# 論文 アンボンド高強度主筋を用いた R C 柱で構成された最下層十字型架構 の履歴性状

田中 睦\*1·江崎文也\*2·小野正行\*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PC鋼棒を主筋に用いたRC柱で構成された最下層十字型架構について,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,除荷後の残留変形 もおよそ半分以下になることがわかった。

キーワード:鉄筋コンクリート十字形骨組架構,アンボンド,PC鋼棒,残留変形

1. 序

過去の地震により被害を受けた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。 著者らは,このような事態が起こらな いような RC 建築物の開発を目指し, 強地震に より比較的大きな部材角が生じても残留部材角 が小さくなるRC柱を提案している。すなわち, 強地震で塑性化した RC柱の残留部材角をでき るだけ小さくするように ,主筋にアンボンド高 強度鉄筋を用いた RC 柱を提案した。提案した RC柱の実験によれば,主筋に付着のない高強 度鉄筋を用いると、水平せん断耐力は小さいが 部材角が3%程度の大変形時まで耐力の低下は ほとんどない安定した履歴性状を示すと同時 に、残留変形がかなり小さくなることがわかっ た<sup>1</sup>)。

上述した柱を実際の構造物に適用する場合に は,高強度の主筋の定着が問題になる。RC柱 のみの実験では上下の加力スタブで定着してい るが,実際の構造物の場合,最下階の柱脚は基 礎部分に定着できるので実験と同じ定着が可能 である。一方,柱頭部分や中間階の柱について は,柱・梁の接合部で定着すれば実験と同じ定

着となるが、この定着は現実的には難しく、接 合部以外で定着せざるをえない。提案している 構造では柱主筋の付着がないので部材の取り外 しが比較的簡単であることを考慮すると、プレ キャスト化が合理的と考えられ、リサイクルや リユースを念頭においたRC構造の開発につな がる。プレキャスト化すれば鉄骨ラーメン構造 と同様,梁・柱を接合した十字型架構を工場で 製作し,現場で柱の中間部や梁の中間部で接合 することにより架構を組み立てる方法が考えら れことから、柱の中間部に定着を設けた場合の 柱についても一定軸力下の水平力載荷実験を行 い,その履歴性状について検討を行った2)。そ の結果,中間定着を設けた柱の履歴性状は,中 間定着を設けていない場合の履歴性状とほぼ同 じ傾向を示したが ,コンクリートの曲げひび割 れ後の水平せん断力の上昇が多少大きくなること がわかった。

これらの実験結果を参考に,提案している RC柱を有する実際の構造物への適用を念頭に, 最下層の柱を想定した梁・柱接合部を有する十 字型架構の実験を計画した。上述したように, 実際の主筋定着位置を考慮して,アンボンド主 筋の定着を最下階柱の中間部と上階柱の中間部

\*1 九州共立大学助手 工学部建築学科 工修 (正会員)

\*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)

に設けた場合の実験を計画した。本論は,これ らの実験計画とその検討結果について述べるも 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最下層の中柱を想 定した実物の約1/3縮尺モデルの形状とした。 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。 主筋のアンボンド化と主筋定着方法は、文献 2)と同じ方法を採用した。最下層の柱のせん 断スパン比 M/(QD) の値は2, 一定軸力による 柱軸応力度 $\sigma_0$ のコンクリート圧縮強度 $\sigma_0$ 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,A-B-Cの3つの識別記 号で示した。Aは,それぞれ,+B:柱主筋とし て付着がある異形鉄筋を用いた試験体,+UB: 柱主筋として付着がない高強度鉄筋を用いた試 験体,+UBT:+UB 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。 Bは,柱のせん断スパン比の値を,また,Cは, 柱の軸力比  $\sigma_a/\sigma_a$ 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 × D=150mm × 250mm, 長さ1,100mm)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 - 1 に示す ような最下層柱の柱頭・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 される梁の曲げ降伏が柱の曲げ降伏より先行し ないように計画にした。図 - 2 に定着部の詳細 を示す。

## 2.2載荷方法および載荷プログラム

図 - 3 に示す加力装置を用いて,図 - 4 に示 す載荷プログラムにより,一定軸力下の漸増変 位振幅正負交番繰り返し載荷とした。制御部材 角 R は,梁・柱接合部の中心の水平変位δを, 脚部より梁・柱接合部の中心までの高さhで除 した値 R=δ/hである。

## 2.3 測定方法

基礎梁にボルト締めされた測定フレームに取 り付く変位計にて梁・柱接合部中心の水平変位



表 - 1 試験体一覧

寸法単位:mm

#### 表 - 2 使用材料の力学的性質

鉛直荷重 (1) 鉄筋 1. 試験体 種別  $\sigma_{v}$  (MPa)  $\sigma_{u}$  (MPa) E(%)  $a (\mathrm{cm}^2)$ 水平荷重 2. 平行保持装置 **D6** 0.32 429 522 19.9 3. ロードセル Q Q o U12.6 1.25 1263 1346 9.1 D13 1.27 333 501 21.2 ピンの 9.20 0.66 1176 1207 11.4 3 PL-2.3 0.28 393 431 27.8  $a: 断面積, \sigma_{i}: 降伏点, \sigma_{i}: 引張強度, \varepsilon: 伸び$ (2) コンクリート 2  $\sigma_{\rm B}$ 各試験体 21.7σ<sub>a</sub>:シリンダー圧縮強度 寸法単位;mm 1250 1250 鉛直荷重 図 - 3 加力装置 PL-2.3 - 水平荷重 R (%) ット 4 Δ Δ 3 2 曲げ塑性ヒンジ 1 0 150 25 主筋接続用 -1 カップラー -2 寸法単位;mm -3 図 - 2 定着部詳細 架構の崩壊機構 図 - 1 -4

および鉛直変位を測定した。また,図-5に示 す柱頭,柱脚,中間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 - 6 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。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。 しかし,引張主筋比が大きく高強度鉄筋のた め,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る。図 - 7 に部材角*R*=が0.5%~2%での各試験体の柱 主筋のひずみ分布を示す。いずれの試験体とも 部材角が小さい範囲から他の位置のひずみより



図 - 4

載荷プログラム

柱脚のひずみが大きくなっている。これは,図 - 8に示すように柱の反曲点位置が柱の中間部 より上部にあるためと考えられる。図-8は, 梁の左右のロードセルより得られた反力より柱



Q\_::曲げ耐力による水平せん断耐力計算値

の反曲点位置を求め,柱内法高で除した反曲点 高比y<sub>1</sub>とRの関係を示したものである。+B 試 験体では,R=2%近傍で水平耐力に達している が,このときの主筋はほぼ降伏ひずみに達し, 柱の柱頭および柱脚の曲げ降伏による崩壊機構 が形成されている。一方,アンボンド試験体の 場合は,中間定着より下部では引張側は大きな 引張ひずみが生じ,圧縮側には圧縮ひずみが生 じており,柱単独の実験で得られたひずみの場 合と異なり,圧縮力を負担している。中間定着 より上部ではほぼ同じ引張ひずみが生じてお り,部材角Rの増大とともに引張ひずみも徐々 に大きくなっている。この傾向は,中間定着を 設けていない場合の柱単独のひずみ状況とほぼ 図 - 7 柱主筋のひずみ分布

同じで,主筋は軸方向力のみ抵抗していること がわかる。

## 3.2 履歴性状

表 - 3に実験結果を示す。図 - 9に,各試験 体の水平力Qと部材角Rとの関係および梁・柱 接合部の中心の鉛直変位 $\delta_v$ を柱脚部から梁・柱 接合部の中心までの高さhで除した鉛直方向の 平均ひずみ  $\varepsilon_v = \delta_v / h$ と部材角Rとの関係を示 す。図中には架構崩壊機構が形成された場合の 水平せん断耐力を破線で示している。崩壊機構 が形成されるときの柱の曲げ強度は,主筋に付 着がある場合は,(1)と(2)式に示す無筋 コンクリートの耐力と,(3)式~(5)式を 結ぶ鉄筋の耐力の単純累加により求めた。ま た,付着のない試験体では,柱頭部は図-10に 示すように,主筋は軸力のみ抵抗するものとし て,(1)式と(2)式で示す無筋コンクリー トの耐力と(6)式で示す鉄筋の耐力の単純累 加で求めた。柱脚部は部材角の増大とともに圧 縮側主筋も圧縮力を負担しているが,引張側の 応力ほど増加していないことから,引張側主筋 のみ軸方向力を負担していると仮定し,主筋が 軸力と曲げモーメントを負担するとして(1) 式と(2)式で示す無筋コンクリートの耐力と (3)式,(7)式,(8)式を結ぶ鉄筋の耐力 の単純累加で求めた。アンボンド試験体の場合 は、定着部より上部では降伏ひずみに達してい ないので算定値より低くなっている。

$$_{c}N = bx_{n}\sigma_{B} \tag{1}$$

$$_{c}M = \frac{_{c}N(D-x_{n})}{2}$$
 (2)

ここで,b: 柱幅 D: 柱せい  $x_n$ : 圧縮縁から中立軸までの距離  $\sigma_B$ : シリンダー圧縮強度  ${}_sN = -a \cdot {}_s\sigma_y$ ,  ${}_sM = 0$  (3)  ${}_sN = 0$ ,  ${}_sM = \frac{a}{2} \cdot {}_s\sigma_y \cdot {}_sD$  (4)

$$_{s}N = a \cdot_{s} \sigma_{y}$$
,  $_{s}M = 0$  (5)







図 - 10 アンボンド RC 柱の主筋応力

ここで, a:鉄筋の全断面積

 $\sigma_{\sigma}$ :鉄筋の降伏点

\_D: 引張側と圧縮側の各主筋重心間距離

$$-a \cdot_{s} \sigma_{y} \leq_{s} N \leq a \cdot_{s} \sigma_{y} , \quad {}_{s} M = 0 \quad (6)$$

$${}_{s} N = -\frac{a}{2} \cdot_{s} \sigma_{y} , \quad {}_{s} M = \frac{a}{4} \cdot_{s} \sigma_{y} \cdot_{s} D \quad (7)$$

$${}_{s} N = 0 , \quad {}_{s} M = 0 \quad (8)$$

図 - 11 に変位制御時の部材角 R<sub>a</sub>と制御変位 からの除荷後の残留部材角 R\_ との関係を1回 目のサイクルについて示している。アンボンド 高強度鉄筋を用いた場合は、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 となっていることがわかる。RC柱のみの実験 によれば部材角3%程度まで残留変形がほとん ど生じていない結果となっているが 十字型架 構では柱のみの場合に比べて残留変形が大き い。これは,柱・梁接合部にせん断ひび割れに 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。実際の建築物では梁には床ス ラブは取り付いているので梁の剛性が大きくな ること,また,直交方向には接合部に梁が取り 付いているので接合部の拘束が大きくなること などから、本実験で得られた残留変形よりも小 さくなるものと考えている。

## 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柱を有する十字型架構につい 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。

アンボンドの高強度鉄筋を主筋として用いると,残留変形が付着のある場合よりもおよそ半分程度となる。



図 - 11 制御部材角 R<sub>a</sub>と残留部材角 R<sub>a</sub>の関係

- 2)主筋がアンボンド高強度鉄筋の場合,柱のみの場合に比べて十字型骨組になると接合部や梁の残留変形の影響で残留変形が大きくなる。
- 3)層間変形角が2%程度まではアンボンド高 強度鉄筋は弾性範囲にとどまっている。し かし,2%を超えると柱脚部は降伏ひずみを 超え,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・城戸将 江: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2,その3,日本建築学会九 州支部研究報告,第43号,pp.2004.3
- 2)河本裕行・田中 睦・江崎文也・小野正行・城戸将 江: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4,日本建築学会九州支部 研究報告,第43号,pp.2004.3
- 3)河本裕行・田中 睦・江崎文也・小野正行: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2,日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道),pp. 2004.8

謝辞

本実験は,平成16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;江﨑文 也)の援助を受けた。