

鹿島建設 正員 谷本 治重

1. まえがき； 岩盤は応力水準によってその変形挙動が異なり、非線型な変形特性を有していることが、一般に知られている。マスとしての岩盤の変形特性の把握は、原位置試験によるのが最も良いが、多額の費用を要し手軽に実施することが困難な場合もある。岩石コアの一軸強度などにより、岩盤の変形特性が表現できれば便利ことが多い。そこで、手軽に得られる岩石コアの一軸強度と、それらの強度と原位置岩盤の強度との相関を示す係数とにより、岩盤の破壊包絡線を表現し、これを用いて岩盤の非線型変形特性を求める試みを行った。その結果、実際の変形現象をある程度把握できそうな結論を得たので、ここに報告する。

2. 岩盤の破壊規準； Mohrの破壊包絡線説に従って岩盤の破壊規準を表現する。岩石コアの一軸引張強度 S_t および一軸圧縮強度 S_c と、それらの強度と原位置岩盤の強度との相関を示す係数 α, β により、岩盤の見掛けの引張強度 σ_x および見掛けのせん断強度 τ_R を(1)式で表わす。これを用いて岩盤の破壊包絡線(2)式で決定する。 $\sigma_x = \alpha S_t, \tau_R = \beta(m-1) S_t$, ただし, $m = \sqrt{n+1}, n = |S_c/S_t| \dots\dots (1)$

$$\tau^2 = \tau_R^2 (1 - \frac{\sigma}{\sigma_x}) \dots\dots (2)$$

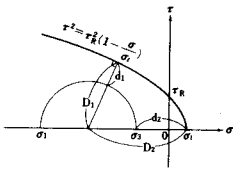


Fig. 1 Mohrの破壊包絡線

破壊規準は次式のように求められる (Fig. 1 参照)。

$$d_1 \leq d_2 \text{ のとき } d_{min} = d_1, d_1 > d_2 \text{ のとき } d_{min} = d_2 \dots\dots (3)$$

ただし, $d_1 = D_1 - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, d_2 = D_2 - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, D_1 = \tau_R \sqrt{A} \ (A \geq 0), D_2 = \sigma_x - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \ (A < 0)$
$$A = 1 - \frac{\tau_R^2}{4\sigma_x^2} - \frac{1}{\alpha^2} (\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}) \dots\dots$$

岩盤は $d_{min} \leq 0$ のとき破壊するものとする。

3. 岩盤の変形特性の表現； (3)式の破壊規準の特徴は、① d_{min} は応力の次元を有し、② $d_{min} \leq 0$ で破壊の発生を示すが、③ $d_{min} > 0$ においては応力状態がどの程度破壊に近まっているかが明らかでない。そこで、破壊接近度を示す指標 R を(4)式で定義する。このようにすれば、任意の応力状態の破壊接近度が常に $0 \leq R \leq 1$ で表現できる。

$$\left. \begin{aligned} d_1 \leq d_2 \text{ のとき } R &= \frac{d_1}{D_1} \\ d_1 > d_2 \text{ のとき } R &= \frac{d_2}{D_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

R が 0, 1 となるのは、それぞれ破壊時、最も安定な各応力状態のときである。

一方、岩盤の変形特性を求めるための媒介指標 T を(5)式で定義する (Fig. 2 参照)。

$$\left. \begin{aligned} A \geq 0 \text{ のとき } T &= \sqrt{\frac{(\tau_R^2 - \tau_p^2)}{(\tau_R^2 - \tau_p^2)}} \\ \vdots \\ A < 0 \text{ のとき } T &= \frac{(\tau_R)_0}{(\tau_R)} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

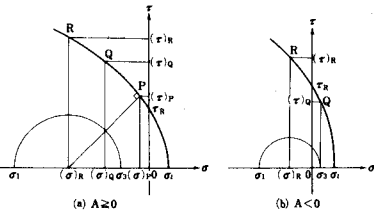


Fig. 2 媒介指標 T

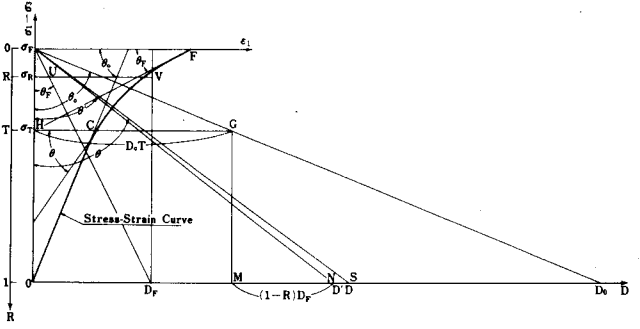


Fig. 3 変形係数 D と近似変形係数 D'

R と T との間には常に $R = T^2$ の関係が成立する。さて、岩盤の変形係数 D は図式的に(6)式で求められる。
$$D \approx D' = OM + MN = HG + UV = D_0 T + (1-R) D_F$$

$$\therefore \frac{D}{D_0} = T + (1-R) \frac{D_F}{D_0} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ポアソン比 ν は(7)式のように求められる(Fig.4参照)。(6)および(7)式の添字 0, F は、それぞれ最も安定な状態および破壊時における値を意味する。

$$\nu = \nu_0 T + (1-T) \nu_F \quad \dots\dots\dots (7)$$

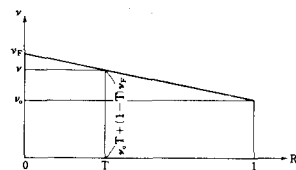


Fig. 4 ポアソン比 ν

4. D/D_0 , ν の表現式の検討; (6)式の D/D_0 および(7)式の ν と R との関係をFig.5に示す。応力状態の変化に伴って, D/D_0 および ν は連続的に変化する。Fig.6は、引張強度が同一で異なったせん断強度を有する仮定の岩盤について、二軸応力状態下での D/D_0 の変化を調べたものである。破壊に至るまでの D/D_0 のとりうる値が、同図の曲面体の内部に存在することを示している。応力状態を破壊接近度 R で表わせば、Fig.6の曲面体はFig.7に示す曲面となる。この曲面と $R \sim D/D_0$ 面に平行な平面との交線は、Fig.5の $R \sim D/D_0$ 曲線と全く一致するものである。Fig.6の性質は、定性的には実在岩盤の変形現象をよく表現しているものと考ええる。 ν についても D/D_0 と同様にその性質を追跡することができる。

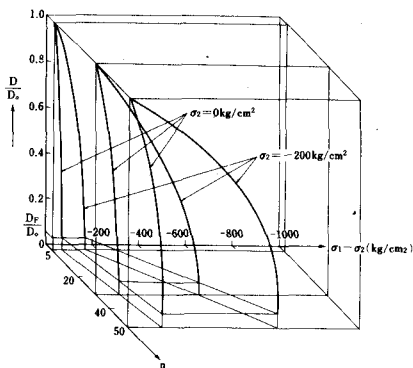


Fig. 6 D/D_0 と σ_1 , σ_2 , n の関係 ($\sigma_1 = 6 \text{ kg/cm}^2$)

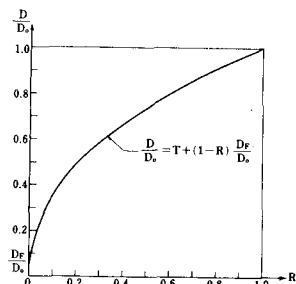
なお、Fig.5の $R \sim D/D_0$ 曲線は、林、日比野両博士の実測値に基づく表現式りと概ね一致する。 $R \sim \nu$ 曲線は、 R が小さいところで(7)式のほうが少し小さい。

5. あとがき; こに報告した岩盤の変形特性の表現法は一つの試みであって、これによる変形現象が実際の岩盤の変形現象をどの程度表現しているかは、今後さらに検討を行わなければならない。この報文は一つの考え方を示したに過ぎない。この表現法で最も注意を要するのは、相関係数 α, β の値の決め方である。 α, β は岩盤の弾性波伝播速度 V_p , V_s および密度 ρ と深い関係があるように考えられる。

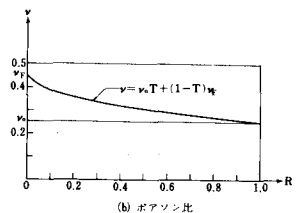
最後に、種々の指導と助言を賜った京都大学工学部 岡 助教授に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 林、日比野; 地下の開削による周辺地盤の緩みの進展に関する解析, 電力中央研究所, 1968, P. 9, P. 10
- 2) C. Fairhurst; On the Validity of the 'Brazilian' Test for Brittle Materials, Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Vol.1 (1964), PP. 535-546.
- 3) John A. Franklin; Triaxial Strength of Rock Materials, Rock Mechanics 3 (1971), PP. 86-98.



(a) 変形係数



(b) ポアソン比

Fig. 5 変形係数 D , ポアソン比 ν の表現式と破壊接近度 R の関係

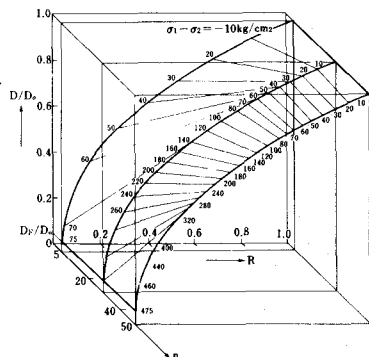


Fig. 7 D/D_0 と σ_1 , n , R の関係 ($\sigma_1 = 6 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_2 = -60 \text{ kg/cm}^2$)