

III-689

切羽に作用する水平土圧の簡易計算法について

京都大学工学部 土岐憲三
 京都大学工学部 田村 武
 京都大学大学院 ○梅田昌彦

1. はじめに

近年、都市部における地下空間の有効利用が求められ、様々な地下構造物が多数建設されている。それに伴い、土被りの小さい土砂トンネルも施工されることが多くなってきた。しかし、トンネル掘削時の切羽周辺土圧の計算法は十分に明らかにされておらず、経験的に推定されているにすぎなかった。そこで本研究では、Terzaghi^[1]の理論とCoulombの理論を適用し、切羽に作用する水平土圧を求めるための簡易計算法を提案する。その際、剛塑性有限要素法^[2](RPFEM)による数値解析の結果をもとに簡易計算法の妥当性を検討する。

2. 簡易計算法

Terzaghiの理論は、浮戸土圧を算定するための代表的なものである。そこでは、浮戸の降下に伴い生じるすべり線を、浮戸の幅に等しい間隔をもつ垂線と仮定している。地表において荷重がないという条件のもとで、深さ z における鉛直土圧 σ_v を求めると

$$\sigma_v = \frac{B\gamma}{2 \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-\frac{2z}{B} \tan \phi \right) \right]$$

となる。いま、粘着力を0として砂のような摩擦性材料を扱っており、 B は浮戸幅、 γ は単位体積重量、 ϕ は内部摩擦角を示している。

本研究ではトンネル掘削時の地山を図-1のようにモデル化した。すなわち、トンネル掘削(切羽面を右に移動させること)により地山にすべり線が生じ、そのすべり線に沿って土塊が滑り落ちるものとする。ここで切羽の上端を境界面としてこの土塊を理論上2つに分けて考え、この境界面より上ではTerzaghiの理論を、境界面より下ではCoulombの理論を適用する。このとき、2つの土塊の間に摩擦が生じる場合と生じない場合を考える。

Coulombの土圧論により、図-2のような切羽周辺の $\triangle abc$ なるくさび状の土塊を考える。すべり面の傾斜角は $(45^\circ - \phi/2)$ であるので、切羽の高さを D とすると bc の長さは $D \tan(45^\circ - \phi/2)$ となる。この bc はTerzaghiの理論における浮戸の幅とみなされるので、 bc 上にかかる鉛直土圧 σ_v は

$$\sigma_v = \frac{\gamma D \tan(45^\circ - \phi/2)}{2 \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-\frac{2z \tan \phi}{D \tan(45^\circ - \phi/2)} \right) \right]$$

となる。そこで、 $\triangle abc$ なるくさび状の土塊についてつりあい式を解くと、切羽に作用する土圧 P は

$$P = \frac{\sin(45^\circ + \phi/2) - \tan \phi \sin(45^\circ - \phi/2)}{\cos(45^\circ + \phi/2) + \tan \phi \cos(45^\circ - \phi/2)} \left(\frac{\gamma D^2}{2} + \sigma_v D \right) \tan(45^\circ - \phi/2) - \sigma_v D \tan \phi \tan(45^\circ - \phi/2)$$

となる。ただし、これは2つの土塊の間に摩擦がある場合の土圧 P であって、摩擦がない場合第2項目が0となる。

次に、圧気シールド等を想定して、切羽を圧縮する（左に移動させる）場合についても計算してみた。切羽を緩める場合と同様にして、くさび状の土塊についてつりあい式を解くと切羽に作用する土圧 P は次のようになる。

$$\sigma_v = \frac{\gamma D \tan(45^\circ + \phi/2)}{2 \tan \phi} \left[1 - \exp\left(\frac{2z \tan \phi}{D \tan(45^\circ + \phi/2)}\right) \right]$$

$$P = \frac{\sin(45^\circ - \phi/2) + \tan \phi \sin(45^\circ + \phi/2)}{\cos(45^\circ - \phi/2) - \tan \phi \cos(45^\circ + \phi/2)} \left(\frac{\gamma D^2}{2} + \sigma_v D \right) \tan(45^\circ + \phi/2) + \sigma_v D \tan \phi \tan(45^\circ + \phi/2)$$

これも摩擦がある場合の土圧 P であり、摩擦がない場合第2項目が0となる。

3. 結果と考察

図-3は切羽を緩める場合の被り高さと土圧の関係を表したもので、 $\phi = 30^\circ$ として計算している。RPFEMによる解析は、関連流れ則（ $r = 1.0$ ）および非関連流れ則（ $r = 0.0$ ）に基づき数値解析を行った。この図により摩擦がある場合の計算結果が摩擦のない場合よりも小さい値を示しており、摩擦がある場合の方がRPFEMの解析結果によく似た値を示していることがわかる。

切羽を圧縮する場合の被り高さと土圧の関係は図-4のようになった。摩擦がない場合には、摩擦がある場合に比べて土圧はやや小さくなっているものの、摩擦の影響はほとんど無視できる。また、切羽を緩めた場合と同様に、RPFEMによる解析結果と比べるとほぼ同じような値を示した。

4. 参考文献

- 1) K.Terzaghi : Theoretical Soil Mechanics, John Wiler and Sons, New York, 1943, pp.66-76
- 2) T.Tamura, S.Kobayashi and T.Sumi : Rigid-Plastic Finite Element Method for Frictional Materials, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.1-12,1987.

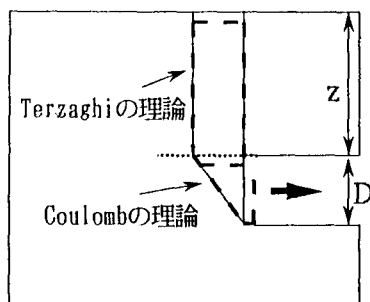


図-1 解析モデル

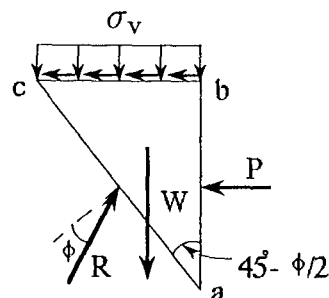


図-2 切羽周辺の力のつりあい

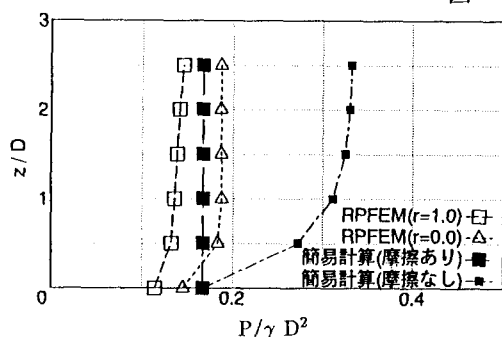


図-3 被り高さと土圧の関係
（切羽を緩める場合）

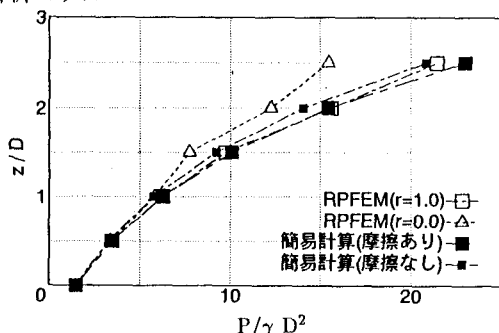


図-4 被り高さと土圧の関係
（切羽を圧縮する場合）