

RC 柱部材の構造性能にせん断補強筋の配筋が及ぼす影響に関する実験的研究

- 高強度せん断補強筋(MK785)の開発 -

鉄筋コンクリート 柱 靱性能
高強度せん断補強筋 中子筋 限界変形角

正会員○向後智弘*1 同 村上秀夫*2
同 向山 敦*3 同 太田 勤*4
同 中野克彦*5 同 松崎育弘*6

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)造建物の高層化に伴い、高強度コンクリートと高強度せん断補強筋を組み合わせた RC 柱部材の構造性能に関する研究が数多く行われている。特に曲げ降伏後の変形性能については、せん断補強筋を増すことによって改善できるとされ、せん断補強筋は中子筋の併用により、せん断破壊や付着破壊の発生を遅延させる効果がある。しかし、同じせん断補強筋比でも、中子筋の有無が靱性能に及ぼす影響を調べた研究は少なく、不明な点も多い。そこで本研究では、中子筋の有無が靱性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

表1に試験体一覧、図1に試験体配筋図、図2に柱断面図を示す。共通要因は、柱断面 $b \times D=350\text{mm} \times 350\text{mm}$ 、せん断スパン $a=525\text{mm}$ ($a/D=1.5$)、試験区間 $L=1050\text{mm}$ 、柱主筋 12-D16(SD390)、せん断補強筋比 $p_w=0.90\%$ 、軸力比 $\eta=N/(b \cdot D \cdot \sigma_p)=0.3$ とし、実大の1/2~1/3縮尺とした。変動要因は、①コンクリート強度 ($F_c=42, 80\text{N/mm}^2$)、②中子筋の有無とし、計4体を計画した。なお、表2、表3には、使用した材料の試験結果を示す。

表1 試験体一覧

試験体 No.	柱寸法 $b \times D$ mm × mm	主筋 SD390	せん断補強筋 MK785	せん断補強筋比 p_w	コンクリート強度 F_c N/mm ²	軸力比 η
1	350 × 350	12-D16 $p_g=1.95\%$	2-D10@45	0.90%	42	0.3 (N=1471kN)
2			4-D10@90		80	0.3
13			2-D10@45			(N=2844kN)
14			4-D10@90			

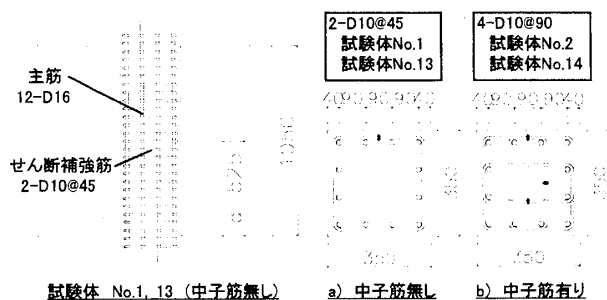


図1 試験体配筋図

図2 柱断面図

表2 鋼材引張試験結果

材質	用途	降伏強度 σ_y N/mm ²	引張強度 $s\sigma_t$ N/mm ²
MK785	補強筋	872	1,074
SD390	主筋	422	599

表3 コンクリート試験結果

F_c	圧縮強度 σ_B N/mm ²	割裂強度 $c\sigma_t$ N/mm ²
42	39.0	3.02
80	75.5	4.95

載荷方法は、建研式の逆対称正負交番繰り返し漸増載荷とした。載荷履歴は、 $\pm 1/800, \pm 1/400, \pm 1/200$ (2回)、 $\pm 1/100$ (2回)、 $\pm 1/67$ (2回)、 $\pm 1/50$ (2回)、 $\pm 1/33$ (2回)、 $\pm 1/20, \pm 1/15$ (rad.) とし、軸力の保持が不可能となった時点で載荷を終了した。

3. 実験結果

図3に最終破壊状況、表4に実験結果一覧、図4、図5に $Q-\delta$ 曲線を示す。ここで実験値は、全て軸力による $P-\delta$ 効果を考慮した値とした。

$R=1/800\text{rad}$ の繰り返しでは、いずれの試験体も曲げひび割れが生じた。 $R=1/200\text{rad}$ の繰り返しでは、中子筋を有する試験体 No. 2, 14 にせん断ひび割れが見られた。 $R=1/100\text{rad}$ の繰り返しでは、中子筋の無い試験体 No. 1, 13 にせん断ひび割れが発生し、試験体 No. 2 を除く3体において、柱主筋に沿う付着ひび割れが観察された。そして、全試験体とも柱主筋が引張圧縮降伏し、最大耐力に達した。最大耐力以降の破壊性状および変形性能については、コンクリート強度別に分けて以下に示す。

[試験体 No. 1, 2 ($\sigma_p=39.0\text{N/mm}^2$)]

試験体 No. 1 は、付着ひび割れが大きく進展し、被りコンクリートの剥落が顕著となり、徐々に耐力が低下した。履歴特性にはスリップ現象が見られ、付着割裂破壊の様相を呈した。試験体 No. 2 は、二段目の柱主筋が引張降伏し、損傷がヒンジ領域に集中すると共に、ヒンジ領域の中子筋が降伏した。履歴特性は、紡錘型の安定したループであり、破壊モードは曲げ破壊であった。

No.1	No.2	No.13	No.14
$\sigma_p=39.0\text{N/mm}^2$ 2-D10@45 $p_w=0.90\%$ $\eta=0.3$	$\sigma_p=39.0\text{N/mm}^2$ 4-D10@90 $p_w=0.90\%$ $\eta=0.3$	$\sigma_p=75.5\text{N/mm}^2$ 2-D10@45 $p_w=0.90\%$ $\eta=0.3$	$\sigma_p=75.5\text{N/mm}^2$ 4-D10@90 $p_w=0.90\%$ $\eta=0.3$
曲げ降伏後 付着割裂破壊	曲げ降伏後 曲げ破壊	曲げ降伏後 圧縮破壊	曲げ降伏後 せん断破壊

図3 最終破壊状況

Experimental Study on Structural Performance of RC Columns Influenced by Arrangement of Shear Reinforcement Bar - Development of High Strength Shear Reinforcement Bar (MK785) -

KOUGO Tomohiro, MURAKAMI Hideo, MUKOYAMA Atsushi, OHTA Tsutomu, NAKANO Katsuhiko and MATSUZAKI Yasuhiro

表4 実験結果一覧

試験体 No.	最大耐力実験値		曲げ耐力計算値		せん断耐力計算値						限界 変形角 eRu rad.	破壊モード
	荷重 eQmax kN	変形 δ mm	構造規定式 ¹⁾		終局強度型耐震設計指針式 ²⁾							
			荷重 cQmu1 kN	実/計 eQmax cQmu1	Rp=0		Rp=1/50		せん断 cQsu2 kN	附着 cQbu2 kN		
1	567	10.63	541	1.05	705	524	0.97	504			468	0.87
2	577	11.69	541	1.07	705	581	1.07	504	533	0.93	1/15以上	曲げ降伏後曲げ破壊
13	868	11.54	858	1.01	979	740	0.86	633	673	0.74	1/61	曲げ降伏後圧縮破壊
14	857	11.54	858	1.00	979	815	0.95	633	753	0.74	1/23	曲げ降伏後せん断破壊

i) せん断耐力を求める際、コンクリート圧縮強度の有効係数は $\nu\sigma_c=1.7\cdot\sigma_c^{-0.333}$ とした。
 ii) せん断余裕度の算定は、せん断耐力計算値(せん断及び附着のうち小さい方の値)を曲げ耐力計算値で除したものとした。
 iii) 限界変形角は、最大耐力の80%に耐力が低下した時点の変形角とし、包絡線上の値とした。

[試験体 No. 13, 14 ($\sigma_B=75.5N/mm^2$)]

試験体 No. 13 は、繰り返し加力による耐力低下が顕著に見られ、 $R=1/50rad.$ の繰り返しで、軸方向ひずみが大きく進行した。破壊モードは、附着劣化を伴う圧縮破壊であった。試験体 No. 14 は、二段目の柱主筋が引張降伏し、ヒンジ領域の損傷とせん断ひび割れが並行して進展した。履歴特性は、スリップ現象の傾向が見られるものの、試験体 No. 13 と比較して良好であり、実験終了まで軸力は保持することができた。そして破壊モードは、附着劣化を伴うせん断破壊の様相を呈した。

4. 靱性能評価

図6に限界変形角-せん断余裕度関係を示す。また、図中には、既往の実験結果³⁾(全て中子筋有り)も合わせて示す。ここで限界変形角は、耐力が最大耐力の80%に低下した時点の変形角とした。本実験では、既往の実験結果と同様、限界変形角とせん断余裕度との間に相関が見られる。特に中子筋を有する場合、せん断余裕度が0.6以上であれば限界変形角は1/50rad.を満足する結果となった。一方、中子筋が無い場合については、限界変形角が小さくなり、1/50rad.の限界変形角を満足するには、せん断余裕度が0.8以上あれば良いことが伺われる。

5. まとめ

- [1] 同じせん断補強筋比であっても、中子筋が存在する場合は、曲げ降伏後の履歴性状が向上する。
- [2] コンクリート強度が高く、中子筋が存在しない場合は、繰り返しによる著しい耐力の低下が認められた。

【参考文献】(1)日本建築学会:鉄筋コンクリート建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説 1999 (2)日本建築学会: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 1990 (3)鹿野仁史, 前田博之, 中野克彦, 松崎育弘, 太田勤, 許斐光生:高強度せん断補強筋を用いたRC柱部材の構造性能に関する実験的研究(その1;実験概要及び結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造IV, pp. 419~420, 2002. 8

【付記】本研究は、「高強度鉄筋 MK785 の研究開発に関する研究委員会(委員長 松崎育弘 東京理科大学名誉教授)」の研究活動として行われたものである。

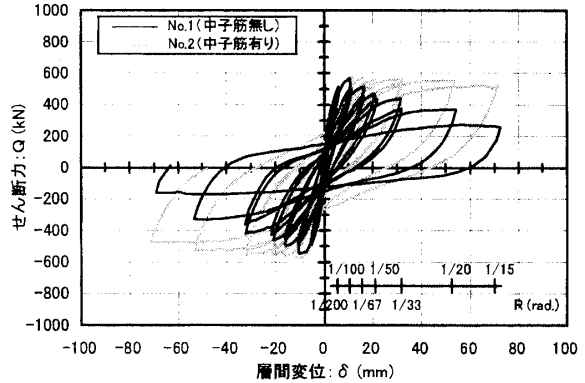


図4 Q-δ曲線 [$\sigma_B=39.0N/mm^2$]

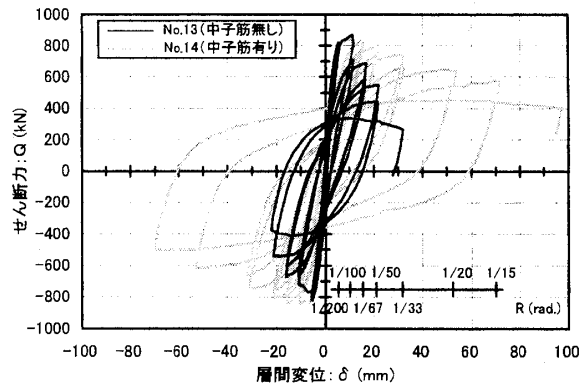


図5 Q-δ曲線 [$\sigma_B=75.5N/mm^2$]

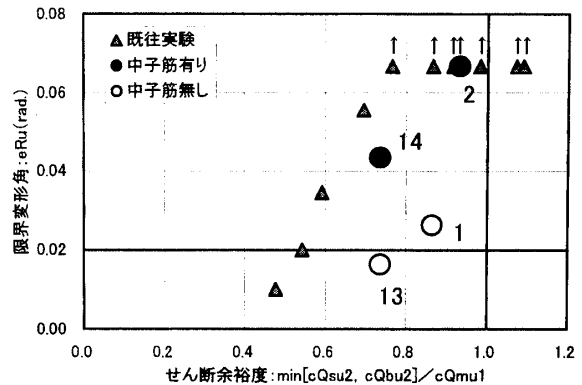


図6 限界変形角-せん断余裕度関係

- *1 鴻池組 建築設計部
- *2 鴻池組 技術研究所
- *3 ウィンファースト
- *4 堀江建築工学研究所
- *5 新潟工科大学 教授 博士(工学)
- *6 東京理科大学 名誉教授 工学博士

Building Design Div., Konoike Construction
 Research Institute of Technology, Konoike Construction
 WINFIRST
 Horie Engineering and Architectural Research Institute
 Professor, Niigata Institute of Technology, Dr. Eng.
 Professor Emeritus, Tokyo University of Science, Dr. Eng.