

## 疲労き裂の補修を目的とした鋼板と CFRP 板の接着継手強度に関する研究

首都大学東京大学院 学会員○姜 威

首都大学東京 正会員 中村一史・フェロー 前田研一

明星大学 正会員 鈴木博之 東京鐵骨橋梁 フェロー 入部孝夫

新日本石油 竹村振一

## 1. はじめに

近年、鋼構造物の補修・補強のための機能的な材料として炭素繊維強化プラスチック板（以下、CFRP 板）が適用されはじめている。著者らは、疲労き裂の補修を目的として CFRP 板の接着による補修方法について実験的に検討してきたが<sup>1)</sup>、実用化を図る上では鋼板と CFRP 板の接着性能も十分に把握する必要がある。本研究は、既に提案した CFRP 板の接着方法により作成した接着継手試験片の引張せん断強度を明らかにすることを目的としたものである。

## 2. 試験方法

本研究では、図-1 に示すような面外ガセット試験片を対象とした。この試験片は、面外ガセットの回し溶接止端部から発生した疲労き裂が進展したこと想定して、止端部から幅方向に疲労試験によって破断させたものであり、試験片の幅は 100mm とした。鋼板、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。鋼板と CFRP 板の引張せん断強度を検討する際の CFRP 板の接着方法を図-2 に示す。図-2 (b) に示した M シリーズでは、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（ $50 \times 1.2 \times 200 \times n$  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（ $25 \times 1.2 \times 100$ ）を単独に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 (a) は、溶接ビードの両側に 1 枚の CFRP 板（ $25 \times 1.2 \times L$ ）を単独に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。ここでは S シリーズの CFRP 板の長さ  $L$  を 100, 200mm と変化させて検討を行った。実験シリーズを表-2 に示す。なお、接着後は  $40^\circ\text{C}$  以上で 1 週間保温養生した。引張実験には、容量 1,000kN の万能試験機を用い、載荷速度は 5mm/min とした。CFRP 板の接着状況の一例を写真-1 に示す。なお、図-2 および写真-1 に示したように、CFRP 板のひずみと継目部の開口変位を計測した。

## 3. 試験結果および考察

各実験シリーズの最大引張荷重を図-3 に示す。図より、M

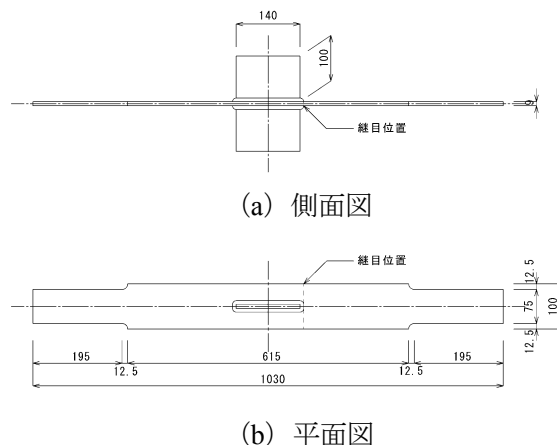


図-1 面外ガセット試験片の形状

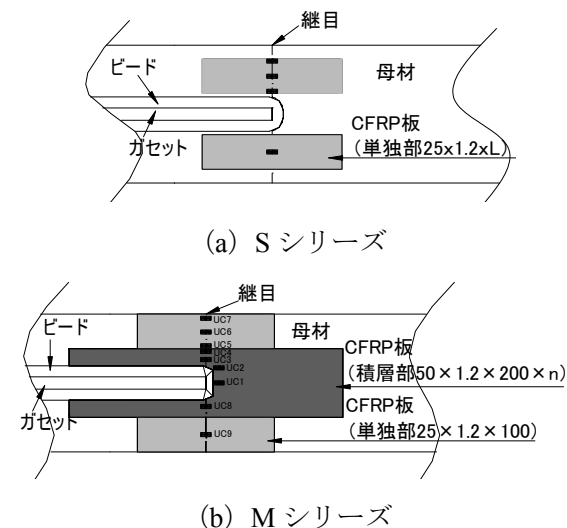


図-2 CFRP 板の接着方法

表-1 機械的性質

|            | 鋼板<br>(SM400A) | CFRP板 | エポキシ樹脂<br>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   | 1.5           |

表-2 実験シリーズ

| シリーズ | CFRP板   |                      |
|------|---------|----------------------|
|      | 貼付位置    | 積層枚数                 |
| S100 | 図-2 (a) | 単独部1枚 (100mm)        |
| S200 |         | 単独部1枚 (200mm)        |
| M1   | 図-2 (b) | 単独部1枚 (100mm), 積層部1枚 |
| M3   |         | 単独部1枚 (100mm), 積層部3枚 |
| M5   |         | 単独部1枚 (100mm), 積層部5枚 |

Key Words : CFRP 板, 補修, 疲労き裂, 面外ガセット溶接継手, 引張せん断強度

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

シリーズは S シリーズより最大引張強度が高くなることが解った。また、M シリーズでは、CFRP 板の積層数の増加に伴って、引張強度がより高くなることが解った。特に、M5 ではその効果が最も高く、S100 に対する M5 の引張強度は、約 2.7 倍となり、S200, M1, M3 では、それぞれ約 1.2 倍、1.7 倍、2.2 倍となった。

図-4 には、引張荷重と継目部の開口変位の関係を示す。図より、全てのシリーズで荷重の低い範囲から非線形な挙動を示すこと、また、CFRP 板の積層数の増加に伴って、伸び剛性が高くなることが解る。伸び剛性が高いほど接合部の変位は小さくなることから、疲労き裂の補修に適用した場合、開口変位が抑制されるため補修効果がより高められると考えられる。また、破断時における開口変位の大きさは CFRP 板の接着方法による差異は小さく、0.20~0.25mm 程度であった。なお、M5 の荷重-変位曲線において、約 200kN 付近で曲線が局所的に低下しているが、これは幅の狭い掴み部の断面が先に降伏したためであった。

最後に、引張荷重と CFRP 板の引張応力の関係を図-5 に示す。CFRP 板に作用する引張応力は、CFRP 板に貼付したひずみゲージにより、CFRP 板の単独部と積層部の部位別に平均化して算出した。図より、単独部の CFRP 板では、全てのシリーズで、終局時には 1,000MPa 前後の高い引張応力を負担していることが解る。また、CFRP 板の積層数が増えるほど、単独部の CFRP 板に作用する応力は低減されることから、積層部の CFRP 板が多く引張応力を負担していることが解る。一方、積層部の CFRP 板の表面応力は、積層数が増えるほど低下しており、CFRP 板の単位断面積当たりの荷重負担率の観点からは、CFRP 板の積層化は必ずしも合理的とはいえない。しかしながら、高い伸び剛性を付与して補強できることなどは、疲労き裂の補修を目的とした場合には、積層化による効果は大きいと考えられる。

#### 4. まとめ

面外ガセット溶接継手部から発生した疲労き裂を補修の対象として、これまでに提案してきた CFRP 板の接着方法について実験的に検討した結果、CFRP 板の積層化は、接着継手の引張せん断強度や、開口変位の抑制効果に大きく貢献していることが確かめられた。

#### 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

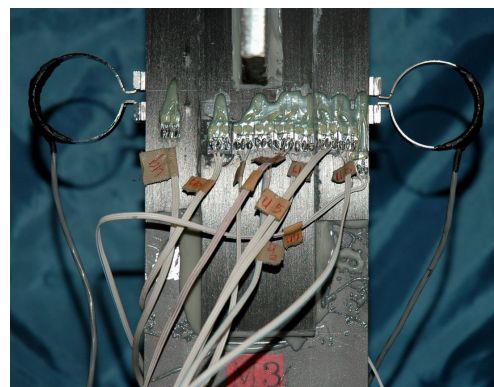


写真-1 CFRP 板の接着状況 (M3 シリーズ)

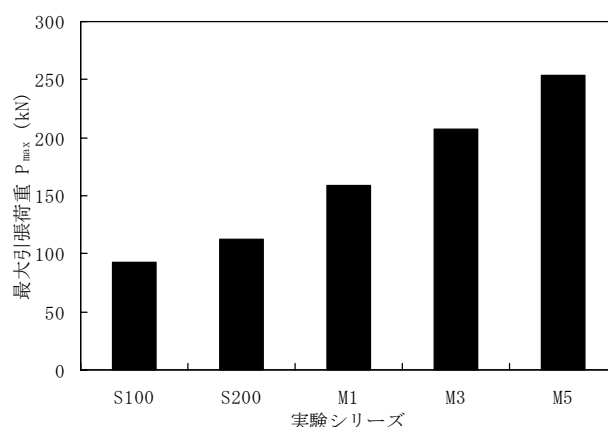


図-3 各実験シリーズの最大引張荷重

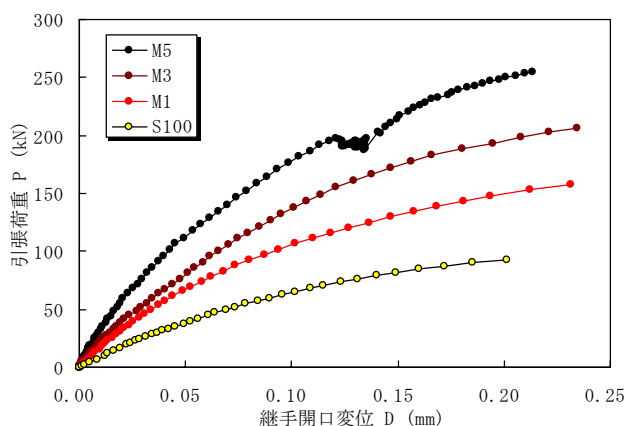


図-4 引張荷重と継目部の開口変位の関係

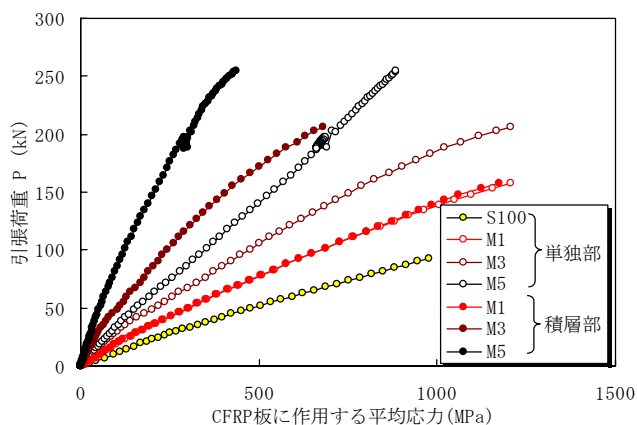


図-5 引張荷重と CFRP 板の引張応力の関係