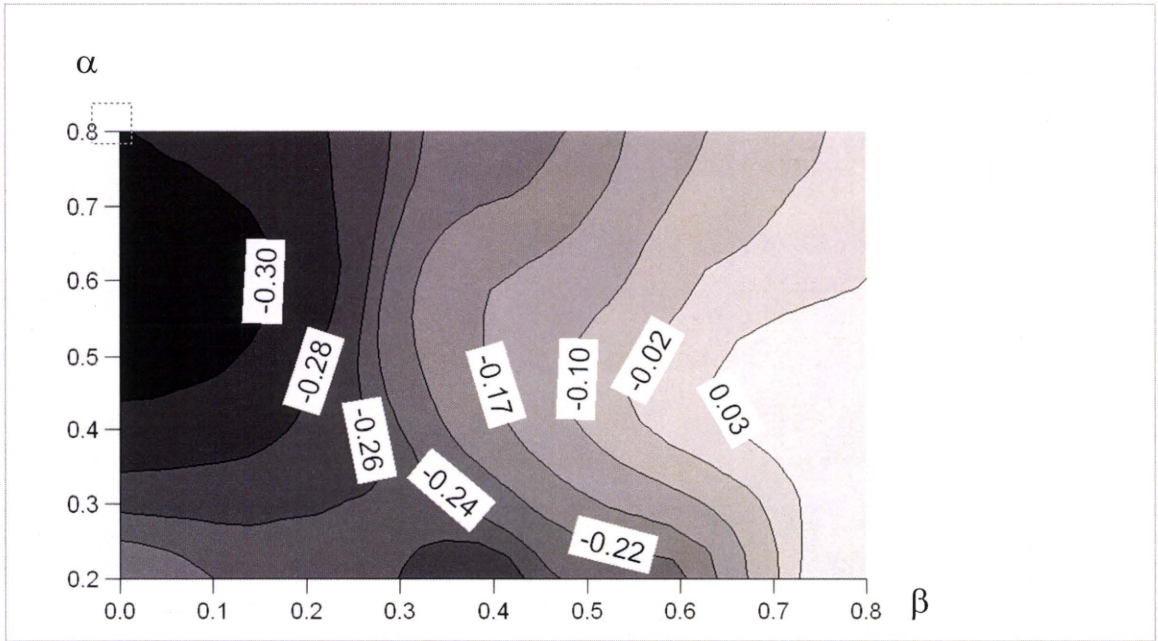


图 6.9 Case 2-1-2 (-0.15)

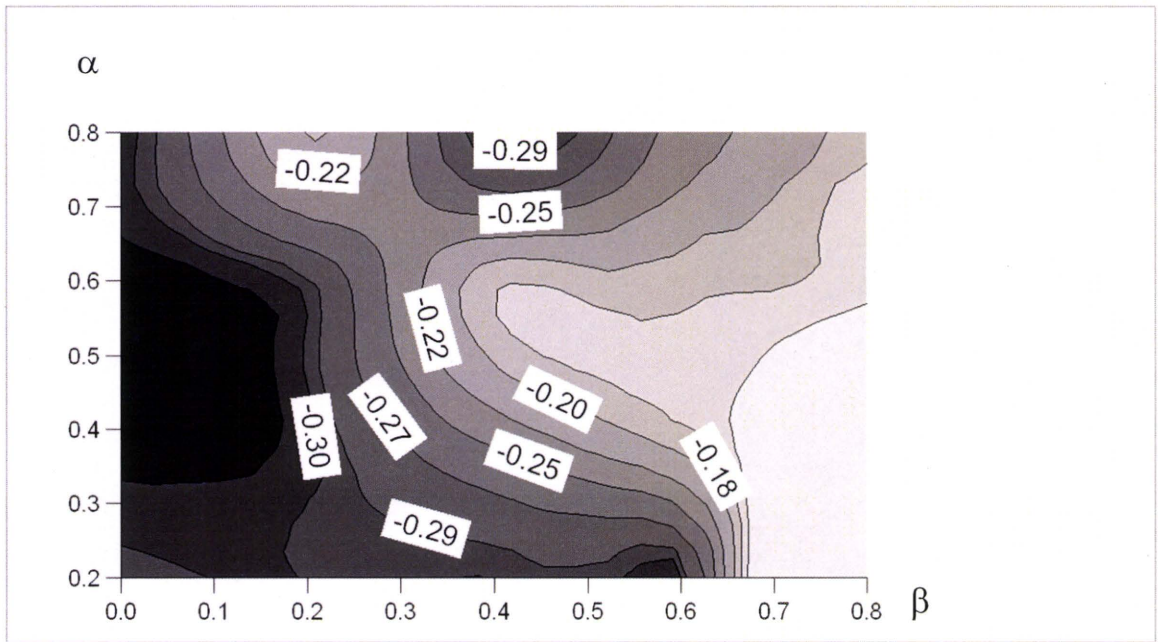


图 6.10 Case 3-1-2 (-0.41)

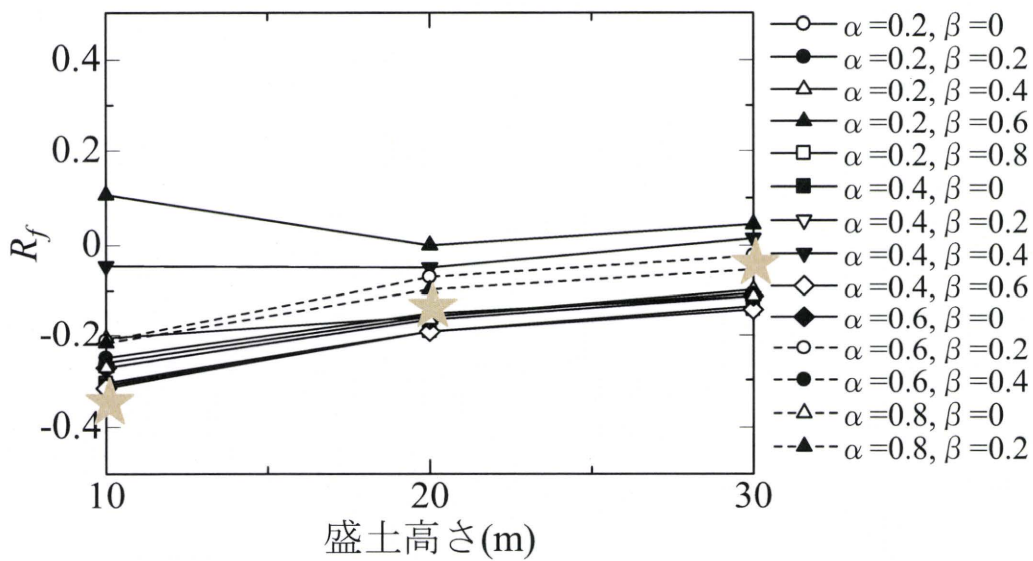


図 6.11 Case1-1, Case1-2, Case1-3 を比較した R_f と斜面高さの関係

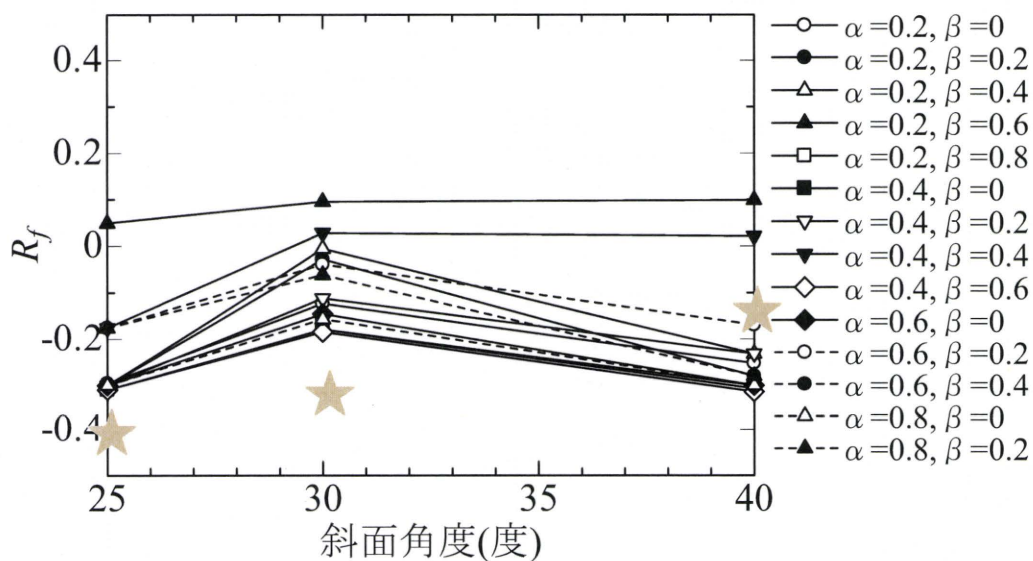


図 6.12 Case 1-1-2, Case 2-1-2, Case 3-1-2 における R_f と斜面角度の関係

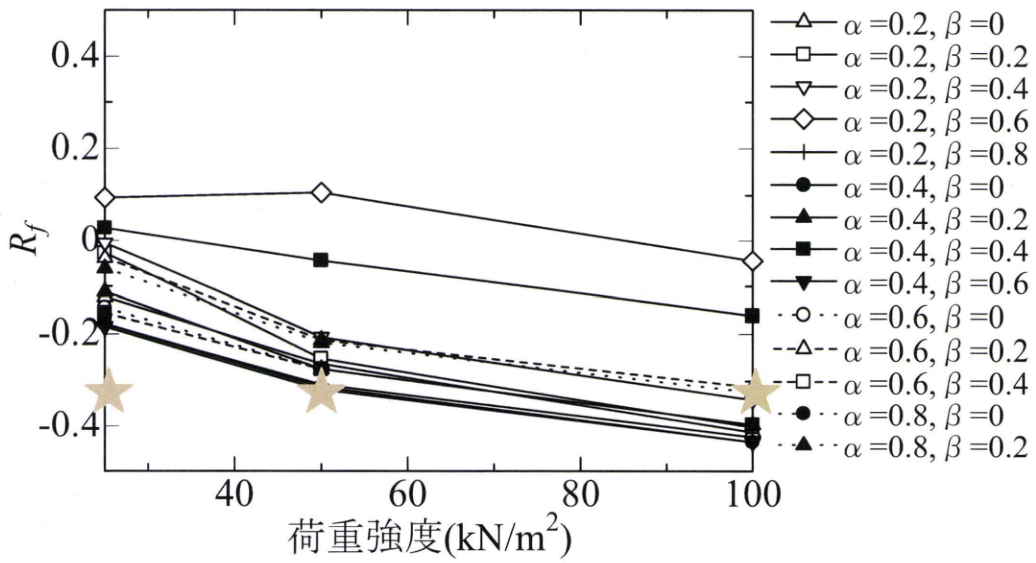


図 6.13 Case 1-1-1, Case 1-1-2, Case 1-1-3 における R_f と分布荷重の関係

表 6.1 解析を行った Case

	斜面角度 θ	盛土高さ $H(m)$	q (kN/m^2)	見かけの 粘着力 $c(kN/m^2)$	内部摩擦角 ϕ_a	湿潤単位 体積重量 $\gamma_t(kN/m^3)$	\square ($\gamma H \tan \phi / c$)	
Case 1-1	30	10	25	10	30	15	8.66	
Case 1-2		20		10	30	15	17.32	
Case 1-3		30		10	30	15	25.98	
Case 2-1	40	10		10	30	15	8.66	
Case 2-2		20		10	30	15	17.32	
Case 2-3		30		10	30	15	25.98	
Case 3-1	25	10		100	10	30	15	8.66
Case 3-2		20			10	30	15	17.32
Case 3-3		30			10	30	15	25.98

表 6.2 計算を行った全ケースの結果

$\theta=30^\circ$		Case1-1(H=10)			Case1-2(H=20)			Case1-3(H=30)		
α	β	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100
0.2	0	1.58	1.32	1.03	1.35	1.22	0.98	1.27	1.19	0.98
0.2	0.2	1.57	1.32	1.05	1.4	1.23	0.97	1.31	1.2	0.98
0.2	0.4	1.74	1.34	1.07	1.44	1.24	1	1.34	1.19	1
0.2	0.6	1.78	1.42	1.18	1.46	1.23	1	1.37	1.21	0.99
0.2	0.8	1.96	1.98	1.71	1.54	1.46	1.28	1.4	1.4	1.35
0.4	0	1.47	1.24	1.03	1.3	1.18	0.97	1.24	1.15	0.98
0.6	0.2	1.47	1.23	1.01	1.34	1.18	1	1.27	1.16	1
0.8	0.4	1.59	1.3	1.08	1.4	1.22	1	1.33	1.19	0.99
0.4	0.6	1.84	1.71	1.5	1.57	1.39	1.2	1.42	1.36	1.21
0.6	0	1.46	1.22	1.01	1.3	1.18	1	1.24	1.15	1
0.6	0.2	1.53	1.3	1.08	1.36	1.22	1	1.29	1.19	0.99
0.6	0.4	1.72	1.41	1.23	1.52	1.36	1.18	1.41	1.31	1.19
0.8	0	1.51	1.3	1.08	1.33	1.22	1	1.26	1.19	0.99
0.8	0.2	1.68	1.4	1.21	1.44	1.32	1.19	1.35	1.27	1.07
F_{s0}		1.79			1.46			1.34		

$\theta = 45^\circ$		Case2-1(H=10)			Case2-2 (H=20)			Case2-3(H=30)		
α	β	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100
0.2	0	1.32	1.09	0.85	1.05	0.96	0.78	0.96	0.91	0.77
0.2	0.2	1.28	1.06	0.83	1.09	0.96	0.78	0.99	0.91	0.77
0.2	0.4	1.39	1.02	0.81	1.12	0.96	0.78	1.02	0.93	0.77
0.2	0.6	1.47	1.09	0.8	1.15	0.97	0.78	1.04	0.93	0.77
0.2	0.8	1.52	1.56	1.56	1.18	1.02	0.85	1.05	1.05	0.91
0.4	0	1.23	0.99	0.81	1.01	0.9	0.77	0.94	0.87	0.76
0.6	0.2	1.18	0.98	0.78	1.05	0.91	0.77	0.98	0.88	0.77
0.8	0.4	1.38	1.09	0.8	1.09	0.94	0.78	1.03	0.91	0.77
0.4	0.6	1.55	1.45	1.18	1.19	1	0.84	1.06	1.05	0.9
0.6	0	1.18	0.97	0.78	1.01	0.9	0.77	0.94	0.86	0.77
0.6	0.2	1.2	0.99	0.8	1.07	0.93	0.78	0.99	0.9	0.77
0.6	0.4	1.4	1.18	1.01	1.15	1	0.84	1.06	0.99	0.86
0.8	0	1.2	0.99	0.8	1.02	0.93	0.78	0.95	0.88	0.77
0.8	0.2	1.25	1.02	0.86	1.09	0.97	0.84	1.02	0.93	0.84
F_{s0}		1.42			1.13			1.02		

$\theta = 25^\circ$		Case3-1(H=10)			Case3-2 (H=20)			Case3-3(H=30)		
α	β	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100	q=25	q=50	q=100
0.2	0	1.78	1.45	0.78	1.6	1.41	1.11	1.51	1.4	1.14
0.2	0.2	1.79	1.44	0.78	1.62	1.41	1.12	1.54	1.4	1.12
0.2	0.4	1.8	1.43	0.78	1.66	1.41	1.13	1.56	1.4	1.1
0.2	0.6	1.95	1.43	0.78	1.71	1.41	1.14	1.63	1.4	1.09
0.2	0.8	2.19	2.15	0.85	1.81	1.81	1.55	1.66	1.66	1.48
0.4	0	1.67	1.41	0.77	1.54	1.39	1.12	1.47	1.37	1.12
0.6	0.2	1.68	1.41	0.77	1.56	1.39	1.13	1.5	1.38	1.1
0.8	0.4	1.8	1.43	0.78	1.63	1.41	1.14	1.56	1.5	1.09
0.4	0.6	2.11	1.69	0.84	1.87	1.73	1.52	1.69	1.64	1.47
0.6	0	1.66	1.41	0.77	1.53	1.39	1.13	1.47	1.37	1.1
0.6	0.2	1.76	1.43	0.78	1.6	1.41	1.14	1.53	1.4	1.09
0.6	0.4	2	1.69	0.84	1.82	1.66	1.48	1.68	1.58	1.46
0.8	0	1.73	1.43	0.78	1.57	1.41	1.14	1.5	1.4	1.09
0.8	0.2	1.91	1.69	0.84	1.74	1.62	1.48	1.61	1.55	1.45
F_{s0}		2.05			1.72			1.6		

6.3 遠心模型実験による妥当性検討

6.3.1 実験概要

遠心模型実験実施の第一目的は、ここまでに計算を行った修正フェレニウス法の適合性の確認である。そのために、計算とは別条件ではあるが、地盤を作成し、付加荷重模型を斜面上へ載せ、遠心模型装置で加速度を上げていく実験を行った。本研究では、1995 年度に東京工業大学土質研究室に設置された MarkIII Centrifuge を使用した。

1. 地盤材料

本研究では、地盤材料として江戸崎砂を用いた。江戸崎砂は、茨城県内で採取した砂で、建設工事で一般的に山砂として用いられる粒度の良い砂質土である。図 6.14 に粒径加積曲線を示す。また、図 6.15 に締め固め曲線を示す。最適含水比は $w=15\%$ で最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.76 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であった。

本実験では、静的に締め固めることによって地盤を均等に締め固める手法を用いた。図 6.16 は、締め固め度と圧力の関係を示す。本実験では、目標締め固め度 $D_c=77\%$ とし、締め固め圧力を 70kPa とした。このときの密度は $\rho_d = 1.36 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であり、一面せん断試験により強度定数を求めた。図 6.17 に実験の結果得られたせん断変位—せん断応力関係、図 6.18 に最大せん断応力—垂直応力の関係を示す。図 6.18 より江戸崎砂($D_c=77\%$) のせん断抵抗角 $\phi = 36^\circ$ という結果が得られた。また、一面せん断試験から得られた粘着力は $c = 4.78 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ であったが、後述する鉛直斜面の遠心模型実験から求めた $c = 2.48 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ を用いる。

2. 実験手順

i. 地盤作製

<締め固め>

締め固め後の土高さが各層 4 cm ごとになるように、所定の密度から逆算した土量を土槽へ入れる。その後、ペロフラムシリンダーを用いて静的締め固めを行う。その後、表面をほぐし、再び土を土槽へ入れる。これを繰り返す、層厚が 32 cm となるまで 8 回繰り返す。

<斜面作製>

締め固めを行った後、土層両面を開け、斜面の形状に削り取り、地盤の動きを見るためのターゲットを土表面へ埋め込む。

<遠心模型実験準備>

容器を遠心荷重装置に取り付け、ポテンシオメーター、レーザー変位計、蛍光灯、CCD カメラ、デジタルカメラなどを所定の位置に設置する。

3. 実験ケース

本研究における実験の目的は、斜面上への荷重位置によるすべり面の変化や、安定性の変化を調べ、修正フェレニウス法の妥当性を評価することであるため、模型の置く位置をずらして実験を行った。

Case 0	鉛直斜面を作製し、斜面を崩壊させ、粘着力 c を逆算する。
Case 1	荷重を与えずに単純斜面で行う。
Case 2	法肩付近に乗せる。 $\alpha = 0.4, \beta = 0.1$ ケース
Case 3	法尻付近へ乗せる。 $\alpha = 0.4, \beta = 0.5$ ケース

それぞれの Case におけるセットアップ図を以下の図 6.19 ～図 6.22 に示す。

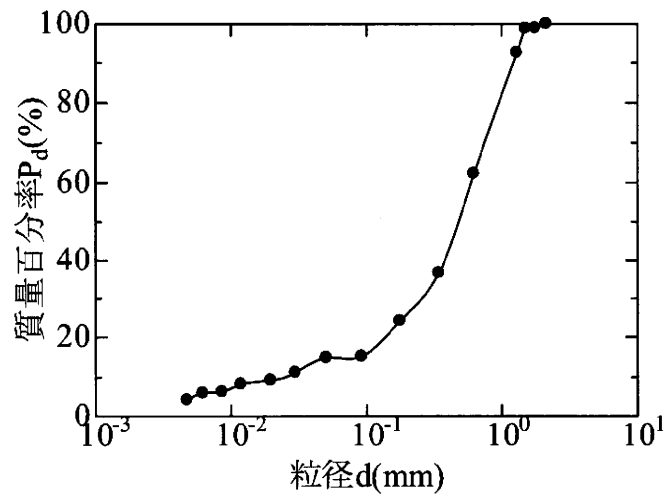


図 6.14 江戸崎砂粒径加積曲線

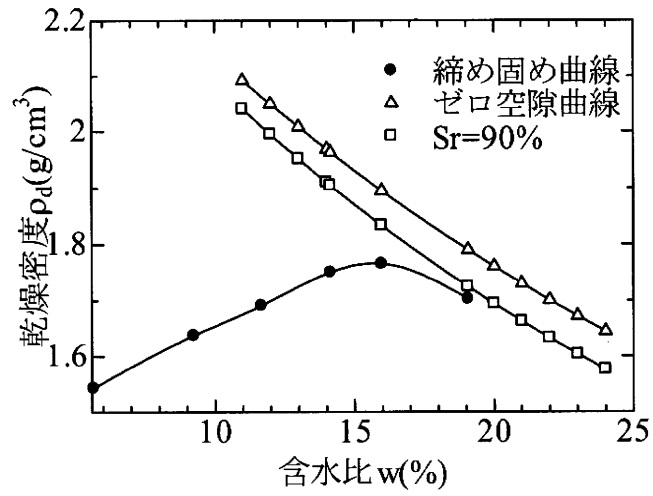


図 6.15 江戸崎砂締め固め曲線

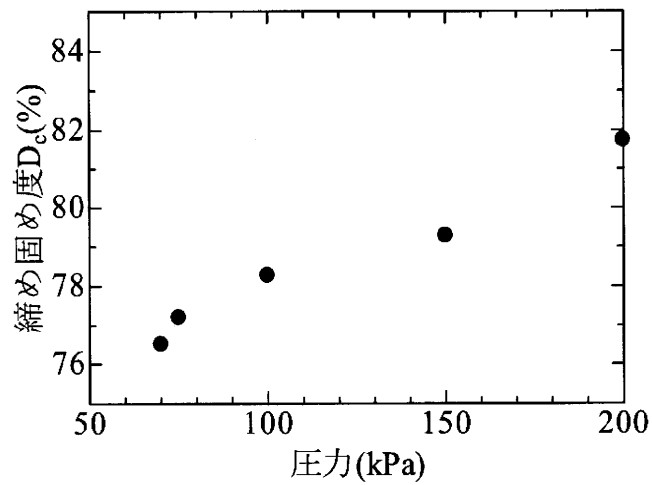


図 6.16 江戸崎砂静的締め固め時圧力と締め固め度の関係

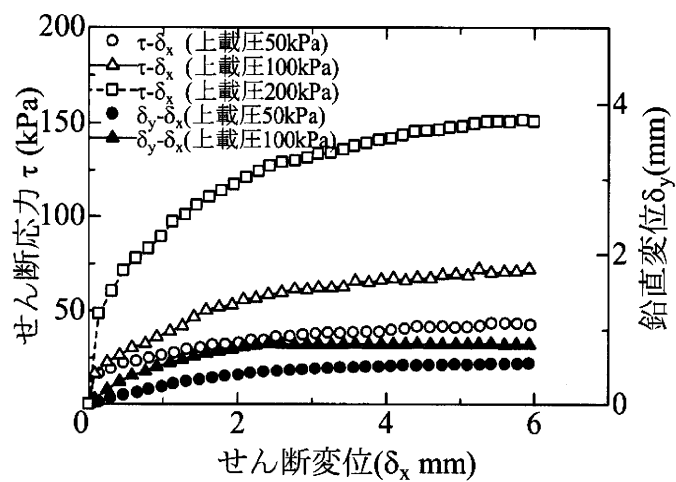


図 6.17 せん断応力—せん断変位、鉛直変位—せん断変位の関係

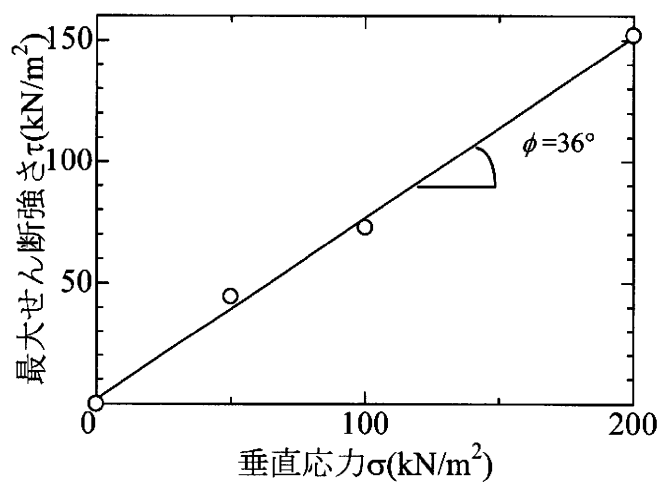


図 6.18 定圧せん断強さ—垂直応力の関係

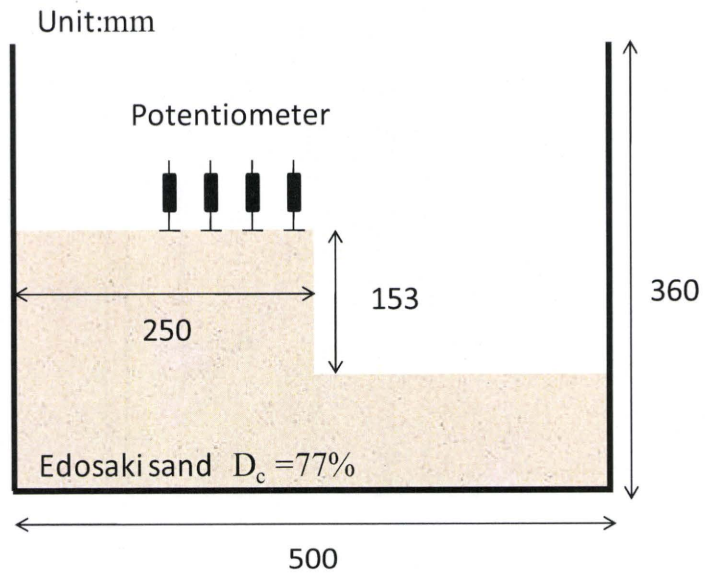


図 6.19 Case 0 セットアップ図

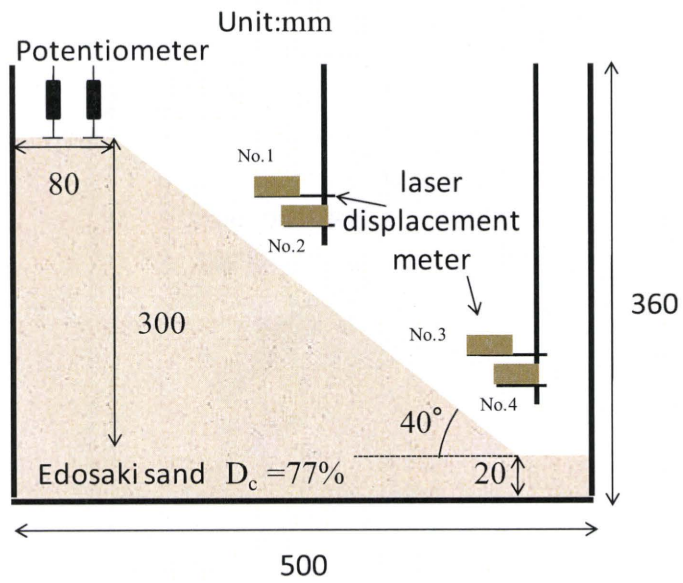


図 6.20 Case 1 セットアップ図

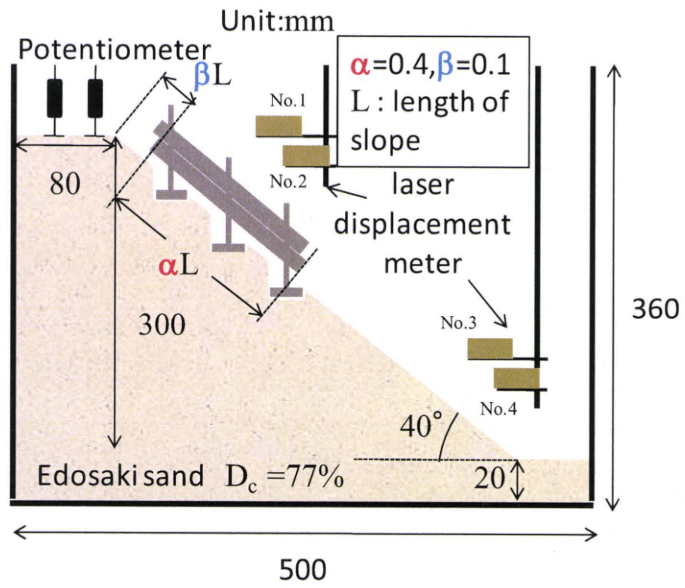


図 6.21 Case 2 セットアップ図

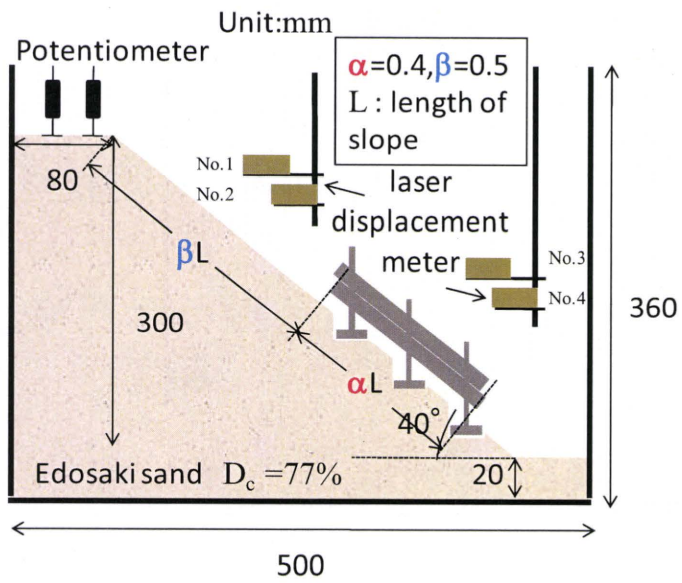


図 6.22 Case 3 セットアップ図

6.4 実験結果

1. Case 0 粘着力の逆算

鉛直斜面高さを 15.3cm とし、破壊するまでに徐々に遠心加速度を上げていった。

鉛直壁は、遠心加速度が 7.9 g となったところで崩壊した。

よって、限界高さは、 $H_c = 124 \text{ cm}$

一面せん断試験の結果により、 $\phi = 36^\circ$

$$\text{ランキンの土圧式 } H_c = \frac{4 \times c}{\gamma_t} \times \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

へ既知の値を代入して、粘着力 $c = 2.48 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

となる。

2. Case1 単純斜面

このケースで用いたセットアップは図 6.20 に示した。図 6.23 に法面上の変位を計測したレーザー変位計と天端変位を計測したポテンシオメーターの遠心加速度を徐々に上げた際の変位推移を示す。本ケースでは、破壊は徐々に進行し、明確な破壊点は現れなかったが、図 6.23 において、図中に○で示した 110G 付近において、レーザー変位計 No.3 における変位がやや急激に変化すること、天端上のポテンシオメーターの傾きが変化していること等から、110G 前後で破壊が起こったとみられる。これは、映像で検証した場合の値とほぼ一致するため、妥当な破壊点であると考えられる。また、破壊点と思われる 110G 前後において、PIV 解析を行った。PIV による地盤のベクトル変位図を図 6.24 へ示す。

3. Case2 パネル模型を上部に載せた場合($\alpha = 0.4, \beta = 0.1$)

本ケースでのセットアップ図は、図 6.21 へ載せた。図 6.25 において、地盤の動きが急激に変化した部分を破壊点と考えると、破壊時加速度は、30G、42G と考えられる。

本ケースにおいても、PIV による画像解析を行った。変位図において、変位ベクトルの大きさが大きく赤くなる部分を破壊と考えると、30G 付近で一度斜面崩壊が発生していることが見て取れる。(図 6.26) さらに、一度動きが収束するが、加速度を上げていくうちに、徐々に変位が大きくなり、42 G でも崩壊が起こっていると考えられる。(図 6.30)

4. Case3 パネル模型を下部に載せた場合($\alpha = 0.4, \beta = 0.6$)

本ケースでのセットアップ図を、図 6.22 に示す。本ケースでは、PIV による画像解析が出来なかったが、太陽光パネル模型の沈下量を測るポテンシオメーターの値から読み取ると、破壊時の遠心加速度

は 34 G と考えられる。また、図 6.32 に載せた写真から破壊すべり面の位置を決定した。

5. 破壊時の加速度まとめ

ここで、実験で行った 3 ケースの破壊時の加速度を表 6.3 まとめてに示す。Case2, Case3 に関しては、一度目の破壊が起こった後、別のすべり面へ進行性破壊が発生したため、破壊時の加速度が複数個存在している。

6. 天端沈下量に関して

本実験では、天端の沈下量をポテンシオメーターで測定し、荷重設置によって盛土の沈下量の変化を記録した。その結果を Case 1~3 の結果をまとめて示す。Case2 の実験の際は、ポテンシオメーターの設置が不十分であったため、遠心加速度を上げて行った際、適切にポテンシオメーターが沈下していかず、最終的な沈下量 43 mm のみ得ることが出来た。この値は、実験後に実際に計測した値と同じであるため適切な値と評価できた。Case1 と Case2,3 を比較することで、付加荷重模型を載せると、天端の沈下量が明らかに増加することが分かる。また、Case2,3 の比較から、模型を載せる位置が、天端の沈下量に影響することが分かる。

ここで、実験後の天端の写真を図 6.34 に示す。(写真上のラインが元々の法肩部分にあたる)この写真より天端中央で段差が発生し、天端へすべり面が現れていると見る事が出来る。そのため、Case2 の実験では、荷重設置により、天端をすべり面が通る斜面全体での破壊が発生したと考えられる。

7. 計算値との比較

各実験条件を用い、安全率 $F_s = 1$ となる際の限界高さを、修正フェレニウス法による円弧滑り解析から求め、図 6.35~ 図 6.37 にすべり面の形状とともに示した。これにより、修正フェレニウス法による安定解析結果から求めた限界高さ、実験結果から求めた限界高さは、ほぼ一致していることが確認された。すべり面の形状に関しては、解析結果のすべり面と、実験でのすべり面に多少ずれがあるが、この原因として実験では 3 点の集中荷重を与えていたのに対し、安定解析では、分布荷重として与えたことが挙げられる。

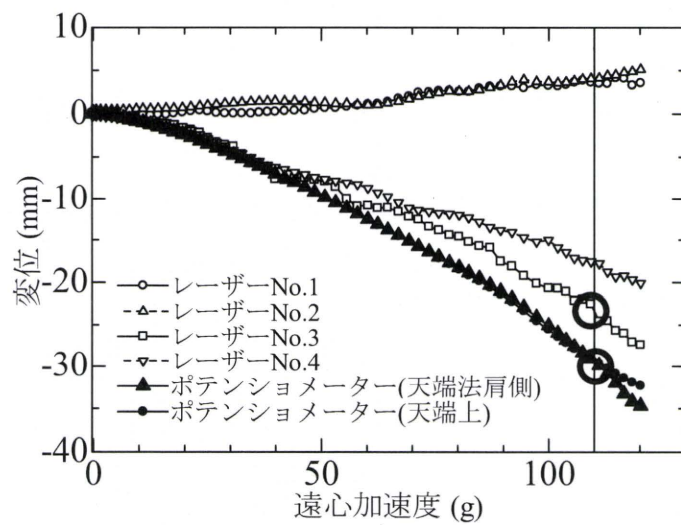


図 6.23 Case 1 レーザー変位計・ポテンシオメーターによる変位と遠心加速度の関係

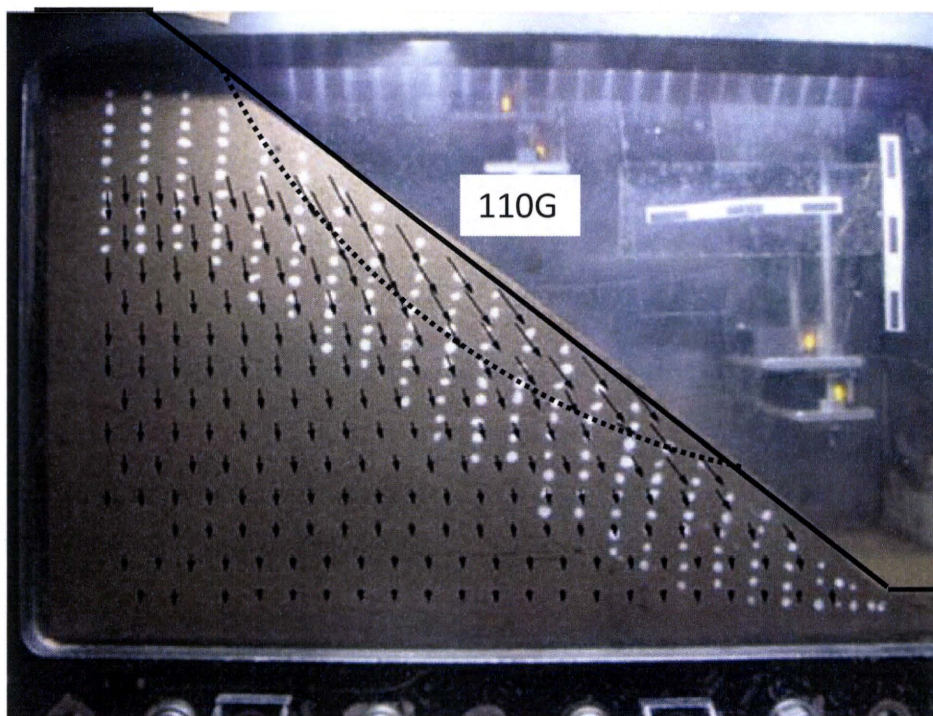


図 6.24 Case 1 110G におけるベクトル変位図

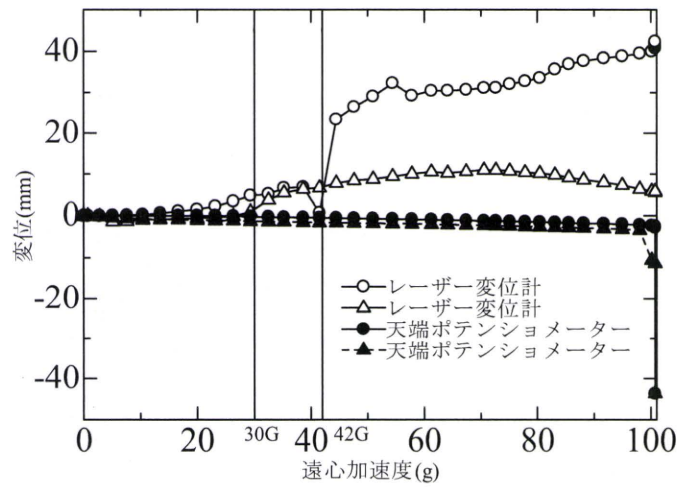


図 6.25 Case 2 レーザー変位計・ポテンシオメーターによる変位と遠心加速度との関係

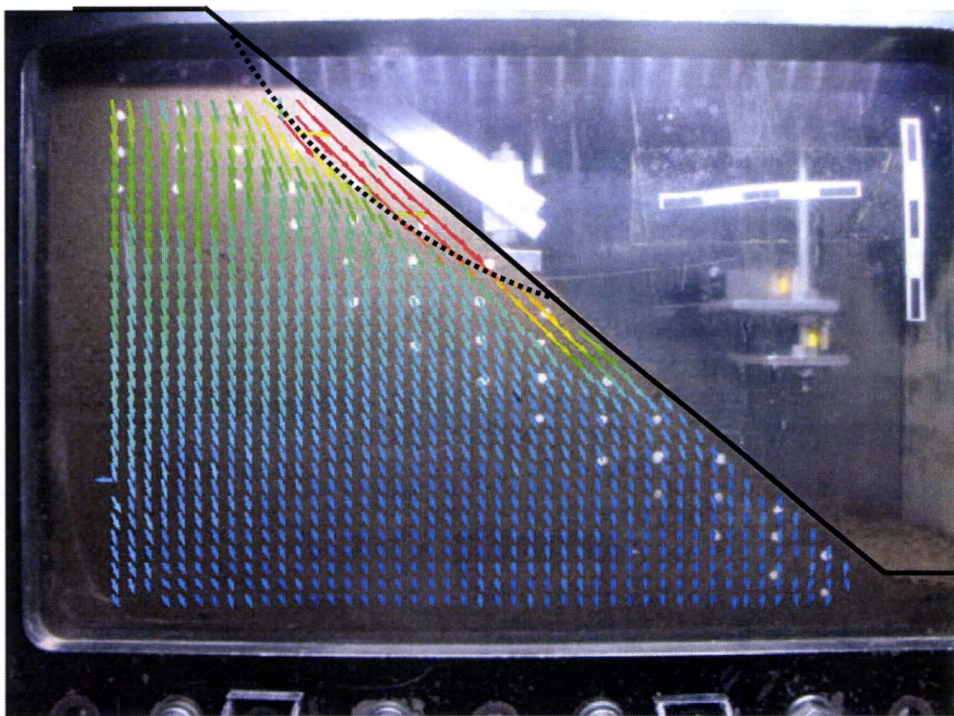


図 6.26 Case 2 遠心加速度 30G

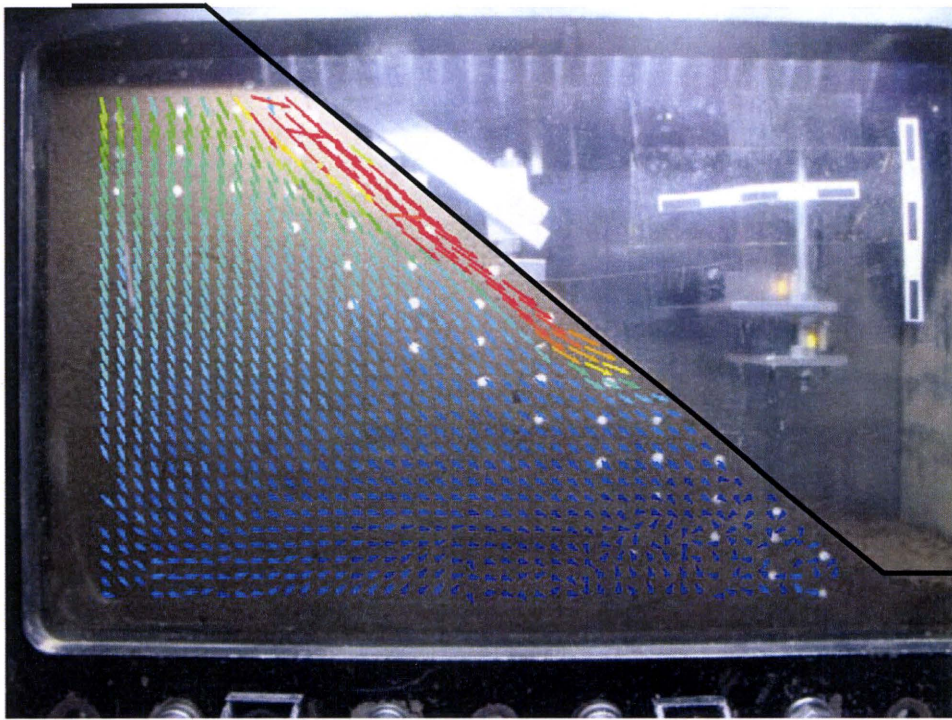


图 6.27 Case 2 遠心加速度 34G

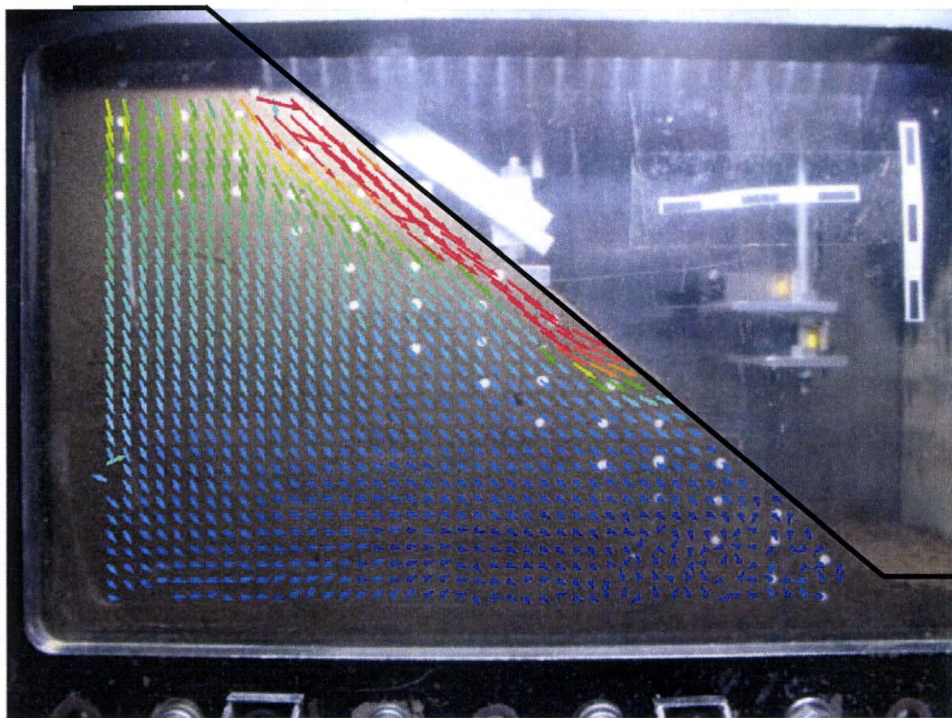


图 6.28 Case 2 遠心加速度 36G

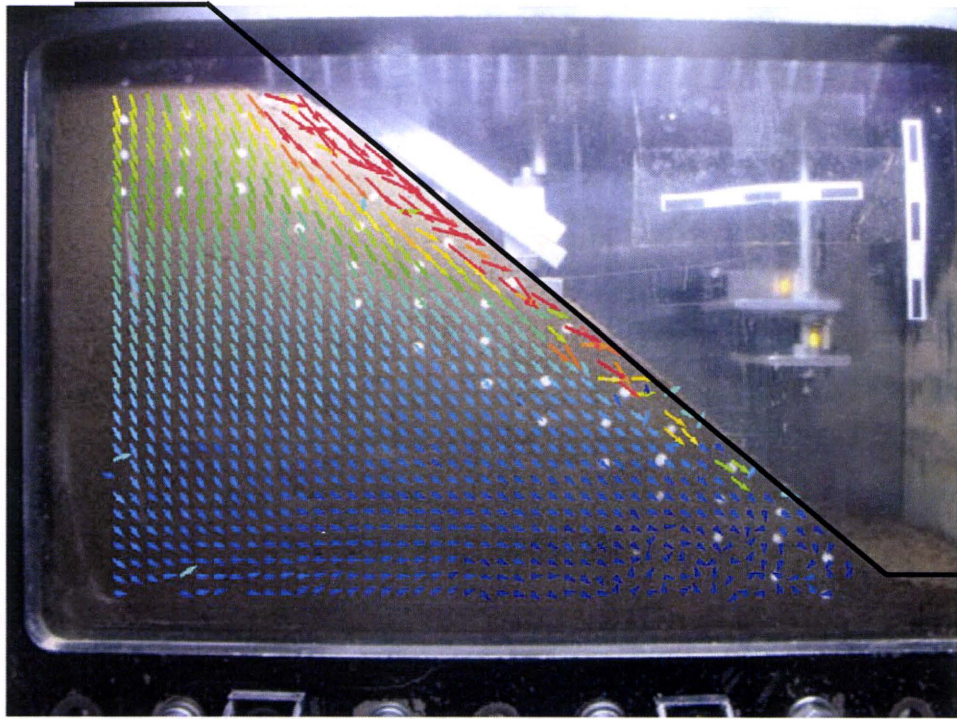


图 6.29 Case 2 遠心加速度 39G

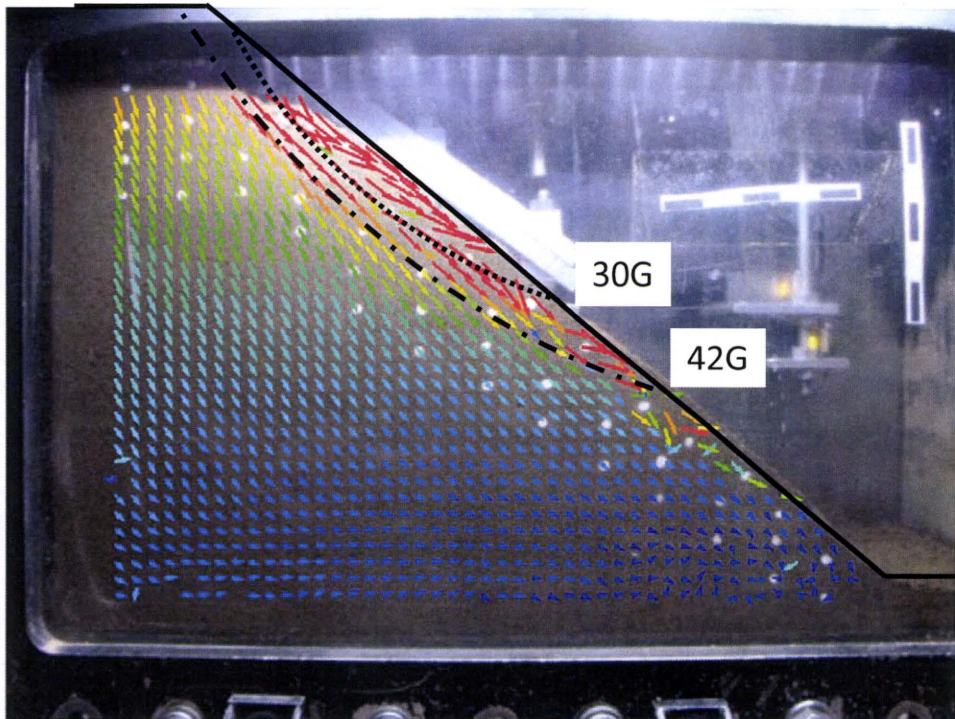


图 6.30 Case 2 遠心加速度 42G

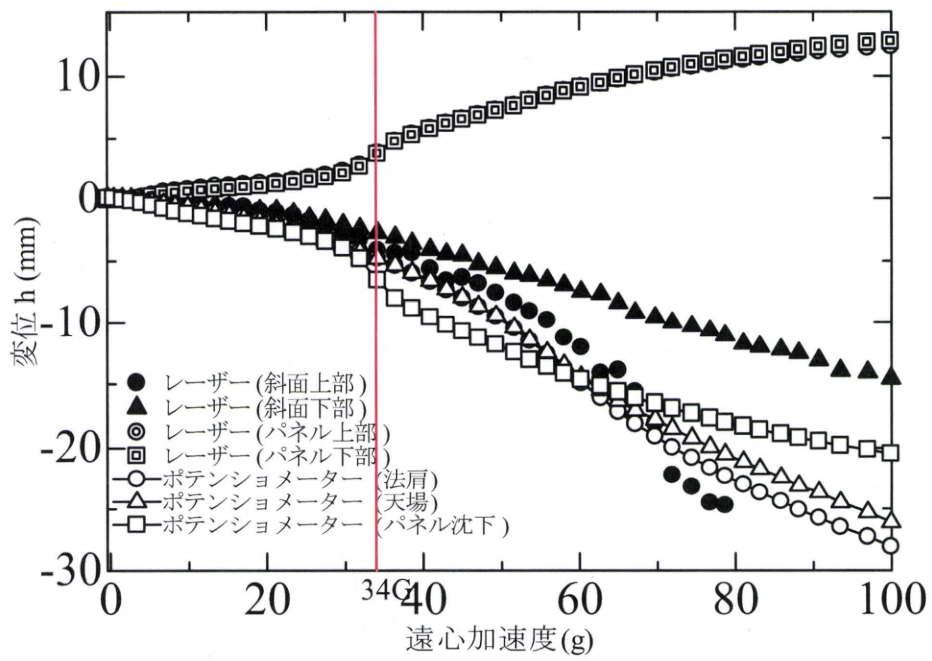


図 6.31 Case 3 レーザー変位計・ポテンシオメーターによる変位と遠心加速度の関係

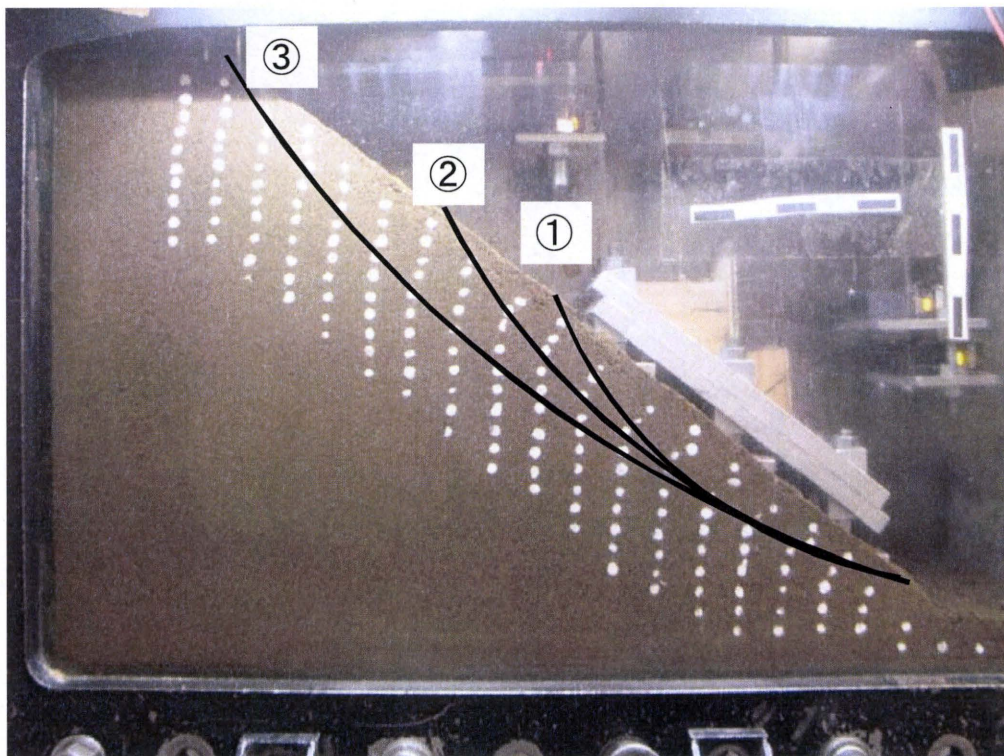


図 6.32 Case 3 すべり面位置

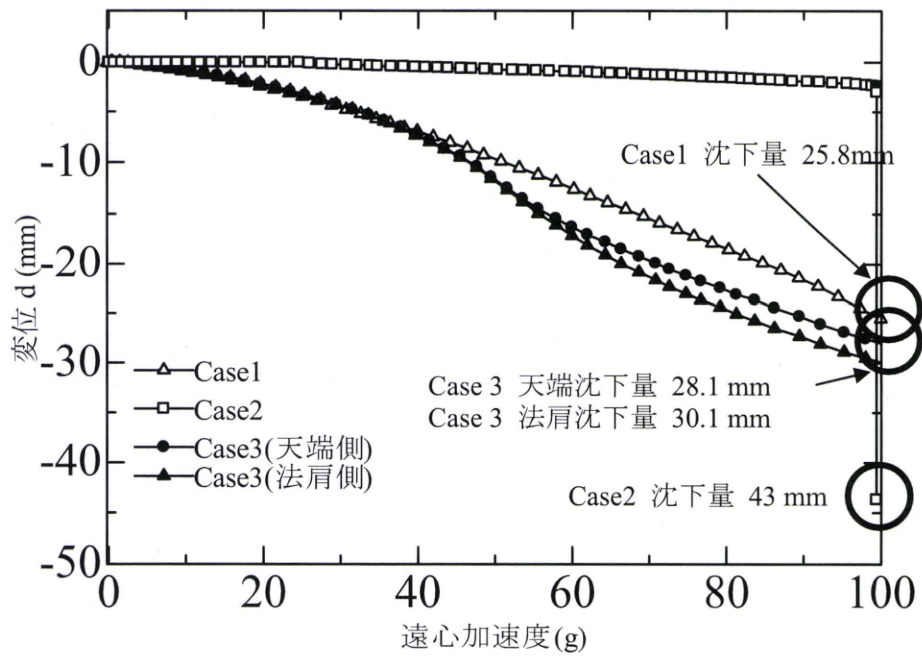


図 6.33 天端に設置したポテンシオメーターの変位と遠心加速度の関係



図 6.34 Case2 実験後の天端状況