論文 アンボンドキャッピング試験におけるコンクリートの圧縮強度 に及ぼす供試体高さの影響

辻本 一志*1・黒井 登起雄*2・松村 仁夫*3・鈴木 一雄*4

要旨:コンクリートのアンボンドキャッピングによる圧縮強度試験は,JIS A1108 附属書 1(規定)および JIS A5308 の他に,JIS A 1107 (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)においても適用が規定されている。著者らは、2009 年から高さ-直径比 (*h/d*)の適用可否とその限界を明らかにすることを目的に、実験を行ってきた。本文は、それらの可否と限界を強度・ひずみ測定の試験、圧力分布測定とともに、コンクリートの破壊写真画像から考察を加えたものである。結果から、上端面のアンボンドキャッピングの場合においても、*h/d* による圧縮強度の補正が可能で、その限界が 60N/mm²程度であることなどの知見を得た。 キーワード: 圧縮強度、アンボンドキャッピング、応力-ひずみ曲線、高さ直径比、圧力分布、破壊写真

1. はじめに

アンボンドキャッピングによるコンクリートの圧縮強 度試験は, JIS A1108 附属書 1(規定)および JIS A5308 の 他に, JISA 1107 (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)においても適用が規定されている。 JIS A1108 では、アンボンドキャッピングの適用範囲を圧 縮強度が10~60N/mm²,かつ供試体の上端面に限定して いる。 2009 年の JIS A5308 の改正では、アンボンドキャ ッピングの両端面への適用も可能になっている。しかし, アンボンドキャッピングによる強度試験におけるコア供 試体の高さ-直径比(h/d)の補正は,重要な問題である が,適用データが少ない状況であり¹⁾,補正係数の適用 の可否は明確でなかった。そこで、著者らは、2009年か ら高さ-直径比(h/d)の適用可否とその限界を明らかに することを目的に,実験を行ってきた。本文は,それら の可否と限界を強度・ひずみ測定の試験,圧力分布測定と ともに、コンクリートの破壊画像(高速度ビデオおよび デジタルカメラ写真)から考察を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは, 普通ポルトランドセメント (密度; 3.16g/cm³) を用いた。細骨材は, 普通の粒度の川砂(鬼 怒川産,密度;2.62g/cm³,吸水率;2.49%,粗粒率;2.68), また,粗骨材は,良質の砕石(佐野市(旧葛生町)産,最 大寸法;20mm,密度;2.66g/cm³,吸水率;0.54%,粗粒 率;6.86)をそれぞれ使用した。混和剤は,Y社製のAE 減水剤を用い,空気量の調整には,AE剤を用いた。

2.2 実験要因およびコンクリートの配合

実験は、高さ-直径比(以下、本文中で h/d と呼称)の 適用可否とその限界の検証(実験 1)²⁾⁻⁴⁾と、コンクリー トの圧縮強度試験における破壊状況の検証(実験 2)、供 試体の上下両端面へのアンボンドキャッピングの適用性 の調査(実験 3)を分けて行った。それぞれの実験にお

要因	水準								
水セメント比	0.40, 0.50								
材 齢(日)	28, 56								
高さ-直径比 ¹⁾	1.0, 1.5, 1.75, 2.0^{2}								
端面処理	研磨,上端面アンボンド								
水セメント比	0.45								
高さ-直径比 ¹⁾	1.0, 1.5, 2.0^{2}								
端面処理	研磨,上端面アンボンド								
水セメント比	0.55								
高さ-直径比 ¹⁾	1.0, 1.5, 2.0^{2}								
端面処理	研磨,両端面アンボンド								
	要因 水セメント比 材齢(日) 高さ-直径比 ¹⁾ 端面処理 水セメント比 高さ-直径比 ¹⁾ 端面処理 水セメント比 高さ-直径比 ¹⁾ 端面処理 水セメント比 高さ-直径比 ¹⁾								

表-1 実験要因と水準

1) 直径 100mm に対する高さの比(h/d) 2) h/d=2.0 は、1.9~2.0 の範囲とする

表-2 配合およびフレッシュコンクリートの性質

実験	W/C	s/a			スランプ	空気量				
No.	(%)	(%)	W	С	S	G	AE 減水剤	AE 剤	(cm)	(%)
1	40	42.2	170	425	714	992	1.275	0.119	9.1	5.1
1	50	44.2	165	329	789	1011	0.987	0.066	10.1	4.2
2	45	42.2	178	397	822	968	1.191	0.119	9.3	6.0
3	55	46.2	167	304	831	978	0.912	0.046	9.5	4.8

*1 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 (正会員)

*2 足利工業大学学 工学部創生工学科建築·社会基盤学系 教授 博士(工学) (正会員)

*3 足利工業大学学 工学部創生工学科建築·社会基盤学系 助手 (正会員)

*4 全国生コンクリート工業組合連合会 事務局次長 工学博士 (正会員)

ける要因は,**表-1**に示したように,実験 1,2 および 3 ともに,水セメント比と h/d とした。表-2 に,配合条件 をスランプ=10±1cm,空気量=(5±1)%として試験練りに よって定めたコンクリートの配合およびフレッシュコン クリートの性質を示す。

2.2 実験方法

実験 1²⁾⁻⁴⁾のコンクリート供試体は、水セメント比 40%および 50%の各水準で、24個作製し(ϕ 100×200 mm 円柱形)、強度試験は、材齢 28 日および 56 日で行った。 なお、供試体は、養生期間中にコンクリートカッターで、 h/d=1.75、1.50 および 1.00 に切断した。各供試体の表面 仕上げは、アンボンドキャッピング方法に供するものは カッターによる切断仕上げとし、アンボンドキャッピン グ方法によらないものについては、切断面を研磨仕上げ した。圧縮強度試験は、JIS A 1108 附属書 1(規定)に従っ てアンボンドキャッピング方法により実施した。また、 ひずみ測定および圧力分布測定・解析も行った²⁻⁵⁾。コン クリートのひずみ測定は、ひずみゲージを高さ中央部の 円周方向に 2 箇所貼り付けて行った(**写真-1**参照)。

実験2では、水セメント比45%のコンクリートから供 試体を作製し、材齢3ヶ月においてJISA1108附属書1(規 定)に従いアンボンドキャッピング方法により圧縮強度 試験を実施した。圧縮強度試験における供試体の破壊状 況は、撮影速度100~300 コマ/秒に設定した高速度ビデ オカメラによる撮影と、デジタルカメラによる連続撮影 (5 秒間隔)を同時に行い、記録した。撮影は、試験時 の供試体のひび割れ発生から破壊までとし、高速度ビデ オカメラで撮影した画像については、静止画像に変換し、 コンクリート供試体の破壊形態、端面の拘束などを比較 して評価した。

実験3では、水セメント比55%のコンクリートから供 試体をh/d毎に2または4本作製した。圧縮強度試験は、 アンボンドキャッピングを供試体の上下両端面に適用し て行った。

なお,実験1~3における圧縮強度試験は,すべて載荷 速度を0.6 N/mm²/sとして実施した。



写真-1 高さ(h/d=1.0~2.0)の異なる円柱形供試体 (上面は切断仕上げ)

3. 高さ-直径比(h/d) による強度補正

3.1 高さ-直径比(*h/d*)と圧縮強度²⁾⁻⁴⁾

図-1 および図-2 は、それぞれ W/C=40%および W/C=50%の研磨およびアンボンドキャッピング(上端面 だけ)におけるコンクリートの圧縮強度試験結果の一例 を示す。図より、アンボンドキャッピングによるコンク リートの圧縮強度は、W/C=40%(h/d=2.0)のとき 60N/mm² 程度、W/C=50%(h/d=2.0)のとき 45N/mm²程度であり、 供試体高さ(h/d)が 1.75、1.50、1.0 と低くなるに従っ て大きくなる傾向が認められる。この傾向は、研磨供試 体の場合と同じである。なお、いずれの場合においても、 コンクリート強度の変動係数がほとんど5%以下であり、 適正な圧縮強度試験結果であると思われる。

図-3は、図-1および図-2に示した圧縮強度試験結果



図-1 供試体の h/d と圧縮強度との関係の一例 (W/C=40%, 上端面アンボンド, 材齢 28 日)



図-2 供試体の h/d と圧縮強度との関係の一例 (W/C=50%,上端面アンボンド,材齢 28 日)



(上端面アンボンド, *h/d*=2.0~1.0)

から, h/d と圧縮強度比(h/d=2.0の時の強度を 1.00 とした)との関係を整理した結果である。図-3 より, コンク リートの圧縮強度が 60N/mm²程度以下の場合, アンボン ド供試体の強度比は, h/d が小さくなるほど大きくなり,

JIS A 1107 の補正係数から算出される強度比の値とほぼ 同じになることが認められる。なお,図-3 における強度 比の変動は,h/d=2.0~1.0 の範囲で±10%程度であった。 3.2 円周方向ひずみおよび圧力分布

図-4 および図-5 は, h/d の異なる供試体の高さ中央部 における円周方向ひずみと圧縮応力との関係の一例をそ れぞれ示す(上端面だけのアンボンドキャッピング圧縮 強度試験)。図-4 より,コンクリートの圧縮強度が 40N/mm²程度(W/C=50%)の場合, h/d=1.0~2.0 の円周方 向ひずみは,研磨供試体(h/d=2.0)とほぼ同一であり,



図-4 供試体の高さ中央における円周方向ひずみ (上端面アンボンドキャッピング)の一例 (W/C=50%, 材齢 28 日, h/d=2.0~1.0)





表−3	듌	シブ	「	订重	10) 9	9 09	%	垨	凉	=;	Б	17	6	۶H	9)	劼	万	10	্ব	6	ŀ
		_			-									_					200			ī

г

h/d	最大荷重の90%時点における円周方向ひずみ(10°)											
		W/C=	=50%	W/C=40%								
	材齢	28 日	材齢	56 日	材齢	28 日	材齢 56 日					
	研磨	UB	研磨	UB	研磨	UB	研磨	UB				
2.00	524	426	359	401	404	460	609	528				
1.75	694	630	316	482	597	415	559	618				
1.50	904	343	511	594	471	509	558	605				
1.00	1248	1146	431	480	2031	772	695	699				

※表中のUBは上端面アンボンドキャッピングを示す。

鋼製キャップおよびゴムパッドによる拘束の影響が認め られないようである。また、図-5より、圧縮強度が 60N/ mm² 程度(W/C=40%)あるいは超える場合についても、 円周方向ひずみの推移に明確な相違は認められず、鋼製 キャップおよびゴムパッドによる拘束の影響は少ないよ うに見受けられる。

表-3 は、図-4 および図-5 に示す試験結果から、最大 荷重の 90% における円周方向ひずみの値を示したもの である。表-3 において、研磨供試体とアンボンド供試体 の円周方向ひずみには大きな差異はなく、このデータか らも鋼製キャップおよびゴムパッドによる拘束の影響は 認められない。なお、これらの結果は、供試体1本の試 験であること、および一部のデータにばらつきも生じて いることなどから、さらにデータを蓄積し、拘束の影響 を検討する必要がある。



つぎに、図-6は h/d の異なる供試体のアンボンド供試

(W/C=40%, 材齢 56日, アンボンド)の一例

体について,上端面の圧力分布図を測定した結果である。 供試体端面の圧力分布は, 鋼製キャップとゴムパッドと の間に圧力測定フィルムを挿入して圧縮強度試験を行い, 試験終了後の圧力測定フィルムの発色濃度を画像解析し て求めた 5)。

コンクリートの圧縮強度が 40N/mm²程度(W/C=50%) の場合, h/d=1.0~2.0 の圧力分布(図を省略)は, h/d が 小さくなっても、圧力が若干大きくなるだけで、圧力が 細かく変動し, h/d の違いによる差異が認められなかっ た。これに対して、図-6に示したコンクリートの圧縮強 度が 60N/mm²程度の場合(W/C=40%), h/d=1.0~2.0 の圧 力分布は、h/d=1.75 以下において供試体上端面の拘束の 影響が認められ、変動の少ない、一定値(フラットな形 状)の圧力に近づいてくる傾向が認められる。これは, ゴムパッドの硬度の限界以上の圧力を受けることに起因 していると考えられる。

3.3 高さ-直径比(h/d)による強度補正の可否と限界

(1) 強度補正の可否

図-3~図-6の実験結果(圧縮強度,円周方向ひずみ, 圧力分布図)より、アンボンド供試体においても、研磨 供試体の場合(JIS A 1107 における h/d による強度補正 表)と同様に、h/dによる強度補正が可能と考えられる。

写真-2 および写真-3 は, h/d=2.0 と, h/d=1.5 の場合のひ び割れ開始からの約5秒間隔の供試体コンクリートの破 壊状況を示した結果の一例を示す。なお、この時のコン クリートの圧縮強度は、50.9、54.0N/mm²(h/d=2.0)と、 52.5 N/mm² (h/d=1.5) でほぼ同じである。写真画像より, h/d=2.0の場合のコンクリートは、せん断によって破壊が 進行し、上端の鋼製キャップによる拘束の影響をほとん ど受けずに最終破壊に至っている。また, h/d=1.5 の場合 のコンクリートの破壊も、せん断によって進行している ように見受けられる。

つぎに,写真-4 は h/d=2.0 における圧縮強度が 63.5N/mm² のコンクリートから作製した h/d=1.5 の供試 体について、ひび割れ開始からの圧縮破壊状況の高速度 ビデオカメラによる撮影結果の一例を示したものである。 写真画像より, h/d が小さくなるとコンクリートの圧縮 強度が74.7N/mm²と急激に大きくなる傾向が認められる。 これは、アンボンドキャッピングの強度の適用範囲を超 えたため、鋼製キャップおよびゴムパッドによる供試体 上端部の拘束が顕著になったためと推測される。

以上の実験結果より,アンボンドキャッピングによる h/d=2.0 未満の供試体における強度補正は, JIS A 1107の 補正表が適用可能と考えられる。しかし、補正表の適用 は、圧縮強度 60N/mm²程度以下と考えられる。

(2) 強度補正の限界

写真-5 および写真-6 は, h/d=1.0 のコンクリート供試



写真-2 アンボンドキャッピングによる圧縮強度試験 $(W/C=45\%, h/d=2.0, f'_c=54.0 \text{ N/mm}^2)$



t=10 s



写真-3 アンボンドキャッピングによる圧縮強度試験 $(W/C=45\%, h/d=1.5, f'_c=52.5 N/mm^2)$



写真-4 アンボンドキャッピングによるコンクリート の圧縮破壊状況 (W/C=40%, h/d=1.5, 圧縮強度: 74.7 N/mm²)

体について、ひび割れ開始から破壊までの状況を記録したものである。これらの写真画像より、h/d= 1.0 におけるコンクリート供試体の破壊は、h/d=2.0、h/d=1.5 の場合の破壊と若干異なり、上端部の鋼製キャップおよびゴムパッドによる拘束力と下端の摩擦力の影響を強く受け、 圧縮力によって押し潰されるような状況で最終破壊に至っている(座屈破壊を起こしているように見受けられる)。 この時のコンクリート供試体3本の圧縮強度は、74.0、 52.7、70.5N/mm²(平均値65.7 N/mm²)で変動係数は17.4% と大きな値であった。

以上の実験結果より,コンクリートの圧縮強度が 60N/mm²を超える領域では,鋼製キャップおよびゴムパ ッドによる供試体上端部の拘束がみられるようになり,3 個の供試体の試験値の変動も大きくなるので, h/d によ る補正係数は, h/d=1.75 以上に適用を制限することなど も検討する必要がある。

(3) 両端面アンボンド供試体における h/d 強度補正

h/d=2.0~1.0 のコンクリート供試体(φ100mm)の上 下両端面へアンボンドキャッピングを適用して圧縮強度 試験を行い,試験時の円周方向ひずみおよび強度試験結 果から,その適用性について検討を行った。なお,実験 に用いたコンクリートの圧縮強度は,h/d=2.0の研磨供試 体で40.7N/mm²程度(3本の平均値)のものである。

図-7 は、h/d=2.0~1.0 の供試体の圧縮強度試験時の高 さ中央部における円周方向ひずみと圧縮応力との関係の 一例をそれぞれ示す。図より、h/d=2.0~1.5 における両 端アンボンド供試体の高さ中央の円周方向ひずみは、強 度レベルが 40N/mm²程度の場合、圧縮応力 30N/mm²の とき 200×10⁻⁶、40N/mm²のとき 400×10⁻⁶でほぼ同じ傾 向を示している。しかし、h/d=1.0 の供試体の高さ中央の 円周方向ひずみは、h/d=2.0 の供試体に比べて測定値の変 動が大きく、上下端部の鋼製キャップおよびゴムパッド による拘束を受けている可能性がある。

写真-7 (h/d=2.0) および写真-8 (h/d=1.0) に, この時 のコンクリートの破壊状況のデジカメ写真の一例を示す。 写真より, h/d=2.0 の場合の両端面アンボンドにおける破 壊は, せん断力による状況が明確に認められる。しかし, h/d=1.0 の場合の破壊は, 上下両端部の鋼製キャップによ る拘束の影響で, 押し潰された(座屈のような)状況が 認められる。また, これらの圧縮強度は, 表-4 に示すよ うに, h/d=2.0 から小さくなるに従って若干大きくなる傾 向を示した。したがって, 両端面アンボンドによる圧縮 強度試験においても, h/d による強度補正が可能と考え られるが, h/d の範囲は, 上端面だけのアンボンドの場 合よりも小さくなる可能性がある。しかし, 両端面アン ボンドとした場合の圧縮強度に及ぼす h/d の違いによる 影響については, 本実験が強度レベル 40N/mm²程度のコ ンクリートを対象にした強度試験結果だけであるので, 今後,低強度から高強度まで広範囲なレベルの実験デー タから結論付ける必要があると考えられる。





写真-5 アンボンドキャッピングによる圧縮強度試験 (W/C=45%, h/d=1.0, f'c=52.7 N/mm²)



写真-6 アンボンドキャッピングによる圧縮強度試験 (W/C=45%, h/d=1.0, f'c=70.5 N/mm²)



図-7 供試体の高さ中央における円周方向ひずみ (両端面アンボンド, W/C=55%, h/d=2.0~1.0)

4. まとめ

本実験でアンボンドキャッピングの強度範囲の検証, h/d による強度補正の可能性および両端面アンボンドキ ャッピングの適用性を検討した結果,以下の各点が明ら かになった。

- (1) 上端アンボンド供試体のコンクリートの圧縮強度は, 60N/mm² 程度以下の場合, h/d が小さくなるほど大き くなり, JIS A 1107 の補正係数から算出される強度値 とほぼ同じになる。したがって、上端面アンボンド供 試体の場合も、h/d による強度補正が可能である。
- (2) 上端面アンボンド供試体の圧縮強度試験においても、 JIS A 1107の補正表の適用は可能であるが、円周方向 ひずみおよび圧力分布の測定結果より、圧縮強度 60N/ mm²程度が限界と考えられる。なお、圧縮強度が 60N/ mm²を超える場合、h/d が小さくなると破壊状況が鋼 製キャップおよびゴムパッドによる拘束の影響を受 けるようになるので、上端面アンボンド供試体の強度 の h/d による強度補正係数は、h/d=1.75 以上に適用を 制限することなどについても検討する必要がある。
- (3)両端面アンボンドによる圧縮強度試験においても、 h/d による強度補正が可能である。しかし、今後さら に広範囲な強度レベルの実験データを取得し、強度の 適用範囲などを結論付ける必要があると考えられる。

謝辞

本研究の実験の実施には,2009~2011 年度における足 利工業大学卒研生の皆様のご協力を頂きました。 付記してここに謝意を表します。

参考文献

- 吉兼,鈴木,寺石,平井: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,pp79~pp90, 1998.7
- 2) 黒井,松村,辻本,鈴木;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の適用範囲,第 37 回セメント・コンクリート研究討論会論文集, pp.11-16,2010.10
- 3) 辻本,黒井,松村,鈴木;コンクリートの圧縮強度 に及ぼすアンボンドキャッピングの適用要因に関 する基礎的研究,コンクリート工学年次論文集(日 本コンクリート工学会), Vol.33, No.1, pp.377-382, 2011.7
- 黒井,松村,辻本;アンボンドキャッピング試験に おけるコンクリートの圧縮強度の高さ補正の対応 と限界,第38回セメント・コンクリート研究討論会 論文集,pp.69-74,2011.11



写真-7 両端アンボンド強度試験時の供試体の破壊状況 (W/C=55%, h/d=2.0, f'c=43.2N/mm²)



写真-8 両端アンボンド強度試験時の供試体の破壊状況 (W/C=55%, *h/d*=1.0, f'c=38.0N/mm²)

表-4 両端面アンボンドキャッピングによる圧縮強度

供試体	圧 縮 強 度 (N/mm ²)										
No.	h/d=2.0	h/d=1.5	h/d=1.0								
1	40.9	42.8	44.5								
2	43.2	40.3	44.1								
3	—	_	44.1								
4			$(38.0)^{*2}$								
平均值	42.1	41.6	44.2								
強度比*1	_	0.99	1.05								

※1 強度比とは h/d=2.0 に対する比を示す。 ※2 強度比平均値の算出から除いた。

5) 松村,黒井,宮澤;硬化コンクリートの加圧推定に おける圧力測定フィルムの活用,第34回セメント・ コンクリート研究討論会,pp.15-18,2007.11