

Ⅲ - A428

FRP ロックボルトの垂直切取り法面への適用

佐藤工業(株) 正会員 林 伸幸
 同上 正会員 福島晴夫
 同上 寺園道弘

1. はじめに

ロックボルトに働くせん断力は、ボルトと充填材境界面の粘着力・内部摩擦角から算定することが一般的であるが、送り線状や組み紐状のボルトでは、凹凸面状のすべりにより生じる dilation を考慮してせん断強度を求める試みがなされている。

ここでは、切取り法面安定対策工として施工した組み紐状ロックボルト(GFRP)及び鋼製ロックボルトの計測結果から、ボルトの支保効果について検討を加える。

2. 法面地質概要

切取り法面の地質は、第三紀鮮新生三浦層群返子層の泥岩優勢な泥岩・砂岩互層である。泥岩の一軸圧縮強度は、新鮮部で $\sigma_c = 5 \text{ N/cm}^2$ 、風化部で 3 N/cm^2 程度であり、膨張性やスレーキングの示す兆候は見られない。

対象法面は、法高が 8~12m の垂直切取り法面で、ロックボルト(ピッチ $2 \times 1.5 \text{ m}$)と吹付けコンクリート($t=5 \text{ cm}$)で補強している。

3. 試験概要

3.1 計測項目

FRP ロックボルト(以下 FRP)および鋼製ロックボルト(以下 STL)の施工性、定着性、変位抑止効果を比較するため、表-1 に示す計測を行った。図-1 に計測器の配置を示す。

3.2 ロックボルト仕様

ロックボルトの仕様を表-2 に示す。なお、定着材はセメントミルクを使用し、7 日強度は 3.85 kN/cm^2 ($\sigma=0.51 \text{ kN/cm}^2$)、28 日強度は 4.76 kN/cm^2 ($\sigma=0.97 \text{ kN/cm}^2$)である。

4. 計測結果

4.1 地中変位

地中変位は、FRP、STL に近接して設置したエクステンソメータで測定している。図-2、3 に地中変位の経時変化を示す。FRP 打設区間の変位は、12 m 掘削完了時点まで徐々に増加し、その後 1.0~1.3 mm 前後で安定している。STL 打設区間では、8m 掘削完了時点まで変位が増加しており、経過日数が 20~30 日の間は雨及び周辺の掘削の影響を受けて若干の変位の増加が認められるが、最終的に 0.3~0.9mm で安定している。掘削に伴う地山の緩みは FRP 区間が 0.45mm 以上と大きくなっているが、これは掘削長が STL 区間より大きいこと、法面に斜交する不連続面の影響を受けていることに起因していると考えられる。

8m の掘削終了時点までの地中変位の増加傾向に注目すると、地表面から 1~3m の地中変位は FRP、STL 区間ともキーワード:FRP ロックボルト、切取り法面、支保効果

連絡先:〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20 TEL. 03-3661-2297

表-1 計測項目

計測項目	目的	機器	設置数量
地中変位測定	地中変位の把握	小型エクステンソメータ: 長さ 6m, 5 点	2 本(鋼製、FRP 施工箇所各 1 本)
ボルト軸力測定	ボルト軸力の大きさ・分布状況把握	鋼製、FRP ボルト: 長さ 3m, 4 点	鋼製、FRP 各 1 本
引抜き試験	引抜き耐力の確認	センターホールシヤッキ 36t, ボルト長さ 1m	鋼製、FRP 各 3 本
法面変位測定	法肩部の変位の把握	伸縮計: 長さ 10m	1 カ所

表-2 ロックボルト仕様

ボルト種類	鋼製ロックボルト(ねじり棒鋼)	FRP ロックボルト(組み紐)
引張(降伏)強度	120kN	250kN
弾性係数	210kN/mm ²	46kN/mm ²
ボルト径	22mm	18mm
ボルト長	3m	3m
打設間隔	横 2m, 縦 1.5m, 1 本/3m ²	横 2m, 縦 1.5m, 1 本/3m ²
打設角度	下向き 10°	下向き 10°

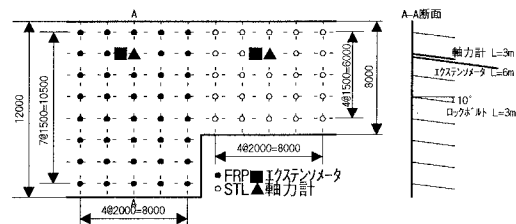


図-1 計測器配置図

0.6mm で、変位の立ち上がりの速度はほぼ等しく、FRP、STL 区間ともに同じ挙動を示している。これは、ロックボルト打設長が 3m で、この区間の地山がボルトと一体となって挙動しているためであると推定でき、FRP には STL と同等の支保効果が認められる。FRP 区間の上部法肩に伸縮計を設置して観測したところ、1mm 程度の変位が認められ、地中変位とほぼ同じ値であった。

4.2 ボルト軸応力

図-4 に 32 日経過時点の軸力および地中変位の分布状況を示す。軸力はボルトの先端付近が最も大きくなっており、ロックボルトの打設長が短いと考えられる。本工事で特に支障は来していないが、今後 FRP ロックボルトの設計方法を検討する必要があると考えられる。

4.3 引抜き試験

図-5 は、引抜き試験の結果を示したものである。

STL の引抜き試験は、施工管理用に実施したものであり、ボルトが降伏する前に試験を中止している。FRP は引抜き荷重 150~160kN でボルトの拔出しが認められる。

荷重が約 50kN かった時点から FRP 材令 3 日と STL の荷重-変位曲線が重なっている。表-2 に示すように、STL の弾性係数は FRP の 5 倍程度であり、ボルトが十分定着しているならば STL の荷重-変位曲線の傾きは FRP より大きくなるが、ロックボルトの施工精度が若干悪いと、ボルトの抜け出し量が大きくなったと推定される。

図-5 の⑤は、既往の FRP の室内引張り試験結果から求めた荷重-変位曲線である。この曲線は、引抜き荷重約 50 kN まで④と非常に良く一致している。引張り試験での変位測定長は約 16cm であり、これはセンターホールギヤの全長 16.1cm とほぼ等しく、ボルトの自由長部が引張り試験と同様の荷重-変位挙動を示していると考えられる。すなわち、引抜き荷重が 50kN まではボルトは十分に拘束されていると判断できる。また、今回の引抜き試験はボルト長が 1m であるが、3m のボルトでは単純計算で 3 倍の拘束力 150kN が期待できる。

5. まとめ

FRP ロックボルトは、鋼製ロックボルトに比べてコスト的に若干割高であるが、軽量で切断が容易であり、作業員に好評であった。これらの特徴は、工期の短縮が図れるなど間接的に工費の削減につながると思われる。また、今回の計測結果から、FRP ロックボルトは鋼製ロックボルトと同等程度の支保力を有しており、十分に鋼製ロックボルトの代替品になると考えられる。

今後は組み紐タイプ FRP ロックボルトの定着機構を解明するとともに、法面ボルトの設計方法について検討する予定である。

参考文献

福島、林、中島：組み紐タイプロックボルトの表面形状に関する考察、第 52 回年次学術講演会（第Ⅲ B 部門） pp.132-133

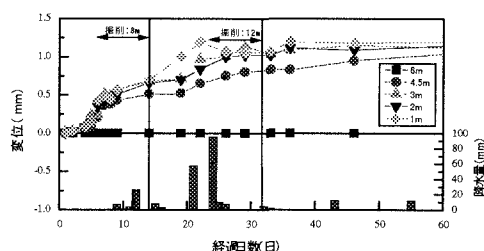


図-2 地中変位(FRP 区間)

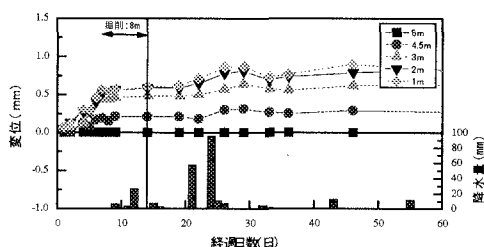


図-3 地中変位(STL 区間)

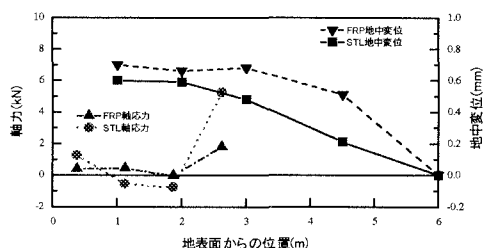


図-4 軸力分布

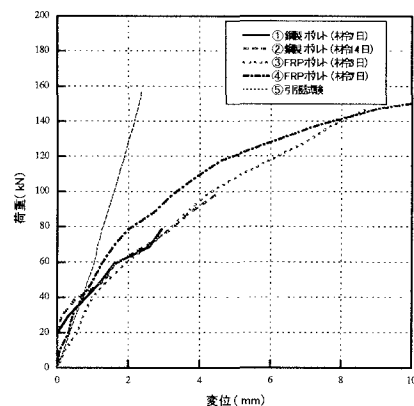


図-5 荷重-変位曲線