

低土被りトンネルにおける長尺鏡止めボルトの軸力および曲げモーメントの計測

大成建設（株） 正会員 ○大塚 勇，谷 卓也，平野 逸雄
 鉄道・運輸機構 正会員 佐原 圭介，後藤 光理

1. はじめに

東北新幹線の六戸トンネルでは，低土被りの沢部において鏡面の安定化対策および地表面の沈下対策として，GFRP（グラスファイバー補強パイプ）管を長尺鏡止めボルトとして採用した．著者らは，他の現場¹⁾²⁾で長尺鏡止めボルトの軸力測定を行い，軸力発生機構を調べてきた．今回は，低土被りトンネルのため，長尺鏡止めボルトに作用する曲げモーメントの評価も重要であると考え，軸力および曲げモーメントの計測を行った．

本報告では，長尺鏡止めボルトの計測方法，計測結果について述べる．

2. 長尺鏡止めボルト軸力・曲げモーメント測定

長尺鏡止めボルトは，外径 $\phi 76\text{mm}$ （厚さ 8mm ），有効長 3m ，継ぎ手部 200mm の（株）KFC製のGFRP管（FIT管）を6本連結して，長さ 18m とした．耐力は母材部で約 1000kN ，ねじ部で 200kN である．注入材はIBOモルタルである．トンネル上部の火山灰層や表土を削孔水で傷めないよう，図1に示すように長尺鏡止めボルトはトンネル断面内で外周に沿って15本打設した．長尺鏡止めボルトを施工する目的は，トンネル断面外に圧入方式によって打設した短尺な鋼管先受けに作用している力を長尺な鏡止めボルトで支持することと，鋼管先受けでは届かない切羽前方の地山を補強することである．

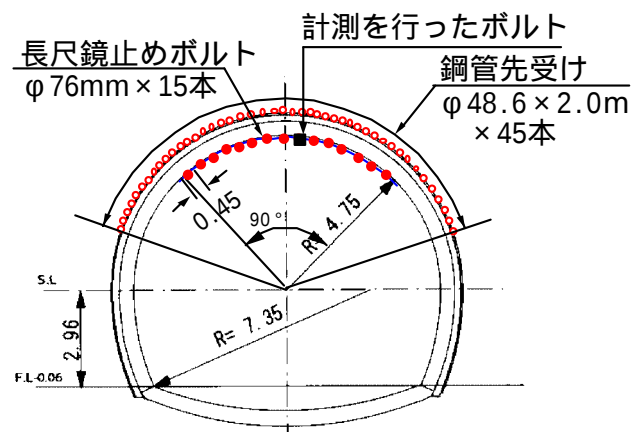
計測点（ひずみゲージ位置）の配置を（b）図に示す．長尺鏡止めボルトの軸力と曲げ荷重の計測には，ひずみゲージを貼付したセンサー管（PET管：東亜測器（株）製）を，打設したGFRP管の内部に挿入し，GFRP管に作用するひずみを間接的に計測した．モルタルの充填により，PET管はGFRP管の変形に追従し，GFRP管に発生する軸力と曲げモーメントが間接的に計測できる仕組みとなっている³⁾．計測はボルトに大きな外力が働くボルト中心部（非ラップ部）で行う．計測点は口元から 7m を1点目とし， 2m ピッチで計4点計測した．計測されたひずみから鏡止めボルトに発生する軸力と曲げモーメントを換算した．

データはPETセンサー管（長さ 17m ）の先端に取付けたデータロガーに自動的に取込まれ，蓄積される．掘削が進み，切羽がデータロガーの位置に到達した時に，ロガーを回収した．

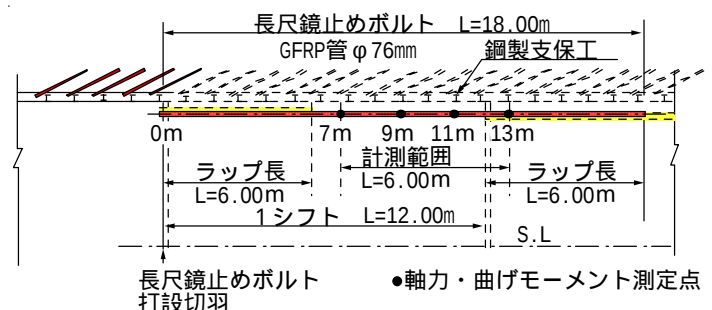
3. 測定結果と考察

図2に長尺鏡止めボルトに作用する軸力の経時変化図を示す．切羽の進行に伴い，引張の軸力が増加している．
 キーワード 長尺鏡止めボルト，GFRP管，軸力・曲げモーメント測定

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設土木設計部 TEL 03-5381-5296 FAX 03-3345-0490



(a) 断面図



(b) 縦断面図

図1 軸力・曲げモーメント計測断面位置図

GFRP 管の打設切羽に最も近い測点 1（深度 7m）よりも測点 2（深度 9m）のほうが、軸力の伝わり方は速く、測点 1 では最大約 2kN と小さい引張軸力しか作用していない。これは測点 1 付近の地山が他の測点に比べて軟弱であったために、付着が十分取れなかったことなどが原因として考えられる。測点 2、測点 3（深度 11m）、測点 4（深度 13m）と打設切羽に近い測点から、時間を追って軸力が増えており、切羽の進行に伴いボルトの奥へ軸力が伝わっている。測点 2 と 3 では最大約 20kN、測点 4 では最大 12kN 程度の引張力が働いている。

図 3 に長尺鏡止めボルトに作用する曲げモーメントの経時変化図を示す。測点 3 以外は、トンネル外側に凸の曲げモーメントが作用している。これは、ボルトが切羽奥で固定された片持ち梁のような挙動を示しており、切羽前方の地山が沈下しようとする荷重にボルトが抵抗していることがわかる。測点 3 は、切羽が進行しても曲げモーメントがほとんど増えず、切羽が測点の約 2m 手前にきて、はじめて曲げモーメントが作用するが、他の測点とは異なりトンネル内側に凸の曲げが働く。これは切羽奥の固定点と切羽の間で局所的な下向きの荷重が作用し、ボルトは単純梁のような挙動を示したものと考えられる。測点 1 と 4 は、切羽の進行と共に曲げモーメントが増え、最大値は測点 1 で約 50N・m、測点 4 で約 60N・m である。曲げ荷重に換算すると測点 1 で約 8kN、測点 4 で約 6kN である。測点 2 では、増えていたトンネル外側へ凸の曲げが、一度戻る現象が見られる。このように、曲げモーメントに関しては、各測点で傾向が異なり、連続的な挙動を示していない。ボルトが地層境界付近に打設されていたため、特に曲げモーメントについては、位置による傾向のばらつきが大きくなったものと考えられる。

4. まとめ

低土被り区間における長尺鏡止めボルトの計測結果についてまとめる。

長尺鏡止めボルトには、引張軸力が作用し切羽の押出しに対して抵抗し、掘削進行に伴い軸力が増加する。ただし、切羽近傍では引張軸力が低下したり圧縮に変化している。

曲げモーメントの計測結果では、切羽奥で固定された片持ち梁的な挙動を示したり、切羽奥と切羽で固定される単純梁的な挙動を示し、各測点で傾向が異なる結果となった。

参考文献

- 1) 足達康軌, 小川哲司, 青木智幸, 大塚勇, 田中崇生: トンネル掘削時の長尺鏡ボルトの軸力発生・分布挙動, 土木学会第 58 回土木学会年次学術講演会, 3-017, pp.33-34, 2003。
- 2) 大塚勇, 谷卓也, 竹津英二, 小杉勝之, 羽馬徹, 藤田清一: 長尺鏡ボルトの継ぎ手部補強による耐力増加, 第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.297-302, 2005。
- 3) 遠藤太嘉志, 米倉政雄, 西村好恵, 大塚勇, 谷卓也, 井本厚: 長尺先受け鋼管や長尺鏡補強ボルトの間接的計測手法について, 第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.303-308, 2005。

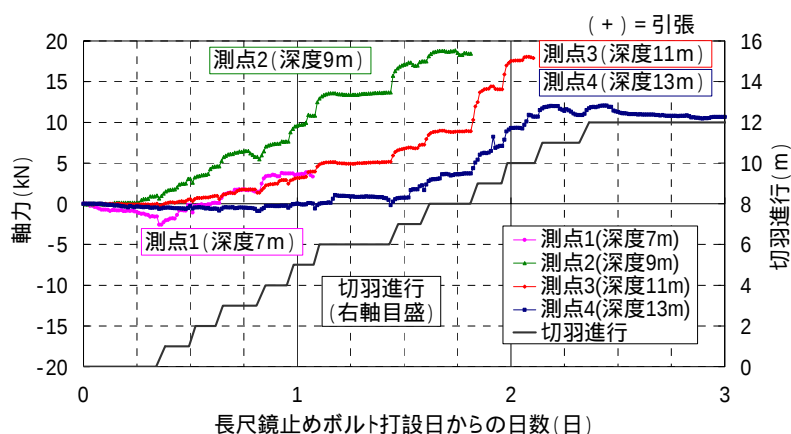


図 2 長尺鏡止めボルトに作用する軸力の経時変化図

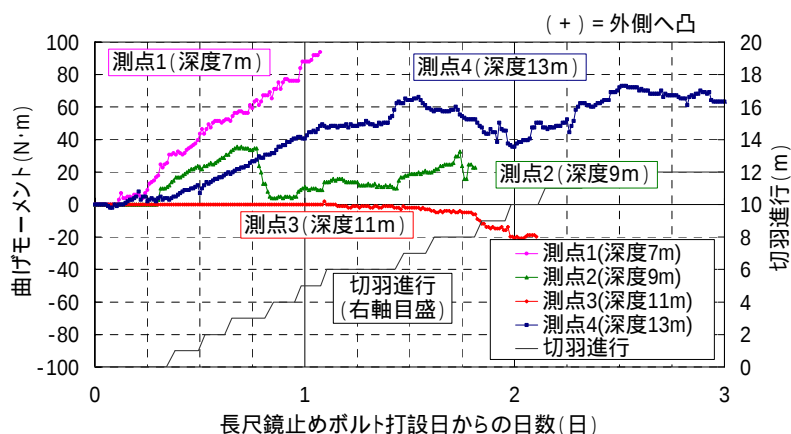


図 3 長尺鏡止めボルトに作用する曲げモーメントの経時変化図