

名古屋大学 川本 聡 才
 ○ 名古屋大学 高橋 由 行

1. 概 説

土の斜面の安定計算には分割法あるいはまさつ内法による円形すべり面法が広く用いられている。この方法は実際に起った斜面の崩壊が円形に似たすべり面に沿って起ったという経験的事実に基づいている。しかしながら、岩盤は一般に複雑な地質学的分離面を含み、斜面の崩壊状態は複雑である。小さなジョイント網をもった、弛んだ地山においては、円形に近いすべり面を示すことはあるが、ほとんどの場合、円形すべり面とは大いに異なった破壊を示す。したがって岩盤斜面の安定性を考えるとき、厳密にはその分離の程度や分離面の力学的特性を考慮した検討を行わなければならない。実際にはそのような厳密な安定性の検討は困難であるが、岩盤の分離度が比較的均質であり、いわゆるびじわれ性の岩盤として、巨視的に等方等質の状態と考えられる場合には、弾性応力状態を求めて、岩盤の破壊条件に用いることにより、岩盤斜面の安定性を推定することができる。

急斜面の応力状態は最近まであまり知られていなかった。ゆずかに Terzaghi と Stini とが急斜面についての計算をしているだけであり、これらの報告について Müller が簡単に言及しているにすぎない。また斜面のり先きの影響を考慮して、斜面近傍の応力状態を求めることは理論的にむずかしく、実験的にはゼラチン模型を用いた Scheiblauber の研究があるにすぎない。彼はこの研究により、急斜面の下部 1/3 のところでせん断応力が最高であり、また小さい方の主応力が引張になると述べている。

本研究は京都大学土木工学教室の高速度遠心力装置を用いて、2次元光弾性実験を行い岩盤斜面の応力状態を求め、斜面の安定性について検討するものである。

2. 実験模型および実験方法

高速度遠心力光弾性装置は従来の光弾性装置の載荷枠のかわりに、遠心機を用いて模型を遠心力の場内に置き、質量力による応力を解析するものである。実験に用いた模型はいずれも 12mm 厚のエポキシ樹脂（アラルダイト・タイプ B）板より作られ図-1 に示す 5 種類に成形された。この模型は固定枠に入れて側面および底面を拘束し、さらにこの装置の回転枠に取りつけられた。実験は応力凍結法を用いて行われ、回転数はいずれの場合も 500 r.p.m. として荷重（遠心力）を加え、応力凍結が行われた。その後等色線描と撮影し、等傾線と求めた。その一例を示すと図-2（傾斜角が 30° の場合）のようである。

3. 相似条件および遠心力場内における光弾性効果

実物と幾何学的に相似の模型の寸法比を s 、両者の相対応する面積に作用する物体力の比を c とすれば、実物と模型における応力 σ 、 σ' の間には次式が成立する。

$$\sigma = \sigma' c / s^2 \quad (1)$$

さて単位面積に作用する力、すなわち応力は単位体積に作用する物体力をその作用方向に積分したものであるから、物体力 f 、 f' にはつぎの関係がある。

$$f = f'c/s^3 \quad (2)$$

つぎに実物において一軸方向にのみ重力が作用する場合には(2)式から、

$$f' = \rho g s^3 / c \quad (3)$$

となる。いま模型E遠心力の場内にかくものとし、回転半径を r 、回転数を n とすれば、

$$f' = 4\pi^2 \rho' r n^2 \quad (4)$$

となる。これを(3)式に代入し(1)式を用いると、模型と実物の比重の比 ρ'/ρ を k で表わせば、

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{k}{s} \frac{4\pi^2 r n^2}{g} \quad (5)$$

となり、実物と模型の対応点の応力を等しくするために必要な条件はつぎのようになる。

$$S = k 4\pi^2 r n^2 / g \quad (6)$$

つぎに遠心力場内における光弾性効果について考える。簡単のために重力の作用する半無限体と考える。作用重力の加速度は地表からの距離に無関係に一定と考えることができる。しかしながら本実験においては模型の各点に作用する遠心力の大きさは回転軸からの距離 r に応じて変化する。いま単位面積について半無限体の表面 r_0 から $r = (r_0 + k')$ までに作用する遠心力を積分すれば、

$$\sigma' = \int_{r_0}^{r_0+k'} \rho' \omega^2 r dr = \rho' \omega^2 (k'^2 + 2r_0 k') / 2 \quad (7)$$

となるが、一方実物において表面から深さ k までの肉に作用する重力を積分すれば、

$$\sigma = \rho g k \quad (8)$$

となる。この場合 σ および σ' は実物および模型の対応点の応力を表わすと考えることができるから、明らかに両者の応力比をすべての点で g/s^2 に保つことができない。いま $r = (r_0 + k')$ なる点における応力比を g/s^2 に等しくするものとするれば、(7)式および(8)式より次式をうる。

$$s^2 = c k 4\pi^2 n^2 (r_0 + k'/2) / g \quad (9)$$

したがって、 $r = (r_0 + k'/2)$ と考えればよいことになる。ただし、このようにして求めた光弾性写真の解析結果は、各点においてただちに実物と一定の応力比 g/s^2 を保った応力を与えているものではなく、 $r = (r_0 + k')$ 点の応力を基準にし

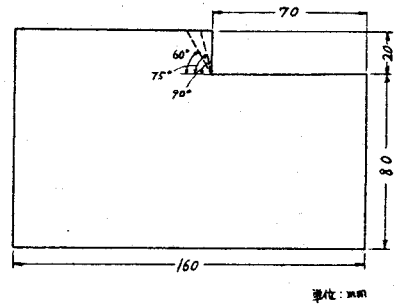
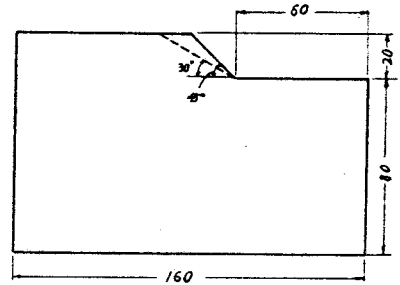


図-1 模型寸法



図-2 (a) 等色線写真

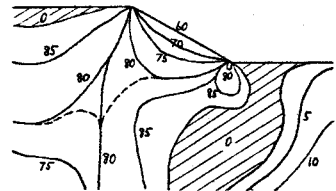


図-2 (b) 等傾線

で回転半径の位置による補正を施さねばならない。

4. 解析方法

2次元光弾性実験における内部応力の解析には、一般に Shear-difference method が用いられ、等色線橋より得られる主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_2$) と等傾線より得られる主応力の傾き α とより、図式積分を行なうことによって主応力の σ_1 および σ_2 を分離している。しかしこの方法では等傾線の作図の不完全さによる影響が大きく、解析精度の落ちる恐れが多い。それでここではつぎのような解析方法を用いた。

平面向題では、 ϕ は Airy の応力関数とすれば、次式が成り立つ。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^4} = 0 \quad (10)$$

自重のみが物体力として作用するときには (10) 式はつぎのように変形できる。

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (11)$$

こゝに $\sigma_x + \sigma_y = \sigma_1 + \sigma_2$ であり、 $\sigma_1 + \sigma_2 = \psi$ とおけば (11) 式はつぎのようになる。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (12)$$

こゝの Laplace の微分方程式を境界条件を満足するように階差法によって解けば、各格子点における ψ が求まる。一方光弾性の等色線写真からしま次数を読みとり、これに光弾性感度を乗ずれば、直ちに主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_2$) が各点で求まるから、 $\sigma_1 - \sigma_2 = \psi$ とすれば、 ψ および ψ より主応力 σ_1 および σ_2 が次式により容易に計算できる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1}{2} (\psi + \psi) \\ \sigma_2 &= \frac{1}{2} (\psi - \psi) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

(12) 式を階差方程式と表わせば格子点 O では

$$\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4 - 4\psi_0 = 0 \quad (14)$$

となる(図-3)。また境界が図-4のように不規則で等間隔格子とならない場合、(13) 式はつぎのようになる。

$$\left(\frac{\psi_0 - \psi_L}{k_L} + \frac{\psi_0 - \psi_R}{k_R} \right) / \left(\frac{k_L + k_R}{2} \right) + \left(\frac{\psi_0 - \psi_U}{k_U} + \frac{\psi_0 - \psi_D}{k_D} \right) / \left(\frac{k_U + k_D}{2} \right) = 0 \quad (15)$$

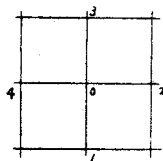


図-3

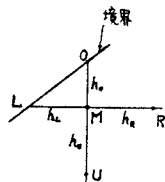


図-4

なお ψ の境界値としては、斜面および水平面の表面は自由境界であるから主応力の一方が零であり $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_1 - \sigma_2$ ($\therefore \sigma_2 = 0$) とおけるから、等色線写真から読みとった値を用いてたゞちに求めることができ、斜面内部の境界では斜面よりかなり離れた水平および鉛直な断面内で鉛直方向の主応力および水平方向の主応力をそれぞれ

$$\sigma_1 = \gamma k, \quad \sigma_2 = \lambda_0 \sigma_1$$

として求めた。こゝに γ : 岩石の単位体積重量, k : 地表面からの深さ, λ_0 : 側圧係数である。なお斜面下の応力状態の詳細については当日報告する。