

論文 ハーフプレキャスト管を用いた RC 柱の曲げ圧縮性状に関する実験的研究

泉田 伸二^{*1}・中西 靖直^{*2}・浜田 公也^{*3}・南 宏一^{*4}

要旨: 本論文は、口の字形に遠心成形されたハーフプレキャスト管（以下、シェルという）に一定量の主筋と帯筋を内蔵させ、これと後打ちの中詰めコンクリート（以下、コアという）で一体化を図る、いわゆる異種強度のコンクリートで構成される RC 柱について、8 体の曲げ圧縮実験を行い、中心圧縮を受ける場合に評価した軸方向鉄筋、シェル、コアの応力度ひずみ度関係を用いて、平面保持の仮定を用いた断面解析を行うことにより、軸力と曲げが作用する場合の標記 RC 柱の曲げモーメントと曲率の関係を評価できることを示した。

キーワード: 鉄筋コンクリート, 柱, ハーフプレキャスト, 遠心成形, 曲げ耐力

1. はじめに

筆者らは標記 RC 柱を用いた PC a 型枠構法の開発研究を行っているが、遠心成形されたシェルと現場打ちのコアとでは、強度や変形性能に差がある場合が多く、これらが部材の弾塑性性状に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。そこで、第一段階として既に、中心圧縮実験より柱構成要素の応力度-ひずみ度関係の評価法を提案し、標記 RC 柱の軸力-ひずみ度関係の定量的な評価を行っている[1]。

本論文は、部材端部やモーメント勾配の影響がない場合の部材の弾塑性性状を調べるために、曲げモーメントと軸力が作用する曲げ圧縮実験を行い、標記 RC 柱の軸力-曲げモーメント-曲率関係の定量的な評価を行った。

2. 実験概要

2. 1 供試体の製作および形状

供試体の形状および配筋を図-1に示す。供試体は、あらかじめ遠心成形法により製作したシェルを型枠代わりに用い、これにスタブ用鋼製型枠を取付け、コンクリートを縦打ちして製作した。なお、目標としたシェル厚さは22mm、幅とせいは30mmであるが、実測したシェル断面積から求めた平均シェル厚さは25mm、幅とせいは302mmであった。後述の断面解析を行う場合には、これらの実測寸法を用いる。なお、シェル内面には既報

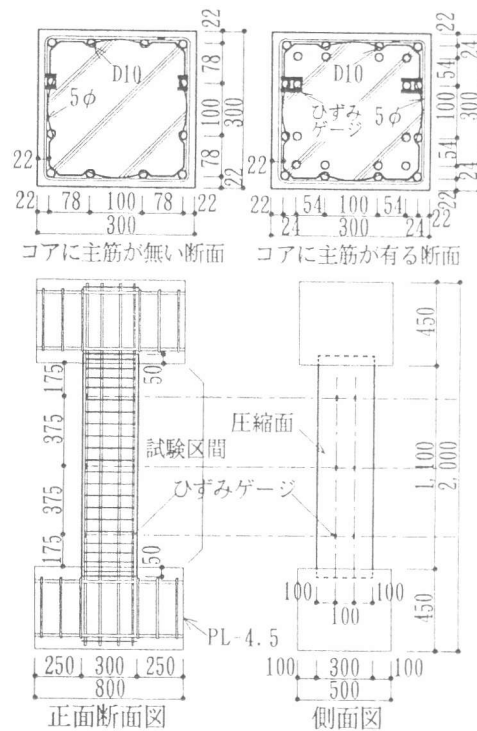


図-1 供試体の形状および配筋

*1 三菱建設(株)建築技術部係長(正会員)
 *2 三菱建設(株)建築技術部部長(正会員)(宇都宮大学大学院博士後期課程在籍)
 *3 三菱建設(株)建築技術部主任研究員、博(工)(正会員)
 *4 福山大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)

[2]と同様な欠込みを設置し、また遠心成形後の余剰水を洗い流した時にできる粗骨材の一部が露出した凹凸によってコアとの一体化を図り、せん断抵抗だけでなく、不測の乾燥収縮による肌分かれに備えた。

2.2 供試体の種類

供試体の一覧を表-1に示す。供試体は、圧縮力が曲げモーメントと曲率に及ぼす影響を調べるために、軸力を変化させたもの4種、これら各々について軸方向鉄筋量を変えたもの2種、合計8種8体とした。なお、供試体記号のうち、R側の数値は主筋本数、N側の数値は軸力を表す。ここで、本実験で用いたコンクリートと鉄筋の材料試験結果の諸数値を表-2に示す。シェル用シリンダーは、振動成形し供試体と同一養生を行った。

表-1 供試体一覧

供試体記号	軸方向鉄筋	帯筋	軸力(tf)
R12-N050	12-D10(シェル内) ($p_g=0.95\%$)	5φ-φ65 ($p_w=0.21\%$)	50
R12-N100			100
R12-N150			150
R12-N200			200
R24-N050	12-D10(コア内) ($p_g=1.89\%$)	5φ-φ65 ($p_w=0.21\%$)	50
R24-N100			100
R24-N150			50
R24-N200			200

*1 軸力は載荷初期に作用させた値

表-2 材料試験結果

単位: kgf/cm²

供試体記号	シリンダー		軸方向鉄筋
	圧縮強度	弾性係数	
R12-N050	740	3.5×10^5	シェル内 ・降伏点強度:3710 ・弾性係数 : 1.9×10^6
R12-N100	252	2.1×10^5	
R12-N150	715	3.7×10^5	
R12-N200	252	2.1×10^5	
R24-N050	681	3.5×10^5	コア内 ・降伏点強度:3950 ・弾性係数 : 2.0×10^6
R24-N100	252	2.1×10^5	
R24-N150	702	3.5×10^5	
R24-N200	252	2.1×10^5	

*1 シリンダーの欄の上段はシェル用、下段はコア用を示す

*2 シリンダーは直径10cm、高さ20cmの円柱供試体。

*3 帯筋の降伏点強度は、0.2%耐力で5430kgf/cm²。

2.3 加力装置および加力方法

加力および変位測定装置を図-2に示す。加力方法を供試体のセット順とともに述べる。まず、500tf 万能試験機のクロスヘッドおよびテーブルにピンを介して取り付けられた加力ビームと油圧ジャッキを離れた状態で、供試体を入れ込んだ。次に、万能試験機で所定の軸力を作用させてから、曲げモーメントによって加力ビームとスタブの間に隙間ができないようPC鋼棒で締め付けた。さらに、油圧ジャッキを加力ビームに取り付け、油圧ジャッキを引くことにより曲げモーメントを作用させた。この時、万能試験機の荷重が一定になるように調整した。載荷は単調載荷とした。

2.4 測定方法

図-2に示すように、変位測定治具を上下のピンに取付けたが、軸力による供試体の縮みの影響を無くすために、上部は固定し、下部は水平方向が固定、鉛直方向が自由になるように取付けた。この治具は供試体の2側面に設けた。供試体の軸心位置の水平変位は、2側面から各3ヶ所、電気式変位計を用いて、軸方向鉄筋およびシェルの圧縮側表面のひずみは、ひずみゲージを用いて測定した。ひずみゲージの位置は図-1中に示してある。計測点は、降伏性状を示すまでは油圧ジャッキ0.5tf毎に、それ以降は供試体中央の水平変位0.5mm毎で行った。

2.5 供試体に作用する軸力と曲げモーメントおよび曲率

ここで、前述のような加力装置で載荷した場合、実際に供試体に作用していると考えられる軸力と曲げモーメントについて表示する。加力のモデル化を図-3に示すが、ピンの摩擦は無視する。軸力Nは、万能試験機による荷重 P_A + 油圧ジャッキによる荷重 P_J で表す。曲げモーメントMは、 $P_A \times$ 中央の水平変位 δ_c + $P_J \times$ (油圧ジャッキと供試体の中心間距離 $L' + \delta_c$)

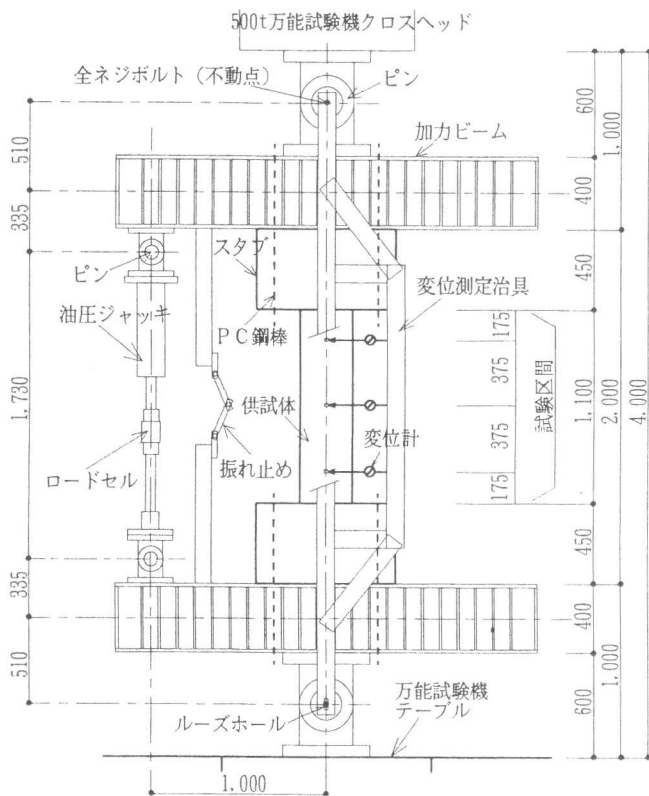
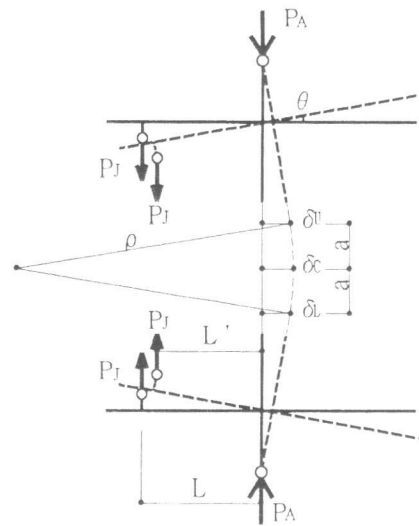


図-2 加力および変形測定装置



【軸力】
 $N = P_A + P_J$
 【曲げモーメント】
 $M = P_A \cdot \delta_c + P_J (L + \delta_c)$
 【曲率】
 $\phi = 1 / \rho$
 $\rho = (\delta_0^2 + a^2) / 2 \delta_0$
 $\delta_0 = \delta_c - (\delta_v + \delta_L) / 2$

図-3 加力のモデル化

とし、試験区間内で一定として表す。また、試験区間内の曲率は、曲率半径が一定であると仮定し、供試体の水平変位 δ_v 、 δ_c 、 δ_L から求める。

3. 実験結果

曲げモーメント-曲率関係を図-4に、実験結果一覧を表-3に示す。各々の供試体について、破壊過程を以下に示す。

R12-N050、R24-N050：軸力が50tの供試体である。曲げひび割れが発生(○)し剛性低下がみられ、やがてシェル内の引張鉄筋が降伏(△)して降伏性状が顕著に現れた。その後、曲げモーメントの上昇にともない、コア内の引張鉄筋が降伏(□、R24-N050)し、シェル内の圧縮鉄筋が降伏(▽)し、まもなくシェルが圧壊し最大モーメント(●印)に達した。

R12-N100、R24-N100：軸力が100tの供試体である。曲げひび割れが発生(○)し剛性低下がみられ、やがてシェル内の引張および圧縮鉄筋がほぼ同時に降伏(△▽)して降伏性状を示した。その後、若干の曲げモーメントの上昇がみられたが、まもなくシェルが圧壊し最大モーメント(●)に達した。

R12-N150、R24-N150：軸力が150tの供試体である。曲げひび割れが発生(○)したが、剛性低下が顕著にでないままシェル内の圧縮鉄筋が降伏(▽)し、僅かに剛性が低下しながらコア内の圧縮鉄筋が降伏(◇、R24-N150)し、やがてシェルが圧壊し最大モーメント(●)に達した。この時、引張鉄筋は降伏には至っていなかった。

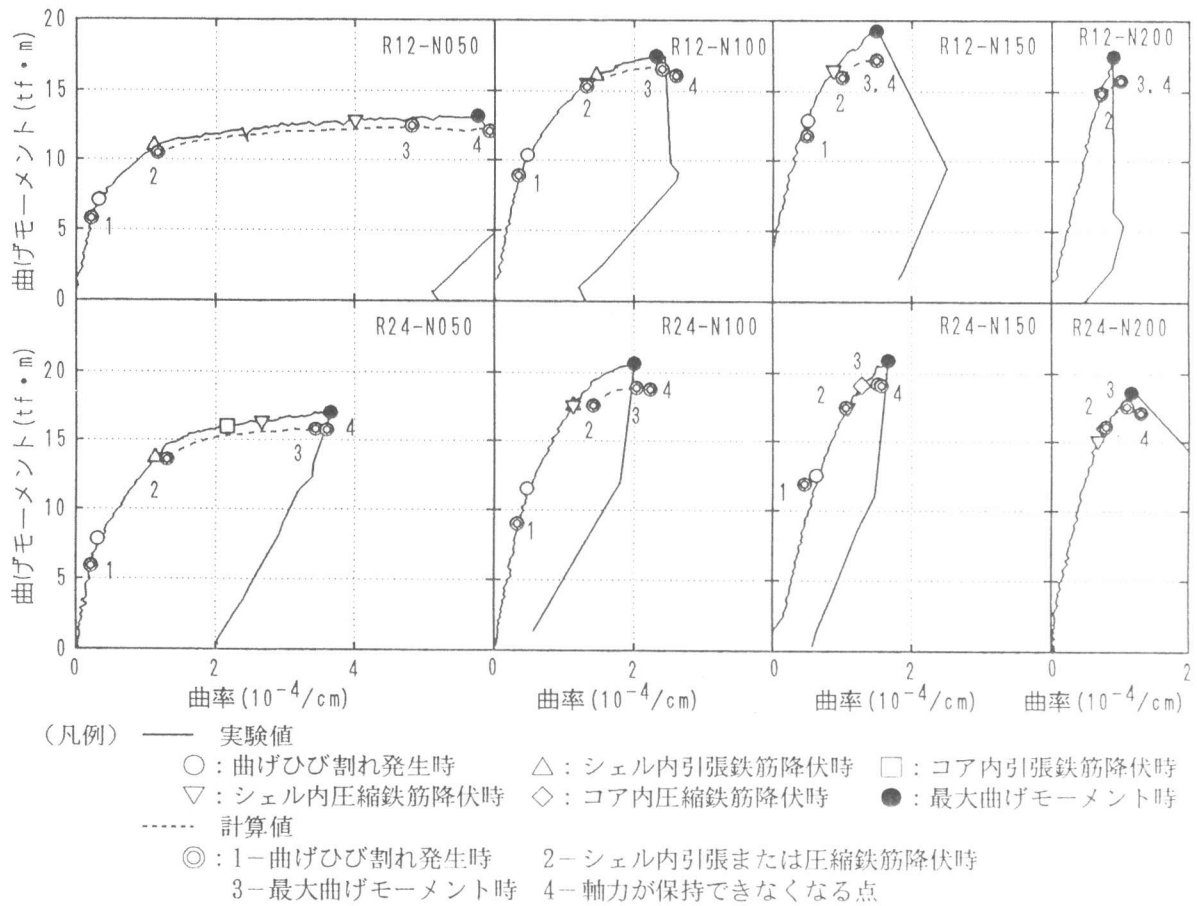


図-4 曲げモーメント-曲率関係

表-3 実験結果一覧

供試体 記号	R12-N050		R12-N100		R12-N150		R12-N200		R24-N050		R24-N100		R24-N150		R24-N200		
	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	M	ϕ	
曲げ ひび割れ 発生時	実	7.1	0.32	10.4	0.47	12.9	0.50	-	-	7.8	0.31	11.5	0.47	12.5	0.63	-	-
	計	5.8	0.21	8.9	0.34	11.8	0.49	-	-	5.9	0.21	9.0	0.33	11.9	0.46	-	-
	比	1.22	1.52	1.17	1.38	1.09	1.02	-	-	1.32	1.48	1.28	1.42	1.05	1.37	-	-
降伏時	実	11.0	1.10	15.6	1.32	16.5	0.87	14.9	0.72	13.7	1.12	17.6	1.12	17.5	1.08	15.1	0.68
	計	10.5	1.15	15.3	1.31	16.0	1.00	14.5	0.74	13.6	1.29	17.6	1.41	17.5	1.05	16.1	0.80
	比	1.05	0.96	1.02	1.01	1.03	0.87	1.03	0.97	1.01	0.87	1.00	0.79	1.00	1.03	0.94	0.85
最大時	実	13.2	5.76	17.5	2.32	19.3	1.49	17.5	0.90	17.0	3.65	20.6	2.00	20.9	1.66	18.6	1.17
	計	12.5	4.82	16.6	2.40	17.2	1.49	15.8	1.01	15.8	3.44	18.9	2.03	19.2	1.52	17.6	1.10
	比	1.06	1.20	1.05	0.97	1.12	1.00	1.11	0.89	1.08	1.06	1.09	0.99	1.09	1.09	1.06	1.06

*1 M : 曲げモーメント(tfm)、 ϕ : 曲率 ($\times 10^{-4}$ 1/cm) *2 実 : 実験値、計 : 計算値、比 : 実験値/計算値

R12-N200、R24-N200 : 軸力が200tの供試体である。曲げひび割れが目視で確認できなかったこと以外の破壊過程は、R12-N150、R24-N150のものと同様である。

破壊モードは、軸力が50tと100tの供試体は、引張鉄筋が降伏する引張破壊[3]、軸力が150tと200tの供試体は、引張鉄筋が降伏する以前に圧縮側のコンクリートが圧壊する圧縮破壊[3]であった。各破壊モードの最終破壊状況を図-5に示す。

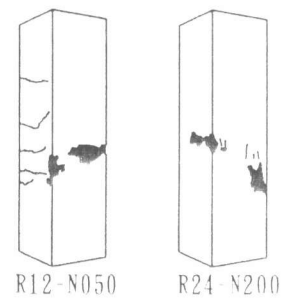


図-5 最終破壊状況

4. 曲げモーメント-曲率関係の 定量的な評価

4. 1 仮定事項

(1) 平面保持の仮定

各供試体の最大曲げモーメント時の断面内のひずみ度分布を図-6に示す。縦軸はひずみ度で、試験区間で測定した3ヶ所の平均値である。横軸は圧縮縁からのひずみ測定位置までの距離で、左からシェル圧縮側表面、シェル内圧縮鉄筋、コア内圧縮鉄筋、コア内引張鉄筋、シェル内引張鉄筋である。図から各供試体とも断面内のひずみ度分布は、ほぼ直線になっていることがわかる。そのため、以後に述べる部材断面の曲げモーメント-曲率関係を評価する場合に平面保持の仮定を用いる。

(2) 軸方向鉄筋およびコンクリートの 応力度-ひずみ度関係の仮定

軸方向鉄筋およびコンクリートの圧縮応力度-ひずみ度関係は、既報[1]で評価しているものを用いる。ただし、引張応力度-ひずみ度関係は、評価されていない。そこで、完全弾塑性型で表されると仮定し、図-7に応力度-ひずみ度関係の仮定を示す。

4. 2 曲げモーメントと曲率の関係

各供試体の曲げモーメント-曲率関係を4.1の仮定を用い、降伏時以降軸力が保持できなくなる点まで、連続的に曲率を変化させ、断面の力の釣合より求めた。ひび割れモーメントは、引張ひずみ

度がシェルの引張強度時のひずみ度 ε_{tm} に達した時、降伏曲げモーメントは、引張鉄筋あるいは圧縮鉄筋のいずれかが降伏ひずみ度 ε_y に達した時と仮定する。ひずみ度分布と応力度分布の仮定を図-8に示す。最大曲げモーメントは、力の釣合より曲げモーメントが最大となる時の値とする。ただし、コンクリートの引張強度は、降伏および最大モーメントを計算する場合には、曲げモーメントに与える影響が小さいため無視した。各供試体の曲げモーメント-曲率関係の計算結果を図-4中に◎印で示し、降伏時以降軸力が保持できなくなる点までを破線で示した。なお、各曲げモーメントを計算する時の軸力は各供試体に実際に作用していた値を用いた。同図より、実験値と計算値はほぼ符合していることがわかる。

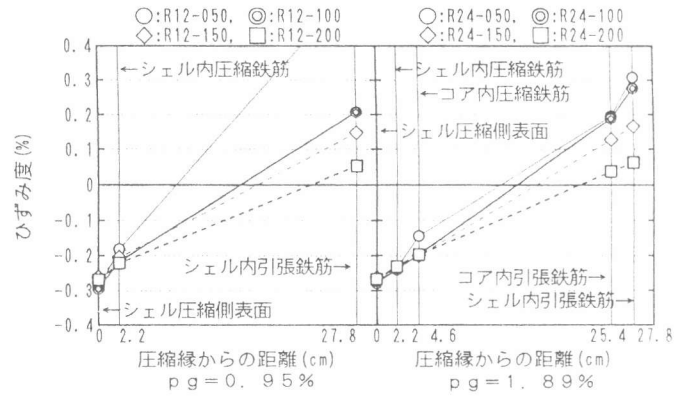
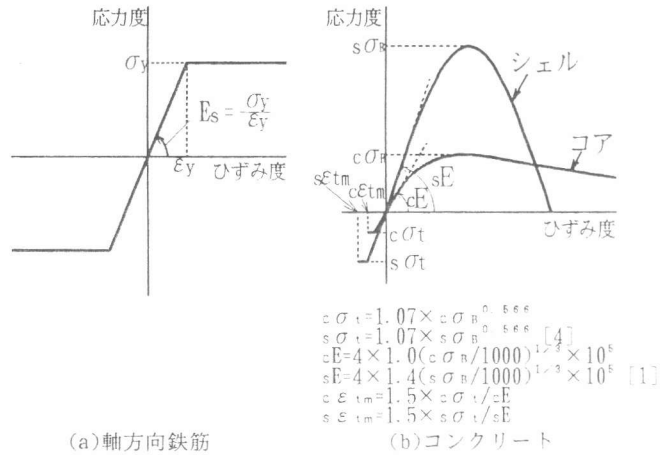


図-6 最大曲げモーメント時の断面内のひずみ度分布



(a) 軸方向鉄筋

(b) コンクリート

図-7 応力度-ひずみ度の仮定

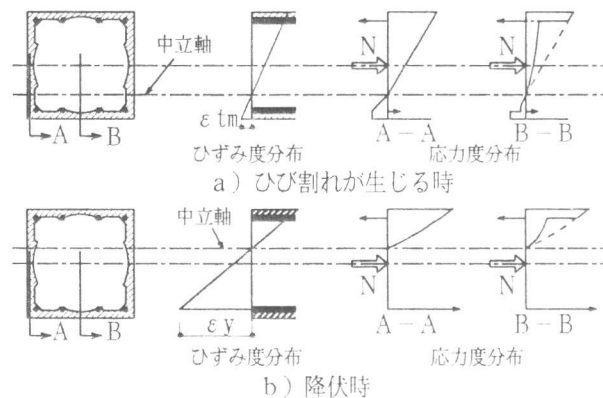


図-8 ひずみ度分布と応力度分布のモデル

4. 3 軸力と最大曲げモーメント と曲率の関係

4. 1で示した仮定事項と、4. 2で示した曲げモーメント-曲率関係の評価法を用いて、今回の実験供試体について、軸力-最大曲げモーメント-最大曲げモーメント時の曲率の関係を求め図-9に示した。併せて実験値も示す。最大曲げモーメントの実験値は、計算値に比べ1割程度大きくなっており、その差は軸力が小さいと小さく、大きいと大きくなっている。曲率の実験値と計算値については、よく符号している。軸力と最大曲げモーメントの関係は、軸力が140t~150t付近で最も大きくなっており、一般的なN-M曲線の形と同様である。また、軸力と曲率の関係は、軸力が120tを境に小さくなると急に曲率が大きくなっており、引張鉄筋比が少ないと、多いものに比べ曲率も大きくなっている。以上の傾向は、RC柱の一般的な傾向と同じである。

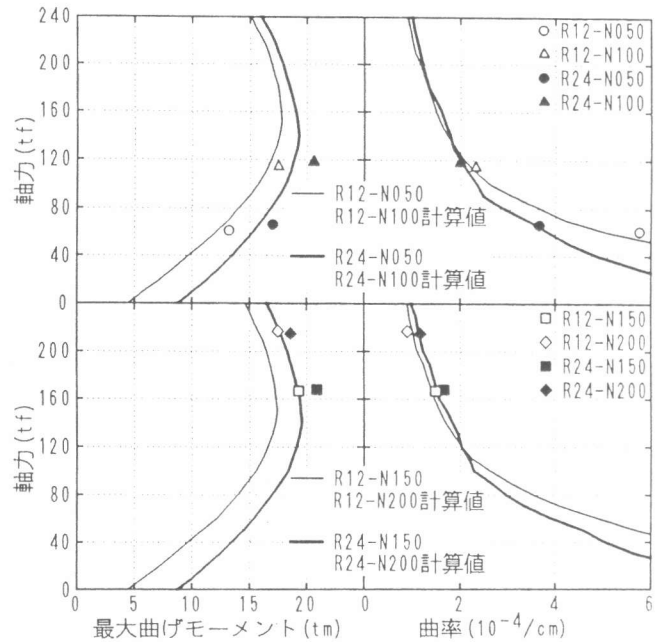


図-9 軸力-最大曲げモーメント
-最大曲げモーメント時の曲率の関係

5. まとめ

曲げ圧縮実験を行って、ハーフプレキャスト管を用いたRC柱の弾塑性性状を調べた結果、今回の供試体の範囲では、軸力が100t以下の場合には引張鉄筋が降伏する引張破壊、150t以上の場合には引張鉄筋が降伏する以前に圧縮側コンクリートが圧壊する圧縮破壊を生じること、最大曲げモーメントは、軸力が150t付近が最も大きくなり、最大曲げモーメント時の曲率は、軸力が120t付近から小さくなると急に大きくなり、軸力-曲げモーメント-曲率の関係の形は、一般的なRC柱と同様である。また、異種強度のコンクリートで構成される標記RC柱の軸力と最大モーメントと曲率の関係は、断面内の応力度分布を仮定し、中心圧縮実験から求めたコンクリートの応力度-ひずみ度関係を用いて断面解析を行うことにより、定量的に評価できることを示した。

謝辞：本研究を行うに際して、宇都宮大学田中淳夫教授に貴重なご助言を頂きました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 中西靖直, 浜田公也, 泉田伸二, 杉広邦夫, 竹井聖貴, 南宏一: Sargin式によるハーフプレキャスト管RC柱の荷重ひずみ度関係の評価(その1)(その2), 日本建築学会中国・九州支部合同研究報告集, 第10号, pp. 449-456, 1996. 3
- [2] 中西靖直, 浜田公也, 泉田伸二, 南宏一: 異種強度のコンクリートで構成されるRC柱の中心圧縮耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 2, pp. 255-260, 1995. 6
- [3] 小阪義夫, 森田司郎: 鉄筋コンクリート構造, 丸善, pp. 158-159, 1975
- [4] 日本建築学会: 高強度コンクリートの技術の現状, pp. 83, 1991. 1