

論文 アンボンドキャッピング方法の有効利用に関する基礎研究

鈴木 一雄*¹・吉兼 亨*²・寺石 文雄*³・川尻 伸治*⁴

要旨: コンクリートの圧縮強度試験におけるキャッピング作業の省力化方法として、ASTM等で規定されているアンボンドキャッピング方法を、モルタル供試体や型枠脱型時期を判定するための若材齢におけるコンクリートの圧縮強度試験用供試体に適用することを検討した。すなわち、モルタルや若材齢のコンクリート供試体の圧縮強度試験に用いる鋼製キャップの内径、ゴムパッドの品質および寸法を種々に変化させて、JIS A 1132による研磨あるいはセメント、石膏によるキャッピングを施した供試体の試験結果と同様な試験値を得ることのできる条件を模索するとともに、強度に関する適用範囲について検討した。

キーワード: 圧縮強度試験, アンボンドキャッピング, 鋼製キャップ, ゴムパッド, モルタル, 若材齢コンクリート

1. はじめに

生コンクリート業界においては、製造する生コンクリートに対して工程管理や製品検査において圧縮強度試験を実施している。また、原材料である細骨材や練混ぜ水については、JIS A 5308 附属書3および附属書9に従ってモルタル供試体を作製して圧縮強度によって評価している。これらの試験頻度は、1県当たり年間3,000本程度のモルタル供試体の圧縮試験を行っている。また、生コンクリート工場においては、ユーザーの要請により打設したコンクリートに対する型枠脱型時期の判定のための若材齢における圧縮強度試験を行っており、これら供試体に対するキャッピング作業の省力化が求められている。

本研究は、モルタル供試体や若材齢におけるコンクリート供試体に対するキャッピング作業の省力化方法として、ASTM C 1231¹⁾に規定されているアンボンドキャッピング方法の適用性を実験的に検討したものである。すなわち、モルタル供試体と若材齢のコンクリート供試体において、従来の試験結果と同様な試験値を得ることが出来る鋼製キャップの内径、ゴムパッドの直径と厚さ、

硬さおよび反発弾性について実験的に検討を行って、既存の研究成果^{2)~8)}をベースに、それぞれの供試体に適したアンボンドキャッピング用試験機器の諸元を明らかにするとともに、それぞれの強度の適用範囲について実験的に検討を行ったものである。

2. アンボンドキャッピングについて

アンボンドキャッピング方法は、供試体の成形時にこて仕上げたままの供試体を用いて、所定の材齢において、ゴムパッドを挿入した鋼製キャップを供試体の打設面に被せて、圧縮強度試験に供するもので、キャッピング方法の超省力化方法である。アンボンドキャッピング方法は試験時の荷重によりゴムパッドが変形して、供試体上面の凹凸を埋め、均一に荷重を供試体に作用させるもので、ゴムパッドの円周方向への変形を鋼製キャップによって拘束することにより、水平せん断力の発生を抑制し、適正な試験が実施できるものである。従って、アンボンドキャッピングを新しい種類のコンクリートやモルタルあるいは強度水準を異にする試料に適用するためには、均等な荷重を供試体へ作用させる異が出来るゴムパッドの

*1 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所所長 工博 (正会員)

*2 大有建設株式会社代表取締役副社長 工博 (正会員)

*3 高知県生コンクリート東部協同組合 共同試験所所長 (正会員)

*4 静岡県コンクリート技術センター技術係長

品質と水平せん断力を抑制するために適した、鋼製キャップの内径をそれぞれ定めることが必要である。

本研究に用いたアンボンドキャッピング用機器の一例を写真-1に示す。



写真-1 アンボンドキャッピング用機器の一例

3. モルタルの圧縮強度試験への適用

3.1 使用材料

実験に用いたセメントはN社製の普通ポルトランドセメントであって、比重3.16、粉末度3,260cm²/gのものである。細骨材は中国福建省産の川砂であって、表乾比重2.59、吸水率1.05%、粗粒率3.08のものを用いた。

3.2 モルタルの配合および練りませ

モルタルの配合は、W/C=40, 50および60%とし、細骨材の量を種々に変化させてフローが190 ± 10mmとなるように調整した。実験に用いたモルタルの配合を表-1に示す。モルタルの練混ぜは、JIS A 5308 附属書9に従って行った。

表-1 モルタルの配合

水セメント比 W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)		
		水 W	セメント C	砂 S
40	2.0	255	638	1277
50	2.7	256	511	1380
60	3.3	260	434	1431

3.3 供試体の成形および養生

モルタル供試体の成形は、JIS A 5308 附属書9に準じ、φ5 × 10cmの軽量型枠を用いて行った。供試体は1試験条件に対して各4本とし、打設時にてこて仕上げを行った後、20℃の恒温室にて湿

布とビニールシートによって供試体を湿潤に保った。供試体の脱型は、成形後24時間において行い、脱型後直ちにJIS A 1805に示される40℃の温水にて材齢7日まで促進養生を行い、圧縮強度試験に供した。

なお、上記と同時に作製した供試体の打設面を試験直前に研磨キャッピングを行い、本実験における基準となる強度（以降、基準強度と呼ぶ）とした。基準強度は、それぞれの配合条件ごとに4本試験した。

なお、基準強度として研磨キャッピングを用いたのは、キャッピング面の平面度を確保するためである⁹⁾。

3.4 試験の条件および方法

(1) 鋼製キャップの内径、ゴムパッドの硬さの適正值に関する実験

実験に用いた鋼製キャップは、焼き入れたSKS鋼材で、その内径を51,52および53mmとしたものである。ゴムパッドはクロロプレンゴムで、直径を鋼製キャップの内径と同一とし、厚さ10mmのものを用いた。ゴムパッドの硬さはJIS K 6253（加硫ゴムの硬さ試験方法）による測定値でA30/5、A40/5及びA50/5のものを、反発弾性はJIS K 6255（加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの反発弾性試験方法）による試験値が53～54%のものを用い。試験は、ゴムパッドを挿入した鋼製キャップをゴムパッドとこて仕上げした供試体上面とが接するように被せ、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験を行った。

(2) ゴムパッドの反発弾性の適正值に関する実験

実験に用いた鋼製キャップは、3.4(1)に示したもののうち内径が52mmのものである。ゴムパッドはクロロプレンゴムで、直径を鋼製キャップの内径と同一とし、厚さ10mmのもので、硬さはA65/5と一定にし、ゴムの原料を調整して反発弾性を33, 53及び60%に変化させたものを用い、3.4(1)に示したと同様な方法で圧縮強度試験を行った。

(3) ゴムパッドの厚さの適正值

実験に用いた鋼製キャップは3.4(2)に示した

ものである。ゴムパッドは3.4(2)で示したもののうち硬さがA65/5、反発弾性53%のものを用い、厚さを10、13および16mmとして、3.4(1)に示したと同様な方法で圧縮強度試験を行った。

アンボンドキャッピングによる試験結果の評価基準は、ASTM C 1231の9.に示されているゴムパッドの使用限度を判定する方法を準用し、アンボンドキャッピングによる試験値に対する研磨キャッピングによる試験値の比（以降、強度比と呼ぶ）が 1.00 ± 0.02 の範囲であれば適正な試験が実施できていることとした。

3.5 実験結果

(1) 鋼製キャップの内径およびゴムパッドの硬さの適正值

実験結果を表-2に示す。表-2において、反発弾性を53～54%とした場合の鋼製キャップの内径とゴムパッドの硬さの適正值については、供試体の上側面と鋼製キャップの内側面との間隙（以降、クリアランスと呼ぶ）を2mmとした内径52mmの鋼製キャップとゴムパッドの硬さがA65/5を用いた場合の試験値は、基準強度とよく一致し、すべての強度レベルにおいて強度比は 1.00 ± 0.02 の範囲となっている。これは、載荷時にこて仕上げしたままの供試体上面の凹凸にゴムパッドが密着し、圧縮強度試験機の荷重が

均等に供試体へ伝達されていること、及び荷重に対応したゴムパッドの変形が供試体上側面を包み込み、これを拘束するほどの変形が生じなかったためと思われる。これに比べ、ゴムパッドの硬さがA75/5の場合や供試体のクリアランスを1mmとし内径51mmの鋼製キャップを用いた場合の強度比は0.86～0.96であって、基準強度より全て小さな値となった。これは、クリアランスがゴムパッドの硬さと荷重の大きさに適した値より小さく、荷重の増加に伴ってゴムパッドが変形できず、供試体上面の凸部に集中荷重が作用したためと推測される。また、内径52mmの鋼製キャップと硬さをA55/5としたゴムパッドを用いた試験値及び供試体のクリアランスを3mmとした内径53mmの鋼製キャップを用いた場合の実験結果の一部は、アンボンドキャッピング方法による圧縮強度が、基準強度より小さな値となっている。これは荷重の増加に伴って、ゴムパッドが鋼製キャップの底面に沿って円周方向に変形し、供試体の上端面で加圧方向と直角で外向きのせん断力が生じ、局部破壊が起こるためと思われる。

(2) ゴムパッドの反発弾性の適正值

実験結果は表-2に併記したようであって、反発弾性が53%の場合に基準強度とよく一致し、全ての強度レベルにおいて強度比は 1.00 ± 0.02 の

表-2 圧縮強度試験結果
(鋼製キャップの内径、ゴム硬さおよび反発弾性の適正值)

単位：N/mm²

W/C (%)	φ Hs Re	51mm			52mm			53mm			基準強度		
		A55/5	A65/5	A75/5	A55/5	A65/5	A75/5	A55/5	A65/5	A75/5			
		54%			53%	33%	53%	60%	54%	53%			
40	平均値	53.5	53.6	52.0	52.4	53.0	55.9	63.6	52.8	50.9	54.5	54.8	55.8
	標準偏差	0.76	1.25	0.65	1.52	1.41	1.96	6.71	1.77	0.73	0.22	1.38	1.09
	変動係数	1.43	2.34	1.25	2.91	2.66	3.45	10.5	3.35	1.43	0.40	2.52	1.96
	強度比	0.96	0.96	0.93	0.94	0.95	1.00	1.14	0.95	0.91	0.98	0.98	—
50	平均値	39.7	38.9	37.5	39.2	41.4	42.9	45.8	40.9	39.6	43.5	45.5	43.6
	標準偏差	4.54	0.86	1.47	1.95	2.26	0.59	2.40	1.65	1.82	0.50	1.10	3.78
	変動係数	11.4	2.20	3.91	4.97	5.45	1.31	5.24	4.03	4.60	1.16	2.42	8.67
	強度比	0.91	0.89	0.86	0.90	0.95	0.99	1.05	0.94	0.91	1.00	1.05	—
60	平均値	29.5	30.4	30.2	29.1	31.2	33.7	34.5	28.9	31.0	29.7	34.9	33.2
	標準偏差	0.60	1.48	0.64	0.46	2.36	1.00	2.04	0.91	2.32	1.21	2.03	1.06
	変動係数	2.03	4.88	2.13	1.58	7.56	3.03	5.91	3.15	7.49	4.08	5.81	3.20
	強度比	0.89	0.92	0.91	0.88	0.94	1.01	1.04	0.87	0.94	0.90	1.05	—

注) 強度比 = (アンボンドキャッピングによる強度 / 基準強度)、太線で囲まれた部分は、強度比が 1.00 ± 0.02 の範囲を示す。Hs: ゴムパッドの硬さ(JIS K 6253による測定値)、Re: 反発弾性(JIS K 6255による測定値) φ: 鋼製キャップの内径

範囲となっている。このように反発弾性についても適正値が存在するのは、反発弾性によっては、荷重の大きさとこれに対応したゴムパッドの変形量が相違するためと推測しているが明確でない。

(3) ゴムパッドの厚さの適正値

ゴムパッドの厚さを变化させた場合の実験結果を表-3に示す。表-3において、一部例外的な値を除いて強度比はゴムパッドの厚さの相違に関わらず1.00±0.02の範囲となっており、厚さは10～16mmの範囲であればどれを用いてもよいことが分かる。なお、実験結果のうち厚さ13mmのゴムパッドを用い、W/C=50%の供試体の強度比が0.97となり、基準値より若干小さくなっている。これは、4本のうち1本の供試体の成形に不備があり、平均値が小さくなったためである。この供試体を除いた3本の平均値は、45.5 N/mm²であって、強度比は0.99となっている。

以上の結果より、モルタル供試体用のアンボンドキャッピング機器の諸元として鋼製キャップの材質は焼き入れしたSKS鋼材で、その内径は52mmとすればよい。またゴムパッドの材質としてクロロプレングムを用いた場合の直径は52mmとし、厚さは10～16mmで硬さはA65/5、反発弾性は53%程度のもを用いればよい。

表-3 圧縮強度試験結果
(ゴムパッドの厚さの適正値)

単位: N/mm²

W/C (%)		ゴムパッドの厚さ			基準強度
		10mm	13mm	16mm	
40	平均値	56.7	56.8	57.2	56.6
	標準偏差	1.96	0.60	1.00	1.30
	変動係数	3.45	1.06	1.75	2.30
	強度比	1.00	1.00	1.01	—
50	平均値	45.0	44.2	45.0	45.7
	標準偏差	0.59	1.60	1.83	1.06
	変動係数	1.31	3.63	4.07	2.31
	強度比	0.99	0.97	0.98	—
60	平均値	33.1	33.0	31.9	32.7
	標準偏差	1.00	0.94	1.44	1.06
	変動係数	3.03	2.85	4.51	3.26
	強度比	1.01	1.01	0.99	—

注)強度比=(アンボンドキャップによる強度/基準強度)
網掛け部分は強度比が1.00±0.02の範囲を示す。

4. 若材齢コンクリートの圧縮強度試験への適用

4.1 使用材料

セメントは、N社製の普通ポルトランドセメントで、比重3.16、粉末度3,270 cm³/gのものを用いた。細骨材は浜岡産の陸砂で、表乾比重2.61、吸水率1.41%、粗粒率2.89、粗骨材は飯沼産の硬質砂岩砕石1505で、表乾比重2.63、吸水率0.71%、粗粒率6.14のものを用いた。

4.2 コンクリートの配合および練りませ

コンクリートの配合は表-4に示すようである。練混ぜは、容量100ℓの強制パン型ミキサーを用いて、1バッチを100ℓとして計400ℓの練り混ぜた。

表-4 コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量(kg/m ³)			
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
52.9	44.5	185	350	766	962

※スランプ;8cm、空気量;2～3% (プレーンコンクリート)

4.3 供試体の成形および養生

供試体は、JIS A 5308 附属書 11 に示される、φ10×20cmのプラスチック製の軽量型枠を用い、JIS A 1132 に従って実験条件毎に6本作製した。作製した供試体は、上面のこて仕上げを行い、試験まで20±3℃の室内で型枠全体を湿布でおおい、所定の材齢まで養生した。所定の材齢において脱型し、直ちに試験に供した。

4.4 試験方法

実験に用いた鋼製キャップは材質を焼き入れしたSKS鋼材とし、耐圧試験機と接する面の平面度が0.02mm以内に研磨したものである。実験は鋼製キャップの内径を102mm,104mmおよび106mmとし、ゴムパッドはクロロプレングムで直径を鋼製キャップの内径と等しいものを用いた。ゴムパッドの厚さは10mm、硬さはA30/5、A40/5及びA50/5のものを、反発弾性は51～53%のものを用いた。試験の材齢は、表-5に示すように土木学会標準示方書およびJASS 5

表-5 圧縮強度による型枠脱型時期の判定基準
単位:N/mm²

示方書		JASS 5	
フーチングの側面	3.5	基礎・梁側	5以上
柱、壁、はりの側面	5.0	柱および	
スラブ、はりの底面	14.0	壁のせき板	

における型枠脱型時期の強度が得られる時間とした。これらの時間は予備実験を行い、3.5N/mm²の場合12時間、5.0N/mm²の場合14時間、14.0N/mm²の場合34時間であったので、これらの材齢毎に鋼製キャップの内径およびゴムパッドの硬さとを組合わせた27条件について実験を行った。

なお、比較用としてJIS A 1132に準じて供試体上面を圧縮試験の2時間前に、水粉体比を17%としたS社製の高強度用石膏Bを用いてキャッピングを行った6本の供試体による圧縮強度の平均値を基準強度とした。

4.5 実験結果

実験結果を表-6に示す。表-6において、内径102mmの鋼製キャップと、A50/5の硬さのゴムパッドとを用いた場合の試験結果は、基準強度とよく一致し、強度比は1.00±0.02の範囲となっている。これ以外の条件における試験結果は、強度水準によっては、基準強度と同等の試験

結果が得られる場合もあるが、本実験で対象とする型枠脱型時期の判定基準となる強度の全体を1つの諸元の機器を用いて網羅することができないことが分かる。アンボンドキャッピングにおける諸元の相違が試験値に及ぼす影響については、前掲の3.5に述べたようであるが、クリアランスが大きく、更にゴムが適正值より軟らかい場合には、荷重の大きさに対応して、ゴムパッドが変形し、供試体上端面を包み込んで、拘束することを推測したが、鋼製キャップの内径が106mmでゴムパッドの硬さがA30/5を用いた場合の試験値は、荷重の大きさに対応した値となっていないので、今後これらに対する検討が必要である。

以上の実験結果より、型枠脱型時期の判定のための若材齢コンクリートへ、アンボンドキャッピング方法を適用する場合の機器の諸元は、直径100mmの供試体に対し、鋼製キャップの内径を102mm、ゴムパッドの硬さをA50/5、反発弾性は51～53%のものが適当であると考えられる。

これらの諸元の適正を確認する目的で、生コンクリート工場において実際に型枠脱型時期を判定するために採取した供試体によって、圧縮強度の経時変化を測定し、石膏キャッピングによる場合と比較した。試験結果は図-1に示すようであって、強度が1.8～18.6N/mm²の範囲で両者がよく一致することが分かる。

表-6 圧縮強度試験結果

材齢(h)		φ		単位：N/mm ²								
				102mm			104mm			106mm		
Hs		A30/5	A40/5	A50/5	A30/5	A40/5	A50/5	A30/5	A40/5	A50/5		
12	平均値	3.91	4.05	4.28	4.46	4.31	4.78	4.90	4.75	4.80	4.24	
	標準偏差	0.20	0.17	0.26	0.21	0.22	0.30	0.19	0.27	0.31	0.50	
	変動係数	5.15	4.20	5.97	4.61	5.08	6.20	3.88	5.64	6.54	11.8	
	強度比	0.92	0.96	1.01	1.05	1.02	1.13	1.16	1.12	1.13	—	
14	平均値	5.67	5.88	6.00	6.53	6.30	6.29	6.41	6.29	6.34	6.01	
	標準偏差	0.42	0.33	0.48	0.39	0.34	0.14	0.11	0.27	0.25	0.59	
	変動係数	7.40	5.54	7.99	5.94	5.46	2.26	1.74	4.32	3.87	9.78	
	強度比	0.94	0.98	1.00	1.09	1.05	1.05	1.07	1.05	1.06	—	
34	平均値	14.3	14.4	14.3	15.1	15.2	14.4	14.8	14.7	14.3	14.5	
	標準偏差	0.38	0.53	0.36	0.34	0.36	0.60	0.47	0.33	0.72	0.69	
	変動係数	2.69	3.68	2.49	2.22	2.34	4.18	3.16	2.26	5.02	4.76	
	強度比	0.99	1.00	0.99	1.04	1.05	0.99	1.02	1.01	0.99	—	

注)強度比=(7ソンドキャッピングによる強度/基準強度)、表中網掛け部分は強度比が1±0.02の範囲内であることを示す。φ:鋼製キャップの内径、Hs:ゴムパッドの硬さ、ゴムパッドの厚さ:10mm 表中の材齢とは、供試体を成形してから型枠を脱型した時間までを示す。

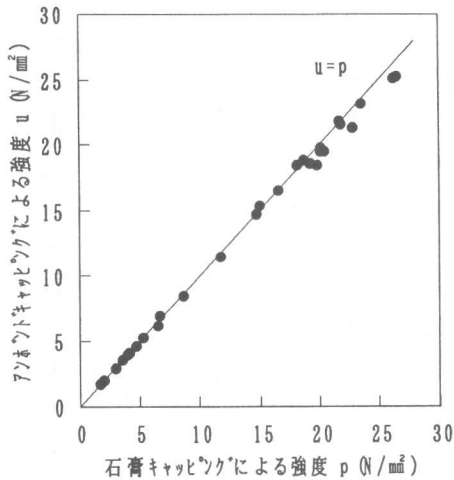


図-1 石膏キャッピングによる強度とアンボンドキャッピングによる強度との関係

5. まとめ

モルタル供試体および若材齢コンクリートにアンボンドキャッピング方法を適用する場合の機器の諸元について実験的に検討を行った。本実験によって得られた成果を要約すれば、以下の通りである。

- (1)モルタル供試体へアンボンドキャッピング方法を適用する場合の強度範囲は、33～56N/mm²程度で、鋼製キャップの内径は52mmとすればよい。
- (2)モルタル供試体の試験に用いるゴムパッドはクロロプレンゴムとし、その硬さはA65/5で反発弾性は約53%とし、直径は鋼製キャップの内径と等しい52mmで、厚さは10～16mmとすればよい。
- (3)型枠脱型時期の判定に用いる若材齢コンクリート用アンボンドキャッピングの機器の諸元として、鋼製キャップは焼入れ処理したSKS鋼材で、その内径は、JIS A 5308の規格品に用いるものと同様102mmとすればよい。
- (4)ゴムパッドは材質をクロロプレンゴムとし、その硬さはA50/5のものを用いれば適正な圧縮強度試験が可能であって、その強度に関する適用範囲は20N/mm²程度以下である。

謝辞 本研究は、全国生コンクリート工業組合連合会 ZKT 部会の構成員をはじめ多くの方々のご協力を賜った。記してここに謝意を示します。

参考文献

- 1) ASTM C 1231-93, Standard Practice for Unbonded Caps Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders
- 2) P.M.Carrasquillo and R.L.Carrasquillo : Effect of Using Unbonded Capping Systems on the Compressive Strength of Concrete Cylinders, ACI Material Journal, pp.141-147, May/June, 1988
- 3) 野口貴文・友澤史紀・小野山貫造：高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究（その8. アンボンドキャッピング・球面座の影響），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.879-880，1991.9
- 4) 野口貴文・友澤史紀・小野山貫造・郭朝光：高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究（その10. アンボンドキャッピングの開発），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.957-958，1993.9
- 5) 吉兼 亨・武山 信・鈴木一雄：アンボンドキャッピング法に関する基礎実験，セメント・コンクリート論文集，No.50，pp.286-289，1996
- 6) 全生工組連新技術開発専門部会：アンボンドキャッピングによるコンクリートの圧縮試験方法について，第9回生コン技術大会研究発表論文集，pp.251-256，1997.6
- 7) 全生連：「圧縮強度試験用の供試体作製作業における合理化」—アンボンドキャッピングの活用について—，新技術開発報告 No.16，1996.3
- 8) 鈴木一雄・伊藤康司・中根政範：アンボンドキャッピングのモルタル供試体への適用，セメント技術大会講演要旨，pp.256-257，1997
- 9) 全生工組連：「圧縮強度試験用供試体作製作業における合理化」—研磨による供試体上面仕上げ方法の適用性について—，新技術開発報告 No.8，1987.3