

VI-121 鋼管ロックボルトの未固結地山への適用と実証確認実験

鉄建建設（株）土木研究開発部	正会員	山崎多賀一
同	同	正会員 芝 司朗
同	同	正会員 鈴木輝彦

1. はじめに

トンネルの施工技術の進歩により、最近では現場の施工条件に適した各種のロックボルトが適用されている。しかしながら、現状レベルでいまだ十分に克服できない地山は粘着力の低い未固結な砂礫地山である。このような地山はロックボルトの施工が困難であるばかりでなく、ロックボルトの作用効果である内圧効果およびアーチ形成効果が発揮されにくい。ここでは、従来の鋼製ロックボルトに比べ大きな曲げ剛性を有する鋼管ロックボルトの坂下トンネルでの適用例と、その作用効果の確認実験について述べる。

2. 鋼管ロックボルトの構造と特長

特殊ビットは、図-1に示すように先行ビットと拡張機能を有したウィングビットより構成される。穿孔はロックボルト部分を構成する鋼管パイプをロッドに装着し、ケーシング掘り方式でウィングビットを拡大させながら行う。穿孔後、ビットは鋼管内を通じて回収でき、注入も鋼管周辺に配置した注入用孔より確実な注入が可能である。鋼管ロックボルトの諸元を表-1に示し、その特長を列記すると以下ようになる。

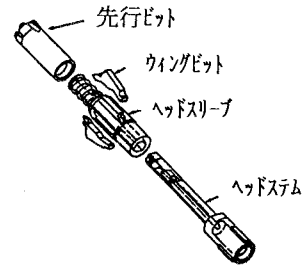


図-1 特殊ビットの構造

- 1) ケーシング掘り方式で穿孔を行う。したがって、孔壁崩壊を起こさず周辺地山を乱すことはない。
- 2) ビットが回収可能な自穿孔タイプのロックボルトである。
- 3) ボルト先端だけではなく周辺からも注入が可能である。
- 4) 曲げ剛性が従来型に比べ10倍以上大きい。

3. 鋼管ロックボルトの作用効果

土被りが薄く、粘着力の低い未固結地山のトンネル坑口部では、一般にフォアパイリングが良く使用されている。これは、支保工が施工されるまでの間、切羽が一時的に素掘り状態になり、グラウンドアーチが形成できず、切羽の崩壊や掘削直後の急激な沈下が起こる可能性が多いので、それを防ぐためである。図-2は、鋼管ロックボルトの作用効果を示したものである。地山の变形を拘束し、緩んだ地山の荷重を周辺の地山に分散させ、切羽近傍の地山を改良させるためには、斜めボルト自体の曲げ抵抗やせん断抵抗の大きいものを使用する方が効果がある。鋼製支保工を支点とした片持ばりを考えるとボルトの曲げ剛性が大きい方が沈下の減少に効果があるのは容易に推定できる。また、すべり面を境にして、緩んだ土塊を堅固な土塊に縫付け周辺の地山を一体化させ、崩壊を最小限にとどめる必要がある。ボルトをせん断補強部材として使用するにあたっては大きなせん断剛性が有利であると思われる。

表-1 鋼管ロックボルトの諸元

項目	単位	測定値
外径	mm	54
肉厚	mm	3.5
断面積	mm ²	555
降伏点荷重	tf	20 以上
曲げ剛性	kgf・cm ²	3.7×10^7

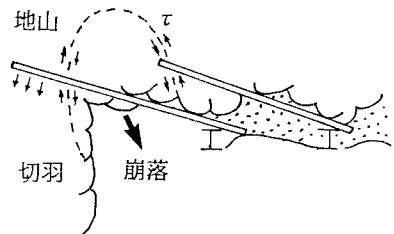


図-2 鋼管ロックボルトの作用効果（縦断面）

4. 実施工への適用

坂下トンネルは未固結地山に施工される延長1491mの道路トンネルである。図-3に坑口部のトンネル断面図を示す。地質は第四紀洪積世の七折板層と塔寺層と呼ばれ、トンネル施工面には礫岩が最も多く出現し、トンネル全体の50%を占めていた。これらの地質は軟質的で固結度が低く無層理・塊状状態を呈しており、坑口部の土被りも部分的に5mと薄く、地盤置換工対策を行ったものの施工中のトンネル切羽前方地山の安定性が懸念された。ロックボルト支保パターン（DⅢa）は、上下半側壁部に長さ4mのシステムボルト8本と鋼製支保工の外周に0.6mピッチで長さ3mのフォアパイリングを19本配置してある。試験施工の主な目的は、鋼管ロックボルトの施工性と引抜耐力の確認であったが、引抜試験の結果は、10tf以上確保でき、さらに肌落ちや切羽面の崩壊などなく十分な地山改良効果が得られた。

5. 実証確認実験

実施工の実証確認および従来型の鋼製ロックボルトとの作用効果比較のためにも実験で定量的な評価をする必要がある。そこでコンクリートブロック（長さ3.5m、幅1.5m、高さ0.9m）を模擬地山にみたと、両者の引抜試験を行ったので報告する。ボルトの種類は、鋼管ボルト（ $\phi 54\text{mm}$ ）と異形棒鋼（D25）の2種類で、ボルト長さは共に3mとした。コンクリートの強度は $\sigma_{28}=400\text{kgf/cm}^2$ とし、ボルト端部での両者の引抜耐力と鋼管ボルトの付着効果の確認実験を行った。

1) ボルトの引抜試験結果

鋼管ボルトと異形棒鋼の引抜荷重～変位の関係を図-4、5に示す。図でも明かなように、鋼管ボルトの場合、一例を除き完全弾塑性的な挙動を示すが、異形棒鋼の場合は、降伏点を過ぎても延性的な挙動を示すことがわかる。これは、鉄筋のふし効果が寄与しているものと思われる。しかしながら、鋼管ボルトの降伏点は、14tf以上確保できておりシステムボルトに要求される内圧効果を減ずるものではないことが確認できた。

2) 鋼管ボルトの付着試験結果

鋼管ボルトの端部から、0.5m、1.25m、2.0m、2.5mの位置にストレインゲージを貼り、引抜荷重～ひずみの関係を求めたものが図-6である。各荷重レベルでひずみが平行に増大し、約9tf～10tfで鋼管先端にひずみがあらわれるので、付着効果も良好であった。

6. あとがき

特殊なビットを有する鋼管ロックボルトの実施工への例をもとに、その作用効果と実証確認実験の結果から鋼管ロックボルトは、土被りの薄い未固結な土砂地山に特に有効なボルトと思われる。今回は、従来型のボルトとの比較実験をおこなったが、今後は切羽近傍での鋼管ロックボルト特有の補強メカニズムなどの定量的把握実験も併せて行なっていくつもりである。

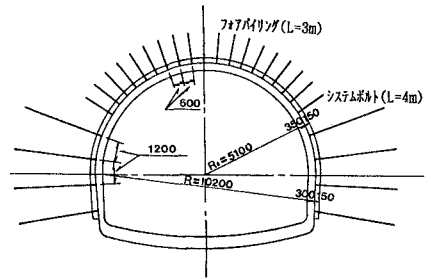


図-3 坑口のトンネル断面図

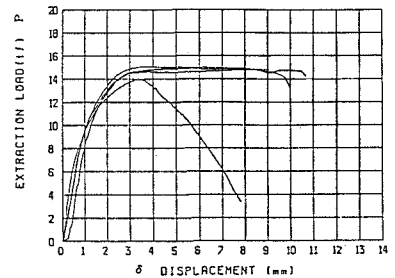


図-4 引抜荷重と変位の関係
(鋼管ボルト $\phi 54$)

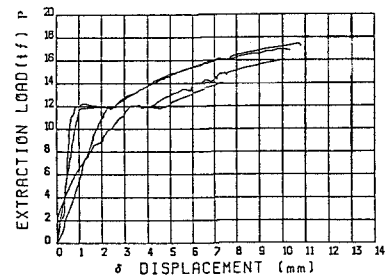


図-5 引抜荷重と変位の関係
(异形棒鋼 D25)

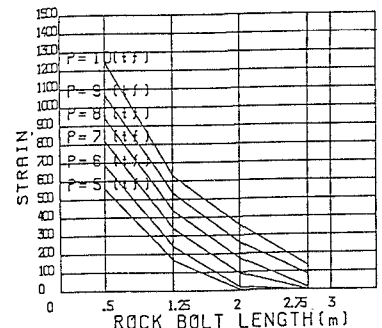


図-6 引抜荷重と測点間のひずみの関係
(鋼管ボルト $\phi 54$)