

論文

[2164] 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

正会員○小池狭千朗（愛知工業大学建築学科）

正会員 畑中 重光（三重大学建築学科）

1. はじめに

筆者らは昨年度、圧縮強度300~700kgf/cm<sup>2</sup>の角形コンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体の形状・寸法、ひずみの測定域および帯筋ピッチの影響を調べた。その結果、供試体寸法の増大に伴い、応力-ひずみ曲線が脆性的になるという普通強度コンクリートで認められた傾向は、強度レベルに拘らずほぼ同様に認められること、このような寸法効果は帯筋ピッチが密なほど顕著であり、プレーンコンクリートの場合には、相対的に寸法効果が小さいこと、などが明かとなった[1]。本報では、圧縮強度1000kgf/cm<sup>2</sup>級の超高強度コンクリートについて、これらの要因および帯筋の降伏強度の影響を実験的に調べ、前報[1]の結果と比較・検討する。

2. 実験方法

2.1 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、帯筋比、帯筋の強度レベル、供試体の高さ-辺長比の相違を取り上げた。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。角柱体の高さとの比(H/b)は2と3の2種類とした。帯筋の強度レベルは、降伏点(kgf/cm<sup>2</sup>)で、3000級、5000級および15000級の3種類とした。帯筋間隔は、3000級ではb/8およびb/4の2種類、5000級および15000級ではb/8のみとした。帯筋径は、帯筋間隔Sが辺長bと等しい角柱体で帯筋比が約0.3%となるように選んだ。供試体の個数は、各要因ごとに2体、合計80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、別に円柱体も作成した。

2.2 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、シリカフェーム、天竜川産の川砂(5mm未満)、岡崎産の碎石(10~20mm)および高性能減水剤を使用した。水セメント比は25%、スランプは18cm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。

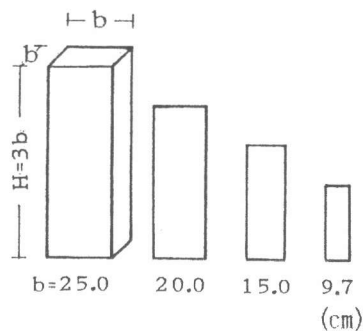


図-1 コンクリート角柱体の寸法 (H/b=3)

表-1 角柱体の一軸圧縮実験の概要

供試体寸		帯筋			主筋	水セメン	
断面 : b×b (cm)	高さ: H(cm)		鉄筋径 (mm)	σ <sub>y</sub>	間隔 S	鉄筋径 (mm)	ト比: W/C (%)
	H/b=2	H/b=3					
9.7×9.7	19.4	29.1	φ 5.0	3000 5000 15000	b/8	2.7	25
15.0×15.0	30.0	45.0	φ 5.6		b/4 *		
20.0×20.0	40.0	60.0	φ 8.0		plain		
25.0×25.0	50.0	75.0	φ 10.0				

注 σ<sub>y</sub>: 降伏点強度レベル (kgf/cm<sup>2</sup>), \*: σ<sub>y</sub>=3000kgf/cm<sup>2</sup>シリーズのみ

コンクリートの打ち込み方向は横打ちとした。角柱供試体と同一養生とした $\phi 10 \times 20$ cmコンクリートシリンダーの平均圧縮強度のバッチ間の強度差は圧縮強度の3.8%以下であった。

表-2に、使用した帯筋の力学的特性を示す。なお、表中には帯筋の拘束指標 ( $\sigma_y \cdot A_s / A_c$ ) も併示した。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。

### 2.3 荷重および測定方法

図-3に、角柱体のひずみの測定方法の一例 ( $H/b=3$ ) を示す。 $H/b=3$ の角柱体の圧縮ひずみの測定域 ( $l_0$ ) は、供試体の高さ中央部の  $2b$  の領域と、これを含む  $2.8b$  の領域の2区間とした。 $H/b=2$ の角柱体の測定域は、供試体の高さ中央部の  $1.8b$  の領域とした。荷重には、最大容量200tのアクチュエーターを使用し、毎分約  $1 \times 10^{-3}$  のひずみ速度で、供試体の中央部  $2b$  区間の縦ひずみが  $20 \times 10^{-3}$  に至るまで継続荷重した。耐荷力が200tを越える供試体では、最大容量600tの圧縮試験機を使用した。

## 3. 実験結果とその考察

### 3.1 圧縮強度の寸法効果

図-4 (a) ~ (c) に、 $H/b=2$  のコンファインドコンクリートの圧縮強度に及ぼす供試体寸

表-2 帯筋の力学的性質

降伏点強度レベル	種類	実測直径 (mm)	降伏点: $\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)	$\sigma_y \cdot A_s / A_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
3000	$\phi 5.0$	5.0	1890	3020	34.6	7.04
	$\phi 5.6$	5.6	3190	4350	23.9	6.00
	$\phi 8.0$	8.0	2820	3840	27.4	6.14
	$\phi 10.0$	10.0	3500	4500	25.0	7.61
5000	$\phi 4.0$	4.0	4990 *	5100	9.7	11.6
	$\phi 6.0$	6.0	5360 *	5440	5.9	11.7
	$\phi 8.0$	8.0	5670 *	5940	32.5	12.3
	$\phi 10.0$	10.0	5660 *	6030	7.9	12.3
15000	$\phi 3.5$	3.5	14500 *	16100	9.5	25.4
	$\phi 5.0$	5.0	16500 *	21190	10.4	24.5
	$\phi 7.2$	7.3	17860 *	16000	6.6	33.3
	$\phi 9.2$	9.2	15110 *	15110	8.2	27.7

注 \* : 0.2% オフセットストレス  
 $A_s$  : 帯筋の断面積 (cm<sup>2</sup>) ,  $A_c$  : コアコンクリートの断面積 (cm<sup>2</sup>)

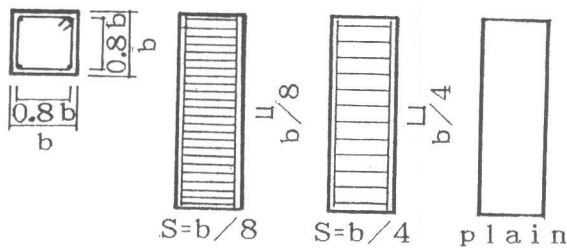


図-2 帯筋の配置 ( $H/b=3$ )

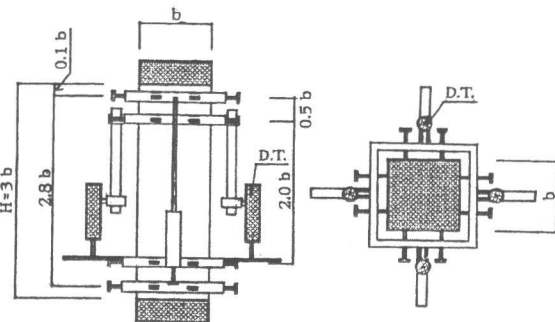
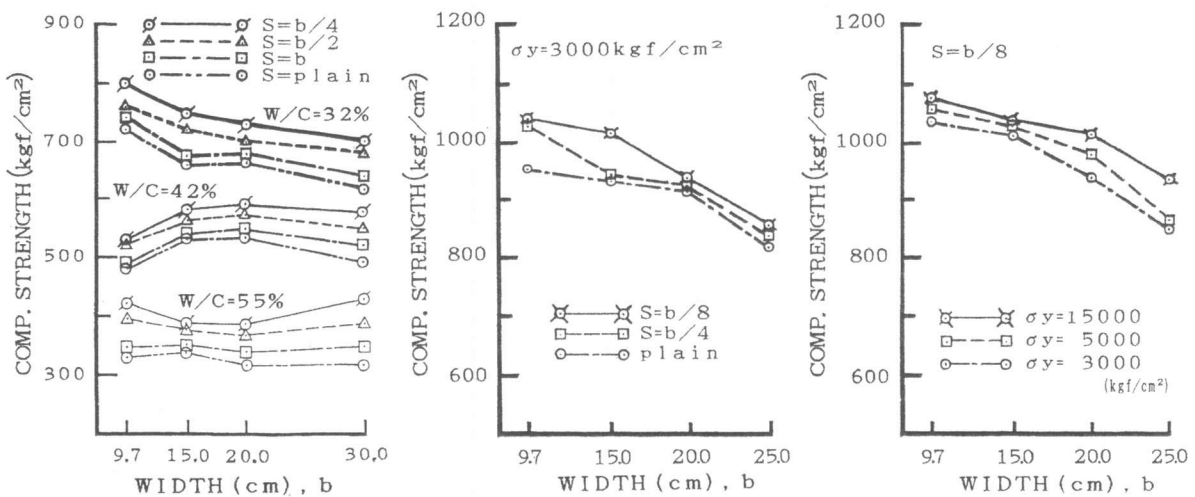


図-3 ひずみの測定方法 ( $H/b=3$ ,  $l_0=2b$  および  $2.8b$ )

法の影響を示す。図-4 (a) は、帯筋ピッチ (S) および水セメント比 (W/C) が変化する場合の実験データである (前報 [1] の再掲)。この図によれば、 $F_c=700\text{kgf/cm}^2$  級 (W/C=32%) のコンクリートの圧縮強度は、供試体寸法が大きくなるにつれて徐々に低下し、 $b=30\text{cm}$  供試体の圧縮強度は  $b=9.7\text{cm}$  のものに比べて平均で約10%低下している。図-4 (b) および (c) は、それぞれ帯筋のピッチ (S) および降伏強度 ( $\sigma_y$ ) が変化する場合の本実験結果である。これらの図によれば、 $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$  級の超高強度コンクリートにおいても圧縮強度の寸法効果は顕著であり、 $b=25\text{cm}$  の供試体の圧縮強度は、 $b=9.7\text{cm}$  のものに比べて平均で約15~20%低下している。また、帯筋のピッチおよび降伏強度が変化することによる圧縮強度の変動はあまり顕著ではなく、本実験の範囲では、いずれの場合もおおよそ  $100\text{kgf/cm}^2$  以下である。以上の傾向は、定性的には  $H/b=3$  の供試体でも同様にみられた。

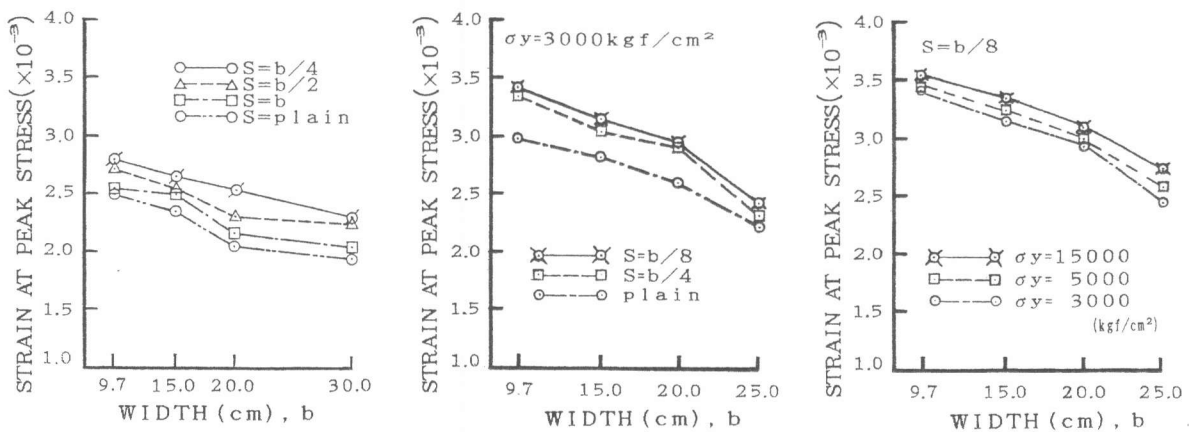


(a) 帯筋ピッチおよび水セメント比の影響

(b) 帯筋のピッチの影響

(c) 帯筋の降伏強度の影響

図-4 圧縮強度と供試体寸法の関係 ( $H/b=2$ )



(a) 帯筋ピッチの影響 (W/C = 32%, 前報の結果)

(b) 帯筋ピッチの影響 (W/C = 25%)

(c) 帯筋の降伏強度の影響 (W/C = 25%)

図-5  $\epsilon_m$  と供試体寸法の関係 ( $H/b=2$ ,  $l_0=1.8b$ )

### 3. 2 最大圧縮応力時のひずみの寸法効果

図-5 (a) ~ (c) に、 $H/b=2$ 、ひずみの測定長 $\ell_0=1.8b$ のコンファインドコンクリートの最大圧縮応力時のひずみ $(\epsilon_m)$ に及ぼす供試体寸法の影響を示す。図-5 (a) は、帯筋のピッチが変化する場合の前報 [1] の実験データである。この図によれば、 $F_c=700\text{kgf/cm}^2$  級 ( $W/C=32\%$ ) のコンクリートの $\epsilon_m$ 値は、圧縮強度と同じように、供試体寸法が大きくなるにつれて徐々に小さくなり、 $b=25\text{cm}$ の供試体の $\epsilon_m$ の値は、 $b=9.7\text{cm}$ のものに比べて平均で約15%減少している。図-5 (b) および (c) は、それぞれ、帯筋のピッチ ( $S$ ) および降伏強度 ( $\sigma_y$ ) が変化する場合の本実験結果である。これらの図によれば、 $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$ 級の超高強度コンクリートにおいても $\epsilon_m$ の値の寸法効果は顕著であり、 $b=25\text{cm}$ の供試体の $\epsilon_m$ 値は、 $b=9.7\text{cm}$ のものに比べて平均で約20%減少している。また、帯筋のピッチおよび降伏強度が変化することによる $\epsilon_m$ 値の変動は極めて小さい。以上の傾向は、定性的には $H/b=3$ の供試体でも同様にみられた。

### 3. 3 応力-ひずみ曲線

#### 1) 供試体寸法の影響

図-6 (a) ~ (d) に、コンファインド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、帯筋の降伏強度 ( $\sigma_y$ ) 別に示す。但し、図-6 (a) はプレーンコンクリートである。これらの図によれば、 $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$ 級の超高強度コンクリートの応力下降域の曲線形状は、いずれの $\sigma_y$ の場合も、供試体寸法に拘らずほぼ類似しており、ピーク応力点における寸法

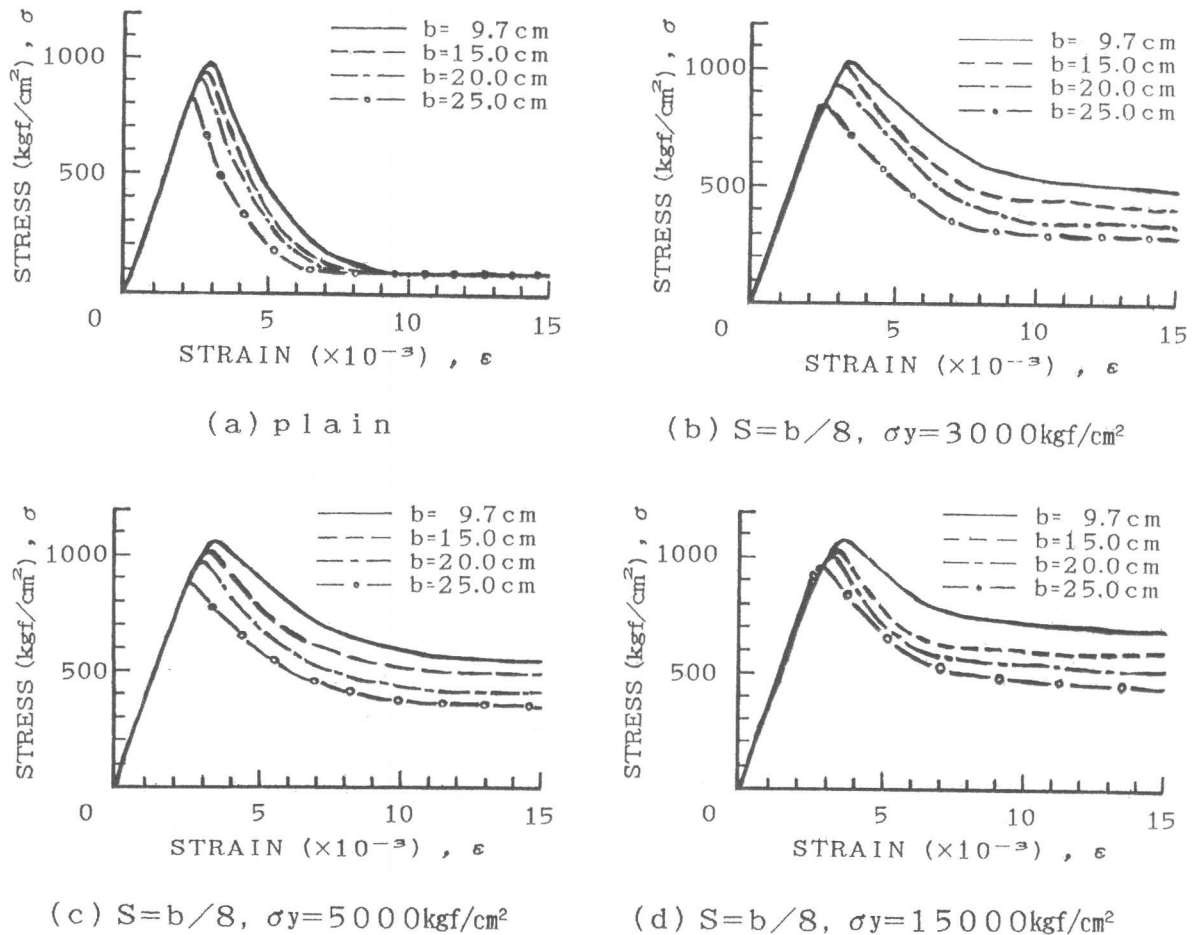


図-6 応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体寸法の影響 ( $H/b=2, \ell_0=1.8b$ )

効果の分だけ平行移動した形となっている。このような傾向は、 $F_c=700\text{kgf/cm}^2$  級のコンクリートでも見られた。ただし、 $F_c=500\text{kgf/cm}^2$  級以下の場合には、応力下降域の軟化勾配が供試体寸法の増大に伴って急になるという形で寸法効果が現れている [1]。以上より、強度レベルの異なるコンクリートの寸法効果を正しく把握するには、クラックパターンなど破壊性状の相違についても考察することが肝要と思われる。

## 2) 帯筋のピッチの影響

図-7 (a) および (b) に、それぞれ  $b=9.7\text{cm}$  および  $20\text{cm}$  のコンファインドコンクリート供試体の応力-ひずみ曲線に及ぼす帯筋ピッチ ( $S$ ) の影響を示す。これらの図および他の寸法の場合の比較によれば、帯筋を密に配置することによる圧縮靱性 (応力-ひずみ曲線下の面積) の改善効果は、供試体の寸法が大きくなるにつれて徐々に減少する。これはコンクリート強度が増大する場合と類似した傾向である。両者を総合して考えると、たとえ帯筋比が同じであってもその拘束効果は、ピーク応力点までに供試体に蓄積されたひずみエネルギーの総量の増大とともに小さくなることが予想される。

## 3) 帯筋の降伏強度の影響

図-8 (a) および (b) に、それぞれ、 $b=9.7\text{cm}$  および  $20\text{cm}$  のコンファインドコンクリート供試体の応力-ひずみ曲線に及ぼす帯筋の降伏強度 ( $\sigma_y$ ) の影響を示す。これらの図および他

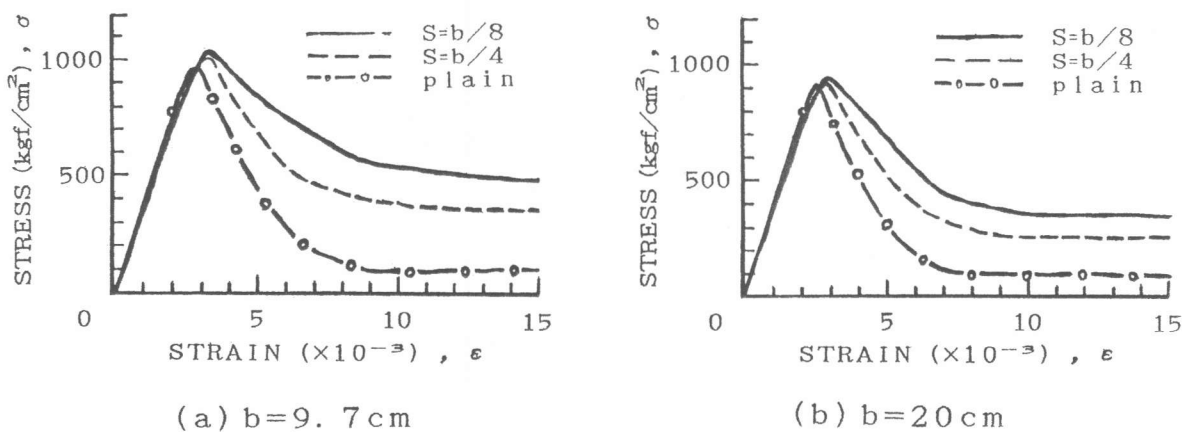


図-7 応力-ひずみ曲線に及ぼす帯筋のピッチの影響  
( $H/b=2$ ,  $\ell_0=1.8b$ ,  $\sigma_y=3000\text{kgf/cm}^2$ )

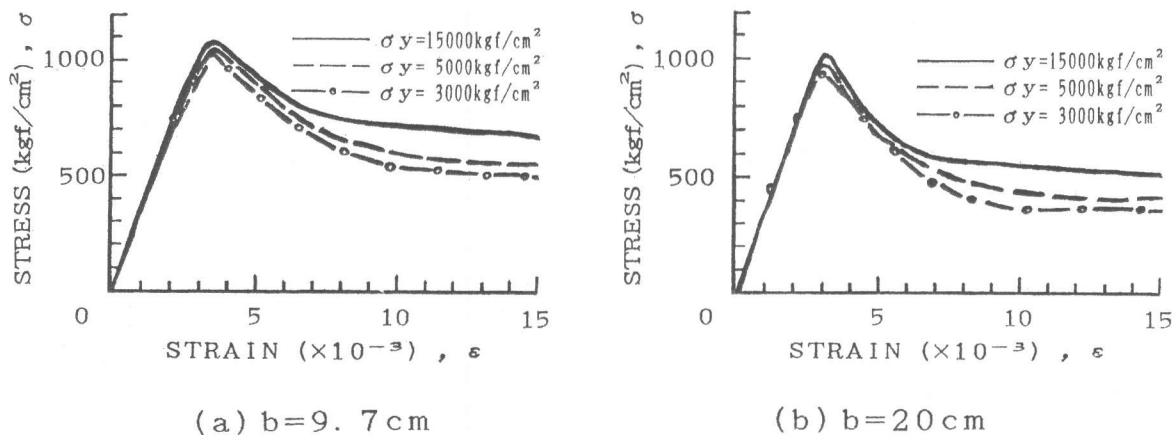


図-8 応力-ひずみ曲線に及ぼす帯筋の降伏強度の影響 ( $H/b=2$ ,  $\ell_0=1.8b$ ,  $S=b/8$ )

の寸法の場合の比較によれば、帯筋の降伏強度がおよそ $\sigma_y=3000\sim 15000\text{kgf/cm}^2$ の間で大巾に変動しても、コンファインドコンクリートの圧縮靱性はほとんど変わらない。これは、超高強度コンクリートでは、角形帯筋の降伏強度発現以前にコンクリートの損傷が急激に進んでしまい、結局、帯筋は大きな損傷を受けたコンクリートを拘束することになるからであると思われる。したがって、とくに超高強度コンクリートの場合には、最終的なクラックパターンに到達する以前、すなわちピーク応力点以前に帯筋による拘束力が十分に発揮されるように工夫することが極めて重要であろう[2]。たとえば、角形横補強筋の内部にサブタイや円形に近いサブフープを配置することも一つの有効な改善策といえる。

#### 4) 供試体の高さ-辺長比の影響

図-9に、コンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線に及ぼす供試体の高さ-辺長比( $H/b$ )の影響を示す。 $H/b=2$ の供試体のひずみの測定長は $\ell_0=1.8b$ 、 $H/b=3$ のそれは $\ell_0=2.8b$ である。この図および他の比較例によれば、超高強度コンクリートの応力-ひずみ曲線の下降域の形状は、他の強度レベルの場合と同様、 $H/b=2$ に比べて $H/b=3$ の供試体ではより脆性的となる。

### 4. 結論

1)  $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$ 級の超高強度コンクリートの圧縮強度の寸法効果は顕著であり、 $b=25\text{cm}$ の供試体の圧縮強度は $b=9.7\text{cm}$ のものに比べて、平均で約15~20%低下した(図-4)。

2)  $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$ 級の超高強度コンクリートの最大応力時のひずみ( $\epsilon_m$ )に及ぼす供試体寸法の影響は顕著であり、 $b=25\text{cm}$ の供試体の $\epsilon_m$ の値は $b=9.7\text{cm}$ のものものに比べて平均で約20%減少した(図-5)。

3)  $F_c=1000\text{kgf/cm}^2$ 級の超高強度コンクリートの軟下域の応力-ひずみ曲線の形状は、供試体寸法に拘らず類似しており、ピーク応力点における寸法効果の分だけ平行移動した形となる(図-6)。この傾向は、 $F_c=500\text{kgf/cm}^2$ 級以下のコンクリートの応力-ひずみ曲線で見られた寸法効果とはかなり異なるものである。

〔謝辞〕 本研究費の一部は、内藤科学技術研究助成金を受けて実施したものである。本実験に協力していただいた愛知工業大学永田昇技術員並びに愛知工業大学卒研究生、伊藤昭広君、岡田義史君、奥村浩之君、白浜裕人君、田口康之君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：形状・寸法の異なるコンファインド高強度コンクリートの圧縮特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13, No. 2, pp. 397-402, 1991. 6

2) 小阪義夫・谷川泰雄・畑中重光：低側圧3軸圧縮下のコンクリートの塑性変形挙動、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 257-260, 1984. 6

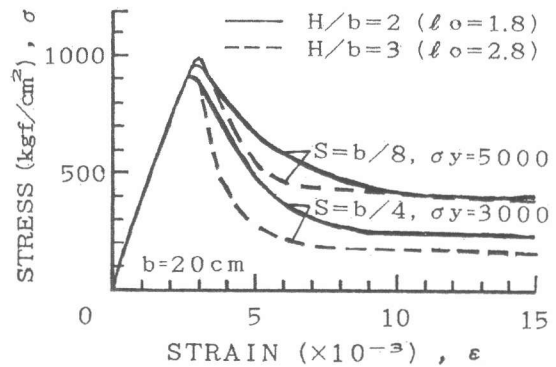


図-9 供試体の高さ-辺長比( $H/b$ )の影響