炭素繊維シートの真空含浸接着による面外ガセット溶接継手止端部の応力集中の低減効果

首都大学東京大学院　学生会員　○譚　暢・タイ　ウィサル
首都大学東京　　正会員　中村　一史
東レ　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，溶接止端部の応力低減を目的として，**図-1** に示すように，真空含浸工法[1)]（VaRTM 工法）により，炭素繊維シート（CF シート）接着することによるビード部立体形状を有限要素モデルで再現し，溶接部応力集中の低減効果を検討した．

2. ビード部立体形状モデルの作成方法および検証

デジタル一眼レフカメラで各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-2**），汎用 CAD ソフトウェア群及び汎用有限要素解析プログラム（Msc. Marc2013）を用いて，要素サイズほぼ 0.3mm の精緻な立体モデルを作成した（**図-3**）．なお，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-4** 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．

3. 試験体の概要及び解析条件

試験体は鋼板が1020mm×100mm×9mmとし，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．試験機の制限があるため，つかみ部分を75mmに設計した．なお，ホットスポット応力の算出に0.4*t*～1.0*t*法（*t*=板厚）を採用した．**図-5**に，補強範囲およびひずみゲージ位置を示す．補強試験体では，**図-6**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．

表-1　材料物性値

材料	鋼板（SM400）	含浸接着樹脂（AUP40）	CF シート（高強度タイプ）
降伏強度σ_y（N/mm^2）	293	–	–
引張強度σ_{tu}（N/mm^2）	453	332	3400
破断伸びδ（%）	29	–	–
弾性係数 E（kN/mm^2）	205	2	245
厚さ t（mm）	9	0.5	7.7

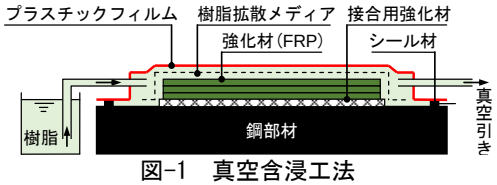


図-1　真空含浸工法

図-2　画像情報モデル

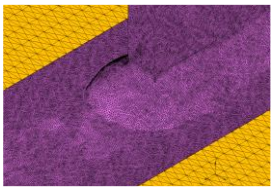


図-3　解析モデル

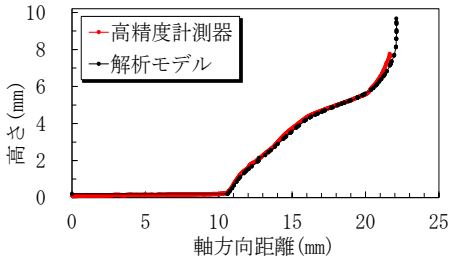


図-4　モデル精度の比較

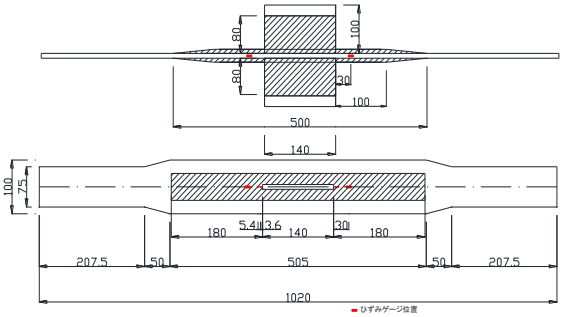
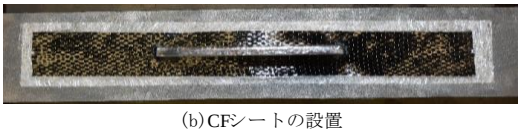


図-5　試験体の概要

(a) 下地処理とプライマー塗布


(b) CFシートの設置

(c) 副資材の設置と真空含浸の状況

図-6　CF シートの接着手順

キーワード：面外ガセット溶接継手，応力集中，真空含浸，CFRP，接着補強

連絡先　〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1　TEL：042-677-1111　E-mail：tan-chang@ed.tmu.ac.jp

4. 溶ビード接止端部の応力集中の検討

引張荷重を 100kN で静的引張試験を行った．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．図より，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%である．**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%が低減し，CF シートの剛性比とほぼ一致することがわかった．

5. 溶接止端部近傍の CF シートの接着状況

VaRTM による CF シートの接着状況を確認するために，補強試験体を軸方向に切断した．**図-9** に，溶接止端部の接着状況と実際の接着状態を考慮した解析モデルを示す．溶接ビード止端部には，樹脂リッチ層あるいはボイド（未含浸）が部分的に生じており，CF シートが止端形状に密着していないことがわかる．そこで解析により，それらの影響を確認することとした．**図-10** に，溶接止端部の各接着状態における応力分布を示す．補強モデルにおいて，止端部近傍に樹脂リッチ層を有する場合，樹脂厚さ均一及び樹脂未含浸の方に対し，先端応力が約 3%変化したが，それ以外の応力性状はほぼ同じであり，密着していなくても応力低減の効果は変わらないことがわかった．

6. 結論

溶接止端部の応力低減を目的として，CF シートを積層接着して実験的，解析的に検討した結果，次のことがいえた．

(1) 画像から作成したモデルの形状の誤差は約 2%であり，溶接止端部の解析モデルは十分な精度を有しているといえる．

(2) CF シート接着による補強では，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%低減し，十分な効果があることがわかった．

(3) CF シートは止端部に十分に密着していないが，それを考慮した解析モデルの結果から，止端部に接着状態が応力低減に及ぼす影響は小さい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

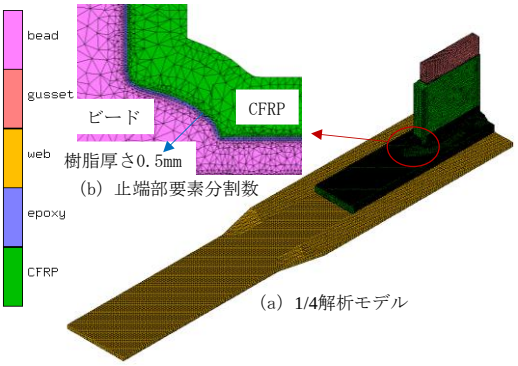


図-7 解析モデル（接着層均一厚さ 0.5mm）

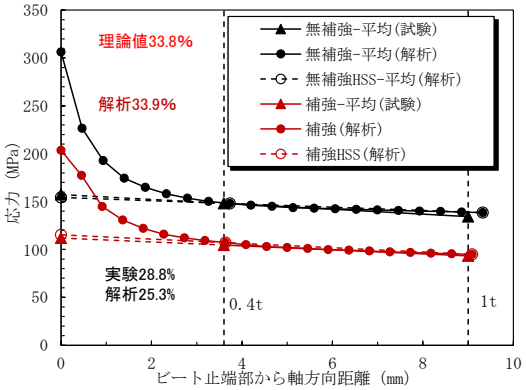


図-8 溶接止端から軸方向への応力分布

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%

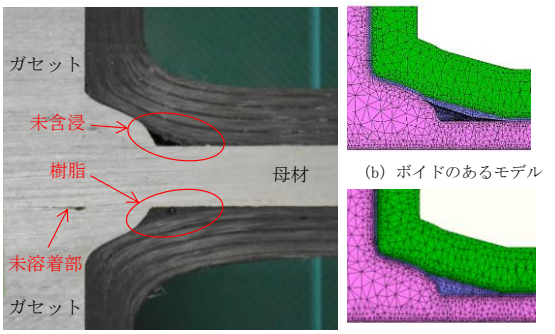
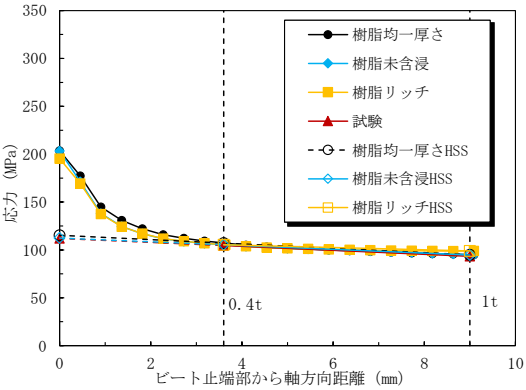


図-9 溶接止端部の接着状況とモデル化



図－10 溶接止端部の各接着状態における応力分布