

ロックボルト引抜による簡易せん断試験の開発

京都大学工学部	正員	島 昭治 郎
京都大学工学部	正員	谷 本 親 伯
京都大学工学部	学生員	西 原 晃
飛鳥建設(株)	正員	○松 島 洋
(株) 銭高組		森 岡 同

1. まえがき

岩盤自体を構造物の一部または主要部とする設計の必要性が増している。特に、山岳トンネルにおいては、動態観測に基づき周辺岩盤の強度を考慮して地山そのものによって形成される支持リングを期待する考え方が広まってきた。ここに初期応力および原位置岩盤の変形・強度特性の把握が設計・施工上きわめて重要な問題となる。しかしながら、いずれも現行の試験方法は多大の費用・時間・労力を必要とし、限られた空間での振刷が主作業となるトンネル現場ではその実施に困難がある。そこで、必要とするいくつかの原位置岩盤特性の一つとして引抜試験による簡易せん断強度の推定法を開発するのが本研究の目的である。

2. 引抜試験方法

最近の山岳トンネルではロックボルトを使用することが多く削孔が容易に出来ることから、測定対象地盤に埋設長を一定にしたロックボルトを定着し、引抜試験を実施することによって、その引抜時の荷重と発生するコーンの形状から、せん断強度定数(c, φ)を推定しようとするものである。引抜試験装置は、図-1に示すような中空リングジャッキと反力台(底面カリング状)から成る。これを用いて一定長に定着したロックボルトを引抜き、生じたコーンの形状をボルト軸を中心に60°ピッチに放射状に6方向について測定し、その平均値により決定する。図-2にモデル人工地盤について行った実験結果を示す。

この実験に用いる材料定数は次の通りである。(1)ロックボルト：SS41鋼材、 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

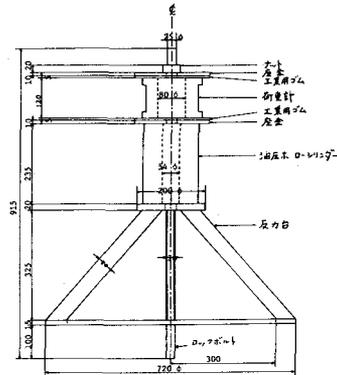


図-1 ロックボルト引抜試験装置

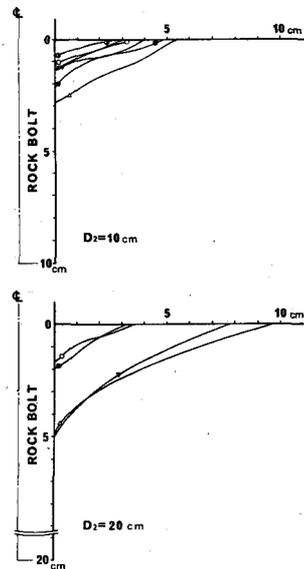


図-2 引抜コーン形状

$\nu = 0.3$ , (2)人工モルタル地盤:  $E = 1.19 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\nu = 0.15$ ,  $\rho_u = 142 \text{ kg/cm}^3$ , (3)定着剤: セメントミルク,  $E = 3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\nu = 0.15$  である。

また、引抜時の最大荷重を、表-1に示す。

### 3. 対数らせ線近似による強度の推定

引抜試験により得られたコーンの形状を、図-3に示す二等辺三角形の直線  $bc$  と、 $cb$  の延長線上に中心を有し、尖  $b$  に  $bc$  に接し、尖  $a$  を通過する対数らせ線により近似する。これは、実際のコーン形状とよく一致する。この対数らせ線は、 $\rho = \rho_0 e^{\theta \tan \varphi}$  で表わされ、 $\theta$  は  $ob$  から半時計回りにとった角である。この対数らせ線では、曲線上の任意の尖におけるこの曲線への垂線と動径のなす角は常に  $\varphi$  となる。

解析は、松尾<sup>1)</sup>、勝見<sup>2)</sup>らから  $C$ 、 $\varphi$  を既知としてアンカーの引抜き抵抗を算出する方法を提案しているのので、逆に引抜き力 ( $R$ ) とコーンの高さ ( $D_1$ ) から  $C$ 、 $\varphi$  を求めることとした。  $R$  は次式で示される。

$$R = (\pi B_2 k_1 - V) \gamma + \pi B_2' k_2' C + 2\pi B_1 \left\{ \frac{\gamma \tan \varphi (D_2^2 - D_1^2) K_p}{2} + C(D_2 - D_1) \right\} \quad (1)$$

$$k_1 = (a-1)(a^2 F_1 + a F_2 + ab F_3 + b F_4 + F_5) + b,$$

$$k_2' = \pi B_2' \left\{ (a-1)(a F_6 + F_7) - (a-1)^2 F_8 - a(a-1) F_9 \right\},$$

$$K_p = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right), \quad a = \frac{x_0}{B_2}, \quad b = \frac{D_3}{B_2}, \quad B_2 = B_1 + \alpha_2 D_1,$$

$$D_3 = \alpha_1 D_2, \quad x_0 = B_1 + \alpha_3 D_1, \quad \alpha_3 = \sin \alpha \sin(\alpha + \theta_0) / \sin \theta_0,$$

$$\alpha_1 = \frac{\cos \alpha}{\sin \theta_0} \left\{ \sin(\alpha + \theta_0) - \frac{\sin \alpha}{e^{\theta_0 \tan \varphi}} \right\}, \quad \alpha_2 = \alpha \tan \alpha$$

ここに、 $B_1$ : ドーナツボルト半径,  $D_2$ : 埋設長,  $D_1$ : コーン高さ,  $V$ : コーン中のボルト体積,  $\gamma$ : 人工地盤の単位体積重量,  $F_1 \sim F_9$ :  $\varphi, \theta_0$  の関数。

図-1に示す結果について、 $B_1 = 1.25 \text{ cm}$ ;  $D_2 = 10, 20 \text{ cm}$ ;  $\gamma = 2.26 \text{ g/cm}^3$  とし、コーン形状と  $\angle ecb = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$  (図-3) の仮定から  $C$  の値を求めた。その結果を図-4の黒丸印に示す。また、人工地盤材料については、一軸圧縮強度 (供試体個数, 7) のみ既知で、このモルタルを描き、破壊包絡線を直線として種々の  $\varphi$  に対する  $C$  を算出したところ

図-4の斜線部の範囲に入ることを判じた。この結果から、引抜試験より求めた強度は、ほぼ  $C = 20 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 40^\circ \sim 60^\circ$  と推定される。しかしながら、さらに多くの実験とより妥当な  $\varphi$  の決定法を確立しないことには、信頼のおける方法とはなり得ないであろう。

参考文献: 1) 松尾稔, 送電用鉄塔基礎の引揚抵抗について, 土木学会論文集, No. 105, pp 7-10 (1964), 2) 勝見雅, 西原晃, アスアンカーの引抜き抵抗に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, No. 276 (1978)

表-1 ドーナツボルト引抜き力

Dr (cm)	Dm (cm)		
	10	20	60
10	1.92 t	1.87 t	1.25 t
	2.52 t	7.53 t	1.17 t
20	Ave. 1.92 t	Ave. 2.20 t	Ave. 3.32 t
	6.17 t		6.13 t
	5.13 t		6.84 t
	Ave. 5.65 t		Ave. 6.49 t

Dr: diameter of supporting ring  
Dm: anchoring length

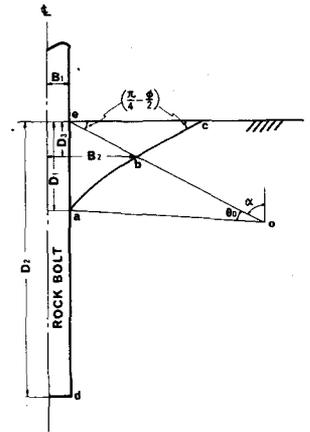


図-3 対数らせ線解析説明図

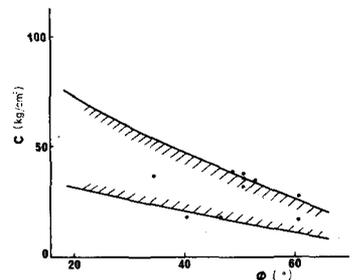


図-4 試験による  $C, \varphi$