

高力ボルト GFRP 摩擦接合の長期リラクセーション特性

宮地エンジニアリング ○正会員 酒井 圭一
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 厳
大阪公立大学大学院	学生会員	関本 将貴

1. はじめに

GFRP 板と鋼板を接合する高力ボルト摩擦接合（以下、GFRP 摩擦接合）において、GFRP 部材のクリープ変形が見込まれるため、経時的にボルト軸力が低下する懸念がある。著者らはこの GFRP 摩擦接合に溶融亜鉛めっき処理した際の先行研究として GFRP および連結板の表面処理、高力ボルトの導入ボルト軸力、ボルト孔径、GFRP 板厚、GFRP の繊維含有量をパラメータとした場合の長期リラクセーション試験を実施し、この影響を評価してきた¹⁾²⁾。

本研究では、これまでのリラクセーション（以下、リラク）試験¹⁾²⁾に加えて、GFRP材料、高力ボルトの2度締めを追加して、長期リラク特性を把握することを目的とする。

2. 試驗概要

試験ケースを表-1、試験体形状を図-1、ひずみゲージ付き高力ボルト（以下、ゲージボルト）を図-2 にそれぞれ示す。本試験体は、母板が GFRP 板、連結板が SS400 材で構成された 1 行 5 列の 2 面摩擦接合継手である。試験体のボルト間距離は隣接ボルトの面圧の影響を受けないように設定した。

本試験は、先行研究で 2022 年 2 月までに実施した 11 ケースに加えて、市場で入手可能なガラス繊維とエポ

キシ樹脂を熱硬化処理した GE5-C60-N-NN0-Ax100、導入ボルト軸力 80%で締付け、24 時間経過後に 100%まで 2 度締めした PL5-R3-F-ZZO-Ax100-2nd の計 13 ケースを実施した。本試験でのボルト軸力は、あらかじめキャリブレーション試験によりボルトの校正係数を算出し、ひずみゲージの測定値に乘じることで同定した。

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中央のボルトから外側に向かい、左右交互に締付けトルク 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) 本締めは、予備締めから回転角 120°になるよう回転角管理で締付けを行うケース、およびびずみ管理で締付けを行うケースに分類した。表-1 に各ケースの締付管理方法を示す。

軸力測定間隔は、締付け直後（初期軸力はピークから

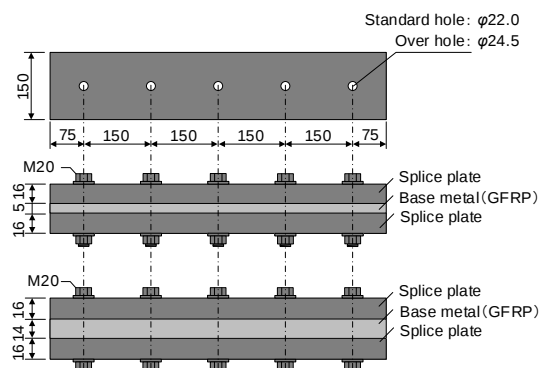


図-1 試験体形状（単位：mm）

表-1 試験ケース

ケース	GFRP材					鋼材 表面 処理	高力ボルト		締付 管理	平均 導入 軸力	試験 開始 時期
	成形 方法	板厚 (mm)	製作 ロット	V_f (%)	表面処理		表面 処理	孔径 (mm)			
PL5-R1-N-ZZO-Ax100	引拔	5	Rot-1	58	無塗装	めっき	めっき	24.5	回転角	194.9	2021.3
PL5-R1-N-ZZO-Ax80	引拔	5	Rot-1	58	無塗装	めっき	めっき	24.5	ひずみ	156.8	2021.3
PL5-R1-F-ZZO-Ax100	引拔	5	Rot-1	58	フッ素塗装	めっき	めっき	24.5	ひずみ	191.8	2021.3
PL5-R1-N-ZZN-Ax100	引拔	5	Rot-1	58	無塗装	めっき	めっき	22	ひずみ	184.2	2021.3
PL5-R2-N-ZZO-Ax100	引拔	5	Rot-2	54	無塗装	めっき	めっき	24.5	ひずみ	189.1	2021.3
PL5-R3-F-ZZO-Ax100	引拔	5	Rot-3	59	フッ素塗装	めっき	めっき	24.5	回転角	198.1	2022.2
PL5-R3-F-PZO-Ax100	引拔	5	Rot-3	59	フッ素塗装	リン酸塩	めっき	24.5	回転角	190.8	2022.2
PL14-R4-F-ZZO-Ax100	引拔	14	Rot-4	58	フッ素塗装	めっき	めっき	24.5	回転角	193.0	2022.2
Mt5-C0-N-NN0-Ax100	樹脂	5	N/A	0	無塗装	黒皮	黒皮	24.5	回転角	227.7	2022.2
PL5-R3-N-NN0-Ax100	引拔	5	Rot-3	59	無塗装	黒皮	黒皮	24.5	回転角	236.7	2022.2
HL5-C30-G-NN0-Ax100	HLU	5	N/A	34	ゲルコート	黒皮	黒皮	24.5	回転角	230.1	2022.2
GE5-C60-N-NN0-Ax100	SMC	5	N/A	63	無塗装	黒皮	黒皮	24.5	回転角	245.1	2022.7
PL5-R3-F-ZZO-Ax100-2nd*	引拔	5	Rot-3	59	フッ素塗装	めっき	めっき	24.5	ひずみ	195.9	2022.7

*24時間後に2度締め

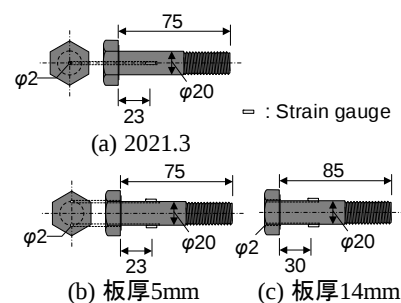


図-2 ひずみゲージ付き高力ボルト（単位：mm）

キーワード GFRP, リラクセーション, 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

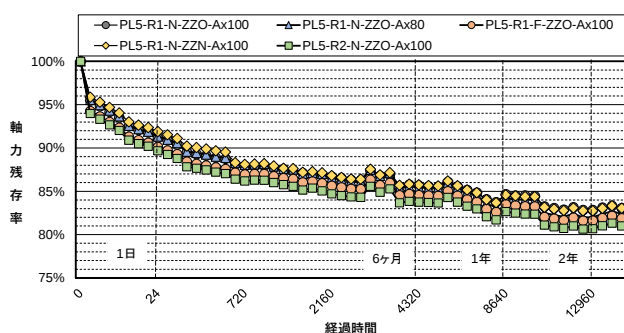


図-3 ボルト軸力経時変化 (2021 年 3 月開始)

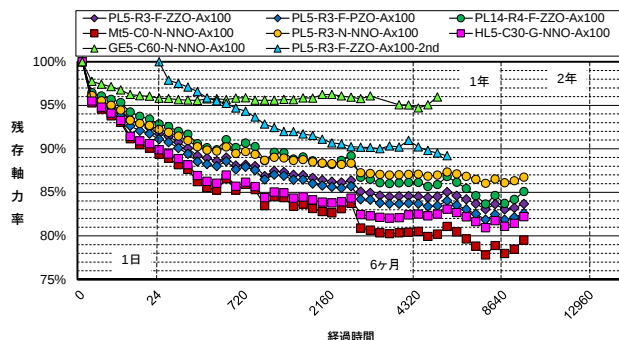


図-4 ボルト軸力経時変化 (2022 年 2 月以降開始)

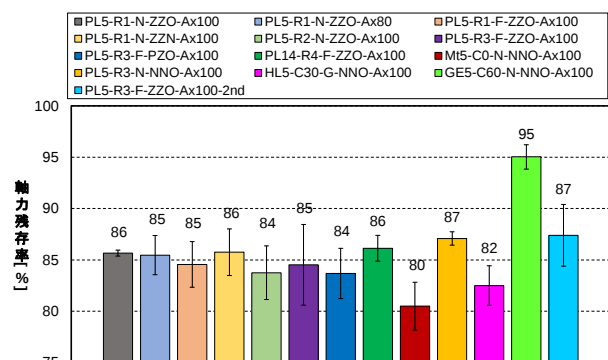


図-5 軸力残存率 (締付け 4320 時間後)

3 秒後³⁾ 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、以降は 15 分間隔で測定する。軸力残存率は、各試験体のボルト軸力の平均値を用いて算出する。

3. 試験結果および考察

図-3 はボルト締付けから 24 ヶ月後、図-4 はボルト締付けから 12 ヶ月後までの軸力の経時変化、図-5 は計測開始後 4320 時間 (6 ヶ月) 後の軸力残存率を示す。

図-3 および図-4 より、いずれの試験ケースにおいても、締付け後のボルト軸力は、締付け後 24 時間までの間に 10% 程度低下する。その後、時間経過とともに緩やかに軸力が低下していることが確認できた。

また、図-3 より、8640 時間 (12 ヶ月) 後の軸力残存率は、亜鉛めっき塗装ありのケースでは 83% 程度であるが、亜鉛めっき塗装なしのケース PL5-R3-N-NN0-Ax100 では 87% 程度であるため、亜鉛めっきにより 4% 程度軸力低下が大きくなることがわかる。引抜成形材よりも繊維含有率が低い、樹脂のみで構成された Mt5-C0-N-NN0-Ax100 やハンドレイアップ成形の HL5-C30-G-NN0-Ax100 の軸力低下は、他のケースと比べて大きくなり、樹脂のみでは 78% 程度であり 5% 程度大きくなる。

エポキシ樹脂を用いた GE5-C60-N-NN0-Ax100 では、

6 ヶ月経過後においても他のケースに比べ軸力残存率が大きく、その値は約 95% であった。これは、エポキシ樹脂の方が不飽和ポリエステル樹脂より硬く、クリープ変形が小さいためであると考えられる。

母材厚 14mm である PL14-R4-F-ZZO-Ax100 は、締付け初期では、総板厚が大きいので、締付けた際に母材に生じるひずみ速度が小さくなる。そのため、軸力低下率が 3% 程度小さくなる。その後、母材厚 5mm ケースよりも樹脂量が多いため、時間経過とともに、母材厚 5mm の値に近くなることが認められる。

2 度締めした PL5-R3-F-ZZO-Ax100-2nd の軸力低下率は、他のケースに比べて 2% 程度小さいが、時間経過後の低下傾向は、平行であることがわかる。これらは、既往研究⁴⁾のリラクセーション試験において、締付け後 180 日後に増し締めを実施した結果でも、同様の傾向が報告されており、2 度締めを行うことで同じ時刻での軸力低下は抑えられることがわかる。

4. まとめ

本試験結果から、亜鉛めっきした高力ボルト GFRP 摩擦接合は、約 1 年間で残存軸力が 83% 程度になることがわかった。また、亜鉛めっき処理の有無、繊維含有率、施工方法によっても 3% 前後リラクセーション特性が変わることがわかった。さらに、使用樹脂によっては、10% 程度軸力低下を抑制できる可能性がある。今後は、引き続き計測を行い、高力ボルト摩擦接合に適した GFRP 材の構成も検討する。

参考文献

- 1) 酒井圭一ら: 溶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) 青木海ら: GFRP 摩擦接合における高力ボルトのリラクセーション特性, 土木学会第 76 回年次学術講演会, 2022.
- 3) 南邦明ら: 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, pp.496-509, 2020.
- 4) 木嶋健ら: 引抜成形 GFRP 積層材によるボルト接合の軸力リラクセーション, 材料, Vol.59, No.7, pp.540-545, 2010.