

UFC パネル RC 床版の合成面が耐疲労性に及ぼす影響に関する実験解析

日大生産工[院] ○新山 祐樹 日大生産工 阿部 忠・木田 哲量
日大生産工 水口 和彦 太平洋セメント(株) 田中 敏嗣

1. はじめに

近年、建設事業費の縮減により、道路橋においては施工の合理化・省力化が重要課題となっている。その対策の一つとして、超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)で製作した埋設型枠(以下、UFC パネル)工法¹⁾が提案されている。さらに UFC パネルは強度・じん性に優れた部材であることから²⁾、この特性を有効に活用するために、RC 床版の引張鉄筋かぶり内に合成させた構造(以下、UFC パネル RC 床版)が提案されている³⁾。ここで、RC 床版部と UFC パネルを合成構造とする場合、その合成効果を高める必要があり、UFC パネルの合成面の形状が重要となる。そこで本研究では、通常の型枠を用いて製作した RC 床版および合成面の形状の異なる 2 タイプの UFC パネル RC 床版の供試体に対して、輪荷重による走行疲労実験を行い、合成面形状の違いが耐疲労性に及ぼす影響について検討する。さらに、UFC パネルと RC 床版部との合成界面に水が浸透した場合の影響を考察するために、床版上面から水の侵入孔を設けた供試体を製作し、合成面への水の侵入が耐疲労性に及ぼす影響を検討する。

2. 供試体概要

2.1 使用材料

(1)RC床版 RC 床版のコンクリートには、普通ポルトランドセメント、5mm 以下の砕砂および 5mm~20mm の砕石を使用する。鉄筋は SD295A,D10 を使用する。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

(2)UFCパネル UFC パネルには珪砂、シリカフューム、反応性微粉末などが最密充填されるように配合されたプレミックス材、鋼繊維およびポリカルボン酸系の高性能減水剤を練り混ぜたものを使用する。鋼繊維は長さ 15mm、直径 0.2mm

を体積比で 2.0%混練する。また、粗骨材は使用せずに最大粒径 2mm の珪砂を混合する。混和剤使用量は、目標フロー値は 240mm として決定する。ここで、UFC パネルの材料特性値を表-2に示す。

2.2 供試体寸法

本供試体は道路橋示方書・同解説⁴⁾に基づき、RC

表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A,D10)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC	35	368	568	200
U.RC-P	35	385	520	200
U.RC-C	27	385	520	200
U.RC-C-W	27	385	520	200

表-2 UFCパネルの材料特性値

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
U.RC-P	219.4	34.9	55.0
U.RC-C	213.2	32.0	
U.RC-C-W	213.2	32.0	

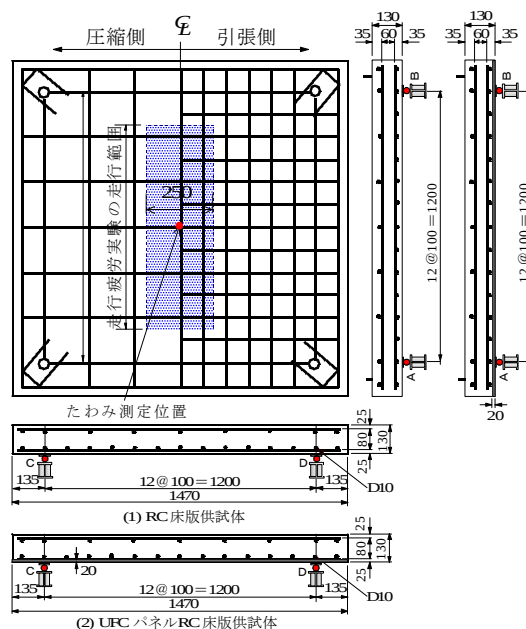


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

Experimental analysis on fatigue resistance of
RC slab using UFC panel considering for influence of interface

By

Yuki NIYAMA, Tadashi ABE, Tetsukazu KIDA, Kazuhiko MINAKUCHI, Satoshi TANAKA

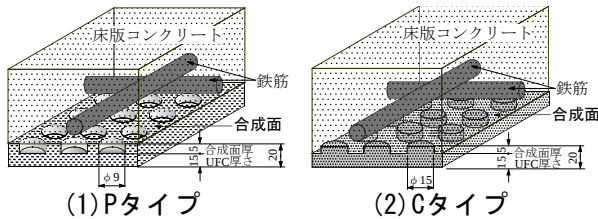


図-2 UFCパネルの合成面形状

床版の設計支間と大型車両の一日一方向あたりの計画交通量 2000 台以上を想定して床版厚、鉄筋量を算出し、その 1/2 モデルとする。ここで、本供試体寸法および鉄筋配置を図-1に示す。本供試体は、全長 1470mm、支間 1200mm、厚さ 130mm の等方性版とし、有効高さは軸直方向、軸方向でそれぞれ 105mm、95mm とする。鉄筋は複鉄筋配置とし、主鉄筋および配力筋は 100mm 間隔に配置し、圧縮側鉄筋は引張側鉄筋の 1/2 の量とする。供試体は、通常の型枠で製作した RC 床版、合成面の形状が異なる 2 タイプの UFC パネル RC 床版を製作する。

2.3 UFCパネルの合成面形状

UFC パネルと RC 床版との合成効果を高めるためには、UFC パネルにおける合成面の構造が重要となる。既往研究によると、UFC パネル側に凹部を一樣に設けた構造(以下、P タイプ)を採用しており、P タイプのコンクリートとの打継ぎ面のせん断ひび割れ強度は、母材コンクリートと同程度の値を示していることから十分な付着が得られることが確認されている^{5,6)}。そこで本研究では、さらなる付着力の向上を図るために、UFC パネルに挿入されるコンクリート量を増加させ、凸部を一樣に設けた構造(以下、C タイプ)を提案する。ここで、合成面におけるコンクリートと UFC との面積比は、P タイプが 4 : 6、C タイプが 6 : 4 である。UFC パネルの寸法は、RC 床版の引張鉄筋かぶり内に埋設することから幅 1470mm、厚さ 20mm とし、合成面厚は 5mm とする。ここで、P タイプおよび C タイプの合成面形状を図-2に示す。

2.4 UFCパネルRC床版の製作

UFC パネル RC 床版供試体の施工手順を写真-1に示す。UFC パネル RC 床版供試体の製作は、予め製作した UFC パネルを設置した後に側面の型枠を作製し(写真-1 1))、予め組んでおいた鉄筋を UFC パネルの上部に配置する(写真-1 2))。その後、コンクリートを打設し(写真-1 3))、UFC パネルと RC 床版を一体構造とした。コンクリート打設後は通常の RC 床

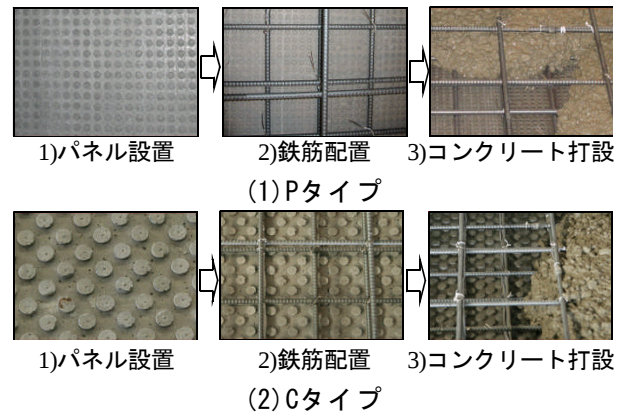


写真-1 UFCパネルRC床版供試体の施工手順

版と同様に側面の型枠を脱型し、養生を行った。ここで、各供試体名称は、通常の型枠で製作する RC 床版を RC、合成面を P タイプとした UFC パネル RC 床版を U.RC-P、合成面を C タイプとした供試体を U.RC-C、合成面を C タイプとし、床版上面から水の侵入孔を設けた供試体を U.RC-C-W とする。

3. 実験方法

3.1 走行疲労実験方法

走行疲労実験は、輪荷重が 45° で床版供試体の底面方向に分布すると仮定し、輪荷重による応力を床版支間内に分布させるために、供試体中央から ±450mm の範囲で繰返し走行させる実験である。荷重の載荷方法は、荷重 100kN までは 2 万回走行毎に 20kN ずつ増加、荷重 100kN 以降は 2 万回走行毎に 10kN ずつ荷重を増加させる段階状荷重とする。また、走行平均速度は、1 走行である 0.9m を 6.5sec で走行する 0.14m/s とする。

4. 実験結果

4.1 等価走行回数

本研究における走行疲労実験は、段階状荷重載荷としたことから、等価走行回数はマイナー則に従うと仮定し、式(1)より算出する。なお、本研究の供試体は、実道路橋床版の 1/2 モデルとしたことから基準荷重は、活荷重 100kN の 1/2 である 50kN に安全率 1.2 を考慮した 60kN とする。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i / P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} : 等価繰返し回数(回)、 P_i : 載荷荷重(kN)、 P : 基準荷重(=60kN)、 n_i : 荷重 P_i の走行回数(回)、 m : S-N 曲線の傾きの逆数(=12.7)

表-3 等価走行回数

供試体	等価走行回数 (回)	平均等価走行回数 (回)	等価走行回数比 U.RC/RC
RC1	7,347,504	7,938,687	—
RC2	8,529,870		
U.RC-P1	35,727,812	42,002,356	5.29
U.RC-P2	48,276,900		
U.RC-C1	505,594,259	465,725,696	58.67
U.RC-C2	332,737,029		
U.RC-C3	558,845,801		
U.RC-C-W	401,542,728	401,542,728	50.58

また、本研究では RC 床版の疲労寿命と UFC パネル RC 床版の疲労寿命を比較し、実用性を検証することから、RC 床版の S-N 曲線を基準とする。したがって、S-N 曲線の傾きの逆数 m には、松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数である 12.7 を適用する⁷⁾。式(1)より算出した等価走行回数を表-3に示す。RC-1,2 の平均等価走行回数は 7,938,687 回であり、U.RC-P1,2 の平均等価走行回数は 42,002,356 回である。したがって、通常の RC 床版に比して 5.29 倍の等価走行回数となった。U.RC-C1,2,3 の平均等価走行回数は 465,725,696 回であり、通常の RC 床版に比して 58.67 倍となった。また、U.RC-C-W の平均等価走行回数は 401,542,728 回であり、通常の RC 床版に比して 50.58 倍となった。以上より、UFC パネルと RC 床版を合成構造とすることで耐疲労性が向上した。また、合成面を C タイプとした UFC パネル RC 床版は、合成面を P タイプとした供試体に比して 11.09 倍の等価走行回数の向上が見られ、合成面を C タイプとすることにより合成効果が向上した。これは、合成面におけるコンクリートと UFC の面積比を 6 : 4 にすることにより付着力が向上したものと考えられる。また、供試体 U.RC-C-W は、同合成面形状である C タイプの供試体に比して等価走行回数は約 86%に低下する結果となり、水分の侵入が耐疲労性に影響を及ぼすことが明らかとなった。なお、破壊モードは全ての供試体で押抜きせん断破壊となった。

4.2 等価走行回数とたわみの関係

本実験における等価走行回数とたわみの関係を図-3に示す。RC1,2 では、ともに走行回数の増加に伴ってたわみは増加し、走行回数 4.05×10^6 回付近からたわみの増加が著しくなり、破壊時のたわみはそれぞれ 6.9mm、7.3mm であった。U.RC-P1,2 では、破壊時付近まで走行回数の増加に伴い緩やかにたわみは増加し、破壊時のたわみはそれぞれ 6.5mm、6.9mm であった。U.RC-C1,2,3 では、走行回数の増加に伴い

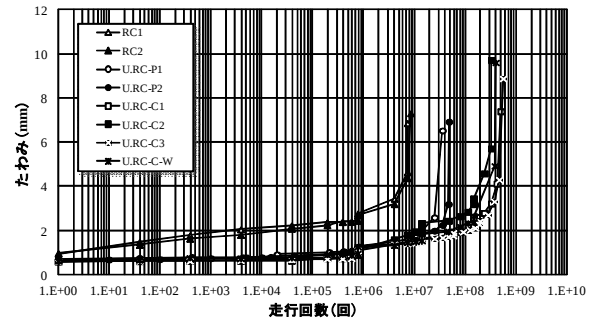


図-3 走行回数とたわみの関係

緩やかにたわみは増加し、走行回数 1.47×10^8 回付近からたわみの増加は著しくなり、破壊時のたわみはそれぞれ 7.4mm、9.7mm、8.9mm であった。U.RC-C-W では、走行回数の増加に伴い緩やかにたわみは増加し、走行回数 1.47×10^8 回付近から著しくたわみは増加し、破壊時のたわみは 9.6mm であった。したがって、UFC パネルを引張鉄筋かぶり内に配置した供試体は、各走行回数ともに通常の RC 床版のたわみを下回った。通常の RC 床版に比して UFC パネル RC 床版は曲げ剛性が向上したためにたわみの増加が抑制されたものと考えられる。さらに、合成面を C タイプとした供試体は、P タイプとした供試体に比してたわみが抑制された。UFC パネルに挿入されるコンクリートの面積率を 60%とした C タイプの付着力が P タイプを上回ったために合成効果が向上し、たわみがさらに抑制されたと考えられる。また、U.RC-C-W は、合成面を C タイプとした供試体とほぼ同様なたわみの増加傾向を示した。

4.3 破壊形状

本実験における供試体下面の破壊形状の一例を図-4に示す。RC1 は、軸方向および軸直角方向に 100~120mm 間隔でひび割れが発生している。これは、軸方向および軸直角方向に配置した鉄筋の間隔とほぼ同じ間隔である。また、輪荷重の載荷位置から約 45° で押抜かれており、ダウエル効果の影響範囲ではなく離が確認でき、最終的な破壊モードは、輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊に至った。U.RC-P1 は、UFC に配合されている鋼繊維による架橋効果により応力が分散され、全体的に無数の微細なひび割れが発生し、輪荷重の走行範囲にはひび割れが密集している。最終的な破壊モードは、輪荷重が走行中に RC 床版が押抜きせん断破壊となると同時に UFC パネルがはく離した。U.RC-C1 は、輪荷重の走行範囲から約 45° 底面の内側は、架橋効果の影響により微細なひび割

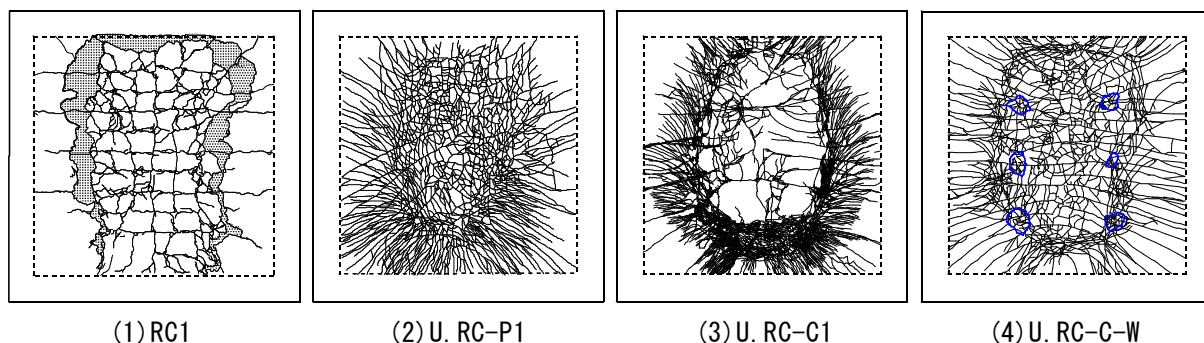


図-4 破壊形状の一例

れが発生し、約 45° 底面の外側は、放射線状にひび割れが発生しており、床版の中央部分には微細なひび割れは見られない。最終的な破壊モードは、輪荷重が走行中に UFC パネルの曲げ破壊を伴う押抜きせん断破壊に至り、破壊時においても UFC パネルのはく離は見られなかった。これは、破壊時の UFC パネルのせん断強度が高くなっているために曲げ破壊が先行したと考えられる。また、U. RC-C-W は、供試体 U. RC-C1 とほぼ同様な破壊形状を示したが、床版の中央にもひび割れは多く発生した。また、床版上面の侵入孔から水を注入した箇所に微細なひび割れが発生している。

5. まとめ

- ①等価走行回数より、通常の RC 床版に比して合成面を P タイプとした UFC パネル RC 床版は 5.29 倍、合成面を C タイプとした供試体は 58.67 倍となり、UFC パネルと RC 床版を合成構造とすることで耐疲労性が向上した。合成面を C タイプとした供試体は、合成面を P タイプとした供試体に比して 11.09 倍の走行回数となり、合成効果がさらに向上する結果となった。また、供試体 U. RC-C-W は、合成面を C タイプとした供試体に比して耐疲労性は約 86%に低下した。
- ②等価走行回数とたわみの関係より、各走行回数における UFC パネル RC 床版のたわみは、通常の RC 床版のたわみを下回った。したがって、UFC パネル RC 床版は曲げ剛性が向上したためにたわみの増加が抑制されたものと考えられる。また、UFC パネル RC 床版の合成面を C タイプとすることにより、P タイプの供試体と比してたわみが抑制される結果となった。
- ③破壊モードより、通常の RC 床版は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊に至った。合成面を P タイプとした UFC パネル RC 床版は、輪荷重が走行中

に RC 床版が押抜きせん断破壊となると同時に UFC パネルがはく離した。合成面を C タイプとした供試体は、付着力が向上し、輪荷重が走行中に UFC パネルの曲げ破壊を伴う押抜きせん断破壊に至った。供試体 U. RC-C-W は、水の注入箇所に微細なひび割れが発生した。

- ④ UFC パネル RC 床版は、通常の RC 床版に比して等価走行回数は上回り、たわみが抑制されていることから耐疲労性に優れた構造であることが実証された。さらに、合成面を C タイプとした UFC パネル RC 床版は合成構造としてより有効であることが実証された。供試体 U. RC-C-W は、同合成面形状である C タイプの供試体に比して等価走行回数は約 86%に低下する結果となり、水分の侵入が耐疲労性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献

- 1)牧隆輝、田中敏嗣、阿部忠、木田哲量：RPC 埋設型枠を用いた RC はりの載荷試験、コンクリート工学年次論文集 Vol.27, No.1, pp.289-294, 2009.
- 2)財団法人土木研究センター：建設技術審査報告書、ダクトアルフォーム
- 3)阿部忠、木田哲量、新見彩、高野真希子、田中敏嗣：UFC 埋設型枠 RC 床版の合成面の力学特性、第 52 回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集、pp.33-34, 2008.
- 4)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I・II、2004
- 5)新見彩、阿部忠、木田哲量、澤野利章、片桐誠：UFC 埋設型枠 RC 床版の疲労耐久性、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.69-74、2008
- 6)園木聡、阿部忠、木田哲量、澤野利章、田中敏嗣：UFC 埋設型枠の付着面の改善が静的押抜きせん断耐荷力に及ぼす影響、第 53 回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集、pp.259-260、2009
- 7)松井繁之：道路橋床版、設計・施工と維持管理、森北出版株式会社、2007.