

論文 プレキャスト UFC パネルを貼り付けた袖壁付柱部材のせん断耐力に関する研究

渡邊 秀和*1・向井 智久*2・石岡 拓*3・久保 佳祐*4

要旨：既存建築物における耐震補強工法の開発を目的として、せん断破壊を計画した袖壁付き柱にプレキャスト UFC パネルを貼り付け、静的加力実験を行った。補強試験体は袖壁 1 枚につき一枚を貼り付けた一体パネル補強試験体と、分割して貼り付けた分割パネル補強試験体を作製した。実験の結果、補強試験体の UFC パネルがせん断力を一部負担していることが確認出来た。UFC パネルを貼り付けることによって、部材の最大耐力の向上が確認出来た。また、UFC パネルを分割しても一体パネル補強と同等の補強効果があった。

キーワード：耐震補強, 袖壁付き柱, UFC パネル, せん断破壊

1. はじめに

東日本大震災では、集合住宅の玄関周りの方立壁、庁舎建築物の開口周辺の非構造壁における被害が生じ、これらの被害により建築物の継続使用性に支障をきたす事例が報告されている。建築物の地震後継続使用性を確保するために、プレキャストの超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）パネルを既存躯体に接着する補強工法が提案されており、UFC パネルを用いることで、損傷低減や構造性能改善に効果があることが分かっている^{1, 2, 3, 4)}。その中でも、文献 4)では袖壁付き柱部材の袖壁部分に UFC パネルを貼付することによって、試験体曲げ終局耐力の上昇が確認されており、袖壁付き柱部材の曲げ終局強度への補強効果が確認されている。一方で、UFC パネルを袖壁全面に貼り付けた場合、UFC パネルはせん断応力も負担しているため、曲げ終局耐力だけでなくせん断終局耐力への補強効果も期待できる。そこで、本研究では、UFC パネルのせん断終局耐力への補強効果の確認を目的として、せん断破壊を計画した袖壁付き柱部材の静的加力実験を行う。

強した試験体の曲げ終局耐力を参考に、補強試験体がせん断破壊するように計画を行った。基準試験体 CW3-S は、柱断面を 450mm×450mm、壁厚を 80mm、壁縦筋 D10 を 150mm 間隔のシングル配筋、壁横筋 D6 を 150mm 間隔のシングル配筋とした試験体である。開口際には縦方向に 2-D13 を、斜め方向に 2-D10 を配筋した。

2. 実験概要

2.1 試験体諸元

本研究では、せん断破壊を計画した袖壁付き柱試験体（基準試験体 CW3-S）に、UFC パネルによる耐震補強を行った 2 体の補強試験体（CW3-SR1, CW3-SR2）の合計 3 体の載荷実験を実施した。試験体スケールは 2/3 とし設計を行った。試験体配筋図を図-1 に、試験体概要を表-1 に、材料試験結果を表-2 に示す。本研究では、補強試験体と無補強試験体の実験結果を比較することで、UFC パネルによるせん断耐力に対する補強効果を明らかにする。そこで、文献 4)で確認された UFC パネルで補

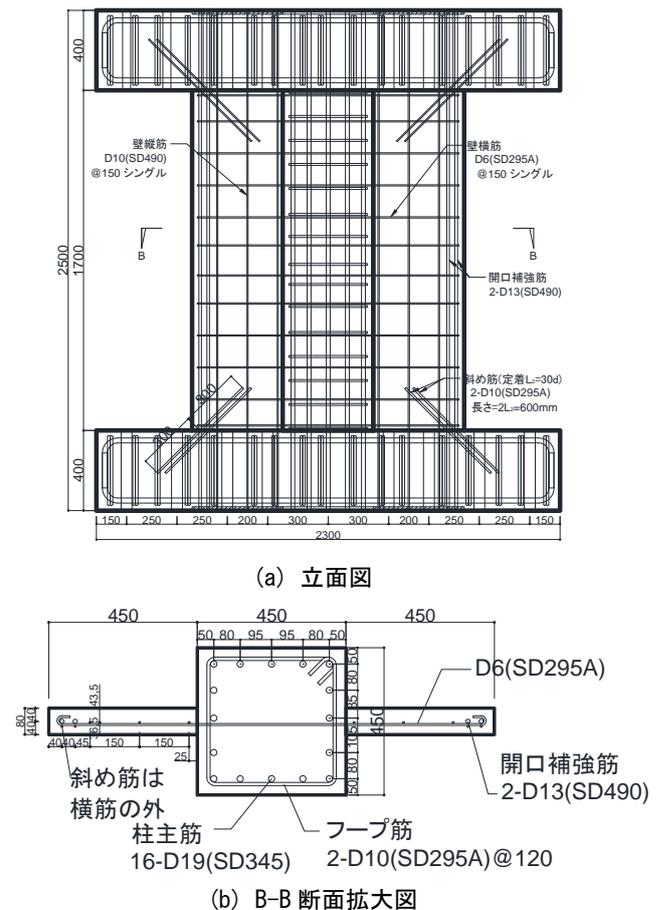


図-1 試験体配筋図

*1 国立研究開発法人 建築研究所 構造研究グループ 研究員 博士（工学）（正会員）
 *2 国立研究開発法人 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員 博士（工学）（正会員）
 *3 戸田建設株式会社 技術開発センター 修士（工学）（正会員）
 *4 東京理科大学 理工学研究科 建築学専攻（正会員）

表-1 試験体諸元

試験体名	CW3-S	CW3-SR1	CW3-SR2
UFCパネル補強	なし	一体型	分割型
縮尺	2/3		
壁厚(mm)	80		
柱せい(mm)	450		
柱幅(mm)	450		
袖壁長さ(mm)	450		
柱主筋	16-D19		
柱帯筋	2-D10@120		
壁縦筋	D10@150 シングル		
壁横筋	D6@150 シングル		
壁横筋比	$\rho_{wh}=0.26\%$		
開口補強筋(縦)	2-D13		
開口補強筋(斜)	2-D10		
F_c (N/mm ²)	21		
軸力(kN)	891	936	968
柱断面に対する軸力比	0.20		

2.2 試験体の補強方法

試験体の補強方法を図-2 に示す。補強は試験体の片側側面(以下、裏面とする)にエポキシ樹脂を用いて、UFC パネルを接着した。試験体 CW3-SR1 では片方の袖壁の全面を覆う一枚の UFC パネルを用いて補強を実施したが、CW3-SR2 では施工性を考慮して5つのパネルに分割して補強を行った。パネルの厚さは両試験体共に30mm とした。一体 UFC 補強試験体 CW3-SR1 および分割 UFC 補強試験体 CW3-SR2 はパネル補強により、せん断破壊を計画した基準試験体 CW3-S よりもせん断耐力が向上することを目的としている。パネルの貼り付け施工は、実際の施工状況を想定し試験体が縦向き状態で、貼り付け位置をあらかじめ#24 のサンドペーパーを用いて目荒らした上で、エポキシ樹脂を用いて接着した。このとき、文献4)と同様に UFC パネルの施工精度を安定させるため、試験体と UFC パネルにφ20 の貫通孔を設けて M10 普通ボルトによる位置決め、および接着後の固定を行った。なお、UFC パネルの試験体との貼り付け面は、プレキャスト時の打設面とした。また、上下のスタブとパネルの境界の水平目地は高強度無収縮モルタルで、パネル間の目地はパネルの接着に用いたエポキシ樹脂で充填した。表-2 に補強に使用した各材料の材料試験結果を示す。

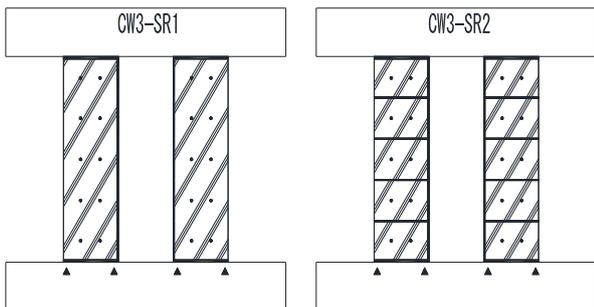


図-2 試験体補強図(裏面から見た図)

表-2 材料特性一覧

(a) コンクリート, 高強度無収縮モルタル, UFC

材料	試験体	ヤング係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	割裂引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)
コンクリート	CW3-S	22.8	22	2.21	-
	CW3-SR1	23.6	23.1	1.95	-
	CW3-SR2	25.1	23.9	2.19	-
モルタル	共通	32.8	119.5	-	-
UFC	共通	-	228	-	33.3

(b) エポキシ樹脂系接着剤

項目	単位	試験条件	保証値	試験値
比重(固化物)	-	23°C	1.65~1.85	1.69
可使用時間	分	23°C	30以上	91
粘度(混合物)	mPa・s	23°C	パテ状	パテ状
引張せん断強度	N/mm ²	23°Cで 7日間 養生	10以上	18.8
コンクリート接着強度	N/mm ²		1.5以上	4.5
圧縮強度	N/mm ²		50以上	69.2
圧縮弾性率	N/mm ²		1.000以上	4.750

(c) 鉄筋

	ヤング係数 (GPa)	降伏強度 (MPa)	降伏歪 (%)	引張強度 (MPa)	
* 壁横筋	D6(SD295A)	165	341	0.406	501
柱フープ筋	D10(SD295A)	179	361	0.199	492
壁斜め筋	D10(SD295A)	171	367	0.220	485
* 壁縦筋	D10(SD490)	174	549	0.515	762
* 開口補強筋	D13(SD490)	172	540	0.514	740
柱主筋	D19(SD345)	169	384	0.234	552

* …… 降伏強度の計算では、0.2%オフセット耐力を用いて計算した。

2.3 加力方法

加力状況を図-3 に示す。試験体の上部に取り付けた軸力ジャッキを用いて、所定の軸力を一定軸力で作用させた。この軸力は表-2(a)に示したコンクリート圧縮強度に柱断面積を乗じ、さらに0.20を乗じた値を作用させた。その後、試験体に逆対称の曲げせん断力が生じるように、上スタブの回転を拘束した状態で、正負漸増繰返し载荷を行った。試験体取り付けた変位計により計測した上下スタブ間の相対水平変形を、スタブ間の距離(1700mm)で除して制御用の部材角Rとした(図-3参照)。加力は変位制御で行い、R=±1/800radを1回、R=±1/400rad, ±1/200rad, ±1/100radを2回とし、基準試験体では、その後+1/50radまで押切载荷を行った。補強試験体では、その後±1/50radを2回行ったあと、+1/33radまで押切载荷を行った。

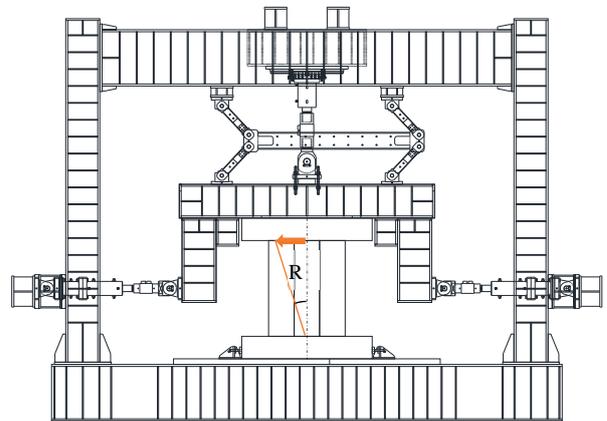


図-3 载荷装置および試験体

3. 実験結果と考察

3.1 実験経過および破壊性状

図-4～図-6にせん断力 Q -部材角 R 関係を示す。また、写真-1～3に最大耐力時および最大変形時の試験体全体写真を示す。また、表-3～表-5に実験結果一覧を示す。限界変形角はせん断力-部材角関係から、最大荷重以降の荷重が最大耐力の80%まで低下した点の変形角と定義し、正負それぞれで計算した。包絡線上に80%耐力低下点がない場合には、各サイクルの最大荷重時の点を折れ線で結び、この折れ線が80%耐力まで低下した点を限界変形角とした。

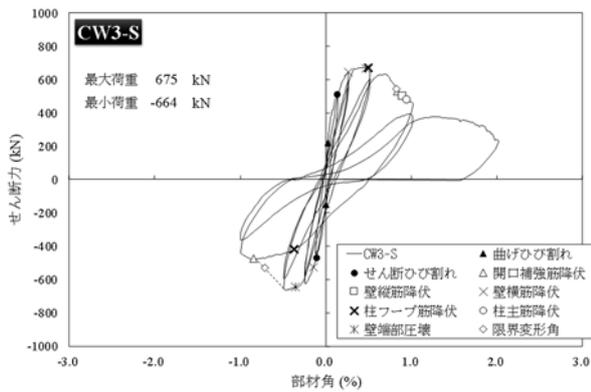


図-4 せん断力-部材角関係 (CW3-S)

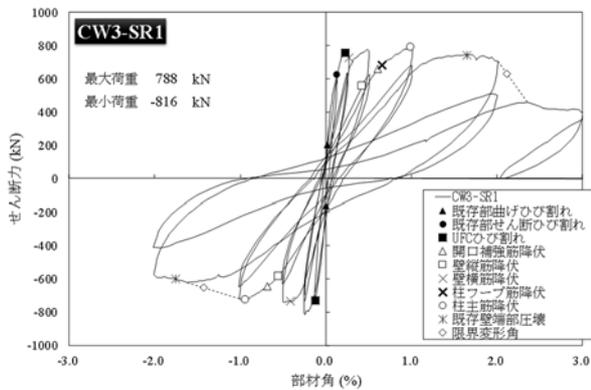


図-5 せん断力-部材角関係 (CW3-SR1)

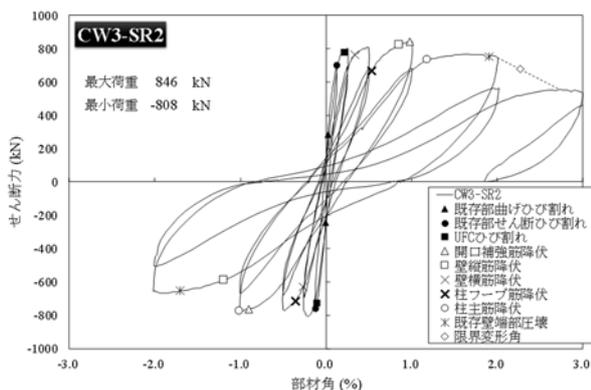


図-6 せん断力-部材角関係 (CW3-SR2)

CW3-S 試験体

無補強試験体 CW3-S は、 $R=\pm 1/800$ サイクルにおいて袖壁端部に曲げひび割れおよびせん断ひび割れが目視により確認された。また、その後 $R=\pm 1/400$ サイクルにおいて壁横筋が降伏し、また柱と袖壁の境界面にひび割れが発生した。 $+1/200$ サイクルで、柱と袖壁の境界面の滑り変形が大きくなり、試験体中央で 1mm 程度の滑りが生じた。 $+1/200$ サイクルピーク付近で柱せん断補強筋が降伏し、同時に壁端部の圧壊が発生し、最大耐力を正側 $R=+1/200$ サイクル $Q=675\text{kN}$ 、負側 $R=-1/200$ サイクルで $Q=-664\text{kN}$ を記録した。 $R=+1/100$ サイクルの途中で試験体中央部のせん断ひび割れが拡幅し水平力が大きく低下する。その後壁端部の壁筋、開口補強筋、柱主筋の降伏が順に発生した。せん断力が最大耐力の80%以下となるのは、変形角 $R=0.82\%$ であった。以上より、基準試験体 CW3-S はせん断破壊によって試験体耐力が決まったと考えられる。

CW3-SR1, CW3-SR2 試験体

一体 UFC 補強試験体 CW3-SR1 は、 $R=\pm 1/800$ サイクルにおいて袖壁端部に既存部の曲げひび割れおよびせん断ひび割れが目視により確認された。また、 $R=+1/400$ サイクル、 $R=-1/800$ サイクルでそれぞれ UFC パネルにひび割れが生じた。UFC パネルのひび割れは目視ではなくパネルに貼付した歪みゲージの計測値により判断した。詳しい説明は、3.3 節に後述する。その後 $R=\pm 1/400$ サイクルにおいて柱と袖壁の境界面にひび割れが発生し、その後柱と袖壁の境界面のすべり変形が大きくなり、試験体中央で 1mm 程度の滑りが生じた。正側はその後水平力が増加したが、負側では $R=-1/400$ サイクル 1 周目の $Q=-816\text{kN}$ が負側最大耐力となった。その後も袖壁の境界面のすべり変形が大きくなり壁と柱が分離するような挙動を見た。 $R=-1/200$ の 2 周目において、UFC パネルのせん断破壊が目視で観察された。試験体裏面で気づきにくい箇所のため目視による発見が遅れた。正側では、 $1/100$ サイクル 1 周目に柱せん断補強筋が降伏し、 $1/100$ サイクルピーク時には柱主筋の降伏と同時に最大耐力 $Q=+788\text{kN}$ を記録した。負側でも $-1/100$ サイクルピーク時に主筋の降伏が記録された。その後 $1/50$ サイクルで袖壁端部が圧壊し、せん断力が最大耐力の80%以下となった。

分割 UFC 補強試験体 CW3-SR2 は、一体 UFC 補強試験体 CW3-SR1 とほぼ同様の破壊経過をたどったため、説明を省略する。写真-4 のように、 $+1/400$ サイクルの 1 周目で CW3-SR1 とほぼ同様の箇所に UFC パネルのせん断破壊が観察された。なお、写真-4 は写真-3 においての青い四角で示した範囲を裏側から撮影した写真である。以上より、補強試験体 CW3-SR1, CW3-SR2 は UFC パ

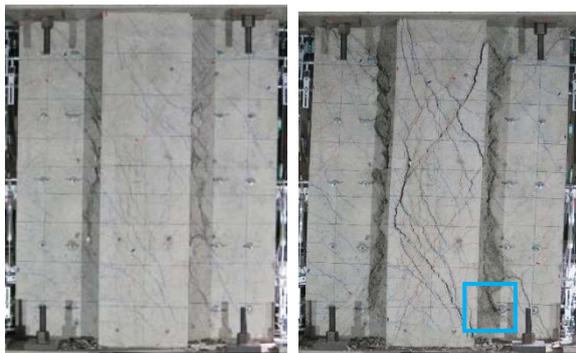
ネルのせん断破壊後、既存部袖壁と柱の分離挙動の後に袖壁端部の圧壊によって部材が終局状態になったと考えられる。



(a) 正側最大耐力時 (b) 正側最大変形時
写真-1 試験体全体写真 (CW3-S)



(a) 正側最大耐力時 (b) 正側最大変形時
写真-2 試験体全体写真 (CW3-SR1)



(a) 正側最大耐力時 (b) 正側最大変形時
写真-3 試験体全体写真 (CW3-SR2)



写真-4 UFCパネルのせん断ひび割れ (CW3-SR2)

表-3 実験結果一覧 (CW3-S)

CW3-S	正側		負側	
	変形角 (%)	荷重 (kN)	変形角 (%)	荷重 (kN)
曲げひび割れ	0.024	221	-0.002	-151
せん断ひび割れ	0.135	513	-0.111	-470
壁端部圧壊	0.47	669	-0.36	-646
最大荷重	0.45	675	-0.47	-664
壁縦筋降伏	0.90	498	-	-
開口補強筋降伏	0.84	529	-0.84	-475
柱主筋降伏	0.95	477	-	-
柱フープ筋降伏	0.50	671	-0.37	-419
壁横筋降伏	0.26	645	-0.14	-526
壁斜め筋降伏	0.78	584	-0.75	-273
限界変形角	0.82	545	-0.72	-531

表-4 実験結果一覧 (CW3-SR1)

CW3-SR1	正側		負側	
	変形角 (%)	荷重 (kN)	変形角 (%)	荷重 (kN)
既存部曲げひび割れ	0.015	202	0.000	-161
既存部せん断ひび割れ	0.126	625	-0.125	-732
既存壁端部圧壊	1.65	742	-1.76	-601
UFCひび割れ	0.23	757	-0.12	-731
最大荷重	0.99	788	-0.25	-816
壁縦筋降伏	0.42	556	-0.55	-585
開口補強筋降伏	0.61	659	-0.68	-645
柱主筋降伏	0.99	788	-0.94	-727
柱フープ筋降伏	0.66	683	-	-
壁横筋降伏	0.27	725	-0.42	-735
壁斜め筋降伏	0.66	683	-0.10	-657
限界変形角	2.12	630	-1.43	-653

表-5 実験結果一覧 (CW3-SR2)

CW3-SR2	正側		負側	
	変形角 (%)	荷重 (kN)	変形角 (%)	荷重 (kN)
既存部曲げひび割れ	0.021	285	-0.007	-242
既存部せん断ひび割れ	0.127	699	-0.121	-759
既存壁端部圧壊	1.91	751	-1.70	-654
UFCひび割れ	0.21	777	-0.11	-728
最大荷重	0.97	846	-0.21	-808
壁縦筋降伏	0.85	824	-1.20	-590
開口補強筋降伏	0.98	841	-0.90	-764
柱主筋降伏	1.19	734	-1.01	-774
柱フープ筋降伏	0.53	668	-0.36	-715
壁横筋降伏	0.34	765	-0.27	-628
壁斜め筋降伏	0.12	704	-0.07	-604
限界変形角	2.27	676	-	-

3.2 UFC パネルによる補強効果

3.1 節にて示したように、パネル補強により試験体の最大荷重が 1.20 倍 (CW3-SR1) および 1.24 倍 (CW3-SR2) 増加したことが確認出来た。また、CW3-SR2 のようにパネルを分割しても補強効果が下がることはなく、一体パネル補強と同等の補強効果があることが分かった。

3.3 UFC パネルのひび割れ

図-7 のように UFC パネルの表面に貼付した 3 軸ゲージの実験値を用いて、UFC パネルのひび割れについての検討を行う。なお、図-7 は CW3-SR2 の場合を示しているが、CW3-SR1 も同様の位置に貼付した。図-8 に、試験体 CW3-SR1 の UFC パネルの最大主ひずみ (No.11, No.15) を示す。なお、最大主ひずみは 3 軸ゲージの計測値とポアソン比 (文献 5) を参考に 0.2 を用いた) を用いて計算を行った。また、図-8 には UFC パネルの引張強度時の歪み ϵ_t ($=245 \mu$) の推定値も併記した。この ϵ_t は

文献5)を参考に(1)式および(2)式を用いて推定した。図-8を見ると、正側 $R=0.23\%$ 、負側 $R=-0.21\%$ で、最大主ひずみが急激に増加し ϵ_t を大きく超えている。このことから、この点を UFC パネルのひび割れ発生時と定義した。

$$\epsilon_t = f_t / E_c \quad (1)$$

$$f_b = 2.59f_t + 1.54 \text{ (MPa)} \quad (2)$$

ただし、 f_t : UFC の引張強度 (MPa)

f_b : UFC の曲げ強度 (表-2 より, 33.3MPa)

E_c : UFC のヤング係数 (文献5)より 5.0×10^4 MPa)

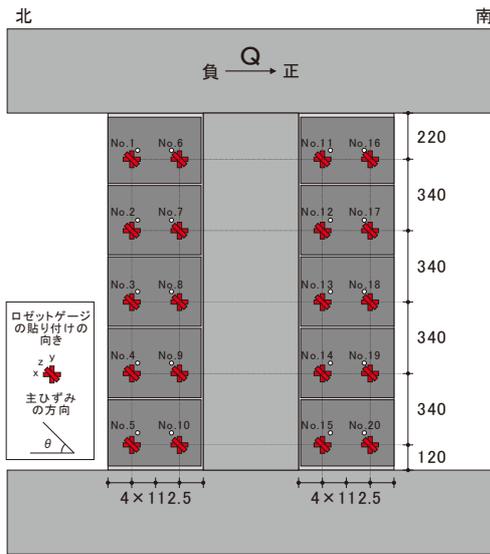


図-7 3軸ゲージ貼付位置
(CW3-SR2 の場合で、表から見た図)

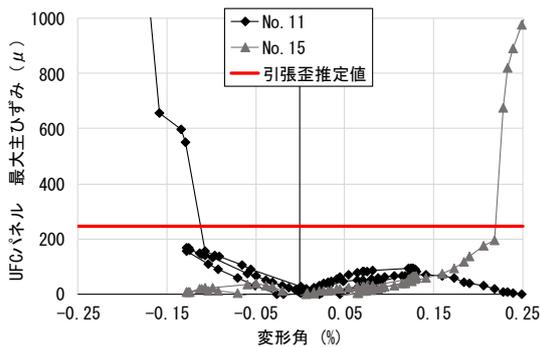


図-8 最大主ひずみ (CW3-SR1)

また、変形角 $R=\pm 1/100$ までに最大主ひずみが ϵ_t を超えた3軸ゲージ一覧を表-6に示す。表-6に示した値は、 ϵ_t を超える直前のデータを用いて計算を行った。本研究では、最大主ひずみの角度が30度~60度の範囲にある場合は、せん断ひび割れ、それ以外は曲げひび割れと定義し、表-4に判定結果を示した。これを見ると、CW3-SR1のNo.11とNo.15および、CW3-SR2のNo.11

とNo.6は最大せん断応力 τ_{max} が12.2MPa~15.0MPaとなっており、既往の研究⁹⁾で得られているせん断破壊時のせん断応力12MPaとほぼ同等の応力である。このことから、UFCパネルは少なくとも当該位置においてせん断破壊したと考えられる。

無補強試験体CW3-Sは、写真-1(b)のように壁の端部を繋ぐような対角線せん断ひび割れが発生している。一方、補強試験体のUFCパネルにおいて、応力が集中しせん断ひび割れが発生しているのは、No.6, 10, 11, 15の3軸ゲージの付近であり、部材の対角線上にあるNo.1, 5, 16, 20の3軸ゲージでは変形角 $R=\pm 1/100$ までにせん断ひび割れが見られなかった。

表-6 UFCパネル ひび割れ判定結果

ゲージ位置	CW3-SR1				CW3-SR2				
	角度	判定	変形角	最大せん断応力	ゲージ位置	角度	判定	変形角	最大せん断応力
No. 14	47.5	せん断	-0.11	6.8	No. 11	37.9	せん断	-0.094	12.6
No. 13	36.2	せん断	-0.12	9.5	No. 6	-34.8	せん断	0.205	15.0
No. 15	-46.3	せん断	0.22	13.3	No. 19	80.2	曲げ	-0.202	4.1
No. 11	41.4	せん断	-0.11	12.2	No. 5	21.7	曲げ	-0.265	12.1
No. 19	63.9	曲げ	-0.16	8.9	No. 10	52.6	せん断	-0.502	15.1
No. 2	80.4	曲げ	-0.25	4.9	No. 15	16.5	曲げ	-0.502	16.7
No. 17	-73.9	曲げ	0.26	7.3	No. 17	-63.2	曲げ	0.881	10.0
No. 4	89.0	曲げ	0.30	7.4					

3.4 UFCパネルによる応力負担

図-7の3軸ゲージの計測値から、本実験におけるUFCパネルの負担水平せん断力についての検討を行う。本実験では、試験体反曲点に近い位置の3軸ゲージ(No.3, 8, 13, 18)の計測値から(3)式を用いて計算された水平せん断応力 τ_{xy} の平均値に、2枚のパネルの断面積を掛けた値を、UFCパネルの負担水平せん断力と定義した。ただし、CW3-SR1ではNo.13の最大主ひずみが ϵ_t を超えたため、弾性範囲から外れたと判断し水平せん断応力の計算からは除外した。図-9および図-10にUFCパネルの負担水平せん断力の計算結果を示す。また、図中には、3.3節で示したUFCパネルせん断ひび割れ発生点(CW3-SR1はNo.11とNo.15, CW3-SR2はNo.11とNo.6)をプロットした。これを見ると、両試験体共にUFCパネルにせん断ひび割れが生じた前後で最大値を記録していることが分かる。このことから、UFCパネルはせん断ひび割れ発生時にせん断破壊し、その後負担水平せん断力が小さくなったと考えられる。

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_{min} - \sigma_{max}}{2} \sin 2\theta \quad (3)$$

σ_{max} : 最大主応力 (MPa) (下式で計算する。)

$$\sigma_{max} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{max} + \nu \epsilon_{min})$$

σ_{min} : 最小主応力 (MPa) (下式で計算する。)

$$\sigma_{min} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{min} + \nu \epsilon_{max})$$

E_c : UFC のヤング係数 (文献 5)より 5.0×10^4 MPa)
 ν : ポアソン比(=0.2) θ : 最大主ひずみの角度
 ϵ_{max} : 最大主ひずみ ϵ_{min} : 最小主ひずみ

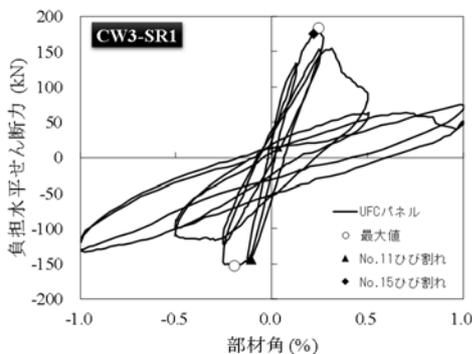


図-9 UFC パネル負担水平せん断力 (CW3-SR1)

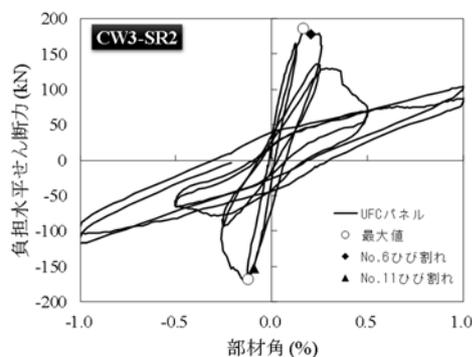


図-10 UFC パネル負担水平せん断力 (CW3-SR2)

4. 試験体の耐力評価

既往の評価式を用いて、無補強試験体 CW3-S のせん断終局耐力の計算を行った。せん断終局耐力は、(4)式で計算を行った結果、計算値は 600kN となった。実験における最大耐力の正負平均値が 670kN のため、実験値/計算値が 1.11 となった。文献 7) に示されている(4)式の評価精度 (実験値/計算値の平均値 1.19, 変動係数 0.33) を考慮すると、無補強試験体 CW3-S の最大耐力は(4)式を用いることで評価可能であるといえる。

$$Q_{su} = Q_{suw} + Q_{suc} + 0.1N \quad (4)$$

Q_{su} : 袖壁付き柱のせん断終局強度 (N)

Q_{suw} , Q_{suc} : 壁と柱の断面を加力方向に分割した後、それぞれのせん断終局強度 (N)

N : 袖壁付き柱に作用する軸力 (N)

5. まとめ

せん断破壊を計画した袖壁付き柱に UFC パネルを貼り付け静的加力実験を行った結果、以下の知見を得た。

(1) 基準試験体 CW3-S では想定どおりにせん断破壊した。一方、補強試験体は UFC パネルのせん断破壊後、

既存部袖壁と柱の分離挙動の後に袖壁端部の圧壊によって部材が終局状態になったと考えられる。

- (2) 今回の実験の範囲においては、UFC パネル補強により試験体の最大荷重が 1.20~1.24 倍増加したことが確認出来た。また、UFC パネルを分割しても一体パネル補強と同等の補強効果があることが分かった。
- (3) 既往の評価式を用いて無補強試験体の耐力評価を行った結果、無補強試験体は精度良く評価出来た。

謝辞

本研究は、平成 29 年度住宅・建築物高度化事業「地震後の継続使用性に資する RC 造非耐力壁の損傷低減技術の開発」および(国研)建築研究所指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」により実施しました。また、UFC パネル製作と接着には、太平洋セメント(株)及び三菱樹脂インフラテック(株)にご協力頂きました。東京理科大学衣笠研究室の皆さまには、実験計画時および実施時に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 谷昌典, YUNIARSYAH Eko, 向井智久, 河野進: 損傷低減及び構造的な改善を目指した RC 造方立壁の実大実験, コンクリート工学会年次論文報告集, Vol.37, No.2, pp.901-906, 2015
- 2) 古谷祐希ほか: 壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の開発 その 1~その 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.583-590, 2016.8
- 3) 坂下雅信, 向井智久, 谷昌典, 石岡拓: 分割したプレキャスト UFC パネルをブレース状に貼り付けた RC 造部材の耐震補強効果に関する研究, コンクリート工学会年次論文報告集, Vol. 39, No.2, pp. 895-900, 2017
- 4) 内田崇彦ほか: 壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の施工合理化に向けた部材実験 その 1~その 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.291-298, 2017.8
- 5) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004
- 6) 衣笠秀行, 向井智久, 白井一義, 福山洋: 超高強度繊維補強コンクリート及び高強度モルタルを充填部に用いた接合部のせん断性能に関する実験的研究, コンクリート工学会年次論文報告集, Vol.31, No.2, pp.1471-1476, 2009
- 7) 国土技術政策総合研究所, 建築研究所監修: 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2015