

原位置岩盤におけるケーブルボルトの付着特性に関する検討

清水建設 正会員 ○若林 成樹
 清水建設 正会員 多田 浩幸
 清水建設 正会員 西 琢郎
 清水建設 正会員 中谷 篤史

1. はじめに

大断面トンネルや大規模地下空洞の建設においてコストの削減, 合理化を図るためにケーブルボルトによる支保, 補強が注目されている. ケーブルボルトはフレキシブルで狭いスペースからの施工が可能であることから空洞掘削時の先行補強や長尺ロックボルトの代替としての適用が考えられる. このケーブルボルトの支保, 補強効果はボルト自体の機械的性質, グラウト材の変形強度特性, ボルトとグラウトおよび岩盤との付着特性や岩盤剛性に大きく影響される. 従って支保, 補強効果を最終的に確認するためには原位置岩盤での引き抜き試験による検討が不可欠である. 本報では表-1 に示すようにグラウトとの付着強度を向上させるために PC 鋼線の表面にインデント加工した ST ケーブルボルト¹⁾と通常の PC 鋼より線ケーブルボルトの 2 種類で引き抜き試験を実施し, 付着特性に関する検討を行った結果を報告する.

2. 試験場所

試験はハイパーカミオカンデの建設構想のある神岡鉱山枋洞鉱における-300m 準 (EL. 550m) レベルにあるほぼ南北にのびる坑道内で実施した. 坑道壁面スケッチを展開図にまとめた結果を図-1 に示す. 岩種は主に変成岩類である片麻岩と混成岩類である伊西岩からなり, これらにアプライト岩脈が陥入している岩盤状況である. 岩級としては B~CH 級が主体で, 一部に CM 級が存在する非常に良好な岩盤である. また, 表-2 に片麻岩と伊西岩の力学試験結果を示すが, 両者とも一軸圧縮強度が 176N/mm^2 以上, 弾性係数が 60.4kN/mm^2 以上と堅硬な岩石である. 引き抜き試験は図-1 に示すように片麻岩の B, CM 級, 伊西岩の B, CH 級の 6 箇所で行った.

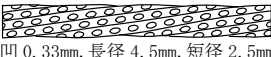
3. 試験手順

坑道壁面に外径 35mm で約 60cm までボーリングで削孔した. 孔内に SN ドライモルタル (7 日強度: 59.2N/mm^2) を注入した後に 2 種類のケーブルボルトを定着長 57cm になるように挿入し, 6 日後に引き抜き試験を実施した. 試験装置および試験状況を図-2 に示す. グリップは 3 分割のチャックとテーパ付きのカプラーからなり, 載荷されるとボルトを把持する構造となっている. グリップの変形量はジャッキと座金間の変位から座金と手前のグリップ間の変位を差し引くことで補正した.

4. 試験結果

図-3 に岩種, 岩級ごとに 2 種類のケーブルボルトの引き抜き荷重と変位の関係を示す. 一部の ST ケーブルボルトではボルトの耐力 (196kN) を越えたため載荷を打ち切っている. 最大引き抜き荷重は, ばらつきがあるが岩種や岩級による明

表-1 試験に用いたケーブルボルト

種 類	縦断形状	横断形状
ST ケーブルボルト (インデント加工)	 凹 0.33mm, 長径 4.5mm, 短径 2.5mm	 外径 15.2mm
PC より線 ケーブルボルト		 外径 15.2mm

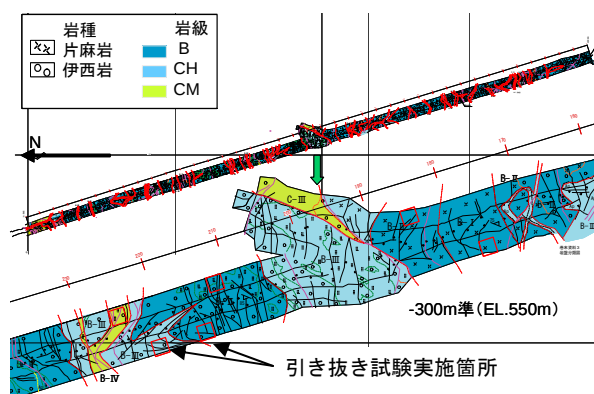


図-1 試験実施坑道の岩盤状況

表-2 岩石の力学試験結果

力学特性	伊西岩	片麻岩
一軸圧縮強度: σ_c (N/mm^2)	191	176
弾性係数: E_s (kN/mm^2)	60.4	64.3
ポアソン比: ν	0.24	0.26
引張り強度: σ_t (N/mm^2)	9.3	10.5

キーワード ケーブルボルト, 原位置岩盤, 引き抜き試験, 付着特性, 付着強度, 付着剛性

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 地下技術グループ TEL 03-3820-8396

確な違いは見られない。表-2のように岩種による力学特性の差が少ないためと考えられる。ST ケーブルボルトの最大引き抜き荷重は 158kN 以上であり、PC より線ケーブルボルトの 30kN 以上に比べて 5 倍以上の耐力を有している。また、ST ケーブルボルトは最大引き抜き荷重後に軟化し、変形が増加すると荷重が再度増加する傾向が見られる。一方、PC より線ケーブルボルトは完全弾塑性型の挙動を示す。これらは ST ケーブルボルトがインデント加工されており、ボルト表面とグラウト間の付着が PC より線ケーブルボルトより大幅に向上していること、インデントによるダイレイション効果のためと考えられる。

試験後に口元の観察を行い、変形は全てボルトとグラウト間で発生していたことを確認した。ボルトとグラウト間のせん断挙動を図-4 に示す完全弾塑性挙動とし、定着長で基準化した付着剛性（荷重/変位/定着長）と付着強度（最大荷重/定着長）でモデル化した²⁾。全試験の付着剛性と付着強度の関係を図-5 に示す。岩種や岩級による明確な差は認められないが、ST ケーブルボルトは付着強度が 270kN/m 以上で、PC より線ケーブルボルトの 53kN/m 以上の 5 倍以上の付着強度を有していること、付着剛性も PC より線ケーブルボルトより大きくなっていることが得られた。

5. おわりに

神岡鉱山枋洞鉱内で ST ケーブルボルトと PC より線ケーブルボルトの引き抜き試験を実施した。ST ケーブルボルトは PC より線ケーブルボルトに比べて付着強度で 5 倍以上で付着剛性も大きく、有効な支保・補強部材であることを確認した。今後は超大断面空洞を想定し、ST ケーブルボルトおよび岩盤亀裂を考慮した安定解析を実施していく予定である。

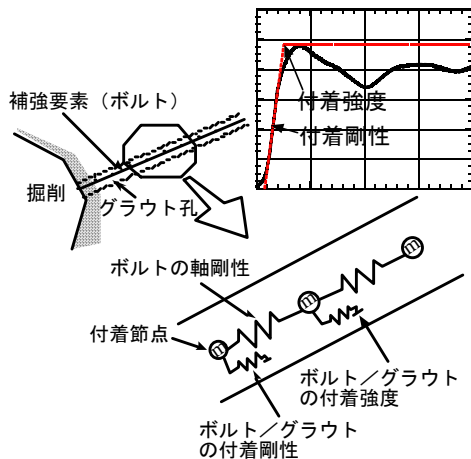


図-4 全面定着型ボルトのモデル化概念図

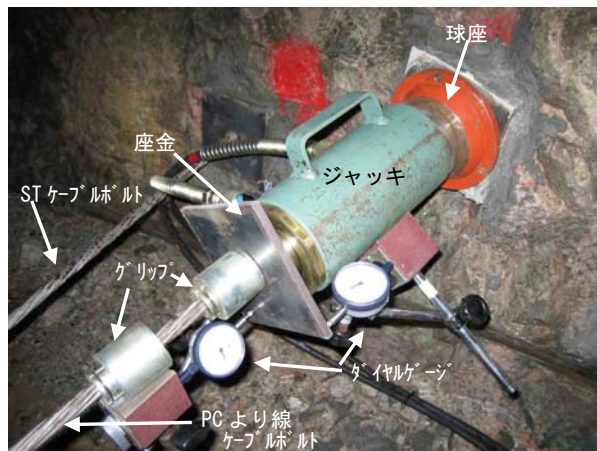


図-2 試験装置および試験状況

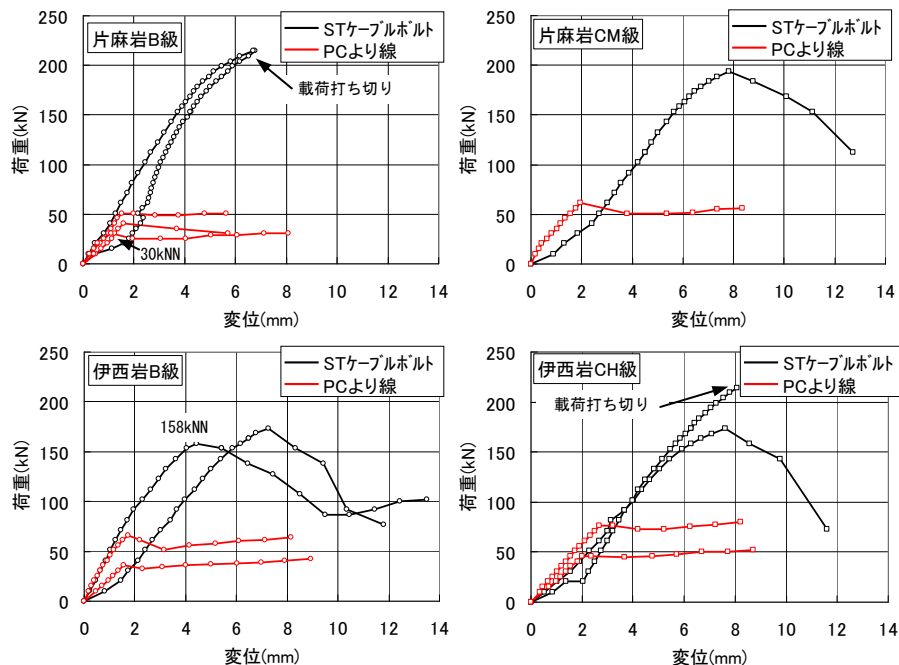


図-3 引き抜き試験時の荷重と変位の関係

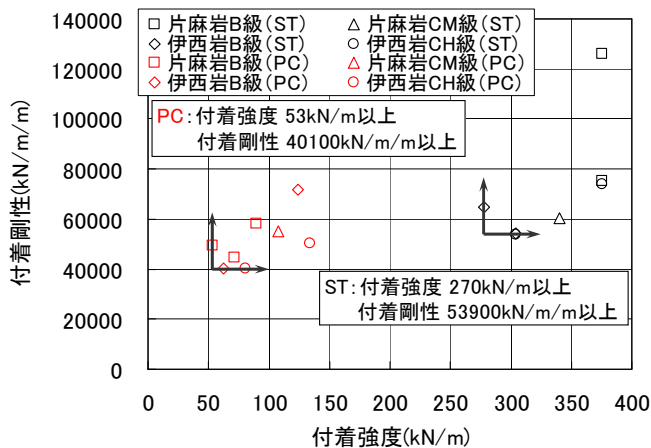


図-5 ボルトの付着剛性と付着強度

参考文献

- 1) 石塚ら：室内試験によるケーブルボルトの付着抵抗に関する検討，第 32 回地盤工学研究発表会講演集，1997，pp. 2161～2162。
- 2) 安部ら：ケーブルボルト付着特性の解析モデルの検討，第 32 回地盤工学研究発表会講演集，1997，pp. 2163～2164。