

(株)熊谷組技術研究所 正会員 大塚 本夫

上野 正高

○松尾 勉

1 はじめに ロックボルトの設計を行う場合に、計測結果から得られるロックボルトの挙動をできるだけ取り入れた設計が望ましい。ここでは、トンネル荷重に対するトンネル周辺のゆるみ領域、ロックボルトに作用する軸力、ロックボルト長等を考慮に入れたロックボルトの設計法について考察した。

2 ロックボルトのゆるみ領域と軸力分布

ロックボルトの引抜試験を行うと、Fig-1 (a) のようなせん断力がロックボルトと地山間に作用する。実際に測定されるロックボルトの軸力およびせん断力分布は、Fig-1 (b) のようになっている。ロックボルトと地山間のせん断力は、Fig-1 (c) のように示すことができる。Fig-1 の結果によって、せん断力の変化する境界が、ゆるみ領域 (I) とまだゆるまない領域 (II) の境界条件になる。この境界では、ロックボルトは単に引抜試験を行なったものと同様な結果になる。

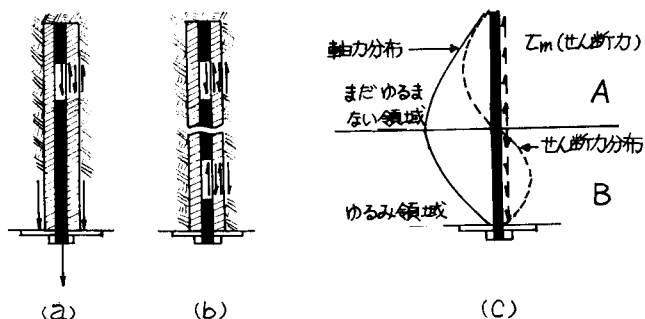


Fig-1 ロックボルトと地山間のせん断力

したがって、まだゆるんでいない領域にあるロックボルトの軸力およびせん断力を考察すると、Fig-2 のようなものを考えることができる。軸力 T_p に、せん断力分布をパラボラ分布と考えその最大値を Z_{max} とすると、(1) 式で示されるものとなる。

$$T_p = \pi d \left(\frac{2}{3} Z_{max} \cdot l \right)$$

ただし、 T_p : ロックボルトの軸力

π : 円周率

d : ロックボルトの直径

Z_{max} : せん断力の最大値

l : まだゆるんでいない領域のロックボルト長

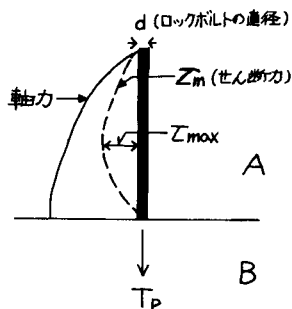


Fig-2 ロックボルトの引抜荷重 T_p と付着力 Z_{max} の関係

地山内のロックボルトの軸力分布を求め分布を微分することにより、せん断力分布が得られ、せん断力の最大値とゆるみ領域と推定することが可能である。

3. ロックボルトの設計法のモデル化 ロックボルトの設計法としては、ロックボルトの直径、長さ、打込のピッチ (配置)、ロックボルトと地山のせん断力の関係とゆるみ領域を考慮した設計法が望ましい。そこで、Fig-3 に示すようなモデルを考えた。設計モデルはトンネル荷重を推定し、トンネル構造物に半分、ロックボルトに半分を負担させるものとし、ロックボルトと地山の付着については、バネ拘束を考え、しかもゆるみ領域とまだゆるまない領域を考え、ロックボルトに作用する荷重は、ゆるみ領域の各節点にしか作用しないものとした。また、トンネル周辺の拘束力としては、バネ支点を考え、地盤反力を合わせて考慮したモデルを考えた。

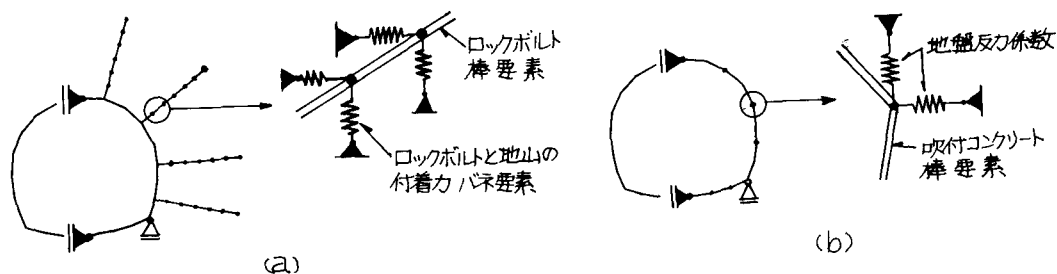


Fig-3 設計モデル (a) ロックボルトを用いたモデル (b) ロックボルトを用いないモデル

4 数値計算

Fig-4(a)は、トンネル断面(半径 $R = 2.5\text{ m}$)、ロックボルト直径 24 mm 、長さ 3 m 、ゆるみ領域をトンネル壁面より 1 m あるものとし、ロックボルトを半断面4本用い、トンネル荷重を垂直 20 t/m^2 、水平 40 t/m^2 が作用

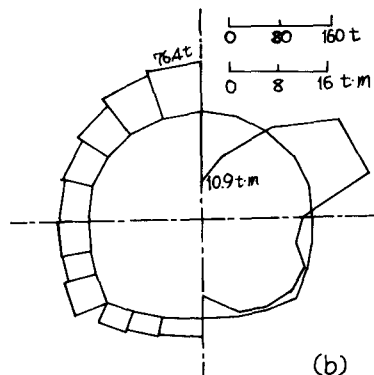
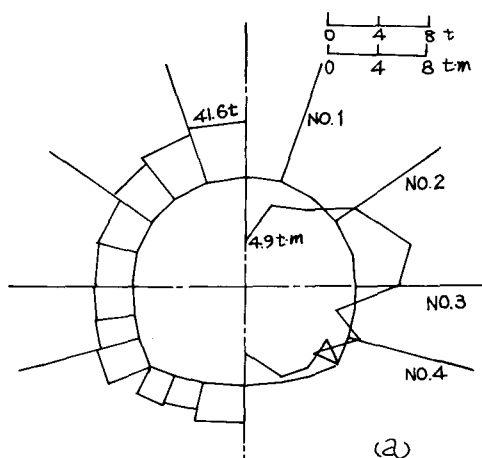


Fig-4 計算結果 (a) ロックボルトを用いた場合 (b) ロックボルトを用いない場合

しているものについての結果である。比較のため、ロックボルトを用いない場合の結果を Fig-4(b) に示す。

Fig-4(a) および(b)について比較すると、ロックボルトがないモデルでは、最大曲げモーメントは 10.9 t であるが、ロックボルトを施工した Fig-4(a)のモデルでは、最大曲げモーメントは、 4.9 t で、約半分以下になる。ロックボルトの軸力は、最大 4.9 t で、降伏荷重を 20 t とするとかなりまだ余裕があることが明らかである。

また、名々のボルトの軸力分布は、Fig-5の(a)~(d)に示す。

5 結論

ゆるみ領域を考慮したロックボルトの設計法について考察したが、いわゆるの研究結果では、まだ実験との比較において、傾向は満足できるが十分とはいえない状態である。この原因は、ロックボルトに対するものと吹付けコンクリートとの荷重の負担率がまだ明確でないためと思われる。計算モデルでは、荷重の半分ずつを吹付けコンクリートとロックボルトが負担し連動するように考慮したが、ロックボルトに作用する荷重を計算結果等から考えて、もう少し多くする必要があると思われる。

参考文献 M. Al-Hussaini & E.B. Perry : Field experiment of reinforced earth wall, Journal, GE, ASCE, 1978.3, P310.

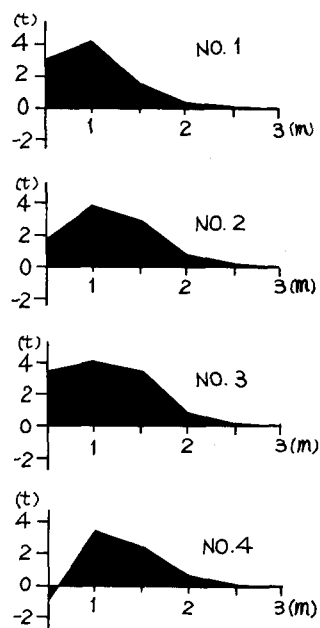


Fig-5 ロックボルトの軸力分布