

ワッフル型 UFC 床版の損傷過程および破壊モードに関する解析的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○藤代 勝 一宮利通
 阪神高速道路(株) 正会員 小坂 崇 近藤恒樹

1. はじめに

筆者らは、鋼床版と同等に超軽量なコンクリート系床版として、図-1に示す超高強度繊維補強コンクリートを用いた2方向にプレストレスを導入したワッフル型 UFC 床版（以下、床版とする）の開発し¹⁾、阪神高速道路信濃橋入路の改築にあたり図-2、図-3に示す新設桁の床版に初めて適用している。

本床版を実構造物に適用するにあたり、耐疲労性の確認のため輪荷重走行試験を実施している²⁾（写真-1）。本試験では、破壊に至る損傷過程を把握することを目的に荷重を漸増载荷させながら試験を行った。しかし、試験機の载荷限界である荷重（400kN）および変位（19mm）に至っても破壊しなかった。この輪荷重走行試験では、斜めひび割れは微細なものであったこと、曲げひび割れが鋼繊維の架橋がなくなるまで開いて変形が進んだことから、载荷を継続した場合の破壊モードは曲げ破壊と推定されている。

本検討の目的は、材料非線形を考慮したモデルに対して漸増载荷する非線形静的解析を実施し、PC 鋼材のひずみを推定し、破壊に至るまでの損傷過程や破壊モードを推定することである。

2. 解析の概要

2.1 解析モデル

床版は、UFC の優れた材料特性を活かして高いプレストレスを導入し、活荷重による発生応力の変動幅が大きい薄肉部材でも、引張応力をひび割れ発生強度以下に抑えることができる構造である。この床版は主桁及び鋼横リブに4辺支持された1方向版であり、主桁とは頭付きスタッドによって接合する合成桁構造である。横リブ上は床版と床版の接合部となるが、孔あき鋼板ジベル（PBL）を挟んで超高強度繊維補強モルタル（以下、間詰めモルタルという）を充填し PC 鋼棒で床版同士を緊結する合成構造である。これらの構造を、床版や床版間及び鋼桁間の間詰めモルタルをソリッド要素で、リブ内部のプレテンション PC 鋼材及び床版をトラス要素で、床版を支持する鋼部材をシェル要素でモデル化し（図-4）、汎用の FEM コード DIANA を用いてひび割れの進展を可視化できる非線形静的解析を実施した。

2.2 解析条件

ワッフル型 UFC 床版に用いた UFC はエトリングイト生成系³⁾で、引張特性は UFC 指針⁴⁾に準じてトリリニアでモデル化を行い

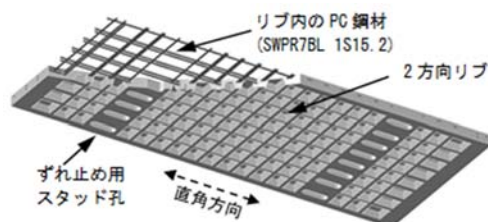


図-1 ワッフル型 UFC 床版概要

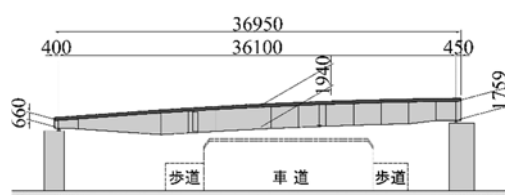


図-2 信濃橋入路橋（側面図）

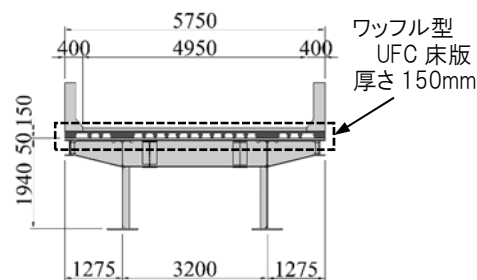


図-3 信濃橋入路橋（断面図）

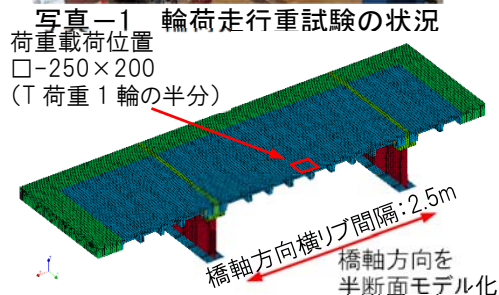


図-4 解析モデル

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート 道路橋床版 材料非線形解析 破壊モード

連絡先 〒182-0036 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL03-6229-6660

圧縮特性は弾性挙動とした。UFC の材料物性を表-1 に、引張特性を図-5 に示す。プレテンション PC 鋼材 (1S15.2, SWPR7BL) はコンクリート標準示方書に準じてトリリニアでモデル化した (図-6)。解析ステップは、輪荷重走行試験の手順を反映し、床版の製作、設置、組立てを考慮し、その後、活荷重 (T 荷重) を想定した載荷面積に分布荷重で漸増載荷した。解析の境界条件は、各ステップの挙動を反映させる設定とした。

2.3 解析ステップ

床版の製作を考慮した解析は、両端を固定した PC 鋼材に引張ひずみを導入し、UFC 要素を発生させた後に PC 鋼材を解放することで床版にプレストレスを導入した。初期ひずみは、リブ部に配置された PC 鋼材が解放後に 1000N/mm^2 となる様に設定した。これによりリブ下面の圧縮応力度は、軸方向に約 14.6N/mm^2 、直角方向に約 22.8N/mm^2 が導入される。床版の設置は、床版設置用に 4 隅に配置された高さ調整ボルトで自重を支持する解析を実施した。床版同士の接合部は、鋼横リブ上で床版端部同士を、 $\phi 17\text{mm}$ の PC 鋼棒で定着プレートを介して緊結する状態を解析に反映した。

3. 解析結果および考察

解析によって算定した荷重と載荷点の鉛直変位の関係を図-7 に示す。漸増載荷によって載荷点の鉛直変位が大きくなり、曲げ変形によってプレストレスの圧縮応力を上回りリブ下面に引張応力が発生する。ひび割れは約 200kN で生じ、リブ下面のひずみが 0.004 になる点を示す。これは目に見えるひび割れがおおよそ発生する点で、このひび割れ間隔を 50mm と仮定すると 0.2mm に相当するひずみ $\varepsilon = 0.2/50 = 0.004$ となる。その後、荷重が増加するにつれて変形が大きくなり下面のひび割れが増え、 400kN 手前で PC 鋼材の応力度が第 1 降伏点に達する。 400kN 載荷時の鉛直変位は約 12mm 、上面の軸方向圧縮応力度 $\sigma_x = 153.5\text{N/mm}^2$ で、まだ破壊には至っていない (図-8、図-9)。

解析では、上面側の圧縮強度 ($\sigma = 186\text{N/mm}^2$) に達する荷重は約 450kN と推定された。よって、 450kN において、PC 鋼材が第 1 降伏点に達し、UFC が圧縮強度に達することから、UFC 床版の破壊形態は曲げ破壊であると推定される。

4. おわりに

本報文では、輪荷重走行試験に用いた UFC 床版に対し、荷重を漸増載荷する非線形静的解析を実施し、損傷過程と破壊モードの推定を行った。これにより、ワッフル型 UFC 床版の損傷過程および破壊モードは、脆性的な押し抜きせん断破壊ではなく、曲げ破壊に至ることが推定できた。今後、本解析結果と輪荷重走行試験の結果を比較、考察することによって損傷過程や破壊モードに対する繰返し載荷による疲労の影響を検討していきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：UFC 道路橋床版に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo. 17，2015。
- 2) 一宮ら：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 75 回年次学術講演会，2020 投稿中。
- 3) 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. 11
- 4) 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)，コンクリートライブラリー 113 号，2004. 9

表-1 UFC の材料特性

ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
46,000	0.2	186	13.4

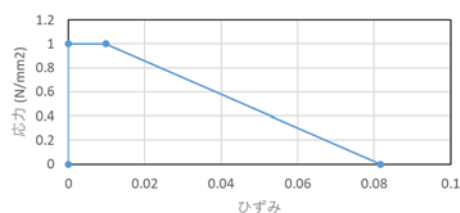


図-5 UFC の引張特性

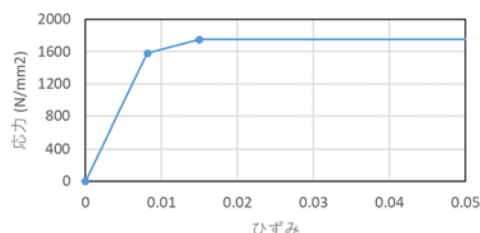


図-6 PC 鋼材の引張特性

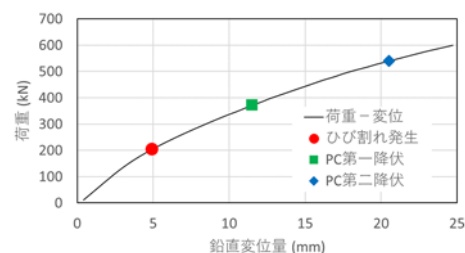


図-7 荷重-鉛直変位

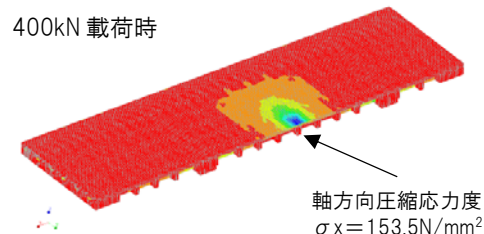


図-8 圧縮コンター図 (上面から)

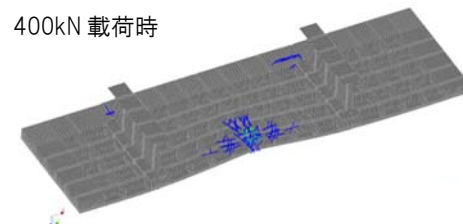


図-9 ひび割れ図 (下面から)