

鹿島建設(株) 正会員 佐々木 猛
" 庄子 幹雄
" 杉本文男

1. まえがき

有限要素法などを用いて岩盤の力学的な挙動を解析する場合、それらの力学的な性質の評価が重要な課題となる。著者らは、これまでに、それらの変形特性とその表現法について研究¹⁾を進めてきたが、ここでは、それらをさらに一般化した方法について報告する。岩石コア、岩盤、土などの非線形な変形特性を有する材料の表現式は、双曲線関数 (Hyperbolic equation), Ramberg-Osgood の履歴曲線、林、日比野³⁾などの研究に代表される。ここでは、これらの変形特性を林、日比野らの考え方に基づき破壊包絡線の範囲で定義した。さらに、応力状態がどの程度破壊に近づいているかを示す指標 (以下、これを破壊接近度と呼ぶことにする。) と、側圧 (拘束圧, 封圧) が変形特性に及ぼす影響が大きいと思われるので、これらも考慮した指標を導入した。これらの指標を用いて、簡単な一様収束関数により、各側圧による任意の応力状態の変形係数を一般的に表現することを試みた。

2. 破壊規準および破壊接近度¹⁾

一般に岩石や岩盤は、ある一定応力以上で破壊する。破壊の形態は、それらの種類、応力状態、性質等によりきわめて多様である。これらの破壊現象を説明する理論、仮説も多数あるが、破壊のすべてを説明することは困難である。ここでは、破壊をマクロ的に捕え、モール、クーロンの破壊包絡線説に従うものとした。これらの詳細は、参考文献1)を参照されたい。ここでは、それらの結果について簡単に述べる。Fig.1およびFig.2は、岩盤断層および破碎帯の破壊規準を示す。ここで応力状態が破壊に近づく尺度として破壊接近度¹⁾ Rを定義する。これを用いれば、応力が静水圧状態 (R=1) から破壊状態 (R=0) の間を常に実数で表わすことができる。

$$R = \text{Min} \{ d_1/D_1, d_2/D_2 \} \dots\dots\dots (1)$$

3. 非線形な変形特性の表現

岩石、岩盤の変形特性を2節で述べたように静水圧状態から破壊状態の間を近似的に表現する。これらの変形特性を一般的に表現することは困難であるが、ここでは特定の応力-ひずみ曲線について次の

点に着目し、表現することを試みた。a. 側圧, b. 繰返し载荷による履歴特性, c. 弾塑性的な性質, d. クリープ係数の非線形性, e. シーム, ジョイントの存在する岩盤などにみられる変曲点のある応力-ひずみ曲線の表現。ここでは, a. について述べる。

Fig.3は特定の応力-ひずみ曲線上の点Cにおける変形係数D (接線勾配) を破壊接近度Rおよび係数nを用いて図式的に求めたものである。ただし、図中の応力-ひずみ曲線は、静水圧状態から破壊状態まで変曲点のない滑らかな曲線を仮定する。これらから、近似的な変形係数Dを(2)式のような簡単な一様収束関

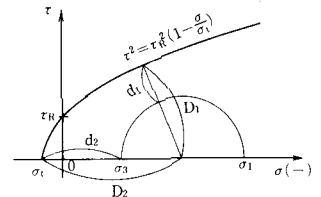


Fig.1 岩盤の破壊規準

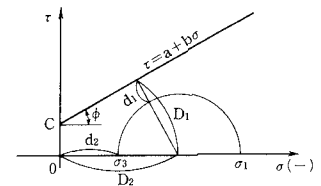


Fig.2 断層, 破碎帯の破壊規準

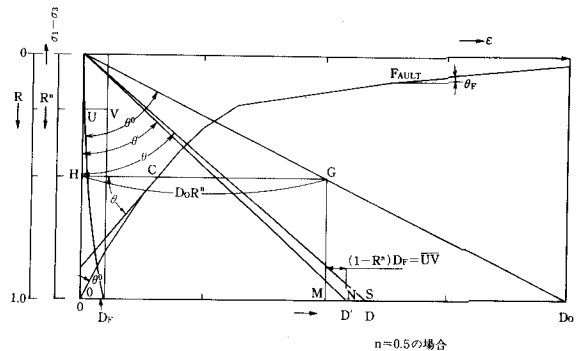


Fig.3 変形係数の図式解法

数で表わす。

$$D \doteq D' = \overline{OM} + \overline{MN} = \overline{HG} + \overline{UV}$$

$$= D_0 R^n + (1 - R^n) D_F \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 D_0 ：静水状態の変形係数、 D_F ：破壊状態の変形係数。
(2)式を用いれば、 D_0 および D_F を実験などから求め、係数 n を変化させることにより、近似的に任意の応力水準の変形係数 D を求めることができる。また、応力-ひずみ曲線がFig. 3と逆に下方に凸となっている場合は、(3)式で近似する。

$$D = (1 - R^n) D_0 + R^n D_F \quad \dots \dots \dots (3)$$

(2)、(3)式に対応するポアソン比 ν は、(4)式で近似する。

$$\nu = \nu_0 R^n + (1 - R^n) \nu_F \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 ν_0 ：静水圧状態のポアソン比、 ν_F ：破壊状態のポアソン比。
Fig. 4は、(2)式で表わされた変形係数 D/D_0 と破壊接近度 R の関係を各係数 n について示した。(2)式中の係数 $n=0$ は完全弾塑性モデルを表わし、 n が大きなものほど延性的な性質を表現する。Fig.5は、同様にポアソン比 ν と破壊接近度 R の関係を各係数 n について示した。(3)式では、係数 $n=\infty$ で完全弾塑性モデルを表わし、 n が小さなものほど延性的な性質を示す。

4. 側圧と変形特性の関係

ここでは、富部、小林²⁾の三軸圧縮試験結果を(2)式を用いて表現し、係数 n が側圧によってどのように変化するかを調べた。変形係数は最小二乗法(5次)およびスプライン関数を用いて求めた。(Fig. 6中で、LQおよびSPがそれぞれを示す。)また、破壊包絡線は比較のため、林、日比野³⁾が求めたものと同様のものを用いた。Fig. 6中の一点鎖線は林、日比野の式を用いて同様に表わしたものである。Fig.10は各側圧に対する D_0 、 D_F および係数 n の関係を示した。これから、次のことが指適できる。
a. 初期勾配 D_0 は側圧(ここでは、 $\sigma_2 = \sigma_3$)が高いほど大きい。
b. 係数 n は約0.1～1.5の範囲にあたり、側圧の低い方から高い方に向って n の値が大きくなる。また、ポアソン比も同様の傾向を示す。
c. D_F/D_0 は側圧によってあまり変化はみられない。ただし、側圧0付近で少し大きくなっている。
d. 林、日比野の式、および庄子らの中で用いられる式は、これらの平均的な特性を示し、特に後者は、 $n=0.5$ の特別な場合である。なお、これらの詳細は参考文献4)を参照されたい。

参考文献

- 1) 谷本、他；岩盤、断層、破碎帯の各変形特性の試料の強度による表現の試みとその検討、鹿島建設技術研究所年報、Vol.22(1973)pp.99～104
- 2) 堀部富男、小林良二；三軸圧縮下における夾炭層岩石の物理的性質、日本鉱業会誌、76巻、863号、1960,pp.23～28
- 3) 林正夫、日比野敏；地下の開削による周辺地盤の緩みの進展に関する解析、電力中央研究所報告、No.67095、1968.
- 4) 庄子、他；岩盤、断層および破碎帯の非線形な変形特性とその表現、鹿島建設技術研究所年報、Vol.25(1976),pp.119～124

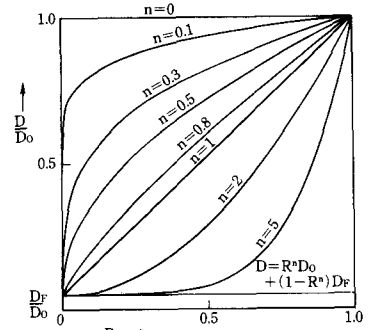


Fig. 4 各 n における $R-D/D_0$ の関係

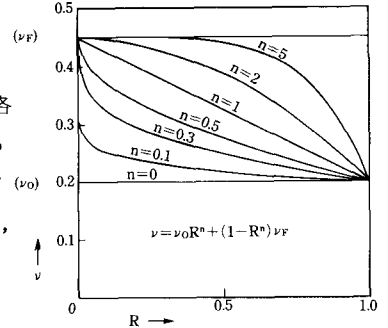


Fig. 5 各 n における $R-\nu$ の関係

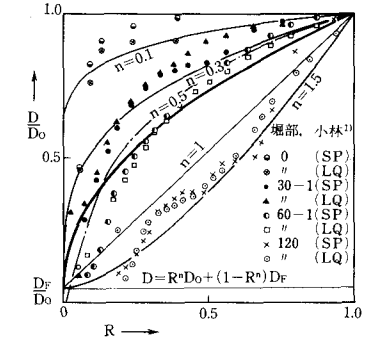


Fig. 6 各側圧における $R-D/D_0$ の関係

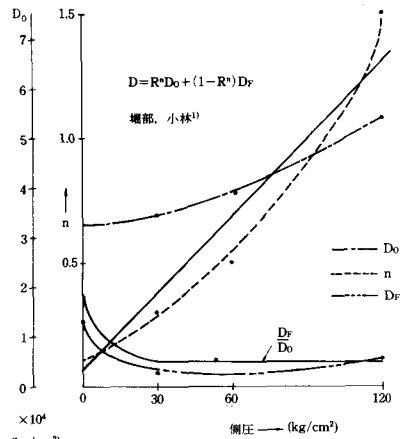


Fig. 7 側圧と D_0 、 D_F および n の関係