

## 損傷を受けた UFC はり部材の静的繰返し载荷試験による累積損傷度評価

阪神高速道路株式会社 正会員 ○瀧崎浩太 正会員 小坂 崇  
 横浜国立大学大学院 学生会員 徳武恭一 正会員 藤山知加子  
 鹿島建設株式会社 正会員 一宮利通 正会員 永井勇輔

### 1. はじめに

エトリングイト生成系（以下、AFt系という）UFC<sup>1)</sup>は、圧縮強度 180N/mm<sup>2</sup>、引張強度 8.8N/mm<sup>2</sup>と超高強度なセメント質複合材である。阪神高速道路（株）が鹿島建設（株）と共同で開発している AFt系 UFC を用いたワッフル型 UFC 床版は、スラブと床版下面に 2 方向のリブを有し、部材内 2 方向にプレテンション PC 鋼材を配置しプレストレスを導入した床版である。既往研究において、UFC 床版については、輪荷重走行試験により高い耐疲労性を有していることを確認している<sup>2)</sup>。しかし、輪荷重走行試験では破壊には至っておらず、疲労による損傷の進展過程が明らかになっていない。本報文は、輪荷重走行試験後の UFC 床版から採取したはり部材の静的繰返し载荷試験結果を用いて累積損傷度を算定し考察した。

### 2. はり部材の静的繰返し载荷試験

#### (1) 試験体

はり部材の静的繰返し载荷試験の試験体は、過年度に実施した輪荷重走行試験<sup>2)</sup>による荷重載荷後のワッフル型 UFC 床版から一部を切り出したはり試験体とした<sup>3)</sup>。輪荷重走行試験では、合計 40 万回、最大 400kN の階段状載荷している。輪荷重走行試験後のひび割れ状況を図-1 に示す。図-2 にはりの切り出し図を示す。輪荷重走行位置から離れている、損傷程度の小さい試験体から順に Beam-1, 2, 3 と呼称する。

#### (2) 载荷および試験結果

はり部材の静的繰返し载荷試験は、図-2 に示す 4 点曲げ載荷とした。表-1 に試験体別の載荷荷重、写真-1 に Beam-1 から Beam-3 の静的繰返し载荷試験後の破壊状況を示す。試験結果は表-2 に示す通り破壊時の載荷回数  $n_i$  は、Beam-1 が 105kN で 11 回、Beam-2 が 94kN で 43 回、Beam-3 が 82kN で 35 回であった<sup>3)</sup>。いずれの試験体も、下縁側から曲げひび割れが進展後、スラブが圧壊する曲げ圧縮破壊であった。

### 3. はり部材の静的繰返し载荷試験時の累積損傷度の評価

#### (1) 評価方法

2.(2)に示す試験結果を踏まえ、曲げ圧縮疲労破壊する仮定の下でコンクリート標準示方書<sup>4)</sup>に示される曲げ圧縮の設計疲労強度式（式-1）を用いて、はりの疲労寿命  $N_i$  を算定した。

$$f_{rd} = 0.85f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(1 - \frac{\log N_i}{17}\right) \cdots \text{式-1}$$

キーワード UFC, AFt系 UFC, 輪荷重走行試験, はり部材の静的繰返し载荷試験, 累積損傷度  
 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 TEL : 078-331-9801

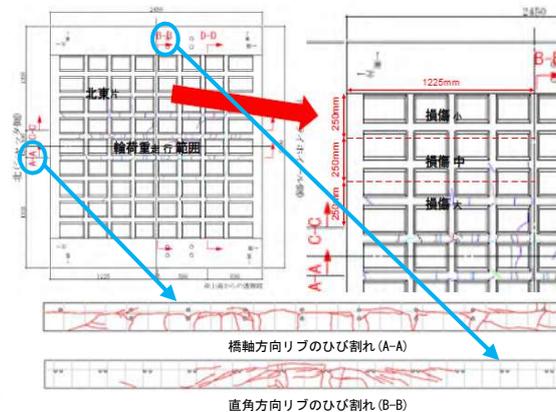


図-1 輪荷重走行試験結果

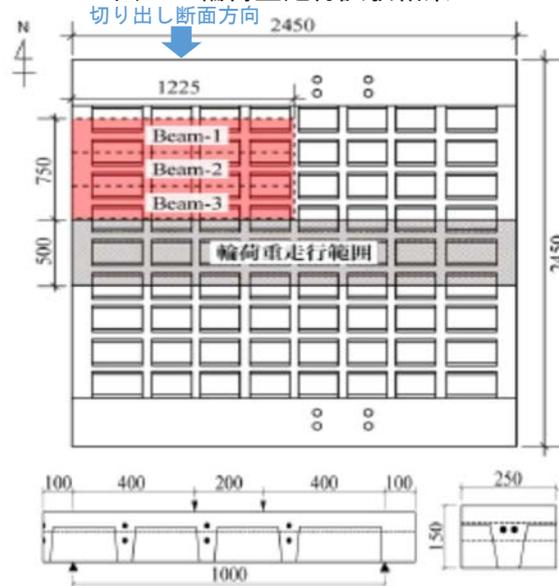


図-2 切り出し図

表-1 試験体別載荷荷重

※1 試験体	30%	60%	70%	80%	90%
	35kN	70kN	82kN	94kN	105kN
Beam-1	※2 <sub>1</sub>	1	1	1	100
Beam-2	1	1	1	100	
Beam-3	1	1	100		

※1 計算耐力に対する荷重（上段は割合）

※2 載荷回数

永久荷重による応力 $\sigma_p=0$ と仮定して算定し、圧縮強度 $f_d$ にはりの計算耐力 $P_{cal}$  (kN)、作用圧縮応力度 $f_{rd}$  (N/mm<sup>2</sup>)に作用荷重 $P$  (kN)を当てはめ、 $f_{rd}/f_d(P/P_{cal})$ と載荷回数 $n_i$ の関係として考察する。マイナーの線形累積損傷則を適用し、累積損傷度 $D$ を作用荷重に対応する疲労寿命 $N_i$  (回)に対する荷重の載荷回数 $n_i$  (回)の比 ( $D = n_i/N_i$ )とすると、 $D=1.0$ が疲労破壊である。はりの計算耐力 $P_{cal}$ は、曲げ圧縮破壊を想定し、PC鋼材の付着は考慮せず、UFCは全断面有効と仮定して、UFC指針<sup>5)</sup>の圧縮・引張応力一ひずみモデルを用いて $P_{cal}=117\text{kN}$ と設定した<sup>3)</sup>。

## (2) 評価結果および考察

2.(2)に示す試験結果を用いて累積損傷度を算定した。表-2にそれぞれ計算結果、 $f_{rd}/f_d(P/P_{cal})$ と載荷回数 $n_i$ の関係を示す。表-2ではBeam-1からBeam-3の破壊回数、作用荷重、 $P/P_{cal}$ 、疲労寿命、累積損傷度を示している。図-3に式-1で算定されるS-N曲線およびBeam-1からBeam-3の載荷試験結果を示す。Beam-1は計算耐力 $P_{cal}$ に近い荷重を繰返し載荷したため、11回で破壊しており、疲労寿命が0.11回、累積損傷度が97.7と算定された。 $f_{rd}/f_d(P/P_{cal})$ が式-1を上回ったことでS-N曲線よりも上にプロットされている。これは、式-1が安全側の疲労強度を算定するためと考えられる。また、2.(2)に示す試験では、はり下縁のひび割れによって中立軸が移動し、載荷荷重と作用圧縮応力度の比が一定のままではなかったことも影響している可能性がある。Beam-2は、累積損傷度が約1.043であり、ほぼS-N曲線上にプロットされているが、Beam-1よりも小さい累積損傷度で破壊したことから、輪荷重走行試験で損傷が蓄積されていたと推測される。Beam-3は、さらに小さい累積損傷度0.036であり、Beam-1、Beam-2よりも大きな損傷が蓄積していたといえる。これらの累積損傷度は、輪荷重走行試験で生じていた損傷の大小関係と整合している。このことは、輪荷重走行試験時のひび割れが、はりの載荷試験におけるひび割れの起点となり、あるいは、そのひび割れが伸長し曲げ圧縮破壊に至ったこととも矛盾しない結果といえる。よって、床版から切り出したはりの繰返し載荷試験および累積損傷度を評価することによって、床版の部位ごとの累積損傷度を評価できる可能性が示された。

## 4. おわりに

今後、輪荷重走行試験後の試験体から切り出したはりの累積損傷度と、床版本体の耐疲労性、疲労寿命の関連性を明らかにすることによって、損傷した床版の疲労寿命を切り出したはりで推測できる可能性がある。

## 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」の技術評価報告書，技術推進ライブラリー No.3，2006。
- 2) 永井勇輔・一宮利通・小坂崇・近藤恒樹：輪荷重走行試験によるワッフル型UFC床版の耐疲労性評価，第29回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.589-594，2020。
- 3) 徳武恭一・藤山知加子・永井勇輔・濱崎浩太：疲労損傷を受けたUFC床版より切出したはりを用いた繰返し荷重下のUFC部材破壊過程の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，2021。
- 4) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2018。
- 5) 土木学会コンクリート委員会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー113，2004。

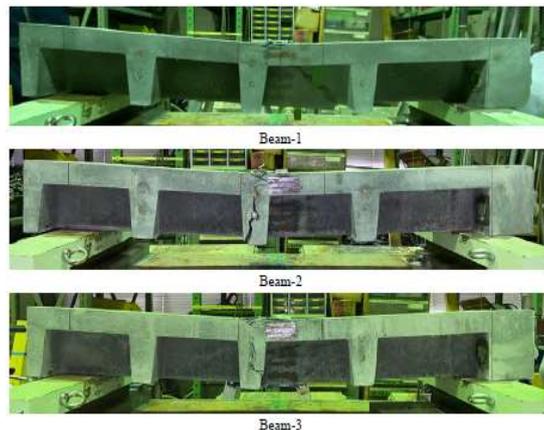


写真-1 載荷試験後の破壊状況

表-2 累積損傷度計算結果

	載荷回数 $n_i$ (回)	作用荷重 $P$ (kN)	$P/P_{cal}$	疲労寿命 $N_i$	累積損傷度 $D$
Beam-1	11	105	0.897	0.11	97.7
Beam-2	43	90	0.769	41	1.043
Beam-3	35	82	0.701	961	0.036

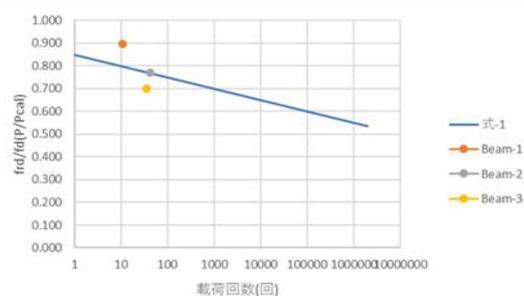


図-3 はりのS-N曲線