

V-505

高強度鉄筋を帯鉄筋に用いた R C 柱部材の破壊性状

鹿島 技術研究所 正会員 増川 淳二
 同上 正会員 須田久美子
 同上 正会員 新保 弘
 同上 正会員 齊藤 宗

1. はじめに

R C 高橋脚などにおいては、施工の省力化を図るために、高強度鉄筋と高強度コンクリートを用いた高強度 R C の有効利用が考えられる。しかし、きわめて高強度の鉄筋をせん断補強筋として使用すると、せん断破壊時の斜めひび割れ幅が過大になり、ひび割れ面における骨材のかみ合いや引張鉄筋のほそ作用等によって伝達されるせん断力が低下することがあるので、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕（以下示方書）では、せん断補強鉄筋の設計降伏強度は、 400N/mm^2 （ひずみでは 0.2% 程度）に制限されている〔1〕のが現状である。ここでは、R C 橋脚に高強度帯鉄筋を使用した場合の耐震設計上の問題点を明らかにするために、地震力を想定した静的交番繰り返し加力実験を行い、破壊性状を比較検討した。

2. 実験概要

(1) 試験体および使用材料

普通強度鉄筋を帯鉄筋に用いた試験体を No. 1 試験体、高強度鉄筋を帯鉄筋に用いた試験体を No. 2 試験体とした。両試験体ともに試験体寸法・配筋図は図-1 に示すとおりで、帯鉄筋の材料特性とピッチのみを変えた柱部の断面性状は、中空箱形断面として、せん断耐力に対する帯鉄筋の分担比率を高くした。使用材料の材料特性を図-2 および表-1 に示す。コンクリートには、高流動性モルタル ($G_{\max}=5\text{mm}$) を用いた。

各試験体の耐力の計算結果を表-2 に示す。帯鉄筋量は、計算上のせん断耐力と柱筋降伏時の荷重がほぼ一致するように定め帯鉄筋のピッチはせん断耐力の帯鉄筋分担分が両者で同一になるように決めた。なお、コンクリート分担分のせん断耐力は、次式により計算した。〔3〕

$$V_c = 0.20 \sqrt{f'_c} \sqrt[3]{100 p_w} \sqrt[4]{100/d} (0.75 + 1.4/(a/d)) b_w d$$

f'_c : 各試験体の実験時のコンクリート圧縮強度 (N/mm^2)、 $p_w = A_s/(b_w d)$ 、 A_s : 引張側鋼材断面積 (cm^2)、 b_w : 腹部の幅 (cm)、 d : 断面有効高さ (cm)

(2) 加力方法

加力は曲げモーメントおよびせん断力を任意に組み合わせ加力できる 6 自由度加力装置〔2〕を用いて行い、柱基部から 750mm の高さ (1.5h) の位置の水平変位を基準に、計算上の柱筋降伏荷重時の変位の整数倍の変位で 3 回ずつ繰り返ししながら交番加力を行った。

3. 実験結果

図-3 に各試験体のせん断力-水平変位曲線を、図-4 に最も早く降伏した、柱基部から高さ 300~400mm 付近の帯鉄筋のひずみ履歴を示す。計算上の柱筋降伏荷重時 (77.7kN) の水平変位は、No. 1 および 2 試験体ともに 8 mm ($1\delta_y$ とする) であった。No. 1 試験体が $1\delta_y$ から $2\delta_y$ への加力途中に帯鉄筋が降伏したのに対し、No. 2 試

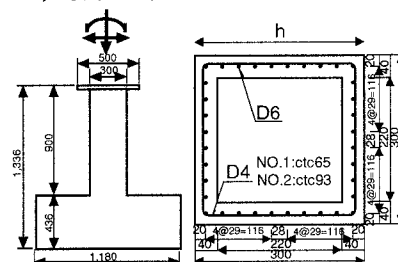


図-1 試験体寸法・配筋図

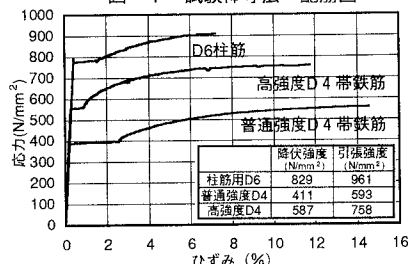


図-2 使用した鉄筋の応力-ひずみ関係

表-1 コンクリートの材料特性

	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)
No. 1 試験体	59.7	3.05	0.223×10^5
普通強度D4	59.7	2.30	0.212×10^5

験体は1 δy 直前に帯鉄筋が降伏した。帯鉄筋が降伏する時点は異なったが、両試験体は、ともに2 δy まではひび割れ幅の顕著なせん断ひび割れが生ずるが圧縮域を貫通しないため破壊しなかった。2 δy から3 δy への加力途中でせん断ひび割れが圧縮域を貫通して、両者ともほぼ同じ時点で、同じように破壊に至った。最大荷重は両者とも約95kNで、計算上のせん断耐力を大きく上回った。図-5に各試験体の最終状態でのひび割れ図を示す。ひび割れ分散性には、No.1試験体の方が若干良いものの、大きな差は見られなかった。

4. 考察

帯鉄筋の降伏が、No.2試験体の方がNo.1試験体と比較して早かった理由は、高強度帯鉄筋の方が、降伏時のひずみが大きく、その分せん断ひび割れ幅が過大になることや、帯鉄筋のピッチが大きいためにひび割れ拘束効果が少なくなることで、コンクリートにより受け持たれるせん断力の低下が早まったためであると考えられる。最大荷重が両者で変わらなかった理由としては、軸応力が高かったことなどが考えられる。それ以外に、最終的にせん断破壊する際には帯鉄筋は完全に降伏しており、ひずみは数%のオーダーになっているので、帯鉄筋の降伏ひずみの違いがあまり最終的な破壊時に影響しない可能性も考えらるが、これは、本実験では明らかにされず、帯鉄筋降伏後のせん断破壊のメカニズムと合わせて、今後の課題とするところである。しかし、最大荷重（せん断耐力実験値）は帯鉄筋強度にかかわらずほぼ同じで、計算上のせん断耐力を大きく上回り、高強度鉄筋を帯鉄筋に用いたRC柱部材に土木学会示方書式を適用しても、本実験では、安全側に評価できた。

5. おわりに

高強度鉄筋を帯鉄筋に用いたRC柱部材の破壊性状を、「中空断面」、「高強度RC」、「柱筋降伏荷重=せん断耐力（計算値）」という条件下で、実験により確認した。その結果、強度の異なる帯鉄筋を、帯鉄筋分担分のせん断耐力が同一になるように配筋した場合、高強度帯鉄筋の方が先に降伏するが、せん断耐力は両者でほぼ同じとなった。

高強度鉄筋を帯鉄筋に用いる場合のせん断耐力式の適用性については、帯鉄筋降伏後のせん断破壊のメカニズムの解明など、今後さらに実験および解析を重ねていく必要がある。

【参考文献】

- [1] コンクリート標準示方書〔平成8年度版〕設計編、土木学会、pp60-65、1996
- [2] 新保他：6自由度加力装置を用いたRC柱部材実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15-2、pp.1113-1118、1993
- [3] 土木学会：コンクリート・ライブラリー第61号「コンクリート標準示方書（昭和61年制定）改訂資料」、土木学会、p164、1986
- [4] 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、日本建築学会、pp106-120、1990

表-2 耐力計算結果

		No.1試験体 (普通強度帯鉄筋)	No.2試験体 (高強度帯鉄筋)
コンクリート圧縮強度	(N/mm ²)	59.7	59.7
帯鉄筋降伏強度	(N/mm ²)	411	587
帯鉄筋ピッチ	(mm)	65	93
軸圧縮応力	(N/mm ²)	3.53	3.53
せん断スパン比		5	5
せん断破壊のないコンクリート 部材のせん断耐力 V_c	(kN)	38.7	38.7
帯鉄筋による 受け持たれるせん断耐力 V_s	(kN)	38.6	38.6
全せん断耐力 V_c+V_s	(kN)	77.3	77.3
柱筋降伏耐力 P_c	(kN)	77.7	77.7
曲げ耐力 P_b	(kN)	90.8	90.8
P/V		1.01	1.01
P/V		1.17	1.17
参考：建築学会終局強度型 せん断耐力式A法（非降伏ヒンジ部）	(kN)	98.8	98.8
建築学会終局強度型 せん断耐力式A法（降伏ヒンジ部）	(kN)	49.1 *1	49.1 *1

*1 建築学会A法において、降伏ヒンジ領域の回転角 R_p を実験時の終局時のデータを参考に0.02 [rad]として計算した。[4]

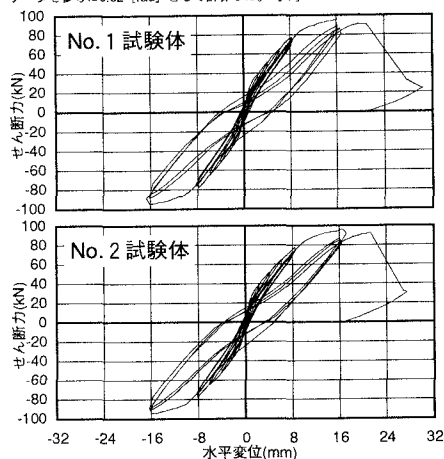


図-3 せん断力-水平変位曲線

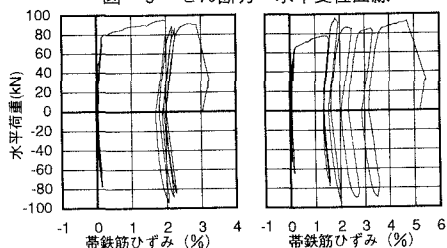
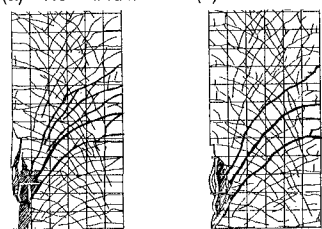


図-4 (a) No.1試験体 (b) No.2試験体



(a) No.1試験体 (b) No.2試験体

図-5 最終状況のひび割れ図（柱基部2 d）