

(株) 熊谷組技術研究所 正会員 大塚 本夫
 同 同 上野 正高
 同 同 の畔高 伸一

1. はじめに

有限要素法で弾塑性解析を行う場合に塑性ひずみの取扱いは非常に重要である。通常用いられているものの一つにDrucker-Pragerの方法がある。この方法は応力関数を応力で微分した値に塑性ひずみが比例すると考えている。これ等の理論的根拠と現実とは別問題として考えられている。応力とひずみの関係が非線形であるとして現実にてできるだけ近似させる試みの手法もいくつか考えられている。ここで発表する論文はこれ等の問題に対して、塑性ひずみの生ずる原因の最大要因は地山の材料劣化であることに着眼し、有限要素法で非線形問題を扱う場合のくり返し計算の短縮化、塑性ひずみの合理的算出、計算結果の適応性等について考慮した新しい方法について述べるものである。

2. 地山の材質と非線形に関連性

現実的地山の挙動を考察すると、Fig-1に示すモデルが一番良く現実に一致するように思われる。つまり初期ひずみは、 $\sigma/(E_0+E_x)$ で最終ひずみは、 σ/E_x である。これ等を考慮したひずみは次式で示される。

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma}{E_x} \left\{ 1 - \frac{E_0}{E_0 + E_x} e^{-t/t_0} \right\} \quad (1)$$

具体的説明としては初期の地山の状態では $E_0 + E_x$ なる材質が時間が経過するにしたがって強度劣化の結果最終的に E_x になることを示している。ここでの研究はこれ等の挙動に一致するように (2) 式を考えた。

$$E_x = E_0 \cdot e^{-\alpha(1 - \frac{\sigma_e - \sigma_p}{\sigma_e})} \quad (2)$$

但し、 E_x : 地山の応力変化に連動した弾性係数 E_0 : 初期地山の弾性係数 e : 自然対数
 σ_e : 弾性応力, σ_p : 塑性応力 α : 地山の応力、材質により定まる常数

σ_p は塑性条件によって定まる塑性応力である。(2) 式の意味は地山が塑性化すると地山内の応力も伝達して低下する。それともなると地山内の応力が低下した分だけ地山の材質も低下することになる。この場合、フックの法則も当然連動して変化する必要があるが、今回の場合は、これ等については便宜上従来通りのものとした。

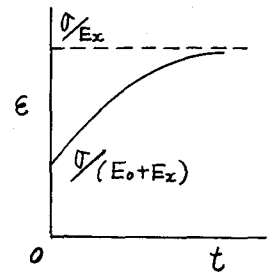


Fig-1. 現実的地山の挙動のモデル化。

3. 数値計算

Fig-2は、弾性係数 $E = 1000 \text{ kg/cm}^2$ のときの新方式と旧方式そのものについて数値計算を行った結果である。破壊方程式の相違が応力間に多少のずれを生ずるが実用的には問題のない程度であると思われる。Fig-3は、新方式による破壊の進行状況を示すものである。Table-1に示すものは弾性係数を二種変化させ、4回くり返し計算を行った場合の弾性係数の低下状況と主要部分の変形状態を示すものである。

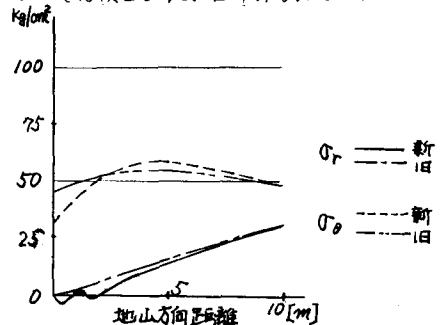


Fig-2. 新・旧方式の数値計算結果

Table-2は新方式と旧方式の計算時間の比較及びくり返し計算ごとの変形が示してある。

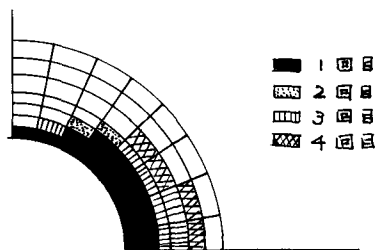


Fig. 3. 新方式の破壊の進行状況

回数	弾性係数 (kg/cm ²)	天端変位 (cm)	側壁変位 (cm)	掘削工率 (m ³ /日)
1	1000	29.33	18.03	1000
	3000	9.77	6.00	3000
2	1000	33.26	30.39	135.7
	3000	11.08	10.12	407.3
3	1000	34.79	66.72	30.1
	3000	11.59	22.23	90.5
4	1000	35.54	125.53	12.1
	3000	11.84	41.80	36.3

Table-1. 弾性係数の低下状況と主要部分の変形状態.

4. 結論

1). 有限要素法における非線形問題に対して新しい試みで数値計算を行った。方法としては地山がオーバーストレス状態に達すると地山内の材質が強度劣化することに着眼し実際の挙動にできるだけ一致するような工夫をこらした。

2). 計算結果としては、現実の挙動に近く且つ、ロックボルトその他の計測結果に十分適用される可能性がある。

3). 従来法に比較して計算時間が短縮できる可能性があり、有限要素法の弱点である非線形の大変形問題に対して適応性がかなりすぐれている。

4). トンネル周辺の地山の破壊後の挙動として従来法では応力と変形をいかに小さくするという問題に対して、新しい方法では地山の強度劣化をいかに最小限にして実用的トンネル施工をするかという問題に考えを新たにすることができ、より現実的有限要素法の取扱いができそうである。

5). 計測結果のフィードバックが材質の強度劣化に注目しているので適応性が十分であると考えている。

回数	新方式		旧方式	
	天端 (cm)	側壁 (cm)	天端 (cm)	側壁 (cm)
2	51.3	38.8		
3	59.6	90.5	55.1	85.4
4	65.0	185.5		
5	70.7	642.0		
時間	2.93分		8.20分	

Table-2. 新・旧方式の計算時間の比較と各段階の変形状態.

参考文献 大塚・上野：粘弾性地山の挙動について（第27回年次学術講演会）
J.C. ジェーガ：弾性・破壊・流動論（共立全書 P110～P111）