

III-42 岩石の亀裂伝播解析

間組技術研究所 正員 ○草 深 守 人
 埼玉大学 正員 浜 島 良 吉
 法政大学 正員 山 下 清 明

1. まえがき

岩盤は通常、亀裂、節理等を含み、これら多亀裂、多節理系岩盤の力学的挙動を明らかにするものが重要である。本研究ではこのうち多亀裂性岩盤の亀裂伝播解析方法についてのべる。

2. 解析方法及び構成式

解析方法は剛体バネモデルを用い初期応力法に基づいた弾塑性解析を行う。

構成式に関してはドラッカー・プラーカを修正した値を使用した。これはクーロンの摩擦則から得られるせん断破壊に対する構成式と一致する。ただし引張破壊に対しては一部修正を要する。

ドラッカー・プラーカの構成式は次式で与えられる。

$$f = \alpha J_1 + J_2^{1/2} - K = 0 \quad \dots (1)$$

$$\therefore \text{二平面応力状態に対して } \sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0 \quad (\text{z軸を厚さ方向とする}) \quad \dots (2)$$

また剛体バネモデル要素は要素境界面方向(y軸方向)の伸びが零であることから associated-flow-rule を仮定し、

$$\partial f / \partial \sigma_y = 0 \quad \dots (3)$$

式(1), (2), (3)より次式が得られる。

$$\frac{(\sigma_x + \frac{6\alpha K}{1-12\alpha^2})^2}{\frac{4K^2(1-3\alpha^2)}{(1-12\alpha^2)^2}} + \frac{\tau_{xy}^2}{\frac{K^2}{1-12\alpha^2}} = 1 \quad \dots (4)$$

ここで定数 α , K は平面応力状態におけるモールクーロンの直線式との対応から

$$\alpha = \tan \phi / \sqrt{9 + 12 \tan^2 \phi}, \quad K = 3c / \sqrt{9 + 12 \tan^2 \phi} \quad \dots (5)$$

で与えられる。

ここで c , ϕ は粘着力及び内部摩擦角であり、これらは一軸圧縮試験及び圧裂試験から次式で与えられる。

$$c = \frac{|\sigma_c|}{2\sqrt{m-3}}, \quad \phi = \sin^{-1} \left(\frac{m-4}{m-2} \right), \quad m = \left| \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \right| \quad \dots (6)$$

σ_c : 一軸圧縮強度, σ_t : 圧裂試験による引張強度。

式(4)の楕円を表わす式(5), (6)を代入する = により $\tau_{xy} = 0$ において $\sigma_x = \sigma_c$ を通る = とを証明する = とができる。

次に式(4)をクーロンの摩擦則から与える = とができる = とを示す。

今、図-1aに示されるように剛体要素abcの辺ab上の応力を σ_x, τ_{xy} とする。図-1bに示されるようにCD面と角度をなす面上の応力を σ, τ とすれば

$$\begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (1+\cos 2\theta)/2 & -\sin 2\theta \\ \frac{1}{2} \sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad \dots (7)$$

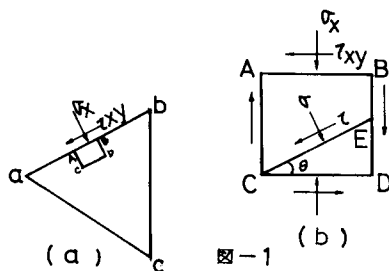


図-1

(a) せん断による破壊

7-10の摩擦則によれば、せん断破壊は次式で示される有効せん断応力 T_{eff} が最大になるような $\theta = \alpha$ なる面が発生する

$$T_{eff} = T_x - \sigma_x \tan \phi \quad \dots (8)$$

== T_x , σ_x は $\theta = \alpha$ なる面における応力である。式(8)に式(7)の T_x を代入し、 $dT_{eff}/d\alpha = 0$ より

$$\tan 2\alpha = (\sigma_x + 2T_{xy} \tan \phi) / (2T_{xy} - \sigma_x \tan \phi) \quad \dots (9)$$

== より T_x , σ_x は式(9)を式(7)に代入する = により得られる。 $\theta = \alpha$ なる面におけるせん断破壊基準は

$$T_x = C + \sigma_x \tan \phi \quad \dots (10)$$

で表わされ、上式に T_x , σ_x を代入する = により次式が得られる。

$$T_{xy} = \frac{1}{2} \left[(2C + \sigma_x \tan \phi)^2 / (1 + \tan^2 \phi) - \sigma_x^2 \right]^{1/2} \quad \dots (11)$$

7-10の摩擦則によるせん断破壊に対する構成式は式(11)のようになり、これは式(4)で表わされる構成式と完全に一致する = を証明する = ことができる。

(b) 引張による破壊

引張による破壊は最大主応力説に基づき、最小主応力 σ_3 が材料の引張強度 σ_t に達したときと発生すると考えらる

$$\sigma_3 = \sigma_t \quad \dots (12)$$

式(7)より $d\sigma/d\theta = 0$ から

$$\tan 2\theta = -2T_{xy} / \sigma_x \quad \dots (13)$$

式(13)を式(7)に代入すれば

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} [\sigma_x + (\sigma_x^2 + 4T_{xy}^2)^{1/2}], \quad \sigma_3 = \frac{1}{2} [\sigma_x - (\sigma_x^2 + 4T_{xy}^2)^{1/2}] \quad \dots (14)$$

== σ_1 は圧縮を正しくして $\sigma_1 > 0$, $\sigma_3 < 0$ (引張) とする = により、上式より2式から

$$T_{xy}^2 = \sigma_3^2 - \sigma_3 \cdot \sigma_x = \sigma_t (\sigma_t - \sigma_x) \quad \dots (15)$$

式(15)が引張破壊に対する構成式であり、図-2において破線と示される。 = よりせん断破壊による構成式(11)と引張破壊に対する構成式

(15)の交点Aの右側部分において式(15)を、又Aより左側部分では式(11)を用いる = が必要である。

初期応力法の解析においてはA点直後において、まず曲線(a)上において収束させ、次に = みを曲線(b)上において収束させる = が必要である。

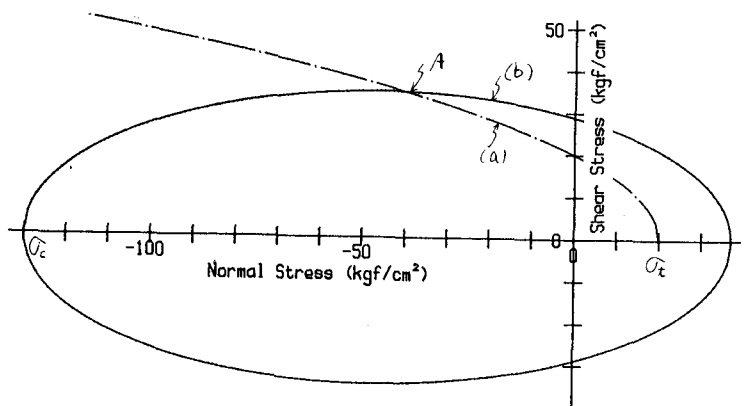


図-2. 降伏曲面