

炭素繊維シート補強したRCはりの疲労特性に関する実験的研究

福岡大学 ○学生員 大浦克徳
 福岡大学 正 員 大和竹史
 福岡大学 正 員 江本幸雄
 福岡大学 正 員 添田政司

1. はじめに

近年、急速な社会資本の整備によって建設された鉄筋コンクリート構造物の劣化・損傷に対しては様々な補修・補強工法が試みられている。その一つとして、軽量でかつ高い引張耐力を持ち、耐食性に優れた炭素繊維シートを貼付する方法が盛んに用いられるようになった。本研究では、炭素繊維シートで補強したRCはりに疲労試験を行い、基礎的データの少ない曲げ疲労におけるRCはりの挙動と炭素繊維シートの補強効果について検討した。

表-1 使用材料の諸性質

コンクリート			主鉄筋 (SD295A D13)				炭素繊維シート			
圧縮強度 MPa	引張強度 MPa	弾性係数 GPa	断面積 cm ²	降伏強度 MPa	引張強度 MPa	弾性係数 GPa	目付量 g/m ²	厚さ mm	引張強度 MPa	弾性係数 GPa
29.05	2.77	29.50	1.26	333	485	210	300	0.165	3500	235

2. 実験概要

供試体の形状を図-1に示す。供試体の作製に用いたコンクリートの材令28日圧縮強度は290kgf/cm²である。使用材料の物性値を表-1に示す。供試体の種類は無補強のRCはり(Tn)とRCはりの下面に炭素繊維シートを貼付した補強供試体(Tr)の2種類である。供試体の種類は表-2に示す。

Trは予め材令28日のRCはりの下縁に、許容ひび割れ幅0.12mm以下の幅0.1mmのひび割れを与えた後、除荷し炭素繊維シートを貼付したものである。

疲労試験はスパン1,400mmの2点対称載荷で行った。疲労試験は繰り返し載荷速度1.5Hz、上限荷重比Psは同一はりの静的終局耐力に対する百分率で選択した。下限荷重は上限荷重の10%とした。最終繰り返し回数は200万回とした。

3. 実験結果と考察

表-2に使用供試体と疲労試験結果を示す。表より、Tn, Trともに上限荷重比43~51%、44~54%では200万回載荷終了時まで破壊せず、上限荷重比が60%を越えると破壊している。Tnの破壊はすべて曲げ引張破壊となり、Trは支点・載荷点間において引張鉄筋に沿って炭素繊維シートがコンクリートを附着したまま剥落した後、ひび割れが載荷点間に達し破壊した。

ここで、同荷重を載荷したTn-80, Tn-96, Tr-80, Tr-96に注目すると、疲労載荷回数はTrがTnを上回っていることから、疲労耐力の向上が補強効果として現れている。

図-2はひび割れ断面を仮定した弾性計算より算定されるはりの主鉄筋の応力振幅とはりの疲労寿命との関係を示したもので、図中の実線は示方書に規定された鉄筋のS-N線式を描いた。破線は200万回までに疲労破壊したTrとTnの実験値を用いて最小二乗法で求めた実験式である。

図-2より、はりの疲労寿命について土木学会式と実験値を

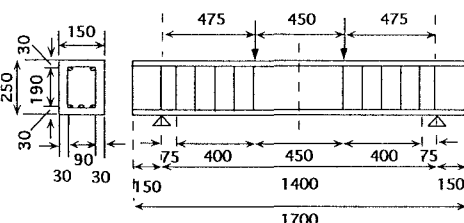


図-1 供試体寸法図

表-2 使用供試体と実験結果

供試体名	上限荷重比 Ps (%)	荷重 (KN) 下限-上限	載荷回数 (回)	破壊様式
Tn-6.0	4.3	6.0-60.0	2.0×10^6	
Tn-6.5	4.6	6.5-65.0	2.0×10^6	
Tn-7.2	5.1	7.2-72.0	2.0×10^6	
Tn-8.0	5.7	8.0-80.0	988665	曲げ破壊
Tn-9.6	6.8	9.6-96.0	456775	曲げ破壊
Tn-10.0	7.0	10.0-100.0	191840	曲げ破壊
Tr-8.0	4.4	8.0-80.0	2.0×10^6	
Tr-8.8	4.9	8.8-88.0	2.0×10^6	
Tr-9.6	5.4	9.6-96.0	2.0×10^6	
Tr-11.0	6.1	11.0-110.0	1215660	せん断付着破壊
Tr-12.0	6.7	12.0-120.0	588770	せん断付着破壊
Tr-13.0	7.2	13.0-130.0	375000	せん断付着破壊
Tr-14.0	7.8	14.0-140.0	155000	せん断付着破壊

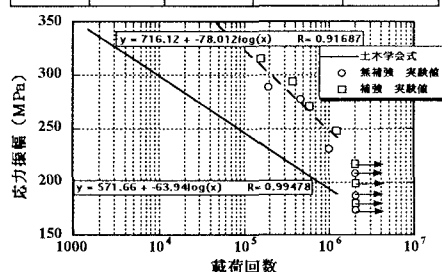


図-2 鉄筋の応力振幅とはりの疲労寿命の関係

比較した。同応力振幅時では、はりの疲労寿命の実験値が土木学会式を上回っている。

図-3に中央断面における変位と載荷回数の関係を、図-4に中央断面における引張鉄筋ひずみと載荷回数の関係を示す。

図-3、図-4より、Tn,Trともに上限荷重比が増加するにつれ、載荷回数増加に伴い変位と引張鉄筋ひずみが増加する傾向が認められる。

同荷重を載荷したTn-80,Tn-96,Tr-80,Tr-96の載荷初回から破壊するまでの性状に注目すると、図-3よりTrの変位はTnの約40%の値で、同様に図-4よりTrの引張鉄筋ひずみはTnの約50%の値で終始安定し破壊しなかった。

また、200万回までに疲労破壊した場合の供試体の変位に注目すると、載荷初回から破壊直前までの変位の増加量はTrがTnを下回っている。例えばTn-100(70%)とTr-130(72%)を比較する。変位増加量はTn-100は77%増、Tr-130は56%増となった。同様に図-4より、鉄筋ひずみの変化に注目すると、ひずみの増加量はTrがTnを下回っている。例えばTn-100(70%)とTr-130(72%)を比較する。鉄筋ひずみ増加量はTn-100は54%増、Tr-130は40%増となった。

なお、スパン中央断面におけるコンクリート上縁、コンクリート側面、鉄筋および炭素繊維シートひずみの測定結果から断面は変形後も平面を保持しているのが確認できた。

以上のことから、Tnと比較してTrは炭素繊維シートを引張下縁部の支点間一面に貼付したため、ひび割れが生じても、シート全体でひび割れ部の引張応力を引張鉄筋と分担できるようになり、その為、はりの断面剛性が向上し、鉄筋にかかる応力を軽減できるようになったと考えられる。したがって、疲労における補強効果として変位増加の抑制や鉄筋ひずみ増加の抑制が認められた。

表-3に載荷時の載荷点間および支点・載荷点間の最大ひび割れ幅を示す。表より、ひび割れ幅は載荷点間においてはTrがTnよりも小さく、支点・載荷点間ではTrがTnよりも大きくなり、曲げ補強としては良い傾向を示さなかった。しかし、載荷点間において疲労によるひび割れ幅を制御する補強効果が認められる。

4.まとめ

本研究で以下のことが認められた。

すでにRCはりの静的載荷試験により炭素繊維シート貼付の有効性を確認しているが、今回、疲労載荷試験(上限荷重比44~78%)においては、変位、鉄筋ひずみ増加の抑制、載荷点間におけるひび割れ幅を制御するといった効果が認められた。しかしながら、疲労破壊形式は静的載荷試験と同様にせん断付着破壊であった為、せん断補強も含めた疲労性状の検討が必要と考えられる。

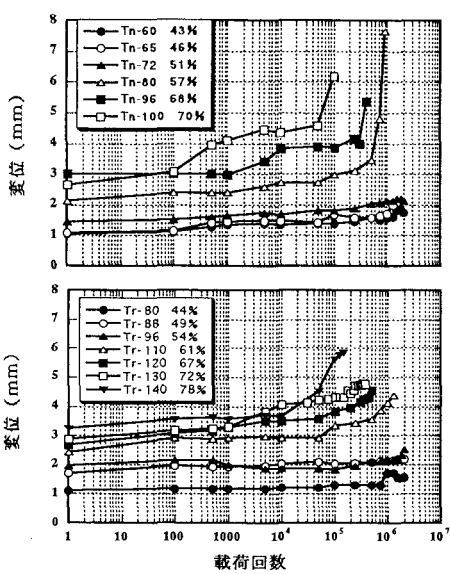


図-3 載荷回数増加に伴う変位の推移

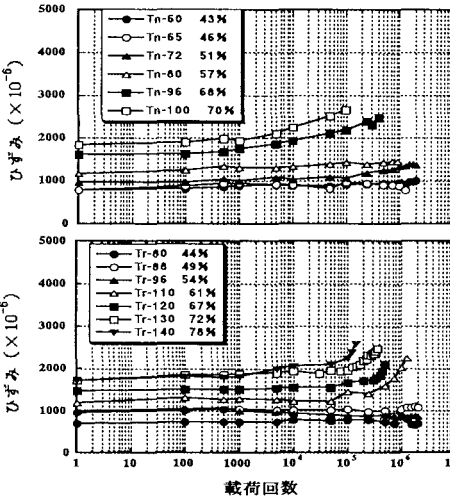


図-4 載荷回数増加に伴う鉄筋ひずみの推移

表-3 疲労載荷による最大ひび割れ幅の比較

	載荷点間 (mm)	支点・載荷点間 (mm)	載荷回数 (回)
Tn-60	0.10	0.08	2000000
Tn-65	0.15	0.08	2000000
Tn-72	0.15	0.08	2000000
Tn-80	0.25	0.10	988665
Tn-96	0.30	0.20	45775
Tn-100	1.20	0.20	19840
Tr-80	0.06	0.10	2000000
Tr-88	0.06	0.13	2000000
Tr-96	0.08	0.15	2000000
Tr-110	0.10	1.20	1215660
Tr-120	0.10	1.80	588770
Tr-130	0.10	1.50	375000
Tr-140	0.10	1.40	155000