

デジタル画像解析による積層構成の異なる CFRP 梁の損傷・破壊メカニズムの研究

北海道大学 正会員 ○松本高志 学生員 真砂純一 櫻庭浩樹 木戸英伍 F 会員 林川俊郎

1. はじめに

炭素繊維強化ポリマー (Carbon Fiber Reinforced Polymer: CFRP) は異方性であり脆性素材であることなどから, その挙動の把握に注意を要し, 構造設計においてはその知見が十分ではない. よって今後, 土木工学の分野で活用していくためにも, CFRP の変形・損傷の把握をすることが必要であると考えられる¹⁾.

既往の研究では CFRP の矩形の外殻にコンクリートを充填した梁に曲げ荷重を加え, 強度実験を行ったところ, 載荷点付近で圧縮破壊とみられる破壊形態となった²⁾. こうした実験の脆性的な破壊箇所の特定をするためにも, CFRP の変形・損傷の詳細な観察が必要とされている.

本研究では, 積層構成が異なる箱形断面 CFRP 梁について載荷実験を行った. ひずみゲージと変位計による計測に加えて, 画像解析によるひずみ分布計測を行い, 損傷・破壊過程の詳細な観察を行い, 積層構成が及ぼす影響を把握することを本研究の目的とする.

2. 箱形断面 CFRP 梁の載荷実験

載荷はせん断スパン 375mm, 曲げスパン 100mm の 4 点曲げとし, 荷重制御により行った. 供試体寸法は全長:1000mm 断面高さ:100mm 断面幅:100mm 厚さ:5mm であり, 積層構成が異なる 3 体を作成し, 梁軸方向, 梁周方向および $\pm 45^\circ$ 方向の繊維量の比率 (以下, 繊維比率) を変化させた. 3 供試体の繊維比率と名称*を示す.

1) 梁軸方向: 梁周方向が 1:1, 名称 L1T1

2) 梁軸方向: $\pm 45^\circ$ 方向が 1:2, 名称 L1D2

3) 梁軸方向: $\pm 45^\circ$ 方向が 1:1, 名称 L1D1

*L: 梁軸, T: 梁周, D: $\pm 45^\circ$, それらの後に繊維比率を示す.

変位とひずみの計測点は図 1 のようにし, 変位計 9 点 (図中黒矢印 1~9), 三軸ひずみゲージ 6 点 (図中 1~6), 一軸ひずみゲージ 2 点 (図中 7, 8) とした.

画像解析は, ひずみゲージ貼付面とは反対側の面で, 図 2 に示す灰色部分 2 箇所 (,) を対象領域として, デジタルカメラにより画像を取得し, デジタル画像相関法により行った. 撮影は 0.5tf ごとに載荷を停止して行った.

3. 耐力力と破壊形状

梁の耐力力と破壊性状を表 1 に示す. 耐力力は L1D1, L1D2, L1T1 の順に大きく, 45° 方向の繊維配向を導入すると耐力力が増加した. 全ての供試体で, 最終的には既往の実験²⁾と同様に, 載荷板の端部近くで, 圧縮フランジとウェブが破壊した. L1T1 は直線亀裂が生じる破壊性状であった. L1D1 と L1D2 については表面の層が剥離したような破壊性状であった.

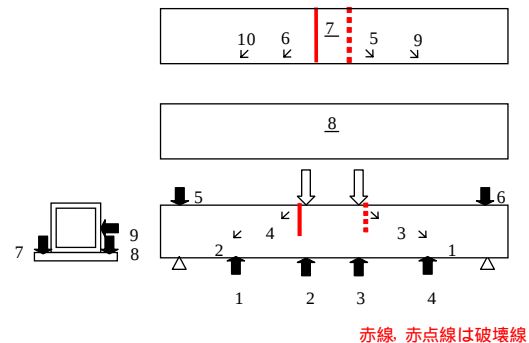


図 1 変位とひずみ計測点

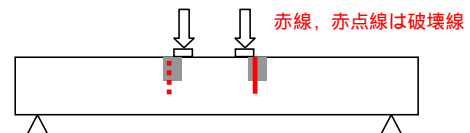


図 2 画像解析対象領域 (灰色部分). ひずみゲージ貼付面とは反対側の面.

表 1 梁の耐力力と破壊箇所・性状

供試体名称	強度(tf)	破壊性状
L1T1	5.03	載荷板端部のウェブに亀裂 (図 2, 赤線部)
L1D2	6.59	載荷板端部のウェブに層間剥離 (図 2, 赤線部)
L1D1	7.16	載荷板端部のウェブに層間剥離 (図 2, 赤点線部)

4. 画像解析結果

4.1. L1T1

図 3 は画像解析により得られた 3.97tf 時のせん断ひずみ分布である. 左右でせん断ひずみの符号は逆となる. また左図が , 右図が 領域であり. 灰色の四角が載荷板接触領域である. 以下, 図 4~7 でも同様である. 5.03tf で脆性破壊が生じたが, 3.97tf において既に と 共に載荷板の端部直下にせん断ひずみの局所化が観察できる. また, 部分の局所ひずみの位置は, 破壊部分と同じであった. 以上より, 局所的なひずみの集中から最終的な脆性破壊に至ったものと考えられる.

4.2. L1D1

図 4, 5 は画像解析により得られた 4.47tf 時の梁軸方向ひずみ, 梁周方向ひずみ分布である. 梁軸, 梁周方向のひずみ分布共に, 載荷板端部から支点側に 1.5~2cm 離れた位置に局所ひずみを観察できる. また, 梁軸方向, 梁周方向のひずみ分布共に 0~2tf までは解析領域全てで圧縮ひずみだった

キーワード: CFRP, 箱形断面, 積層構成, 画像解析, ひずみ場, 損傷, 破壊

連絡先: 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL: 011-706-6172 FAX: 011-706-6172

が、2.5tf 以降に解析領域の下部から引張りひずみが観察され、荷重の増加に連れて引張りひずみの領域が拡大することが観察できた。この原因は载荷途中でウェブが膨らんだこと、破壊前に供試体の表面の層が剥離していた可能性が考えられる。

図6は画像解析により得られた4.47tf時のせん断ひずみ分布である。領域共に载荷板接触領域から下フランジ側に1.5~2.0cm離れた位置(白点線で囲まれた部分)に解析領域内で最大のひずみが観察できる。しかし、このひずみは破壊に関連しておらず、破壊に関連する局所的なひずみ集中は観察できなかった。この原因についても载荷途中でウェブが膨らんだこと、破壊前に供試体の表面の層が剥離していた可能性が考えられる。

4-3. L1D2

図7は画像解析により得られた4.49tf時のせん断ひずみ分布である。領域共に白点線で囲まれた部分に解析領域内で最大のひずみが観察できる。しかし、L1D1と同様に破壊に関連する局所的なひずみ集中は観察できなかった。また、梁軸方向、梁周方向のひずみ分布共に荷重が増加するに連れて解析対象領域の下部において、引張りひずみの領域が拡大することが観察された。総じて、上記の間剥離が生じたL1D1と同じ傾向のひずみ分布が確認された。

5. まとめ

本研究では、箱形断面CFRP梁の载荷実験を行い、画像解析によりひずみ分布計測を行った。変位とひずみの計測で、CFRP梁の変形挙動を把握した。また、ひずみ分布計測により、L1T1では、解析により得られたせん断ひずみの分布図より、破壊に関連する局所ひずみを確認することができた。L1D1とL1D2においては破壊に関連する局所ひずみは確認できなかったが、これは層間剥離によるためと考えられる。しかし、層間剥離が生じたそれぞれのひずみ分布から同じ傾向を確認した。今後は、梁軸方向と45°方向の繊維比率を変えた供試体を用いて、同様の実験を実施する予定である。

謝辞

供試体作成と既往の実験データ参照については、東レ(株)と清水建設(株)のご厚意によりなされた。また、本研究は北海道ガス大学助成制度助成金により一部実施された。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) FRP 複合橋梁小委員会: 小委員会報告, 第3回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2009.
- 2) 稲田裕他: CFRP を用いた合成セグメントの強度特性に関する実験的検討、土木学会第62回年次学術講演会、CS15-009, 2007.

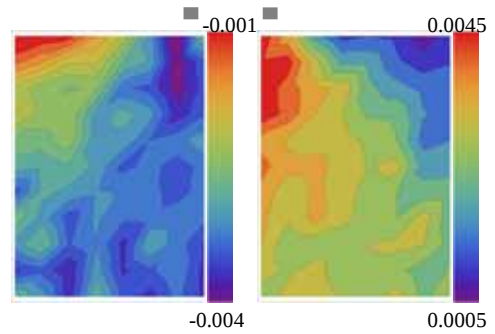


図3 L1T1のせん断ひずみ分布(3.97tf).

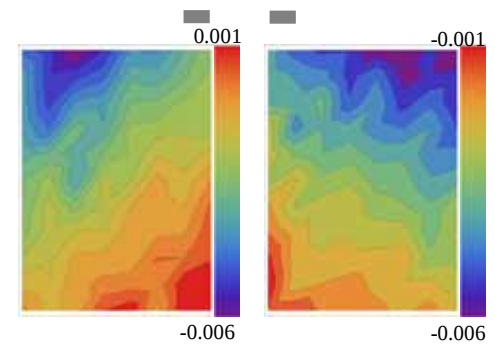


図4 L1D1の梁軸方向ひずみ分布(4.47tf).

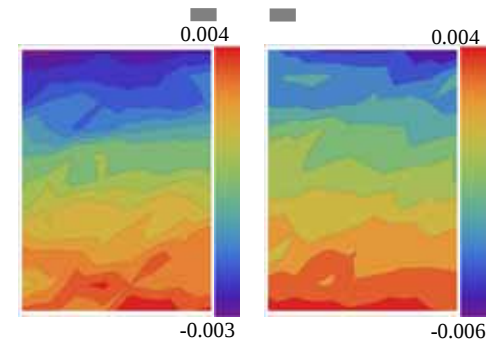


図5 L1D1の梁周方向ひずみ分布(4.47tf).

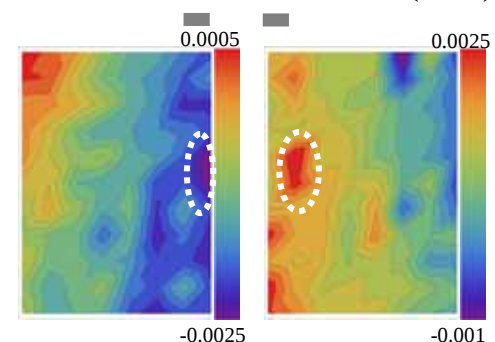


図6 L1D1のせん断ひずみ分布(4.47tf).

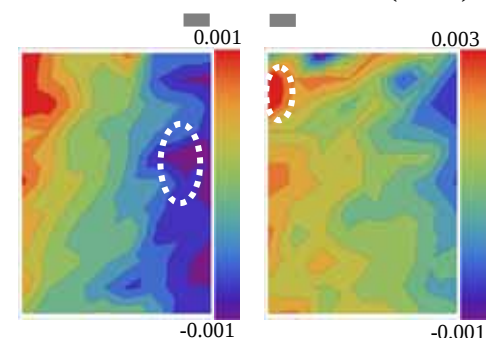


図7 L1D2のせん断ひずみ分布(4.47tf).