

引張応力が繰返し作用する UFC の力学的特性に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○永井勇輔 一宮利通
阪神高速道路(株) 正会員 小坂 崇 濱崎浩太

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を用いたワッフル型 UFC 床版の破壊モードおよび損傷進展過程を非線形有限要素解析によって明らかにするための構成則の設定を目的として、引張応力が繰返し作用する UFC の力学的特性を検討している。これまでに圧縮応力を作用させた繰返し載荷試験を実施しており¹⁾、本検討では引張応力度を作用させた載荷試験による UFC の力学的特性を検討した。

2. 試験体製作

UFC の配合を表-1 に示す。試験体は図-1 に示すドッグボーン型とし、静的載荷および繰返し載荷試験用に各3体製作した。試験体は、常温の封かん養生を24時間行った後、85℃の蒸気養生を24時間行った。

3. 静的載荷試験

繰返し載荷試験に先立ち、繰返し載荷試験の上限応力決定に用いる引張強度の把握および計測方法の検討のため、静的載荷試験を実施した。試験は200kN 万能試験機に図-1 に示す試験治具を接続し、試験体のテーパ部と治具を接触させて引張力を与えた。接触面には、試験体の偏心曲げを防ぐため、厚さ1mm程度のゴムを緩衝材として挟んだ。載荷は0.5mm/minの変位制御にて行った。微細なひび割れが増加する挙動確認の検討のため、くびれ部の4側面に対して荷重作用方向にひずみゲージ(ゲージ長60mm)を設置し、ひずみを計測した。また、ひび割れ幅増大に伴う応力低下の確認の検討のため、テーパ部上下20mmを含むくびれ部140mmを標点区間として変位計を2箇所設置し、変位を計測した。計測状況を写真-1 に示す。

載荷終了後の試験体を表-2 に示す。いずれの試験体も100mmの直線部に微細なひび割れが複数発生し、その後、1本のひび割れの幅が増大して応力が低下した。1、2体目のひび割れはひずみゲージ内でひび割れ幅の増大が進行した。3体目のひび割れ幅の増大はひずみゲージ外で進行したが、変位計の標点区間内であった。

ひずみゲージで計測した応力-ひずみ関係を図-2 に示す。試験体1、2体目は、ひび割れ発生直後にひずみが急激に増加してひずみゲージが破断したため、ひずみゲージから微細なひび割れの増加挙動は計測できなかった。一方で、図-3 に示す応力-変位関係では、ひび割れ発生直後の応力低下、鋼繊維の架橋による応力の再増加、0.5mm以降のひび割れ幅増大に伴う応力低下が確認できた。さらに、変位を標点区間長で除して算出したひずみ(図-4)とひずみゲージで計測したひずみ(図-2)を比較したところ、ひび割れ発生までの弾性挙動は同様の挙動をしており、変位計で

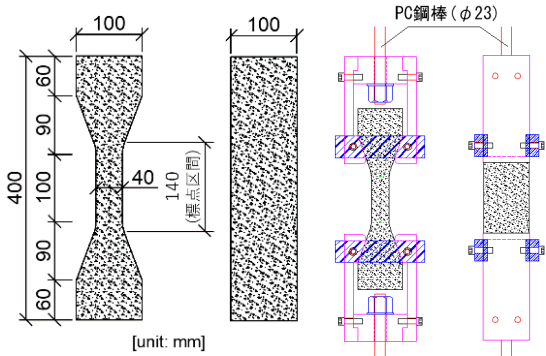


図-1 試験体および試験治具

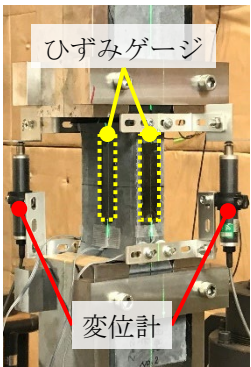


写真-1 計測状況

表-1 UFC の配合

単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 ^{*3}
水 ^{*1}	結合材 ^{*2}	細骨材	高性能減水剤	
195	1287	905	32.2	1.75vol.%

*1: 高性能減水剤中の水分を含む

*2: エポキシ樹脂生成系プレミックス結合材

*3: 繊維長 15mm および 22mm, 径 0.2mm, 引張強度 2,000N/mm² 以上

表-2 静的載荷終了後の試験体

1 体目 (f _t =12.1)	2 体目 (f _t =11.4)	3 体目 (f _t =10.9)

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、疲労破壊、非線形有限要素解析、繰返し作用、力学的特性

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6761

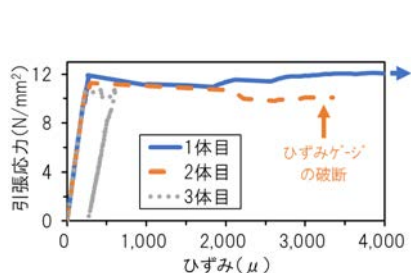


図-2 引張応力-ひずみ関係

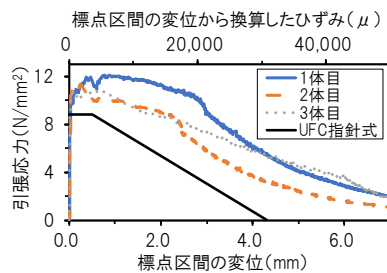
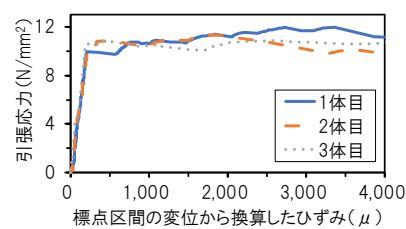


図-3 引張応力-変位関係

図-4 引張応力-標点区間の
変位から換算したひずみ

の計測によりひずみが小さい領域の挙動を把握できることを確認した。また、図-3 内に文献 2) で定義される引張軟化曲線モデル²⁾を示す。本モデルは曲げ試験体の逆解析から求められているが、本試験結果と近い形状が得られており、本引張試験により UFC の引張軟化曲線を直接計測できる可能性が示された。

4. 繰返し载荷試験

引張応力が繰返し作用する UFC の力学的特性を把握するため、繰返し载荷試験を実施した。载荷は 500kN サーボパルサを用い、試験方法および計測項目は静的载荷試験と同様とした。上限応力は静的载荷試験で得られた平均引張強度の 80%、60%、40%とし、载荷速度は 5Hz とした。

試験結果を表-3 に示す。T-80 と T-60 試験体は、ひずみゲージ内および変位計の標点区間でひび割れが進行しており、T-40 試験体では、目視によるひび割れは確認されなかった。

载荷回数と弾性係数の関係を図-5 に示す。弾性係数は、上限作用応力をひずみゲージで計測した上限応力作用時の平均ひずみで除して算出した。T-80、T-60 試験体はそれぞれ载荷回数 5 回、4,000 回付近で弾性係数が急激に減少し、その後比較的少ない回数で破壊した。この急激な弾性係数の減少時点で、試験体に目視で確認できる微細なひび割れが確認された。T-40 試験体は、载荷回数 640 万回まで大きな変動は確認されなかった。

载荷回数と変位の関係を図-6 に示す。T-80、T-60 試験体は、変位が 0.5mm に到達した付近から、急激な変位の伸びが確認された。静的载荷試験で確認された応力-変位関係（図-3）においても 0.5mm 付近から引張応力が減少しており、応力が 1 本のひび割れに集中してひび割れ幅が増加したと考えられる。T-40 試験体の変位は、载荷回数 640 万回到達後で 0.05mm 以下であった。

図-5 および図-6 を比較すると、T-80、T-60 試験体は、急激な弾性係数の減少が確認された回数付近では変位に大きな変化は見られないが、試験体が破壊した载荷回数に近づくにつれて、変位の急激な増加が確認された。以上より、引張の繰返し载荷試験による損傷進展過程は、試験体の微細なひび割れ発生までは载荷回数と弾性係数の関係を、試験体が破壊するまでの過程は载荷回数と変位の関係を用いて評価できると考えられる。

5. おわりに

今後、UFC 床版の破壊モードおよび損傷進展過程を把握するため、限られた数の試験結果であるが、本結果を踏まえた解析モデルの検討および UFC 梁部材の再現解析に反映させる予定である。

本検討にあたり、横浜国立大学藤山知加子准教授にご指導を頂きました。深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 濱崎ら：動的小および静的圧縮試験による UFC の剛性変化に関する検討，土木学会第 75 回年次学術講演会 講演論文集，V-218，2020
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），2004

表-3 繰返し载荷試験結果

引張強度 (N/mm ²)	試験 ケース	作用応力 (N/mm ²)		破壊した载荷回数 N (回)
		下限	上限	
$f_t = 11.5$ (average)	T-40	0.5	$0.4 \times f_t = 4.6$	640 万回(破壊せず)
	T-60	0.5	$0.6 \times f_t = 6.9$	82,888
	T-80	0.5	$0.8 \times f_t = 9.2$	26,412

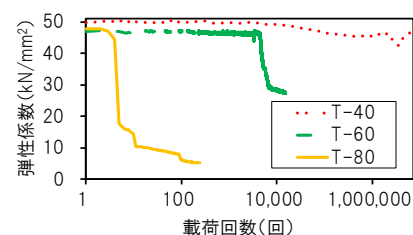


図-5 载荷回数-弾性係数

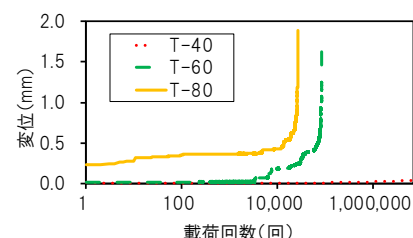


図-6 载荷回数-変位