

FRP-コンクリートハイブリッド構造物の曲げ構造性能に対する内部鉄筋量の影響

茨城大学 正会員 ○岩下健太郎

茨城大学 正会員 呉 智深

茨城大学 三島 勇人

1. 目的

著者らは、鉄筋コンクリート構造の耐腐食性の向上と構造性能の高度化を目的として、複数種類の連続繊維複合材（FRP）の適材適所な適用と最小量の鉄筋を生かした FRP-鉄筋コンクリート（FRP-RC）ハイブリッド構造を提案し、ウェットボンディングにより実現した FRP-RC 梁の曲げ性能を初歩的に検討した¹⁾。本研究では、引張鉄筋比を増加させて、FRP 使用量を抑えることによる低コスト化や、鉄筋降伏前の剛性向上を図ることによる、FRP とコンクリートの付着強さや各種曲げ構造性能への影響を実験的に検討した。

2. ウェットボンディングによる FRP-鉄筋コンクリートハイブリッド構造

著者らが提案した FRP-RC 構造においては、図-1 に示すように RC 構造物の側表面を全面的に FRP で覆うことで腐食フリーとすることを前提としている。ただし、側表面補強 FRP は曲げ補強 FRP に比べて接着面積がかなり大きくなることやせん断補強材の要求性能を考慮して、比較的低価格で高伸度の E ガラス FRP（GFRP）を使用する。また、曲げ補強効果が効果的に得られる引張縁に、表-1 に示すように比剛性・比強度に優れる炭素 FRP（CFRP）と、やや高い破断伸度を有する GFRP を積層して配置し、ひび割れ発生荷重や剛性等の使用性、最大荷重、そして靱性といった曲げ構造性能の総合的な高度化を図った。さらに、FRP の付着を確保するために、湿潤面との接着にウェットボンディングを用いる。ここで、FRP の表面に塗布したエポキシ樹脂が未硬化の内にフレッシュコンクリートを打設すると、養生後に FRP とコンクリートが接着される現象をウェットボンディングと呼称している。

3. 引張鉄筋量を考慮した T 型断面 HB 梁の 4 点曲げ試験による各種曲げ性能の初歩的検討

(1) T 形断面 HBRC 梁の製作と 4 点曲げ試験方法

ハンドレイアップにより 2 層の炭素繊維シートと 3 層のガラス繊維シートを積層して 50% の繊維含有率 (V_f) で所定の形状に成型し、T 型の型枠の内側に設置した。そして、FRP の内側に樹脂を塗布し、所定の鉄筋比 ($\gamma_s=0.29\%, 0.43\%, 1.20\%, 1.74\%$) となるように配筋した上で、樹脂が硬化する前にフレッシュコンクリートを打設した。試験は支点、載荷点の間隔をそれぞれ 1700mm, 400mm とした 2 点載荷方式で、2000kN 加圧試験機を用いて行った（図-2）。ここで、コンクリートの設計圧縮強度は 30MPa とし、28 日経過時の強度は 36.4MPa であった。また、早強ポルトランドセメントを使用し、28 日経過後に載荷した。

(2) 試験結果と考察

FRP-RC 梁の曲げ構造性能指標を評価するうえで、ひび割れ発生荷重、引張鉄筋降伏以前の剛性、引張鉄筋降伏荷重、最大荷重、高荷重レベルを維持している範囲での最大たわみ（靱性）に注目した。まず、初期ひび割れと引張鉄筋降

ウェットボンディングによる完全接着の確保

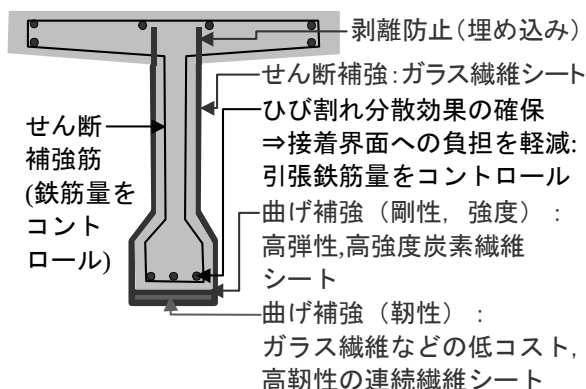


図-1 FRP を適材適所に配置した桁構造例

表-1 各種連続繊維複合材の引張特性一覧

各種指標	繊維材の種類	CFRP	GFRP
設計引張強度 (N/mm^2)		3400	1500
設計引張弾性率 (kN/mm^2)		230	80
設計破断伸度 (%)		1.48	1.88
単位面積重量 (g/m^2)		200	300
公称厚さ (mm)		0.111	0.118

キーワード FRP-コンクリートハイブリッド構造、ウェットボンディング、曲げ・せん断同時補強構造、適材適所、鉄筋比

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL 0294-38-5247 E-mail : iwak@mx.ibaraki.ac.jp

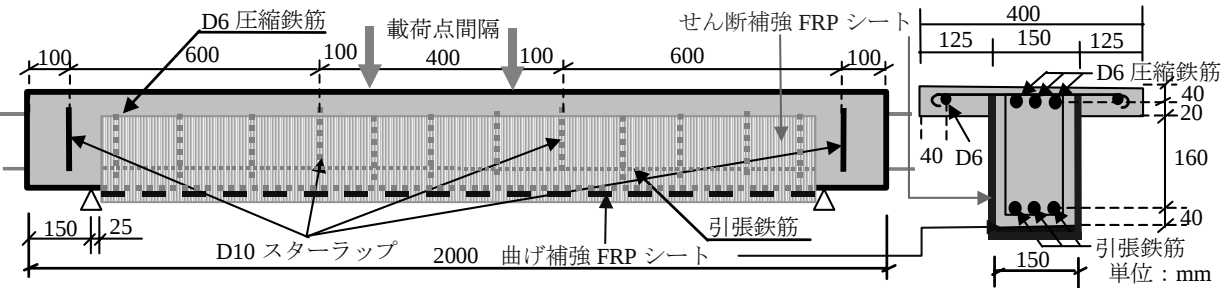


図-2 T型断面 FRP-RC 梁の詳細寸法

伏に関しては、鉄筋ひずみの計測値が急激に増加する点によって判定した。このとき、引張鉄筋比の大きさに関わらず、ひび割れ発生荷重は同程度だが、引張鉄筋の降伏荷重は大きく増加した。また、引張鉄筋降伏前の剛性も向上することが明確となった。さらに、靱性に関しては、荷重－変位曲線にお

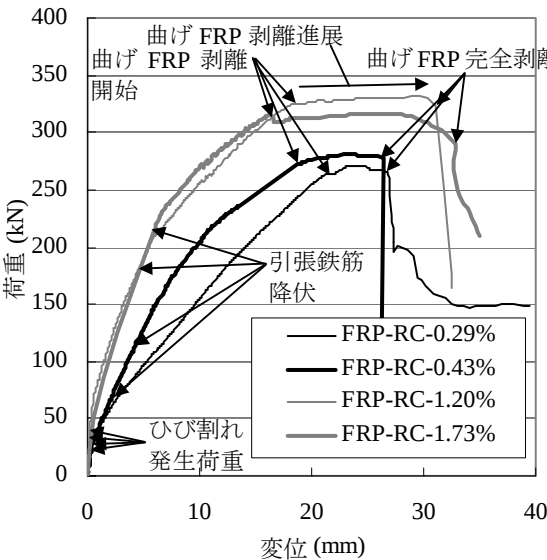


図-3 荷重－変位曲線

る高荷重レベルを維持している範囲での最大変位を比較すると、FRP-RC-0.26%の場合を基準としてFRP-RC-0.43%梁の場合に16.0%、FRP-RC-1.20%梁の場合に125.7%、そしてFRP-RC-1.73%梁の場合に194.9%向上しており、引張鉄筋比が1.2%を越える場合に靱性が卓越して大きくなることがわかる。一方、引張鉄筋量の違いに伴う接着界面への影響に関しては、図-4に示したひび割れの分布状況において、引張鉄筋量が異なってもひび割れの分散状況に大きな違いは見られない。また、最大荷重 P_{max} とFRP剥離ひずみの関係式(1)から算出したFRP剥離ひずみ(表-3)において、引張鉄筋量の増加によるFRP剥離ひずみの増加効果は見られない。

$M_u = f_y A_s (d - y) + E_{fc} \varepsilon_{fc}^* A_f (h - y)$ (1) ここで、 f_y は鉄筋降伏応力、 A_s は鉄筋の断面積、 d は梁上縁と引張鉄筋の距離、 $y = \beta_1 x / 2$ 、コンクリート標準示方書⁵⁾での推奨値を採用して $\beta_1 = 0.80$ 、 x は中立軸と梁上端の距離、 E_{fc} はFRPの引張弾性率、 A_f はFRPの断面積、そして h は梁せいを意味する。よって、最小鉄筋比(0.26%)でも、かなりひび割れを分散できており、接着界面への負担を十分に軽減していることが実験的に明確となった。

4. まとめ

FRP-RC 梁において、引張鉄筋比を増加させることで、予ねて課題であった鉄筋降伏前の剛性を向上させることが実験的に明確となった。また、1.2%を越える引張鉄筋比とした場合に靱性が飛躍的に向上することが実験的に示された。一方、最小鉄筋量の鉄筋を用いた場合にも、かなりひび割れを分散できており、接着界面への負担を十分に軽減していることが実験的に明確となった。

参考文献

1) 岩下健太郎, 呉智深, 朱海堂, 石田英靖: ウェットボンディングによるFRP-コンクリートハイブリッド曲げ構造の創出, 土木学会第61回年次学術講演概要集, 京都, CS02-045, pp.157-158, 2006

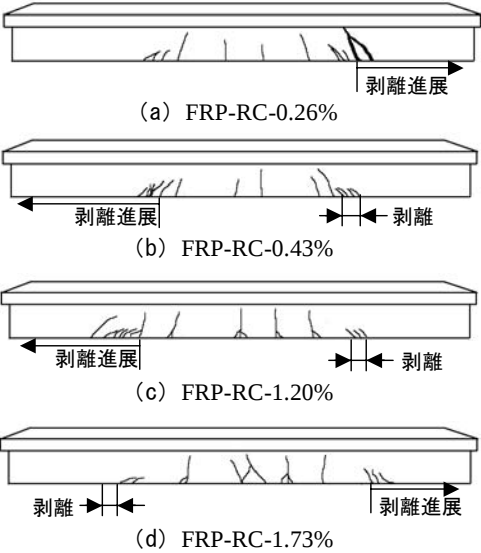


図-4 ひび割れ分布状況 (曲げ FRP の完全剥離後)

表-3 FRP ひずみの実測値と計算値

供試体名	実測最大FRPひずみ (μ ε)	計算FRP剥離ひずみ (μ ε)
FRP-RC-0. 26%	8765	16500
FRP-RC-0. 43%	8149	15140
FRP-RC-1. 20%	10743	13240
FRP-RC-1. 73%	7481	8770