

CFRP 板を用いた溶接継手部の疲労き裂の補修に関する解析的研究

明星大学大学院 学生員○諸井敬嘉 東京都立大学 正会員 中村一史
明星大学 正会員 鈴木博之 東京都立大学 フェロー 前田研一

1. はじめに

近年、鋼橋では交通量の増加や大型車の増加による疲労損傷が数多く報告されている。鋼部材に疲労き裂が発生すると、徐々に進展し、主要部材が破断に至る可能性もあり、その対策が重要な課題となっている。

そこで著者らは、面外ガセットの溶接継手部から発生した疲労き裂に対し、補修材料として CFRP 板を貼付する補修工法について実験的な検討を行ってきた¹⁾。本研究は、CFRP 板の機械的性質や貼付方法、および接着剤の種類による相違が補修効果に及ぼす影響について解析的な検討を行ったものである。

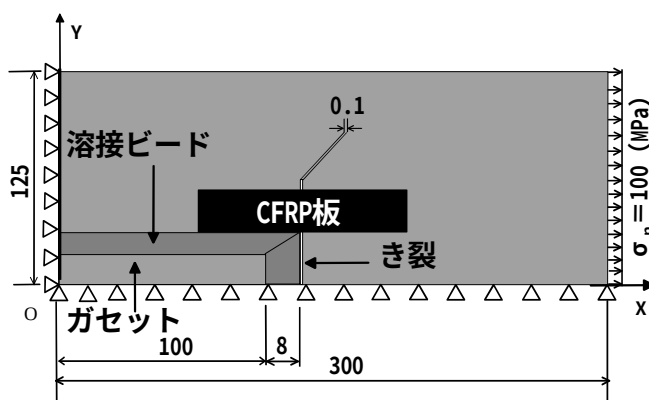
2. 解析方法と解析モデル

解析には、汎用有限要素解析プログラム MARC2001 を用い、3 次元ソリッド要素でモデル化した弾塑性有限変位解析を行った。解析モデルを図-1 に示す。解析モデルは、面外ガセット溶接継手部とし、対称性を利用して、全体の 1/8 をモデル化した。鋼板、CFRP 板、エポキシ樹脂接着剤の厚さは、それぞれ 9 (mm), 1.2 (mm), 0.2 (mm) とした。また、実験値と比較するため、き裂の長さとは幅は、実測値に基づいた、55.69 (mm), 0.1 (mm) とした。解析に用いた各材料の機械的性質を表-1 に示す。鋼板は等方弾塑性体、CFRP 板は異方性を考慮した弾性体、および、エポキシ樹脂接着剤は等方弾性体とし、鋼板の降伏後は 1/100 の弾性係数とした。

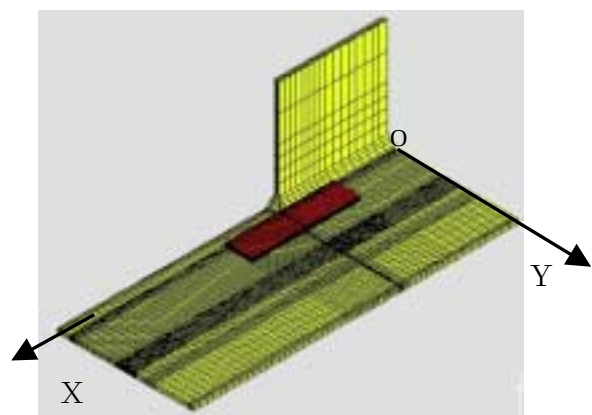
まず、CFRP 板の基本寸法を、 $25 \times 50 \times 1.2$ (mm) とし、CFRP 板の弾性係数および接着剤の種類をそれぞれ変化させて検討を行った。さらに、CFRP 板の形状、積層枚数を変化させたモデルについては、次のような条件で解析を行った。CFRP 板の幅または長さのみをそれぞれ 2 倍としたケース、および、幅と長さの両方とも 2 倍としたケースについては、弾性係数を 155 (GPa) とした CFRP 板とエポキシ樹脂接着剤 E1 を用いてモデル化した。また、CFRP 板の積層枚数を 2~4 枚まで変化させたケースについては、弾性係数を 155 (GPa) とした基本寸法の CFRP 板と接着剤 E1 を用いた。荷重については、鋼板部の公称応力が、100 (MPa) となるよう一様な引張荷重を載荷した。

表-1 材料の機械的性質

	降伏点 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン 比
鋼板 (SM400A)	293	204.5	0.30
CFRP板	-	155.0	0.34
	-	196.0	0.34
	-	294.0	0.34
	-	450.0	0.34
エポキシ 樹脂接着剤	E1	4.0	0.30
	E2	1.5	0.30



(a) 平面図



(b) 要素分割図

図-1 基本寸法の CFRP 板を貼付した時の解析モデル

キーワード CFRP 板, き裂, 補修, 弾性係数, FEM 解析

連絡先: 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 明星大学理工学部土木工学科 TEL・FAX042-591-9645

3. 解析結果・考察

本解析の妥当性を検討するため、解析結果と実験結果を比較した。ここで、補修においては、弾性係数を 155 (GPa) とした基本寸法の CFRP 板とエポキシ樹脂接着剤 E2 を用いた。公称引張応力 100 (MPa) 載荷時における鋼板の幅方向の引張応力分布を図-2 に示す。図-2 より、解析では、応力が全体的に低く評価されるものの、補修により応力が低減される傾向は解析においても表現されていることが確かめられた。

図-3 に E1 および E2 シリーズの解析結果の比較を、CFRP 板の弾性係数とき裂先端部近傍の相当応力の関係で示す。CFRP 板の弾性係数の値を大きくすることで、き裂先端部近傍の相当応力が減少することが解る。また、接着剤の種類について比較すると、弾性係数の高い E1 の方が相当応力をより低減する効果のあることが解る。

図-4 に、各ケースの解析結果を、き裂先端部近傍の相当応力で比較したものを示す。CFRP 板の弾性係数を増加させると相当応力が低減されることは、図-3 から明らかであったが、積層枚数を増やすことでも相当応力を低減できることも解った。ここで、CFRP 板の断面の伸び剛性で評価すれば、弾性係数を 450 (GPa) としたケース、弾性係数を 155 (GPa) として CFRP 板を 3 枚積層したケースは、ほぼ同じ伸び剛性である。両者を比較した場合、弾性係数を増加させる方が、相当応力の低減効果は大きいことが確かめられた。一方、CFRP 板の寸法を変化させて検討したケースからは、幅を増加させて、き裂先端部を覆うようにすれば、相当応力の低減効果はかなり大きくなることが解った。さらに、これらの傾向は、鋼板中心部の開口変位量を同様に比較して示した図-5 からも確かめられた。また、CFRP 板の貼付により開口変位量は補修前に比べ、半分以下となることも解った。

4. まとめ

以上のことから、CFRP 板の弾性係数、形状および積層枚数が、き裂先端部の相当応力や開口変位量に及ぼす影響について解析な検討結果から明らかとなり、今後、より効果的な補修工法を検討する上での、基礎資料を得ることができた。

参考文献 1) 中村, 諸井, 鈴木, 前田, 入部: 溶接継手に発生した疲労き裂の CFRP 板による補修, 鋼構造年次論文報告集, Vol.12, pp.425-430, 2004.11.

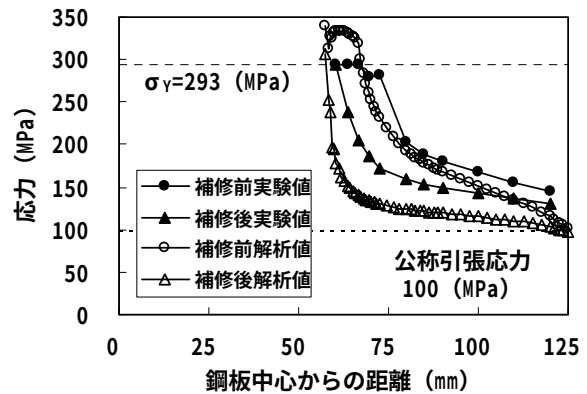


図-2 補修前後における引張応力分布

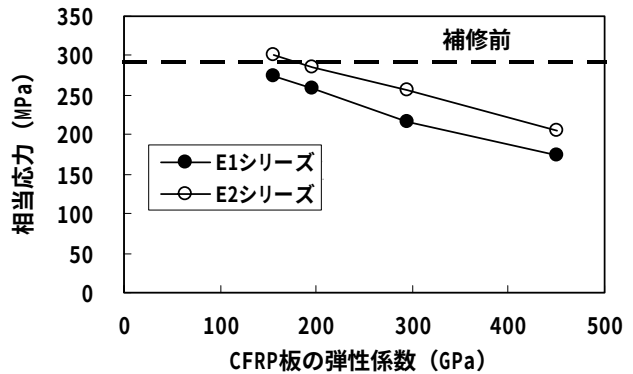


図-3 CFRP 板の弾性係数の変化とき裂先端部近傍の相当応力の比較

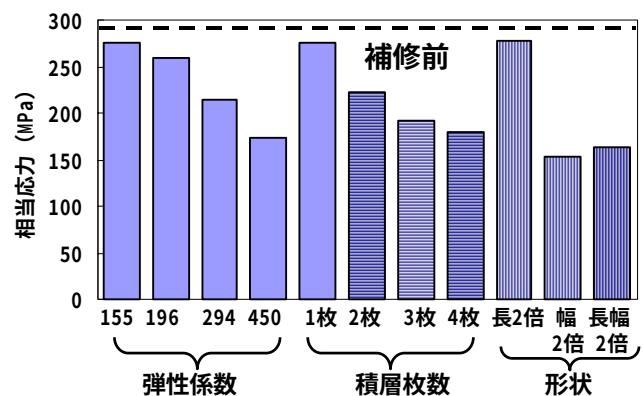


図-4 き裂先端部近傍の相当応力の比較

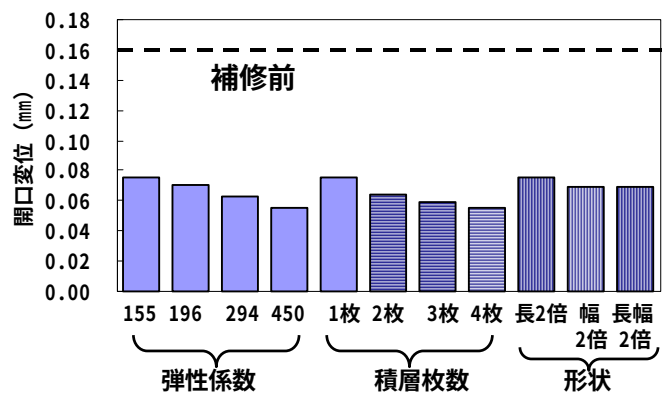


図-5 鋼板中心部の開口変位量の比較