

UFC 埋設型枠を用いた RC 床版の疲労特性に関する研究

日大生産工(院) ○新見 彩 日大生産工 阿部 忠
日大生産工 木田哲量 日大生産工 澤野利章
太平洋セメント(株) 片桐 誠

1. はじめに

本研究は、鋼道路橋 RC 床版の施工の合理化・省力化、および少数主桁構造に対応できる高耐久性の床版の開発を目的に、RC 床版の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 と称す) 埋設型枠¹⁾を合成させた RC 床版供試体を用いて静荷重実験、定点疲労実験を行い、最大耐荷力、破壊状況およびたわみから UFC 埋設型枠と RC 床版の合成効果を検証し、UFC 埋設型枠の実用性を検討したものである。

2. 供試体の使用材料および寸法

2.1 使用材料および配合

RC 床版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 を用いた。コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を Table 1 に示す。

次に、UFC 埋設型枠の使用材料は、水、高性能減水剤、ダクトアルプレミックス材料 (密度 2.85g/cm^3) および鋼繊維 (密度 7.85g/cm^3 , 直径 0.2mm, 長さ 15mm) とした。なお、ダクトアルプレミックス材料とは、ポルトランドセメント、シリカフュームおよび珪砂粉末などの粉体をプレミックス配合したものである。UFC の配合を Table 2 に示す。

2.2 UFC の特徴²⁾

コンクリート材料のひとつである高強度セメント系マトリックスを高強度鋼繊維で補強した UFC は高強度および高じん性を有した新材料として開発された。これは、水を水和反応限界に留めることが可能であり、最密充填の概念により粒度調節がなされている。そのため、鋼繊維を混合する前後で流動性が変化することなく自己充填機能を有している。また、減水剤を多量に使用しているため、凝結時間が 18 ~ 20 時間と長く、打設後は 1

次養生を常温で 48 時間、その後 2 次養生を 90 度の蒸気養生で 48 時間行う必要がある。

2 次養生後は、初期ひび割れが生じた後も鋼繊維の架橋効果によりひび割れが抑制され、曲げ抵抗が増大し、最大応力到達後も延性的な曲げ特性を示す。また、コンクリートとの付着強度が高く、鋼繊維の弾性率が高いため、初期ひび割れ発生後に応力の一時低下や変位の急激な増加はなく曲げ抵抗が増大する。さらに、極めて緻密な硬化体構造となっているため、高強度を有するだけでなく、中性化、塩分浸透、凍結融解および磨耗などに対する耐久性に優れた材料である。UFC の材料特性値を Table 3 に示す。

2.3 供試体寸法

供試体は、全長 147cm、支間 120cm、厚さ 13cm の正方形版とした。鉄筋は、引張側の主鉄筋および配力鉄筋を 10cm 間隔とし、圧縮側は引張鉄筋量の 1/2 を配置した複鉄筋配置とした。

UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の作製は、型枠底

Table 1 Characteristic value for materials.

Specimen	Concrete compressive strength (N/mm^2)	Reinforcement (SD295A)		
		Yield strength (N/mm^2)	Flexural strength (N/mm^2)	Young's modulus (kN/mm^2)
RC Slab	35	368	568	200
U.RC Slab	35	385	520	200

Table 2 Mix proportions of concrete for UFC.

Sign	Unit weight (kg/m^3)			
	Water	Steel fiber	SP	DP
UFC	180	158	29	2250

Table 3 Characteristic value for materials of UFC.

Sign	Compressive strength (N/mm^2)	Flexural strength (N/mm^2)	Young's modulus (kN/mm^2)
UFC	219.4	34.9	55.0

Study on Fatigue Characteristics of RC Slabs using UFC Buried Form

by Aya NIIMI,

Tetukazu KIDA, Tadashi ABE, Toshiaki SAWANO and Makoto KATAGIRI

部に UFC 埋設型枠を設置した後，UFC 埋設型枠の厚さ 20mm が RC 床版の引張主鉄筋の純かぶりとなるように鉄筋を配置してコンクリートを打設し，一体構造とした。また，UFC 埋設型枠の RC 床版との付着面には凸型付き型枠材を用いて，凹部を一様に設ける P タイプを採用した。UFC 埋設型枠の断面形状および付着面形状を Fig.1，供試体寸法および鉄筋配置を Fig.2 に示す。ここで，RC 床版供試体を RC，UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を U.RC と表記する。

3. 実験方法

3.1 静荷重実験(S)

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た状態で鉛直方向に載荷する実験である。載荷方法は，引張主鉄筋が降伏するまでは 10.0kN ずつ増加させ，その後は供試体が破壊に至るまで 5.0kN ずつ増加させる段階荷重とした。供試体記号を S とする。

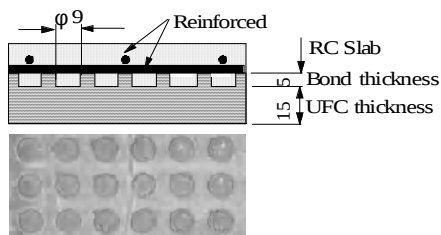


Fig.1 Shape of UFC buried form

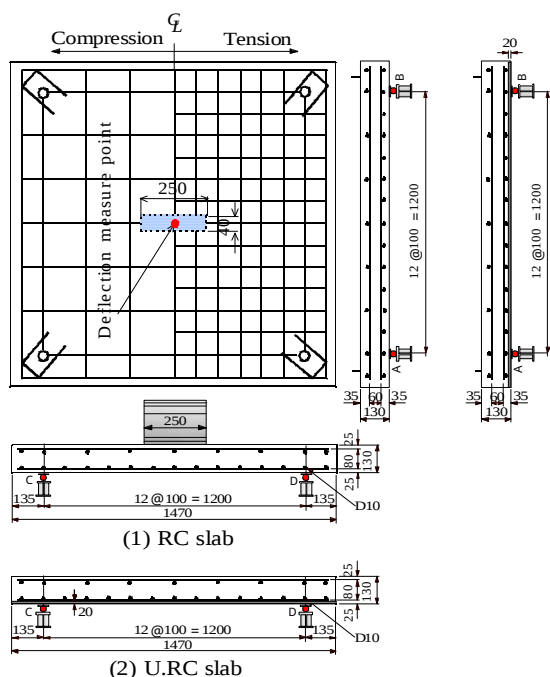


Fig.2 Specimen size.

3.2 定点疲労実験(F)

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する実験である。本実験では，荷重は基準荷重 77kN に対して $\pm 30\%$ (上限 100kN，下限 54kN)，基準荷重 100kN に対して $\pm 50\%$ (上限 150kN，下限 50kN) とし，振動周期 5Hz の正弦波形で載荷回数 200 万回の疲労実験を行った。その後に，残存耐力力を求めるために静荷重実験を行った。供試体記号は，荷重振幅 $\pm 30\%$ ， $\pm 50\%$ でそれぞれ F30，F50 とする。

4. 実験結果および考察

4.1 耐力力

耐力力および破壊モードを Table 4 に示す。ここで，F30 および F50 の耐力力とは，載荷回数 200 万回の定点疲労実験後に行った静荷重実験における残存耐力力である。

静荷重実験における供試体 RC-S の平均耐力力は 237.7kN，供試体 U.RC-S の平均耐力力は 294.7kN であり，供試体 U.RC-S が供試体 RC-S に比して約 25 %耐力力が上回った。また，定点疲労実験後の静荷重実験における残存耐力力は，供試体 RC-F30，RC-F50 でそれぞれ 235.0kN，230.0kN，供試体 U.RC-F30，U.RC-F50 でそれぞれ 299.8kN，294.8kN であった。ここで，静荷重実験による耐力力と定点疲労実験後の静荷重実験による残存耐力力を比較すると，RC 床版供試体の場合，F30，F50 とともに静荷重実験と近似した値を示した。UFC 埋設型枠 RC 床版供試体においても，同様に F30，F50 とともに静荷重実験と近似した。したがって，RC 床版供試体，UFC 埋設型枠 RC 床版供試体ともに疲労による耐力力の低下は見られなかった。また，RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体における残存耐力力を比較すると，F30，F50 とともに UFC 埋設型枠 RC 床版供試体が RC 床版供試体に比し

Table 4 Load-carrying capacity and failure Modes.

Test Specimen	Maximum load-carrying capacity (kN)	Average load-carrying capacity (kN)	Ratio		Failure Modes
			V/S	U.RC/RC	
RC-S-1	235.2	237.7	—	—	Punching sheare failure
RC-S-2	240.2				
U.RC-S-1	299.6	294.7	—	1.24	Punching sheare failure
U.RC-S-2	289.7				
RC-F30	235.0	235.0	0.99	—	Punching sheare failure
RC-F50	230.0	230.0	0.97	—	Punching sheare failure
U.RC-F30	299.8	299.8	1.02	1.28	Punching sheare failure
U.RC-F50	294.8	294.8	1.00	1.28	Punching sheare failure

て約 30 %耐力力が上回った。

以上より、静荷重実験および定点疲労実験後の静荷重実験において UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は RC 床版供試体に比して耐力力が上回った。これは、UFC 埋設型枠の付着面を凹型としたことによる付着性の向上および UFC 材に配合された鋼繊維による架橋効果が発揮された結果である。したがって、UFC 埋設型枠 RC 床版は合成構造として実用的であると評価でき、UFC 埋設型枠を用いることにより耐力力が大幅に向上することから、RC 床版の最小厚さの減少が可能となり、軽量化が図れるものと考えられる。

4.2 破壊メカニズム

静荷重実験および定点疲労実験の RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体におけるひび割れ状況の一例を Fig.3 に示す。静荷重実験の場合、RC 床版供試体は降伏線方向にひび割れが発生し、破壊面はダウエル効果により、コンクリートがはく離した。破壊モードは押抜きせん断破壊となった。UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は、輪荷重の接地面（250mm×40mm）から 45° の角度で荷重が分布し、その範囲にはひび割れが密集している。これは、UFC 材に配合されている鋼繊維の架橋効果によりひび割れが抑制され、荷重が広範囲に分布したためであると考えられる。終局時は RC 床版部が押抜きせん断破壊と同時に UFC 埋設型枠がはく離した。定点疲労実験の場合、RC 床版供試体は F30、F50 とともに静荷重実験と同様に、降伏線方向にひび割れが発生し、破壊面はダウエル効果により、コンクリートがはく離した。破壊モードは押抜きせん断破壊となった。UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は F30、F50 とともに静荷重実験と同様に、輪荷重の接地面から 45° の角度で荷重が分布し、その範囲に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 埋設型枠がはく離した。

UFC 埋設型枠の RC 床版部との付着面を凸型付き型枠材を用いて凹部を一様に設けた P タイプを採用したことから、破壊時まで UFC 埋設型枠のはく離はほとんど見られなく合成効果が得られてい

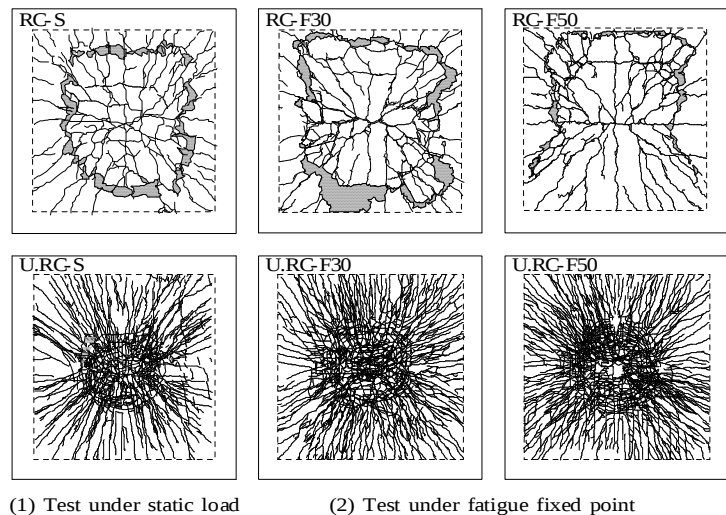


Fig.3 Cracking conditions.

る。したがって、UFC 埋設型枠 RC 床版は合成構造部材としての適用が可能であると考えられる。

4.3 載荷回数とたわみの関係

定点疲労実験における載荷回数とたわみの関係を Fig.4 に示す。供試体 RC-F30 の場合、載荷回数の増加に伴い徐々にたわみは増加し、載荷回数 30 万回付近からたわみの増加が著しくなり、載荷回数 200 万回終了時のたわみは 2.1mm であった。供試体 RC-F50 においては、載荷回数の増加に伴いたわみは緩やかに増加し、載荷回数 200 万回終了時のたわみは 3.7mm であった。供試体 RC-F30 および RC-F50 の残存耐力力はほぼ近似した値であったが、載荷回数 200 万回終了時のたわみは RC-F50 が RC-F30 に比して 1.8 倍上回る結果となった。また、供試体 U.RC-F30、U.RC-F50 は、載荷回数 200 万回終了時までたわみの増加はほとんど見られず、載荷回数 200 万回終了時のたわみは供試体 U.RC-F30、U.RC-F50 でそれぞれ 0.9mm、1.4mm であり、U.RC-F50 が U.RC-F30 に比して 1.6 倍上回った。ここで、載荷回数 200 万回終了時のたわみ、RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を比較すると、F30、F50 とともに UFC 埋設型枠 RC 床版供試体が RC 床版供試体に比して約 40%たわみの増加が抑制された。

次に、載荷回数 200 万回終了後の残留たわみは供試体 RC-F30、RC-F50 でそれぞれ 0.8mm、1.9mm であり、供試体 U.RC-F30、U.RC-F50 でそれぞれ 0.3mm、0.5mm であった。ここで、RC 床版供試体

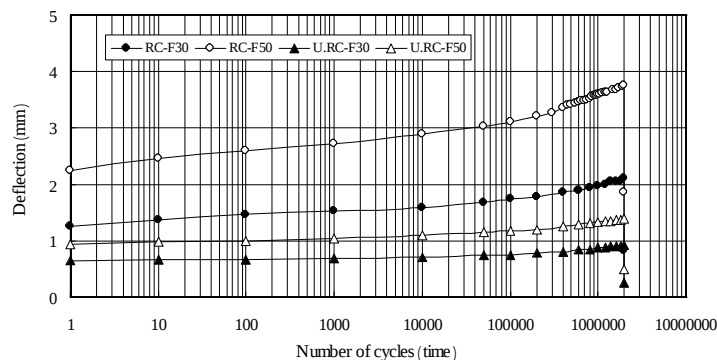


Fig.4 Deflection and number of cycles relation.

および UFC 埋設型枠 RC 床版供試体における残留たわみを比較すると、F30、F50 とともに UFC 埋設型枠 RC 床版供試体が RC 床版供試体に比して約 30%残留たわみが抑制された。

以上より、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は、載荷回数 200 万回終了時のたわみおよび載荷回数 200 万回終了後の残留たわみともに、RC 床版供試体に比してたわみが大幅に抑制されることから、疲労耐久性に優れた構造であると考えられる。

4.4 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係を Fig.5 に示す。なお、供試体 RC-F30、RC-F50、U.RC-F30 および U.RC-F50 においては、定点疲労実験における 200 万回載荷後の静荷重実験によるものである。

供試体 RC-S-1、2 とともに荷重 80kN まで線形的にたわみが増加し、その後は荷重の増加に伴いたわみが増加し、荷重 200kN 付近から急激なたわみの増加が見られた。供試体 RC-F30、F50 はともに荷重 150kN まで線形的にたわみが増加し、その後は荷重の増加に伴いたわみが増加した。供試体 U.RC-S-1、2 は、荷重 220kN まで線形的にたわみが増加し、その後は荷重の増加に伴いたわみが増加した。供試体 U.RC-F30、F50 は、荷重 220kN まで線形的にたわみが増加し、その後は荷重の増加に伴いたわみが増加した。また、供試体 U.RC-F30、F50 は供試体 U.RC-S-1、2 と同様のたわみの挙動を示し、疲労による影響は見られなかった。

静荷重実験における最大たわみは RC 床版供試体の平均が 13.9mm、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の平均が 6.1mm であり、UFC 埋設型枠 RC 床版

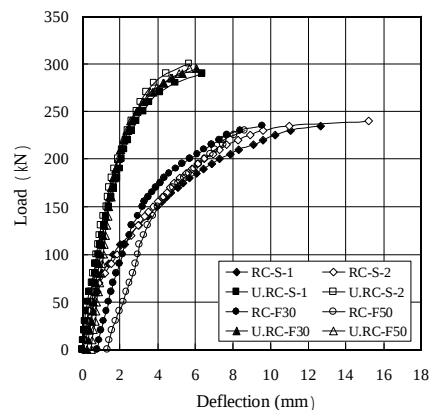


Fig.5 Load and deflection relation

供試体が RC 床版供試体に比して 56%たわみが抑制された。載荷回数 200 万回の定点疲労後の静荷重実験における最大たわみは供試体 RC-F30、RC-F50 でそれぞれ 9.6mm、8.6mm であり、供試体 U.RC-F30、U.RC-F50 でそれぞれ 6.1mm、5.7mm である。ここで、RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の最大たわみを比較すると、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体が RC 床版供試体に比して、F30 は 36%、F50 は 34%たわみが抑制された。

5. まとめ

- (1) 静荷重実験による耐力および定点疲労実験後の静荷重実験による残存耐力とともに、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体が RC 床版供試体の耐力を上回った。
- (2) たわみに関しては、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は RC 床版供試体に比してたわみが大幅に抑制された結果となり、疲労耐久性においても優れた構造であると考えられる。
- (3) UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は、耐力の増加およびたわみの抑制から、UFC 埋設型枠の付着性の向上、鋼繊維による架橋効果が顕著に現れることを示唆している。したがって、UFC 埋設型枠 RC 床版は合成構造として実用的であると評価でき、RC 床版の軽量化が図れるものと考えられる。

参考文献

- 1) 阿部忠ほか、UFC 埋設型枠を用いた RC はりの耐力および破壊状況、コンクリート工学年次論文集、Fol.29, No.3, (2007), pp.1447-1452
- 2) 中山良直ほか、コンクリート構造物の高耐久化～ダクトアルフォームの製造と適用事例～、川田技報、Fol.25, (2006), pp.92-93

