

III-268

吹付けコンクリートとロックボルトで支保されたトンネルの安全率と支保効率

筑波大学 正員 西岡 隆
鹿島建設 藤岡那博

トンネル周辺地山の安定性は、地山内に生じる形状弾性ひずみエネルギーによって判定することができる。トンネルの掘削によって、地山内に発生する形状弾性ひずみエネルギーが、本来地山が蓄えることができる形状弾性ひずみエネルギーの限界値よりも少なければ、地山は破壊することはない安定である。このような考え方をを用いれば、トンネル掘削時の地山の安定性を合理的に判定することが出来るばかりでなく、従来あいまいであったさまざまな現象を統一的に解釈することができる。これらの詳細については、文末の参考文献に述べられているが、この文献では、トンネルを解析的に取り扱っているため、円形トンネル以外のトンネル形状や、局所的な条件、施工順序等を取り扱うことはできない。ここでは、有限要素法を用いることによって、より現実に近いトンネルを解析し、トンネル各部位における吹付けコンクリートとロックボルトの支保の効率や地山の安全率について検討した。

多くの実験事実によれば、物質の降伏は体積変化ではなく、形状変化によっている。すなわち、形状変化によって物質中に発生する形状弾性ひずみ(偏差ひずみ)エネルギー U_s がある限界値に達すると降伏が始まる。この限界値 $\bar{U}_s$ の与え方は降伏条件によって異なっている。地山の挙動を比較的合理的に説明できる降伏条件は、地中の拘束圧である平均応力の関数で与えられる。ここでは DRUCKER-PRAGER の降伏条件を用いている。

地山が蓄えることができる形状弾性ひずみエネルギーを $\bar{U}_s$ 、掘削後無支保の状態を維持した場合に発生するエネルギーを U_N 、支保した時に地山に生じるエネルギーを U_T とすれば、地山の安全性を判定する指標として、

$$\text{安全率} = \sqrt{(\bar{U}_s - U_T + U_N) / U_N}$$

$$\text{支保効率} = \sqrt{(U_N - U_T) / U_N}$$

が定義される。吹付けコンクリートやロックボルトなどでトンネルを支保したとき、地山に発生する形状弾性ひずみエネルギー U_T が、無支保の状態でのエネルギー U_N と変わらなければ、 $U_N - U_T = 0$ となって、地山の安全率は $\bar{U}_s$ と U_N の大小関係で決定される。また、この

支保の安全率

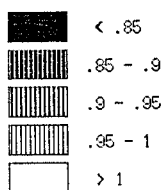


図 1

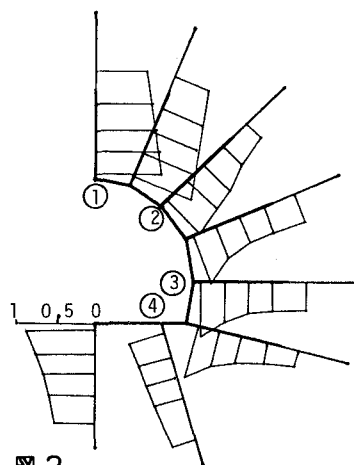
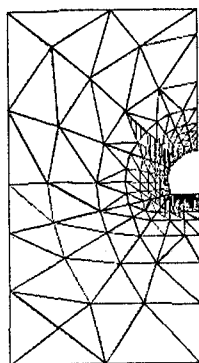


図 2

支保効率の分布

場合の支保効率は0となる。一方、支保によって地山に発生する形状弾性ひずみエネルギーを完全に阻止できれば（ $U_T=0$ ）、安全率は常に1よりも大きな値となり、支保効率は1となる。現実のトンネルでは $U_T=0$ にすることはできないから、支保効率は1と0の間の値をとる。

図1は有限要素法による計算結果の一例で、吹付けコンクリートとロックボルトによって支保された土被り35mの複線鉄道トンネルでの地山の安全率を表している。ロックボルトは棒要素に置き換えている。計算は現場での施工管理に用いることができるように、パーソナル・コンピュータに依っている。入力データは、地山の粘着力比 $2C/S$ （鉛直土圧に対する地山の粘着力の比）、内部摩擦角 ϕ 、地山の变形係数 E_R 、単位体積重量 w 、側圧係数 k 、吹付けコンクリート厚 t および弾性係数 E_C 、ロックボルトの位置および弾性係数 E_S である。図2は ロックボルトのパターンを図中の太線で示すように取り、地山の粘着力比が $2C/S=.15$ 、内部摩擦角が 35° の場合におけるトンネル周辺地山の支保効率の分布を示している。図3は地山の变形係数と安全率の関係を示したものである。横軸は吹付けコンクリートの弾性係数に対する地山の变形係数の比で示している。図中①②③④は図2に示すトンネル外壁での各位置を表している。この図から、吹付けコンクリートとロックボルトを用いて地山を支保する場合、その効果が期待されるのは变形係数の比が 10^{-2} 程度以下の地山であること、天端、底盤、側壁での安全率の分布が異なること、天端での安全率が最も高いことなどがわかる。図4は吹付けコンクリートとロックボルトの効果をより明確にするために、吹付けコンクリート+ロックボルト、吹付けコンクリートのみのそれぞれの場合について支保効率を示したものである。この図によれば、このロックボルトのパターンでは、トンネル天端での支保効率は必ずしも高くはないこと。天端を除いてロックボルトの効果はほとんど期待できないこと、天端、底盤での支保の効果は側壁とは異なること、斜め45度から側壁にかけての支保効果が最も高いことなどがわかる。

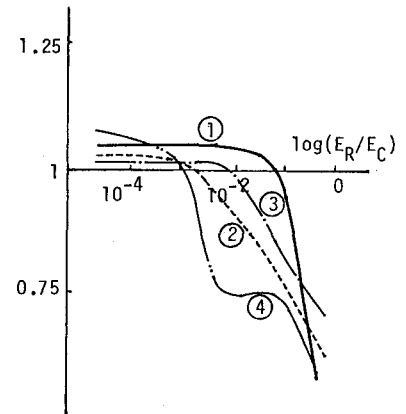


図3 安全率

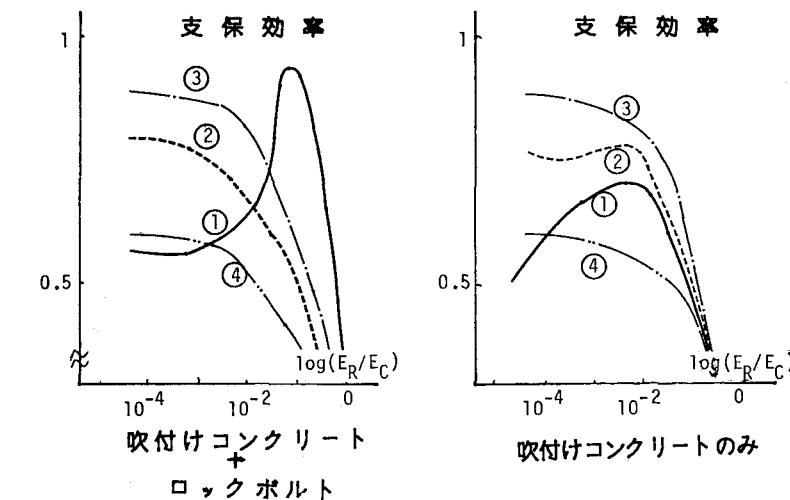


図4 吹付けコンクリートとロックボルトの支保効率

（参考文献） 西岡 隆、
松本嘉司、「形状弾性ひずみエネルギーによるトンネル周辺地山の安定解析」、
土木学会論文集 No.376、
1986.12