

鋼管膨張型ロックボルトの室内試験とそのせん断強度特性に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○神田紀子
 福井市役所 正会員 向山博道
 山口大学大学院 正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネル工法で使用される一般的なロックボルトは、ボルトと地山との間を定着材により全面を固定する「全面定着方式」が主に採用されている。しかし、この方式では定着材が硬化するまで時間を要すること、地山から湧水があると定着材が流出する恐れがあることなどから、地山とボルト間の密着性が懸念されている。これに対処するために開発された、高耐食溶融めっき鋼板を用いた鋼管膨張型ロックボルトは、地山に挿入後、鋼管内に水圧を加え膨張させることにより、鋼管と孔壁との間に全長にわたって摩擦を生じさせ、それにより定着効果を期待するものである。この方式は定着材を必要としないことから、打設直後より補強効果が発揮できる。しかし、構造上鋼管内が中空であるため、従来の密実なロックボルトに比べてせん断強度が劣ることが懸念されている。よって本研究では、硬岩地山での不連続面に起因したロックボルトのせん断室内実験を行い、従来のロックボルトとのせん断強度特性を比較、検討した。

2. 実験概要

写真-1に、本研究で対象とした鋼管膨張型ロックボルトボルトと従来から使用されているロックボルトである異形棒鋼及びツイスト棒鋼を、**表-1**にそれらの諸元を示す。**図-1**に母材部と載荷部からなる3個の花崗岩ブロック（山口県周南市産）を組み合わせた中央にロックボルトを貫通させた標準実験供試体の模式図を示す（以下、この供試体を用いる実験を「標準」と呼ぶ）。なお母材と載荷部の接触面は、摩擦を考慮しなくてもよい程度に研磨している。またせん断挙動はボルトに対して、いつも垂直に発生するとは限らないため、接触面をボルトに対して30度傾けた供試体も合わせて準備した。（以下、この供試体を用いる実験を「斜め」と呼ぶ）。ひずみゲージは載荷部上部に**図-1**の拡大図に示すように1箇所につき軸方向及び、軸方向から両側に±45度傾け、それぞれの方向のひずみをひずみ①、②、③とし9箇所ゲージを計測した。また、**写真-2**にせん断試験の実験状況を示す。載荷は**図-1**に示す載荷部に荷重0～300kNを与え、各ロックボルトのひずみと載荷部の荷重及び変位を計測した。ボルトの定着方法として、実際の打設状況を模して鋼管ではボルトを水圧で膨張させ、異形・ツイストは花崗岩にボルトを通した後モルタルを充填した。

3. 実験結果

3.1 載荷部変位と載荷荷重との関係

3種類のロックボルトについて、載荷部変位と載荷荷重の関係を**図-2**に示す。鋼管（標準）は、ほぼ300kN程度の載荷荷重でせん断した。しかし、鋼管（斜め）と異形、ツイスト棒鋼はせん断発生の前に載荷部の岩石にクラックが発生し、せん断できなかつた。図からわかるように載荷部変位と載荷荷重の関係は、3種類のロックボルトともほぼ同様な傾向を示している。しかし、詳細に見ると、変位が5mmまでは鋼管膨張型は線形で挙動し、異形・ツイスト棒鋼は上に凸の曲



写真-1 実験に使用した3種類のロックボルト

表-1 3種類のロックボルトの寸法

	材質	管直径(mm)	断面積(mm ²)
鋼管膨張型	SS490	48	357.9'
異形棒鋼	SD345	23.5'	507.0
ツイスト棒鋼	STD510	23.2'	446.0

鋼管の中空部を除く

*最小径

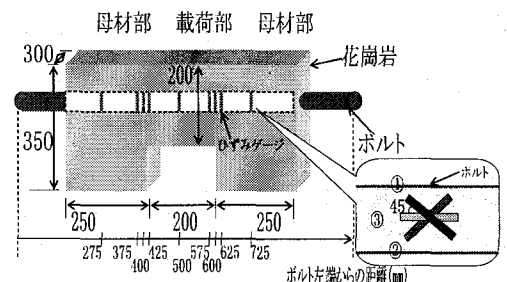


図-1 標準実験供試体

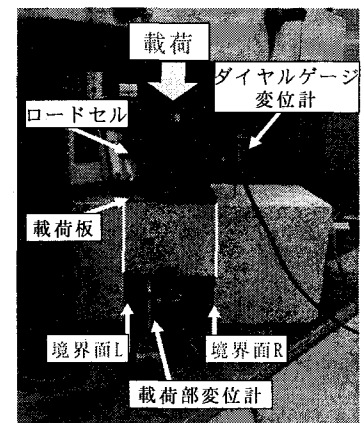


写真-2 せん断試験状況

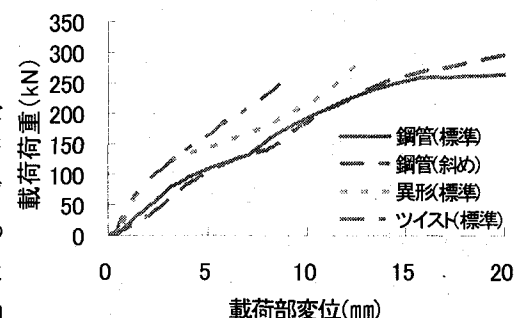


図-2 載荷部変位と載荷荷重の関係

線を示す。しかし、5 mmを過ぎたところから、これらの関係はほぼ平行になる。また、母材と載荷部間の摩擦はないと考えられるため、載荷荷重によりボルトの断面には、せん断力が発生する。ここでボルトのせん断力は、載荷荷重をロックボルトの断面積で除して定義する。図-3に載荷部変位とせん断応力の関係を示す。図からわかるように、せん断応力は載荷部変位の増加に従って増加している。特に載荷部変位の増加量が載荷部変位の5 mm付近まではほぼ一致した挙動となる。また詳細に見ると異形棒鋼は鋼管膨張型、ツイスト棒鋼より小変位の段階で応力の急激な増加を示す。

3.2 ロックボルトのひずみ発生状況

載荷部変位が3 mmのときのロックボルト全体に発生する軸ひずみ分布の比較を図-4に示す。図中のマイナスは縮み、プラスは伸びを表すこの図から、接触面付近で局部的にボルト上面に収縮ひずみが発生していることがわかる。

3.3 ロックボルトのせん断弾性係数

ロックボルトのせん断弾性係数を求めるため、載荷部変位からせん断面のせん断ひずみを以下のように定義した。

$$\gamma = \Delta L / L$$

図-5にせん断ひずみ、せん断応力の関係を示す。図-5から、せん断応力が大きくなればなるほど、せん断ひずみも大きくなっていることがわかる。また鋼管（標準）・（斜め）、異形・ツイスト棒鋼がそれぞれ同じ挙動を示す。ここで ΔL については載荷部変位、 L についてはせん断がボルトに影響する距離（せん断帯）とした。この L は、境界面を挟んでいると考えられ、図-6に示す通り、ひずみ曲線に沿った接線の交点から境界面までの距離の2倍の幅と仮定し算出した。図中の直線の傾きを、せん断弾性係数 G とした（以下「 G 」と呼ぶ）。即ち、

$$G = \tau / \gamma$$

となる。この直線から表-2に各種ロックボルト材料の G の一覧を示す。この表から、鋼管膨張型だけで比較すると鋼管（標準）より鋼管（斜め）の方が G が小さい。また、鋼管膨張型と比べて、異形・ツイスト棒鋼の方が G が大きい。これは G が大きくなれば、同じせん断応力に対しボルトのひずみは小さくなるため、ボルトが変形しにくいことを表している。

4. 結論

本実験より得られた知見を以下に示す。

- ① 鋼管膨張型ロックボルトの変位と載荷荷重との関係は従来のロックボルトとほぼ同様な結果となり、鋼管標準とツイストはせん断面上で、ひずみが最大となっている。
- ② 同等のせん断応力が発生したとき、鋼管膨張型よりも異形・ツイストの方がボルトの変形が小さい。

以上より、今回の実験で鋼管膨張型ロックボルトを従来のロックボルトと比較すると、せん断弾性係数は従来のロックボルトよりも若干下まわる値を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 石田英史：鋼管膨張型ロックボルトのせん断強度に関する実験的研究。山口大学，卒業論文。2005. 3

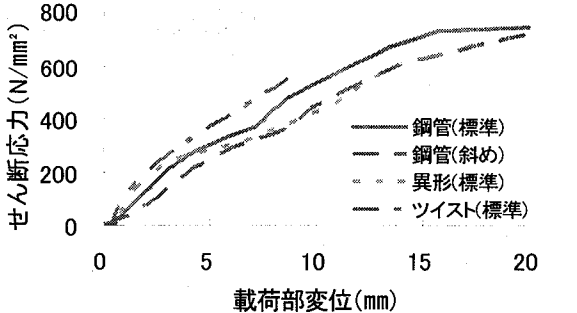


図-3 載荷部変位とせん断応力の関係

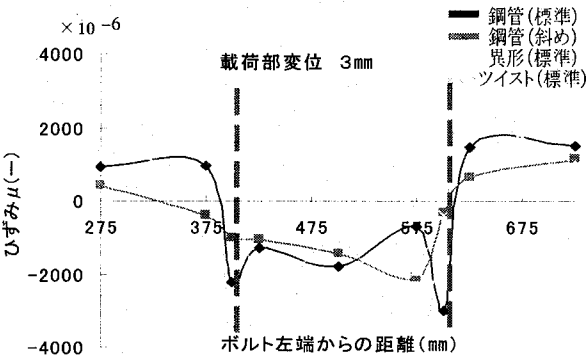


図-4 ひずみ③のゲージのボルト左端からの距離とそのひずみ

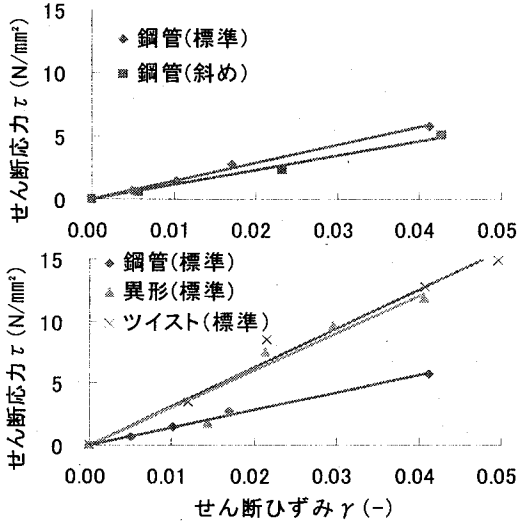


図-5 せん断ひずみとせん断応力の関係

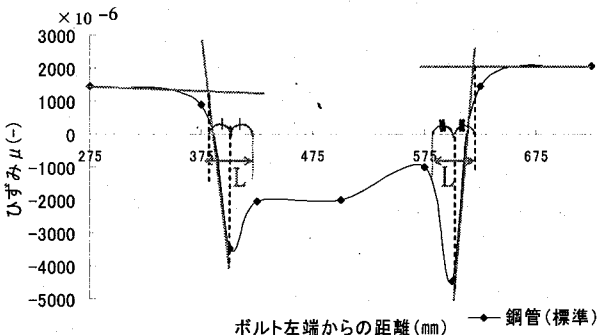


図-6 Lの算出図

表-2 ロックボルトのせん断弾性係数

	鋼管膨張型ロックボルト		異形棒鋼	ツイスト棒鋼
	標準	斜め		
G(N/mm²)	193.40	115.08	298.80	312.94