

## 各種注入材によるボルトの付着特性について

大成建設 正会員 大塚 勇, 谷 卓也, 小杉 勝之  
 鉄道・運輸機構 正会員 竹津 英二, 小島 隆

## 1. 目的

北陸新幹線飯山トンネル木成工区では、切羽の安定対策として、継ぎ手タイプの中空 GFRP ボルト（外径 76mm、内径 60mm）を長尺鏡ボルトとして採用している。地山強度比が低く膨圧が作用し、切羽の押し出し変位量は 100mm を超え、長尺鏡ボルトの軸力測定では GFRP ボルトの継ぎ手部でボルトの耐力を上回る軸力が発生した<sup>1)</sup>。ボルトに作用する軸力は、地山との付着特性に依存するが、付着を表す定数については一般的な値はなく、地山条件やボルトの材質・表面形状、注入材の種類などによって異なる。そこで、GFRP ボルトと地山との付着特性を調べるために、原位置引抜き試験を行った。注入材による付着特性の違いを調べるために、注入材としてモルタル、シリカレジン、ウレタンの 3 種類を使って引抜き試験を実施し、数値シミュレーションを用いて各種注入材に対する付着定数を求めた。

## 2. 原位置引抜き試験

GFRP ボルトの内部軸力分布を調べるためには、ボルトにひずみゲージを貼付する必要がある。しかし、この GFRP ボルトは自穿孔方式のため、削孔中にゲージを傷つけてしまうので、ボルトに直接ひずみゲージを貼付することができない。そこでボルトを打設した後、中空部にひずみゲージを貼付けたセンサー管（PET 製）を挿入し、注入材を充填してセンサー管を固定し、ボルトに発生するひずみを間接的にセンサー管で計測する方法が用いられる。今回の引抜き試験では、GFRP ボルトとセンサー管の追従性を調べるために、GFRP ボルトにもひずみゲージを貼付け、比較することにした。よって、GFRP ボルトで削孔するのではなく、予め 125 のビットで削孔して GFRP ボルトを後挿入した。試験ケースを表 1 に示す。引抜き試験は下半側壁で行い、お互いが干渉しないように支保 1 間ずつ離れた。試験位置は 163km711m～717m であり、長尺鏡ボルト軸力測定区間から約 160m 離れている。支保パターンは軸力測定区間と同様であり、地山の状態は同程度であった。

図 1 に、引抜き試験のレイアウト図を示す。ボルト長は 3m（定着長は 2.5m）であり、吹付けコンクリートによる口元部での拘束を避けた。変位測定は、ボルト口元で左右 2 箇所と、ボルト頭部で行い、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、ボルト内部のひずみ変化を測定した。

図 2 に、引抜き試験結果（注入材：モルタル）の荷重 - 変位（口元変位の平均値）関係を示す。2 本の試験結果（ケース 5、ケース 6）は概ね一致している。本報告では、注入材がモルタルの場合を例に挙げて検討し、他の注入材については、結果のみを示すことにする。

中空部に注入材が充填された GFRP ボルト（ボルトと注入材の合成部材）の軸剛性を調べるために、上記 3 種類の注入材を充填させて、ボルトにひずみゲージを貼付し、ボルトの引張試験を行った。その結果、全ての注入材に対して、引張荷重とひずみの関係は線形となり、その傾きは注入材の種類に関係なく、同程度の値となった。その換算値を用いて、ひずみを軸力に換算した。

キーワード 注入材、ボルト、付着特性、引抜き試験、数値シミュレーション

連絡先 〒245-0051 神奈川県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

表 1 試験ケース

試験ケース	注入材	ひずみゲージ添付箇所
ケース 1	ウレタン	センサー管
ケース 2	(LV-60)	GFRPボルト+センサー管
ケース 3	シリカレジン	センサー管
ケース 4	(RBS-SR)	GFRPボルト+センサー管
ケース 5	モルタル	センサー管
ケース 6	(IB0モルタル)	GFRPボルト+センサー管

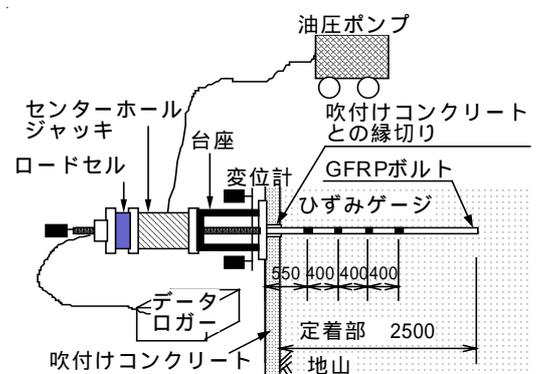


図 1 引抜き試験レイアウト図

### 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 FLAQ (ITASCA 社製) を使用した。地山の物性値は、弾性係数 0.5GPa, 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<sup>2)</sup>。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により算定した<sup>2)</sup> ( $kbond = 9.36 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ )。

図3にケース6の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 の場合の最大勾配として決定した ( $sbond = 2.16 \times 10^5 \text{ N/m}$ )。

図3には GFRP ボルトとセンサー管の結果を図示している。両者は良く一致しており, センサー管は注入材を介してボルトに十分付着しているといえる。自穿孔タイプのボルトに対して, センサー管による間接的な計測方法が有効であることが分かった。ウレタン, シリカレジンについても同様に追従性は良かった。

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。

各注入材について, 付着定数をまとめたものを表2に示す。 $kbond$ ,  $sbond$  とともにウレタン, シリカレジン, モルタルの順番に大きくなることが分かった。

### 4. まとめ

異なる種類の注入材によるボルトの付着特性の違いを調べた結果, 今回の実験ではボルトと地山の付着を期待するのであれば, モルタルが適していることが分かった。ただし, ウレタンやシリカレジンには地盤改良効果を見込めるため, それぞれの注入材の特徴を生かして, 目的に適したものを採用する必要がある。

### 参考文献

- 1) 大塚勇, 青木智幸, 谷卓也, 竹津英二, 小島隆, 小杉勝之, 林成浩: 長尺鏡ボルトの軸力計測および切羽前方変位計測, 第39回地盤工学研究発表会, 2004.7 (投稿中)
- 2) 青木智幸, 柴田勝実, 大塚勇, 吉富幸雄: 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, 2003.1

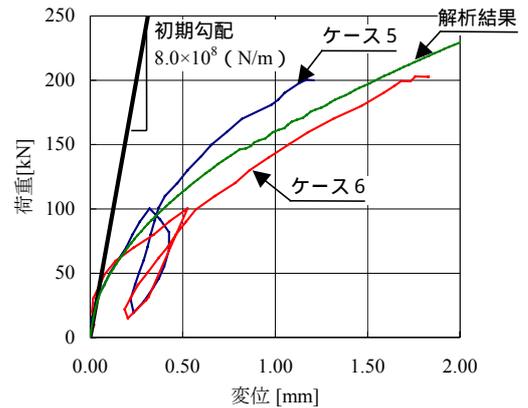


図2 口元荷重 - 変位関係 (モルタル)

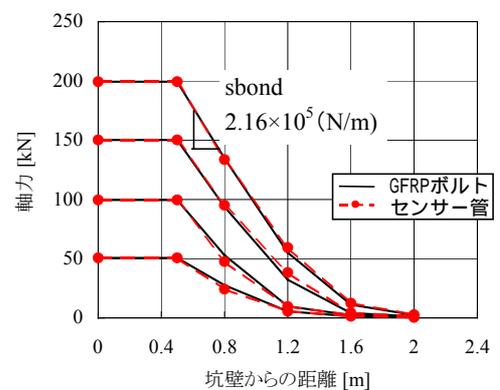


図3 軸力深度分布図 (モルタル: ケース6)

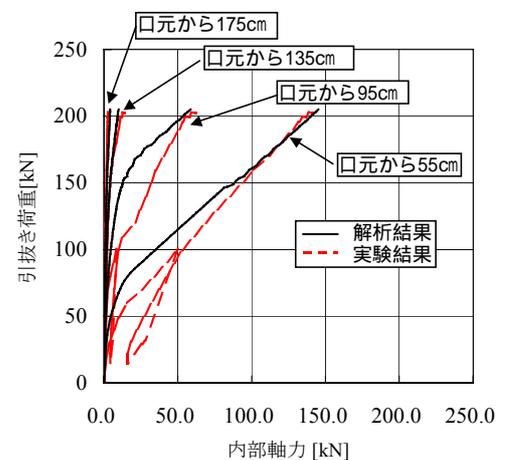


図4 引抜き荷重 内部軸力関係 (モルタル: ケース6)

表2 各種注入材の付着定数

注入材	$kbond$ ( $\text{N/m}^2$ )	$sbond$ ( $\text{N/m}$ )
ウレタン	$7.16 \times 10^7$	$5.05 \times 10^4$
シリカレジン	$2.11 \times 10^8$	$6.00 \times 10^4$
モルタル	$9.36 \times 10^9$	$2.16 \times 10^5$