

## 材質の異なるロックボルトの力学的性能に関する基礎的実験

東京都立大学大学院 ○後藤 優斗 松本 卓馬 砂金 伸治  
 土木研究所 森本 智 前田 洸樹  
 清水建設 淡路 動太 ケー・エフ・シー 岡部 正

### 1. 研究背景・目的

NATM で用いる支保工の 1 つとしてロックボルトが使用されているが、その性能には主なものとして引張抵抗性能とせん断抵抗性能の 2 つがある。しかし、それらの性能以外にも圧縮性能や、腐食等に関する耐久性能なども考慮すべきであると考えられる。また一般的なトンネルの施工に用いられる標準支保パターンではロックボルトに対する定量的な値としては引張耐力が示されているが、実際の現場では引張性能以外の必要な性能について具体的な考え方が少ないまま施工されている。加えて、近年、ファイバーボルトなど新たな材料によるロックボルトの適用が試みられつつあるが、引張性能を満足するかを確認する手法が乏しいこと、また他に有する性能の確認が困難であるなど、使用する際の判断基準が少ない状況にある。

本研究ではロックボルトに関して引張耐力以外に求められる性能指標を明確にすることで、ロックボルトの合理的な設計・施工法に資する性能の提案を目指すことを主たる目的とする。そこでゆるみ領域を模擬した材料、2 種類のロックボルトを用いた模型実験を行い、ロックボルトの基礎的な力学的挙動について検討を行った。

### 2. 実験概要

本研究で検討の対象としたロックボルトは、同一径で長さ 30cm の異形棒鋼(D22)と GFRP ボルト(CG22S)の 2 種類である。図-1 に行った実験の概要、表-1 に実験ケースの一覧を併せて示す。土槽として底付き塩ビ管 (Φ30cm, h=30cm) を用い、ロックボルトの種類や定着域の有無と大小、ゆるみ領域の大小によって 14 ケースの実験を行った。定着域の模擬にはドライモルタル、ゆるみ領域の模擬に豊浦砂と静的破砕剤を使用した。実験手順は、ケース 3~6 は地山の模擬として豊浦砂とゆるみ領域を仮定し、ロックボルトを設置したもの、またケース 7~14 は定着域、地山の模擬として豊浦砂、ゆるみ領域を配置した。ロックボルトの定着域は、ドライモルタルを打設し、24 時間後に硬化を確認した後に豊浦砂とゆるみ領域を所定の位置まで打設した。表-2 にゆるみ領域の配合を示す。実験では約 3cm 間隔、片面 6 点ずつ計 12 点のひずみ、および 3 個の変位計によりゆるみ領域表面

表-2 ゆるみ領域の配合 (重量比)

豊浦砂	水 (豊浦砂)	静的破砕剤	水 (静的破砕剤)
60	6	10	3

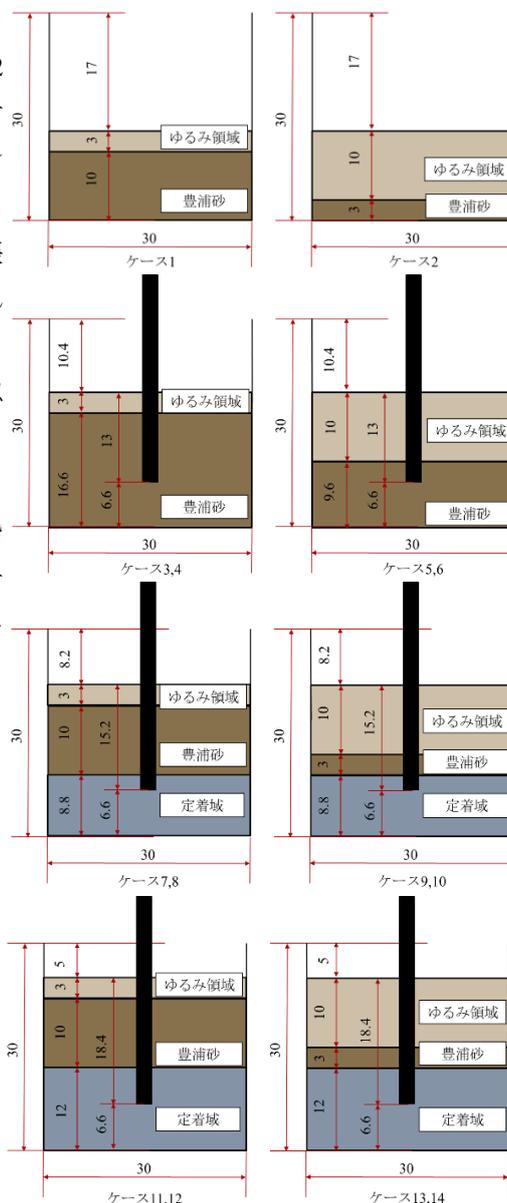


図-1 実験概要(単位 cm)

表-1 実験ケース一覧

	定着域無			定着域小	定着域大
	ゆるみ領域小	ケース1 RB 無	ケース3 D22	ケース7 D22	ケース11 D22
ゆるみ領域大	ケース2 RB 無	ケース4 CG22S	ケース8 CG22S	ケース9 D22	ケース13 D22
		ケース5 D22	ケース10 CG22S	ケース14 CG22S	

キーワード トンネル, ロックボルト, 引抜き性能, ゆるみ, 模型実験

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. 実験結果

図-2, 3にロックボルトが無いケースと異形棒鋼と GFRP のそれぞれのケースの平均変位量を示す。これらの図より、全てのケースでロックボルトを設置することによって、変位が減少し、変位抑制効果が見られる可能性があることが分かる。図-2 より、異形棒鋼は定着域がある場合に特に大きな変位抑制効果がある場合が多いことが確認された。しかし、ケース 11 と 13 を含めて定着域の大小で比較するとゆるみ領域が小さい場合は定着域が大きい方が効果が高いが、ゆるみ領域が大きい場合は定着域が小さい方が効果が高い結果となった。このことから、特にケース 13 の変位が大きく再現性にも留意する必要があるが、定着があることにより変位抑制効果の発揮が一定程度見られる可能性が高くなると言える。これに対し図-3 より、GFRP は定着域がない場合でも一定程度的変位抑制効果があるが、定着域がある場合でも異形棒鋼に比較して抑制の効果が明確に現れていない場合が見られた。以上より、異形棒鋼は大きな変位抑制効果を生かせるためには定着が重要であること、GFRP は定着の有無、大小によらず効果を生かせる可能性があるが、変位抑制をどの程度期待できるかに関しては、実験の再現性も含めさらなる検証が必要であることが確認された。

図-4, 5 に異形棒鋼と GFRP それぞれの 48 時間後のひずみゲージで測定されたひずみの平均の分布図を示す。これらより、ケース 3, 4, 6, 9, 10 では圧縮ひずみが生じる部分があることが確認される。ケース 3, 4, 6 は定着域がないケースであるので、ロックボルトが固定されず模擬地山材料の膨張による圧縮量によって圧縮ひずみが生じた可能性があると考えられる。しかしケース 5 では引張ひずみが生じているため、実験の再現性も考慮した検討が必要であると考えられる。ケース 9, 10 は定着域があるケースのため引張ひずみが生じると考えられるが、圧縮ひずみが生じたため、圧縮ひずみが生じるケースであるのか否かを確認するために、上記と同様、再現性を含めて実験する必要がある。加えて、材料によって発揮できる性能の差異についても考慮する必要がある。

### 4. 結論・今後の課題

実験結果より、GFRP は本実験の条件下では変位抑制効果が一定程度確認できること、異形棒鋼は定着域の大小に関わらず、定着がある場合に変位抑制効果を生かせることが確認された。また、定着が期待できない地山ではロックボルトに圧縮力が生じる可能性があることも確認され、圧縮に関する何らかの性能の必要性も示唆されると考えられる。今後は、長期間の外力の作用や圧縮力を生じる条件下を含め、種々の地山状態や定着状況の再現をしたうえで複数回の実験を行うことで検討をしていく必要があると考えられる。また、ベアリングプレート等の拘束の影響を考慮した検討する必要があること、より実際の施工条件に近づけた上で力学的挙動に関する検証が必要であることに加えて、今回使用した 2 種類のロックボルトの引抜き試験による引抜き特性も考慮しながら力学的性能についての検討を深度化させ、変位の抑制効果と性能の指標との関連性を検討する必要があると考えられる。

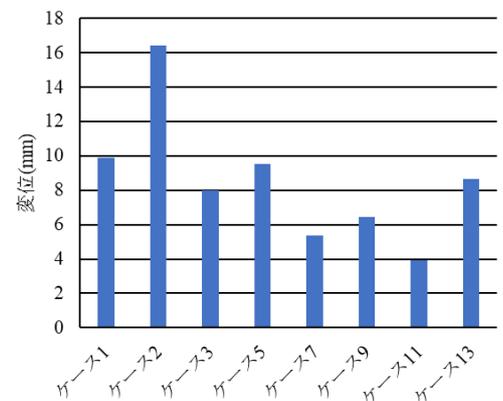


図-2 実験結果 (異形棒鋼平均変位量)

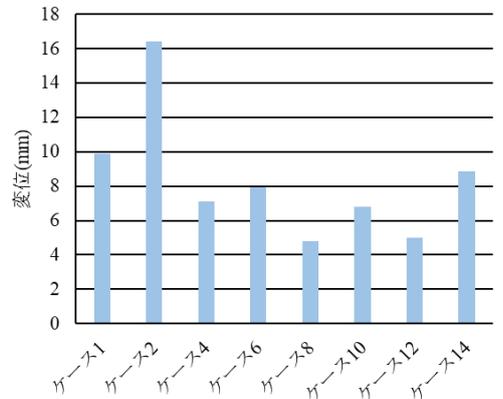


図-3 実験結果 (GFRP 平均変位量)

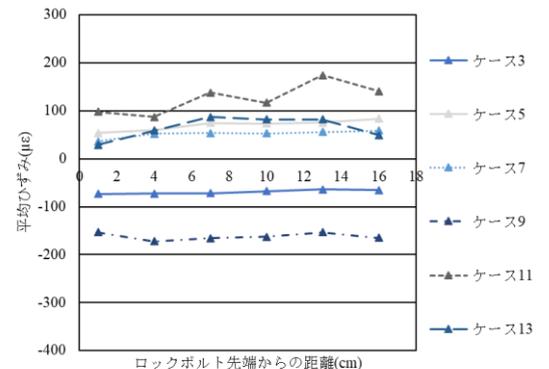


図-4 48 時間後の平均ひずみ (異形棒鋼)

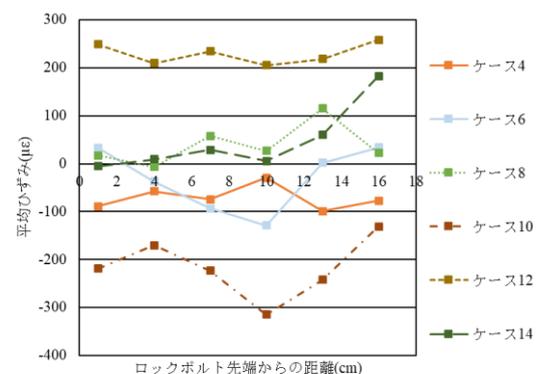


図-5 48 時間後の平均ひずみ (GFRP)