

ガラス繊維強化プラスチックを用いた疲労き裂の補修

明星大学 正会員 鈴木 博之 明星大学大学院 学生員 岡本 陽介
明星大学 学生員 佐藤 大輔 明星大学 学生員 加藤 亮太
明星大学 学生員 田辺 賢造 サンコーテクノ(株) 正会員 佐藤 貴志

1. はじめに

本研究では、ガラス繊維強化プラスチック(以下、GFRP と記す)に着目し、疲労き裂の補修に GFRP を適用することの可否について実験的に検討する。また、GFRP はプライマーを用いて鋼板に貼付するので、プライマーの違いが疲労き裂の補修効果に及ぼす影響についても調査する。

2. 試験方法

実験に使用した試験片の寸法は、幅 100mm、板厚 6mm、長さ 500mm であり、材質は SS400 である。図-1 に試験片中央部に設けたき裂部を示す。図-1(a)に示す N タイプは、疲労き裂の補修に GFRP とストップホールを併用することを想定し、試験片の中央にソーカットを設け、その先端に $\phi 4$ mm

の円孔を明けたものである。図-1(b)に示す C タイプは、GFRP を単独で用いる場合を想定し、試験片中央に $\phi 9$ mm の円孔を明け、繰返し荷重を作用させて全長 25mm になるまで疲労き裂を進展させたものである。表-1 に実験シリーズおよび GFRP の幅 w 、GFRP の幅 w とき裂長さ a の比 w/a を示す。GFRP には厚さ 0.6mm の一方向材を使用し、表-1 に示すように幅 w を変化させ、2 層貼付した。図-2 に N タイプの GFRP 貼付状況を示す。表-2 に実験に使用した鋼板、GFRP およびプライマーの機械的性質を示す。プライマーにはエポキシアクリレート系(e プライマー)とアクリル系(a プライマー)の 2 種類を使用した。疲労試験にあたっては、最小応力を 10MPa とし、最大応力を変化させた。

3. 試験結果および考察

疲労試験結果を図-3 に示す。図の縦軸は試験片平行部の応力範囲である。図には、各シリーズの回帰線も示した。図中の右向きの矢印は非破壊を示している。なお、N-0 と N-0-n および N-1 と N-1-e は、鋼材の機械的性質は異なるが、それぞれの回帰線を比較したところ、有意な差は認められなかったため、図-3 には N-0 と N-0-n、N-1 と N-1-e のデータを一括して N-0、N-1 の回帰線として表示した。図

の N タイプの回帰線を比較すると、高応力範囲においては、N-1、N-2、N-S は N-0 より長寿命であるが、N-1、N-2、N-S に有意な差はなく、 w/a の大きさが疲労寿命に及ぼす影響は、あまり認められない。しかしながら、応力範囲が低くなるにつれて、N-1 は補修効果が低減し、N-0 と同程度の疲労寿命となっているが、 w/a を大きくした N-2、N-S は、N-0 より長寿命となっている。また、N-0 の疲労限は得られなかったが、N-1、N-S の疲労限は $\Delta \sigma = 90$ MPa であ

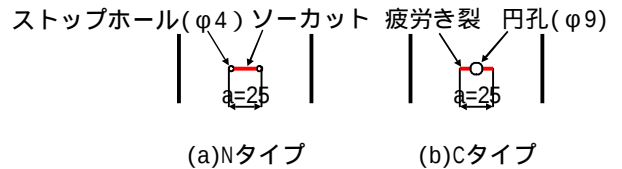


図-1 き裂部

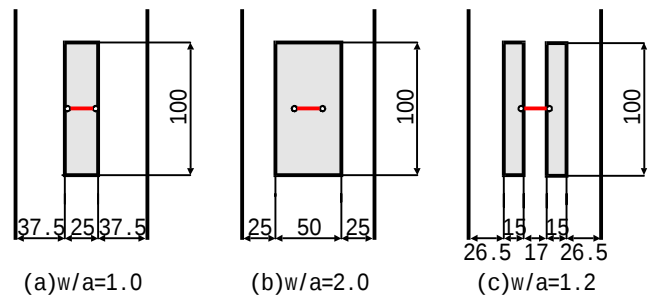


図-2 GFRP貼付状況(Nタイプ)

表-1 実験シリーズ

シリーズ	w (mm)	w/a
N-0	0	0
N-1	25	1
N-2	50	2
N-S	15 × 2	1.2
N-0-n	0	0
N-1-e	25	1
N-1-a	25	1
C-0	0	0
C-1	25	1
C-2	50	2

1: GFRPの幅
2: GFRPの幅とき裂長さ($a=25$ mm)の比

表-2 機械的性質

	Y.P. (MPa)	T.S. (MPa)	E.M. (MPa)	EI. (%)	F.C. (w/w%)
鋼板 (SS400)	269	426	2.1×10^5	31	—
鋼板 ¹ (SS400)	278	433	2.1×10^5	28	—
GFRP	—	201	1.4×10^4	—	22 ~ 36
eプライマー	—	52	4.6×10^3	—	—
aプライマー	—	40	1.8×10^3	—	—

1: N-0-n, N-1-e, N-1-aに使用
eプライマー: エポキシアクリレート系
aプライマー: アクリル系(N-1-aだけに使用)

E.M.: 弾性係数
F.C.: 繊維含有率

キーワード 補修, 疲労, ガラス繊維強化プラスチック, プライマー

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

り、N-2 は $\Delta\sigma=100\text{MPa}$ であった。したがって、応力範囲の低い領域においては、GFRP を貼付することによる補修効果は w/a に依存していることがわかる。

次に、プライマーの違いに着目し、N-1-e(N-1) と N-1-a を比較すると、 $\Delta\sigma=130\text{MPa}$ では、プライマーの違いによる有意な差は認められない。しかしながら、応力範囲が低くなるにつれて、N-1-e(N-1) の補修効果は低減しているのに対し、N-1-a は補修効果が増加している。N-1-a の疲労限は、N-1 と同じであったが、N-1-a の $\Delta\sigma=100\text{MPa}$ の実験を行っていないので、N-1-a の疲労限は $\Delta\sigma=90\text{MPa}$ 以上と考えるべきである。したがって、応力範囲の低い領域では a プライマーの方が e プライマーより有効であると言える。

図-3 の C タイプに着目すると、GFRP を貼付した C-1、C-2 の疲労寿命は C-0 より改善されていることがわかる。C-0 と C-1 の回帰線を比較すると、これらはほぼ平行であり、C-1 の補修効果は、高応力範囲においても低応力範囲においてもあまり変わらないと判断される。C-1 と C-2 の回帰線を比較すると、 $\Delta\sigma=70\text{MPa}$ では、これらの補修効果は同程度であるが、応力範囲が高くなるにつれて、C-1 より C-2 の方が、補修効果は大きくなっている。したがって、高応力範囲では、補修効果は w/a に依存することがわかる。また、C タイプでは $\Delta\sigma=70\text{MPa} \sim 190\text{MPa}$ の範囲において、疲労限は得られなかった。

N タイプと C タイプを比較すると、 $\Delta\sigma=110\text{MPa} \sim 130\text{MPa}$ の範囲において、C-2 は N-0 より疲労寿命が延びており、条件によっては、ストップホールを用いなくても、十分な補修効果が得られる可能性があるかと推察される。これについては、今後、実験で検証していくこととする。

図-4 に N タイプの公称応力 100MPa におけるソーカットおよびストップホールを有する断面の試験片幅方向の応力分布を示す。図-4 の左右のストップホール先端の応力を平均し比較すると、N-0 に対し、N-1 は 12.3% 減少、N-1-a は 14.9% 減少となっている。C タイプにおいても同様の調査をしたところ、GFRP を貼付した試験片のき裂先端の応力は低減していた。このことから、N タイプ、C タイプともに疲労寿命が延びたのは、GFRP が鋼板に作用する荷重を分担し、応力集中を低減させたためであると言える。また、図-4 より、応力低減効果にプライマーの違いは影響を及ぼしていないことがわかる。

4. まとめ

本研究の結果を以下に示す。

- 1) 疲労き裂の補修に GFRP とストップホールを併用した補修工法および GFRP を単独で使用した補修工法は、いずれも実用化の可能性が高いことがわかった。また、補修箇所が狭く、ストップホールを穿孔することが困難な部位では、GFRP を貼付するだけでも応急対策としては有用であると判断された。
- 2) 疲労き裂を GFRP とストップホールを併用して補修する場合、 w/a を大きくすると低応力範囲で、補修効果が大きくなるが、疲労き裂を GFRP 単独で補修する場合には、 w/a を大きくすると高応力範囲で、補修効果が大きくなる。
- 3) 応力範囲の低い領域では、アクリル系プライマーはエポキシアクリレート系プライマーより補修効果が大きいことがわかった。

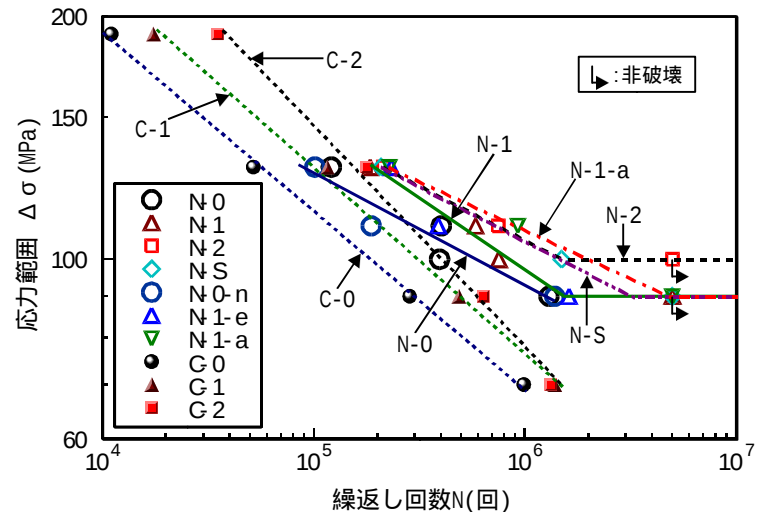


図-3 疲労試験結果

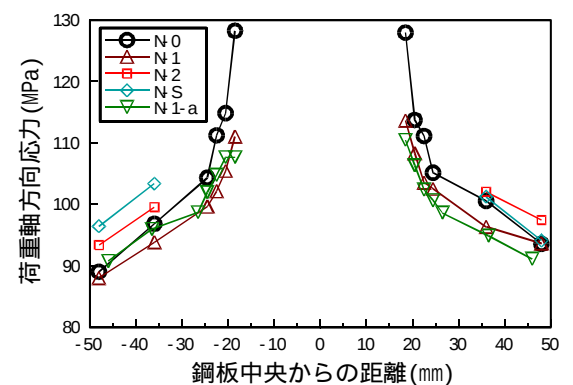


図-4 Nタイプの応力分布(公称応力100MPa)