

大成建設(株)

正会員 〇里 優

正会員 眞村 勝美

1. はじめに

岩盤の大きな特徴の一つに、層理、節理等の不連続面を含むことが挙げられる。特に堆積岩では、堆積層が、潜在的な弱面になっていると考えられ、この面に沿う滑動や剝離が、構造物の安定に大きな影響を及ぼす場合がある。筆者らは、このような岩盤を、一方向に弱面を持つ弾塑性体とみなし、その数値解析を提案しているが⁽²⁾本報告では、特殊な結合要素を用いて表現した層状岩盤の変形挙動とこれを比較検討し、数値シミュレーションの立場から、層状岩盤の評価法について考察を加えた。

2. 結合要素、及び 弱面を含む弾塑性体

ここで用いる結合要素は、4個の節点から成り、幅の概念はない。節点 $i-l$ 、 $j-l$ 間には、辺 $i-j$ に対して平行な方向の変形に抵抗するせん断ばね(k_s)、及び垂直方向に対しての垂直ばね(k_n)により結ばれる(図-1)。各ばねに生ずる応力($\tau_i, \tau_j, \sigma_i, \sigma_j$)は、(1)式に示すごとく、節点間の相対変形より求められる。

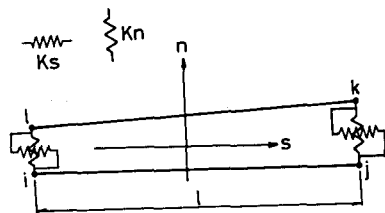


図-1 結合要素の概念

$$\tau_i = k_s \varepsilon_{s,i}, \quad \varepsilon_{s,i} = u_{s,i} - u_{s,i-l} \quad (1)$$

これは、 $i-l$ 間の長さ l の半分に生ずる応力を代表するものと考え、従って節点力は次式で与えられる。

$$F_{n,i} = -F_{n,l} = (l/2) \times \tau_i \quad (2)$$

また本要素の応力、ひずみは、対応する2つのばねに生じた応力、ひずみの平均値とする。

$$\tau = (\tau_i + \tau_j)/2, \quad \varepsilon_s = (\varepsilon_{s,i} + \varepsilon_{s,j})/2 \quad (3)$$

このようにして作られた要素剛性マトリックスは、(4)式のようになる。これは、Goodmanらが提案しているジョイント要素⁽¹⁾の剛性マトリックスから、 $i-l$ 、 $j-l$ 間のせん断変形に対応する項を省いたものに相当し、本要素は、ジョイント要素の一種とみなすことができる。この種の結合要素では、実験によりばね剛性 k_s, k_n を定めることが難しく、また、滑動や剝離が生じた後の構造系の安定性に着目した場合では、ばね剛性自体が、構造系全体の变形に特に大きな影響を及ぼす因子とは考えにくい。そこで、本要素では、要素が閉じている場合に非常に大きな剛性を持つものとし、開口や剝離が生じた場合に、対応する剛性を0に近い値に置き換え、図-2に示すような特性を持たせる。なお、要素の滑動条件は次式で与えられることとする。

$$\tau + \mu \sigma = C \quad (5)$$

τ, σ : 結合要素の平均応力

μ, C : それぞれ、摩擦係数、粘着力

弱面を含む弾塑性要素は、強度が均一ではなく、ある一つの方に弱面を持つ平面要素で、弱面における破壊条件は、(5)式と同様である。詳細は、文献(2)を参照されたい。

$$K = \frac{1}{2} l \begin{bmatrix} n_i & s_i & n_j & s_j & n_l & s_l & n_l & s_l \\ k_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_s & 0 \\ 0 & k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_n \\ 0 & 0 & k_s & 0 & -k_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_n & 0 & -k_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_s & 0 & k_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_n & 0 & k_n & 0 & 0 \\ -k_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_s & 0 \\ 0 & -k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

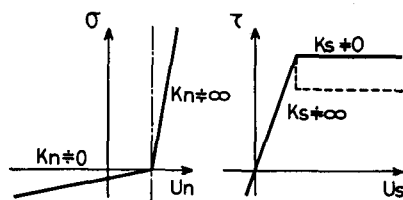


図-2 結合要素の剛性

3. 解析例

層状岩盤の変形挙動をシミュレートするため、円孔モデルを用い、次のような条件下で、有限要素解析を試みた。

解析条件) 弱面の角度はx軸に対し 0° 、結合要素は $1/10D$ (D :直径)間隔で入れる。平面要素は、定ひずみ弾塑性要素で、弱面以外では破壊が生じないものと仮定する。解析領域は、 $1.5D$ とする。

物性値) $E=10000 \text{ kgf/cm}^2$, $\nu=0.3$, $\sigma_H=\sigma_V=100 \text{ kgf/cm}^2$
 $\mu=0.5$, $C=5 \text{ kgf/cm}^2$, $D=10 \text{ m}$

また、非線形解析は、ニュートン法により行なった。

図-3、4は、結合要素を用いた場合の解析結果である。円孔斜め上方に明瞭なすべりが発生しており、円孔の変形は、上方が幾分せり出し、た形となっている。また応力状態は、すべりが生じた要素に狭まれた領域で一軸状態に近くなり、すべりによって弱面方向の応力が解放されていることがわかる。一方、弱面を含む弾塑性要素(図-5、6)を用いた場合では、弱面での破壊に伴って要素全体の変形が進行するため、解放されるエネルギーが大きくなっている。従って変形量は、結合要素を用いた場合に比べ大きい。本モデルでは、節点数が少なく、変形がごこちない所になっているものの、破壊領域付近で孔壁が膨み出し、弱面の存在による変形の特徴がよく表われている。破壊領域(図-7)は、いずれの場合も円孔斜め上方に集中し、さう一致をみせている。

4. まとめ

層状岩盤の挙動を表現するにあたって二つのモデルを比較したが、両者に顕著な差は見られなかった。実際の岩盤では、トンネル等の大きさに比して、弱面の密度がかなり高いと考えられ、変形挙動は、弱面を考慮した要素を用いた場合のそれと近いことが推測できる。また、数値解析の面でも、結合要素を用いることにより構造系全体の自由度が大幅に増加することから、層状岩盤の解析には、弱面を含む弾塑性要素を用いる方が有利であろう。今後は、複数方向の弱面が存在する場合の評価等について、検討を進めたい。

参考文献

- (1) R.E.Goodman:
不連続性岩盤の地質工学 1978
- (2) 里, 他: ひずみ軟化, タイラタンシー, 弱面の存在を考慮した弾塑性解析, 第14回岩盤力学に関するシンポジウム 1982

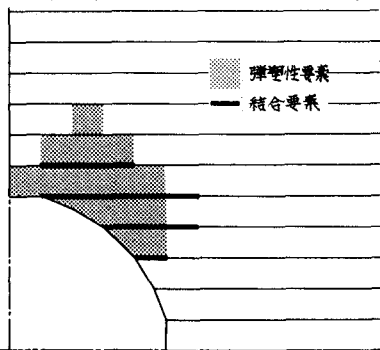


図-7 破壊領域

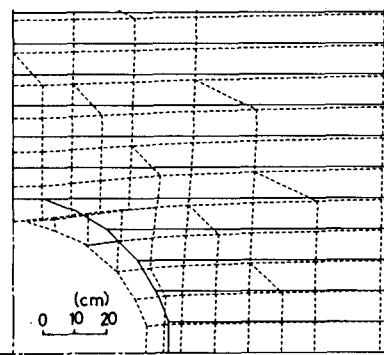


図-3 変位分布(結合要素)

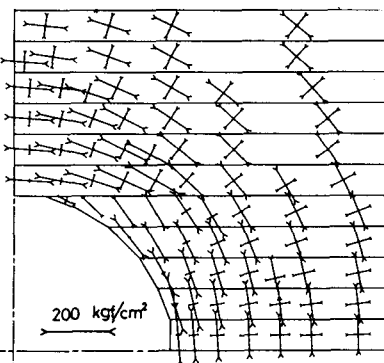


図-4 応力分布(結合要素)

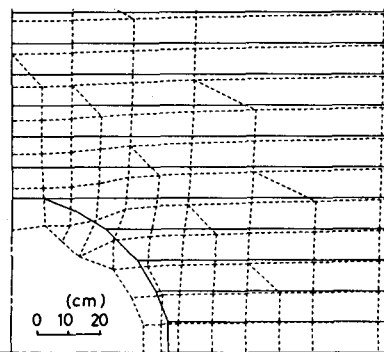


図-5 変位分布(弾塑性要素)

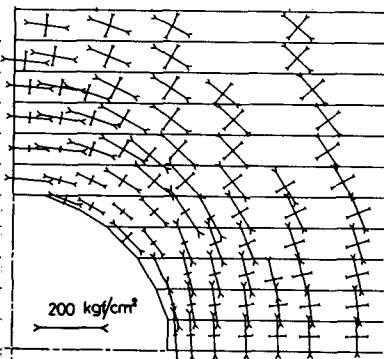


図-6 応力分布(弾塑性要素)