

炭素繊維シート of 真空含浸・積層接着による面外ガセット溶接継手の疲労耐久性の向上

首都大学東京大学院 学生会員 ○タイ ウィサル
首都大学東京大学院 (研究当時) 譚 暢
首都大学東京 正会員 中村 一史
東レ株式会社 正会員 松井 孝洋

1. はじめに

面外ガセット溶接継手の溶接止端部は、構造的な応力集中の影響を強く受けるため、しばしばき裂が発生する。本研究では、面外ガセット溶接止端部の応力低減と疲労強度の向上を目的として、図-1 に示すように、真空含浸 (VaRTM) 工法により炭素繊維シート (CF シート) を接着する補強方法とその効果を検討した。

2. 試験体の概要と補強方法

試験体は、鋼板 (1020×100×9mm) の両面に面外ガセット (140×100×9mm) がすみ肉溶接で接合されているものとした。試験機の制約から、つかみ部分を75mmとした。溶接止端のホットスポット応力の算出には、0.4t-1.0t法 (t:板厚) を採用した。図-2 に、補強範囲およびひずみゲージ位置を示す。補強試験体の作製は、図-3 (a) に示すように、下地処理、プライマー塗布、CFシートの仮止め、副資材の設置、真空含浸、仕上げの手順である。CFシートを23層接着させ、一般部の応力低減率の理論値は33.8%であった。また、解析モデルは、幅方向に対称軸とした1/4モデルである (図-7)。表-1に、材料物性値を示す。

3. ビード部の立体形状モデルの作成方法と精度の検証

デジタル一眼レフカメラで様々な角度から撮影された、約 70 枚の画像情報からモデルを生成させ (図-4)、汎用 CAD ソフトウェア群および汎用有限要素解析プログラム (Msc. Marc2013) を用いて、要素サイズ約 0.3mm の立体モデルを作成した (図-5)。モデル化の精度を確認するために、キーエンス製 3D 形状測定機 VR-3000 を用いて立体的な計測を行い、FEM モデルと比較した。図-6 に、止端部の軸方向断面の計測結果を比較した例を示す。画像情報からのモデル化した形状は高精度の 3D 形状測定機による計測結果とほぼ一致した。

4. 静的引張試験結果と考察

止端部近傍の応力状態を把握するために、静的引張試験を行った。図-3 (b) に、セットアップを示す。わずかに長手方向の面外に初期たわみを有する試験体であるため、同断面における 2 つのビード止端部で得た試験結果を平均化し、それを解析と比較した。図-8 に、溶接止端から軸方向への応力分布を示す。補強の有無にかかわらず、ビード止端部から 3.6mm と 9mm の応力は実験値と解析値でほぼ一致した。また、補強効果については、ホットスポット応力が実験では 28.8%の低減に対し、解析では 25.3%であった。表-2 に、ホットスポット応力の公称応力に対する応力集中係数

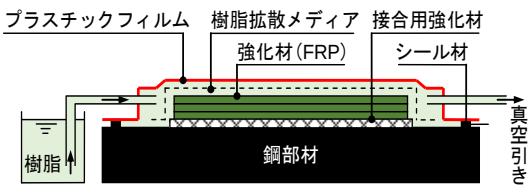


図-1 真空含浸工法

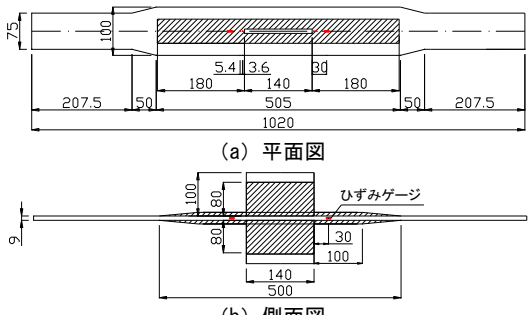


図-2 試験体の概要

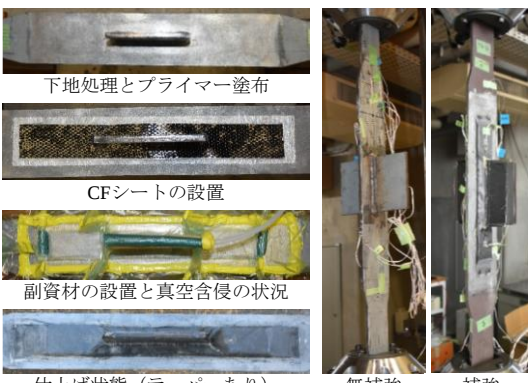


図-3 CFシートの接着手順

表-1 材料物性値

材料	鋼板 (SM400)	含浸樹脂 (AUP40)	CFシート (高強度)
降伏強度 σ_y (MPa)	293	—	—
引張強度 σ_{tu} (MPa)	453	332	3400
破断伸び δ (%)	29	—	—
弾性係数 E (GPa)	205	2	245
厚さ t (mm)	9	0.5	7.7

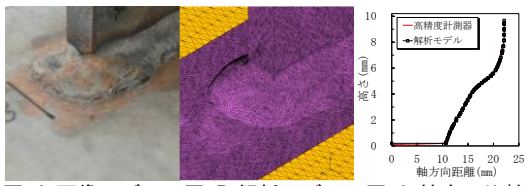


図-4 画像モデル 図-5 解析モデル 図-6 精度の比較

キーワード キーワード 接着接合, 面外ガセット溶接継手, 疲労耐久性, VaRTM 技術, 積層 CF シート補強
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 大学院 TEL.042-677-1111 内線(4564)

および解析による溶接止端の応力集中係数を示す。試験および解析で算出したホットスポット応力の差異はほとんどないこと、また、溶接止端部の応力集中係数は 33.9%低減し、CF シートの剛性比とほぼ一致することがわかった。

5. 疲労試験の方法と段差の設計

表-3に、疲労試験のシリーズと試験条件を示す。試験シリーズにおいて、公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ をパラメータとして、無補強・補強試験体の疲労試験を行った。補強試験体において、段差のないCFシート端部には、はく離が確認されたため、CFシート端部の段差の設計を行った。また、高い応力範囲($\Delta\sigma_{sn}=150, 180\text{MPa}$)では、試験体の断面変化部から破断するケースが確認されたため、断面補強を行った。

図-9に、検討した段差のモデルを示す。接着剤の最大主応力による評価を採用し、VaRTM工法による接着接合部のはく離強度を調べ、理論計算と解析検討で端部の設計を行った。試験体は、鋼板の両面に鋼当て板をVaRTM工法で接着したものとした。静的引張試験の結果により、最大主応力の平均値は38.8MPaとなり、静的のはく離強度の30%が疲労限となる先行研究の評価基準²⁾から、本検討の疲労限界度の最大主応力を11.6MPaとした。図-10に、提案した段差モデルにおける段差端部に生じる主応力の分布図を示す。解析により、1層目に主応力が9.7MPaであり、十分に低下することがわかった。

6. 疲労試験結果と考察

図-11に、公称応力範囲と破断までの繰返し回数の関係を示す。無補強の試験体は黒、補強試験体は赤で示している。図より、段差がない補強試験体では、はく離が発生しているが、疲労限となり、止端部への影響が小さいと考えられる。適切なテーパを有するCFシートの接着により、シート端部からののはく離は生じないことがわかった。また、CFシートを23層接着した場合、高い応力範囲の $\Delta\sigma_{sn}=180\text{MPa}$ では、繰返し回数は、無補強で22万回、補強後で817万回となり、疲労寿命が大きく(約37倍)改善されること、 $\Delta\sigma_{sn}=150\text{MPa}$ までは、繰返し回数1000万回までは疲労破壊しないことが確かめられた。

7. 結論

CFRP 接着による面外ガセット溶接止端部の補強について、実験的、解析的に検討した結果、次のことがいえた。

- (1) CF シート 23 層の積層接着による溶接継手の補強では、解析と試験の比較より、ホットスポット応力の値はほぼ一致すること、止端部の先端応力は約 33%低減することから、十分な効果があるといえる。
- (2) 溶接ビードに CF シートを密着して接着すれば、面外ガセット溶接継手部の疲労強度の向上と疲労寿命の延命化に大きく寄与することが確かめられた。

参考文献

- 1) 小林洸貴, 近藤諒翼, 中村一史, 松本幸大, 松井孝洋, 越智寛: 真空含浸工法を応用した CFRP 接着による鋼桁端腐食部の補修に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.5, pp.II_20-II_31, 2017.5
- 2) タイウィサル, 中村一史, 林帆, 堀井久一: 当て板がエポキシ樹脂で接着された鋼板の接着接合部の疲労強度の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.5, 2018.5 (掲載決定)

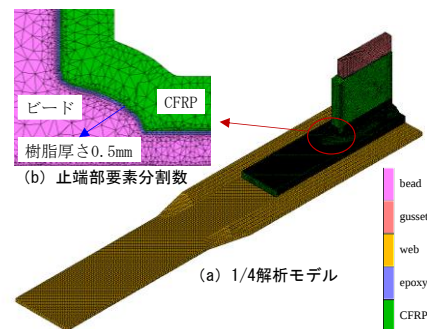


図-7 解析モデル

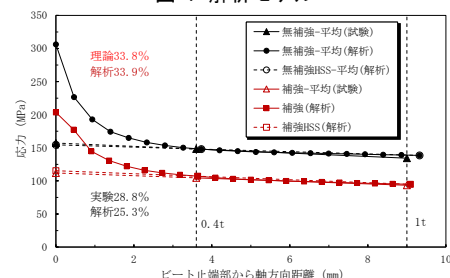


図-8 溶接止端から軸方向への応力分布

表-2 溶接止端における応力集中係数の比較

比較項目	補強	無補強	補強/無補強
実験による HSS	1.01	1.42	71.1%
解析による HSS	1.04	1.39	74.8%
解析による先端応力	1.83	2.75	66.0%

表-3 疲労試験のシリーズと試験条件

試験体	テーパ 処理	公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ (MPa)	応力比 R	載荷速度 f (Hz)	試験 体数
無補強	—	100, 120, 150, 180	0.1	10	4
	なし	100	0.1	10	1
補強	あり	100→150	0.1	10	3
		120→150			
		150→180			

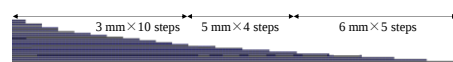


図-9 CF シートの段差のモデル化

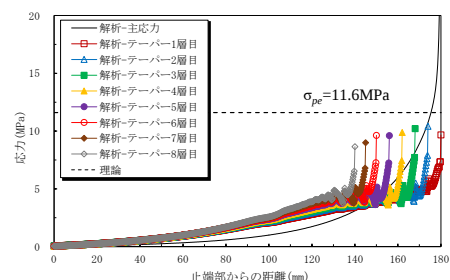


図-10 段差モデルにおける最大応力分布図

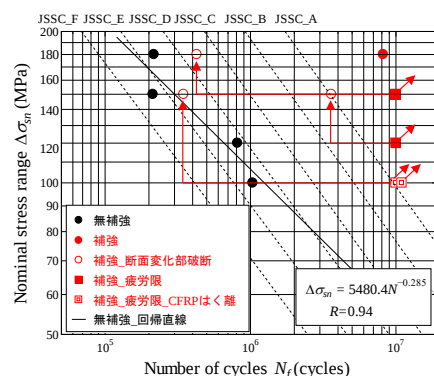


図-11 疲労強度の評価