

積層構成が異なる箱形断面 CFRP 梁の曲げ挙動の把握

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

1. はじめに

CFRP を土木構造物へ適用するためには、積層材料である CFRP の異方性を考慮した強度や変形の算定手法の構築が求められている。

既往の研究では、CFRP・コンクリート合成梁の曲げ載荷実験が行われており、積層構成の違いは、梁の強度と変形特性に及ぼす影響が大きいことが確認されている¹⁾。またその実験結果について著者らは、有限要素解析によって梁の破壊に寄与する卓越応力と変形成分を把握し、耐力力とたわみの推定式を検討してきた²⁾。しかしながら、これらの研究では、CFRP の積層構成は直交方向の繊維配向に限られており、斜め方向の繊維配向の影響を把握する必要がある。

そこで本研究では、直交方向と 45°方向の繊維配向を組み合わせ、積層構成が異なる 4 種類の箱形断面 CFRP 梁を作成し、4 点曲げ載荷実験を行った。本研究では、積層構成が異なる梁の強度と変形特性を把握することを目的としている。

2. 実験方法

載荷は 4 点曲げとし、荷重制御により行った。図 1 に載荷方法と供試体寸法を示す。供試体は積層構成が異なる 4 体を作成し、梁軸方向、梁周方向および±45°方向の繊維量の比率（以下、繊維比率）を変化させている。以下に 4 供試体の繊維比率と名称*を示す。なお積層数はすべて 25 層とし、対称積層としている。

- 1) 梁軸方向：梁周方向が 1：1、名称 L1T1
- 2) 梁軸方向：±45°方向が 1：2、名称 L1D2
- 3) 梁軸方向：±45°方向が 1：1、名称 L1D1
- 4) 梁軸方向：梁周方向：±45°方向が 1：1：2、名称 L1T1D2

*L：梁軸，T：梁周，D：±45°，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 2 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 10 点（図中 1～10）、一軸ひずみゲージ 2 点（図中 7、8）とした。

3. 実験結果

梁の強度と破壊性状を表 1 に示す。強度は L1T1, L1D2, L1D1, L1T1D2 でそれぞれ、49.3kN, 64.6kN, 70.2kN, 62.5kN になり、±45°方向の繊維配向を用いたほうが強度は高くなった。また、L1D1 と L1T1D2 の±45°方向の積層数は同じであるが、梁軸方向の積層数が多い L1D1 のほうが強度は高い。よって本実験範囲内では、梁軸方向と

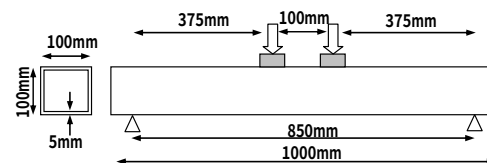


図 1 載荷方法と供試体寸法

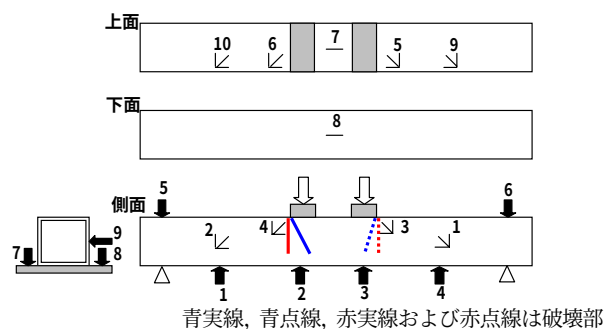


図 2 変位とひずみの計測点

表 1 強度と破壊性状

供試体名称	強度(kN)	破壊性状
L1T1	49.3	ウェブに鉛直方向の亀裂（図 2、赤実線部）
L1D2	64.6	ウェブに斜め方向の層間剥離（図 2、青実線部）
L1D1	70.2	ウェブに斜め方向の層間剥離（図 2、青点線部）
L1T1D2	62.5	ウェブに鉛直方向の亀裂と層間剥離（図 2 赤点線部）

±45°方向の繊維比率が強度を向上させる上で重要だと考えられる。

実験では 3 種類の破壊性状が観察された。直交方向のみの繊維配向とした L1T1 では、載荷板端部のウェブに鉛直方向の亀裂が観察された。梁軸方向と±45°方向の繊維配向を用いた L1D2 と L1D1 では、ウェブに斜め方向の層間剥離が生じた。直交方向と±45°方向の繊維配向を組合せた L1T1D2 では、ウェブに鉛直方向の亀裂と層間剥離が生じた。以上より、積層構成が異なることによって、梁の破壊性状が変化することを確認した。

図 3 に載荷点位置での荷重－変位関係を示す。また積層理論により算出した表 2 の材料特性³⁾を用いて、チモシェンコ梁理論による変位を求め、実験と比較する。（理論値は名称に t を付け、点線で示す。）

図 3 より、同荷重時では、L1D1 の変位が最も小さくなり、L1T1 で最大の変位が計測された。これは、表 2 に示すように L1D1 の E_1 は L1T1 とほぼ同程度であるが、 G_{12}

キーワード：CFRP、箱形断面、積層構成、強度、変形

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 L1T1 の 3.4 倍程度であるため、せん断変形が減少したことによって考えられる。L1D2 と L1T1D2 に関しては、 E_1 は L1T1 より小さいが、 G_{12} がそれぞれ 4.2 倍と 3.4 倍程度であるため、L1T1 より変位が小さくなったと考えられる。また、理論値の梁の変位は L1D1, L1D2, L1T1D2, L1T1 の順で小さく、実験と順序は一致した。

図 4 と 5 にそれぞれ、ひずみゲージ 1 の荷重－せん断ひずみ関係とひずみゲージ 7 と 8 の荷重－梁軸方向ひずみ関係を示す。また表 2 の材料特性を用いて、梁理論によるひずみを求め、実験と比較する。

図 4 では、同荷重時において、L1D2 で最小のせん断ひずみとなった。L1D1 と L1T1D2 は、 $\pm 45^\circ$ 方向の積層数が同じであるため、実験においてもほぼ同じせん断ひずみが計測された。また、実験では理論値の順序どおりにせん断ひずみが得られ、L1T1 を除いて概ね一致した。

図 5 より、ひずみゲージ 8 では同荷重時において、L1D1 で最小の梁軸方向ひずみとなった。また理論値の順序どおりにひずみが得られ、概ね理論値と一致した。ひずみゲージ 7 では、ひずみゲージ 8 と比較してひずみが小さくなっている。また L1T1 と L1D2 では、40kN 付近で載荷板端部直下の上フランジとウェブの隅角部で梁軸方向の割れが観察され、その後は圧縮ひずみがほぼ一定になっている。よって本実験方法では、載荷板による影響が大きかったと考えられ、今後の実験では隅角部の割れを防ぐ処置をする必要がある。

4. まとめ

本研究では、積層構成が異なる 4 種類の箱形断面 CFRP 梁を作成し、4 点曲げ載荷実験を行った。梁の強度に関しては、梁軸方向と $\pm 45^\circ$ 方向の繊維比率が重要であることを示した。また積層構成が異なることによって破壊性状は変化し、3 種類の破壊性状を観察した。梁の変位は、せん断変形の影響が大きく、 $\pm 45^\circ$ 方向の繊維配向を用いてせん断弾性係数を大きくすることによって、梁の変位を小さくできることを示した。さらに、変位とひずみの計測結果を積層理論による材料特性から求めた理論値と比較し、概ね一致することを確認した。

謝辞

本実験で用いた供試体の材料提供と作成支援については、東レ(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。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 櫻庭浩樹他：箱形断面 CFRP 梁の曲げ載荷における中詰めコンクリートの効果の解析的検討，第 3 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，A5，2009。
- 3) 櫻庭浩樹他：45° 方向の繊維配向を有した箱形断面 CFRP 梁の変形挙動の把握，土木学会北海道支部第 66 回年次技術研究発表会，A-4，2010。

表 2 積層理論による材料特性³⁾

有効工学的弾性係数 (MPa)	供試体名称			
	L1T1	L1D2	L1D1	L1T1D2
梁軸方向弾性係数 E_1	74420	59450	77014	55233
せん断弾性係数 G_{12}	5600	23634	19126	19126

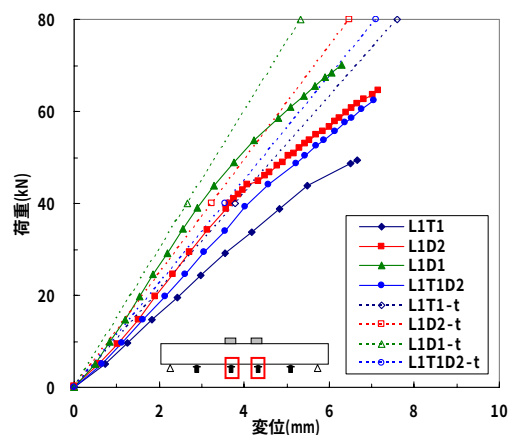


図 3 載荷点位置(平均値)の荷重－変位関係

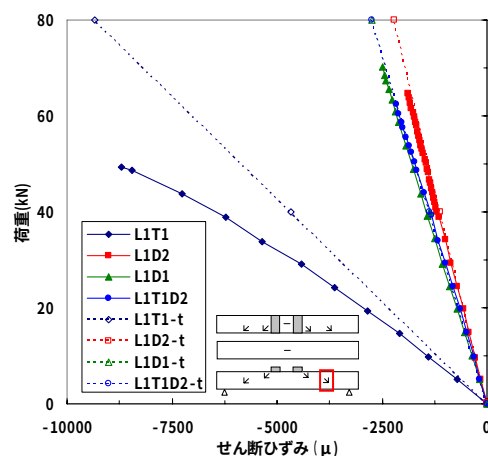


図 4 ひずみゲージ 1 の荷重－せん断ひずみ関係

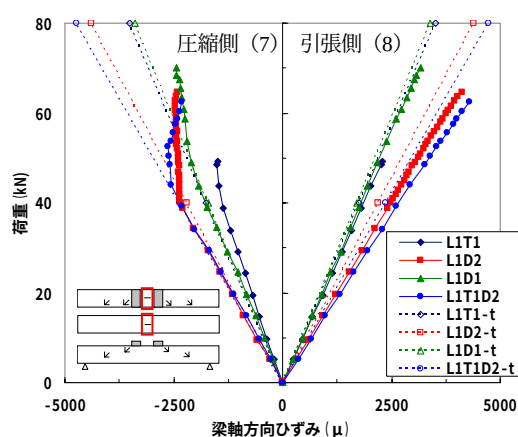


図 5 ひずみゲージ 7 と 8 の荷重－梁軸方向ひずみ関係