

プライマーを塗布された溶接継手の疲労強度

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

1. はじめに

鋼構造物の維持管理において、疲労は重要である。著者らは、この疲労に対する予防保全にガラス繊維強化プラスチック(以下、GFRP と記す)を適用することの可能性を実験的に検討し、溶接継手部に GFRP を貼付すると疲労強度が向上することを既に報告した¹⁾。本研究では、GFRP を鋼板に貼付する際に用いるプライマーが疲労強度に及ぼす影響を実験的および解析的に検討する。

2. 試験方法

試験片形状を図-1 に示す。試験片の材質は SM400A である。試験片は、母材にガセットをすみ肉溶接により取り付けた面外ガセット溶接継手である。この試験片の回し溶接部に、図-1 のようにエポキシアクリレート系の常温硬化型 2 液性プライマーを塗布して、その効果を確認することとした。以下、無補強試験片を Gn, 補強試験片を Gp と記す。また、既に行った GFRP により補強された試験片を Gg とする。鋼板、GFRP およびプライマーの機械的性質を表-1 に示す。

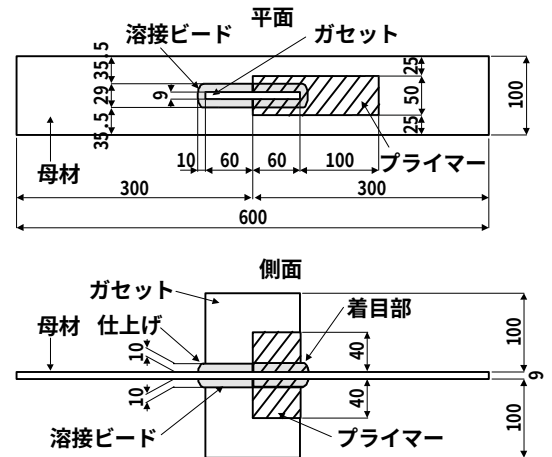


図-1 試験片形状(Gp)

表-1 機械的性質

	降伏点(MPa)	引張強度(MPa)	弾性係数(MPa)	ポアソン比	伸び(%)
鋼板(SS400)	288	443	2.1×10^5	0.3	31.0
GFRP	—	201	1.4×10^4	0.34	—
プライマー	—	52	4.6×10^3	0.3	—

3. 試験結果および考察

図-2 に疲労試験結果を示す。図の右向きの矢印は、非破壊を表している。図には、各シリーズの疲労試験結果の回帰線も示した。Gn と Gg の回帰線を比較すると、応力

範囲の高い領域では回帰線は接近しているが、応力範囲が低くなるにつれて、Gg の疲労寿命は Gn より著しく延びている。従って、応力範囲の低い領域では GFRP 貼付による補強効果が高いことが確認できる。また、Gg と Gp を比較すると、 $\Delta \sigma = 130\text{MPa}$ では、Gp の方が補修効果は高いことがわかるが、応力範囲が低くなると、Gg と Gp の疲労寿命改善効果は同程度となっていることが認められる。従って、高応力範囲においては、GFRP の剥離に伴い、溶接部のプライマーも剥がれているものと推察される。

つぎに、500 万回を疲労限の一つの目安とすると、Gn は $\Delta \sigma \leq 70\text{MPa}$ 、Gg および Gp は $\Delta \sigma \leq 100\text{MPa}$ であれば、疲労き裂の再発生を防止できることがわかる。

図-3 に応力拡大係数範囲とき裂進展速度の関係を示す。図には、Gn および Gg の回帰線を示した。図より、Gg はき裂が GFRP の貼付範囲を越えて進展した後でも、GFRP が破断するまで、GFRP はき裂の進展を抑制していたことがわかる。しかし、Gp はき裂がプライマーを塗

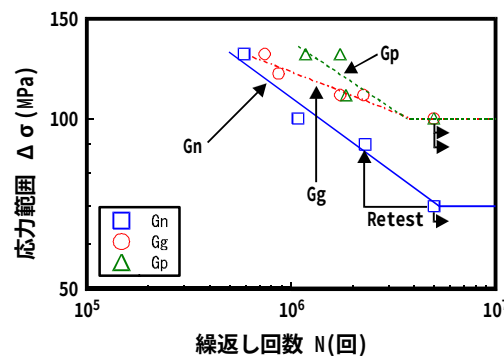


図-2 疲労試験結果

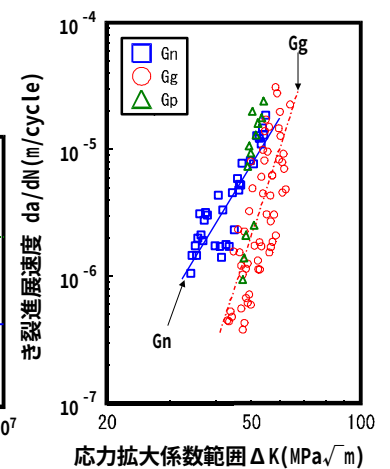


図-3 da/dN-ΔK関係

キーワード：予防保全、鋼構造物、プライマー、面外ガセット溶接継手

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

布した範囲を越えて進展した初期段階だけき裂進展速度を遅延しており、き裂の進展が進むと G_n と違いは見られない。従って、GFRP を貼付することにより、き裂発生後の補修効果を得ることができると判断された。

4. 解析方法

解析は8節点ソリッド要素を用いた弾性FEM解析である。解析モデルは、図-1に示したすみ肉溶接による面外ガセット溶接継手を解析対象とし、対称性を考慮して1/8モデルとした。また、解析モデルにおいては母材とガセットの間には4.5×0.1×60mmの未溶着部を設けた。溶接止端近傍については、疲労試験に使用した試験片の溶接ビード形状をレーザ変位計により計測し、その結果を解析モデルに反映させた。

解析は無補強モデル(G_n)と、厚さ 0.6mm の GFRP を厚さ 0.3mm のプライマーを用いて溶接止端部に2層貼付した補強モデル(G_g)、および溶接部にプライマー(厚さ 0.3mm)だけを塗布したモデル(G_p)の3ケースについて行った。解析で用いた材料の機械的性質は表-1と同じである。実験に用いた GFRP はガラス繊維が一方向に配置された異方性材料であるので、繊維と直交方向の弾性係数は表に示した値の 1/10 とした。

5. 解析結果および考察

G_n 、 G_g および G_p の応力集中係数および G_n との比較を表-2に示す。ここで言う応力集中係数とは、溶接止端の荷重軸方向応力の最大値を公称応力 σ_n で除した値である。表から、応力集中係数は、プライマーを塗布することにより2.3%、GFRPを貼付することにより3.5%低減されており、プライマーを塗布すること、およびGFRPを貼付することによる効果が確認される。

表-2 応力集中係数

	G_n	G_g	G_p
応力集中係数	3.43	3.31	3.35
G_n との比較	—	3.5%減	2.3%減

つぎに、GFRPを貼付することによる荷重軸方向応力の低減効果について考える。ここでは、GFRPだけによる応力低減効果を調査するため、鋼板にプライマーを用いないでGFRPを直接貼付したモデル(G_{g-D})について解析を行った。図-4に G_n と G_{g-D} のガセット端から長手方向20.5mmの位置(図中のX-X断面)における荷重軸方向応力の板厚方向分布を示す。図から、鋼板表面における荷重軸方向応力は、GFRPを貼付することにより約1.2%低減されていることが確認される。しかしながら、前述した応力集中係数の減少率よりその値は小さく、図-4では溶接止端におけるGFRPをプライマーで貼付することによる荷重軸方向応力の低減を説明できない。以上のことから、GFRPをプライマーで貼付することによる応力の低減は、GFRPが荷重を負担し、応力を低減させる効果と、プライマーを溶接部に塗布したことにより、プライマーが溶接部の凸凹を埋め、溶接ビード形状を滑らかにし、溶接部を仕上げることに類似した効果との相乗効果によるものではないかと考えられる。これを定式化すると次式となる。

$$\alpha_2 = \alpha_1 \times (1 - G/100) \times (1 - A/100) \tag{1}$$

ここに、 α_2 : G_g の応力集中係数、 α_1 : G_n の応力集中係数

G : GFRPを貼付することによる応力の減少率(%)

A : プライマーを塗布することによる応力集中係数の減少率(%)

式(1)の α_1 に表-2の G_n の3.43を、 G に1.2%を、 A に2.3%を各々代入すると、 α_2 は3.31となる。これは、表-2の G_g の3.31と一致しているので、前述の考えが正しいことが理解される。

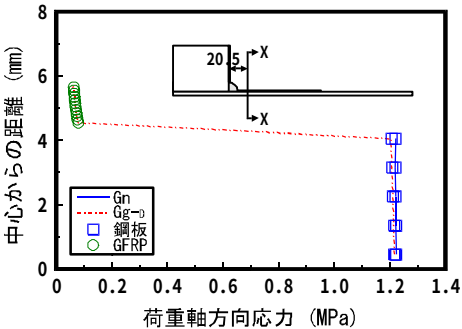


図-4 応力分布(板厚方向)

6. まとめ

本研究では、面外ガセット溶接継手の回し溶接部止端近傍にプライマーを塗布することによる疲労寿命の改善について実験的および解析的に検討した。その結果、面外ガセット溶接継手にプライマーを塗布すると、プライマーは溶接部の応力集中を緩和し、疲労き裂発生寿命を改善する効果があると判断された。さらに、GFRP を貼付すると、GFRP は疲労き裂発生後のき裂進展速度を遅延し、疲労き裂伝播寿命を改善すると言える。

[参考文献]

- 1) 鈴木博之、岡本陽介、鈴木永之：面外ガセット溶接継手の GFRP による補強，第 59 回年次学術講演会 講演概要集，2004.9