

緊張した連続繊維プレートで補強したRCはりの曲げ疲労特性に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 大島正記 学生員 井上真澄
ドーピー建設工業(株) 正会員 濱田 譲 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1.はじめに

本研究は、プルトルージョン法により板状に加工し炭素繊維プレート(以下、プレートと示す)を緊張・定着することにより補強しRCはりに曲げ疲労載荷を実施し、補強された部材の疲労強度やプレートの付着・定着特性に与える繰返し荷重の影響等について実験検討を行った。

2. 実験概要

表1に供試体名称および実験要因を、表2にプレートの力学的特性を、図1に供試体の概要を示す。供試体寸法は、 $400 \times 200 \times 3000\text{mm}$ である。プレート緊張に用いた定着具を供試体に固定するために、支点近傍に $90 \times 40 \times 70\text{mm}$ の切り欠きを設け、定着具および中間定着具は、供試体に予め設置した埋込み金具にアンカーボルトで固定した。

プレストレスの導入は本実験用に開発した緊張装置[1]で行い、プレートはエポキシ樹脂系接着剤でコンクリートに接着した。実験に用いたRCはりは、健全はりをプレートで補強した供試体と、引張鉄筋が降伏するまで曲げ載荷して

ひび割れを導入した後プレートで補強した供試体の2種類とした。-N-00 供試体以外は、プレートの目標緊張力をプレート保証耐力の50%として、中間定着具を設置した。載荷条件は支点間距離 2860mm 、曲げスパン 300mm 、せん断スパン有効高さ比(a/d) 8.31 の対称2点集中載荷とした。疲労試験の繰返し載荷速度は $0.5 \sim 4\text{Hz}$ とし、正弦波による部分片振り繰返し載荷とした。載荷方法は、シリーズ ではひび割れの発生を確認した後、初期上限荷重(26kN)まで静的載荷を行い、上限荷重到達後、下限荷重を 11kN として 200 万回繰返し載荷を行った。その後、上限荷重を 9.8kN ずつ増加して順次 20 万回の繰返し載荷を供試体が破壊するまで行った。シリーズ では上限荷重を N-50P 供試体の静的曲げ耐力(126kN)に対する比率が、それぞれ 70 、 60 、 50% となるように決定した。下限荷重はシリーズ と同じ $11\text{kN}(8.7\%)$ とした。

3.実験結果および考察

シリーズ 表3にシリーズ における疲労試験結果を示す。B活荷重に相当する上限荷重(26.0kN)を 200 万回繰返し載荷しても、プレート補強したRCはりは、補強前の損傷程度およびプレート緊張力に関わらず、疲労に対して十分な安全性を有していた。引張鉄筋の累積被害度の算定には、変動応力状態にあるコンクリートや鋼材の疲労寿命の推定に適用されるマイナー則[2]を、一定応力振幅繰返し載荷を受ける鉄筋の疲労寿命(N_{sf})の算定には、コンクリート標準示方書[設計編Ⅲ3]に判定されている式より逆算した。-N-00 供試体では、プレート緊張が小さいため引張鉄筋の応力振幅が比較的大きくなり、載荷初期より繰返し載荷による被害が蓄積された。その結果、累積被害度は $M = 9.83$ となり、引張鉄筋はプレートが剥離する前に

Keywords：炭素繊維プレート、曲げ疲労、プレストレス、曲げ補強

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL/FAX 077-561-2805

表1 供試体名称および実験要因

シリーズ	供試体名称	ひび割れ 損傷	補強方法		疲労載荷条件	
			目標緊張量 (kN)	中間 定着具	上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)
I	I -N-00	×	11.4[5%]	×	26.0~85.1 (9.8kN ずつ 増加)	11.0
	I -D-50P	○	116.8[50%]	○		
II	II -N-50P-70	×	116.8[51%]	○	88.2[70%]	11.0 [8.7%]
	II -N-50P-60	×			75.6[60%]	
	II -N-50P-50	×			63.0[50%]	

注) } 内：プレートの目標緊張力/保障耐力
{ } 内：上限荷重/ (N-50P 供試体の静的曲げ耐力； 126kN)

表2 プレートの力学的特性

設計幅(mm)	50
設計厚(mm)	2
保障耐力(kN)	234
弾性係数(kN/mm^2)	150
破断ひずみ(μ)	15600

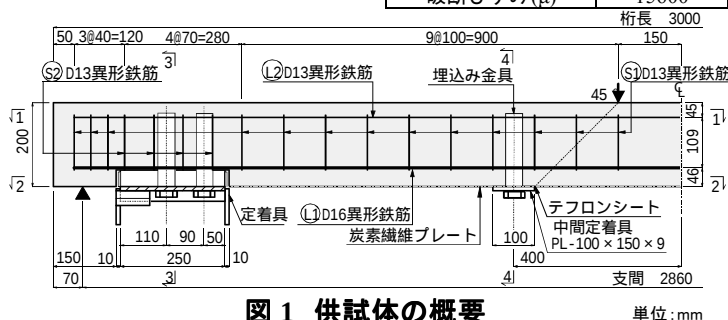


図1 供試体の概要

単位:mm

疲労破断したと考えられる。これに対して、

-D-50P 供試体では、プレートの有効緊張量が大きいので引張鉄筋の応力振幅は比較的小さい。その結果、-N-00 供試体よりも 1 レベル高い上限荷重による繰返し载荷を受け、プレートの剥離が先行した後に鉄筋が疲労破断したと推察される。また、上限荷重が大きい段階においても引張鉄筋の応力振幅は小さいので、引張鉄筋の疲労性状は改善されており、累積被害度は比較的小さい 1.96 となった。なお、各供試体の引張鉄筋の累積被害度は 1.0 以上であった。したがって、プレート補強した R C 部材の引張鉄筋の疲労に対する安全性は、プレート剥離が先行する場合でも累積被害度が 1.0 になると破壊を生じるというマイナー則により照査できた。図 2 にひび割れ幅と繰返し回数の関係を示す。

-D-50P 供試体は、B 活荷重相当の初期上限荷重の载荷中においても、最大ひび割れ幅は増加しなかった。プレートの有効緊張力が大きい場合は、優れたひび割れ抑制効果を発揮することが確認された。

シリーズ -N-50P-70 および -N-50P-60 供試体の疲労寿命はそれぞれ約 19 万回および約 65 万回であった。破壊モードはプレートが剥離した後、引張鉄筋が疲労破断し破壊に至った。これに対し、上限荷重が比較的小さい -N-50P-50 供試体は、200 万回の繰返し载荷を終えても補強材は疲労破壊しなかった。しかし、比較的幅の広い曲げひび割れ付近では、部分的にプレートが剥離している事が確認された。図 3 に S-N 曲線とその回帰式と、「コンクリート標準示方書」[3]に規定されている式より求めた引張鉄筋の S-N 曲線を示す。全ての供試体の破壊モードをプレート剥離と仮定し、S-N 曲線の回帰式を、各供試体の S_r および S_{min} と繰返し回数に基づいてプロットした点を最小二乗法で回帰して求めた。その結果、S-N 曲線の回帰式とプロットした点（実験値）には高い相関関係が認められた。したがって、本研究の範囲においては、この回帰式を用いてプレート補強した R C はりのプレート剥離疲労強度を求めることができると考えられる。一方、各供試体の疲労寿命と引張鉄筋の疲労寿命を比較すると、 $S_r/(1-S_{min})$ が 0.50 以上の場合、鉄筋の疲労寿命の方が幾分小さくなった。これは試験結果と異なるものであり、示方書に規定されている式が疲労寿命を安全側に与えているためである。したがって、プレート補強した R C 部材の曲げ疲労破壊は、構成材料である鉄筋の疲労性状に基づいて推定すると同時に、繰返し载荷に伴うプレートの剥離性状に基づいて推定する必要があると考えられる。本実験において、プレート補強した R C はりの 200 万回疲労強度は静的曲げ耐力の 50% 程度であり、破壊モードはプレート剥離であった。

4. 結論

- (1) TL-20 荷重に対して設計した R C はりをプレート補強することにより、B 活荷重相当の繰返し荷重が作用しても、補強前のはりの損傷度およびプレート緊張力に関わらず、十分な耐疲労性能が得られた。
- (2) プレート補強した R C 部材の曲げ疲労破壊は、鉄筋の疲労性状と繰返し载荷に伴うプレートの剥離性状に基づいて推定することが必要である。

【参考文献】[1] 濱田譲、阪上徳行、高木宣章、児島孝之：緊張した連続繊維プレートで補強した R C はりの曲げ特性に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.54、セメント協会、pp.446-453、2001.2
[2] Miner, M.A.: Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, Vol.21, pp.A159-A164, 1945
[3] 土木学会：平成 8 年制定コンクリート標準示方書[設計編]、pp.35-36、1996

表 3 疲労試験結果（シリーズ I）

上限荷重 (kN)	I-N-00 (有効緊張応力比=15%)			I-D-50P (有効緊張応力比=50%)		
	繰返し回数 N	疲労寿命 Nsf	被害度 N/Nsf	繰返し回数 N	疲労寿命 Nsf	被害度 N/Nsf
26.0	2,000,000	1.74×10^9	0.0011	2,000,000	—	—
35.8	200,000	2.99×10^7	0.0067	200,000	—	—
45.6	200,000	2.17×10^6	0.0922	200,000	1.27×10^9	0.0002
55.4	200,000	3.02×10^5	0.6623	200,000	2.66×10^7	0.0075
65.2	200,000	6.09×10^4	3.2841	200,000	2.04×10^6	0.0980
75.0	92,461	1.60×10^4	5.7788	200,000	2.91×10^5	0.6873
85.1	—	—	—	67,024	5.74×10^4	1.1677
合計	2,892,461	累積被害度=9.83		3,067,024	累積被害度=1.96	
破壊モード	引張鉄筋の疲労破断			プレート剥離後、引張鉄筋の疲労破断		

注) * 疲労寿命：応力振幅は部分両振り応力状態に対して、永久荷重による応力度は $\sigma_{sp} = 0$ として算定、材料係数 $\gamma_s = 1.0$

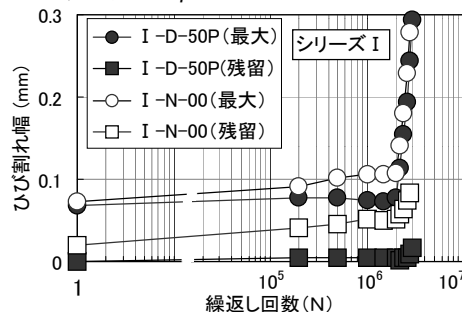


図 2 ひび割れ幅と繰返し回数の関係（シリーズ I）

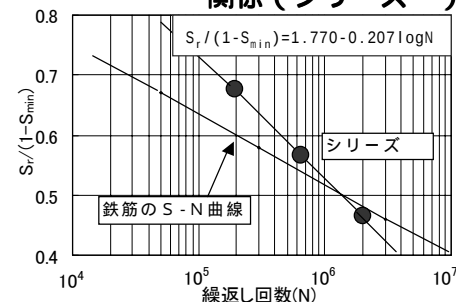


図 3 S-N 曲線（シリーズ II）