

RC中空断面柱部材の柱筋座屈抑制配筋法

鹿島技術研究所 須田久美子

” 新保 弘

” 増川 淳二

” 村山八洲雄

橋脚で採用される中空断面のRC部材について、地震時の最終破壊状態の一つである柱筋の座屈現象に着目し、これを拘束する配筋法(座屈防止筋)を提案し、縮小模型実験を行った。その結果、座屈防止筋を配置した試験体では柱筋の座屈が抑制されたことにより通常の配筋を行った試験体に比べ靱性率が向上し、座屈防止筋が耐震性向上に有効であることが確認された。

1.はじめに

曲げ破壊先行型のRC柱部材は、地震力のような正負交番荷重を受けた場合、柱筋の座屈と破断によって終局を迎える。中空断面の柱の場合には柱筋座屈後、かぶりコンクリートがなくなっても中立軸が内側に移動してある程度の曲げ耐力が残る。しかし、RC橋脚でよく採用される中空断面の柱では、柱筋が座屈すると圧縮フランジ部のコンクリートが圧縮力を負担できなくなるため、曲げ耐力が急激に低下する。したがって、中空柱部材の靱性を向上させるためには、柱筋の座屈を抑制することが重要であると考えられる。

柱筋の座屈を抑制する主な方法としては、以下の3つの方法が考えられる。

- a. 帯鉄筋量を増やす。
- b. かぶりコンクリートを厚くする。
- c. 建築柱部材のような中子筋を配置する。

橋脚に代表される土木構造物の柱部材では、断面寸法が大きく、一辺の長さが長くなるため帯鉄筋の曲げ剛性が非常に小さくなることや、帯鉄筋を分割して施工せざるをえなくなることから、a.の方法によって通常の帯鉄筋の配筋法で帯鉄筋量を増やしても柱筋座屈の拘束力はほとんど見込めないと考えられる。b.の方法は終局時の圧縮域に柱筋を配置しないことにより座屈を防止するものであるが、かぶりが過大となるため、設計の合理性から有効な方法とはいえない。c.の方法は、建築柱部材でよく採用さ

れている、柱の対辺の鉄筋を拘束するような中子筋を配置する方法である。この方法によれば柱筋座屈の拘束力のある程度自由にコントロールできると考えられるが、大断面や中空断面では施工が難しい。

そこで、ここでは中空断面の柱筋座屈の拘束効果と大断面での施工性を考慮した座屈防止筋を提案し、模型実験を行って座屈防止筋による靱性改善効果を検討した。

2.座屈防止筋

筆者らの既往の研究¹⁾より、柱筋の座屈は柱の変形に伴う曲率を持った柱筋に軸圧縮力が作用することで発生する柱筋の横方向への押し出し力、つまり柱筋の曲率と柱筋の軸圧縮応力の積が、かぶりコンクリートの割裂強度と帯筋の曲げ剛性による拘束強度の和を超えたときに発生することが示された。また、中空断面柱の交番加力実験後に試験体を切り開いて観察したところ、壁の外側の鉄筋は外側へ、内側の鉄筋は内側へ座屈することが確認された。つまり、壁の内外の柱筋を拘束するような配筋を行えば柱筋の座屈を抑制できる可能性が示された。

図-1にここで提案した座屈防止筋の外形と配置を示す。Aは従来から壁部材の幅止め筋として用いられているものと似た形状のものであるが、通常幅止め筋は柱筋にかけられるので、座屈拘束効果は柱筋1本にしか作用しない。そこで、ここではこれを帯鉄筋にかけることにより、帯鉄筋の曲げ剛性によって複数本の柱筋を拘束する効果を期待した。

BはAの施工性をさらに改善させ、一度に複数の柱

キーワード；耐震、中空断面、配筋法、模型実験
鹿島技術研究所第一研究部、0424-89-7076

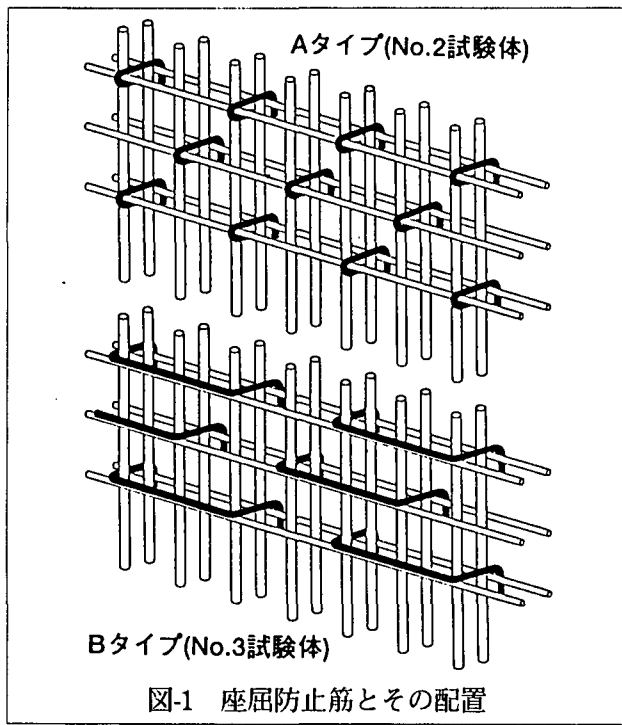


図-1 座屈防止筋とその配置

筋を拘束することを考えてここで提案するものである。これらの座屈防止筋は、通常の帯鉄筋を配筋した後に外部から差し込むことで施工できるため、施工性がよいと考えられる。

3. 試験体

実験には、座屈防止筋をパラメータとする3体のRC縮小模型を使用し、交番加力実験を行った。試験体の形状を図-2に示す。

今回の実験では座屈防止筋の効果を把握するため加力面の幅を広くする必要がある一方、試験体の曲

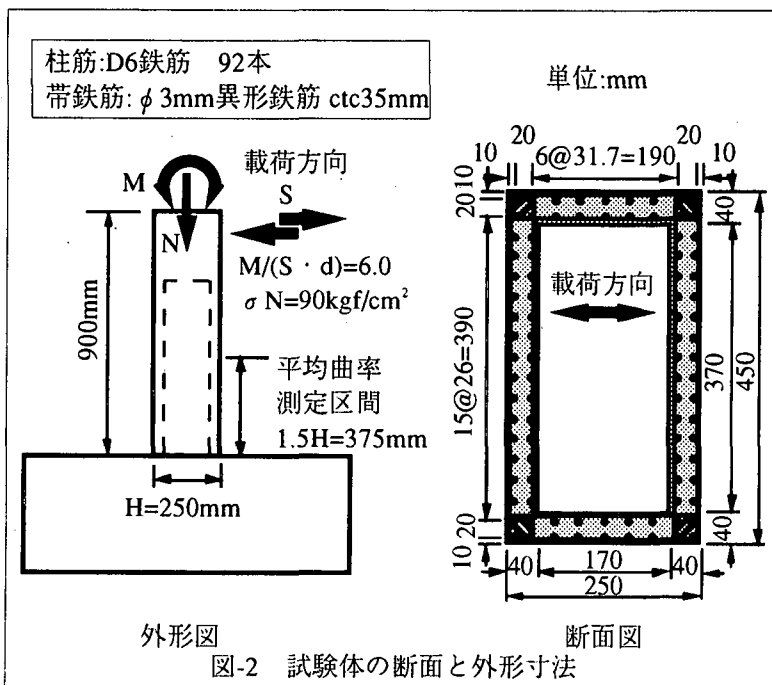


図-2 試験体の断面と外形寸法

げ耐力を加力装置の加力容量以下とするため、幅45cmに対し断面高さ24cmの扁平なものとなった。

模型の縮尺を表-1に示す。断面高さに対する壁厚やかぶり厚の比は、柱筋座屈に大きな影響を与えると考えられるので、極力縮尺を一定にした。

柱筋にはD6鉄筋を使用し、全断面に対する引張鉄筋比で1.11%(全断面に対する全鉄筋比で2.6%)とし、帯鉄筋にはφ3mm異形鉄筋を35mm間隔で配筋し、断面幅に対する帯鉄筋比は0.18%とした。鉄筋の材料特性を表-2に示す。

配筋はNo.1試験体を通常の中空断面での帯鉄筋配置とし、No.2試験体ではこれに加え、図-1のAに示す座屈防止筋を、No.3試験体では図-1のBに示す座屈防止筋を配置した。座屈防止筋にはφ3mm異形鉄筋を使用した。座屈防止筋を含めた帯鉄筋の体積比を表-3に示す。

本試験体は配筋が非常に高密度なため、通常のコンクリートでは充填が不十分になることが予想された。そこで、コンクリートには充填性の高いモルタル(最大骨材径5mm)を使用した。モルタルの実験時の材料特性を表-4に示す。

試験体断面の計算上の降伏時曲げモーメント(引張鉄筋図心位置での降伏ひずみ時)は11.1tf・m、降伏時曲率は $11 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 、ウェブのみ有効とした場合のせん断耐力は9.7tfである。せん断スパン比を6とすると曲げ降伏耐力は7.7tfとなり、計算上のせん断耐力が曲げ降伏耐力に近いことから、繰り返し加力による

壁接合部のせん断破壊も考えられるが、No.1試験体の破壊モードを確認した上で実験を進めた。

4. 実験方法

加力には6自由度加力装置¹⁾を用い、試験体柱頭部に曲げモーメントとせん断力を同時に加力することにより、柱基部においてせん断スパン比が6となるような加力を行った。また、柱筋を確実に座屈させるため、軸力は応力度で90kgf/cm²と大きくした。

表-1 模型の縮尺

	実物レベル	模型	縮尺
断面高さ	6m程度	240mm	1/25
壁厚	1m程度	40mm	1/25
かぶり厚	15cm程度	7mm	1/21

制御方法は、降伏荷重までは荷重制御で繰り返しなしの漸増交番加力、降伏荷重以降は降伏時の柱基部1.5H区間の平均曲率(1 ϕ y)の整数倍の変位制御で、繰り返しなしの漸増交番加力とした。

柱基部1.5H区間(Hは断面全高さ=250mm)の平均曲率は、計測フレームをフーチング面から高さ1.5Hの位置で試験体にピン固定し、フーチング面から計測断面までの相対変位を4点で測定することにより求めた。

表-2 鉄筋の材料特性

	断面積 cm ²	降伏強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²
D6鉄筋	0.273	2800	3940
ϕ 3異形鉄筋	0.071	3790	4900

表-3 コンクリート体積に対する横拘束筋の体積比

	横拘束筋 の体積比	試験体間 の比率
No.1試験体	0.38%	1.00
No.2試験体	0.56%	1.47
No.3試験体	0.56%	1.47

表-4 モルタルの実験時圧縮強度

	圧縮強度 kgf/cm ²	割裂強度 kgf/cm ²	弾性係数 $\times 10^5$ kgf/cm ²
No.1試験体	572	29.5	2.46
No.2試験体	651	37.1	2.59
No.3試験体	559	30.7	2.55

5.実験結果

写真-1にNo.1とNo.3試験体の破壊状況を示す。破壊までにかぶりコンクリートの剥離が生じた長さは、No.1試験体では25cm程度であったのに対し、No.2、No.3試験体では7cm程度となっており、座屈防止筋によって座屈が抑制されたことがわかる。

図-3に各試験体の基部作用モーメントと平均曲率の関係を示す。これより、No.1試験体が+5 ϕ yの荷重サイクルで耐力が急減したのに対し、No.2試験体No.3試験体では8 ϕ yの荷重サイクルまで降伏荷重以上の耐力を示している。各試験体の曲率靱性率 μ_ϕ で比較すると、No.1試験体では $\mu_\phi=5.9$ であったのに対し、座屈防止筋を配置したNo.2、No.3試験体ではどちらも $\mu_\phi=8$ と約35%改善されている。また、一般に曲率靱性率は変位靱性率に比べ過大評価になる傾向があるが、今回の実験は部分模型であるため、柱頭部の変形を直接計測することはできない。

そこで、実験で得られたモーメント-曲率関係から曲げ変形による柱頭部変位を算出し、これに抜けだし量から求められる柱頭部の水平変位を加算して柱頭部の変位による変位靱性率 μ_δ を推定した。その結果、No.1試験体では変位靱性率 $\mu_\delta=4.0$ であったのに対し、No.2、No.3試験体では $\mu_\delta=5.1$ と、変位靱性率でも約30%改善されていることがわかった。

また、図-4に各試験体の各加力サイクルでの基部1.5H区間でのエネルギー吸収量を示す。これより、4 ϕ yまではどの試験体もエネルギー吸収量に大差はない。しかし、No.1試験体は5 ϕ yで生じた柱筋の座屈に伴って耐力が大きく低下したが、座屈防止筋を配置したNo.2、No.3試験体では座屈時期が遅れ、5 ϕ y以降もエネルギー吸収があったことがわかる。

ただし、今回のNo.2、No.3試験体の最終的な破壊は壁の接合部におけるせん断破壊であった。これは、繰り返し加力によって接合部のせん断耐力が曲げ耐力以下に低下したことが原因と考えられる。したがって、接合部の補強が十分であれば座屈防止筋を配置した試験体ではさらに靱性が改善されていた可能性がある。

今回の試験体の計算上のせん断耐力と曲げ耐力は

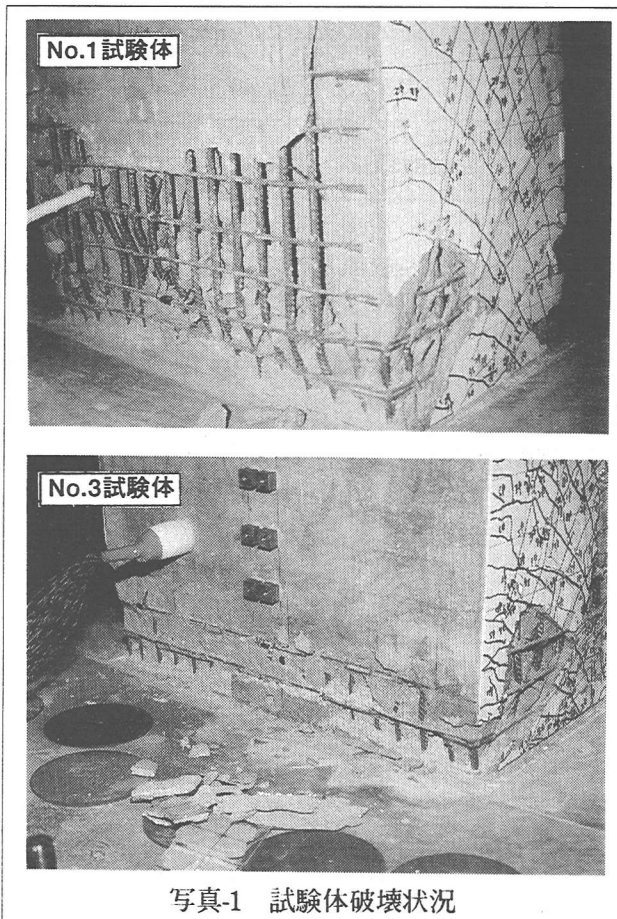


写真-1 試験体破壊状況

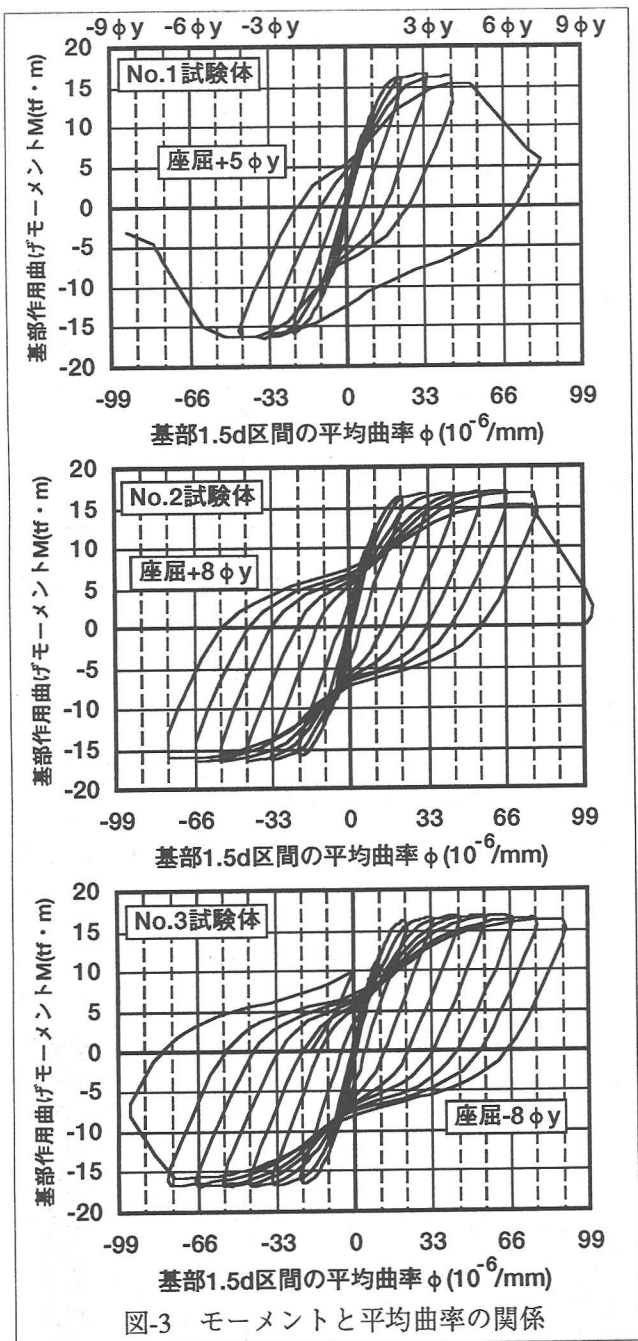


図-3 モーメントと平均曲率の関係

同一であるが、実験結果から、その靱性率には大きな差が見られた。靱性率の推定方法には曲げ耐力とせん断耐力の比からこれを求める方法も提案されて

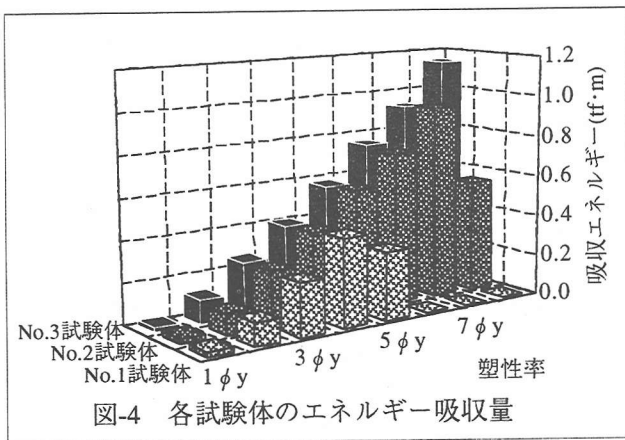


図-4 各試験体のエネルギー吸収量

いるが、今回の試験体のように座屈防止筋が配置されることにより、計算上の曲げ耐力とせん断耐力が同一の場合でも靱性率が大きく変化することが示された。従って、このような部材については、せん断耐力と曲げ耐力の比以外にも考慮すべきパラメータがあると考えられる。

7.まとめ

本実験より、中空断面柱部材の靱性改善には、壁の内外の柱筋を拘束するような座屈防止筋を配置することが効果的であることがわかった。また、今回採用したような配筋を行ったRC部材の靱性率の推定には、曲げ耐力とせん断耐力の比以外にも考慮すべきパラメータがあると考えられる。

今回の実験では座屈防止筋を配置した試験体では座屈防止筋の効果が大きく、試験体が壁の接合部でのせん断破壊となったため座屈防止効果の定量的評価はできなかったが、今後は合理的な座屈防止筋量の検討を行いたい。

【参考文献】

- [1]須田、村山、一宮、新保/交番繰り返し荷重下における柱筋の座屈挙動/JCI年講1994年
- [2]新保、村山/6自由度加力装置を用いたRC部材実験/JCI年講1992年

Reinforcing method to improve ductility of RC column with hollow section

Kumiko Suda, Hiroshi Shimbo, Junji Masukawa, Yasuo Murayama

Ultimate state of reinforced concrete column under axial load is subject to buckling of longitudinal reinforcing bars. Some new reinforcing methods (anti-buckling reinforcement) are proposed to improve the ductility of RC column with hollow section, and are tested with 3 scaled models.

With anti-buckling reinforcement, buckling of longitudinal bars are restrained and ductility factor of the column is modified over 30%. It was confirmed that the present anti-buckling reinforcement is effective to increase earthquake resistant ability of RC hollow column.