

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

阪神高速道路(株)	正会員	工修	○小坂	崇
阪神高速道路(株)		工博	金治	英貞
鹿島建設(株)	正会員	工修	一宮	利通
鹿島建設(株)	正会員	工修	齋藤	公生

1. はじめに

筆者らは、超高強度繊維補強コンクリート（以下UFCという）を用い、自重が鋼床版と同程度となる軽量かつ耐久性の高い道路橋床版を開発している。都市高速道路では、設計施工における制約上、重量で優位性のある鋼床版の使用頻度が他道路と比べ相対的に高いが、近年、既設橋においてさまざまな要因により疲労き裂が顕在化している。新設橋梁においては、開断面リブやデッキプレートとの増厚などの対応により、そのリスク低減が計られているが、舗装の損傷など付随した懸念点も残されている。そこで、鋼床版を代替する軽量かつ耐久性の高いコンクリート系の道路橋床版を開発するために、床版の材料にUFCを適用した。

2. UFCを用いた道路橋床版の開発

UFCは圧縮強度の特性値が 150N/mm^2 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4N/mm^2 以上、引張強度の特性値が 5N/mm^2 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材である¹⁾。プレキャスト部材として製作し、熱養生（蒸気養生）することによって、部材製作後における収縮やクリープの影響が低減され、組織の緻密化によって耐久性が向上する。引張鋼材としてはPC鋼材を使用し、UFCの高い圧縮強度を生かして、大きなプレストレスを導入することができ、特殊部以外には鉄筋を配置しない。近年、このようなUFCの特徴を生かした構造として、空港着陸帯における床版や歩道橋での施工実績がある^{2),3)}。

UFCを用いた道路橋床版（以下UFC床版という）の適用イメージを図-1に示す。鋼床版のデッキプレートおよび縦リブを同等質量のUFC床版とし、鋼床版の支間規模から鋼箱桁を想定し、鋼主桁、鋼縦桁および鋼横桁または鋼横リブの4辺で支持される床版構造とした。また、UFC床版と鋼桁はスタッドなどで接合するものとし、後死荷重や活荷重に対して、UFC床版と鋼桁が合成桁として挙動するものとした。

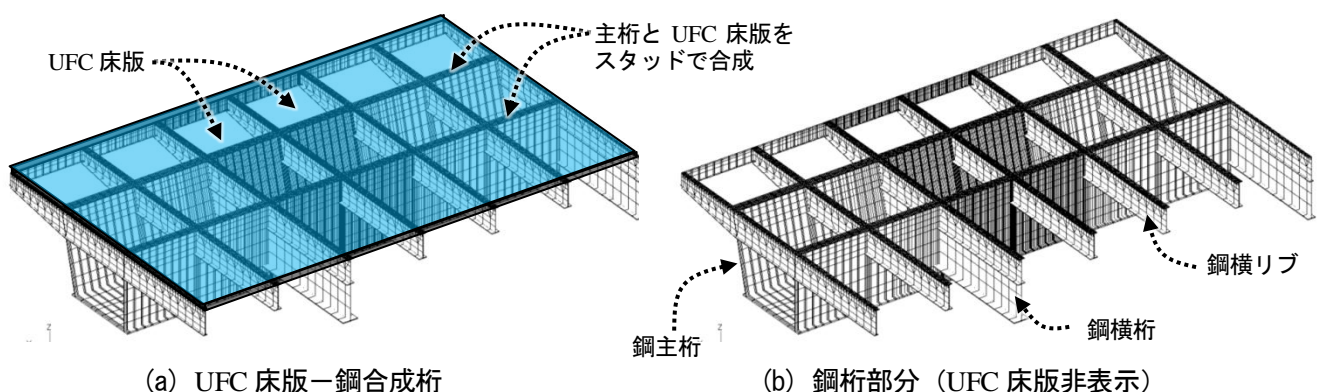


図-1 適用構造の概要図

この様な合成桁の床版への適用を想定し、UFC床版の開発として試設計、各種基本性能の確認（床版部材の座屈に対する安全性、床版部材と鋼桁の接合部の安全性、床版部材の疲労）、床版の製作方法に関する検討（UFCの打設に対する繊維の配向性など）を行った。また、UFC床版は部材厚が従来のコンクリート系床版に比べ薄いことから、懸念された疲労耐久性に関しては輪荷重走行試験を実施し疲労耐久性に問題が無いことを確認した⁴⁾。これらの床版開発の中から、本文では、床版の形状算定とプレテンションPC鋼材量および鋼床版と同等の軽量な床版の成立性を検討するために、FEM解析を用いた試設計について報告する。

3. UFC 床版の試設計

3.1 床版形状の設定コンセプト

UFC 床版は、活荷重（輪荷重）を直接支持するスラブと、プレテンション PC 鋼材を配置するリブから構成することとし、床版質量を鋼床版と同等とすることを目標に、それぞれ最小の部材厚として設定した。リブ厚については PC 鋼材のかぶり、リブ間隔については輪荷重に配慮して設定した。

プレキャスト床版としての製作は、図-1 に示す鋼横リブ間隔（橋軸方向に約 2.5m 程度）×幅員（橋軸直角方向）の形状を想定している。床版は鋼横リブで線状に支持されているため、床版の主たる支間方向は橋軸方向となる。開発当初、既往の空港着陸帯における床版²⁾を参考に、床版の支間方向である橋軸方向のリブを密に配置することを考えていたが、試設計の結果、鋼主桁支点上における応力などに対して橋軸直角方向にも橋軸方向と同程度の PC 鋼材が必要となったため、図-2 に示す様な 2 方向に同程度のリブを配置する、ワッフル状の床版形状となった。

3.2 試設計の対象構造

試設計は、実橋である鋼 5 径間連続鋼床版箱桁（平均支間長 70m）を対象モデルとして、鋼床版のデッキプレートおよび鋼縦リブ部分を UFC 床版に置き換えて試設計した。試設計の結果、算定された UFC 床版は、図-2 に示すようにスラブ厚 40mm、リブ高 123mm であり 2 方向にリブを配置したワッフル状の床版である。

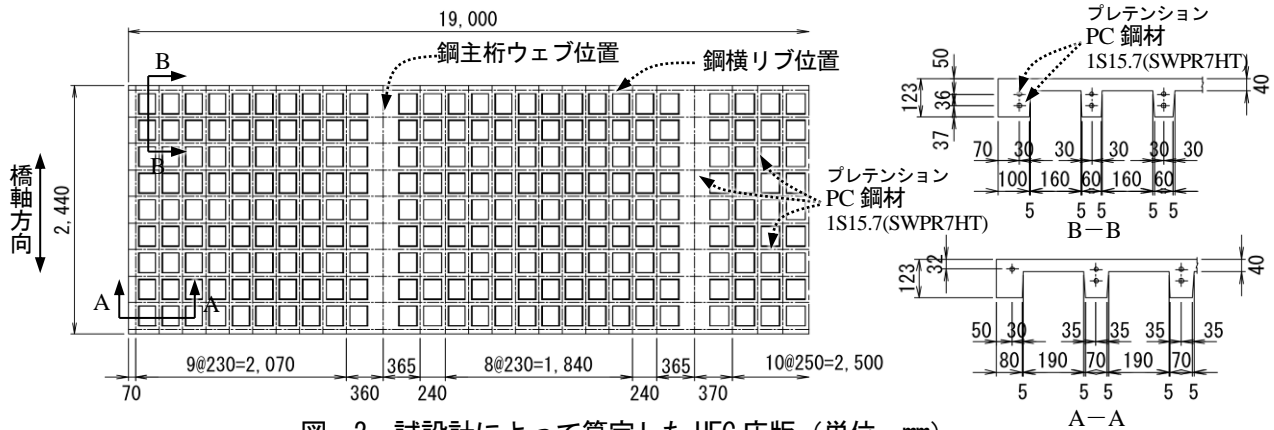


図-2 試設計によって算定した UFC 床版 (単位 : mm)

本検討に用いた UFC の材料特性を表-1 に示す。UFC 床版に生じる応力度は指針¹⁾に準拠し、引張はひび割れ発生強度 f_{cr} 、圧縮は $0.6 f'_{ck} = -108 \text{ N/mm}^2$ を制限値とした。PC 鋼材は、高強度な IS15.7 (SWPR7HT) を床版 1 枚あたり橋軸方向に 152 本 (2 本/リブ)、橋軸直角方向に 18 本 (2 本/リブ、支点部は 1 本/リブ) 配置した。

表-1 検討に用いた UFC の材料特性

弾性係数 N/mm ²	ひび割れ発生強度 f_{cr} N/mm ²	引張強度 f_t N/mm ²	圧縮強度 f'_{ck} N/mm ²
4.6×10^4	8.0	8.8	180.0

3.3 床版の試設計

(1) 設計・解析条件

床版の設計については、活荷重による発生応力度に対して構造の成立性を確認することを目的に 3 次元 FEM 解析によって行った。解析にあたっては、UFC 床版を支持する鋼横リブの配置間隔を 2.5m とし、橋軸方向に 15.0m (6 パネル) の範囲をモデル化した。床版と鋼桁は実構造ではスタッドで接合することで合成桁として挙動するものとし、解析上は一体として挙動する境界条件とした。解析モデルにおいて各部材は、鋼桁はシェル要素、UFC 床版はソリッド要素、PC 鋼材はバー要素を用いてモデル化した。プレテンション緊張力は、バー要素に温度荷重を与えて所定の緊張力が生じるようにした。また床版端部から 600mm 区間

の緊張力のロスについては、バー要素に与える温度荷重を変化させて表現した。プレテンション PC 鋼材の解析モデルを図-3 に示す。

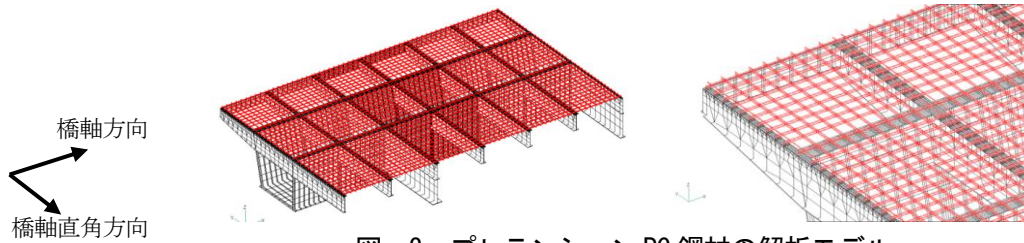


図-3 プレテンション PC 鋼材の解析モデル

載荷荷重は、活荷重 (面分布荷重)、床版自重 (物体力)、橋面荷重 (面分布荷重) とした。拘束条件としては箱桁ウェブ下端を線支持とした。支持条件および境界条件を図-4 に示す。床版と鋼材は実構造ではスタッドで接合することで合成桁として挙動するものとし、解析上は一体として挙動する境界条件とした。

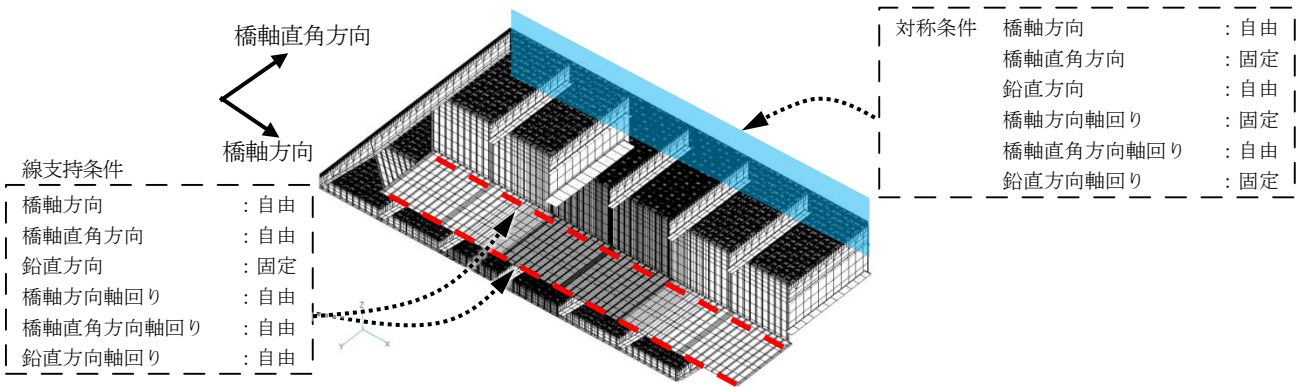
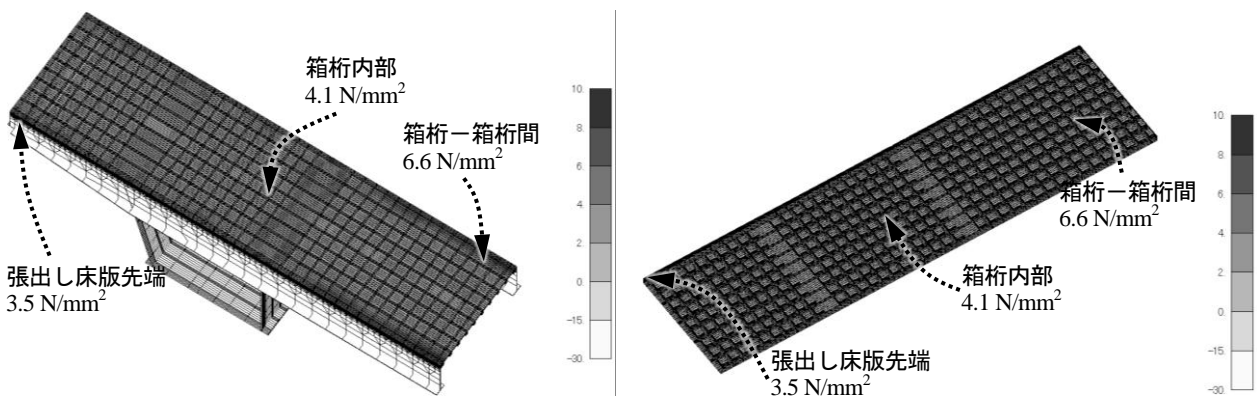


図-4 解析モデルの支持条件および境界条件

活荷重については、T 荷重を床版に対して曲げもしくはせん断が厳しくなると想定される箇所に載荷するものとし、張出床版先端付近や箱桁間など 6 パターンに載荷した。輪荷重の載荷面積は $500 \times 200\text{mm}$ とし、衝撃係数 ($i=0.4$) および安全係数 ($v_a=0.1$) を考慮した。

(2) 設計結果

発生応力度が最も大きくなった載荷パターンである「張出し床版先端付近での曲げ」と「箱桁一箱桁間での曲げ」に着目した載荷パターンの解析結果 (死荷重+プレストレス+活荷重) として、最大主応力分布と最小主応力分布を図-5, 図-6 に示す。床版上面で 6.6N/mm^2 の引張応力度, 床版下面側で -80.2N/mm^2 の圧縮応力度が生じている。上縁と下縁の応力度の差は大きいものの、全ての載荷パターンについて制限値内であり、図-2 に示す薄肉部材による軽量の UFC 床版の設計を成立させることができた。図-7 に変形図を示す。鋼横リブに対する相対変位量は最大 4.9mm であった。



(a) 床版上面 (引張 : +, 圧縮 : -)

(b) 床版下面 (引張 : +, 圧縮 : -)

図-5 最大主応力分布

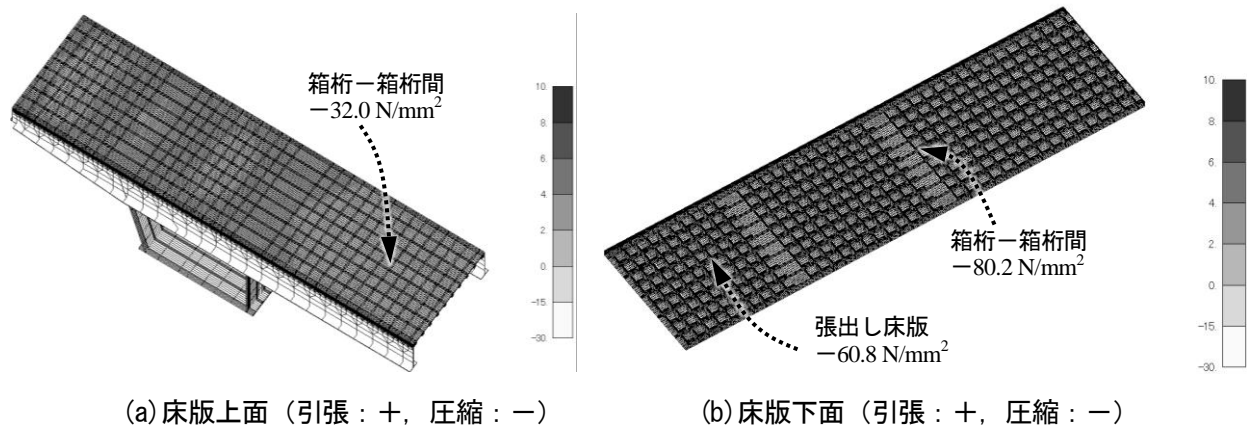


図-6 最小主応力分布

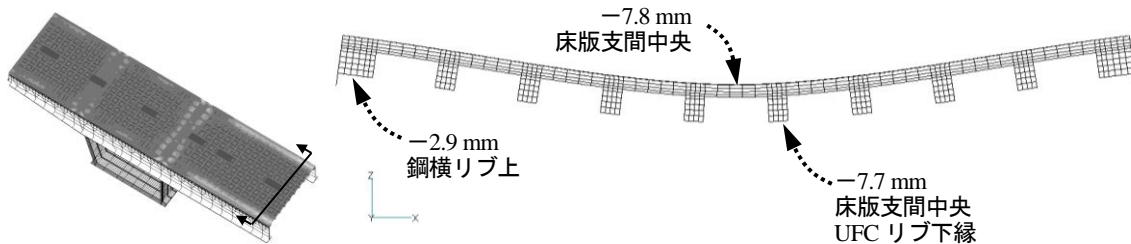


図-7 変形図 (箱桁一箱桁間)

3.4 質量比較

試設計の結果算定された図-2に示す UFC 床版と、鋼床版および PC 床版に対する、19m×2.5m の床版の質量比較を表-2に示す。鋼床版については、縦リブに U リブを有する構造を想定し、表の括弧内の数値はデッキプレートの板厚を示す。算定した UFC 床版の質量は、デッキプレートの板厚が 16mm の鋼床版と同等となった。

表-2 UFC 床版と他形式床版の質量比較

UFC 床版	鋼床版 (t=16mm)	PC 床版
8.472 t (1.00)	8.272 t (0.98)	34.963 t (4.13)

4. おわりに

UFC 床版の開発において、試設計の結果、ワッフル形状の床版形状を算定し、デッキプレートの板厚が 16mm の鋼床版と同等の軽量な構造で UFC 床版を構成することができた。今後、別報の輪荷重走行試験⁴⁾の結果をふまえ、試設計を見直すとともに、設計・施工のための手引きを作成し、実構造へ適用するための開発を進める予定である。

本研究を行うにあたり、大阪工業大学松井教授、長岡技術科学大学長井教授、東京工業大学二羽教授および神戸大学三木准教授にご指導をいただきました。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の設計・施工指針 (案)，2004 年 9 月。
- 2) 一宮ら：東京国際空港 D 滑走路棧橋部プレキャスト床版間詰部の性能確認実験，第 16 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，2007 年 10 月。
- 3) 南雲ら：リバーサイド千秋連絡橋 (仮称) の設計と施工，橋梁と基礎，2007 年 12 月。
- 4) 一宮ら：鋼床版と同等の軽量かつ耐久性の高い UFC 道路橋床版の輪荷重走行試験，第 22 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，2013 年 10 月 (投稿中)。