

CFRP 補強 RC 梁の破壊性状の検討

九州大学大学院 学生会員 佐川 康貴
九州大学大学院 フェロー 松下 博通
ショーボンド建設(株) 正会員 岳尾 弘洋
九州大学工学部 学生会員 牛込 敏幸

1. はじめに

炭素繊維シート(以下、「CFS」)を用いた補強工法は、施工の容易さゆえ施工事例が増えている。CFS を用いて補強した RC 部材の破壊は、CFS の破断、コンクリート圧壊、曲げひび割れ部からのせん断剥離、peeling 作用による剥離、補強材端部におけるコンクリートのせん断分離などが報告されているが、破壊形態は明確に分類されていない。本研究では曲げ破壊先行型の RC 梁を CFS で補強し、CFS の補強量およびせん断スパン長と有効高さの比(以下、「 a/d 」)を変化させて曲げ載荷実験を行うことにより、破壊形態について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の形状寸法および材料特性

供試体は無補強、CFS1層、2層、3層のように補強量を変化させたもの4体と、CFS1層で a/d を変化させたもの3体の計7体である。図-1に供試体の形状寸法と載荷位置を示す。主鉄筋には D13 (SD295A)を使用し、スターラップは D6 (SD295A)を 10cm 間隔に配置した。表-1に使用材料の力学的特性を示す。コンクリート打設後3週間で CFS をエポキシ樹脂で接着し、1週間樹脂の養生を行ったのちに実験を行った。引張側主鉄筋とCFS のひずみ分布を測定するために、それぞれ 10cm 間隔でひずみゲージを貼り付けた。

2.2 実験方法

載荷は油圧式ジャッキにより行った。測定項目はロードセルより求めた荷重、供試体各点のひずみ、スパン中央のたわみである。さらに各荷重段階における進展状況、CFS の剥離進行状況、および供試体の破壊形態を観察した。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-2に示す。

CFS の補強量を変化させたときの荷重とたわみとの関係を図-2に示す。無補強に対して1層は 50%耐力が増加するが2層、3層はそれぞれ 74%、89%しか耐力が増加しておらず、1層以上で補強量を増しても補強効果は正比例しないこと

表-1 使用材料

コンクリート	
●供試体No.1~4	圧縮強度:31.3N/mm ² 弾性係数:2.35×10 ⁴ N/mm ²
●供試体No.5~7	圧縮強度:39.0N/mm ² 弾性係数:2.88×10 ⁴ N/mm ²
鉄筋	
●主鉄筋(D13)	降伏強度:356N/mm ² 弾性係数:2.00×10 ⁵ N/mm ²
●スターラップ(D6)	降伏強度:340N/mm ²
CFS	
目付け:300g/m ² 設計厚さ:0.167mm 引張強度:3480N/mm ² 弾性係数:2.30×10 ⁵ N/mm ²	

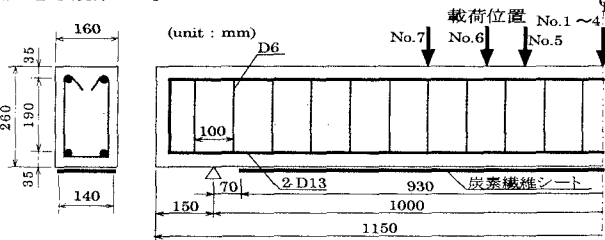


図-1 供試体形状寸法

表-2 実験結果

供試体	補強量	せん断スパン長 a (mm)	a/d	荷重 P (kN)			モーメント M (kN・m)			変位 u (mm)		
				ひび割れ発生	降伏	最大	ひび割れ発生	降伏	最大	ひび割れ発生	降伏	最大荷重時
				P_{cr}	P_y	P_{max}	M_{cr}	M_y	M_{max}	u_{cr}	u_y	u_{max}
No.1	無補強	1000	4.44	15.8	40.8	45.3	7.9	20.4	22.7	0.87	4.78	※37.00
No.2	1層			15.3	52.0	67.7	7.7	26.0	33.9	0.56	4.84	16.37
No.3	2層			18.7	52.9	78.6	9.4	26.5	39.3	0.86	4.93	14.32
No.4	3層			19.7	59.1	85.6	9.9	29.6	42.8	0.75	4.74	12.87
No.5	1層	800	3.56	18.7	57.5	76.7	7.5	23.0	30.7	0.90	6.20	19.02
No.6		700	3.11	19.2	65.1	87.0	6.7	22.8	30.5	0.80	6.11	20.64
No.7		550	2.44	23.5	86.5	132.0	6.5	23.8	36.3	0.74	6.37	26.26

※ 終局時の値

が分かる。また補強量を増すことにより最大荷重時の変形性能が小さくなる事が分かる。

1層および2層の CFS のひずみ分布の変化をそれぞれ図-3、図-4に示す。鉄筋が降伏するまでは CFS と鉄筋のひずみはほぼ同じであるが、鉄筋降伏後はシートのひずみが急増し、ひずみ分布は二段凸型曲線となる。

積層数を1層とし、 a/d を変化させた場合の最大耐力より求めた最大モーメントと a/d の関係を図-5に示す。 $a/d=3.11$ および 3.56 で最大モーメントは大きく落ち込んでおり、 $a/d=2.44$ では強固なアーチ作用により最大モーメントが大きくなっている。

3.1 補強量の違いによる破壊形態の違い

1層ではスパン中央付近に発生した曲げひび割れ部よりコンクリート表層部のせん断剥離が CFS 接着端部に向かって進行し、終局状態に至ったことが図-3より確認できる。一方、2層および3層では曲げせん断ひび割れより peeling 作用による剥離が進み、急激に耐力を失った。図-4より、剥離の起点となったせん断ひび割れの位置(図中の矢印の位置)の CFS のひずみが急増していることが分かる。peeling 作用による剥離はスパン中央よりの剥離よりもさらに脆性的であり、剥離後の反動によりかぶりコンクリートが CFS に接着したまま引張破壊した。CFS による補強に比べて引張剛性(弾性係数と断面積の積)の大きな鋼板を接着した場合には、コンクリートとの水平せん断力が集中する鋼板端部からの剥離が発生することが報告されている¹⁾が、本実験においては CFS を3層接着してもそのような剥離形態は生じなかった。

3.2 a/d の違いによる破壊形態の違い

破壊形態であるが、 $a/d=3.56$ および 3.11 のものは $a/d=4.11$ と同様にスパン中央からのせん断剥離が接着端部へと進展し終局状態に至った。しかし、 $a/d=2.44$ のものはせん断ひび割れ位置における peeling 作用による剥離が起こった。さらに、 $a/d=2.44$ のものは CFS 接着端部よりせん断ひび割れが発生し、かぶりコンクリートが一部剥落しており、鋼板を接着した場合のような端部からのせん断分離破壊への移行の兆候がうかがえた。よって a/d を小さくすることにより破壊形態はスパン中央よりのせん断剥離から peeling 作用による剥離へと移行することが分かる。また、さらに a/d を小さくすると CFS 接着端部における水平せん断応力が大きくなり、CFS 接着端部からのせん断分離破壊を起こすことが考えられる。

4. まとめ

補強量を大きくすると曲げひび割れからのせん断剥離から、せん断ひび割れが進展して起こる peeling 作用による剥離へと移行する。またこのことは a/d を大きくした場合にも言える。また、補強量や a/d をさらに大きくした場合には接着端部に水平せん断力が集中し、CFS 接着端部からのコンクリートのせん断分離が生じるものと思われる。

参考文献 1)佐野 正:鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法に関する研究、東北大学学位請求論文、平成8年3月

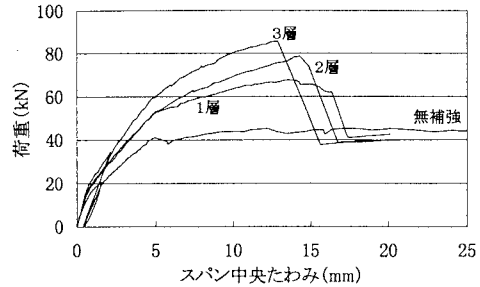


図-2 補強量別荷重-たわみ関係

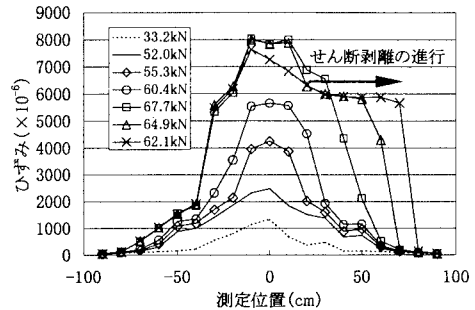


図-3 CFS のひずみ分布の変化(1層)

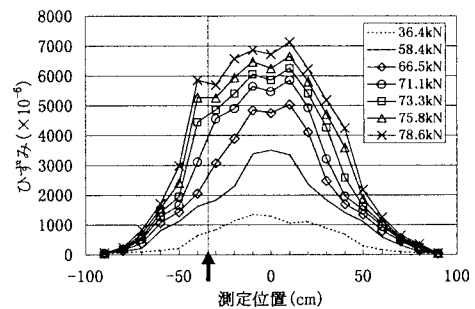


図-4 CFS のひずみ分布の変化(2層)

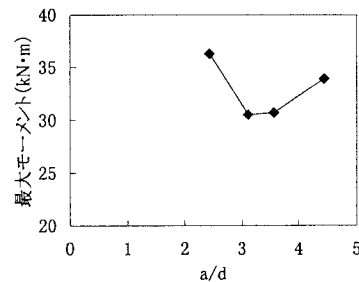


図-5 a/d と最大モーメントの関係