論文 高拘束補強筋を用いて損傷部位を限定した RC 柱の曲げせん断挙動

井口 貴雄*1・岸本 一蔵*2・大野 義照*3

要旨:損傷箇所,即ち塑性ヒンジ部を限定した位置に発生させることができれば,補修領域 が明確化され,部材の変形予測等もより高精度とする事が期待できる。本論文では,検討の 第一段階として,部材の塑性ヒンジ発生位置を重度の横補強筋を用いることにより限定した 箇所で発生させる事を試みた。その結果,部材中央よりの重度の横補強は,せん断ひび割れ の進展を抑制する点では効果があるが,コンクリートの拘束効果により塑性ヒンジ発生位置 を限定させる点においては効果がないこと,柱脚部の重度の補強筋は,部材角 1/100 を超え る変形域において,スタブ極近傍でのコンクリート圧縮縁ひずみ集中を緩和できることを明 らかにした。

キーワード: RC 柱部材, 重度の横拘束筋, 変形性能, 圧縮縁ひずみ, デジタルカメラ

1. はじめに

建物の耐震設計は建物への入力大きさに応じ てより細かな限界状態を規定する性能設計法へ の移行期にあり、従来の終局限界に加えて使用 限界や修復限界といった新たな限界値を設定す る必要性に迫られている。一方、梁、柱等のコ ンクリート部材の耐震性に関する研究では、補 強筋量と終局時の変形能の関係について多くの 研究がなされてきたが、部材のどの範囲が、ど の程度、どのように、損傷するかといった事に ついては系統的に検討されてはいない。これは、 ひび割れに代表されるコンクリートの損傷進展 過程や破壊形式が個々の部材条件や荷重条件に より異なり、一般化することが難しいことによ るものと考えられる。これに対し,損傷箇所, 即ち塑性ヒンジ部を限定した位置に発生させる ことができれば,補修領域が明確化され,部材 の変形機構についてもより明確な検討が可能と なり,部材の変形予想等もより確度の高いもの となることが期待できる。

そこで、本論文では、検討の第一段階として、 部材の塑性ヒンジ発生を重度の横補強筋を用い ることにより限定させる事が可能かどうか、即 ち損傷位置の明確化が可能かどうかについて、 また、その場合の塑性ヒンジ部における挙動が どのようなものとなるかを RC 柱部材の曲げせ ん断実験を行い検討したものである。



2. 実験概要

対象とした試験体は,1辺25cmの正方形断 面を有するシアスパン比2.0の柱部材3体であ る(図-1)。それぞれの試験体は,横補強筋の 配置のみが異なり,その違いにより次のように 名称される。(1)Normal:通常タイプの配筋。 部材軸方向全長にわたってSD295D6筋を 50mmピッチで配筋(pw=0.53%:図-1(a))。 (2)Type-2:ヒンジ発生予定部位を2ピッチ長 さ(100mm)としたタイプ(図-1(b))。

表-1 材料特性

| | 降伏強度 [N/mm ²] | 引張強度 [N/mm ^²] | ヤング係数 [N/mm ²] |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 主筋(D13) | 417.8 | 520.6 | 2.16×10 ⁵ |
| 帯筋(D6) | 385.8 | 561.8 | 2.27×10 ⁵ |
| コンクリート圧縮強度 28.3 [N/mm ²] | | | |



(3)Type-3: ヒンジ発生予定部位を 3 ピッチ長さ(150mm)としたタイプ(図-1(c))。なお,
図-1 に示すように Type2, 3 のヒンジ発生予定部位は,横補強筋ピッチを 16mm

(pw=1.6%)とした重度の横補強を,ヒンジ 発生予定部位の両側に配置することにより実現 した。使用した鉄筋種および降伏強度,コンク リートの4週圧縮強度は表-1の通りである。

載荷時の軸力比は全て 0.3 とし, 建研式加力 方式により行った(図-2)。載荷履歴は, 部材 角 R=1/50, 1/30 のそれぞれ 3 回ずつの正負交 番である。通常の柱の曲げせん断実験で行われ るような低変位振幅からの漸増載荷(例えば, R=1/200, 1/100, …)としない理由は, 圧縮 部コンクリートひずみ度を部材圧縮縁に添付し たコンタクトポイント,およびデジタルカメラ により計測(詳細は後述)しているため, なる べく大きな部材変形時まで圧縮部コンクリート の剥離を起こさずに測定しようと試みたためで ある。

部材変形はスタブに設置したひずみ変換式ダ イヤルゲージにより、主筋および横補強筋のひ ずみは、図-1(a)~(c)に示す位置にひずみ箔ゲ ージを添付することにより行った。また、圧縮 部コンクリートのひずみを測定するために,図 -3 に示すように、1 辺 10mm のアルミ製コン タクトポイントをスタブ面を基準として 30mm, 70mm~270mm (40mm ピッチ)の位置に添 付し測定した。更に、ヒンジ部の挙動、及び初 載荷時に圧縮を受けるコンクリートの挙動を追 跡するために,部材側面に設置したデジタルカ メラ (2560×1920 ピクセル) による撮影を行 った(図-3)。ヒンジ部を撮影するカメラでは 水平方向約 280mm をカバーする範囲の撮影と したため,解像度はおよそ 0.11mm/dot である。 また、圧縮部コンクリートを撮影するカメラで は、水平方向約120mmを撮影範囲としたため、 解像度はおよそ 0.05mm/dot である。測定対象 としたポイント(以下 測定ポイント と呼ぶ: 図-3中*印)は、試験体側面に白色油性塗料



図-4 載荷試験結果(せん断荷重-部材変形量関係)







をスプレーにより塗布,乾燥後,印肉を付けた 押しピンを押し当てることにより作成した。同 ポイントはスタブ面より約 25mm の位置から 材軸方向約 30mm ピッチで 5 点,材軸直交方 向も同じく約 30mm ピッチで 8 点,合計 40 点 である。

3. 実験結果および考察

本実験では、まず全ての試験体で部材全体の 荷重-変形関係が同じであることを確認し、そ の後ヒンジ部における変形状態を次の 3 つの 点から検討する。(1) ひび割れ発生および進展 状況,(2) ヒンジ部回転角,(3) 圧縮側コンク リートのひずみ分布状況

3.1 部材の荷重-変形関係

図-4 に各試験体のせん断荷重-部材変形(Q-Def)関係を重ねて示す。同図の重なり程度よ り、いずれの試験体も剛性および最大耐力を含 めた履歴特性として同等の性能を有しているこ とがわかる。即ち、本試験体の場合、重度の横 補強筋の配置の有無が部材の Q-Def 関係に大 きな影響を与えていないことが確認できる。な お、図-4 には引張主筋降伏位置を〇で示して いる。横補強筋についてはいずれの試験体につ いても部材角(R)=1/50 以下の変形では未降伏 であった。

3.2 ひび割れ発生および進展状況

図-5(a)に、部材角(R)=1/50(初到達時)の、 (b)に R=1/30時(最終回:3回目)のひび割れ 状況図を示す。図-5(a)より、いずれの試験体 も引張側に主たる3本のひび割れが確認でき、 その進展状況より中立軸深さはおよそ圧縮縁か ら5~7cm程度と考えられる。3本のひび割れ のうち、柱最下部、即ちスタブ面との境界位置 のひび割れは全ての試験体で共通に発生してい る。しかしながら、スタブ面から2番目の位 置に発生するひび割れは、重拘束を行っている Type2、3では、スタブ面から約13cmの位置 に発生しており、約8cmの位置に発生してい る Normal 試験体とは異なる。これは、Type2、







図-8 コンタクトポイントの移動量から求めた圧縮縁ひずみ

3 では柱最下部の重度の横補強筋のため、
 同位置での主筋とコンクリート間の付着が小さいことによると考えられる。この
 点について検証するため、断面中央位置の主筋のひずみを図-6 に示す。R=1/50
 時(変形量 20mm)において Normal
 試験体の最もスタブ面に近い位置の主筋

(実線)が塑性化しているのに対し、Type2、3の主筋は殆ど塑性化していないことがわかる。

最もスタブより遠い位置に発生する 3 番目のひび割れ(せん断ひび割れ)は, Type2,3 では発生するものの,部材変 形が増加しても拡大することはなくその 幅も極めて小さい(0.1mm 以下:写真 による判定)。これに対し,Normal で は部材変形増加と共に拡大し,R=1/50 時に約0.3mmに達している。

R=1/30 時のひび割れ状態(図-5(b))で は、圧縮時に発生するかぶり部コンクリ ートのひび割れを除けば、基本的には **R=1/50** 時のひび割れと変わりない。た だし、Type2、3 では、R=1/50 時のス タブ側より 1 本目と 2 本目のひび割れ の間(スタブより約 3cm の位置)に新 たなひび割れが発生している。

3.3 ヒンジ部回転角

図-7 に測定ポイントの移動量(写真判定)により計算したヒンジ部におけるス タブからの距離と回転角の関係を示す。 回転角は柱側面中央部の測定ポイントの 水平方向変位(部材軸と直交方向への測 定ポイントの移動距離)をスタブ面から の距離で除して求めた。図中太線は,測 定点での回転角そのものを,細線は各測 定点間での回転角増分を示している。図 -7 (a)は部材変形角(R)=1/50に最初に達 したときの値,(b)は R=1/30の最終回(3 度目)の時の値である。なお,Normal 試験体では,撮影側の部材端変形が著し

く(他端の変形が小さい), R=1/25 程度の変形 となっていた。そこで,他の試験体との比較を 容易にするために,他の試験体と同等の R=1/30 (スタブ面から 150mm 位置で R=2.5%) と縮 小した時の回転角,および回転角増分を示して いる。図-7より、いずれの試験体においても、 スタブから 0.5D 程度の範囲(図中 115mm の 位置) で部材変形の 8 割程度の変形を生じて いることがわかる。特に、スタブ面の極近傍に 発生するひび割れに伴い発生する回転量はヒン ジ部における回転角の多くの割合を占めている。 ただし、Normal 試験体と、Type2、3 ではそ の割合が異なり, R=1/50 時では Normal 試験 体で約7割, Type2, 3 試験体で約4割, R=1/30 時では Normal 試験体で約 6 割, Type2, 3 試 験体で約3割強となっており、柱脚部に重度





図-9 コンタクトポイントの移動量から求めた圧縮縁ひずみ

の横補強をもつ試験体ではスタブ極近傍での回 転集中が緩和される傾向にある。一方,スタブ 面より 115mm を超える領域では,Normal 試 験体の 115mm-145mm の領域で,ひび割れ の影響を受けて回転角増分がやや大きくなって いるものの,絶対値としての回転角増分は小さ く,全体としては,Normal 試験体も Type2, 3 試験体も大きな違いはない。柱中央よりの重 度の横拘束は,3.2 で述べたようにせん断ひび 割れの進展を防ぐ効果はあるものの,コンクリ ートを拘束することによる損傷抑制効果はない といえる。

3.4 圧縮部コンクリートの状態

a)コンタクトポイントによる検討

図-8は、最初の載荷時に圧縮を受ける側の最 外縁ひずみをコンタクトポインタを用いて計測

> したものである。同図によれば, R=1/200 時のひずみは、全てのモデルでほぼ同じ 値を示しているのに対し, R=1/100 以 上の値において Normal 試験体と Type2, 3試験体では、最もスタブに近い部位(30 -70mm 間の位置)の値に違いが生じ る。即ち, Normal 試験体では R=1/100 時約0.35%, R=1/80時約0.4%と増加 しているのに対し, Type2, 3 試験体で は R=1/100, 1/80 時にかかわらず, お よそ 0.25%である (図中の二の箇所)。 この結果は,前項 3.3 で Normal 試験体 に比べて Type2,3 試験体の回転角がス タブ極近傍での回転集中が緩和されてい る結果と一致する。従って、Type2、3 試験体の柱脚部の重度の横補強が、コン ファインド効果によりコア部コンクリー トの圧縮強度および剛性を高めているこ とが推察できる。

b) 写真による検討

図−9 に Normal と Type2 試験体の R=1/80 時における圧縮側最外縁近傍の 測定ポイントの移動量と,そこから計算 される測定ポイント−スタブ間の平均ひ ずみを, 圧縮側のひび割れの影響の小さいと思 われる(b),(e),(g)について示す。なお,参考の ため同図には R=1/80 時点での柱脚スタブ面極 近傍のひび割れ状況写真も添付している。図-9 より全ての測定ポイントがスタブ面での中立軸 位置(3.2 項に示すように圧縮縁よりおよそ 5 ~7cm の位置)を中心に回転している様子が 見て取れる。測定ポイントースタブ間の平均ひ ずみを比較すると, 測定ポイント(b) ース タブ間では Normal 試験体の値(0.8%)が Type2 の約 1.5 倍程大きな値となっている。これは,

Type2 試験体の柱脚部に配置された重度の横補 強筋のコンクリート拘束効果により,コア部コ ンクリートの剛性および圧縮強度が上昇したこ とにより,ひずみの増加が抑制されたと推測さ れる。ただし,その値はそれぞれ0.8,0.5%と, 通常のコンクリート圧縮強度時ひずみの約2.5 ~4 倍にもなる大きな値であり,実際コンクリ ートに発生しているひずみとは考えにくく,相 当量の柱部のスタブ部へのめりこみが予想され る(より詳細な検討を行うためにはカメラの解 像度が不足している)。(c)~(g)-スタブ間の値 については,両試験体で大きな差はない。

4. まとめ

RC 柱部材において,補修領域の明確化と, その変形機構の解明の容易化を目的として,部 材の塑性ヒンジ発生位置を重度の横補強筋を用 いることにより限定した RC 柱部材の曲げせん 断実験を行い以下の知見を得た。

- (1) 重度の横補強筋の配置の有無にかかわらず、 引張側に発生する主たるひび割れ本数は同 じ(3本)であり、ヒンジ部の変形の5割 以上がスタブ極近傍に発生するひび割れに 起因している。
- (2) 柱脚部の重度の横補強は、主筋-コンクリ ート間の付着を低下させるため、2番目(ス タブ側から数えて)のひび割れ発生位置は 通常配筋のものに比べて柱中央よりとなる。
- (3) 部材中央よりの重度の横補強は、せん断ひ

び割れの進展を抑制する点では効果がある が、コンクリートを拘束することによる塑 性ヒンジ発生位置を限定させる点において は効果がない。

- (4) 部材角 1/100 を超える変形域において、柱 脚に重度の補強筋を配置した部材では、配 置されない部材に比べてスタブ極近傍での コンクリート圧縮縁ひずみの集中を緩和で きる。また、ヒンジ部での回転のスタブ極 近傍への集中を抑制できる。
- (5) デジタルカメラを用いたスタブ極近傍の圧縮縁ひずみの値は、通常のコンクリート圧縮強度時ひずみの数倍の値となることから、相当量の柱部のスタブ部へのめりこみを予想することが妥当である。

本研究は,日本学術振興会科学研究費補助金 (若手研究(B) 課題番号 14750478 代表:大 阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻 講師 岸本 一蔵)の交付を受けて行った。

謝辞

本研究に関し、大阪大学大野研究室助手の中川 隆夫氏、同大学院生の仁科誠冶氏、山口雄二氏 にご協力頂きました。ここに記して謝意を表し ます。