

トンネル切羽前方の不安定土塊の3次元抽出解析

鳥取大学大学院 学生会員 ○大城 孝誠
鳥取大学大学院 フェロー 西村 強

1. はじめに

山岳工法, シールド工法における切羽前方の地山は, 掘削時に空洞となりトンネル切羽付近の安定性が問題となっている. トンネル切羽の安定性評価において, 模型実験による強度パラメータを用いた簡易的な評価方法が提案されているが, 切羽の安定性を力学的に簡易に評価する方法は確立されていない. 切羽の必要な圧力を評価するにあたり, 図-1 に表すトンネル掘削軸方向に直交する x 軸方向に対して切羽の破壊形状が変化することが示されたことから, 3 次元的な評価が必要であると考えた. そこで, 切羽前方にランキンの土圧理論に従うすべり面を仮定し, すべり面に作用する力に抵抗する力を切羽自立に必要な圧力とみなし算出した.

2. トンネル切羽前方の不安定土塊の表現方法

トンネル切羽前方の崩壊が想定される土塊を不安定土塊とし, 3 次元形状を表現する. 図-1 に示すように, 3 次元モデルはトンネル天端部を原点として進行方向を y 軸とおく右手系を定義した. 掘削断面は円形に簡略化し, トンネル切羽前方のすべり線はランキンの土圧理論に従う主動状態を仮定した. 地山はモールクーロンの破壊規準に従う材料とする. 図-2 に示すような傾き α の直線すべりを仮定した. すべり線は切羽の下半円から成り, 同一の傾きとしている. 直線すべり線は次式を用いた.

$$z = \tan \alpha \cdot y - \frac{D}{2}(\sin \theta + 1) \quad (1)$$

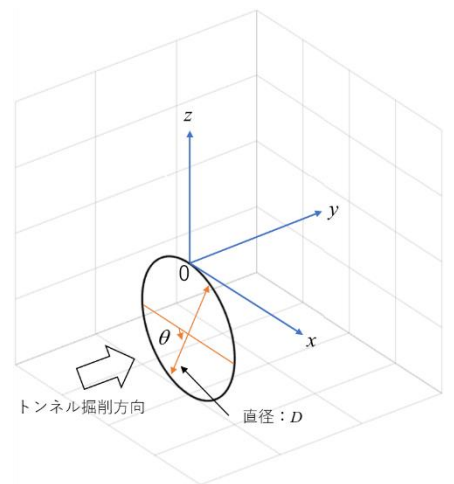


図-1 座標系の設定と掘削断面

図-3(a)は3次元解析による不安定土塊を示したものである. 図-3(b)は図-3(a)を鉛直方向に区切り, 厚さ Δx_i のスライスに分割したものの一つである.

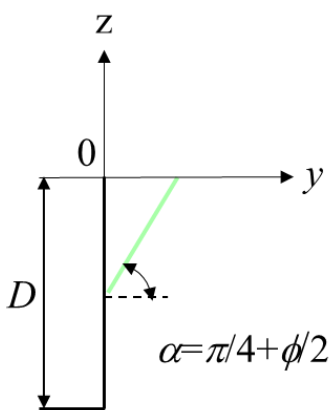


図-2 直線すべり線 (x=5)

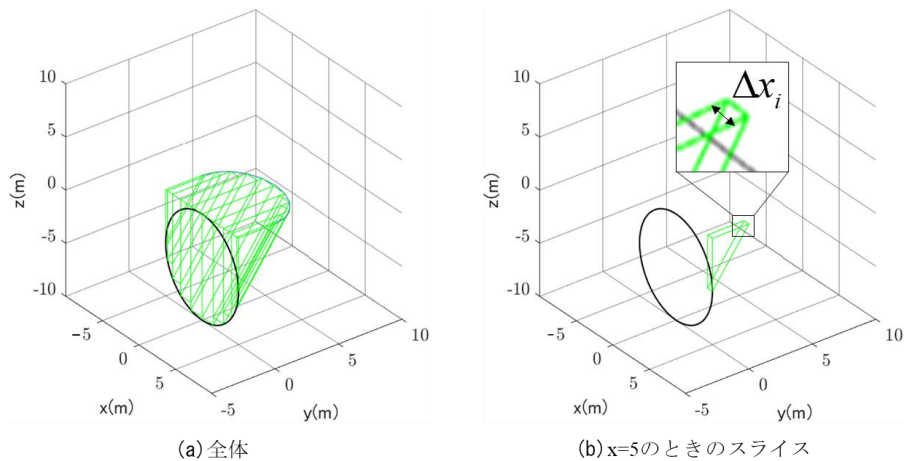


図-3 不安定土塊の3次元表示

キーワード トンネル切羽, 不安定土塊, 3次元解析

連絡先 〒680-8550 鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学

T E L 0857-31-5007

3. トンネル切羽自立に必要な圧力の算出

トンネル切羽自立に必要な圧力については, 図-4 に示すようにすべり線の鉛直方向に作用する力 N , 接線方向に作用する抵抗力 T , 土塊の自重 W としてクーロンの土圧理論から切羽自立に必要な圧力 p_i を求めた. その際にスライス間の摩擦については無視した. 次式は不安定土塊を n 個のスライスに分割したときの, スライス i に作用する単位奥行きあたりの土圧である. 土の単位体積重量 γ とし, 土の粘着力は 0 とする.

$$p_i = \frac{1}{2} \gamma D^2 K_A \quad (2)$$

これを用いて, 掘削断面全体における切羽自立に必要な圧力 P は次式で表される.

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \Delta x_i \quad (3)$$

4. 切羽前方上部の土塊による影響

トンネル前方の天端上部に存在する土塊は切羽に影響を及ぼす. 天端上部に厚さ h の地盤を定義すると, これは土被りに相当する. 天端上部の土塊を等分布荷重 $q=h/\gamma$ として考慮し, 切羽前方のスライスとあわせて一つのスライスとして扱う. 図-5 は切羽前方上部に存在する土塊を不安定土塊の一部として 3 次元表示したものである. 切羽に与える土圧合力は次式のように表される.

$$p_i = \frac{1}{2} \gamma D^2 K_A + \gamma h D K_A \quad (4)$$

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \Delta x_i \quad (5)$$

せん断抵抗角 $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ の結果を図-6 に示す. 土被りを考慮し切羽自立に必要な圧力に対するせん断抵抗角の影響を, 縦軸を γD で相対化し表した. 土の単位体積重量 $\gamma=20.0[\text{kN}/\text{m}^3]$ として, トンネル直径 10m を青色, 直径 15m を赤色で表した. 実線は天端上部の土塊を考慮していない場合であり, 点線は考慮した場合である. 本研究では土塊の 3 次元解析にあたり MATLAB R2021a を利用している.

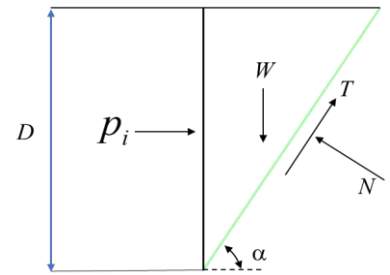


図-4 スライス i に作用する力

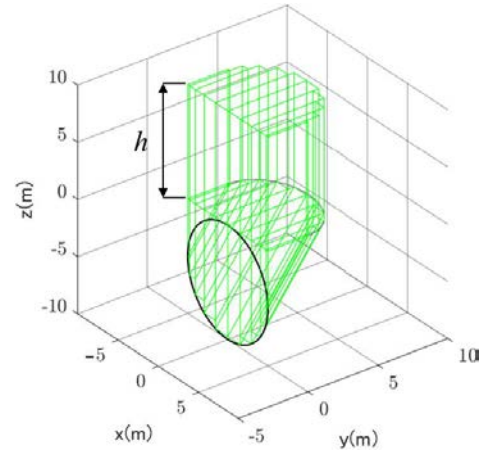


図-5 天端上部の土塊を考慮した不安定土塊

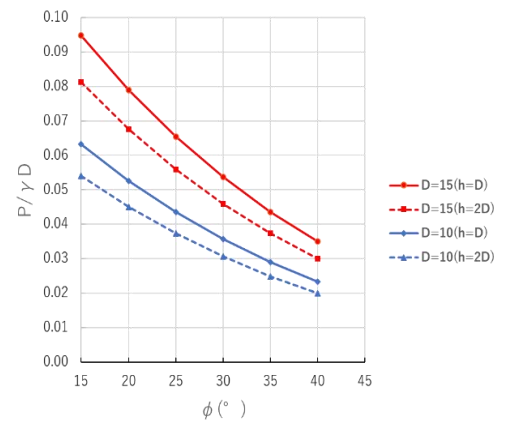


図-6 切羽自立に必要な圧力に対するせん断抵抗角の影響

5. おわりに

高野らは²⁾, X 線 CT スキャナを用いて破壊領域の可視化を行った模型実験から, 切羽崩壊領域を形成するすべり線は対数螺旋によって描くことが適切であると提案した. また, 天端上部においては閉じるようなアーチ状に破壊領域が現れると想定されているため, 今後はこれらを考慮したモデル化を予定している.

参考文献

- ¹⁾真下英人, 鈴木正彦, 猪熊明: トンネル切羽安定性の簡易評価法の提案, No. 638, pp. 117-129, 1999.
- ²⁾永谷英基, 大谷順, 高野大樹: トンネル切羽の 3 次元崩壊メカニズムの可視化, 土木学会. 応用力学論文集, pp. 553-560, 2004.