

Ⅲ - B64

プレライニングトンネルの切羽安定性に関する考察

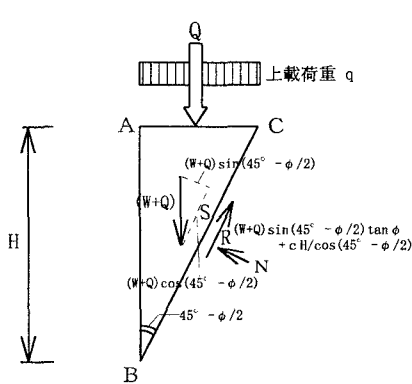
フジタ 正会員 ○田口善文 香川和夫
日本国土開発 正会員 米山秀樹
鉄建建設 正会員 笹尾春夫

1. はじめに

プレライニング工法は、山岳トンネル工法で掘削に先立ち切羽前方地山にアーチシェル状の薄肉覆工を構築し、その切羽安定機能により安全で効率的な掘削を行い、合わせて沈下を抑制するための先受け工法である。しかし、プレライニングの設計法はまだ確立されておらず、切羽の安定性評価やプレライニングに作用する荷重等、未解明な部分も多い。本報告は、これまでに行った実験や解析を通して、切羽の安定性の評価に関する検討を行った結果について報告する¹⁾。

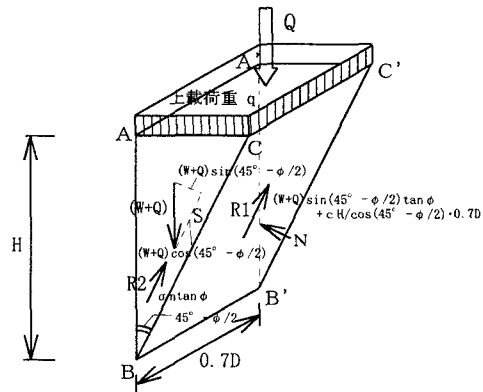
2. 切羽安定性の検討方法

切羽の安定性の検討は、切羽前方土塊の力のつり合いによる方法や切羽前方地山の内部応力から推定する方法等で行うことができる。力のつり合いによる方法は、すべり線を直線、円弧または対数らせ線で仮定し、プレライニングを介して切羽前方土塊に作用する上載荷重 Q を用いて、力のつり合いで切羽の安定性を評価する方法である。例えば、直線すべりを仮定した時の力のつり合いおよび切羽の安全率は、図-1に示すように計算される。実際には、トンネル切羽のすべり面は平面ではない。したがって、図-2に示すように切羽のすべり面の3次元効果を考慮した解析法も考えられる。この場合、ブロックの幅 BB' は、現場でよく観察される切羽のすべり形状を参考として、ここでは $0.7D$ と仮定した。



$Q(q)$: 切羽前方土塊に作用する鉛直方向の上載荷重 (強度)
 H : 切羽高さ W : 土塊の自重
 c : 地山の粘着力 ϕ : 地山の内部摩擦角
BC面上の滑動力 $S = (W+Q)\cos(45^\circ - \phi/2)$
BC面上の抵抗力 $R = (W+Q)\sin(45^\circ - \phi/2)\tan\phi + cH/\cos(45^\circ - \phi/2)$
切羽の安全率 $F_s = R/S$

図-1 切羽前方土塊の力のつり合い (2次元)



$Q(q)$: $\square ACC'A'$ 上の上載荷重 (強度)
面 $BCC'B'$ 上の滑動力 $S = (W+Q)\cos(45^\circ - \phi/2)$
面 $BCC'B'$ 上の抵抗力 $R1 = (W+Q)\sin(45^\circ - \phi/2)\tan\phi + cH/\cos(45^\circ - \phi/2) \cdot 0.7D$
両側面 ABC の摩擦抵抗 $R2 = 2\sigma_n \tan\phi \cdot \triangle ABC$
切羽の安全率 $F_s = (R1 + R2)/S$

図-2 切羽前方土塊の力のつり合い (3次元)

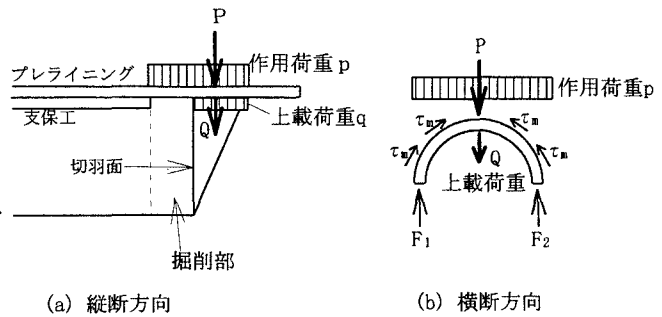
3. 上載荷重 Q と作用荷重 P の関係

切羽安定性の検討に用いる上載荷重 $Q(q)$ は、図-3に示すようにプレライニング外面の作用荷重 $P(p)$ と異なる。切羽に作用する上載荷重 Q は、作用荷重 P からプレライニングと地山の間の摩擦力、プレライニング、NATM、切羽安定、力のつり合い

ング底面の脚部反力など、ブレイニングで負担される荷重を差し引いたものになる。上載荷重の算定法は、特性曲線から推定する方法や力のつり合いから推定する方法が考えられる。ここでは、力のつり合いから推定する方法で検討すると、図-3から切羽への上載荷重 Q は式(1)で表わすことができる。

4. 設計事例

トンネルは直径10mの上半部とし、土被りは20m(2.0D)とする。地山の物性値は $\gamma=1.8$ tf/m³、 $c=3$ tf/m²、 $\phi=30^\circ$ とした。ブレイニングはトンネル横断方向の連続性が卓越するブレイニングを考え、施工範囲を上半180°、厚さ10cmのモルタル、先受け長4.0mと仮定した。図-2に示す3次元ブロックの力のつり合いで切羽の安定性を評価する。



(a) 縦断方向

(b) 横断方向

$$Q = P - F_1 - F_2 - 2\tau_n \cdot h \quad \dots\dots (1)$$

$$P = \gamma D \times D = \gamma D^2 \quad \tau_n = c + \sigma_n \tan \phi_n$$

ここに、
 $P(p)$: ブレイニングの作用荷重(強度)
 $Q(q)$: 切羽前方土塊に作用する鉛直方向の上載荷重(強度)
 τ_n : ブレイニングと地山の間の動員する摩擦力
 c : 粘着力
 ϕ_n : 動員する内部摩擦角
 γ : 単位体積重量
 D : トンネル径
 h : ブレイニングの施工範囲(高さ)
 F_1, F_2 : ブレイニングの脚部反力

図-3 上載荷重 Q と作用荷重 P の関係

(1) 上載荷重 Q の推定

上載荷重 Q は脚部反力および地山との摩擦力を仮定し、力のつり合いから推定する方法により求める。

- ・ブレイニング作用土圧: ブレイニングの沈下、変形後の作用荷重 P は1D相当の土被り荷重($1\gamma D$)とする。したがって、ブレイニング上部の作用土圧 $p=1 \times 1.8 \times 10=18$ (tf/m²)
- ・ブレイニング脚部反力: ブレイニングの脚部反力は地盤の支持力等から算定される。ここでは安全側を見て、切羽からブレイニングに作用する反力、すなわち上載荷重 q と同等と考え、上載荷重 $q \times$ 脚部面積の反力が発揮されるものと仮定する。 $F_1=F_2=q \times 0.1=0.1q$ (tf/m)
- ・上向きの摩擦力: ブレイニングと地山の摩擦力は安全側を見て、粘着力 c の効果を無視し、動員される摩擦角 ϕ_n は内部摩擦角 ϕ に等しいと仮定する。

$$2\tau_n \cdot h = 2\sigma_n \cdot \tan \phi_n \cdot h = 2\gamma D \tan \phi \cdot h = 104$$
(tf/m)

$$q \times (D - 0.2) = p \times D - (F_1 + F_2 + 2\tau_n \cdot h) = 180 - 104 - 0.2q$$
(tf/m)

$$\text{上式から、} q = 76/D = 76/10 = 7.6$$
(tf/m²)、したがって、 $Q = q \times A C C' A' = 7.6 \times 2.88 \times 7 = 153$ (tf)

(2) 安全率の算定

必要な安全率 $F_s=1.2$ として、切羽の安全率を求めると以下になる。

$$\text{土塊自重 } W = 1/2 \times 5.0 \times 2.88 \times 7 \times 1.8 = 90$$
(tf)

$$\text{上載荷重 } Q = 153$$
(tf)

$$\text{滑動力 } S = (W + Q) \cos(45^\circ - \phi/2) = 210$$
(tf)

$$\text{抵抗力 } R1 = (W + Q) \sin(45^\circ - \phi/2) \tan \phi + c H / \cos(45^\circ - \phi/2) \cdot 0.7D = 191$$
(tf)

$$\text{抵抗力 } R2 = 2\sigma_n \cdot \tan \phi \cdot \triangle ABC = 2\gamma D \cdot \tan 30^\circ \cdot \triangle ABC = 150$$
(tf)

$$\text{安全率 } F_s = (R1 + R2) / S = (191 + 150) / 210 = 1.62 > 1.2$$

5. おわりに

力のつり合いから上載荷重を推定する方法により、ブレイニングトンネルの切羽の安定性の事例検討を行った。特性曲線を利用した方法については別の機会に報告する予定である。本報告はブレイニング工法検討委員会(委員長 足立紀尚 京都大学教授)での成果の一部をまとめたものであり、ご指導を頂いた関係各位に感謝の意を表します。【参考文献】1) (社)日本鉄道技術協会: ブレイニング工法設計指針(案)、1996. 12