

動的小よび静的圧縮試験による UFC の剛性変化に関する検討

阪神高速道路株式会社 建設事業本部 神戸建設部 正会員 ○濱崎 浩太 正会員 小坂 崇
鹿島建設株式会社 技術研究所 正会員 一宮 利通 正会員 永井 勇輔

1. はじめに

UFC 床版の耐疲労性に関する検討は、これまで輪荷重走行試験によって行っており、設計供用期間に相当する車輛の繰返し走行に対して十分に高い耐疲労性を有していることを確認している。ただし、輪荷重走行試験では、UFC 床版が破壊に至らずに試験を終了しており、UFC 床版の破壊に至る疲労損傷の進展過程が明らかになっていない。本報文は、以上のような UFC 床版の疲労損傷に関する基礎的な検討として、UFC 部材の圧縮繰返し作用に対する材料特性を把握するために、動的圧縮試験と静的圧縮試験を実施し、圧縮力の繰返し作用に対する剛性変化について検討した内容を報告するものである。

2. UFC の材料特性

今回の試験では、UFC の中でもエトリンライト生成系 UFC（以下、AFt 系 UFC）を使用した。技術評価報告書¹⁾よりまとめた、材料特性を表-2.1 に示す。圧縮強度 180N/mm²、引張強度 8.8N/mm²と超高強度であり、鋼繊維を混入することから、高靱性、高耐久性なセメント質複合材である。構造物に適用することで、断面の縮小や構造物の軽量化、高耐久化を達成することができるセメント質複合材といえる。

3. 試験概要

3.1 試験体

試験体の配合諸元を表-3.1 に示す。試験体の寸法について、圧縮強度試験はφ100×200mm を基本としているが、今回は載荷装置の容量から、φ50×100mm とした。本数は静的圧縮試験用に3体、動的圧縮試験用に3体の計6体用意した。

3.2 圧縮試験手順

材料試験として、静的圧縮試験と動的圧縮試験を実施した。試験状況を写真-3.1 に示す。200kN アムスラ（静的載荷）、500kN サーボパルサ（動的載荷）を用い、計測は荷重、ひずみゲージ4箇所/体、コンプレッソメータで実施した。載荷期間は、200万回程度（5日）、10万回程度（2日）、数千回程度（1日）、合計8日間とし、最初に10万回程度で破壊が想定される試験を行った後、繰返し載荷を停止し、静的載荷試験を行ってデータを取得した。繰返し載荷時の静的計測と動的載荷時の計測で剛性に違いが無ければ、動的計測で取得したデータから剛性を評価する。計測項目はひずみゲージを4箇所（対になる両側面の鉛直・水平方向）であり、試験ケースは動的試験において、下限荷重を2kN、変動荷重を60%,70%,80%（351.7, 307.7, 263.8kN）として実施した。

表-2.1 AFt 系 UFC の材料特性

圧縮強度		180 N/mm2
ひび割れ発生強度		8.0 N/mm2
引張強度		8.8 N/mm2
ヤング係数		4.6×10 ⁴ N/mm2
ポアソン比		0.2
熱膨張係数		13.0×10 ⁻⁶ /°C
収縮ひずみ	二次養生開始以降	400～450×10 ⁻⁶
	二次養生終了以降	50×10 ⁻⁶
クリープ係数		0.7

表-3.1 試験体の配合諸元

No.	単位量 (kg/m ³)							鋼繊維 (1.75Vol%) (kg)	
	水	固形分 補正	補正後 計量値	セメント	骨材	高性能 減水剤	消泡剤	L15mm	L22mm
示方 配合	W	W'	W+W'	C	S	SP	DA		
	195	9.7	205	1287	905	32.2	6.4	68.7	68.7



写真-3.1 試験状況

キーワード UFC, AFt 系 UFC, 圧縮疲労破壊, 繰返し作用, 材料特性, 弾性係数

連絡先 〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町 16-1 阪神高速道路株式会社 TEL078-331-9801

4. 試験結果および考察

4.1 繰返し作用に対する弾性係数の変化

圧縮強度の 60%, 70%, 80% の応力振幅（以下, 60%, 70%, 80% という）の試験体で蒸気養生後の $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 試験体の静的試験結果は, 圧縮強度: 224.5N/mm^2 , ヤング係数: 46.4N/mm^2 , 最大荷重: 439.6kN であった. 表-4.1 に载荷後の試験体, 図-4.1 に载荷回数-弾性係数を示す. 点が静的試験の結果であり, 曲線が動的試験の結果である. ヤング係数は, 静的試験, 動的試験ともに载荷回数が増加するにつれ弾性係数が低下している. 60%と 70%は弾性係数の初期値が 44kN/mm^2 ほどであることに對し, 80%は 42kN/mm^2 ほどである. これは試験体ごとののばらつきであると推測され, AFt 系 UFC の初期载荷時の弾性係数は $42 \sim 50\text{kN/mm}^2$ である¹⁾ため, 許容範囲内のばらつきであると言える. また, 60%と 70%は弾性係数が急激に落ち込む変曲点が見られることに對し, 80%は载荷回数が 1000 回ほどで変曲点が無いまま試験が終了しているが, これは载荷回数 1000 回付近でひずみゲージが切れたためである. 60%に関しては, 破壊まで至らなかった. 所定の計測期間を超え, 再度試験を再開したこともあり, 1000000 回付近で動的曲線は乱れているが, 静的曲線は滑らかに弾性係数が下降しているのが確認できる.

5. 疲労強度の比較

図-4.2 に繰返し回数-疲労強度を, 式(1)に疲労強度 f_d を算定する式を示す. 図中の直線は式(1)によるものである.

$$f_d/f_d = k_{1f}(1 - \sigma_p/f_d)(1 - \log N/K) \quad (1)$$

ここで, f_d は UFC の圧縮強度 (コンクリート標準示方書での f_d は $f_{ck}=50\text{N/mm}^2$ に対する強度を上限とするとあるが, 今回は $f_{ck}=180\text{N/mm}^2$ である UFC に仮で適用した), k_{1f} は安全側に評価するための低減係数 ($=0.85$), σ_p は永久荷重によるコンクリートの応力度, N は疲労寿命, K はコンクリートの状態に関する係数 ($=17$) である. 図-4.2 に示す「設計強度」は圧縮強度を材料係数 1.3 で割った値から算出したもの, 「実強度」は材料係数を 1.0 として, 「低減係数なし」は算定式の係数 k_{1f} を 1.0 として算出したものである. 本報文と同じ寸法の試験体を用いて行われた一宮ら³⁾の試験結果も図-4.2 に示している. 本試験では既往の研究と同様な結果が得られており, いずれも土木学会式で安全側に評価できると考えられる.

6. おわりに

今回の試験から, UFC の载荷回数に応じた弾性係数の変化, 疲労強度の相互性が明らかとなった. 今後は UFC 床版の設計で使用する応力振幅を想定した, 更に低い圧縮応力での試験結果について検討することも考えている. 今回の結果から, 60%よりも低い耐力では試験体の破壊までは確認することができないと考えるため, 今回の試験結果を用いて, 载荷回数に対する弾性係数, 応力振幅の推測式を導出できればと考える. また, 弾性係数の低下率および残留ひずみが, 疲労にどのような影響を与えるかも検討していく.

本研究では, 横浜国立大学の藤山知加子准教にご指導を頂きました. ここに深く感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」技術評価報告書, 技術推進ライブラリーNo.3, 2006.11
- 2) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編], 2018.3
- 3) 鋼床版と同等の軽量かつ耐久性の高い UFC 道路橋床版の開発, プレストレストコンクリート論文, 2014.1

表-4.1 载荷後の試験体

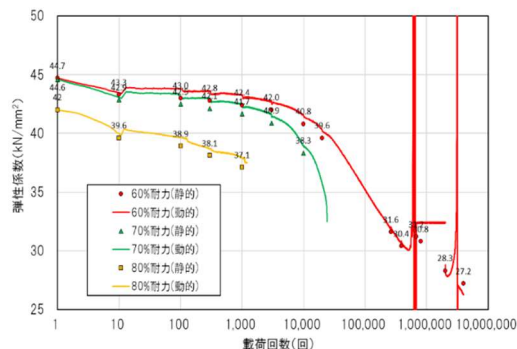
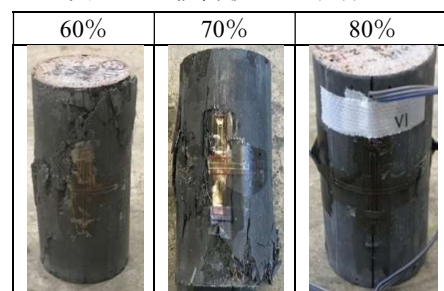


図-4.1 载荷回数-弾性係数

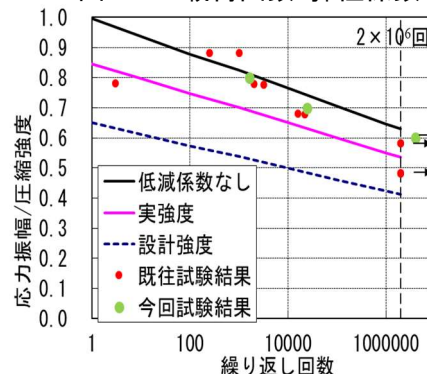


図-4.2 繰返し回数-応力振幅