

CFRP・コンクリート合成梁の強度特性に関する検討

清水建設(株) 正会員 ○稲田裕 吉武謙二 杉山博一 フェロー会員 後藤茂 石塚与志雄
北海道大学 正会員 松本高志 東レ(株) 正会員 鈴木研二 松井孝洋

1. はじめに

CFRP の土木構造物への適用について様々な検討が進められているが、その実現には CFRP の特性を十分に考慮した部材設計を可能とすることが求められる。著者らは CFRP・コンクリート合成構造セグメントの実現性に関する検討を継続的に進め、CFRP・コンクリート合成梁を用いた実験により合成部材としての強度特性の把握を図った¹⁾。その結果、CFRP の強度、配向が構造部材の強度、破壊性状に及ぼす影響が大きいことが確認されたが、その特性の把握には CFRP の強度の詳細な検討と、破壊発生メカニズムの解明が必要であることが分かった。本報では、材料試験により CFRP の強度を系統的に調べ、その結果に基づき合成梁の強度特性に関して検討した結果を示す。

2. CFRP 部材の強度特性

実験では、軸方向と周方向の繊維比率が異なる 5 種類の繊維配向 (S1～S5) の CFRP 積層版を用いた。FRP の材料強度は一般に JIS 規格の試験により評価されているが、強度の高い CFRP 材では適切な評価が行えない場合も見られる。そこで昨年度は、炭素繊維補強材の試験方法²⁾に従い引張試験を実施した。そして、弾性率は妥当な値が推定できたが、強度が高い場合はグリップからの CFRP の抜けの発生が観察され、破断強度の推定には課題が残った。そこで掴み部の長さを倍増し、サンドブラスト加工により CFRP 表面の付着の向上を図った。その結果、適切な引張強度の評価が可能となった。さらに、層間せん断試験、圧縮試験により、圧縮・せん断強度の評価を行った。得られた強度特性の評価結果を表 1 にまとめる。なお、表中にハッチをかけた S4, S5 のせん断強度は試験を行っていないため、

S3 の値を用いている。また、圧縮試験は JIS K7076 に従い行ったが、タブ内で破壊が生じるなどの問題も見られ、引張強度と比べると値が小さい。

3. 合成梁の曲げ試験

試験の概要を図 1 に示す。1 辺 10cm、厚さ 5mm の正方形断面の CFRP を用い、中詰めコンクリートの有無、曲げモーメントと軸力の比 (以下、曲げ軸力比) 0.04, 0.16, 0.32, ∞ (軸力無し) を試験条件とした。

破壊時の状況を図 2 に示すが、配向 S5、軸力無しの 1 体を除いて、載荷部の CFRP が面外に折れる破壊が発生した。各試験体の破壊時の最大曲げモーメントを図 3 に比較して示す。軸方向の繊維比率が低くなるに従い曲げモーメントは減少するが、その傾向は試験体により異なる。次に、コンクリートのひび割れは考慮せず全断面有効と仮定して、最大曲げモーメント区間の上フランジ (図 1 参照) の圧縮応力を求めた結果を図 4 に示す。表 1 の圧縮強度と比べると、得られた圧縮応力は全体に小さく、圧縮破壊以外の要因が影響していることが考えられる。また中詰めコンクリート有りの場合、周方向の繊維比率が高くなるに従って値は近くなり、破壊性状が類似していることが推測される。

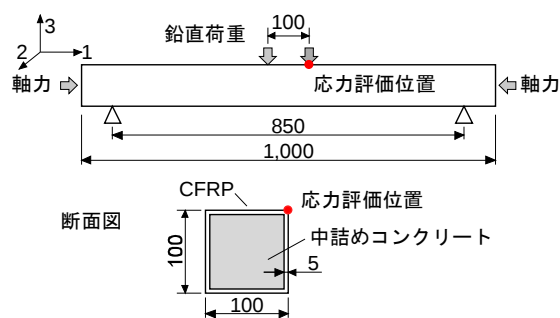


図 1 合成梁の曲げ試験

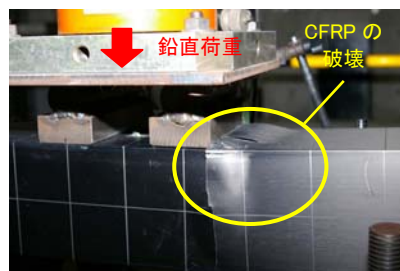


図 2 CFRP の破壊状況

表 1 CFRP 積層版の強度特性

纖維配向		S1	S2	S3	S4	S5
纖維比率(軸:周)		9:1	2:1	1:1	1:2	1:9
強度 (MPa)	引 張	2352.5	2127.2	1911.6	715.1	294.6
	圧 縮	-674.0	-713.0	-612.0	-247.0	-173.0
	面外せん断	57.7	58.6	55.3	55.3	55.3
	面内せん断	71.1	68.1	67.7	67.7	67.7

キーワード CFRP, 合成構造, 強度特性, セグメント

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 Tel 03-3820-8315

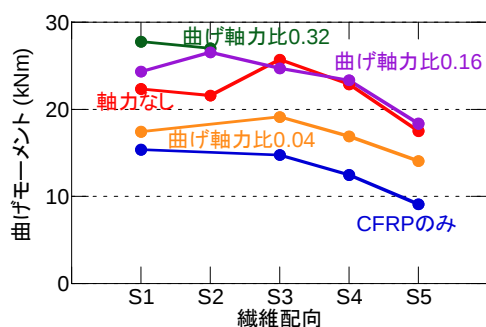


図3 破壊時の曲げモーメントの比較

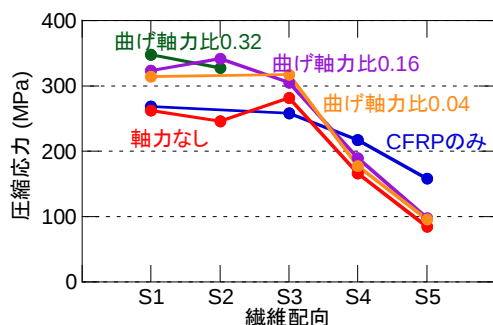


図4 破壊時の圧縮応力の比較

4. 破壊基準式による合成梁の強度特性評価

合成梁の耐荷力について、松本ら³⁾はFEMおよび破壊強度則に基づく検討を行った。ここでは、その成果に基づき、Tsai-Wu 則に従って積層版の破壊条件を次式のように定式化した。

$$F_1\sigma_1 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{55}\tau_{31}^2 + F_{66}\tau_{12}^2 = 1$$

$$F_1 = \frac{1}{\sigma_1^T} + \frac{1}{\sigma_1^C}, F_{11} = -\frac{1}{\sigma_1^T \cdot \sigma_1^C}, F_{55} = \frac{1}{(\tau_{31}^u)^2}, F_{66} = \frac{1}{(\tau_{12}^u)^2}$$

なお、式中の添字は図1の座標系に従い、係数FはCFRPの圧縮、引張強度(σ_1^T, σ_1^C)、面内、面外せん断強度(τ_{12}^u, τ_{31}^u)により決定される。

破壊時の状態を、全断面有効、コンクリートが圧縮応力のみ負担するひび割れ断面、CFRPのみ応力負担の3通りに仮定して断面係数を算定した。そして、破壊の発生が観察された載荷部の上フランジ端部(図1参照)について、各試験体の破壊時の荷重から応力を算定し、表1の強度を用いて破壊基準値を求めた。得られた結果から、軸力なしと曲げ軸力比0.16の結果を図5に示す。ひび割れ断面とすると破壊基準値は全体に1に近く、破壊時の断面状態を表していることが分かる。ひび割れ断面とした破壊強度則に基づく評価により、破壊発生の予測がある程度可能である。ただし、軸力なしのS1, S2では、ひび割れ断面の破壊基準値は1より小さく、ここでは考慮していない破壊性状や、応力や材料強度の推定精度等の影響も考えられる。

次に、破壊基準値から直応力、面外せん断応力、面

内せん断応力の占める割合として応力負担率を求め、図6に示す。軸力なしと曲げ軸力比0.16で傾向は概ね同じである。S1~S3では面内せん断応力の影響が大きく、S4, S5では直応力が支配的となっている。

5. まとめ

CFRP・コンクリート合成梁の曲げ試験結果について、CFRPの材料強度の追加検討、破壊基準式を用いた強度特性に関する検討を行った。合成構造の破壊は複合応力下で発生するため、軸方向に加えてせん断応力、強度の評価が重要となることが確認された。今後は材料強度の推定精度を向上し、部材設計を可能とするための強度評価方法の構築を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 稲田他, 土木学会 62 回年次講演会, CS15-009, 2007.
- 2) 土木学会コンクリート委員会: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案), 2006.
- 3) 松本他, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.64, 2008.

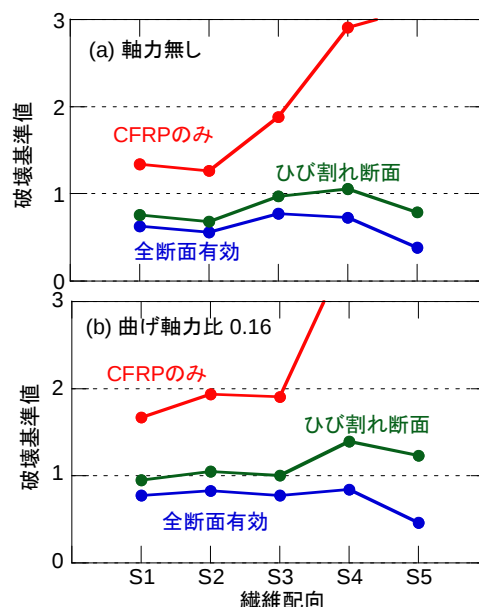


図5 破壊荷重から算定した破壊基準値

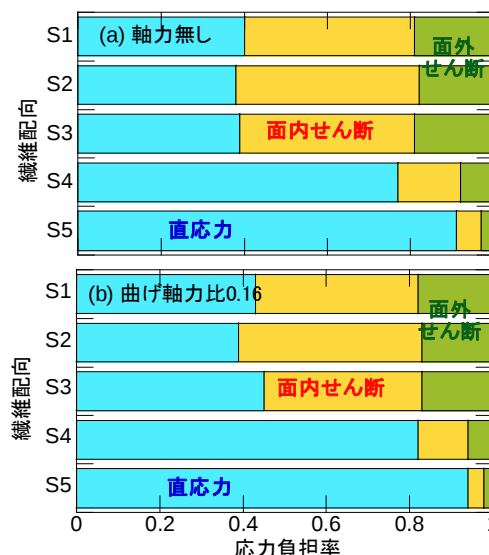


図6 破壊時の応力負担率