

# 軟弱地山における先行緩み測定結果と長尺鏡ボルトの効果について

大成建設（株） 関西支店 正会員 足達 康軌  
 大成建設（株） 関西支店 正会員 小川 哲司

## 1.はじめに

近畿自動車道南部工事に於いて、切羽鏡面の安定化対策として長尺鏡ボルト（L=20~24m）をフレキシブルに採用している。支保パターンの剛性強化によりリング状（周面方向）の剛性は高まるが、不良地質下での切羽前方の先行緩み防止には効果がない。そこで、周方向の3倍以上の開放面積である切羽鏡面に長尺鏡ボルトを打設し拘束力を与えて切羽面で三軸応力状態を作り出し、支保パターンと一体化したより強固な支保構造を構築することにより、切羽周辺の先行緩み領域の拡大防止、変位抑滞効果を期待した。

今回、先行緩みの計測結果と長尺鏡ボルトの採用に至った経過について述べる。

## 2.地質

トンネルの位置する紀伊半島の地質は「四万十帯」と呼ばれ、泥質岩（頁岩）が積み重なって地層を形成している「付加体」である。その中でトンネル部は5000~6000万年前に形成された音無川層群に区分されており、頁岩を主としている。性状は固結力がほとんどなく手で簡単に破碎可能であり、自立性の乏しい極めて軟弱な地質が主体である。

## 3.経緯

当初20cm以上の変位・変状に対してはAGF工法（L=12.5m 10~38本 ライニング長9.0m）や上半部仮閉合（H250 25cm吹付コンクリート）を主体とした各種対策工法を用いるとともに、切羽鏡面の自然崩壊に対しては短尺鏡ボルト（L=3~6m）と鏡吹付コンクリート（t=10cm）により対策を講じていた。その状況下で、変位・変状及び切羽鏡面の崩壊を抑制するための新たな支保構造を検討するために、切羽進行に伴う前方地山の先行緩みについて調査を行った。

## 4.先行緩み測定

切羽進行による弾性波速度（P波速度）の低下率を測定するために、切羽鏡面中央部より前方水平方向に硬質塩ビパイプ（114.3 t=6mm）を用いた自穿孔方式によるボーリング（L=30m）を行い、ボーリング孔へ塩ビパイプを存置する。そこへ吊し柿型の孔中受振器（地震計）を挿入し切羽鏡面で打撃を発生させて、切羽前方地質のP波速度を繰り返し測定する。測定結果の図1に示す下

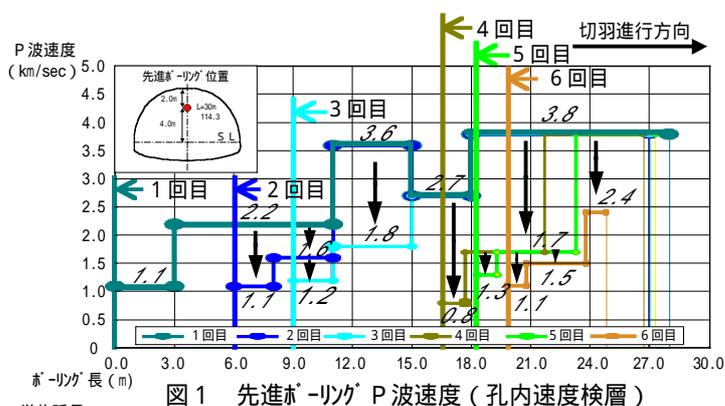


図1 先進ボ-リング P波速度（孔内速度検層）



図2 先進ボ-リング 穿孔時間

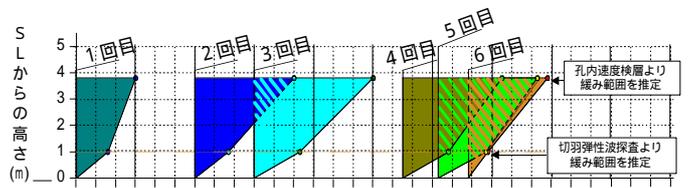


図3 切羽面での緩み範囲

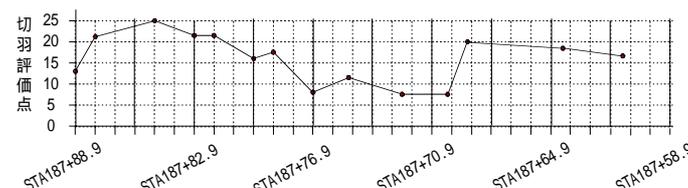


図4 切羽評価点

キーワード：トンネル、NATM、先行緩み、長尺鏡ボルト、切羽鏡面押し出し

連絡先：〒645-0027 和歌山県日高郡南部川村大字西本庄字井領 1246-1 TEL0739-74-8080（FAX8081）

向きの矢印は切羽接近によるP波速度低下を表しており、測線長全体にわたるP波速度低下が認められた。例えば切羽から20～30m位置の地山は、初期P波速度3.8km/secが1.1～1.5km/secまで低下しており、低下率は60～70%と大きい。またP波速度低下は切羽面から6m前後以奥から顕著に生じていることも明らかとなった。

図3は切羽弾性波探査と孔内速度検層の結果より推定した切羽面での先行緩み範囲であり、P波速度低下が確認された境界までの範囲に着色している。この結果からも4～6m以奥まで、緩み発生が認められ、切羽面上部にいくほど緩み範囲が進行方向に拡大した逆三角形を示している。図4の切羽評価点で10点以下の12m～20m区間は、P波速度の低下が著しく切羽面での緩み範囲も大きく生じている（図3・図4）。このような先行緩みが生じる原因は、潜在的な亀裂の多い付加体の頁岩が掘削による応力開放で急激に緩みが進行するためではないかと考えられるが、地質工学的に明確な原因は明らかではない。また図2に示す先進地質確認ボーリング（65裸孔）の穿孔時間とP波速度分布が調和的であるため、簡易な先進ボーリングの穿孔速度から、前方地質の硬軟分布をある程度推定することが可能である。

5.長尺鏡ボルトの採用

この結果より、切羽鏡面に拘束力を与えて先行緩みの発生を抑制するために、鏡吹付コンクリートと長尺鏡ボルトを併用することとした（図5）。計測結果より先行緩み範囲が切羽の6m前後にあることから鏡ボルトのラップ長を6mに設定し、2種類の長尺鏡ボルトを採用した。注入式長尺鏡ボルトは長さ3mの中空グラスファイバーボルト（25）を連結して15～24mのボルト長とし、口元部2mのダブルパッカー部にシリカレジン注入によるバルクヘッドを構築し、2m以奥はセメントミルクにより周辺地山の注入改良を行った。全面摩擦定着式長尺鏡ボルトは、長さ4mの水圧膨張型ボルト（図6）を連結して20mのボルト長とし、穿孔したボアホールにボルトを挿入した後、30MPaの加圧水により鋼管を拡張させて地山との摩擦力により定着させる。なお、掘削機械にはロードヘッダーS200（株）三井三池社製）を用いていたため、両方式のボルトとも切削は容易であった。

6.切羽鏡面押し出し計測

図7の連続7日以上切羽鏡面の押し出し計測結果（三点計測）によると、岩質の差異はあるが長尺鏡ボルトなしの日変位量が最大5.4mmに対して、注入・摩擦鏡ボルトの日変位量は最大0.25mmと長尺鏡ボルトがない場合の5%程度の変位速度にとどまっている。これより、切羽鏡面安定化に対して長尺鏡ボルトが効果的であることが明らかとなった。

7.結論

泥質岩のような軟弱地山においては切羽進行に伴い加速度的に前方緩みが発生し、トンネル支保構造の変位・変状に大きな影響を与えるため、開放面積の大きい切羽鏡面の安定化が必要不可欠である。その先行緩み対策として、鏡ボルトと鏡吹付コンクリートを組み合わせて用いることが有効である。長尺鏡ボルトのタイプは地質条件により選択するべきではあるが、注入式長尺鏡ボルトと比較して注入時間が不要な全面摩擦定着式長尺鏡ボルトが施工効率としては優れていると考える。ボルト長については、穿孔した孔壁が保持される限りより長尺化することで20m以上の前方地質に連続した拘束力を与えることが可能となる。また、通常の施工機械であるジャンボを用いた簡易な先進地質確認ボーリングを適宜行うことにより、前方地質の推定、変位発生予測が可能になると考える。

なお、全面摩擦定着式長尺鏡ボルトの軸力などの計測を現在検討中であり、結果については別途報告する予定である。

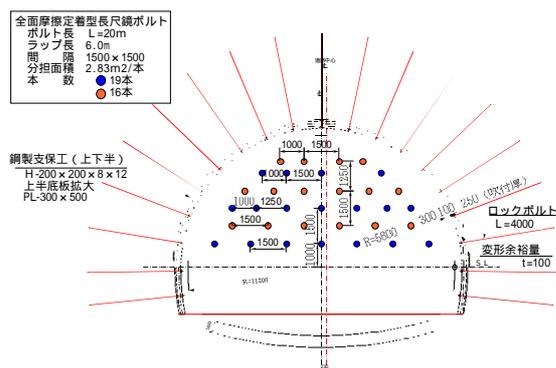


図5 全面摩擦定着型長尺鏡ボルト断面図

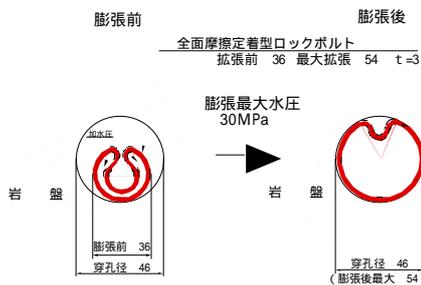


図6 全面摩擦定着式ボルト断面図

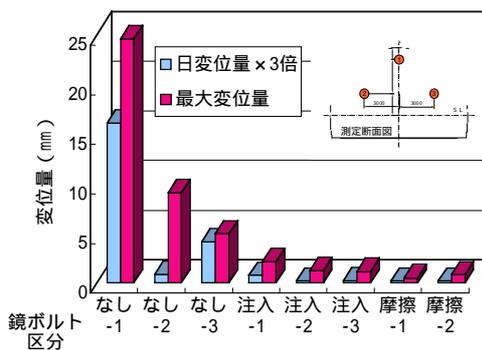


図7 鏡面押し出し計測結果