

III-305 平面すべりを仮定した岩盤斜面の安定に関する基礎的研究

京大 足立紀尚・〇木村 亮 竹中土木 野村成樹

1. まえがき 現在、原子力発電所は安全性の問題として直接強固な岩盤に支持されねばならず、後背地には切り取りによる岩盤斜面が生じる。この斜面の安定性に関しては、非常に重要な問題にもかかわらず未解明の点を残しているのが現状である。そこで、本研究では平面すべりを仮定した岩盤斜面を対象に、2個のコンクリートブロックを用いたモデル実験を行い、Kovari-Fritz¹⁾法およびJanbu²⁾法を用いて安定解析を実施した。

2. 実験方法 本実験は図-1に示すように、2枚の木製底板と2個のコンクリートブロックからなる装置で岩盤斜面をモデル化している。コンクリートブロックには、底部を種々の角度にしたものを作成したが、各々の重量はほぼ一定で、実験方法は以下の手順で行った。

- 2つのブロックの角度に対して、底板の傾斜角をジャッキで調節し鉛直に接触した状態で底板に置いた場合すべりだすかすべらないかを判定する。
- 1)の状態ですべりだす場合には、図-1のように斜面下側のブロック（以下ブロック1と記す。）に滑車を介して荷重を加え、すべりだす直前の外力（支持力： R_1 ）を求める。
- 次に、1)の状態ですべらない場合には、逆に上側のブロック（ブロック2）に荷重を加えすべりだす直前の外力（稼働力： R_2 ）を求める。

ここで、ブロックと底板間およびブロック間の内部摩擦角によって、表-1に示すように実験は8つのケースに分けられる。 ϕ_1 ・ ϕ_2 ・ ϕ^* はそれぞれブロック1と底板、ブロック2と底板およびブロック相互間の内部摩擦角を表す。また、表中太線部分は厚さ1.5mmのテフロンをはさんだ場合である。これらの摩擦角は実験前にブロックとばねばかりを用いて求めたもので、粘着力はゼロであった。実験の種類は以下に示す2種類である。

- a) 外力を作用させない場合（以下実験Aと略称。）

表-1の1から8の8つのケースについて、すべるかすべらないかの挙動観察だけを行う。

- b) 外力を作用させる場合（以下実験Bと略称。）

前述の実験の手順2),3)で示したように、ケース1からケース8までの実験Aの結果に対して、ブロックに支持力または稼働力を加える。この場合、作用角と作用位置をパラメーターとし、作用角は水平面に対して -30° 、 0° 、 30° の3通り、作用位置は重心高さを中心に3点を設定した。この場合実験は徐々に载荷除荷を行い、極限平衡状態となった瞬間の荷重を測定し、同じ実験を少なくとも3回実施した。

3. 実験結果および解析結果 まず初めに実験結果を説明する手法としてKovari-Fritz法の概略を説明する。実際の岩盤斜面では、Kovari-Fritzはブロック間の内部すべりが十分な数だけ起こらないと、全体のすべりが生じないと考えた。ここで、この手法における仮定を列挙すると以下のようになる。

- 岩塊からなる各ブロックはいずれも剛体。
- 内部すべり面の数・位置・角度・強度パラメーターなどはいずれも既知。
- 張力はブロック間で存在しない。
- せん断抵抗はMohr-Coulombの破壊規準を適用。
- 安全率は全すべり面（外部および内部）において等しい。

いま、外力の作用していない図-2に示す2ブロック間の内力（ I_i ； $i=1,2$ ）は粘着力の無い場合、力のつり合いと破壊規準によって以下のような関数形

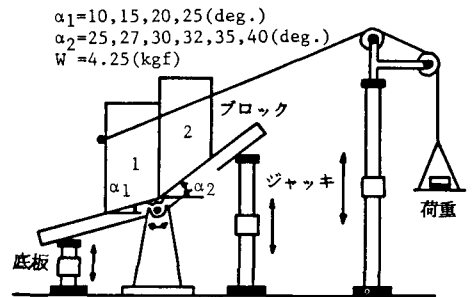


図-1 実験装置

表-1 実験の種類

	1	2	3	4	5	6	7	8
ϕ_1	25.5	25.5	20.1	20.1	25.5	25.5	20.1	20.1
ϕ_2	25.5	25.5	25.5	25.5	20.1	20.1	20.1	20.1
ϕ^*	36.9	24.8	36.9	24.8	36.9	24.8	36.9	24.8

(DEGREE)

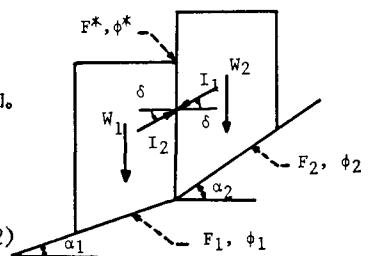


図-2 Kovari-Fritz法

で表せる。

$$I_i = f(F_i, \alpha_i, \phi_i, \delta, W_i) \quad (i = 1, 2) \quad \dots (1)$$

ここで、 F_i : ブロックと底板の安全率 α_i : 底板の傾斜角 ϕ_i : ブロックと底板の内部摩擦角 δ : 内力の作用角 W_i : ブロックの重量である。また、内力の作用角は

$$\delta = g(\phi^*, F^*) \quad F^*, \phi^* : \text{内部すべりの安全率と摩擦角} \quad (2)$$

と表せ、 $I_1 = I_2$, $F_1 = F_2 = F^*$ を用い (1), (2) 式でくり返し計算を行うと安全率が求まる。外力の作用する場合は、外力を W 方向と I 方向に分割する事により同様に求まる。Janbu 法に関しては文献(2)を参照されたい。

次に、実験結果と解析値を比較しながら考察を加える。

1) 実験A 実験Aでは外力を作用させない場合の結果であるが、4種類の α_1 に対して6種類に α_2 を変化させた192種類の実験について両解析結果は概ねうまく挙動を説明し得ていた。しかし、図-3に示すようにJanbu法による F の値はKovari-Fritz法に比べて約85~95%と小さくなっている。

次に、 $\alpha_1 = 10^\circ$ のとき α_2 を横軸に安全率の解析結果を縦軸にとって図示すると図-4のようになる。ここで、パラメータとしては8種類のケースをとっている。(a)はKovari-Fritz法、(b)はJanbu法による結果である。両図のプロット点は黒丸が実験結果と解析結果が一致した場合を、白丸は一致しなかった場合を表している。(a)図から α_1 にかかわらず安全率はケース1, 2, 5, 6, 3, 4, 7, 8の順に減少し、外部・内部すべり面の内部摩擦角 ϕ が小さくなるほど、安全率は低下する。また、ケース3, 5の比較により外部すべりに対しては ϕ_2 の変化より ϕ_1 にわずかではあるが影響される。ケース1, 2, ケース7, 8より外部すべり面の内部摩擦角が変化しなければ、内部すべりの摩擦角が多少小さくても安全率にはあまり影響がないこともこの図から読み取れる。また、一般的にJanbu法では内部すべり面の摩擦角を考慮しないので、ケース1, 2等の区別ができず同じ曲線で表され、実験結果との不一致も多い。

2) 実験B 実験Bの結果の一例として、 $\alpha_1 = 15^\circ$, ケース2の結果を図-5に示す。図中の曲線は α_2 をパラメータとしたKovari-Fritzの理論曲線である。縦軸は外力の作用角を、横軸は左に R_1 右に R_2 をとっている。プロット点は水平外力が重心点を等する場合の実験値を示しており、3回行った実験値の平均である。 $R_1 - \theta$ 関係は $\theta = 0^\circ$ 近傍に最小値を持ち、実験値と解析値を比較すると $\pm 40\%$ の範囲で解析値は実験値を説明できることが分かった。

4. 結論 本研究の結果以下のような知見が得られた。

- 1) Kovari-Fritz法とJanbu法は2個のブロックによるモデル実験を概ね説明できた。しかし、前者に比べて後者の安全率は少し小さい。
- 2) 外部すべり面の内部摩擦角は、内部すべり面の内部摩擦角に比べて安全率に大きな影響を与える。
- 3) Kovari-Fritz法では力の作用位置に関して考慮していないので、本実験のような簡単なモデルでも説明できないところがある。しかし、実験モデルでは明らかに内部すべりが発生しているので、その挙動をある程度説明できる。

実際の問題に対して適用するためには、さらに3個のブロックの実験および解析を実施する必要がある。最後に、本実験に協力してくれた元京大生平田靖郎君(鹿島建設)に感謝の意を表す。

参考文献 1) Kovari, K. & P. Fritz (1977); Proc. 16th Symp. Rock Mech., ASCE, New York, pp.25-34 2) Janbu, N. (1973); Embankment-Dam Eng., Casagrande Vol., John Wiley & Sons

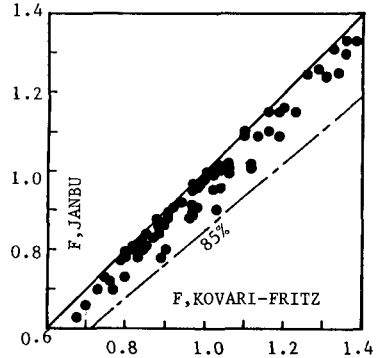


図-3 安全率の比較

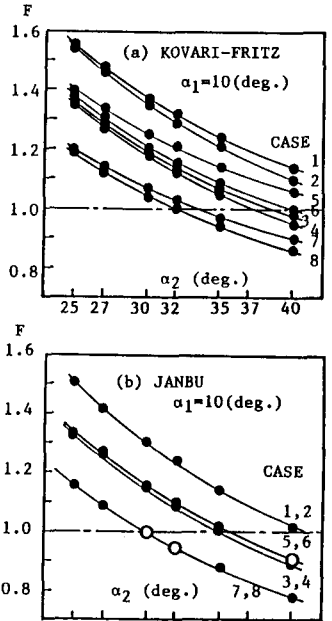


図-4

ケースによる安全率の比較

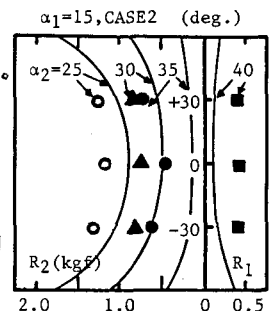


図-5 $R_1 - \theta$ 関係