

論文

[2069] 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

宮腰昌平¹・豊田哲也²・盧永坤³・田中彌壽雄⁴

1 はじめに

地震時に建物の柱に降伏ヒンジが形成される場合、柱には一般的に大きな軸力が作用しており、期待できる変形能には限度がある [1] - [3]。この降伏機構で、層崩壊を引き起こさないためには、大きな変形のレベルに対して軸力を保持しながら変形能を確保するような工夫が必要となる [4] - [6]。

鉄筋コンクリート柱における上述のような現象に対し、より経済的な補強方法の一つとして、部材断面の中央に補強要素を配置することを提案する。柱はフレームの一部材として構造物の全体的な曲げを受ける。一般的な配筋法による柱主筋は軸力によるひずみとともに曲げによる軸方向ひずみも受けるため、座屈しやすい。しかし、柱断面の中央部はこの曲げによる軸方向力の影響が少ないため、周囲の鉄筋より座屈の可能性は低くなる。それゆえ、中央補強は鉄筋コンクリート柱の破壊の抑制に効果的であると考えられる。

本研究では、図-1 に示すように柱中央部に鉄筋を設け、軸力を負担させることにより柱の圧縮破壊を遅延させ大きな変形のレベルに対して軸力を保持しながら変形能を持たせることを目的とし、シアスパン比 2.5 の普通コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱供試体を対象として繰り返しせん断荷実験を行い、その破壊特性と靱性能に関して考察を行った。

今回の実験では、中央補強として、鉄筋を用いている。しかし実用的には、より座屈しにくいものとして鋼管、あるいはH鋼の使用が考えられる。

2 実験概要

全供試体は断面 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 、内法高さ 100cm 、シアスパン比 2.5 の普通コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱で、引張主筋比 (P_t) を 0.95% (3-D16) と一定し、軸力比 (σ_0) を 0.25, 0.33, 帯筋比 (P_w) を 0.56% (2-9 $\phi @110$), 0.85% (2-9 $\phi @75$), 1.28% (2-9 $\phi @50$), 中央鉄筋 (1-D22 (柱断面積の 0.97%)) の有無をパラメータとして用いた。但し、軸力比は中央鉄筋による軸力負担を考慮して RC 規準による $\sigma_0 = P/(F_c \cdot B \cdot D)$ ではなく $\sigma_0 = P/(F_c \cdot A_e)$ とし、主筋と中央鉄筋は異形鉄筋を、帯筋は丸鋼を用いた。ここで、 P は軸力、 F_c はコンクリート圧縮強度、 B と D は柱断面の幅とせい、 A_e は鉄筋を考慮した等価断面積、 $@$ は帯筋間隔 (mm) を示す。

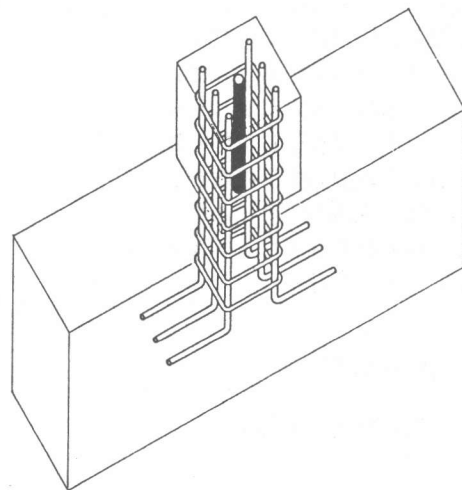


図-1 供試体のアクソノメトリック

図-2 に供試体の配筋詳細を示す。供試体

* 1 早稲田大学大学院 理工学研究科建設工学専攻, (正会員)
 * 2 清水建設, 工修
 * 3 早稲田大学助手 理工学部建築学科, 工修 (正会員)
 * 4 早稲田大学教授 理工学部建築学科, 工博 (正会員)

表-1 供試体の一覧

Specimen	Strength of Concrete (kgf/cm ²)		Axial load ratio	Axial load (tf)	Hoop ratio (%)	Hoop pitch (mm)	Tensile steel ratio (%)	Center bar ratio (%)
	Compression	Tension						
	9201	298.5	25.9	0.25	35.8	1.28	50	0.95
9202	298.5	25.9	0.25	35.8	0.85	75	0.95	-
9203	298.5	25.9	0.25	35.8	0.56	110	0.95	-
9204	304.9	26.3	0.33	48.5	1.28	50	0.95	-
9205	304.9	26.3	0.33	48.5	0.85	75	0.95	-
9206	304.9	26.3	0.33	48.5	0.56	110	0.95	-
9207	321.6	27.2	0.25	38.5	1.28	50	0.95	0.97
9208	321.6	27.2	0.25	38.5	0.85	75	0.95	0.97
9209	321.6	27.2	0.25	38.5	0.56	110	0.95	0.97
9210	231.2	21.8	0.33	39	1.28	50	0.95	0.97
9211	231.2	21.8	0.33	39	0.85	75	0.95	0.97
9212	231.2	21.8	0.33	39	0.56	110	0.95	0.97

リスト及び仕様を表-1に、鉄筋の材料特性を表-2に示す。本研究に用いた実験装置を図-3、載荷履歴を図-4に示す。平行移動保持装置によって上下端部の回転を拘束した状態で変形を与えることにより、鉄筋コンクリート柱の荷重状況が再現される。載荷は、上部のジャッキにて軸力載荷した後、左右のジャッキにて交番繰り返し載荷を行った。その際に、ジャッキ(軸力)が水平変位を妨げないように、軸力載荷点にローラーを設けた。供試体の上端を支持するスライディングバーは、枠内に収納されており、供試体の面外方向変形を拘束している。繰り返し載荷において右からの加力を正荷重とした。計測は、変位をダイヤルゲージで、鉄筋ひずみをワイヤストレインゲージで行った。

3 実験結果

実験結果を表-3に示す。

表-2 鋼材の材料試験結果

Cross section (cm ²)	Yielding point		
	strain (%)	strength (kgf/cm ²)	
D22	3.87	0.206	3556.2
D13	1.27	0.202	3635.8
9φ	0.64	0.180	3195.3

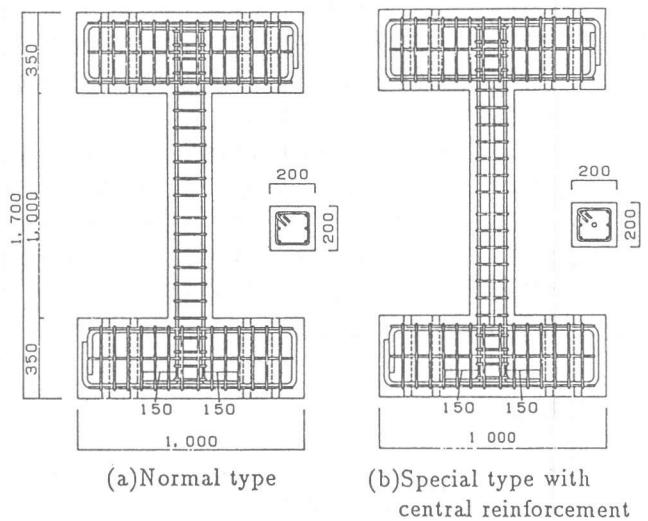


図-2 実験供試体 (単位 mm)

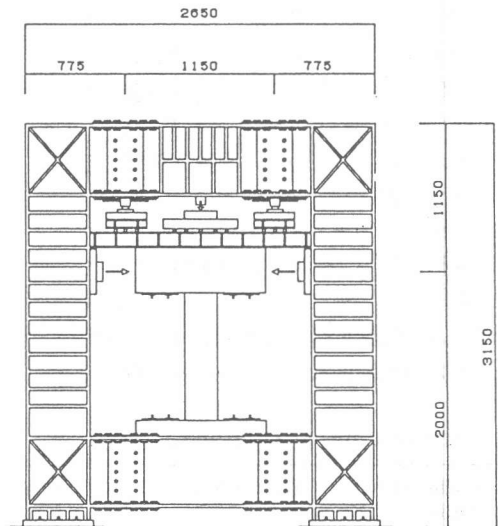


図-3 実験装置 (単位 mm)

表-3 実験結果一覧

Specimen	Shear load (tf)												
	Initial bending crack		Maximum	Displacement/Length									
				at 1/100 4cycle		at 2/100 3cycle		at 3/100 3cycle		at 4/100 3cycle		at 5/100 1cycle	
9201	6.0	-6.5	10.3	9.0	-9.7	9.1	-9.4	6.7	-6.9	6.3	-6.4	6.1	-
9202	4.9	-4.0	10.5	9.3	-9.4	9.5	-8.9	7.4	-6.8	2.5	-	-	-
9203	5.0	-4.5	10.0	9.5	-9.2	8.0	-8.2	3.5	-3.5	-	-	-	-
9204	6.0	-5.5	11.7	10.8	-9.9	9.7	-8.9	8.6	-7.9	4.8	-4.1	-	-
9205	4.5	-5.5	9.7	9.4	-9.4	8.1	-8.1	4.1	-	-	-	-	-
9206	5.5	-7.0	11.0	9.8	-11.3	6.4	-6.9	-	-	-	-	-	-
9207	5.5	-6.0	11.0	9.9	-10.5	9.7	-8.7	8.3	-7.2	7.6	-7.1	7.3	-6.2
9208	6.6	-5.5	11.9	10.9	-10.4	9.4	-8.8	8.4	-7.4	5.9	-3.1	-	-
9209	5.5	-5.0	10.2	9.7	-9.5	7.9	-8.7	1.8	-	-	-	-	-
9210	6.0	-5.5	10.3	9.4	-8.0	9.5	-7.2	8.7	-4.0	7.0	-5.7	5.9	-5.2
9211	4.5	-4.5	9.3	8.1	-7.2	8.3	-7.1	6.2	-5.1	3.0	-2.2	2.1	-1.0
9212	5.0	-5.0	9.7	8.7	-8.3	6.6	-5.2	3.5	-2.8	0.8	-1.2	0.5	-

3.1 中央鉄筋のない一般的 な供試体 (9201-9206) における破壊性状

各部材角の最後のサイクル時のひび割れ分布を図-5に、せん断荷重-変位関係を図-6に示す。ひび割れは正荷重時が実線、負荷重時が点線とし、剝離の場合斜線で示す。せん断荷重-変位関係図において斜めの波線はP- δ 効果を示す。

帯筋比1.28%の供試体(9201, 9204)は、ひび割れ分布より、最後までひび割れは端部に集中して発生し、9201 供試体は3/100の1サイクル、9204 供試体は2/100の2サイクルの途中で端部かぶりが剝離しはじめ、以後端部の剝離が広がった。せん断荷重-変位曲線により、端部かぶり剝離時に耐力低下が一時的に見られるが、全体的にエネルギー吸収性が大きく、靱性的な挙動を示した。9204 供試体は4/100の3サイクルで座屈が生じ、急激に耐力が低下した。

帯筋比0.56%の供試体(9203, 9206)は、ひび割れ分布より、最大耐力後2/100の繰り返し载荷の間に圧縮部の縦ひび割れと中

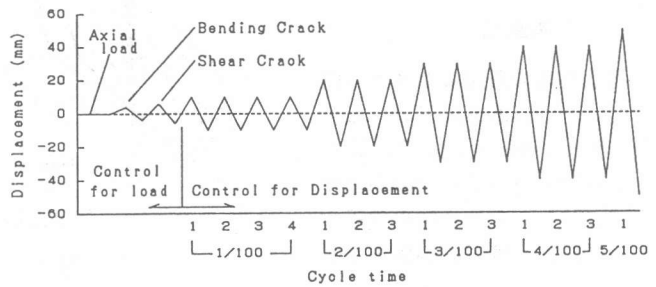


図-4 载荷履歴

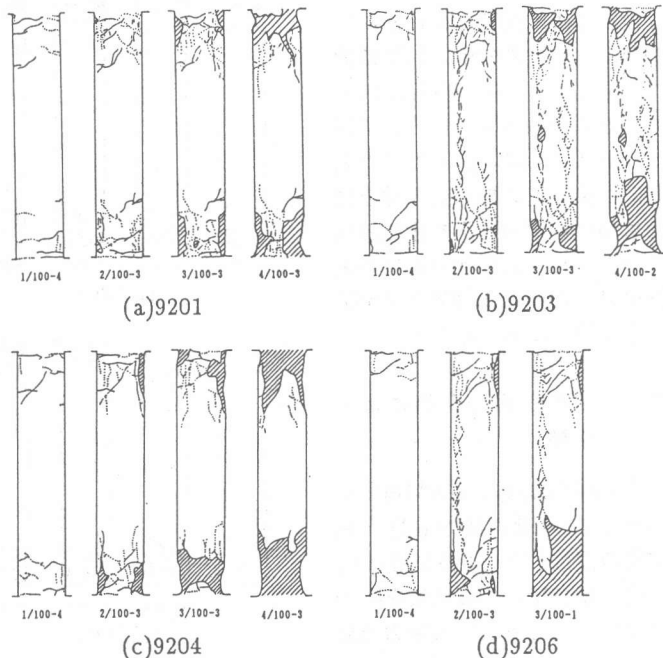


図-5 ひび割れ分布

中央部に付着割裂ひび割れの発生により部材全体に主筋に沿ってひび割れが形成され、そのうちに端部での剝離が拡大した。せん断荷重-変位関係においても、この縦ひび割れ発生以後急激な耐力低下とともにエネルギー吸収性が小さくなり、脆性的な挙動を示した。

帯筋比 0.85% の供試体は、帯筋比 1.28% と 0.56% の中間的な挙動を示した。

3.2 中央鉄筋のある供試体 (9207-9212) における破壊性状

各部材角の最後のサイクル時のひび割れ分布を図-7に、せん断荷重-変位関係を図-8に示す。

ひび割れ分布と最大耐力までのせん断力と変位は中央鉄筋の無い供試体と同様の挙動を示した。

帯筋比 1.28% の供試体 (9207, 9210) は、最大耐力後端部かぶりの剝離による耐力低下もなく、5/100 の最後まで耐力低下は滑らかでエネルギー吸収性が大きく靱性的であった。一方、帯筋比 0.56% の供試体 (9209, 9212) は、中央鉄筋の無い供試体と同様に急激な耐力低下を示し脆性的であった。帯筋比 0.85% の供試体は、帯筋比 1.28% と 0.56% の中間的な挙動を示した。

3.3 中央鉄筋の有無による比較

最大耐力以後の各部材角での各サイクル-せん断力 (Q) と軸方向の変位 (D_y) 関係を用いて、中央鉄筋有無による比較を図-9に示す。ここで、せん断力は最大耐力時のせん断力 (Q_{max}) で、軸方向変位は最大耐力時の軸方

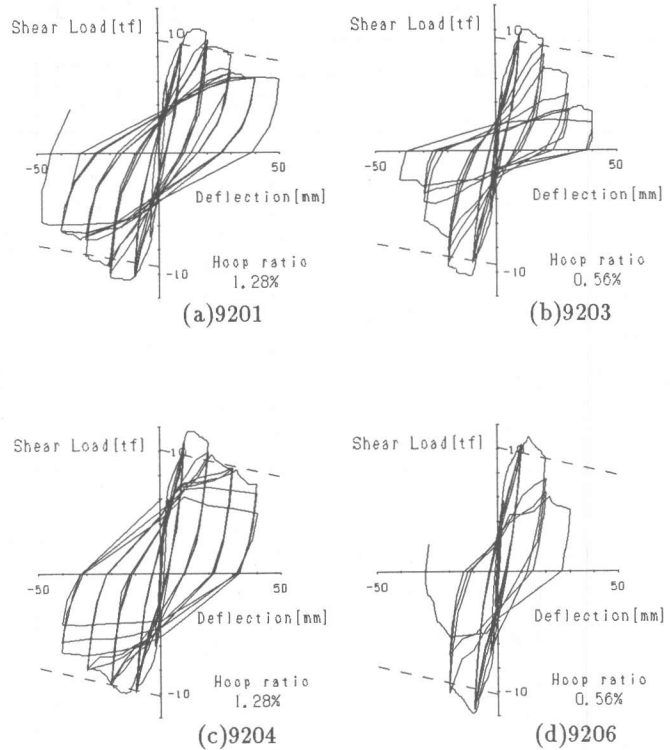


図-6 せん断荷重-変位関係

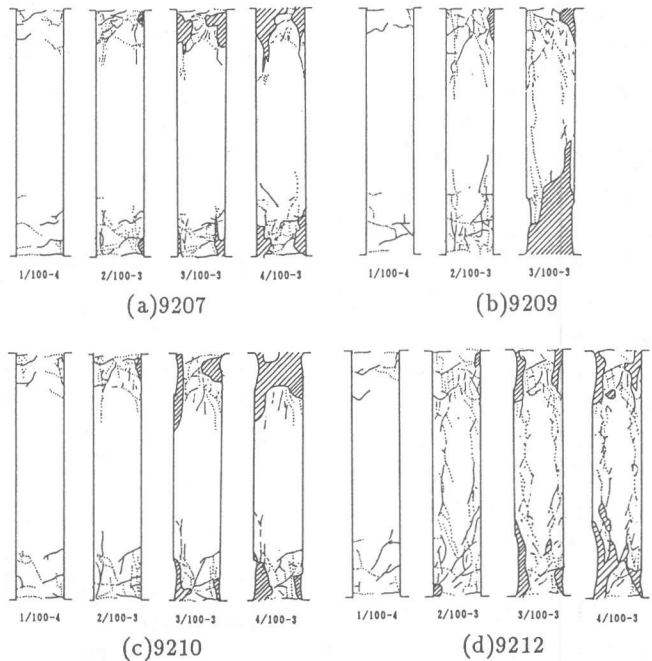


図-7 ひび割れ分布

向変位 (Dy_{max}) で無次元化した値を用いている。

せん断力の低下と軸方向の縮みに関連性がみられ、せん断力の低下とともに軸方向の縮みも大きくなった。

帯筋比 1.28% の場合、軸力比 0.25 では (9201, 9207), 両方とも崩壊には至ってなく、せん断力の低下も差がなかった。しかし、3/100 の 3 サイクル以後軸方向の縮みに差がみられた。軸力比 0.33 では (9204, 9210), 9204 が 4/100 の 3 サイクルで崩壊したが、9210 は最後までせん断力および軸力を保持し優れた靱性能を示した。

帯筋比 0.56% の場合、軸力比 0.25 では (9203, 9209), 9209 が 3/100 の 3 サイクルで崩壊し、9203 が 4/100 の繰り返し载荷の途中で崩壊し、両方ともせん断力の低下が急激で脆性的挙動を示した。軸力比 0.33 では (9206, 9212), 9206 が 3/100 の繰り返し载荷の途中で崩壊した。9212 はせん断力低下は顕著であるが最後まで軸力を保持し崩壊はしなかった。

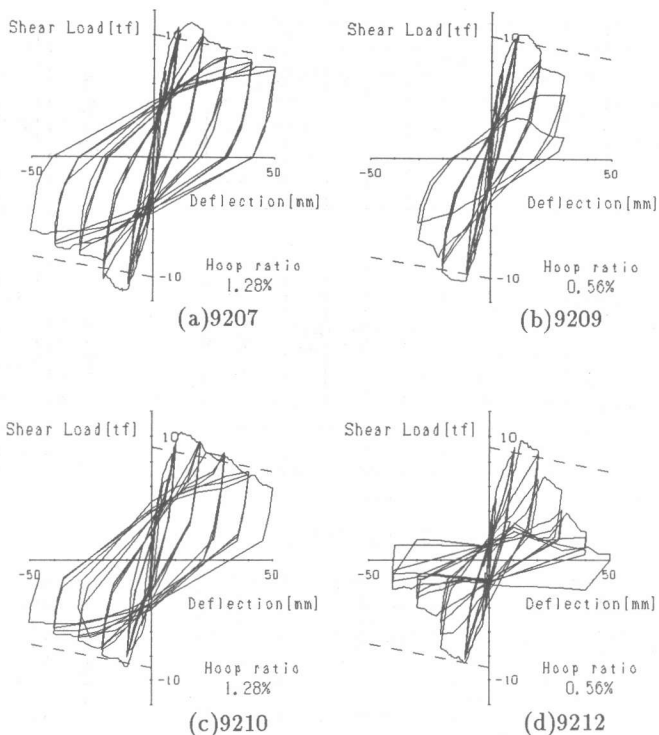
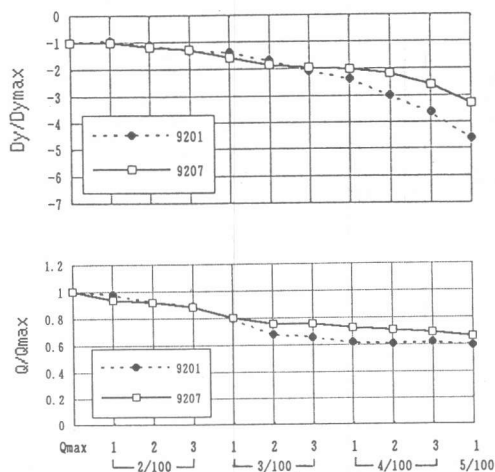


図-8 せん断荷重-変位関係

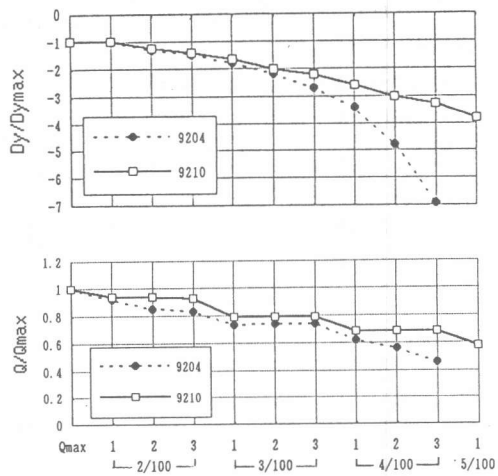
4 結論

今回の実験で、次のような結論が得られた。

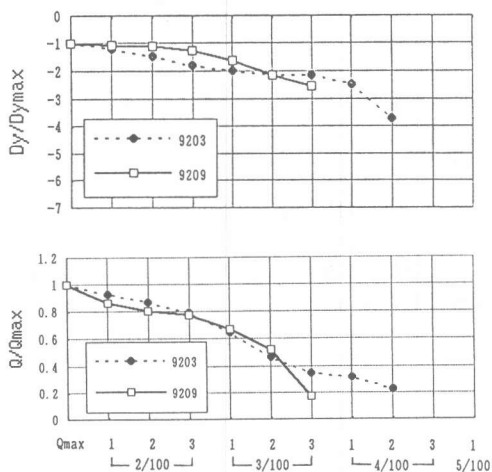
- 中央補強をしない通常配筋の供試体は軸力、帯筋比の違いによって異なる挙動を示した。帯筋比 1.28% の供試体は、曲げ降伏後も靱性を保ち、その後曲げによる圧縮破壊によって終局した。帯筋比 0.56% の供試体は、曲げ降伏後の供試体全体に発生する主筋に沿った縦ひび割れが生じたのち耐力が急激に低下し、脆性的な挙動をみせた。帯筋比 0.85% の供試体は前述の二つのケースの中間的な挙動をみせた。このような傾向は軸力比 0.25 より 0.33 のほうがより顕著であった。
- 中央補強をした供試体のひび割れ分布と最大耐力およびそのときの変位は、中央補強をしていない供試体と同様であった。
- 中央鉄筋による補強効果は破壊性状に大きく影響され、曲げ圧縮破壊をする帯筋比 1.28% の場合はその効果が認められたが、部材全体に主筋に沿ってひび割れが形成される帯筋比 0.56% の場合はあまり見られなかった。さらに軸力比 0.25 より 0.33 のほうがより効果的であった。
- 大きな軸力及び水平変位を受け、せん断補強が密実に施された鉄筋コンクリート柱では、中央補強は靱性及び軸力の保持に効果を示す。
- 中央補強部材の断面上の適切な位置、及びその慣性モーメントは今後の課題である。



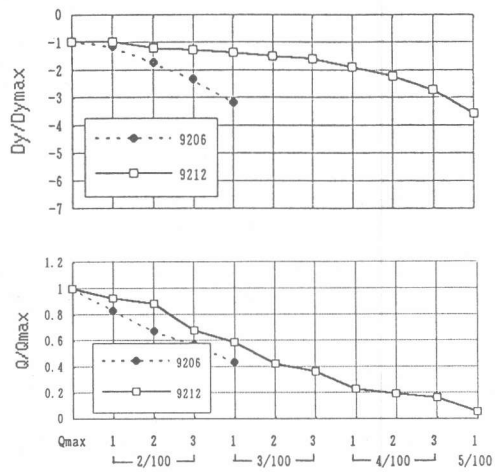
(a)9201 vs. 9207



(b)9204 vs. 9210



(c)9203 vs. 9209



(d)9206 vs. 9212

図-9 最大耐力以後の各サイクルにおけるせん断力低下と軸方向の縮み

参考文献

- [1] 東洋一・広沢雅也, 鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合的研究 (その16 破壊モードと靱性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1329-1330, 1974
- [2] 広沢雅也ほか, 鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合的研究 (その21 主筋の座屈), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1329-1330, 1974
- [3] 吉岡研三ほか, 鉄筋コンクリート柱の変形性能向上に関する研究(第1報 主筋配置・せん断補強筋形状の影響について), 日本建築学会論文報告集, 第279号, pp.53-63, 1979
- [4] 山本泰稔・横浜茂之, 鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊防止とじん性向上に関する実験的研究, コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp.329-332, 1982
- [5] 矢代秀雄, 鉄筋コンクリート梁・柱の靱性に及ぼす横補強筋の配筋方法, コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集, pp.125-130, 1990
- [6] 若林実・南宏一, X形配筋を用いた鉄筋コンクリート柱の耐震性能について, コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp.433-436, 1980