

RC 造柱                      コンクリートの剥落      塑性率  
連続繊維シート              アラミド繊維                  ポリウレア樹脂

1.はじめに

地震時の鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）造建築物の居室内等の安全を確保するため、各部材が変形したときのコンクリートの剥落を防止することが有用である。

一方、これまでに筆者らは、コンクリート、RC 造部材への 400%程度の伸びを有するポリウレア樹脂吹き付けによりシームレスな要素を部材の外周に設けた際の部材の構造性能について検討してきた<sup>1)~3)</sup>。

本研究は、RC 造柱の側面にアラミド繊維による連続繊維シート巻き立て<sup>4)</sup>及びポリウレア樹脂吹き付けを施し、地震時の構造特性ならびに主にコンクリートのひび割れ発生後の補強要素による剥落防止効果について考察することを目的とする。また、部材の塑性率への影響を考察する。ここでは、補強方法を変数とした RC 造柱総数 4 体について、地震による水平荷重を想定した実験を行い、その性状について考察を行ったので報告する。

2.実験概要

図 1 に実験に用いた試験体詳細を示す。試験体は、実大の約 1/3 スケール程度を想定した RC 造柱梁からなる総数 4 体 (No.1~4) である。RC 造による既存部は共通しており、No.1 は既存部のみ、No.2~4 は既存部と補強部からなり、補強方法を変数とした。実際の柱補強は、柱梁接合部を含む範囲とされることもあるが、補強要素を連続させる観点から、ここでは梁上から梁下の範囲の柱を補強対象とした。No.1 は RC 造による既存柱、No.2 はポリウレア樹脂吹き付け補強 RC 造柱、No.3 はアラミド繊維 2 層巻き立て補強 RC 造柱、No.4 はアラミド繊維 2 層巻き立ての上ポリウレア樹脂吹き付け補強 RC 造柱とした。

既存柱において、RC 造柱の破壊モードは、せん断破壊に対して曲げ降伏が先行するように設計された。既存部の表面にプライマー処理を行い、ポリウレア樹脂は吹き付け、アラミド繊維は樹脂により 2 層巻きとして接着した。

コンクリートの機械的性質について表 1 に、鋼材の機械的性質について表 2 にそれぞれ示す。ヤング係数は、降伏点の 2/3 の点における応力度一ひずみ度関係の傾きとして算出した。D13(SD295A)のひずみ硬化は、ひずみ度 1.3%程度から生じていた。ポリウレア樹脂およびアラミド繊維補強に際して、防水の観点から施工時にプライマーによる下地処理を行った。実験で使用した繊維については単重重合型のアラミド繊維シート (SA40-50, 保証耐力

40tf/m=392kN/m, 引張強度 2060N/mm<sup>2</sup> 以上, ヤング係数 118±20kN/mm<sup>2</sup>, シート厚さ 0.193mm, 密度 1.45g/cm<sup>3</sup>) の 2 層巻きを選定し, RC 造柱表面に対する接着はプライマー塗布の上, エポキシ樹脂を含浸させて行った。

実験で使用した樹脂についてはポリウレア樹脂 (実測より密度 0.78g/cm<sup>3</sup>) を選定し, RC 造柱表面に対してプライマー塗布の上, A 液と B 液をコンプレッサーで加熱圧送することにより塗布した。

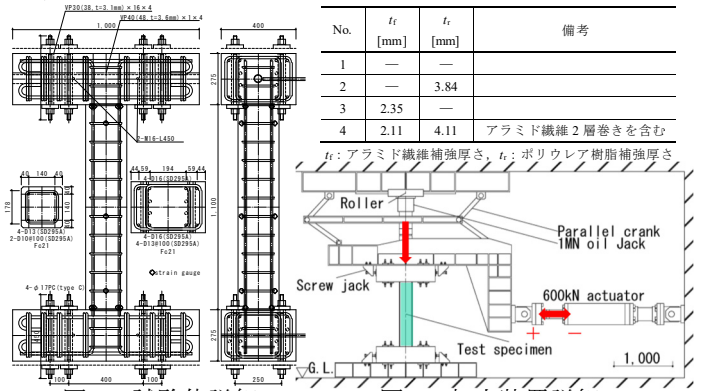


図 1 試験体詳細                      図 2 加力装置詳細

表 1 コンクリートの機械的性質

No.	Fc	材齢 [day]	ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	εE [kN/mm <sup>2</sup> ]	ε <sub>0</sub> [μ]	σ <sub>B</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	21	28	2.33	31.9	1886	36.3	2.08
2	21	33	2.32	31.4	2016	37.0	3.29
3	21	28	2.29	28.3	1646	28.4	2.94
4	21	33	2.30	28.6	1656	29.5	3.17

ρ : 気乾密度, εE : ヤング係数, Fc : 設計基準強度, ε<sub>0</sub> : 強度時ひずみ度, σ<sub>B</sub> : 圧縮強度, σ<sub>t</sub> : 引張強度

表 2 鋼材の機械的性質

呼径	種類	使用部位	εE [kN/mm <sup>2</sup> ]	Y.R.	ε <sub>y</sub> [μ]	ε <sub>u</sub> [%]	σ <sub>y</sub> , σ <sub>0.2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
D10	SD295A	帯筋・あばら筋	188	0.71	1910	22	359	508
D13	SD295A	柱主筋	191	0.70	1776	23	339	482
D16	SD295A	梁主筋	184	0.68	1875	22	344	503

εE : ヤング係数, ε<sub>y</sub> : 降伏時ひずみ度, ε<sub>u</sub> : 伸び, σ<sub>y</sub> : 降伏点, σ<sub>t</sub> : 引張強度, Y.R. : 降伏比 (降伏点/引張強度)

図 2 に加力装置詳細を示す。加力実施時のコンクリートの材齢について、それぞれ No.1 は 28 日、No.2 は 33 日、No.3 は 28 日、No.4 は 33 日とした。

鉛直方向の荷重は、既存 RC 造柱に対する軸力比 0.15 として与えた。圧縮軸力は、No.1 は 250kN, No.2 は 253kN, No.3 は 196kN, No.4 は 202kN に相当する。

水平方向の荷重は、部分架構の層間変形角として ± 1/1000, 1/400, 1/200, 1/100, 1/67, 1/50, 1/33, 1/25rad.

に相当する容量 600kN アクチュエータによる試験機変位を目標変位として各 3 回繰り返し与えた。水平方向の荷重は、図 2 の左=右を正側とした。柱の部材角  $R$  は、RC 造柱の水平方向の相対変位  $\delta_H$  を RC 造柱の内法長さ  $h_0 = 1100\text{mm}$  で除すことにより得られる。No.3, 4 は  $\pm 1/25$  サイクル終了後、 $\pm 1/20$  サイクルまで各 3 回の繰り返し加力を実施し、その後終了した。柱の水平変位  $\delta_H$  ならびに、鉛直変位  $\delta_V$  は、高感度変位計によりそれぞれ計測した。

ひずみは、図 1 に示す位置に貼付された各所のひずみゲージを用い計測した。柱主筋のひずみゲージ貼付位置は、施工時の帯筋との取り合いを考慮し、水平荷重時における危険断面から 10mm ずつ内側とした。

各サイクルの加力終了時に、ひび割れの発生状況など、柱の損傷過程を目視により確認した。また、剥落したコンクリート片については、各サイクルの加力終了時に、採取し最小分解能 0.1g の電子はかりを用いてその質量を計測した。加力終了後、柱端部の補強要素を剥がし、コンクリート表面の損傷を目視により確認した。

### 3. 実験結果

各試験体の水平荷重-部材角関係を図 3 に示す。全ての試験体において、柱主筋の降伏を伴う履歴性状を示している。No.3, 4 については、目標部材角  $1/25$  サイクルにおいて大きな耐力低下を生じなかったことから、目標部材角  $\pm 1/20$  まで加力を継続した。

表 3 に実験結果一覧を示す。No.1 の変位塑性率が 6.21 であるのに対し、No.2, 3, 4 の変位塑性率はそれぞれ 6.66, 12.26, 11.21 であり、特に No.3, 4 において大きな改善が得られた。これは、No.3, 4 において、軸力比は同等であるもののコンクリート強度の影響により柱の圧縮軸力は小さいこと、2 層巻きの繊維シートによるせん断補強の影響と考えることが出来る。

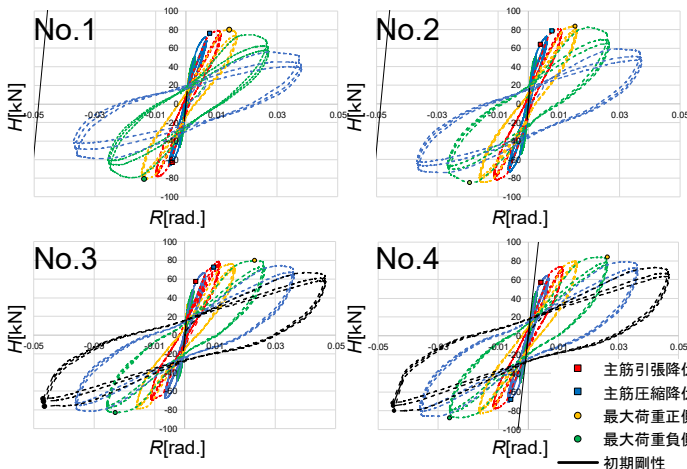


図 3 各試験体の水平荷重-部材角関係

表 3 実験結果一覧

No.	曲げひび割れ		柱主筋降伏				最大荷重		限界変形		$\mu_d$
	H [kN]	R [%]	引張		圧縮		H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]	
			H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]					
1	32.5	0.11	63.6	0.45	75.6	0.79	81.1	1.36	63.6	2.65	6.21
2	33.8	0.09	63.8	0.40	78.4	0.80	84.9	1.92	63.8	2.66	6.66
3	32.7	0.11	57.4	0.38	72.4	0.97	83.1	2.29	57.4	4.66	12.26
4	39.4	0.17	56.6	0.41	65.9	0.52	87.5	2.33	56.8	4.64	11.21

H: 水平荷重, R: 部材角,  $\mu_d$ : 変位塑性率 (限界変形角を主筋の引張降伏時部材角で除した値)

表 4 に剥落コンクリート質量の推移を記す。No.1 は、柱の部材角の増大に伴い、かぶりコンクリートの剥落を生じたが、No.2~4 は経験部材角  $\pm 3.61\%$  を超える大変形に至るまでコンクリートの剥落を生じなかった。加力終了後に柱端部の樹脂を剥がして目視による確認を行ったところ、コンクリートにはひび割れの発生が認められた。

表 4 剥落コンクリート質量の推移 (No.1)

R [%]	0.61	1.06	1.56	2.61	3.71
m [g]	0.2	1.6	15.2	350.6	4015.1
total m [g]	0.2	1.8	17.0	367.6	4382.7

m: 剥落コンクリート質量,

total m: 累加剥落コンクリート質量

### 4. まとめ

曲げせん断応力下の RC 造柱部材の変位塑性率は、アラミド繊維 2 層巻き立て補強により改善されたが、ポリウレア樹脂吹き付け補強のみでは改善されなかった。

既存 RC 造柱は経験部材角の増大に伴い、かぶりコンクリートの剥落を生じたが、ポリウレア樹脂あるいはアラミド繊維 2 層巻き補強を施した No.2~4 は既存柱にひび割れは生じたものの、経験部材角  $\pm 3.61\%$  を超える大変形に至るまでコンクリートの剥落を生じなかった。

### 謝辞

本研究は 2018 年度関東学院大学工学総合研究所共同研究として実施されました。実験にご協力いただきましたライノジャパン株式会社の白方進様、2018 年度関東学院大学建築・環境学部卒業研究生の滝有沙美様、宮坂綾乃様をはじめ、関係者に御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 渡部洋研究室: バサルト繊維とポリウレア樹脂により併用補強されたコンクリートの圧縮特性に関する実験研究報告書, pp.1-23, 2016.3,
- 2) 渡部洋研究室: アラミド繊維とポリウレア樹脂により併用補強されたコンクリートの圧縮特性に関する実験研究報告書, pp.1-26, 2017.2,
- 3) 渡部洋研究室: アラミド繊維とポリウレア樹脂により併用補強された鉄筋コンクリート造梁の曲げせん断性状に関する実験研究報告書, pp.1-17, 2017.9,
- 4) 日本建築防災協会: 2010 年改訂版連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針, 2010.1

\*1 関東学院大学 建築・環境学部 准教授・博士(工学)

\*1 Assoc. Prof., College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin Univ., Dr. Eng.

\*2 関東学院大学 建築・環境学部 助手

\*2 Research Assoc., College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin University