

ロックボルトの材質と定着の影響に関する原位置試験

東京都立大学大学院 ○松本 卓馬 後藤 優斗 砂金 伸治
土木研究所 森本 智
清水建設 長尾 裕貴 小池 悠介 ケー・エフ・シー 岡部 正

1. 研究背景・目的

トンネルの山岳工法である NATM において、支保部材のひとつとしてロックボルトが使用されている。ロックボルトには様々な材質のものが存在するが、特に過去の実績の乏しい材質によるロックボルトをシステムボルトに採用しようとする場合、その採用の可否の判断が困難である。その理由として、実際の地山内におけるロックボルトの挙動の把握が難しいことに加え、その性能を定量的に論じることが困難であることが挙げられる。本研究では、トンネルにおけるロックボルトの設計に資する基礎的なデータを取得することを目的とし、施工管理の中で汎用的に用いられている「引抜き試験」に着目し、異なる材質のロックボルトを使用した場合の、引抜き挙動の基本的な違いについて試験施工を通じて把握した。

2. 試験施工概要

本試験施工では建設中の新東名高速道路高取山トンネル避難連絡坑にて、試験用のロックボルトを打設し、定着材の養生期間を確保したのちに、引抜き試験を実施した。



図-1 異形棒鋼ロックボルト

2.1 試験材料

引抜き試験には図-1 および図-2 に示す異形棒鋼ロックボルトと GFRP ロックボルトを使用した。ロックボルトの材料諸元を表-1 に示す。ロックボルトを定着させるための定着材には汎用のドライモルタルを使用した。



図-2 GFRP ロックボルト

2.2 試験ケース

表-1 ロックボルト諸元¹⁾

種類	名称	引張強度	単位重量	弾性係数
異形棒鋼ロックボルト	D22	190kN	3.04kg/m	205kN/mm ²
GFRPロックボルト	CG22S	196kN	0.75kg/m	44kN/mm ²

試験ケースはロックボルトの仕様と定着材の長さによる違いを検証するために表-2 のように 4 ケースとした。定着材長は 2 通りとしたが特に先端定着ではロックボルトの先端の 25cm を後述の方法で管理した。全ケースともロックボルト長は 1m とし各ケース 4 本、計 16 本で試験を行った。

表-2 試験ケース

ケース	RB仕様	定着材長	長さ	打設本数
1	異形棒鋼:D22	全面定着	1m	4
2	異形棒鋼:D22	先端定着	1m	4
3	GFRP:CG22S	全面定着	1m	4
4	GFRP:CG22S	先端定着	1m	4

2.3 試験手順

(1) ロックボルト打設

汎用のドリルジャンボを用いて削孔を行った。削孔は深さ 150cm 程度、径 51mm で行い、削孔した穴の奥からポンプでモルタルを注入した。全面定着ではロックボルト全体がモルタル内に挿入されるようにモルタルを注入し、先端定着ではロッド先端から 70cm を計測し挿入孔からその点までモルタルが充填されていることを確認しながら注入を行った。注入後すぐにロックボルトを挿入し、挿入後、吹付け面とプレートの間にモルタルを詰め、吹付け面とプレートの一体化を行い、最後にナットを締めた。これらの手順は一連の施工とほぼ同様である。



図-3 全面定着概要図



図-4 先端定着概要図

キーワード トンネル, ロックボルト, 引抜き挙動, 定着, 異形棒鋼, GFRP

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

(2) ロックボルト引抜き

ロックボルト打設から定着材の養生期間として 24 日間を確保し、ロックボルト引抜きのためにジャッキを取り付けた。ジャッキは充電式ポータブル油圧ポンプで管理されており、トリガーを引くことで載荷が可能であった。1 回の試験で 10kN ごと 150kN まで載荷を行い、荷重と変位を記録した。

3. 試験結果

3.1 引張試験結果

引抜き試験を各ケース 4 回ずつ行い、得られた荷重と変位の関係のケース 1～4 をそれぞれ図-5～図-8 に示す。試験の観察結果からすべてのケースにおいてロックボルトが降伏したような挙動は見られず、ロックボルトとモルタルの間の付着が切れた形でロックボルトが引き抜けた可能性が高いと考えられた。なお、以降の考察では引抜き挙動が明らかに他と異なると判断したケースについては除いて考えた。

ケース 1, 2 の異形棒鋼ロックボルトの結果では引抜きに必要な最大荷重も変位量も大きな差はない結果となった。また、ケース 3, 4 の GFRP ロックボルトの結果ではどちらも荷重が 150kN に達しており引抜きに必要な最大荷重の差を比べることが不可能であった。変位量を比べると全面定着より先端定着の方が大きくなっていることが分かる。

ケース 1 の異形棒鋼ロックボルト全面定着とケース 3 の GFRP ロックボルト全面定着を比較すると引抜きに必要な荷重はケース 3 の方が大きくなっている。これより定着材とロックボルトの付着性は異形棒鋼ロックボルトよりも GFRP ロックボルトの方が良いと考えられる。一方で、変位量を比較するとケース 3 の方がかなり大きくなっているが、これは GFRP ロックボルトの弾性係数が小さいため、ボルト自体が変形しやすいことに起因すると考えられる。

3.2 見かけの弾性係数

引抜き試験の荷重と変位量の結果からボルトの見かけの弾性係数を求めたものと、材料自体の弾性係数を比較したものを表-3 に示す。異形棒鋼ロックボルトでは全面定着と先端定着ともに材料自体の弾性係数より大きくなったが定着長による差はわずかであった。GFRP ロックボルトでは全面定着は材料自体の弾性係数より大きくなったが、先端定着では変わらなかった。よって異形棒鋼ロックボルトは材料自体の弾性係数が大きいためモルタルで定着されても見かけの弾性係数はあまり変わらないが、GFRP ロックボルトは材料自体の弾性係数が小さく変形しやすいためモルタルで全面定着することで変形しにくくなると考えられる。このことから弾性係数の小さな材料をロックボルトとして使う場合には定着長の影響が大きく現れる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究ではロックボルトの引抜き試験に着目し、ロックボルトの材質や定着長が引抜き挙動に及ぼす影響を考察した。GFRP ロックボルトのような弾性係数の小さい材料では定着長による影響が大きくなることが分かった。今後はロックボルトの種類や長さを変えた実験の実施や、数値解析等を通じてロックボルトに求められる力学的性能について検討する必要がある。なお、試験実施にあたってご協力いただいた中日本高速道路(株)秦野工事事務所の関係各位に深甚の謝意を表します。

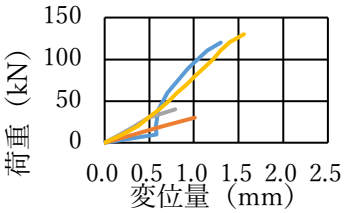


図-5 荷重変位曲線ケース 1

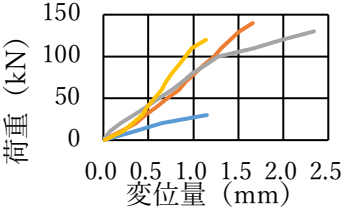


図-6 荷重変位曲線ケース 2

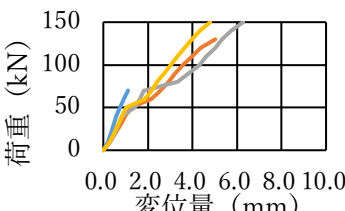


図-7 荷重変位曲線ケース 3

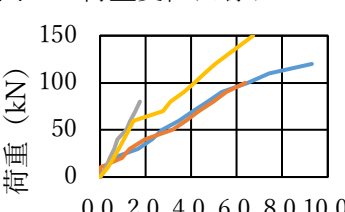


表-3 弾性係数の比較 4

ロックボルト種類		弾性係数 (kN/mm ²)
異形棒鋼 ロックボルト	全面定着	229
	先端定着	212
	材料自体	205
GFRP ロックボルト	全面定着	71
	先端定着	44
	材料自体	44