

超高強度繊維補強コンクリートパネルを用いた道路橋RC床版の耐荷力に関する研究

阿部 忠 (日大生産工・教授), 木田哲量・澤野利章 (日大生産工・教授)
田中敏嗣 (太平洋セメント(株)・テクニカル技術開発チーフ・リーダー)

1. はじめに

近年, 建設事業費の縮減により, 鋼道路橋は施工の合理化, 省力化が求められている. その1つとして, コンクリート打設における型枠脱着施工の合理化・省力化, さらには環境保全効果を目的として, 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) で製作した埋設型枠^{1), 2), 3)} (UFC 埋設型枠) が提案されている. この UFC 埋設型枠は, RC 部材の底面および側面の型枠材として採用されている他, RC 床版下面のコンクリートはく離防止材や塩害対策用補強材としても採用されている. しかし, UFC 埋設型枠はブロック化して施工することから耐荷力の分担能は考慮されていない. そこで筆者らは, UFC に混入された鋼繊維の架橋効果を十分に発揮させた UFC 埋設型枠 (以下 UFC パネル) と RC はりの合成構造を提案した. これは RC 部材の引張鉄筋かぶり内に UFC パネルを設置し, その上に鉄筋を配置してコンクリートを打設して一体化した合成構造である.

そこで本研究は, 通常型枠を用いて製作した RC 床版供試体と RC 床版のかぶり内に UFC パネルを用いて合成構造とした UFC パネル合成 RC 床版供試体 (以下, UFC パネル RC 床版とする) を用いて, 静荷重実験および走行荷重実験を行い, 最大耐荷力を明らかにする. また, 200 万回の定点疲労実験を行い, 疲労実験後の残存耐荷力を比較し, 定点疲労実験における耐荷力の低下率を評価する.

2. 使用材料および供試体寸法

2.1 RC床版の使用材料

供試体のコンクリートには, 普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨材を使用した. また, 鉄筋には SD295A, D10 を使用した. コンクリートの圧縮強度は 35N/mm^2 である.

2.2 UFCパネルの使用材料

UFC パネルの使用材料は, 水, ポリカルボン酸系の高性能減水剤, プレミックス材料 (密度 2.85g/cm^3)

および鋼繊維 (密度 7.85g/cm^3) とした. 鋼繊維は, 直径 0.2mm, 長さ 15mm を体積比で 2.0% 使用した. プレミックス材料は, セメント, シリカフェーム, 珪石粉末などが最密充填されるように配合されており, 骨材としては粗骨材は用いず最大粒径 2mm の珪砂が混合されている. 混和剤使用量は, 目標フロー値を 240mm として決定した. 圧縮強度は 219N/mm^2 , 曲げ強度は 34.9N/mm^2 , 弾性係数は 55kN/mm^2 である.

2.3 供試体の寸法

(1) RC床版供試体の寸法

通常の型枠を用いて製作した RC 床版 (以下, RC 床版) 供試体の寸法は, 全長 1470mm, 支間 1200mm, 厚さ 130mm の正方形版とした. 鉄筋は複鉄筋配置とし, 主鉄筋および配力筋を 100mm 間隔とし, 圧縮側は引張側の 1/2 を配置し, 有効高さは主鉄筋が 105mm, 配力筋は 95mm とした. 供試体寸法および鉄筋配置を図 1(1)に示す.

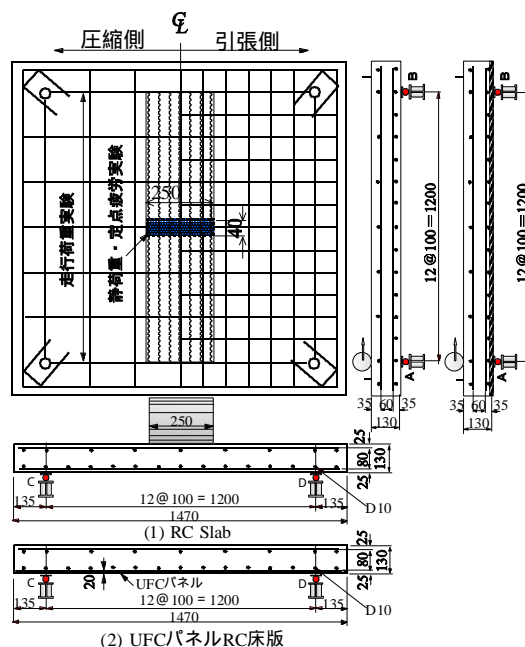


図 1 供試体寸法および鉄筋の配置

Study on load-carrying capacity of RC slabs for highway bridge UFC panel

by

Tadashi ABE, Tetsukazu KIDA, Toshiaki SAWANO and Satoshi TANAKA

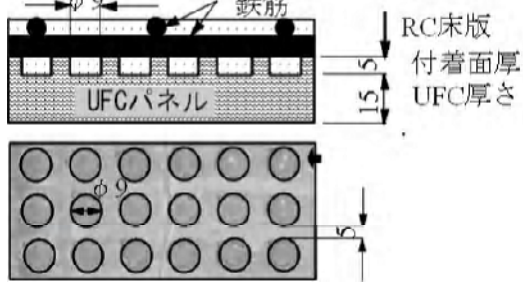


図2 RC床版とUFCパネルの付着面

(2) UFCパネルの付着面

UFCパネルRC床版の底面コンクリートとの合成効果を高めるために、UFCパネルの付着面の製作が重要となる。そこで本研究では、直径9mmの円形で、付着面厚が5mmの凹凸面を設けたPタイプを採用した。Pタイプの凹部は、UFCとコンクリートの比率は1:0.60である。断面形状および付着面形状を図2に示す。

UFCパネルの寸法は、幅147cm、有効厚1.5cm、付着面厚は0.5cm、全厚2.0cmとし、RC床版のかぶり内に埋設する。製作は、付着面をPタイプとしたUFCパネル用の型枠にUFCを打設した。養生は、前置き時間を24時間とし、脱型後の蒸気養生は最高温度90℃を48時間保持した。

(3) UFCパネルRC床版供試体の寸法

UFCパネルRC床版供試体の寸法は、基本的には図1(1)に示したRC床版と同様である。

UFCパネルRC床版供試体の作製手順は、あらかじめ製作したUFCパネルを底面に設置し、側面の型枠を作製する。次に、UFCパネルの上面に予め組んでおいた鉄筋を直接配置する。その後、コンクリートを打設し、UFCパネルRC床版を一体構造とする。コンクリート打設後は通常のRCと同様に脱型し、水中養生を行う。UFCパネルRC床版の供試体寸法および鉄筋配置を図1(2)に示す。

3. 実験方法

3.1 静荷重実験

静荷重実験は、最大応力が生じる支間中央に輪荷重を静止して荷重を載荷する実験である。荷重の大きさは、引張主鉄筋が降伏するまでは10.0kNずつ増加させ、降伏後は供試体が破壊するまで5.0kNずつ増加させる。供試体記号はRC床版供試体をRC-Sとし、UFCパネルRC床版供試体をU.RC-Sとする。

3.2 走行荷重実験

走行荷重実験は、走行荷重が作用した場合に静荷重実験の耐力に比して、最も耐力の低下が著しい支間中央から両支点方向へ1往復走行させて、元の支間中央で停止させる実験である。走行速度は1往復2.4mを13secで走行する0.18m/sとした。荷重の大きさは、1走行ごとに5.0kNずつ増加する段階荷重とし、走行範囲を図1に示した。供試体記号はRC床版供試体をRC-Rとし、UFCパネルRC床版供試体をU.RC-Rとする。

3.3 定点疲労実験

定点疲労実験は、静荷重実験と同様に支間中央に輪荷重を載荷して疲労実験を行う。本供試体は、実橋床版の1/2モデルとしたことから設計活荷重は50kNである。そこで、定点疲労実験の荷重振幅は、設計活荷重の2倍、3倍とし、上限荷重を100kN、150kNとした。したがって、荷重は基準荷重77kNに対して±30%（上限100kN、下限54kN）、基準荷重100kNに対して±50%（上限150kN、下限50kN）とし、5Hzの正弦波形で載荷回数200万回の疲労実験（以下、定点疲労実験とする）を行った。その後、残存耐力を評価するために静荷重実験を行った。供試体記号はRC床版供試体をRC-F30、F50とし、UFCパネルRC床版供試体をU.RC-F30、F50とする。すなわち、荷重振幅±30%をF30、±50%をF50とする。

4. 実験結果および考察

4.1 最大耐力

静荷重実験、走行荷重実験および定点疲労実験後の静荷重実験における最大耐力を表1に示す。

(1) RC床版

静荷重実験におけるRC床版供試体RC-Sの最大耐力の平均は237.7kNであり、走行荷重実験の場合の供試体RC-Rの最大耐力の平均は172.0kNである。静荷重実験と走行荷重実験の最大耐力を比較すると走行荷重実験の場合が28%の耐力が低下した。

RC床版の200万回の定点疲労実験後の静荷重実験における残存耐力は、供試体RC-F30、F50で、それぞれ232.5kN、230.0kNであり、静荷重実験の平均値と比較するとほぼ同程度であり、本実験の荷重条件の範囲内では、疲労による耐力の低下はほとんどみられない。

(2) UFCパネルRC床版

表1 実験耐荷力および最大たわみ

供試体	実験最大耐荷力 (kN)	平均耐荷力 (kN)	最大たわみ (mm)
RC-S-1	235.2	237.7	12.6
RC-S-2	240.2		15.2
RC-R-1	172.5	172.0	9.2
RC-R-2	171.5		11.5
RC-F30	235.0	232.5	11.1
RC-F50	230.0	230.0	10.9
U.RC-S-1	299.6	294.7	6.3
U.RC-S-2	289.7		5.7
U.RC-R-1	235.4	238.0	7.1
U.RC-R-2	240.5		5.7
U.RC-F30	299.8	299.8	6.1
U.RC-F50	294.8	294.8	5.7

RC:鉄筋コンクリート床版、U.RC:UFC埋設型枠RC床版、S:静荷重実験、R:走行荷重実験、F30、F50:荷重振幅±30%、±50%の疲労実験、1、2:供試体番号

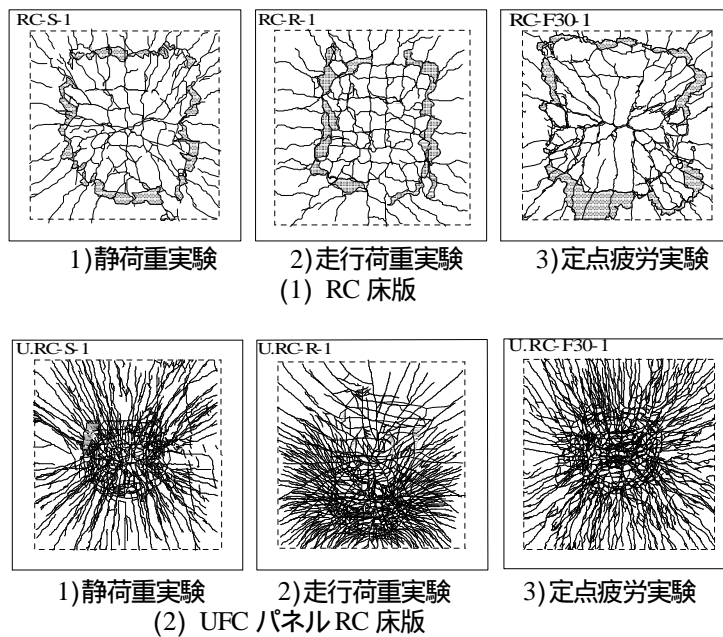


図3 破壊状況

静荷重実験における UFC パネル RC 床版供試体 U.RC-S の最大耐荷力の平均は 294.7kN、走行荷重実験の場合の供試体 U.RC-R の平均耐荷力は 238.0kN であり、静荷重実験と走行荷重実験の最大耐荷力と比較すると走行荷重実験の耐荷力が 19%低下している。走行荷重実験における最大耐荷力の低下率を比較すると、RC 床版供試体に比して、UFC パネル RC 床版の耐荷力が 9%改善されている。これは、本供試体に用いた UFC には、直径 0.2mm、長さ 15mm の鋼繊維を体積比で 2.0%を配合していることから、鋼繊維がひび割れと交差して、ひび割れ発生後も応力を伝達しながら耐力を維持する。すなわち、ブリッジングによって走行荷重が作用した場合も耐荷力が維持され、9%改善されたものである。

UFC パネル RC 床版の 200 万回の定点疲労実験後の静荷重実験における残存耐荷力は、供試体 U.RC-F30、F50 でそれぞれ、299.8kN、294.8kN であり、静荷重実験の供試体 U.RC-S-1、2 の平均値と同程度であり、RC 床版供試体と同様に疲労による耐荷力の低下はほとんどみられない。

(3) RC床版とUFCパネルRC床版との比較

RC 床版供試体 RC-S と UFC パネル RC 床版供試体 U.RC-S の最大耐荷力を比較すると、静荷重実験の場合は UFC パネル RC 床版供試体が RC 床版供試体の 1.24 倍、走行荷重実験においては 1.38 倍耐荷力が上回った。次に、200 万回の疲労実験後の残

存耐荷力について RC 床版供試体 RC-F と UFC パネル RC 床版供試体 U.RC-F を比較すると、UFC パネル RC 床版供試体が約 1.28 倍上回っている。これは、RC 床版のコンクリートの引張強度 $f_t (= 0.269f_c^{2/3}, f_c: \text{コンクリートの圧縮強度}(= 35\text{N/mm}^2))$ が 2.8N/mm^2 に比して、UFC の引張強度 $f_t (= (f_b - 1.54)/2.59, f_b: \text{UFC 材の曲げ強度}(= 34.9\text{N/mm}^2))$ は 12.9N/mm^2 であり、普通コンクリートの 4.6 倍であることから、引張抵抗力が向上して耐荷力も大幅に向上したものである。また、配合された鋼繊維のブリッジングによって疲労実験後の耐荷力の低下はみられない。UFC パネル RC 床版の耐荷力が大幅に向上したことから、RC 床版部の最小厚さの減少も可能となり、全体的に軽量化が図られるものと考えられる。

4.2 破壊状況

本実験における RC 床版供試体と UFC パネル RC 床版供試体のひび割れ状況の一例を図 3 に示す。

(1) RC床版

RC 床版における静荷重実験の場合のひび割れ状況は図 3 (1) 1) に示すように 車輪の接地面から約 45 度底面の引張応力分布範囲でかぶりコンクリートがはく離している。これは、引張鉄筋のダウエル効果によるものである。終局時の破壊は押抜きせん断破壊となった。

走行荷重実験におけるひび割れ状況は図 3 (1) 2)

に示すように、RC 床版の底面に配置した主鉄筋の位置にひび割れが発生している。終局時のひび割れ状況は、荷重が走行することから、軸直角方向の底面の鉄筋かぶり内にははく離破壊している。終局時の破壊状況は走行中に押抜きせん断破壊となった。

定点疲労実験における RC 床版の破壊状況は図 3 (1), (3)に示すように、静荷重実験と同様に降伏線方向にひび割れが発生し、破壊面は引張応力分布範囲で引張鉄筋のダウエル効果によりコンクリートがはく離し、押抜きせん断破壊となった。

(2)UFC パネル RC 床版

UFC パネル RC 床版の破壊状況は、静荷重実験の場合は図 3 (2), (1)に示すように、床版中央に荷重を載荷したことから、輪荷重の接地面(250mm×40mm)から 45° で荷重が分布するため、その範囲はひび割れが密集している。終局時は RC 床版部が押抜きせん断破壊と同時に UFC パネルがはく離破壊となった。なお、UFC のはく離は、RC 床版の引張鉄筋のダウエル効果が及ぼす範囲とほぼ同位置である。

走行荷重実験においても図 3 (2), (2)に示すように、荷重が走行する範囲にひび割れが発生し、輪荷重が走行中に支点から 30cm 付近で押抜きせん断破壊を起こすと同時に UFC パネル RC 床版の合成面がはく離した。これは、輪荷重の作用により、合成面は曲げ引張力を受けることとなる。この場合に RC 床版コンクリートの引張強度 (= 2.8N/mm²) と UFC の引張強度 (12.9N/mm²) の差により、合成面は横ずれが生じ、はく離破壊となったものと考えられる。

定点疲労実験における RC 床版の破壊状況は図 3 (2), (3)に示すように、静荷重実験と同様に、輪荷重の接地面から 45 度の分布面にひび割れが密集している。破壊は RC 床版部が押抜きせん断破壊に至ると同時に引張応力分布範囲で引張鉄筋のダウエル効果の影響により UFC パネルがはく離した。しかし、本実験における最大荷重は設計荷重の 2, 3 倍の荷重で定点疲労実験を行ったが UFC パネルの付着面に P タイプを用いたことから、破壊荷重までははく離はほとんど見られなく、合成効果が得られ、はく離破壊の先行には至らなかった。したがって、UFC パネルを合成構造部材との 1 部材とすることが可能であり、道路橋床版として有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究は、UFC パネル RC 床版の実用性を評価するために、静荷重・走行荷重実験および 200 万回の

定点疲労実験、輪荷重走行による疲労実験を行った結果、以下をまとめとした。

- (1) RC 床版供試体と UFC パネル RC 床版供試体の最大耐荷力を比較すると、UFC パネル RC 床版供試体は、UFC パネル RC 床版との合成効果が発揮され、静荷重実験の場合は 1.24 倍、定点疲労実験後の静荷重実験の場合が 1.28 倍耐荷力が上回った。実験耐荷力が大幅に向上することから、RC 床版の最小厚さの低減も図られるものと考えられる。
- (2) 静荷重実験と走行荷重実験の耐荷力を比較すると、RC 床版の場合は、走行荷重が作用することにより 28 %耐荷力が低下したが、UFC パネル RC 床版の場合は 19 %の耐荷力が低下し、RC 床版に比して約 10%の改善が見られた。
- (3) UFC パネル RC 床版供試体では、RC 床版部が押抜きせん断破壊すると同時に、ダウエル効果が及ぼす範囲の一部に UFC パネルのはく離がみられた。しかし、UFC パネルの付着面に P タイプを用いたことから、UFC パネルと RC 床版との付着性が良く、配合された鋼繊維の架橋効果によりひび割れが分散されている。
- (4) 定点疲労実験においても、UFC パネル RC 床版は RC 床版に比してたわみが大幅に抑制されている。また、200 万回の定点疲労実験後の残存耐荷力の低下もみられない。

参考文献

- 1) 牧隆輝、田中敏嗣、阿部忠、木田哲量：RPC 製埋設型枠を用いた 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(2005)
- 2) 下山善秀、鶴澤正美：ダクタルの特性と応用分野、太平洋セメント研究報告, No.142, pp.55-62(2002)
- 3) 土木研究センター：土木系材料技術・技術審査証明報告書「FRP と高強度モルタルの複合部材による高耐久性埋設型枠材「H・R フォーム」」,(1995)ト・コンクリート論文集、No. 58, pp. 448-453(2004)
- 4) 澤野利章、阿部忠、木田哲量、片桐誠：走行荷重が作用する UFC 埋設型枠 RC はりの実用性に関する研究、セメント・コンクリート論文集, No.61, pp.233-240, 2008.