

ロックボルト施工方法の違いによる支保効果の比較

元山口大学工学部社会建設工学科 非会員

○比恵島巨輝

飛鳥建設株式会社 非会員 渡邊 博, 西森利長, 宇都宮基宏

山口大学大学院創成科学研究科 正会員

森本真吾, 進士正人

1. はじめに

ロックボルトの定着方法は、先にモルタルを充填してからロックボルト芯材を挿入する先充填型が最も一般的である。近年、脆弱な地山などで、確実性や信頼性の高い定着効果が期待できる後注入型と呼ばれる定着方法が採用されるケースがある¹⁾。ロックボルトは先充填型・後注入型ともに通常の施工管理条件を満足するため、支保効果としての両定着方法の差はこれまで明確にされているとは言い難い。

そこで、本研究は両定着方法で施工されたロックボルトの原位置引抜試験を行い、得られたデータに対する三次元数値解析を行うことで、定着方法の違いによる支保効果の比較を行った。

2. 原位置ロックボルト引抜試験

2.1 現場概要

試験現場は、山口県で施工中の A トンネル (2 車線道路トンネル) である。主な地質は凝灰岩で、試験箇所を支保パターンは CII であった。図-1 に示す後注入型 A~F と先充填型 A'~C' の計 9 本の施工後 28 日以降のロックボルト (L=4m) に対し引抜試験を実施した。試験方法はロックボルト引抜試験方法 : JGS-3731-2012²⁾を用いた。

2.2 試験結果

引抜試験結果である荷重-変位曲線の線形近似から直線の傾き (以下、軸剛性と称す) を算出した。この軸剛性が大きいほど荷重に対して変形量が小さいといえるため、ロックボルトの支保効果が大きいと判断した。ロックボルトごとの軸剛性と打設角度との関係を図-2 に示す。図-2 より先充填型は軸剛性のバラつきが大きく、特に天端に上向きで打設された A' は低い値を示している。一方、後注入型は先充填型と比較すると、バラつきが小さく軸剛性が

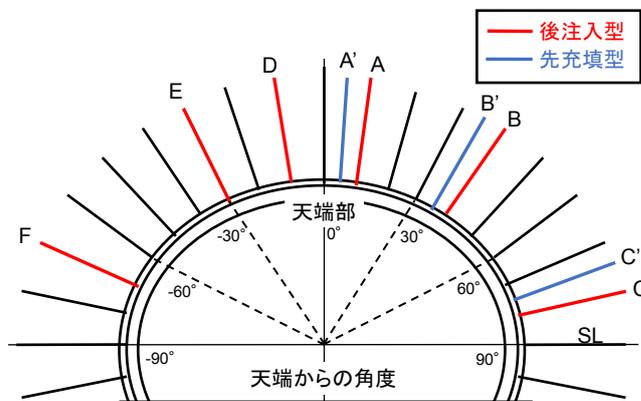


図-1 ロックボルト施工位置

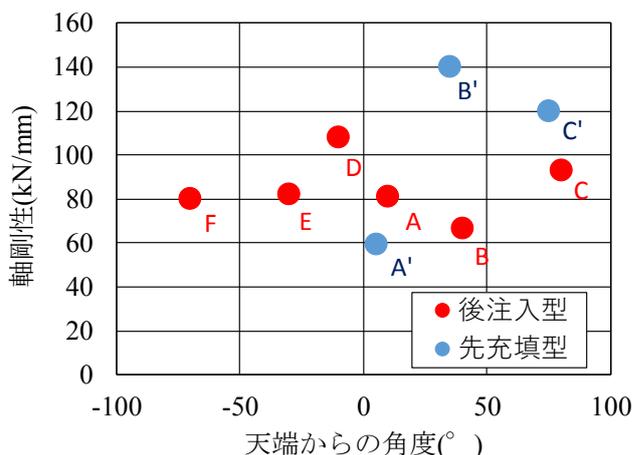


図-2 施工方法ごとの軸剛性と天端からの角度

おおよそ一定の範囲内に分布している事がわかる。

これらの原因として、先充填型である A' は、上向き施工のため、充填材が重力により落下し孔内の充填が不十分になりやすい可能性が考えられる。一方、後注入型は打設方向にかかわらず孔内の確実な充填ができるため、軸剛性のばらつきが小さく安定した結果が得られたと考えられる。しかし、後注入型は、先充填型の B', C' と比べ全体的に軸剛性が低い値を示しており、残置されるグラウト時の注入、排気用ホースによる軸剛性の低下が懸念された。

キーワード ロックボルト, 後注入型, ロックボルト引抜試験, 軸剛性, 見かけのヤング係数

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常磐台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室

TEL 0836-85-9332

3. ホースの有無に対する数値解析による検証

三次元数値解析を用いて再現解析を行い、後注入型における注入ホースの有無による影響について検討する。

3.1 解析モデル

解析モデルは、図-3に示すように対称性を考慮し1/4とした。ロックボルト芯材は、現位置試験で使用したスリーブも考慮したモデル化を行った。境界面の影響を受けないよう、モデルサイズは十分な領域を確保した。境界条件は、前面の吹付けコンクリートとモデル周囲の面に対する鉛直方向成分のみを拘束することとした。表-1に入力物性値を示す。なお、構成則は弾性解析とした。

また、検討ケースは①後注入型（現場試験 E，注入ホース L=4m）と ②注入ホースを模擬しない後注入型の2 ケースとした。

3.2 解析手法

ロックボルト芯材表面に現場試験と同様に 150kN まで徐々に引抜荷重を与え、その時の荷重とロックボルト芯材表面の変位から引抜き試験値である軸剛性を算出する。充填材のヤング係数（以下、見かけのヤング係数と称す）をパラメータとし、軸剛性が引抜き試験値になるまで繰り返し計算を行った。

3.3 解析結果

ケース①引抜き試験値に最も一致する見かけのヤング係数を推定した。また、ケース②はホースの有無による影響を比較するため、①で得られた見かけのヤング係数を用いて解析を行い、軸剛性を算出した。解析結果を表-2に示す。

ケース①と②の軸剛性を比較すると、差はわずか7%程度であり、ホースの影響はほとんどないことが分かる。図-3に示すように、1/4モデルであるため、ケース①では実質4本分相当のホースを考慮していることになり、かなり安全側の評価をしていると言える。

しかしながら、充填材の見かけのヤング係数は、実際の充填材のヤング係数と比べかなり小さい値となり、再現性が十分であるとは言い難い。

4. まとめと今後の課題

現場試験および、数値解析を行い、充填方法の違いによるロックボルトの支保効果を検討した。

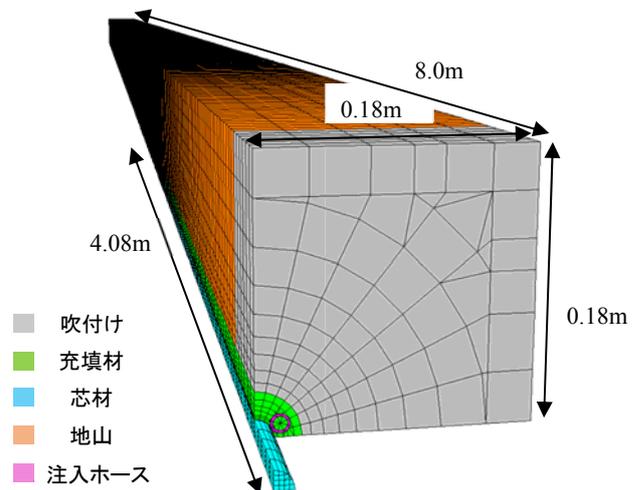


図-3 後注入型解析モデル

表-1 物性値

	単位体積重量 (kg/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
地山	2,100	1,000.0	0.30
ロックボルト芯材	7,870	210,000.0	0.30
吹付けコンクリート	2,400	25,500.0	0.30
注入ホース	1,200	1.5	0.46

表-2 解析結果

ケース	見かけのヤング係数 (N/mm ²)	軸剛性 (kN/mm ²)
①	48.0	81.7
②		88.2

原位置試験では、先充填型、後注入型ともに施工管理上十分な引抜き耐力は得られており、いずれのボルトも十分な品質を満足している。

また、解析は簡易的な再現であったため、見かけのヤング係数が大きくかけ離れた結果となった。今後の課題として、充填材の収縮や地山との境界面のダイレイタンスなど検討していく余地は大きい。

後注入型は脆弱な地山や長尺ロックボルトなどの条件において特に優位性が高く支保効果を発揮しやすいと考えられるため、引続き現場試験データを積み重ね、後注入型が得意とする施工範囲について検証を行っていきたい。

参考文献

- 1) トンネルと地下 1997年4月号 清水則一著 海外におけるケーブルボルトの設計法 他
- 2) 公益社団法人 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 pp935-946 2012年