

III-210 不連続性岩盤内空洞の安定性評価に関する解析的研究

埼玉大学 工学部

正 吉中 龍之進

学 腰塚 憲一

中川原 聡

サンコーコンサルタント(株) 正 道家 太郎

1. はじめに： 亀裂が発達した岩盤内の空洞の解析には、岩盤を異方性を有する連続体と仮定する方法や亀裂を直接モデル化する方法がある。亀裂が非常に多い場合は前者が、また、数は比較的少なく、個々の亀裂面の特性が強く表れる場合には後者の手法が有効になる。本研究では、後者の解析手法に属する2次元のRBSM弾性解析を用いて、規則的に発達した節理をモデル化し、空洞の安定性に影響を及ぼすと考えられる条件；初期応力比、節理面のバネ定数、空洞形状、節理の角度とその間隔等を変化させて比較を行った。

2. 解析方法及びモデル化： 亀裂を有する比較的硬い岩では、岩自身の挙動に比べて、亀裂の挙動が卓越する。このような岩を対照に、図1に示すようなメッシュ分割を行い、規則的に発達した節理性岩盤をモデル化した。3次元の見方をすれば、空洞軸と2系列の節理の交線方向が一致する危険な場合に相当する。

パラメータとしては、初期応力比、節理面のバネ定数、空洞形状（Stage1:10x10m, Stage2:10x20m, 隅角部の形状）、節理の角度とその間隔をとり、これらの条件を単純化してモデル化した。バネ定数については応力依存性や強い寸法効果を示すことが知られているが、今回は、一定値と見なし、2通りの場合を比較するにとどめる。また、天盤の土かぶりは50m、単位体積重量 γ は $2.6 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3$ を想定した。

3. 解析結果： 図2に解析結果の例（安全率分布、引張り力の発生の有無）を挙げる。図中の安全率 F_s は $F_s = \sigma_n \cdot \tan \phi / \tau_{ns}$ で定義する。ここで、 σ_n , τ_{ns} は境界面上の垂直、せん断応力で、 ϕ は節理面上の摩擦角である。

解析で次の様な傾向がみられた。

初期応力比 $p : Kp$ （CaseAとB, FとG, HとIを比較）；天盤床盤の引張り力は $K=1.0$ では発生せず、 $K=0.5$ で発生し（Gを除く）、これに伴って天盤床盤から斜め上下方向に各々 F_s の低い部分が広がる。

バネ定数の比 k_s / k_n （CaseBとC）； $K=0.5$ のとき発生していた、天盤床盤の引張り力と斜め方向の F_s が低い部分の広がりには k_s / k_n が大きくなると緩和される傾向がある。

空洞形状（CaseA～DのStage1と2）；Stage2ではStage1で天盤に生じている引張り力は減少し、逆に側壁側でせん断に対する安全率は小さくなる。連続体と同様に空洞高さ：幅を初期応力比にとることは、この場合には有効であると言える。 θ によっては別に考慮しなければならない。

隅角部（CaseCとD）；隅角部を残して掘削した場合、Stage1では天盤の引張り力は減少し、側壁の安全率も高くなるが、天盤斜め上方の F_s が低い部分と床盤付近については改善は見られない。Stage2では全般に安全になる。また、 F_s の値は鋭い隅角部と接する所で最小値を取り、引張り力は天盤床盤の中央で最大となることが多い。天盤床盤に引張り力が発生しているとき、 F_s 最小値は空洞から離れたところ（引張り域の外側）にある。

節理の交角（CaseFとH, GとI）；図2からも明らかな様に、空洞周辺の安全率分布は θ によって強い影響を受け、 $\theta = 60^\circ$ で側壁、 $\theta = 120^\circ$ で天盤床盤が危険側になる。この傾向は10x20m空洞（図2には示されていない）でもかわらない。

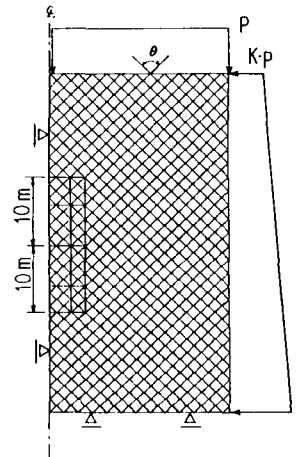
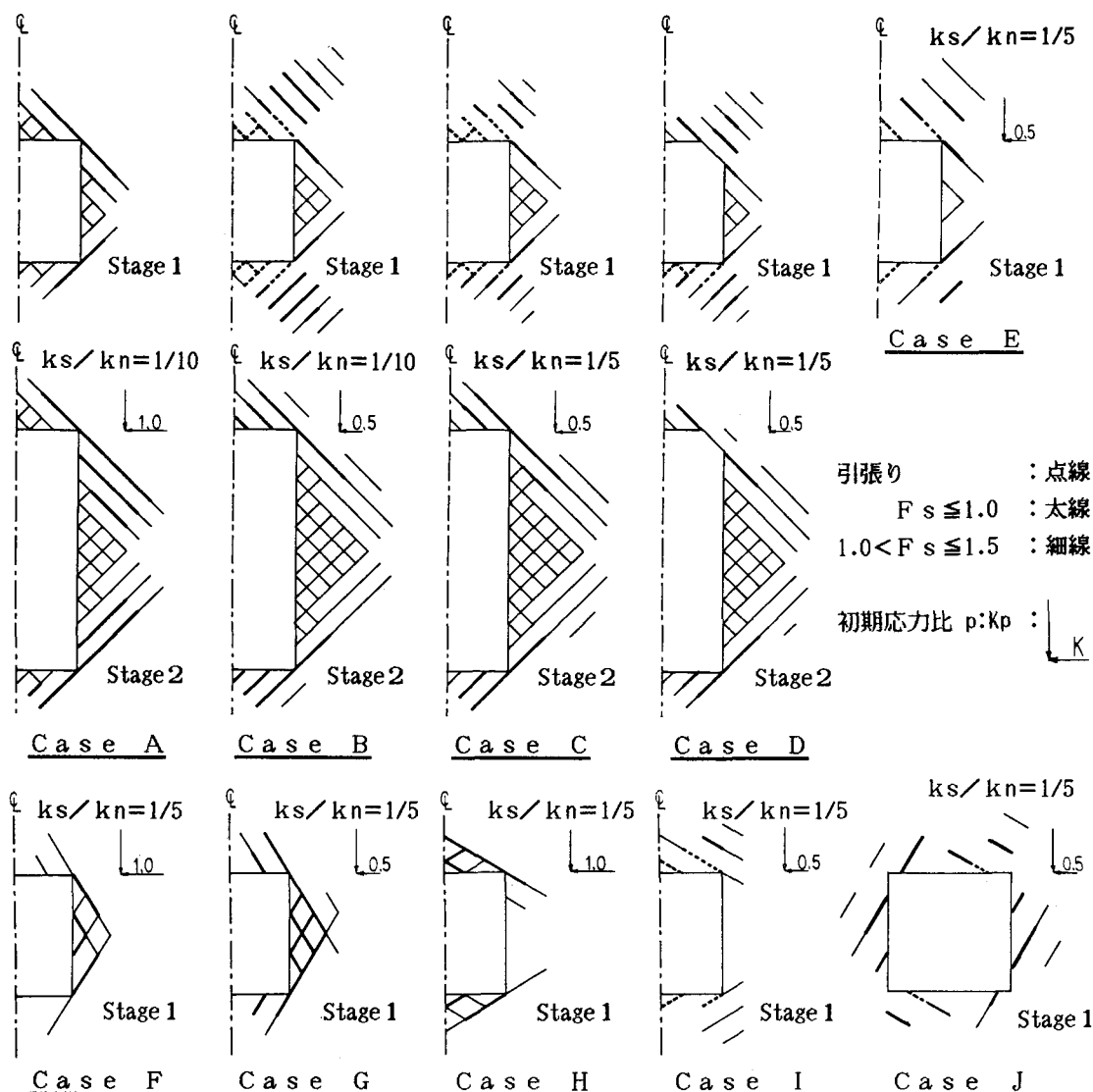


図1. 解析モデル

図2. 安全率と引張り力の分布 ($\phi=50^\circ$)

節理系の回転；Case Eの節理系を 30° 回転させたものがCase Jである。天盤床盤での引張り力が減少し、相対的に傾斜が急な節理系で F_s が小さくなる。

節理間隔 (Case CとE)；変形量は当然Eが小さくなるが、 F_s 分布の領域、傾向等は、ほぼ同じである。弾塑性解析を数例行った。最終的な破壊パターンまでは追っていないが、その結果、天盤隅角部のブロックが初期段階で不安定になり、天盤の他の部分に及んで行くことが確認された。

4. まとめ： 以上述べた手法から、節理性岩盤内空洞の周辺に広がる不安定域の位置や広さなどを定性的に把握することができた。このような領域を数値解析で明らかにすることによって、効果的な補強対策が可能であると考えられる。ロックボルトによる補強効果の導入について現在考慮中である。

参考文献

川井 編；生研セミナーテキスト'離散化極限解析法に関する最近の話題'S.61；生産技術研究奨励会