

VI-30

機械掘削に適したロックボルトの実用化

（株）間 組 正会員 ○畠山 修
同 上 正会員 坂田 和幸

1. まえがき

最近のトンネル工事においては、NATMの普及に伴い現場の施工条件に適した各種のロックボルトが開発され施工に応用されてきている。その一例として、筆者らは機械掘削によるNATM施工に適するFRP（ガラス繊維複合材料のことでFiberglass Reinforced Plasticsの略）の撚り線を素材とした全面接着型ロックボルト（以下、撚り線型FRPボルトと称す）を実用化したので、その概要を報告する。

2. 撚り線型FRPボルトの構造と特長

撚り線型FRPボルトは、写真-1に示すように地山に挿入する本体部と、地山表面で座金をナットにより締め付けるネジ加工した金属性の端末部から構成される。なお、本体の素材は図-1に示すようなFRPの三元複合材料を撚り合せた構造からできているが材料および組成、さらにはその太さや長さについては用途に適したものが製造可能である。今回われわれが実用化したのは、等価直径 ϕ 23mm長さ3mおよび4mのもので、その性能を表-1に示す。

撚り線型FRPボルトの主な特長を従来の鋼製ロックボルトと比較すると、以下のことがいえる。

- 1) 切断加工が容易。機械的な切断が容易（鋼製の約4倍）であり、施工後そのまま機械掘削が可能である。
- 2) さびない。腐食に強い材料であり、従来の鋼製ロックボルトに比べて長期的な耐久性が期待できる。
- 3) 弾力性が高い。弾力性に富んで（曲率半径が0.5m）おり、狭い場所や小断面での長尺ロックボルトの施工が可能である。
- 4) 軽い。軽い材料（鋼製の約1/5）であり作業条件の悪い場所での取扱いが容易で、施工の能率が向上する。
- 5) 強い。鋼製ロックボルトと同等以上の高い引張り強度が得られる。

3. 試験結果と考察

試験施工においては、地山の削孔、充填モルタルの混練、注入に関する諸設備は、全て従来の全面接

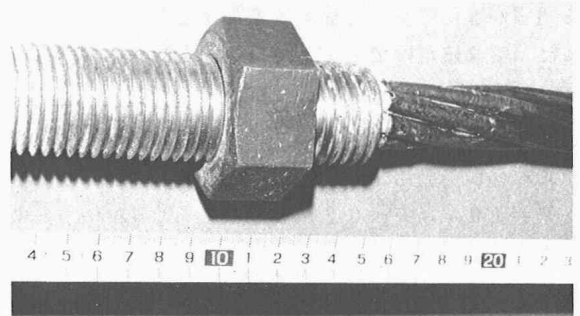


写真-1 撚り線型FRPボルト

熱硬化性樹脂（空白部）

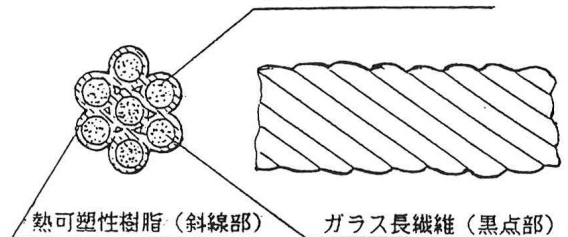


図-1 素材構造

表-1 撚り線型FRPボルトの性能

項 目	測定方法	単 位	測 定 値
外 径	ノギス	mm	23(21-24)
比 重	JIS K-7112	-	1.5
単位重量	天 秤	kg f/m	0.51
破断荷重	JIS K-6911	kg f	18,000以上
引張り弾性率	JIS K-7113	kg f / c m ²	330,000*
曲げ強さ	JIS K-6911	kg f / c m ²	4,700*
曲げ弾性率	JIS K-6911	kg f / c m ²	280,000*
引張破壊伸び	JIS K-7113	%	3 ~ 4
せん断強さ	FS-L-P-406	kg f / c m ²	1,100*

* FRP本体部にて換算

着型鋼製ロックボルトで使用するものをそのまま使用できたが、充填モルタルについては撚り線型FRPボルトの打設性能を向上させる目的で表-2に示す配合のものを使用した。これは、充填モルタルの粘着性を高めることによりロックボルト打設中の材料分離を防ぐもので、一般に使用されている充填材料に比べ混練作業後の機器洗浄作業および注入作業に若干時間を要した。なお、モルタル充填後の撚り線型FRPボルトの打設は、今回実施したボルト長3～4m程度では人力作業で十分であった。施工1日後の引拔荷重と変位の関係を図-2に示す。

撚り線型FRPボルトは、FRP材料の特長である弾力性に富んでいる、軽い、切削し易い等の性質から特に狭い場所での施工やロックボルトを後で切断する必要がある工事においては優れた特長を発揮するといえる。反面、これまで一般的に使用されてきた鋼製ロックボルトと異なり引張り弾性率が小さく荷重当たりの変形量が多い。また、孔荒れが激しい地山ではロックボルトの挿入抵抗が大きくなり人力作業では打設不能になることも考えられるので機械的な打設法もしくは充填モルタルの後注入方式等についても検討していく必要がある。

4. 実施工への応用例

撚り線型FRPボルトを、パイロット・リーミング方式のTBM（トンネルボーリングマシン）による機械掘削工事に企業者の了解を得て適用した。これは、図-3に示すようにリーミング掘削時の崩落防止を目的にパイロット坑から予め長さ3～4mの撚り線型FRPボルトを施工し、リーミング時にTBMカッターで掘削と同時にその一部を切削するものである。なおこの施工においては座金の取付けは行わなかった。その結果、工事延長3.4kmにおいて約1万本の撚り線型FRPボルトを施工し、十分な効果の得られることが確認できた。

5. あとがき

以上、撚り線型FRPボルトの概要について述べてきたが、このロックボルトは従来のロックボルトにはない性能を有しており、ここに示した応用例以外にも特長を活かした適用が考えられる。なお、せん断強さが小さく、しかも変位の大きいロックボルトの支保効果をどう評価するかについては基本的な検討が必要であり、今後とも研究を進めることによりロックボルト施工技術の向上に役立てていきたい。

表-2 充填モルタル配合表

種類	内 訳	単位量(kg/m ³)
セメント	普通ボルトランド	800
砂	4号ケイ砂	853
減水剤	メラミン系	54.6
分離防止剤	水溶性高分子	4.8
水	W/C:40%	319

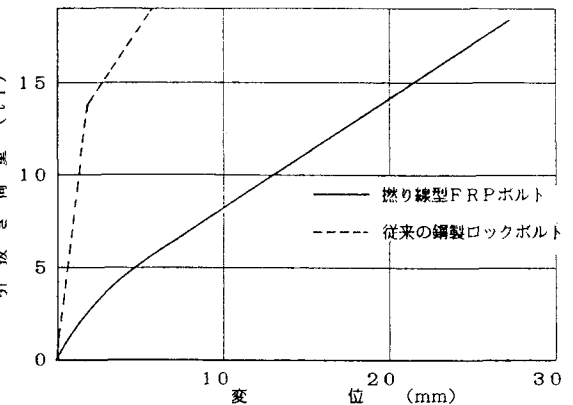


図-2 引抜き荷重と変位の関係

（φ23mm、長さ3mのもの）

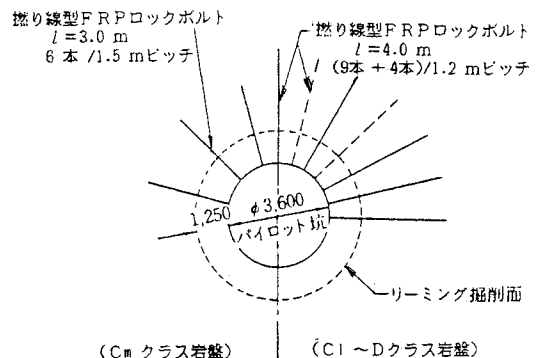


図-3 施工断面図