

(株) 間組 技術研究所 正会員 ○山下 亮
京都大学 工学部 正会員 斎藤 敏明

1. はじめに

不連続性岩盤の解析については、Goodman のジョイント要素、Cundall の DEM、川井の RBSM 等の数学モデル、底面摩擦模型等の物理モデルによって多くの研究が行われている。これらにより連続体としてとらえることが適当でないような岩盤の不連続体としての挙動がしだいに明らかになりつつあると思われる。筆者らは、RBSM の手法をベースにし、Cundall の考え方を取り入れた方法を用いて、ジョイントの卓越方向が空洞周辺に生じるゆきみ域にどのような影響を与えるかについて調べることを主たる目的としてパラメトリック・スタディを行った。

2. 解析方法

筆者らの用いたモデルは、図-1 に示すように任意形状の剛体ブロックと Goodman のジョイント要素から成るもので、DEM と同様、岩盤の変形は不連続面の変形挙動に支配されると考える。系の剛性行列は RBSM と同様の手法で計算される。ジョイント要素の構成関係としては、図-2 に示すものを用いた。ジョイントのピークせん断強度 τ_p 、残留強度 τ_r は次式で計算した。

$$\tau_p = C - \mu_r \cdot \sigma_n, \quad \tau_r = -\mu_r \cdot \sigma_n$$

ここに、 C は粘着力、 μ_p と μ_r はきまつ係数である。

またジョイント内の応力の評価は、非線形解析においてジョイントの回転を考慮するために、図-1 に示すように $\xi = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$ の 2 点で行った。

3. 解析モデル

実際の岩盤においては、不連続面の方向・分布は複雑であるが、卓越する方向がある程度はまっている場合も少なくない。筆者らは、ある方向に不連続面が卓越し、それに交差して牛馬に不連続面が入っている場合について、図-3 のようなジョイントパターンに理想化し、図-4 に示すような解析モデルについて、ジョイントの卓越方向 α をパラメータとしてパラメトリック・スタディを行った。 α は $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ に変化した。解析に用いた材料定数を次に示す。

$$K_s = 1.0 \times 10^7 \text{ kgf/m}^3 \quad K_n = -1.0 \times 10^7 \text{ kgf/m}^3 \quad C = 5.0 \times 10^2 \text{ kgf/m}^2$$

$$\mu_p = 0.7 \quad \mu_r = 0.6$$

$$K_n = 2.0 \times 10^7 \text{ kgf/m}^3 \quad K'_n = 5.0 \times 10^7 \text{ kgf/m}^3 \quad U_c = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\gamma = 2.6 \text{ gf/cm}^3 \text{ (単位体積重量)}$$

$$\sigma_v = -8.32 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2 \quad \sigma_n = 0.6 \sigma_v$$

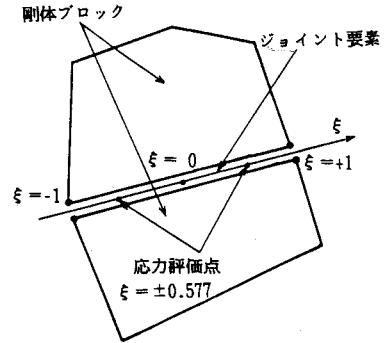


図-1 剛体ブロックとジョイント要素

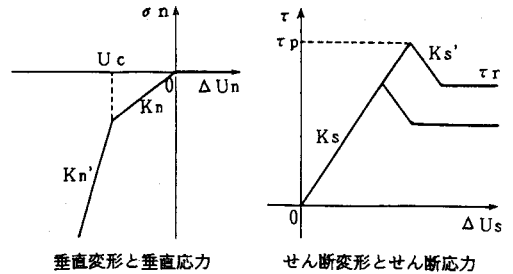


図-2 ジョイントの構成関係

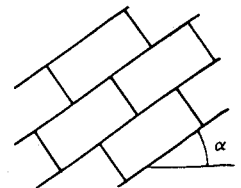


図-3 ジョイントのパターン

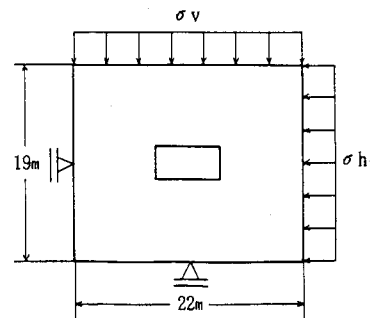


図-4 解析モデル

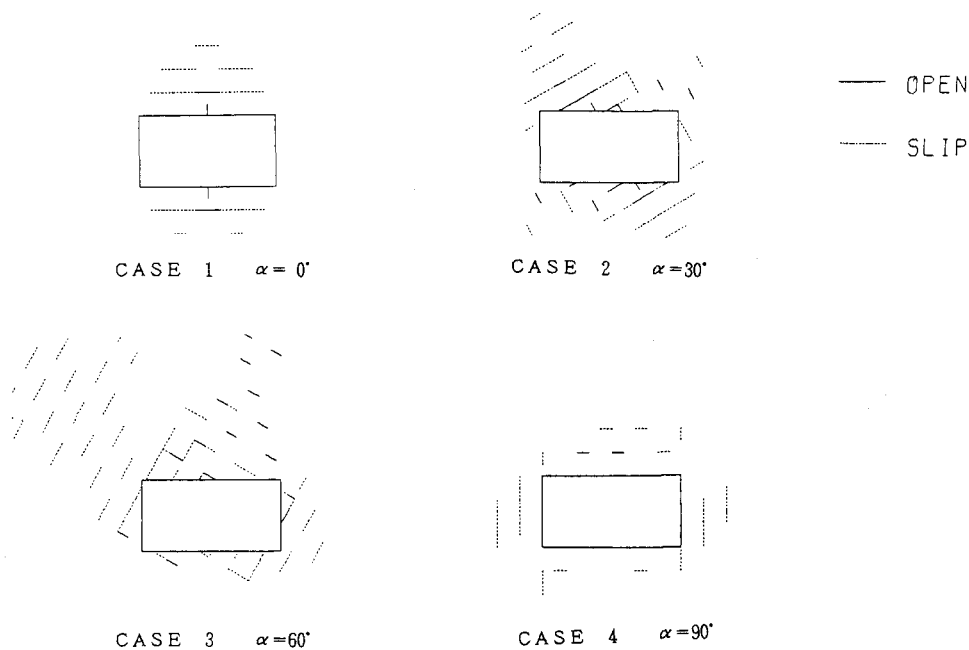


図-5 解析結果

4. 解析結果および考察

図-5に解析結果を示す。図中の実線はジョイントの開口、破線はせん断応力がピークせん断強度を越えていることを示しており、ここではこの領域をゆるみ域と呼びこにす。これらの図からジョイントの方向によりゆるみ域の拡がりおよび方向が大きく異なっていることがあかる。すなわち、 $\alpha = 0^\circ$ では、空洞の上下方向にのみゆるみ域が見られるが、 $\alpha = 30^\circ$ の場合では、左上方に大きくゆるみ域が拡がり、さらに右上方のジョイントにもゆるみ域で見られるものが見られる。また、 $\alpha = 60^\circ$ になると空洞の右上方、左上方ともにゆるみ域が大きく拡がっている。また、 $\alpha = 90^\circ$ では、上下左右にゆるみ域が見られるが、その拡がりは比較的残いものとなっている。

また、開口、すべりといったジョイントのモードの違いに注目すると、 $\alpha = 60^\circ$ 以外の場合では、空洞近くに開口したジョイントが存在し、それを取り巻くようにすべりの生じているジョイントが見られる。これに対して、 $\alpha = 60^\circ$ の場合では、空洞左上方では開口したジョイントは見られないが、右上方のゆるみ域では、奥深くまで開口したジョイントが分布していることがわかる。

5. まとめ

本研究によりジョイントの卓越方向が、地下空洞周辺のゆるみ域の拡がり・方向に大きな影響を与えることがわかった。このような手法を実際の現場に適用することを考えると、不連続面の調査結果に基づいていかに解析モデルを作成するか今後の課題となると思われる。

参考文献

- 1) T. ASAI et al : A numerical modeling technique for analyzing the behavior of discontinuous rock masses, Symp. of ISRM, Tokyo, Japan, 1981.
- 2) 川井忠彦：物理モデルによる連続体力学諸問題の解析、生研セミナーテキスト(コース39)、1978年10月、生産技術研究奨励会。