

III-235 トンネル天端の破壊面の決定について

東急建設(株) 正会員 〇壺内 達也
同 上 同 上 後藤 有志

1. まえがき

有限要素法の発達により、地盤構造物内の応力分布を精度良く求めることが可能となった。しかし、有限要素法を用いた場合、局所的な安全率を求めることはできても、構造物全体の安全率を求めることや、すべり線の発生箇所やその形状を予測することはできない。

構造物内の応力を有限要素法により解析し、その応力を用いて全体安全率が最小となるすべり面を探索できれば、そのときの安全率を構造物全体の安全率として評価できる。山上ら¹⁾は、このような考えに基づき動的計画法を用いて構造物に潜在するすべり面を探索する手法を提案している。

トンネルの破壊を論じるものの一つにグランドアーチ理論と総称される理論がある²⁾。これは、トンネルの天端上部にグランドアーチが形成され、この面に沿って破壊が生じるというものである。

ここでは、山上らの方法をトンネル構造物に適用し、トンネルの天端上部に潜在する破壊面(グランドアーチ)の探索を試みる。

2. 潜在すべり面の決定方法

有限要素法により解析した応力場を、図1に示すように適当な数のstageに分割し、各stageにやはり適当な数のstateを設ける。

第1番目のstage上の任意のstateからスタートし、最終stage上の任意のstateに至る曲線のうち最小安全率を有するものを探索する。この曲線の探索にあたり、動的計画法を用いるが、くわしくは文献[1]を参照されたい。

ここでは、曲線に沿った安全率を次式で定義する。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} R_i}{\sum_{i=1}^{n-1} T_i} \quad (1)$$

ここで、 R_i および T_i は、 i stageと $i+1$ stageを結ぶ直線のせん断抵抗力およびせん断力である(図2参照)。

ここで、各stage間の応力分布を直線分布と仮定し、モール・クーロンの破壊基準を用いることにより、 R_i および T_i を次式で与える。

$$R_i = \left\{ C - \frac{\sigma_i + \sigma_{i+1}}{2} \cdot \tan \phi \right\} \cdot L_i \quad (2)$$

$$T_i = \left| \frac{\tau_i + \tau_{i+1}}{2} \right| \cdot L_i \quad (3)$$

ここで、 σ_i 、 τ_i は i stage上の点の垂直応力および、せん断応力であり、有限要素法により求める。 L は考えている直線の長さである(図3参照)。 C 、 ϕ は地盤の粘着力および、内部摩擦角である。

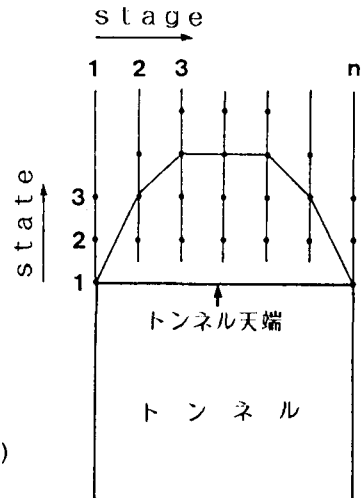


図1 動的計画法によるすべり面の探索

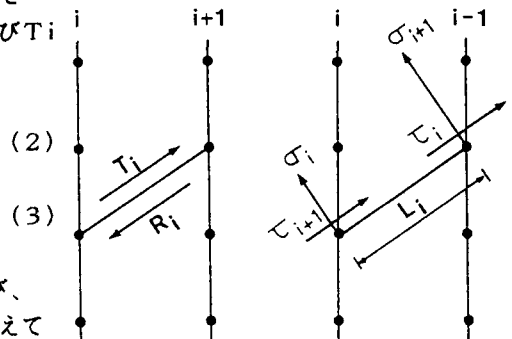


図2 安全率の定義

図3 応力分布の仮定

表1 解析に用いた物性値

単位体積重量	2.0 tf/m ³	粘着力	11tf/m ²
ポアソン比	0.3	内部摩擦角	37°

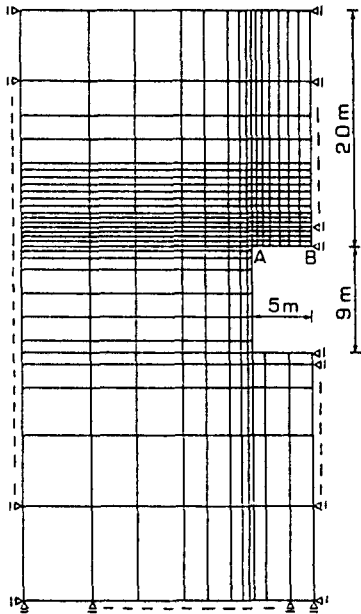


図4 有限要素法解析のメッシュ図

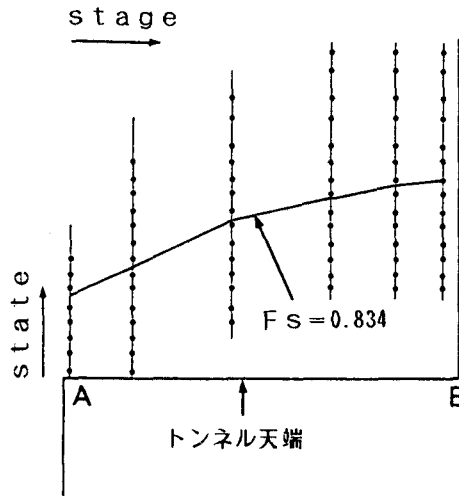


図5 潜在すべり面の探索結果

3. 適用例

矩形断面のトンネルに自重を作用させ、トンネル周辺の応力を有限要素法による弾性解析により求めた。図4に解析に用いたメッシュ図を示し、表1に材料定数を示す。有限要素法には、8節点アイソパラメトリック要素を用い、応力計算位置を2次のガウス積分点(ガウスポイント)に設けた。これらの点を適当に結びstageとして利用し、各stageにおいてガウスポイントを代表的なstateとし、隣接するガウスポイントを4等分する位置に新たな点を追加し、その間の応力分布を直線分布と仮定し、stateを構成した。

このようにして設けたstageおよび、stateを用いてトンネル天端上部に潜在するすべり面を探索した結果が図5である。破壊面は、グランドアーチが形成されて入ることがわかる。

4. おわりに

有限要素法により得られたトンネル周辺の応力場に潜在するすべり面を動的計画法に基づき探索した。この方法をもちいれば、任意形状、任意応力状態でのトンネル構造物全体の安全率を求めることができ、トンネルの設計をより適切に行うことができる。

今後は、底面摩擦模型実験³⁾等を行い、本手法の妥当性を評価し改良を進めて行くつもりである。

<参考文献>

- 1) 山上拓男, 上田康宏: 動的計画法に基づく潜在すべり面の決定(第1報), 第19回土質工学発表会, pp. 901-902, 昭和59年
- 2) E. イグザクソン: トンネル技術者のための岩盤力学入門, 鹿島出版会
- 3) 後藤有志, 壺内達也, 西岡哲: 土被りの薄い双設トンネルの模型実験, 第18回岩盤力学に関するシンポジウム, pp. 91-95, 1986