

[2109] 鉄筋コンクリート柱の降伏ヒンジ位置設定方法に関する研究

正会員 ○大久保全陸 (九州芸術工科大学芸術工学部)

原田知明 (九州芸術工科大学大学院)

1. はじめに

現在、日本建築学会で開発中の鉄筋コンクリートラーメン構造に対する終局強度型耐震設計法では、曲げ降伏ヒンジ位置を予め設定し、そこに必要な強度と靱性を確保させることが基本方針の一つとして取り上げられている。設定される降伏ヒンジの位置は、一般には柱と梁の接合部分の梁端であるが、1階では柱脚とすることが推奨されている。

柱に降伏ヒンジを設定する時、耐震要素として扱われない腰壁が骨組み中に存在する場合には、腰壁と柱との接合部には構造目地を設けて腰壁の不明瞭な影響を回避し、設定する位置に降伏ヒンジが確実に形成されるようにする必要がある、このためのディテール設計法に関しては、諸氏の研究がある。(文献1)

しかし、腰壁をウォールガーダー形式として耐震要素扱いする場合、あるいは腰壁に構造目地を設けずに設計する場合等において柱に降伏ヒンジを形成させる場合には、通常の配筋のままでは、次のような不都合が生じることが予想される。即ち、腰壁に平行なラーメン応力に対して想定される柱の降伏ヒンジ位置は、腰壁上端近傍であるのに対して、それと直交方向のラーメン応力に対して想定される柱の降伏ヒンジ位置は、柱脚のスラブ上端近傍となり、地震時の2方向曲げの状況を想定すると、降伏ヒンジ位置が不明となることである。柱の耐震設計は、本来、2方向曲げに対して設計されるのが基本であり、その場合に設定される降伏ヒンジ位置は任意方向の曲げに対して常に同じ位置であるべきであると考えられる。

筆者らは、この研究において、柱主筋量を調節することによって、ウォールガーダーまたは腰壁上端位置に柱の降伏ヒンジを形成させることを目的として予備実験を行い、1)設定した位置に曲げ降伏ヒンジを形成させることの可能性、2)その場合の復元力特性の安定性、の2点に重点をおいて結果の検討を現在行っている。本報告では、先ず実験結果と1)の曲げ降伏ヒンジを形成させることの可能性についての検討結果を報告する。

2. 実験計画と実験方法

2. 1 試験体

降伏ヒンジ位置を設定する場合に、ウォールガーダーに比べて腰壁の場合の方が色々難しい問題が存在することが予想されることを考え、本実験では腰壁付き柱を対象とした。試験体は、図1.1~1.6に示す片持ち梁形式とし、主軸曲げとした。片持ち梁形式とした理由は、作用モーメントを明確にしたかったためである。また降伏ヒンジ位置の形成のされ方には、軸力の存在は直接関係しないと考え、軸力は0とした。

図1.1~1.6及び表1に示すように、6体の試験体のうち、No.1と2は腰壁に平行な主軸曲げを対象とし(腰壁と柱の芯は一致)、No.3と4は腰壁に直交する主軸曲げを対象としている(腰壁は柱の片面に偏心)。No.1と3は従来型の配筋であるが、No.2と4は、腰壁上端が曲げに対する危険断面となるように腰壁より下方の主筋量が増加されている。また、No.5と6は腰壁なしの試験体であり、No.5は仮想腰壁上端位置が危険断面となるようにNo.4と同様に主筋を配したものの、No.6は腰壁を

表1 試験体形状一覧

試験体	加力方向	形状	配筋
No.1	腰壁に平行	腰壁付き(中心)	従来型
No.2	腰壁に平行	腰壁付き(中心)	U型筋
No.3	腰壁に直交	腰壁付き(偏心)	従来型
No.4	腰壁に直交	腰壁付き(偏心)	U型筋
No.5	—	腰壁無し	U型筋
No.6	—	腰壁を削	従来型

表2 使用材料の力学的性質

CONCRETE	Fc(kg/cm ²)	c/E(%)	Fsp(kg/cm ²)	Ec(kg/cm ²)
	230.0	0.21	19.3	1.93×10^5
STEEL BARS	σ_y (kg/cm ²)		σ_t (kg/cm ²)	
	D13	3420	4950	母主筋
	D13	3790	5790	基礎主筋
	D6	3790	5340	帯筋・壁筋

表3 各試験体諸強度

試験体	降伏荷重時				最大荷重時		
	荷重(t)		変形(mm)		荷重(t)		変形(mm)
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
No.1	8.94	10.60	2.53	1.70	10.00	11.10	6.57
No.2	10.42	10.60	2.20	1.70	11.91	11.10	7.16
No.3	5.36	10.60	3.94	1.70	6.37	11.10	10.02
No.4	9.72	10.60	3.64	1.70	11.06	11.10	11.55
No.5	9.72	10.51	6.47	1.70	11.29	11.10	13.29
No.6	10.25	10.60	1.24	1.70	12.37	11.10	4.09

剛に仮想し、腰壁より上部のみを取り出した形の試験体である。

柱の帯筋量は、腰壁上端位置を危険断面と考え大野・荒川min.式を参考にして決定した。表

2の材料強度を使用したときの大野・荒川min.式によるせん断終局強度 Q_{su} と腰壁上端位置での曲げ終局時せん断力 Q_{bu} ($=0.9\alpha t\sigma_y d/a$, a:加力点から腰壁上端までの距離)との比 Q_{su}/Q_{bu} は、約1.41である。

2. 2 使用材料の力学的性質

表2に鉄筋とコンクリートの材料試験結果を示す。

2. 3 加力・測定方法

水平荷重は、各試験体ともその降伏時変形を基準として変位漸増による繰り返し加力とした。測定項目については、腰壁上端より下方に重点をおいて主筋に歪ゲージを貼付し、また、No.1, 2, 5, 6試験体は、柱表面に板バネ型変位計をセットして曲率分布を測定した。

3. 降伏ヒンジ位置の検討

主筋を降伏させた±1サイクル終了時の荷重変形曲線とひび割れ状況を各試験体についてそれ

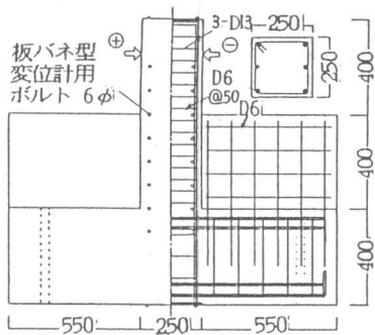


図1.1 No.1試験体

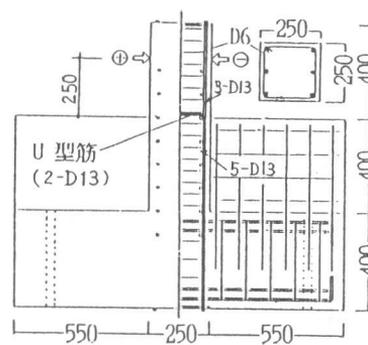


図1.2 No.2試験体

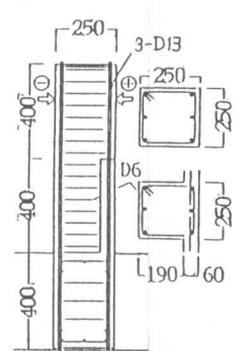


図1.3 No.3試験体

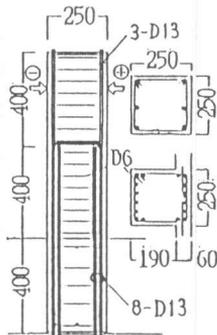


図1.4 No.4試験体

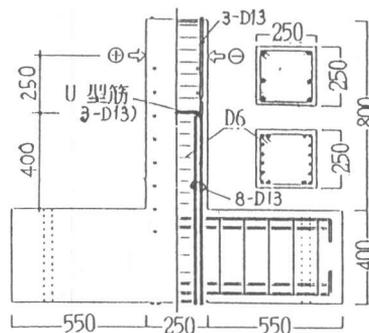


図1.5 No.5試験体

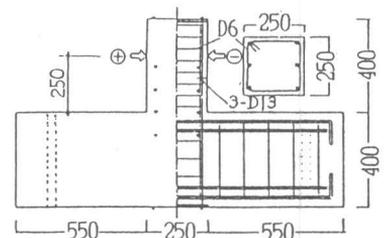


図1.6 No.6試験体

ぞれ図2と図3に示す。荷重変形曲線上のY点は柱主筋の曲げ降伏を示し、その添字は鉄筋降伏位置を腰壁上端レベルからの距離で示している。表3に各試験体の降伏荷重の実験値、計算値（e関数法）等を示す。また、図4に曲げ降伏(δy)時及び $2\delta y$ 時における柱の変形モード・引張鉄筋の歪分布・曲率分布を一覧表形式で表し、試験体相互を比較して示す。

3. 1 腰壁に平行な曲げの場合

No.1従来型配筋の場合には、腰壁上端から20cm下方にある歪ゲージが降伏を示し、そのあたりで曲げ降伏していることが推定される。曲率分布を見ると δy 時では、腰壁上端から10cm下のところまでの範囲が顕著に大きくなっている。正サイクル側で、 $2\delta y$ 時の変形レベルまで変形を進めた時に荷重が下がっているのはひび割れ図を見てもわかるように腰壁頂部の圧壊のためである。腰壁付き柱の場合、曲げ降伏ヒンジ位置が腰壁上端から少し下方にずれる点は、従来から指摘されているところであり(文献2)、この不明瞭な点を改善し、ヒンジ位置を明確にしようとするのが本研究の目的である。本実験のNo.1では、曲げ降伏の前に腰壁上端近傍のコンクリートが圧壊を開始しており、この点が降伏断面位置を大きく変化させた原因と考えられる。

No.2試験体では、降伏断面位置が腰壁上端となるように腰壁上端レベルより下方の柱にU型主筋を追加し、主筋量を5/3倍増加した(注1)。その結果、主筋の歪分布図にみられるように腰壁上端部で主筋の歪が急激に伸びており、その部分で降伏しているのがよくわかる。又、曲率分布からは、 δy 、 $2\delta y$ 時のどちらの時も腰壁上端よりも10cm上の範囲の値が大きくそのすぐ下の値が小さいことから、そこに変形が集中し腰壁上端部分で変形が変わっていることがわかる。これらのことから、ほぼ計画通り腰壁上端位置で主筋を曲げ降伏させることができたといつてよいと思われる。降伏荷重の実験値も比較用のNo.6とほぼ同等であった。また、変形モード図及びひび割れ図にみられるように、No.2では柱主筋の増加により腰壁付き部分の柱の水平変形が減少し、No.1でみられたような腰壁上端近傍のコンクリートの圧壊は起こらなかった。

3. 2 腰壁に直交する曲げの場合

No.3従来型配筋の場合は、腰壁が柱に偏心して接合されているため、T型梁の場合と同様な性質が表れ、腰壁が引張フランジとなる正荷重時と圧縮フランジとなる負荷重時とで性状が異り、歪

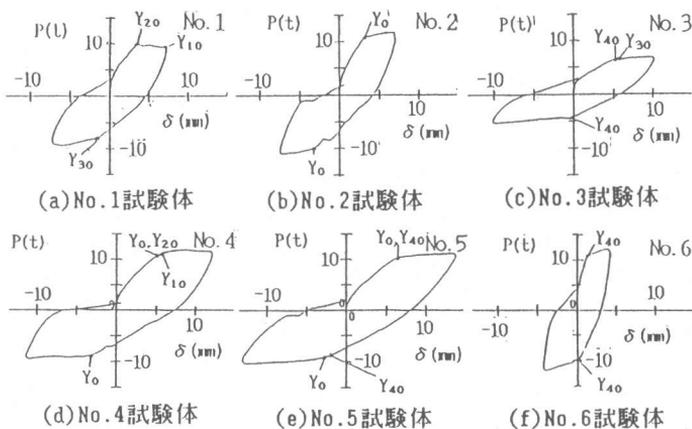


図2 各試験体荷重変形曲線

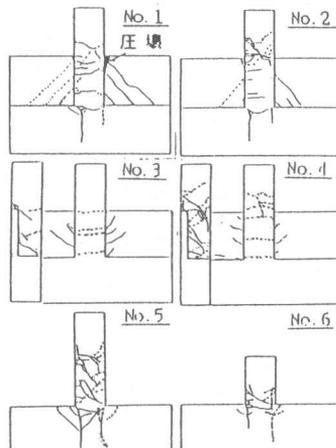


図3 各試験体ひび割れ図

(注1)腰壁がないものと仮定すると、作用モーメントの比率から、柱脚での必要主筋量は腰壁上端位置の2.6倍となるが、実際には腰壁がある程度拘束することを予想し、腰壁上端より下方の主筋量はそれより上方の5/3倍とした。

分布 (図4) に見られるように、腰壁が引張側となる時は腰壁上端から20cm~40cm下方で降伏し、腰壁が圧縮となる時は柱脚柱付け根部が降伏した。

一方、腰壁に直交する曲げに対しても降伏断面位置が腰壁上端となることを目標に腰壁上端より下方の主筋量を8/3 (約2.7) 倍増加させたNo. 4試験体では、試験体製作段階で主筋の一部を2段筋としたため、柱型断面だけで計算すると腰壁上端と柱脚の抵抗モーメントがほぼ同程度であったが、柱脚では腰壁のフランジ効果によって柱型断面だけより曲げ耐力が増加し、降伏ヒンジは腰壁上端に生じた。降伏荷重及び最大荷重の実験値は正負で若干差があるが、その平均値でみると表3に示すように比較用のNo. 5及びNo. 6とほぼ同等であり、e関数法による曲げ耐力の計算値ともほぼ一致した。

以上のように、腰壁に直交する曲げを受ける場合にも、主筋量の調節によって腰壁上端位置に降伏ヒンジ位置を設定することは可能であると思われる。

4. 結論

柱にウォールガーダーあるいは腰壁が接合され、柱の曲げ降伏断面位置がラーメンの2主軸方向に関して異なることが予想される場合に、柱の主筋量を調節することによって、各主軸方向の降伏断面位置を一致させることができることを確認できた。2主軸方向に対して降伏断面位置を揃えることができると、柱の2方向曲げに対する終局強度設計の道が開ける。

なお、本実験ではNo. 2及びNo. 4の場合、 $2\delta y$ 以後の繰り返し加力において柱のせん断破壊が起こり、荷重低下が生じた。復元力の安定性に関しては、軸力の影響も考慮し、さらに実験を行って検討する予定である。

【文献】

- 1) 平石久広、他：鉄筋コンクリート造腰壁付柱に設けたスリットの効果に関する研究、日本建築学会論文報告集、No. 362、昭和61年4月。
- 2) 荒川 卓、他：繰り返し荷重を受ける腰壁付RC柱の剛性と終局強度について、コンクリート工学年次論文集、No. 7、1985. 5、pp. 565-568。

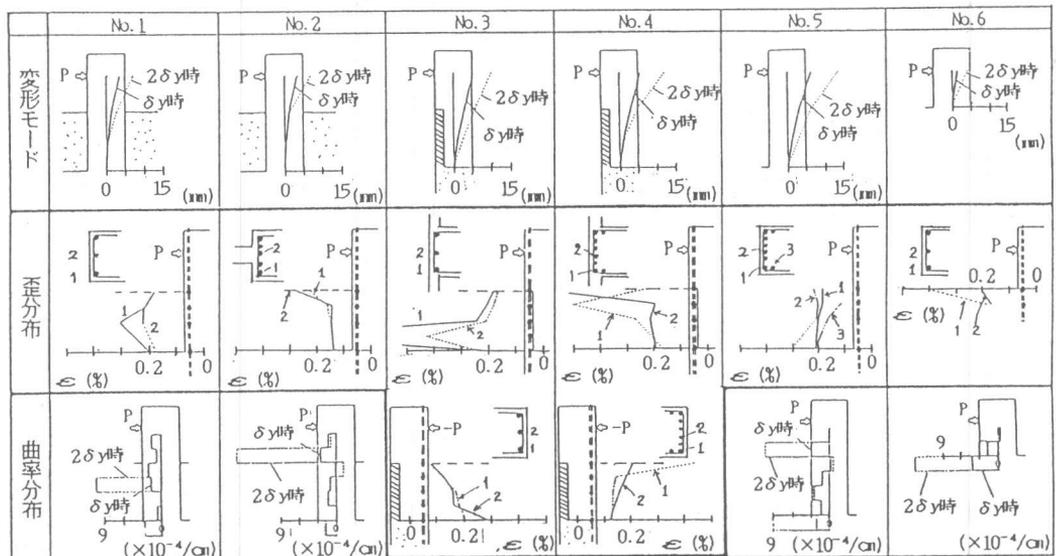


図4 降伏時の変形状況一覧