

帯鉄筋間隔の異なる RC 柱部材の力学特性と

軸圧縮耐荷力に関する実験解析

日大生産工(院) ○室橋 竜太 日大生産工 水口 和彦

日大生産工 阿部 忠 日大生産工 木田 哲量 日大生産工 櫻田 智之

1. はじめに

RC 柱部材の破壊時における断面力を照査する手法の一つとして軸方向圧縮耐力の上限式が規定されている¹⁾。しかし、この上限式は、RC 柱部材に対する帯鉄筋による横拘束を与えた場合の拘束効果を考慮したものとはなっていない。この問題に対処すべく、各研究機関では横拘束を考慮した耐力式の提案がなされている²⁾が、拘束用鋼材の材質、帯鉄筋の配置間隔、体積比等多くの影響因子があるため定式化されていないのが現状である。

そこで本研究では、RC 柱部材の横拘束筋となる帯鉄筋間隔に着目し、帯鉄筋間隔の異なる 4 種類の同一供試体に中心軸圧縮力載荷実験を行い、帯鉄筋間隔の違いが RC 柱の軸圧縮耐荷力および破壊形状に及ぼす影響と変形性能に関する考察を行うとともに、RC 柱の横拘束鉄筋のコア・コンクリート拘束強度比を用いた圧縮耐荷力算定式の提案を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

供試体のコンクリートには、早強ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂、5mm～20mm の砕石を使用し、設計基準強度を 40N/mm^2 とした。ここで、コンクリートの示方配合を表-1 に示す。また鉄筋は、主鉄筋に SD345A D10、帯鉄筋に SD345A D6 を使用した。

2.2 供試体寸法および鉄筋配置

柱モデルの供試体およびコア寸法は、現行コンクリート標準示方書の基準に基づいて製作し、それぞれ $150 \times 150 \times 600\text{mm}$ 、 $110 \times 110\text{mm}$ とした。公称帯鉄筋間隔は 200mm, 150mm, 100mm, 75mm の 4 種類とし、各 1 本ずつ作製

表-1 コンクリートの配合

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	水 (kg)
18	4.5	49.4	51.7	166
セメント	細骨材	粗骨材	混合剤	
早強 (kg)	砕砂 (kg)	20mm (kg)	レオピルド 8000S (kg)	マイクロエア 202 (ml)
336	953	865	2.18	13

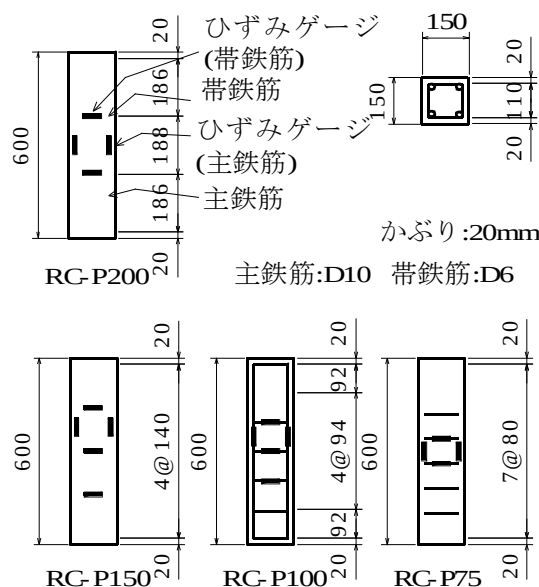


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

した。なお、供試体名称は、それぞれ RC-P200, RC-P150, RC-P100, RC-P75 とする。ここで、供試体寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

2.3 荷重載荷方法

荷重載荷方法は、載荷容量 5000kN の圧縮試験機により、荷重を 20kN ずつ増加させる段階載荷とした。また、荷重 500kN ごとに大きさを 0kN に減少させる包絡荷重として供試体が破壊に至るまで荷重の増減を繰り返し行った。

Experimental analysis on mechanical properties and axial compressive load-carrying capacity of RC columns in case of different tie spacing
Ryuuta MUROHASHI, Kazuhiko MINAKUCHI, Tadaki ABE, Tetsukazu KIDA
and Tomoyuki SAKURADA

表-2 最大耐力と耐力比

供試体	最大耐力 (kN)	耐力比
RC-P200	1225.3	-
RC-P150	1286.6	1.05
RC-P100	1372.2	1.12
RC-P75	1507.1	1.23

3. 実験結果および考察

3.1 実験最大耐力

実験より得られた各供試体の最大耐力を表-2に示す。同表より各供試体の最大耐力は、供試体 RC-P200, RC-P150, RC-P100, RC-P75 でそれぞれ 1225.3kN, 1286.6kN, 1372.2kN, 1507.1kN となった。ここで、供試体 RC-P200 の耐力を基準として、耐力を比較すると、RC-P150, RC-P100, RC-P75 でそれぞれ 1.05 倍, 1.12 倍, 1.23 倍の耐力の増加が見られた。

次に、耐力と帯鉄筋間隔の関係を図-2に示す。同図より、帯鉄筋間隔が密になるにつれて、耐力は線形的に増加していることが分かる。したがって、主鉄筋と帯鉄筋の格子効果によって横拘束を与えることで、より高い耐力に繋がることが明らかとなった。

3.2 破壊形状

実験より得られた各供試体の破壊形状を図-3に示す。同図より、各供試体のかぶりコンクリートのはく離は、帯鉄筋間隔が広くなるにつれて激しくなっており、供試体 RC-P200, RC-P150 では、有効断面が深く欠損している。最終的な破壊は主鉄筋の座屈に

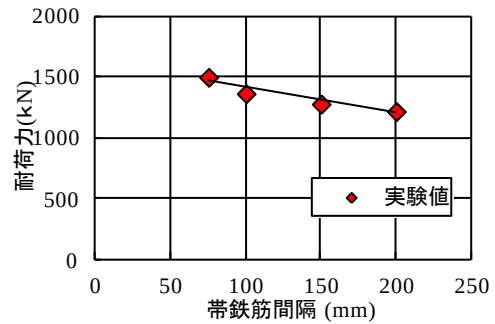


図-2 耐力と帯鉄筋間隔の関係

よるコア・コンクリート部分の脆性的なせん断破壊となった。この破壊形状は、せん断耐力が十分に確保されていない場合に発生するものである。このことより、座屈した主鉄筋には帯鉄筋間隔が 150mm 以上の中間間隔の場合には帯鉄筋と間のコア・コンクリートの定着がなされておらず側圧が有効に作用していないものと考えられる。

次に、供試体 RC-P100, RC-P75 では、かぶりコンクリート部分のはく離は広範囲にわたって見られるものの、コア・コンクリート部分でのせん断破壊は生じておらず、終局時においてもコア内部はかなり密な状態を保っている。したがって、帯鉄筋間隔を密にすることによって横拘束の効果が発揮されて、じん性向上の役割を担わせることができるものと考えられる。

3.3 荷重と主鉄筋、帯鉄筋のひずみの関係

荷重と主鉄筋、帯鉄筋のひずみの関係を図-4、図-5に示す。

図-4より、主鉄筋のひずみは各供試体ともに荷重の増加に対し線形的な増加がみられる。また、帯鉄筋間隔が大きくなるにつれて初期段階よりひずみの増加傾向が大きくなってい



(1) RC-P200



(2) RC-P150



(3) RC-P100



(4) RC-P75

図-3 破壊形状

る。さらに、主鉄筋の降伏ひずみは、材料特性値より算出すると 2000×10^{-6} 程度であるが、帯鉄筋間隔が密になるにつれて主鉄筋降伏後も大きな変形を呈しており、じん性能が向上していることが確認できる。

図-5 より、帯鉄筋のひずみは各供試体ともに荷重の増加に対して線形的な増加がみられ、帯鉄筋間隔が大きくなるにつれてひずみの増加傾向が大きくなっていることがわかる。これは、帯鉄筋間隔を密にした場合、荷重増加によるコア・コンクリートのはらみ出しを隣接の帯鉄筋が共働して抑制することから、分散効果が発揮されてひずみの増加が抑制されたものと考えられる。

4. RC 柱の軸方向圧縮耐荷力評価式の現状

設計軸圧縮耐荷力の上限 N'_{oud} と設計軸圧縮荷重 N'_d の比は構造物係数 γ_i と軸方向圧縮力を受ける部材の軸方向圧縮耐荷力係数（＝1.0～1.2）より小さくならないように、軸圧縮荷重を受ける部材を設計しなければならない。設計曲げモーメント M_d と設計軸圧縮荷重 N'_d との比 M_d/N'_d がごく小さい部材の終局抵抗力は、施工段階での部材の不整合初期誤差によって生じる僅かな曲げモーメント増加によっても大きく低下する。このような問題を避けるために、軸圧縮耐荷力に上限が設定されており、かつ部材係数 1.3 が採用されている。軸圧縮耐荷力を受ける部材における軸方向圧縮耐荷力の上限値 N'_{oud} は、帯鉄筋を使用する場合、式(1)から、算定することになっている。

$$N'_{oud} = \frac{(K_1 f'_{cd} A_c + f'_{yd} A_{st})}{\gamma_b} \quad (1)$$

ここで、 A_c ：コンクリートの断面積(mm^2)
 A_{st} ：軸方向鉄筋の全断面積(mm^2)、 f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度(N/mm^2)、 f'_{yd} ：軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度(N/mm^2)、 K_1 ：強度の低減係数(=1-0.003 f_{ck} <0.85)、 f_{ck} ：コンクリート強度の特性値(N/mm^2)、 γ_b ：部材係数(一般に 1.3)

式(1)における分子の第 1 項目はコンクリート分担能、第 2 項目は鉄筋の分担能、となっており、それらの合算により軸方向圧縮耐荷力の上限値を算出している。したがって、帯鉄筋配置をした場合の横拘束による拘束効果は式(1)には考慮されていないことが分かる。

一方、RC 柱の軸方向圧縮耐荷力では、主鉄筋自体の単純圧縮強度を完全に発揮しておら

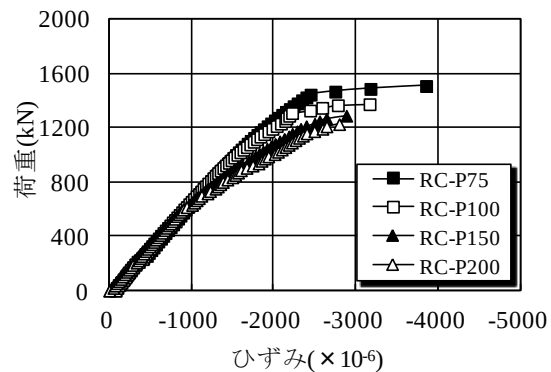


図-4 荷重-主鉄筋ひずみ

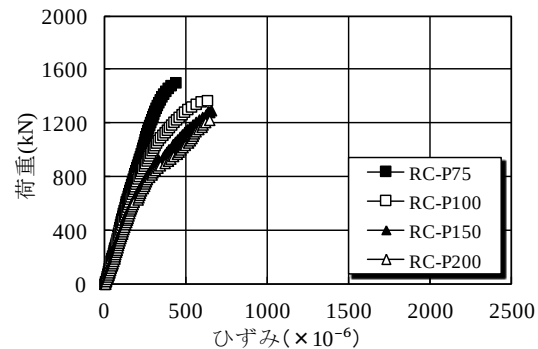


図-5 荷重-帯鉄筋ひずみ

ず、主鉄筋の強度が RC 柱の耐荷力に及ぼす効果が顕著に表れない³⁾ことが報告されている。加藤ら^{4),5)}は、RC 橋脚の主筋座屈を単純モデル化したうえで、座屈効果を考慮した上方限界耐荷力評価式 N'_{oub} を式(2)のように提案している。

$$N'_{oub} = A_e f'_c + A_s \sigma'_s \quad (2)$$

ここで、 A_e ：コンクリートの全断面積(mm^2)、 f'_c ：コンクリートの設計圧縮強度(N/mm^2)、 A_s ：軸方向鉄筋の全断面積(mm^2)、 σ'_s ：座屈応力(N/mm^2)

このように、帯鉄筋による横拘束をなした RC 柱の軸方向圧縮耐荷力の評価式は幾つか提案されている。しかし実際には、帯鉄筋は柱の横方向拘束を図るものであり、コア・コンクリートの見かけの強度増加の要因に含まれていないのが現状である。そこで本研究では、帯鉄筋配置によるコア・コンクリートの見かけの強度増加、すなわち拘束強度比を用いた RC 柱部材の軸方向圧縮耐荷力式の提案を行うこととする。

5. RC 柱の耐荷力と帯鉄筋間隔の関係

図-6 は、RC 柱の拘束強度比(=実験耐荷力／理論耐荷力)と帯鉄筋間隔との関係である。帯鉄筋間隔は、コンクリート標準示方書に規定される¹⁾最大帯鉄筋間隔が部材断面の最小寸

表-3 理論値と耐力比の関係

供試体	コンクリートの 圧縮強度 (kN)	最大耐力 (kN)	式(1)を用いた 場合の理論値	耐力比 (最大耐力/ 式(1))	式(4)を用いた 場合の理論値	耐力比 (最大耐力/ 式(4))
RC-P200	55.3	1225.3	1194	1.03	1216.3	1.01
RC-P150		1286.6		1.08	1289.4	1.00
RC-P100		1372.2		1.15	1400.0	0.98
RC-P75		1507.1		1.26	1484.2	1.02

法以下、すなわち本実験の供試体においては150mmで各供試体の帯鉄筋間隔を除いて無次元化させたものを用いて検討した。

同図より、柱の拘束強度比は帯鉄筋間隔が密になるにつれて増大しており、この傾向は重拘束になるほど著しくなる。よって、主鉄筋と帯鉄筋の双方の格子効果による適切な横拘束を与えることにより、高耐力へと繋がる。逆に、帯鉄筋間隔がある間隔以上となった場合は、横拘束はあまり顕著な効果を示さず、帯鉄筋柱に対する基本設計式である式(1)によって与えられる上方限界耐力に接近する。また、拘束強度比と帯鉄筋間隔の関係は式(2)に示す近似相関式として得られる。

$$\alpha = 1.0799 \left(\frac{s}{D_0} \right) \quad (2)$$

ここで、 α ：拘束強度比、 s ：帯鉄筋間隔(mm)、 D_0 ：基準間隔(150mm)

5.1 拘束強度比を適用した軸圧縮耐力算定式

帯鉄筋間隔を考慮した RC 柱部材の軸方向圧縮耐力式は、式(2)の相関式を側圧の係数として式(1)に導入することによって式(3)として与えられる。

$$N'_{ou} = \alpha \cdot N'_{oud} \quad (3)$$

ここで、 N'_{ou} ：帯鉄筋を考慮した軸方向圧縮耐力の上限値

式(3)より軸方向圧縮耐力の算出した結果を表-3に示す。同表より、P200、P150、P100、P75でそれぞれ1216.3kN、1289.4kN、1400.0kN、1484.2kNとなった。これを実験値と比較すると、耐力比は0.98～1.02倍となっており、理論値と実験値は近似している。

4. まとめ

①帯鉄筋間隔を密にすることにより、最大耐力は線形的な増大がみられた。したがって、主鉄筋と帯鉄筋の双方の格子効果による適切な横拘束は高耐力に連携することが明らかとなった。

②帯鉄筋間隔の違いにより破壊形状が異なる

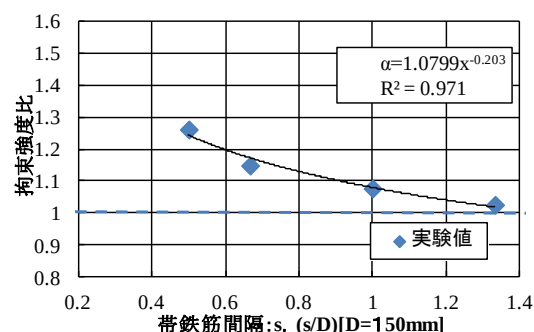


図-6 拘束強度比と帯鉄筋間隔の関係

ことが判明した。本供試体の場合は、帯鉄筋間隔が柱部材の横寸法150mm以上の場合は、帯鉄筋による側圧は有効に機能していないことが示された。

③荷重と主鉄筋ひずみの関係より、帯鉄筋間隔が密になるにつれて主鉄筋降伏後も大きな変形を呈しており、帯鉄筋間隔を小さくすることでじん性能を向上させることが明らかとなった。

④帯鉄筋間隔と拘束強度比の関係から得られた相関式を側圧の係数として軸圧縮耐力算定式の提案を行い、これによる理論値と実験値は近似することを示した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(2007)
- 2) Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. : Theoretical stress-strain model for confined concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.114, No.ST8, (1988), pp1827-1849
- 3) 樋口盛一、斎藤秀雄：弾性および材料力学、養賢堂、(1966), pp112-119
- 4) K.Kato, N.Kato, N.Iwasaka: Improvement of Loading Capacity of RC Column Confined by Heavy Reinforcement, Proc.38th Japan Cong. Mat.Res., (1995), pp272-279
- 5) M.Sudo et al.: Load-Carrying Capacity of Laterally Confined RC Column Considering Buckling of Primary Rebar, Theoretical and Applied Mechanics., Vol.50, (2001), pp115-123