

学生教育としての遠心力模型実験

Centrifugal model test for university students' education

とう だ
東 田

じゆん
淳*

1. ま え が き

遠心力模型実験は実物の $1/n$ 縮尺模型に ng (g は重力の加速度)の加速度を加え、実物と同じ応力状態を再現するものである。したがって実物と同じ土材料で模型を作成すれば、実物と同条件で模型も同様の变形と破壊を生じることが期待でき、土構造物の実際の挙動を模型によって調べることが可能となる¹⁾。このように遠心力装置は土構造物の模型実験用としてきわめて有力な手段であるが、土を扱う技術者の基本的な教育手段として用いた例はまだ見あたらない。

筆者は大学で三回生の土質実験実習を担当しているが、日頃から学生が土質実験の意義と性格について正確な認識を持ち得ないことに物足りなさを感じてきた。これは“実験実習で求めた土の諸性質が実際の土構造物の挙動とどう関連するか”という重要なポイントを初心者である学生が十分に理解し切れないためと考えられる。筆者は遠心力装置を利用した「実物教育」がこの問題に対する有力な解決策になり得ると考え、昭和58年度から三回生の土質実験実習に簡単な遠心力模型実験をとりいれてみたところ、予想外の成果を挙げる事ができたのでここに紹介する。

なお、遠心力装置は一般にはまだ大がかりで特殊な装置として認識されているようであるが、今回の遠心力模型実験は後述するように学生が実習時間内に用意できる程度のごく小型の模型を用いて行った小規模なもので、例えば半径1 m以下の小型の遠心力装置でも実施可能なものであることを特に付言しておきたい。

2. 実験概要

実験項目として一様粘土地盤における斜面破壊と掘削時におけるヒービングを選び、週1回、半日(4時間半)の実習時間内に1組10人の実験グループが両方の実験を1回ずつ行えるように表-1に示す斜面勾配、掘削深さを変えた8個の実験を計画し、4週間で全実験を終了させた。上記の時間内に同じ粘土ブロックから切り出した試料の一軸圧縮試験も行っている。

遠心力装置は1983年9月に完成した新型装置(Mark-5, 公称半径256 cm)を用いた。これは地下ピットに設けられ

た2本の回転アームに供試体容器を取付け、インバータによる回転制御式三相モーター(3.7 kW, 22 kW)により回転させ、供試体を最大200 gの遠心加速度場におくもので、これまで10年間にわたって用いてきた半径1 mのMark-3, 1.5 mのMark-4よりも格段に大きいとはいえ、供試体容器の標準的な大きさは同じであり、たとえば運輸省港湾技研やケンブリッジ大学等の大型施設に比べると、建設費、電力コストはずっと低い。しかし、観測室を大きくしたので、学生10人が模型の变形、破壊の状況をストロボスコープの照明で直接観察できる。

さて学生実験として所定の時間内に準備できる程度の小さい模型を用いるために、高さ22 cm, 長さ30 cm, 幅10 cmの小型容器をつくり、これを標準の供試体容器(高さ30 cm, 長さ50 cm, 幅16.5 cm)内に入れて実験を行った。模型が小さいので実験の規模は決して大きいものではない。斜面破壊実験はこの小型容器内で H_1 , H_2 (表-1の説明図参照)をそれぞれ9.5~10 cm, 5 cmとして行った。したがって深さ係数 $\alpha=(H_1+H_2)/H_1$ はほぼ1.5である。

一方、ヒービング実験は図-1に示すような簡単な装置を用いて行った。これは根入れのない剛な山留め壁を想定して、小型容器に鉄板(厚さ6 mm)を取付けたもので、2個のダイヤルゲージによって地表面の沈下量と掘削底の膨れ上がり量を測定した。なお破壊加速度をあまり大きくしないために山留め壁背面の地表面に載荷重として2 cm×2 cmの鉄材を敷きつめた。

両実験とも二次元模型で、すべり面を観察するために粘土供試体の側面にそうめん(素麺)を水平にほぼ1 cm間

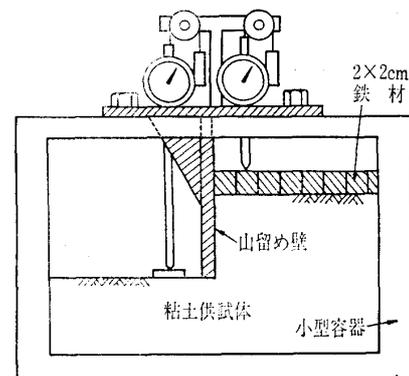


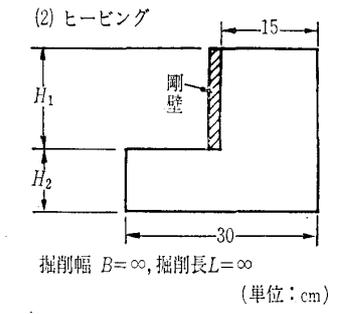
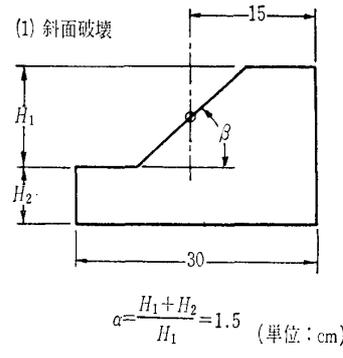
図-1 ヒービング模型実験装置

*大阪市立大学工学部土木工学科

表-1 模型諸元と破壊加速度

(1) 斜面破壊				破壊加速度の比較							
実験 No.	②模型寸法			①粘土の種類と土質定数				◎予想値	④実験値	◎比	④比
	H_1 cm	H_2 cm	β°	粘土の種類 ¹⁾	γ t/m ³	$w\%$	q_u tf/m ² ²⁾	$n_f' g^{3)}$	$n_f g$	$n_f/n_f'^{3)}$	$n_f/n_f'^{4)}$
S-1	10.0	5.0	30	N-K	1.76	45.8	5.43	94	106	1.13	1.15
S-2	9.5	5.0	50	N	1.60	67.7	7.40	139	160	1.15	1.04
S-3	10.0	5.0	70	N	1.61	66.5	4.40	65	97	1.49	1.34
S-4	10.0	5.0	90	N-K	1.75	44.1	2.98	33	39	1.18	1.20

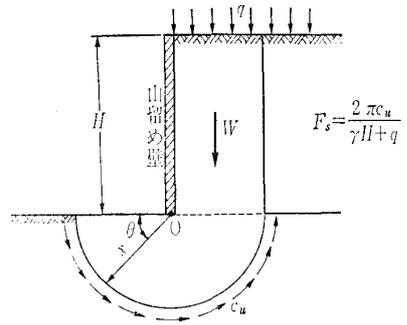
(2) ヒービング				破壊加速度の比較							
実験 No.	②模型寸法			①粘土の種類と土質定数				◎予想値	④実験値	◎比	④比
	H_1 cm	H_2 cm		粘土の種類 ¹⁾	γ t/m ³	$w\%$	q_u tf/m ² ²⁾	$n_f' g^{3)}$	$n_f g$	$n_f/n_f'^{3)}$	$n_f/n_f'^{4)}$
H-1	10.0	5.5		N	1.10	67.8	7.83	79	67	0.85	0.77
H-2	7.5	8.0		N	1.63	66.5	3.72	42	40	0.95	0.86
H-3	7.5	8.2		N-K	1.78	41.2	7.79	84	65	0.77	0.79
H-4	5.0	8.0		N	1.54	68.6	7.07	95	85	0.89	0.81



注 1) N粘土は大阪南港より採取した浚渫粘土の0.2mmのふるい通過分を再圧密したもので、 $I_p \approx 60$, $w_L \approx 90\%$ 。N-K粘土はN粘土に市販のカオリンを混合して再圧密したもので、 $I_p \approx 30$, $w_L \approx 60\%$ 。 G_s はいずれも2.67。
 2) 2本の円柱供試体 ($\phi 3.5$ cm, 高さ7 cm) の一軸圧縮強さの平均値。
 3) 円柱供試体の $c_u (=q_u/2)$ を用いた場合。
 4) 直方体供試体の c_u を用いた場合。

隔で埋め込んだ。これを標準の供試体容器内に納め、連続的に遠心加速度を増し、視察により破壊を確認した時点で実験を打切った。加速を始めてから破壊までの時間はいずれも5分以内であった。

実験に使用した粘土供試体の土質定数を表-1 ①欄に示す。各実験で粘土供試体の性質が異なっているのは、研究用に用いてきた各種の再圧密粘土試料の残りの粘土ブロックを使用したため、学生の実験技術の未熟さによるものではない。学生は遠心力载荷実験を始める前に模型供試体を切り出した粘土ブロックの残りを用いて一軸圧縮試験



注) 今回は剛な山留め壁を想定しているので「建築学会旧規準式³⁾」と「旧規準式の修正式³⁾」は同一の式になる

図-3 建築基準によるヒービング算定式

($\phi 3.5$ cm, 高さ7 cm) を行い、得られた $c_u (=q_u/2)$ の値を慣用公式に代入して予想破壊加速度 $n_f' g$ をあらかじめ求める。慣用公式としては、斜面破壊については Taylor の図表²⁾ (図-2) を、ヒービングについては建築基礎構造設計基準・同解説 (日本建築学会) の方法³⁾ (図-3, 以下建築基準と呼ぶ) を指定した。これらの公式による n_f' は次式で求められる。

斜面破壊: $n_f' = N_s \frac{c_u}{\gamma H_1}$ (1)

ヒービング: $n_f' = \frac{2 c_u \pi}{\gamma H_1 + q}$ (2)

予想破壊加速度 $n_f' g$ の計算結果を表-1 ④欄に示した。

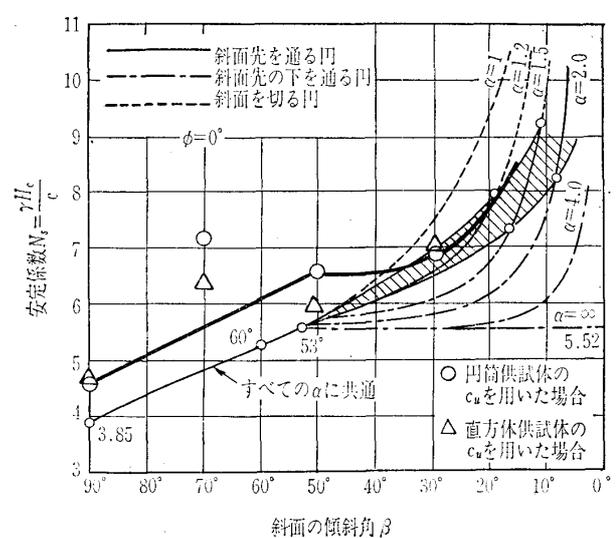


図-2 摩擦力のない材料の深さ係数 α , 斜面の傾斜角 β , 安定係数 N_s の関係 (D.W. Taylor による)

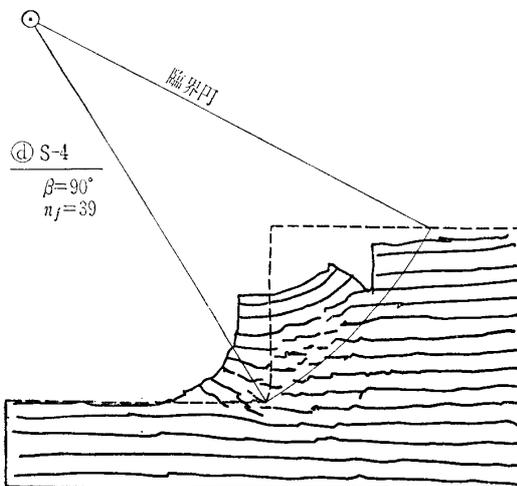
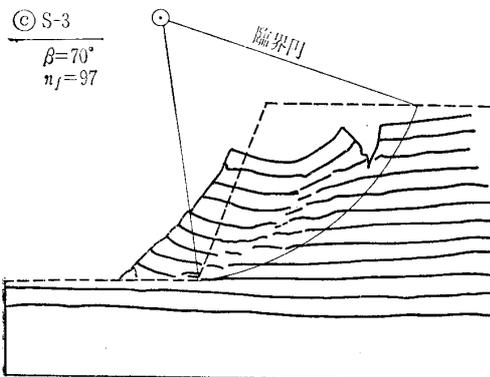
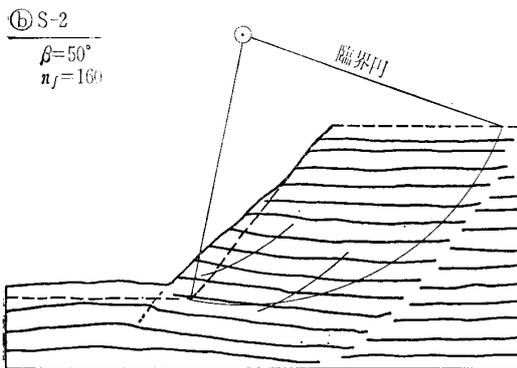
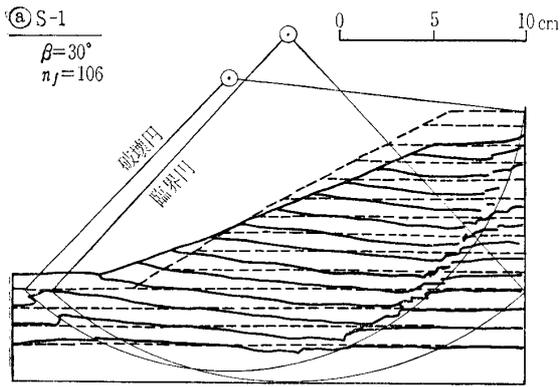


図-4 斜面の破壊状況

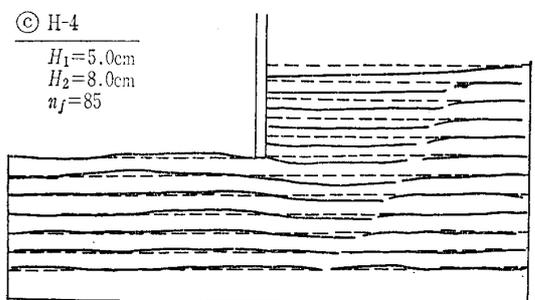
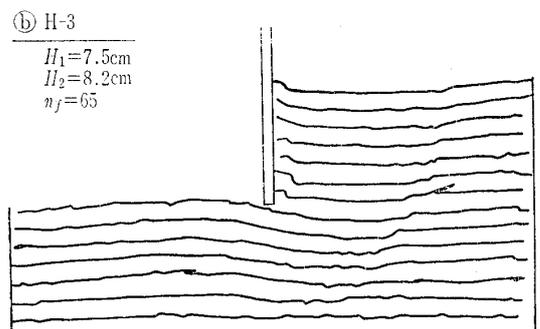
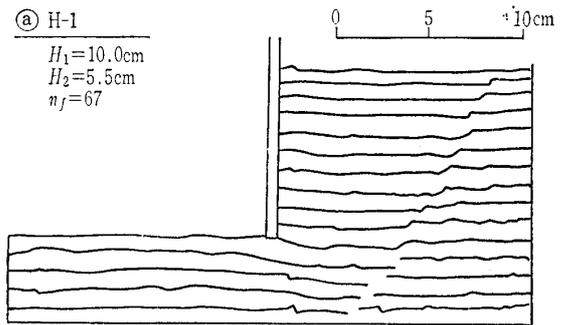


図-5 ヒービングの破壊状況

3. 実験結果

図-4 (a)~(d) (斜面破壊), 図-5 (a)~(c) (ヒービング) は学生が実験後の断面に透明紙をあてそうめんを写しとったもので, 点線は実験前の形である。なお, ヒービング実験の H-2 の結果はすべり面が明りょうでなかったので写しとらなかった。破壊状況について学生のレポートをまとめると次のようになる。

3.1 斜面破壊について

1) 破壊の進行の様子は (c), (d) の場合にはまずのり先付近が膨れ出し, 数秒後にのり肩に引張りクラックが発生した。(a) (b) については破壊が短時間に終わったため, はっきり観察できなかった。2) すべり面は一つではなくて多数の

資料-403

短いせん断面が入っており、全体として連続的なすべり領域を構成している。3) 破壊形式は斜面の角度 $\beta=30^\circ$ では斜面下破壊, $\beta=70^\circ, 90^\circ$ では斜面先破壊で, Taylor (テイラー) 図表の示すところと一致した。 $\beta=50^\circ$ では斜面下を通る明りょうなすべり面と斜面先破壊を示す小さなすべり面の両者がみられた。4) Taylor 図表による臨界円の位置(図-4②~④参照)と実際に生じた破壊円の位置は一致せず、両者の関係はまちまちで一定でない。 $\beta=30^\circ$ の臨界円は容器側壁にさえぎられている。

3.2 ヒービングについて

1) 背面側のすべり面が明りょうであるのに対して掘削側はすべり面が認められず、地盤変形を生じたにとどまる。2) 掘削側の膨れ上がり量は背面側の沈下量よりも少ない。3) 背面側のすべり面は直線的で、掘削深度付近で折れ曲がっている。掘削深度よりも上部のすべり面の勾配は一軸圧縮試験の供試体に生じたすべり面の勾配に近い。4) 山留め壁に沿って下方に伸びるすべり面も認められ、これと背面側すべり面とで囲まれた三角形のくさびが落ち込むような形で破壊が生じている。5) 以上のように、実験で得られた破壊形状は建築基準(図-3)で想定されている破壊形状と全く異なっていた。

3.3 予想破壊加速度と実験時の破壊加速度の比較

実験で得られた破壊加速度 $n_f g$ を表-1④欄に示した。ここでヒービングの $n_f g$ は図-6に示すように背面側地表面の沈下曲線の折れる点をとった。表-1④欄の n_f/n_f' の値は斜面破壊では1.13~1.49、ヒービングでは0.77~0.95となった。すなわち実験結果に比べて斜面の場合のTaylor図表は安全側、ヒービングの場合の建築基準は危険側の結果を与えた。

4. 考 察

4.1 学生の考察

前節で示した実験結果を考察するため、学生に次の3項目の検討を指示した。

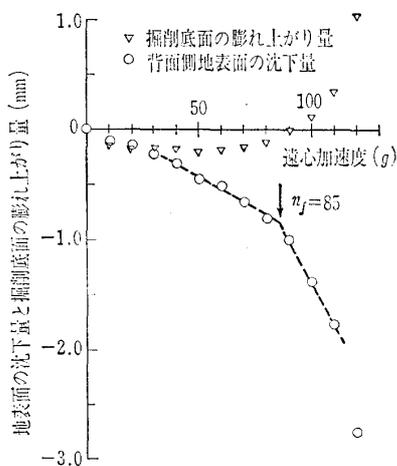


図-6 ヒービング実験における地表面の沈下量と掘削底面の膨れ上がり量(H-4)

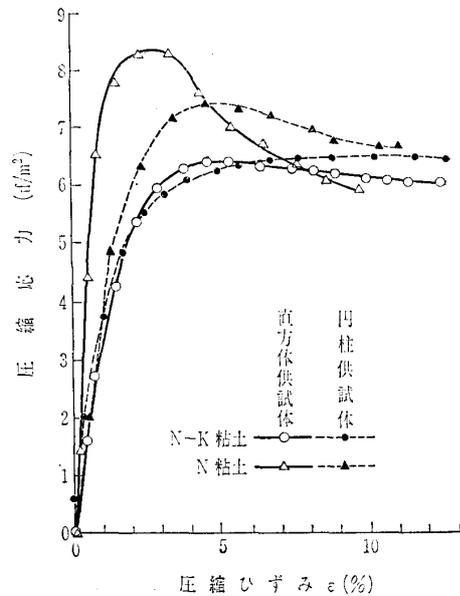


図-7 円柱供試体と直方体供試体の一軸圧縮強さの比較

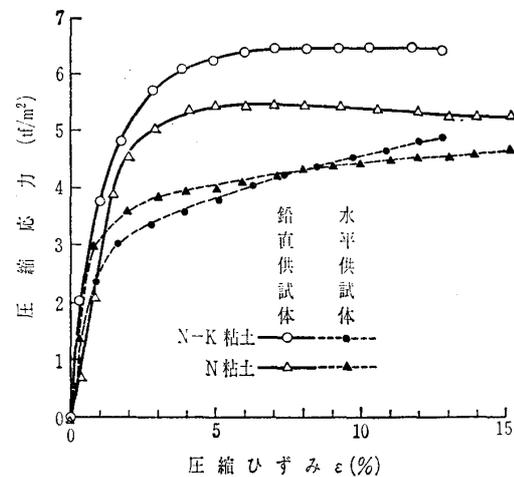


図-8 鉛直供試体と水平供試体の一軸圧縮強さの比較

- 1) 平面変形条件の模型実験に軸対称の一軸圧縮強さ q_u の値をそのまま適用することの是非。
- 2) 主働すべり面が明確なのに受働すべり面があまりはっきりしない原因。
- 3) ヒービングに対する建築基準以外の算定式の適用性。具体的には、1)は文献8)を参考に、平面変形条件に近い強度を与えると考えられる直方体供試体(3.5 cm × 10.5 cm × 7 cm(高さ))の一軸圧縮強さと、円柱供試体(φ3.5 cm, 高さ7 cm)の一軸圧縮強さの比較、2)は粘土ブロックから鉛直と水平に切り出した円柱供試体(φ3.5 cm, 高さ7 cm)の一軸圧縮強さならびに応力-ひずみ関係の比較、3)は数種の提案式(図-9参照)による n_f' の計算を行わせた。その結果次のような結論を得ている。

1)について: 図-7から円柱供試体と直方体供試体の強度比は、N粘土では1:1.11、N-K粘土では1:0.98となった。この強度比を円柱供試体の q_u (表-1④欄)に乘じ、その1/2を各実験における直方体供試体の c_u とみな

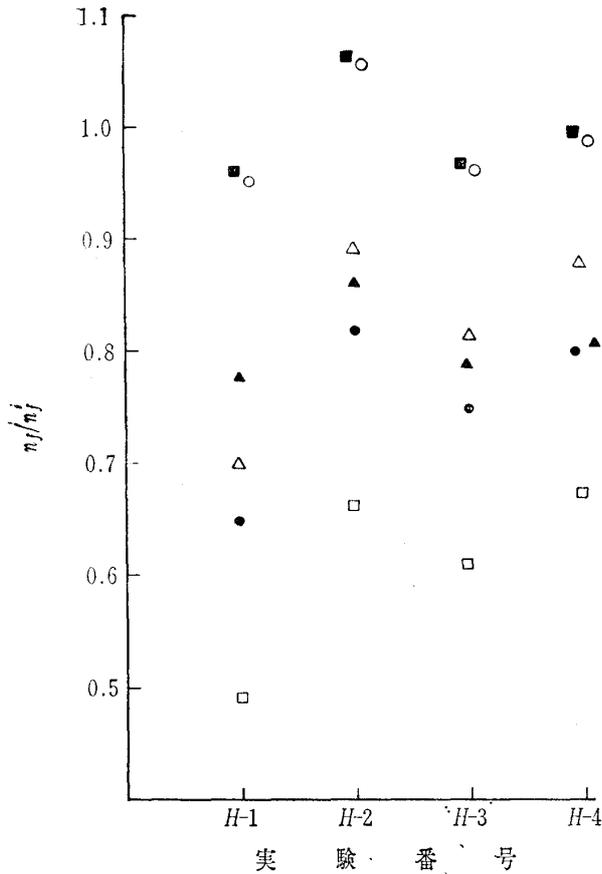


図-9 ヒービングに対する提案式の比較

記号	式の種類	n_f の算定式	文献
■	Bjerrum・Eide式	$\frac{5.1c_u}{\gamma H_1 + q}$	5)
○	Peck式	$\frac{5.14c_u}{\gamma H_1 + q}$	7)
△	Tchebotarioff式	$\frac{5.14c_u + c_u \frac{H_1}{H_2}}{\gamma H_1 + q}$	4)
▲	建築基準	$\frac{2c_u \pi}{\gamma H_1 + q}$	3)
●	Terzaghi-Peck式	$\frac{5.7c_u + c_u \frac{H_1}{H_2}}{\gamma H_1 + q}$	2)
□	大阪市・神戸市の指針	$\frac{2c_u(\pi + \frac{H_1}{H_2})}{\gamma H_1 + q}$	6)

- 注) (1) $q=15.7 \text{gf/cm}^2$.
 (2) H_1 と H_2 は表-1説明図参照。
 (3) 今回の実験条件は掘削幅 $B=\infty$, 掘削長 $L=\infty$ に相当するので, B, L を考慮したBjerrum・Eide式とTchebotarioff式は凡例に示す式となる。
 (4) Peck式については4節の注1)参照。
 (5) 建築基準については図-3の注)参照。
 (6) Tchebotarioff式, Terzaghi-Peck式, 大阪市・神戸市の指針は $B=\infty$ であるので掘削底面よりごく浅い所にかたい層がある場合の式を用いた。すなわち $D=H_2$ 。
 (7) ここに示した大阪市・神戸市の指針は背面側地盤に緩みがない場合のもので, 緩みがある場合には建築基準を用いることになっている。

してこれを2節の式(1)(2)に代入して n_f' を求めた。表-1 ①欄はこの n_f' を用いた場合の n_f/n_f' の値で, ここでも実験結果に対して斜面破壊の場合のTaylor図表は安全側, ヒービングの場合の建築基準は危険側であるという3.3の結論は変わらなかった。

2)について: 図-8から鉛直供試体と水平供試体の強度比はN粘土で1:0.86, N-K粘土で1:0.75とかなりの強度異方性を示した。また, 鉛直供試体ではすべり面が生じたが, 水平供試体はたる形の変形を示し, すべり面は観察されなかった。図-8の応力-ひずみ曲線は, 鉛直供試体では軸ひずみが5~6%以上になると強度は一定か低下するのに対し, 水平供試体では軸ひずみの増大とともに強度が増え続ける。この実験結果から受働領域ですべり面が生じにくい理由が分かった。

3)について: 1)で求めた各実験における直方体供試体の c_u を用いて6種の提案式²⁾⁻⁷⁾による n_f' を求めた。図-9は $H_1 \sim H_4$ の各実験における n_f/n_f' の値で, これが1に近いのはPeck式注1)とBjerrum・Eide式の二つであり, ほかの提案式はいずれも実験結果に比べて危険側の結果を与える。

4.2 筆者の総括

以上の学生の考察をもとに次のような総括を行った。

今回の実験はいずれも一様粘土地盤が非圧密非排水(UU)条件で破壊する場合を対象としたものであるが, 斜面破壊とヒービングの両方で慣用公式が実験結果に対してそれぞれ安全側, 危険側の結果を与えるという正反対の結論を得た。慣用公式は一般に実用性を第一に考えて, 土の物性や破壊形状をかなり単純化しているが, この単純化が必ずしも安全側の結果を与えるとは限らないことに注意する必要がある。実験結果にもとづいて斜面破壊とヒービングの慣用公式の問題点を整理すると次のようになる。

(1) 斜面破壊について

遠心力実験で得られた n_f と円柱供試体の c_u を用いて

$$N_s' = \gamma H_1 n_f / c_u$$

によって N_s' を求め, Taylor図表にプロットすると図-2の○印となる。ここで $\beta=70^\circ$ のデータは特異と思われるのでこれを無視してほかの三つの N_s' を連ねると, 図中に太実線で示した曲線が得られる。この曲線はTaylorが与えた $\alpha=1.5$ の曲線とほぼ平行で, N_s が0.7程度大きい。また, 直方体供試体の c_u を用いた場合の N_s' の値は図-2の△印となり, やはり, $\alpha=1.5$ の曲線の値よりも大き

注1) Peck²⁾は限界安定数として $N_{cb}=5.14$ を示し, 実際の掘削の場合には掘削溝の形状の影響を考慮して $N_{cb}=6.5 \sim 7.5$ を用いるのがよいとしている。図-9のPeck式による n_f/n_f' の値は $N_{cb}=5.14$ を用いた場合の値である。

資料-403

い。斜面破壊の遠心力模型実験の結果が今回のように安全側となる傾向はこれまで当研究室で実施された実験の傾向と一致している⁹⁾。そこで、実際のすべり面が明りょうな $\beta = 30^\circ$ の場合について図-4④に示した破壊円を選び、円柱供試体ならびに直方体供試体の c_u を用いて破壊加速度を求めてみると、それぞれ 113g, 111g となり、実験で得た破壊加速度 106g にかかなり近いことが分かった。したがって実験結果に比べて Taylor 図表が安全側となった（すなわち、模型斜面の破壊に対する安全率は Taylor 図表によって求めた安全率よりも大きかった）のは、図-4に示すように Taylor 図表で想定された臨界円と実際のすべり面が一致しなかったためである。計算上安全率が最小である臨界円で破壊がおきなかったのは、図-4④の $\beta = 30^\circ$ では臨界円が容器側壁にさえぎられたためであるが、他の三つの場合については今の所よく分からない。ここでは Taylor 図表の計算の仮定に以下のような問題点があることを指摘するにとどめておく。

1) すべり面の形状について

Taylor 図表では剛体的な円弧すべりが仮定されているが、図-4によれば実際の破壊面ではいずれの場合も多数の短いせん断面がみられ、これらが集まって連続的なすべり領域を構成している。更に、このすべり領域の形状は $\beta = 30^\circ$ ではかなり円弧に近いものの、斜面先破壊を生じた $\beta = 70^\circ, 90^\circ$ では、すべり領域の位置と肩の引張りクラックの位置とは一致しておらず、 $\beta = 70^\circ, 90^\circ$ の場合の破壊形式が単純な円弧すべりでなかったことを示している。このように実際のすべり面は Taylor 図表の仮定よりもかなり複雑である。

2) 強度定数について

Taylor 図表ではすべり面上のせん断強さが垂直応力によって変わらない（すなわち $\phi_u = 0$ ）と仮定しているが、粘土斜面が非圧密非排水(UU)条件で破壊すると想定される場合でも $\phi_u \neq 0$ として解析した方が実際的であるという指摘がある¹⁰⁾。つまり、薄いすべり域での排水条件を考えると UU 条件が完全に成立するかどうか疑問があり、特に小さい模型実験では多少、排水による強度増加があるかもしれない。更に、実験時の観察から斜面は進行性破壊を生じたとみられること、図-8のように今回用いたN粘土、N-K粘土がかなりの強度異方性を示したことなどからすべり面上のせん断強さが一定という Taylor 図表の仮定は厳密には成立しない。

(2) ヒービングについて

図-9に示した6種の検討式が仮定しているすべり面の形状について問題点を整理すると次のようになる。

1) 背面側の鉛直すべり面の仮定について

ヒービングに関する各検討式のうち Peck 式以外は背面側のすべり面を鉛直と仮定しているが、仮に剛壁の摩擦を無視するとこの鉛直面は最小主応力面であるから、この面

ではせん断破壊が生じ得ないことになり、実験結果もそうになっている。

建築基準ではこの鉛直面のせん断抵抗は無視することになっているので、この点問題はない。これに対して Tchebotarioff 式、Terzaghi-Peck 式ならびに大阪市・神戸市の指針^{注2)}はこの鉛直面に実際にせん断抵抗が働くと仮定している。したがって実験結果に比べてこれら3式が危険側となったのは、実際には生じない（したがって一番危険なすべり面でない）鉛直すべり面を仮定している所にまず問題があることが分かる。また、Bjerrum・Eide 式は今回の実験条件が $H/B=0$ (H : 掘削深さ, B : 掘削幅) であるのでたまたま Peck 式と同じ形の式になっているが、 $H/B \neq 0$ の場合にはやはり鉛直すべり面のせん断抵抗を考慮するので、実際には危険側の結果を与える可能性が大きい。

2) 掘削底以深のすべり面の形状について

各検討式が採用している掘削底以深のすべり面の形状は円弧とプラントル形式¹¹⁾とに大別される。前者には建築基準の方法、大阪市・神戸市の指針が、後者には Tchebotarioff 式^{注3)}、Peck 式、Bjerrum・Eide 式ならびに Terzaghi-Peck 式^{注4)}が含まれる。

実験結果はすべり面の形状はくさび状でプラントル形式に近かった。このことは図-9においてプラントルの支持力理論による極限支持力 $5.14 c_u$ を用いた Peck 式と Bjerrum・Eide 式が $n_f/n_f' \approx 1$ となったことと対応している。したがって図-9に示したように建築基準が危険側の結果となったのは、すべり面の形状を円弧と仮定しているところに問題があったことになる。また、Terzaghi-Peck 式が採用している極限支持力 $5.7 c_u$ は危険側の結果を与えることが分かった。

5. ま と め

学生の実験実習として遠心力装置を利用した一様粘土地盤の斜面破壊とヒービングの模型実験を行った。筆者は常々学生に「土質実験」の性格は規格化された品質管理試験とは異なり、実験自体が研究的行為であると説いているが、今回の遠心力模型実験によりこのことを学生に十分認識させることができたように思う。また慣用の安定計算が必ずしも実際の破壊現象を正しくフォローし得るものではないことなどの「実物教育」を施すことができた。このように

注 2) 図-9で用いた大阪市・神戸市の指針⁹⁾は背面側地盤にゆるみがない場合の式で、ゆるみがある場合には建築基準の方法を用いていることになっている。今回の実験条件は剛な山留め壁を用いているので背面側地盤のゆるみは生じない。

注 3) Tchebotarioff⁹⁾は円弧の破壊形状を想定しているが、円弧の中心が土留め壁下端(図-3のO点)から少し掘削側に離れた位置にある方が危険側であり、かつ背面側鉛直面のせん断抵抗が十分働かない、という二つの理由から実際の提案式としてはプラントル形式のすべり面の値を推奨しているので後者に含めた。

注 4) Terzaghi-Peck 式⁹⁾では、浅いフーチングにおける Terzaghi の限界支持力公式(底面粗)が用いられており、厳密にはプラントル形式の破壊形状とは異なるが、ここでは類似のものとして後者に分類した。

遠心力装置の導入により当初の予想を上まわる教育効果を得たことから、今後もこの取組みを進めていくつもりである。

この報告では斜面破壊やヒービングの慣用計算法の批判にまで筆が及んだが、これらも学生への教育用としてまとめたものをそのまま報告したので、学術的な結論として十分なものとは考えていない。しかし、ヒービングの例のように多くの検討式が提案されている場合、技術者あるいは教育者としてどの検討式を採用、または推奨するかについては少なからず判断に迷うところであり、この点で今回の報告が何かの御参考になれば幸いである。

最後に本稿をまとめるにあたり御指導を戴いた大阪市立大学三笠正人教授並びに実験に援助を戴いた土質工学研究室の各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 三笠正人・高田直俊・望月秋利：遠心力を利用した土構造物の模型実験，土と基礎，Vol. 28, No. 8, 1980.
- 2) Terzaghi, K. and Peck, R.B.: Soil Mechanics in Engineering Practice, 1948.
- 3) 建築学会編：建築基礎構造設計規準・同解説（1974年制定）
- 4) 石井靖丸訳：チェボタリオフの土質工学 下巻，技報堂，pp. 106~111, 1967.
- 5) L. Bjerrum and O. Eide: Stability of Struttred Excavations in Clay, Geotechnique, Vol. 6, 1956.
- 6) 土質工学会編：土留め構造物の設計法，pp. 227~228, 1975.
- 7) R.B. Peck: Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, Proc. 7th ICSMFE, State of the Art Volume, 1969.
- 8) 土質工学会編：土質試験法，p. 488, 1979.
- 9) たとえば三笠正人・望月秋利：遠心力装置を利用した粘性土の斜面安定実験，第27回土木学会年次学術講演会，1972.
- 10) Mikasa, M., Mochizuki, A., Sumino, Y.: A Study on Stability of Clay Slopes by Centrifuge, Proc. 9th ICSMFE II, pp. 121~124, 1977.
- 11) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，p. 318, p. 320, 1982.

(原稿受理 1984.7.23)

土質工学会発行図書案内

	会員特価	定 価	送 料 (各1冊)	
海洋開発における基礎構造物の現状シリーズ1~5				
1. 設 計 基 準 お よ び 事 例 (A 5判 289ページ)	2,000円	2,600円	} 350円	
2. 施 工 技 術 (A 5判 309ページ)	2,500円	3,300円		
3. 海 洋 構 造 物 の 計 画 (A 5判 360ページ)	3,300円	4,300円		
4. 施 工 機 械 ・ 材 料 (A 5判 122ページ)	1,700円	2,200円		300円
5. 海 底 地 盤 の 調 査 方 法 (A 5判 298ページ)	3,200円	4,100円		350円
設計施工基準集(施工編)土工				
クイの鉛直載荷試験基準・同解説 (A 5判 252ページ)	1,900円	2,500円	} 350円	
杭の水平載荷試験方法・同解説 (A 5判 60ページ)	1,000円	1,300円		
地盤の平板載荷試験方法・同解説 (A 5判 184ページ)	2,200円	2,800円	} 300円	
アース・アンカー工法 (A 5判 236ページ)	2,500円	3,300円		
コルゲートメタルカルバート・マニュアル〔第2回改訂版〕 (A 5判 165ページ)	2,250円	2,950円	} 200円	
力計の使用指針 (A 5判 29ページ)	600円	800円		
岩の工学的性質と設計・施工への応用 (A 5判 838ページ)	6,500円	8,500円	400円	
ロックフィル材料の試験と設計強度 (B 5判 287ページ)	3,200円	4,200円	350円	
大阪地盤-特に洪積層の研究とその応用 (B 5判 415ページ)	6,000円	7,800円	400円	
技術手帳(実務に役立つ土質工学用語の解説) (B 6判 320ページ)	1,500円	2,000円	300円	
土質工学ケースヒストリー集(第1集) (A 4変形判 759ページ)	8,500円	11,000円	450円	
実例による土質調査 (B 5判 251ページ)	3,800円	4,900円	350円	
土質工学会文献要約集(1979年版) (B 5判 561ページ)	5,000円	6,500円	400円	
複合地盤に関する文献目録 (B 5判 85ページ)	700円	900円	300円	
講習会テキスト				
N値およびcとφの考え方 (B 5判 110ページ)	1,500円	2,000円	} 300円	
設計における土質定数の考え方 (B 5判 62ページ)	800円	1,000円		
土質工学におけるSIの使い方 (B 5判 117ページ)	1,500円	2,000円		
シールド工法と土質 (B 5判 123ページ)	1,600円	2,000円		
杭施工の問題点とその対策 (B 5判 73ページ)	800円	1,000円		
土質・基礎工学における有限要素法の適用 (B 5判 203ページ)	3,000円	3,900円	} 350円	
地盤の液状化 (B 5判 134ページ)	1,800円	2,400円		
土と基礎の設計計算演習〔第3回改訂版〕 (B 5判 418ページ)	4,700円	6,100円	} 350円	
構造物基礎の設計計算演習 (B 5判 368ページ)	4,800円	6,200円		
土を測る-現場計測と施工管理- (B 5判 118ページ)	2,000円	2,600円	300円	

注：書店でお買い求めの場合には、会員特価になりません。