

F R P 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

独立行政法人土木研究所 正会員 木嶋 健 エス・エフエンジニアリング 正会員 勝野壽男  
九州大学大学院 正会員 小林憲治, 日野伸一 独立行政法人土木研究所 正会員 西崎 到

1. はじめに

FRP を橋梁等の構造部材に適用する場合には、FRP 部材接合を考慮する必要がある。FRP 部材の接合形式としては接着接合やボルト接合が考えられるが、ここでは橋梁部材を接合するという観点からボルト接合について検討を行う。FRP 部材のボルト接合強度は圧縮強度やせん断強度に支配されるため、鋼材に比べて低くなると考えられる。そのため、接合強度の向上には、摩擦形式ボルト接合やボルト軸力を加えたボルト - 接着併用接合を用いるのが適当である。FRP にボルト軸力を加えた場合には、厚さ方向の力学特性を支配する樹脂の粘弾性挙動により、軸力が経時的に低下するレラクゼーションが生じると考えられる。本稿では、FRP に加えたボルト軸力の経時変化について実験的に検討した結果を報告する。

2. 試験概要

本試験で用いた FRP 試験体のボルト接合構造は、図 - 1 のように、鋼材 SS400 を添接板として FRP 試験体の上下に配置し、鋼材を通して試験体をボルトで締め付けた構造である。FRP 試験体としては厚さの異なる 4 種類の GFRP 積層板 (G12, G16, G24, G32) を用い、各試験体に対して表 - 1 に示すトルク値を初期値として与えた。G24 および G32 は、積層構成が CSM/Roving/CSM の G12 および G16 を各々 2 枚貼り合せたものである。また、樹脂には耐候性に優れたビニルエステル樹脂を用いた。ボルトは M20、ボルト孔径はφ22.5 であり、ボルトと鋼材との間には鋼製ワッシャーを挟んでいる。

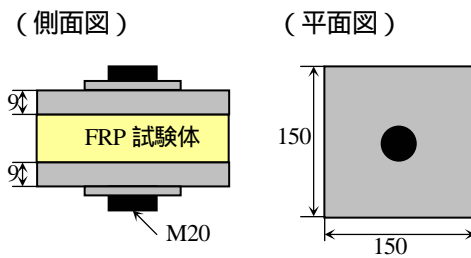


図 - 1 ボルト接合構造

表 - 1 ボルト軸力の初期値

試験体	厚さ (mm)	基材構成	トルク (N・m)
G12	12	[CSM/Rov/CSM] V <sub>F</sub> : 56.5%	662
G16	16	{ CSM: 10% Rov: 90% }	626
G24	24	[CSM/Rov/CSM] <sub>s</sub> V <sub>F</sub> : 56.5%	574
G32	32	{ CSM: 10% Rov: 90% }	632

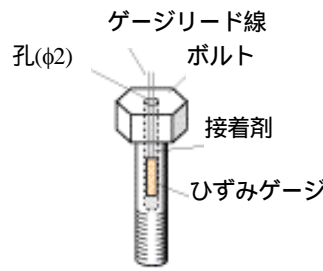


図 - 2 ひずみゲージ設置方法 (出典：東京測器研究所 HP)

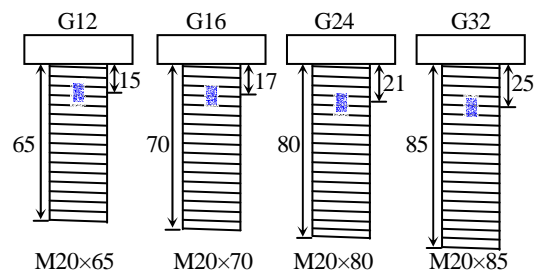


図 - 3 ひずみゲージの設置位置

FRP 試験体へのボルト軸力の導入は試験体を治具に固定して行った。また、ボルト軸力の算出には、ボルト内部に埋め込んだひずみゲージ (図 - 2 参照) の測定値を用いた。ひずみゲージ測定値からボルト軸力への具体的な換算は、事前に把握している荷重 - ひずみ関係により行った。G12 ~ G32 の試験体に対するボルト内ひずみゲージの設置位置は図 - 3 の通りである。本試験は、試験体を治具に固定してボルト軸力を導入する、試験体を治具から解放する、計測に向けて試験体を配列する、ボルト軸力の経時変化を計測する、の 4 工程より構成される。ボルト軸力の経時変化計測にあたっては、(A) ボルト軸力導入から 11 ヶ月間の連続測定、(B) ボルト軸力導入から 6 ヶ月間の連続測定をした後に元のボルト軸力を再導入して測定、の 2 ケースを対象とした。なお、上記 (A)、(B) の試験について、G12 ~ G32 の試験体を各 2 供試体用いた。

3. 試験結果

1) 計測開始までのボルト軸力の変化

ボルト軸力の計測開始までには、2. で示した ~ までの工程を経ることになるが、軸力導入から計測開始までの短時間でボルト軸力は大きく低減する。表 - 2 は各試験ケースに対するボルト軸力の低減量を、初期導入時

キーワード： FRP, ボルト軸力, 粘弾性挙動, レラクゼーション, 経時変化  
連絡先： 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (Tel : 029-879-6763, Fax : 029-879-6733)

および再導入時に分けて示したものである．詳細に検討すると，ボルト軸力の初期導入時においては，計測開始までの軸力低減量は 15～20kN 程度（低減率：6.5～10%）と比較的大きいが，ボルト軸力再導入時においては，計測開始までの軸力低減量は 2～5kN 程度（低減率：1～2.5%）と殆ど変化しない．ボルト軸力の初期導入時においては，試験体表面が完全にフラットとなっていないため，試験体と添接板とは完全に密着せずと間隙が存在すると考えられる．ボルト軸力導入時には，試験体が添接板と密着するように間隙を埋めて調整されると考えられ，これが初期導入時の大幅な軸力低減につながったと判断される．ボルト軸力の再導入時においては，試験体と鋼材とは完全に密着していると考えられるため，ボルト軸力の低減は樹脂の粘弾性挙動により生じたものと判断される．

表 - 2 計測開始までのボルト軸力低減量

試験体	試験ケース	ボルト軸力(kN)		低減量(kN)[低減率(%)]	
		初期導入	再導入	初期導入	再導入
G12	A1	192.1	-	12.6[6.34]	-
	A2	216.0	-	20.4[8.91]	-
	B1	191.4	195.7	16.8[8.77]	2.3[1.18]
	B2	221.2	224.8	20.3[9.18]	2.8[1.25]
G16	A1	193.2	-	18.6[9.63]	-
	A2	192.3	-	17.7[9.20]	-
	B1	189.1	189.4	18.4[9.73]	4.0[2.11]
	B2	183.2	188.6	16.6[9.06]	3.0[1.59]
G24	A1	174.2	-	16.0[9.18]	-
	A2	176.2	-	15.2[8.63]	-
	B1	190.8	198.2	18.7[9.80]	4.9[2.47]
	B2	179.9	184.4	15.3[8.50]	3.7[2.01]
G32	A1	203.3	-	17.5[8.61]	-
	A2	195.8	-	14.6[7.46]	-
	B1	202.0	203.4	17.9[8.86]	3.7[1.82]
	B2	204.0	205.8	16.6[8.14]	3.5[1.70]

2) ボルト軸力の経時変化

図 - 4 は，試験体 G12 および G32 に対するボルト軸力の経時変化を示したものである．ボルト軸力は供試験体によってばらついているが，ほぼ同様の傾向を示している．全ての試験ケースについて，計測開始直後にボルト軸力の大幅な低減が見られる．これは，3.1)で記述した通りに試験体が添接板と完全に密着するように調整されたためと考えられる．一般に，材料の粘弾性挙動に伴う応力のリラクゼーションは，バネとダッシュポットを直列に配列した Maxwell モデルを基本として表される．Maxwell モデルによると応力の時間変化は指数関数に従い，最終的には一定値に収束するとされている．計測開始直後の大幅な軸力低減を除外すると，図 - 4 に示すボルト軸力の経時変化は上記の傾向を示すと考えられる．(B) のケースでは 6 ヵ月後にボルト軸力の再導入を行っているが，図 - 4 を見ると，再導入後のボルト軸力低減率は初期導入後のボルト軸力低減率ほど大きくないことが分かる．再導入後のボルト軸力は，初期導入時のひずみに伴うボルト軸力と再導入時のひずみに伴うボルト軸力との単純な重ね合わせで表される．再導入時に与えるボルト軸力は初期導入時のボルト軸力より小さいことから，再導入時のひずみは初期導入時よりも小さいと考えられる．再導入前のボルト軸力が殆ど変化していないこと，ボルト軸力低減量は与えたひずみに比例することを考慮すると，再導入後のボルト軸力低減率は初期導入後のボルト軸力低減率より小さくなると判断される．一方，G12 および G32 のボルト軸力を比較すると，試験体が厚くなるに従って軸力低減率も大きくなる傾向にある．試験体と添接板で構成される構造のボルト軸力を，試験体を Maxwell モデル，添接板をバネとした簡単なモデルで試算した結果，試験体が鋼材よりも相対的に厚くなった場合にボルト軸力低減率も大きくなる傾向を示した．

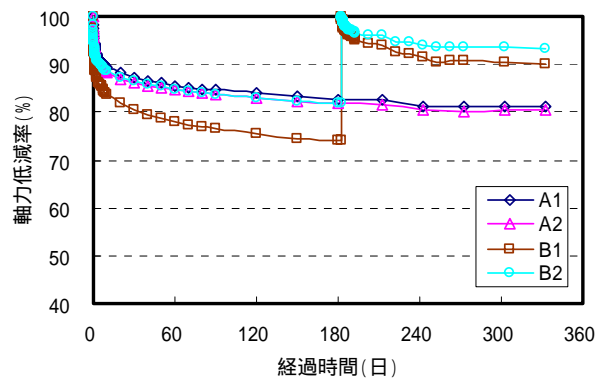


図 - 4a ボルト軸力の経時変化(G12)

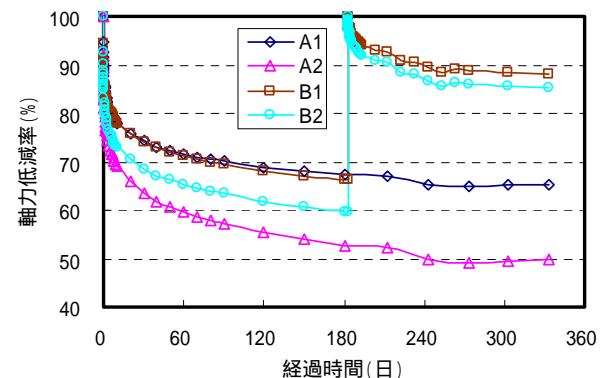


図 - 4b ボルト軸力の経時変化(G32)

4. 今後の課題

樹脂の粘弾性挙動に伴うボルト軸力のリラクゼーションを定量的に評価することが必要である．

参考文献

- 1) Bower, D. I., An Introduction to Polymer Physics, Chap.7, pp.187-198, Cambridge University Press, 2002
- 2) 永田他, GFRP 材料を用いた高力ボルト摩擦接合の力学的挙動, 第 55 回土木学会中国支部研究発表会, 2003.5