付着面の異なるUFCパネルRC床版の走行荷重実験に関する研究 日大生産工(院) ○園木 聡 日大生産工 木田 哲量・阿部 忠・水口

U.RC13-PR

U.RC13-

35

27

# 1. はじめに

近年,建設事業費におけるコスト削減,施工の 工期短縮を目的として,鋼道路橋では,構造形式, および施工の合理化,省力化が図られている.こ れらの要求に対応しうる各種道路橋床版の研究・ 開発が行われている<sup>1)-3)</sup>. その一例として, RC 床版の引張鉄筋かぶり内に超高強度繊維補強コ ンクリート(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete:以下, UFC とする)で製作した型枠を 埋設した合成構造(以下, UFC パネル RC 床版 とする)が提案されている 4~60. そこで本研究で は、通常の RC 床版供試体、UFC パネルの付着面 に一様に凹部を設けた従来型の構造(P型)を用い た UFC パネル RC 床版供試体,これを軽量化し, 床版厚を 20mm 減少させた UFC パネル RC 床版

供試体, さらに UFC パネルと RC 床版の付着界面 に凸部を設けた構造(C型)を用いて作成した UFC パネル RC 床版供試体を用いて走行荷重実験を行 い、UFC パネルおよび付着面形状が RC 床版の耐 荷力性能および力学特性に及ぼす影響を検証し, 道路橋 RC 床版への適用性を評価した.

## 2. 使用材料および供試体概要

#### 2.1 使用材料

(1)RC 床版 供試体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, 5~20mm の砕 石(JIS-A5005)を使用した. ここで, RC 床版部の材料 特性値を表-1に示す.

(2)UFC パネル 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 および鋼繊維である. 鋼繊維は, 直径 0.2mm, 長さ 15mm を体積比で 2.0 %混練した. プレミックス材料 は、セメント、シリカフューム、硅砂粉末などが最 密充填されるように配合されており、粗骨材は使用 せずに最大粒径 2mm の硅砂を混合した. 混和剤使用 量は、目標フロー値を 240mm として決定した. ここ で, UFC の材料特性値を表-2 に示す.

## 2.2 供試体概要

(1) 供試体寸法および鉄筋配置 本供試体は,道路橋 示方書・同解説 <sup>7</sup>(以下,道示とする)に基づいて,大

和彦 太平洋セメント(株) 田中 敏嗣

型車両の1日1方向あたりの計画交通量は2000台以 上を想定して床版厚,鉄筋量を算出し,その 1/2 モ デルとした. ここで、本実験供試体の寸法および鉄 筋配置を図-1 に示す.供試体は設計支間 1200mm と し、UFC パネルは引張鉄筋かぶり内に配置した.こ こで、供試体名称を、床版厚を130mmとした通常の RC 床版を RC13-R, 軽量化した床版厚を 110mm の P 型の UFC パネル RC 床版を U.RC11-PR, 床版厚を 130mm とした P型の UFC パネル RC 床版を U.RC13-PR,

表-1 材料特性值							
	コンカリート	鉄 筋(SD295A, D10)					
供試体	王縮強度	降伏強度	引張強度	ヤング係数			
	$(N/mm^2)$	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/mm <sup>2</sup> )			
RC13-R	35	368	568	200			
LRC11-PR	32	357	507	200			

385

385

520

520

200

200

表-2 UFC の材料特性値							
供封休	圧縮強度	曲げ強度	ヤング係数				
<b>於</b> സ	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	$(kN/mm^2)$				
U.RC11-PR	200.4	32.7	55.0				
U.RC13-PR	219.4	34.9	55.0				
U.RC13-	213.2	32.0	55.0				



Study on UFC Panel Using RC Slabs Under Running-load From Different Thickness. Satoshi SONOKI

Tetsukazu KIDA, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI and Satoshi TANAKA

床版厚 130mm で C 型の UFC パネル RC 床版を U.RC13-CR とする.

(2) UFC パネルの付着面形状と寸法 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 ルの付着面の構造が重要となる. 従来の合成面であ る P 型は UFC パネル側に φ 9mm, 深さ 5mm の凹部 を一様に設けた構造である. そこで、本研究では、

付着力をさらに高めるために UFC パネル側に $\phi$ 15mm,高さ5mmの凸部を一様に設けたC型を用いた.ここで、UFCとコンクリートとの面積比率は、P 型で6:4、C型で4:6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とした.ここで、P型、C型の付着面を図-2に示す.

(3)UFC パネル RC 床版供試体の作製 UFC パネル は、凹、凸型の型枠を用いて製作し、20 ℃で 24 時 間養生(1 次養生)、その後 90 ℃で 48 時間の蒸気養 生(2 次養生)を行った.次に、UFC パネル RC 床版 の作製は、図-3 に示すように予め製作した UFC パネ ル(1470×1470×20mm)を床版底面に設置し、その上 に直接に鉄筋を配置し、コンクリートを打設して一 体構造とした.

# 3. UFC パネルの付着面のせん断強度

3.1 一面せん断試験 UFC のみの一面せん断試験に よるせん断強度  $f_{evo}$  は、鋼繊維の混合により 23.0N/mm<sup>2</sup> である.このことから、UFC パネル側で はせん断破壊は生じないこととなる.よって、UFC 側に挿入させるコンクリートの圧縮強度  $f_e$  と挿入さ れるコンクリートの面積の影響が顕著となり、破壊 時には挿入されるコンクリート側で一面せん断破壊 となることから、モード II 型せん断試験を行った.

次に、モードII型による一面せん断試験によって 得られるコンクリートのせん断応力度をせん断強度  $f_{co,P(C)}$ と定義し、式(3.1)より算出する.

$$f_{cv0.P(C)} = P/A_S \tag{3.1}$$

ここで、 $f_{coOP(C)}$ : P(C)型のコンクリートのせん断応 力度、P: 破壊荷重(N/mm<sup>2</sup>)、As: 一面せん断破壊面 積(mm<sup>2</sup>)

## 3.2 圧縮強度とせん断強度の関係

合成面を P 型および C 型とした場合の UFC パネ ルの合成面におけるコンクリートの圧縮強度とせん 断強度の関係を図-4 に示す.なお、コンクリートの 圧縮強度が 20N/mm<sup>2</sup> ~ 80N/mm<sup>2</sup> の範囲の一面せん 断強度を図-4 に併記した<sup>8</sup>. 合成面が P 型の場合は、

コンクリートが挿入される面積比率は全体面積の 40 %である. ここで, UFC のせん断強度は 23N/mm<sup>2</sup> であり、これに対するコンクリートのせん断強度はP 型が 2.5N/mm<sup>2</sup>, C 型が 3.0N/mm<sup>2</sup> 程度であることか ら、全てが凹部あるいは凸部に挿入されるコンクリ ートがせん断破壊となる. したがって、凹部に挿入 されるコンクリートの一面せん断強度は、コンクリ ートのせん断強度式の40%とほぼ同等な結果となっ ている. また, 合成面を C 型とした場合はコンクリ ートが挿入される面積比率は全体面積の 60 %であ る. 合成面を C 型とした場合のコンクリートの一面 せん断強度は、コンクリートのせん断強度の60%と した場合と同等な結果が得られた. そこで、本提案 式では、UFC パネルの凹部および凸部のばらつきに よる損失を約10% (P型は図-4に示したコンクリー トせん断強度(fcv)の 36 %および C 型は 54%) 考慮 して, せん断強度評価式を提案する. つまり, 合成 面を P 型とした場合のコンクリートのせん断強度 fcv0.UP は,式(3.2),C型とした場合のコンクリートの



図-2 UFC パネル付着面形状





図-4 コンクリート圧縮強度とせん断力の関係

せん断強度 fcv.uc は,式(3.3)として与えられる.

P 型:  $f_{cv0.P} = 0.248 f_c^{0.610} \le f_c = 80$ N/mm<sup>2</sup> (3.2) C 型:  $f_{cv0.c} = 0.372 f_c^{0.610} \le f_c = 80$ N/mm<sup>2</sup> (3.3)

ここで, *f*<sub>c</sub>: RC 床版部のコンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

これらの式より算出した UFC パネルと RC 床版と の付着面のせん断強度は U.RC11-PR が 2.1 N/mm<sup>2</sup>, U.RC13-PR が 2.2 N/mm<sup>2</sup>, U.RC13-CR が 2.8N/mm<sup>2</sup> となり, C 型が P 型に比して約 1.3 倍のせん断強度 となった.

### 4. UFC パネルの引張強度

UFC の標準配合粉体と 2Vol.%の鋼繊維(繊維径 0.2mm, 繊維長 15mm)を用いて標準熱養生を行った 場合の UFC の引張強度は,本来ならば引張試験によ り求めることが望ましいが,UFC の場合は直接引張 試験では十分安定した試験結果を得ることは容易で ない.しかし,引張軟化特性は曲げ試験から逆解析 した結果と同様な傾向を示している<sup>9</sup>.そこで,UFC の引張強度 f.v は,曲げ強度を用いて逆解析から得る ものとする.よって,UFC の引張強度 f.v は式(4.1)と して与えられている.

$$f_{LU} = (f_b - 1.54)/2.59 \tag{4.1}$$

ここで, f<sub>b</sub>: UFC 材の曲げ強度(N/mm<sup>2</sup>)<sup>9)</sup>

## 5. 走行荷重実験方法

走行荷重実験は,静荷重実験の耐荷力に比して耐荷力低下の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. 走行平均速度は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 走行毎に 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした.

### 6. 実験結果および考察

6.1 UFC パネル RC 床版の耐荷力 最大耐荷力およ

表-3 実験耐荷力比および破壊モード

供試体	最大耐荷 力(P <sub>max</sub> )	平均耐荷 力 (P <sub>cp</sub> )	耐荷力比	破壊モード
	(kN)	(kN)	U.RC/RC	
RC13-R1	170.0	170.2		押抜きせん断破壊
RC13-R2	170.4	170.2		押抜きせん断破壊
U.RC11-PR1	185.0	187.0	1.09	押抜きせん断破壊
U.RC11-PR2	190.7	107.9	1.12	押抜きせん断破壊
U.RC13-PR1	235.4	228.0	1.38	押抜きせん断破壊
U.RC13-PR2	240.5	238.0	1.41	押抜きせん断破壊
U.RC13-CR1	240.0	222.5	1.28	押抜きせん断破壊
U.RC13-CR2	225.0	232.3	1.20	押抜きせん断破壊

び破壊モードを表-3 に示す. 表-3 より, 各供試体の 平均耐荷力を RC13-R と比較すると、U.RC11-PR は 1.11 倍, U.RC13-PR は 1.40 倍, U.RC13-CR は 1.24 倍となった.以上の結果より, UFC パネル RC 床版 は、通常のRC 床版に比して耐荷力が増加た.また、 軽量化としで, 床版厚を 20mm 薄くした U.RC11-PR は, RC13-R と同等以上の耐荷力が得られたため軽量 化が可能である. さらに、付着面の違いによる耐荷 力を比較すると、U.RC-CR は U.RC-PR に比して 0.98 倍となった.しかし、コンクリート圧縮強度が U.RC-PR は 35 N/mm<sup>2</sup>, U.RC-CR は 27N/mm<sup>2</sup> であ り、P 型の 8 割程度であるが、耐荷力は同程度を有 しているこれは、UFC パネルに挿入される面積比が 大きいC型の付着力、すなわちRC 床版部とUFC パ ネルのせん断強度が, U.RC13-PR は 2.2N/mm<sup>2</sup>, U.RC13-CR は 2.8N/mm<sup>2</sup> であり,約 1.3 倍であった ために合成効果が高いためである. これらのことよ り、道路橋 RC 床版には C 型の付着面形状が有効で あると考えられる.

6.2 破壊形状 本実験における破壊形状の一例を図-5 に示す.図-5より,RC13-Rは、主鉄筋および配力鉄筋の配置位置にひび割れが発生しており、走行方向から下面方向に約45度の拡がりのダウエル効果の及ぼす範囲でコンクリートがはく離している.次に、U.RC13-PRおよびU.RC11-PRは、輪荷重の走行範囲から約45度底面の内側は、鋼繊維の架橋効果の影響により車輪の走行範囲(250mm × 1200mm)から床版底面方向より微細なひび割れが軸方向および軸直角は、輪荷重走行中にUFCパネルがはく離すると同時



図-5 破壊形状の一例

に押抜きせん断破壊に至った.また,U.RC13-CRは, 方向に発生し,約45度底面の外側は放射線状にひび 割れが分散して発生している.最終的な破壊モード 輪荷重の走行範囲から約45度底面の内側は, U.RC13-PRと同様に微細なひび割れが軸方向および 軸直角方向に発生しているが、ダウエル効果の及ぼ す範囲でUFCパネルの曲げ破壊が発生している.こ れはP型の付着面に比してコンクリート挿入面積の 割合が増加し、UFCパネルとRC床版の弾性係数比 (55:200)による付着面の横ずれに対するせん断強度が 増加したためである.また、ダウエル効果の及ぼす 範囲の外側は放射線状にひび割れが分散して発生し ている.最終的な破壊モードは、輪荷重走行中にUFC パネルの曲げ破壊を伴う押抜きせん断破壊に至った.

6.3 荷重とたわみの関係 荷重とたわみの関係を図-6 に示す. 図-6 より, RC13-R1,2 ともに荷重 60kN 付 近までは線形的にたわみは増加し、その後の荷重増 加に伴いたわみの増加が著しい. 終局時のたわみは 両供試体ともに 11.5mm である. U.RC13-PR1, 2は, 荷重 150kN 付近までのたわみは荷重の増加に伴って ほぼ線形的に増加するものの、その後の荷重増加に つれてたわみが次第に増加し、終局時のたわみはそ れぞれ 7.1mm, 5.7mm である. U.RC13-CR1, 2は, U.RC13-PR1, 2 と同様に、荷重 150kN 付近まではほ ぼ線形的なたわみの増加がみられ、その後の荷重増 加につれてたわみが次第に増加し、終局時のたわみ はそれぞれ 5.3mm, 4.7mm である. したがって, RC 床版に対し UFC パネル RC 床版はたわみが抑制され ている. 次に, U.RC13-PR と U.RC13-CR を比較す ると、付着面の違いによる各荷重載荷時のたわみの 抑制はみられないが、 P型に比して C型では、合成 効果が高まったため、終局時におけるたわみが抑制 された.

### 7. まとめ

- ① UFC パネルを下面に埋設したことにより耐荷力の向上がみられた.また、供試体 U.RC13-C においては、圧縮強度の違いから、耐荷力の向上は見られないが、C型はコンクリートの圧縮強度が27N/mm<sup>2</sup>であって、P型の8割程度であるが、耐荷力は同程度となり、UFCパネルの合成効果による耐荷力の向上が可能となった.
- ②破壊形状は、合成面を P 型とした場合は付着面が はく離すると同時に押抜きせん断破壊となったが、 C 型とした場合は合成効果が向上し、UFC パネル が曲げ破壊が生じると同時に押抜きせん断破壊に 至った。③荷重とたわみの関係からは、UFC パネ



# 図-6 荷重とたわみの関係

ルを下面に埋設させたことによりたわみが抑制された.また,P型に比してC型では合成効果が高まり,終局時におけるたわみの抑制がみられ,付着面形状の違いによる合成効果の差異が明らかにされた.

#### 参考文献

1)牧隆輝ほか: RPC 製パネルを用いた 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, 鵜澤正美: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 材による高耐久性パネル材「H・R フォーム」」, (1995)

4)土木研究センター:建設技術審査証明報告書「高 強度繊維補強コンクリートを用いた高耐久性薄肉埋 設型枠「ダクタルフォーム」」, (2002)

5)阿部忠ほか:低環境負荷型 UFC パネルを用いた RC 床版の実験耐荷力および破壊メカニズム,セメント・ コンクリート論文集, No.61, pp.462-469, (2008)

6)阿部忠ほか: UFC 埋設型枠 RC 床版の合成面のせん断強度および理論押抜きせん断耐力式,構造工学論文集 Vol.55A, pp1478-1487, (2009)

7)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ,(2004)

8)阿部忠ほか:静荷重・走行荷重を受ける RC 床版 の押抜きせん断耐力,構造工学論文集, Vol.50A, pp. 919-926, (2004)

9)土木学会:コンクリートライブラリー 113 「超高強度 繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」, (2004)