

論文 中央補強材を施した鉄筋コンクリート柱に関する研究

川村正和^{*1}、河原毅^{*2}、盧永坤^{*3}、田中彌壽雄^{*4}

要旨：本研究は、より経済的な鉄筋コンクリート (RC) 柱の耐震強化に関するものである。大地震時に最低限でも人命を救うためには、各層の崩壊を可能な限り押さえる必要があり、層を支持する柱の挙動が決定的な影響を持っている。既往の RC 柱では大地震時に建物を保持する事が不十分であることから、断面中央に補強要素 (例えば、鉄筋、鋼管、H鋼等) を持つ RC 柱を提案する。このタイプの RC 柱は、せん断や曲げひび割れ発生後の柱の縮みに対しかなり効果的であると予想される。この補強方法の効果を証明するため、シアスパン比 2.5 の RC 柱を対象として実験を行い、その有効性が認められた。

キーワード：鉄筋コンクリート柱、靱性、中央補強要素、軸力

1. はじめに

大地震時、RC 柱に多くのひび割れが発生する事は必然的で、柱が縮む可能性は高く、最悪の場合、柱の崩壊、そして、それに伴う層の崩壊が起こる。このような現象に対し、より経済的な RC 柱の耐震強化策として、断面中央に補強要素を持つ RC 柱を提案する (図-1)。柱はラーメン部材として軸力、曲げモーメント、せん断力により変形を受ける。通常、主筋は軸力と曲げモーメントによるひずみを受けるため座屈しやすい。しかし、中央補強要素は曲げモーメントによるひずみを受けにくく、座屈の可能性は周囲の主筋よりも低い。それゆえ、中央補強要素は柱の脆性破壊を防ぐのにより効果的であることが予想される。

既往の研究において、中央補強材を施した RC 柱は、a) 最大耐力及びその時の変位は、通常の RC 柱と同様で、b) せん断補強が十分でかつ高軸力下で中央補強要素は靱性及び軸力の保持により効果的であることが確認された[1]。

本研究では、a)剛材量 (主筋、又は主筋+中央補強材) を一定とした場合 (Series 1) における剛材の配置による影響と、b) 地震時に一部柱の脆性破壊により残りの柱に軸力が負担されることを想定し、変形途中で軸力が増加する場合 (Series 2) の破壊特性を調べることを目的として、シアスパン比 2.5 の RC 柱を用いて繰り返しせん断載荷実験を行い、中央補強要素の耐震強化効果について検討した。

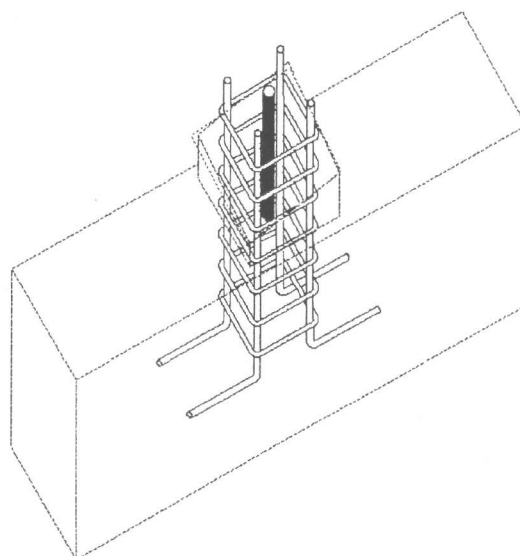


図-1 アクソノメトリックによる概念図

2. 実験概要

用いる供試体は、断面 200mm x 200mm、内法長さ 1000mm、シアスパン比 2.5 である。供試体の一例を図-2に示す。用いるパラメータは以下の通りである。

- | | | | |
|-------------------|-------|--------------------|----------|
| *1 早稲田大学院 理工学研究科、 | (正会員) | *3 早稲田大学 田中研究室、工博、 | (正会員) |
| *2 戸田建設 (株) | 工修 | *4 早稲田大学教授 建築学科、 | 工博、(正会員) |

表-1 供試体リスト

Specimen	Strength of concrete (MPa)		Axial load ratio (%)	Axial load (Nx1000)	Tie ratio (%)	Tie pitch (mm)	Tensile steel ratio (%)	Central bar ratio (%)	Section steel ratio (%)
	Compression	Tension							
Series 1									
MB-1.28-0.4	33.4	3.02	0.4	676	1.28	50	1.44	-	2.88
CP-1.28-0.4	33.4	3.02	0.4	672	1.28	50	1.00	1.08	3.08
MB-0.56-0.4	37.5	3.07	0.4	740	0.56	110	1.44	-	2.88
CP-0.56-0.4	37.5	3.07	0.4	735	0.56	110	1.00	1.08	3.08
MB-1.28-0.2	35.4	3.03	0.2	354	1.28	50	1.44	-	2.88
CP-1.28-0.2	35.4	3.03	0.2	351	1.28	50	1.00	1.08	3.08
Series 2									
MB-0.85-0.2/0.35	37.7	3.10	0.2/0.35	350/613	0.85	75	1.00	-	2.00
CB-0.85-0.2/0.35	37.7	3.10	0.2/0.35	399/770	0.85	75	1.00	2.01	4.01
CH-0.85-0.2/0.35	37.7	3.10	0.2/0.35	407/711	0.85	75	1.00	2.33	4.33

(1) 補強方法

Series 1

MB Type : 主筋量増加
($P_t=1.44\%$ (4-D19),
 $P_c=0\%$)

CP Type : 中央鋼管配置
($P_t=1.00\%$ (4-D16),
 $P_c=1.08\%$ (鋼管 ϕ
42.7×3.5))

Series 2

MB Type : 主筋のみ
($P_t=1.00\%$ (4-D16),
 $P_c=0\%$)

CB Type : 中央鉄筋配置
($P_t=1.00\%$ (4-D16),
 $P_c=2.01\%$ (D16 を 4 本束ねたもの))

CH Type : 中央H鋼配置
($P_t=1.00\%$ (4-D16),
 $P_c=2.33\%$ (built H-50x50x5x7))

(2) 帯筋比 : Series 1 $P_w=1.28\%$ (2-9 ϕ @50),
 $P_w=0.56\%$ (2-9 ϕ @110)

Series 2 $P_w=0.85\%$ (2-9 ϕ @75)

(3) 軸力比 ($\sigma_o = N / (F_c \cdot A_c + F_s \cdot A_s)$)

Series 1 0.4, 0.2

Series 2 0.2→0.35

(2/100の2サイクルで増加)

ここで、 N は軸力、 F_c と A_c はコンクリートの強度と断面積、 F_s と A_s は鋼材の降伏強度と断面積、 P_t は引張鉄筋比、 P_c は中央剛材断面積比である。

供試体名は以下のように与えられる。

[MB]-[0.85]-[0.2/0.35] ([補強方法][帯筋比][軸力比], [/]は軸力の変動を示す)

表-1に供試体リスト、図-3に荷重装置、図-4に荷重履歴を示す。

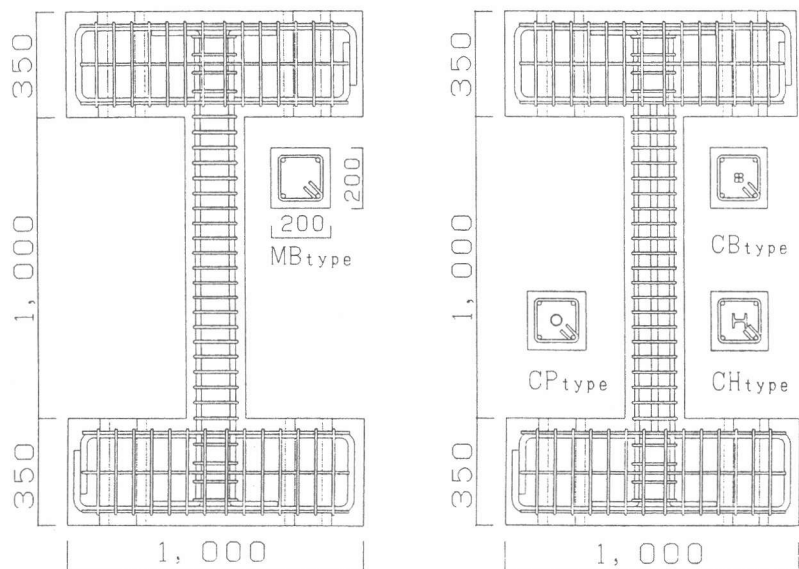


図-2 実験供試体 (単位 mm)

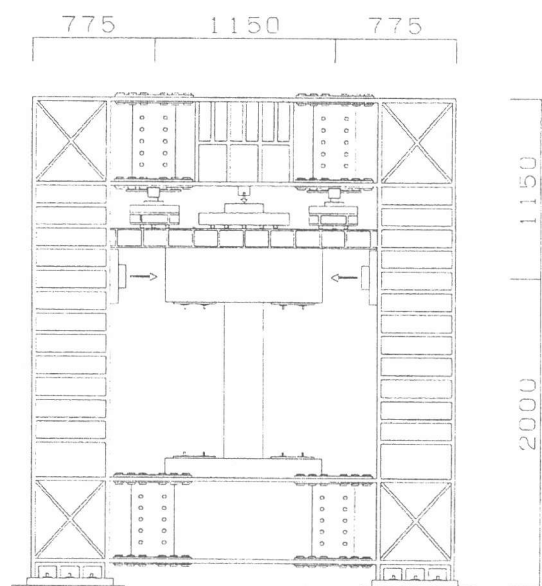


図-3 荷重装置 (単位 mm)

表-2 実験結果

Specimen	Shear load (Nx1000)										
	Maximum	Displacement/Length									
		1/ 100	2/ 100	3/ 100	4/ 100	5/ 100					
MB-1.28-0.4	100	94.1	-97.0	75.5	-89.2	64.7	-75.5	58.8	-32.3	-	-
CP-1.28-0.4	98	97.0	-87.2	78.4	-65.7	62.7	-56.8	62.7	-57.8	-	-
MB-0.56-0.4	109	91.1	-109	8.82	-35.3	-	-	-	-	-	-
CP-0.56-0.4	108	108	-96.0	55.9	-54.9	-	-	-	-	-	-
MB-1.28-0.2	103	95.1	-90.2	103	-101	87.2	-91.1	59.8	-60.8	33.3	-33.3
CP-1.28-0.2	103	93.1	-86.2	95.1	-92.1	75.5	-91.1	64.7	-66.6	57.8	-58.8

3. 実験結果及び考察

3.1 Series I

表-2 に実験結果、図-5 に荷重-変位関係、図-6 にひび割れ分布図を示す。

軸力比 0.4 の場合には、中央補強要素による補強効果はあまり認められなかった。これは柱全断面に圧縮力が作用するため、剛材の量が一定であれば剛材の配置による影響はあまりないものと考えられる。むしろコアコンクリートによる圧縮力負担が重要となるため帯筋によるコアコンクリートの拘束の程度が靱性能に大きく影響した。

軸力比 0.2 の場合には、**MB** タイプが脆性的な挙動を示すのに反して **CP** タイプは靱性的な挙動を示し、中央補強要素による補強効果が顕著に見られた。これは、前者は引張主筋量が多いため付着割裂破壊の傾向を示すのに反して、後者は損傷が端部に集中しそれによって生じるコンクリートの軸力保持能の低下を中央補強要素が負担するためと考えられる。

図-7 に中央補強材のひずみ分布の一例を示す。ここで、縦軸は部材の位置、横軸はひずみである。柱の損傷が殆どないときは中央補強材は軸力による圧縮ひずみを均等に受けているが、コンクリートの降伏または破壊が進むにつれて端部での中央補強材の圧縮ひずみが増加し、最後は圧縮ひずみの増加は中央補強材全体に広がった。これより、中央補強要素の軸力に対する挙動が確認された。

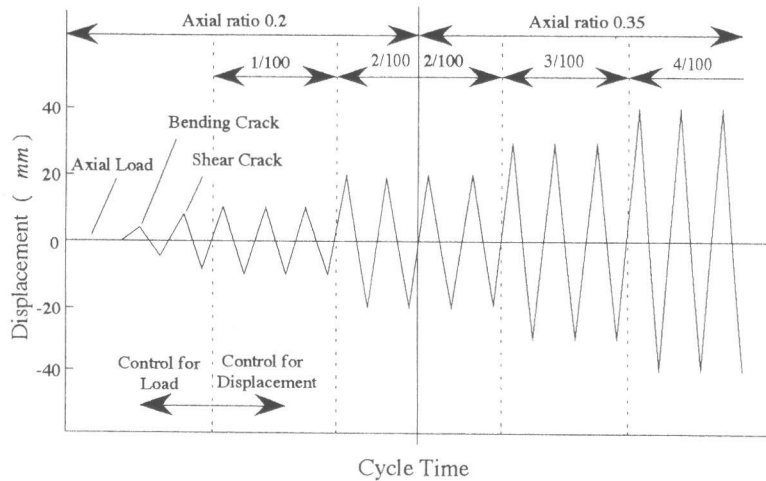


図-4 荷重履歴

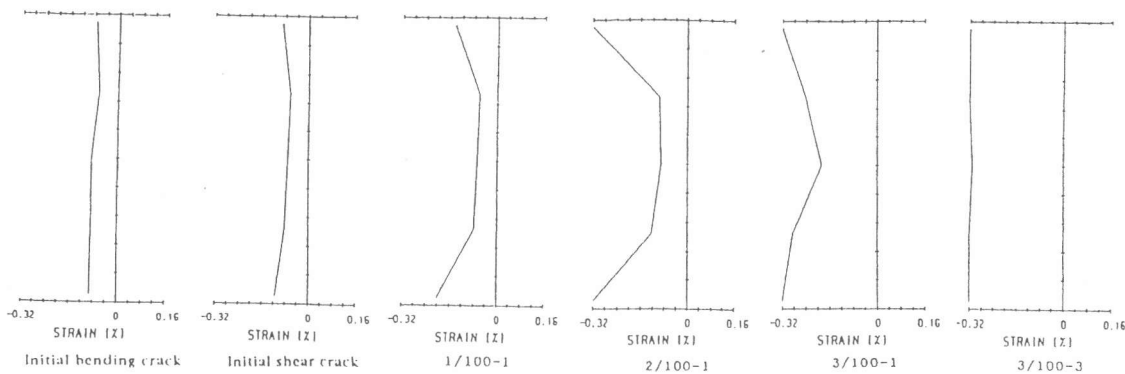


図-7 中央補強要素の荷重サイクルにおけるひずみ分布 (CP-1.28-0.4)

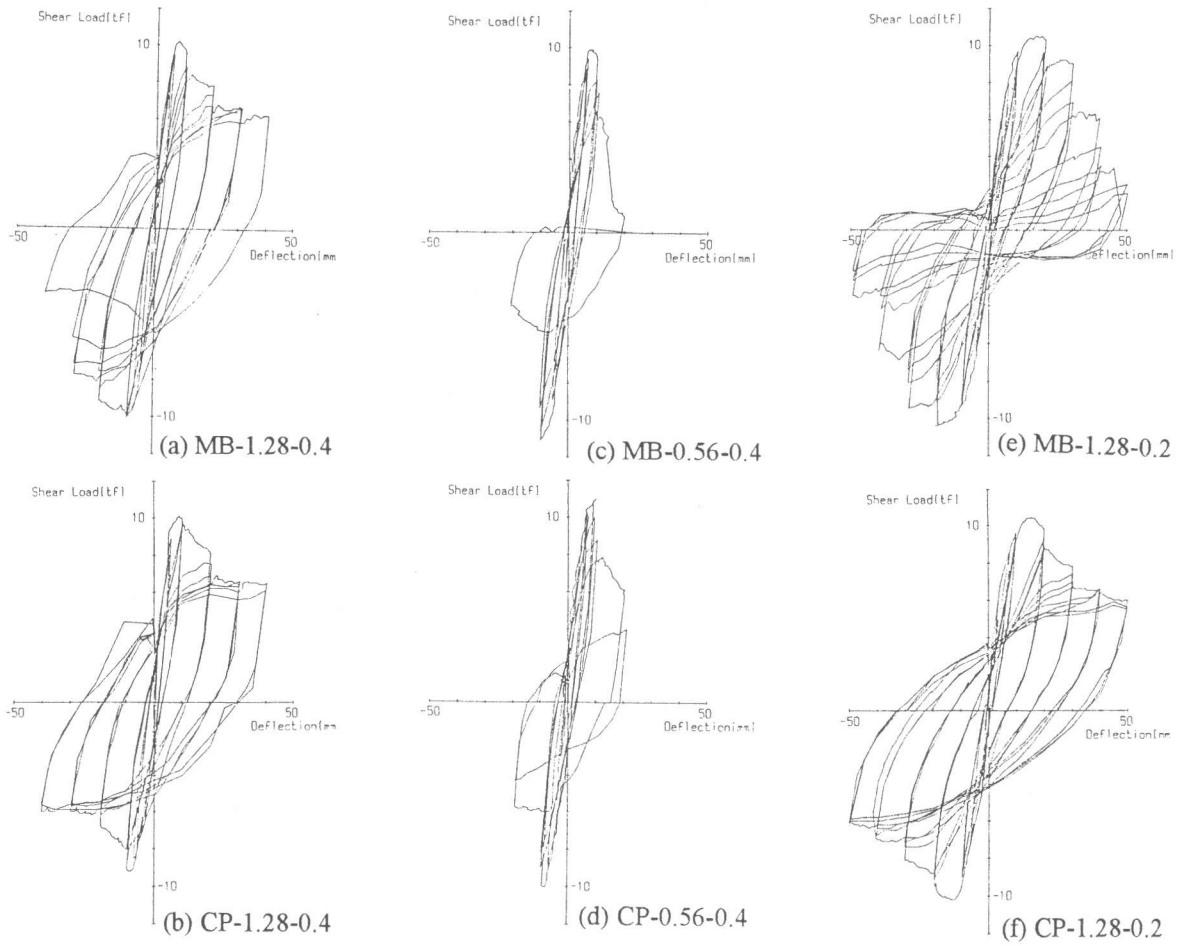


図-5 荷重-変位関係

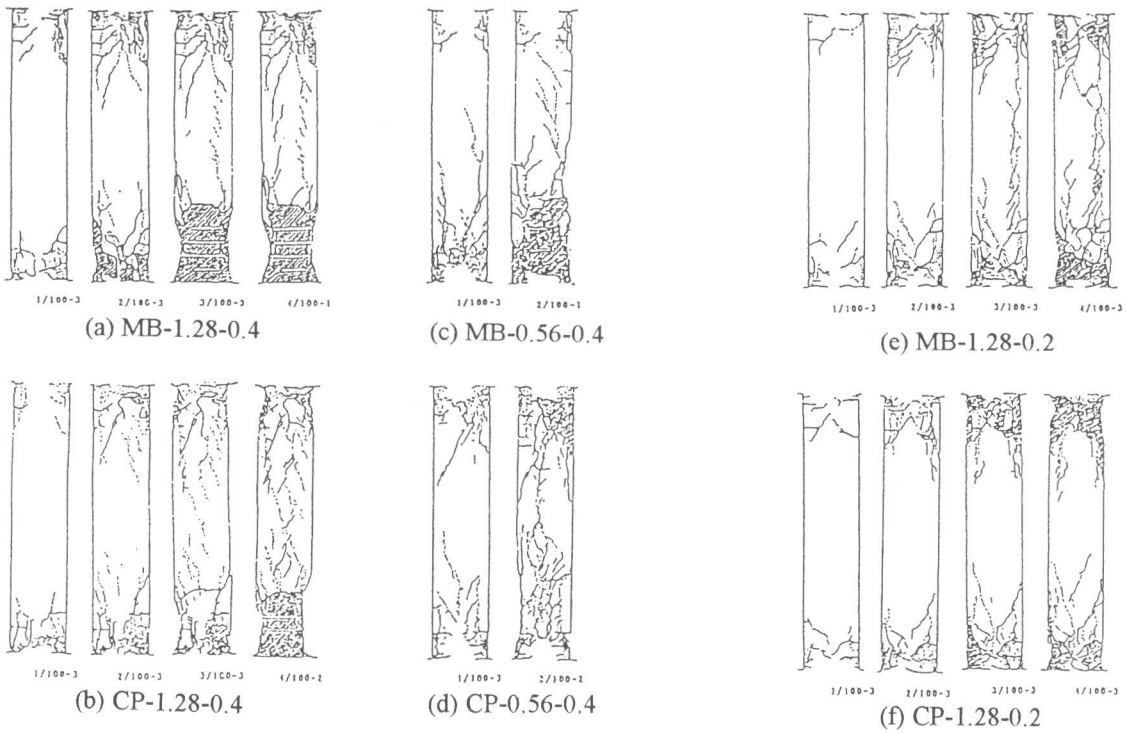


図-6 ひび割れ分布図

表-3 実験結果

Specimen	Shear load (Nx1000)										
	Maximum	Displacement/Length									
		1/ 100	2/ 100	3/ 100	4/ 100	5/ 100					
MB-0.85-0.2/0.35	100	89.2	-84.3	93.1	-94.1	59.8	-56.8	-	-	-	-
CB-0.85-0.2/0.35	99.0	92.1	-84.3	91.1	-94.1	63.7	-74.5	41.2	-49.0	-	-
CH-0.85-0.2/0.35	99.0	90.2	-92.1	95.1	-97.0	73.5	-67.6	49.0	-28.4	-	-

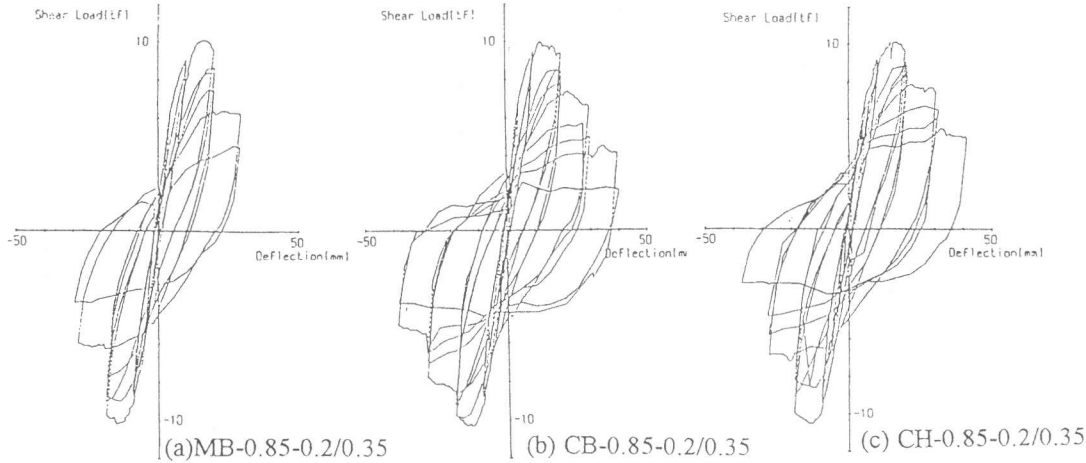


図-8 荷重-変位関係

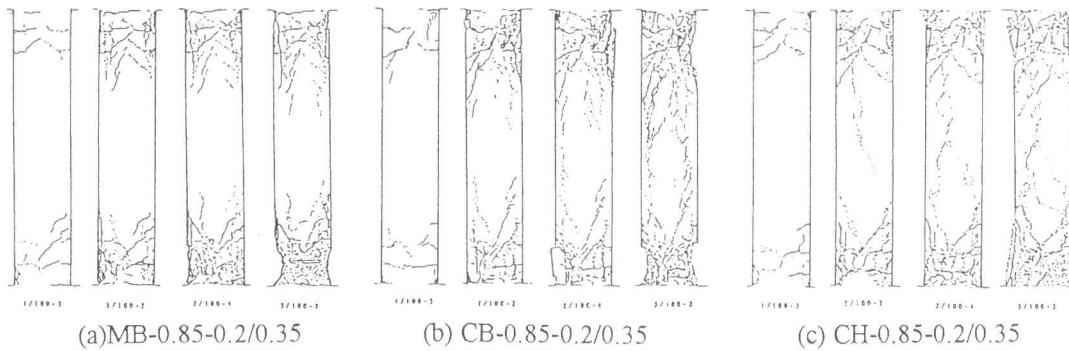


図-9 ひび割れ分布図

3.2 Series 2

表-3に実験結果、図-8に荷重-変位関係、図-9にひび割れ分布図を示す。

荷重-変位関係より、通常の供試体は軸力増加後急激に耐力を失い部材変形角3/100の2サイクルで崩壊したが、中央補強要素を施した供試体はそれぞれ部材変形角4/100の1,2サイクルまで軸力を保持し、通常の供試体より靱性的な挙動を示した。

ひび割れ分布より、通常の供試体は端部に損傷が集中し、コンクリートの破壊及び鉄筋の降伏によって軸力の保持ができなかったものと考えられる。一方、中央補強要素を施した供試体は柱全体にひび割れが分布し、**CB**タイプではせん断ひび割れからなる主筋に沿った付着ひび割れ、**CH**タイプでは圧縮膨張の影響と見られる柱中央部での縦ひび割れが見られた。これらのひび割れが一般的に脆性的な挙動を示すものであるにも関わらず幾分靱性的な挙動を示したことは、中央補強要素が有効的に作用したのと考えられる。

図-10に軸方向縮み-荷重サイクル関係、図-11に各荷重サイクルごと及び累積分の吸収エネルギー-荷重

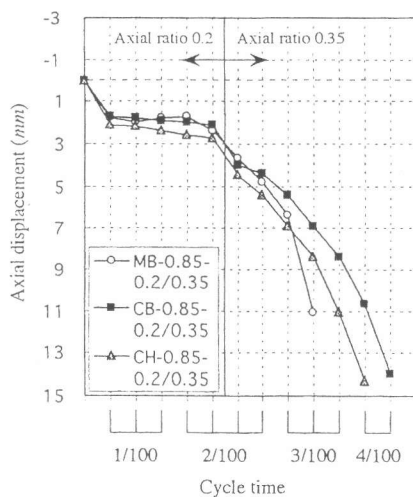


図-10 軸方向縮みの比較

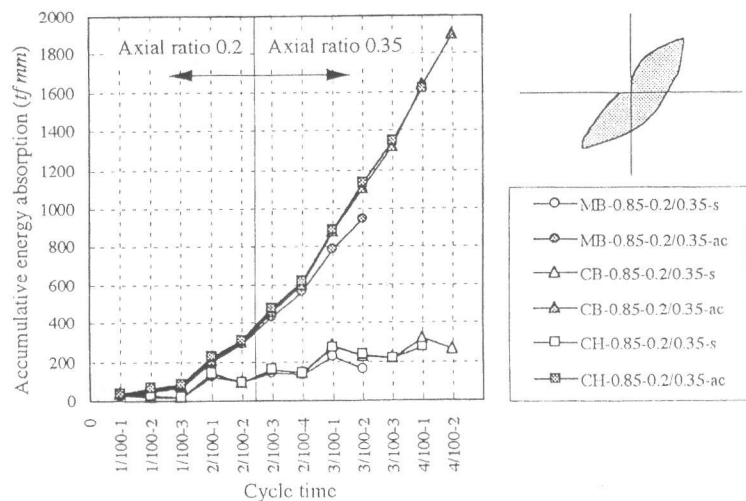


図-11 吸収エネルギーの比較

サイクル関係を示す。図-11での吸収エネルギーは正負繰り返し载荷における1サイクルごとの包絡線で囲んだ面積とし、各サイクルごとの吸収エネルギーの結果は供試体名の後に (-s)、累積吸収エネルギーの結果は (-ac) を付けてある。軸力増加後に中央補強の有無による軸方向縮み及びエネルギー吸収量の差が広がりを見せ始めた。

これより、軸力増加時(実際の建物の破壊プロセスに近い状態と考えられる)における中央補強要素の有効性が確認された。しかし、最も効果的であると思われたH鋼の中央補強供試体が十分な靱性能を示さなかったこと、中央補強要素を施した供試体のひび割れ分布が脆性的な形状を示すことなど、中央補強要素を用いる場合には中央補強要素の形状の工夫とコンクリートの充填など施工性を高める必要性も指摘された。

4. まとめ

シアスパン比2.5のRC柱の実験研究の結果から以下のようにまとめられる。

Series 1より、総剛材量を一定とした剛材の配置による効果は、主筋量を増やすことより中央補強要素を施した方が有効的であり、特に軸力の低い場合にその効果がより顕著に現れる。

Series 2より、実際の建物の破壊プロセスのような、一部の脆性部材(柱または壁)の破壊による残りの柱への軸力負担増加の場合にも、中央補強は通常の補強よりも靱性保持、軸力抵抗に対し、効果的である。

参考文献

[1] 田中彌壽雄・盧永坤・豊田哲也・宮腰昌平, 中央鉄筋を持つ鉄筋コンクリート柱の変形能に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, pp.413-418,1993