

引抜き挙動に及ぼすロックボルトの力学的特性に関する研究

東京都立大学 ○松本 卓馬 河田 皓介 砂金 伸治
土木研究所 森本 智 清水建設 淡路 動太
ケー・エフ・シー 岡部 正

1. 研究の背景・目的

山岳工法によるトンネルの支保部材のひとつであるロックボルトの性能として、引張やせん断抵抗性能が示されている¹⁾。しかし、一般的な道路トンネルの施工で求められる仕様は引張耐力が主体である。ロックボルトの標準的な材料は、モルタルで地山と定着される異形棒鋼であるが、近年ではファイバーボルトや鋼管膨張型ボルトなどが使用される場合があり、今後は性能規定化の流れなどから新材料の適用性を事前に把握しておく必要がある。しかし、標準的な仕様と異なるロックボルトを採用する場合の判断基準は、前述の耐力のみであり、ロックボルトの効果を網羅的に評価できているとは言い難い点がある。その理由として地山内でのロックボルトの挙動の把握とともに、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、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、施工中のトンネルにおいて異なる材質のロックボルトを使用して原位置引抜き試験を実施し、その基本的な挙動について把握し、設計で念頭に置くべき考え方を示した。

2. 原位置引抜き試験の概要

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 (D22) と GFRP (CG22S) の 2 種類の材料のロックボルトを使用した。表-1 にロックボルトの材料諸元を示す。ロックボルトの定着材にはドライモルタルを使用した。引抜き試験時のドライモルタルの強度は 48~58N/mm² である。

表-1 ロックボルト諸元

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

2. 2 試験ケースと方法

試験はロックボルトの材料及び長さ、定着長をパラメータとし表-2 に示す全 9 ケースに対して、各ケース 3 本、合計 27 本で試験を行った。計測項目は引抜き時の荷重と変位、ロックボルトのひずみとした。対象とした地山はケース 1~6 は礫岩、ケース 7~9 は凝灰角礫岩でどちらも道路トンネルの D I パターンに相当する地山条件である。

2. 3 試験手順

図-3 に試験の実施フローを示す。先端定着のケースは、ロックボルトの先端 50cm にモルタルを注入した。また、吹付けコンクリートとの付着の影響を排除するために吹付けコンクリートとボルトの間を養生することで縁切りを行った。定着材の養生期間として 20 日間程度を確保し、ロックボルトの地山から出ている部分に引抜きのためのジャッキを取り付けた。ジャッキのトリガーを引くことで載荷を行い、10kN 毎に引抜き変位を記録した。



図-1 異形棒鋼ロックボルト



図-2 GFRP ロックボルト

表-2 試験ケース

ケース	RB仕様	長さ(m)	定着長	ひずみ
1	異形棒鋼	0.5	全面定着	無
2	異形棒鋼	1.0	全面定着	無
3	異形棒鋼	2.0	全面定着	無
4	GFRP	0.5	全面定着	無
5	GFRP	1.0	全面定着	無
6	GFRP	2.0	全面定着	無
7	異形棒鋼	2.0	全面定着	有
8	異形棒鋼	0.5	全面定着	有
9	異形棒鋼	2.0	先端50cm	有

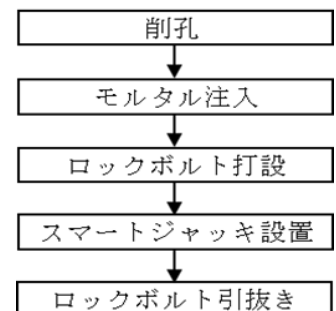


図-3 試験の実施フロー

キーワード トンネル, ロックボルト, 引抜き試験, 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

3. 試験結果

図-4にケース1～6の試験結果から得られた荷重-変位曲線を示す。いずれのケースも荷重-変位の関係はおおむね線形に変化している。荷重の増加に対する変位の増加量は、異形棒鋼に比べGFRPの方が大きく、ボルト長が短くなるほど大きい。

図-5に引抜荷重が100kN時点の変位との関係から算出した見かけの弾性係数を示す。異形棒鋼とGFRPどちらもボルトが長いほど見かけの弾性係数が大きい。また、GFRPの値が異形棒鋼の値に比べ4割～6割程度小さい。さらに各材料固有の弾性係数と比較すると異形棒鋼では全ての長さで小さくなる。一方で、GFRPは0.5mで5割程度、1mで同等程度、2mで2倍程度の値となった。異形棒鋼はボルト自体の強度よりも付着強度が小さいため見かけの弾性係数が小さくなり、GFRPはボルト自体の強度よりも付着強度が大きいため、見かけの弾性係数が大きく得られたと考えられる。これらの結果から、GFRPを使用する場合は異形棒鋼に比べて大きな変位が発生すると考えられ、引抜き時の挙動を評価する際には異形棒鋼とは異なる配慮が必要となる可能性があることが分かる。またロックボルトの変形性能は地山や定着材との相互作用により材料固有のものとは異なる性能を発揮すると考えられ、この点も留意すべきであると考えられる。

図-6にケース7～9の、引抜荷重100kN時点のひずみ分布を示す。ひずみゲージの位置は、ロックボルトの口元側から先端側へ1～6である。いずれのケースにおいても、ひずみの値は口元側に近い位置で最大値を示し、全面定着のケース7、8では先端に向かって滑らかに減少する。しかし、先端定着のケース9では、非定着域の位置1、2、3において、ひずみがほぼ一定の値を示し、定着域の位置5、6ではほとんどひずみが発生していない。これらのことから、全面定着では口元付近で最も大きな軸力となりそこから破断する可能性が高いが、定着されていない部分があるとその部分に大きな軸力が働く可能性があり、それによって最終的な破断等の破壊形態が変化する可能性があり、ボルトの引張性能に影響を及ぼすとともに充填材とロックボルトとの定着の重要性が改めて示唆された。

4. まとめ

本研究ではロックボルトの原位置引抜試験を実施し、材質や長さ、定着長が引抜き挙動に及ぼす影響を考察した。その結果、ボルト材料の弾性係数は、発生する変位に影響を与える可能性がある。また、ロックボルトと定着材や地山との相互作用が変形性能に影響を与える可能性がある。さらに、定着状態が最終的な破壊形態に影響を及ぼす可能性があると考えられる。今後は、原位置引抜試験によってGFRPロックボルトを使用したひずみの計測や最終的な破壊形態を把握すること、室内模型実験や数値解析による地山条件や定着状態などを変えた様々な条件下でのロックボルトのさらなる詳細な挙動を把握する必要があると考えている。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書[共通編]・同解説 [山岳工法編]・同解説 p.89, 2016.8.

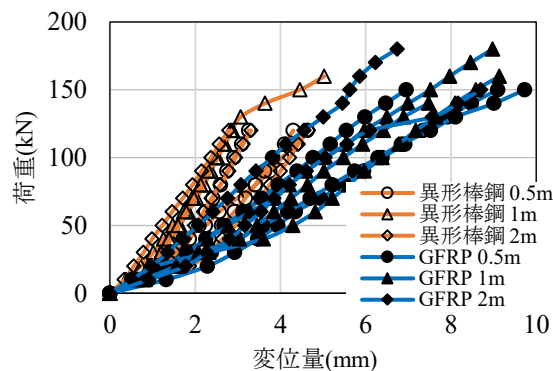


図-4 荷重-変位曲線

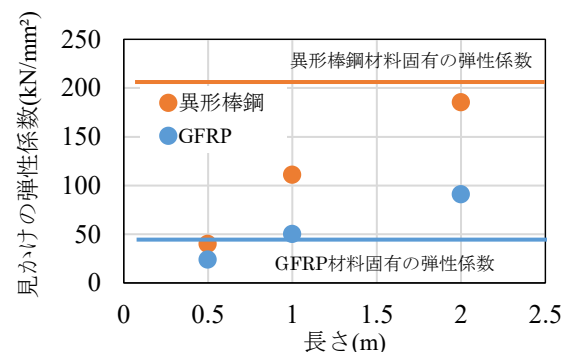


図-5 見かけの弾性係数(荷重100kN時)

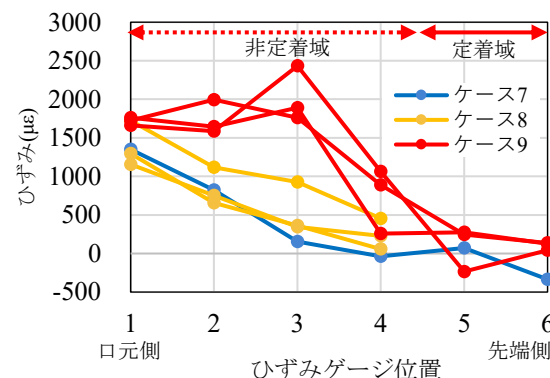


図-6 ひずみ分布(荷重100kN時)