

ロックボルトの引抜き抵抗とその寸法効果に関する実験と考察

日本大学 正員 田野 久貴
同上 正員 北寺 康人

1. はじめに

最近、トンネル工事において、膨張性地山や軟弱地山等における支保工として、全面接着式のロックボルトが用いられ、その効果の認識とN.A.Mの動きと相まって、吹き付けコンクリートとともに新しい支保工として注目されてきている。そこで、本研究は、ロックボルトの支保機構である定着部における強度について、最も基本的な実験方法として、モルタルを用いて模擬岩盤を作成したのち、12ケースのロックボルトを模擬岩盤内の中央に挿入し、引抜き実験を行ない、ロックボルトの定着部における強度と付着面積との関係について、考察したものである。

2. 実験方法

模擬岩盤である円柱状試体型枠は、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ のものを用いて、砂とセメントと水を一定の割合にて練り混ぜて打ち込み、ただちにロックボルトを模擬岩盤内の中央に挿入し作成した。モルタル配合は、砂：セメント：水＝2：1：0.47と定め、7日間養生とした。モルタルの圧縮強度は、平均 30.8 kg/cm^2 である。ロックボルトの形状は、直径 $\phi 6 \text{ mm}$ 、 $\phi 10 \text{ mm}$ 、 $\phi 12 \text{ mm}$ 、付着長さ5cm、10cm、15cm、20cmの合計12ケースとした。本実験では、ロックボルトの先端における定着部は、接着型によるものとした。7日間養生後、模擬岩盤をセンターホール型ジャッキにより載荷し、センターホール型ロードセルによりストレインメータから荷重の検出を行なった。

3. 実験結果及び考察

3-1. ロックボルトの引抜き強度

ロックボルトの直径と付着長さを変化させた合計12ケースの引抜き実験を各12回行ない得られた結果を、表-1、引抜き強度と付着面積との関係を図-1に示す。これから明らかなように、石膏を用いた模擬岩盤による引抜き実験と同様、モルタルにおいて、付着面積の増加にともない強度が減少する同じ傾向が、今回の実験においても得られた。破壊後のロックボルト先端にはモルタルが附着していなかった。すなわち、模擬岩盤とロックボルトの境界においてすべり破壊したものと考えられる。

3-2. 引抜き強度の寸法効果

一般に、試験片の付着面積の増加にともない、その試験片の強度が低下する強度の寸法効果というが、本実験においても明らかであるといえる。すなわち、確率的な観点から考えると、付着面積の増加にともない、付着面内の欠陥の存在確率の増加が理由であると考えられる。そこで、得られた結果をシリーズ別に述べるに次のようである。すなわち、ロックボルトの付着面積を一定とし、その付着長さを増加させる(Aシリーズ)、付着長さを一定とし、付着面積を増加させる(Bシリーズ)の二つの場合について比較する。その結果、各シリーズとも、付着面積の増加にともない、強度が減少しているが、Aシリーズの方がBシリーズよりも低下率が大きい。す

付着長さ (cm)	$\phi 6$	$\phi 10$	$\phi 12$
5	18.92	15.86	15.54
10	14.72	13.75	13.22
15	12.52	11.49	11.22
20	10.82	10.61	10.48

(kg/cm²)

表-1 実験結果

定数	数値
m	5.0
α	0.912×10^{-6}
A	0.153
B	5.2

表-2 実験により得られた各定数

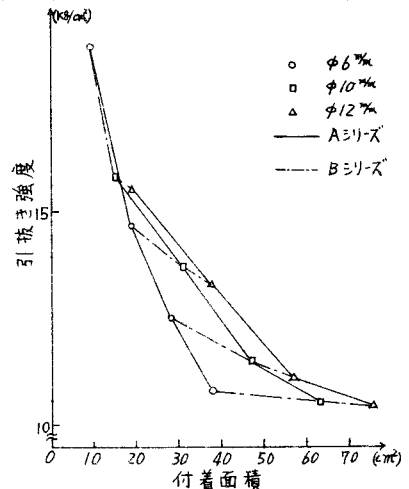


図-1 ロックボルトの引抜き強度の関係

すなわち、付着長さは、直径よりも強度に対して敏感であると考えられる。そこで、この現象を説明するモデルとして、最弱リンクモデルを適用し検討する。

破壊確率が0.5をとるときをもって、任意の付着長さ ℓ 及び付着面積 A をもつロックボルトの強度 X を表わす式次が得られる。

$$X = \left\{ \frac{-\log(1 - 0.5^{\frac{1}{m}})}{\alpha A \ell} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (1)$$

ここに、 A 及び B は比例定数である。すなわち、付着長さ ℓ_1 及び ℓ_2 をもつボルトの引抜き強度 X_{A1} 及び X_{B2} とすると、式(1)より次式が示される。

$$\frac{X_{A2}}{X_{A1}} = \left(\frac{\ell_1}{\ell_2} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

同様に、付着面積 a_1 及び a_2 をもつボルトの引抜き強度 X_{B1} 及び X_{B2} とすると式(1)より次式が示される。

$$\frac{X_{B2}}{X_{B1}} = \left\{ \frac{\log(1 - 0.5^{\frac{1}{m}})}{\log(1 - 0.5^{\frac{1}{m}})} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

ここに、 m はいわゆるワイブル分布における均一性係数と呼ばれるものであるが、本実験では $m=5.0$ を用いた。また各定数の値を表-2に示す。これらの所定数を用いて、式(2)及び式(3)より、強度の低下の計算結果を図-2、図-3に示す。これから明らかなように、計算値と実験値を比較すると、Aシリーズ及びBシリーズともに、ボルトの直径、付着長さが小さい $\phi 6$ 、5cm附近において計算値よりも実験値の方が強度低下の傾向が著しい。一方、ボルトの直径及び付着長さが増加するにつれて、計算値と実験値は、ほぼ一致している。以上の結果から、ボルトの直径がある程度小さくなると、最弱リンク説が適用できないものと考えられる。すなわち、最弱リンクモデルの限界寸法であるといえる。また、同一付着面積において、ボルトの強度を得るためには、ボルトの直径を小さくし付着長さを増すよりも、ボルトの直径を大きくして付着長さを減少させた方が強度に及ぼす影響が大きいことは、注目すべきことである。

4. まとめ

- 1). 単一のロックボルトの引抜き実験を行なった結果、石膏を用いた実験と同様に寸法効果が現われた。
- 2). 本報告で用いた計算式(最弱リンク説)は、ボルトの直径及び付着長さが増すほどよく実験値に当てはまることから、ボルトの直径及び付着長さが大きい場合において、ボルトの強度をある程度推定できると考えられる。
- 3). 今後の課題として、本実験においては単一ロックボルトによる引抜き実験を行なったが、複数のロックボルトを模擬岩盤に挿入した場合についての引抜き実験を行なうと同時に、ストレインゲージをロックボルトに貼付し、歪分布、せん断力分布を把握する必要がある。すなわち、ボルト自身が実際に抵抗しうる領域を明確に知ることができると思われる。

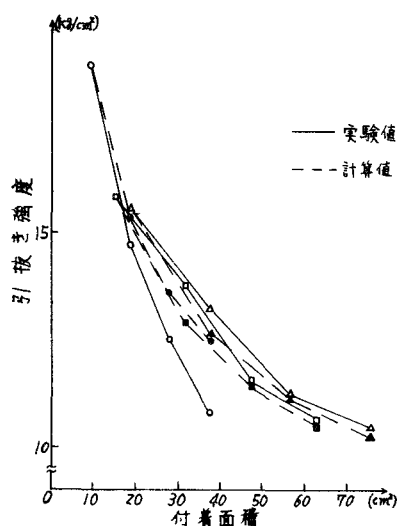


図-2 引抜き強度の関係(Aシリーズ)

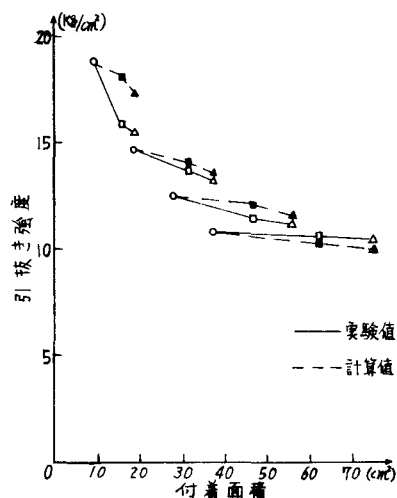


図-3 引抜き強度の関係(Bシリーズ)