

論文 横拘束コンクリートの圧縮特性の寸法効果に及ぼす帯筋間隔の影響

小池狭千朗^{*1}・畑中 重光^{*2}

要旨：帯筋比を一定に保ったコンファインドコンクリートの圧縮特性の寸法効果に及ぼす帯筋形状、帯筋ピッチの絶対値、並びにコンクリートの骨材最大寸法の影響について実験的に調べた。その結果、帯筋径を細くして（帯筋比一定）帯筋形状を田型にしたり帯筋ピッチを密にすると、圧縮強度の寸法効果は小さくなるが、応力-ひずみ曲線の寸法効果は依然としてかなり顕著にみられること、コンクリートをマイクロコンクリート化しても、応力-ひずみ曲線の寸法効果は解消されないことが明らかになった。

キーワード：寸法効果、横拘束コンクリート、応力-ひずみ曲線、マイクロコンクリート

1. はじめに

筆者らは、これまでに帯筋の断面積とピッチを供試体寸法に比例させた場合について、角形コンファインドコンクリートの圧縮特性の寸法効果に及ぼすコンクリート強度と帯筋量の影響を調べた^{1, 2, 3)}。

本研究では、角形コンファインドコンクリートの圧縮特性の寸法効果に及ぼす帯筋ピッチの絶対値 S と帯筋形状、並びにコンクリートの骨材最大寸法 ϕ_{max} の影響について、実験的に調べる。

2. コンファインドコンクリートの「寸法効果」の定義について

筆者らの一連の研究では、基本的に、以下の条件のもとで「寸法効果」を議論してきた。

- 1) プレーンコンクリート：寸法の異なる供試体に対し、コンクリートを同一とする場合と、骨材寸法を供試体寸法に比例させる場合（マイクロコンクリート）がある。本研究では前者とする。
- 2) コンファインドコンクリート：寸法の異なる供試体に対し、帯筋径および帯筋ピッチを供試体寸法に比例させる場合（幾何学的に相似）と、帯筋径または帯筋ピッチを同一とする

表-1 角柱体の一軸圧縮実験の概要

供試体寸法		帯筋						コンクリートの粗骨材最大寸法： ϕ_{max}			
断面： $b \times b$ (cm)	高さ： H (cm)	帯筋比 (%)	帯筋ピッチのタイプと帯筋形状	口型比例ピッチ		口型同一ピッチ		田型同一ピッチ		$\phi 15$ 普通コンクリート (mm)	マイクロコンクリート (mm)
	$H/b=2$			直径 (mm)	ピッチ S (cm)	直径 (mm)	ピッチ S (cm)	直径 (mm)	ピッチ S (cm)		
9.7×9.7	19.4	約 1.5	比例ピッチ (口型)	$\phi 4.0$	1.6	$\phi 4.0$	(1.6)	-	-	15	6
15.0×15.0	30.0		同一ピッチ (口型)	$\phi 5.6$	2.5	$\phi 4.5$	1.6	$\phi 4.0$	1.6		9
20.0×20.0	40.0		同一ピッチ (口型)	$\phi 8.0$	3.3	$\phi 5.6$	1.6	$\phi 4.5$	1.6		12
25.0×25.0	50.0		同一ピッチ (田型)	$\phi 10.0$	4.2	$\phi 6.3$	1.6	$\phi 5.0$	1.6		(15)

*1 愛知工業大学助教授 工学部建築学科、工修 (正会員)

*2 三重大学助教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

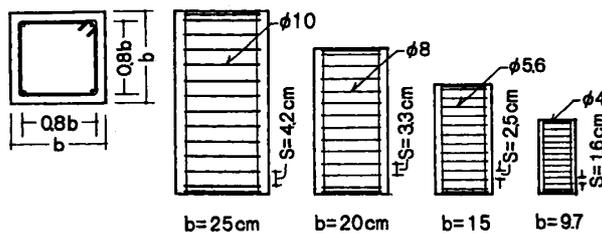
場合がある。本研究では前者とする。

ただし、上記の条件が満たされない場合についても知見を得ておくことが重要であると考えられる。本報は、主に上記1)、2)の後者の場合に相当する条件下での「寸法効果」を調べることを目的としている。

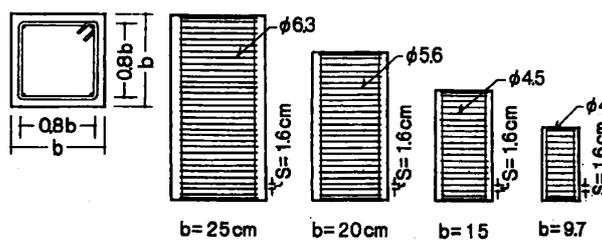
3. 実験方法

3.1 実験の概要

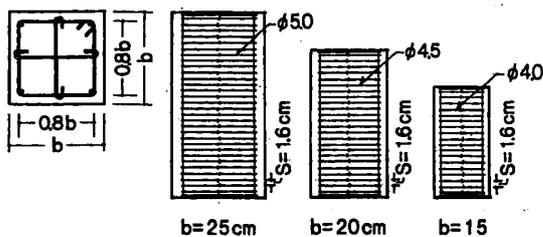
表-1に、コンクリート角柱体の一軸圧縮実験の概要を示す。実験要因として、供試体寸法、帯筋のピッチの種類と帯筋形状、コンクリートの粗骨材最大寸法などの影響を取り上げた。図-1および図-2に、供試体の寸法と帯筋の配置を示す。供試体の寸法は、正方形の断面の一边 b が9.7、15.0、20.0および25.0cmの4種類とした。帯筋比はおよそ1.5%の一定（現実には、1.3~1.6%）とし、帯筋配置と形状を、口型比例ピッチ帯筋 ($S=b/6$ 、 $b=9.7$ cmの供試体で $S=1.6$ cm)、口型同一ピッチ帯筋 ($S=1.6$ cm) および田型同一ピッチ帯筋 ($S=1.6$ cm) の3種類とした。帯筋には、寸法比に応じた直径の得やすい鉄線を使用した。帯筋径は、所定のピッチで帯筋比が1.5%に近くなるものを選んだ。帯筋を結束するために、 $\phi 2.7$ mmの鉄線を四隅に配した。コンク



(a) 比例ピッチ口型帯筋



(b) 同一ピッチ口型帯筋



(c) 同一ピッチ田型帯筋

図-2 帯筋の配置

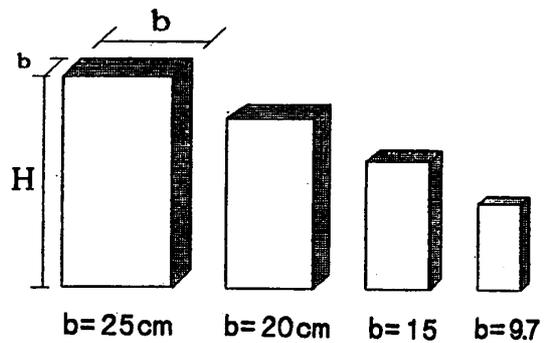


図-1 コンクリート角柱体の寸法

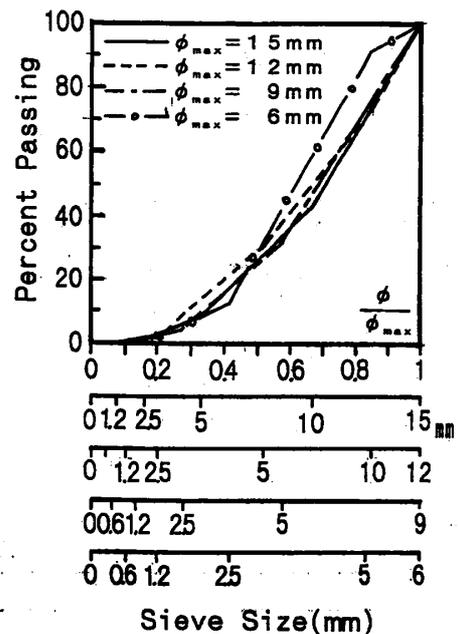


図-3 粗骨材の粒度分布曲線

リートは、粗骨材最大寸法が15mmの普通コンクリートおよび供試体寸法と粗骨材最大寸法の比を一定 ($b/\phi_{\max}=16.7$) としたマイクロコンクリート(粗骨材最大寸法12、9および6mmの3種類)の2種類とした。供試体の個数は、各要因ごとに2体とし、普通コンクリートで30体、マイクロコンクリートで22体、合計52体である。コンクリート強度のバッチ間変動を調べるために、別に $\phi 10 \times 20$ cm円柱体も作成した。

3.2 供試体の製作および養生方法

コンクリートの製作には、普通ポルトランドセメント、天竜川産の川砂(0.6mm未満、普通コンクリートのみ1.2mm未満)および岡崎産の碎石を使用した。図-3に、粗骨材の粒度分布曲線を示す。粗骨材の最大寸法は、普通コンクリートでは $\phi 15$ mm、マイクロコンクリートでは $\phi 12$ 、 $\phi 9$ および $\phi 6$ mmの3種類とした。表-2に、コンクリートの調合を示す。水セメント比は50%、骨材容積比は65%とした。マイクロコンクリートでは、高性能AE減水剤を使用した。スランブは15cmを目標とした。コンクリートの混練には容量100ℓの二軸強制練りミキサーを使用した。コンクリートの打ち込み方向は縦打ちとした。バッチ間変動をみるため作成した $\phi 10 \times 20$ cmコンクリートシリンダーの平均圧縮強度とバッチ間の強度差の最大値は平均値の4.8%であった。

表-3に、使用した帯筋の力学特性を示す。養生方法は、すべて恒温恒湿空中養生(温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $85 \pm 5\%$)とし、材令6週で圧縮試験を行った。

3.3 載荷および測定方法

図-4に、角柱体のひずみの測定方法を示す。 $H/b=2$ の角柱体の圧縮ひずみの測定域は、供試体の高さ中央部の $1.8b$ の領域とした。載荷には、最大容量200tのアクチュエーターを使用した。毎分約 1×10^{-3} のひずみ速度で、供試体の全高さの縦ひずみが 15×10^{-3} に至るまで継続載荷した。耐荷力が200トンを超える供試体では、最大容量600トンの圧縮試験機を使用した。

表-2 コンクリートの調合表

種類 (コンクリートの呼称)	粗骨材の範囲 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg)	セメント (kg)	スランブ (cm)	空気量 (%)
$\phi 6$ マイクロコンクリート	$\phi 6 - \phi 0.6$	30	204	381	20.1	1.8
$\phi 9$ マイクロコンクリート	$\phi 9 - \phi 0.6$	35	214	381	17.0	1.7
$\phi 12$ マイクロコンクリート	$\phi 12 - \phi 0.6$	39	214	381	15.1	1.8
$\phi 15$ 普通コンクリート	$\phi 15 - \phi 1.2$	45	223	393	15.1	1.0

水セメント比: 50%、骨材容積比: 65%、混和剤: 減水剤

表-3 帯筋の力学的性質

種類	実測直径 (mm)	降伏点: σ_y (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	伸び率 (%)
$\phi 4.0$	4.0	2720	3510	43
$\phi 4.5$	4.5	2520	3540	40
$\phi 5.0$	5.0	2530	3720	29
$\phi 5.6$	5.6	3330	4390	30
$\phi 6.3$	6.3	3390	4450	31
$\phi 8.0$	8.0	3170	4140	30
$\phi 10.0$	10.0	3610	4130	37

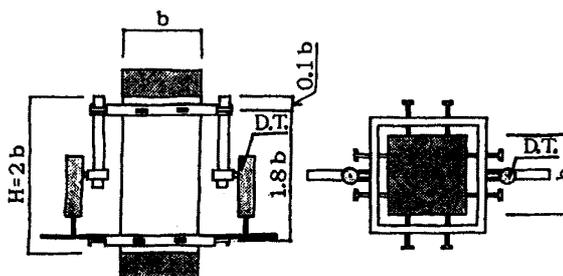


図-4 ひずみの測定方法

4. 実験結果とその考察

供試体は、すべてせん断型の終局破壊面が斜めに形成され、この局所帯に破壊が集中し、最終的にはコンクリートが斜めの破壊面に沿って滑り破壊した。

4.1 圧縮強度

以下の考察では、応力下降域を含む全ての領域において、耐荷力をかぶりコンクリートを含めた全断面積で除した値を”応力”と定義する。

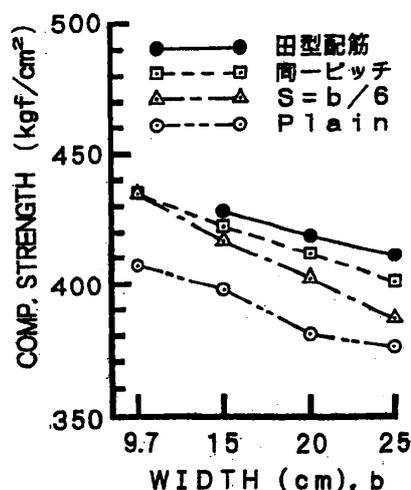
図-5(a)及び(b)に、コンファインドコンクリートの圧縮強度と供試体寸法の関係に及ぼす帯筋種類の影響を、コンクリート種類別に示す。図-5(a)は、 $\phi_{max}=15\text{mm}$ の普通コンクリートの圧縮強度の寸法効果を帯筋種類別に示したものである。帯筋を田型にしたり、ピッチを密にしたものの方が比例ピッチのものより高い圧縮強度を示した。過去の筆者らの実験結果^{1,2,3)}と同様に、供試体寸法が9.7cmから25cmへと大きくなるにつれて、圧縮強度が徐々に低下しており、田型の同一ピッチ帯筋のものでは5.7% (9.7cmの帯筋は口型の比例ピッチのものを基準とした)、口型の同一ピッチ帯筋のものでは8%、従来と同じ比例ピッチでは11.5%低下した。すなわち、圧縮強度の寸法効果は、帯筋を細くしてピッチを密にしたり、形状を田型にすると小さくなる。

図-5(b)は、粗骨材の最大寸法を供試体寸法に比例させたマイクロコンクリートの圧縮強度の実験結果である。マイクロコンクリートを用いた方が、大きな寸法効果を示し、その値は普通コンクリートのおよそ1.5倍を示した。コンクリートをマイクロ化し、帯筋のピッチを極限まで密にしても、圧縮強度の寸法効果は残るものと考えられる。

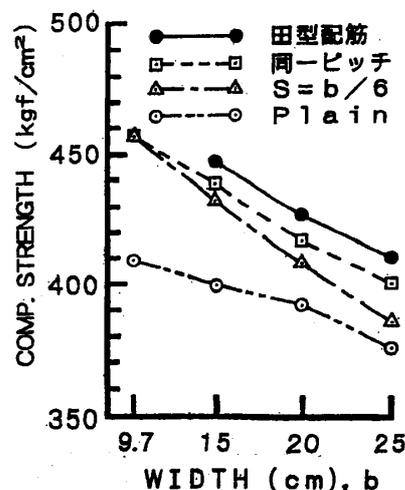
4.2 応力-ひずみ曲線

1) 供試体寸法の影響

図-6および図-7に、コンファインド普通コンクリートおよびコンファインドマイクロコンクリートの応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体寸法の影響を、帯筋の種類別に示す。これらの図によれば、一般に帯筋の種類に拘らず、供試体寸法が大きなものほど軟化域の勾配が急になる^{1,2,3)}。図-6および図-7によれば、田型の同一ピッチ帯筋と口型の比例ピッチ帯筋の供試体の応力下降域の寸法効果に比べて、口型の同一ピッチ帯筋の応力下降域の寸法効果は小さい。また、図-7によれば、マイクロコンクリートの軟化挙動における寸法効果は、いずれの帯筋種類の場合も、普通コンクリートよりやや減少している。しかし、寸法効果が解消されることはない。



(a) 普通コンクリート



(b) マイクロコンクリート

図-5 圧縮強度と供試体寸法の関係に及ぼす帯筋種類の影響

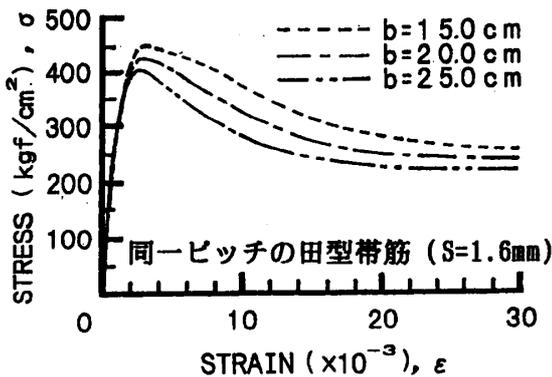
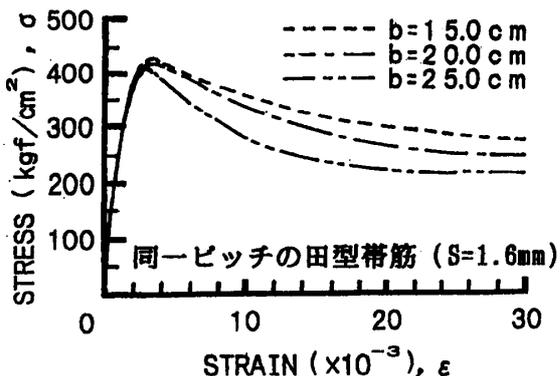
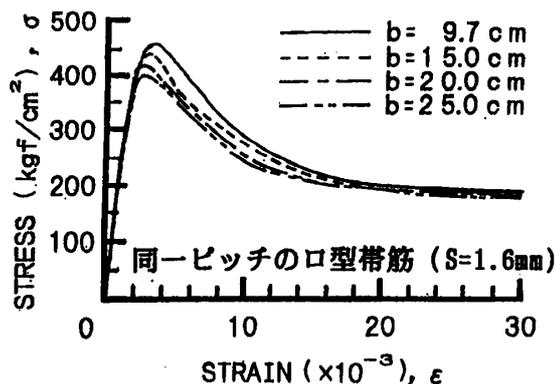
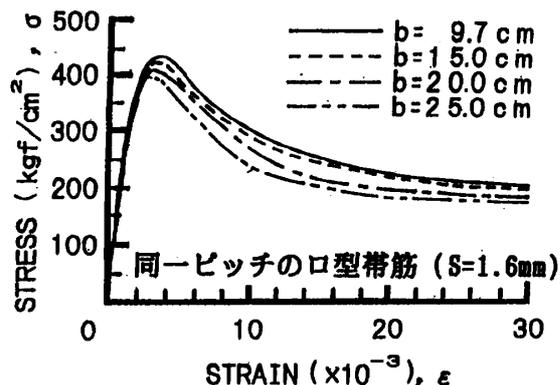
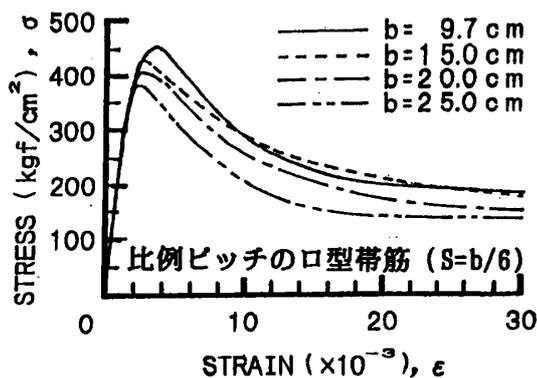
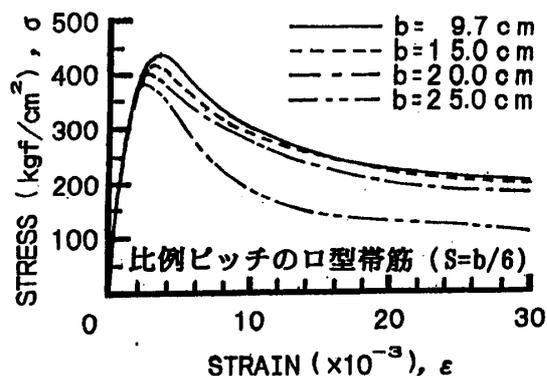
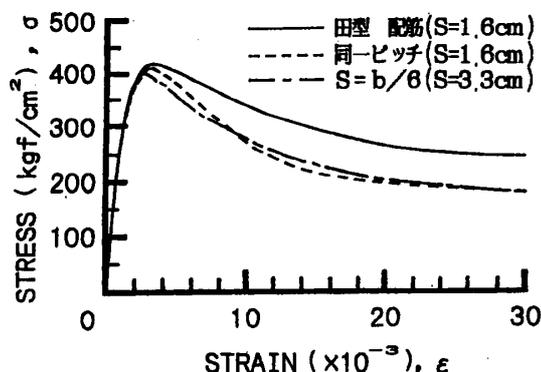


図-6 応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体寸法の影響 (普通コンクリート)

図-7 応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体寸法の影響 (マイクロコンクリート)

2) 帯筋種類の影響

図-8に、帯筋種類の影響を、普通コンクリートの場合について示す。田型の同一ピッチ帯筋で拘束した供試体の軟化域が口型の同一ピッチ帯筋($S=1.6\text{cm}$)と比例ピッチ帯筋($S=b/6$)の場合より延性的である。この傾向は、コンクリートの種類および供試体寸法に拘らず同様に認められた。



3) 粗骨材最大寸法の影響

図-9に、粗骨材最大寸法の影響を、口型同一ピッチ帯筋と口型比例ピッチ帯筋について示す。両図によれば、ピーク点応力(圧縮強度)は供試体寸法および帯筋種類に拘らず、普通コンクリートに比べマイクロコンクリートの供試体の

図-8 応力-ひずみ曲線に及ぼす帯筋種類の影響(普通コンクリート、 $b=20\text{cm}$)

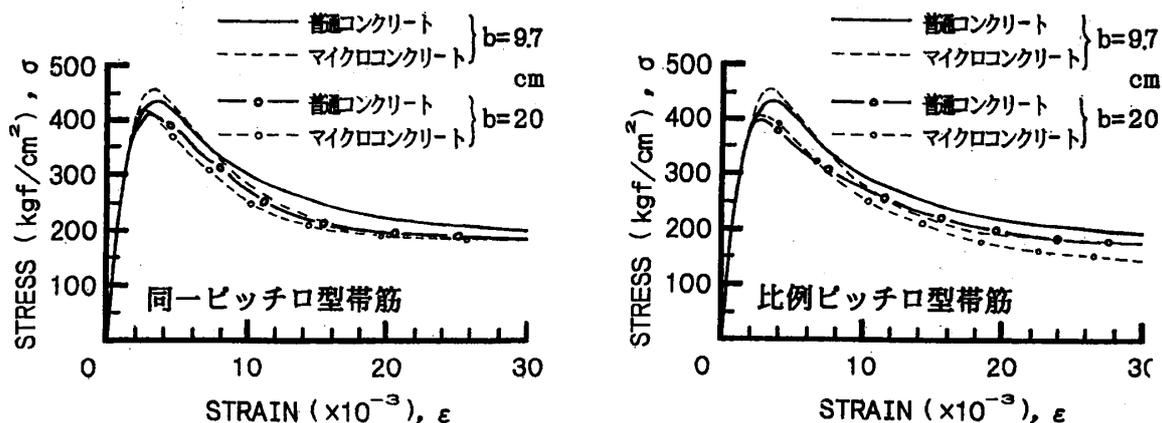


図-9 応力-ひずみ曲線に及ぼす粗骨材最大寸法の影響

方が若干大きい、軟化域はマイクロコンクリートの方が脆性的である。これは、マイクロコンクリートでは、普通コンクリートに比べて粗骨材最大寸法が小さく、軟化域で発生する斜めひび割れ部分の骨材のインターロッキング作用があまり期待できないためと考えられる。

5. 結論

1) 供試体寸法が大きくなるにつれて圧縮強度が低下する寸法効果は、すべてのコンクリートおよびすべての帯筋種類で認められた。同一帯筋比でも、帯筋径を細くして帯筋を田型にしたり帯筋ピッチを密にしたものの方が比例ピッチのものより高い圧縮強度を示し、強度の寸法効果は減少した。マイクロコンクリートの圧縮強度の寸法効果は、普通コンクリートのそれよりも顕著になる傾向がみられた。

2) 帯筋の種類およびコンクリートの種類に拘らず、供試体寸法の大きなものほど脆性的な軟化性状を示した。この軟化性状の寸法効果は、比例ピッチ帯筋の供試体よりも同一ピッチ帯筋の場合の方が、すなわち帯筋ピッチの絶対量が小さい方が減少する。

3) 筆者らの過去の研究^{1, 2, 3)}では、応力-ひずみ曲線の寸法効果は、コンファインドコンクリートの方がプレーンコンクリートよりも顕著であった。上記2)の結果によれば、この理由の一つとして、帯筋ピッチの絶対量を供試体寸法に比例させたことが挙げられる。

4) コンクリートをマイクロコンクリート化すると、ピーク点の応力はやや上昇するが、応力-ひずみ曲線の軟化域の曲線の形状は、やや急になる。また、マイクロコンクリート化によって寸法効果を解消することは不可能である。

〔謝辞〕 本研究は、平成7年度文部省科研費・一般研究C(代表者：小池狭千朗)の一部として行った。本実験に協力していただいた愛知工業大学卒研生の諸君に感謝します。また、セメントを提供いただいたN社並びに高性能AE減水剤を提供いただいたT油脂社に御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 小池狭千朗・畑中重光：横拘束コンクリートの圧縮特性に及ぼす供試体の形状・寸法の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.707-712、1990.6
- 2) 小池狭千朗・畑中重光：コンファインド超高強度コンクリートの圧縮特性の形状・寸法効果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.2、pp.949-954、1992.6
- 3) 小池狭千朗・畑中重光・谷川恭雄：プレーンおよびコンファインドコンクリートの圧縮特性の寸法効果に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第471号、pp.119-130、1995.5