

報 告

[2055] 軸圧縮力を受ける高強度鉄筋コンクリート主筋の座屈性状

正会員○香取慶一（東京工業大学工業材料研究所）

正会員 林 静雄（東京工業大学工業材料研究所）

正会員 和田 章（東京工業大学工業材料研究所）

正会員 坂田弘安（愛知産業大学建築学科）

1. 目的

鉄筋コンクリート柱での主筋の座屈性状は、柱型部材の靱性を左右する大きな要因である。普通強度材料を用いた場合の座屈性状に関しては多くの研究報告がされているが、いわゆるNew RCを意識して高強度材料を用いた場合についてはまだ不明な点が多い。

本研究は、主筋及び帯筋に高強度鉄筋を使用した柱型部材の軸圧縮実験を行って、主筋の座屈性状について調べようとするものである。

2. 研究方法

2. 1 試験体

試験体の一覧を表-1に示す。パラメータは主筋径（3種類）と主筋位置（コーナー筋か否か）及び帯筋径（2種類）と間隔（3種類）で、合計24体を計画した。試験体形状・配筋図の一例を図-1に示す。断面は250mm×250mm、試験部分の上下に鉄骨製スタブ（内部にコンクリートを打設）を有する柱型試験体で、試験部分の長さは主筋径（d）の16倍となっている。主筋の座屈を拘束する大きな要因である帯筋間隔は、鉄筋コンクリート構造の部材材端での塑性ヒンジ部分における帯筋間隔の最大値8dを考慮して、4d、6d、8dとした。

主筋のみに軸圧縮力を作用させる目的から、写真-1に示す通り試験部分とスタブの境界にスタイロフォームを装着し、試験部分のコンクリートとスタブを力学的に絶縁した。試験部分のコンクリートには主筋が内側に座屈するのを防ぐ効果のみを期待するため、主筋に対するコンクリートのかぶり厚は帯筋径程度と小さくした。

なお試験体両端の平行度を確保する目的から、試験部分のコンクリートは平打ちとした。

試験体に使用した材料の力学的性質を表-2及び図-2に示す。なお、コンクリートは $F_c=360\text{kgf/cm}^2$ 程度とした。

2. 2 載荷・測定方法

載荷・測定方法を写真-2に示す。載荷は

表-1 試験体一覧

No.	主筋 径	主筋 本数	帯筋 径	帯筋 間隔	主筋比 ρ _g (%)	帯筋比 ρ _w (%)
1	D19	4	10φ	4d	1.84	0.75
2				6d		0.50
3				8d		0.38
4		6		4d	2.76	0.75
5				6d		0.50
6				8d		0.38
7		4		4d	1.84	1.34
8				6d		0.89
9				8d		0.67
10		6		4d	2.76	1.34
11				6d		0.89
12				8d		0.67
13	D25	4	4d	3.24	1.02	
14			6d		0.68	
15			8d		0.51	
16		6	4d	4.87	1.02	
17			6d		0.68	
18			8d		0.51	
19	D35	4	4d	6.12	0.73	
20			6d		0.48	
21			8d		0.36	
22		6	4d	9.19	0.73	
23			6d		0.48	
24			8d		0.36	

d: 主筋径

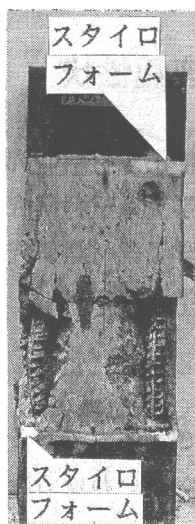


写真-1
スタイロフォームの
装着状態

単調純圧縮とした。試験体をアムスラー型試験機内にセットし、上面のみに球座を置いて載荷した。最大耐力や主筋座屈を確認した後もしばらく載荷を続け、変位計の能力を勘案して適宜載荷を終了し、実験を完了した。なお、載荷は300tf試験機を使用して行ったが、試験体によっては容量不足であるため、1000tf試験機も使用した。試験体により以下のような載荷履歴となった。

No.1~15...300tf試験機で載荷。

No.16~24...1000tf試験機で載荷。

載荷による圧縮変位を電気式変位計を用いて測定した。測定箇所は、上下スタブ間の変位を対称な位置で2箇所測定し、スタイロフォームの縮みも別途測定した。主筋及び帯筋の歪みは歪みゲージを貼付して測定した。なお一部の試験体では、スタイロフォームの効果を確認するために試験部分コンクリート表面に歪みゲージを貼付した。

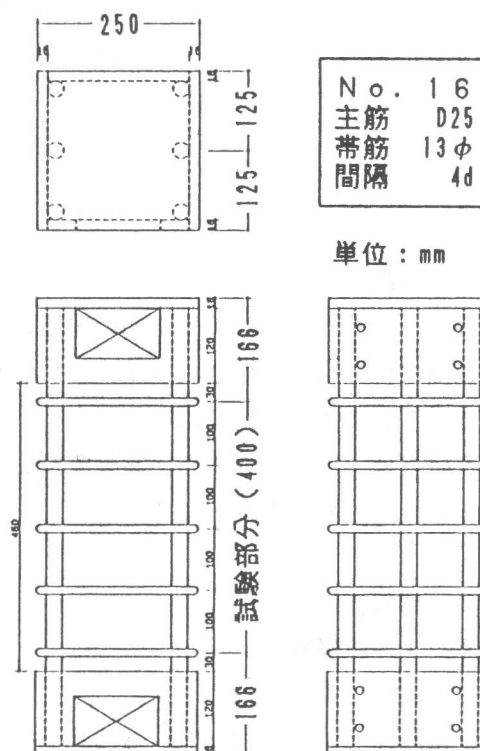


図-1 試験体形状・配筋図

表-2 使用材料の力学的性質

鉄筋種類	鉄筋降伏強度 σ_{sy} (tf/cm ²)	鉄筋引張強度 σ_{st} (tf/cm ²)	鉄筋ヤング率 E (tf/cm ²)
10φ	10.42	10.7	2136
13φ	9.0	10.1	1890
D19	10.0	10.9	1960
D25	9.75	11.3	1900
D35	9.5	11.2	1900

コンクリート圧縮強度 σ_{cc} (kgf/cm ²)	コンクリート割裂強度 σ_{ct} (kgf/cm ²)	コンクリート1/3割線剛性 $E_{1/3}$ (tf/cm ²)
375.3	33.5	244

3. 実験結果

3.1 実験における全体的傾向

主筋の座屈は最大耐力時以降に確認した。全試験体にはほぼ共通する破壊性状は次の通りである。まず載荷に従い試験部分のコンクリート表面に主筋に沿って縦のひび割れが入った。このひび割れは幅が狭く、ひび割れを通して主筋が見える様なものではなかった。最大耐力後の荷重低下時にひび割れが多く発生してコンクリートの剥落が起こり、主筋の座屈が目視によっても確認された。No.1~13の試験体では主筋の座屈の進展が一様でないため、スタブが回転したものもあった。No.14~24の試験体ではこの様なスタブの回転は見られなかった。これは剛性など試験機の性能差によるものと

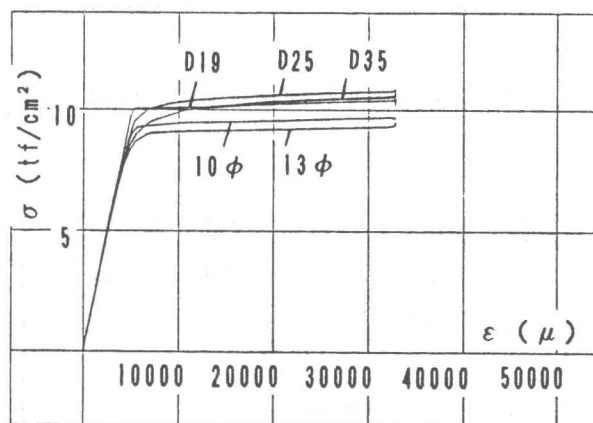


図-2 鉄筋の引張試験結果

思われる。試験部分のコンクリート表面に貼付した歪みゲージによる圧縮歪みは最大で500 μ 程度であった。

全試験体の最大耐力及び最大応力度を表-3に、また全試験体についての主筋1本あたりの応力度(σ)と圧縮歪み(ε)の関係(σ - ε 関係)を図-3~10に示す。ここで「最大応力度」とは、最大耐力を主筋総断面積で除したものであり、「圧縮歪み」とは、試験部分の長さ(16d)と上下のスタイロフォームの厚さ(30mm $\times$ 2)の和で上下スタブ間の圧縮変位を除した値である。比較のために、使用した主筋の材料試験から得た応力度-引張歪み関係も示す。最大応力度は主筋の降伏強度より大きくなっているので主筋は全て降伏したものと見なすことができ、主筋の座屈はいわゆる塑性座屈であると判断される。

いずれの試験体も $\sigma=10\text{tf/cm}^2$ 近辺まではほぼ直線的に主筋応力度が上昇しており、この点での試験体ごとの明確な違いは認められなかった。

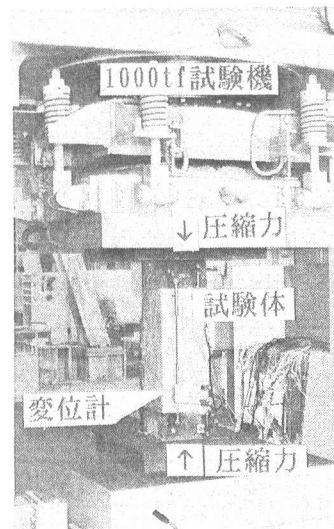


写真-2 載荷・測定装置

表-3 実験結果

No.	最大耐力 $P_{\max}$ (tf)	最大応力度 $\sigma_{\max}$ (tf/cm ²)	変位 δ (mm)	歪 ε_a (%)
1	144.0	12.58	6.42	1.76
2	150.2	13.08	7.60	2.09
3	133.0	11.59	3.87	1.06
4	205.1	11.91	5.60	1.54
5	208.9	12.13	6.20	1.70
6	215.4	12.51	3.90	1.07
7	144.5	12.59	5.81	1.60
8	153.7	13.39	7.23	1.99
9	144.5	12.59	4.83	1.33
10	208.7	12.12	6.24	1.71
11	217.6	12.64	7.37	2.02
12	204.2	11.86	4.22	1.16
13	249.2	12.29	6.93	1.51
14	261.5	12.89	9.41	2.05
15	229.1	11.30	4.35	0.95
16	376.9	12.39	7.24	1.57
17	389.8	12.81	7.94	1.73
18	355.1	11.67	4.11	0.89
19	456.9	11.94	9.24	1.49
20	454.2	11.87	7.21	1.16
21	423.0	11.05	5.65	0.91
22	668.3	11.64	7.83	1.26
23	656.5	11.43	6.63	1.07
24	613.2	10.68	4.63	0.75

3.2 主筋の座屈

主筋の座屈は試験部分の帯筋間で発生しており、帯筋を跳ね上げたり破断させたりする様な座屈は認められなかった。試験部分中央より下部で主筋の座屈が発生したのは、No. 7、13、14、15、19、21、22の7試験体で、他の17体は上部で座屈した。主筋径が大きくなると下部で座屈しやすくなるとも考えられるが、試験体作製条件は全て同じであるので原因は不明である。

3.3 最大応力度

主筋の与える影響を考える。

まず主筋径の影響について見る。帯筋についての条件が等しいNo. 7~9、No. 13~15、No. 19~21について比較してみると、主筋径の大小による最大応力度の明確な違いは確認されない。主筋本数の影響についても同様であり、主筋のうち中央の鉄筋がコーナー筋に比べて特に座屈しやすいという現象は見られなかった。

次いで帯筋の与える影響を考える。まず帯筋間隔の影響であるが、主筋がD19の場合 (No. 1~3、No. 4~6、No. 7~9、No. 10~12)、D25の場合 (No. 13~15、No. 16~18)、D35の場合 (No. 19~21、No. 22~24) で、それぞれ3体ずつのグループのうち最大応力度の最も小さい値で最も大きい値を除してみると、その値は1.05~1.13となっている。帯筋間隔の大小による最大応力度の明確な違

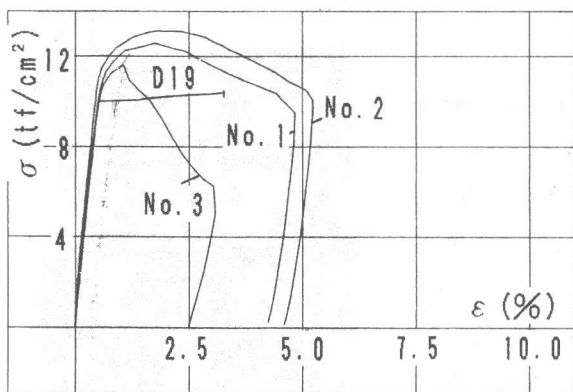


図-3 σ-ε 関係 (D19 4本、10φ)

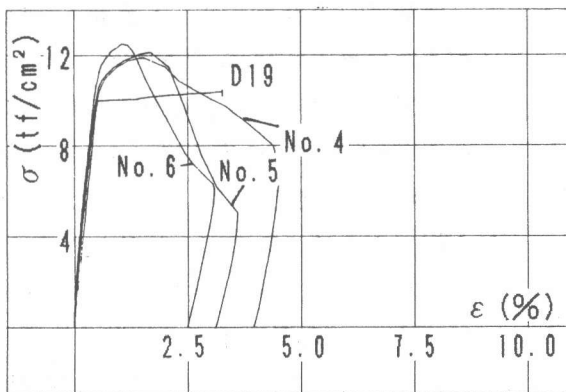


図-4 σ-ε 関係 (D19 6本、10φ)

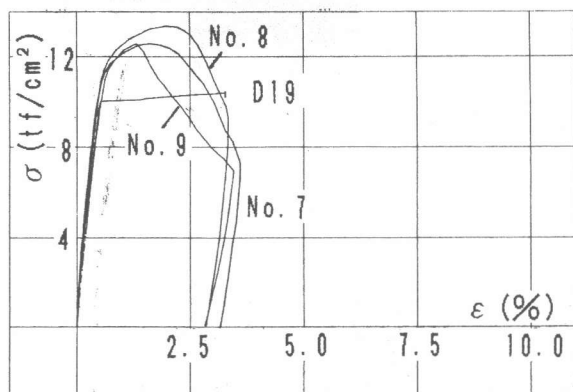


図-5 σ-ε 関係 (D19 4本、13φ)

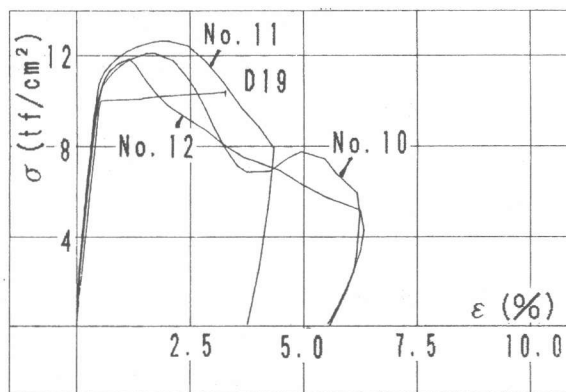


図-6 σ-ε 関係 (D19 6本、13φ)

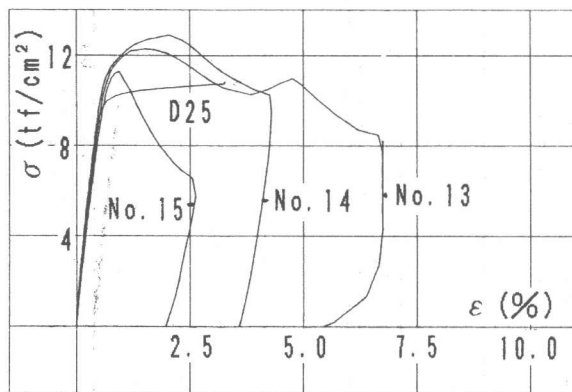


図-7 σ-ε 関係 (D25 4本、13φ)

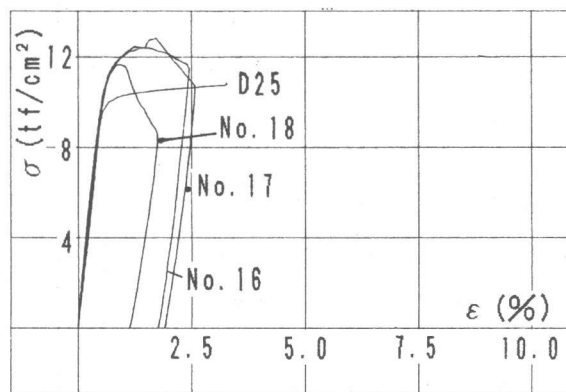


図-8 σ-ε 関係 (D25 6本、13φ)

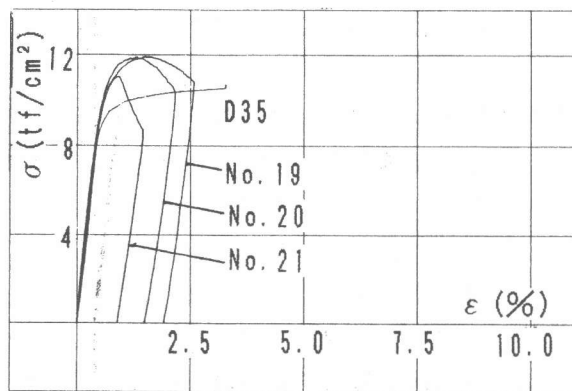


図-9 σ-ε 関係 (D35 4本、13φ)

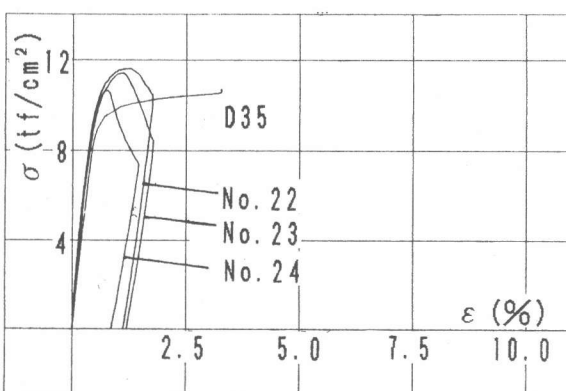


図-10 σ-ε 関係 (D35 6本、13φ)

いは確認されない。帯筋径の影響についても同様に目立った影響は確認できない。

本実験の条件下では最大応力度は主筋の降伏後に記録したために、主筋及び帯筋の違いが最大応力度に与える影響は見られなかった。

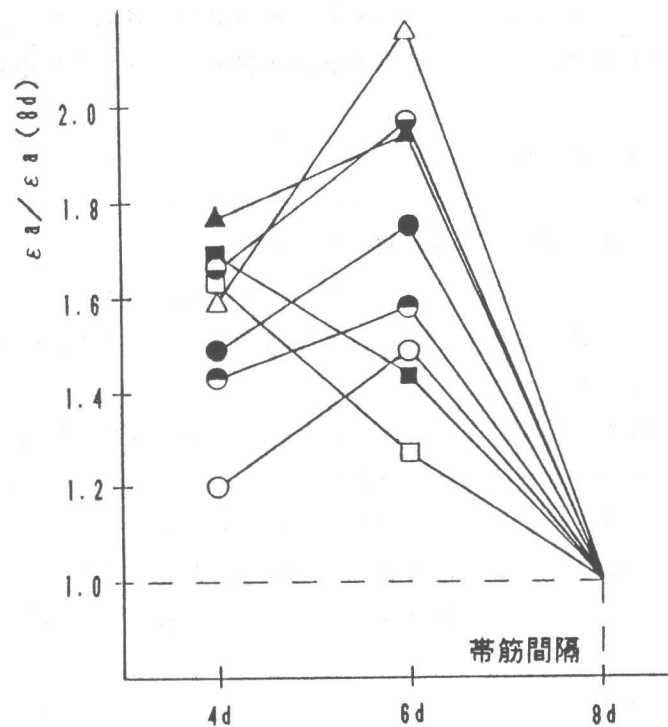
3. 4 最大応力度時変位

表-3中の「歪 ϵ_a (%)」とは、3. 1に示す「圧縮歪み」のうち最大応力度時の値である。主筋D19 (No. 1~12)、及びD25 (No. 13~18)では、いずれも帯筋間隔8dの試験体の ϵ_a が最も小さく、最大でも1.30%程度であった。

図-11に帯筋間隔8dの試験体を基準にした各試験体の ϵ_a の比較を示す。帯筋間隔が8dよりも小さくなると総じて変形能力が増しており、8d試験体の1.2~2.2倍の変形を示している。主筋がD25以下では帯筋間隔6dで変形が極大となっているが、D35では帯筋間隔が小さくなるほど変形が大きくなっている。圧縮変形能力の確保という点では、帯筋間隔8dでは不十分と考えられる。

3. 5 帯筋の歪み

帯筋の歪みの例として、試験部分中央の帯筋の歪みを図-12に示す。最大耐力時の帯筋の引張歪みはほぼ500 μ 以下で、試験体による大きな差はなかった。主筋座屈の開始を帯筋が防止する効果はあまりないものの、座屈開始後の急激な耐力低下を防止する効果は期待できる。ただし、帯筋を密に配した試験体では歪みが2000 μ を越えたものもあっ



$\epsilon_a / \epsilon_a(8d)$: 最大耐力(応力度)時の「歪 ϵ_a 」(表-3)を帯筋間隔8dの試験体の ϵ_a で除した値。

記号	試験体	記号	試験体
●	No. 1~3	△	No. 13~15
●	No. 4~6	▲	No. 16~18
○	No. 7~9	□	No. 19~21
●	No. 10~12	■	No. 22~24

図-11 帯筋間隔と圧縮歪みの関係

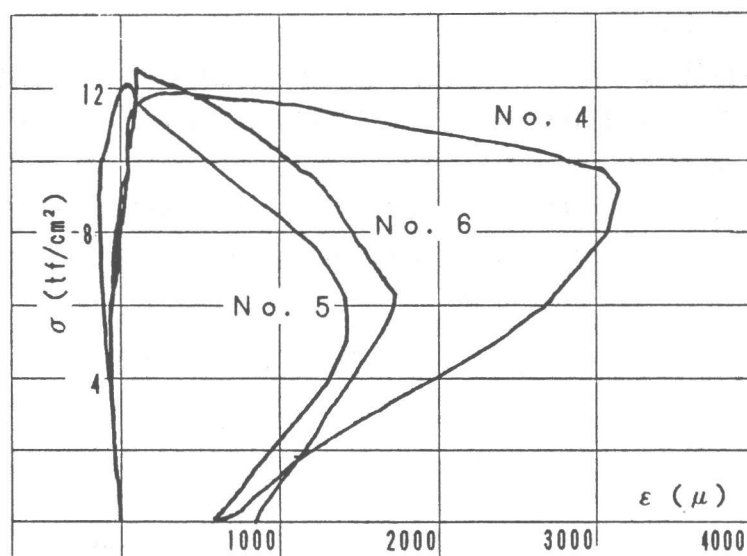


図-12 帯筋の歪み状態の一例

た。直径10mmあるいは13mm程度の普通強度鉄筋では降伏することが十分考えられる。よって、普通強度鉄筋ではこの様な座屈開始後の耐力低下を防止する効果は期待できないものと思われる。

4. まとめ

実験により以下のことが明らかとなった。

- 1) 主筋の座屈は塑性座屈であった。
- 2) 最大圧縮応力度（最大耐力）は主筋の圧縮降伏強度によって決まり、帯筋の影響は受けない。
本実験の条件下では、帯筋間隔を密にしても主筋座屈に対して特に有効という結果は得られなかった。
- 3) 最大応力度時変位では大きな差が認められた。帯筋間隔8dの試験体では変形能力が小さく、4d・6dの試験体では8d試験体の1.2～2.2倍程度であった。帯筋間隔8dでは変形能力確保は難しい主筋径によって4d試験体の変形最大となるものと6d試験体が最大となるものがあった。
- 4) 主筋降伏（最大応力度時）以降の耐力低下防止には、帯筋は有効である。ただし普通強度鉄筋では、この様な効果は少ないと思われる。

<謝辞>

載荷において1000tf試験機の使用をご許可下さった大成建設(株)技術研究所各位に、紙面を借りてお礼申し上げます。

実験及びデータ整理において、神奈川大学工学部教授 仕入豊和先生、東工大 和田・林研究室学生諸氏からご指導・ご協力を戴きました。特に東工大研究生 東 健二氏、神大建築学科4年生 岡田幸治、小林勝彦両氏からは研究全般にわたり多大なご尽力を賜りました。記してお礼申し上げます。

本研究は建設省 New RC 総合プロジェクトの一環として行なわれました。関係各位に深謝いたします。

<参考文献>

- 1) 加藤大介・金谷淳二：鉄筋コンクリート部材の主筋の座屈防止筋の評価法に関する研究、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、日本コンクリート工学協会、pp. 41～46、1990. 5
- 2) 鈴木計夫・中塚 信・山口善史・正田隆啓：各種の形状の横補強筋を用いたコンファインドコンクリート内における圧縮軸筋の座屈性状、同上、pp. 61～68、1990. 5