# 論文 リサイクル可能な RC 柱の弾塑性性状

### 江崎文也\*

要 旨: 解体後も再利用が可能なRC構造を開発する目的で,鉄筋とブロックとの付着が作 用しないように計画したRCプレキャストブロック柱を提案し,中心圧縮実験および一定 軸力下の正負繰り返し水平力加力実験から,鉄筋とコンクリートブロックとの付着が生じ ないRC柱の弾塑性性状を検討し,比較的安定した履歴性状が得られることを示した。 キーワード: リサイクル, RC柱, RCブロック, プレキャスト, アーチ機構

1. 序

鉄筋コンクリート構造は、耐火性および耐久 性に優れ、鉄骨構造と比べても安価で経済的で あるとの理由から、広く使用されている。しか し、施工が煩雑なことのほかに、取り壊しが容 易でない。また取り壊し後の構造材料は粗大ゴ ミとして廃棄され、その処理は近年社会問題と してクローズアップされるようになってきてい る。このような社会情勢を考慮すると、今後、工 場で加工した構造部材を現場で簡単に施工する ことができるとともに、取り替えも容易にでき るリサイクル可能な新しいRC構造の開発が要 求されると予想される。

本研究は、この新しいRC構造の可能性を検討 するため、正方形断面ブロックより構成された 柱の圧縮実験を行い、その鉛直剛性を検討する とともに、せん断スパン比*M/QD*=1および2の 柱について、一定軸力下の繰り返し水平加力実 験を行い、その力学的性状について検討を行っ たものである。

### 2. 実験概要

### 2.2 試験体

表-1に試験体一覧,表-2には使用した材料の力学的性質を示す。ブロックの寸法は,運 搬および施工等を考慮し,柱幅と同厚とした。

図-1に,中心軸圧縮用の試験体形状および配 筋を示す。プロック柱については,図中に示すよ

\*九州共立大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

うに、断面中央に円形鋼管を両端に配置して一 体打ちしたブロックにコンクリート充填鋼管の シヤーキーを挿入し、シヤーキーを挿入する穴 の深さより5mm長いシヤーキーの挿入によって 生じたブロック間の隙間に、圧縮強度80MPaの 補強補修用モルタルを充填して接合した。

図-2に、水平加力実験用の試験体形状およ び配筋を示す。せん断スパン比M/QD=1の試験 体は、中心圧縮用試験体と同様な方法で各ブ ロックを接合し、主筋穴に通した端部ネジ付き 鉄筋を締め付けて試験体部分を作製した。取り 外しが容易にできるように、ブロック接合面は ビニール塗料を塗り、モルタルとの接合面が容 易に剥離するように計画した。せん断スパン比 M/OD=2の試験体は、各ブロックの中央に設け た機械式継手にて接合した。MIQD=1の場合と同 様に、ブロック間の隙間に圧縮強度 80MPa の補 強補修用モルタルを充填して試験体を作製した。 いずれの試験体とも所定の軸力を載荷した後、端 部ナットを加力スタブに接触させ、鉄筋の伸び を拘束する定着装置を加力スタブに取り付けて, 試験体と加力スタブとを接合した。

軸方向力は、 $\sigma_l \sigma_g (\sigma_c = N/A, ctl, N: 軸$  $方向力, A: 柱断面積, <math>\sigma_g: \exists \lambda \neq 0$ 」 度)=0.3および0.15の2種類を計画し、M/QD=1の場合,前者は、主筋は降伏せずコンクリート ストラットが降伏するせん断破壊先行,後者は、 主筋の降伏近傍となるように計画したものであ る。M/QD=2の場合は、両試験体とも、主筋は降 伏せずコンクリートストラットが降伏するせん断 破壊先行となるように計画した。

2.2 載荷方法・載荷プログラム及び測定装置 中心軸圧縮実験は,図-1に示す方法で漸増 単調載荷により実施し,軸方向の変形を感度 1000µ/mmの変位計にて測定した。水平加力実験 に関しては,一定軸力下の繰り返し水平加力が可 能な図-3の加力装置を用いて行い,図-4に 示すように,上下スタブ間の相対水平変形および 鉛直変形を,それぞれ200µ/mmおよび500µ/mm の変位計にて測定した。加力は,図-5に示すよ うな載荷プログラムで行った。

表一1 試験体一覧

試験体名	帯筋配筋	$\sigma_c / \sigma_B$
中心圧縮	6\phi@25mm(p <sub>w</sub> =1.13%)	-
BH-1-0.3	6 <b>\$\$</b> @15mm(p <sub>w</sub> =1.88%)	0.3
BH-1-0.15	6 <b>\$\$</b> @25mm(p <sub>w</sub> =1.13%)	0.15
BH-2-0.3	6 <b>\$\$</b> @40mm(p <sub>w</sub> =0.62%)	0.3
BH-2-0.15	6φ@50mm(p <sub>w</sub> =0.50%)	0.15

共通事項:主筋49.2  $\phi(p_g=0.65\%)$ ,ただし、中心圧縮は4-D13  $p_w$ :帯筋比、 $p_g$ :主筋比、 $\sigma_c$ :軸方向応力度(=N/A,ただし、N: 軸方向力、A:柱断面積)、 $\sigma_g$ :コンクリート圧縮強度

# 表-2 使用材料の力学的性質

(1)鉄筋および鉄骨

種別	а	σ,	σ	E	伸び(%)
бф	0.26	364	478	215	18.5
D13	1.24	362	592	182	20.7
9.2 <b>¢</b>	0.66	1417	1466	195	8.6
鋼管	0.60	333	-	185	
6 <b>¢</b> *	0.25	408	459	206	13.7
9.2 <b>\$</b> *	0.65	1440	1510	204	9.1

a:断面積(cm<sup>2</sup>), σ、:降伏点(MPa),

σ.:引張強度(MPa), E.:ヤング係数(GPa)

\*印は, M/QD=2で使用

(2)コンクリート

試験体名	σ <sub>B</sub>	ε <sub>B</sub>	E <sub>c</sub>
中心圧縮	22.8	0.00251	23.2
BH-1-0.3	24.4	0.00223	23.9
BH-1-0.15	24.4	0.00223	23.9
BH-2-0.3	23.4	0.00289	21.8
BH-2-0.15	23.4	0.00289	21.8

 $\sigma_a$ :シリンダー圧縮強度(MPa),  $\varepsilon_a$ :圧縮強度時ひずみ,

E: ヤング係数(GPa)



図-1 中心圧縮試験体形状および 加力・測定方法











3. 実験結果

図ー6に、中心軸圧縮実験結果を示す。一体 打ちは、鉄筋負担力を除いたコンクリート圧縮 応力  $\sigma_c$  と測定間平均ひずみ  $\varepsilon_c$  との関係を示す。 ブロック柱については,主筋穴面積を控除した コンクリート圧縮応力と測定間平均ひずみ関係 を示す。この図によれば、一体打ちに比べてブ ロック柱の軸剛性が小さく, モルタルの乾燥収 縮に伴う接合部分の変形の影響が考えられる。

図-5 載荷プログラム

図-7に, せん断スパン比M/QD=1の試験体 の水平力Rと上下スタブ間の相対水平変形を柱 の内法高さで除した部材角Rとの関係および終 局ひび割れ状況を示す。いずれの試験体ともR の増大とともにQが増大し、水平力の低下はほ とんどみられず、安定した履歴性状を示した。主 筋とコンクリートとの付着がないので、エネル ギー吸収性能の少ない性状を示している。図中 にはアーチ機構に基づく水平耐力計算値"Q<sub>4</sub>を 示した。いずれも計算値を超える耐力に達して いる。  $\mathbf{図} - \mathbf{8}$  に, 鉛直方向平均ひずみ  $\epsilon_{\mathbf{z}}$ と部材 角Rとの関係を示す。Rが0近傍では、正負繰り 返し変形を受けるにしたがって徐々に鉛直方向 の縮みが増加している。しかし、部材角Rの増 大とともに鉛直方向に伸びる傾向は維持されて おり、端部のカバーコンクリートの剥落が一部 にみられるものの, せん断破壊などの脆性破壊 現象がみられないことから、水平力の低下もほ とんどなかったものと考えられる。

図-9に、せん断スパン比M/QD=2の試験体 の水平力のと部材角Rとの関係および終局ひび 割れ状況を示す。端部のカバーコンクリートの 剥落は、上端および下端のブロックのみに見ら れ、中央部分のブロックにはひび割れが生じて いない。両試験体とも主筋の付着がないので,付 着割裂ひび割れは生じていない。いずれの試験 体ともRの増大とともにQが増大し、水平力の 低下はほとんど見られず、安定した履歴性状を 示した。試験体BH-2-0.15の場合,水平力が水平 耐力算定値 Q.まで達していない。これは、比較 的初期の段階での端部コンクリートの圧壊に起

因しているものと考えられる。図 -1 0に,鉛直 方向平均ひずみ E,と部材角 Rとの関係を示す。R が0近傍では正負繰り返し変形を受けるにした がって鉛直方向の縮みが増加しているが,部材 角 Rの増加とともに鉛直方向に伸びる傾向は維 持されており,安定した性状を示した。

図-8および図-10の各図中に、一体打ち と考えた場合の軸力Nによる軸ひずみの値 $\varepsilon_0$ を 示したが、いずれのせん断スパン比の試験体と も $\varepsilon_0$ より大きな軸縮みを生じているのは、上下 スタブと試験体との接合面に生じた隙間および プロック接合部モルタルの乾燥収縮によるもの と考えられる。

## 4. 荷重変形解析

ブロック部分の変形はわずかと考え,図-11 に示すように、水平変形はスタブと柱との境界 部分の回転角によって生じるものと仮定する。

1) 境界部分が全断面

圧縮の場合
 引張側の垂直緑応
 力が0となるときの
 水平力Q<sub>cr</sub>は、軸力に
 よる平均軸圧縮応力
 と同じ引張緑応力を
 生じさせる曲げモー
 メントM<sub>cr</sub>を用いて、
 式(1)で与えられる。



図-11 ブロック柱 変形模式図

$$Q_{cr} = \frac{2}{h} M_{cr} = \frac{2}{h} \frac{N}{A} Z$$
(1)  
ここで,  
N: 柱軸力

A:柱断面積 (=
$$b_c D_c$$
,  $b_c$ :柱幅,  $D_c$ :柱せい)  
Z:断面係数 (= $b_c D_c^2/6$ )

h:柱内法高





- 658 -

引張縁応力が0のときの圧縮縁応力は2N/Aと なり,式(2)のコンクリート応力-ひずみ関係を 用いると,圧縮ひずみ ε<sub>cr</sub>が式(3)で与えられる。

$$\frac{\sigma_{c}}{\sigma_{B}} = \left\{ 2 \left( \frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{0}} \right) - \left( \frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{0}} \right)^{2} \right\}$$
(2)
ここで,
$$\frac{\sigma_{c}: 圧縮応力度}{\sigma_{B}: 3 \times 7 \, \eta - h \, E 縮強度} \\
\frac{\varepsilon_{c}: E 縮 ひずみ度}{\varepsilon_{0}: 3 \times 7 \, \eta - h \, E 縮強度時 ひずみ度} \\
\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{cr}} = \varepsilon_{0} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{B}} \right)} \right\}$$
(3)
$$2. C, \quad \sigma_{cr} = 2N/A$$

コンクリート圧縮ひずみが柱高全長にわたっ

て直線的に変化しているとすれば, 圧縮応力に よる縮み量 $\delta_{cr}$ が式(4)で与えられ,式(4)を用いる と, 材端の回転角 $\theta_{cr}$ が式(5)で与えられる。

$$\delta_{cr} = \frac{\varepsilon_{cr}h}{2} \tag{4}$$

$$\theta_{cr} = \frac{\delta_{cr}}{D} = \frac{h}{2D} \varepsilon_{cr}$$
(5)

2) 引張側が浮き上がる場合

圧縮側コンクリート応力分布としてACI規準に 用いている仮定を用いると,式(6)が得られる。

$$N+T = k_1 k_3 \sigma_B x_n b_c$$
 (6)  
ここで,  
 $k_1 = k_3 = 0.85$   
 $x_n$ : 圧縮縁から中立軸までの距離  
T: 鉄筋の引張力



- 659 -

(6)式のTは,部材材長の伸びに起因する鉄筋 の引張力による付加軸力を示している。

材端モーメントは、式(7)で与えられる。

$$M = (N+T) \left(\frac{D}{2} - \frac{k_1}{2} x_n\right) \tag{7}$$

鉄筋とコンクリートとの付着がないので,鉄 筋は全長にわたって同じひずみであると考えら れる。したがって,式(6)および式(7)の Tは,材 端の回転角 $\theta$ が与えられると,式(8)で与えられ る $\epsilon$ を用いて,式(9)で求められる。

E:鉄筋のヤング係数

せん断力 Qは,式(7)の Mを用いて式(10)で与 えられるので,式(5)で求めたθ<sub>cr</sub>から以降は,式 (10)よりせん断力 Qと部材角 Rの関係を求める ことができる。

$$Q = \frac{2}{h} M \tag{10}$$

$$(Q \le Q_{su})$$

$$\Xi \subseteq \mathcal{T},$$

Q<sub>11</sub>: せん断破壊できまる水平耐力で,式 (11)および式(12)で与えられる<sup>1)</sup>。

<u>N</u>≦*N*₀のとき

0 -

$$\frac{cN_{u}}{2}\lambda\left\{\sqrt{1+\frac{4}{\lambda^{2}}\left(\frac{2_{r}N_{u}+N}{cN_{u}}\right)\left(1-\frac{2_{r}N_{u}+N}{cN_{u}}\right)}-1\right\} (11)$$

N>N<sub>0</sub>のとき  
$$Q_{su} = \frac{cN_u}{2} \left( \sqrt{\lambda^2 + 1} - \lambda \right)$$
(12)

ここで、  

$$\lambda = \frac{h}{D_c}$$
  
 $_c N_u = b_c D_c \sigma_B$   
 $_r N_u = A_s \sigma_y$  ( $\sigma_y$ :引張鉄筋降伏点強度)  
 $N_0 = \frac{cN_u}{2} - 2_r N_u$ 

上述した各式によって求めた水平力Qと部材 角Rとの関係を,破線で図-7および図-9に 示す。解析した結果は,ほぼ実験値と一致して いることから,上述の解析によって本構造形式 柱のQ-R関係をおよそ予測できると考えられる。

### 5. 結論

リサイクル可能な RC 構造の可能性を検討す るために行った RC 正方形断面ブロック柱の一 定軸力下の繰り返し水平加力実験の結果,以下 のことがわかった。

1)比較的大変形時まで耐力の低下はほとんどな く,安定した履歴性状を示すとともに,載荷終 了後ブロックの取り外しも容易にでき,初期の 目的を達成することができた。しかし,せん断 スパン比 M/QD=2の試験体では,上下ブロック 端部にコンクリートの軸圧壊が生じたことから, 柱の靭性を向上するためにはコンクリートを横 拘束するための補強としての帯筋を配筋する必 要があるものと考えられる。また,一体打ちに 比べ軸力載荷によってかなり大きな軸縮みを生 じていることから,ブロックの接合に改良すべ き点が残されている。

2)水平変形がスタブとブロック柱との境界部分の回転角によって生じるものと考えたモデルを用いた解析は、本構造形式柱の水平荷重と部材角との関係をおよそ予測できる。

#### 销措

本実験は、平成6~9年度本校特別研究助成により 行われた。試験体製作および実験の実施にあたって は、平成6、7年度本研究室卒論生の協力を得た。加 力装置および試験体製作にあたっては、技能員栗山 哲生、青木治、生野千力の各氏にお世話になった。ま た、加力装置および試験体に用いたPC鋼棒および機 械式鉄筋継手は、それぞれ、高周波熟錬株式会社お よび東海鋼業株式会社よりご提供頂いた。ここに、関 係各位に感謝致します。

#### 参考文献

 加藤 勉·称原良一:鉄骨鉄筋コンクリート部材の耐力,日本建築学会論文報告集,第266号, pp.19-29,1978.4

-660 -