

鹿島建設(株)

左子 幹雄

正金夏〇佐々木 猛

1. はじめに

岩盤内には、されつ、節理、断層などの地質的不連続面が潜在的または顕在的に存在する。斜面、空洞などの掘削工事で、それらが岩盤の力学的安定性にどのような影響をおよぼすかについて予測し、適切な対策を講ずることが重要となる。著者らは、前回、岩石コア、岩盤などの非線形な変形特性を実験値にもとづき表現する方法を提案した¹⁾、ここでは、それらを Goodman²⁾らの提案するジョイント要素について適用することを試みる。さらに、これらと有限要素法に適用し、地下空洞付近に不連続面が存在する例を解析したので報告する。

2. 不連続面の変形特性とその表現

Goodman³⁾らは、不連続面の変形特性を実験から次のような指通をした。(a)引張り応力には抵抗しない。(b)垂直応力(圧縮)を増加させると Fig. 2 に示すような応力-変位関係が得られる。すなわち、不連続面に垂直な方向の変位は、応力の増加にしたがい、一定値 V_{mc} に収束して行く。この場合の最大応力は不連続面を構成する岩の圧縮強度の範囲である。これらの関係を(1)式のような指数関数で表わした。

$$\frac{\sigma - \xi}{\xi} = A \left(\frac{\Delta V}{V_{mc} - \Delta V} \right)^t \quad (\Delta V < V_{mc}) \quad \text{---(1)}$$

さらに、(1)式から変位と力の関係を導き、これらの非線形な関係を収束計算によって求める方法を示している。ここに、 σ : 垂直応力、 ξ : ジョイントの初期荷重による応力 (Seating Load), V_{mc} : 垂直方向の最大変位、 ΔV : σ での変位、 A , t : 定数。

著者らは、これらの変形特性を、文献1)で提案した一様収束関数で表わすことを試みる。Fig. 1 (a) の垂直方向では、最大変位 V_{mc} と ΔV との比 R_{JN} を(2)式で定義する。

$$R_{JN} = \Delta V / V_{mc} \quad (\Delta V \leq V_{mc}) \quad \text{---(2)}$$

その時の接線係数 K_{NJ} を係数 $\bar{n}$ を用いて(3)式で表わす。

$$K_{NJ} = K_{0J} R_{JN}^{\bar{n}} + (1 - R_{JN}^{\bar{n}}) K_{FJ} \quad \text{---(3)}$$

ここに、 $\bar{n}$: 曲線の性質を表わす係数、 K_{0J} : 最大接線係数、 K_{FJ} : 初期接線係数。

せん断方向(水平)については、(2)式と同様に Fig. 1 (b) に示す、最大せん断応力 τ_p と σ でのせん断応力 τ との比 R_{JS} を定義する。

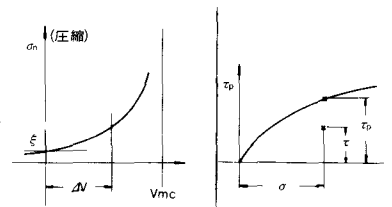
$$R_{JS} = |(\tau_p - \tau) / \tau_p| \quad (\tau \leq \tau_p) \quad \text{---(4)}$$

その時の接線係数 K_{SJ} も(3)式と同様に表わした。

$$K_{SJ} = K_{0S} R_{JS}^{\bar{n}} + (1 - R_{JS}^{\bar{n}}) K_{FS} \quad \text{---(5)}$$

ここに、 K_{0S} : 初期接線係数、 K_{FS} : τ_p での接線係数。

これらの関係を Fig. 2, 3 に示す。 R_{JN} , R_{JS} は 0~1 の実数で表わされる。 $\bar{n}$ が 0 の場合は、 K_{NJ} , K_{SJ} が最大接線係数を与える定数と



(a) 垂直応力-垂直変位 (b) 不連続面の摩擦特性

Fig. 1 不連続面の応力-変位関係

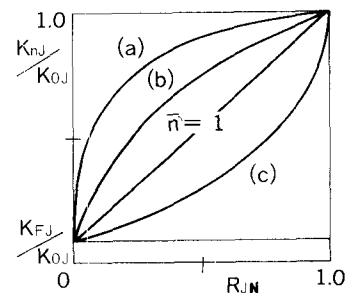
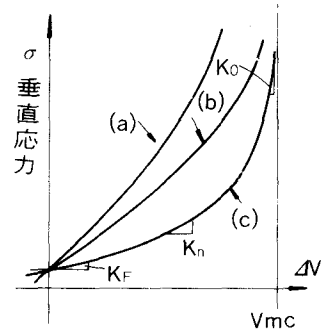


Fig. 2 $K_{NJ}/K_{0J} - R_{JN}$ の関係



垂直変位

Fig. 3 変位曲線- $\bar{n}$ の関係

なり、垂直変位については、 σ が大きくなるにしたがって Fig. 3 の (a) から (c) のような性質を示す。せん断変位についても同様の性質を示す。このようにすれば、種々な剛性の低下や増大をさけることができる。また、実験などで得られた曲線を比較的小さい変数で近似することができ、強度との関係も明白になる。

3. 計算例と結果の検討

解析は Fig. 4 に示す (a) ~ (d) について行った。すなわち、(a) 等方性、不連続面なし、(b) 等方性、不連続面あり、(c)、(d) は異方性で異方性角度をそれぞれ、 $0^\circ, 45^\circ$ とし、異方性の比率は 2 : 1 とした。Fig. 5 に有限要素モデルを示す。岩盤は 6 節点三角形および 8 節点曲面要素の組合せとし、不連続面は 6 節点のジョイント要素 (Zienkiewicz, 1970) を用いた。これらの積分点 (ガウス) はそれぞれ 7, 25 および 5 を用いた。岩盤および不連続面の非線形変形特性は、Fig. 4 中に示すものを用いた。

岩盤の強度は、モールの破壊包絡線 (6) 式を用いた。

$$\tau^2 = 50^2 (1 - \sigma/10) \quad (\text{t/m}^2) \quad \text{--- (6)}$$

また、不連続面の摩擦強度 (せん断) は (7) 式を仮定した。

$$\tau = \sigma_m \tan 15^\circ \quad \text{--- (7)}$$

計算は空洞の掘削モデルで行った。すなわち、(1) 自重によって領域全体に初期応力が発生する。この時の変形は 0 とする。(単位体積重量 γ は 2.5 t/m^3 を用いた。)(2) 掘削によって、空洞の掘削面の応力が解放され変形が生じる、の二段階とした。Fig. 6 は空洞の変形を示す。天盤の沈下量は、(b)、(d)、(c)、(a) の順に大きくなっている。これは (b) が下方へ一様に変形しやすいからだと思う。また、これらの変形形状は (a) に比較し、いずれも異なり異方性および異方性角度の影響も大きい。不連続面のズレ量は特にせん断剛性と周辺の境界条件が支配的である。Fig. 7 は空洞周辺の塑性領域を示す。これらは空洞天盤の不連続面に集中している。領域の大きさは、(d)、(c)、(b)、(a) の順となっている。これは、異方性の弱線方向に塑性領域が進展しやすいことを示している。特に (d) については、空洞下盤の隅角部にも塑性領域が発生している。また、これらは不連続面と境に異なった分布を示している。

したがって、このような場所での施工法の選定、補強などについては、これらの状態を良く把握し十分注意して決定する必要がある。

参考文献

- 1) 庄子, 1/24 木, 杉本: 岩の非線形変形特性とその一表現, 土木学会, 第 32 回年次学術講演会講演要録集, 3-192 (1977), pp. 350~351
- 2) R.E. Goodman and R.L. Taylor: A model for the mechanics of jointed rock, Jour. Soil Mech. & Found. Div, Proc. ASCE, Vol. 94 No. SM3, 1968, pp. 637~659
- 3) R.E. Goodman: Methods of Geological Engineering in Discontinuous rocks, West Publishing, 1976

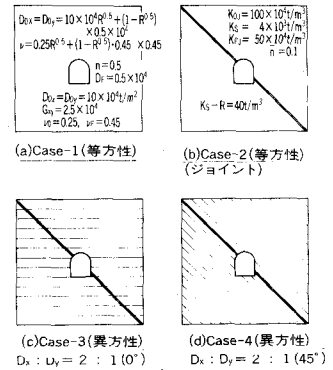


Fig. 4 解析条件

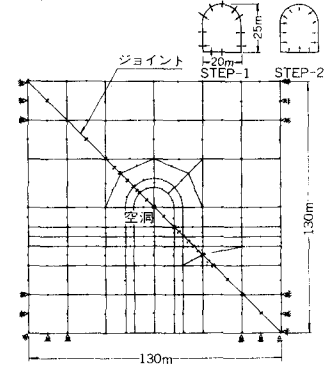


Fig. 5 有限要素モデル

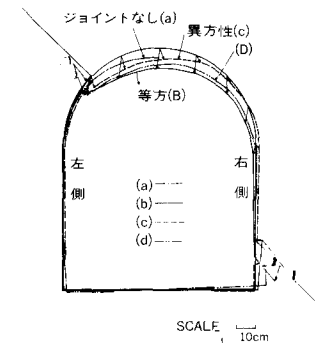


Fig. 6 空洞の変形

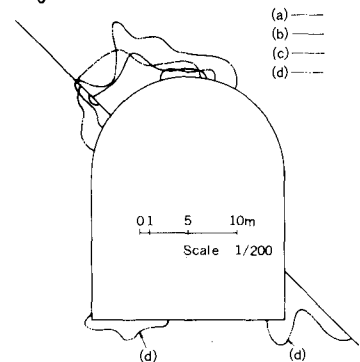


Fig. 7 空洞周辺の塑性領域