

論文 アンボンド高強度主筋を用いたRC柱で構成された中間層十字型架構の履歴性状

鄭 眞安*1・嘉村健太郎*2・江崎文也*3・小野正行*4

要旨: ラーメン構造の塑性後の残留変形をできるだけ押さえる目的で提案した柱主筋にアンボンド高強度PC鋼棒を用いた曲げ降伏先行の柱を有する中間層十字形骨組について、一定軸力下の正負繰り返し水平力載荷実験により履歴性状の検討を行った。実験結果によれば、残留変形に及ぼすアンボンド高強度鉄筋の効果はみられたが、接合部のせん断破壊の進行により、アンボンドRC柱単独の場合やアンボンドRC柱を有する最下層十字形骨組の場合に比べて除荷後の残留変形が大きくなることがわかった。

キーワード: RC十字形骨組, 中間層, アンボンド, PC鋼棒, 残留変形

1. 序

強地震で被災したRC建築物の中に、崩壊は免れたが残留変形が生じているために取り壊さざるを得ない建物が数多く見受けられたことから、著者らは、強地震で塑性化したRC柱の残留部材角をできるだけ小さくするRC構造の開発に取り組んでいる。上述の構造を開発する目的で、主筋にアンボンド高強度鉄筋を用いたRC柱を提案し、一定軸力下における正負交番繰り返し水平力載荷実験を行っている。その結果、塑性後の残留変形をかなり小さくすることができることが明らかになっている¹⁾。これらの結果を基に、提案した柱の実際の構造物への適用を考慮して、最下層の柱を想定した梁・柱接合十字形骨組の実験を行った。その結果、柱単独の場合ほどではないが、アンボンド高強度主筋を有する柱で構成された骨組の残留部材角は、通常のRC柱で構成された骨組のそれに比べておよそ半分程度になることがわかった²⁾。これらの実験結果を参考に、中間層十字形骨組の履歴性状が最下層十字形骨組の履歴性状と異なるかどうかを検討するため、中間層を想定した十字形骨組の実験を計画した。本論はこれら

の実験結果およびその検討について述べるものである。本構造は、層崩壊の防止と履歴エネルギー吸収確保のため心棒となる境界梁付き並列連層耐震壁との併用が前提で、耐震性と修復性に優れた構造を目指している。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、一般的な中・低層RC造事務所建築物のラーメン構造における中間層の中柱を想定した実物の約1/3縮尺モデルの形状とした。試験体形状を図-1に示す。柱として、通常用いられている強度の異形鉄筋を用いた場合と主筋にアンボンドPC鋼棒を用いた場合を計画し、試験体は合計3体である。主筋にビニールチューブを被覆してアンボンド化し、主筋定着は、図-2に示す方法を採用した。中間層の柱のせん断スパン比 $M/(QD)$ の値は2、一定軸力による柱軸応力度 σ_0 のコンクリート圧縮強度 σ_b に対する比は0.15である。表-1に試験体一覧を示す。試験体名は、イーローハの3つの識別記号で示した。イは、それぞれ、+IB:柱主筋に付着がある異形鉄筋を用いた試験体、

*1 福岡大学講師 工学部建築学科 博士(工学) (正会員)

*2 福岡大学大学院生 工学部建築学科

*2 福岡大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 近畿大学教授 産業理工学部建築・デザイン学科 博士(工学) (正会員)

+IUB：柱主筋に付着がない高強度鉄筋を用いた試験体，+IUBT：+IUB試験体の柱頭・柱脚に柱せいの1/2の長さの鋼管を被覆したものを示す。 α は、柱のせん断スパン比の値を、また、 β は、柱の軸力比 σ_0/σ_B の値をそれぞれ示す。

表-2に、使用した材料の力学的性質を示す。梁の形状（断面 $b \times D=150\text{mm} \times 250\text{mm}$ ，長さ $1,100\text{mm}$ ）および配筋（表-1参照）は、いずれの試験体とも同じである。図-3に示すような上下層柱の柱頭・柱脚の曲げ降伏により架構の崩壊機構が形成されるように、柱に接合された梁の曲げ降伏が生じないように梁の配筋を決めた。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図-4に示す加力装置を用いて、図-5に示す荷重プログラムにより、一定軸力下の漸増変

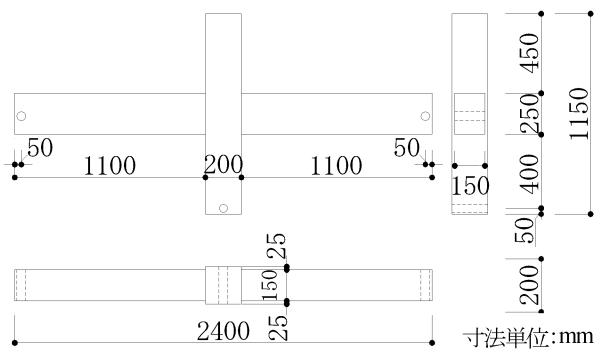


図-1 試験体の形状

試験体名	+IB-2-0.15	+IUB-2-0.15	+IUBT-2-0.15
試験体形状			
配筋図			
主筋	4-D13($\rho_g=1.27\%$)	4-9.2φ($\rho_g=0.65\%$)	4-9.2φ($\rho_g=0.65\%$)
帯筋	D6@40($\rho_s=0.80\%$)	D6@40($\rho_s=0.80\%$)	D6@40($\rho_s=0.80\%$)
被覆鋼管			□-200×200×2.3
梁配筋	主筋:上端筋、下端筋とも 2-U12.6($\rho=0.74\%$) あばら筋:D6@75($\rho_w=0.57\%$)		

被覆鋼管 主筋定着部 寸法単位:mm

位振幅正負交番繰り返し荷重とした。制御部材角 R は、水平力荷重位置の水平変位 δ を、下部柱のピン位置より水平力荷重位置までの高さ h で除した値 $R=\delta/h$ である。

2.3 測定方法

下部柱のピン定着部にボルト締めされた測定フレームに取り付く変位計にて水平力荷重位置の水平変位および鉛直変位を測定した。また、図-6に示す柱頭、柱脚、主筋定着部の上下部分およびその間を等分した位置の主筋、および柱頭、柱脚の位置の帯筋にゲージを貼付してひずみを測定した。また、柱に接する梁端部の主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、制御変位で目視による

表-2 使用材料の力学的性質

(1) 鉄筋

種別	$a(\text{cm}^2)$	$\sigma_v(\text{MPa})$	$\sigma_u(\text{MPa})$	$E(\text{GPa})$	$\epsilon(\%)$
D6	0.32	434	588	198	16.3
U12.6	1.25	1339	1434	200	6.5
D13	1.27	333	501	178	21.2
9.2φ	0.66	1264	1312	203	12.2
PL2.3	0.28	393	431	201	27.8

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

(2) コンクリート

	$\sigma_B(\text{MPa})$
各試験体	17.8

σ_B : シリンダー圧縮強度
*引張強度, ヤング率は測定していない

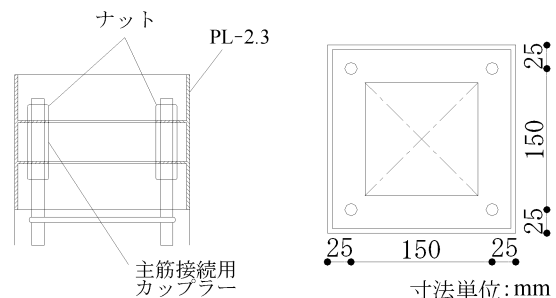


図-2 主筋定着部詳細

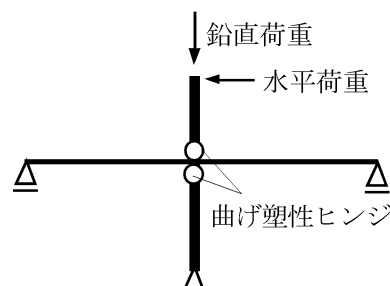


図-3 架構の崩壊機構

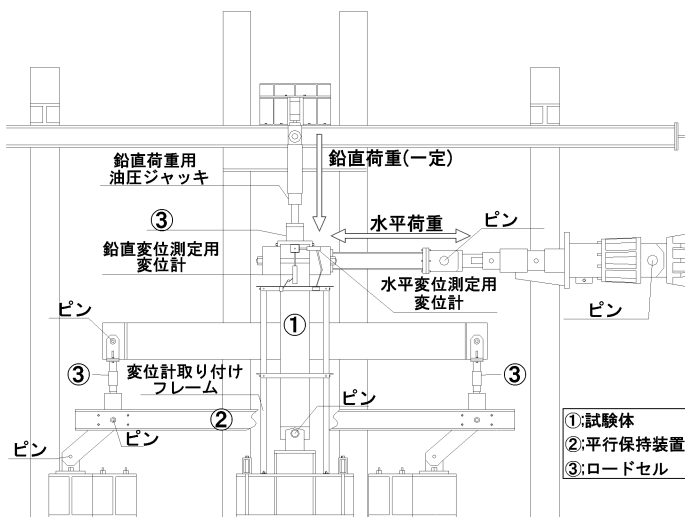


図-4 加力装置

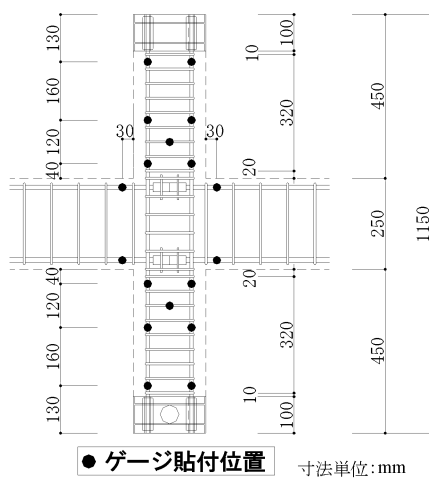


図-6 鉄筋のゲージ貼付位置

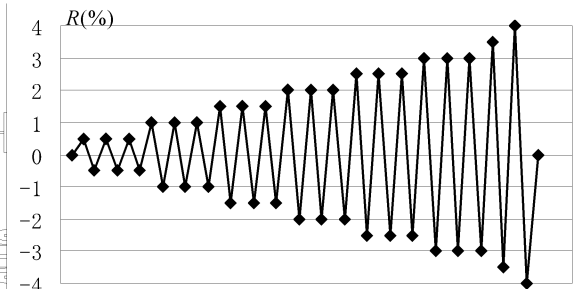


図-5 荷重プログラム

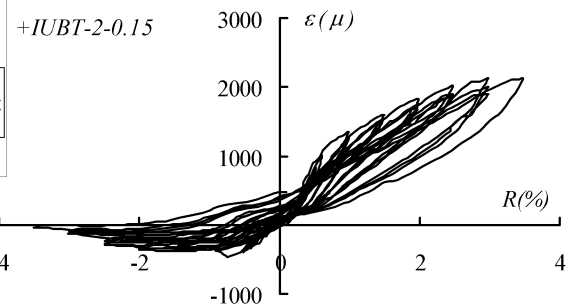


図-7 梁主筋のひずみ

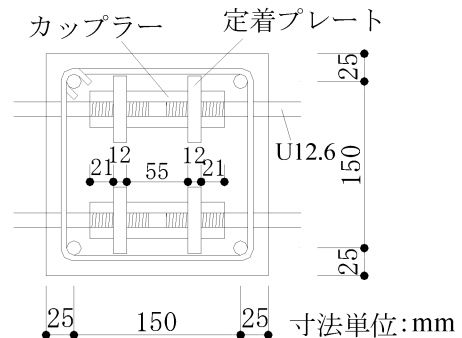


図-8 梁主筋定着プレート詳細

スケッチにより記録した。

3. 実験結果

3.1 主筋のひずみ分布

図-7に梁の主筋のひずみの例を示す。各試験体ともほぼ同じ傾向である。梁主筋は高強度鉄筋なので、いずれの試験体の梁主筋とも実験終了時まで弾性範囲にある。最下層十字形骨組の実験では接合部での付着抵抗力の不足により引張時および圧縮時とも引張ひずみが生じていた²⁾ことから、本実験では梁主筋の接合部での付着抵抗力の不足が生じないように接合部中央部で図-8に示すような定着プレートを設けた。そのため、梁主筋が圧縮側になる場合には主筋のひずみが圧縮ひずみとなっていることから、定着プレートの効果が発揮されたものと思

われる。図-9に部材角 R が1%~3%での各試験体の柱主筋のひずみ分布を示す。部材角1%時ではいずれの試験体とも主筋のひずみは降伏ひずみに達していない。通常のRC柱では主筋のひずみが高さ方向に変化していることから、主筋の付着が存在していることがわかる。一方、アンボンド主筋の場合は R の増大とともに接合部の変形による主筋の摩擦力が増大し、接合部内で多少のひずみ勾配が生じている。しかし、およそ高さ方向のひずみ分布は一定の引張ひずみとみなすことができ、主筋の付着はないものと考えてよいと思われる。部材角2%時では通常の鉄筋は降伏ひずみ近傍に達し、その後部材角が上昇すると降伏ひずみにほぼ達している。一方、アンボンド主筋の場合は部材角1%時に観察された引張ひずみよりも大きなひずみに達し、部材角の増大とともに徐々に引張

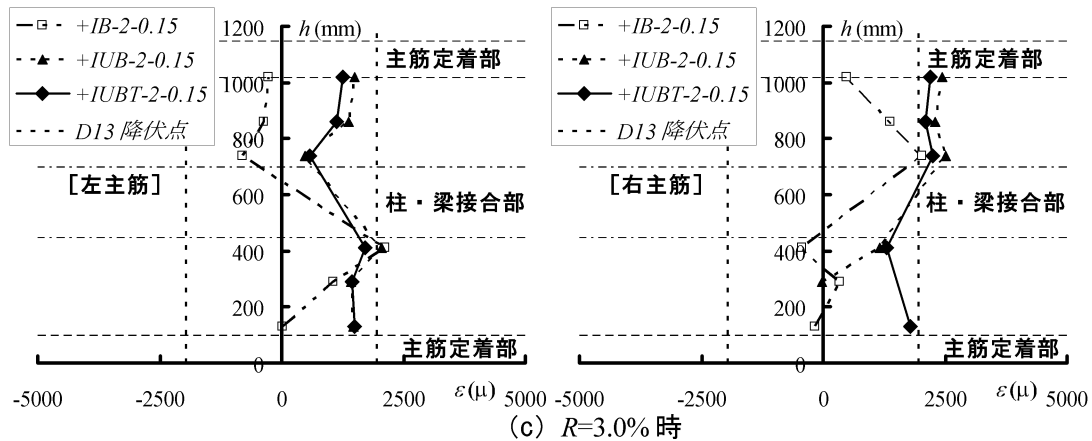
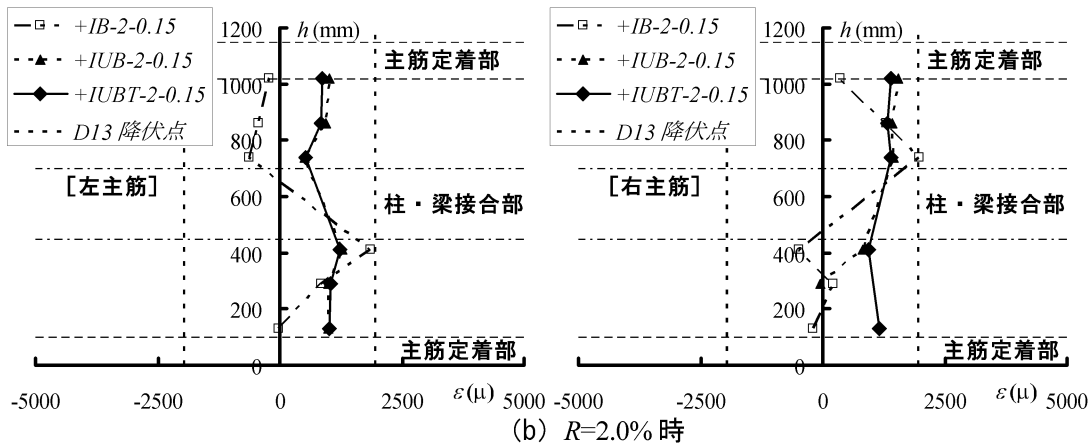
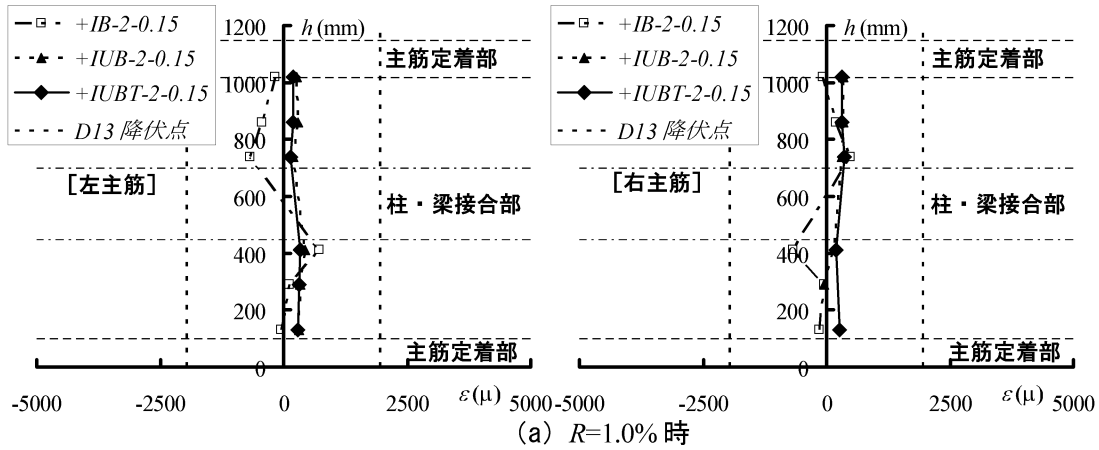


図-9 柱主筋のひずみ分布

表-3 実験結果

試験体名	Q_u (kN)		R_u (%)		Q_{fu} (kN)
	+	-	+	-	
+IB-2.0-0.15	46.6	-54.2	2.01	-2.49	56.5
+IUB-2.0-0.15	36.8	-37.1	2.01	-2.48	44.5
+IUBT-2.0-0.15	42.6	-37.9	2.48	-2.5	44.5

Q_u : 水平耐力実験値, R_u : Q_u 時の部材角
 Q_{fu} : 曲げ耐力によって決まる水平耐力計算値

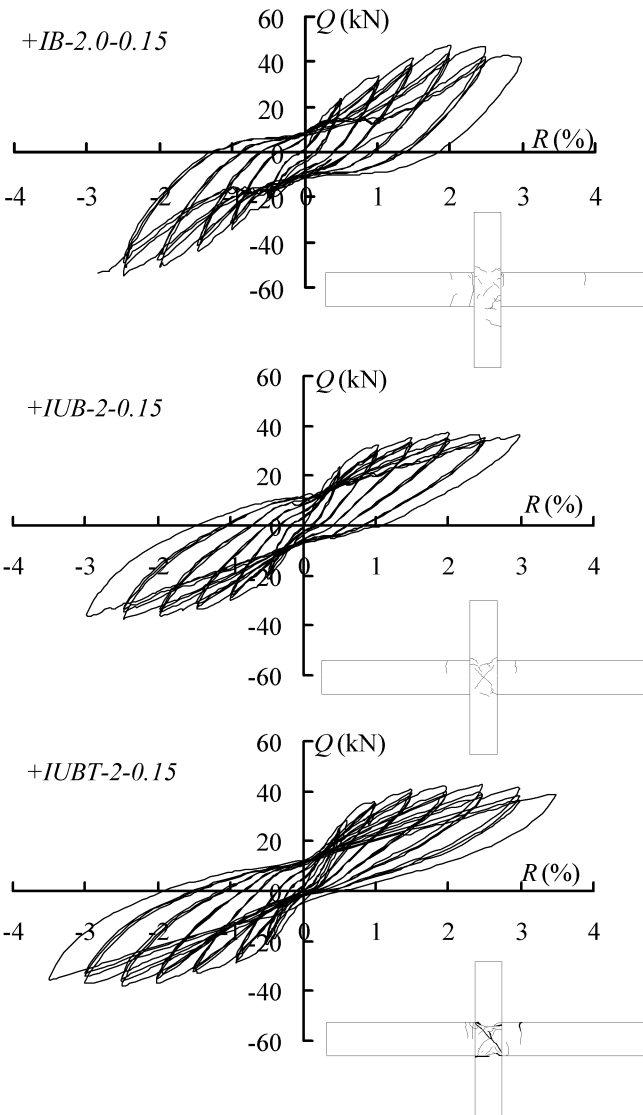
ひずみが増大しているが、終局時まで降伏ひずみに達していない。これらの結果より部材角の増大とともに主筋に変動引張力が生じ、その結果、主筋の引張力の反力としてコンクリートに変動圧縮力

が作用していることになる。

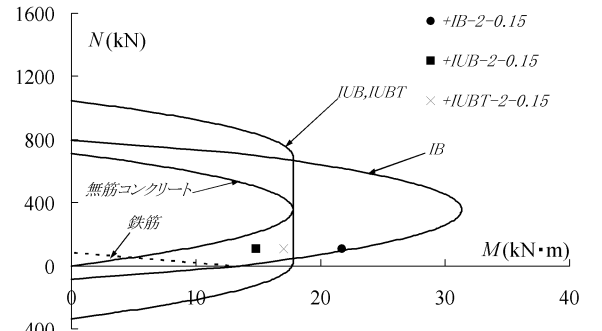
3.2 履歴性状

表-3に実験結果を示す。柱頭・柱脚部はほぼ曲げ降伏耐力に達しているが、接合部のせん断破壊がかなり進行しているため曲げ耐力計算値を多少下回っている。図-10に、各試験体の水平力 Q と部材角 R との関係を示す。いずれの試験体とも部材角が0.5%時に梁端部に曲げひび割れが生じた。部材角1%時を超えると柱・梁接合部に小

さな斜めせん断ひび割れが発生し，部材角が1.5%を超えると接合部近傍の柱に生じた曲げひび割れが接合部に進展して斜めせん断ひび割れと連結し，部材角の増大とともにひび割れが拡大した。部材角が2%を超えると接合部のせん断破壊がかなり進行し，斜めコンクリートストラットおよび柱端部カバーコンクリートの圧壊の兆候が観察された。終局時にRC柱は主筋の降伏による曲げ破壊，アンボンド柱は無筋コンクリートの曲げ破壊により水平耐力に達しているが，最下層十字形骨組の場合より接合部のせん断破壊がかなり進行している。履歴曲線を比べてみると，アンボンド主筋を有する骨組の履歴性状のほうが通常の



図一10 各試験体の水平荷重 Q - 部材角 R 履歴曲線および最終破壊状況



図一11 柱の軸力 N - 曲げモーメント M 耐力曲線と実験値の関係

RC柱を有する骨組に比べて原点指向の傾向が大きい。

3.3 水平耐力

図一11に柱の軸方向力 N と曲げモーメント M の耐力曲線計算値と実験から得られた N と M の実験値との関係を示す。耐力曲線の計算値は，通常のRC柱の場合，無筋コンクリートと鉄筋の累加強度として求めたものである。アンボンド主筋の場合は，主筋は軸力のみ抵抗するものとして求めている。これらの結果によれば，通常のRC柱ではほぼ曲げ耐力計算値と同じ結果となっている。一方，アンボンド柱の場合は累加耐力よりも小さい。これは主筋が降伏していないことによるものと思われる。

3.4 残留部材角

柱単独の場合¹⁾，最下層十字形骨組の場合²⁾ および中間層十字形骨組の場合について，図一12に変位制御時の部材角 R_0 と制御変位からの除荷後の残留部材角 R_r との関係を示している。アンボンド高強度鉄筋を用いた場合，柱単独では残留変形はほとんど生じていない。一方，最下層十字形骨組の場合は従来の異形鉄筋を主筋に用いた場合のおよそ半分以下の残留変形となっている。中間層十字形骨組では，正側の残留変形は通常のRC柱を有する骨組に比べて小さくなっているが，負側ではいずれの試験体ともほぼ同じ結果となった。柱単独ではほとんど生じなかった残留変形が十字形骨組では生じていることがわかる。これは，柱・梁接合部のせん断ひび割れに

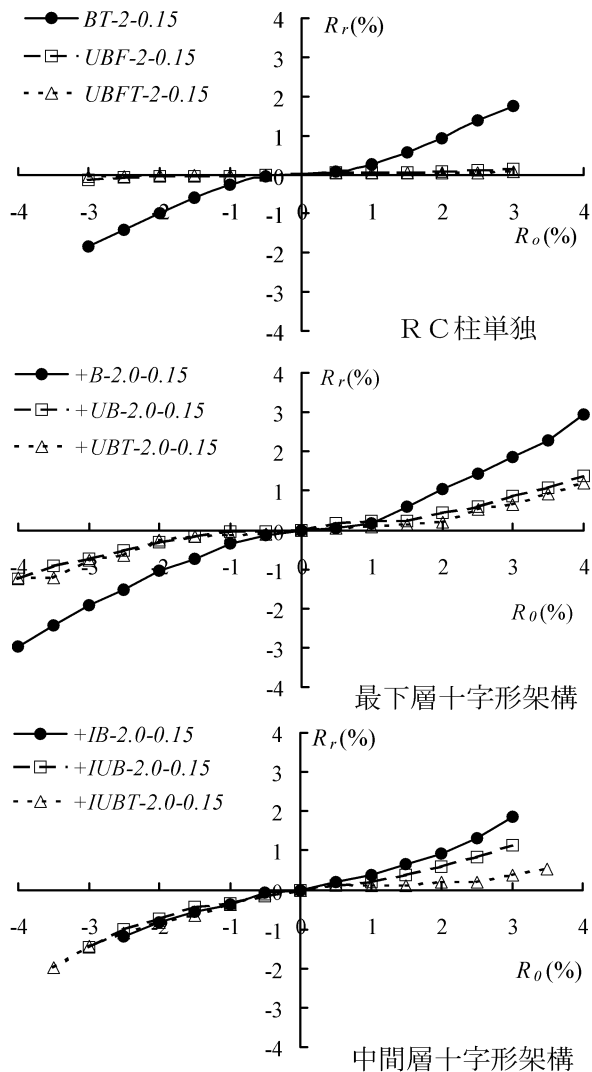


図-12 制御部材角 R_0 と残留部材角 R_r の関係

よる接合部の変形および梁の残留変形が生じたためと思われる。今後、架構の柱の変形とその他の部分の変形を分離して検討する予定である。「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」³⁾に基づいて、(1)式に示す接合部のせん断耐力 V_{ju} と(2)に示す柱に接続する両側の梁主筋の引張力の合力 $T+T'$ と柱のせん断力 V_c よりせん断力 V_j を求めて比較すると、それぞれ313kNと171kNとなりせん断破壊は生じない結果となったが、前述のように部材角の増大とともに接合部のせん断ひび割れがかなり拡大し、せん断破壊がなかり進行していることが観察されていることから、残留変形が大きくなったものと思われる。実際の架構では直交梁が取り付くので接合部の変形がかなり

小さくなるものと考えられるが、これらの影響については今後検討する予定である。

$$V_{ju} = \kappa_j \phi F_j b_j D_j \quad (1)$$

ここで、 ϕ :直交梁の有無による補正係数

b_j :接合部の有効幅

D_j :柱せい

F_j :接合部せん断強度基準値

$$F_j = 0.8 \times \sigma_B^{0.7}$$

$$V_j = T + T' - V_c \quad (2)$$

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2のRC柱を有する中間層十字形骨組について、一定軸力下の正負繰返し水平力載荷実験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) アンボンド高強度主筋は部材角3%を超えても弾性状態であった。
- 2) 最下層を想定した十字形骨組の場合よりも接合部のせん断破壊による損傷が大きくなった。
- 3) 最下層を想定した十字形骨組よりも残留変形が大きくなった。

参考文献

- 1) 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
- 2) 田中 睦・江崎文也・小野正行：アンボンド高強度主筋を用いたRC柱で構成された最下層十字形架構の履歴性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 27, No. 2, pp. 283-288, 2005
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，pp. 241-254 2001

謝辞

本実験は、平成17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。試験体製作にあたっては、卒論を担当した福岡大学学部学生小谷文啓氏ほか研究室の卒論生の協力を得た。加力装置の製作および組み立てにあたっては、福岡大学技術職員西川宗公、平國久雄の各氏にお世話になった。ここに、関係各位に感謝します。