

(Ⅲ - 3) 土砂地山におけるロックボルトの補強効果

東日本旅客鉄道㈱東京工事事務所 正会員 ○斉藤 誠
東日本旅客鉄道㈱東京工事事務所 正会員 五味一男
東日本旅客鉄道㈱東京工事事務所 正会員 藤沢 一

1. はじめに

立坑から横穴を掘り、構造物を造る工法においては、切羽が開放されており、切羽の自立性を高めるために様々な工法が取られている。ここでは全断面掘削による円弧すべりに対する法面崩壊防護のため、ロックボルトを切羽面から水平に打ち込むことにより法面の安定を確保した施工実績から、その補強効果の算定方法について検討したので以下に報告する。

2. 施工概要

本施工は、延長59.293m、幅13.226m、高さ8.328mの全断面掘削によるトンネル施工である。地盤強化のため薬液注入（水ガラス系薬液、注入率30%）を行ったが、注入後、円弧すべりに対する最少安全率が0.7と、切取法面安定のための設計値に対してその効果が十分に認められず、今回、補助工法としてロックボルトを切羽面から水平に打ち込み、法面の円弧すべりに対する安全性を確保した。使用したロックボルトは、外径42.2mm、肉厚5.6mm、断面積4.07cm²の自拵孔型I B Oアンカーである。ロックボルトの定着のために、セメントミルク（水セメント比68.3%）をアンカー挿入後に注入した。

ロックボルトは発進立坑側から延長46m、5段9列で、到達立坑側からは延長30m、6段10列で打ち込んだ（図-1、図-2）。これらロックボルトの本数、配置は、斜面安定並びに、斜面崩壊を応急的に防ぐための抑止壁（L形鋼と横矢板をロックボルトに取り付ける）の設置を考慮して決定した。また施工時には法面は支保工設置の条件から60度の傾斜を設け、掘削を行った。

3. 現場の土質状況

現場の土質状況は、一部シルトを含んだ砂質土および砂礫土が複雑に層をなした構造になっている。また、掘進にともない一軸圧縮試験を行っており、一軸圧縮強度は図-3のように、ばらつきをみせている。これより一軸圧縮強度はおおよそ0.5～2.5(kgf/cm²)の範囲にあるものと考えられる。施工以前に行った発進立坑部における三軸試験結果、並びに $\phi = 32^\circ$ として一軸圧縮強度 q_u から粘着力 c を $c = (q_u/2)\tan(45^\circ - \phi/2) \approx 0.28 q_u$ より推定すると表-1のような土質常数が求められる。

4. ロックボルトによる補強効果の検討

法面の外的安定を検討するに際し、すべり面が補強材

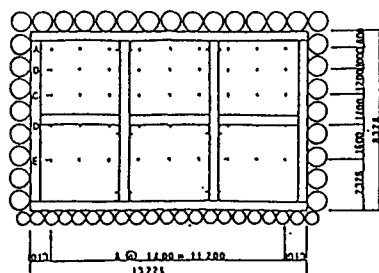


図-1 ロックボルト配置図（発進立坑側）

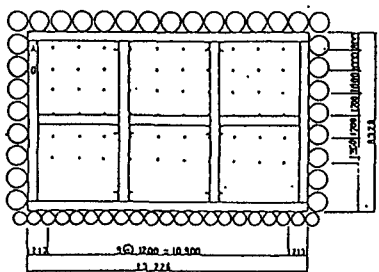


図-2 ロックボルト配置図（到達立坑側）

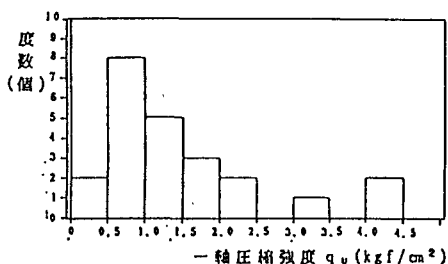


図-3 一軸圧縮強度の分布図

表-1 一軸試験および三軸試験より求めた土質常数

	一軸試験から求めた定数	三軸試験から求めた定数
粘着力 c (tf/m ²)	0.15 ~ 0.7	2.8
内部摩擦角 ϕ	32'	32'
単位体積重量 γ (t/m ³)	1.82	1.82

(ロックボルト)を横切の場合は、すべり面より内側に定着された補強材の抵抗力を考えることになる。定着効果を図-4のように考えると、円弧すべりによる安全率 f_s ⁽¹⁾は以下ようになる。

$$f_s = \frac{Mr + \Delta Mr}{Md} = \frac{(\sum \tau_m) \cdot r + \sum (T_i \cos \alpha_i \cdot r + T_i \sin \alpha_i \cdot \tan \phi \cdot r)}{W \cdot L} \quad \text{--- ①}$$

- $\sum \tau_m$: すべり面の土のせん断抵抗力の合計
- r : 円弧中心からすべり面までの半径
- T_i : i 段目における補強材抵抗力
- α_i : 円弧中心から i 段目の補強材に引いた線と垂線とのなす角度
- ϕ : 盛土の内部摩擦角
- W : すべり面から上の土塊重量
- L : 円弧中心から土塊の重心位置までの水平距離

今回、ロックボルトの補強効果を検討するに際しては地山とロックボルトが付着される定着円周の半径 r を想定した。そこで補強材の抵抗力 $T = c \times l \times 2\pi r + 3\sigma \times 2r \times l \times \tan \phi$ (l : すべり面より内側に定着されたロックボルト長)とし、安全率が最小となるすべり面を取り上げ、施工結果より①による安全率1.5が確保できたという条件のもと、円弧すべり法を用い、定着半径 r と粘着力 c との関係を計算した(図-5)。

この結果、想定される地山粘着力の範囲(0.15t/m²~0.7t/m²)に対応する定着半径は3.7mm~4.2mmの範囲になった。使用したロックボルトは、外径が42.2mmであり、計算された定着半径に対し、かなり大きな値となっている。以上のような検討からみると、本施工においては円弧すべりによる法面崩壊に対しては十分な安全性が保たれていたものといえる。

5. 最後に

今回検討した補強材としてのロックボルトの必要外径は、実際使用したものに対し、かなり小さな値となった。現場の土質状況を正確につかむことが困難であったという条件下ではあったものの、今回使用したロックボルトが法面の安定に対し、十分な補強効果を発揮していたことが検証されよう。

(参考文献)

(1) 土構造物設計標準に関する委員会報告書

平成2年度 財団法人 鉄道総合技術研究所

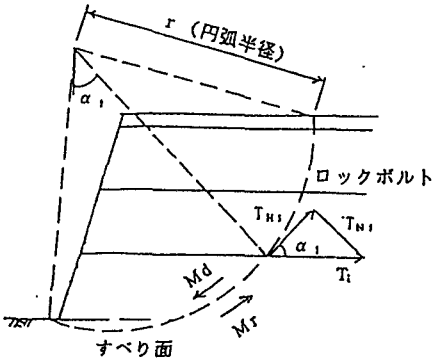


図-4 円弧すべりによる安全率の定義

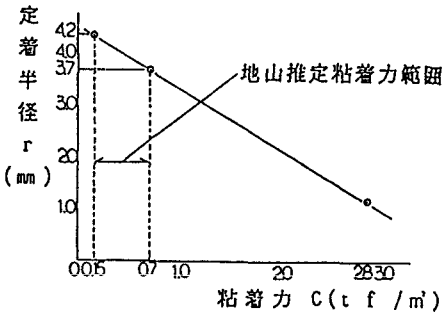


図-5 粘着力 c と定着半径 r の関係