

論文 主筋をアンボンド高強度鉄筋としたRC短柱の履歴性状

河本裕行^{*1}・江崎文也^{*2}・田中 睦^{*3}

要旨: 塑性後の残留変形をできるだけ小さくするため, 付着が生じないように加工した高強度鉄筋を主筋に用いたせん断スパン比1のRC短柱について, 一定軸力下の正負繰り返し水平力載荷実験を行い, その履歴性状について検討した。実験結果によれば, 付着のある従来のRC柱に比べて水平耐力は小さいが, ひび割れが柱頭および柱脚に集中し, 部材角が3%程度まで, 水平耐力が徐々に増加するとともに, 柱軸力比があまり大きくなければ除荷後の残留変形もかなり小さくすることができることがわかった。

キーワード: 鉄筋コンクリート柱, アンボンド, PC鋼棒, 残留変形

1. 序

著者らは, 地震後の残留変形をできるだけ小さくするRC構造の開発を目指すため, RCブロック柱の実験結果¹⁾をヒントに, 主筋にアンボンド高強度鉄筋を用いたRC柱を提案し, せん断スパン比 $M/(QD)$ (M : 柱の最大曲げモーメント, Q : 柱のせん断力, D : 柱せい) が2と1.5の柱について, 一定軸力下の水平力載荷実験を行った²⁾。それらの結果によると, 付着のある従来のRC柱に比べて水平耐力は小さいが, 部材角が3%程度まで水平耐力が徐々に増加するとともに, ひび割れが柱頭および柱脚に集中し, 部材角が3%程度まで経験しても除荷後の残留変形をかなり小さくすることができることがわかった。これらの実験で得られた結果は, せん断スパン比が1.5~2程度の一般的な柱に関するものであるが, 実際の建築物では, 腰壁やたれ壁に挟まれたせん断スパン比の小さな柱が存在することから, せん断スパン比が小さい短柱の場合についてもせん断破壊を起こさずに残留変形を小さくできるかを明らかにする必要がある。そこで, せん断スパン比が1の短柱に関する一定軸力下の正負繰り返し載荷実験を計画した。

本論は, これらの実験結果とその検討について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に試験体一覧を示す。試験体は, 通常用いられている強度の異形鉄筋を用いたRC柱と主筋にアンボンド高強度鉄筋(PC鋼棒)を用いたRC柱の合計6体の試験体である。実験変動因子は, 軸力比($=\sigma_o/\sigma_B$, σ_o : 鉛直荷重による軸応力度, σ_B : コンクリート圧縮強度)である。試験体名は, a-b-cの3つの識別記号で示した。aは, それぞれ, B: 主筋が付着のある異形鉄筋, UB: 主筋が付着のない高強度鉄筋, UBT: UB試験体の柱頭・柱脚

表-1 試験体一覧

寸法単位: mm

試験体名	せん断スパン比 1.0		
	B-1-0.15(0.3)	UB-1-0.15(0.3)	UBT-1-0.15(0.3)
主筋比	6-D10($p_g=1.07\%$)	4-9.2 ϕ ($p_g=0.65\%$)	4-9.2 ϕ ($p_g=0.65\%$)
帯筋比 ($\sigma_o/\sigma_B=0.15$)	D6@20($p_w=1.60\%$)	D6@20($p_w=1.60\%$)	D6@20($p_w=1.60\%$)
帯筋比 ($\sigma_o/\sigma_B=0.3$)	D6@15($p_w=2.13\%$)	D6@15($p_w=2.13\%$)	D6@15($p_w=2.13\%$)
被覆鋼管			□-200×200×2.3

p_g : 主筋比($=a_g/bD$), p_w : 帯筋比($=a_w/bx$)

*1 九州共立大学大学院 都市システム工学専攻(修士課程) (正会員)

*2 福岡大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 九州共立大学助手 工学部建築学科 工修 (正会員)

に柱せいの1/2の長さの鋼管を被覆したものを示す。主筋の付着をなくすため、柱内法高さの範囲の主筋をビニールチューブで被覆する方法を採用した。また、スタブ内にアンカープレートを取り付けて主筋を定着した。bは、せん断スパン比の値を、またcは、軸力比 σ_0/σ_B の値をそれぞれ示

表 - 2 使用材料の力学的性質

(1) 鉄筋

種別	a (cm ²)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ϵ (%)
D6	0.32	429	522	19.9
D10	0.71	325	459	23.7
9.2φ	0.66	1204	1228	5.5
PL-2.3	0.28	393	431	27.8

a : 断面積, σ_y : 降伏点, σ_u : 引張強度, ϵ : 伸び

(2) コンクリート

	σ_B (MPa)	E_c (GPa)
B, UB-1-0.15	31.1	23.4
UB-1-0.3, UBT	26.1	24.6

σ_B : シリンダー圧縮強度, E_c : ヤング係数

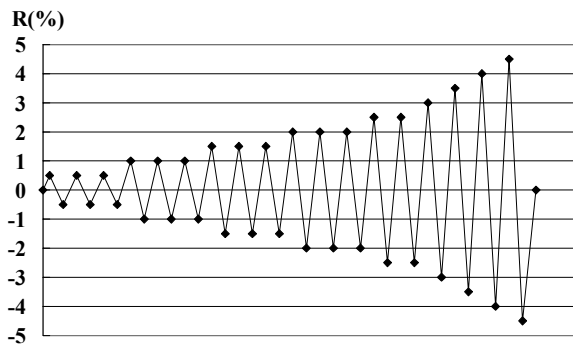


図 - 2 荷重プログラム

す。表 - 2 に、使用材料の力学的性質を示す。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図 - 1 に示す荷重装置を用いて、図 - 2 に示す荷重プログラムにより、一定軸力下の水平力荷重を行った。柱の部材角Rは上下スタブ間の相対水平変位 δ を柱内法高hで除した値 $R=\delta/h$ である。Rが2.5%以上については残留変形の程度を確認する目的のため繰返し回数を1~2回とした。

2.3 測定方法

上下のスタブに埋め込まれたボルトで固定された測定フレームに取り付けた変位計を用いて、上下スタブ間の相対水平変形および鉛直変形を測定した。柱頭と柱脚部分およびその間を4等分した5カ所の位置の主筋、および柱頭、柱脚および中央の3カ所の位置の帯筋にゲージを貼付してひずみを測定した。ひび割れおよび破壊状況は、目視によるスケッチにより記録した。

3. 実験結果

表 - 3 に実験結果一覧を示す。表中の Q_u は水平荷重の最大値(水平せん断耐力), R_u は Q_u 時の部材角を示す。

3.1 主筋のひずみ分布

図 - 3 に $R=1\%$ 制御時の主筋のひずみ分布を示す。これらによれば、付着のある試験体では主筋がほぼ降伏ひずみに達しており、柱頭・柱脚で曲

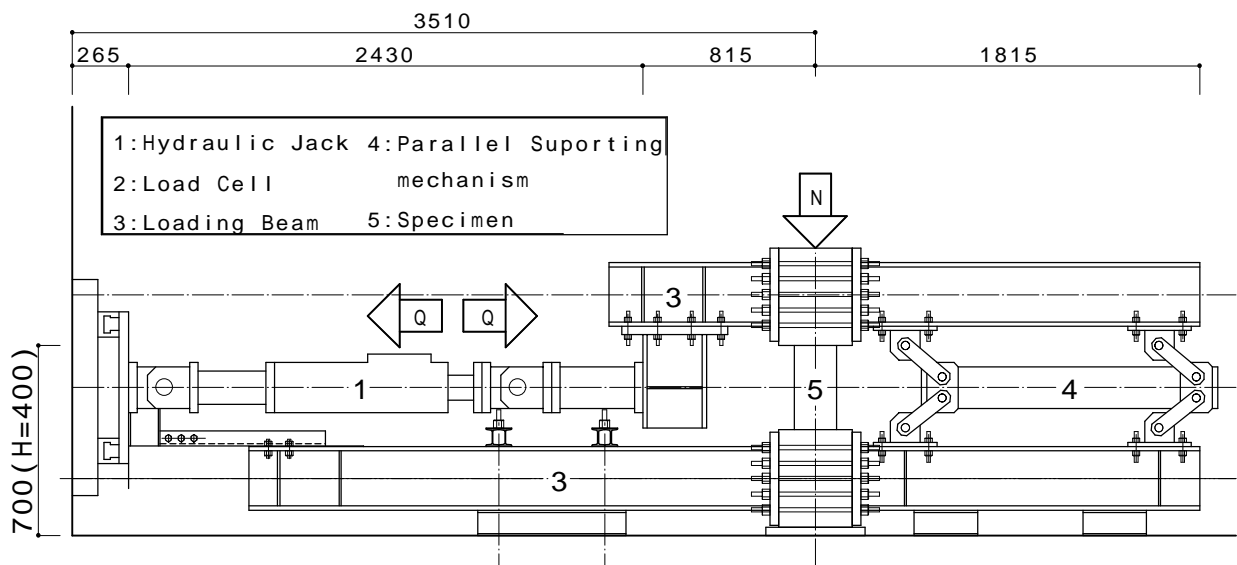


図 - 1 荷重装置

表 - 3 実験結果一覧

試験体名	Q_u (kN)		R_u (%)	
	+	-	+	-
B-1-0.15	148.4	-149.8	2.45	-2.70
UB-1-0.15	125.6	-121.1	2.98	-3.96
UBT-1-0.15	122.1	-130.6	4.47	-4.48
B-1-0.3	204.3	-197.9	0.90	-0.90
UB-1-0.3	127.4	-149.7	1.95	-1.49
UBT-1-0.3	160.4	-161.1	3.93	-4.48

げ降伏強度に達している。一方、高強度鉄筋の場合は、柱頭から柱脚にわたって一様なひずみ分布を示しており、付着が生じていないことがわかる。付着のある試験体の場合はその後の水平変形の増大とともに降伏ひずみを超えるが、高強度鉄筋の場合は、部材角 4.5% を超えるような大変形時においても降伏ひずみ (6800 μ) を超えることはなく、弾性挙動を示していることがわかった。

3.2 履歴性状

図 - 4a, b に各試験体の水平力 Q 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 との関係を示す。図中には、付着のある試験体には曲げ破壊により決まる水平せん断耐力³⁾を、付着の無い試験体には 3.5 項に示す曲げ耐力から求めた水平せん断耐力を実線で示している。また、曲げひび割れ後は部材端のひび割れの拡大に起因する材端回転角により水平変形が生じると仮定した解析³⁾より求めた荷重変形曲線を破線で示している。これらによると、付着のある試験体の場合は、曲げ破壊により決まる水平せん断耐力計算値を多少上回る耐力に達している。一方、付着

の無い軸力比 0.15 の試験体に関しては、曲げ破壊による水平せん断耐力計算値より低い値を示しているが、被覆鋼管を施した軸力比 0.3 の試験体に関しては、耐力計算値を超えるような結果が得られた。これは、鋼管によるコンクリートの拘束効果によるものと思われる。荷重変形履歴曲線によれば、付着のある試験体は、曲げ破壊の履歴性状を示しているが、せん断スパン比が 1.5 ~ 2 の試験体の場合に観察された曲げ破壊特有の紡錘形の履歴性状と異なり、多少スリップする履歴性状を示しているが、経験部材角の増加とともに残留部材角も徐々に増加している。一方、付着の無い試験体の場合は原点指向型の履歴性状を示し、除荷後の残留変形はかなり小さくなっていることがわかる。これは、主筋が全長にわたって弾性範囲内にあることから、その復元力により原点指向型の履歴性状を示したと思われる。

3.3 破壊状況

軸力比 0.15 の付着のある試験体では、曲げとせん断ひび割れが生じていた。一方、付着の無い試験体では、主にスタブとの境界部分に曲げひび割れが集中し、部材角 $R=2\%$ 程度から圧壊が生じたが、大変形時まで安定した挙動を示した。軸力比 0.3 の付着のある試験体では、部材角 $R=1.5\%$ 程度からせん断ひび割れが生じ始め、部材角 $R=2.5\%$ 程度近傍からカバーコンクリートの剥落が生じ、帯筋がむき出しになった。その後、部材角 $R=5\%$ 時にせん断破壊を起こした。一方、付着の無い試験体の場合は、圧壊によりカバーコンクリートの

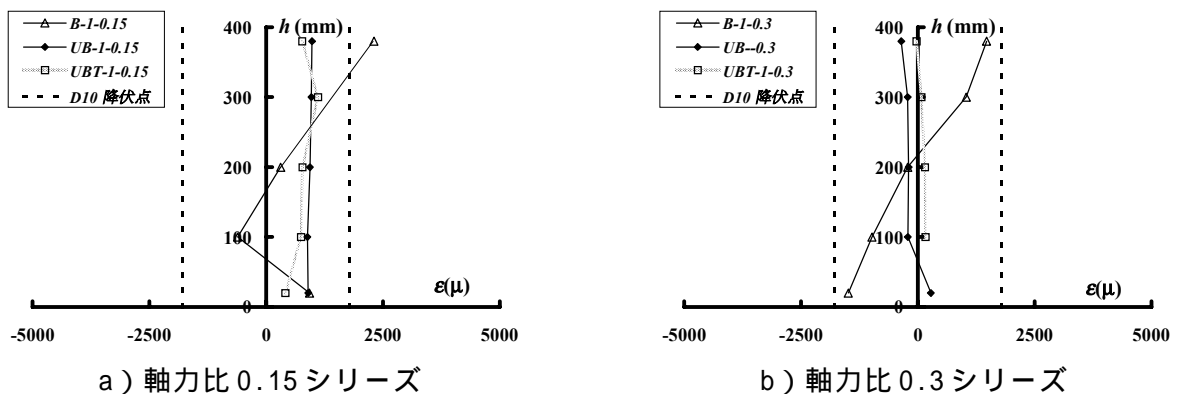


図 - 3 R=1% 制御変位時の主筋のひずみ分布

損傷は見られるものの、柱端部にひび割れが集中し、大変形時までスタブとの境界部分の曲げひび割れが拡大するのみであった。柱頭および柱脚部を鋼管で被覆した試験体の場合は、軸力比0.15および0.3のいずれの試験体ともスタブとの境界部分の曲げひび割れが拡大するのみで、終局時まで他の部分に顕著なひび割れは観察されなかった。

3.4 残留変形

図 - 5に変位制御時の部材角 R_0 と制御変位時の部材角から除荷後の残留部材角 R_r の関係を示す。

図によると、付着の無い試験体の残留変形はせん断スパン比が1.5と2の場合と同様に、せん断スパン比が小さい場合も軸力比が0.15の場合には付着のある試験体に比べてかなり小さくなった。しかし、軸力比が0.3の場合は多少小さくなる程度となった。

3.5 曲げ耐力

いずれの試験体ともせん断破壊を起こしていないので、累加強度理論を用いて求めた柱断面の軸力と曲げモーメントに関する耐力の相関曲線と実

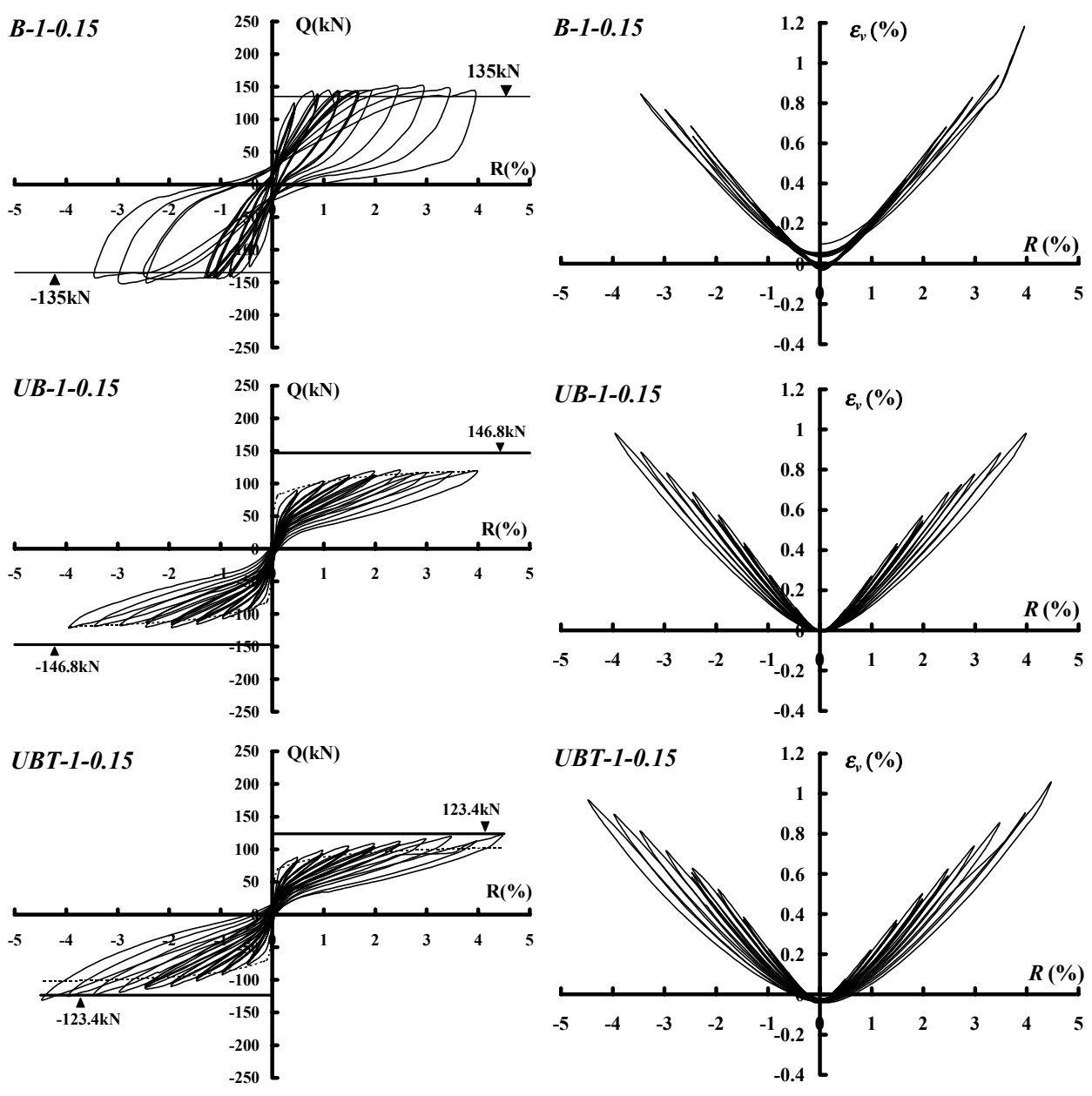


図 - 4a 軸力比 0.15 試験体の水平荷重 - 部材角履歴曲線，鉛直平均ひずみ部材角履歴曲線

験値との関係を図 - 6 に示す。A は無筋コンクリートの耐力，B は鉄筋コンクリート柱の耐力，C は主筋に付着の無い鉄筋コンクリート柱の耐力を示し，被覆鋼管の拘束効果は無視している。これらによると，軸力比が0.15の実験シリーズの場合，付着のある試験体ではほぼ計算値と一致している。一方，アンボンド試験体では耐力まで達していない。これは，主筋が降伏強度に達していないためである。軸力比が0.3の実験シリーズの場合，付着のある試験体では実験値が計算値を上

回っている。これは，せん断スパン比が2.0の試験体の場合も同様な結果となった³⁾。これは，軸力比が大きくなると圧縮側コンクリート部分の強度がシリンダー強度より大きくなる部分があるとの指摘⁴⁾によるものと思われる。一方，アンボンド試験体では，鋼管で柱頭・柱脚を被覆した試験体では曲げ耐力計算値以上の耐力となった。これも，圧縮側コンクリートの強度が鋼管による拘束効果や高拘束を受ける部分の強度がシリンダー強度以上になることによるものと思われる。

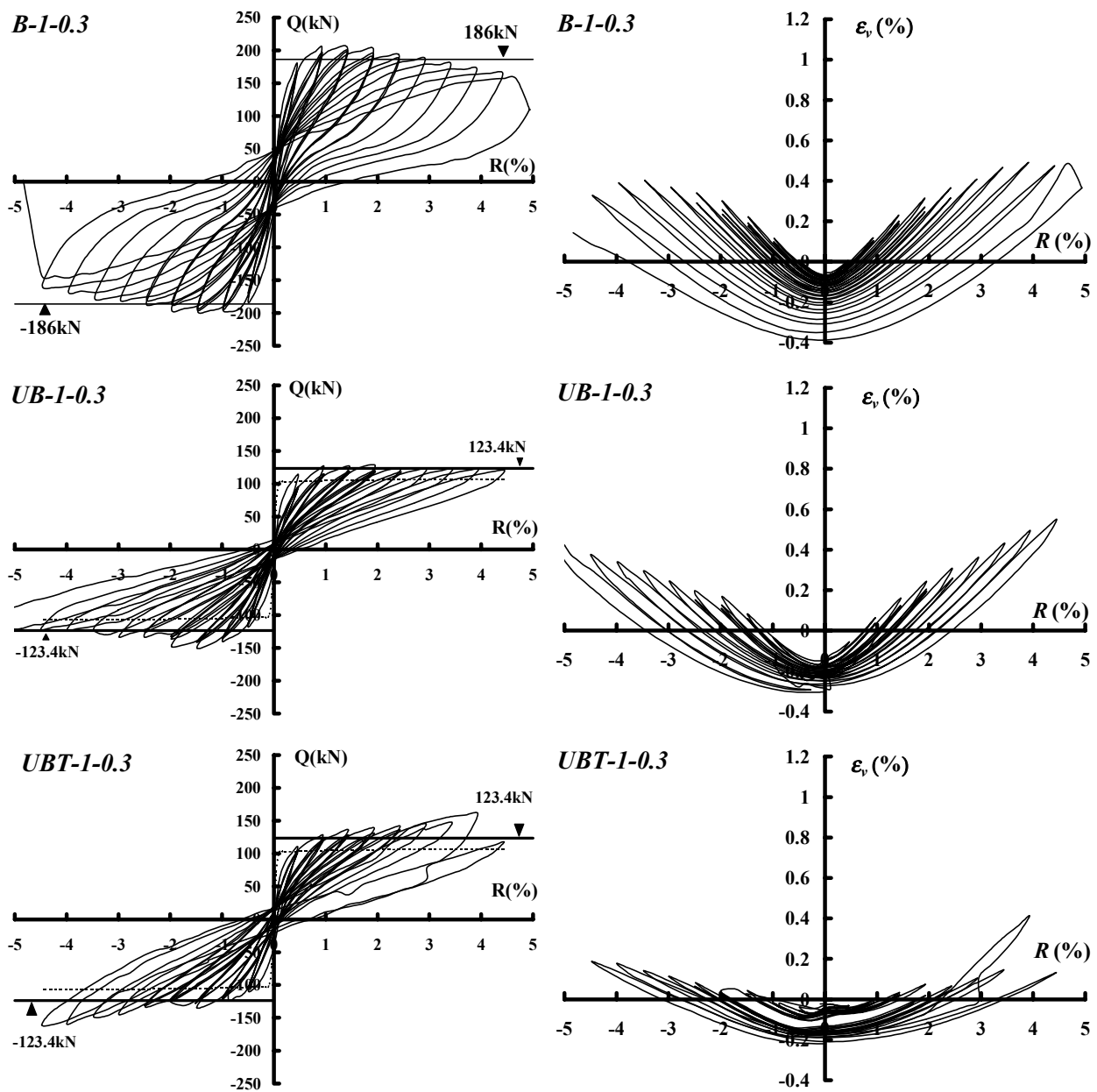


図 - 4b 軸力比0.3各試験体の水平荷重 - 部材角履歴曲線，鉛直平均ひずみ部材角履歴曲線

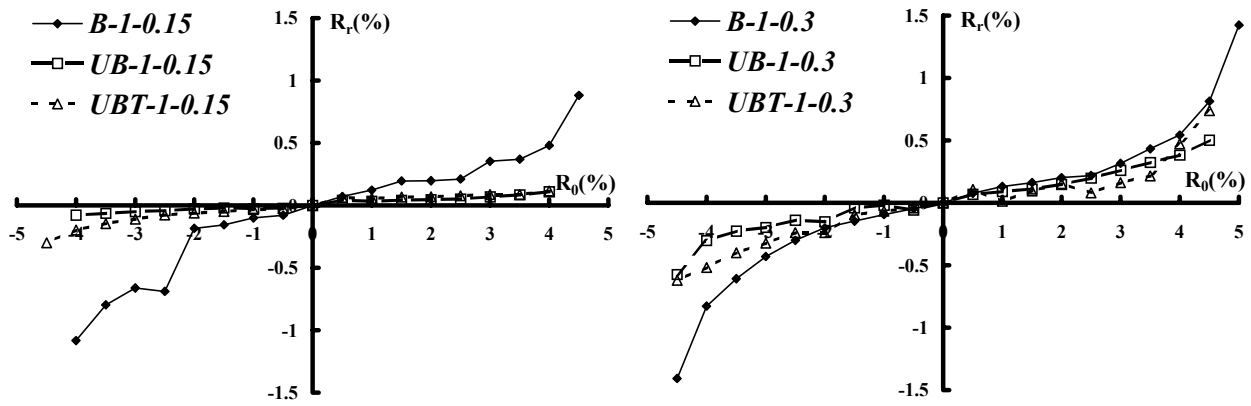


図 - 5 各試験体の制御変位時の部材角 R_0 と除荷後の残留部材角 R_r との関係

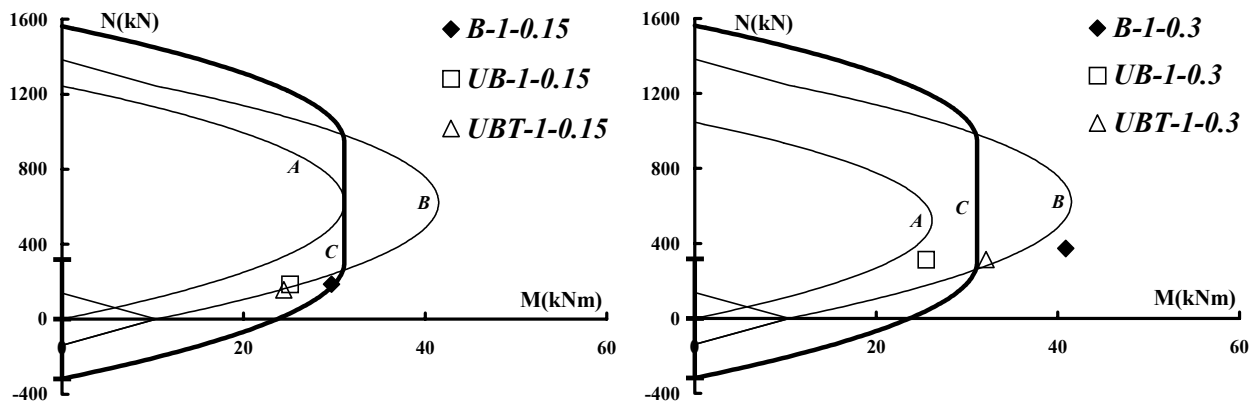


図 - 6 N-M 相関曲線と実験値との関係

4. 結論

主筋にアンボンド高強度鉄筋を用いたせん断スパン比1の短柱について、一定軸力下の正負繰り返し載荷実験を行った結果、以下のようなことがわかった。

- 1) アンボンド高強度鉄筋を主筋として用いた場合、 $R=4.5\%$ 程度まで主筋が弾性挙動を示し、軸力比が0.15の場合は付着のある試験体より除荷後の残留変形をかなり小さくすることができたが、軸力比が0.3の場合は多少小さくなる程度であった。
- 2) 軸力比が0.3程度の場合は、曲げ耐力計算値以上の強度を示した。
- 3) アンボンド主筋を用いた場合、柱頭および柱脚にひび割れが集中する。
- 4) 軸力比0.15実験シリーズの荷重変形包絡線は、文献3)で提案した計算値でほぼ評価できるが、軸力比0.3実験シリーズでは、計算値は過小評価となる。

謝辞

本実験は、平成15年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)、課題番号15560509、研究代表者:江崎文也)の援助を受けた。試験体製作および実験の実施にあたっては、九州共立大学建築学科の堺純一教授、近畿大学産業理工学部の小野正行教授および平成16年度堺研究室の卒論生の協力を得た。載荷装置の組立および試験体製作にあたって、九州共立大学工学部建築学科技師の高田一俊、永岡忠光の各氏に御世話になった。ここに、関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 江崎文也: リサイクル可能なRC柱の弾塑性性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 3, pp. 655-660, 1998
- 2) 田中 睦・江崎文也・小野正行・河本裕行: 高強度アンボンド主筋を用いたRC柱の履歴性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 26, No. 2, pp. 181-186, 2004
- 3) 江崎文也・田中 睦・小野正行・河本裕行: 塑性時での残留変形を少なくするRC柱の履歴性状に関する研究 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp. 337-342, 2004. 8
- 4) 今井和正・是永健好・瀧口克己: RC部材端部におけるコンクリートの圧縮特性と曲げ耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第587号, pp. 189-196, 2005. 1