

ケーブルボルトのパターンボルトとしての支保効果

日本鉄道建設公団 盛岡支社 (正) 服部 修一、藤田農武也
 清水建設(株) 技術研究所 (正) 安部 透、石塚与志雄
 東北支店 (正) 今津 雅紀
 土木本部 (正) 栗林 勇司、宮沢 和夫

1. はじめに

ケーブルボルトは、大断面トンネルや地下空洞掘削時の事前補強やロックボルトの代替として期待されている⁽¹⁾が、付着力がロックボルトと比較して小さいことが課題であった。筆者ら⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾は、PC鋼線にインデント(凹)を設けることにより、付着力が飛躍的に向上することを室内・原位置試験により検証を行った。また、硬岩トンネルでケーブルボルトの支保効果を検討し、ねじり棒鋼等のロックボルトと同等の効果が期待できることを明らかにした⁽⁵⁾。今回は中硬岩トンネルで3種類のボルトの引抜き試験を行って付着特性を調べるとともに、ロックボルトの代替として開発したネジ付ケーブルボルト⁽⁶⁾をパターンボルトとして打設し、トンネル支保効果について検討した。

2. トンネルおよび地山の概要と試験の概要

今回の試験を行ったのは、日本鉄道建設公団の東北新幹線八戸～青森間に建設中の八甲田トンネル屋形工区の斜路(水平長L=718.0m)である。地山は、新第三紀中新世の和田川層凝灰岩(粗粒)であり、地山等級はⅡ_N級に分類される。斜路標準断面(幅6.4m、高さ5.0m)を図-1に示す。支保パターンは吹付けコンクリート平均厚10cm、ボルト長2m(D22 異形棒鋼、周方向間隔1.5m:1断面8本)である。

付着特性を調べる試験は、TD.450m 付近の転換坑拡幅部側壁で行った。ボルトは、通常のPC鋼より線、インデント付PC鋼より線(PC鋼線に0.33mmのインデントを設けたPC鋼より線)、異形棒鋼の3種類とした。試験は定着長1m、グラウト材はプレミックスドライモルタルとし材令は3日で引抜いた。引抜荷重の最大は異形棒鋼で147kN、ケーブルボルトで196kNまでとした。

ネジ付ケーブルボルトのパターンボルト打設は、TD.542.75m～562.25m間(水平距離19.5m、13断面、108本)で行った。ネジ付ケーブルボルトは、表-1に示すように、インデント付PC鋼より線にネジを圧着加工して取り付けたものである。

3. 付着特性試験結果

図-2、表-2に軸荷重-変位関係と引抜き試験結果を示す。インデント付

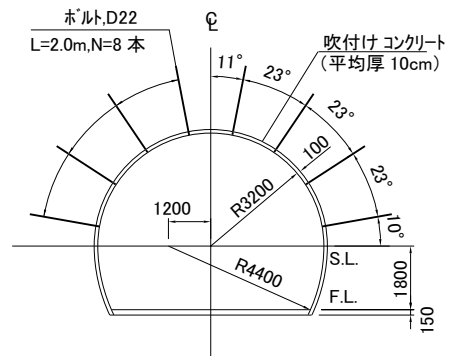


図-1 斜路標準断面と支保パターン

表-1 ケーブルボルト、異形棒鋼とネジ付ケーブルボルトの概要

種類	外観図	横断面
PC鋼より線	外径: 15.5mm	
インデント付PC鋼より線 (凹 0.33mm)	外径: 15.5mm	
異形棒鋼	外径: 23.8mm	

ネジ付ケーブルボルトの概要

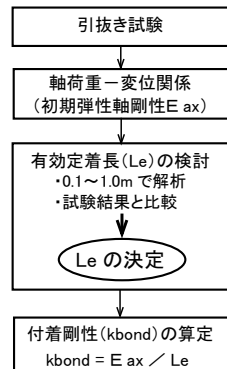


図-3 付着剛性の決定フロー

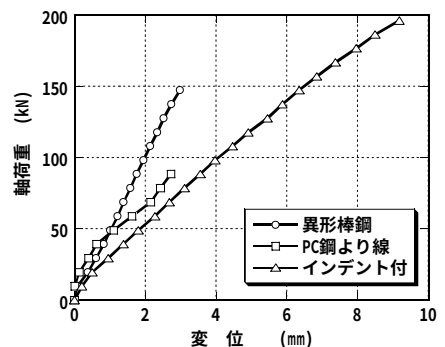


図-2 引き抜き試験結果

キーワード: ケーブルボルト、支保、トンネル、現場計測、解析

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 TEL&FAX 03-3820-5574

の引抜き荷重は 196kN 以上であり、異形棒鋼(147kN 以上)と同等以上の付着強度を有している。また、通常の PC 鋼より線(88.3kN)と比較しても 2 倍以上であり、インデントが有効であることがわかる。一方、インデント付の軸剛性は 21.6MN/m であり、異形棒鋼(79.8MN/m)の 1/3 以下である。

以上のことから、付着強度からインデント付ケーブルボルトは中硬岩地山においても支保効果が期待できるものと考えられるが、付着剛性が小さいため、変形量についての検討が必要であると考えられる。

4. トンネル掘削・支保解析結果

解析による支保効果の検討には FLAC を用いた。全面定着型ボルトモデルにはボルト／グラウト間の付着特性（付着強度、付着剛性）を考慮したケーブル要素を用いた。解析はインデント付と異形棒鋼の 2 種類について行った。解析定数の付着強度は、最大引抜き荷重を定着長で除して求めた。一方、付着剛性はボルト／グラウト間のせん断変形に寄与する範囲（有効定着長：Le）は限定され定着長に依存しないため、付着特性試験結果から Le を評価し、付着剛性を軸剛性／有効定着長で評価する方法から設定した。図－3 に付着剛性の決定フローを示す。表－2 に付着剛性の決定フローに基づく解析結果から求めた付着剛性を示す。

トンネル掘削・支保解析モデルを図－4 に示す。解析では 2 次元解析を考慮し、掘削による応力を 50% とした。初期地圧は土被りを 180m で等方状態、地山物性は地山等級Ⅱ_N級の代表的な値(弾性係数 3.0GN/m²、粘着力 1.5MN/m²、内部摩擦角 40°、ポアソン比 0.30、密度 2500kg/m³)とした。図－5 にインデント付と異形棒鋼のボルト軸力分布と天端沈下、水平内空変位値を示す。両者ともボルト／グラウト間での付着切れの発生はない。ボルトの最大軸力は、異形棒鋼で 29.6kN、インデント付で 10.0kN であり、ともにボルトの引張荷重値（異形棒鋼 217kN、インデント付 235kN）と比較して余裕がある。一方、変形量は、異形棒鋼区間(TD.530m)のみ内空変位の測定を行ったが天端沈下が 6.0mm、水平内空変位が 3.7mm であり、解析結果（天端沈下 3.9mm、水平 3.2mm）よりやや大きな値を示す。解析ではインデント付と異形棒鋼で、軸力と変形量に差が生じる。これは、インデント付は異形棒鋼と比較して、付着強度は同等以上であるものの、付着剛性が小さいため異形棒鋼と比較して軸力は小さくなり、変形量は大きくなるためである。

4. まとめ

中硬岩地山のトンネルにおいて、インデント付 PC 鋼より線の引抜き試験とパターンボルト打設を行って、支保効果を検討した。その結果、地山等級Ⅱ_N級の中硬岩トンネルにおいても異形棒鋼等のロックボルトと同等の効果が期待できるものと考えられる。ケーブルボルトはロックボルトと比較して剛性が小さいため、大きな変形が発生する地山での適用について、変形量の観点からの検討が今後の課題である。

謝辞：今回、試験に供したネジ付ケーブルボルトは東京製綱(株)殿ならびに(株)ケーエフシー殿から御提供頂いたものです。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

(1)清水ら（1997）：海外におけるケーブルボルトの設計法、トンネルと地下、第 28 号、4 号、pp.43-52.

(2)石塚・安部・今津（1998）：インデントを付けた PC 鋼より線の付着抵抗に関する研究,第 33 回地盤工学研究発表会講演論文集、pp.1977-1978.

(3)石塚・安部（1998）：地盤剛性がケーブルボルトの付着抵抗特性に与える影響、土木学会第 53 回年次学術講演会概要集、Ⅲ-B104、pp.208-209.

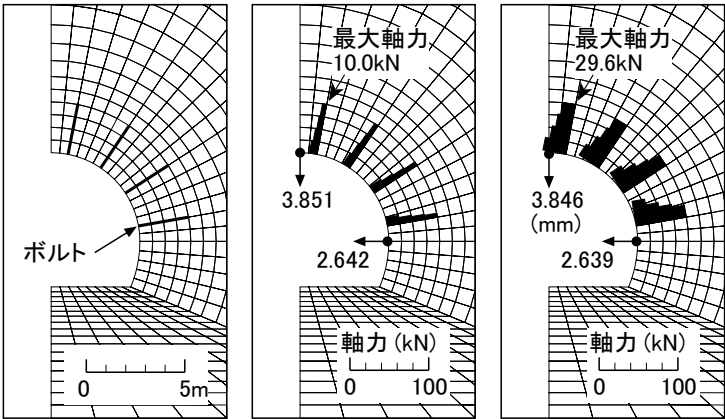
(4)石塚・安部・今津（1998）：ケーブルボルトの定着長と解析定数の決定方法、第 8 回トンネル工学論文・報告第 8 巻、報告(2)、pp.101-106.

(5)石塚・安部（2000）：ケーブルボルトによるトンネル支保効果の計測と解析、土木学会第 55 回年次学術講演会概要集、Ⅲ-B82、

(6)栗林・宮沢（2001）：ネジ付ケーブルボルトの開発と試験施工、土木学会第 56 回年次学術講演会概要集（投稿中）

表－2 引抜き試験結果と解析定数

	引抜き荷重 (kN)	軸剛性 (MN/m)	付着強度 (kN/m)	有効定着長 Le(m)	付着剛性 (MN/m/m)
PC鋼より線	88.3	23.6			
インデント付 PC鋼より線	196以上	21.6	196	0.6	30.8
異形棒鋼	147以上	79.8	147	0.7	114



図－4 解析モデル
 (1) インデント付
 (2) 異形棒鋼
 図－5 解析結果