

プレストレスによる炭素繊維強化樹脂板の接着強度低下に関する一考察

立命館大学大学院 学生員 ○植松 祐亮
立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. はじめに

近年、炭素繊維強化樹脂(CFRP)板を用いた鋼構造物の亀裂補修に関する研究が発表されてきており^{例えば 1)}、その効果も実験的に証明されている^{例えば 2)}。しかし、単に CFRP 板を接着するだけでは、亀裂抑制の効果を得ようとするれば、鋼と同等のヤング係数を有するとはいえかなりの断面積の CFRP 板を接着する必要がある。そこで、著者らは CFRP 板にプレストレスを与えた後に鋼板に接着、鋼板に圧縮応力を導入する工法を提案してきた。しかしながら、プレストレス導入により CFRP 板が剥離するときの鋼板の応力、剥離応力が低下することが懸念される。本研究では、プレストレス導入による剥離応力の低下を導入したプレストレスをもとに算出できないか考察する。

2. 実験概要

図-1 は鋼板の両面に CFRP 板を接着した試験片の側面図である。実験に用いた材料の材料特性を表-1 に示す。CFRP 板接着鋼板の引張試験では引張応力、圧縮応力の確認にひずみゲージを用いた。ひずみゲージ設置位置は図-1 に①～⑥で示してある。

供試体製作の手順は次の通りである。まず、プレストレス装置を用いて CFRP 板にプレストレスを導入する。この際、CFRP 板に接着されているひずみゲージでひずみを計測しながら、理論上鋼材に 30N/mm^2 の圧縮応力が導入できるひずみの値を導入した。その後、CFRP 板にプレストレスが導入された状態で鋼材の両面に接着した。接着厚さ(0.5mm)は、CFRP 板と鋼板の間に直径 0.5mm のテグスを撒くことによって維持した。1 週間かけ接着剤を硬化させた後、プレストレス装置を取り外し、所定の長さ(300mm)となるように CFRP を切断した。プレストレスを導入しない供試体はあらかじめ所定の長さ(300mm)に切断しおいた CFRP 板を同様に接着した。

引張試験は、プレストレスなしの供試体 14 本(p0-1～9, Fp0-1～5)、プレストレスありの供試体 14 本(p30-1～9, Fp30-1～5)について行った。なお、供試体名の数値 (0, 30) は、鋼板に導入したプレストレスの大きさを示す。载荷は万能試験機により供試体の両端をつかみ具で引張り、約 1mm/分の変位を与え、CFRP 板が剥離するまで载荷を続けた。

引張試験を行う前に、プレストレスなし・ありの供試体 5 本ずつ(Fp0-1～5, Fp30-1～5)計 10 本について、载荷ジャッキを用いて疲労試験を行なった。疲労試験は応力振幅 30N/mm^2 (上限値 40N/mm^2 , 下限値 10N/mm^2), 2Hz で 200 万回の载荷を行った。

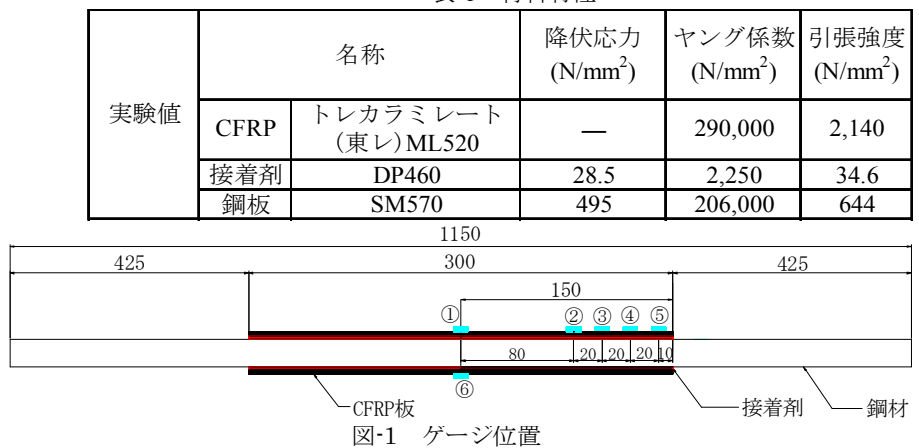
3. 実験結果および考察

疲労試験では 200 万回の载荷後、すべての供試体で剥離が確認できなかったため、すべての供試体で引張試

キーワード 炭素繊維強化樹脂, CFRP, 亀裂補修, プレストレス

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL 077-561-3007 FAX 077-561-3007

表-1 材料特性



験を行った。

引張試験の結果、プレストレスの有無に関係なく CFRP 板端部のひずみから増加から減少に変化しており、剥離は CFRP 板端部から生じていたと確認できた。

プレストレスの剥離への影響を検討するため、各供試体の製作・載荷試験中のひずみの変化について考察する。

表-2 に p30-1, p0-1 の CFRP 板のひずみの変化を示している。表中のゲージ番号は図-1 に対応している。プレストレスを導入した供試体(p30-1)については、CFRP 板にプレストレス(目標値: 637×10^{-6} のひずみ)を導入した直後の値、プレストレス装置を取り外した際のひずみの変化(装置を取り外す直前の値をゼロとした時の変化量)、引張試験を行い CFRP 板が剥離した際のひずみ(試験開始時をゼロ)、及びそれらの合計を示している。

剥離の主な原因が接着剤層に生じるせん断応力であると仮定すると、理論上、プレストレスにより接着剤層に生じるせん断応力分だけ剥離応力が低下することになる。また、接着材層にせん断応力のみが生じると仮定すると、CFRP 板、接着剤層、鋼板内の力のつり合いより、接着剤層のせん断応力を積分すると CFRP 板中央に生じる力となり、せん断応力の大きさと CFRP 板中央でのひずみの大きさには比例関係があると考えられる。したがって、表-2 に示したプレストレスされた供試体における各段階のひずみの変化を合計した値と、プレストレスのない供試体の引張試験時のひずみの変化はほぼ同じになると予測した。

表-3 には、表-2 におけるゲージ①のひずみの合計のみを、供試体別平均値としてまとめたものである。平均値を求める際、各供試体でばらつきがあったので、ゲージ①においてひずみの最大値と最小値を与えた供試体を除いて平均値を求めた。表中、プレストレスありの供試体のプレストレスなしの供試体に対する比率(低減率)も示してある。また、先に述べたとおり結果にばらつきがあったため、プレストレスありの各供試体のプレストレスなしの供試体の平均値に対する低減率を表-4 に示してある(網かけは平均の算出から除外された供試体)。表-3、表-4 に示す通り、せん断応力のみを考慮しては、プレストレス導入による剥離応力の低下は予測できないことが分かった。

4. おわりに

本研究ではプレストレスによる剥離応力の低下を、導入されたプレストレスに比例して算出したが、実験結果を再現することはできなかった。今後は数値解析を行い、プレストレス導入時の接着剤層内の応力分布を検討し、剥離応力の低減が予測できないか検討する予定である。

参考文献

- 1)大倉 一郎, 福井 唯夫, 中村 圭吾, 松上 泰三:炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力, 土木学会論文集, No. 689/ I -57, 239-249.
- 2)稲葉 尚文, 富田 芳男, 紫桃 孝一郎, 鈴木 博之, 岡本 陽介: GFRP シート貼付によるリブ十字溶接継手の補強に関する一提案, 土木学会論文集, Vol. 2005, No.798, pp. 798_89-798_99, 2005.

表-2 実験による CFRP 板のひずみの変化(10^{-6})

p30-1					
ゲージ番号	①	②	③	④	⑤
プレストレスをかけた直後のひずみ	638	598	572	576	600
プレストレス装置を取り外した際のひずみの変化	-122	-146	-156	-191	-269
引張試験を行いCFRPが剥離した際のひずみ	1633	1386	1112	741	389
合計	2149	1838	1527	1127	720
p0-1					
引張試験を行いCFRPが剥離した際のひずみ	2313	1957	1407	860	222

表-3 ひずみの合計の平均値(10^{-6})

供試体	①		低減率
p30	1189	p30/p0	0.60
p0	1992		
Fp30	1242	Fp30/Fp0	0.63
Fp0	1962		

表-4 ひずみの低減率

p30/p0		Fp30/Fp0	
1	1.08	1	0.67
2	0.86	2	0.65
3	0.64	3	0.53
4	0.51	4	0.61
5	0.51	5	0.64
6	0.35		
7	0.67		
8	0.47		
9	0.51		