

## 論文 自己修復性のあるプレキャスト十字型骨組の履歴性状

嘉村健太郎<sup>\*1</sup>・江崎 文也<sup>\*2</sup>・李 文聰<sup>\*3</sup>・中原 浩之<sup>\*4</sup>

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,シース管を埋め込んだRC柱と部材端定着部をアンボンド高強度鉄筋で接合した中間層および最下層を想定した十字型骨組について一定軸力下の正負交番繰返し水平力載荷実験を行い,柱・梁接合部の力学性状が十字型骨組架構の残留変形に及ぼす影響を検討した。実験結果によれば,骨組の残留層間変形角に占める梁の曲げ変形の影響が大きいことがわかった。

キーワード:柱,RC十字型骨組,アンボンド,PC鋼棒,残留変形

## 1. 序

著者らは,大地震で塑性化した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<sup>1)</sup>し,主筋をビニールチューブで被覆して定着金物に定着させて一体的に打設した柱・梁十字型骨組について一定軸力下の正負交番繰返し水平力載荷実験を行った。その結果,柱単独の場合ほどではないが,骨組の残留層間変形角は,最下層の場合,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<sup>2)</sup>,中間層十字型骨組の場合は接合部の破壊が進行し,最下層十字型骨組の場合より残留層間変形角が大きくなることが明らかとなった<sup>3)</sup>。提案している構造はプレキャスト化を目指していることから,本研究ではシース管を埋め込んだプレキャスト柱に主筋を挿入して緊張力を与えて定着金物に定着して柱・梁で構成した十字型骨組にした試験体について実験を行い,文献1),2)で実施した一体的に打設した十字型骨組試験体の実験で得られた履歴性状の相違について検討することを第1の目的としている。また,接合部の破壊が骨組の残留変形に及ぼす影響が考えられることから,接合部補強の有無が骨

組の履歴性状に及ぼす影響を明らかにすることを第2の研究の目的としている。第3は接合部の変形を測定して梁の曲げ変形が骨組の履歴性状に及ぼす影響を検討することを目的とした。本論は上述の3つの目的のために計画した実験の結果および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

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。柱主筋には高強度鉄筋(以下,PC鋼棒と呼ぶ)を用い,柱に埋め込んだシース管にPC鋼棒を挿入して柱の上下端に取り付けたH形鋼にナットで締め付けることにより主筋を定着する方法で中間層を想定した十字型骨組を作成した。また,その十字型骨組と基礎梁に取り付けた片持柱を接合して最下層を想定した十字型骨組とした。実験変動因子は,中間層骨組は接合部補強の有無とし,図-2のように編鋼板を配置し,接合部を貫通させたPC鋼棒をナットで締め付けて拘束する方法を採用した。最下層骨組は接合部補強を施した試験体の柱主

\*1 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 福岡大学助教 工学部建築学科 博士(工学)

\*4 九州大学大学院助教授 人間環境学府 博士(工学)

筋の緊張力の相違とし、実験前にナットの締め付けにより主筋に緊張力を与え、緊張力は柱軸応力度  $\sigma_0 (=N/(bD))$ 、 $N$ : 軸力、 $b$ : 柱幅、 $D$ : 柱せい)のコンクリート圧縮強度  $\sigma_b$  に対する比が0.05および0.1となる2種類の大きさとした。一定軸力は柱軸応力度  $\sigma_0$  のコンクリート圧縮強度  $\sigma_b$  に対する比が0.1となる大きさとし、PC鋼棒の緊張力と合わせて柱軸応力度  $\sigma_0$  のコンクリート圧縮強度  $\sigma_b$  に対する比が0.15および0.2となるようにした。表 - 1 に試験体一覧を示す。試験体名は、イ - ロ - ハの3つの識別記号で示した。イは、それぞれ、I0: 接合部を補強していない中間層骨組の試験体、IR: 接合部を縞鋼板で補強した中間層骨組の試験体、R: 接合部を補強した最下層骨組の試験体を示す。ロは柱のせん断スパン比の値を、また、ハは鉛直

荷重とPC鋼棒の緊張力を合わせた柱の軸力比  $\sigma_0/\sigma_b$  の値をそれぞれ示す。いずれの試験体とも柱頭・柱脚に柱せいの1/2の長さの鋼管を被覆している。表 - 2 に使用した材料の力学的性質を示す。梁の形状および配筋は、いずれの試験体とも同じである。梁の配筋は柱頭および柱脚の曲げ降伏が先行するように決めた。

## 2.2 測定方法

図 - 3 に示す加力装置を用いて図 - 4 に示す位置で正負交番の水平力を載荷した。また、梁端部に埋め込んだボルトにピンとローラーで支持された測定フレームに取り付けた変位計にて図 - 4 に示す位置(図中の印)の柱の水平変位を測定し、測定位置間の相対水平変位をその距離で除した値を層間変形角  $R$  と定義した。また、梁の曲げ変形や接合部パネルのせん断変形

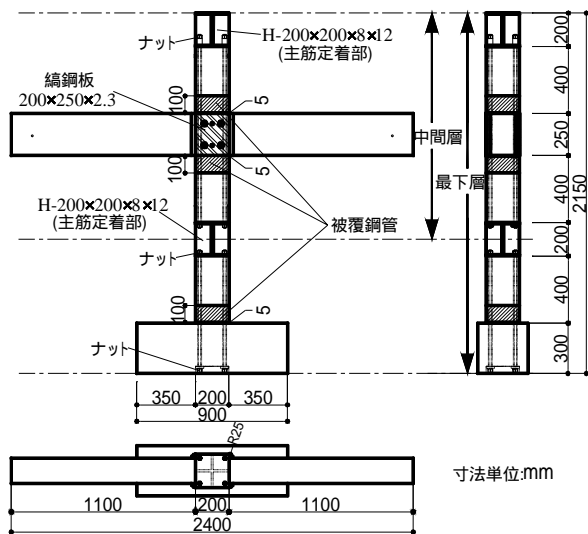


図 - 1 試験体の形状

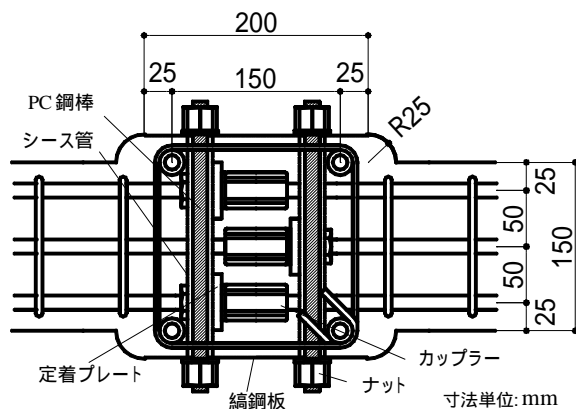


図 - 2 縞鋼板定着方法

表 - 1 試験体一覧

試験体名	IO-2.5-0.15	IR-2.5-0.15	R-2.5-0.15	R-2.5-0.2
試験体形状				
配筋図				
主筋	4-13φ ( $p_t=1.33\%$ )			
帯筋	D6@30 ( $p_v=1.07\%$ )			
被覆鋼管	□-200×200×2.3			
梁配筋	主筋: 上端筋, 下端筋とも 3-U12.6 ( $p_t=1.11\%$ ) あばら筋: D6@75 ( $p_v=0.57\%$ )			

表 - 2 使用材料の力学的性質

### (1) 鉄筋

種別	$a$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\epsilon$ (%)
D6	0.32	378	535	185	14.1
U12.6	1.25	1381	1470	212	7.8
		1359	1465	195	6.4
13φ	1.32	1209	1272	201	8.7

$a$ : 断面積  $\sigma_y$ : 降伏点強度  $\sigma_u$ : 引張強度  $E$ : ヤング係数  $\epsilon$ : 伸び

### (2) コンクリート

	$\sigma_B$ (MPa)	$\epsilon_c$ (%)	$E_c$ (GPa)
IO-2.5-0.15	32.2	0.239	26.8
IR-2.5-0.15	27.4		26.2
R-2.5-0.15			
R-2.5-0.2			

$\sigma_B$ : シリンダー圧縮強度  $\epsilon_c$ : 強度時のひずみ  $E_c$ : ヤング係数

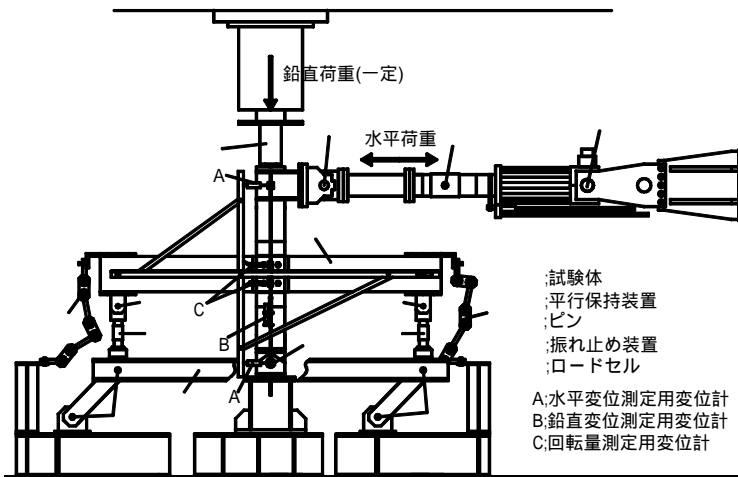


図 - 3 加力装置および測定装置

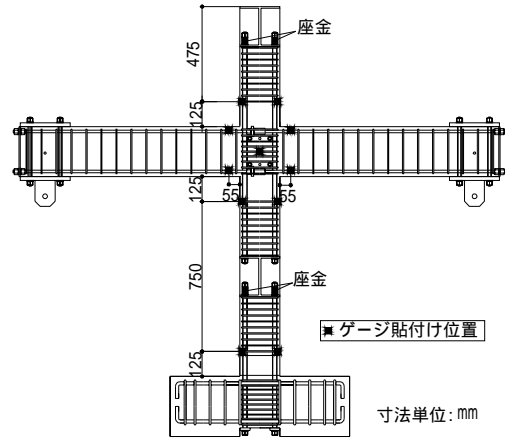


図 - 6 鉄筋のゲージ貼付位置

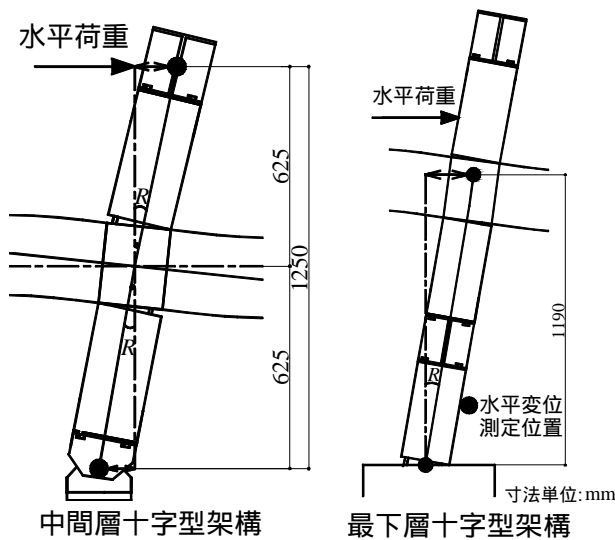


図 - 4 試験体の加力位置および変形図

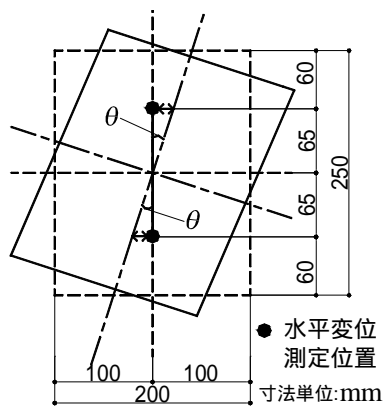


図 - 5 接合部パネルの変形図

の自己修復性を検討するため、文献2)、3)では測定していなかった図 - 5に示す位置(図中の印)の水平変位を測定し、測定位置間の相対水平変位を測定間距離で除した値を接合部の回転角  $\theta$  と定義し、 $R$  から  $\theta$  を差し引いた値を柱のみの部材角  $r$  とした。鉄筋のひずみについて

表 - 3 実験結果

試験体名	$Q_u$ (kN)		$R_u$ (%)		$Q_{fu}$ (kN)
	+	-	+	-	
10-2.5-0.15	45.2	-43.9	2.79	-2.88	42.6
1R-2.5-0.15	49.1	-48.2	2.83	-2.83	58.7
R-2.5-0.15	67.4	-68.1	2.83	-2.71	74
R-2.5-0.2	69	-71.1	2.9	-2.73	71.4

$Q_u$ : 水平耐力実験値、 $R_u$ :  $Q_u$  時の層間変形角  
 $Q_{fu}$ : 曲げ耐力によって決まる水平耐力計算値<sup>3)</sup>

は、図 - 6に示す柱頭と柱脚近傍の位置の帯筋にゲージおよび柱に接する梁端部の主筋にゲージを貼付して鉄筋のひずみを測定した。PC 鋼棒の緊張力は厚さ 30mm のドーナツ状座金に貼付したひずみゲージにより測定した。ひび割れおよび破壊状況は、制御変位で目視によるスケッチにより記録した。

### 3. 実験結果

表 - 3に実験結果を示す。図 - 7に水平荷重  $Q$  と層間変形角  $R$  の関係および実験終了時のひび割れ状況を示す。図中には文献2)および3)で実施した実験結果を合わせて示している。図 - 8には経験層間変形角  $R_0$  と残留層間変形角  $R_r$  との関係を示している。これらの図によれば、文献2)および3)で実施した一体的に打設した試験体よりもプレキャスト柱の主筋にプレストレスを導入した試験体の方が残留変形が小さくなる傾向があることがわかった。接合部補強の有無の相違については、図 - 8に示す中間層十字型骨組の実験結果より接合部を補強した方がわずかで

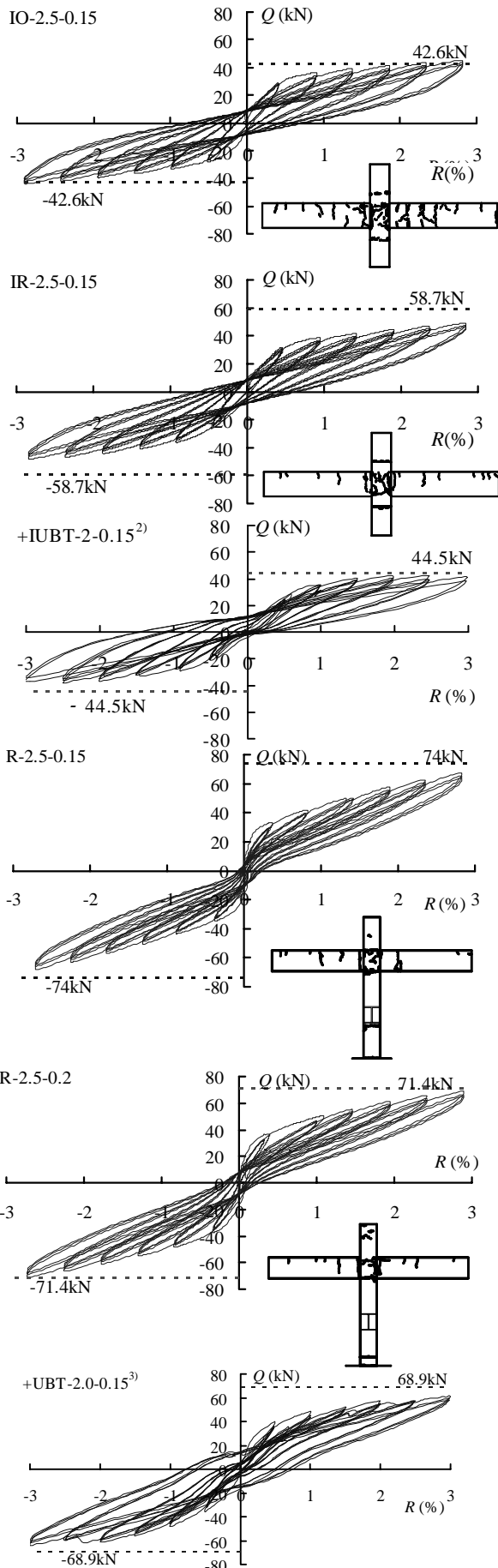


図 - 7 各試験体の水平荷重  $Q$  - 層間変形角  $R$  履歴曲線および最終破壊状況

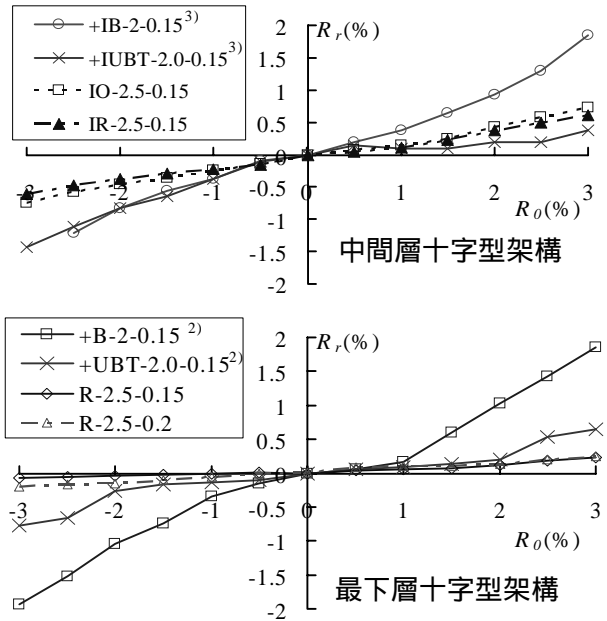


図 - 8 経験層間変形角  $R_o$  と残留層間変形角  $R_r$  の関係

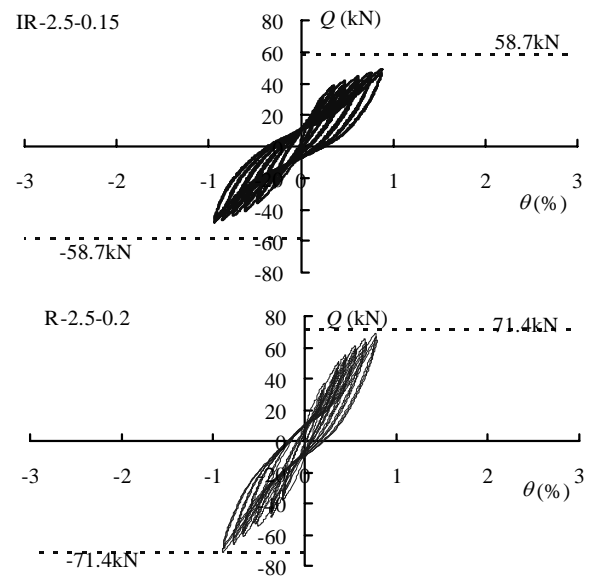


図 - 9 水平荷重  $Q$  と接合部の回転角  $\theta$  の関係

はあるが残留変形が小さくなった。しかし、文献1)で明らかにした柱単独の場合の残留変形よりも大きな残留変形が生じていることから、図 - 9に示すように水平荷重  $Q$  と接合部の回転角  $\theta$  の関係について検討した。これらによれば明らかに残留変形が生じている。これは接合部に接する梁端部主筋のひずみは弾性状態にあるものの圧縮縁コンクリートの圧壊現象が一部観察されていることや接合部からの主筋の拔出しなどにより梁端部の曲げ変形の自己修復性が損なわれたためと思われる、そ

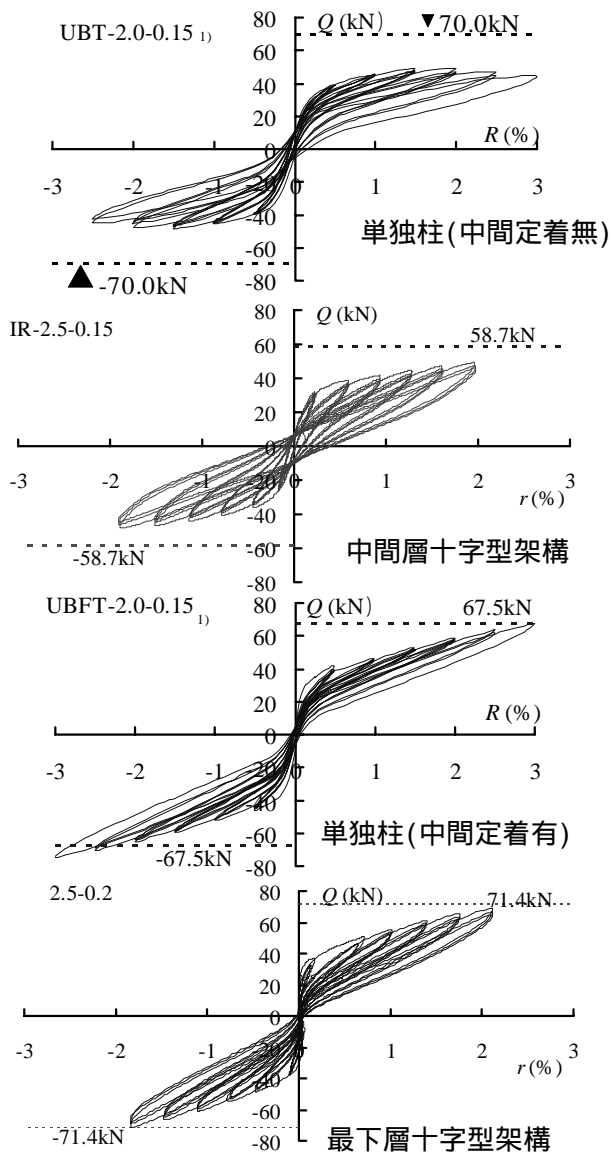


図 - 10 水平荷重  $Q$  と柱のみの部材角  $r$  の関係

れが骨組の残留変形の一因になっているものと思われる。そこで、図 - 10 に水平荷重  $Q$  と前述で示した各試験体の柱のみの部材角  $r$  との関係と文献 1) で得られた柱単独の履歴性状を示す。これらの履歴性状を比較すると、ほぼ同じ履歴性状を示していることから、柱のみの変形では自己修復性は維持されているものと思われる。

図 - 11 に PC 鋼棒の緊張応力度  $\sigma$  と層間変形角  $R$  の関係を示す。これらによれば  $R$  の増大とともに変動軸力が作用していることがわかる。 $R$  の増大とともに繰り返し回数が増えると徐々に引張力が低下していることが認められる。これは、繰り返しによる柱端部のコンクリートの損傷が徐々に進んだためと思われる。最下層骨組試験体は、脚部の基礎柱では引張側になると  $R$  の増大とともに引張力が大きくなっている。一方、圧縮側になると  $R$  の増大とともに引張力が 0 に近づいている。これらの結果から柱脚部では主筋が曲げモーメントの一部を負担する抵抗機構を示していることがわかる。上部柱では引張の場合のほうが圧縮側より  $R$  の増大とともに引張力が大きくなっており、中間層骨組のように主筋が引張軸力のみ負担し、コンクリートが圧縮軸力と曲げモーメントを負担する抵抗機構の場合と異なる

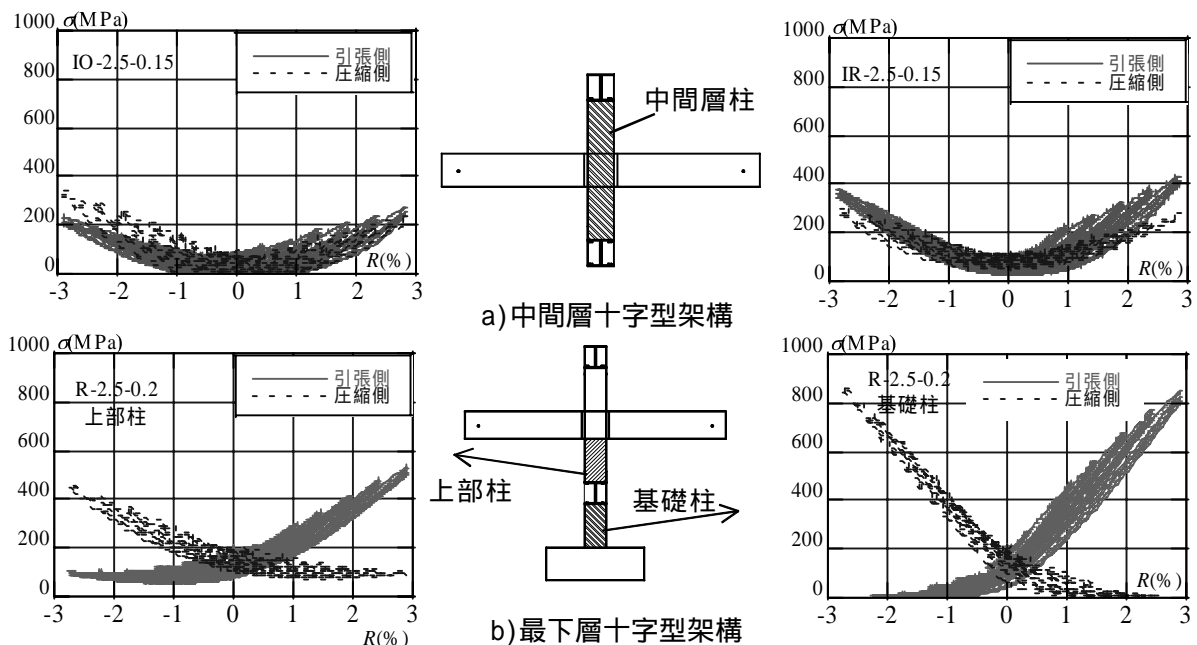


図 - 11 各試験体の層間変形角  $R$  と PC 鋼棒の緊張応力度  $\sigma$  との関係

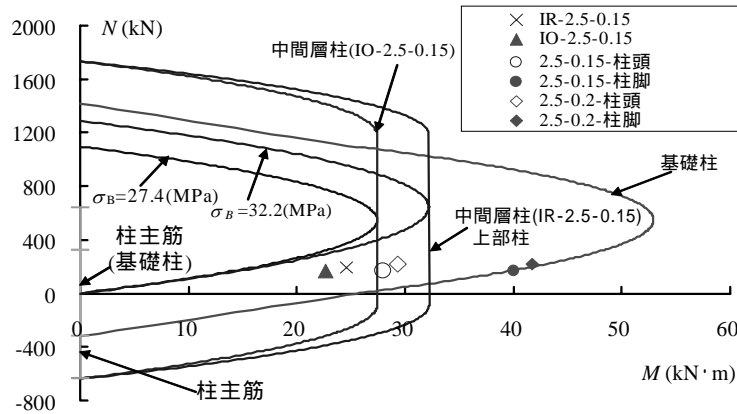


図 - 12 柱の軸力  $N$  - 曲げモーメント  $M$  耐力曲線<sup>3)</sup>と実験値の関係

り、主筋が曲げモーメントの一部を負担する抵抗機構を示していることがわかる。そのため変形の回復がよくなっているものと思われる。図 - 12 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<sup>3)</sup>と実験から得られた  $N$  と  $M$  の実験値との関係を示す。これらの結果によれば、いずれの試験体も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。

文献4)で述べた接合部せん断耐力  $V_{ju}$  と柱に接続する両側梁主筋の引張力の合力  $T+T'$  と柱せん断力  $V_c$  よりせん断力  $V_j$  を求めて比較すると、それぞれ270kNと251kNとなり、いずれの試験体もせん断破壊は生じない結果となった。接合部内の柱帯筋のひずみによれば、部材角の増大とともに無補強試験体の場合より補強試験体のほうが小さいことから、接合部補強の効果があったものと思われる。

#### 4. 結論

主筋にアンボンド高強度鉄筋を利用したプレキャストRC柱で構成された中間層および最下層の部分を想定した十字型骨組について、一定軸力下の正負繰返し水平力載荷実験を行った結果、以下の結論が得られた。

- 1)アンボンド主筋を一体的に打設した場合よりもプレキャスト化して主筋に緊張力を導入した方が残留層間変形角が小さくなった。
- 2)接合部を補強した場合の方がわずかではあるが残留層間変形角は小さくなった。

- 3)接合部の変形測定結果より、主として接合部に接する梁端部の曲げ変形の自己修復性の低下による残留変形が生じて、それが骨組の残留層間変形の大きな一因となっている。

#### 謝辞

本研究は平成18年度文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(A)( 課題番号:18206060, 研究代表者:崎野健治)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林田江里加,河野州峯の各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、福岡大学工学部建築学科技術職員平國久雄氏にお世話になった。ここに、関係各位に感謝します。

#### 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集,Vol.26, No.2, pp.181-186, 2004
- 2)江崎文也・田中 睦・小野正行・鄭 眞安:アンボンド高強度主筋を用いたRC柱で構成された架構の履歴性状に関する研究 その1,その2,日本建築学会九州支部研究報告,第44号, pp.365-372 2005.3
- 3)嘉村健太郎・鄭 眞安・江崎文也・小野正行:アンボンド高強度主筋を用いたRC柱で構成された架構の履歴性状に関する研究 その3,日本建築学会九州支部研究報告,第45号, pp.349-352 2006.3
- 4)鄭 眞安・嘉村健太郎・江崎文也・小野正行:アンボンド高強度主筋を用いたRC柱で構成された中間層十字型架構の履歴性状,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.157-162, 2006