

論文 高さ直径比が異なるコンクリートコア供試体の圧縮破壊挙動に関する実験的研究

瀬古 繁喜*1・鈴木 澄江*2・鹿毛 忠継*3・伊藤 康司*4

要旨: コンクリートの圧縮強度が 30N/mm²~100N/mm² の範囲において、供試体の高さ直径比を 1.0, 1.5, 2.0 とした直径 100mm のコンクリートコア供試体を作製し、圧縮強度試験実施中における供試体側面のみかけの横ひずみの載荷軸方向に渡る分布を連続的に測定した。高さ直径比 2.0 を基準とした圧縮強度比と高さ直径比の関係は、圧縮強度レベルによらず JIS A 1107 に記載の補正係数の逆数とほぼ同じであった。みかけの横ひずみの分布から、圧縮強度に対してある応力度の範囲から載荷面近傍での変形拘束が観察された。臨界応力度は、圧縮強度レベルおよび高さ直径比によらず圧縮強度の 85%程度であることがわかったが、圧縮強度比に及ぼす高さ直径比の影響を説明できる要因ではないと考えられた。

キーワード: コア供試体, 高さ直径比, 横ひずみ分布, 変形拘束, 臨界応力度, 圧縮強度

1. はじめに

コンクリート構造体の圧縮強度を、コンクリートコア供試体を採取して評価することを主な目的とした JIS A 1107 では、コア供試体の高さ直径比 (以下、h/d と記す) が小さくなるほど圧縮強度が高くなる現象を補正する係数が示されている¹⁾。これまで示されている h/d による補正係数は、圧縮強度が 40N/mm² までの範囲に適用されることが原則とされてきた。供試体の h/d の違いが圧縮強度に及ぼす影響について、補正後の圧縮強度が 40N/mm² を超える高強度コンクリートにおいて、h/d による圧縮強度の変化割合は変わらないとする報告²⁾や、圧縮強度が高いほど h/d が小さい場合の圧縮強度の増加割合が小さくなるという報告³⁾がある。

本報告では、これまで指摘されてきた、載荷板近傍の変形拘束効果によって h/d が小さいコア供試体の圧縮強度が増大するとされる現象について、実験的に検討した結果を述べる。対象とするコンクリートの圧縮強度レベルは 30N/mm²~100N/mm² の範囲とし、コア供試体円周方向のみかけのひずみ (以下横ひずみと記す) を載荷軸方向に渡る分布として、載荷中に連続的に測定し、異なる h/d でのコア供試体の変形性状を把握することとした。

2. 実験概要

2.1 実験因子と水準

実験因子は、試験実施時のコンクリートの目標圧縮強度 (以下、目標強度と記す) とコア供試体の h/d とした。目標強度は 30N/mm²~100N/mm² となる範囲で 5 水準とした。コア供試体の h/d は 1.0~2.0 の範囲で 3 水準とし

た。実験因子と水準を表-1 に示す。実験はすべての因子水準の組合せで実施した。

表-1 実験因子と水準

実験因子	水準
目標強度 (カッコ内は水セメント比)	30N/mm ² (61%), 45N/mm ² (45%), 60N/mm ² (37.5%), 80N/mm ² (28%), 100N/mm ² (27%)
供試体の 高さ直径比(h/d)	1.0, 1.5, 2.0

2.2 コンクリートの材料と調査

(1) コンクリートの材料

コンクリートの材料を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを基本とし、目標強度 100N/mm² の場合のみ中庸熱ポルトランドセメントを用いた。化学混和剤は、目標強度 30N/mm² の場合は AE 減水剤を用い、

表-2 コンクリートの材料

種類	記号	名称	産地	物性値
セメント	C1	普通ポルトランドセメント	T社製	密度3.16g/cm ³
	C2	中庸熱ポルトランドセメント	T社製	密度3.21g/cm ³
細骨材	S	砂	栃木市 尻内町産	表乾密度2.61g/cm ³ , 吸水率1.16%, 粗粒率2.80
粗骨材	G	碎石	佐野市 会沢町産	表乾密度2.70g/cm ³ , 吸水率0.75%, 実積率60.0%
化学 混和剤	AD1	AE減水剤	B社製	変性リグニンスルホン酸化合物, 密度1.07g/cm ³
	AD2	高性能 AE減水剤	F社製	ポリカルボン酸系化合物, 密度1.07g/cm ³

*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 主任研究員・修士 (工学) (正会員)

*2 (財) 建材試験センター 中央試験所 材料グループ 専門職・博士 (工学) (正会員)

*3 (独) 建築研究所 建築生産研究グループ 上席研究員・p h. D (正会員)

*4 全国生コンクリート工業組合連合会 技術部 部長代理 (正会員)

それ以外の目標強度では高性能 AE 減水剤を用いた。

(2) コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-3に示す。目標強度 30N/mm²および 45N/mm²では、強度管理材齢を4週とした。目標強度 60N/mm², 80N/mm², および 100N/mm²では、強度管理材齢を8週とした。空気量およびスランブ(スランブフロー)は表-3に示す目標値とした。

2.3 コア供試体の作製方法

(1) コア採取用模擬試験体の作製とコアの採取

コア採取用模擬試験体は、長さ 1,800mm×高さ 1,200mm×厚さ 325mm の壁状とし、目標強度ごとに1体作製した。型枠は厚さ 12mm の塗装合板を用いて組立て、各調合の生コンクリートの打設は、棒状振動機を用いて2層で打ち込んだ。型枠は、中庸熱セメントを用いた目標強度 100N/mm²のコンクリートのみ材齢3週まで存置し、他は材齢2週まで存置した。試験体は屋内に設置し、型枠脱型からコア採取までは気中養生とした。

コアは、材齢3週および7週において、内径 100mm のダイヤモンドビットを取り付けたコアボーリング機を用い、自動送り装置によって一定速度で削孔した。模擬試験体の見付け面と削孔位置の概要を図-1に、コア採取状況を写真-1に示す。図中の番号を付した箇所から採取したコアを本実験で用いた。

(2) コアの切断と端面研磨

採取したコアは、湿式カッターを用いて表層部分を削除し、内部を所定の寸法に切断した。コアは図-2に示すように、切断位置によって2種類とし、整形後の供試体長さに5mm加えた位置で切断し、端面研磨機で加工する段階で所定の供試体長さとなるように調整した。コア供試体の数量は、各 h/d について3体とした。

2.4 測定項目と方法

(1) フレッシュコンクリートの性状

スランブは JIS A 1101 に従って、スランブフローは JIS A 1150 に従って測定した。空気量は JIS A 1128 に従って測定した。コンクリート温度は JIS A 1156 に従って測定した。

(2) コア供試体の整形精度

端面を研磨したコア供試体は、JIS A 1107 に従って、母線の直線度、コアの軸と端面のなす角度、端面の平面度を確認した。また、コアの直径と高さを、ノギスを用いて測定した。

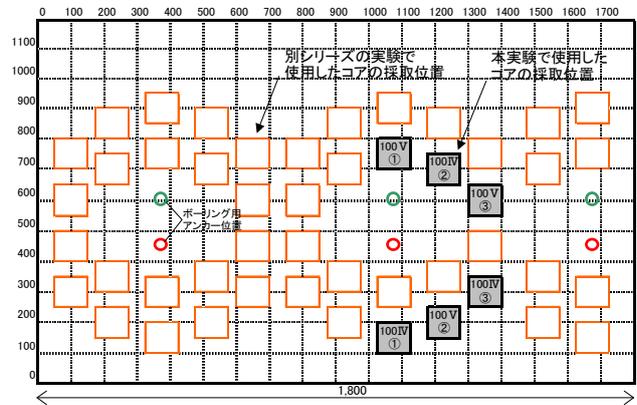


図-1 試験体の見付け面におけるコア採取位置概要



写真-1 コア採取状況

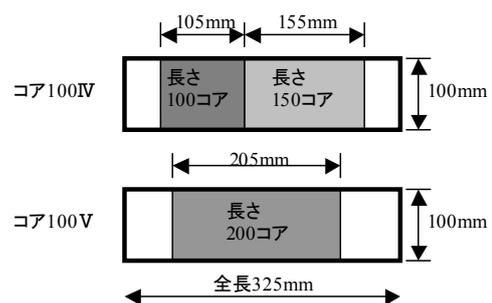


図-2 コア供試体長さとコア切断位置の関係

表-3 コンクリートの調合

目標強度 (N/mm ²)	スランブ (スランブフロー) (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 AD (kg/m ³)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
30	18	61.0	4.5	49.2	178	292	880	940	2.92
45	18	45.0	4.5	48.0	170	378	833	934	3.78
60	18	37.5	4.5	46.5	170	453	780	926	4.67
80	(45)	28.0	4.5	45.9	170	607	710	867	8.19
100	(55)	27.0	4.5	46.5	170	630	715	851	9.77

(3) 供試体の圧縮強度

供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108 に従って、載荷速度 $0.6\text{N/mm}^2/\text{sec}$ で実施し、記録した荷重データの最大荷重を断面積で除して圧縮強度を求めた。供試体の種類は、コア供試体と、JIS A 1132 に従って作製の上、標準養生した供試体の2種類とした。

圧縮強度試験は標準養生した供試体とコア供試体とを分けて2試験機で実施した。コア供試体については、目標強度 30N/mm^2 、 45N/mm^2 、 60N/mm^2 では最大秤量 1000kN の圧縮試験機を用い、目標強度 80N/mm^2 および 100N/mm^2 では最大秤量 5000kN の圧縮試験機を用いた。

(4) コア供試体の縦ひずみおよび横ひずみ

コア供試体の縦ひずみは、JIS A 1149 に従い、検長 60mm のひずみゲージを供試体の相対する2側面で高さの中央部に接着剤で貼り付け、データロガーを用いて連続的に測定した。コア供試体の横ひずみは、検長 60mm のひずみゲージを、供試体の相対する2側面上で、図-3に示す位置に接着剤を用いて貼り付け、データロガーを用いて連続的に測定した。

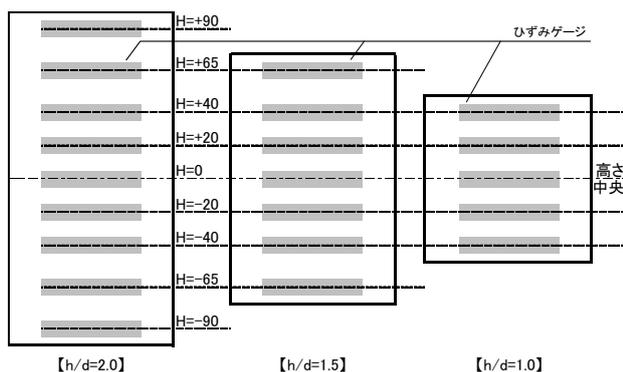


図-3 各 h/d での横ひずみ測定位置

3. 試験結果

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4に示す。スランブは、 16.5cm および 18.5cm であり、目標値 $18\text{cm} \pm 2.5\text{cm}$ の範囲内であった。スランブフローは目標圧縮強度 80N/mm^2 では 44cm 、 100N/mm^2 では 54cm であり、ほぼ目標値どおりであった。空気量は $3.1\% \sim 4.7\%$ であり、目標値 $4.5\% \pm 1.5\%$ の範囲内であった。コンクリート温度は $27^\circ\text{C} \sim 33^\circ\text{C}$ の範囲であった。

3.2 標準養生した供試体の圧縮強度試験結果

JIS A 1132 に従って作製の上、標準養生した供試体による圧縮強度試験結果を表-5に示す。得られた圧縮強度は、目標強度 45N/mm^2 の場合がやや高いほかは、目標強度に対して概ね $\pm 10\%$ 程度の範囲内であった。ヤング

係数は $26.7 \sim 43.0\text{kN/mm}^2$ であり、圧縮強度が大きいほど高くなる傾向は既往と同じ一般的な結果である。

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

目標強度	フレッシュコンクリート試験項目			
	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	温度 ($^\circ\text{C}$)
30N/mm^2	16.5	—	3.3	27
45N/mm^2	18.5	—	4.7	32
60N/mm^2	18.5	—	4.6	29
80N/mm^2	—	44.0	4.0	33
100N/mm^2	—	54.0	3.1	32

表-5 標準養生した供試体の圧縮強度試験結果

目標強度	圧縮強度 (N/mm^2)			ヤング係数 (kN/mm^2)		
	No.	各供試体	平均値	No.	各供試体	平均値
30N/mm^2	①	33.2	33.1	①	25.7	26.7
	②	33.9		②	26.0	
	③	32.1		③	28.5	
45N/mm^2	①	51.1	51.4	①	30.9	31.3
	②	51.6		②	35.9	
	③	51.4		③	27.2	
60N/mm^2	①	60.1	61.2	①	37.0	36.8
	②	61.4		②	35.0	
	③	62.1		③	38.5	
80N/mm^2	①	83.3	82.6	①	40.8	40.3
	②	81.8		②	40.2	
	③	82.7		③	39.8	
100N/mm^2	①	94.9	94.4	①	44.5	43.0
	②	90.9		②	42.6	
	③	97.4		③	41.9	

3.3 コア供試体の圧縮強度試験結果

(1) コア供試体の圧縮強度

コア供試体の圧縮強度試験結果を表-6に示す。表-5に示した圧縮強度と表-6の $h/d=2.0$ の圧縮強度を比較すると、コア供試体の圧縮強度は標準養生した供試体の圧縮強度の $80\% \sim 95\%$ 程度であった。各圧縮強度では、 h/d が小さいほど得られた圧縮強度が高くなる傾向であった。ヤング係数は圧縮強度が大きいほど高くなる傾向は既往と同じ一般的な結果である。

(2) h/d と圧縮強度比の関係

表-6より、 $h/d=2.0$ の圧縮強度を基準とした各 h/d での圧縮強度比を、JIS A 1107 に示された補正係数の逆数とした圧縮強度比とともに表-7に示す。表-7より、目標強度 30N/mm^2 、 60N/mm^2 、 80N/mm^2 および 100N/mm^2 の場合は、 h/d が 2.0 から小さくなるときに圧縮強度比が大きくなるが、その圧縮強度比は JIS の補正係数の逆数の $+5\%$ 以内ではほぼ同じであった。目標圧縮強度 45N/mm^2 の場合は h/d が小さいほど圧縮強度比が大きくなるが、圧縮強度比は他よりも 20% 程度高い値となった。この原因については本実験データから推定することは困難である。

表-6 コア供試体の圧縮強度試験結果

h/d	目標強度30N/mm ²				目標強度45N/mm ²				目標強度60N/mm ²				目標強度80N/mm ²				目標強度100N/mm ²													
	圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)											
1.0	①	36.6	平均	①	27.4	平均	①	54.9	平均	①	29.2	平均	①	67.4	平均	①	37.0	平均	①	74.0	平均	①	35.7	平均	①	97.4	平均	①	40.2	平均
	②	33.0	35.2	②	25.0	25.2	②	54.0	54.8	②	25.9	26.3	②	66.2	67.4	②	29.2	34.4	②	86.0	80.5	②	41.9	39.0	②	101.5	99.2	②	41.6	41.0
	③	36.0		③	23.1		③	55.5		③	23.7		③	68.6		③	36.9		③	81.6		③	39.3		③	98.7		③	41.2	
1.5	①	32.7		①	27.9		①	50.0		①	33.3		①	63.9		①	37.8		①	73.9		①	37.9		①	91.9		①	41.7	
	②	28.7	30.9	②	26.5	26.8	②	49.9	50.1	②	33.2	32.5	②	60.2	62.5	②	33.3	36.4	②	76.2	74.8	②	40.0	38.6	②	90.7	91.0	②	42.5	42.2
	③	31.3		③	26.0		③	50.5		③	30.9		③	63.3		③	38.0		③	74.5		③	38.0		③	90.3		③	42.5	
2.0	①	27.2		①	27.9		①	40.1		①	29.7		①	56.0		①	34.4		①	70.0		①	36.7		①	86.9		①	42.4	
	②	30.5	29.2	②	26.7	27.1	②	40.6	40.4	②	29.4	29.9	②	59.8	57.3	②	35.9	35.2	②	65.8	67.8	②	35.8	36.1	②	83.7	84.6	②	40.4	41.3
	③	30.0	(0.88)	③	26.7		③	40.5	(0.79)	③	30.7		③	56.1	(0.94)	③	35.4		③	67.7	(0.82)	③	35.7		③	83.3	(0.90)	③	41.0	

カッコ内は標準養生した供試体の圧縮強度に対する比を示す。

3.4 コア供試体のみかけの横ひずみ分布

コア供試体のみかけの横ひずみ (以下横ひずみと記す) 分布を測定した結果を図-4に示す。図では、各 h/d について①圧縮強度の1/3応力時、②2/3応力時、③80%応力時、および④95%応力時のひずみ分布を示している。

目標強度 30N/mm² の場合を図-4の上段に示す。横ひずみの分布は、h/d=1.0では、圧縮強度の2/3応力時において二つの供試体の上下端付近でひずみが小さく、高さ中央部が大きい樽形を示し、80%応力時以上では、上下端部に比べて中央部の横ひずみが顕著に増大した。また、h/d=1.5および2.0では、圧縮強度の2/3応力時においては横ひずみ分布が概ね一様であるが、80%応力時におい

表-7 コア供試体の h/d と圧縮強度比の関係

h/d	目標強度(N/mm ²)					JIS 補正係数の逆数
	30	45	60	80	100	
1.0	1.20	1.36	1.18	1.19	1.17	1.15
1.5	1.06	1.24	1.09	1.10	1.08	1.04
2.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

て上下端付近でひずみが小さく、高さ中央部が大きい樽形を示し、95%応力時では、上下端部に比べて中央部の横ひずみが顕著に増大した。なお、目標強度 45N/mm² の場合は 30N/mm² と同様の傾向であった。

目標強度 60N/mm² の場合を図-4の中段に示す。横ひ

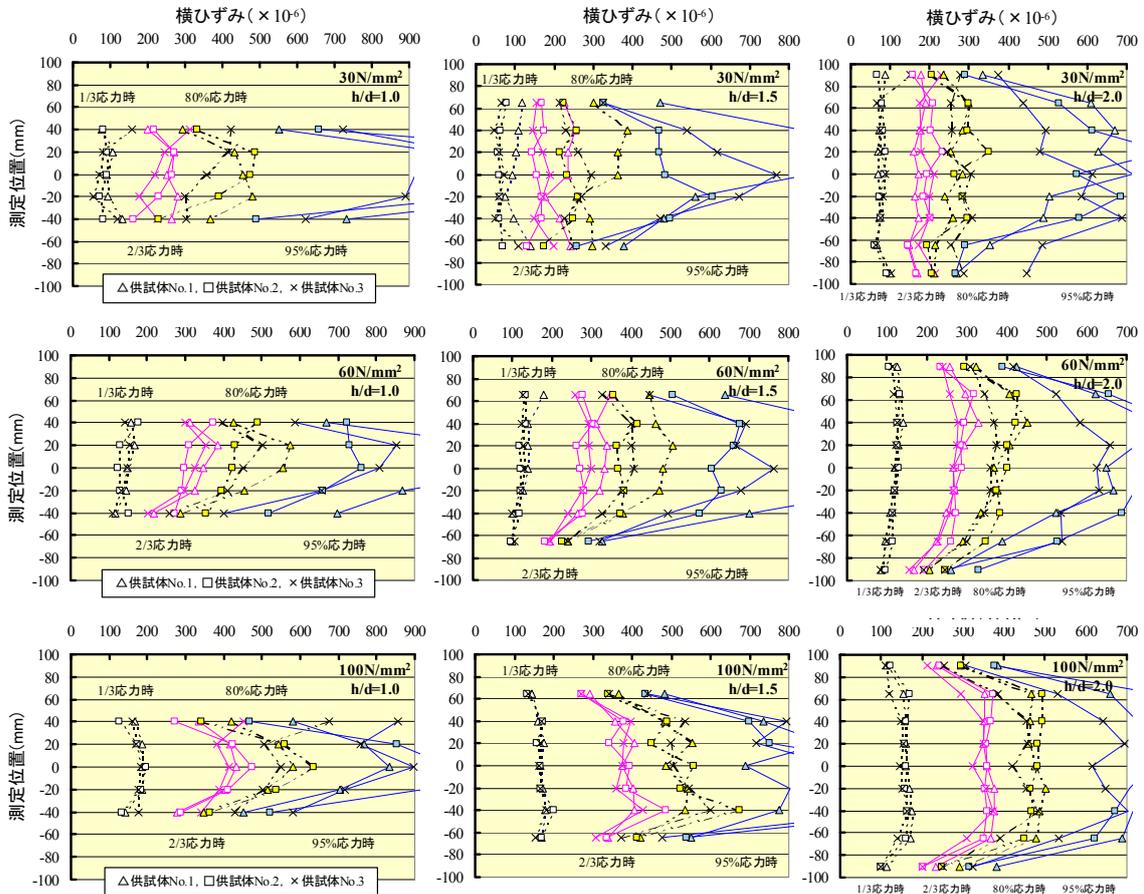


図-4 コア供試体のひずみ分布推移 (上段: 30N/mm², 中段: 60N/mm², 下段: 100N/mm²)

ずみの分布は、 $h/d=1.0$ では圧縮強度の 2/3 応力時において二つの供試体の上下端付近でひずみが小さく、高さ中央部が大きい樽形を示し、80%応力時以上では上下端部に比べて中央部の横ひずみが顕著に増大した。ひずみ分布の推移は、 $h/d=1.5$ および 2.0 でも同様であった。

目標強度 100N/mm^2 の場合を図-4 の下段に示す。横ひずみの分布は、 $h/d=1.0$ では、圧縮強度の 1/3 応力時において二つの供試体の上下端付近でひずみが小さく、高さ中央部が大きい樽形の分布を示し、2/3 応力時以上では、上下端部に比べて中央部の横ひずみが顕著に増大した。また、 $h/d=1.5$ および 2.0 は、圧縮強度の 1/3 応力時において上下端付近でひずみが小さく、高さ中央部が大きい樽形の分布を示したが、2/3 応力時から 80%応力時では、中央部の横ひずみは上下端部に比べて増大するものの、上下端部以外のひずみがほぼ一様に増大する台形状のひずみ分布となった。95%応力時では上下端部に比べて中央部の横ひずみが顕著に増大した。なお、目標強度 80N/mm^2 の場合は 100N/mm^2 と同様の傾向であった。

以上より、圧縮強度が高いコンクリートほど圧縮強度に対して比較的低い応力度の割合で載荷面近傍の変形拘束効果がみられ、応力度としては $20\sim 40\text{N/mm}^2$ 程度である。また、目標強度 30N/mm^2 の場合には、同じ応力度の割合では小さい h/d ($h/d=1.0$) において変形拘束効果がみられた。

4. 実験結果の考察

4.1 h/d と臨界応力度の関係

圧縮強度試験を実施して得られた、圧縮応力と縦ひずみおよび横ひずみの関係から、式(1)を用いて体積ひずみ (ϵ_{vol}) を計算し、体積ひずみが減少から増大に転じる臨界応力度⁴⁾を求めた。

$$\epsilon_{vol} = 2 \times \epsilon_h + \epsilon_v \quad (1)$$

ここに、 ϵ_h : 高さ中央の横ひずみ(引張を+)

ϵ_v : 縦ひずみ(圧縮を-)

得られた臨界応力度と圧縮強度の関係を、全体のデータを一次式で近似した結果を併せて図-5 に示す。図-5 より、全体として臨界応力度は圧縮強度に正比例して高くなる傾向がある。臨界応力度と圧縮強度の関係は一次式で近似することができ、直線の傾きは 0.848 であることから、今回用いたコンクリートの圧縮強度試験における臨界応力度は、圧縮強度のレベルによらず 85%程度であることがわかった。目標強度 80N/mm^2 および 100N/mm^2 では目標強度 60N/mm^2 以下の場合と試験機の容量が異なったが、臨界応力度と圧縮強度の関係には影響していないように見られる。臨界応力度は、 h/d が小さくなって圧縮強度が増加する場合でも同じ割合で増

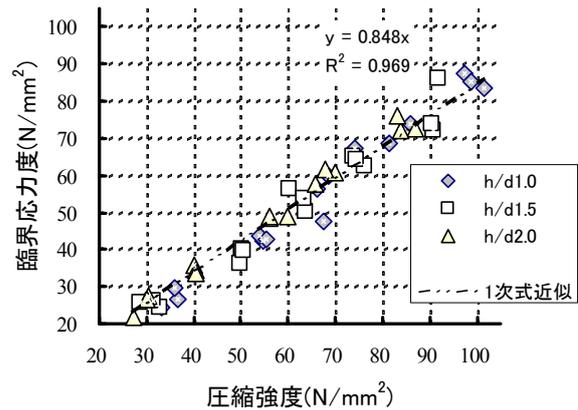


図-5 臨界応力度と圧縮強度の関係

加していることから、 h/d の影響は受けないことがわかる。そのため、 h/d による強度増加の現象は臨界応力度では説明できない。

4.2 載荷面近傍での供試体の変形拘束効果

供試体の変形性状について、圧縮強度(図中では P と表記する)の 2/3 応力時、85%応力時(臨界応力度相当)および 95%応力時における、高さ中央部の縦ひずみに対する横ひずみの比を、目標強度 30N/mm^2 、 60N/mm^2 および 100N/mm^2 の場合の代表的な供試体 1 体ずつをまとめたものを図-6～図-8 に示す。

図-6 より目標強度 30N/mm^2 の場合は、圧縮強度の 85%応力時において、 $h/d=1.0$ および 2.0 のとき上下端から 30mm 程度の位置でひずみ比が増大しない折れ点がみられ、この範囲までが変形拘束効果があると推察されるが、 $h/d=1.5$ のときはひずみ比が三角形の分布形状となっており、ひずみ比の折れ点はみられなかった。95%応力時ではいずれの h/d でもひずみ比が三角形の分布形状となっており、ひずみ比の折れ点はみられなかったが、上下端部のひずみ比は 2/3 応力時から 95%応力時まで変化せず、変形拘束の影響が大きいことが推察される。なお、目標強度 45N/mm^2 の場合は 30N/mm^2 と同様の傾向であった。

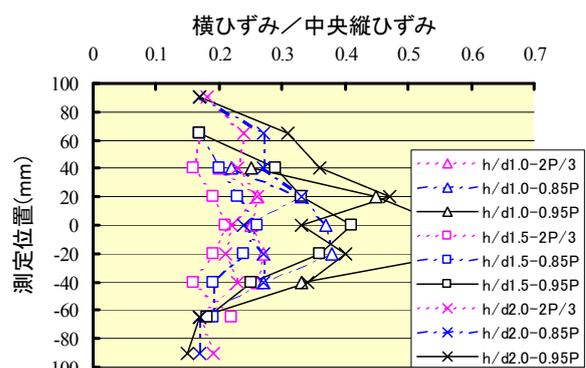


図-6 ひずみ比の分布(目標強度 30N/mm^2)

図-7より目標強度 60N/mm^2 の場合は、85%応力時および95%応力時において、 $h/d=1.0$ および 1.5 のとき上端から 30mm 程度の位置でひずみ比の折れ点がみられ、この範囲までが変形拘束効果があると推察されるが、 $h/d=2.0$ のときはひずみ比が円弧状の分布となっており、ひずみ比の折れ点はみられなかった。また、目標強度 30N/mm^2 と同様に、上下端部のひずみ比は $2/3$ 応力時から 95% 応力時まで変化せず、変形拘束の影響が大きいことが観察される。

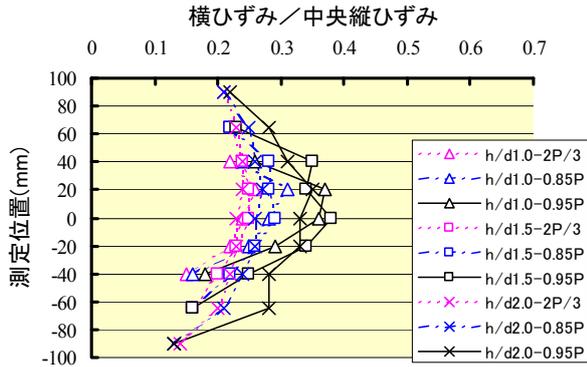


図-7 ひずみ比の分布(目標強度 60N/mm^2)

図-8より目標強度 100N/mm^2 の場合は、85%応力時において、いずれの h/d でも上下端から 30mm 程度の位置でひずみ比の折れ点がみられ、この範囲までが変形拘束効果があると推察される。95%応力時では $h/d=2.0$ がひずみ比の折れ点がみられるが、 $h/d=1.0$ および 1.5 ではひずみ比が三角形の分布形状となっており、ひずみ比の折れ点はみられなかった。また、目標強度 30N/mm^2 および 60N/mm^2 と同様に、上下端部のひずみ比は $2/3$ 応力時から 95% 応力時まで変化せず、変形拘束の影響が大きいことが観察される。なお、目標強度 80N/mm^2 の場合は 100N/mm^2 と同様の傾向であった。

図-6から図-8における、95%応力度でのひずみ比分布は、ひずみ比の違いは若干あるが、いずれの強度レベルおよび h/d でも上下端部のひずみ比が小さく高さ中央部のひずみ比が大きい三角形の分布形状となった。

以上より、圧縮強度試験実施中における載荷面近傍での変形拘束は、圧縮強度の $2/3$ 応力度から 85% 応力度程度では上下端の 30mm 程度が影響範囲と推察されるが、 95% 応力度程度では、変形拘束範囲が明らかにみられない。なお、いずれの強度レベルおよび h/d でも、上下端部のひずみ比は $2/3$ 応力度から 95% 応力度まで変化せず、変形拘束の影響が持続的に大きい。

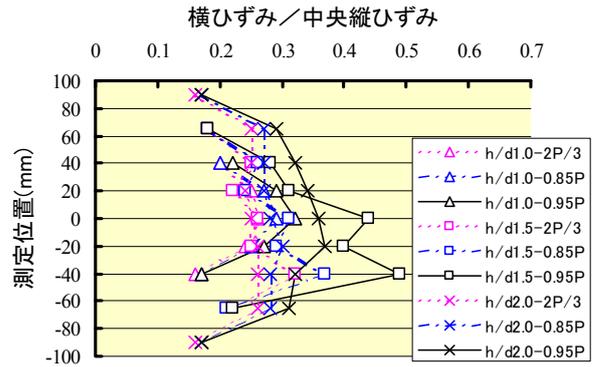


図-8 ひずみ比の分布(目標強度 100N/mm^2)

5. まとめ

100N/mm^2 までの各種強度レベルのコンクリートで h/d の異なる場合の圧縮強度試験でみかけの横ひずみ分布を測定した結果得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 圧縮強度比と h/d の関係は、 45N/mm^2 を除きいずれの強度でも JIS A 1107 の補正係数の逆数とほぼ同じであった。
- (2) 臨界応力度はいずれの圧縮強度レベルや h/d の影響を受けることなく、本実験では圧縮強度の 85% 程度の割合であった。
- (3) 横ひずみ比の分布から、圧縮強度の 85% 応力度(臨界応力度)前後においてひずみ分布の折れ点が観察され、この範囲は概ね 30mm 程度と推察された。
- (4) 圧縮強度の 95% 応力度における横ひずみ比の分布は、いずれの圧縮強度レベルおよび h/d でも高さ中央部が大きい形状となり、上下端部のひずみ比は 95% 応力度まででも変化しない。

謝辞

本実験研究は、JCI に設置されたコンクリート試験方法 JIS 改正原案作成委員会 WG1 (委員長 阿部道彦 工学院大学教授, 主査 鹿毛忠継) において実施したものであり、協力いただいた工学院大学阿部研究室の学生諸氏、ならびに(株)ニューテックに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) ASTM C42-1999 : Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- 2) たとえば、赤荻満, 阿部道彦, 嵩英雄, 玉井孝幸 : コンクリートコアの圧縮硬度に及ぼす供試体の高さ直径比の影響, 日本建築学会大会梗概集, A-1, pp.769-770, 2008
- 3) 野口貴文, 友澤史紀 : 高強度コンクリートの圧縮力学特性に及ぼす供試体寸法・形状の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 473 号, pp.19-28, 1995.7
- 4) コンクリート便覧[第 2 版], 技報堂出版, pp.236-242