

III-275 未固結砂質地山トンネルの切羽の安定解析

(株)フジタ 技術研究所 香川和夫・福島伸二

1. まえがき

最近都市部において土被りの浅い砂質地山中にNATMでトンネルを掘削する例が多くなってきた。このようなトンネルの地表には住宅・事務所等の構造物があるのが普通であり、また地中にもライフライン等の地中構造物があることもある。トンネルを掘削する時にはこれらの地表・地中の構造物に悪影響を及ぼさないよう切羽を安定させて地表面沈下・地中変位を最小限に抑える必要がある。このため切羽の安定性を何らかの方法により評価することが重要である。通常、地山の強度パラメータ (c , ϕ) を用いてトンネル切羽部を二次元的に理想化し直線すべり法、円弧すべり法などによる安定計算が実施される¹⁾。本報告ではこのような土被りの浅い砂質地山トンネルの切羽の安定性を評価する計算方法の妥当性を検討するために、土槽を用いた切羽安定性に関する模型試験結果²⁾の安定計算を実施した。

2. 土槽を用いた模型試験における切羽の安定計算

使用した模型試験装置は二次元的にモデル化したトンネル切羽部(図-1)を再現したもので、図-2に示す深さ600mm、幅200mm、長さ1000mmの土槽内に壁面を持つ地盤を作製しこの地盤の壁面側端部に土被り荷重(Q)に相当する荷重を加えるための載荷装置を取り付けたものである

(試験方法の詳細については参考文献2)を参照)。試験は幅B=20cmの載荷板を用いて切羽面角度を $\beta=90^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 70^\circ$ と変えて実施し、模型地山に加えた荷重(Q)～載荷板変位(δ)関係、及び試験後の地山の変形状況($\delta=20\text{mm}$)を写真撮影をしてゴムシートに付けたほぼ5cmx5cmの格子状の標点の座標値を読み取り最大・最小主ひずみ(ε_1 、 ε_3)の大きさと方向を求めた。図-3(a)(b)に角度 $\beta=90^\circ, 80^\circ$ の試験から得られた最大・最小主ひずみの大きさと方向を示してある。これより切羽面が鉛直であると発生するすべり面はほぼ直線であるが、傾斜している場合にはすべり面は円弧に近い形状になり、切羽の安定計算は切羽面角度による破壊モードの違いを考慮して鉛直切羽の場合には直線すべり面を仮定した方法で、傾斜切羽の場合には円弧すべり面を仮定した方法を採用するなど使い分ける必要があることが分かる。そこでここでは図-4(a)(b)に示すように鉛直切羽面では直線すべり面を仮定し、また傾斜切羽面では円弧すべり面を仮定した分割法(Bishop法、簡便法)により土槽の模型地山の安定計算を行ない地山に加えられる荷重(支持力)を求め、安定計算法の検討を行なった。直線すべり面法による荷重は以下のように計算する。力の多角形から $T=(W+Q)\sin\alpha$ 、 $N=(W+Q)\cos\alpha$

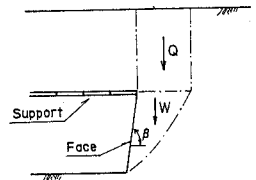


図-1 トンネル切羽部のモデル化(2次元)

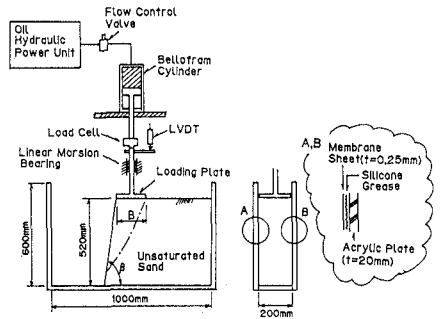


図-2 切羽の安定性試験装置

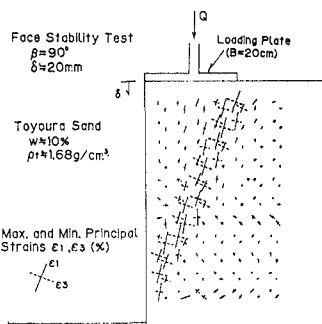


図-3 (a) 最大・最小主ひずみ ($\beta=90^\circ$)

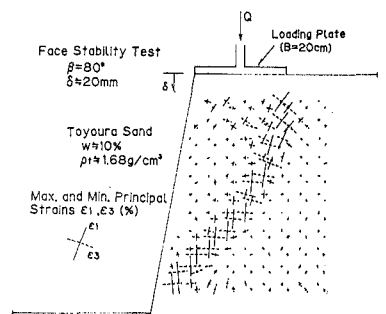


図-3 (b) 最大・最小主ひずみ ($\beta=80^\circ$)

となり、またすべり面上のせん断抵抗力は $T = \tau_r \cdot l = (c + \sigma_N \cdot \tan \phi) \cdot l = c \cdot l + N \cdot \tan \phi$ であるから、上の2式を代入して荷重 Q を求めると

$$Q = (c \cdot l + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi - W \cdot \sin \alpha) / (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \phi) \quad (1)$$

になる。また円弧すべり面の分割法(Bishop法($\Delta V=0$ を仮定))による荷重は以下のように求める。分割片に作用する力の多角形についての鉛直方向の力のつり合いから $\Delta W + \Delta Q = \Delta N \cdot \cos \alpha +$

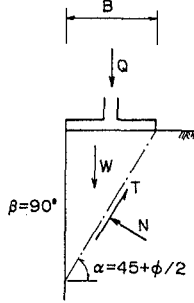


図-4(a) 安定計算 ($\beta=90^\circ$: 直線すべり法)

$$\Delta T \cdot \sin \alpha \text{ となり、} \Delta N = (\Delta W + \Delta Q) / \cos \alpha - \Delta T \cdot \tan \alpha \quad (2)$$

$$\Delta T = \tau_r \cdot \Delta s = (c + \sigma_N \cdot \tan \phi) \cdot \Delta s = c \Delta s + \Delta N \cdot \tan \phi \quad (3)$$

(2)(3)式から分割片のすべり面上のせん断抵抗力 ΔT は $\Delta T = \{ c \cdot \Delta x + (\Delta W + \Delta Q) \cdot \tan \phi \} / \cos \alpha \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi)$ (A-B区間)

$$\Delta T = (c \cdot \Delta x + \Delta W \cdot \tan \phi) / \cos \alpha \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi) \quad (B-C区間)$$

円の中心 O に関するモーメントのつり合いから荷重は次式から求まる。

$$Q_B = \left[\sum_A^C (c \cdot \Delta x + \Delta W \cdot \tan \phi) / \cos \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi) - \sum_A^C \Delta W \cdot \sin \alpha \right] / \left[\sum_A^B \Delta x \cdot \sin \alpha / B - \sum_A^B (\Delta x / B) \cdot \tan \phi / \cos \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi) \right] \quad (4)$$

円弧すべり面の分割法のうち簡便法($\Delta V = \Delta H = 0$ を仮定)による荷重 Q_F は $Q_F = \left[\sum_A^C (c \cdot \Delta s + \Delta W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi) - \sum_A^C \Delta W \cdot \sin \alpha \right] / \left[\sum_A^B \Delta x \cdot \sin \alpha / B - \sum_A^B (\Delta x / B) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi \right]$ (5)

となる。計算結果を図-5(a)(b)に示す。図中の斜線部は模型試験の結果である(模型地山の強度パラメータは $c=0.03 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi=38.7^\circ$)。図-5(a)は粘着力 $c=0.03, 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ の場合を示している。切羽角度が鉛直 $\beta=90^\circ$ に近い範囲では試験結果とよい一致を示している。計算値は切羽角度が小さくなると一致度は悪くなるが、試験結果の角度~荷重関係の傾向をよくとらえていることがわかる。また簡便法よりBishop法による計算値の方が大きいこと、わずかな粘着力の差により計算値が大きく変わることが分かる。図-5(b)には内部摩擦角の影響を示してあるが、粘着力に比べて内部摩擦角の影響は小さいことがわかる。これらのことから切羽の安定計算は切羽の傾斜角による破壊モードを考慮した直線すべり面法(鉛直切羽)と円弧すべり面法(傾斜切羽)が有効であることがわかる。

3. あとがき

切羽の傾斜による破壊モードを考慮し鉛直切羽では直線すべり面法、傾斜切羽では円弧すべり面法による安定計算が有効であることがわかった。しかし粘着力の大きさにより計算結果が大きく変わるので、地山の粘着力の評価は慎重に行なう必要がある。

参考文献

- 1) 福島伸二・川畑則雄・熊谷光雄・増田幸三: 土被りの浅い軟弱地山トンネルにおける切羽安定化のための薬液注入の効果、土と基礎、Vol. 38, No. 12, pp47-52, 1990.
- 2) 香川和夫・福島伸二: 未固結砂質地山トンネルの切羽安定性に関する模型試験、第26回土質工学研究発表会、1991.

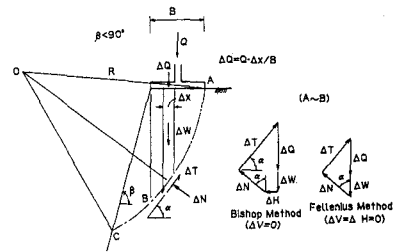


図-4(b) 安定計算 ($\beta=80^\circ$: 円弧すべり法)

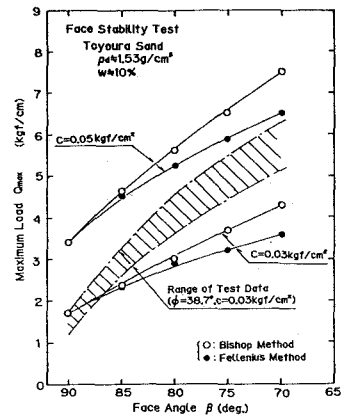


図-5(a) 安定性試験結果 (粘着力の影響)

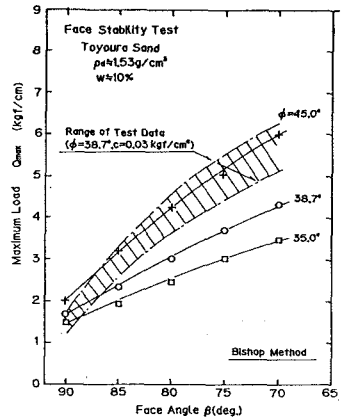


図-5(b) 安定性試験結果 (内部摩擦角の影響)