

論文 高さ直径比の異なるコンクリートコア供試体のアンボンドキャッピング適用時の圧縮破壊性状に関する研究

瀬古 繁喜^{*1}・鈴木 澄江^{*2}・鹿毛 忠継^{*3}・山田 和夫^{*4}

要旨：コンクリートの圧縮強度の範囲が $30\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ において、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、アンボンドキャッピングを上下端面に設置したときの圧縮強度試験実施中における供試体側面の横ひずみの載荷軸方向に渡る分布を測定した。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、JIS A 1107 に記載の補正係数の逆数とほぼ同じであった。横ひずみ測定結果から、 60N/mm^2 までの範囲では、載荷面近傍での変形拘束が観察され、横ひずみ分布の傾向はアンボンドキャッピングを用いない場合と同じであり、破壊までの変形性状はほぼ同じであることが確認できた。

キーワード：コア供試体、高さ直径比、アンボンドキャッピング、横ひずみ分布、変形拘束、圧縮強度比

1. はじめに

コンクリートコア供試体による圧縮強度試験に関して、現行の JIS A 1107 では、解説に示される実験結果よりコア供試体の両端の載荷面にアンボンドキャッピングを適用できることとなっている¹⁾。既往の検討^{例えば 2)}では、アンボンドキャッピングを適用した場合に、コア供試体の高さ直径比（以下、 h/d と記す）が圧縮強度試験結果に及ぼす影響については検討がなされていない。従って、JIS に示された h/d による圧縮強度の補正係数がアンボンドキャッピング適用時にも用いることができるのかは不明である。

本論文では、アンボンドキャッピングの有無による h/d と圧縮強度比の関係、および異なる h/d でのコア供試体の変形性状について実験的に検証した結果を述べる。対象とするコンクリートの圧縮強度レベルは、前報²⁾と同様に $30\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ の範囲とし、コア供試体円周方向ひずみ（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て、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。なお、比較対象としたアンボンドキャッピング無しの場合の圧縮強度試験結果、および供試体の横ひずみ分布測定結果は、同じ模擬部材で実験した既報³⁾のデータを用いた。

2. 実験概要

2.1 実験因子と水準

実験因子は、強度管理材齢において目標とするコンクリートの圧縮強度（以下、目標強度と記す）とコア供試体の h/d 、およびアンボンドキャッピングの有無とした。目標強度は $30\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ の範囲で 3 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%), 60N/mm^2 (37.5%), 100N/mm^2 (27%)
供試体の 高さ直径比(h/d)	1.0, 1.5, 2.0
アンボンドキャッピング	有り, 無し

2.2 コンクリートの材料と調合

(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/mm^2 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/mm^2 の場合は AE 減水剤を用い、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。強度管理材齢は、目標強度 30N/mm^2 では 4 週とし、目標強度 60N/mm^2 、および 100N/mm^2 では 8 週とした。

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

*1 愛知工業大学 工学部建築学科 講師・博士（工学）（正会員）

*2 （財）建材試験センター 経営企画部 調査研究課 課長・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・ph.D（正会員）

*4 愛知工業大学 工学部建築学科 教授・工学博士（正会員）

表－3 コンクリートの調合

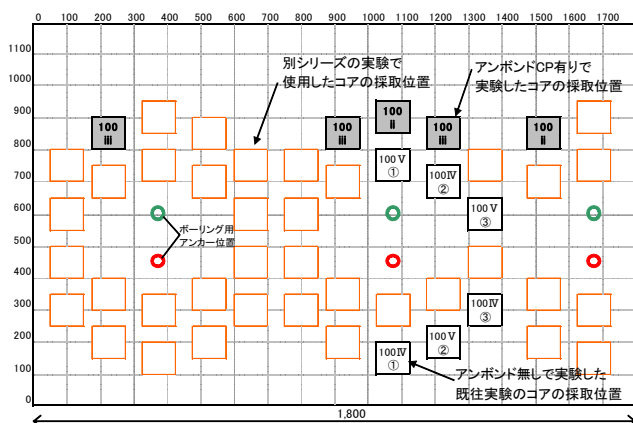
目標強度 (N/mm ²)	スランブ (スラフ・フロー) (cm)	水セメント 比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 AD (kg/m ³)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
30	18	61.0	4.5	49.2	178	292	880	940	2.92
60	18	37.5	4.5	46.5	170	453	780	926	4.67
100	(55)	27.0	4.5	46.5	170	630	715	851	9.77

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

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。試験体は茨城県内の建物屋内にて雨がかりのない場所に設置し、型枠脱型からコア採取までは気中養生とした。

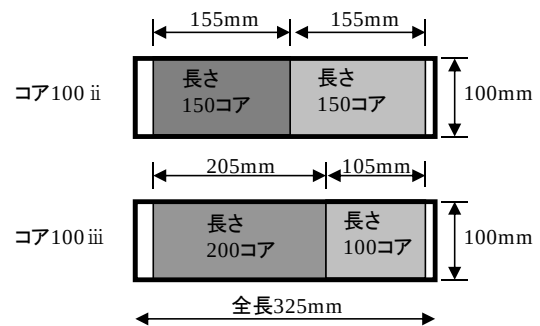
アンボンドキャッピング無し（以下、アンボンド無しと表記）で試験するコアは材齢3週と7週で、両端面アンボンドキャッピング有り（以下、アンボンド有りと表記）で試験するコアは材齢2年と2年1ヶ月で、内径100mmのダイヤモンドビットを取り付けたコアボーリング機を用い、自動送り装置によって一定速度で削孔した。模擬試験体の見付け面と削孔位置の概要を図－1に示す。図中の四角で示した位置のうち、白抜きはアンボンド無しで試験した既往の実験を示す。本実験では灰色四角の位置で採取したコアを用いて試験した。



図－1 試験体の見付け面におけるコア採取位置概要

(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 について合計4体とした。



図－2 コア供試体長さとコア切断位置の関係

2.4 測定項目と方法

(1) 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。

(2) 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 0.6N/mm²/sec で実施し、記録した荷重データの最大値を断面積で除して圧縮強度を求めた。

圧縮強度試験はアンボンド有り（試験機関 A）とアンボンド無し（試験機関 B）の場合とを2つの試験機関で実施した。いずれの試験機関でも所定の校正を実施し、JIS A 1108に規定される圧縮面を磨き仕上げとした鋼製加圧版を持つ試験機を用いた。

(3) 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た。コア供試体の横ひずみは、アンボンド無しの場合は検長60mmのひずみゲージを、アンボンド有りの場合は円周上の半分以上を測定で

きるように検長 90mm のひずみゲージを供試体の相対する 2 側面上に接着剤で貼り付けた。アンボンド有りのアンボンド有無いずれの場合でも横ひずみは図-3 に示す位置にゲージを接着剤で貼り付け、データロガーに接続して载荷中に連続的に測定した。

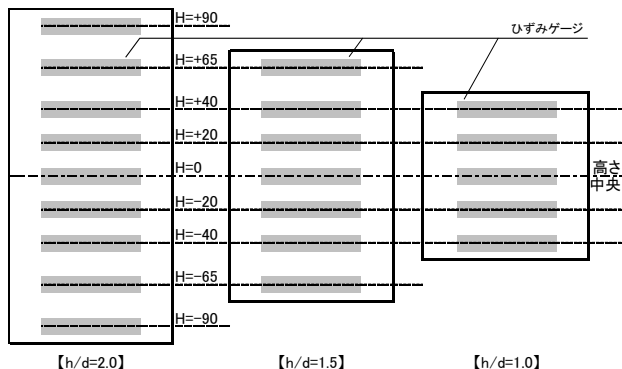


図-3 各 h/d での横ひずみ測定位置

(4) コア供試体の破壊状況の撮影

整形精度を確認した後で、コア供試体の側面を白色のアクリル合成樹脂塗料(水性)で塗布し、圧縮強度試験中にデジタルカメラの高速撮影機能(600fps[432×192pixel])を用いて破壊状況を録画記録した。破壊状況を撮影するコア供試体の数量は、横ひずみを測定する供試体とは分けて各 h/d について 1 体とした。

3. 実験結果

3.1 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、既報²⁾より抜粋して表-4 に示す。得られた圧縮強度は、目標強度に対して概ね±10%程度の範囲内であった。ヤング係数は 26.7~43.0kN/mm²であり、圧縮強度が大きいほど高くなる傾向は一般的な結果である。

3.2 コア供試体の圧縮強度試験結果

コア供試体の圧縮強度試験結果について、供試体ごとの値、3 体の平均値と変動係数を表-5 に示す。表-4 の圧縮強度と表-5 のアンボンド有りの場合の h/d=2.0

表-4 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
30 N/mm ²	①	33.2	33.1	①	25.7	26.7
	②	33.9		②	26.0	
	③	32.1		③	28.5	
60 N/mm ²	①	60.1	61.2	①	37.0	36.8
	②	61.4		②	35.0	
	③	62.1		③	38.5	
100 N/mm ²	①	94.9	94.4	①	44.5	43.0
	②	90.9		②	42.6	
	③	97.4		③	41.9	

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 102%~115%程度であった。アンボンド無しの場合の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 90%~95%程度であったのに比べると 2 割程度大きい。アンボンドキャッピング有りの場合には試験時の材齢が 2 年程度経過しており水和が進行したことが圧縮強度が大きい原因と考えられる。目標強度 100N/mm²では、30N/mm²および 60N/mm²に比べて圧縮強度の伸びは大きくないが、打ち込み時期が夏期であることと、セメント量の多い調合が影響した可能性はあるが、今のところ明確ではない。

3.3 コア供試体の横ひずみ分布測定結果

コア供試体の横ひずみ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 2/3 応力時、および(2)95%応力時のひずみ分布を示している。

(1)圧縮強度の 2/3 応力時の横ひずみ分布

目標強度 30N/mm²の場合、h/d=1.0 の 3 供試体および h/d=1.5 の 2 供試体では、上下端部に比べて中央部の横ひずみが大きい。h/d=1.5 の 1 供試体および 2.0 では上下端部と中央部の横ひずみには明確な傾向はみられない。

目標強度 60N/mm²の場合、いずれの h/d でも上下端部に比べて中央部の横ひずみが大きい。

目標強度 100N/mm²の場合、h/d=1.0 の 2 供試体では上下端部に比べて中央部の横ひずみが大きい、1 供試体では下端部の横ひずみが大きい。h/d=1.5 の 2 供試体は上端部か上端部近傍での横ひずみが大きい。h/d=2.0 の 3 供試体では上下端部に比べて中央部の横ひずみが大きい。

表-5 コア供試体の圧縮強度試験結果

h/d	アンボンドキャッピング無しの圧縮強度試験結果(N/mm ²)												アンボンドキャッピング有りの圧縮強度試験結果(N/mm ²)											
	目標強度30N/mm ²				目標強度60N/mm ²				目標強度100N/mm ²				目標強度30N/mm ²				目標強度60N/mm ²				目標強度100N/mm ²			
	①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均
1.0	36.6	33.0	36.0	35.2	67.4	66.2	68.6	67.4	97.4	102	98.7	99.2	44.3	38.1	43.5	42.0	80.3	82.1	81.5	81.3	107.0	111.0	106.0	108
				5%				2%				2%				8%				1%				2%
1.5	32.7	28.7	31.3	30.9	63.9	60.2	63.3	62.5	91.9	90.7	90.3	91.0	39.7	38.3	35.8	37.9	70.1	70.8	72.5	71.1	98.7	107.0	97.8	101
				7%				3%				1%				5%				2%				5%
2.0	27.2	30.5	30.0	29.2	56.0	59.8	56.1	57.3	86.9	83.7	83.3	84.6	39.0	37.9	37.6	38.2	69.8	70.4	71.0	70.4	88.9	97.6	103.0	96.5
				6%				4%				2%				2%				1%				7%

(2) 圧縮強度の95%応力時の横ひずみ分布

目標強度 30N/mm^2 の場合、いずれの h/d でも上下端部に比べて中央部または端部以外の横ひずみが顕著に増加していることから、載荷面近傍での変形拘束効果があると考えられる。

目標強度 60N/mm^2 の場合、いずれの h/d でも上下端部に比べて中央部または端部以外の横ひずみが顕著に増加していることから、 30N/mm^2 の場合と同様に載荷面近傍での変形拘束効果があると考えられる。

目標強度 100N/mm^2 の場合、 $h/d=1.0$ の2供試体では上下端部に比べて中央部の横ひずみが大きい、1供試体では下端部の横ひずみが大きい。 $h/d=1.5$ の2供試体は上端部か上端部近傍での横ひずみが大きい。 $h/d=2.0$ の2供試体は上下端部に比べて中央部または端部以外の横ひずみが顕著に増加しているが、1供試体は上端部の横ひずみが増加している。目標強度 100N/mm^2 のレベルでは、載荷面近傍での変形拘束効果がみられない場合がある。

従って、アンボンドキャッピングの使用可能領域とされる 60N/mm^2 以下の範囲では、 h/d に係わらず、載荷さ

れた応力が大きくなるときに載荷面近傍における変形拘束効果がみられた。

3.4 コア供試体の破壊状況撮影結果

供試体の破壊状況は、AASHTO T22 では図-5に示すように、一般的に見られる上下のコーン状の破壊形状 (Type(a)) の他に4種類の破壊形状 (Type(b)~(e)) を例示している⁴⁾。各目標強度で各 h/d 1体ずつのコア供試体の破壊時の状況を高速撮影した映像から、破壊 (爆裂) する直前の状態を抜き出した画像を図-6に示すが、図-5に従って分類すると、以下のとおりとなる。

目標強度 30N/mm^2 について、 $h/d=1.0$ では縦方向のひび割れ (Type(e)) とともに縦ひび割れ同士をつなぐひび

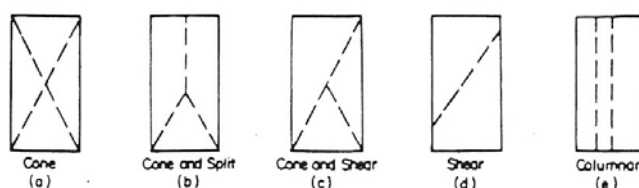


図-5 破壊形状の分類⁴⁾

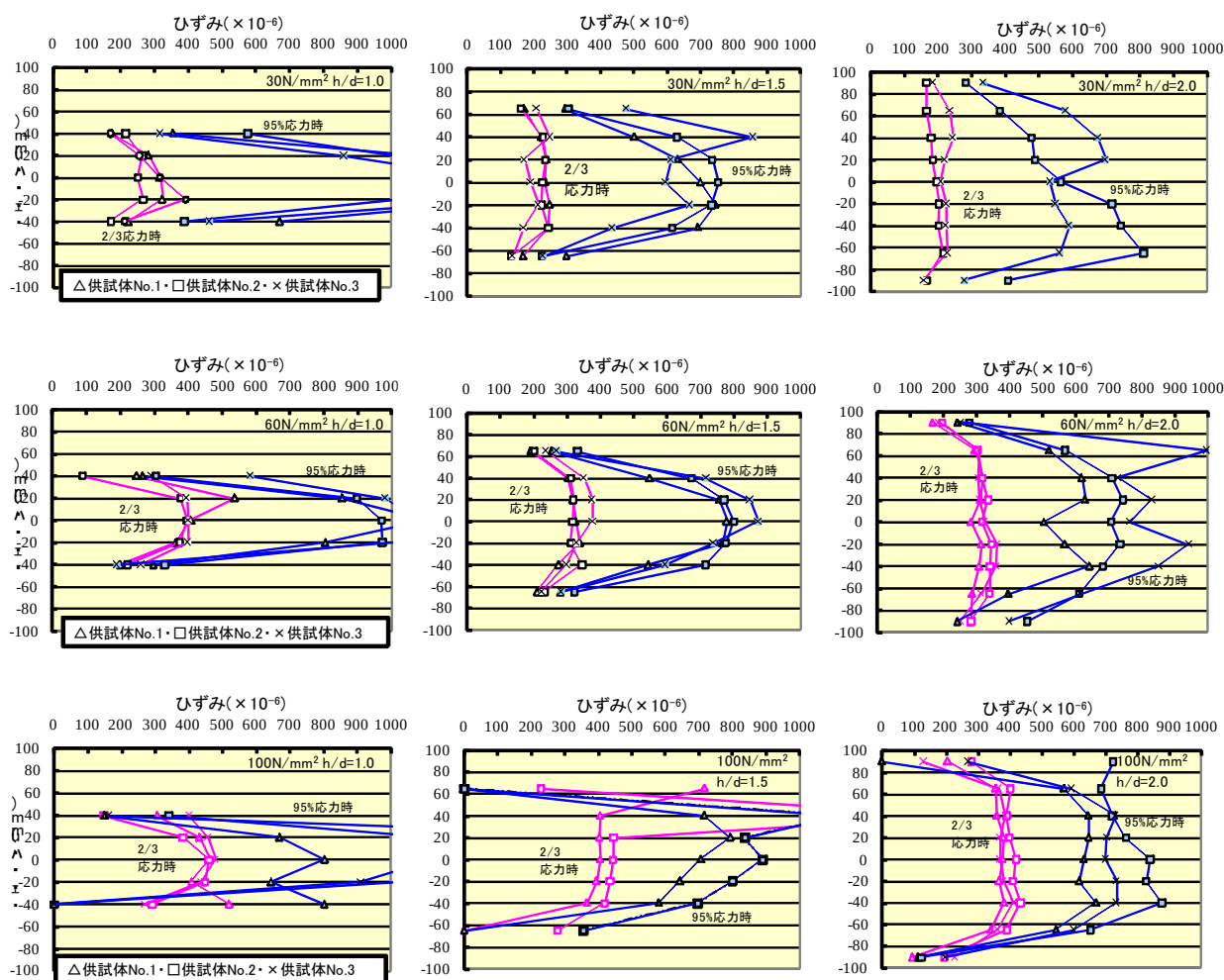
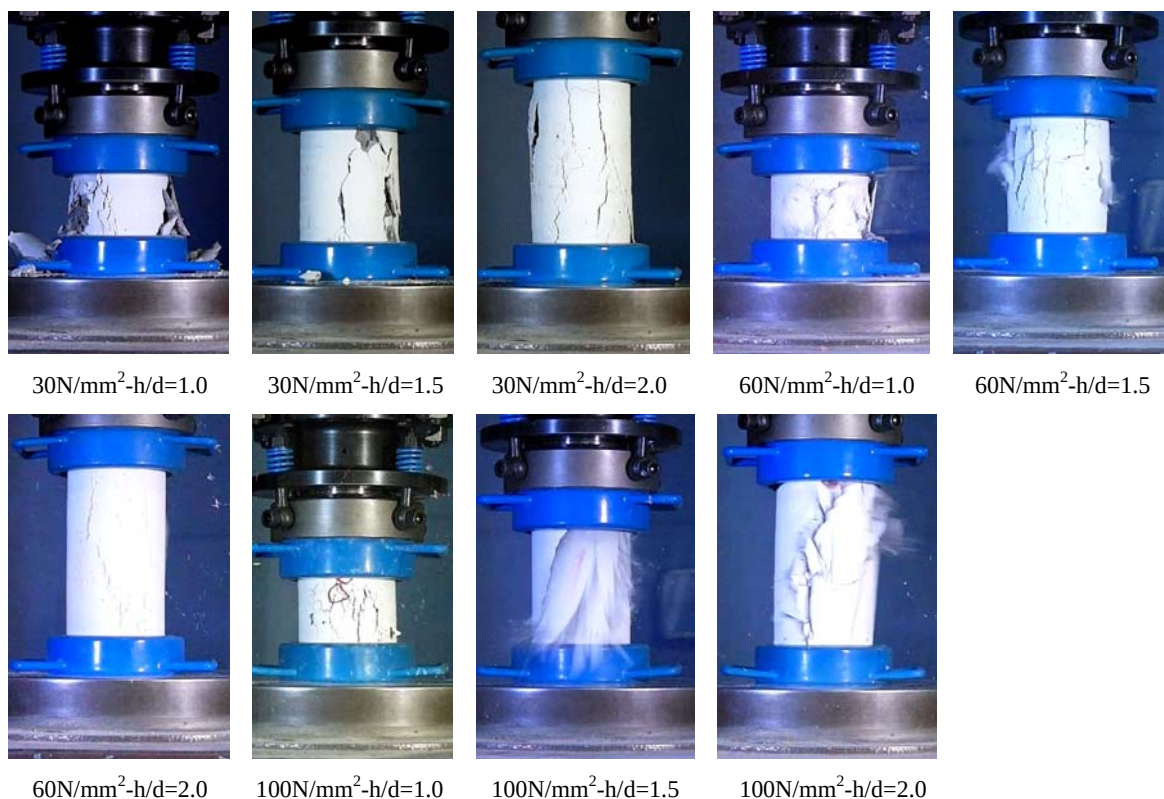


図-4 アンボンドキャッピング有りのコア供試体の横ひずみ分布の推移
(上段: 30N/mm^2 , 中段: 60N/mm^2 , 下段: 100N/mm^2)



図－6 コア供試体の圧縮破壊状況画像

割れが見られ、 $h/d=1.5$ および 2.0 では縦方向のひび割れ（Type(e)）が顕著に見られた。

目標強度 60N/mm^2 において、 $h/d=1.0$ および 1.5 では縦方向のひび割れ（Type(e)）とともに縦ひび割れ同士をつなぐひび割れが見られ、 $h/d=2.0$ ではやや斜めであるが縦方向のひび割れ（Type(e)）が顕著に見られた。

目標強度 100N/mm^2 において、 $h/d=1.0$ では縦方向のひび割れ（Type(e)）とともに縦ひび割れ同士をつなぐひび割れが見られ、 $h/d=1.5$ および 2.0 ではやや斜めであるが縦方向のひび割れ（Type(e)）が顕著に見られた。

図－4 に示した横ひずみ分布形状と図－6 に示した破壊状況画像の間には必ずしも明らかな関係は認められない。

4. 実験結果の考察

4.1 h/d と圧縮強度比の関係

表－5 より、各目標強度における $h/d=2.0$ 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ともに表－6 に示す。表－6 の結果より、 h/d と圧縮強度比の関係を図－7 に示す。表－6 および図－7 中のアンボンド無しの場合の結果は、同じ模擬部材で実験した既報³⁾のデータである。

図－7 より、いずれの目標強度でも、 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傾向がアンボンドキャッピングの有無に関係なくみられた。

アンボンド無しの場合の圧縮強度比は、JIS の補正係数の逆数より大きく、アンボンド有りの場合の圧縮強度比は JIS の補正係数の逆数より小さい傾向があるようにみられる。ただし、圧縮強度試験結果の変動係数は $1\sim 8\%$ であり、実験結果による圧縮強度比は JIS A 1107 の補正係数の逆数の $\pm 5\%$ 以内となったことから、実用上はコア供試体の圧縮強度試験で両端面にアンボンドキャッピングを適用した場合でも現行の JIS で示される補正係数を使用できると考えられる。

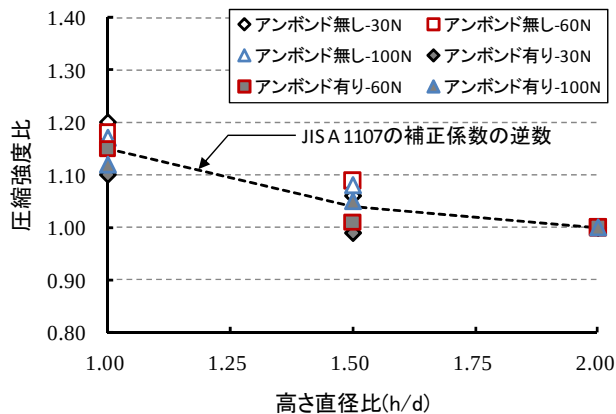
表－6 各 h/d における圧縮強度比の計算結果

h/d	アンボンドキャッピング無し			アンボンドキャッピング有り			JIS 補正係数 の逆数
	目標強度			目標強度			
	30 N/mm ²	60 N/mm ²	100 N/mm ²	30 N/mm ²	60 N/mm ²	100 N/mm ²	
1.0	1.20	1.18	1.17	1.10	1.15	1.12	1.15
1.5	1.06	1.09	1.08	0.99	1.01	1.05	1.04
2.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

4.2 アンボンドキャッピング有無と変形状の関係

横ひずみの測定結果から、圧縮強度の 99% 応力時におけるアンボンドキャッピング有りと無しとで横ひずみ分布を比較したものを図－8 (a)～(c) に示す。図中では、 $h/d=1.0$ および 2.0 の場合の各供試体の測定結果を示した。

目標強度 30N/mm^2 の場合（図－8 (a)）， $h/d=1.0$ および 2.0 の場合ともに、横ひずみ分布はアンボンドキャ



図ー7 h/d と圧縮強度比の関係

ピングの有無では変わらない結果となった。

目標強度 60N/mm² の場合 (図ー8 (b)), h/d=1.0 および 2.0 の場合ともに、横ひずみ分布はアンボンドキャッピングの有無では変わらない結果となった。

目標強度 100N/mm² の場合 (図ー8 (c)), h/d=2.0 の場合は横ひずみ分布はアンボンドキャッピングの有無では変わらないが、h/d=1.0 の場合はアンボンド有りの2体において供試体高さ中央の横ひずみが顕著に大きくなったが、上下端部での変形拘束はアンボンドキャッピングの有無で変わらない結果となった。

したがって、最大荷重到達直前の横ひずみ分布は、アンボンドキャッピングの影響を受けず、破壊性状がほぼ同じであるといえ、これは h/d と圧縮強度比の関係もほぼ同じであることの理由となると考えられる。

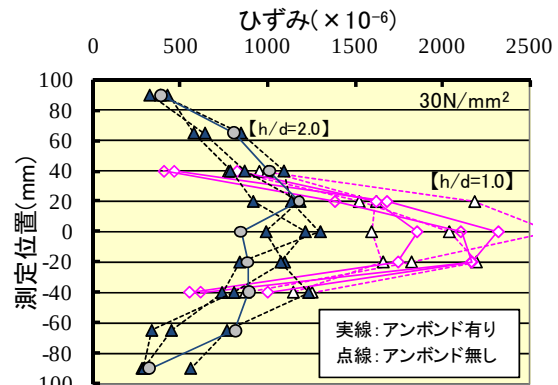
5. まとめ

100N/mm² までの圧縮強度のコア供試体で h/d の異なる場合にアンボンドキャッピングを用いて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。

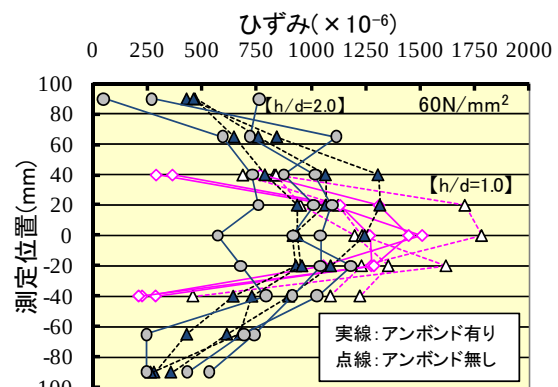
- (1) 30N/mm² から 100N/mm² の範囲で、h/d と圧縮強度比の関係はアンボンドキャッピングの影響を大きく受けて、現状の JIS の補正係数を適用することができる。
- (2) アンボンドキャッピングを使用した場合、載荷される応力が大きいほど載荷面近傍における変形拘束が発生するが、100N/mm² の強度レベルでは必ずしも供試体中央部の横ひずみが卓越しない場合がある。
- (3) アンボンドキャッピングは、その使用範囲とされる圧縮強度 60N/mm² まで範囲であれば、圧縮強度試験における破壊までの変形性状に影響しない。

謝辞

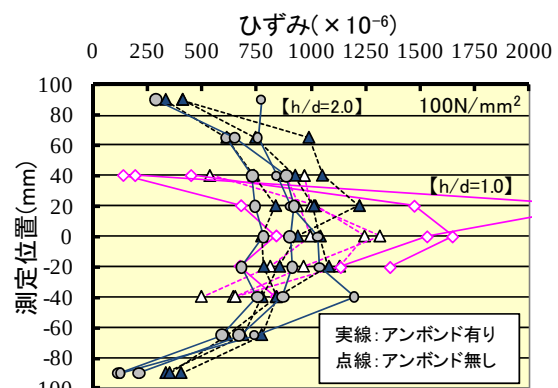
本実験研究の一部は、財団法人日東学術振興財団の助成によって実施されたものである。



(a) 目標強度 30N/mm² の場合



(b) 目標強度 60N/mm² の場合



(c) 目標強度 100N/mm² の場合

図ー8 横ひずみ分布の比較

参考文献

- 1) JIS A 1107:2002 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法
- 2) 吉兼亨, 鈴木一雄, 寺石文雄, 平井渉: アンボンドキャッピングによるコンクリートの圧縮強度試験に関する研究, コンクリート工学論文集, 第9巻, 第2号, pp.79-89, 1998.7
- 3) 瀬古繁喜, 鈴木澄江, 鹿毛忠継, 伊藤康司: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.403-408, 2009.7
- 4) WADOT FOP for AASHTO T 22(Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens-2009)