

鏡ボルトの充填材料による岩盤付着性特性の違いについて

五洋建設 土木技術部 ○正会員 大森 禎敏
 ケー・エフ・シー 正会員 岡部 正
 国土交通省 九州地方整備局 弓場 進

1. はじめに

東九州道（清武～北郷）芳ノ元トンネルの北工区では、掘削当初から地山が脆弱であったために鏡ボルトを適用してトンネル掘削を継続した。鏡ボルトの充填材料には、大きく分けてセメント系のものであり、ウレタン系のものである。芳ノ元トンネル北工区では鏡ボルトの充填材料としてセメント系のモルタルを適用していたが、切羽の崩壊が見られたためにある程度の地山改良効果を期待してウレタン系のシリカレジンに変更した。

本稿では、当該トンネルで実施した鏡ボルトの引抜き試験で得られたモルタルとシリカレジンでの引抜き特性の違いについて紹介する。

表-1 工事概要

| | |
|-------|-------------------------------|
| トンネル名 | 東九州道 芳ノ元トンネル |
| 工事場所 | 宮崎県宮崎市清武町～鏡洲 |
| 工期 | 2007年10月～2018年6月（通算） |
| 発注者 | 国土交通省 九州地方整備局 |
| 施工者 | 五洋建設株式会社 九州支店 |
| 延長 | 工区延長 1,298.6m（全長 1,880.0m） |
| 掘削断面積 | 140m ² （上下半、インバート） |

2. 引抜き試験の概要

鏡ボルトの引抜き試験は、直径76mmのGFRPボルト1mをトンネル側壁に打設して実施した（写真-1参照）。地山との付着特性だけを評価するために吹付けコンクリート部分には、ウェスを巻いて付着がないようにした。引抜き試験の概要を図-1に示す。試験では、ラムチェアおよび角度調整座金を用いて引抜き方向をボルト打設方向と一致するようにした。引抜き力は油圧ジャッキで与え、引抜き量はダイヤルゲージで測定した。試験の実施状況を写真-2に示す。

ボルトの充填材はセメント系のモルタル（表-2参照）とウレタン系のシリカレジンRBS-USRとした。充填量は、モルタルは19(l/m/本)、シリカレジンは10(kg/m/本)とした。

表-2 充填モルタルの配合（1m³当り）

| 早強セメント (kg) | 特殊添加剤 (kg) | 細砂 (kg) | 特殊骨材 (kg) | 練混ぜ水 (kg) |
|-------------|------------|---------|-----------|-----------|
| 868 | 19 | 230 | 124 | 465 |



写真-1 試験ボルトの打設状況

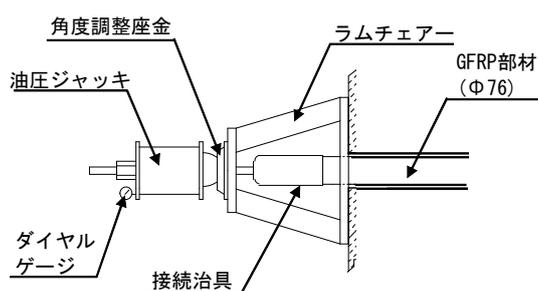


図-1 引抜き試験の実施要領



写真-2 引抜き試験の実施状況

3. 引抜き試験結果

図-2の(a)、(b)に充填材がモルタル、シリカレジンそれぞれの引抜き試験結果を示す。図の横軸は引抜き時の変位量で、縦軸は引抜き荷重である。引抜き試験までの養生時間としては共に6時間を確保した。この図から充填材がモルタルでは、変位量1～3mmの時に最大の引抜き荷重となり、その大きさは18.6～58.5(kN)であった。また、シリカレジンでは変位量11.6～15.0mmの時に最大引抜き荷重77.3～159.3(kN)となった。これらの結果からモルタルの限界定着力はボルト1本当り13.8～44.3(kN/m)となった。また、シリカレジンは55.2～122.5(kN/m)となった。試験値にばらつきが見られるのは当該地質の影響が大きいと考えている。

キーワード 鏡ボルト、充填材、引抜き試験、引抜き耐力

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 五洋建設（株）土木部門 土木本部 土木技術部 TEL03-3817-7531

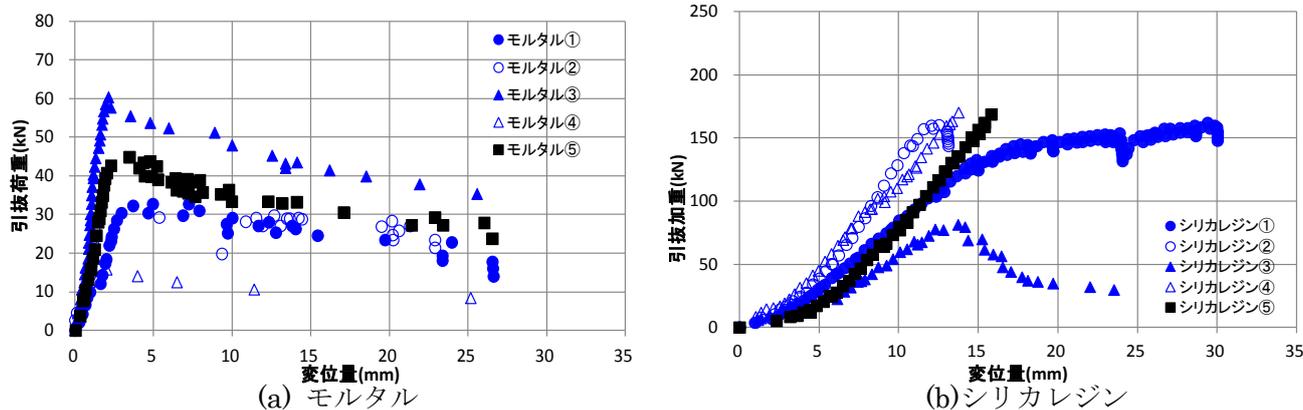


図-2 引抜き試験結果

表-3 引抜き試験で得られた限界定着力

(a) モルタル

| 試験体 No. | 引抜き耐力 (kN) | 引抜き耐力到達時の変位量 (mm) | 定着長さ (m) | 限界定着力 (kN/m) |
|---------|------------|-------------------|----------|--------------|
| 1 | 28.5 | 2.6 | 1.37 | 20.8 |
| 2 | 32.0 | 1.3 | 1.35 | 23.7 |
| 3 | 58.5 | 2.0 | 1.32 | 44.3 |
| 4 | 18.6 | 1.3 | 1.35 | 13.8 |
| 5 | 40.7 | 2.0 | 1.34 | 30.4 |
| 平均 | — | 1.8 | 1.35 | 26.6 |

(b) シリカレジン

| 試験体 No. | 引抜き耐力 (kN) | 引抜き耐力到達時の変位量 (mm) | 定着長さ (m) | 限界定着力 (kN/m) |
|---------|------------|-------------------|----------|--------------|
| 1 | 129.9 | 14.5 | 1.37 | 94.8 |
| 2 | 157.2 | 11.6 | 1.32 | 119.1 |
| 3 | 77.3 | 12.3 | 1.40 | 55.2 |
| 4 | 159.3 | 13.0 | 1.30 | 122.5 |
| 5 | 156.6 | 15.0 | 1.40 | 111.9 |
| 平均 | — | 13.3 | 1.36 | 100.7 |

4. ボルトの定着効果

ボルトの定着効果は一般にボルトと充填材、充填材とボルトいずれかの付着強度に依存すると考えられている¹⁾。室内試験におけるGFRPボルトと充填材の付着強度は、モルタル（6時間養生相当）で37.5(kN/m)程度、シリカレジンで75(kN/m)程度である。ボルトと充填材の付着が十分確保されていると仮定すると、本試験結果は地山と充填材の付着特性を表すものとなる。得られた限界定着力の平均値（表-3）を用いて地山と充填材の極限周面摩擦抵抗を算出するとモルタルで $4.2 \times 10^{-3}(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、シリカレジンで $1.6 \times 10^{-2}(\text{N}/\text{mm}^2)$ となる。このことから限界定着力を比較すると同じ養生時間でシリカレジンはモルタルの3倍程度大きく、変形に対する追従性能も6倍程度有している。また、極限周面摩擦抵抗で比較するとシリカレジンはモルタルの3.8倍程度になった。なお、モルタル、シリカレジンともに地山と充填材の周面摩擦抵抗には、充填材と地山の付着力そのものが大きいことに加えて、充填材が周辺地山へ浸透し、見かけ上の周面の面積が増加した効果もあると推察された。

一般にモルタルの付着強度は圧縮強度に比例する。図-3に試験時に採取したモルタルの供試体での24時間強度をもとに推算²⁾した強度発現特性を示す。この図からモルタルがシリカレジンと同等の極限周面摩擦抵抗を得るには29時間程度の養生時間を要すると考えられる。

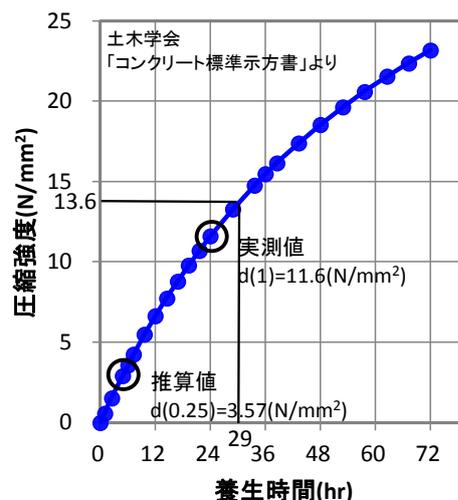


図-3 モルタルの強度発現特性

5. おわりに

本試験の結果、同等の定着力を得るうえでは、定着性能と強度発現特性の面でウレタン系のシリカレジンが養生時間を短縮できる点で優位性があることが確認できた。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針、pp.296-300、2010。
- 2) (社) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書 [設計編：標準]、pp.340-342、2008。