

Ⅲ-B 47

室内引抜き試験によるケーブルボルトの定着特性評価と付着モデル

大林組 ○正会員 木梨秀雄 フェロ-会員 大内 一
京都大学 フェロ-会員 大西有三

1. はじめに

ケーブルボルトは全面接着式の岩盤支保工であり、そのたわみ性と引張強度・剛性を利用した長尺の先行支保やP S工の代替などトンネル・地下空洞への適用が検討されている。本研究では、ケーブルボルトの支保効果を考える上で重要となる定着特性を把握することを目的とし、ケーブルボルトの室内引抜き試験を実施した。そして定着部の局所における付着応力、およびボルト・グラウト間の相対変位の関係に基づいてすべりのメカニズムを検討し、定着特性を評価した。さらに、付着モデルを検討し原位置引抜き試験結果との比較を行った。

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考慮するため、種々のパイプ内にセメントグラウトを充填して定着したり。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・グラウト間で生じる相対変位は、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引抜きに伴う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、引抜き時の軸力分布を把握した。ボルト径は $\phi 17.8\text{mm}$ を基本に比較のため $\phi 15.2$ 、 20.3mm も用いた。グラウトの水セメント比は45,50,60%の3種類で、養生期間を14日とし、実験時一軸圧縮強度はそれぞれ、48,40,32MPaであった。拘束管の内径は42~46mmで、管の材質と肉厚によりCH~B級程度の岩盤の拘束剛性を想定した。また、定着長は500mmとした。

3. 結果および考察

試験結果より、荷重-相対変位、回転変位成分関係の一例を図-2に示す。図-2のように、引抜き開始から①まではボルト・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、①~②では引張端から自由端へと付着切れが進行し、引張端での相対変位が徐々に増加する。そして、②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。そこで、図-2では引抜き変位と回転による変位成分の関係も示した。ここで、回転による変位成分は、 $(\text{回転角}/360^\circ) \times (\text{より線1周期分の長さ})$ として算出した。図-2より、引張端では引抜き相対変位の60%程度が回転成分であるのに対し、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。これは、定着部における軸力が軸方向ではなくより線方向に生じるため、全体として並進して引き抜けるよりも回転により滑り易くなるためと考えられる。

次に、 $\phi 17.8\text{mm}$ を用いたグラウトのW/Cが50%および45%の場

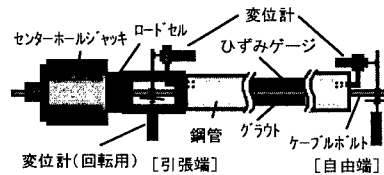


図-1 引抜き試験の概要

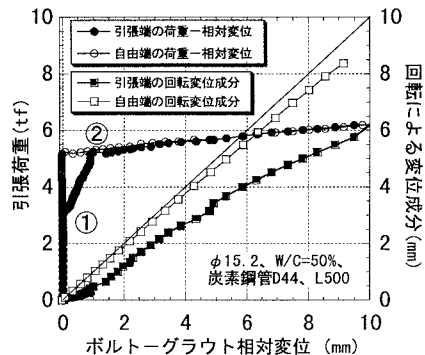


図-2 荷重-変位・回転角挙動の一例

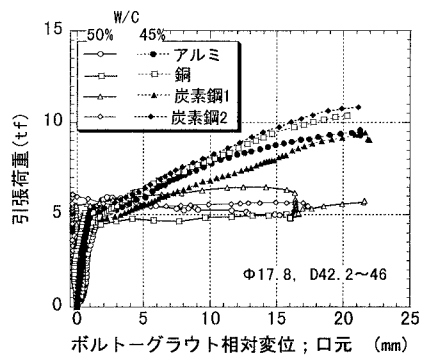


図-3 W/C=45, 50%の荷重-変位関係

キーワード：ケーブルボルト、引抜き試験、定着特性、付着モデル

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

合の荷重－変位関係をまとめて示したものが図-3である。図-3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②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。また、今回の試験条件下における拘束管の剛性による付着強度等の違いは認められなかった。これは、引抜きに伴う付着が回転による摩擦抵抗に支配されており、すべりに伴うダイレーションが発生しにくいと考えられる。なお、W/C=60%の荷重－変位挙動はW/C=50%と同様であった。

図-3に示されるような荷重－変位関係は、引抜き時の全体平均的な挙動であるが、定着部の局所的な挙動としては、引抜き荷重および定着部5カ所の軸力を用いて各区間の付着応力 τ 、および各区間でのボルトの伸び量を差引いたすべり s の関係として図-4のように得られる。図-4の τ - s 関係から局所的な付着強度を降伏応力 τ_y と最大応力 τ_{max} で整理した。これら、 τ_y と τ_{max} のボルト延長上での分布を示すと図-5のようになる。図-5のようにW/C=45%の場合、 τ_y は自由端を除くと平均的にはほぼ一定となっているが、 τ_{max} に関しては引張端で大きくなっている。これは、引張端での回転拘束や載荷板によるグラウトへの拘束圧の影響と考えられる。なお、W/C=50, 60%の場合は、降伏後の付着応力増加は認められず($\tau_y = \tau_{max}$)、かつ τ_y はW/C=45%の場合とほぼ同等であった。

以上から得られた定着パラメータをまとめると表-1のようになる。付着強度は τ_y で評価することができる。また、 τ_y に対応するボルト－グラウト間の相対すべり S_y が得られる。さらに、 $\phi 15.2$ に対応する単位長さ当たりの付着強度 S_{bond} および付着剛性 K_{bond} を示した。この結果、付着モデルとしては、 K_{bond} および S_{bond} によりバイリニアな関係として表現できる。

表-1 付着パラメータのまとめ

	τ_y (MPa)	τ_{max} (MPa)	S_{bond} (kN/m)	S_y (mm)	K_{bond} (GN/m/m)
W/C=45%	3.2	4.3	155	0.11	1.41
W/C=50%	3.6	3.8	173	0.07	2.47
W/C=60%	3.4	3.4	162	0.07	2.32
平均	3.4	3.8	163	0.08	2.06

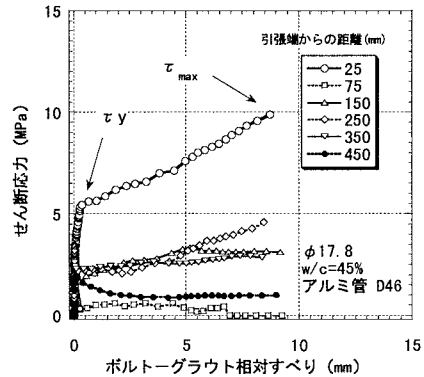


図-4 付着応力－すべりの関係

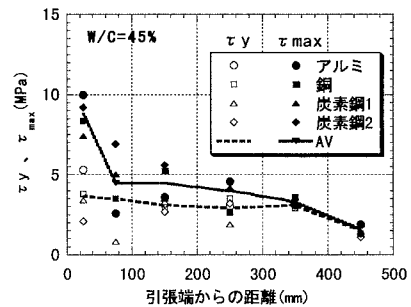
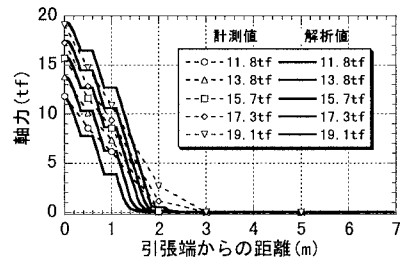

 図-5 τ_y 、 τ_{max} の分布


図-6 解析および計測の軸力分布比較

得られた S_{bond} 、 K_{bond} を用いてUDECにより原位置の引抜き試験結果⁹⁾を解析した。原位置では、 $\phi 15.2$ ・定着長7mで引抜き試験を実施した。計測及び解析結果の軸力分布を比較したものが図-6である。解析では、軸力計設置箇所(20cm区間)を無定着として考慮した。図-6より両者の軸力分布は概ね良好な一致を示していることがわかる。

4. まとめ

ケーブルボルトの室内引抜き試験により、局所的な付着応力分布やすべりとの関係を把握し、定着特性を評価した。今後は、ケーブルボルトの支保効果と空洞の安定性について研究を進める予定である。

参考文献

- Hyett A.J., W.F.Bauden, R.D.Reichert : The effect of rock mass confinement on the bond strength of fully grouted cable bolts, Int. J. Rock Mech.Min. Sci & Geomech. Abstr., Vol.29, pp.503 - 524, 1992
- 木梨秀雄・天野悟・大内一：引抜き試験結果を利用したケーブルボルトの定着特性評価について、土木学会第53回年次講演会Ⅲ-B、pp.204～205、1998