

## CFRP 板の積層数が疲労き裂発生後の補修効果に及ぼす影響

戸田市 正会員 ○諸井敬嘉・明星大学 正会員 鈴木博之  
 首都大学東京 フェロー 前田研一・正会員 中村一史  
 東京鐵骨橋梁 フェロー 入部孝夫

**1. はじめに** 著者らは、これまでに、面外ガセット溶接継手部から発生した疲労き裂を対象に、CFRP 板の貼付による補修工法について検討を行ってきた<sup>1)</sup>。それらの結果を踏まえ、進展する疲労き裂の抑制に対して、適切な補修方法を検討するために、CFRP 板の積層枚数に着目し、補修後の延命効果について検討を行った。

**2. 試験片と試験方法** 試験片については、図-1 に示すように、鋼板 (250×9×1040) の中央部の両面に、ガセット (100×9×140) を回し溶接した構造とした。疲労試験を行うにあたり、着目点と反対側の回し溶接部については、き裂の発生を防ぐためにあらかじめグラインダーで仕上げた。鋼板と CFRP 板の接合には、エポキシ樹脂接着剤を用いた。CFRP 板およびエポキシ樹脂接着剤の機械的性質を表-1 に示す。荷重の載荷方法については、試験片を I 形断面桁の下フランジに高力ボルトで接合し、単純桁の 4 点曲げ載荷時における下フランジの引張領域を利用して、試験片に様な引張応力を作用させた。疲労試験は、試験機の載荷能力の関係上、周波数を 2Hz として行った。

**3. CFRP 板による補修方法** まず、疲労き裂を発生させるために繰返し載荷を行い、き裂長さ  $a$  が試験片の中心から幅方向へ片側 15mm に達した時に載荷を止め、載荷桁から一旦外して補修を行った。補修時の CFRP 板の貼付位置を図-2 に示す。図-2 (a) の補修方法は、まず、母材の溶接ビード形状を 8mm 等脚の三角形形状にグラインダーで仕上げた後、CFRP 板 (50×1.2×200× $n$  層) を溶接ビードに密着するよう中央部に矩形の切り込みを入れ、積層して接着するとともに、隣接して両側に 1 枚の CFRP 板 (25×1.2×100) を貼付する方法である。これを M シリーズとし、積層数  $n$  を 1, 3, 5 枚と変化させた。この M シリーズと比較するため、図-2 (b) は、溶接ビードの両側に 1 枚の CFRP 板 (25×1.2×100) を貼付する方法を示したものであり、これを S シリーズとした。各実験シリーズを表-2 に示す。なお、補修後は 1 週間の保温養生を行った。

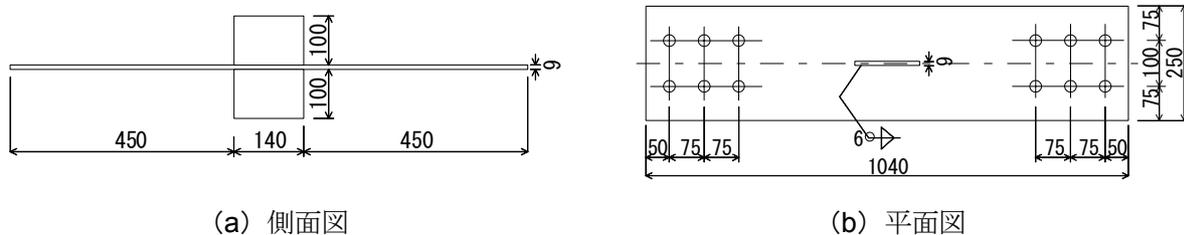


図-1 試験片形状

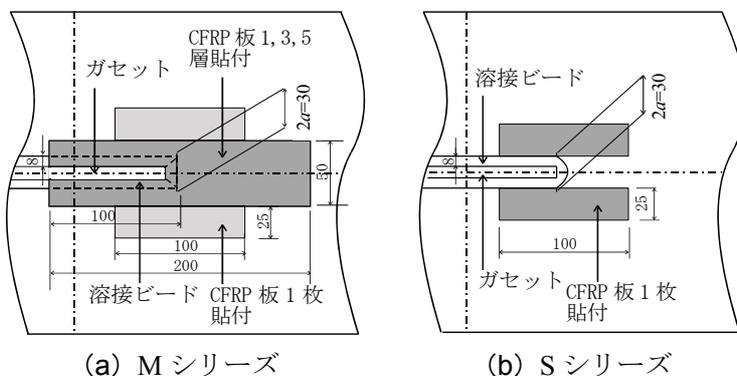


図-2 CFRP 板の貼付位置

表-1 機械的性質

	鋼板 (SM400A)	CFRP板	エポキシ樹脂 接着剤
降伏点 (MPa)	293	-	-
引張強度 (MPa)	453	2664	30
破断伸び (%)	22.6	1.9	-
弾性係数 (GPa)	204.5	188.0	1.5

表-2 実験シリーズ

シリーズ	CFRP板	
	貼付位置	積層枚数
N	無補修	無補修
M1	図-2(a)	1枚
M3		3枚
M5		5枚
S	図-2(b)	1枚

Key Words : CFRP 板, 補修, 疲労き裂, 面外ガセット溶接継手

連絡先 : 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 TEL.&FAX. 042-591-9632

4. 試験結果および考察

き裂発生のパラツキを除去し、補修後の延命効果を把握するため、き裂長さ  $a$  が約 15mm に到達した時点で補修を行い、試験の再開後から破断までの繰返し回数（以下、余寿命と呼ぶ）を  $N_p$  として、各シリーズの S- $N_p$  線図を図-3 に示す。図より、補修を行った全シリーズで、無補修の N シリーズに対して延命効果が見られ、表-3 に示すように、応力範囲が小さいほどその効果が高いことが解る。また、CFRP 板が同じ積層数（1 層）で、その貼付範囲が異なる、S と M1 を比較した場合、延命効果はほぼ同程度であるが、応力範囲が低くなると、若干、M1 の方が、延命効果が高くなる傾向にあるといえる。さらに、M シリーズの CFRP 板の積層数に着目して比較した場合、積層数が増えるほど延命効果が高まるといえるが、応力範囲が低い場合には、積層数による補修効果の差が小さくなる傾向にあることも解る。

図-4 は、 $\Delta\sigma_n=84$  (MPa) 時において、き裂長さ  $a$  が約 15mm に到達した時（補修後）から破断に至るまでについて繰返し回数の関係を示したものである。ここで、繰返し回数は、き裂長さ  $a$  が約 15mm に到達した時（補修後）を基準として整理した。図より、点線の直線で予測して示した CFRP 板の貼付域中におけるき裂の進展は、貼付域外で計測されたものに比べて、遅くなっていることが解る。さらに、S シリーズよりも M シリーズの方が、また、M シリーズでは積層数の多い方が、き裂進展を抑制する効果の高いことが解る。ただし、M5 以外では、計測範囲を超える 75mm 以上では、間もなく破断に至っていることが解る。これは、M5 では、破断の直前まで CFRP 板が剥離しなかったが、M5 以外では、き裂長さが全幅に対して 60~65% 程度まで進展すると剥離が生じたためであった。

図-5 は、 $\Delta\sigma_n=84$  (MPa) 時において、き裂長さ  $a$  が CFRP 板の貼付域外に達した際 ( $a=56\text{mm}$ ) に、CFRP 板上のひずみを計測し、その引張応力分布を示したものである。図より、1 枚貼付域では、M1 と M3 の両者とも中心へ向かうほど引張応力は高くなるが、3 層とした M3 の積層貼付域では、表面の CFRP 板の引張応力はかなり低下することが解った。

5. まとめ

今回対象とした積層数の範囲からは、CFRP 板の積層数を 5 層とすれば、十分な延命効果が得られるとともに、CFRP 板の剥離の抑制に対しても効果のあることが確かめられた。また、積層数が少ない場合であっても、応急的な補修に対する適用性も十分にあると考えられる。

最後に、本研究を行うにあたり、新日本石油株式会社およびユニシ株式会社より実験材料の提供を受けた。ここに記して謝意とする。

参考文献 1) 中村一史, 諸井敬嘉, 鈴木博之, 前田研一, 入部孝夫: 溶接継手に発生した疲労き裂の CFRP 板による補修, 日本鋼構造協会, 鋼構造年次論文報告集, 第 12 巻, pp.425-430, 2004.11.

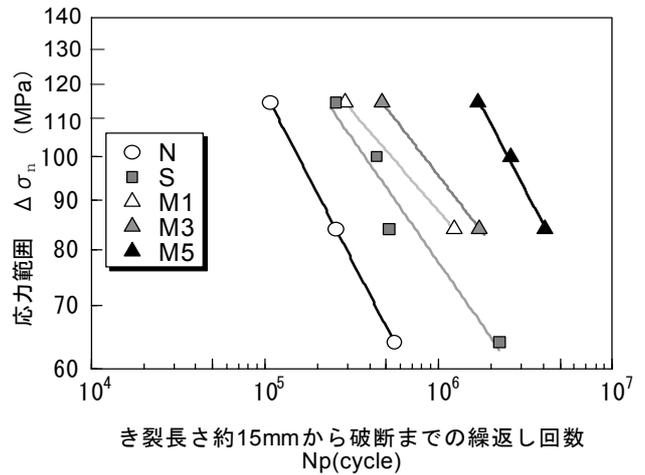


図-3 S- $N_p$  線図

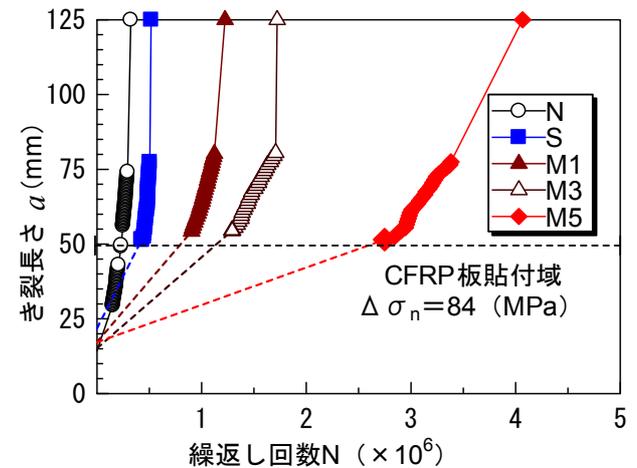


図-4 き裂長さと繰返し回数の関係

表-3 無補修に対する補修効果

	$\Delta\sigma_n$ (MPa)	実験シリーズ			
		M1	M3	M5	S
余寿命倍率	114	2.6	4.2	15.0	2.3
	84	3.8	5.3	12.6	1.6

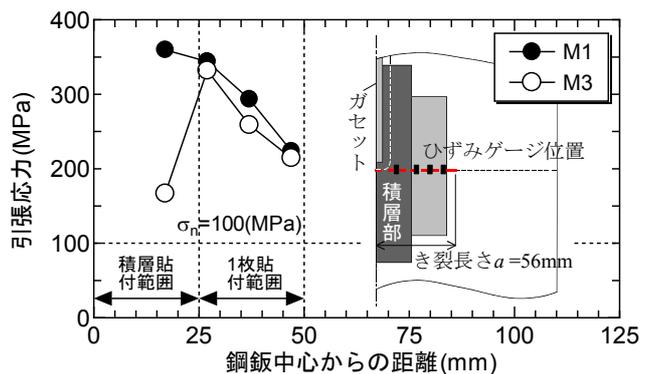


図-5 CFRP 板上の引張応力の比較