

Ⅲ - B66 組み紐タイプロックボルトの表面形状に関する基礎実験

佐藤工業中央技術研究所 正会員 福島晴夫^{※1}
同上 正会員 林 伸幸^{※1}
日星電気技術部 中島徹人^{※2}

1. はじめに

ロックボルトの定着機構は、1970年代に発表された数多くの論文では議論が尽くされており、ボルト支保力の計算法は一般的に定着している。

近年、トンネルの大断面化の進展に伴ない高強度で取り扱いやすく、耐腐食性に優れた素材を用いたロックボルトへのニーズが高まり、複雑な表面形状により定着性を向上したケーブルボルトやGFRP、CFRPのような新素材ボルトが開発されている。

ここでは、ボルト表面の付着力を高めるために試作したGFRP組み紐タイプのボルトと異形鉄筋ボルト（標準ボルト）との引抜き試験結果について報告する。

2. 組み紐タイプロックボルトの形状

ここで使用したGFRP組み紐タイプボルトは、筒上に編み込んだグラスファイバーの素線に一定の張力を作用させながらエポキシ樹脂に含浸して製造している。ボルト表面の凹凸形状は、縦断方向で緩やかな sine curve に近似できるが、試作ボルトのために形状は一定していない。

3. 引抜き試験

異形鉄筋ボルトと組み紐タイプボルトの定着性を比較する目的で、若材令におけるボルトの引抜き試験を実施した。試験ボルトの形状寸法を表-1に示す。実験に用いた定着材は通常

表-1 試験ボルトの形状寸法

ボルト種別	ボルト径	ボルト長	降伏強度	破断強度	備 考
異形鉄筋ボルト	22mm	1m	20t	22t	
GFRP組み紐ボルト	平均 18.5mm	1m	-	20t	含浸材；エポキシエステル系 素線径；13μm

のプレミックスモルタルであり、8時間後に行った引抜き試験では標準、組み紐いずれのタイプともに定着材との付着が切れると人力で引き抜くことができた。この時点のモルタル一軸圧縮強度は平均6.2kg/cm²である。各ボルトの荷重-変位曲線を図-1に示す。引き抜いたボルトの定着材付着状況を写真-1に示す。

写真に見られるように、異形鉄筋ボルトは節に関係無く定着材が全面に付着しているが、組み紐タイプボルトは凹部に定着材が残留し、凸部の含浸材がはぎ取られている状況を示している。

4. ボルトの定着機構について

ボルトの設計引抜き耐力は、コンクリート標準仕様書の鉄筋の引抜き試験法を参考に次式を用いていることが多い。

$$P = \pi D \int_0^L \tau dx \quad (1)$$

ここで、 P ：引抜き耐力、 D ：ボルト径、

τ ：ボルトと定着材境界に働くせん断力

引抜き試験では、ボルト引抜き方向に直行する垂直応力が作用しないので $\tau \equiv C$ （ C ：定着材の粘着力）と考えられる。

試験結果によると、異形鉄筋ボルトと定着材境界におけるせん断面はボルトの節を連ねた線上に生じており、上式の D は節の断面径 D' を採用することが適当と考えられる。

組み紐タイプのボルトと定着材の境界面におけるせん断破壊は、ボルトの表面形状を sine curve と仮定すると図-2に示すような過程で発生すると推定される。

① ボルトに張力 P が加わると、凹部(A)にせん断変位を生じる。

② この変位はボルトの傾斜面(B)において、面に直行する垂直応力と並行するせん断応力を発生し、面Cには引

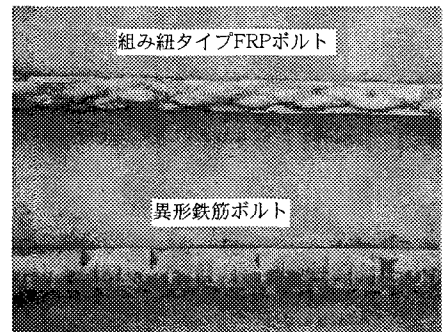


写真-1 引抜き後の定着材付着状況

^{※1} 〒103 中央区日本橋本町4-12-20 TEL：03-3661-2297

^{※2} 〒438-02 静岡県磐田郡竜洋町松本字大西206 TEL：0538-66-5161

張応力が作用する。

- ③ 変位の増加に伴い、面Aはdilationにより面に垂直で上向きの応力が発生してせん断面が分離するために、ボルトの引抜き耐力は定着材の内部摩擦角と dilation angle に依存するように変化する。

Yazici 他は、凹凸の面の傾斜が一定である全面定着型ボルトに関して、dilation angle とせん断応力（付着強度）を次式で定義している。

$$\tan i = (\tan i_0) \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

$$\tau = \sigma \cdot \tan \left\{ i_0 \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^\beta \right] + \phi \right\} \quad (3)$$

ここで、 i ：見かけの dilation angle、 i_0 ：凹凸面の傾斜角、 β ：dilation angle の係数

σ_{lim} ：定着材の圧縮強度に相当する限界応力、 ϕ ：定着材の内部摩擦角

ボルトの引抜き試験結果を比較すると、異形鉄筋ボルトは変位量は少ないが、荷重の増加に伴い変位速度が徐々に増加する傾向が認められており、ある荷重限界で急激に支保力が低下する可能性がある。これに対し組み紐タイプのボルトは、荷重1.5t程度まで変位速度の増加が認められるが、その後の荷重増加に対して変位速度が一定となり、ボルトの破断強度まで一定の支保力を維持できるので急激な支保力の低下が起こりにくいと考えられる。

荷重-変位曲線から表面形状が sine curve で近似できる組み紐タイプのボルトのせん断強度は、面Aにおける付着力に面B上のせん断抵抗を加えて評価することが重要であると考えられるが、面Aの付着力および面Bの dilation angle はボルトの表面形状や定着材の強度により変化するため、定着材の材令を考慮した検討が必要である。

ここでは、若材令時の引抜き試験結果から異形鉄筋ボルトと組み紐タイプのボルトの付着特性について述べた。今後、表面の形状の異なる数種類のボルトを作成し、材令の変化に伴う付着強度変化について検討を加える予定である。

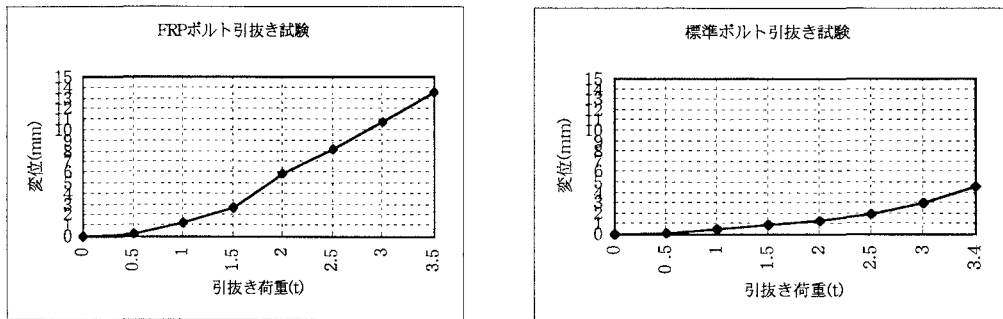


図-1 ボルトの荷重-変位関係

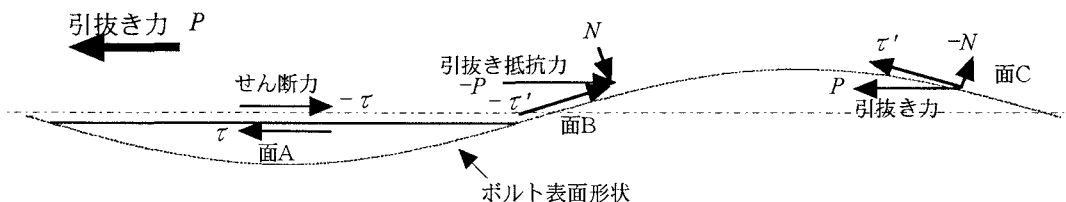


図-2 組み紐タイプボルト表面の応力の釣合い

参考文献

- 1) Syn.S Peng : "Coal Mine Ground Control "
- 2) S.YAZICI, P.K.KAIZER: Bond Strength of Grouted Cable Bolt; Int.J.Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.29,1992