

先受工鋼管の原位置引抜き試験と軸力・曲げモーメントの計測結果について

大成建設 正会員 ○青木 智幸, 谷 卓也, 大塚 勇, 安藤 肇

1. はじめに

近年、低土被りの都市 NATM トンネルでは、地表の構造物に与える影響を抑えるため、地表面の沈下対策として、長尺鋼管フォアパイリング工法を採用する事例が増えている。その中でも、トンネル掘削で用いるドリルジャンボによって削孔できる AGF 工法が最も施工事例が多い。しかしながら、先受工（AGF）鋼管の付着特性や軸力・曲げモーメントの発生機構については明らかでなく、その定量的な評価が望まれている。

著者らは、ロックボルトや長尺鏡止めボルトで採用されている GFRP 管（FIT 管）などで引抜き試験を行い、ボルトと地山との付着特性を調べてきた。しかし AGF 鋼管については試験事例がなく、AGF 鋼管と地山との付着定数を調べ、解析用のモデルパラメータを求めるために、軸力計付き AGF 鋼管の引抜き試験を行った。また、著者らは長尺鏡止めボルトの軸力計測を行い、軸力発生機構について調べてきたが、AGF 工法では曲げモーメントの評価が重要であるため、AGF 鋼管に作用する軸力と曲げモーメントを計測し、掘削中の AGF 鋼管の挙動を調べた。今回試験を行った AGF 鋼管は、外径 101.6mm で厚さ 5.7mm の鋼管である。

2. 原位置引抜き試験

AGF 鋼管は自穿孔方式のため、削孔中にゲージを損傷させることから鋼管に直接ひずみゲージを貼付することができない。そこで鋼管を打設した後、中空部にひずみゲージを貼付けたセンサー管（アルミ製：東亜測器（株）製）を挿入し、注入材を充填してセンサー管を固定し、鋼管に発生するひずみを間接的に計測する方法を採用した。注入材には急硬剤としてデンカ ES（電気化学工業製）を用いたセメントミルクを採用した。

図 1 に、引抜き試験のレイアウトを示す。引抜き試験は上半の脚部側壁で行った。鋼管長は 3m、定着長は 2.1m である。吹付けコンクリートは上半脚部にウィングリブがあるため、巻厚が 0.85m と厚い。吹付けコンクリートによる口元部での拘束を避けるため、吹付けコンクリート部は縁切りを行った。変位測定は、鋼管口元で左右 2 箇所と、鋼管頭部で行い、またロードセルにより引抜き荷重を測定した。さらに、図 1 に示す位置で、鋼管内部のひずみ変化を測定した。

図 2 に、引抜き試験結果の荷重－変位（口元変位の平均値）関係を示す。初期の勾配は 729kN/mm である。

3. 引抜き試験のシミュレーション

解析には有限差分法コード FLAC（ITASCA 社製）を使用した。地山の物性値は、弾性係数 1.0GPa、ポアソン比 0.30 とした。

ロックボルトのモデルとしては、Brady らにより提案されたモデルを採用し、引抜き試験結果からそのパラメータを決定する¹⁾。これは、ボルトの軸剛性を節点間のバネで表現するほか、グラウトと孔壁間のせん断剛性（ $kbond$ ）と付着強度（ $sbond$ ）をそれぞれバネとスライダで表現するものである。 $kbond$ の値は、引抜き試験により得られた荷重－変位曲線（図 2）の初期勾配を用いて、斎藤と天野により提案された評価式²⁾により算定した（ $kbond=3.28 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ）。

図 3 に引抜き試験の引抜き荷重が 50, 100, 150, 200kN の場合の軸力深度分布を示す。 $sbond$ は、引抜き荷重 200kN の場合の平均勾配として

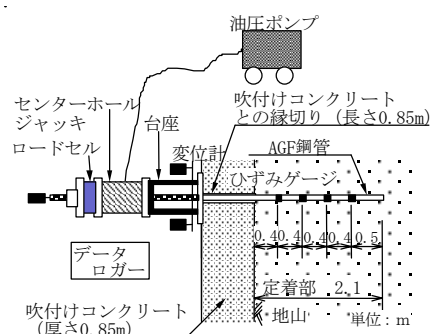


図 1 引抜き試験レイアウト図

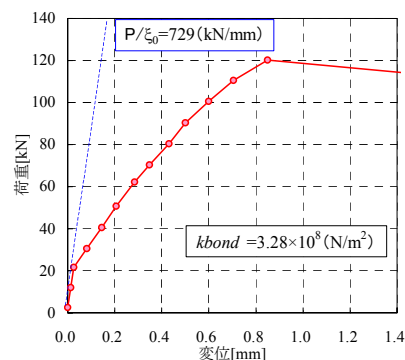


図 2 口元荷重－変位関係

キーワード 先受け工, AGF 鋼管, 付着特性, 引抜き試験, 軸力・曲げモーメント計測

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7237

決定した ($sbond=45\text{kN/m}$).

シミュレーション解析結果（引抜き荷重—内部軸力関係）を図4に示す．荷重の低いレベルでは実験結果で内部軸力が大きくなる傾向を示すが，両者は概ね一致することが分かった．

4. AGF 鋼管の軸力，曲げモーメントの計測

AGF 鋼管の軸力，曲げモーメントの計測は天端と肩部の2本について実施した．計測方法は引抜き試験と同様に AGF 鋼管の内部に，ひずみゲージを貼り付けたセンサー管を用いる間接的な方法で計測した．測定点は9点で，口元から500mmの位置から5点は1,000mmのピッチで支保工間の中間位置に．6点目から先は1,500mmピッチで4点配置した．

肩部の増分軸応力図を図5に，増分曲げ応力図を図6に示す．増分応力値は，1間掘削したときに増えた応力の値である．図5に示した増分軸応力は，掘削箇所（切羽位置 0m）では圧縮側に増える状態となり，切羽を挟んでその両近傍，特に切羽後方で引張側に応力が増える傾向となっている．掘削による地山の押出しを AGF 鋼管が抑制していると考えられる．天端部も同様な傾向を示したが，最大値で約 5N/mm^2 と小さかった．一方，増分曲げ応力は掘削箇所（切羽位置 0m）近傍では内空側に凸となる方向に，切羽位置の前後1～2mの位置で地山側に凸となる方向に増えている．このことから，この位置に仮想支点がある構造となっているものと考えられる．天端部でも同様な傾向を示しており，応力値も肩部とほぼ同程度である．

5. まとめ

原位置試験によって，AGF 鋼管と地山との付着特性と AGF 鋼管の挙動を把握することができた．今後は，地山との付着特性を考慮した AGF 鋼管をモデル化し，三次元逐次掘削解析によって，AGF 鋼管や地山，支保の挙動をシミュレートし，実現象を解析で表現することを試みる．次に，解析条件を変えて，AGF 鋼管による地山補強効果，地表面沈下抑制効果を定量的に評価していきたい．

参考文献

- 1) 青木智幸，他：鋼管膨張型ロックボルトの引抜き実験と付着特性について，第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.293-298，2003．
- 2) 斎藤敏明，天野悟：ロックボルト支保の設計に関する基礎的考察，第14回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.76-79，1984．

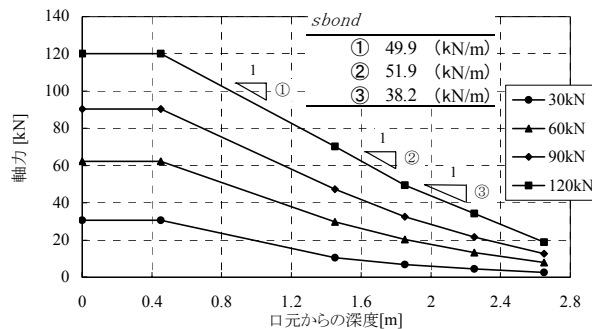


図3 軸力深度分布図

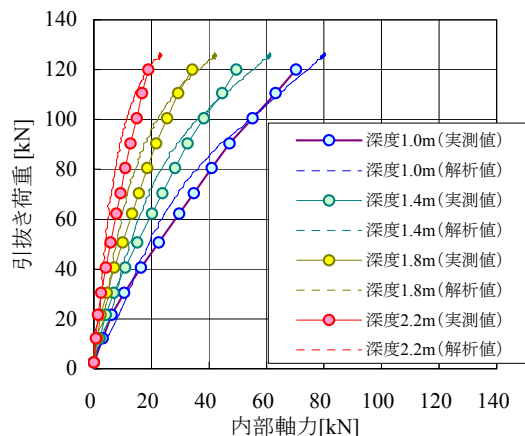


図4 引抜き荷重—内部軸力関係

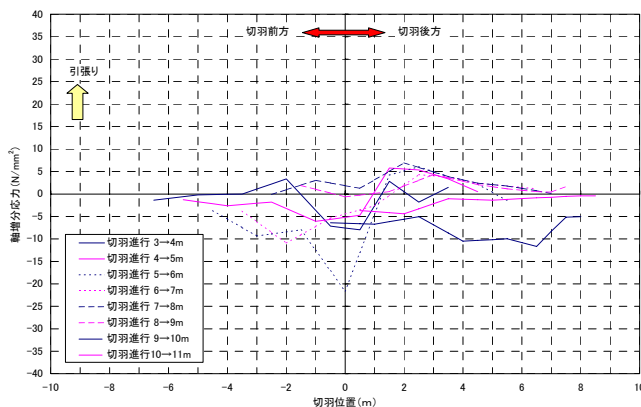


図5 AGF 鋼管の増分軸応力分布図（肩部）

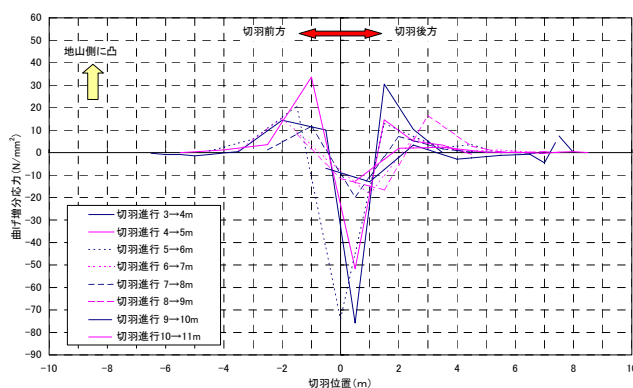


図6 AGF 鋼管の増分曲げ応力分布図（肩部）