

III-134 トンネル・ルーフボルトについて

大阪大学工学部 正 員 伊 藤 冨 雄

大阪大学工学部 正 員 藤 井 清 司

大阪大学大学院 学生員 上 阪 恒 雄

はじめに 本研究は最近トンネル支保工の一種として次第に注目されるようになってきたルーフボルトについて、それを設置する地山内の応力状態をO.C.Zienkiewiczの提唱したNo-tension法^{*}で解析し、弾性解と、引張応力を開放した結果の解を知ってルーフボルトの効果的設置の基礎を得ようとするものである。トンネルの形状としては、円形、四辺形、馬蹄形とする。円形は半径5mの円、四辺形は一边10mの正方形、馬蹄形は上部が半径5mの半円と四辺形の下半部を組み合わせた形である。

解析条件 上の断面のトンネル中心が、密度 20 kg/cm^3 、弾性係数 $1.06 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、1)ポアソン比0.31の地山地表面下 $H=135 \text{ m}$ 、2)同じく $H=235 \text{ m}$ 、3)ポアソン比0.2、 $H=135 \text{ m}$ 、にある場合の3ケースについて解析する。なお、側圧係数はポアソン比 ν と $k=\nu/(1-\nu)$ より、1),2)で $k=0.45$ 、3)で $k=0.25$ とする。これらの形状をA,B,Cとし、Hとkの組み合わせを1,2,3として有限要素法で解析したものを次頁図のような記号で表わす。円形、四辺形は、鉛直、水平中心線に対し右上四分の一を一边35mの正方形とし、また、馬蹄形は上記を組み合わせた形の鉛直中心線に対し右半分を解析する。円、四辺形で要素数284、節点数166、馬蹄形で各々その約2倍である。No-tension法の繰り返し回数はFACOM-230-60でCPU-time 20分を限度とし、円、四辺形で13~14回、馬蹄形で6~7回である。

解析結果 解析結果として次頁の図が描ける。これらは、大きい方の主応力が引張応力となる範囲(引張応力としての値は 0.001 kg/cm^2 も含むので、換言すれば、圧縮応力でない範囲)を、弾性解の場合を実線、第一回目の引張応力の開放によりなおかつ引張となる所を破線で、六回目の開放の結果を一点鎖線で表わす。また、斜線部は、円形、四辺形の形状線にそう接線方向の応力(例えば、円形では σ_θ)が引張となる領域であり、左下斜線は弾性解、右下斜線は六回目の開放後の結果を表わす。ただし、C-2、C-3はこの計算がなされていない。次に、引張応力の解析値について述べると、円形では、A-1で弾性解の最大値は天端中心に 6.4 kg/cm^2 、A-2では同じ位置に 13.9 kg/cm^2 である。A-1は応力開放を行うと、最大値の位置は水平と約 50° の線と交わる位置に移り、中央部は値が小さいながら圧縮領域にかわる。引張領域内の値はだんだん小さくなるが領域としては残る。A-2では開放後、中央部の一部分に引張最大値 7.5 kg/cm^2 がほとんど変らず残るが、その周辺は急に小さな 10^{-1} オーダーの引張応力値を示す。A-3の最大値は弾性解で中央部に 5.8 kg/cm^2 現われ、開放とともに水平と 60° の線と交わる位置に動くが、繰り返し5回の開放で収束し、圧縮でない領域として一点鎖線で囲んだ領域が残る。結果として、側圧係数が大きいと、引張最大値も小さく、開放とともにその位置が移動するとともに、領域内の引張応力も小さくなる。側圧係数が小さいと、引張最大値が大きく、最後までかなりの引張応力があり、引張領域が非常に大きくなる。四辺形の場合、B-1で弾性解の時、最大引張応力は天端中央部 11.4 kg/cm^2 、側壁部で上から $1/6$ の位置に 5.0 kg/cm^2 現われる。これを開放すると、天端部では中央部より少し移動した所に 7.9 kg/cm^2 の引張応力があり分布は円形と同じになる。側壁部では 10^{-1}

オーガーの引張応力となりほぼ収束する。B-2では、弾性解で天端中央部に 20.4 kg/cm^2 の最大引張応力が繰り返しとともに移動して 8.1 kg/cm^2 の応力値になる。側壁部ではB-1に比較して側圧係数が小さいための影響が現われて、弾性解による最大引張応力は上から1/4の位置に 2.3 kg/cm^2 が現われ開放を繰り返すと収束して、値も傾域も小さくなる。一方、天端部では傾域が非常に広い。B-3では、弾性解で最大引張応力は天端部で 14.0 kg/cm^2 、側壁部で 6.0 kg/cm^2 現われるが、応力開放後は天端で最大値も 8.0 kg/cm^2 となりB-1によく似た傾向を示す。引張傾域の広がりもB-1より少ない。最後に馬蹄形については、円形と四辺形をそのまゝ連結したものと考えてよい。ただ、円形から四辺形のつなぎ目で、二つの形の影響が現われているが、側圧係数の小さいC-2では、四辺形の影響は円形部に及ぼさず、C-1、C-3の側圧係数の大きいものは円形部に四辺形の影響が現われる。結局、側圧係数による天端部の引張傾域への影響は円形と同じであるが、鉛直側壁部では、その影響は逆である。

まとめ 上述した解析結果は、弾性解と、それによって生じた引張応力の開放の状態である。

ループボルトの定着位置の決定にあたり、地山材料の性質によっては、引張傾域が半径の1.4倍の深部にいたることがある。

また、図に斜線で示したトネル断面形の持続方向の応力、すなわち、ボルト定着に寄与する応力が引張となる。鉛直壁面をもつ断面では、天端形状により側方の引張傾域に影響が現われ天端が円形になると引張傾域深さは約半分となる。結論としては、地山の側圧係数を正確に与えることが重要である。今後ループボルトによりプレストレスをかけた天端を一体構造とした時の解析に進みたい。なお、この計算は京大大型計算機センターFACOM 230-60で行われた。

*) O.C. Zienkiewicz, S. Valliappan, I.P. King: "Stress Analysis of Rock as a No Tension Material", Géotechnique Vol.18, 1968, PP.56~66.

—— 弾性解による引張傾域
—— 6回目

