

論文

[2073] コンファインドコンクリートの強度・変形特性に及ぼす横補強筋の形状と量の影響

阪井由尚*1 中塚 侑*2 中川裕史*3 鈴木計夫*4

1. はじめに

コンファインドコンクリートは、コンクリート部材の曲げ靱性改善に非常に有用であることが実験的・解析的に明らかにされ、同コンクリートを用いる曲げ靱性設計法の提案なども行われている[1,2]。コンファインドコンクリートの力学的特性に関しては、コンクリートの圧縮強度および横補強筋の降伏点と形状などの影響が広い範囲で明らかにされているものの[3~5]、横補強筋形状の詳細、およびとくに高強度コンクリートに対する横補強筋の量の影響はいまだ十分に解明されていない。

本研究は、コンファインドコンクリートの強度・変形特性におよぼす、角形横補強筋におけるサブフープ筋の短辺長ささと降伏強度の影響、ならびに高強度コンクリートにおける横補強筋量の影響を調べようとするものである。

2. 実験概要

実験は概要を表1に示すように、実験ⅠおよびⅡで構成されている。実験Ⅰは横補強筋量が同じ(計画値で $P_s \sigma_{sy} = 50 \text{ kg/cm}^2$)とき、角形横補強筋においてサブフープ筋の短辺長さおよび降伏強度の変化が、コンファインドコンクリートの強度・変形特性にどのような影響を与えるかを検討するためのものである。実験Ⅱは高強度コンクリートに対する横補強筋量 ($P_s \sigma_{sy}$) の効果をより広範囲に調べようとするものである。すなわち前報[5]では、圧縮強度 (F_c) が 900 kg/cm^2 級のコンクリートに対し、 $P_s \sigma_{sy}$ が 70 kg/cm^2 程度であるコンファインドコンクリートについて検討したが、本研究では F_c が 800 および 1200 kg/cm^2 級のコンクリート

に対し、それぞれ $P_s \sigma_{sy}$ が 170 および 220 kg/cm^2 程度に至る大きな横補強筋量の効果を、横補強筋の降伏点 (計画 σ_{sy} : $4000, 8000$, および 13000 kg/cm^2 級) の影響と同時に調べた。各要因を組み合わせた各種のコンファインドコンクリートについての試験体数は2体とし、各プレーンコンクリートに対するものは原則とし

表1(a) 実験Ⅰ試験体の概要

試験体	横補強筋						$P_s \sigma_{sy}$		S/D	Fo	
	試験体名	体数	ϕ		σ_{sy}		形状	計画値			実験値
			外周筋	中子筋	外周筋	中子筋					
実験Ⅰ	TYPE1	2	5.6	5.6	4140	4140	注1	50	0.2	4	320
	TYPE2	2	5.6	5.6	4140	4140					
	TYPE3	2	5.6	8	4140	4100					
	TYPE4	2	8		4100	4100					
	TYPE5	2	4.6	6.5	3920	4130					
	TYPE6	2	4.6	4.6	3920	7700					

ϕ :横補強筋の線径(mm) σ_{sy} :横補強筋降伏点(kg/cm^2)
 P_s :横補強筋比($= (n+2) \pi \phi^2 / 4 (S \cdot D) \times 10^{-2}$)
 n :サブタイ本数 $P_s \sigma_{sy}$:平均拘束応力指標(kg/cm^2)
 S :横補強筋のピッチ(cm) D :試験体一辺長さ(cm)
 F_o : $20 \times 20 \times 40$ 試験体によるプレーンコンクリート強度(kg/cm^2)
 注1:形状については図1試験体配筋図参照

*1 大阪大学大学院 工学研究科 建築工学専攻 (正会員)
 *2 大阪大学講師 工学部建築工学科、工博 (正会員)
 *3 東急建設(株) 建築構造設計部、工修 (正会員)
 *4 大阪大学教授 工学部建築工学科、工博 (正会員)

表1(b) 実験Ⅱ試験体の概要

試験体	試験体名	体数	横補強筋		Psσsy		S/D	Fo		
			φ	σsy	計画値	実験値				
実験Ⅱ	F8-A1	2	5.6	3920	30	28.9	0.23	840		
	F8-A2	2	7.2	4050	70	73.2				
	F8-B1	2	3.3	8370	30	31.8				
	F8-B2	2	5	8050	70	70.2				
	F8-B3	2	6.5	8290	120	122.2				
	F8-C1	2	2.6	13200	30	31.1				
	F8-C2	2	4	13400	70	74.8				
	F8-C3	2	5	12500	120	109				
	F12-A2	1	7.2	4050	70	73.2			0.23	1120
	F12-A3	2	9.2	4110	120	121.4				
	F12-B2	2	5	8050	70	70.2				
	F12-B3	2	6.5	8290	120	122.1				
	F12-B4	2	7.8	8160	170	173.2				
	F12-C2	2	4	13400	70	74.8				
	F12-C3	2	5	12500	120	109				
	F12-C4	2	6	12800	170	160.8				
	F12-C5	2	7.2	13100	220	236.9				

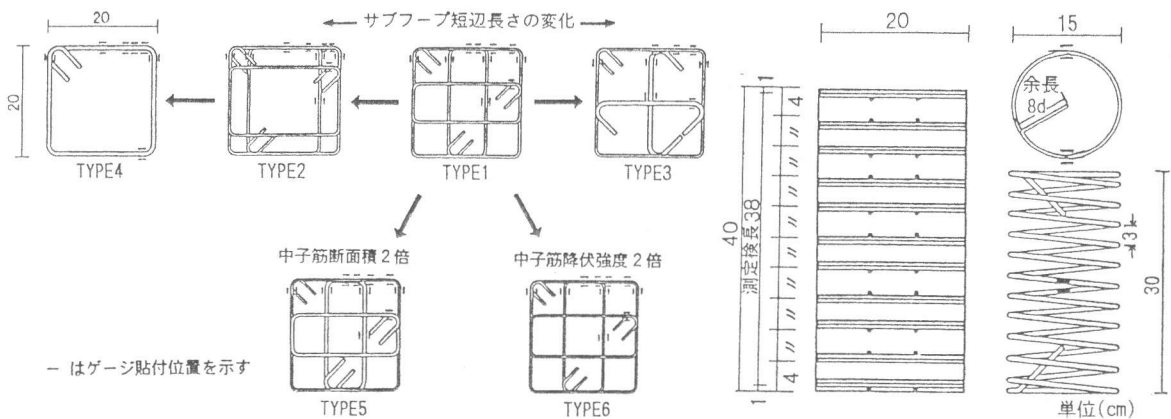
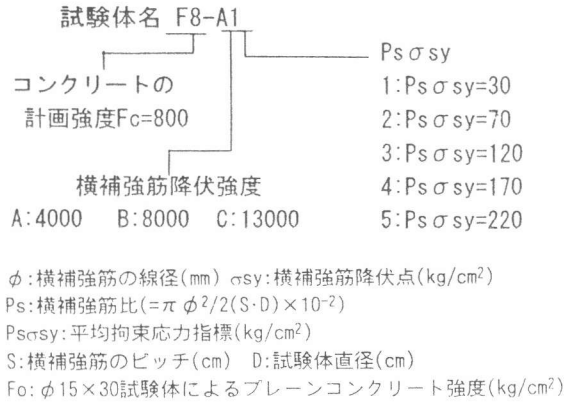


図1 実験ⅠおよびⅡにおける角形および円形横補強筋の形状・寸法

表2 コンクリート調合表

	計画強度	W/C	C	CF	S	G	AE	SP
実験1	Fc300	47	413	---	707	949	1.033	---
実験2	Fc800	35	500	---	693	986	---	10.0
	Fc1200	25	595	105	566	907	---	24.5

(単位: kg/m³)

注) Fc: コンクリート計画強度(kg/cm²) W/C: 水セメント比(%)

C: セメント CF: シリカフェーム S: 細骨材 G: 粗骨材

AE: AE減水剤 SP: 高性能減水剤(レオビルドSP-8HS)

て6体とした。試験体は、実験Ⅰでは断面が20×20cm、高さが40cmの角柱体、実験Ⅱでは直径が15cm、高さが30cmの円柱体で、いずれの試験体もかぶりコンクリートはない。用いたコンクリートの調合を表2に示す。実験Ⅰでは早強セメント、砕石および山砂と海砂の混合砂によるレディミクストコンクリートを用いた。実験Ⅱでは、最大容量100lの2軸ミキサーで混練した、早強セメント、砕石および砕砂と海砂の混合砂からなるコンクリートを使用した。角形および円形の横補強筋形状を図1に示す。

荷重は500ton圧縮試験機を用いて、図2に示すような方法で行なった。荷重速度は手動調節し、また、球座は荷重の偏心を取り除いた後に固定した。試験体の軸ひずみは、図2に示すように380mm(実験Ⅰ)および280mm(実験Ⅱ)区間を測定検長として、ストローク50mmのダイヤルゲージ式変位変換器を用いて測定した。試験体のほぼ中央部で、角形横補強筋の場合

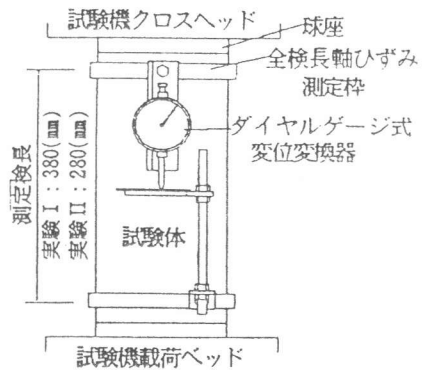
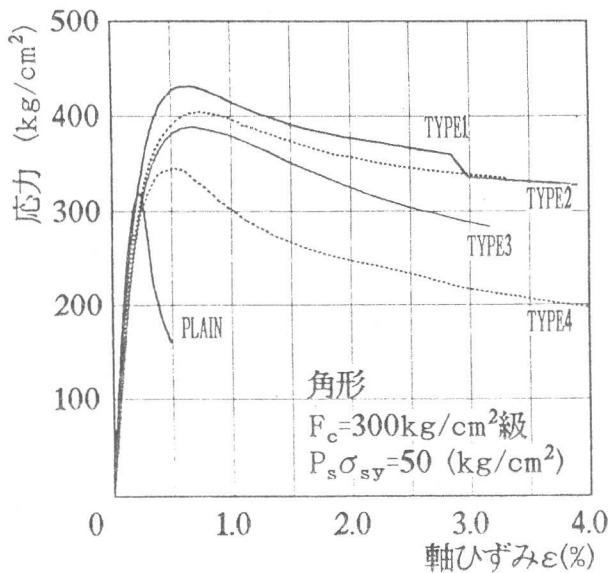
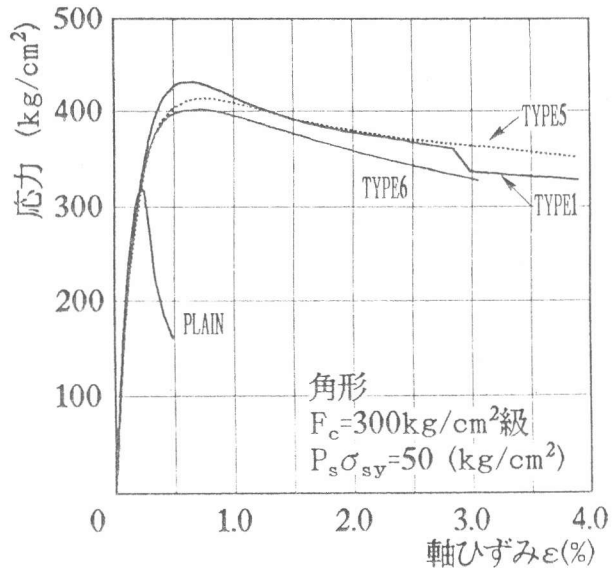


図2 荷重および測定方法



(a) サブフープ形状の影響



(b) サブフープの太さおよび降伏点強度の影響

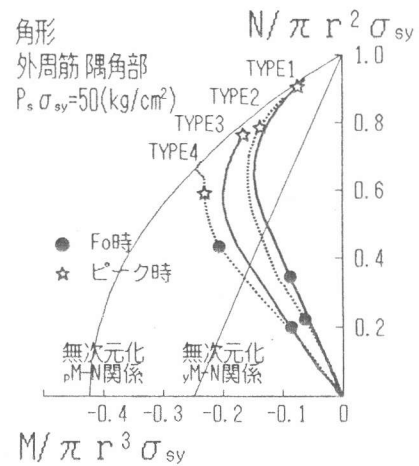
図3 応力-軸ひずみ関係におよぼす各要因の影響(実験 I)

には図1中に示した各位置で、また円形横補強筋では対向する2箇所において、横補強筋局部のひずみ状態を測定するため、各位置でのコアコンクリート側(内側)と反対側の対称位置に検長2mmの箔ゲージをそれぞれ貼付した(図1参照)。

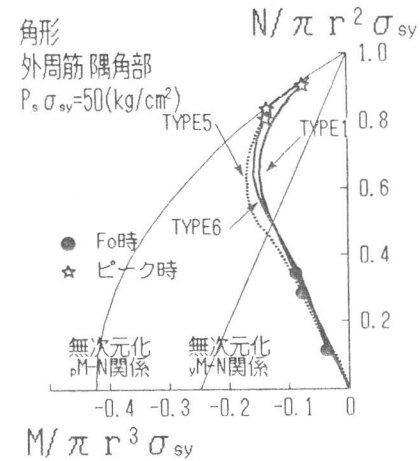
3. 実験結果および考察

3.1 角形横補強筋の形状による影響

図3(a)は、図1に示すように、基本形であるTYPE1の横補強筋におけるサブフープの短辺が、長くなって(TYPE2)、さらには外周筋に一致する(TYPE4)、あるいは短くなって一本のサブタイになる(TYPE3)などのように変化するとき、応力(σ_c)-軸ひずみ(ϵ_c)関係がどのように変わるかを例示したものである。なお、各種試験体の2体間では実験結果に殆ど差がみられなかったので図3および4中には、それぞれ各1体の結果を示している。同図によれば、既往の研究[4]にも示されているように、口形および田形の力学特性はTYPE1の円形に比べ劣るが、同じ円形の場合には中子筋が均等に配筋されているほうが良い性能を示している。図3(b)は、TYPE1と形状および $P_s \sigma_{sy}$ が同じ条件下で、サブフープの断面積を増した場合(TYPE5)、および σ_{sy} を増加させた場合(TYPE6)の $\sigma_c - \epsilon_c$ 関係を例示したものである。同図によれば、これら2タイプの $\sigma_c - \epsilon_c$ 関係は、TYPE1の場合のそれと殆ど同じであると判断される。図4は、試験体の圧縮強度点(ピーク時)と



(a) サブフープ形状の影響



(b) サブフープの太さおよび降伏点強度の影響

図4 外周筋の隅角部近傍に作用する(M, N)関係

密接に関係する、外周筋の隅角部近傍に作用する曲げモーメントと軸力(M, N)状態におよぼす横補強筋のtypeの影響を示した例である。同図(a)によれば、中子筋が均等に配筋されている場合の方が、作用Mに対するNの割合が大となる傾向がみられた。すなわち、コンクリートに対する拘束力は大きくなる。同図(b)では、いずれのタイプの横補強筋の場合でも、ピーク時には横補強筋断面の全塑性M-N相関関係に達し、そのときの無次元化軸力の大きさには余り大きな差はないという傾向が見られた。図5は、中子筋の配置位置が試験体の圧縮強度におよぼす影響を、横補強筋の形状が円形の場合に対する拘束効果の修正係数 $\alpha\beta_F$ [4]を用いて表わしたものである。すなわち、中子筋が均等に配筋されたTYPE1のときの $\alpha\beta_F$ に対するTYPE2, 3および4の $\alpha\beta_F$ の比を示したものである。同図によれば、TYPE4(口形)の結果が●印で示す既往研究の推定値[4]より小となっているものの、均等配置からはずれた中子筋の効果は、均等配置の場合のそれより小となり、その概略は同図中に示す曲線でほぼ評価できると考えられる。

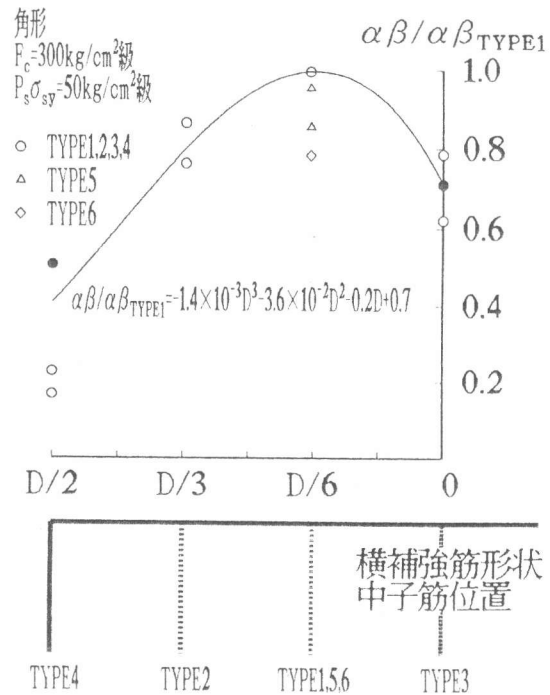


図5 中子筋の配置位置が圧縮強度修正係数におよぼす影響

3. 2 高強度コンクリートにおける円形横補強筋量の影響

前報[5]では、高強度コンクリートに高強度横補強筋を用いた場合、試験体の圧縮強度時においても横補強筋は降伏せず、 $\sigma_c - \epsilon_c$ 関係の改善性の低いことが示された。図6は、実験IIの試験体について応力(σ_c)-軸ひずみ(ϵ_c)-横ひずみ(ϵ_y)関係を示した例である。ここで横ひずみは、円形横補強筋に貼付した4枚のひずみゲージによる測定値の平均である。また同図の第3象限には、横補強筋の応力-ひずみ関係の降伏点強度を $P_s\sigma_{sy}$ に等しくした図を補足的に示している。図6(a)は、横補強筋の $P_s\sigma_{sy}$ はほぼ同じだが、 σ_{sy} が異なって鉄筋の太さ(したがって剛性)が異なるとき、 $\sigma_c - \epsilon_c - \epsilon_y$ 関係がどのように変化するかを調べた例である。同図によれば、 σ_{sy} が 4000kg/cm^2 級でもっとも低くて(従って ϵ_{sy} も小さい)、大きい断面積となる横補強筋をもつ試験体では、 ϵ_c に対する ϵ_y の増加が他の場合に比べ抑えられ、圧縮強度に到るまでに横補強筋は降伏する。一方、 σ_{sy} がより高く、 ϵ_y がより大きく、剛性がより小さくなる試験体では、圧縮強度に到るまでに横補強筋は降伏していない。

これに対し図6(b)は、 σ_{sy} は異なるが、同じ断面積で高い剛性を持つ横補強筋を有する試験体についての結果を示したものである。同図によれば、横補強筋が未降伏状態では剛性が高く、 ϵ_c に対する ϵ_y の増加率は抑えられるため、 $\sigma_c - \epsilon_c$ 関係の圧縮強度点は、 σ_{sy} が小さいときには横補強筋の降伏以降に生じ、また、 σ_{sy} が 13000kg/cm^2 級の場合には降伏時近傍において生ずるようになっていることが分かる。

図6(c)は、横補強筋の σ_{sy} はほぼ同じ(従って ϵ_{sy} もほぼ同じ)だが、横補強筋の太さが異なって $P_s\sigma_{sy}$ が変化するときの結果である。同図によれば、 ϵ_c に対する ϵ_y の増加率は $P_s\sigma_{sy}$ の

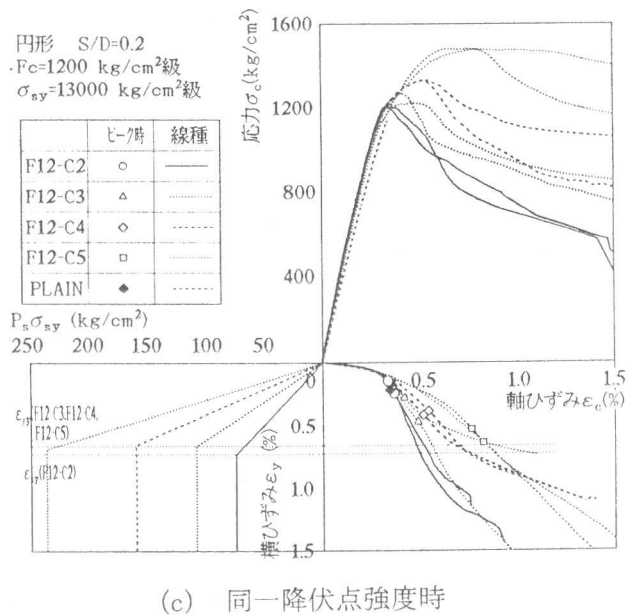
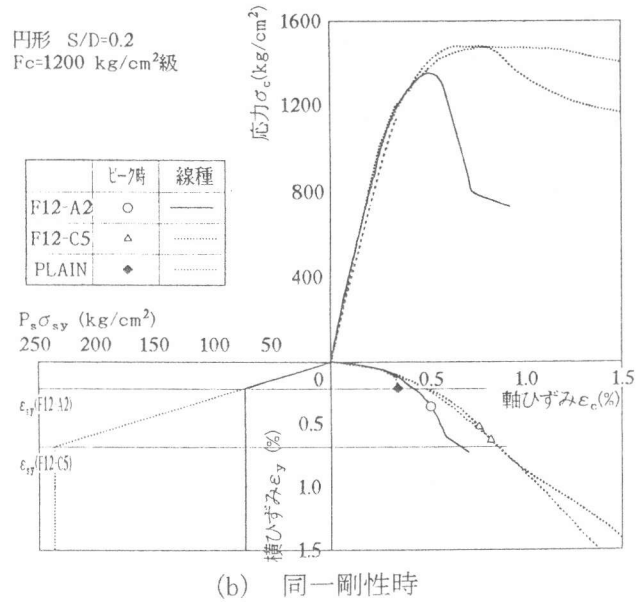
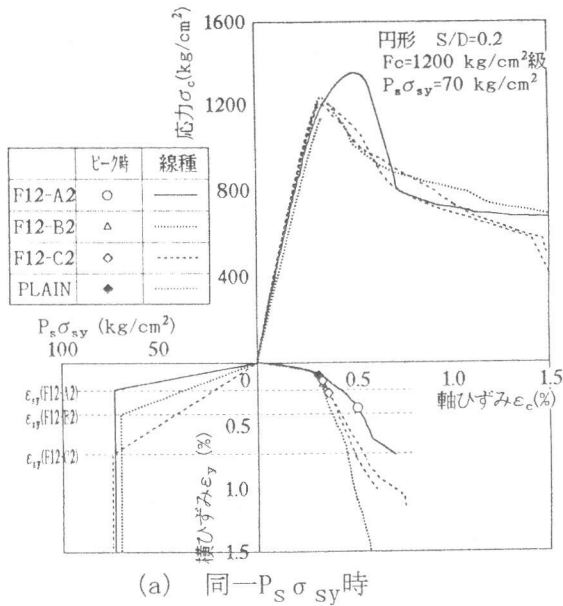


図6 応力-軸ひずみ-横ひずみ関係(実験Ⅱ)

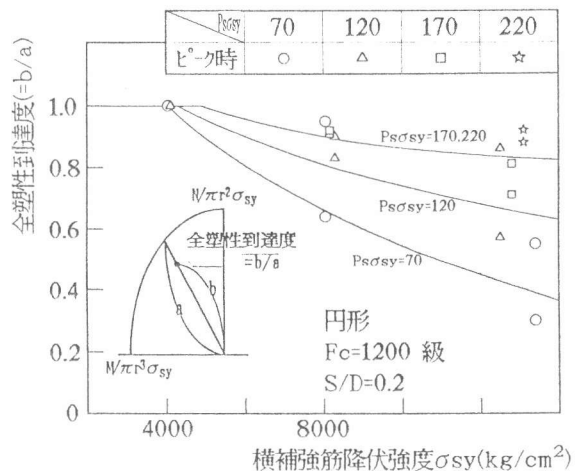


図7 横補強筋断面の全塑性到達度 (Fc=1200kg/cm²級の場合)

減少によって増大するが、 ϵ_{sy} がほぼ同じであるため、 $P_s \sigma_{sy}$ (言い換えれば鉄筋径) が小なる場合ほど、圧縮強度時の横補強筋ひずみ ϵ_y は小となっている。

図6では、高強度コンクリートにおける高強度鉄筋の使用効率、たとえば横補強筋の作用応力の降伏強度に対する比は $P_s \sigma_{sy}$ によって変化することが示された。図7は、 $F_c=1200\text{kg/cm}^2$ 級におけるその結果を、ピーク(圧縮強度)時における横補強筋断面の全塑性到達度(図7中における挿絵参照)から表現した例である。なお、同図における各試験体についての全塑性到達度は、(M,N)状態を測定した各位置での平均値である。同図によれば、圧縮強度時の全塑性到達度は σ_{sy} の増大にしたがって減少する傾向を示すが、その減少率は $P_s \sigma_{sy}$ が大なる程小さい。また、 $F_c=1200\text{kg/cm}^2$ 級のコンクリートの場合、全塑性到達度が1近くになるためには、 σ_{sy} が8000および13000kg/cm²級に対し、それぞれ170および220kg/cm²程度以上の $P_s \sigma_{sy}$ が必要であることなどが分かる。

図8は、コンクリート強度が異なる場合の結果も同時に表現するため、 $(P_s \sigma_{sy}/F_0)$ を横軸にとって、実験Ⅱにおける全試験体の

全塑性到達度を示したものである。同図によれば、圧縮強度時に横補強筋断面が全塑性状態に達するために必要な $P_s \sigma_{sy}$ は、 σ_{sy} および F_0 によって異なる。 σ_{sy} が4000kg/cm²級の場合、 $P_s \sigma_{sy}$ が0.05 F_0 程度あれば、いずれの F_0 の場合でも到達するが、 σ_{sy} が8000kg/cm²級では F_c が800および1200kg/cm²級のコンクリートに対し、それぞれ0.15 F_0 および0.2 F_0 程度の $P_s \sigma_{sy}$ が必要である。また σ_{sy} が13000kg/cm²級および F_c 1200kg/cm²級の場合での所要 $P_s \sigma_{sy}$ 量は、0.25 F_0 程度と非常に大きいものとなる。

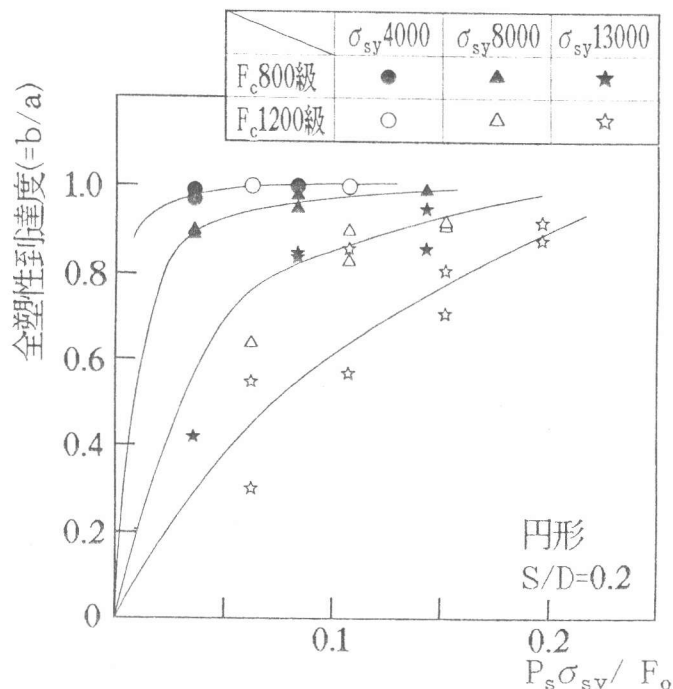


図8 全塑性到達度と $P_s \sigma_{sy}/F_0$ の関係

4. まとめ

- 1) ピッチが同じ時、円形の角形横補強筋では、中子筋は均等に配筋された方がよい拘束効果を示す(図3(a)、図4(a)、図5参照)。また、横補強筋量($P_s \sigma_{sy}$)が同じならば、中子筋の太さおよび降伏強度に関わらず、ほぼ同様の拘束効果を示した(図3(b)、図4(b)、図5参照)。
- 2) 円形横補強筋を用いた試験体より次のことが分かった。高強度コンクリートにおいて高強度鉄筋を有効に利用するためには、大なる $P_s \sigma_{sy}$ ばかりでなく剛性の大きい太い鉄筋の使用も必要である(図6参照)。また、 F_c 1200kg/cm²級のコンクリートでも、太い鉄筋を用いて $P_s \sigma_{sy}$ で220kg/cm²程度以上の横補強を施せば、粘り強い応力-軸ひずみ関係が得られた(図6~8参照)。

[謝辞]

本研究に当たっては、本学卒論生・幸風直樹君の御助力を得た。角形および円形横補強筋は高周波熱錬(株)より賜った。また高強度コンクリートおよび試験体製作には、大阪生コンクリート(株)・千島工場の多大なる援助を受けた。なお、本研究の一部は文部省科学研究費(一般研究(C):05650536, 代表者:中塚 侑)によった。以上、記して謝意を表します。

[参考文献]

1. 岸本一蔵、中塚 侑、鈴木計夫: R C柱部材の曲げ靱性確保のための横拘束補強筋量の算定式について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13, No. 2, pp. 327-332, 1991
2. 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能、pp. 507-525, 1990
3. 鈴木計夫、中塚 侑、吉田晴彦: 円形補強筋を用いたコンファインドコンクリートの強度および変形特性、材料、第376号、pp. 33-39, 1985. 1
4. 鈴木計夫、中塚 侑、菅田昌宏: 角形横補強筋によるコンファインドコンクリートの拘束機構と強度・変形特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 11, No. 2, pp. 449-454, 1989
5. 中塚 侑、鈴木計夫、中川裕史、溝口 茂: 高強度材料を用いたコンファインドコンクリートの強度および変形特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 2, pp. 961-966, 1992