

(III-124) 室内引抜き試験によるケーブルボルトの定着特性評価

大林組 技術研究所 正会員 ○木梨秀雄
大林組 技術研究所 フェロー会員 大内 一

1. はじめに

ケーブルボルトは全面接着式の岩盤補強部材であり、そのたわみ性と引張り強度・剛性を利用して長尺の先行支保を行うなどトンネル・地下空洞への適用が検討されている。ケーブルボルトは岩盤の変形に伴い軸力を生じることで支保効果を発揮するが、支保設計に際してはその定着特性評価が重要となる。そこで、本研究ではグラウト強度などを試験パラメータとしたケーブルボルトの室内引抜き試験を実施した。ここでは、引抜き時のすべりのメカニズムと付着強度に着目して述べる。

2. 実験方法

室内引抜き試験の概要を図-1に示す。図-1のように、ケーブルボルトは岩盤の拘束剛性を模擬するための鋼管内にセメントグラウトを充填して定着した。引抜き荷重はセンターホールジャッキで負荷し、ロードセルにより荷重を計測した。引抜き時にボルトーグラウト間で生じる相対変位は、ボルトおよびグラウトを固定点として引張端および自由端の両者において計測した。同時に、ボルト直交方向の変位を計測し両端でのボルトの回転量を把握した。グラウトで定着した区間の5カ所にはひずみゲージを設置し、引抜き時の軸力を計測した。実験条件を表-1にまとめる。表-1のように、ボルト径 ϕ を17.8、15.2、20.3mmとし、グラウトは3種類の水セメント比(W/C)を用い、養生期間を14日とした。また、削孔径は鋼管の内径Dにより設定し、鋼管の材質と肉厚により想定する岩盤の拘束剛性を変化させた。定着長Lは500mmとした。

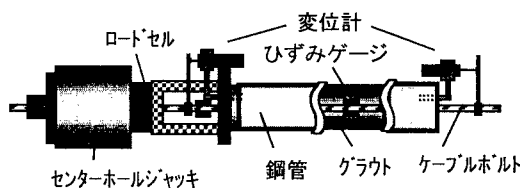


図-1 室内引抜き試験の概要

表-1 実験条件の一覧

ボルト径 ϕ (mm)	種類	グラウト W/C (%)	鋼管材質	鋼管内径 D(mm)
17.8	19本より線	45, 50, 60	アルミ、鋼、炭素鋼	42,44,46
15.2	7本より線	50	炭素鋼	44
20.3	19本より線	50	炭素鋼	44

3. 結果および考察

試験結果より、変位ー荷重、ボルト回転角関係の一例を図-2に示す。図-2のように、引抜き開始から②まではボルトーグラウト間の相対変位がほとんどない状態で荷重が増加するが、②～④では引張端から自由端へと付着切れが進行するため、引張端での相対変位が徐々に増加している。そして、④では自由端の変位が発生すると同時にボルトが回転し始める。一方、引張端の回転量は載荷後漸次増加している。このように、ケーブルボルトの引抜き時のすべりには回転を伴うことがわかる。引抜きに伴うすべりは、並進によるすべりと回転によるすべりに分けて考えることができる。すなわち、並進によるすべりは支圧効果を伴う付着抵抗、回転によるすべりは摩擦による付着抵抗である。そこで、引抜き変位と

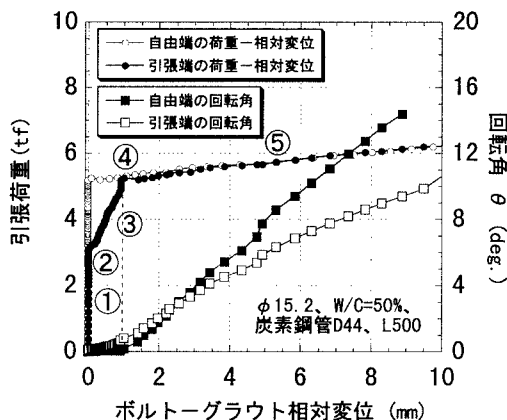


図-2 引抜き時の荷重、回転角ー変位関係

キーワード：ケーブルボルト、定着特性、引抜き試験

連絡先：〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL 0424-95-0910 FAX 0424-95-0903

回転成分による変位の関係を図-3に示す。ここで、回転成分の変位は、ボルトがより線に沿って回転しながら引抜けるものと考え、 $(\text{回転角}/360^\circ) \times (\text{より線1周期分の長さ})$ として算出した。図-3より、自由端では引抜き変位のほぼ100%が回転成分であり、ボルトがより線に沿って回転しながら引抜かれているものと考えられる。一方、引張端では引抜き変位の60%程度が回転成分となっており、ボルトのすべりが並進と回転の成分により生じているものと考えられる。

次に、グラウトのW/Cが50%および45%の場合の荷重－変位関係をまとめて示したものが図-4である。図-4より、グラウトのW/Cが45%および50%では荷重－変位関係に特徴的な違いが認められる。すなわち、W/C=50%の場合は図-2の④に対応する付着切れ後の荷重増加はほとんどないが、W/C=45%の場合は荷重が増大している。なお、W/C=60%の荷重－変位挙動はW/C=50%と同様であった。

図-4に示されるような挙動は、引抜き時の全体平均的なものであるが、定着部の局所的な挙動としては、計測したボルトのひずみ分布より、図-5のような付着応力 τ ～すべり s の関係として得られる。図-5では、ひずみを計測した5カ所のうち、引張端および自由端側での τ - s 関係を示した。図-5の τ - s 関係において、局所的な付着強度を降伏応力 τ_y と最大応力 τ_u で整理してみる。W/C=45%の場合、引張端側（添え字t）では τ_{yt} 発現後に付着応力が増加して τ_{ut} となり、自由端側（添え字f）の降伏応力 τ_{yf} は引張端側での降伏応力 τ_{yt} よりも小さく、かつ τ_{yf} 発現後の付着応力の増加がない。一方、W/C=50%の場合、 τ_{yt} および τ_{yf} 発現後の付着応力の増加がない。このような引張端および自由端側での付着強度を各ケースについてグラウト強度との関係でまとめると、図-5のようになる。図中の模式図に示したように、 τ - s 関係は $\tau_y = \tau_u$ 型と $\tau_y < \tau_u$ 型に分けることができる。実験結果によれば、自由端側ではグラウト強度に依らず $\tau_y = \tau_u$ 型であり、引張端側ではグラウト強度が30～40MPa (W/C=50, 60%) の場合 $\tau_y = \tau_u$ 型、グラウト強度が48MPa (W/C=45%) の場合 $\tau_y < \tau_u$ 型となっている。図-5によれば、自由端側の降伏強度 τ_{yf} はグラウト強度による差が小さい。これは、図-3でも示したように自由端側では回転すべりが支配的となるためと考えられる。一方、引張端側では、グラウト強度が48MPaの場合に τ_{ut} が大きくなっている。この要因として、並進成分のすべりによる付着強度の増大や、引張端側の支圧板の影響などが考えられ、今後検討を要する。

4. まとめ

ケーブルボルトの付着特性を把握し、空洞の安定性評価を行うためには、すべりのメカニズムを考慮したモデル化が必要と考えている。今後、データの蓄積と試験結果の詳細な分析による検討を継続する予定である。

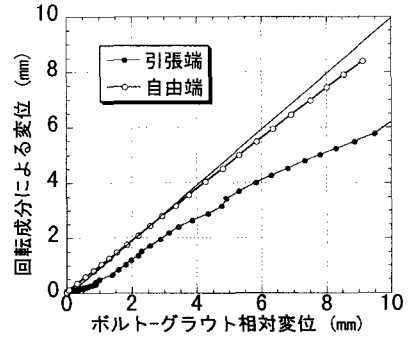


図-3 引抜き変位－回転変位の関係

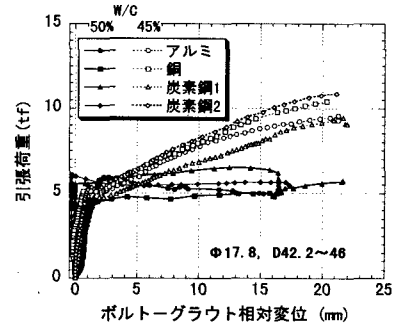


図-4 W/C=45, 50%の荷重－変位関係

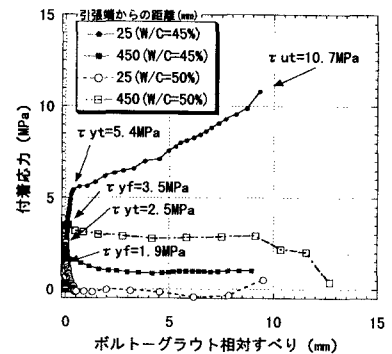


図-5 付着応力－すべりの関係

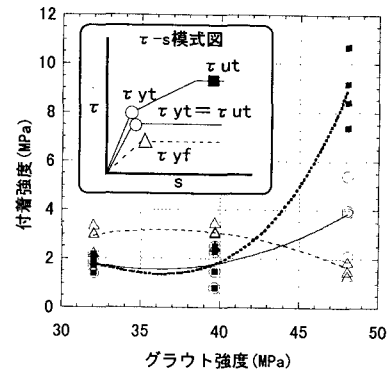


図-6 グラウト強度と付着応力の関係