

CF ロッドと PVA 繊維でせん断補強した RC はりの耐疲労性に及ぼす補強材の相乗効果

日本大学 学生会員 ○林 和希 (株)復建技術コンサルタント 正会員 飯土井 剛
横浜国立大学 正会員 藤山 知加子 日本大学 正会員 子田 康弘

1. はじめに

水の浸入を受ける RC 床版の耐疲労性は著しく低下する。既往の RC 床版の耐疲労性に関する研究成果として、単鉄筋断面かつ炭素繊維(以下, CF)グリッドと PVA 繊維(以下, PVA)による補強を施すことで耐疲労性が向上することが判明した。加えて補強材の組合せによる相乗効果の可能性も示唆されたが未だ最適補強量の定量評価には至ってはない。そこで本研究では、疲労作用下の相乗効果と補強材の適量を評価するため、はり供試体による定点の疲労載荷試験を実施した。

2. 実験概要

本実験では、まずせん断補強筋としてせん断分担力の算出を簡単にするため CF ロッドを使用した。表-1 に、実験条件を示す。表より、CF ロッドによるせん断補強筋比が 0%, 0.67%(3 本), 0.89%(4 本), および 1.12%(5 本)の 4 条件, PVA 混入が 0%, 0.25%, 0.50% の 3 条件であり、これらを組み合わせた 7 条件とした。なお、表中の n は供試体数である。図-1 に、供試体形状の概要を示す。図より、供試体は、寸法を高さ 200mm×長さ 1000mm×幅 100mm とし、主鉄筋に SD295AD13 を 2 本配置した単鉄筋矩形コンクリートはりである。ここで、斜めひび割れの発生によるせん断破壊領域を制御するため、検討範囲(図中の赤枠)を設け、反対側は SD295AD10 のスターラップでせん断補強を施し、更に曲げ疲労破壊を防ぐため CF シート下面補強を施した。検討範囲への CF ロッドの配置は、せん断スパン内で等間隔になるよう配置した。表-2 にコンクリートの配合を示す。供試体には呼び強度 30 のレディミクストコンクリートを使用し、PVA は供試体作製直前に添加した。圧縮強度は PVA 無が 31MPa, 有が 33MPa であった。表-3 と表-4 には、CF ロッドと PVA の物性値を示す。疲労載荷試験は、定点載荷試験装置(写真-1)を用いた対象 2 点集中荷重方式とした。上限荷重は無補強供試体(CF ロッド 0%, PVA0%)の斜めひび割れ発生荷重 70kN とその 80%とし、下限荷重は 5kN とした。疲労荷重は正弦波として与えた。載荷速度プログラムは、1 万回まで 0.5Hz, 5 万回まで 1.0Hz, 100 万回まで 1.5Hz であり、これ以降は 2.0Hz とした。疲労載荷試験における計測項目は、目標載荷回数終了時点で上限荷重を載荷した際の供試体中央変位と載荷回数とした。ここでは、載荷試験は実施中であり試験が終了した結果を報告する。

表-1 実験条件

せん断補強筋比	PVA混入比		
	0%	0.25%	0.50%
0.00%	○ n=1		○ n=1
0.67% (3本)	○ n=2	○ n=2	○ n=2
0.89% (4本)			○ n=2
1.12% (5本)			○ n=2

n:供試体数

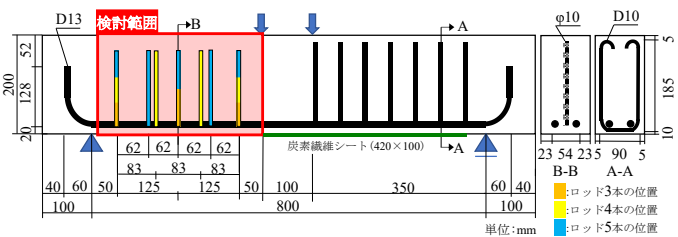


図-1 供試体の概要

表-2 コンクリートの配合

粗骨材最大寸法(mm)	スランブ(cm)	水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)					
					水	セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
20	18	51.5	4.5	47.9	184	358	417	407	936	3.58

表-3 CF ロッドの物性値

引張強度(MPa)	ヤング係数(GPa)	外形(mm)
2200以上	165±10%	9.8±0.2

表-4 PVA の物性値

直径(μ)	標準長(mm)	引張強度(MPa)	切断伸度(%)	ヤング係数(GPa)
660	30	900	9.0	23



写真-1 実験状況

3. 実験結果及び考察

図-2 に、静的荷重試験における荷重-変位関係を示す。図より、斜めひび割れの目視確認は約 70kN であった。その後 76.6kN で斜めひび割れが明らかに進展し変位の増加が見られた。なお、最大荷重は 96.4kN であった。図-3 に、上限荷重 70kN とした疲労荷重試験結果を示す。図より、疲労破壊回数は、PVA 混入率 0%が 1067 回、0.25%が 3441 回、そして 0.50%が 681 回であった。全体的に斜めひび割れ発生荷重での疲労荷重試験は繰返し荷重回数を増加させることなく疲労破壊に至る結果であり、せん断破壊に近い状態における耐疲労性はほぼ期待できないと考えられた。次に、個別の疲労破壊回数に着目すると、PVA 混入率 0%よりも 0.25%の方が回数は多く、PVA によるひび割れ進展抑制が耐疲労性の向上に寄与したといえるが、0.5%では 0%よりも回数が僅かに下回るという結果を得た。この理由については次の試験結果とともに考察する。図-4 に、上限荷重 56kN とした疲労荷重試験結果を示す。まずひび割れの進展は、初回荷重時点では斜めひび割れは発生しておらず、繰返し荷重回数の増加に従って斜めひび割れの発生と進展が観察された。次に、図より疲労破壊回数は、PVA 混入率 0%が 43.6 万回、0.25%が 370 万回、そして 0.50%が 530 万回と明らかに回数は増加し、混入率の増加によっても疲労破壊回数は増加する傾向を示した。しかし、0.25%と 0.5%の疲労破壊回数の差は 160 万回であり、混入率が 2 倍にはなっているものの回数の増分は倍増とまでには至らなかった。また、中央変位の増加傾向に着目すると、0%破壊時までは 3 供試体とも同様の増加傾向を示しており、その後、0.25%は破壊するまでの変位の増加も大きい傾向であった。これに対して、0.5%は繰返し回数の増加にともなう変位の増加の傾向は、初期からほとんど変化がなかった。しかしながら、疲労破壊時に着目すると 0.25%と 0.5%の中央変位の差は 0.5mm あり、0.5%は図のように突如たわみが急増し破壊に至る様相を呈した。これは、PVA 混入率が高くなると、ひび割れ開口抑制には効果的だが、見かけ上の剛性が高い状態で疲労を受け続けることで、圧縮側コンクリートが疲労強度に達し破壊に至ると推察された。よって、上限荷重 70kN においても 0.5%は圧縮側コンクリートが疲労強度に達したと可能性がある。

4. まとめ

本研究より、耐疲労性は、PVA 混入量の増加に見合うように必ずしも向上するとは言い難い結果を得た。今後は、現在実施中の CF ロッド補強量の変化と耐疲労性の関係性を評価し、これら材料の疲労に対する個々の効果および相乗効果を定量評価するため実験のみならず、解析を加えた両面から検討を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、（一財）橋梁調査会「橋梁技術に関する研究開発助成」により実施した。また、材料の提供を三菱ケミカルインフラテック株式会社 長谷川氏、株式会社クラレ 川島氏、合同会社マーベル 久末氏より受けた。ここに記し謝意を表します。

【参考文献】1)大内凌輔，子田康弘：輪荷重走行試験による水の浸入に起因した耐疲労性の低下を抑制する RC床版断面の考案，令和3年度土木学会全国大会，V-529，2021。

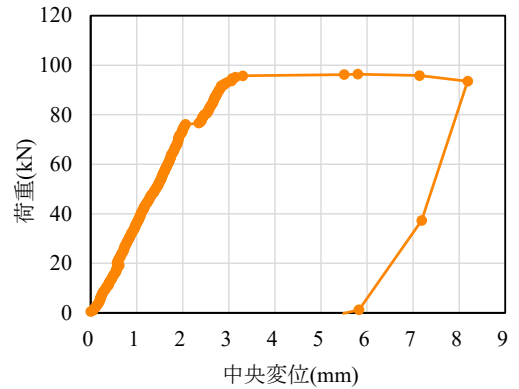


図-2 静的荷重-変位関係

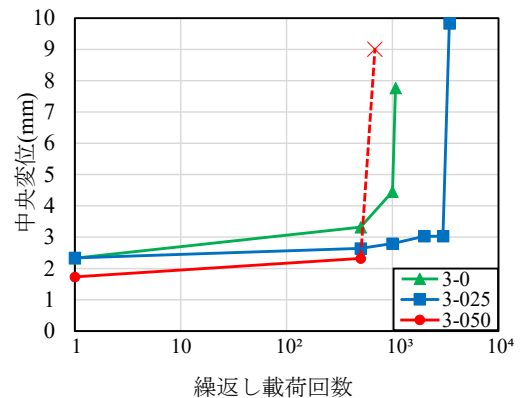


図-3 中央変位と繰返し荷重回数
（上限荷重 70kN）

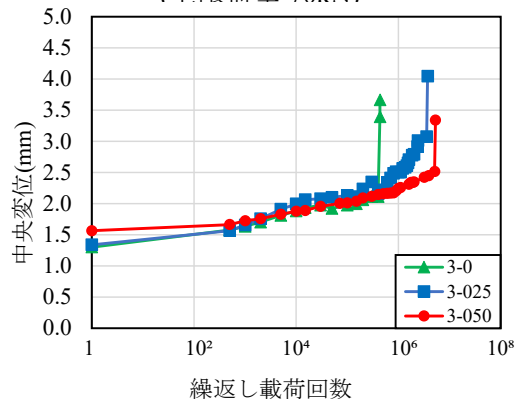


図-4 中央変位と繰返し荷重回数
（上限荷重 56kN）