

PSVI-5 土被りの薄い未固結地山における先打ちボルト（ルーフボルト）の効果と 施工上の問題点 ——偏平な大断面トンネルでの施工例——

（株）大林組技術研究所 正員 ○山下 幸夫
同 上 正員 藤原 紀夫
北海道開発局旭川開発建設部 佐々木光秋

1. まえがき

トンネルのクラウン部に施工する先打ちボルト（以下、ルーフボルトと呼ぶ）は、通常のシステムロックボルトが掘削面に直角に打設して内圧効果およびアーチ形成効果などを発揮させるのに対して、切羽前方地山に斜め方向に打設して地山を補強し、切羽の安定を図る目的で使用される。特に粘着力の低い未固結な砂礫地山などでは、切羽の崩壊防止のために効果的と思われる。ここでは旭川トンネルでの施工例をもとにして、ルーフボルトの作用効果と施工上の問題点について述べる。

2. 旭川トンネルの概要

旭川トンネルは未固結地山に施工される、延長 860m の道路トンネルである。図-1 にトンネル断面図を示す。切羽の掘削面積は約 100m² と大断面であり、トンネル高さに比べて横幅が大きい偏平な断面形状となっている。地質は第四紀洪積土の十勝溶結凝灰岩に属する砂礫および溶結凝灰岩などから成っているが、溶結構造はほとんど認められず未固結である。しかも土被りが 3.5~35.5 m と薄く、施工中のトンネルの安定性が懸念された。そのため切羽防護を目的とした補助工法として、クラウン部の左右45度の範囲にルーフボルトを打設することにした。ボルトの長さは 3m で鋼製支保工の外周に沿って 0.4 m ピッチで合計 27 本を配置した。打設角度は、図-2 に示すようにトンネル軸線に対して 12 度とした。したがって掘削断面の外周地山には、1 m 幅の掘削毎に常時 3 段のルーフボルトによる防護層が形成されていることになる。

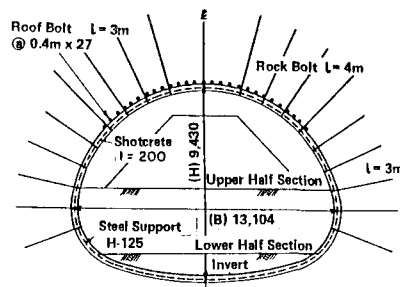


図-1 トンネル掘削断面図（標準）

3. トンネル周辺地山の变形挙動

トンネル掘削時の地山の挙動は土被りの違いによって大きな影響を受ける。当該トンネルでは土被りが 1.0~1.2 D（D はトンネル直径）を境として、これよりも小さい場合、地山内に十分なグランドアーチが形成できず、切羽掘削直後に急激な沈下が生ずることが確認されている¹⁾²⁾

例えば、図-3 は土被り $Z=0.33D$ の断面について、変位の測定結果から逆解析³⁾を行ない、周辺地山のひずみ分布を求めたものである。トンネル直上ではクラウン部から地表面に向けてせん断ひずみの等高線が延びており、グランドアーチが形成できず地山全体がトンネル側に落ちこんでいることが推定できる。トンネル掘削では非常に危険な状態にあると言える。このような区間では、切羽防護も含めて地山の補強対策が必要である。

一方、図-4 は $Z=0.79D$ の断面で測定したシステムロックボルトの軸力分布図を示している。クラウン部から右肩部にかけて圧縮力が発生しており、引張力によって内圧効果を発揮するというロックボルト本来の機能が発揮できていないことが分かる。

4. ルーフボルトの作用効果

トンネル掘削を行なう場合、切羽の近傍は支保工が施工されるまでの間、一時的に素掘りの状態になる。粘着力の低い砂礫地山

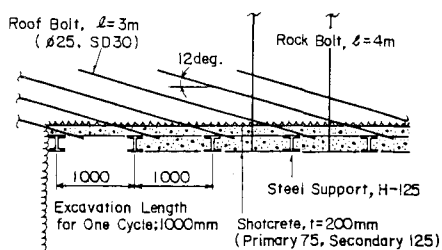


図-2 ルーフボルト配置図

a) SP.1110, (Z/D) = 0.33

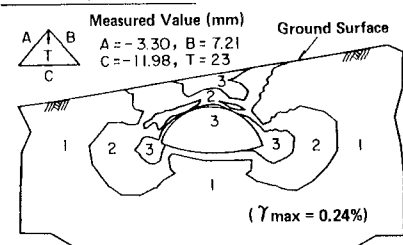


図-3 周辺地山のひずみ分布

では肌落ちが生じやすく、また大規模な崩壊を引き起こす危険性がある。特に土被りの薄い断面では掘削直後に急激な沈下が発生するため注意が必要である。

図-5はルーフボルトの作用効果をトンネル縦断面について模式的に示したものである。地山のせん断抵抗を増大させ、降伏後の残留強度も増やすことができるため、システムロックボルトの場合と同様に地山改良効果が期待できることになる。またルーフボルトに特有の現象として、ボルトの曲げ剛性により切羽近傍の地山の变形を拘束する効果がある。システムロックボルトが主として引張力により内圧効果を発揮するのに比べて、大きな相違点のひとつである。剛性の高い鋼管などを用いることにより、更にこの効果を高めることができる。

図-6はトンネル横断面についての効果を示したものである。ルーフボルトを施工することにより、地盤中にボルトを支点とした短いスパンのアーチが形成され、崩壊を防止する効果がある。また、たとえ崩壊が生じることがあっても微小な肌落ち程度に留め、その被害を最少限度におさえることができる。これもシステムロックボルトにはないルーフボルトに特有の効果である。

5. 施工上の問題点

ルーフボルトを打設することにより、掘削に先がけて切羽前方の地山を補強することができるため、崩壊性の地山に対しても切羽の安定性を高めることが可能である。ただしボルト位置で地山との縁が切れやすく、吹付けコンクリートの施工中に吹付け圧力およびコンクリート重量によって剥落が生じ、図-7に示すように大きな余掘りが発生することが多い。吹付けロスおよび余掘りが多くなることがこの工法の問題点である。ボルトの選定および施工方法も含めて、今後検討を加えて行く必要がある。

6. むすび

本報告では未固結な砂礫地山に施工された旭川トンネルの例をもとに、ルーフボルトの作用効果と施工上の問題点について述べてきた。その結果、ルーフボルトは切羽前方地山の支保機能に優れ、トンネル空洞の安定を図るために重要な役割りを果たしていることが明らかになった。特に土被りが薄い場合、トンネル掘削直後に生じる急激な沈下の発生に対して、吹付けコンクリートの強度不足を補う上からも、極めて効果の高い工法である。

ただルーフボルトは補助工法として位置付けされているため、施工中に計測を行ない、その効果を定量的に評価する機会が少ない。旭川トンネルでも計測は行っていない。今後は都市トンネルへのNATM適用も含めて、未固結地山での施工が増えてくるものと思われる。システムロックボルトとの作用効果比較のためにも、定量的な評価を行なっていくことが必要である。

参考文献：1) Y.Yamashita, T.Fujiwara ; An Example of Measurements on the Behaviors of Oblate and Large Section Tunnel in Unconsolidated Ground., FMGM 2nd International Symposium, April. 1987

2) 山下, 藤原; 土被りの違いによるトンネル周辺地山の变形特性について, 土木学会第41回年講, 1986年11月

3) 桜井, 武内; トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法, 土木学会論文報告集第337号, 1983年9月

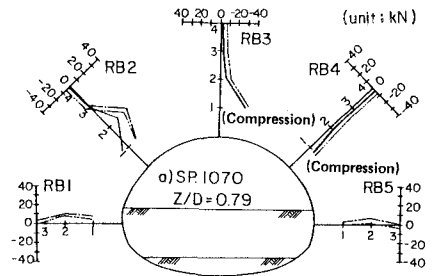


図-4 ロックボルト軸力分布図

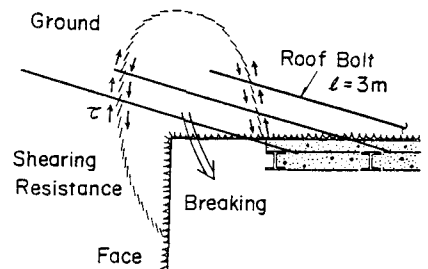


図-5 ルーフボルトの作用効果（縦断）

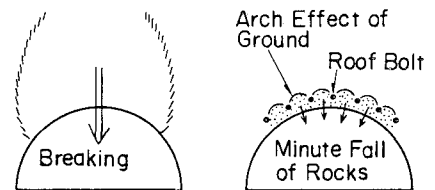


図-6 ルーフボルトの作用効果（横断）

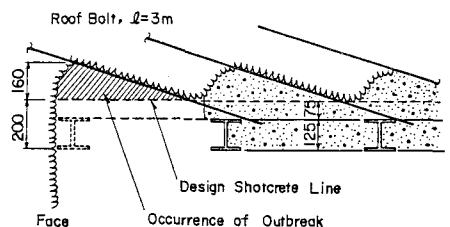


図-7 余掘りの発生