

名古屋大学 工学部 地盤工学科
 (正) 川本 眺万 (正) 市川 康明
 (正) 尾原 祐三 (学) 後藤 有志

1. はじめに

岩盤の力学的挙動はその内部に有する不連続面に多大な影響を受ける。現在、重力場における岩盤構造物の安定解析において有限要素解析や極限平衡状態解析のような様々の数値モデルを用いた数多くの数値解析が行なわれているが、実際の岩盤構造物の局部破壊や逐次破壊現象を不連続面の影響を考慮した上で検証するには不十分である。本報告では、前報⁽¹⁾で紹介した重力場における地盤構造物の変形・破壊特性を研究するために新しく考案された底面摩擦模型実験装置を用い、不連続面を有する斜面に対する実験を行ない、それに対する理論的考察について述べる。なお、この実験装置の詳細と模型に適用する相似則は前報告で述べているので省略するが、Fig-1に正面および平面図を示す。

2. 模型材料の力学的特性

本実験で使用した模型材料は、硫酸バリウム、酸化亜鉛、白色ワセリンを70:21:9の割合で配合し、呼び径1.2mmの標準網フルイにかけ、粒径を均一にしたものである。この材料は三軸試験において単位体積重量 γ と最大軸差応力の $\sigma_1 - \sigma_3$ の関係を各拘束圧ごとの値で結ぶとFig-2のようになる。また、一面せん断試験において、直接せん断試験とせん断面を不連続としたせん断試験を行なうと、垂直応力 σ_v とせん断応力 τ の関係はFig-3のようになる。ここで不連続面におけるせん断特性は実際は非線形であるが、直線で近似すると、 $\beta = 1.7, 1.8 \text{ g/cm}^3$ ともに見かけ上の粘着力 $C = 0.04 \text{ kg/cm}^2$ 、摩擦角 $\phi = 40^\circ$ であり、実際のせん断面に対し粘着力が約1割に落ちている。

3. 実験結果

実験は風化した泥岩のような軟岩で、ある角度をもつ一様に不連続面が入った岩盤斜面をシュミレートしたものである。斜面の角度は 75° で、実物と模型の諸物性値および幾何形状をTable1のように定めると相似則を満たすために必要な空気圧 P_a は 0.16 kg/cm^2 となる。また、斜面に入っている不連続面を流れ目、差し目の2種類に分け、それぞれ水平角に対し 15° ずつ角度を変化させて10ケースの実験を行った。破壊状況をTable2に示す。

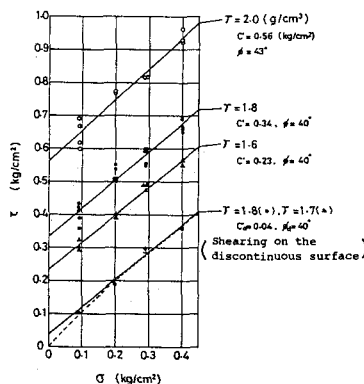


Fig-2 Plot of unit weight and peak strength under various confining pressure

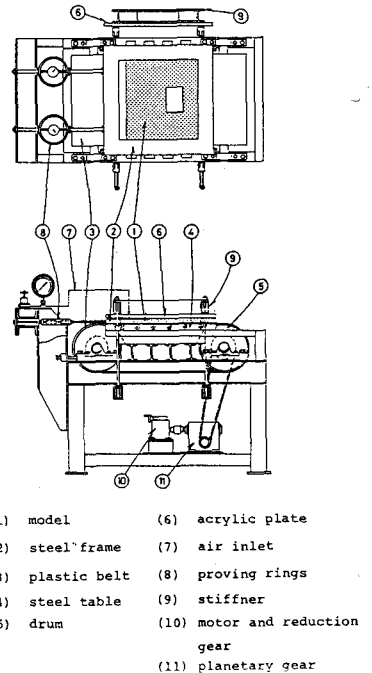


Fig-1 Base friction apparatus

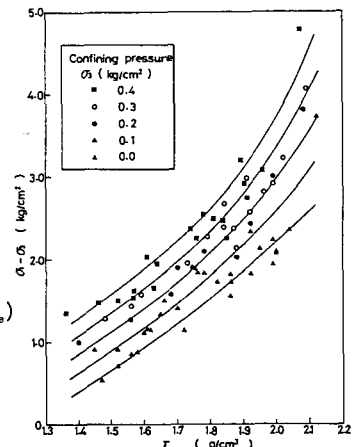


Fig-3 Plot by plane shear test

(1)流れ目- $\beta = 45^\circ, 60^\circ$ のときに平面破壊をおこした。破壊は不連続面で区切られた層の弱い部分に引張り裂が入り、それがきっかけとなってすべりをおこしている。ここでFig-4のような不連続面ABをもつ斜面を考え、破壊がこのAB面でおこると仮定すると岩塊ABCの自重は

$$W = \frac{\gamma H^2}{2} (\cot \beta - \cot \alpha) \quad (1)$$

ただし、H：斜面高さ、 γ ：岩塊の平均密度、 β ：破壊面の水平面からの傾き、 α ：斜面の傾き

ABに垂直な応力の分布は $\triangle AFB$ で表されるが近似的に $\square AEDB$ と仮定すると $\overline{AE} = \frac{1}{2} \overline{FG}$ 。破壊面のせん断応力と垂直応力の極限平衡状態は

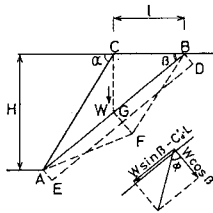


Fig-4 Equilibrium of forces on a planer joint induced by a selfweight stress distribution (after Barton[2])

$$\frac{W \cdot \sin \beta}{L} \leq \frac{W \cdot \cos \beta}{L} \tan \phi_d + C_d \quad (2)$$

ただし、L：破断面の長さ $L = H/\sin \beta$ 、 C_d ：不連続面での摩擦角、(1),(2)式より、すべりが生じないための条件式は

$$\tan \phi_d \geq \tan \beta \left[1 - \frac{2C_d}{\gamma H} \frac{1}{(\cos \beta - \cot \alpha) \sin^2 \beta} \right] \quad (3)$$

ここで、 $H = 45 \text{ cm}$ 、 $\alpha = 70^\circ$ 、実験で自重効果として作用する $\gamma = 0.0037 \text{ kg/cm}^3$ を(3)式に代入し、 β と(3)式の右辺の関係を C_d の値ごとにグラフにしたものがFig-5である。破線は $\tan \phi_d$ の値であり、この破線よりグラフが上部にあると(3)式を満たさないで平面破壊をおこす。今回の実験は $C_d = 0.04 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi_d = 40^\circ$ であるから、 β が $44^\circ \sim 71^\circ$ のとき平面破壊をおこすことになり、実験とよく一致している。

(2)差し目- $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ のときにトップリングをおこした。どの場合においても不連続面によって区切られた柱状の層が片持ちばり状に前方へ屈曲し、層の途中に引張り裂が生じ徐々にり尻に進んでいる。このトップリングをおこす原因やメカニズムは未解決な部分が多い。

4. おわりに

底面摩擦模型実験装置を用いて、不連続面を有する斜面に対する実験を行なうと実際の岩盤斜面の破壊現象をよくシュミレートできることが判明した。

5. 謝辞

今回の実験に協力いただいた、仲田昭雄君(戸田建設)に謝意を表します。

参考文献：〔1〕尾原・川平・後藤、底面摩擦模型実験装置について、第36回工学会年次学術講演概要集 Ⅲ-191

〔2〕N.Barton: "Progressive Failure of Excavated Rock Slopes", Stability of Rock Slopes, Proc. 13th

Symposium on Rock Mech., A. S. C. E. 1972, PP. 139~170

Table-1 Material properties

	Prototype	Model
Unit weight (g/cm^3)	2.0	1.7
Uniaxial strength (kg/cm^2)	6.5	1.2
Angle of internal friction (degree)	34	34
Modulus of elasticity (kg/cm^2)	4000	330
Height of slope	45m	45cm
Distance between discontinuities	3m	3cm
Friction coefficient between the model and the belt μ		0.6
Thickness of model t' (cm)		2.6
Geometric scale λ		100
Stress scale Σ		5.4

Table-2 Failure of slopes

Direction of layers	Geometry	β (°)	Type of failure
流れ目		75	破壊せず
		60	平面破壊
		45	平面破壊
		30	破壊せず
		15	破壊せず
差し目		-15	破壊せず
		-30	破壊せず
		-45	破壊せず
		-60	トップリング
		-75	トップリング

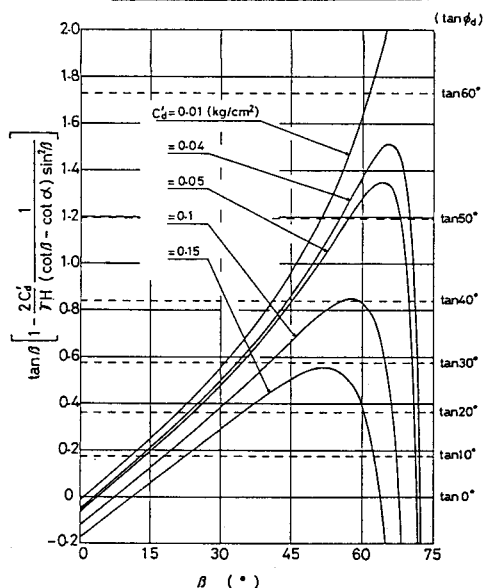


Fig-5 Characteristics curves for slope failure