

振動試験装置のランダム波入力による斜面の すべり破壊に関する実験的研究

澤 田 知 之*

Experimental Study of Slope Sliding Failure for Random Waves by The Shaking Table

Tomoyuki SAWADA

要 旨

地震荷重等, 不規則波 (ランダム波動) が斜面に inputs され斜面がすべり破壊する際のすべり変位, 及びすべり速度をニューマークの方法により計算できる。このような動的載荷による斜面の累積変位量や斜面の耐荷力は, 地震波の 1 回のパルス毎に非線形的に変化するという観点から, 本論文では不規則波動の入力による斜面の地震時破壊において斜面の地震時耐荷定数とも言うべき限界加速度係数 (K_c) を定義し, 入力波動がこれを起える時に生ずるすべり変位を 1 回毎に変化する K_c に対応して理論解析値と模型実験の結果を比較検討するものである。

Abstract

In this paper, some results of a model test are compared with the analytical solutions.

The safety factor of a slope for a given earthquake shock from the viewpoint of accumulated displacements.

To this end, the concept of Newmark is utilized, and the main assumptions used in the assessment are : 1. Rigid body Sliding, 2. Changes of geometry after sliding are negligible, 3. Shear resistance of soil remains constant and will not be affected by the cyclic loading, 4. Pore water pressure has not been significantly built-up, and 5. uphill resistance is taken as infinitely large, thus, on uphill movement is allowed.

1. ま え が き

日本は地震多発国の一つであり, 近年地震多発地帯において, しばしば土塊及び斜面のすべり破壊による大きな災害が起きている。北海道においても, マグニチュード 6 以上 300~400 gal 規模の 75 年期待値が道東に集約され, 本年度 (1993 年) も 1 月に釧路沖地震, 7 月には北海道南西沖地震などにより大きな震災を受けており, 地震時の斜面安定評価は重要な問題と考えられ, 種々検討されている所である。

本研究は, 斜面を構造解析媒体として斜面の安定解析を行ったものの模型実験で検証を行うもので理論ではモール・クーロンの破壊規準を満たす土により斜面は構成されていると仮定する。この斜面が対数螺旋状に破壊するという条件からつり合い式を立ててその最小破壊エネルギーとなる破壊形式を非線形最適化手法により求める極限解析の上界法で解析を進めている。これにより斜面の地震時の耐え得る限界地震加速度係数 (K_c) を知り, これを越える地震入力波による斜面のすべり速度とすべり変位をニューマークの方法により計算する。又, 模型実験については次の要領で進めている。

1. 不規則波による模型斜面の破壊実験

* 土木工学科 助教授

2. サイクル毎の限界地震加速度係数の実験的評価

3. サイクル毎のすべり速度とすべり変位の実験的評価

上記についての実験概要、予備実験、結果、理論解析結果等について以下順次述べる事とする。

2. 予 備 実 験

予備実験は採取された2.5mmふるいを通過するシルト混じりの赤土に対して性質を知るため、一面剪断試験と比重試験を行った。

これらの実験より粘着力 $c = 0.22 \text{ kg/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 37.8^\circ$ 、単位体積重量 $\gamma = 1.26 \text{ gf/cm}^3$ を得た。又、試料は表乾状態にして使用しており状態がなるべく変化しないように室内保管した。更にモデル実験としては小規模なのでこれら保存中の変化による影響はきわめて少ないものと思われるので、保管中に土の性状は変化しないものと考えられる。また模型供試体を作製する際に、一面剪断試験と同じ圧力が土に作用するように成作した。更に上記のように層分けの石灰もアクリル箱付近に最小限に抑え実験後はその都度取り除くようにした。このように自然斜面になるべく近似状態として製作した。実験全体概要図を図-1に示す。以下に各予備実験の概略と説明図及び結果の表等を示す。

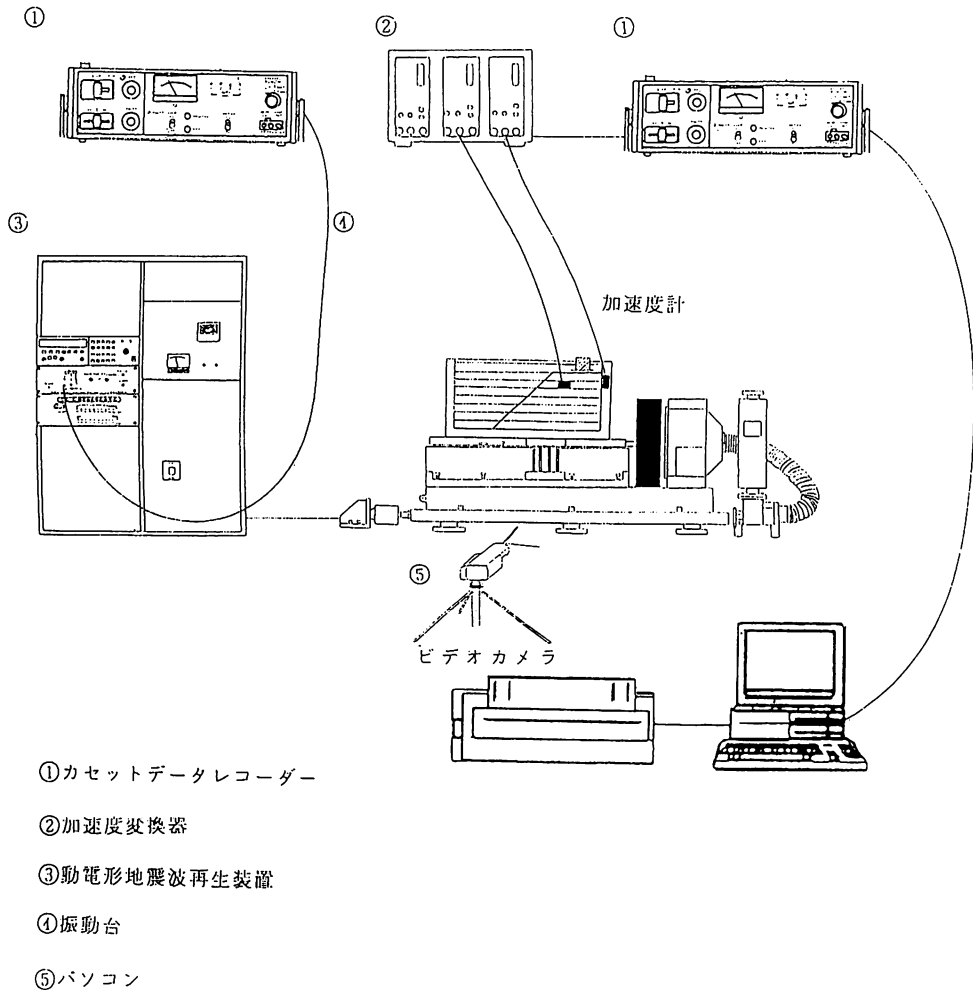


図-1 実験概要

2-1 単位体積重量

図-2に示すように実験と同様の条件下でモデル斜面を製作し、その質量(29774.7g)を計り、図のモデル斜面から求めた体積(2320cm³)との兼合いから単位体積重量 $\gamma=1.28\text{ g/cm}^3$ 、他にもモールドを利用して単位体積重量 $\gamma=1.24\text{ g/cm}^3$ を求め、それらを平均することにより単位体積重量 $\gamma=1.26\text{ g/cm}^3$ が求まった。又、土粒子の密度試験から $\rho_s=2.686\text{ g/cm}^3$ を得ている。

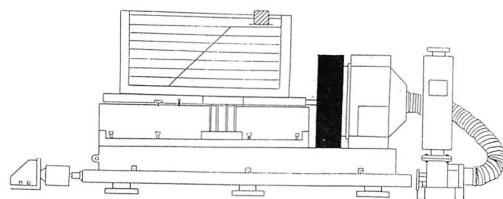


図-2 モデル斜面と実験装置

2-2 一面剪断試験

図-3および4に示すように本試験により土の剪断強さを求めて強度定数(粘着力 c 、及び内部摩擦角 ϕ)を決定するために行った。剪断過程の一例を図-5に、垂直応力-剪断強さの関係図の結果の一例を図-6に示す。図-3に示すのは試験装置であり、図-4には一面剪断試験機の剪断箱である。

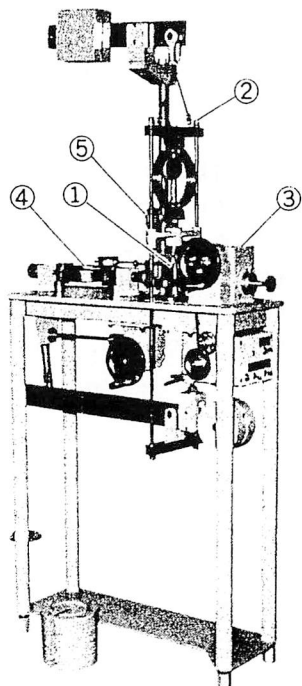


図-3 一面剪断試験機の例

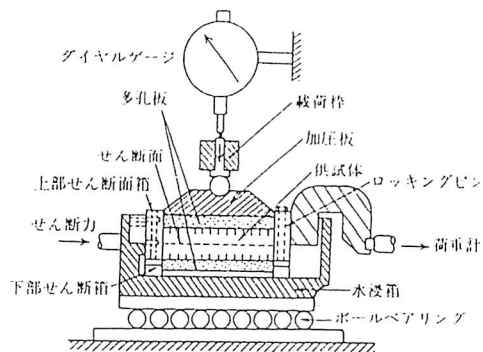


図-4 一面剪断箱の例

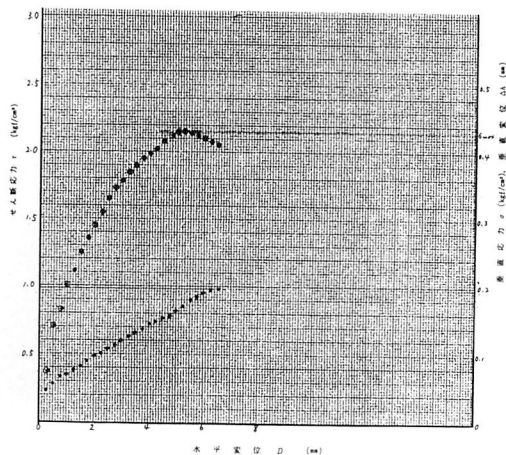


図-5 一面剪断試験(CD試験)の剪断過程例

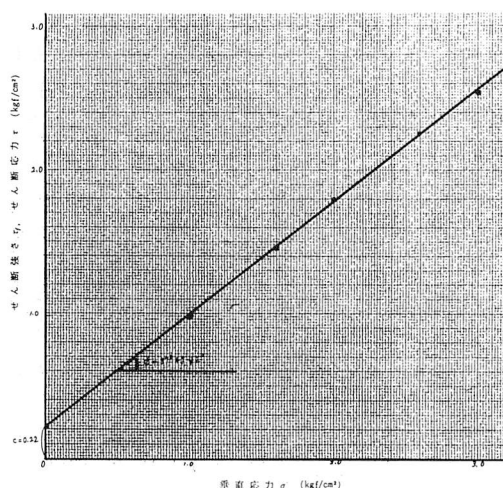


図-6 一面剪断試験結果例
(σ - τ の関係と C, ϕ)

3. 実験概要

実験の試料は2.5mmふるいを通過するシルト混じりの赤土を本校グラウンドより120kg程度採取し表面乾燥状態で室内保存したものをモデル斜面の試料として使用した。(本試料の性状の変化を最小限に保つよう保管箱を用いて保管した。)

まずこの試料の性状を知るために予備実験として、一面せん断試験を行った。結果より試料の内部摩擦角 $\phi = 37.8^\circ$ 、粘着力 $c = 0.22 \text{ kg/cm}^2$ 、比重試験で密度 $\rho_s = 2.69 \text{ g/cm}^3$ を求め更に実験時と同様の条件下でモデル斜面を作製しその質量を計り、体積との兼ね合いから単位体積重量 $\gamma = 1.26 \text{ g/cm}^3$ を求めた。(また予備実験については前節で詳しく述べている。)

このモデル斜面の製作においてはまず $400 \times 800 \times 400 \text{ mm}$ の亚克力箱に試料の赤土を入れ、一層ごとに供試体押し込み円盤で一定回数つき固め、更に崩壊時の形式や斜面のずれを明瞭にするため各層毎に亚克力前面のみ5cm間隔で水平にラインを石灰で引き斜面を構成した。(写真-1参照)使用する石灰は亚克力付近に最小限に抑え実験後は必ず取り除くようにし試料の性質が変化する事の無いようにつとめた。

実験装置としてはカセットデータレコーダー(TEAC. CR-60)(TEAC. CR-61), 加速度変換器(VM-4112/3), 加速度ピックアップ, 動電形地震波再生装置(IMW. CMW-1000-5), 解析用PC 980-

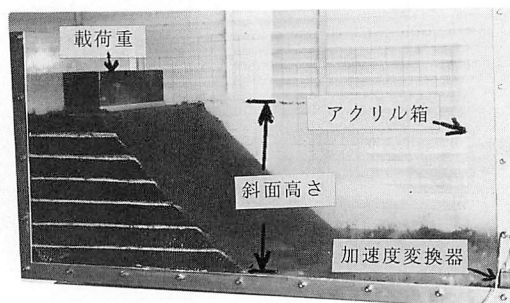


写真-1 実験供試体例

1 RX とカノープス社によるソフトを用いて FFT 解析を行った。

本年度の実験の特徴は模型実験で使用した地震波においては昨年度までは動電形地震波再生装置の中に組み込まれている SIN 波、パルス波、三角波などを使用していたが、今年度は入力波としてランダム波を使用する事とした事である。ランダム波作製に至るまでは最初に考えられたものに、ミュージックテープ等から動電形地震波再生装置が最も良く対応する100 Hz 以下の音をスペクトラムアナライザーにより調べたし、よりすぐって一本のカセットテープにまとめて使用方法があったが振動台をランダムに動かす事は可能だが、振動台がすぐ OVER DISP してしまったり出力の関係で振動が実際の地震波とはかけ離れて長周期となってしまう等の理由により失敗に終わった。

実際に使用したランダム波の作り方としてはまず加速度計のピックアップを手動で不規則に振る事によってつくったランダムと判定できる波形を変換器を通してカセットデータレコーダによりカセットテープに取り込み、そのテープを次にカセットデータレコーダーにより再生し動電形地震波再生装置に送りその波形を入力ランダム波として振動台を制限して、実際に模型モデル斜面実験を行った。加速度計のピックアップはモデル斜面の斜面端より 5 cm 深さ10cmの位置とアクリルの箱の外部に取り付けた。(加速時計は一定方向の変化にしか対応しないので取り付けの際十分注意した。)それぞれの波形を変換器に通した後カセットデータレコーダーに送り、4 チャンネル同時録音が可能なカセットテープ (TEAC. CT-90. TYPE II) で記録保存する事により入力波と応答波を得た。

カセットテープに記録された波形はパソコンに取り込まれカノープスのソフトを用いて hold 時間50秒毎に入力波形と入力波形の相違から限界加速度係数 (kc) を 1 G (980cm/sec²) を基準として求めるとともに、高速フーリエ変換解析 (FFT) を行い振動数特性を得る事ができる。

実験を記録したカセットテープは最初に50秒間隔で表示しその中から崩壊箇所と思われる部分をピックアップし、10秒間隔で表示し、限界加速度係数 Kc の位置を求める。

実験の際の斜面の崩壊の様子は、約1.5m程供試体から離れた位置に設置したビデオカメラによってこれら一連のモデル実験の撮影を行った。

撮影したビデオからは静止画像処理室の静止画像処理器を用い再生画面を 1/30秒刻みのコマ送り状態にし斜面破壊の部分をピックアップし各コマ毎に写真撮影を行った。またその間の経過時間と実際の縮尺を考慮した石灰ラインのすべり移動量とからすべり速度が求まり、静止画像からの崩壊の形式をまとめた。

このような一連の操作を余裕幅(B)を10cm, 15cm, 斜面高(h)を25cmから35cmまで2.5cm刻みで5種類と斜面角(β)を45° 50° 60°と変化させて模型実験を行いそれぞれの応答波を得る事を目的として模型実験を行った。

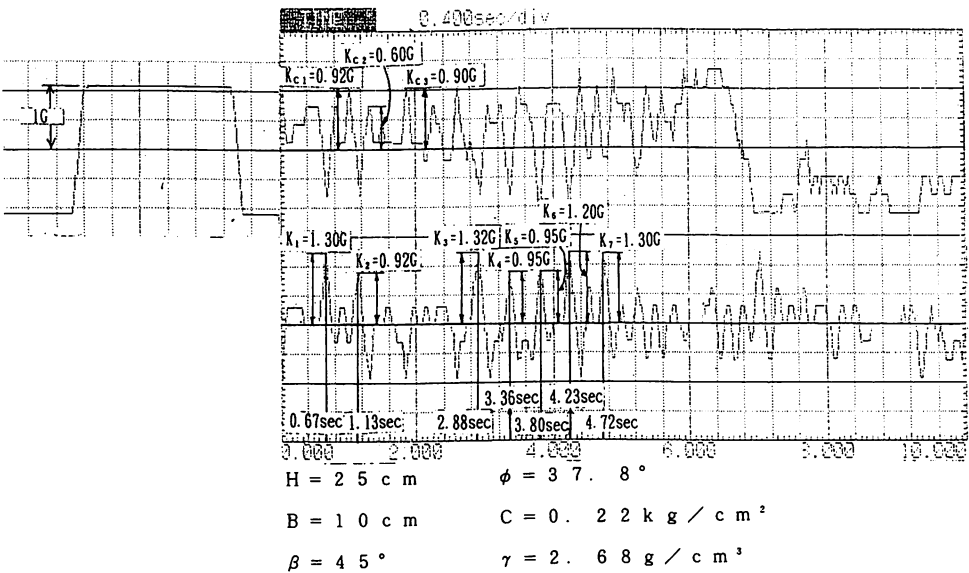
4. 理 論 式

理論としては、図-7の解析モデルにより、すべり土塊のすべり仕事率とすべり線に沿って得られるすべり抵抗である内部逸散エネルギーが等しいと置くことによって求められるつり合い式を θ_0, θ_h の2変数の目的関数を非線形最適化手法によって斜面の耐え得る限界地震加速度係数 (K_c) が(1)式の如く求められ、これを越える地震の入力加速度によって生ずるすべり角度 (θ) はニューマークの力積変位理論により(2)式のように求められる。これに(3)式で示すすべり中心 O からのアーム l を乗じることによりすべり変位を計算する。尚、(1)式中の $F_1 \sim F_6$, f_p, f_q は θ_0, θ_h の関数で(4)式群のように示される。

$$K_c = \frac{cF_c - \gamma \gamma_0(F_1 - F_2 - F_3) - PF_p}{\gamma \gamma_0(F_4 - F_5 - F_6) + xPF_q} \quad (1)$$

$$\theta_{1+1} = \theta_1 + \dot{\theta} (t_{1+1} - t_1) + \frac{(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_{1+1})(t_{1+1} - t_1)^2}{6} \quad (2)$$

$$l = \frac{\sqrt{[\gamma r_0^3(f_1 - f_2 - f_3)]^2 + [\gamma r_0^3(f_4 - f_5 - f_6)]^2}}{W_3} \quad (3)$$



図－8 入力波形

表－1 実験結果

H = 25.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 45^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

時間経過と K _{ci} の変化			変位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	K _{ci}	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.67sec. 後	0.92G	26.3	11.3	15.0	17.5	65.6	21.8	37.5	43.7
3	1.13sec. 後	0.60G	30.0	16.9	18.8	21.9	9.4	3.8	9.4	7.5
4	2.50sec. 後	—	45.0	22.5	22.5	30.0	64.3	11.3	16.1	30.6
5	2.88sec. 後	0.90G	45.0	26.3	22.5	31.3	0.0	22.5	0.0	7.5
6	3.36sec. 後	0.90G	52.6	31.9	37.5	40.7	22.8	16.9	45.0	28.2
7	3.80sec. 後	0.90G	60.6	33.8	37.5	43.8	44.4	11.3	0.0	18.6
8	4.23sec. 後	0.90G	63.8	43.1	45.0	50.6	5.9	14.5	11.8	10.7
9	4.72sec. 後	0.90G	71.3	60.0	48.8	60.0	3.8	8.9	1.9	4.9

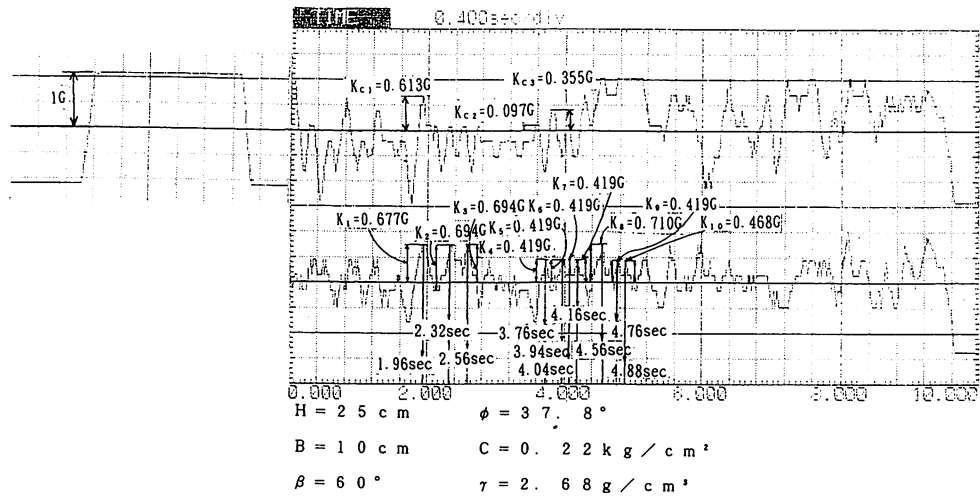
累積変位 60.0mm

表－2 理論値

H = 25.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 45^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

番号	時間経過	K _{ci}	入力波	変位 (cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	0.67sec. 後	0.92G	1.30G	0.045
3	1.13sec. 後	0.60G	0.92G	0.108
4	2.50sec. 後	—	—	—
5	2.88sec. 後	0.90G	1.32G	0.923
6	3.36sec. 後	0.90G	0.95G	0.150
7	3.80sec. 後	0.90G	0.95G	0.191
8	4.23sec. 後	0.90G	1.20G	1.423
9	4.72sec. 後	0.90G	1.30G	2.362

累積変位 5.202cm



図－9 入力波形

表－3 実験結果

H = 25.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 60^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

時間経過と K _c の変化			変 位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	K _c	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.96sec. 後	0.613G	11.3	11.3	0.0	7.5	2.6	2.6	0.0	1.7
3	2.32sec. 後	0.613G	30.0	22.5	0.0	17.5	562.5	337.5	0.0	300.0
4	2.56sec. 後	0.613G	13.1	18.8	0.0	10.6	19.7	28.1	0.0	15.9
5	3.76sec. 後	0.097G	41.3	0.0	0.0	13.7	281.3	0.0	0.0	93.8
6	3.94sec. 後	0.355G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	4.04sec. 後	0.355G	13.1	0.0	0.0	4.4	6.1	0.0	0.0	2.0
8	4.16sec. 後	0.355G	18.8	0.0	0.0	6.3	7.7	0.0	0.0	2.6
9	4.56sec. 後	0.355G	37.5	16.9	0.0	18.1	62.5	56.3	0.0	39.6
10	4.76sec. 後	0.355G	50.6	18.8	0.0	23.1	131.3	18.8	0.0	50.0
11	4.88sec. 後	0.355G	71.3	37.5	0.0	36.3	103.1	93.8	0.0	65.6

表－4 理論値

H = 25.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 60^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

番号	時間経過	K _c	入力波	変位(cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	1.96sec. 後	0.613G	0.677G	0.0405
3	2.32sec. 後	0.613G	0.694G	0.0717
4	2.56sec. 後	0.613G	0.694G	0.0873
5	3.76sec. 後	0.097G	0.419G	0.7497
6	3.94sec. 後	0.355G	0.419G	0.1635
7	4.04sec. 後	0.355G	0.419G	0.1719
8	4.16sec. 後	0.355G	0.419G	0.1822
9	4.56sec. 後	0.355G	0.710G	1.2150
10	4.76sec. 後	0.355G	0.419G	0.2386
11	4.88sec. 後	0.355G	0.468G	0.4428

累積変位 3.632cm

累積変位 36.3mm

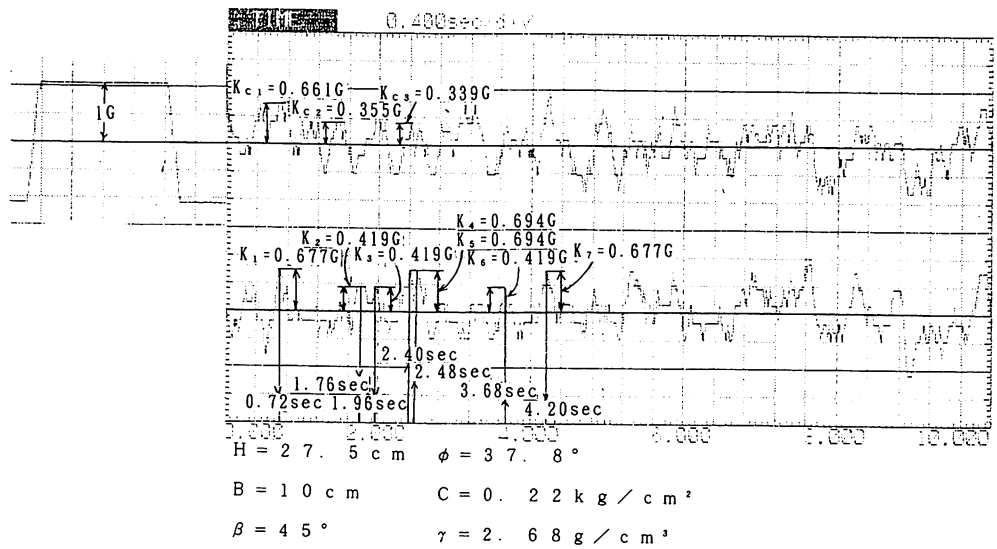


図-10 入力波形

表-5 実験結果

$H = 25.0 \text{ cm}$ $B = 10.0 \text{ cm}$ $\beta = 60^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ $C = 0.22 \text{ kg/cm}^2$ $P = 12 \text{ kg}$

時間経過と K_{ci} の変化			変位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	K_{ci}	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.72sec. 後	0.661G	33.8	30.0	31.9	31.9	9.4	18.8	21.9	16.7
3	1.79sec. 後	0.355G	63.8	37.5	41.3	47.5	29.0	7.3	9.1	15.1
4	1.96sec. 後	0.355	67.5	45.0	48.8	53.8	4.7	9.4	9.4	7.8
5	2.40sec. 後	0.339G	75.0	56.3	61.9	64.4	10.2	15.3	17.9	14.5
6	2.48sec. 後	0.339G	78.8	61.9	61.9	67.5	4.3	6.5	0.0	3.6
7	3.68sec. 後	0.339G	86.3	75.0	67.5	76.3	8.3	14.6	6.3	9.7
8	4.20sec. 後	0.339G	93.8	120.0	93.8	102.5	3.3	19.6	11.4	11.4

累積変位 102.5mm

表-6 理論値

$H = 27.5 \text{ cm}$ $B = 10.0 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ $C = 0.22 \text{ kg/cm}^2$ $P = 12 \text{ kg}$

番号	時間経過	K_{ci}	入力波	変位 (cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	0.72sec. 後	0.661G	0.677G	0.0016
3	1.76sec. 後	0.335G	0.419G	0.0375
4	1.96sec. 後	0.335G	0.419G	0.0465
5	2.40sec. 後	0.339G	0.694G	0.3870
6	2.48sec. 後	0.339G	0.694G	0.4132
7	3.68sec. 後	0.339G	0.419G	0.2050
8	4.20sec. 後	0.339G	0.677G	1.1280

累積変位 2.2188cm

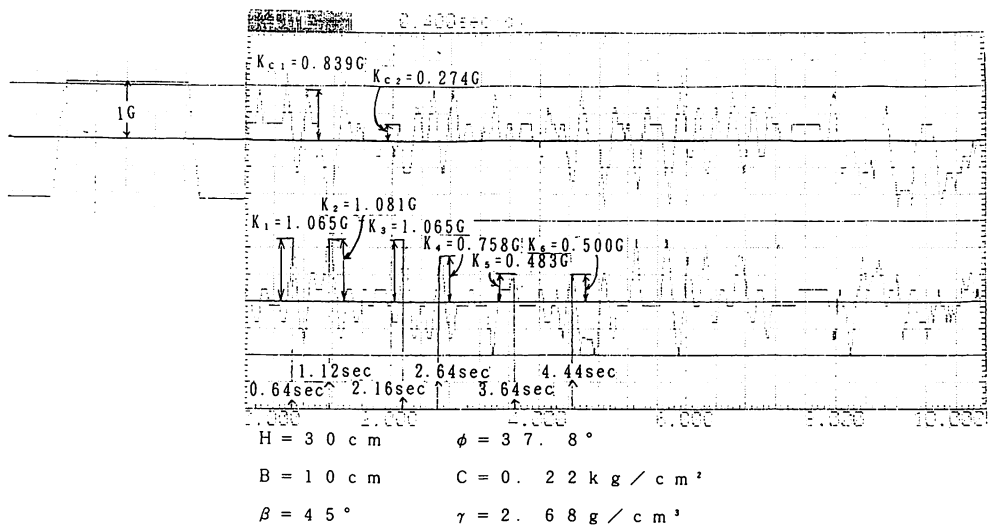


図-11 入力波形

表一 7 実験結果

H=35.0cm B=10.0cm β=45°
φ=37°49'42' C=0.22kg/cm² P=12kg

時間経過と Kc の変化			変 位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	Kci	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4.48sec. 後	0.29G	86.3	43.1	43.1	57.5	30.3	6.5	6.5	14.4
3	4.88sec. 後	0.00G	86.3	71.3	67.5	75.0	0.0	44.4	38.5	27.6
4	5.32sec. 後	0.00G	93.8	73.1	69.4	78.8	13.2	3.3	3.3	6.6
5	5.52sec. 後	0.00G	108.8	78.8	75.0	87.5	23.7	8.9	8.9	13.8
6	5.68sec. 後	0.00G	138.8	82.5	76.9	99.4	47.4	5.9	3.0	18.8
7	5.92sec. 後	0.00G	161.3	97.5	82.5	113.8	11.6	7.8	2.9	7.4

累積変位 113.8mm

表一 8 理論値

H=35.0cm B=10.0cm β=45°
φ=37°49'42' C=0.22kg/cm² P=12kg

番号	時間経過	Kci	入力波	変位(cm)
1	崩壊直前	-	-	-
2	4.48sec. 後	0.290G	0.419G	0.4896
3	4.88sec. 後	0.000G	0.468G	2.1070
4	5.32sec. 後	0.000G	0.581G	3.1090
5	5.52sec. 後	0.000G	0.355G	2.0450
6	5.68sec. 後	0.000G	0.129G	0.7869
7	5.92sec. 後	0.000G	0.258G	1.7100

累積変位 10.2475cm

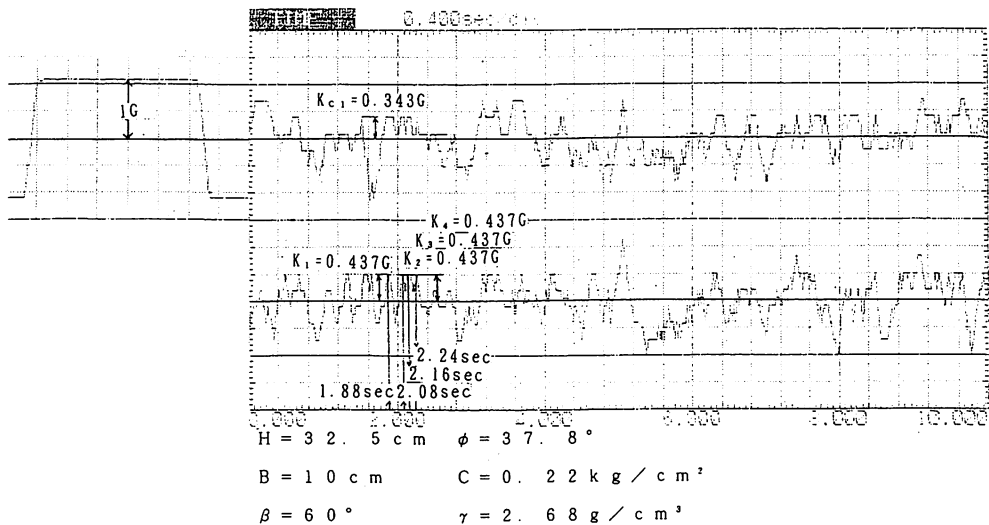


図-12 入力波形

表-9 実験結果

H=32.5cm B=10.0cm β=60°
φ=37°49'42" C=0.22kg/cm² P=12kg

時間経過と K _{ci} の変化			変 位 (mm)				すべり速度 (mm/s)				
番号	時間経過	K _{ci}	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	1.88sec. 後	0.343G	0.0	26.3	26.3	17.5	0.0	20.2	20.2	13.5	
3	2.08sec. 後	0.343G	15.0	52.6	41.3	36.3	225.0	395.3	225.0	281.8	
4	2.16sec. 後	0.343G	41.3	0.0	0.0	13.8	41.4	0.0	0.0	13.8	
5	2.24sec. 後	0.343G	22.5	—	—	22.5	45.0	0.0	0.0	15.0	

累積変位 22.5mm

表-10 理論値

H=32.5cm B=10.0cm β=60°
φ=37°49'42" C=0.22kg/cm² P=12kg

番号	時間経過	K _{ci}	入力波	変位(cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	1.88sec. 後	0.343G	0.437G	0.0546
3	2.08sec. 後	0.343G	0.437G	0.6685
4	2.16sec. 後	0.343G	0.437G	0.7209
5	2.24sec. 後	0.343G	0.437G	0.7753

累積変位 2.2193cm

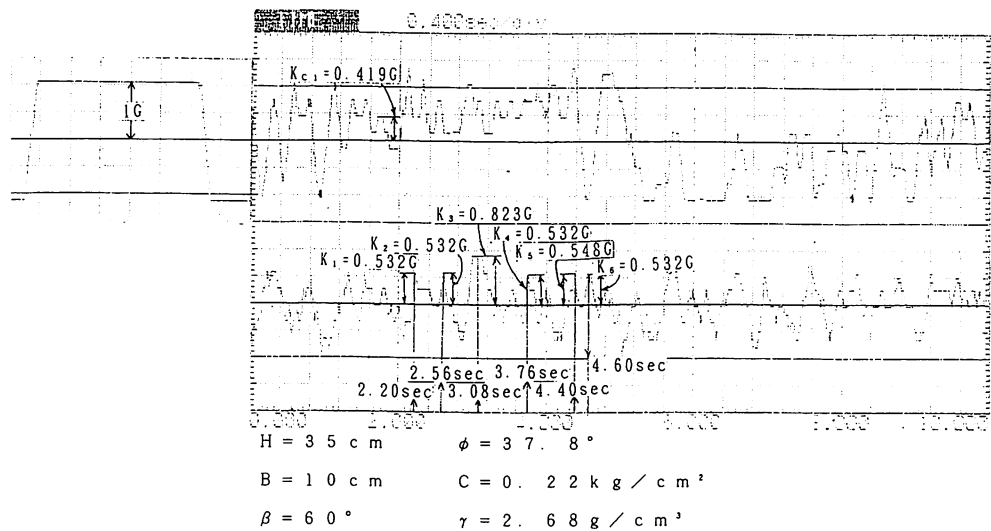


図-13 入力波形

表-11 実験結果

H = 35.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 60^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

時間経過と K _{ci} の変化			変 位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	K _{ci}	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.20sec. 後	0.419G	0.0	13.1	15.0	9.4	0.0	65.6	75.0	46.9
3	2.56sec. 後	0.419G	0.0	22.5	22.5	15.0	0.0	281.3	225.0	168.8
4	3.08sec. 後	0.419G	11.3	0.0	0.0	3.8	67.5	0.0	0.0	22.5
5	3.76sec. 後	0.419G	20.6	0.0	0.0	6.9	23.4	0.0	0.0	7.8
6	4.40sec. 後	0.419G	15.0	18.8	0.0	11.3	37.5	46.9	0.0	28.1
7	4.60sec. 後	0.419G	18.8	20.6	—	13.1	112.5	56.3	0.0	56.3

累積変位 13.1mm

表-12 理論値

H = 35.0 cm B = 10.0 cm $\beta = 60^\circ$
 $\phi = 37^\circ 49' 42''$ C = 0.22 kg/cm² P = 12 kg

番号	時間経過	K _{ci}	入力液	変位(cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	2.20sec. 後	0.419G	0.532G	0.0899
3	2.56sec. 後	0.419G	0.532G	0.1217
4	3.08sec. 後	0.419G	0.823G	0.6299
5	3.76sec. 後	0.419G	0.532G	0.2626
6	4.40sec. 後	0.419G	0.548G	0.4104
7	4.60sec. 後	0.419G	0.532G	0.3930

累積変位 1.9075cm

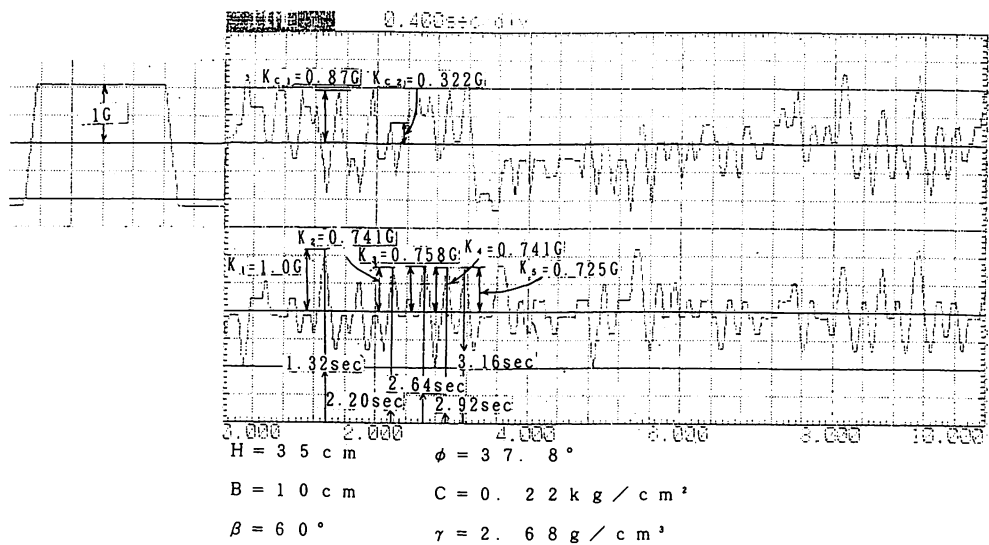


図-14 入力波形

表-13 実験結果

H=35.0cm B=10.0cm β=60°
φ=37°49'42" C=0.22kg/cm² P=12kg

時間経過と K _c の変化			変 位 (mm)				すべり速度 (mm/s)			
番号	時間経過	K _c i	Line 1	Line 2	Line 3	平均値	Line 1	Line 2	Line 3	平均値
1	崩壊直前	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.32sec. 後	0.87G	0.0	0.0	41.3	13.8	0.0	0.0	281.3	93.8
3	2.20sec. 後	0.32G	26.3	18.8	0.0	15.0	196.9	140.6	0.0	112.5
4	2.64sec. 後	0.32G	60.0	56.3	0.0	38.8	506.3	562.5	0.0	356.3
5	2.29sec. 後	0.32G	15.0	18.8	0.0	11.3	50.0	62.5	0.0	37.5
6	3.16sec. 後	0.32G	37.5	—	—	37.5	225.0	0.0	0.0	75.0

累積変位 37.5mm

表-14 理論値

H=35.0cm B=10.0cm β=60°
φ=37°49'42" C=0.22kg/cm² P=12kg

番号	時間経過	K _c i	入力波	変位(cm)
1	崩壊直前	—	—	—
2	1.32sec. 後	0.870G	1.00G	0.0372
3	2.20sec. 後	0.322G	0.741G	0.3333
4	2.64sec. 後	0.322G	0.758G	0.4994
5	2.92sec. 後	0.322G	0.741G	0.5871
6	3.16sec. 後	0.322G	0.725G	0.6614

累積変位 2.1184cm

表-15 H=35 cm のすべり変位とすべり速度

斜面角	変 位 (cm)	すべり速度 (cm/sec)
$\beta = 45^\circ$	113.750	7.425
$\beta = 50^\circ$	53.125	19.220
$\beta = 60^\circ$	13.125	56.250

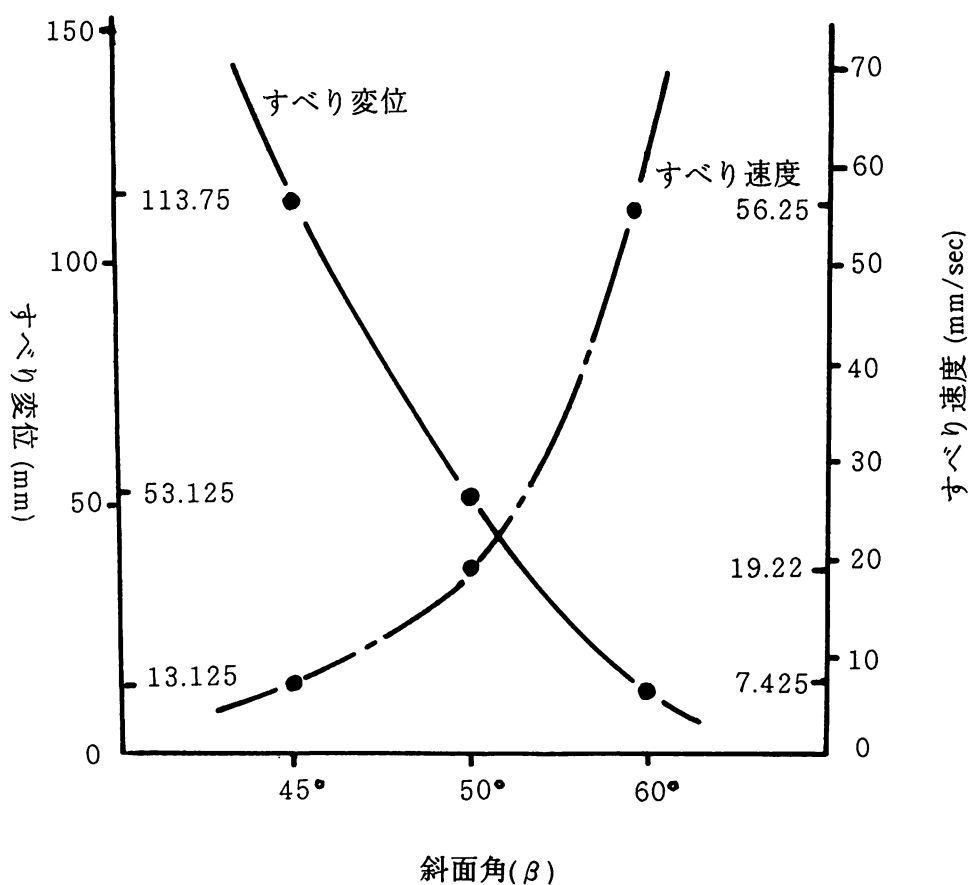
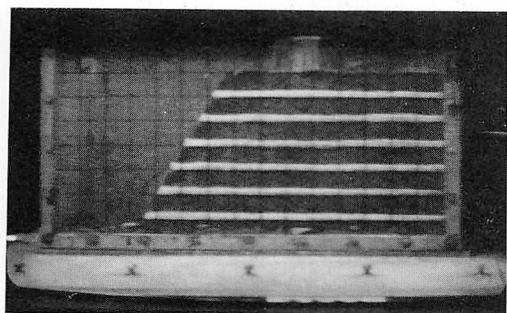


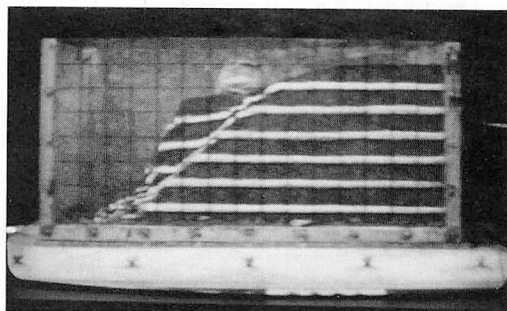
図-15 すべり変位・速度と斜面角の関係

量を知ることが出来、破壊終了時のすべりをもってすべり変位としている。この結果より、理論値の累積変位5.202cmを得た。ビデオ再生画面から求めた時間と移動によりすべり変位とすべり速度を求め変位は6.0cmを得た。理論値と実験値はほぼ一致しており妥当な傾向と考えられる。

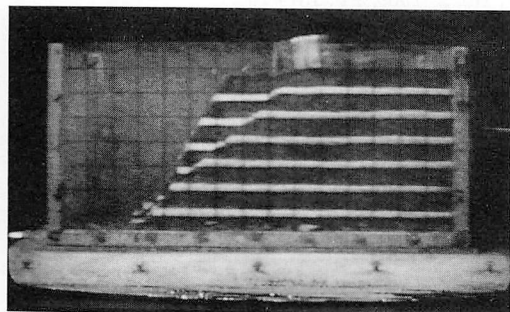
図-9 (表-3と表-4) の場合は、 $K_{c1}=0.613\text{ G}$ 、 $K_{c2}=0.097\text{ G}$ 、 $K_{c3}=0.355\text{ G}$ と K_{c2} に大きな差異があったが、ビデオ再生画面より10波の応答波について理論値を計算することとなったが理論値3.363cm、実験値3.63cmとこれもよい一致を見ている。斜面 β が 45° に比して小さくなっており、ゆるや

内部摩擦角 ϕ 37.8° 余裕幅 B 10m粘着力 C 0.22 kg/cm^2 斜面高 h 27.5cm密度 ρ_s 2.69 g/cm^3 斜面角 β 45° 単位体積重量 γ 1.26 g/cm^3 

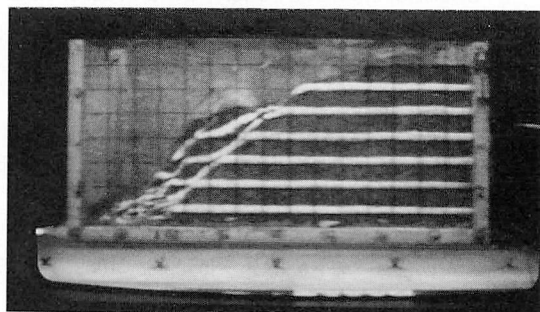
①崩壊直前



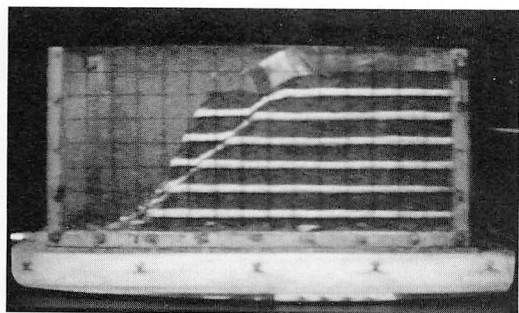
④135/30 sec 後



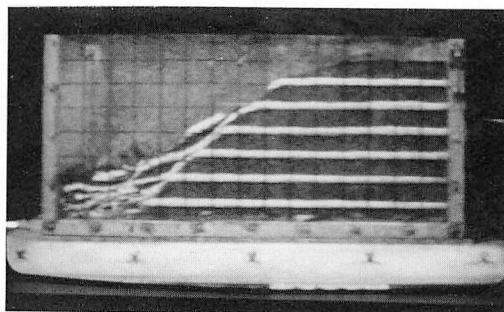
②62/30 sec 後



⑤183/30 sec 後



③80/30 sec 後



⑥279/30 sec 後

かな斜面の方がすべり変位は大きいことを示している。

さらにこの点について、 β が 45° 、 50° 、 60° と3種類のデータがある $H=35\text{cm}$ の場合を表-15にまとめ、図-15に示す。この結果からも斜面が暖やかである程変位が大きく、すべり速度はゆっくりとなる。斜面破壊は急斜面である程すべり変位は小さくてすむが、すべり速度は速く一気に破壊していくことを示していると考えられる。がしかし、図-13（表-11と表-12）と図-14（表-13と表-14）の場合のように、同じ斜面が同じ条件下での破壊実験においても、結果がかなり異なる。入力波がランダム波である事、すべり破壊の開始の定義、第2次、第3次のすべり破壊の判定が、かなり微妙で難しく、今後、多くの実験と考察が必要と考えられる。

写真-2に模型斜面の破壊例を示す。

附記：本研究の一部は平成5年度北海道科学研究補助金（個人研究）の交付を受けて行ったものである。

参 考 文 献

- 1) 澤田・松岡・能町, “慣性力を受ける斜面構造の安定性状についての模型実験”, 土質工学会北海道支部技術報告集, 第32号, PP. 69-72.
- 2) 能町・澤田・松岡, “擬静的解析による斜面上基礎の地震時支持力”, 構造工学論文集, Vol. 31 A, 1985, PP. 503-508.
- 3) Newmark, N. W., “Effect of Earthquakes on Dams and Embankments”, The Fifth Rankine Lecture of the British Geotechnical Society, Geotechnique, England, Vol. XV, No. 2, 1965, PP. 137-160.
- 4) Sawada, T., Chen, W. F. and Nomachi, G., “Model Test and Analysis for Seismic Displacement of a Mounded Foundation Near a Down-Hill Slope”, International Symposium on Soil Improvement and Pile Foundation, China, Vol. 1, 1992, PP. 316-321.
- 5) Sawada, T., Nomachi, S. G. and Chen, W. F., “On slope displacement by a Logarithmic Spiral Failure Slide During Earthquake”, Proceedings of The Sixth International Symposium on Landslides, New Zealand, 1992, PP. 1193-1198.
- 6) Seed, H. B., Lee, K. L. and Idriss, I. M., “Analysis of the Sheffield Dam Failure”, Journal of SMFD, ASCE, Vol. 95, No. SM6, November 1969, PP. 1453-1490.
- 7) 最上武雄編, 土質力学, 技報堂, 1982, PP. 497-503, PP. 659-720, PP. 795-831, PP. 850-870.
(平成5年11月29日受理)