

UFC および CF を用いた公共構造物の部材の安全性と再生化技術に関する研究

帶鉄筋間隔の異なる RC 柱部材の力学特性

水口 和彦（日大生産工・助教）木田 哲量（日大生産工・教授）
阿部 忠（日大生産工・教授）澤野 利章（日大生産工・教授）

1. はじめに

RC 橋脚には、経済性を考慮した主鉄筋段落し部が設けられているが、段落し部の定着長が短いものや帶鉄筋量が少ないものがあり、先の兵庫県南部地震では、これが致命傷となって損傷した橋脚が幾つも見られた（図-1¹⁾）。このようなことからも、新設する橋脚には、帶鉄筋間隔を密にすることにより、帶鉄筋にじん性向上の役割を担わすような構造とするように示方書等の基準が改定された^{2,3)}。

本研究は、RC 柱部材の帶鉄筋間隔が異なる 4 種類の供試体に軸圧縮力載荷実験を行い、帶鉄筋間隔の違いが耐荷力および破壊形状に及ぼす影響を検討するとともに、RC 柱の横拘束鉄筋のピッチの縮少による三軸拘束コア・コンクリート強度の増加傾向を示し、これが拘束効果となるコア・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ものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

コンクリートには、早強ポルトランドセメントと最大寸法20mmの粗骨材を使用し、設計基準強度を36N/mm²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、鉄筋には、主鉄筋にSD345A D16、帶鉄筋にSD345A D13を使用した。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-2に示す。

2.2 供試体寸法および鉄筋配置

柱モデルの供試体寸法およびコア寸法は、それぞれ 250×250×900mm, 190×190 mm とした。公称帶鉄筋間隔は300mm, 200mm, 150mm, 100mm の4種類で、各2本供試体を作製した。なお、供試体名称はそれぞれ RC-300, RC-200, RC-150, RC-100 とする。ここで、供試体寸法および鉄筋配



図-1 RC 柱主鉄筋の座屈¹⁾

表-1 コンクリートの示方配合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	水 (kg)
18	4.5	49.9	51.7	166
セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
普通 (kg)	碎砂 (kg)	20mm (kg)	レオビルド (kg)	マイクウェア (mℓ)
336	953	865	2.18	13

表-2 材料強度特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 N/mm ²	鉄筋 (SD345A,D16,13)		
		降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
RC-300,200 150,100	38.9	365	510	200

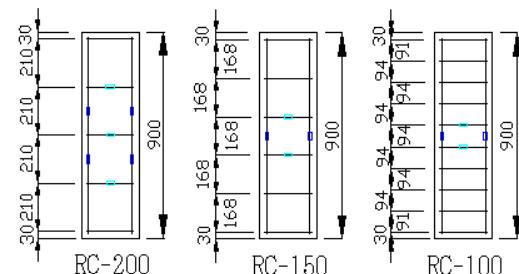
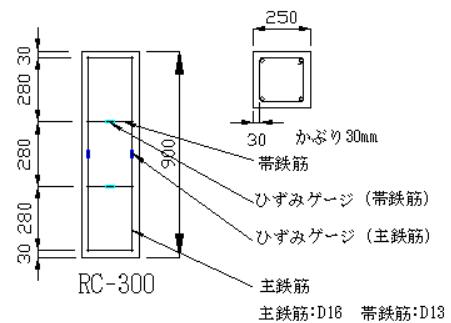


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

置を図-2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100kNずつ増加させる段階載荷とした。また、荷重1000kN増加ごとに荷重を0kNに減少させる包絡荷重として供試体が破壊するまで荷重の増減を繰り返し行った。

3. 実験結果および考察

3.1 実験最大耐荷力

実験より得られた各供試体の最大耐荷力および拘束比を表-3に示す。

同表より、各供試体の平均耐荷力は、供試体 RC-300, RC-200, RC-150, RC-100でそれぞれ 257.9kN, 307.8kN, 332.0kN, 425.6 kN となった。ここで、RC-300を基準として耐荷力を比較すると RC-200, RC-150, RC-100でそれぞれ1.19倍, 1.29倍, 1.65倍の耐荷力の増加が見られた。次に、耐荷力と帶鉄筋間隔の関係を図-3に示す。同図より、帶鉄筋間隔が密になるにつれて、耐荷力はほぼ線形的に増加していることが分かる。

3.2 破壊形状

各供試体の破壊形状を図-4に示す。同図より、かぶりコンクリートのはく離は、帶鉄筋間隔が大きくなるにつれて激しく現れ、供試体 RC-300, RC-200 では有効断面が深く損傷しており、最終的な破壊は主鉄筋の座屈によるコア・コンクリート部分の脆性的なせん断破壊となった。このことより、座屈した主鉄筋は帶鉄筋間隔 200mm 以上の中间間隔の場合にはコア・コンクリートに付着していないために側圧が有効に作用していないものと



(a) RC-300



(b) RC-200



(c) RC-150



(d) RC-100

図-4 破壊形状

表-3 最大耐荷力および耐荷力比

供試体	実験最大耐荷力 (kN)	平均耐荷力 (kN)	耐荷力比
RC-300-1	2562	2578.5	—
RC-300-2	2595		
RC-200-1	3155	3077.5	1.19
RC-200-2	3000		
RC-150-1	3457	3319.5	1.29
RC-150-2	3182		
RC-100-1	4532	4256.0	1.65
RC-100-2	3980		

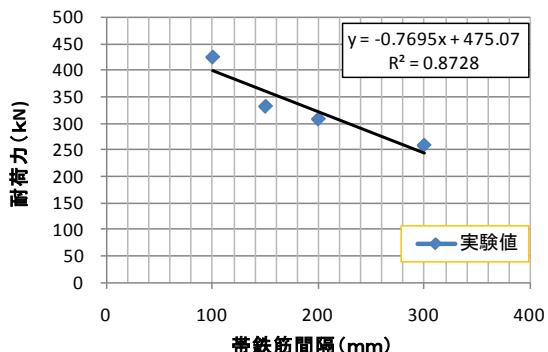


図-3 耐荷力と帶鉄筋間隔の関係

思われる。それに対して供試体 RC-150, RC-100 では、かぶりコンクリート部分の剥落は見られるものの、コア・コンクリート部分でのせん断破壊は見られず、終局時においてもかなり密な状態となっている。したがって、帶鉄筋間隔を密にすることによって拘束力が向上し、じん性向上の役割を担わせができるものと考えられる。

3.3 荷重とたわみ・残留たわみの関係

荷重と主鉄筋および帶鉄筋のひずみ関係を図-5, 6, 荷重と主鉄筋の残留ひずみの関係を図-7

に示す。

図-5より, 各供試体とともに荷重の増加に対し線形的なひずみの増加がみられる。また, 帯鉄筋間隔による比較を行うと, 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示しており, じん性能が向上していることが確認できる。

図-6より, 各供試体とともに荷重の増加に対し線形的なひずみの増加となっており, 帯鉄筋間隔が密になるにつれてひずみ量が大きくなっている。これは, 帯鉄筋間隔を密にすることでコア・コンクリートのはらみ出しを抑制し, 主鉄筋と帶鉄筋による格子効果が有効に機能するためであると考えられる。

図-7より, 荷重と残留ひずみの関係では, 供試体 R300 の残留値がほとんど見られず, 帯鉄筋間隔が密になるにつれて残留値が大きくなっている。これは, 帯鉄筋間隔が大きい場合には帶鉄筋による横拘束が得られず, コア・コンクリート内部より脆性的なせん断破壊が生じるためである。

4. 帯鉄筋による拘束効果の検討

本研究では, コンクリート柱部材に関する横拘束効果が強度に及ぼす影響に着目し, 帯鉄筋間隔が横拘束効果に係わる検討を行った。

4.1 RC 柱の軸方向圧縮耐荷力評価式の現状

帶鉄筋を用いた RC 柱の軸方向圧縮耐荷力の上限値 N_{oub} は, 土木学会コンクリート標準示方書で式(1)のように与えられている。

$$N_{oub} = (K_I f_{cd} A_c + f_{yd} A_{st}) / y_b \quad (1)$$

ここで, A_c : コンクリートの断面積, A_{st} : 軸方向鉄筋の全断面積, f_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度, f_{yd} : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度, f_{pyd} : らせん鉄筋の設計引張降伏強度, K_I : 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), y_b : 部材係数(一般に 1.3)

一方, RC 柱の軸方向圧縮耐荷力では, 主鉄筋

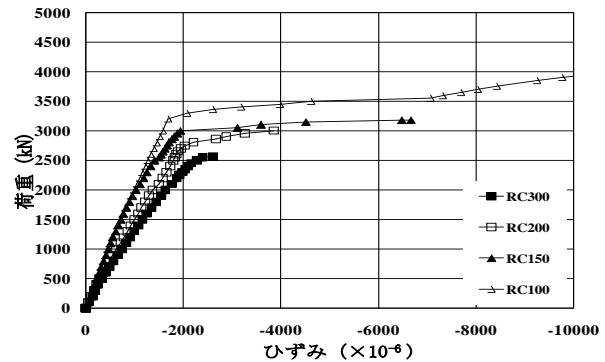


図-5 荷重-主鉄筋ひずみ

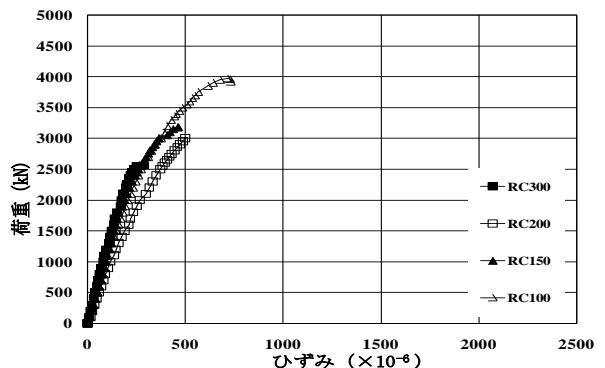


図-6 荷重-帯鉄筋ひずみ

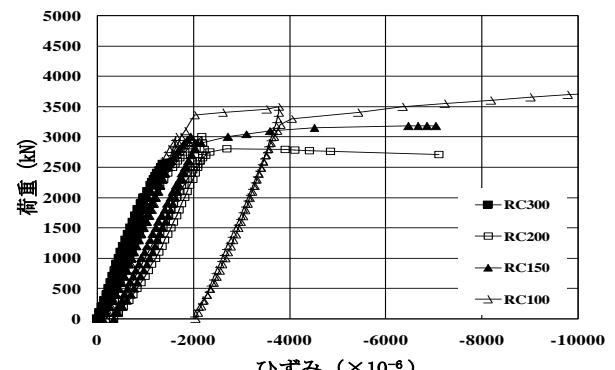


図-7 荷重-残留ひずみ

自体の単純圧縮強度を完全に示さず, 主鉄筋の強度が柱耐荷力に及ぼす効果が顕著に現われない⁴⁾ことが報告されており, 須藤ら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, f_c : コンクリートの設計圧縮強度, A_s : 軸方向鉄筋の全断面積, σ_s : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏

強度

このように、帯鉄筋を用いた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が、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は耐荷力の増加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。

4.2 RC柱耐荷力と帯鉄筋間隔の関係

図-8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を示したものである。同図より、柱の耐荷力は帯鉄筋間隔が縮少するにつれて増大している。この傾向は重拘束になるほど卓越していることがわかる。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とすることが、より高い耐荷力に連係する。逆に、帯鉄筋間隔がある間隔以上となった場合、横拘束はあまり顕著な効果を示さず、帯鉄筋柱に関する基本設計式としての式(1)によって与えられる上方限界耐荷力に接近する。また、耐荷力と帯鉄筋間隔の関係は式(3)に示す近似相関式として得られる。

$$\alpha = 1.1437(s/D_0)^{-0.145} \quad (3)$$

$$(r = -0.977)$$

ここで、 α ：拘束強度比、 s ：帯鉄筋間隔（mm）、 D_0 ：基準間隔（250mm）、 r ：相関係数

4.3 拘束強度比を適用した軸圧縮耐荷力算定式

帯鉄筋間隔を考慮したRC柱部材の軸方向圧縮耐荷力式は、式(3)の相関式を側圧の係数として式(1)に導入することにより式(4)として与えられる。

$$N'_{ou} = \alpha \cdot N'_{oud} \quad (4)$$

ここで、 N'_{ou} ：帯鉄筋を考慮した軸方向圧縮耐荷力の上限値

式(6)より軸方向圧縮耐荷力の算出を行った結果、R300, R200, R150, R100 でそれぞれ 2566kN, 3037kN, 3421kN, 4048kN となった。これを、実

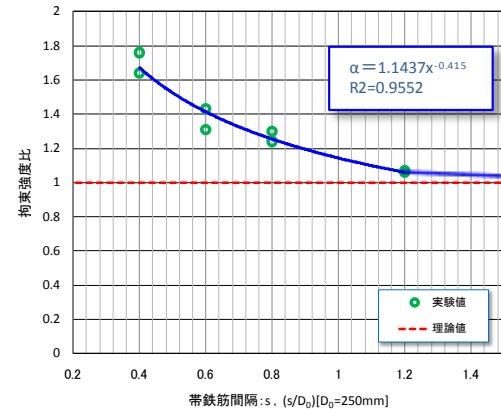


図-8 拘束強度比と帯鉄筋間隔

験値と比較すると、各供試体で耐荷力比はそれぞれ 1.01, 1.02, 0.97, 1.05 倍となり理論値と実験値は近似する結果を得た。

5.まとめ

①帯鉄筋間隔を密にすることで線形的に耐荷力の増加がみられた。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荷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ことが判明した。とくに帯鉄筋間隔200mm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ものと思われる。

③荷重ひずみの関係より、帯鉄筋間隔を密にすることは変形能を向上させる。

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た軸圧縮耐荷力算定式の提案を行い、実験値と近似する結果を得た。

参考文献：

- 1) 日経コンストラクション：土木が遭遇した阪神大震災、日経 BP 社, pp.18-45 (1995)
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III (2002)
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書(2002)
- 4) 桶口盛一, 斎藤秀雄：弾性および材料力学、養賢堂, pp.112-119 (1966)
- 5) M.Sudo et al.: Load-Carrying Capacity of Laterally Confined RC Column Considering Buckling of Primary Rebar, Theoretical. and Applied. Mechanics., Vol.50, pp.115-123 (2001)