

## 合成面形状が異なる UFC パネルを用いた合成柱の破壊モード

日大生産工 ○野口 博之 水口 和彦 澤野 利章 日大名誉教授 阿部 忠

## 1. はじめに

コンクリート構造物における施工の合理化省力化を図るための工法としてコンクリートの型枠脱型作業を省略化，構造部材の断面として機能させるプレキャスト部材を用いた構造部材型埋設型枠の活用が求められている<sup>1)</sup>。その中で高性能埋設型枠として高強度・高耐候性に優れた超高強度繊維補強コンクリート<sup>2)</sup> (以下，UFC) パネルを用いた構造部材型埋設型枠の研究が行われている<sup>3-4)</sup>。構造部材型埋設型枠においては打ち継ぎコンクリートとの一体性を確保し，合成断面として機能させるために接合面の突起形状 (以下，合成面形状) が重要である。

本研究は，構造部材型埋設型枠として活用されている UFC パネルの合成面形状に着目し，帯鉄筋間隔および UFC パネルの合成面形状が異なる合成柱を用いた軸圧縮載荷試験を行い，UFC パネルの合成面形状が合成柱の破壊モードに及ぼす影響について検証した。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料

## (1) RC 柱

RC 柱に使用するコンクリートには，普通セメントと最大骨材寸法 20mm の粗骨材，最大骨材寸法 5mm の細骨材を使用する。コンクリートの圧縮強度はコンクリート標準示方書<sup>5)</sup> (以下，標準示方書) に規定する設計基準強度を満足する配合条件とする。また，鉄筋には主鉄筋に SD345 D10，帯鉄筋には SD345 D6 を用いる。ここで，コンクリートの配合条件を Table 1，コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を Table 2 に示す。

## (2) UFC

本実験に用いる UFC パネルの材料には，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 2.76g/cm<sup>3</sup>) および  $\phi$ 0.2mm，長さ 15mm の鋼繊維 (密度 7.84g/cm<sup>3</sup>) を使用する。なお，プレミックス材料にはセメント，シリカヒューム，珪石粉末などが最密充填されるように配合されており，粗骨材は使用せ

Table 1 Mix proportion of RC column

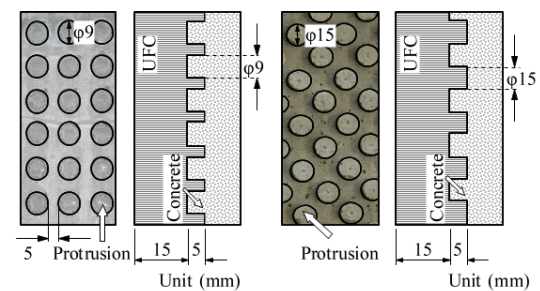
Specimen	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				AE water reducing agent		
					W	C	S	G	A (kg)	B (ml)	C (kg/m <sup>3</sup> )
RC	18	4.5	49.4	51.7	166	336	953	865	2.18	13	—
UFC-RC	15	4.5	45.0	47.0	160	356	838	949	—	—	3.03

Table 2 Mechanical properties of concrete and re-bar

Specimen	Compressive strength of concrete (N/mm <sup>2</sup> )	Reinforcing bar (SD345)			
		Diameter	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
RC	55.3	D10	368	510	200
		D6	355	499	200
UFC-P	42.3	D10	365	510	200
		D6	355	499	200
UFC-C	41.2	D10	365	510	200
		D6	355	499	200

Table 3 Mix proportion and mechanical properties of UFC panel

W/B (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
	W	Premix	SF	High-range water SP		
9.2	180	2,250	158	29	200.2	55.0



(1) P type

(2) C type

Fig.1 Structure and size of UFC panel

ずに最大粒径 2mm の珪砂を配合する。ここで，UFC パネルの配合条件および材料特性値を Table 3 に示す。

## (3) UFC パネルの合成面形状

構造部材型埋設型枠として用いられるプレキャスト部材は構造機能の観点から打ち継ぎコンクリートとプレキャスト部材との一体性を高めるために様々な形状の合成面が検討されている。ここで，本実験に用いる 2 種類の UFC パネルの合成面形状および寸法を Fig.1 に示す。本実験では UFC パネルとコアコンクリートとの一体性を高めるために合成面に突

## Failure Mode of Composite Column using UFC Panels with Different Shapes of Synthetic Surface

Hiroyuki NOGUCHI, Kazuhiko MINAKUCHI, Toshiaki SAWANO and Tadashi ABE

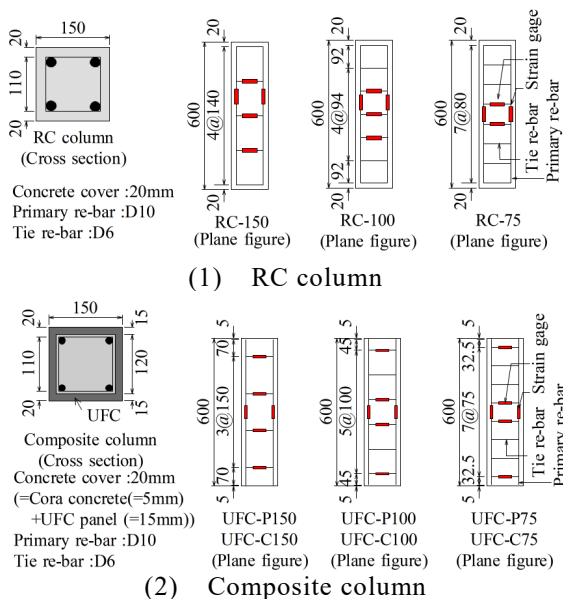


Fig. 2 Specimen size and reinforcing bar placement

起高さ 5mm の凹凸を設けた UFC パネルを製作する。凹型を一様に設けた UFC パネルを P タイプ（面積比率：UFC パネル側 60%，コンクリート側 40%），凸型を一様に設けた UFC パネルを C タイプ（面積比率：UFC パネル側 60%，コンクリート側 40%）とし，合成面形状が柱部材の破壊モードに及ぼす影響について検証する。

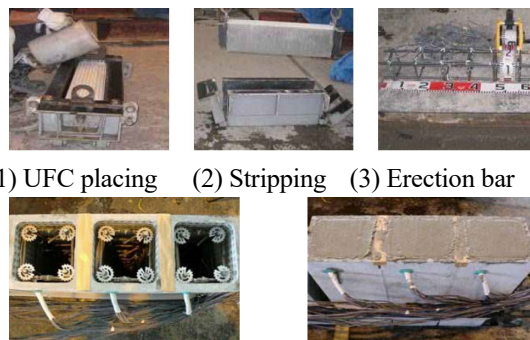
## 2.2 供試体寸法および鉄筋配置

### (1) RC 柱供試体

RC 柱供試体の外寸およびコア寸法は，標準示方書に基づいて設計し，外寸を 150×150×600mm，コア寸法を 110×110mm とする。公称帯鉄筋間隔は 150mm，100mm，75mm の 3 種類とし，各 1 体ずつ製作する。供試体名称は，それぞれ RC-150，RC-100，RC-75 と称する。ここで，RC 柱部材の寸法および鉄筋配置を Fig.2 に示す。

### (2) 合成柱供試体

合成柱供試体は，外寸 150×150×600mm の箱形状とし，P タイプおよび C タイプの 2 種類の UFC パネルを用いる。RC 部は標準示方書に基づいて設計し，RC 部の外寸を 120×120×600mm，コア寸法は 110×110mm とする。公称帯鉄筋間隔は 150mm，100mm，75mm の 3 種類とし，UFC パネルの合成面形状ごとに 1 体ずつ製作する。供試体名称は P タイプの UFC パネルを用いた供試体をそれぞれ UFC-P150，UFC-P100，UFC-P75，C タイプの UFC パネルを用いた供試体をそれぞれ UFC-C150，UFC-C100，UFC-C75 と称する。ここで，合成柱供試体の寸法および鉄筋配置



(1) UFC placing (2) Stripping (3) Erection bar

(4) Re-bar arrangement (5) Concrete placing

Photo. 1 Construction process of composite column

を Fig.2 に併記する。

## 2.3 合成柱供試体の製作手順

合成柱供試体の製作手順を Photo.1 に示す。

Fig.1 に示す突起形状を設けた鋼製金型を箱形状に加工した型枠を用いて UFC を打ち込み（Photo.1(1)），1 次養生を行う。1 次養生終了後，型枠の脱型（Photo.1(2)）を行い 2 次養生する。その後，予め組立てた鉄筋（Photo.1(3)）を UFC パネル内に挿入して（Photo.1(4)），内部にコンクリートを打ち込み（Photo.1(5)）し，一体構造とする。なお，コンクリート打ち込み後は通常の RC 柱供試体と同様に養生する。

## 2.4 軸力載荷試験

軸力載荷実験には，載荷能力 5,000kN の構造物試験機を用いる。供試体は下部を固定，上部は球座を介し，載荷板が供試体の全断面に載荷する様に試験機に設置する。載荷方法は，軸力方向に荷重を 20kN ずつ載荷させる段階荷重載荷とし，500kN を 1 サイクルとする。また，サイクル後ごとに荷重を 0kN まで減少させる包絡荷重として供試体が破壊に至るまで荷重の増減を繰り返し行う。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 軸圧縮耐荷力

軸圧縮載荷試験による RC 柱および合成柱の最大耐荷力を Table 4，帯鉄筋間隔と最大耐荷力の関係を Fig.3 に示す。なお，RC 柱および合成柱のコアコンクリートの圧縮強度が異なることから軸圧縮耐荷力の評価にはコアコンクリートの圧縮強度の違いを補正係数  $\gamma$  ( $\gamma_1 =$  供試体 UFC-P の圧縮強度/供試体 RC の圧縮強度 = 42.3/55.3 = 0.76,  $\gamma_2 =$  供試体 UFC-C の圧縮強度/供試体 RC = 41.2/55.3 = 0.75) とし，与え，RC 柱の実験最大耐荷力に補正係数  $\gamma$  を乗じたものを補正耐荷力と定義し，コアコンクリートの圧縮強度を同一と仮定した合成

柱の耐荷力性能を評価する。

(1) RC 柱供試体

供試体 RC-150, RC-100, RC-75 の最大耐荷力はそれぞれ 1,286.6kN, 1,372.2kN, 1,507.1kN であり、供試体 RC-150 を基準とした最大耐荷力を比較すると供試体 RC-100, RC-75 でそれぞれ 1.07 倍, 1.17 倍の耐荷力の増加が見られる。これは、帯鉄筋が密になるほど横拘束効果が高まり、軸圧縮力の向上に寄与することが確認されている。

(2) 合成柱供試体

1) P タイプ

供試体 UFC-P150, UFC-P100, UFC-P75 の最大耐荷力はそれぞれ 1,412.6kN, 1,422.8kN, 1,487.6kN である。供試体 UFC-P150 を基準とした最大耐荷力を比較すると供試体 UFC-P100, UFC-P75 でそれぞれ 1.01 倍, 1.05 倍の耐荷力の向上が見られる。また、RC 柱の軸圧縮耐荷力に補正係数  $\gamma_1$  を考慮した供試体の補正耐荷力の同一帯鉄筋間隔の供試体 RC-150, RC-100, RC-75 と比較してそれぞれ 1.44 倍, 1.36 倍, 1.30 倍と合成構造とすることで耐荷力が向上する結果となった。

最大耐荷力と帯鉄筋間隔の関係より、帯鉄筋間隔を密にすることで耐荷力の増加が確認されるものの RC 柱供試体の増加傾向と比較して緩やかな傾向にある。

2) C タイプ

供試体 UFC-C150, UFC-C100, UFC-C75 の最大耐荷力はそれぞれ 1,515.6kN, 1,590.4kN, 1,720.2kN であり、供試体 UFC-C150 を基準として最大耐荷力を比較すると供試体 UFC-C100, UFC-C75 でそれぞれ 1.05 倍, 1.16 倍の耐荷力の向上が見られた。また、RC 柱の軸圧縮耐荷力に補正係数  $\gamma_2$  を考慮した供試体の補正耐荷力の同一帯鉄筋間隔の供試体 RC-150, RC-100, RC-75 と比較してそれぞれ 1.57 倍, 1.55 倍, 1.52 倍と合成構造とすることで耐荷力が向上する結果となった。

次に、帯鉄筋間隔が同一な P タイプの UFC パネルを用いた合成柱供試体 UFC-P150, UFC-P100, UFC-P75 と比較してそれぞれ 1.07 倍, 1.12 倍, 1.16 倍と耐荷力が向上する結果となった。これは、UFC パネルの合成面を凸型の構造とし、UFC パネルとコアコンクリートとの面積比率を変化させることで一体性が高まり耐荷力の向上に寄与する。また、最大耐荷力と帯鉄筋間隔の関係より、RC 柱供試体と同様に帯鉄筋間隔が密になるにつれて増加している。これは、一体性の向上による軸

Table 4 Load-carrying capacity and capacity ratio

(1) Experiment load-carrying capacity

Specimen	Experiment load-carrying capacity (kN)	Load-carrying capacity ratio		
		Same structure	Difference in tie hoop	Difference in protrusion shape of UFC panel
RC-150	1,286.6	—	—	—
RC-100	1,372.2	1.07	—	—
RC-75	1,507.1	1.17	—	—
UFC-P150	1,412.6	—	1.10	—
UFC-P100	1,422.8	1.01	1.04	—
UFC-P75	1,487.6	1.05	0.99	—
UFC-C150	1,515.6	—	1.18	1.07
UFC-C100	1,590.4	1.05	1.16	1.12
UFC-C75	1,720.2	1.13	1.14	1.16

(2) Compensation value

Specimen	Experiment load-carrying capacity (kN)	Compensation value $\gamma \times P_{max}$ (kN)		Load-carrying capacity ratio
		$\gamma_1$ (P type)	$\gamma_2$ (C type)	
RC-150	1,286.6	977.8	965.0	—
RC-100	1,372.2	1,042.9	1,029.2	—
RC-75	1,507.1	1,145.4	1,130.3	—
UFC-P150	1,412.6	—	—	1.44
UFC-P100	1,422.8	—	—	1.36
UFC-P75	1,487.6	—	—	1.30
UFC-C150	1,515.6	—	—	1.57
UFC-C100	1,590.4	—	—	1.55
UFC-C75	1,720.2	—	—	1.52

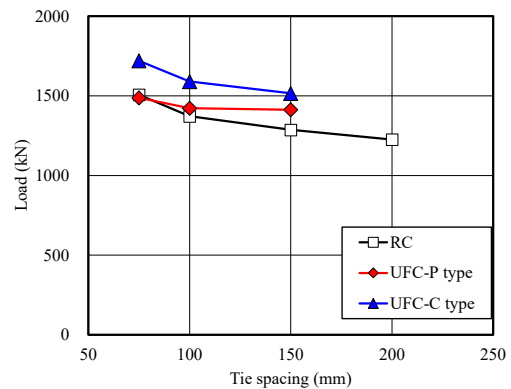


Fig. 3 Relationship between load and tie spacing

耐荷力の向上に加えて帯鉄筋による横拘束力と UFC パネルの拘束力の相乗効果によって耐荷力が向上したものと推察される。

3.2 破壊モード

軸圧縮載荷試験による各供試体の破壊状況を Photo.2 に示す。

(1) RC 柱供試体

供試体 RC-150 の破壊形状は有効断面が著しく欠損している。最終的に主鉄筋の座屈に伴うコアコンクリートの脆性的な斜めひび割

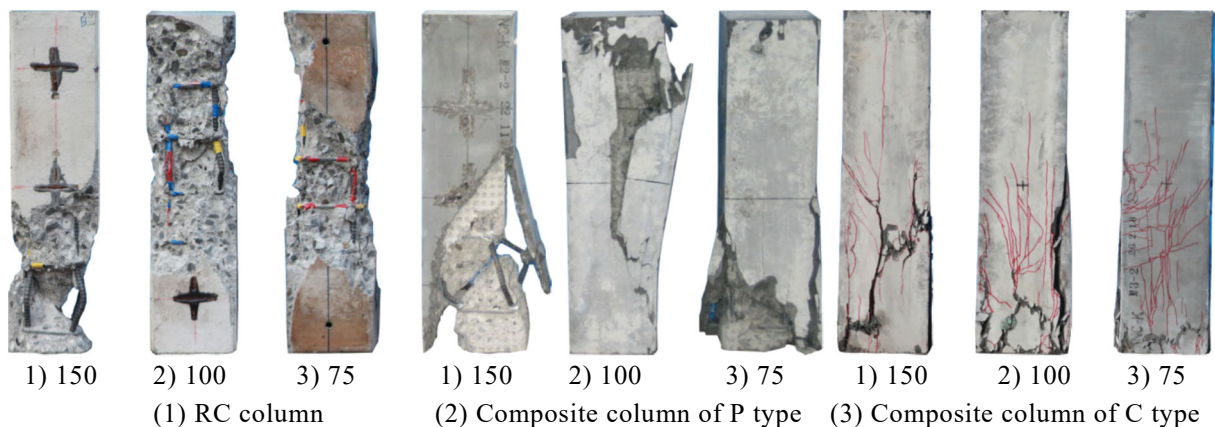


Photo. 2 Failure modes of column member

れ破壊に至っている。次に、供試体 RC-100, RC-75 ではかぶりコンクリートのはく離が見られるもののコアコンクリートへの斜めひび割れは見られず、終局時においてもコア部が密な状態を保持している。

## (2) 合成柱供試体

### 1) Pタイプ

供試体 UFC-P150 では主鉄筋の座屈によってコアコンクリートの脆性的な斜めひび割れが生じている。また、脆性的な破壊に伴い UFC パネルが広範囲にわたりはく離している。供試体 UFC-P100, UFC-P75 では UFC パネルにひび割れが伸展し、破壊に伴う UFC パネルのはく離が見られるもののコアコンクリートへの斜めひび割れは見られない。これは、UFC パネルの突起によって付着性が高まり、終局時まで一体性を有して荷重を分担していたと推察される。

### 2) Cタイプ

全ての供試体で UFC パネルに微細なひび割れが伸展し、部分的な破壊が見られるものの RC 柱供試体や P タイプの UFC パネルを用いた合成柱供試体のように帯鉄筋間隔が広がることによるコアコンクリートの脆性的な破壊が見られず、帯鉄筋間隔の違いによる差異は見られない。また、P タイプの UFC パネルを用いた合成柱供試体と比較してはく離の範囲が破壊箇所のみとなっている。これは、合成面におけるコンクリートの面積比率を大きくすることで合成面のせん断抵抗性の向上および UFC パネルとコアコンクリートとの付着がより良好で軸圧縮力に対して一体性を有して抵抗したものと推察される。

## 4. まとめ

(1) 軸圧縮耐力より、全ての供試体で帯鉄筋間隔を密にするより横拘束効果が高まり、

最大耐力が線形的に増加する結果となった。また、コアコンクリートの強度特性を考慮した補正係数を適用した軸圧縮耐力を比較して UFC パネルを用いた合成構造とすることで軸圧縮耐力が 1.30～1.57 倍に向上する結果となった。

- (2) 埋設型枠として用いる UFC パネルの合成面においては UFC パネルの突起形状および面積配分を変化させることで付着性が高まり、帯鉄筋および UFC パネルの拘束力の相乗効果で軸圧縮耐力の向上が図られることが明らかになった。
- (3) 破壊モードより、UFC パネルの合成面の面積比率を変化させることで帯鉄筋間隔の違いにより見られた主鉄筋の座屈に伴うコアコンクリートの脆性的破壊は見られず、終局時においてもコアコンクリートを保持し、一体性を有して軸圧縮力に抵抗したものと推察される。

## 参考文献

- 1) 国土交通省橋梁等のプレキャスト化および標準化による生産性向上検討委員会：コンクリート構造物における埋設型枠・プレハブ鉄筋に関するガイドライン，2018.
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針(案)，2007.
- 3) 阿部忠ほか：付着面形状が異なる UFC パネル RC 床版の耐力性能および破壊メカニズム，構造工学論文集，Vol.57A，pp.1316-1325，2011.
- 4) 水口和彦ほか：UFC・RC 合成柱部材および RC 柱部材の破壊メカニズムと軸圧縮性状に関する実験研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.66，pp.545-551，2012.
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2012.