

鋼部材に発生した疲労き裂の炭素繊維強化プラスチック板による補修

明星大学 正会員 鈴木 博之  
 明星大学 学生会員 岡本 陽介

1. はじめに

近年、鋼構造物の溶接継手からの疲労き裂の発生が数多く報告されている。疲労き裂は放置すると進展し、鋼構造物の崩壊に至る可能性もあり、疲労き裂の進展を防止あるいは遅延するための補修および補強が重要である。本研究では、炭素繊維強化プラスチック板(以後、CFRP 板と記す)に着目し、疲労き裂の補修に用いることの可否について実験的に検討する。

2. 試験方法

試験片形状を図-1 に示す。CFRP 板とストップホールを併用することを想定し、試験片には中央に疲労き裂を想定したソーカットを設け、その先端にストップホールに相当する 4mm の円孔を明けた。CFRP 板の

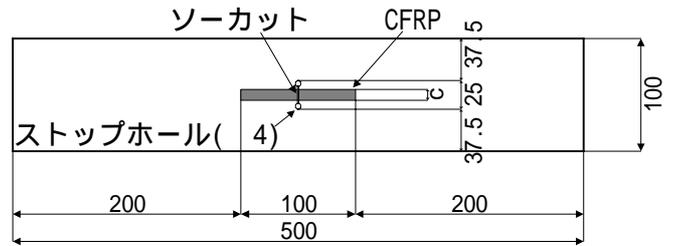


図-1 試験片形状

表-1 実験シリーズ

シリーズ	c <sup>*1</sup> (mm)	a/c <sup>*2</sup>
N-1	0	0
N-2	10	2.5
N-3	25	1.0

※1: CFRP板の幅  
 ※2: き裂部の長さ と CFRP板の幅の比

表-2 機械的性質

	鋼板 (SM400)	CFRP板
板厚 (mm)	6	1.2
引張強度 (MPa)	427	2352
弾性係数 (MPa)	2.1 × 10 <sup>5</sup>	1.5 × 10 <sup>5</sup>
伸び (%)	31	1.9

長さは 100mm とし、CFRP 板の幅 c は 10mm と 25mm の 2 種類とした。実験シリーズと CFRP 板の幅 c、およびき裂部の長さ a と CFRP 板の幅の比 a/c を表-1 に示す。また、試験片に用いた鋼板および CFRP 板の機械的性質を表-2 に示す。疲労試験の最小応力は 10MPa とし、最大応力を変化させた。応力範囲の形状は正弦波とした。疲労き裂発生寿命および進展速度を調べるために、クラックゲージをストップホール先端に貼付した。

3. 試験結果および考察

図-2 に、疲労試験結果を示す。図の縦軸は平行部の応力範囲である。図-2 には、疲労き裂発生寿命と試験片の破断寿命を各々示し、き裂発生寿命を白抜きのマーカーとした。疲労き裂発生寿命は、ストップホール直近に貼付した歪ゲージの出力が急増したとき、あるいはクラックゲージの 1 本目が切断されたときとした。図には、各シリーズの疲労試験結果の回帰線も示した。

疲労限に着目すると、き裂先端に 4mm のストップホールを設けただけの N-1 は、作用応力範囲が  $\leq 90$ MPa 以下であればき裂の再発生を防ぐことが可能であると言える。また、き裂先端にストップホールを設けた試験片に幅 c=10mm(a/c=2.5)の CFRP 板を貼付した N-2 は  $\leq 100$ MPa 以下、幅 c=25mm (a/c=1.0)の CFRP 板を貼付した N-3 は  $\leq 130$ MPa 以下であればき裂の再発生を防止することが可能であ

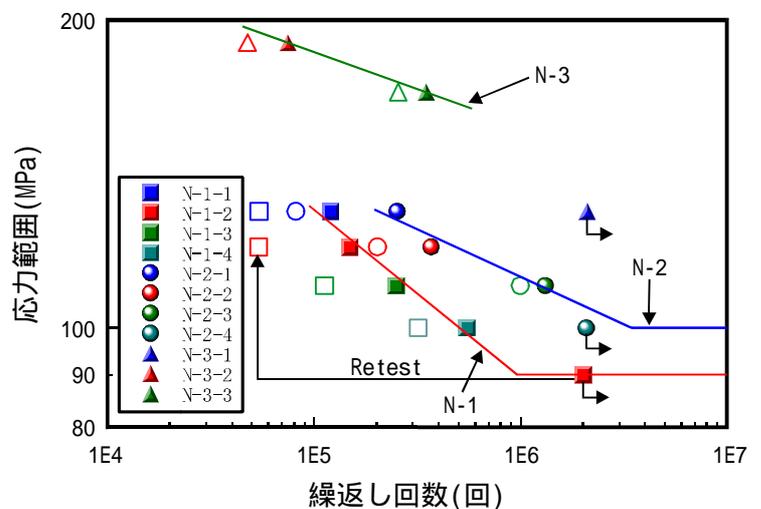


図-2 S-N線図

キーワード 疲労、補修、炭素繊維強化プラスチック板

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 042-591-9645

り、CFRP 板の効果が認められる。

N-1 と N-2 の回帰線を比較すると、高応力範囲では回帰線が接近しているが、応力範囲が低くなるにつれて、N-2 の疲労寿命は N-1 より延びている。このことにより、 $a/c=2.5$  程度の場合、高応力範囲域における補修効果はあまり期待できないかもしれないが、応力範囲が低くなるほど補修効果が増大すると言える。N-3 についても同様のことが言え、 $a/c=1.0$  の CFRP 板を貼付すると N-2 よりさらに高い応力範囲域でも補修効果があることが分かる。一方、N-2 と N-3 の回帰線の傾きは同程度である。従って、CFRP 板を貼付することで応力範囲が低くなるにつれて疲労寿命が急増し、さらに、き裂部の長さに対して CFRP 板の幅を大きくすると疲労寿命は急激に改善されると言える。

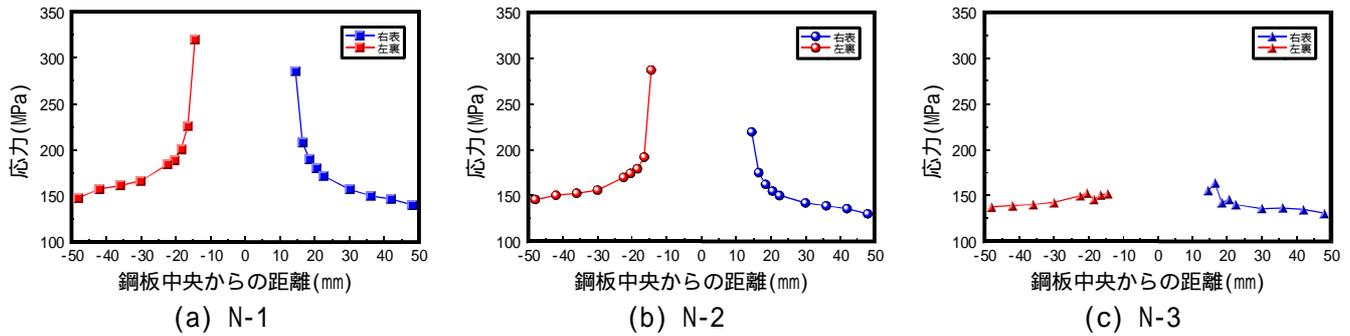


図-3 応力分布(载荷荷重130kN)

図-3 に、各シリーズの载荷荷重 130kN 時のソーカットを有する断面の試験片幅方向の応力分布を示す。図-3 より CFRP 板を貼付することにより、ストップホール先端の応力集中が緩和されていることが分かる。その程度は、N-2 は N-1 の 13.6% 減、N-3 は 52.4% 減となっており、N-3 のストップホール先端の応力集中は大きく緩和されている。これは、CFRP 板のヤング係数が鋼板のそれと近いので断面欠損部分をすべて CFRP 板で覆うことにより、CFRP 板を通して荷重の伝達が行われたためであり、ストップホール先端の応力集中が緩和され、疲労寿命が延びたものと推察することができる。

写真-1 に N-2 の試験片破断状況を示す。疲労き裂が再発生した後、CFRP 板が剥離してき裂進展速度が速くなり、破断に至っている。

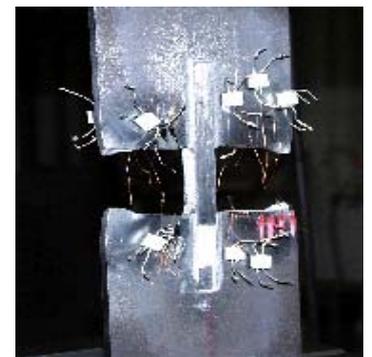


写真-1 破断状況(N-2)

図-4 にき裂進展速度  $da/dN$  と応力拡大係数範囲  $K$  の関係を示す。図中には各シリーズの回帰線も示した。図-4 から、CFRP 板をソーカット上に貼付することにより、き裂進展速度を遅延できることが分かる。また、CFRP 板の幅が大きいほどき裂進展速度を遅延できると言える。しかし、疲労き裂が進展した高応力拡大係数範囲域においては、CFRP 板の効果が低減し、N-2 および N-3 のき裂進展速度は、N-1 とほぼ同一となっている。

4. まとめ

- (1) CFRP 板は疲労き裂の補修に適用できる可能性が高いことが分かった。
- (2) CFRP 板を疲労き裂の補修に適用する場合、き裂などの断面欠損部分に対して CFRP 板の幅が大きいほうが補修効果は高くなるが、 $a/c=2.5$  の場合でも応急処置としては十分であると考えられる。

本研究の一部は平成 14 年度科学研究費(基盤研究(C)(2))(課題番号: 14550486)の補助を受けて行った。

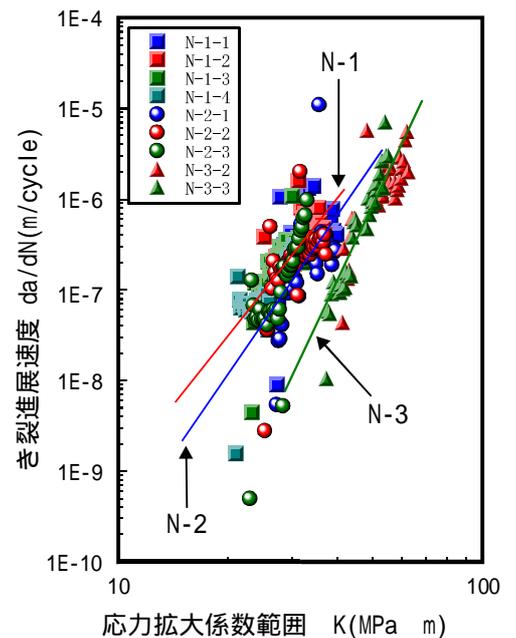


図-3  $da/dN$ -  $K$ 関係