

UFC埋設型枠を用いたRCはりの耐荷力および破壊状況

生産工 木田哲量 阿部 忠 澤野利章
太平洋セメント 片桐 誠

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (Ultra-high-strength Fiber Reinforced Concrete : 以下, UFC) の1つであるダクトアルは、反応性微粉末を使用した無機系複合材料の技術を応用し、繊維補強によりじん性を高めた超高強度繊維補強セメント系材料である¹⁾。この材料は、極めて緻密な硬化体構造を持つため、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も優れている^{2)~4)}。このようなダクトアルの特長を活かした用途の一つとして、超高強度繊維補強コンクリート埋設型枠 (以下, UFC 埋設型枠)が提案されている⁵⁾。そこで本研究は、RC はりの底面かぶり内に UFC 埋設型枠を用いて製作した RC はり供試体を用いて、静荷重実験および走行荷重を行い、最大耐荷力、破壊メカニズムおよび UFC 埋設型枠と RC はりのとの合成効果を検証し、UFC 埋設型枠の実用性を評価した。

2. 供試体の使用材料および寸法

2.1 UFC埋設型枠の使用材料

UFC 埋設型枠の使用材料は、水 (W)、高性能減水剤 (SP, ポリカルボン酸系)、繊維およびプレミックス材料 (DP, 密度 2.85g/cm^3) とした。繊維は、鋼繊維 ($\phi 0.2 \times 15\text{mm}$, 密度 1.30g/cm^3) を体積比で 3.0 % 使用した。プレミックス材料は、セメント、シリカフューム、珪石粉末などが最密充填されるように配合されており、粗骨材は用いず、骨材としては最大粒径 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。ここで、UFC 埋設型枠に用いた鋼繊維の材料の特性値は、弾性係数が 46.5kN/mm^2 、曲げ引張強度が

20.6N/mm^2 である。

2.2 RCはりの使用材料

RC はり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、鉄筋には SD295A, D16 を使用した。コンクリートの圧縮強度は 38N/mm^2 であり、鉄筋の材料特性値は降伏強度が 370N/mm^2 、引張強度は 570N/mm^2 、弾性係数が 200kN/mm^2 である。

2.3 UFC埋設型枠の寸法

UFC 埋設型枠と RC はりコンクリートとの付着性を高めるために型枠との付着面を凹部とした。付着面形状および寸法を図 1 に示す。UFC 埋設型枠の寸法は幅 300mm、長さ 2800mm、板厚 15mm とする。付着面厚は 5mm とした。

2.4 UFC埋設型枠RCはり供試体

供試体の寸法は支間長 2000mm、幅 300mm、はり高さ 210mm (RC はり : 190mm, UFC 埋設型枠 : 20mm) とし、鉄筋は引張側に D16 を 3 本、圧縮側に D16 を 2 本配置し、有効高さを 172mm とした。UFC 埋設型枠は、引張鉄筋の底面から純かぶり 30mm とし、引張鉄筋を配置し、コンクリートを打設して UFC 埋設型枠と一体構造とした。この供試体名称を UFC 埋設型枠 RC はりと称し、鉄筋の配置および寸法を図 2 に示す。

3. 実験方法

3.1 静荷重実験

静荷重実験は、最大曲げ応力が生じる支間中央に車輪を停止した状態の実験である。載荷方法は荷重制御により 5.0kN ずつ供試体が破壊するまで荷重を増加する。静荷重実験における UFC 埋設型枠 RC

Load-carrying capacity and failure condition of RC beam with UFC dead form
by

Tetsukazu KIDA, Tadashi ABE, Toshiaki SAWANO and Makoto KATAGIRI

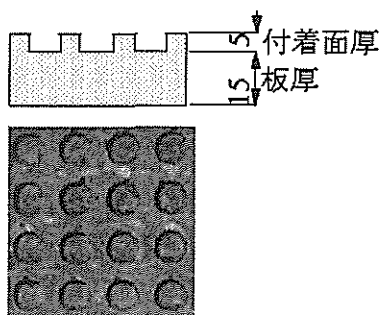


図1 付着面形状および寸法

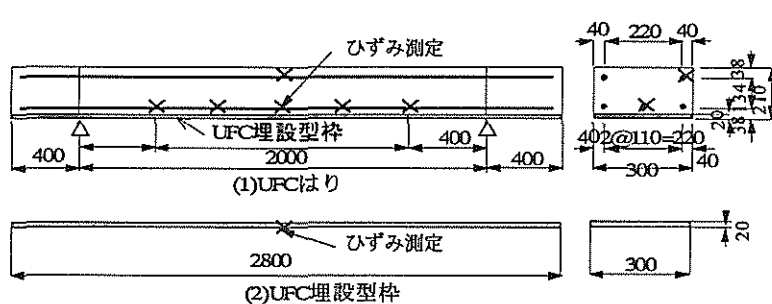


図2 UFC埋設型枠RCはりの寸法および鉄筋の配置

はりの供試体名称を UFC-S とする。

3.2 走行荷重実験

走行荷重実験は、荷重が供試体上を連続的に支間中央から左右支点方向へ往復走行した後に、支間中央で車輪（幅 250mm）を停止させた状態の実験である。輪荷重は、支間中央から左右の支点方向に走行させ、元の支間中央で停止させる。走行速度は、1往復 4.0m を 22cm/sec とする。荷重は1走行ごとに 5.0kN ずつ増加させる段階荷重とする。そして、供試体が破壊するまで荷重の増加と走行を繰り返す。走行荷重実験における UFC 埋設型枠 RC はりの供試体名称を UFC-R とする。

4. 実験耐力

静荷重実験および走行実験における最大耐力を表1に示す。なお、本実験における走行荷重実験の最大荷重とは、一往復走行を維持し得た最大荷重とする。

UFC 埋設型枠 RC はりの静荷重実験における最大耐力は、供試体 UFC-S-1, 2 で、それぞれ 102.3kN, 107.5kN である。また走行荷重が作用した場合の最大耐力は供試体 UFC-R-1, 2 で、それぞれ 102.1kN, 105.3kN である。静荷重実験の平均耐力は 104.9kN, 走行荷重実験の場合は 103.7kN であり、ほぼ同程度の結果となった。筆者らは、RC はり供試体を用いて静荷重実験および走行荷重実験を行い、走行荷重が静的耐力に及ぼす影響について実験研究を行った。これによると、RC はりは走行荷重が作用することによって 15 %程度の耐力が低下している。しかし、UFC 埋設型枠 RC はりの場合は、静荷重実験の場合の最大耐力と走行荷重実験の場合の最大耐力がほぼ同程度であり、耐力の低

表1 実験耐力

供試体	実験耐力 力 (kN)	平均耐力 力 (kN)	耐力比	破壊モード
UFC-S-1	102.3	104.9	—	曲げ破壊
UFC-S-2	107.5			曲げ破壊
UFC-R-1	102.1	103.7	0.99	せん断破壊
UFC-R-2	105.3			曲げ破壊

UFC: UFC埋設型枠使用RCはり、S: 静荷重実験、R: 走行荷重実験

下はみられない。これは、UFC 埋設型枠材に配合された鋼繊維によりじん性を高めたことと、付着面をディンプル形状にしたことにより RC はりとの付着力が高まり、合成効果が向上したためである。

5. 荷重とひずみの関係

本実験におけるスパン中央の引張鉄筋の荷重とひずみの関係を図3に示す。また、UFC 埋設型枠の荷重とひずみの関係を図4に示す。

5.1 鉄筋のひずみ

UFC 埋設型枠 RC はりの静荷重実験における荷重とひずみの関係は、供試体 UFC-S-1, 2 はともに荷重 50kN までは線形的増加し、その時のひずみは約 218×10^{-6} 程度である。その後の荷重増加でも、ひずみはやや増加するものの、荷重 60kN から最大荷重時までほぼ線形的に増加している。終局時には、供試体 UFC-S-1 の場合に荷重 102.3kN で 1970×10^{-6} 、UFC-S-2 の場合に荷重 107.5kN で 2250×10^{-6} である。また、材料特性値に示される引張強度と弾性係数の関係から引張強度ひずみを求めると 2850×10^{-6} であり、両試験体とも引張強度に達する前に破壊に至っている。これは UFC 埋設型枠を合成したことにより鉄筋ひずみの増加も大幅に抑制されたためである。

以上より、UFC 材の引張抵抗により RC はりに

配置された鉄筋のひずみの増加が大幅に抑制された。したがって、UFC 埋設型枠は合成効果が発揮されて、UFC 埋設型枠にも耐荷力を分担させる構造となる。

UFC 埋設型枠を用いた供試体は、走行荷重実験における荷重 50kN までは線形的に増加し、その時点のたわみは 230×10^{-6} である。その後の荷重増加でひずみの増加はやや大きくなるものの最大荷重付近まで線形的に増加し、終局時のひずみは供試体 UFC-R-1 で荷重 102.1kN のとき 1850×10^{-6} 、供試体 UFC-R-2 の荷重 105.3kN のとき 2250×10^{-6} であり、たわみの増加傾向は静荷重実験の場合と同様となった。

以上の結果より、鉄筋の荷重とひずみの関係に見られるように、UFC 埋設型枠も引張力を分担し、鉄筋のひずみ増加が抑制されたものである。よって、走行荷重の影響を受ける道路橋 RC 部材の型枠として、有用であると考えられる。

6.2 UFC埋設型枠のひずみ

静荷重実験における UFC 埋設型枠のひずみは各供試体ともに荷重 55kN までは線形的に増加している。静荷重実験の荷重 55kN での供試体 UFC-S-1 のひずみは 320×10^{-6} であり、供試体 UFC-S-2 では 230×10^{-6} である。その後の荷重増加においては線形的にひずみが増加し、終局時は供試体 UFC-S-1, 2 で、それぞれ 2500×10^{-6} , 2600×10^{-6} である。

走行荷重実験の場合も静荷重実験と同様に荷重 55kN 付近からひずみの増加が著しくなり、終局時のひずみは供試体 UFC-R-1, 2 で、それぞれ 2800×10^{-6} , 3700×10^{-6} である。

以上より、静荷重実験および走行荷重実験においては、ひび割れ発生後の荷重から鉄筋のひずみと同

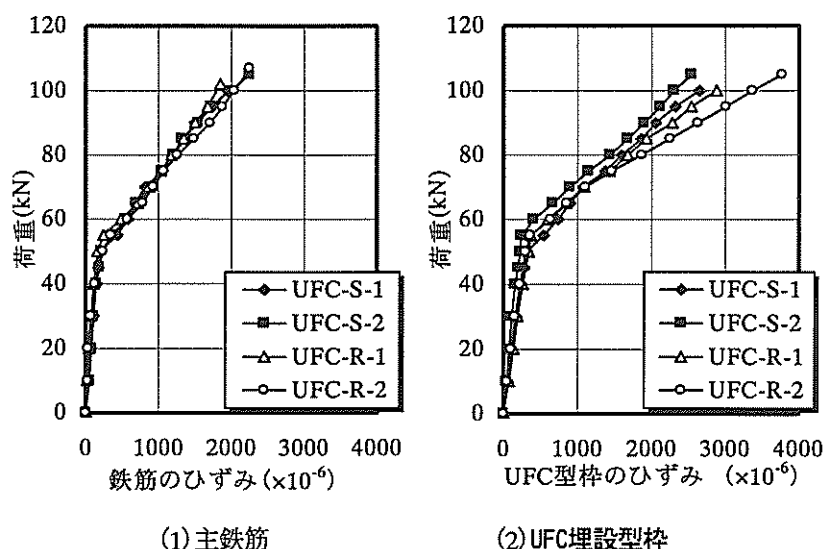


図3 荷重とひずみ

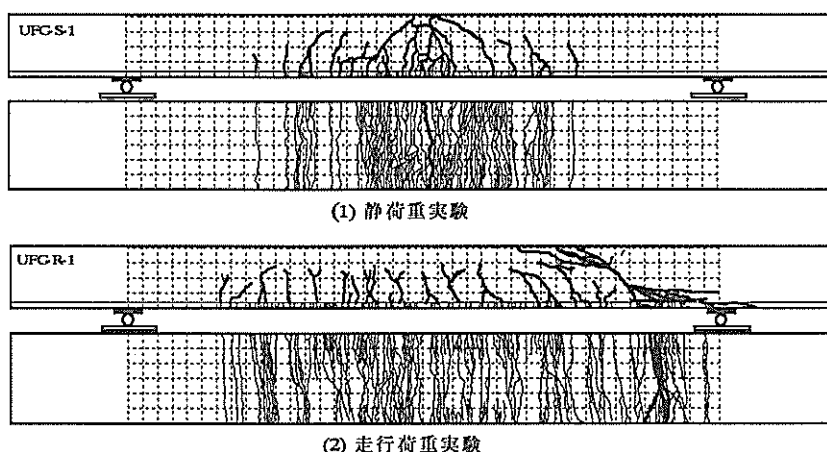


図4 破壊状況の一例

様に UFC 材の引張ひずみの増加が大きくなっている。これは、RC はりの引張鉄筋と高強度繊維補強コンクリートとが合成され、引張力を分担していることを示している。したがって、UFC 埋設型枠も RC はりと合成構造として耐荷力の向上を図ることが可能であると考えられる。

7. 破壊状況

本実験における静荷重実験および走行荷重実験の場合の破壊後のひび割れを図4に示す。

静荷重実験におけるひび割れ状況は図4に示すように、供試体 UFC-S-1 の RC はり部は荷重載荷位置から 30 度～45 度の範囲に 7cm から 10cm 程度の間隔でひび割れが発生し、荷重増加に伴って上縁の輪荷

重方向に進展している。また、UFC 埋設型枠の側面および底面には測定困難なヘアクラックが供試体下面に発生し、ひび割れ抑制効果が認められた。UFC 埋設型枠のひび割れは、無数に配合された鋼繊維の曲げ引張抵抗、すなわち架橋効果により曲げひび割れが抑制されたためであると考えられる。破壊は、支間中央で曲げ破壊となった。また、破壊位置の UFC 埋設型枠と RC はりとは離は 100mm 程度である。供試体 UFC-S-2 も同様な破壊状況を示した。

走行荷重実験の場合は、供試体 UFC-R-1 の RC はり部は曲げ領域にほぼ等間隔でひび割れが発生している。荷重の増加と走行を繰り返すことにより圧縮鉄筋付近までひび割れが発生している。また、UFC 埋設型枠にも曲げ領域内にヘアクラックが発生し、荷重の分散効果がみられる。供試体 UFC-R-1 の破壊は、輪荷重が走行中に支点 B から 500mm、すなわちせん断スパン比 $a/d = 2.9$ (a : 支点から破壊荷重位置, d : 有効高) 位置でせん断破壊となった。UFC 型枠のはく離はせん断破壊となった底面から支点までの 200mm の範囲のはく離がみられた。また、供試体 UFC-R-2 の場合は荷重増加中に支間中央で曲げ破壊となり、UFC 埋設型枠と RC はり部のはく離はほとんど見られない。

以上より、静荷重実験および走行荷重実験においても、UFC 製埋設型枠は RC はりを合成して挙動することが確認された。また、UFC 埋設型枠に配合された鋼繊維の架橋効果により曲げ破壊、およびせん断破壊においてもひび割れが抑制されて応力が広範囲に伝達されている。

8. まとめ

本研究では、ダクトルで製作した埋設型枠と RC はりとを合成構造とした RC はりに静荷重実験および走行荷重実験を行った結果、以下の成果が得られた。

(1) 静荷重実験と走行荷重実験による最大耐力力を比較するとほぼ同程度となった。したがって、UFC 埋設型枠を用いることで走行荷重が作用することによる耐力力の低下がみられない。

(2) RC はり部の主鉄筋および UFC 埋設型枠の荷重とひずみの関係より、UFC 埋設型枠と RC はりの主鉄筋とが耐力力を分担していることが明らかになっ

た。すなわち、RC はり部と UFC 埋設型枠の付着性が大きく、合成効果が認められた。

(3) 静荷重実験の場合は UFC 埋設型枠 RC はりの破壊状況は、荷重載荷位置で曲げ破壊となった。また、走行荷重の場合は、せん断スパン比 $a/d = 2.9$ の位置でせん断破壊と中央で曲げ破壊となった。これは UFC 埋設型枠により曲げ耐力力が向上したためである。

(4) UFC 埋設型枠の付着面を、凹型とした場合の変形挙動から、埋設型枠のひび割れおよび埋設型枠と内部コンクリート間のはく離はみられなかった。したがって、UFC 埋設型枠は合成構造として実用的にも評価できるものである。

参考文献

- 1) 土木学会、コンクリートライブラリー「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」, (2004)
- 2) 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「ダクトルフォーム」」, (2005)
- 3) 畑秀彦ほか：反応性粉体コンクリートの力学特性に関する実験研究，セメント・コンクリート論文集，No. 58, pp. 448-453(2004)
- 4) Tetsukazu KIDA, Kazuhiko MINAKUCHI, Tadashi ABE, Toshiaki SAWANO, and Makoto KATAGIRI : Experimental Study on Mechanical Properties of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete Beam, THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS JAPAN, Vol. 55, pp. 73-83(2006)
- 5) 牧隆輝ほか：UFC 埋設型枠を用いた RC はりの載荷実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, pp. 289-294(2005)
- 6) 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)
- 7) Tadashi ABE et al.: Effect of Running Load on Flexural Load-Carrying Capacity of Reinforced Concrete Beams and Dynamic Effects, TRANSACTIONS OF THE JAPAN CONCRETE INSTITUTE, Vol.22, pp.345-352 (2000)