

研究成果報告書

研 究 題 目		VaRTM 法で成形された CFRP のせん断性能評価	実 施 年 度
			2023 年度
代 表 研 究 者	所 属	呉工業高等専門学校 建築学分野	
	氏 名	三枝 玄希	印

1. 研究の目的・背景

日本の社会基盤構造物の維持管理問題は社会問題となっており、高速道路、橋梁、ダム、トンネル等の延命化・長寿命化は急務である。中でも送電用鉄塔は鋼材で構成されるトラス構造物である。トラス構造の場合、主な力学性能としては軸力であり経年劣化による断面欠損は部材の破断や局部座屈を招く恐れがある。また、社会基盤構造物は永続的に利用が期待されるため、部材の交換に伴う利用停止よりも部材の補修で延命化させることが望まれる。従来は劣化部分に鋼材を当て板補修に用いていたが、軽量で高強度な材料である炭素繊維強化プラスチック(以下、CFRP)を接着接合で補修に応用する研究・開発が進んでいる。

現在、鋼材と CFRP の接着接合に関する研究開発が進められているが、接着強度の高さ、安定性、接着接合部の応力性状で未だ課題が残っている。申請者は CFRP を真空含浸成形(以下、VaRTM)法によって成形と接着を同時に行う施工法を用いた研究を進めているが、VaRTM 法によって成形された CFRP の機械的特性についても不明確なものが多い。

そこで、本研究では接着接合部の応力性状の解明に必要な CFRP のせん断性能について評価を行い、応力性状の解明に用いる。

本研究により、VaRTM 法によって成形された CFRP のせん断性能を明らかにすることで、今後の社会基盤構造物に対して卓越した CFRP を用いた補修・補強方法の開発に寄与できると期待される。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

A)真空含浸成形(以下、VaRTM)された CFRP の面内せん断強度

図 1、2 に示すような試験体を VaRTM 法によって成形する。試験体の寸法は ASTM D7078 に準拠した V-Notched Rail Shear 法によって面内せん断試験を行う。成形した試験体の繊維配向や繊維体積含有率(以下、 V_f)を表 1 に示す。試験は図 3 に示すように万能試験機を用いた準静的载荷試験とした。試験体は全てデジタル画像相関法(以下、DIC)によって歪データを取得し、各試験体で 1 体は裏面に 2 軸歪ゲージを貼付した。

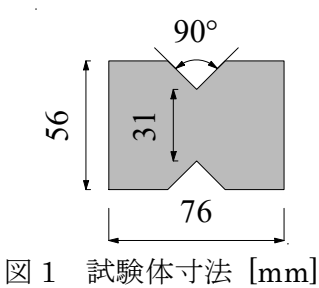


図 1 試験体寸法 [mm]

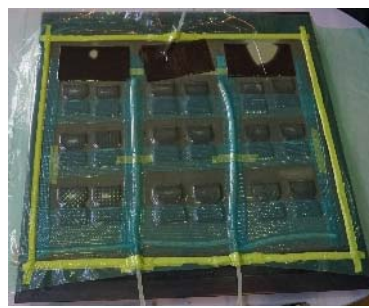
表 1 試験体概要

試験体名	繊維配向	厚さ [mm]	V _f [%]	平均 V _f [%]
UT_0_1	[0] ₁₈	4.87	41.0	41.1
UT_0_2		4.81	41.5	
UT_0_3		4.90	40.8	
UT_90_1	[90] ₈	2.17	40.9	40.6
UT_90_2		2.26	39.3	
UT_90_3		2.13	41.7	
UT_0/90_1	[0/90] _{s6}	3.16	42.2	42.9
UT_0/90_2		3.12	42.7	
UT_0/90_3		3.03	44.0	
UT_45_1	[-45/45] _{s4}	2.26	39.3	39.8
UT_45_2		2.21	40.2	
UT_45_3		2.22	40.0	
BT_0/90_1	[0/90] ₁₂	2.78	48.3	51.9
BT_0/90_2		2.48	54.2	
BT_0/90_3		2.53	53.1	
BT_45_1	[-45/45] ₈	1.81	49.5	49.3
BT_45_2		1.84	48.7	
BT_45_3		1.80	49.8	

※UT : 1 方向繊維, BT : 2 方向繊維



(a)繊維の設置



(b)樹脂含浸

図 2 VaRTM 法を用いた成形



図 3 試験時の様子

図 4 に各試験体の破壊モードを示す．各試験体の破壊モードに着目すると，図 4(a)はノッチ部で縦に亀裂が入っているのがわかる．これは 0deg 方向にのみの配向では炭素繊維はせん断方向に抵抗せずに破壊に至るからである．対して，図 4(b)を見てみると亀裂が繊維方向である 90deg に入っていることがわかる．但し，試験体両端は治具によって固定されているため，せん断方向にやや変形する．これら 2 つを交えた図 4(c)は図 4(a)と(b)が連成していることがわかる．図 4(d)はせん断方向に対して繊維が配向されているため，破断のような破壊モードとなった．図 4(e)，(f)は 2 方向炭素繊維シートを用いているが，1 方向炭素繊維シートと大きな破壊モードの違いは見られなかった．

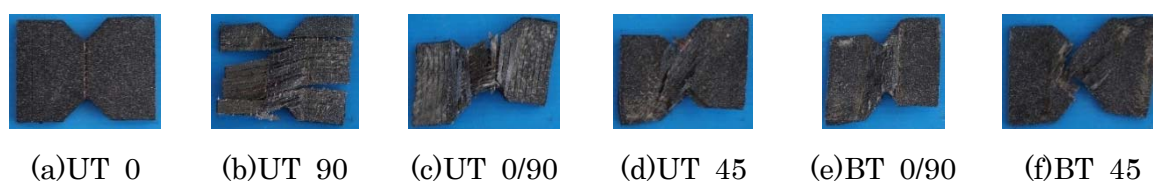


図 4 破壊モード

図 5 に各試験体の面内せん断強度を示す．なお，強度に用いる最大荷重はせん断変形が 5mm に到達するまでの最大荷重とした．これは，载荷に伴い繊維方向が初期の配向方向から加力方向に向くため荷重が増加し続けるためである．変形が 5mm に到達する前に概ねの試験体で 1 度荷重が低下していることも確認できた．

結果より，1 方向炭素繊維シートと 2 方向炭素繊維シートを比較すると 2 方向炭素繊維シートの方が高い結果となった．これは既に直交配向された状態の炭素繊維シートは 1 方向炭素繊維シートよりも配向角度の誤差が小さくなること，炭素繊維シート自体が織った状態となることが理由であると予測される．また，配向角度別で比較すると 0deg と 90deg ではほぼ差がなく，0deg と 90deg を交えた場合はやや高い結果となった．

しかし，45deg の強度には他と比べてバラつきがある結果となった．

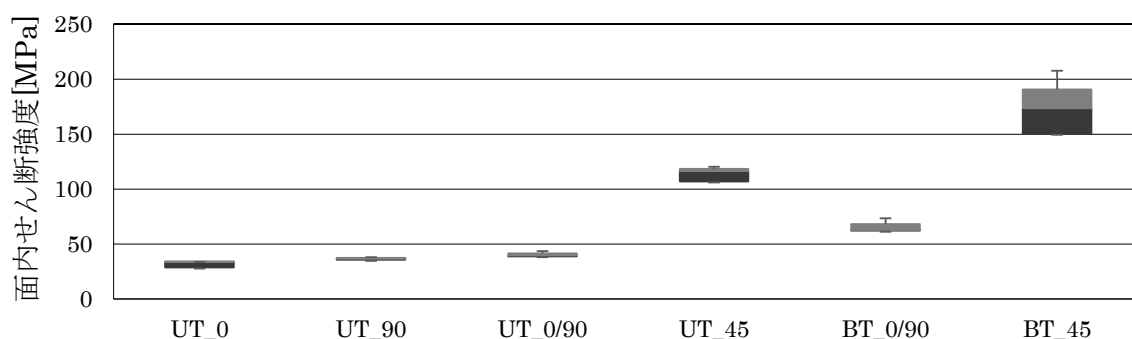


図 5 面内せん断強度

図 6 に歪ゲージより得られた各試験体の面内せん断応力度-歪関係を示す。図 6 より、45deg については 1 方向または 2 方向においても差は見られなかった。その他は破壊までの伸びは異なるものの、初期剛性は概ね一致している。

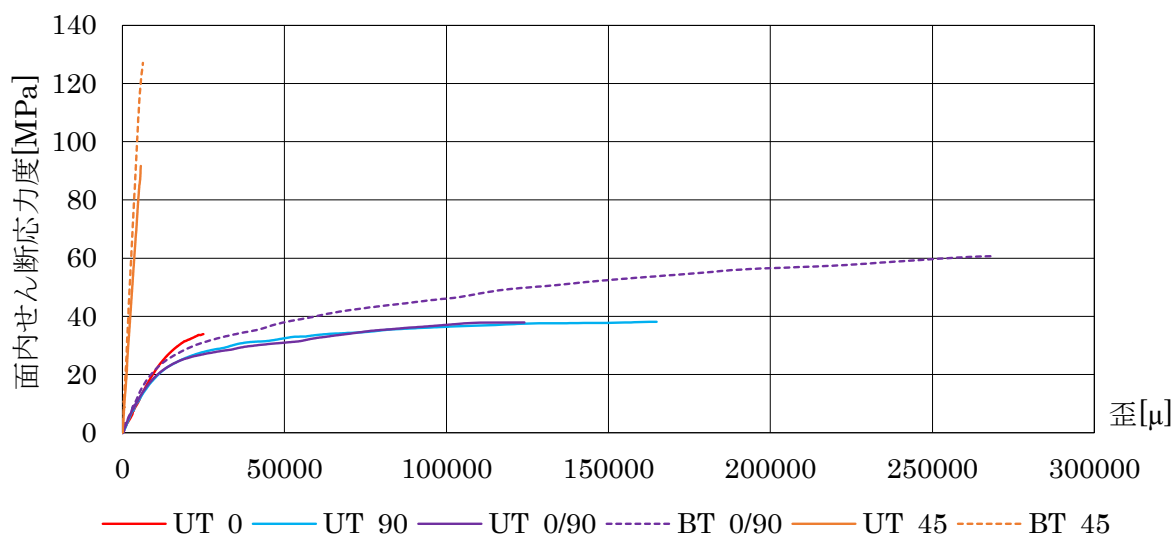


図 6 面内せん断応力度-歪関係

図 7 に UT_0 および UT_0/90 の歪ゲージおよび DIC による面内せん断応力度-歪関係を示す。DIC は取得した歪データを平滑化させている。なお、UT_0/90 は変形が大きいため、正確なデータが取得された点までとしている。結果として、DIC による分析でも歪ゲージと概ね一致した結果を得ることができた。これにより、歪ゲージのような局所的な歪を試験区間全体で DIC によって分析が可能であり、今後の分析に大きく役立つと期待される。

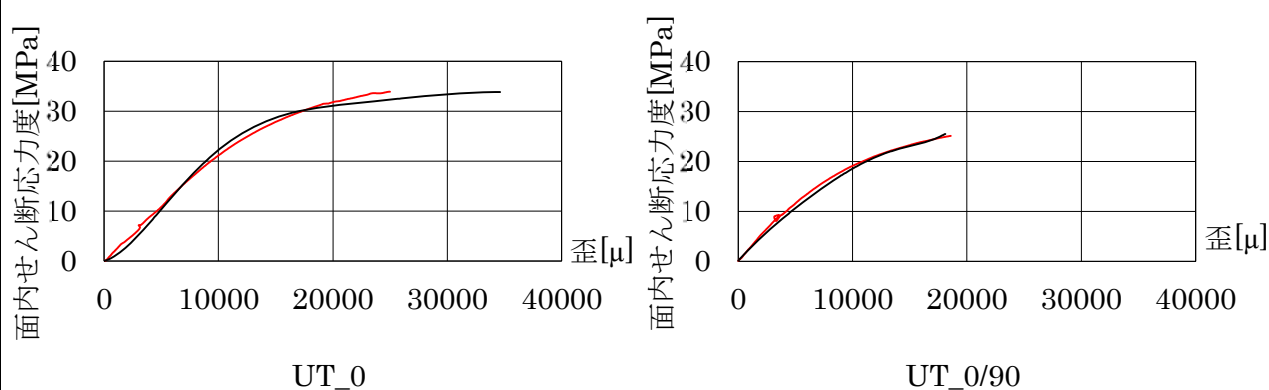


図 7 DIC による歪分析

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

以下の通り，使用した．

- ・ 炭素繊維（2 種） ¥403,700
 - ・ エポキシ樹脂 ¥41,250
 - ・ その他（成形用物品等） ¥42,050
- 計 ¥487,000

※申請時に真空ポンプをしたが，別予算で導入できたため 2 方向である別種の炭素繊維シートを購入した．

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本助成によって，以下の知見を得た．

1 方向炭素繊維シートによって 0deg, 90deg, 0/90deg, -45/45deg, 2 方向炭素繊維シートによって 0/90deg, -45/45deg の CFRP について，VaRTM 法を用いて成形し面内せん断試験を実施した．その結果，1 方向炭素繊維シートの 0deg, 90deg, 0/90deg に関しては面内せん断強度がほぼ変わらず，初期剛性も同程度となることがわかった．これは従来の送電用鉄塔に対する補修・補強に用いられている配向方向であるが，結果から面内せん断性能は高くないことがわかる．対して 45deg を含めた場合は強度が約 4 倍，剛性は約 8 倍と高い性能があることがわかった．

今後は 0deg, 90deg, 45deg を交えたマルチアングルの CFRP を成形し実用時に近い積層構成での分析を進めていく．

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

現在，これらの結果と追加試験分をまとめており，論文にて発表する予定である。