

論文 UFC埋設型枠RC床版の静的耐荷力と疲労特性に関する研究

新見 彩^{*1}・阿部 忠^{*2}・木田 哲量^{*3}・片桐 誠^{*4}

要旨：本研究では、通常型枠を用いて作製した RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を用いて静荷重実験および定点疲労実験を行った。この結果、RC 床版供試体に比して UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の方が静荷重実験および定点疲労実験後の静荷重実験における耐荷力が 1.24 ～ 1.28 倍になった。次に、UFC 埋設型枠の付着面を凹凸（ディンプル）としたことから RC 床版部と付着性がよく、合成効果が認められた。また、ひずみ・たわみにおいても通常型枠の RC 床版に比して優位な結果を示した。したがって、UFC 埋設型枠 RC 床版は耐荷力、疲労耐久性が向上することから実用的に評価できる構造である。

キーワード：RC 床版，UFC 埋設型枠，静荷重実験，定点疲労実験，押抜きせん断耐荷力，疲労耐久性

1. はじめに

鋼道路橋床版に対しては、コスト縮減、施工の合理化・省力化、さらには環境保全効果も期待し、超高強度繊維補強コンクリートで製作した埋設型枠¹⁾ (UFC 埋設型枠) が提案されている。この UFC 埋設型枠は、RC・PC はり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、最近では床版下面のはく離防止、塩害対策用補強型枠としても採用されている^{2),3)}。しかし、UFC 材の力学特性⁴⁾を有効に活用した合成構造についての研究はほとんど行われていないのが現状である。

そこで本研究では、道路橋 RC 床版の施工の合理化・省力化、耐久性の向上を図るために、RC 床版の引張鉄筋のかぶり内に UFC 埋設型枠を合成した UFC 埋設型枠 RC 床版についての実用性を評価する。まず、通常型枠を用いて作製した RC 床版供試体（以下、RC 床版供試体と称する）と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を用いて、静荷重実験および定位置での疲労実験（以下、定点疲労実験と称する）を行い、押抜きせん断耐荷力および疲労耐久性より、UFC 埋設型枠 RC 床版の実用性を評価する。

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表 - 1 に示す。

次に、UFC 埋設型枠の使用材料は、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直径 0.2mm、長さ 15mm の鋼繊維を体積比で 2.0 % 配合した。プレミッ

クス材料は、セメント、シリカフューム、珪砂微粉末などが最密充填理論に基づき配合されており、粗骨材は用いず最大粒径 2mm の珪砂が骨材として混合されている。UFC 埋設型枠の養生は、1 次養生を 36 時間とし、脱型後の蒸気養生は最高温度 90℃ を 48 時間保持して行った⁵⁾。UFC の材料特性値を表 - 2 に示す。

2.2 UFC 埋設型枠の付着面および寸法

UFC 埋設型枠と 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 埋設型枠の付着面の製作が重要となる。そこで本研究では、UFC 埋設型枠の付着面に凹部（ディンプル）を一様に設けた P タイプを採用した。P タイプは凹部の直径を 9mm、付着面厚を 5mm としていることから、凹部の面積率は 40 % である。断面形状および付着面形状を図 - 1 に示す。

表 - 1 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄 筋 (SD295A)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC床版	35	368	568	200
U,RC床版	35	385	520	200

表 - 2 UFCの材料特性値

圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
219.4	34.9	55.0

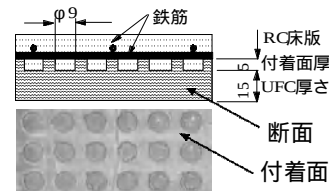


図 - 1 UFC埋設型枠の付着面形状 (単位: mm)

*1 日本大学大学院 生産工学研究科 土木工学専攻 (正会員)

*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工) (正会員)

*3 日本大学 生産工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

*4 太平洋セメント(株) 中央研究所ダクトル技術開発チーム 博士(工) (正会員)

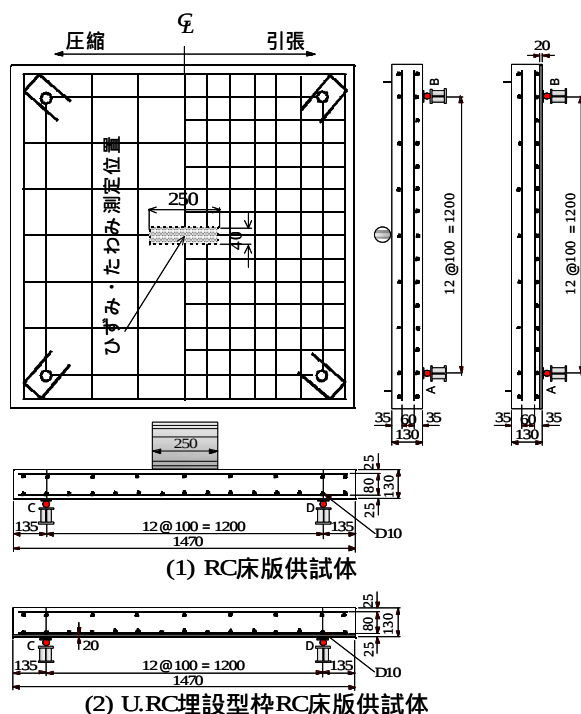


図 - 2 供試体寸法 (単位: mm)

2.3 供試体寸法

道路橋示方書・同解説⁹⁾に基づいて、RC 床版の設計支間と大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量が 2000 台以上を想定して床版厚さ、および鉄筋量を決定した。

RC 床版供試体の寸法は、全長 1470mm、支間 1200mm、厚さ 130mm の等方性版とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、主鉄筋および配力筋をした 100mm 間隔で配置し、圧縮側は引張側の 1/2 を配置した。有効高さは主鉄筋が 105mm、配力筋は 95mm とした。供試体寸法を図 - 2 に示す。また、RC 床版の断面寸法を図 - 2(1) に示す。

次に、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の寸法は、基本的には RC 床版供試体と同様とした。UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の断面寸法を図 - 2(2) に示す。作製は、幅 1470mm、厚さ 20mm の UFC 埋設型枠を設置し、埋設型枠の上面に引張鉄筋を配置してコンクリートを打設し、一体構造とした。UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の施工手順を写真 - 1 に示す。

なお、供試体名称は RC 床版供試体を RC、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を U.RC とする。

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車輪を静止させ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 ずつ増加させた。なお、

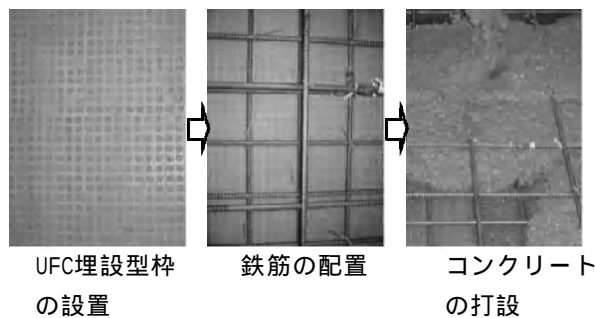


写真 - 1 UFC埋設型枠RC床版供試体の施工手順

供試体記号を RC-S、U.RC-S とする。

3.2 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った。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、本実験では設計活荷重の 2 倍、3 倍とし、上限荷重を 100kN、150kN とし、基準荷重は上限荷重から逆算して設定した。したがって、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、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。その後に、残存耐荷力を評価するために静荷重実験を行った。なお、供試体記号は荷重振幅 $\pm 30\%$ を RC-F30、U.RC-F30 とし、荷重振幅 $\pm 50\%$ を RC-F50、U.RC-F50 とする。

4. 実験結果および考察

4.1 最大耐荷力

静荷重実験および載荷回数 200 万回の定点疲労実験後の静荷重実験における最大耐荷力を表 - 4 に示す。

静荷重実験における供試体 RC-S の平均耐荷力は 237.7kN であり、供試体 U.RC-S の平均耐荷力は 294.7kN である。両者を比較すると、供試体の耐荷力が 1.24 倍となった。また、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 RC-F30、F50 でそれぞれ 235.0kN、230.0kN であり、供試体 U.RC の残存耐荷力は供試体

表 - 4 最大耐荷力

供試体	最大耐荷力 (kN)	平均耐荷力 (kN)	耐荷力比	
			F / S	U.RC / RC
RC-S-1	235.2	237.7	—	—
RC-S-2	240.2			
U.RC-S-1	299.6	294.7	—	1.24
U.RC-S-2	289.7			
RC-F30	235.0	235.0	0.99	—
RC-F50	230.0	230.0	0.97	—
U.RC-F30	299.8	299.8	1.02	1.28
U.RC-F50	294.8	294.8	1.00	1.28

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, F30、F50: 荷重振幅 $\pm 30\%$ 、 $\pm 50\%$ の疲労実験, 1, 2: 供試体番号

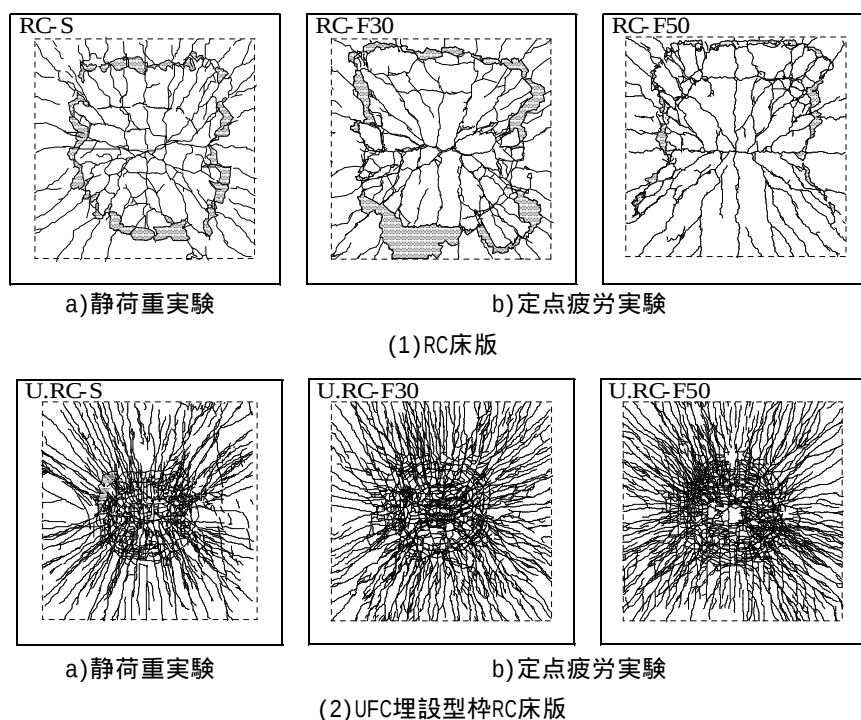


図 - 3 ひび割れ状況

U.RC-F30, F50 で、それぞれ 299.8kN, 294.8kN である。両者の残存耐力を比較すると、供試体 U.RC の耐力が 1.28 倍上回った。なお、本実験の荷重載荷条件レベルでは供試体 RC および供試体 U.RC とともに疲労実験による残存耐力の低下はみられない。

以上より、UFC 埋設型枠と RC 床版を合成することで、耐力の向上が図られた。これは、UFC 埋設型枠の付着面を凹型としたことにより付着力が得られ、UFC 埋設型枠に配合された鋼繊維の曲げ引張強度が高いことから架橋効果が発揮されたためである。

4.2 破壊状況

静荷重実験および定点疲労実験における RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体のひび割れ状況の一例を図 - 3 に示す。

(1) 静荷重実験

静荷重実験における供試体 RC-S の破壊状況は図-3 (1)a) に示すように、ひび割れは降伏線理論による降伏線方向に発生しており、引張鉄筋かぶり底面は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。また、供試体 U.RC-S は図 - 3(2)1) に示すように、輪荷重の接地面から下面方向 45° に広がる分布面にダウエル効果により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分散された結果である。破壊は RC 床版部が押抜きせん断破壊に至ると同時に UFC 埋設型枠の一部がはく離した。これは、RC 床版と UFC 埋設型枠の付

着強度が限界状態に達したためであると考えられる。本実験は UFC 埋設型枠の付着面を凹凸とし、付着面の面積比率を RC 部が 40 %、UFC 部が 60 %としたが、RC 部を 60 %、UFC 部を 40 %とすることで付着面の強度が向上するものと考えられる。

(2) 定点疲労実験

定点疲労実験における供試体 RC-F30, F50 の破壊状況は図 - 3(1)b) 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。また、供試体 U.RC-F30, F50 は図 - 3(2)b) に示すように静荷重実験と同様に、輪荷重の接地面から下面方向 45° に広がる分布面にダウエル効果による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すると同時に UFC 埋設型枠の一部がはく離した。なお、UFC 埋設型枠の付着面に P タイプを用いたことから、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、設計荷重の 3 倍の荷重による定点疲労実験においても UFC 埋設型枠と RC 床版のはく離は終局時までみられず、道路橋床版として有効であると考えられる。

4.3 定点疲労実験における載荷回数とひずみの関係

定点疲労実験における床版中央に配置した主鉄筋および配力筋の載荷回数とひずみの関係を図 - 4 に示す。

なお、鉄筋の降伏ひずみは表 - 1 に示す材料特性値より、供試体 RC の鉄筋が 1840×10^{-6} 、供試体 U.RC の鉄筋は 1925×10^{-6} である。

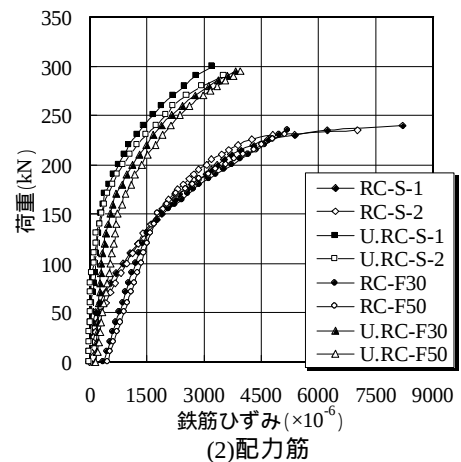
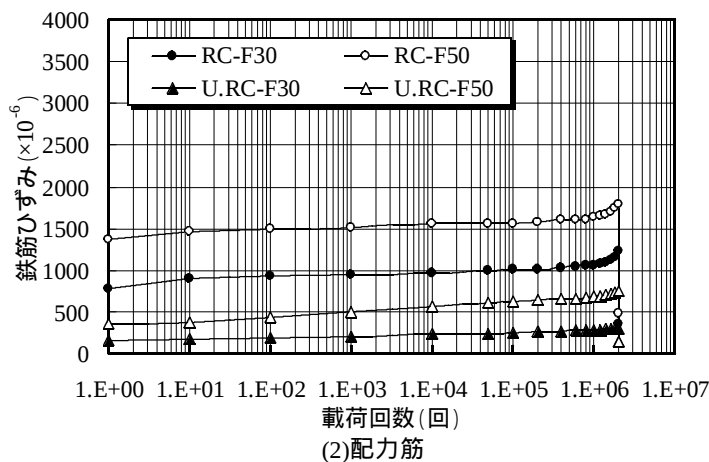
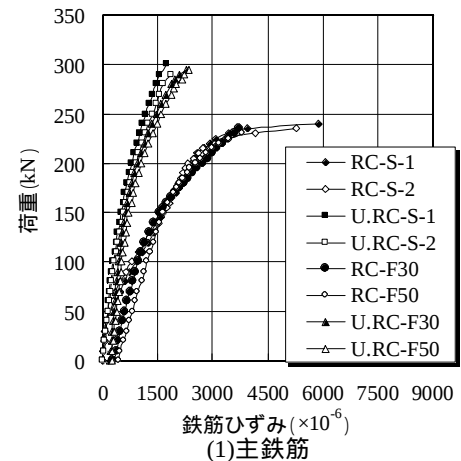
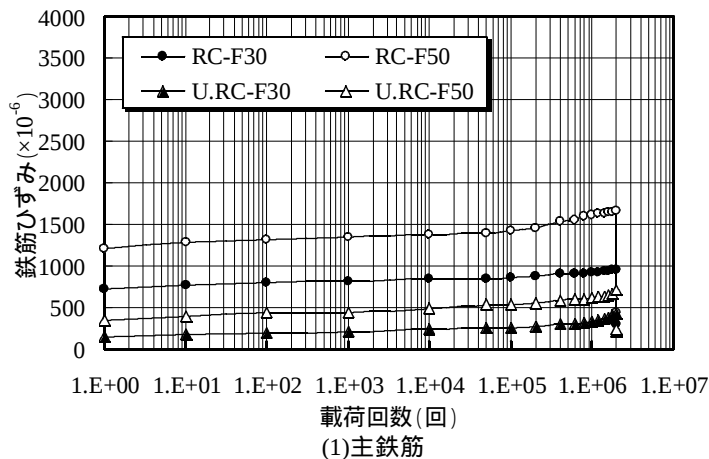


図 - 4 ひずみと载荷回数の関係

図 - 5 荷重とひずみの関係

(1) 主鉄筋

定点疲労実験における主鉄筋のひずみは図-4(1)に示すように、供試体 RC-F30 では、载荷回数の増加に伴いひずみは緩やかに増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 955×10^{-6} であり、降伏ひずみの 1/2 程度である。供試体 RC-F50 では、载荷回数の増加に伴いひずみは増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 1650×10^{-6} であり、降伏には至らなかった。また、供試体 U.RC-F30, F50 のひずみは载荷回数の増加に伴い徐々に増加し、载荷回数 60 万回付近から増加がやや大きくなるものの、载荷回数 200 万回のひずみは、供試体 U.RC-F30, F50 で、それぞれ 429×10^{-6} , 700×10^{-6} であり、ほとんど上昇はみられない。载荷回数 200 万回のひずみを比較すると、供試体 RC に比して供試体 U.RC が平均で 56 % ひずみが低減している。また、载荷回数 200 万回終了後における残留ひずみは供試体 RC-F30, F50 でそれぞれ 300×10^{-6} , 440×10^{-6} であり、供試体 U.RC-F30, F50 でそれぞれ 200×10^{-6} , 240×10^{-6} である。

(2) 配力筋

配力筋のひずみは図-4(2)に示すように、供試体 RC-F30 では载荷回数の増加に伴いひずみは徐々に増加

し、载荷回数 100 万回付近から急激に増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 1222×10^{-6} である。供試体 RC-F50 では、载荷回数の増加に伴いひずみは徐々に増加し、载荷回数 80 万回付近から急激に増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 1791×10^{-6} である。また、供試体 U.RC-F30 では载荷回数の増加に伴いひずみは増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 295×10^{-6} である。供試体 U.RC-F50 では、载荷回数の増加に伴いひずみは増加し、载荷回数 200 万回のひずみは 740×10^{-6} である。ここで载荷回数 200 万回のひずみ比較すると、供試体 U.RC が供試体 RC のひずみに比して、平均で 67 % 低減された。また、载荷回数 200 万回終了後における残留ひずみは供試体 RC-F30, F50 で、それぞれ 352×10^{-6} , 476×10^{-6} であり、供試体 U.RC-F30, F50 で、それぞれ 140×10^{-6} , 147×10^{-6} である。

以上より、主鉄筋、配力筋ともに载荷回数 200 万回終時のひずみ、および载荷回数 200 万回の残留ひずみにおいて供試体 U.RC は供試体 RC に比してひずみが大幅に抑制された。これは、UFC 埋設型枠と RC 床版が合成されたことにより疲労耐久性が向上したものであると考えられる。

4.4 荷重とひずみの関係

床版中央に配置した静荷重実験および定点疲労実験後の静荷重実験における主鉄筋および配力筋の荷重とひずみの関係を図 - 5 に示す。なお、定点疲労実験後の静荷重実験によるひずみは定点疲労実験における残留ひずみを初期値とした。

(1) 主鉄筋

静荷重実験における主鉄筋の荷重とひずみの関係は図 - 5(1) より、供試体 RC-S-1, 2 はともに荷重 160kN 付近で主鉄筋が降伏し、降伏後は荷重の増加に伴いひずみは増加し、荷重 215kN 付近からひずみの増加が著しい。終局時のひずみは供試体 RC-S-1, 2 で、それぞれ 5878×10^{-6} 、 5264×10^{-6} であった。供試体 U.RC-S-1, 2 はともに荷重の増加に伴い終局時までほぼ線形的にひずみが増加した。終局時のひずみは供試体 U.RC-S-1, 2 で、それぞれ 1734×10^{-6} 、 1874×10^{-6} であり、降伏ひずみ程度であった。したがって、静荷重実験における終局時のひずみを比較すると、供試体 RC に比して供試体 U.RC が平均で 68 % 低減されている。

次に、定点疲労実験後の静荷重実験における主鉄筋の荷重とひずみの関係は次のようになっている。供試体 RC-F30 では、荷重 160kN 付近で主鉄筋が降伏し、その後の荷重の増加に伴い線形的にひずみが増加し、終局時のひずみは 4180×10^{-6} である。供試体 RC-F50 では荷重 160kN 付近で主鉄筋が降伏し、それ以降はひずみの増加がやや大きくなり、終局時のひずみは 4400×10^{-6} である。また、U.RC-F30, F50 はともに荷重 275kN 付近で主鉄筋が降伏し、終局時のひずみは、それぞれ 2275×10^{-6} 、 2350×10^{-6} である。ここで、定点疲労実験における終局時のひずみを比較すると、供試体 RC に比して供試体 U.RC の方が平均で 46 % 低減されている。

(2) 配力筋

配力筋の荷重とひずみの関係は図 - 5(2) に示すように、静荷重実験における供試体 RC-S-1, 2 はともに荷

重 150kN 付近で配力筋が降伏し、降伏後は荷重 250kN 付近まで線形的にひずみが増加し、その後の増加が著しい。終局時のひずみは供試体 RC-S-1, 2 で、それぞれ 8204×10^{-6} 、 7019×10^{-6} である。また、供試体 U.RC-S-1, 2 はともに荷重 160kN 付近まで線形的にひずみが増加し、その後の増加はやや大きくなり、荷重 250kN 付近で配力筋が降伏し、終局時のひずみは、それぞれ 3223×10^{-6} 、 3530×10^{-6} である。ここで、定点疲労実験における終局時のひずみを比較すると、供試体 RC に比して、供試体 U.RC の方が平均で 56 % 低減されている。

次に、定点疲労実験後の静荷重実験における配力筋の荷重とひずみの関係は次のようになっている。供試体 RC-F30, F50 はともに荷重の増加に伴い線形的にひずみが増加し、荷重 150kN 付近で配力筋が降伏し、降伏後は終局時まで荷重の増加に伴い線形的にひずみが増加した。終局時のひずみは供試体 RC-F30, F50 で、それぞれ 5208×10^{-6} 、 5150×10^{-6} である。また、供試体 U.RC-F30, F50 はともに荷重 150kN 付近までひずみが線形的に増加し、その後の増加がやや大きくなり、荷重 240kN 付近で降伏した。終局時のひずみは、それぞれ 3820×10^{-6} 、 3950×10^{-6} である。ここで、定点疲労実験における終局時のひずみを比較すると、供試体 RC に比して、供試体 U.RC の方が平均で 25 % 低減された。

以上より、主鉄筋、配力筋ともに終局ひずみにおいては、供試体 U.RC は供試体 RC に比して大幅に低減された。また、供試体 U.RC においては全ての供試体で UFC 埋設型枠と RC 床版部の付着が良好であるため、合成効果が得られ、UFC 埋設型枠が引張力を分担している。

4.5 定点疲労実験における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図 - 6 に示す。

定点疲労実験における載荷回数とたわみの関係は次のとおりである。供試体 RC-F30, F50 はともに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

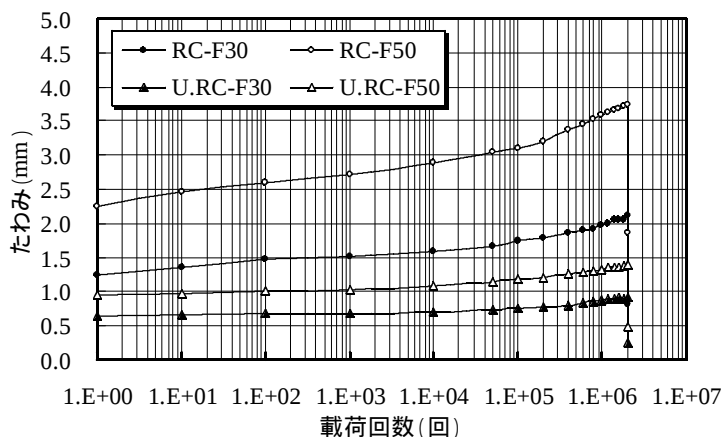


図 - 6 たわみと載荷回数の関係

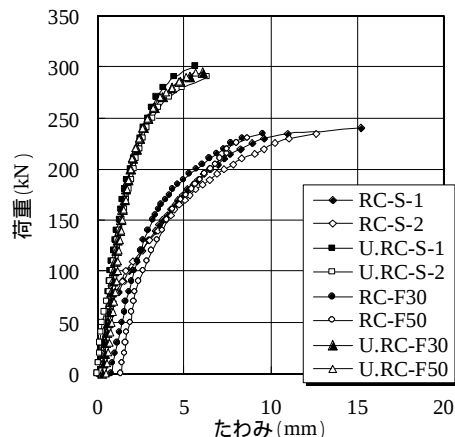


図 - 7 荷重とたわみの関係

付近から増加が著しくなり、載荷回数 200 万回のたわみは供試体 RC-F30, F50 で、それぞれ 2.1mm, 3.7mm である。また、供試体 U.RC-F30, F50 はともに、載荷回数 200 万回までたわみの増加はほとんど見られず、載荷回数 200 万回のたわみは供試体 U.RC-F30, F50 でそれぞれ 0.9mm, 1.4mm である。ここで、定点疲労実験おけるたわみを比較すると、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の方が平均で 60 % 低減された。

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

以上より、載荷回数 200 万回における供試体 U.RC は供試体 RC に比してたわみが大幅に低減されることから、疲労耐久性に優れた構造であると考えられる。

4.6 荷重とたわみの関係

静荷重実験および定点疲労実験後の静荷重実験における床版中央の荷重とひずみの関係を図 - 7 に示す。なお、定点疲労実験後の静荷重実験によるたわみは定点疲労実験における残留たわみを初期値とした。

静荷重実験における供試体 RC の荷重とたわみの関係では、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増加し、荷重 200kN 付近から急激な増加が見られた。終局時のたわみの平均は 13.9mm である。また、定点疲労実験後の静荷重実験では、供試体 RC-F30, F50 とともに荷重 150kN まで線形的にたわみは増加し、その後は荷重の増加においても増加し、終局時のたわみは供試体 RC-F30, F50 で、それぞれ 9.6mm, 8.6mm である。定点疲労実験後の静荷重実験のたわみが静荷重実験のたわみの約 66 % で破壊している。

次に、静荷重実験における供試体 U.RC の荷重とたわみの関係は次のとおりである。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増加した。終局時のたわみの平均は 6.1mm である。また、定点疲労実験後の静荷重実験における荷重とたわみの関係は、供試体 U.RC-F30, F50 とともに荷重 220kN まで線形的にたわみは増加し、終局時のたわみは供試体 U.RC-F30, F50 で、それぞれ 6.1mm, 5.7mm であり、静荷重実験と疲労実験後の静荷重実験におけるたわみはほぼ同程度であることから、疲労による影響は見られない。

5. まとめ

本研究は、通常型枠を用いて製作した RC 床版供試体と UFC 埋設型枠と RC 床版を合成させた UFC 埋設型枠 RC 床版供試体を用いて、静荷重実験および定点疲労実験を行った結果、次のことが明らかになった。

(1) RC 床版供試体と UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の最大耐力を比較すると、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は、UFC 埋設型枠と 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 倍耐力が上回った。したがって、実験耐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可能となり、全体的な軽量化が図られるものと考えられる。

(2) UFC 埋設型枠 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、ダウエル効果が及ぶとみられる範囲の一部に UFC 埋設型枠のはく離がみられた。しかし、UFC 埋設型枠の付着面を凹凸としたことから、UFC 埋設型枠と 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。

(3) 静荷重実験、定点疲労実験の主鉄筋および配筋筋のひずみを比較すると、UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の増加が大幅に低減されている。これは、UFC 埋設型枠に配合されている鋼繊維の架橋効果により UFC 埋設型枠も耐力を分担している結果である。

(4) UFC 埋設型枠 RC 床版供試体は、耐力が増加しており、ひずみ・たわみが低減されることから、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る。

今後、走行荷重および走行振動荷重による疲労実験を行い、さらに実用性を評価したい。また、RC 床版と UFC 埋設型枠の合成面のせん断強度を評価した後、引張強度を比較し、全体的な終局耐力を評価したい。

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
- 1) 阿部忠, 木田哲量, 反田泰人, 片桐誠: 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, vol.29, No.3, pp.1447-1452, 2007
- 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: 建設技術審査証明報告書「高強度セメント系材料を用いた高耐久性薄肉埋設型枠「ダクタルフフォーム」」, 2005
- 4) 中山良直, 柳原英克, 狩野兼義, 鹿嶋圭介: コンクリート構造物の高耐久化～ダクタルフフォームの製造と適用事例～, 川田技報, vol.25, pp.92-93, 2006
- 6) 日本道路橋会: 道路橋示方書・同解説, , 2002