

変位追従型長尺鏡ボルトのいなし効果に関する解析的検討

株式会社ケー・エフ・シー (正) ○岡部 正

株式会社ケー・エフ・シー (正) 松尾 勉

1. はじめに

近年における山岳トンネルの補助工法は、従来の長尺フォアパイリングとともに、鏡部前方地山の補強を目的とした長尺鏡ボルトが採用される機会が増えている。これは長尺鏡ボルトに対して鏡面の自立性を保持する効果だけでなく、先行変位や周辺地山のゆるみ抑制という地山安定化効果が期待されていることが要因として挙げられる。ただし、長尺鏡ボルトは切羽前方地山の先行ゆるみを積極的に抑制することで、掘削時に切羽での解放応力が急激に生じ、坑内変位の増大や支保への影響が懸念される場合もある。早期閉合を実施しているトンネルにおいて、長尺鏡ボルト無しの区間に比較し、長尺鏡ボルトを実施した区間の初期変位速度および変位量が大きくなった計測結果も報告されている¹⁾。

本報告では、このような課題を解決するために開発した「変位追従型長尺鏡ボルト」の室内試験結果およびトンネルの三次元数値解析による本工法の切羽前方地山への「いなし効果」に関する検討結果について述べる。

2. 工法概要

開発した「変位追従型長尺鏡ボルト」は所定の引張荷重が作用した時に、専用の特殊カプラが軸方向にスライドすることにより、切羽の押し出し変位を許容して切羽前方地山応力の「いなし効果」や大変形地山への「追従（破断抑制）」を期待する工法である。図-1 に変位追従型長尺鏡ボルトの概要図を示す。特殊カプラは3mの鋼管の接続用カプラで、2つの部材により構成される（図-2 参照）。

3. 室内引張試験と数値解析結果

万能試験機により特殊カプラの室内引張試験を実施した。特殊カプラに200～300kNの引張荷重が作用するとカプラが軸方向にスライドして荷重が解放され、変位を許容しながら最終耐力400kNに達するまで30mm程度変位することを確認した。

室内引抜試験結果を簡易的に模擬するための再現解析を実施した。解析モデルはFLAC（Itasca社製）のケーブル要素を用いて、特殊カプラ部分を想定した要素の軸力が200kNに達した時に、要素の弾性係数を極小（ ≈ 0 ）とすることによりスライドを模擬する。その後、要素の節点変位が25mmを超えると正規の弾性係数（ $=200\text{GPa}$ ）を与え、最終強度の400kNまで荷重を受け持つこととした。図-3 に室内引張試験結果と再現解析結果を比較して示す。解析モデルにおいて、最終耐力400kNに達するまで30mm変位する

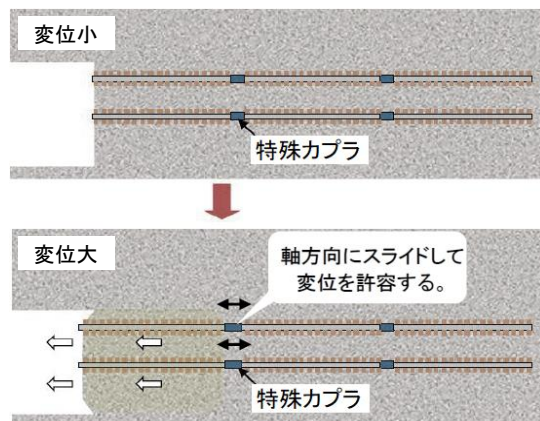


図-1 変位追従型長尺鏡ボルトのイメージ図



図-2 特殊カプラ外観

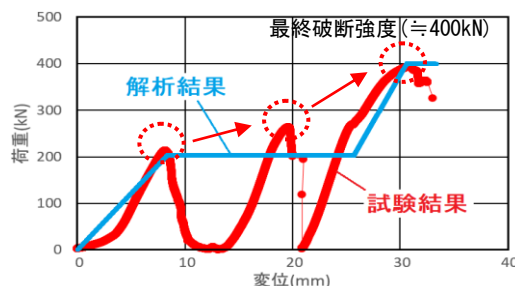


図-3 特殊カプラ引張試験結果（試験値、解析値）

連絡先 〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1 芝パークビル B 館 11F 株式会社ケー・エフ・シー TEL 03-6402-8257

ことを確認した。次に、上記の特殊カブラ要素を用いてトンネル掘削時のシミュレーションを実施した。解析モデル図を図-4に示す。図-5に長尺鏡ボルトのモデルを示す。本解析では、特殊カブラ要素は1m長とした。表-1に地山および長尺鏡ボルトの入力物性値を示す。解析ケースは①鏡ボルト無し、②長尺鏡ボルト、③変位追従型長尺鏡ボルトの3ケースとした。

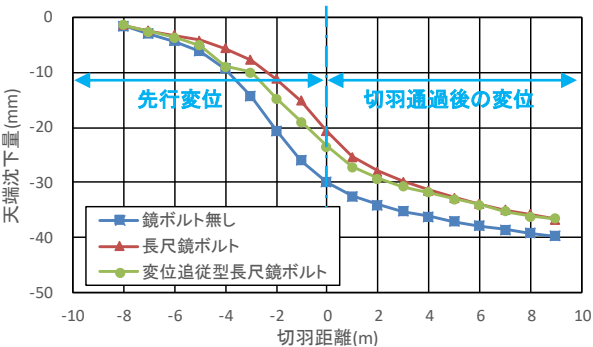
図-6に各ケースにおける切羽進行に伴う鏡部の押出し変位を示す。①鏡ボルト無しに比較し、②長尺鏡ボルトは高い変位抑制効果がみられる。③変位追従型長尺鏡ボルトは②長尺鏡ボルトに比較し、押出し変位が大きい。鏡部下部に最大変位が発生するモードとなり、切羽安定性の向上がみられる。図-7に天端沈下量の経距変化を示す。(a)全体変位について、②長尺鏡ボルトは切羽前方区間では、①鏡ボルト無しに比べて変位が小さく、先行変位を抑制する効果がみられる。逆に、(b)切羽通過後の天端沈下量については、②長尺鏡ボルトは、①鏡ボルト無しに比較し、大きく発生している。特に、切羽通過後の変位速度も①鏡ボルト無しに比較し、大きいことから、鏡部前方の押出し変位を抑えていたことによる急激な解放応力が作用した影響であると考えられる。③変位追従型長尺鏡ボルトは、②長尺鏡ボルトに比較し、先行変位はやや大きい。切羽通過後の変位は小さくなることを確認した。

4. おわりに

変位追従型長尺鏡ボルトは、鏡部の押出し変位を許容する「いなし」的な効果により、切羽通過後の変位を抑制できることが解析的に確認された。その結果、全体変位は長尺鏡ボルトと同等とし、坑内変位の抑制や支保に作用する応力の軽減効果が期待できる。

参考文献

1) 佐藤淳ほか：早期閉合トンネルの力学挙動特性に関する考察、トンネル工学報告 23 巻、pp.25-34 (2013)



(a)全体変位 (先行変位+切羽通過後の変位)

図-7 天端沈下量

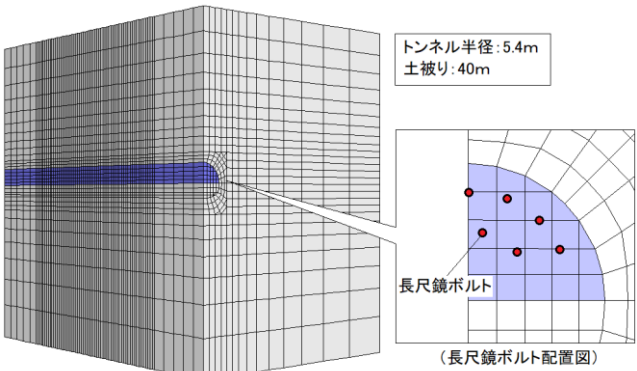


図-4 解析モデル図

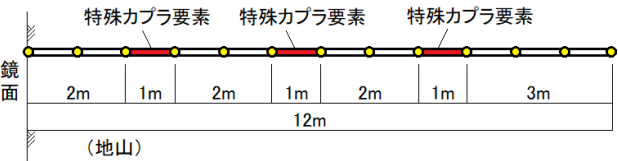
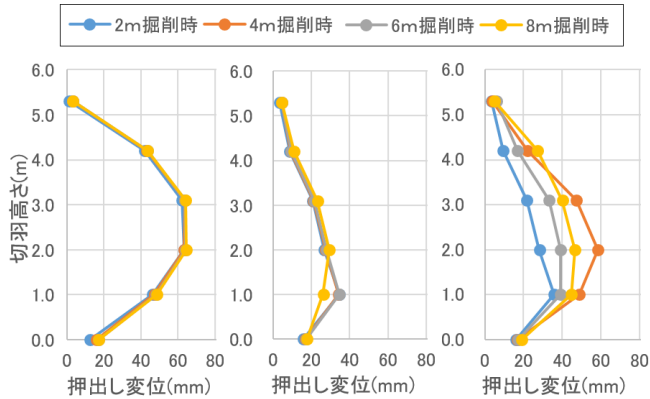


図-5 変位追従型長尺鏡ボルトのモデル化

表-1 入力物性値

	地山	長尺鏡ボルト(溝付鋼管) (φ76.3mm,t=4.2mm)
単位体積重量(kN/m³)	19	78
弾性係数 (MPa)	150	200,000
粘着力 (kPa)	20	—
内部摩擦角 (°)	30	—
断面積 (m²)	—	1.3×10 ⁻³
破断耐力 (kN)	—	400



① 鏡ボルト無し ② 長尺鏡ボルト ③ 変位追従型長尺鏡ボルト

図-6 切羽鏡部の押出し変位量

