

立命館大学理工学部 学生員○池端隼人

立命館大学大学院 学生員 大島正記 学生員 井上真澄

東レ（株） 正会員 鈴川研二 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された炭素繊維プレート（以下プレート）を接着することにより曲げ補強した RC はりの静的および疲労曲げ载荷を実施し、補強された部材の静的耐力、耐疲労性状およびプレートの付着・定着特性に与える繰返し荷重の影響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示し、表 2 に高弾性プレートの力学的特性を示す。また、図 1 に供試体の概要を示す。供試体寸法は 150×240×2000mm、有効高さは 200mm、引張鉄筋比を 1.27%、せん断補強鉄筋比を 0.95%とした。プレートはエポキシ樹脂系接着剤を用いてコンクリートに接着し、炭素繊維シート（以下シート）により端部を U 字補強した供試体 (Type PCS) と、端部を補強しない供試体 (Type P)、無補強供試体 (Type N) の 3 種類の供試体を製作した。载荷条件は支点間距離 1800mm、曲げスパン 360mm、せん断スパン有効高さ比 (a/d) 3.6 の対称 2 点集中载荷とした。

疲労試験の繰返し载荷速度は 0.6~4Hz とし、正弦波による部分片振り繰返し载荷とした。曲げひび割れの発生を確認した後、初期上限荷重 (34.7kN) まで静的载荷を行い、上限荷重到達後、下限荷重を 14.2kN として 200 万回繰返し载荷を行った。その後供試体が破壊するまで、上限荷重を 9.8kN ずつ増加させて順次 20 万回の繰返し载荷を行った。なお、初期上限荷重および下限荷重は、TL-20 荷重で設計された道路橋に B 活荷重および死荷重を载荷した場合の試設計を行い、引張鉄筋の応力度から算出した。

表 1 供試体名称および実験要因

静的試験	供試体名	補強方法	载荷条件	
	N	無補強	曲げひび割れ発生確認後	
	S-P	プレート補強	2.45kN まで除荷し、その後	
疲労試験	S-PCS	プレート補強+シートによる端部補強	供試体の破壊まで単調増加载荷	
	供試体名	補強方法	载荷条件	
	F-P	プレート補強	上限荷重	下限荷重
	F-PCS	プレート補強+シートによる端部補強	34.7~103.4kN (9.8kN ずつ増加)	14.2kN (11%)

表 2 プレートの特性

設計幅	(mm)	50
設計厚	(mm)	1
保証耐力	(kN)	90.2
弾性係数	(kN/mm ²)	261
破断ひずみ	(μ)	6920

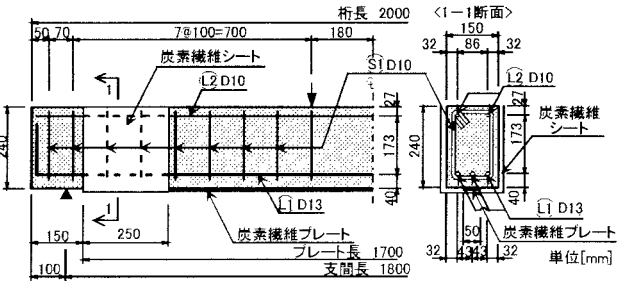


図 1 供試体概要

3 実験結果および考察

静的曲げ载荷試験 表 3 に静的曲げ载荷試験の結果を示す。プレート補強した供試体は、シートによる端部補強の有無に関わらずプレートは破断することなく、

プレートの剥離時に最大荷重に達し、その直後にコンクリートが圧壊して終局に至った。図 2 に荷重-プレート支間中央ひずみの関係を示す。プレートは曲げひび割れ発生段階からはり下面に生じる引張力を効果的に負担することが確認できた。さらに、プレートひずみは引張鉄筋降伏後も最大耐力に至るまで、ほぼ一定の割合で急激に増加した。これは、破壊直前までコンクリートとプレートの間の付着が良好であったことを

表 3 静的曲げ载荷試験結果

供試体名	降伏荷重 (kN)	プレート剥離荷重 (kN)	終局曲げ耐力 (kN)	破壊形式	計算耐力 (kN) ^{*1}		
					(5000 μ) [*]	(6000 μ) [*]	(7000 μ) [*]
N	75.9	—	86.5	曲げ破壊	73.5	73.5	73.5
S-P	98.3	115.1	115.1	プレート剥離 — 曲げ破壊	108.5 [1.06]	116.0 [0.99]	123.2 [0.93]
S-PCS	101.2	121.4	121.4	プレート剥離 — 曲げ破壊	108.5 [1.12]	116.0 [1.05]	123.2 [0.99]

*1: プレートの剥離ひずみを仮定して断面分割法によって算定
*2: 仮定したプレートの剥離ひずみ

示しており、プレートが引張鉄筋降伏後も有効に荷重荷重に抵抗することが確認できた。しかし、破壊直前のプレートひずみは1000 μ 程度 S-PCS 供試体の方が大きい値となっていることから、シート端部U字補強によりプレートの剥離を遅延させる方法を採用するとプレートの剥離ひずみを1000 μ 程度遅延させることが可能であると考えられる。また、S-P 供試体では剥離ひずみを6000 μ 、S-PCS 供試体では剥離ひずみを7000 μ と仮定して、断面分割法によって曲げ耐力を計算した場合に実験値と計算値の比率が0.99 となり、高い整合性が得られた。計算結果からも実験と同様、シートによる端部U字補強を行うことにより、剥離ひずみを1000 μ 程度遅延できることが確認できた。したがって、プレート剥離がコンクリートの圧壊に先行して破壊に至る場合の曲げ耐力は、プレートの剥離ひずみの値を適切に設定することにより十分評価できると考えられる。

疲労曲げ荷重試験 表4に疲労曲げ荷重試験の実験結果を示す。B活荷重に相当する上限荷重(34.7kN)を200万回繰返し荷重してもプレート補強した RC はりは端部補強の有無に関わらず、疲労に対して十分な安全性を有していた。F-P 供試体では上限荷重が103.4kN時に累積繰返し回数約321万回で、F-PCS 供試体では上限荷重が93.6kN時に累積繰返し回数約315万回で破壊に至り、両供試体とも破壊形式は引張鉄筋の疲労破断後のプレート剥離破壊であった。このように、シートによる端部U字補強の有無に関わらず疲労寿命は同程度となっているが、これは、破壊形式がプレートの剥離ではなく引張鉄筋の疲労破断であったためであると考えられる。図3に各上限荷重時の引張鉄筋ひずみおよび残留ひずみと繰返し回数の関係を示す。両供試体における引張鉄筋ひずみの増加傾向はほぼ同じであり、同一繰返し回数時のひずみ量も同程度である。つまり、はり端部のシート補強の有無が引張鉄筋の応力負担に影響を及ぼしておらず、はりの疲労寿命は引張鉄筋の疲労寿命に大きく影響を受けるため、両供試体の疲労寿命が同程度になったものと考えられる。図4に上限荷重時のひび割れ幅および残留ひび割れ幅と繰返し回数の関係を示す。初期上限荷重の荷重中およびその後の上限荷重増加荷重中において、F-P および F-PCS の両供試体でひび割れ幅に大きな差はなく、同様の傾向を示している。このことから疲労荷重下において、シート補強の有無が変形性状に及ぼす影響は小さく、その結果両供試体の疲労寿命が同程度になったものと考えられる。

4 結論

- 1) 静的曲げ荷重試験において、RC はりにプレート接着補強を施すことで無補強供試体に比較して静的曲げ耐力は約1.3倍増加した。また、端部をシートでU字補強することにより、プレート補強のみの供試体に比べて静的曲げ耐力は1.05倍程度増加した。
- 2) プレート補強した RC はりの静的曲げ耐力は、プレート剥離がコンクリートの圧壊に先行して破壊に至る場合には、プレートの剥離ひずみと断面分割法を用いて、十分評価が可能である。
- 3) B活荷重に相当する上限荷重(34.7kN)を200万回繰返し荷重しても、プレート接着補強を行うことにより疲労に対して十分な安全性を有していた。

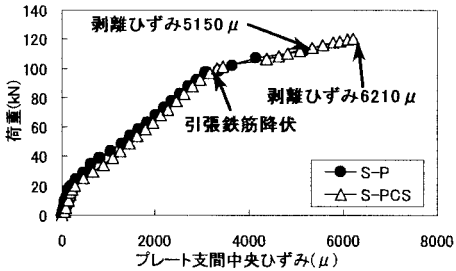


図2 荷重とプレートひずみの関係

表4 疲労曲げ荷重試験結果

供試体名称	最終上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)	繰返し回数	破壊モード*
F-P	103.4	14.2	3209848	B→P
F-PCS	93.6	14.2	3148375	B→P

*1: Bは鉄筋の疲労破断、Pはプレート剥離

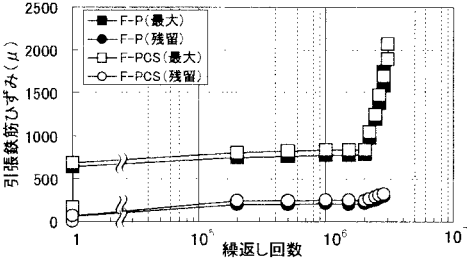


図3 引張鉄筋ひずみと繰返し回数の関係

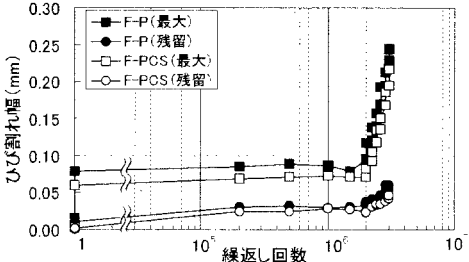


図4 ひび割れ幅と繰返し回数の関係