炭素繊維強化プラスチック板を用いた疲労き裂の補修に関する解析的研究

明星大学　正会員　鈴木　博之
明星大学大学院　学生会員　岡本　陽介
明星大学　学生会員　○幅　文彦

１．はじめに

一般に鋼構造物に発生した疲労き裂は、溶接で埋め戻され、補強鋼板を高力ボルトあるいは溶接で取り付けることによって補修される。また、一時的な補修として炭素繊維強化プラスチック板(以後、CFRP 板と記す)を用いることも検討されている。本研究では、疲労き裂が発生した鋼部材の補修に CFRP 板を適用したときの応力解析を行い、CFRP 板の効果について検討する。

２．解析方法

解析は 3 次元ソリッド要素を用いた弾塑性 FEM 解析である。解析モデルを図-1 に示す。解析モデルは長さ 150mm、幅 50mm、板厚 3mm とした。また、CFRP 板の長さは 50mm、厚さは 1.2mm とし、CFRP 板の幅を解析変数とした。なお接着剤の厚さは 0.3mm 、CFRP 板のヤング係数を 1.55×10^5 MPa、鋼板の降伏点は 286MPa とし、降伏後のヤング係数は、弾性状態のヤング係数($E=2.1\times10^5$ MPa)の 1/20 とした。た。荷重は解析モデル端部の応力が 200MPa となるまで載荷した。解析ケースを表-1 に示す。

３．解析結果および考察

本解析の妥当性を検討するため、C-2 の解析結果を実験結果と比較した。図-2 に C-2 の公称応力 140MPa におけるき裂を有する断面の鋼板幅方向の応力分布を示す。図-2 より、歪ゲージを貼付した位置では解析結果と実験結果がよい一致を示していることがわかる。CFRP 板を貼付することによるき裂先端の応力の減少を把握するため、解析モデル C-1、C-2、および C-4 の公称応力 140MPa におけるき裂先端の歪ゲージ貼付位置の荷重軸方向の応力と c/a の関係を調査した。結果を図-3 に示す。CFRP 板を貼付することによる応力の低減の傾向が実験結果とよい一致をしており、c/a が大きくなるにつれて応力集中が緩和されていることがわかる。

図-4 に各ケースのき裂先端の鋼板の要素の相当応力-公称応力の関係を示す。図-4 において、無補強である C-1 は、すべてのケースの中で最も低い公称応力で降伏している。CFRP 板を貼付した C-2～C-5 においては同一の公称応力に対して相当応力が C-1 よりも低くなっており、さらに降伏時の公称応力が大きくなっていることがわかる。従って、CFRP 板が荷重を分担していることが理解される。

次に、図-5 に図-4 と同じ要素の主応力-公称応力関係を示す。図-5 より、CFRP 板を貼付することにより、降伏前の主応力の増加が緩和されていることがわかる。従って、CFRP 板を貼付することにより疲労強度の向上に寄与するものと思われる。

図-6 に荷重軸方向歪-公称応力関係を示す。図-6 より、C-1 は同一の公称応力における歪が C-2～C-5 に比べて著しく大きくなっていることがわかる。また、C-2～C-5 においては CFRP 板を貼付することにより、荷重軸方向の歪の増分を小さくすることができているので、き裂先端の塑性域の拡がりが抑制されているものと思われる。

図-7 に各モデルのき裂部の荷重軸方向の開口量-公称応力関係を示す。図-7 の開口量δはき裂中央の鋼板表面の節点の荷重軸方向変位である。C-1 と C-2～C-5 を比較すると、C-1 は、同一の公称応力のときの開口量が最も大きく、C-2～C-5 は CFRP 板を貼付することによりき裂部の開口量が抑制されており CFRP 板の幅が大きいほど抑制効果は大きいと言える。しかしながら、C-2～C-5 の公称応力 200MPa における開口量に大きな差は見られず、c/a の影響は大きくないように思われる。そこで、図-7 の公称応力 200MPa におけるき裂部

キーワード　疲労き裂　CFRP　補修
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

の開口量δを c/a との関係で整理した。図-8 に結果を示す。図-8 から、CFRP 板を c/a=1.0(き裂部をすべて覆った場合)以上貼付しても、その効果に有意な差はないものと判断される。

4．まとめ

本解析の結果、以下の知見が得られた。

(1) CFRP 板を疲労き裂の補修に適用する場合、き裂長さ a に対してCFRP板の幅cが大きい方が補修効果が高くなるが、実用上は c/a=1.0 で十分であると思われる。

(2) CFRP 板を貼付することにより CFRP 板を通して荷重の伝達が行われ、き裂部の開口が抑制され、き裂先端の応力集中が緩和されるため、疲労寿命は延びるものと推察される。

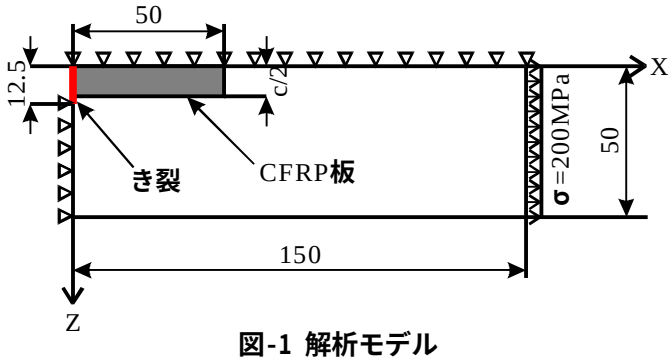

図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

ケース名	c※1(mm)	c/a※2
C-1	0	0.0
C-2	10	0.4
C-3	15	0.6
C-4	25	1.0
C-5	100	4.0

※1:CFRP板の幅
※2:CFRP板の幅とき裂長さの比

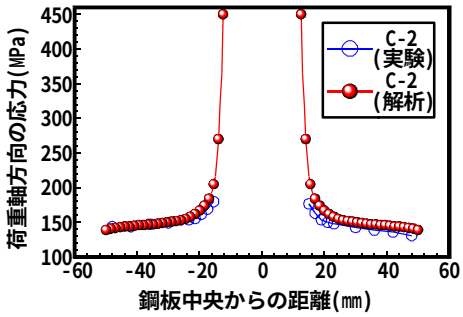

図-2 応力分布(公称応力140MPa)

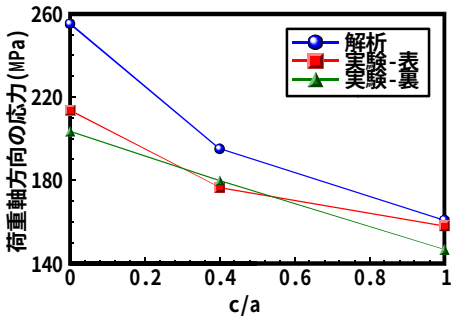

図-3 荷重軸方向応力-c/a関係

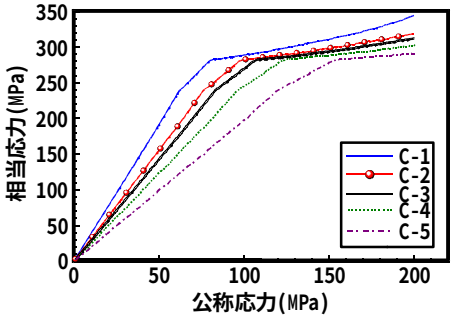

図-4 相当応力-公称応力関係

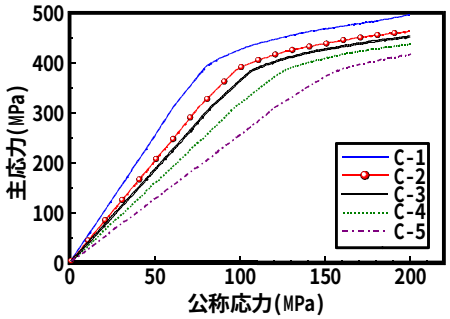

図-5 主応力-公称応力関係

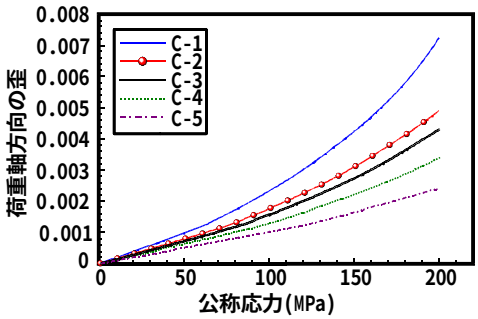

図-6 荷重軸方向歪-公称応力関係

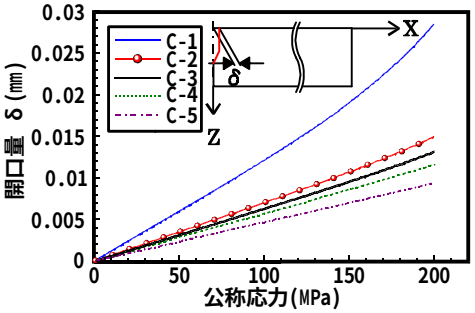

図-7 開口量-公称応力関係

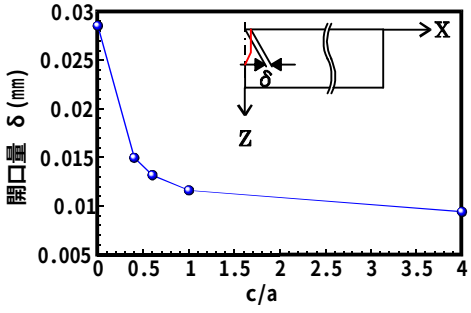

図-8 開口量-c/a関係