

III-225

ロックボルトの効果の評価について

日本鉄道建設公団 正 堀内 義朗
正 木村 宏

はじめに

トンネルや地下空洞の工事をはじめとし、斜面の安定工としてもロックボルトと吹付けコンクリートの利用が積極的に推進されているが、ロックボルトの効果を実施工の状況から定量的に評価することは、なかなか難しい現状にあると思われる。ロックボルトは、施工途中で、本数、長さ、径等を自由に変更できるので、施工途中でその効果を的確に把握することは、合理的な支保の施工にとって非常に重要なことである。

一般に、ロックボルトの支保効果は、設計上数量的に見積られることは少ない。そのためか、施工されたロックボルトの効果を確認する方法も、ロックボルトが所定の付着力で地山に接合されているか、あるいは、ロックボルトに発生するひずみ分布形状から量的に、または、定性的に、その効果を評価することが行われているにすぎない。本文では、後者の評価方法を改良し、全面接着式ロックボルトのトンネル支保効果を、ひずみ分布形状も考慮した形でトンネル支保内圧として評価する手法を提案する。

1 評価の基本的考え方

全面接着式ロックボルトと地山の間力の伝達は、FarmerやFreemanの研究からもわかるように、主として、定着材を介したロックボルトと地山のせん断力によって行われている。ロックボルトの曲げ成分を取り除いたひずみ分布(軸ひずみ分布という)は、このロックボルトと地山の間に作用するせん断力によって発生するもので、ひずみ分布を知ることにより、次式から作用しているせん断力の大きさを知ることができる(図-1)。

$$\tau(r) = \frac{a}{2} \times \frac{d\sigma}{dr} \quad \begin{array}{l} \text{ここに } \tau; r \text{ の位置におけるせん断力} \\ \sigma; \text{ロックボルトの軸応力} \\ a; \text{ロックボルトの半径} \end{array}$$

このせん断力は、ベアリングプレートを通じて地山に対して力を伝達し、地山の変形を拘束するほか、ロックボルトの各部分で、その周辺地山内応力に影響を与え、地山内変位の拘束、あるいは、促進の二つの作用を行う。一般に見られるベアリングプレートの変状やナット部の破断は前者によるものである。

したがって、ここで提案する手法は、現場で測定されたロックボルトの軸ひずみ分布から、この二つの作用を分離し、ロックボルトがトンネル内壁の変形を抑止するのと同等のトンネル内壁での内圧として換算することにより、ロックボルトの支保効果を評価しようとするものである。しかし、ここでは、ロックボルトが湾曲することによって地山に及ぼす効果については考慮していない。

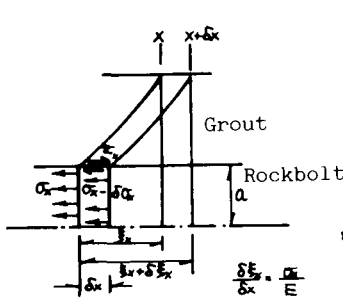


Fig. 1 Stress situation in a grouted anchor

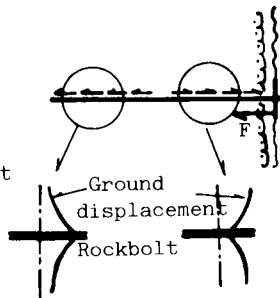


Fig. 2 Force equilibrium between ground and rockbolt

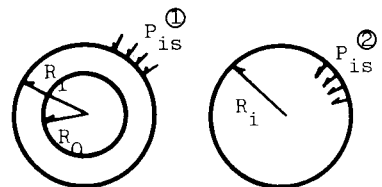


Fig. 3 Equivalent radial pressure by rockbolt in ground

2 内圧換算の方法

(1) ベアリングプレートを通じて地山に伝達される力の内圧化

ロックボルト上における地山とロックボルト軸方向の力の釣り合いは、図-2に示すとおりで、次式で表される。 $\sum 2 \pi a \tau - F = 0$

ここで、 $\sum 2 \pi a \tau$ は地山からロックボルトに作用するせん断力の総和、 F はベアリングプレートを通じて地山に伝達される力である。したがって、ベアリングプレートを通じて地山に伝達される力は、軸ひずみから得られたせん断力の総和に等しい。

この力は、ロックボルト一本が負担するトンネル壁面の面積で平均化することにより、次式により内圧換算値(P_{iB})とする。

$$P_{iB} = \frac{F}{R_O \times \theta \times b} = \frac{\sum \tau}{R_O \times \theta \times b} \quad \begin{array}{l} \text{ここに } R_O ; \text{トンネル半径} \\ \theta ; \text{ロックボルト打設ピッチ (横断)} \\ b ; \text{ロックボルト打設ピッチ (縦断)} \end{array}$$

(2) ロックボルトの各部分でその周辺地山に対して作用する力の内圧化

ロックボルト同志で囲まれた地山の一部分を取り出して考えると、ロックボルトがあることにより、図-2に示すように、地山の半径方向の変位が拘束されるか、あるいは、促進されることになる。このせん断力($\tau(r)$)は、次式によりロックボルトの負担する地山面積で平均化し、これをトンネル中心から r の位置における内圧 P_{is} とする。

$$P_{is} = \frac{\tau(r)}{r \times \theta \times b} \quad \begin{array}{l} \text{ここに } \tau(r) ; \text{トンネル中心から } r \text{ の距離においてロック} \\ \text{ボルトから地山に作用するせん断力} \end{array}$$

いま、 $r = R_i$ の点を考える。 P_{is} は、図-3に示すように、その地点($r = R_i$)から内側のリングに作用する力 $P_{is①}$ と $r = R_i$ から外側の地山に作用する力 $P_{is②}$ から成っていると考える。地山を等方弾性体と考えて、 $r = R_i$ での変位が連続であるとする、

$$P_{is} = P_{is①} + P_{is②}$$

$$P_{is①} = \frac{R_i \times R_i - R_O \times R_O}{2 \times (1 - \nu) \times R_i \times R_i} \times P_{is} \quad \begin{array}{l} \text{ここに } \nu ; \text{地山のポアソン比} \end{array}$$

となる。さらに、この $P_{is①}$ によって内側のリングの内壁が変位する量と同じ変位量を発生させる内壁からの内圧(P_{is}')は、次式のようになる。

$$P_{is}' = \frac{R_i \times R_i - R_O \times R_O}{(1 - 2\nu) \times R_O \times R_O + R_i \times R_i} \times P_{is}$$

(3) ロックボルトの効果と等価なトンネル内壁に作用する内圧(P_i)

(1) および(2)よりロックボルトの効果と等価なトンネル内壁の変位を生むトンネル内壁に作用する内圧は、 P_{iB} と P_{is}' の和となり、次式で表される。

$$P_i = P_{iB} + P_{is}'$$

参考文献

- 1) Farmer I.W.; Stress distribution along a resin grouted rock anchor, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Vol. 12, pp.347-351, 1975
- 2) Freeman T.J.; The behaviour of fully-bonded rock bolts in the Kielder Experimental tunnel, Tunnels & Tunnelling, June, pp.37-40, 1978