

## 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

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
阪神高速道路(株)		工博	金治	英貞
阪神高速道路(株)	正会員	工修	小坂	崇

Abstract : Orthotropic steel deck slabs have been applied especially to urban highway bridges. However, a number of fatigue cracks are found on the steel deck slabs in recent years. As the result, maintenance cost for the steel deck slab has been increasing. The deck slab for the highway bridges using ultra high strength fiber reinforced concrete (UFC) has been developed as an alternative to the steel deck slab. The own weight of the UFC deck slab is the same as that of steel deck slab. A wheel loading test was carried out to confirm the performance of the UFC deck slab. Dynamic wheel load increasingly from 100kN to 220kN was applied 200,000 times. Although minor cracks were found on the side faces of ribs at around 2 times of the design wheel load, reduction of rigidity was not observed. Finally, the structural performance of the deck was not reduced by the end of the test.

Key words : Ultra high strength fiber reinforced concrete, Bridge deck, Wheel loading fatigue test

## 1. はじめに

都市高速道路では設計施工における制約上、軽量の鋼床版の使用頻度が他道路と比べ相対的に高いが、近年、既設道路橋において様々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の増厚などの対応によりそのリスク低減が図られているが根本的な解決とはなっていない。そこで、筆者らは、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用い、

自重が鋼床版と同程度となる道路橋床版（以下、UFC床版）を開発している<sup>1)</sup>。本床版は次章で示すように2方向にリブを有する構造となっており、輪荷重載荷によるリブのねじりなど局所的な応力が問題となる可能性がある。また、これまでになかった床版構造のため、輪荷重の繰返し走行に対する安全性を検証する必要がある。そこで本研究では、輪荷重の載荷による床版の挙動を確認するための静的載荷試験、ならびに輪荷重の移動繰返し載荷に対する安全性を確認するための輪荷重走行試験を行った。

## 2. UFC床版の概要

UFC床版の適用概念を図-1に示す。鋼床版箱桁のデッキプレートおよび縦リブをこれらと重量が同等なUFC床版で代替するものとした。UFC床版は橋軸方向に2.5mピッチで配置される鋼横桁または鋼横リブおよび鋼主桁または鋼縦桁の4辺で支持される構造とした。また、UFC床版と鋼桁はずれ止めにより一体化され、合成化後に載荷される死荷重や活荷重に対して合成桁として抵抗するものとした<sup>1)</sup>。

UFC床版の概要を図-2に示す。リブの配置は種々考えられるが、今回はワッフルタイプとした。本床版は橋軸方向および橋軸直角方向に約250mm間隔でリブを有し、床版リブ位置での高さは123mm、リブのない版部材の厚さは40mmである。リブには高強度PC鋼材1S15.7mmが2本ずつ配置され、プレテン

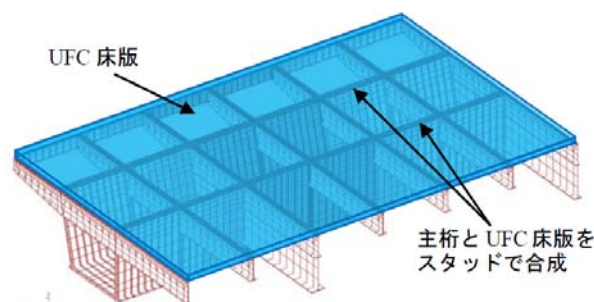


図-1 適用構造の概念図

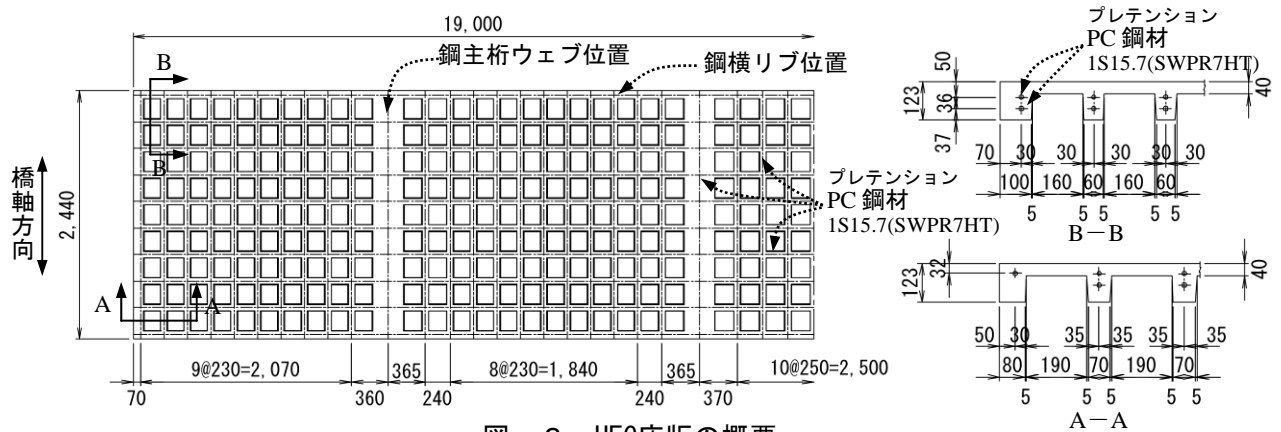


図-2 UFC床版の概要

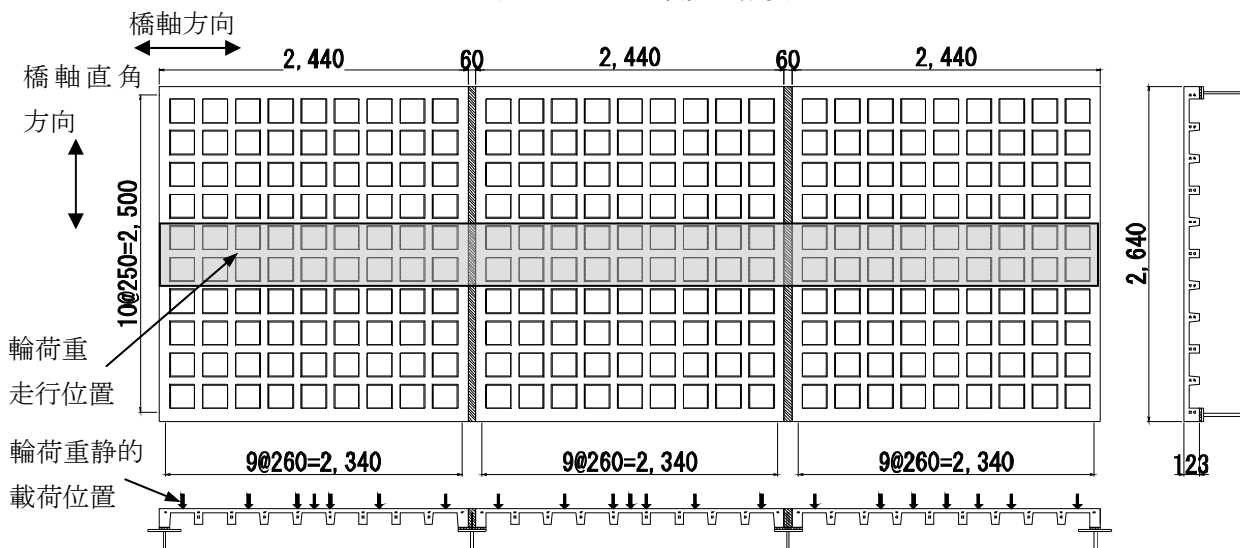


図-3 輪荷重走行試験の試験体

ション方式で2方向にプレストレスが導入される<sup>1)</sup>。

### 3. 試験の概要

試験体を図-3に示す。試験体は、実構造物と同様に橋軸方向に2.5mピッチに配置された横リブに支持される構造とした。橋軸直角方向の長さは、実橋における鋼主桁または鋼縦桁の最小間隔と同程度の2.5mとした。橋軸方向に3枚の床版を並べ、中央の試験体は横リブのみで支持される2辺支持とし、両側の試験体は鋼主桁または鋼縦桁で支持されることを想定して4辺支持とした。なお、2辺支持とした場合の床版としての剛性は、幅が十分に大きい場合と大きく変わらないことを確認している。

本実験に用いたUFCの配合を表-1に示す。本UFCは設計基準強度180N/mm<sup>2</sup>のエトリンガイト生成系のUFC<sup>2)</sup>である。試験体の製作は、PC鋼材を緊張した状態で丸口バケットを用いて床版の中央にUFCを打ち込み、放射状に流動させながら充填して行った。一次養生として20~30℃の湿潤養生を2日行い、圧縮強度が100~120N/mm<sup>2</sup>で緊張力を解放してUFC床版にプレストレスを導入した。その後、85℃の蒸気養生を24時間行い、試験時の圧縮強度は182~198N/mm<sup>2</sup>であった。

試験には、大阪工業大学所有の輪荷重走行試験装置を用いた(写真-1)。床版の挙動を確認するための静的載荷試験では、実際の大型車のタイヤを模擬したダブルタイヤを用い、橋軸方向には図-3に矢印で示す位置に、直角方向には二つのタイヤが中央のリブを跨ぐように、100kNの輪荷重を静的に載荷した。載荷前後において、荷重、床版ひずみおよび床版たわみを計測した。輪荷重の移動繰返し載荷に対する安全性を確認するための試験では、最大220kNまで載荷できるジャンボタイヤを用いて

表-1 収縮低減型UFCの配合

空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				鋼繊維 (kg)
	水	プレミックス結合材	骨材	混和剤	
2.0	195	1287	905	32.2	137.4

水の単位量は混和剤の水分を含む

100kNから220kNまで30kN刻みで階段状に荷重を増加させながら各荷重で4万回ずつ繰返し載荷し、合計20万回(10万往復)輪荷重を走行させた。各荷重載荷開始前(0万回)および4万回載荷後(4万回)に、静的載荷試験を行い、床版のたわみおよびひずみを計測した。さらに床版表面に水を張って130kNで2万回、160kNで2万回の輪荷重走行試験を行った。高速道路で実測された軸重から100年分の載荷回数を推定して試験における等価回数を求めたところ、160kNの3万回目であったため、本疲労試験により床版としての安全性を確認できると考えられる。図-4に載荷プログラムを示す。



写真-1 輪荷重走行試験状況

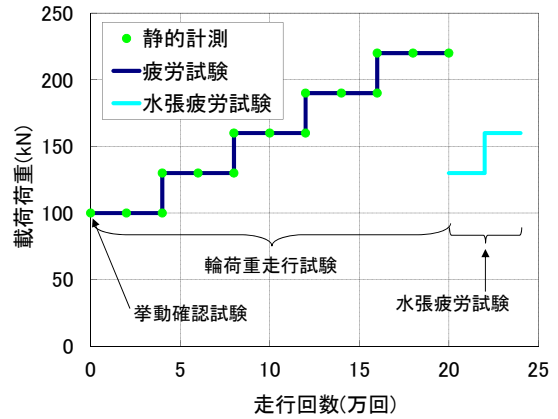


図-4 輪荷重走行試験載荷プログラム

#### 4. 試験結果

挙動確認試験結果の例として、橋軸方向支間中央において、中央から2番目の橋軸方向リブの側面鉛直ひずみ、中央の橋軸方向リブ上の床版の橋軸直角方向ひずみ、輪荷重直下の版部材下面の橋軸直角方向ひずみを計測した結果を図-5~7に示す。それぞれ、リブが橋軸直角方向に開くことによる影響、輪荷重がリブを跨いで載荷される影響、薄い版部材の曲げの影響について確認するための計測である。横軸は図-3に矢印で示す載荷位置となっており、図-3に示す位置に影響線載荷した場合のひずみを示している。

図-5より、リブ側面の鉛直ひずみは計測点の直近に載荷された場合にひずみの変動が最も大きくなっており、リブの両側とも圧縮であった。引張ひずみは最大で13 $\mu$ (応力度に換算すると0.6N/mm<sup>2</sup>)であり、圧縮ひずみは最大で-61 $\mu$ (応力度に換算すると-2.8N/mm<sup>2</sup>)であった。載荷点に近い側が圧縮となったのは、輪荷重の載荷によ

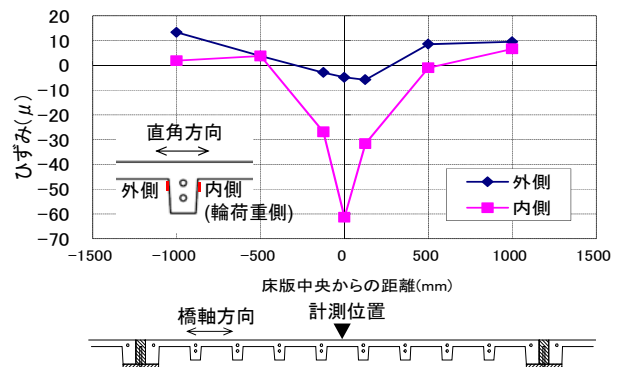


図-5 リブ側面の鉛直ひずみ

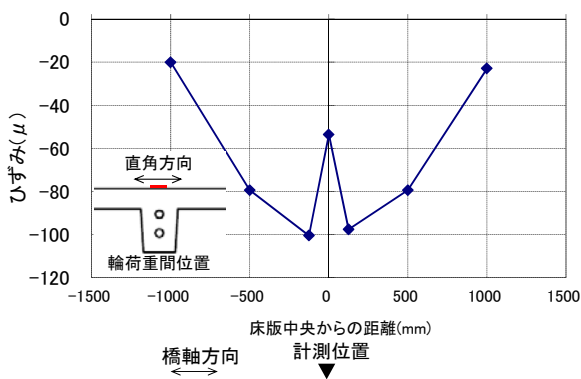


図-6 床版上面の走行直角方向ひずみ

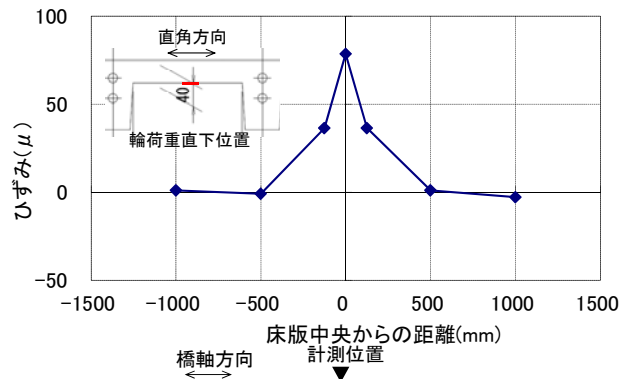


図-7 床版下面走行直角方向ひずみ

て橋軸方向リブが横に開こうとするのを直角方向のリブが拘束したことによると考えられる。図-6より、リブを跨いでダブルタイヤが載荷されることによって、床版上面が直角方向に引っ張られる挙動を示すが、輪荷重の載荷によって床版上面直角方向には圧縮ひずみが生じており、引張ひずみが生じることはなかった。図-7より、輪荷重の直下の床版下面直角方向において80 $\mu$ 程度の引張ひずみ（応力度に換算すると3.7N/mm<sup>2</sup>）が生じていたが、輪荷重が倍になった場合でもひび割れ発生強度8N/mm<sup>2</sup>以下であること、約8N/mm<sup>2</sup>のプレストレスが導入されていることから、ひび割れ発生の可能性は低いと考えられる。

輪荷重走行試験結果の例として、荷重100kN、160kNおよび220kNで0万回および4万回における中央床版のたわみ分布およびひずみ分布を図-8および図-9に示す。両者とも、輪荷重を載荷する前後の計測値の差をとったものである。たわみおよびひずみとも、荷重の増加に比例して増加した。また、それぞれの荷重における繰返し載荷前後で差はなく、輪荷重の繰返し載荷による剛性の低下は見られなかった。他の計測位置や他の床版も同様な結果であった。

190kNでの4万回載荷後、リブ付け根の側面水平方向にアセトンの蒸発状況の違いにより認識できる程度の幅0.04mm未満の微細なひび割れが観察された。また、220kNでの4万回までに同様なひび割れが数十か所で観察された。ひび割れの原因は特定できないが、プレストレス導入時においてPC鋼材のポアソン効果によってUFCにPC鋼材直角方向の引張応力が生じ、引張応力が残留した状態のリブ側面に、輪荷重の繰返し載荷によって図-5に示す応力変動が作用するによって発生したものと推定される。ただし、ひび割れが生じたのは設計輪荷重の約2倍の荷重載荷時であったこと、UFCはひび割れが生じても鋼繊維の補強効果によりひび割れ発生強度以上の引張応力を伝達することができること、たわみ分布やひずみ分布からは剛性の低下は見られなかったことから、床版の構造性能に与える影響は小さいと考えられる。

さらに床版表面に水を張って130kNで2万回、160kNで2万回の輪荷重走行試験を行ったが、床版に損傷はなく、健全であった。

### 5. おわりに

輪荷重の載荷による床版の挙動を確認するために静的載荷試験を行った結果、ひび割れが生じるような引張応力度は生じないことが分かった。また、設計荷重の2倍以上の荷重を載荷した輪荷重走行試験により輪荷重の移動繰返し載荷に対する安全性を確認した。今後は、リブに生じたひび割れについて検討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) 小坂ら：鋼床版と同等の軽量かつ耐久性の高いUFC道路橋床版の開発、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）
- 2) 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

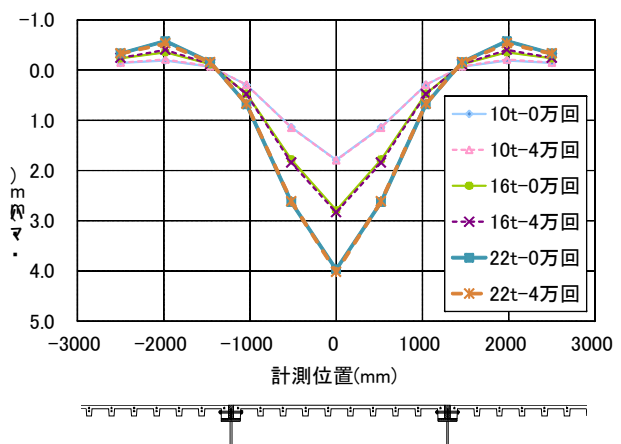


図-8 中央床版の橋軸方向たわみ分布

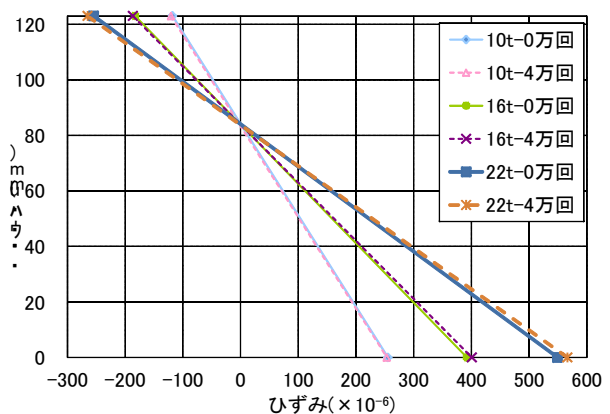


図-9 中央床版の橋軸方向ひずみ分布