

株能谷組技術研究所 正員 大塚本夫
同 同 上野正高
同 同 〇研高伸一

1. はじめに

最近、特に膨張性地山や軟弱地山におけるトンネルの一互保手段として、全面接着型のロックボルトが用いられ、その効果が注目されている。ロックボルトは、既けコンクリートとともに、NATM(新アーストリアトンネル工法)の重要支保メンバーであり、上野新幹線中込トンネル等では、膨張性地山の克服に成功をみせている。本報文では、ロックボルトの地山への適用性及び品質管理のために行なわれている、最も基本的な試験方法である引抜試験に対して考察し、さらに実際の地山に埋め込まれたロックボルトの挙動と比較し、検討を加えたものである。

2. 引抜試験

ロックボルトの引抜試験は、ロックボルトの適用性を和らぐために最も基本的かつ簡便な方法である。ロックボルトの頂部にセンターホール型ジャッキとタチルゲージを取り付け、荷重-変位曲線を描くことにより、ロックボルトの引抜抵抗の特性を和らぐことができる。Fig-1K、実際に実施された荷重-変位曲線の一例を示す。

ここでは、一つの試みとして、ロックボルトに溝を切り、Fig-2に示すように、ひずみゲージを貼付け、引抜試験時のロックボルトのひずみ(軸力)の分布状態を測定し、Fig-3(a)に示すものが、引抜試験時の各載荷荷重に対するロックボルトのひずみの分布状態である。引抜強度を増加させるために、荷重-変位曲線が変化することから、この試験結果の場合、ボルト頂部付近は、ひずみの分布が一定となり、変化していない。この直線区間は、地山が完全にゆるむが、接着が完全でないため地山との抵抗がえられていない部分であると考えられる。

Fig-4のように、ロックボルトの微小区間をとり出し、力のつり合いを考えると、(1)式がえられる。

$$\sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4} + d \cdot \pi \cdot dx \cdot \tau = (\sigma + d\sigma) \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

(d) ロックボルトの直線

Fig-4. ロックボルトの微小区間

$$\sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4} + d \cdot \pi \cdot dx \cdot \tau - (\sigma + d\sigma) \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0 \quad (1)$$

(1)式より、せん断応力を求める、(2)式がえられる。

$$\tau = \frac{d\sigma}{dx} \cdot \frac{d}{4} \quad (2)$$

(2)式において、フックの法則 $d\sigma/dx = E \cdot d\varepsilon/dx$ なる関係を代入すると、

$$\tau = \frac{d\varepsilon}{dx} \cdot \frac{d}{4} \cdot E \quad (3)$$

がえられる。(3)式によれば、せん断応力では、ひずみの勾配と比例関係に

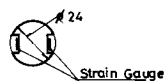
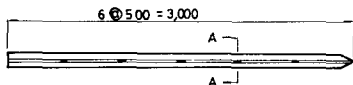
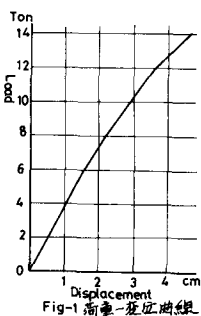


Fig-2 Strain Gauge付ロックボルト

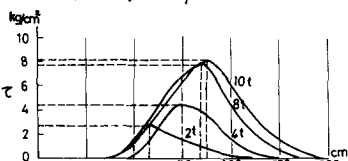
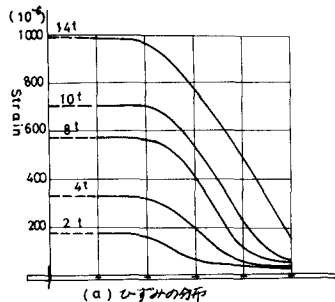


Fig-3 引抜試験時の挙動

あることがわかる。Fig.3(b)は、(3)式の実係より、Fig-3(a)のひずみ分布図から、ボルトのせん断応力分布を求めたものである。この図から、最大せん断応力の発生する位置が、各引板荷重別に求まる。トンネル壁面をA、最大せん断応力の発生する点をB、ロックボルトの先端をCとすると、A-B間を非抵抗領域、B-C間を抵抗領域と呼ぶことができる。ロックボルトの全長に對して、B-C間の抵抗領域が長いほど、ロックボルトの容量が大きいといえる。

3. 実際の地山に埋め込まれたロックボルトの挙動

実際の地山内に打ち込まれたロックボルトの作用効果を調べる

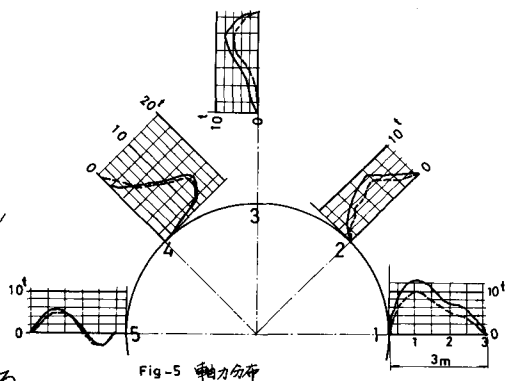


Fig-5 軸力分布

ために、2.と同様に、Fig-2に示したひずみゲージにロックボルトをトンネル上半部に5本設置した。Fig-5は、打ち込み位置と、ロックボルト打ち込み後、3日、7日経過した時の、各ロックボルトの軸力分布状況を示したものである。Fig-6(a)は、No.1のロックボルトの7日後のひずみの分布を書き出したものである。ひずみをロックボルトの先端から逐次積分することにより、ロックボルトの変形を求めることができる。Fig-6(b)は、Fig-6(a)より、ロックボルトの変形を求めたものである。もし、地山とロックボルトが完全に密着しているものとすれば、地山の变形は、ロックボルトの変形曲線と相似形になっていると考えられる。すなわち、ロックボルトのひずみ分布を知ることで、地山の变形状態も推定可能と思われる。

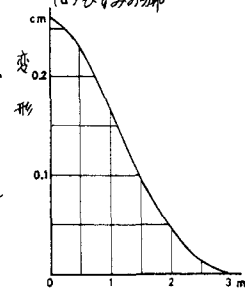
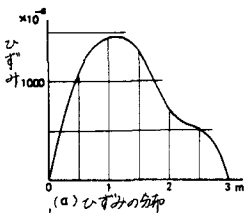


Fig-6 実際の地山に埋め込まれたロックボルトの挙動

4. 引板試験時の挙動と実際の地山内での挙動の比較

ロックボルトの引板試験結果と実際の地山に埋め込まれたロックボルトの測定結果と比較してみよう。2.および3.で試験したロックボルトは同一のものでなく、同一地山に施工されたものでもない。また、引板試験時の挙動と実際の地山での挙動が、どのような関係にあるかは、明確ではないが、引板試験時のひずみの分布 (Fig-3(a)) と実際の地山での変形状態は、比較的に似ている。また、引板試験時のせん断応力分布 (Fig-3(b)) と実際の地山でのひずみ分布 (Fig-6(a)) も似ているといえる。さらに、引板試験時のせん断応力は、その時のひずみ分布を微分することによってえられるものであり、かつまた、実際に埋め込まれたロックボルトの変位曲線も、その時のひずみを積分することによってえられるものである。以上のことを考えあわせると、ロックボルトの引板時の挙動と実際に埋め込まれた場合との関係が明らかになり、引板試験時のひずみ分布と実際の地山でのロックボルトの変形曲線が相似関係にあったとすれば、ロックボルトの引板試験を実施することにより、早期にロックボルトの軸力分布を推定することができ、ロックボルトの適用性の判定が容易に可能となるとと思われる。

5. まとめ

- 1) 全面接着型のロックボルトにひずみゲージを貼付し、引板試験を行い、ひずみ分布、せん断応力分布を求めた。せん断応力のピーク位置から、ロックボルト先端の間隔、ボルトと実際に抵抗している領域と考えられ、この長さや長いほど、ロックボルトの容量が大きいといえる。
- 2) 実際の地山に埋め込まれたロックボルトのひずみの分布を測定した。ひずみの分布よりロックボルトの変形を求めたことにより、実際の地山の变形状態も推定可能である。
- 3) 引板試験時のロックボルトおよび地山の挙動と、実際の地山でのロックボルトの挙動との関係が明確になれば、引板試験を行うことにより、容易に、ロックボルトの適用性を判定することが可能である。
- 4) ロックボルトの試験方法およびその解析方法については、いまだ確立されたものがないのが現状であり、今後、明確な方法が確立し、標準化していく必要があると思われる。