

CF ロッドと PVA 繊維でせん断補強した RC はりの耐疲労性に関する FEM 解析

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。また、補強材の補強量による相乗効果の可能性示されたが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より、耐疲労性を実験的に検討した²⁾。その結果、PVA と炭素繊維の両方とも耐疲労性に及ぼす影響が大きいことが分かった。そこで、PVA と炭素繊維の耐疲労性に関する相乗効果を明らかにすることを目的に、本実験と同様の供試体モデルを用いた 3 次元非線形有限要素解析³⁾による検討を行った。

2. 実験概要及び解析方法

本実験では、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 混入率が 0%, 0.25%, 0.50%の 3 条件を組み合わせた 7 条件とした。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状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 30MPa のレディー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。

表-3 と表-4 には、PVA と CF ロッドの物性値を示す。疲労試験では対称 2 点集中荷重方式とし、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 の 80%, 下限荷重は 5kN とした。次に疲労解析は、解析コード COM3 を用いて 3 次元非線形有限要素解析を行った。供試体モデルは図-1 に示す供試体であり、ここでは、CF ロッド 3 本で PVA 混入率が異なる 3 体について、その耐疲労性を解析した。供試体モデルは、コンクリートと鉄筋をソリッド要素、CF ロッドには節点間を結ぶ線要素でモデル化した。各要素の物性値は表-5、表-6 の通り設定した。また、供試体全体のひずみ分布は Paraview を用いて視覚化した。解析項目は、供試体中央変位と載荷回数、およびコンクリート側面と内部のコンクリートひずみとし、実験結果と照合した。

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

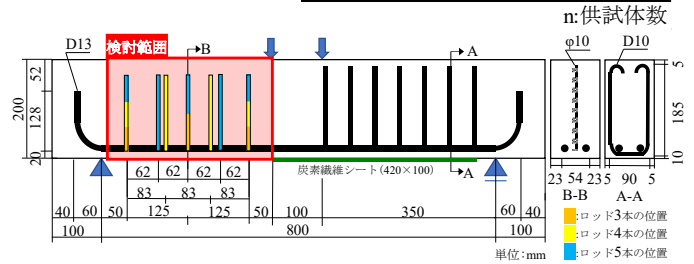


図-1 供試体の概要

表-2 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スラン プ (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 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

表-4 CF ロッドの物性値

ヤング 係数 (GPa)	断面積 (mm ²)	強度 (MPa)
165	75.42	2200

表-5 鉄筋の物性値

鉄筋	ヤング 係数 (GPa)	降伏 強度 (MPa)	塑性 ひずみ	引張 破断強度 (MPa)	引張破断 ひずみ (μ)	ポア ソン比	単位体積 重量 (kN/m ³)
D10	199	411	0	516	2066	0.3	0.0078
D13	194	387		512	1992		

表-6 コンクリートの強度試験結果

短繊維 混入率 (%)	ヤング 係数 (GPa)	圧縮 強度 (MPa)	引張 強度 (MPa)	ポア ソン比	単位体積 重量 (kgf/cm ³)
0	26.8	31.7	2.48	0.2	0.0025
0.25	26.4	33.2	2.78		
0.50	26.2	33.3	3.32		

キーワード 炭素繊維ロッド, 短繊維, 耐疲労性, FEM 解析

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 TEL 024-956-8721

3. 解析結果及び考察

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、実験値では斜めひび割れの目視確認は 70.0kN 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も見られた。なお、最大荷重は 96.4kN であった。解析値は、実験値よりも剛性が高い。これは荷重治具の変位や荷重初期の治具緩衝材の沈みなどが影響していると考えられる。しかし、20kN から鉄筋降伏までの剛性の変化は実験値と解析値は概ね一致した。また、最大荷重は約 106.0kN となり、実験値を若干上回る結果となった。図-3 に実験と解析で得た繰返し荷重回数-中央変位の関係を示す。図より疲労破壊回数は、実験値では PVA 混入率 0%が 43 万回、0.25%が 370 万回、0.5%が 530 万回、解析値では PVA 混入率 0%が 81 万回、0.25%が 639 万回、0.5%が 1390 万回となった。実験結果と同様に混入率の増加に伴って疲労破壊回数が増加する傾向を示したが、実験値と解析値の疲労破壊回数を比較すると約 2 倍の疲労破壊回数の違いがみられた。しかし、3-0 に対する 3-025 と 3-050 の疲労破壊回数を比較すると、3-025 は実験値と解析値ともに約 8 倍、3-050 は実験値が約 12 倍、解析値が約 17 倍と解析の疲労破壊回数が実験値と乖離してはならず、相対的な傾向は解析されていると判断した。図-4 に、疲労破壊回数に達した時のせん断ひずみコンター図を示す。なお、検討区間は図の左側である。図より、まず PVA 混入率 0%(3-0)、0.25%(3-025)、0.5%(3-050)と混入率が高くなるほど、せん断ひずみ領域が小さくなる傾向であり、またせん断ひずみ値が大きい範囲も減少しているように見て取れる。次に、PVA 混入率 0%、0.25%と 0.5%の疲労破壊状況は、PVA 混入率 0%、0.25%がせん断ひずみの進展領域が荷重点下までに達している。これに対して、PVA 混入率 0.5%では、その領域が荷重点に進展することはなく疲労破壊に至っており、せん断破壊を抑制していたがわかる。このことから、CF ロッド 3 本のせん断筋補強量一定の場合、PVA 混入率の増加による架橋効果の向上と斜めひび割れの進展抑制とが相まって耐疲労性が向上したと解析上からは解釈された。破壊モードが変化することがわかった。

4. まとめ

本検討より、PVA 混入率の増加に伴い疲労破壊回数が増加した。CF ロッドによるせん断補強が施された状態で PVA 混入率を増加させることで架橋効果は向上し、せん断破壊領域を抑制させ、結果的に耐疲労性が向上すると考えられた。今後の解析的検討は、PVA 混入率 0.5%に対する CF ロッドの本数の違いによる耐疲労性の相乗効果について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) 長谷川氏、(株)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)大内凌輔他：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。
 2)林和希他：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，令和4年度土木学会全国大会，V-309，2022。
 3)藤山知加子他：3次元非線形FEM解析に基づく移動荷重下の鋼・コンクリート合成床版破壊過程の考察，土木学会論文集A1(構造・地震工学),Vol.70,No.2,227-237,2014。

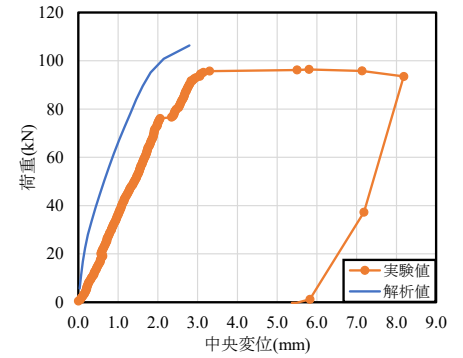


図-2 静的荷重-変位関係

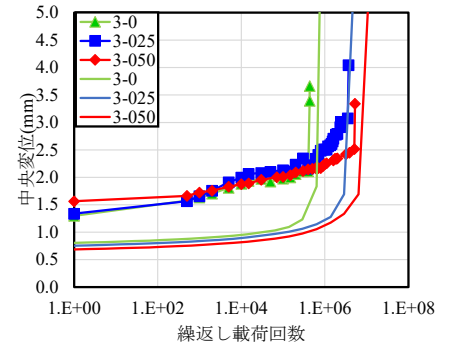


図-3 中央変位と繰返し荷重回数

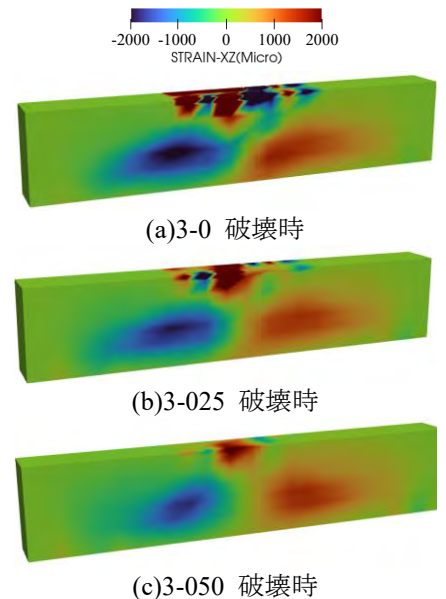


図-4 疲労破壊時のせん断ひずみ