

GFRP 摩擦接合における高力ボルトのリラクゼーション特性

宮地エンジニアリング ○正会員 青木 海 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
 宮地エンジニアリング 正会員 久保 圭吾 大阪公立大学大学院 正会員 林 巖
 宮地エンジニアリング 正会員 酒井 圭一 大阪公立大学大学院 学生会員 関本 将貴

1. はじめに

GFRP 構造物の高力ボルト摩擦接合では、GFRP 部材のクリープ変形により、ボルト軸力が低下することが懸念される。このため、溶融亜鉛メッキ高力ボルトを用いたリラクゼーション試験を実施し、GFRP の塗装や導入軸力の影響を確認している¹⁾。

本研究では、添接板の溶融亜鉛めっきの影響や、GFRP の母材厚、繊維含有率などが、リラクゼーション特性に及ぼす影響を検討する。

2. 試験概要

リラクゼーション試験の試験ケースを表-1、リラクゼーション試験の試験体形状を図-1、ひずみゲージ付きボルト（以下、ゲージボルト）を図-2 に示す。

試験体は、M20 のボルトを用い、締付時の作業性から、ボルト本数は1試験体につき5本としており、隣接ボルトの影響がないようにボルト間隔を設定した。

試験体ケースは基本ケース（Case1）を基に、リン酸塩処理の影響（Case2）、GFRP の板厚の影響（Case3）、メッキの影響（Case5）、繊維含有率の影響（樹脂のみ Case4）、（繊維含有率 30%-Case6、50%-Case7）を考慮した、計7ケースとした。なお、Case6、Case7 の繊維含有率 30%、50%は目標値であり、実際の数値は表-1 に記載したとおりとなっている。

GFRP の樹脂は、Case3 のみビニルエステル樹脂を使用しており、それ以外は不飽和ポリエステル樹脂を使用している。また、GFRP の塗装には、フッ素樹脂塗料を用いている。

ボルト軸力の算出には、あらかじめキャリブレーション試験により算出したボルトの校正係数を用いて、ひずみゲージの測定値から軸力換算した。

試験体の組立手順を以下に示す。1) 試験体にゲージボルトをセットする。2) 予備締めとして試験体内側ボ

表-1 リラクゼーション試験の試験ケース

ケース	連結板表面処理	母材 GFRP材	繊維含有率	GFRP 表面処理	HTB	平均導入軸力
Case1	メッキ	引抜 t=5mm	59%	フッ素樹脂塗料	M20 メッキ	183.0kN
Case2	メッキ+リン酸塩処理	引抜 t=5mm	59%	フッ素樹脂塗料	M20 メッキ	177.3kN
Case3	メッキ	引抜 t=14mm	58%	フッ素樹脂塗料	M20 メッキ	179.2kN
Case4	黒皮	樹脂のみ t=5mm	0%	無処理	M20 黒皮	203.2kN
Case5	黒皮	引抜 t=5mm	59%	無処理	M20 黒皮	215.3kN
Case6	黒皮	HLU(VE30%) t=5mm	34%	ゲルコート	M20 黒皮	208.2kN
Case7	黒皮	PHLU(VE50%) t=5mm	45%	ゲルコート	M20 黒皮	205.6kN

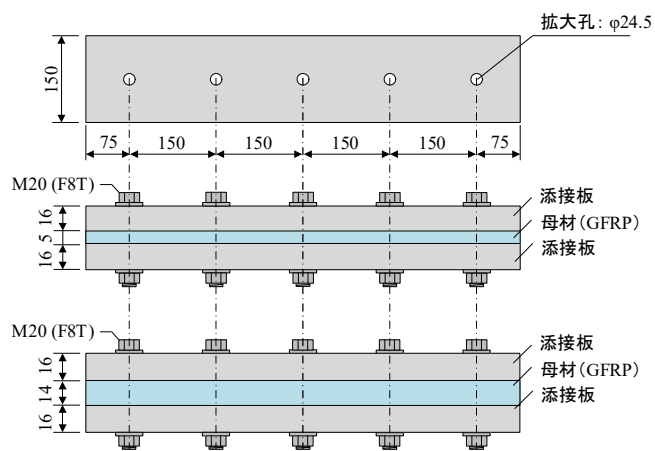


図-1 リラクゼーション試験体形状

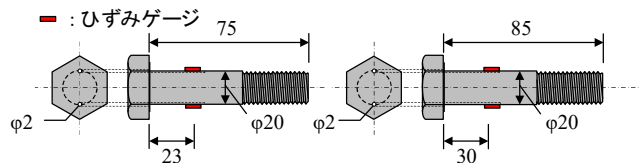


図-2 ひずみゲージ付きボルト

ルトから外側の順で、締付けトルク 150Nm で締付ける。
 3) ボルト、ナット、座金、部材にわたってマーキングを行う。4) 本締めにおいて、予備締めから回転角 120°

キーワード GFRP, リラクゼーション, 溶融亜鉛めっき

連絡先 〒290-8580 千葉県市原市八幡宿海岸通り3番地 宮地エンジニアリング 千葉工場 TEL: 0436-43-8311

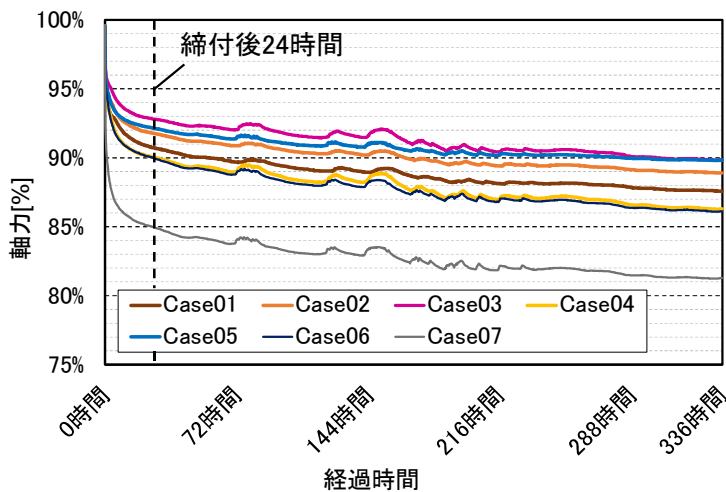


図-3 ボルト軸力の経時変化

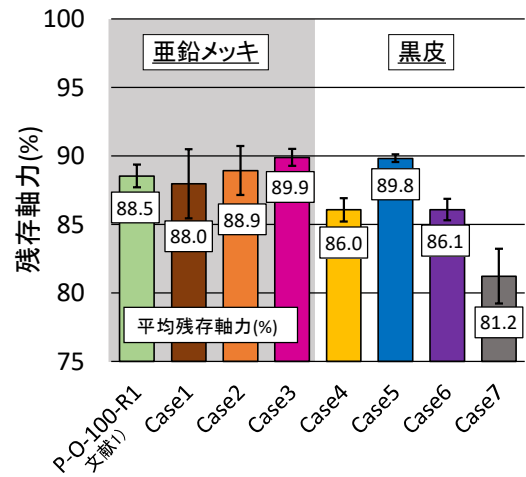


図-4 残存軸力（締付け後 336 時間）

になるよう締付け，回転角管理で締付けを行う。

軸力測定間隔は，締付け直後（初期軸力はピークから3秒後²⁾）から1時間後までは1秒間隔で測定する。その後は24時間後までは1分間隔，以降14日までは15分間隔で測定する。残存軸力の算出は，各試験体のボルト軸力の平均値を用いて算出する。

3. 試験結果及び考察

図-3はボルト締付けから2週間後までの経時変化，図-4は測定開始後336時間後（2週間）の軸力の低下率を示す。なお，導入軸力は，めっきボルトの軸力が黒皮のそれより小さくなった。これは，文献1)の試験ではボルト軸部を平坦に切削することにより，めっきを完全に除去していたのに対し，本試験では軸部を切削しておらず，十分にめっきが除去されていなかった影響と考えられる。そのため，以後の検討では，亜鉛メッキと黒皮それぞれのケースで考察を行う。

全てのケースにおいて，締付け後24時間程度でボルト軸力が大きく低下し，その後，緩やかにボルト軸力が低減することが確認できる。336時間時点の残存軸力は，Case-1と文献1)の試験（同条件の試験体）を比較すると，導入軸力が10kNの差であれば，概ね同様の低下傾向であることがわかる。また，Case-1とCase-2より，リン酸塩処理の影響は，ばらつきを踏まえると，小さいといえる。板厚の違いによる影響は，文献3)の理論値と同様，板厚が薄いと軸力の低下率が大きくなった。一方，文献4)の試験では，逆の傾向も得られていることから，今後も検討が必要である。

黒皮ケースでは，Case-5と，Case-4およびCase-6を

比較すると，部材の製作方法が異なっても，繊維含有率が小さくなると，軸力低下が大きくなることがわかる。ただし，Case-6は，表層にゲルコート層が設けられており，この影響も受ける可能性があるため，今後，ゲルコートの材料特性およびクリープ特性を踏まえて考察を行う。また，Case-7の圧縮ハンドレイアップ成形の場合には，軸力の低下が大きく，この原因は現状では明らかにできていないため，これについては引き続き検討する。

4. まとめ

本試験の結果から，熔融亜鉛めっきのリン酸塩処理が高力ボルトの軸力低下に及ぼす影響は，ほとんどないことが確認できた。また，板厚が薄くなると軸力の低下率が大きくなることがわかった。

一方で，繊維含有率の違いは，軸力低下に及ぼすものの，繊維構成や成形方法などの影響を受ける可能性もあるため，追加の検討が必要である。

今後は，引き続き測定を行い，長期的なリラクセーション特性を確認する予定である。

参考文献

- 1) 酒井圭一：熔融亜鉛めっき高力ボルトを用いたGFRP摩擦接合のリラクセーション特性，土木学会第75回年次学術講演会，2021。
- 2) 南邦明：高力ボルト継手のリラクセーション試験における初期値の設定について，土木学会論文集A1，Vol.76，No.3，pp496-509，2020。
- 3) A. Plaseied, A. Faremi: Deformation response and constitutive modeling of vinyl ester polymer including strain rate and temperature effects, J. Mater. Sci., Vol.43, pp1191-1199, 2008.
- 4) 木嶋健他：FRPボルト接合における軸力の経時変化に関する実験的検討，土木学会第61回年次学術講演会，2006。