

アンボンドキャッピングによるコンクリートの 圧縮強度試験方法

ZKT-205:1996 (制定)
1998 (改正)
2007 (改正)
[全生工組連試験方法]

1. 適用範囲 この規格は、鋼製キャップとゴムパッドとを用いて、圧縮強度が10～60N/mm²のコンクリートの圧縮強度試験を実施する場合に適用する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

- JIS A 1132 コンクリート強度試験用供試体の作り方
- JIS B 7721 引張・圧縮試験機 - 力計測系の校正・検証方法
- JIS K 6253 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム - 硬さの求め方
- JIS K 6255 加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの反発弾性試験方法
- JIS K 6268 加硫ゴム - 密度測定

3. 供試体の検査 供試体の検査は、次のとおりとする。

- 1) 供試体は、JIS A 1132 によって作製する。
- 2) 直径及び高さを、それぞれ0.1mm 及び1mm まで測定する。直径は、供試体高さの中央で、互いに直交する2方向について測定する。
- 3) 損傷又は欠陥があり、試験結果に影響すると考えられるときは、試験を行わないか、又は試験を行う場合はその内容を記録する。
- 4) 供試体は、所定の養生が終わった直後の状態で試験が行えるようにする⁽¹⁾。

注(1) 試験を行う供試体の材齢が指定されていない場合には、1週、4週及び13週、又はそのいずれかとするか試験の目的によって任意に定める。また、コンクリートの強度は供試体の乾燥状態や温度によって相当に変化する場合もあるので、養生を終わった直後の状態で試験を行う必要がある。

4. 試験器具及び材料

4.1 鋼製キャップ 鋼製キャップは焼入れたSKS鋼材を用い、加圧板と接する面の平面度が、0.01mm 以内であることを確認したものとする。また、鋼製キャップの部材厚は図1を参照して、供試体寸法によって表1に示す値とする。

表1 鋼製キャップの寸法

(単位 mm)

適用する 供試体寸法	部材の寸法			
	内径	部材の厚さ		深さ
	d	t	t ₁	t ₂
100 × 200	102.0 ± 0.1	18 ± 2	11 ± 2	25 ± 1
125 × 250	127.0 ± 0.1			

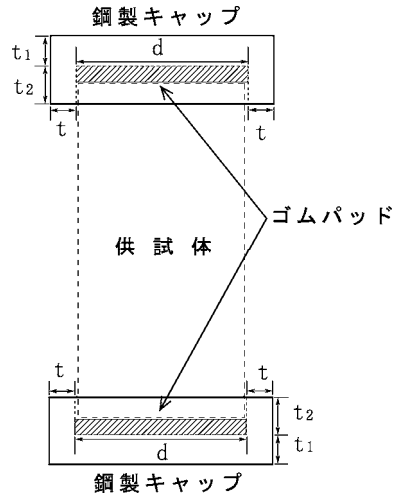


図1 鋼製キャップ

4.2 ゴムパッド ゴムパッドは、材質がポリウレタン又はクロロプレンで、その外径は表 1 に示す鋼製キャップの内径と等しいもので、厚さは 10mm のものとする。また、ゴムパッドの品質は表 2 による。

表2 ゴムパッドの品質

品質項目	ゴムパッドの材質	
	クロロプレン	ポリウレタン
硬さ	A65 / 5 ~ A70 / 5	
反発弾性率 (%)	53 ± 3	60 ± 3
密度 (g/cm ³)	1.40 ± 0.03	1.30 ± 0.03

備考 硬さは JIS K 6253 におけるタイプ A デュロメータ
反発弾性率は JIS K 6255 におけるリュブケ式試験装置
密度は JIS K 6268 によってそれぞれ測定した値。

4.3 デュロメータ デュロメータは、JIS K 6253 に規定されるタイプ A を用いる。タイプ A デュロメータの一例を図 2 に示す。

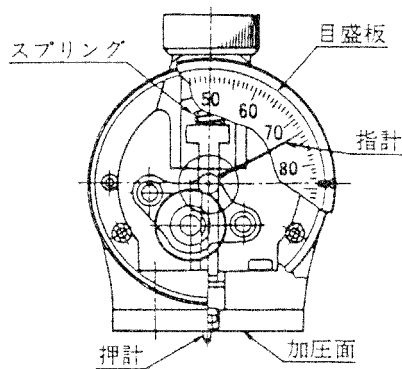


図2 タイプA デュロメータの一例

4.4 圧縮試験機 圧縮試験機は JIS B 7721 の 7. (試験機の等級) に規定する 1 等級以上のものとする。また、試験時の最大荷重が指示範囲の 20 ~ 100% となる範囲で使用する。同一試験機で指示範囲を変えることができる場合は、それぞれの指示範囲を別個の指示範囲とみなす。

4.5 上下の加圧板 上下の加圧板は鋼製とし、その大きさは供試体の直径以上で、厚さは 25mm 以上とする。加圧板の圧縮面は、磨き仕上げとする。その平面度⁽²⁾は 100mm 当り 0.01mm 以内で、かつ、そのロックウェル硬さは、HRC55 以上とする。

注⁽²⁾ ここでいう平面度は、平面部分の最も高いところと最も低いところを通る二つの平面を考え、この平面間の距離をもって表す。

備考 球座 上加圧板は、球座をもつものとする。球座は、加圧板表面上にその中心をもち、かつ、加圧板の回転角が 3° 以上得られるものとするのが望ましい。

5. ゴムパッドの硬さ

5.1 測定方法

- 1) ゴムパッドを鋼製キャップに挿入した状態で、パッドの外周から中心点に向かって約 20mm の位置の 3 か所を測定位置とする。このとき、各測定位置はそれぞれ等間隔に選定するとよい。
- 2) それぞれの測定位置においてデュロメータを垂直に保ち、押針がゴムパッドに垂直になるように加圧面を接触させる。
- 3) デュロメータをゴムパッドに押し付け、5 秒後の指針の値を読み取る。このとき、押し付ける力の目安は 8 ~ 10N とするのがよい⁽³⁾。

注⁽³⁾ ゴムパッドの硬さの測定には、オイルダンパを利用した定荷重装置を用いると安定した試験値が得られる。

- 4) 3 個のゴム硬さの測定値から平均値を求め、これを整数 2 けたに丸めてゴムパッドの硬さの試験値とし、この値と測定時のゴムパッドの温度⁽⁴⁾とを次の式によって、20 におけるゴムパッドの硬さを算出する。

$$K_{20} = 1.08 \times T^{0.03} \times K_i^{0.96}$$

ここに、 K_{20} : 温度 20 でのゴムパッドの硬さの換算値

T : 測定時のゴムパッドの温度 ()

K_i : デュロメータの読み

注⁽⁴⁾ ゴムパッドの硬さの測定値は、ゴムパッドの温度によって相違する。ゴムパッドの温度を直接測定することができない場合、ゴムパッドの温度と室温とに差異が無いと考えられるときには、室温を計算に用いてもよい。

- 5.2 使用限度の判定 未使用時の硬さに対して、測定した硬さが 2 を超えて低下した場合は、新しいものと交換しなければならない。

6. 試験方法 試験方法は、次のとおりとする。

- 1) 供試体の載荷面、上下の加圧板、鋼製キャップの載荷面及びゴムパッドの圧縮面を清掃する。
- 2) 供試体の載荷面がゴムパッドに接するように鋼製キャップを設置する。コンクリート供試体の側面と鋼製キャップの内側面とが接することのないよう、鋼製キャップの位置を調整する。
- 3) アンボンドキャッピングを施した供試体を、供試体直径の 1% 以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置く⁽⁵⁾。

注⁽⁵⁾ 新しいゴムパッドを使用する場合は、鋼製キャップの内面にゴムパッドを挿入し、鋼製キャップとゴムパッドとの間に空気が残らないよう、150kN 程度の荷重を 2 ~ 3 回載荷する。

- 4) 供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を加える。荷重を加える速度は、圧縮応力度の増加が毎秒

0.6 ± 0.4N/mm² になるようにする。

- 5) 供試体が急激な変形を始めた後は、荷重を加える速度の調節を中止して、荷重を加え続ける。
- 6) 供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を有効数字 3 けたまで読みとる。

7. 計 算

- 1) 供試体の直径は、次の式によって算出し、四捨五入を行って有効数字 4 けたに丸める。

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

ここに、 d : 供試体の直径 (mm)

d_1, d_2 : 3.2) で求めた 2 方向の直径 (mm)

- 2) 圧縮強度は、次の式によって算出し、四捨五入を行って有効数字 3 けたに丸める。

$$f_c = \frac{P}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2}$$

ここに、 f_c : 圧縮強度 (N/mm²)

P : 6.6) で求めた最大荷重 (N)

8. 報 告 報告は次の項目を記載する。

- 1) 試験年月日
- 2) 供試体の番号
- 3) 材齢
- 4) 養生方法及び養生温度
- 5) 供試体の直径 (mm)
- 6) 最大荷重 (N)
- 7) 圧縮強度 (N/mm²)
- 8) 欠陥の有無及びその内容
- 9) 供試体の破壊状況

アンボンドキャッピングによるコンクリートの 圧縮強度試験方法 解説

この解説は、本体に規定した事柄、及びこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

1. 制定の趣旨 全国生コンクリート工業組合連合会新技術開発研究専門委員会においては、コンクリートの圧縮強度試験作業の省力化方法として、鋼製キャップとゴムパッドとを用い、成形時のセメントペーストキャッピングあるいは試験時における研磨キャッピングを施すことなく、圧縮強度試験を実施するアンボンドキャッピング方法を ASTM C-1231 及び AS 1012.9 を参考にして実用化に必要な項目について実験を行い、その結果から、それら規格における試験精度と作業性に改善を加え、平成 8 年 4 月に ZKT-205 を制定した。しかし、ZKT-205 では製品検査には適用できないため、これを JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)に取り込むことが必要であるとして、ZKT 専門部会においてゴムパッドの品質や寸法、使用限度の判定方法、試験時の供試体と鋼製キャップの位置関係、コンクリートの種類及び強度に関する適用範囲等について検討を行うための実験を平成 8 年度に行った。この結果、製品検査にも適用可能な成果が得られたので、ZKT-205 を改訂するとともに JIS A 1108 の改正の基礎資料としてデータを提供した。

2. 鋼製キャップの寸法について 鋼製キャップは、焼き入れを施した S45C 鋼材または SKS 鋼材と同等の性能を有するもので、耐圧試験機と接する面の平面度が、0.02mm 以内であることを確認したものをいれればよい。鋼製キャップの寸法の適正值に関する検討は、比較的その条件が詳述されている ASTM C-1231 を基に、鋼製キャップの内径とコンクリートの強度を変化させて実験を行った結果、解説表 1¹⁾に示すように、供試体と鋼製キャップの内径との間隙が大きいものほど、JIS A 1132 によって作製した供試体の強度試験結果より小さな値となる。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引張力が生じ、これによる局部破壊が起こるためと思われる。しかし、鋼製キャップの内径が供試体直径より 2mm 大きい場合には、JIS A 1132 による試験結果とよく一致することから、鋼製キャップの内径は、この値を用いることとした。

なお、アンボンドキャッピングによる試験値の確からしさは、ASTM C-1231 におけるゴムパッドの使用限度を判定する方法に従って、強度が既知の供試体（従来方法；セメントペーストキャッピング又は研磨キャッピングなどを施した）の強度とアンボンドキャッピングによる強度との比（以下、強度比と呼ぶ）が 0.98 を下回らないことを準用して、評価することとした。強度比については、平成 7 年度以前の研究において、ゴムパッドが過剰に柔らかい場合、強度比が大きくなるケースもあることが明らかとなっているので、下限値（強度比=0.98）の他に上限値（強度比=1.02）を設けて、アンボンドキャッピングによる試験結果を評価することとした。すなわち、強度比が 1.00 ± 0.02 の範囲となる場合は、適切な試験が行われていると評価した。

注）基準とした比較用の通常の供試体の頂部は、平面度の劣るセメントペーストキャッピング方法にはよらず、研磨キャッピングにより平面度が 0.05mm 以下（JIS A 1132 における規格値）となるようにした。以下全ての強度比はその供試体をベースにして求めた。

解説表1 鋼製キャップの内径及びゴムパッドの硬さが圧縮強度に及ぼす影響

[単位：N/mm²]

fc	ゴム硬さ	鋼製キャップの内径=102mm			鋼製キャップの内径=104mm			鋼製キャップの内径=106mm			基準強度
		65	75	90	65	75	90	65	75	90	
20	平均強度	17.3	17.2	16.3	16.9	16.7	15.8	16.8	16.6	15.5	17.4
	強度比	0.99	0.99	0.94	0.97	0.97	0.91	0.97	0.95	0.89	-
30	平均強度	27.1	27.0	26.2	26.8	26.8	26.2	26.2	26.0	25.3	27.2
	強度比	1.00	0.99	0.96	0.98	0.98	0.96	0.96	0.96	0.93	-
45	平均強度	43.4	43.4	43.0	43.1	42.2	42.3	42.2	41.7	41.3	43.2
	強度比	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.96	0.96	-

注)表中のfcは目標強度を、基準強度は供試体を両端研磨しJIS A 1108に従って行った強度試験結果を示す。

強度比=(アボントキャップによる強度)/(JIS A 1108による強度)

太線で囲まれた範囲は、強度比1.00±0.02の範囲を示す。

3. ゴムパッドの品質について

1) 厚さ ゴムパッドの厚さはASTM及びASでは11～15mmと規定されている。ZKT規格を改訂するために行った追加実験では、その厚みを6, 10及び13mmとして、水セメント比を40, 50及び60%とした供試体を用いてゴムパッドの厚さの適正値を評価した。実験の結果は、解説表2²⁾に示すように、厚さが10mmのものを用いることにより強度比が所定の範囲となることが示されたので、ゴムパッドの厚さは10mmとすることとした。

解説表2 ゴムパッドの厚さが圧縮強度に及ぼす影響

[単位：N/mm²]

W/C (%)	ゴム厚さ	鋼製キャップの内径 = 102mm			基準強度 (研磨)
		6mm	10mm	13mm	
40	平均値	55.4	56.7	56.8	56.6
	標準偏差	1.62	1.96	0.602	1.30
	変動係数	2.93	3.45	1.06	2.30
	強度比	0.98	1.00	1.00	-
50	平均値	44.3	45.0	44.2	45.7
	標準偏差	2.48	0.591	1.60	1.06
	変動係数	5.60	1.31	3.63	2.31
	強度比	0.97	0.99	0.97	-
60	平均値	33.0	33.1	33.0	32.7
	標準偏差	1.15	1.00	0.939	1.06
	変動係数	3.49	3.03	2.85	3.26
	強度比	1.01	1.01	1.01	-

注)強度比=(アボントキャップによる強度)/(研磨キャップによる強度)

変動係数の単位は%である。

太線で囲まれた範囲は、強度比1.00±0.02の範囲を示す。

試験条件

供試体寸法； 10×20cm

ゴムパッドの径； 102及び104mm

ゴム硬さ； A65/5

2) 外径 ゴムパッドの外径は、ASTM の場合鋼製キャップの内径より 2mm 小さいものから鋼製キャップの内径と同一のものまで、AS では鋼製キャップの内径と同一のものと規定されている。ZKT 規格を制定するために行った実験では、その外径を鋼製キャップの内径と同一のもの及び内径より 1mm 小さいものとし、水セメント比を 50、60 及び 70% とした供試体を用いてゴムパッドの外径の適正値を評価した。実験の結果は解説表 3²⁾ に示すようであって、ゴムパッドの直径を 101mm とした場合の強度比は、水セメント比の相違に関わらず 0.94 ~ 0.97 で所定の強度比の範囲からはずれるとともに、変動係数も 4.67 ~ 5.21% と大きくなっている。これに比べ、直径を 102mm とした場合は基準強度とよく一致し、強度比は 0.98 ~ 1.00 で変動係数は 0.97 ~ 1.21% と極めて小さな値を示し、精度の高い試験結果が得られた。これらの結果から、ゴムパッドの直径は 102mm とすることとした。

解説表 3 ゴムパッドの外径が圧縮強度におよぼす影響

[単位：N/mm²]

W/C (%)	ゴムパッドの直径=101mm				ゴムパッドの直径=102mm				基準強度
	強度	σ	V(%)	強度比	強度	σ	V(%)	強度比	
50	47.4	2.21	4.67	0.94	49.4	0.60	1.21	0.98	50.4
60	38.3	1.85	4.83	0.96	39.5	0.38	0.97	0.99	39.9
70	28.5	1.48	5.21	0.97	29.4	0.31	1.04	1.00	29.4

注) 表中の強度は15本の圧縮強度の平均値、基準強度は、供試体を両端研磨し JIS A 1108に従って行った強度試験結果をそれぞれ示す。
 強度比=(アボンドキャップによる強度)/(基準強度)、太線で囲まれた部分は、強度比1.00±0.02の範囲を示す。σ：標準偏差、V：変動係数

3) 成形方法 熱加工された板状のゴムからポンチを用いて押し抜いて作製したゴムパッドの破断面は、凹形となっており、その深さは、押抜き速度によって相違するので、ゴムパッドの品質が安定しないことが明らかとなった。このため、所定の寸法を有する金型にゴムの原料を入れ、加熱成形したものの採用を検討した。検討の結果は、解説表 4²⁾ に示すようで、強度水準の相違に関わらず加熱成形した場合の強度比は 0.99 ~ 1.00 で、変動係数は 1.5% 以下と安定した試験値が得られることが示されたので、ゴムパッドの成形方法は加熱成形とすることとした。

解説表 4 ゴムパッドの成形方法が圧縮強度に及ぼす影響

[単位: N/mm²]

目標 強度	供試体 No.	アンボンドキャッピング										研磨キャッピング (基準強度)					
		押抜き成形					加熱成形					平均	圧縮 強度	平均値	標準 偏差	変動 係数	
		圧縮 強度	平均値	標準 偏差	変動 係数	強度比	平均	圧縮 強度	平均値	標準 偏差	変動 係数						強度比
20	1	20.5	20.0	0.665	3.33	1.00	0.971	20.3	20.3	0.320	1.58	1.00	0.997	20.1	20.6	0.386	1.87
	2	20.6				1.00		20.4				1.00		20.5			
	3	20.9				1.01		20.6				1.01		20.8			
	4	19.4				0.94		20.7				1.02		20.2			
	5	20.1				0.98		20.4				1.00		20.9			
	6	19.2				0.93		20.2				1.00		20.4			
	7	20.5				1.00		20.1				0.99		20.5			
	8	20.6				1.00		20.4				1.00		20.6			
	9	20.8				1.01		20.6				1.01		21.3			
	10	19.4				0.94		19.9				0.98		19.9			
	11	19.2				0.93		19.6				0.97		20.9			
	12	19.4				0.94		20.2				1.00		20.8			
	13	20.4				0.99		20.1				0.99		20.3			
	14	19.2				0.93		20.6				1.01		21.1			
	15	19.4				0.94		19.8				0.98		20.4			
30	1	30.6	30.8	0.462	1.50	0.98	0.987	31.6	31.1	0.463	1.49	1.02	1.001	31.1	31.2	0.383	1.23
	2	31.1				1.00		31.2				1.00		30.6			
	3	30.9				0.99		31.2				1.00		31.2			
	4	29.9				0.96		30.0				0.96		31.3			
	5	30.6				0.98		31.6				1.02		31.1			
	6	30.7				0.98		30.9				0.99		31.1			
	7	31.2				1.00		30.9				0.99		31.4			
	8	30.7				0.98		31.4				1.01		31.7			
	9	31.6				1.01		31.2				1.00		30.9			
	10	31.3				1.00		31.5				1.01		31.8			
	11	30.8				0.99		30.8				0.99		31.1			
	12	31.2				1.00		31.6				1.02		32.0			
	13	31.2				1.00		31.7				1.02		31.3			
	14	30.2				0.97		30.8				0.99		31.4			
	15	30.3				0.97		30.7				0.99		30.7			
45	1	44.7	45.0	0.590	1.31	0.97	0.978	45.8	45.7	0.642	1.41	1.00	0.999	46.3	46.0	0.687	1.49
	2	44.8				0.97		45.8				1.00		45.8			
	3	-				-		47.0				1.03		45.8			
	4	44.9				0.98		46.2				1.01		44.8			
	5	44.8				0.97		45.6				1.00		46.9			
	6	46.0				1.00		46.8				1.02		45.2			
	7	45.1				0.98		45.9				1.00		45.7			
	8	45.5				0.99		45.4				0.99		45.6			
	9	45.2				0.98		45.8				1.00		47.4			
	10	44.6				0.97		44.9				0.98		46.7			
	11	43.9				0.95		45.2				0.99		45.3			
	12	44.6				0.97		44.7				0.98		46.1			
	13	44.6				0.97		45.2				0.99		46.5			
	14	45.6				0.99		45.3				0.99		45.7			
	15	46.0				1.00		46.1				1.01		46.1			

注) 表中強度比とは、研磨仕上げを行った供試体の圧縮強度の平均値に対する比を示す。変動係数の単位は%である。

4) 硬さ 従来の ZKT-205 では、ゴムパッドの硬さについては、前掲の解説表 1 を基に、コンクリート強度が 20 ~ 45N/mm² 程度の範囲で、硬さが小さいもの程、JIS A 1132 による試験結果と一致することから、ゴムパッドの硬さとして 65 度のものを用いることが適切と思われるが、ゴムパッドの製造上のバラツキを考慮して、65 ~ 70 度の範囲であれば良いこととした。

なお、硬さの測定方法である JIS K 6301 が、平成 10 年 2 月に廃止されることになった。このため、ゴムの硬さに関する試験方法を既に ISO 試験方法との整合化が図られた JIS K 6253(加硫ゴム及び熱可塑性ゴム - 硬さの求め方)に変更することとした。JIS K 6253 においては、ゴム硬度計はゴム硬さ試験機と呼ばれ、(1) タイプ A デュロメータ、(2) タイプ D デュロメータ、(3) タイプ E デュロメータ、(4) IRHD ポケット硬さ試験機の 4 種類のものが規格化されている。これらの内タイプ A デュロメータによる測定値が、従来の ZKT-205 に示されているゴム硬度計 (JIS K 6301) による測定値と極めて近似している。両者の試験値の換算方法については、標準化されておらず、ゴム業界誌³⁾における参考文献により次式を用いて換算を行った。換算結果は解説表 5 に

示すようであって、両者の差違は、0.03～0.04 目盛であることが明らかとなった。また、硬さを異にする数種類のゴムパッドを用いて、ゴム硬さの測定に関する専門家にゴム硬度計とタイプ A デュロメータとを用いて、ゴム硬さの実測を依頼した結果は、解説図 1²⁾に示すようであって、両者に大差は認められない。また、実験結果から定めた相関式を用い、JIS K 6301 におけるゴム硬度が 65～70 度に対応するタイプ A デュロメータの読みは 64.96～69.97 であって、従来の ZKT-205 に定めたゴム硬度計を用いても、後述するゴムパッドの使用限度の管理に支障はないことから、指針の読みは 65～70 とし、従来の値と統一とした。

なお、JIS K 6253 においての、硬さは無名数で表されている。硬さ試験結果の表示についての新旧の対照は以下の通りである。

(従 来)	(改定後)	
JIS K 6301	JIS K 6253	
65 度	A65/5	A : タイプ A デュロメータによる測定値である
70 度	A70/5	65 : 硬さ試験機の指示値
		/ : 数字を切り分ける役目に用いる
		: ゴム硬さ試験機の受圧面を試料に接触させてから指示値を 読みとるまでの時間 (秒)

・換算式

$$G = \frac{(m-1)p}{4may} \quad (\text{式 1})$$

ここに、 G ; せん断弾性係数

m ; ポアソン数 {=2.0}

a ; 押針の先端半径と軸半径の平均値 {(0.079+0.130)/4=0.05225}

p ; 任意点の荷重 {=0.055+0.008DH'}

y ; 任意点の深さ {=0.254-0.00254DH'}

DH' ; JIS K 6301 によるゴム硬さ

$$DH = \frac{100\{4maH_0G - (m-1)p_0\}}{4maH_0G + (m-1)(p_{100} - p_0)} \quad (\text{式 2})$$

ここに、DH ; JIS K 6253 によるゴムの硬さ

m ; ポアソン数 {=2.0}

H_0 ; 押針の出の量 {=0.25}(cm)

a ; 押針の先端半径と軸半径の平均値 {(0.079+0.125)/4=0.051}(cm)

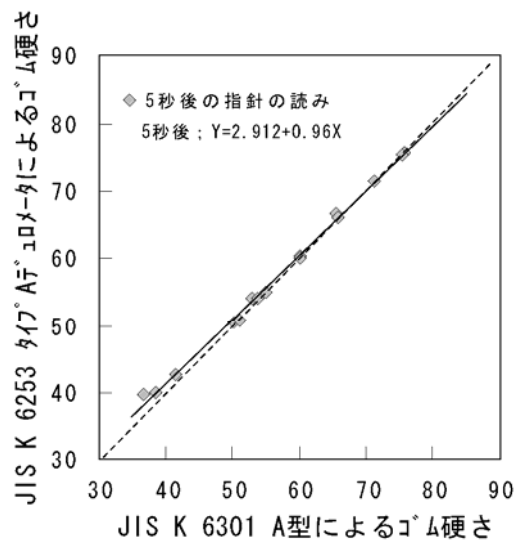
G ; せん断弾性係数(kgf/cm²) (式 1 で求めた値)

p_{100} ; 100° の荷重 {=0.8211}(kg)

p_0 ; 0° の荷重 {=0.0561}(kg)

解説表5 JIS K 6301からJIS K 6253への換算結果

JIS K 6301 による硬さ	式Iにおけ るGの値	JIS K 6253 への換算値
5	0.94	4.64
10	1.41	9.68
15	1.94	14.72
20	2.53	19.75
25	3.20	24.78
30	3.97	29.81
35	4.85	34.84
40	5.89	39.87
45	7.11	44.89
50	8.57	49.91
55	10.36	54.93
60	12.60	59.95
65	15.47	64.96
70	19.31	69.97
75	24.68	74.98
80	32.73	89.99
85	46.15	85.00
90	72.99	90.00
95	153.52	95.00
96	193.79	96.00
97	260.90	97.00
98	395.11	98.00
99	797.76	99.00



解説図1 JIS K 6301 A 型によるゴム硬さと JIS K 6253
タイプ A デュロメータによるゴム硬さとの関係

5) 材質 ASTM C-1231 においては、アンボンドキャッピングに用いるゴムパッドの材質として、ネオプレン（クロロプレンゴムの一種）、ポリウレタン、天然ゴム等が規定されている。ZKT 専門部会では、安価で品質が安定しているクロロプレンを中心に数種類の材質についてゴムパッドを作製し、繰り返し载荷を行って、圧縮強度試験結果の精度によって、材質の適否を判定した。実験結果は解説表 6²⁾に示すようであって、クロロプレ

ンとポリウレタンの場合が 200 回程度以上使用しても強度比が 1.00 ± 0.02 の範囲となっており、天然ゴムやスチレンブタジエンゴムに比べて耐久的であることが示されている。このため、材質としてはクロロプレン及びポリウレタンを使用することとした。

解説表6 材質の相違がゴムパッドの耐久性に及ぼす影響

[単位:N/mm²]

ゴムパッドの材質	項 目	繰返し载荷回数 (回)							
		1	10	50	100	150	200	250	300
クロロプレン - T (H=65,R=53,S=1.41)	圧縮強度	33.9	33.8	33.9	33.7	33.8	33.8	33.9	34.1
	強度比	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.01
クロロプレン - S (H=65,R=54,S=1.38)	圧縮強度	34.2	33.9	33.9	34.0	33.4	33.5	3.7	32.5
	強度比	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98	0.99	0.99	0.96
クロロプレン - D (H=65,R=56,S=1.43)	圧縮強度	34.0	34.0	33.9	34.6	33.7	33.9	33.2	32.7
	強度比	0.99	1.00	1.00	1.02	0.99	1.00	0.97	0.97
天然ゴム (H=65,R=63,S=1.25)	圧縮強度	34.2	33.8	33.4	32.0	29.3	-	-	-
	強度比	1.00	0.99	0.98	0.94	0.86	-	-	-
スチレンブタジエン (H=65,R=46,S=1.26)	圧縮強度	34.3	34.2	34.1	33.9	32.7	32.2	32.2	31.5
	強度比	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.95	0.95	0.93
ポリウレタン (H=65,R=59,S=1.29)	圧縮強度	34.4	34.3	34.0	33.6	33.9	33.8	33.8	33.5
	強度比	1.01	1.01	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99
基準強度		34.2	34.1	34.0	34.0	33.9	33.8	34.1	33.8

注) 表中の基準強度は、供試体を両端研磨しJIS A 1108に従って行った強度試験結果を示す。強度比 = (アボットキヤビングによる強度) / (基準強度)
記号は、H:硬さ、R:反発弾性(%), S:密度(g/cm³)を示す。
太線で囲まれた部分は、強度比 1.00 ± 0.02 の範囲を示す。

6) 反発弾性及び密度 クロロプレンを主原料としたゴムパッドの硬さが A65/5 であっても、カーボン量を多くした場合には、正しい試験値が得られないことが明らかとなったので、硬さを一定としてカーボン量を変化させ、JIS K 6255 (加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの反発弾性試験方法) 及び JIS K 6350 (ゴム製品分析方法) に規定されている物理試験を行った。実験結果の一部は、解説表 7²⁾ に示すようになって、カーボン量を 8~45% に変化させることにより、ゴムパッドの密度は $1.71 \sim 1.32 \text{g/cm}^3$ に変化し、反発弾性は 29~59% に増加する。これらゴムパッドの物性変化に対してコンクリート供試体の圧縮強度試験結果より適正な物性を選定すれば、反発弾性は 53%、密度は 1.41g/cm^3 である。また、ポリウレタンについても配合を変え、反発弾性を種々に変化させて試験を行った結果を解説表 7 に併記した。ポリウレタンの場合、反発弾性は 59%、密度が 1.29g/cm^3 の場合に適正な試験が実施できることが明らかとなったので、クロロプレンを用いた場合と同様に、それぞれの基準値を示すとともに、製造工程の管理限界を考慮して基準値に対する許容値も併せて示すこととした (解説表 8²⁾ 参照)。

解説表7 ゴムパッドの反発弾性及び密度が圧縮強度に及ぼす影響

ゴムパッドの材質	硬さ	反発弾性 (%)	密度 (g/cm ³)	圧縮強度(N/mm ²)		カーボン量 (%)
				1回目	10回目	
クロロブレン - T	A65/5	59	1.32	35.2 (1.03)	35.0 (1.03)	45
	A65/5	53	1.41	33.9 (0.99)	33.8 (0.99)	40
	A65/5	33	1.59	30.4 (0.89)	28.6 (0.84)	12
	A66/5	29	1.71	30.1 (0.88)	25.4 (0.74)	8
ポリウレタン	A66/5	66	1.21	35.8 (1.05)	35.9 (1.05)	-
	A65/5	59	1.29	34.4 (1.00)	34.3 (1.01)	-
	A65/5	50	1.41	32.6 (0.95)	32.4 (0.95)	-
	A65/5	47	1.58	30.2 (0.88)	28.6 (0.84)	-
基準強度				34.2	34.1	-

注) 表中カッコ内の値は、強度比を示す。

強度比 = (アボンドキャットによる強度) / (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。

解説表8 反発弾性と密度に対する基準値及び許容値

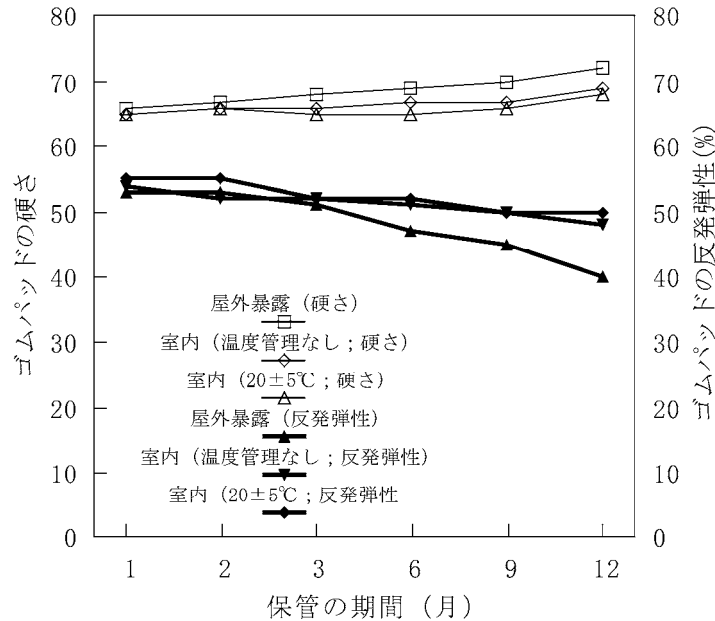
ゴムパッドの材質	反発弾性(%)		密度(g/cm ³)	
	基準値	許容値	基準値	許容値
クロロブレン	53	± 3	1.40	± 0.03
ポリウレタン	60	± 3	1.30	± 0.03

7) 保管時の注意事項 ゴムパッドは長期間の保管において含有成分に起因する劣化を生じる。ブタジエンを主成分とするクロロブレンでは、紫外線を長期間受けると、解説図 2 に示すように、硬くなる一方、反発弾性が低下する。また、ポリウレタンの場合は、加水分解によって、硬さや反発弾性の低下が危惧される。このためゴムパッドの保管については、ZKT 本文には規定しないが、以下に示すような注意が必要である。

紫外線を長時間受けないこと（直射日光は避ける）

各種油類とは接触させないこと

ポリウレタンの場合は乾燥状態で保管すること



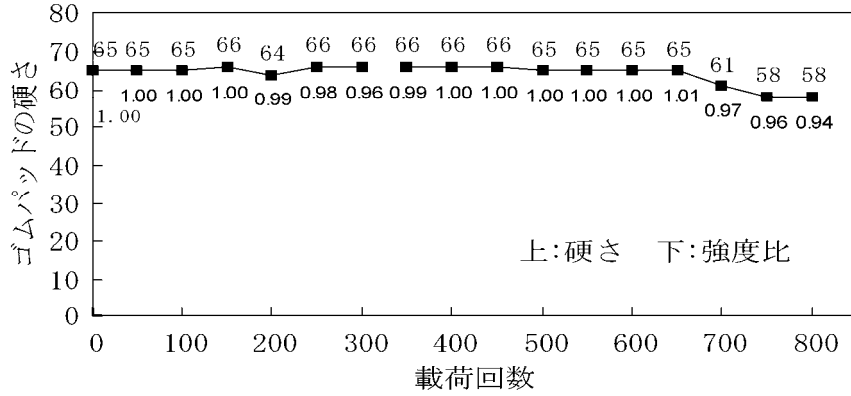
解説図2 保管条件の相違がゴムパッドの硬さ及び反発弾性に及ぼす影響

3. ゴムパッドの使用限度について ゴムパッドは、使用回数の増加とともに疲労する。ゴムパッドの使用限度の判定は、ASTM C-1231においては100回を超えて試験に用いる場合、強度既知の供試体で試験を行って、正しい強度が得られていることを確認するよう規定されている。また、AS 1012.9においては目視で大きな亀裂がないことを確認すれば再使用できることとなっているが、具体的に使用回数を数えながらの試験は煩雑であるし、目視による検査では、主観が介在するなどの問題点を有している。ZKT 専門部会では、これらの改善方法として適宜（一定期間を定め）ゴム硬さ試験機によるゴムパッドの硬さを測定する方法を提案した。この一定期間とは、レディーミクストコンクリート工場の場合、1日の平均的な圧縮強度試験の回数を基に計算して、100～150回に1回程度の測定が実施できるように、例えば、2日に1回、毎週月曜日、あるいは毎月の第一月曜日など、1日の試験頻度に応じて定めればよい。

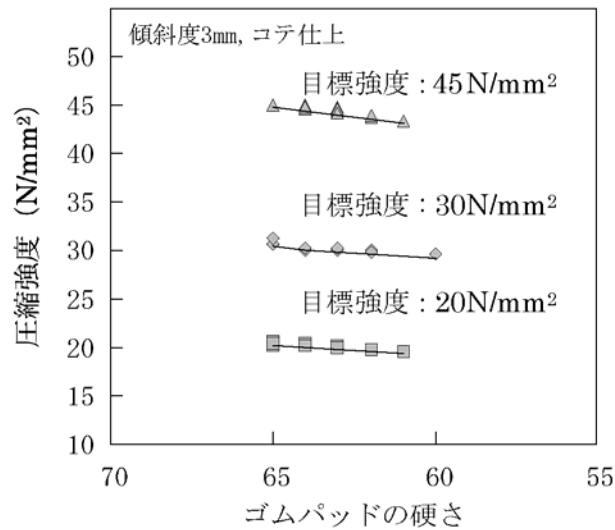
ゴムパッドの硬さの測定位置については、JIS K 6253に規定されているタイプAデュロメータに付属したマニュアルを参照して、同一位置の測定は避けること、測定点数を減らし作業の省力化を図ることなどを目的とし、1枚のゴムパッドの硬さの測定を3箇所とし、その平均値を硬さとしても良いことを実験によって確かめた。この実験には、200枚のゴムパッドを用いて、その表面の19箇所を測定した場合と、ゴムパッドの外周から中心点に向かって約15mmの位置で、それぞれが等間隔となる3箇所を測定点とした場合の測定値とは、最大、最小及び平均値において両者の間に相違が認められなかった。このため、測定点数は3点とし、その平均値をゴムパッドの硬さとする事としたのである。

また、供試体上面の形状を種々に変化させた供試体を用いて繰り返し試験を行い、圧縮強度とゴムパッドの硬さと連続して測定を行った。ゴムパッドを繰り返し使用することにより、任意の使用回数において強度比が低下すると共にゴムパッドの硬さも低下する（解説図3⁴⁾参照）。ゴムパッドの硬さとコンクリートの圧縮強度との関係の一例は解説図4に示すように直線となる。これらの関係を用いて、強度比が0.02の低下に対応する、ゴムパッドの硬さの低下量を、供試体上面の仕上げ状態ごとに整理した結果は、解説表9に示すようである。表中 印を付けた実験結果は、押し抜き成形したゴムパッドを用いたものであって、加熱成形した場合より早期に強度比が低下する。これらの試験結果も含め強度比0.02の低下に対応するゴムパッドの硬さの低下量の平均値は2.6となっている。このためゴムパッドの使用限度は、複数回使用したゴムパッドの硬さを測定し、これに対し温度補正を行って、当初使用前に測定したゴム硬さに対する低下量が2を超える場合を使用限度と定め

た。この値は安全側の値であって、関連の実験において低下量が 6 を超えても、比較のための供試体と同等な強度を得ることができるとの実験結果もあるが、安全側の判定基準として、ゴム硬さの低下量の限界値を 2 と定めた。



解説図 3 载荷回数とゴムパッドの硬さとの関係の一例



解説図 4 ゴムパッドの硬さと強度との関係の一例

解説表9 強度比0.98に対応するゴムパッドの硬さの低下量

上面の形状 目標強度 (N/mm ²)	傾斜度(mm)				凹3mm D	凸3mm E
	0		3			
	A	B	B	C		
20	1.50	3.27	1.65	1.55	0.63	0.46
30	4.21	3.17	2.47	4.38	2.37	6.39
45	0.56	3.08	2.32	4.02	2.75	2.10

注)表中 印は、押抜き成形したゴムパッドを使用した試験値。

A,B,C,D,Eはそれぞれ試験機関を示す。

なお、ゴムパッドの温度がゴム硬さに及ぼす影響は、解説表 10⁴⁾に示すようになって、温度が低いほどゴムパッドは硬くなり、どのゴムパッドにおいても 10~30 の間で硬さは約 2 (測定開始後 5 秒における試験値) 相違する。これらゴムパッドの温度とゴム硬さとの関係を $K_{20}=10^a \cdot T^b \cdot K_i^c$ に近似させ、最小自乗法によって定数を定めると次式となる。

$$K_{20}=1.08 \cdot T^{0.03} \cdot K_i^{0.96}$$

ここに、 K_{20} ; 温度 20 におけるゴムパッドの硬さの換算値

T ; 測定時のゴムパッドの温度 ()

K_i ; 温度 T におけるゴムパッドの硬さの測定値

従って、ゴムパッドの硬さを測定する場合には、ゴムパッドの温度を測定し、これらの測定値を上式に代入して、20 における硬さに換算することにより、温度補正とすることとした。

なお、ゴムパッドの温度が直接測定できない場合には、環境温度(室温)を温度データとして用いてもよいこととした。

解説表 10 ゴムパッドの温度がゴムパッドの硬さに及ぼす影響

ゴム温度 10			ゴム温度 20			ゴム温度 30		
測定値	20 の 換算値	比	測定値	20 の 換算値	比	測定値	20 の 換算値	比
66	64.59	1.01	64	64.03	1.00	63	63.84	1.00
66	64.59	0.99	65	64.99	1.00	64	64.81	1.00
66	64.59	0.99	65	64.99	1.00	64	64.81	1.00
66	64.59	0.99	65	64.99	1.00	64	64.81	1.00
69	67.41	1.02	66	65.95	1.00	66	66.76	1.01
68	66.47	1.01	66	65.95	1.00	66	66.76	1.01
69	67.41	1.02	66	65.95	1.00	66	66.76	1.01
69	67.41	1.01	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
68	66.47	0.99	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
69	67.41	1.01	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
69	67.41	1.01	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
70	68.35	1.02	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
68	66.47	0.99	67	66.91	1.00	66	66.76	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	68	68.70	1.01
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	68	68.70	1.01
68	66.47	0.98	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
70	68.35	1.01	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
70	68.35	1.01	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.99	68	67.87	1.00	67	67.73	1.00
69	67.41	0.98	69	68.83	1.00	68	68.70	1.00
73	71.16	1.00	71	70.74	1.00	70	70.64	0.99
74	72.09	1.00	72	71.70	1.00	71	71.61	0.99
75	73.03	1.00	73	72.65	1.00	72	72.57	0.99

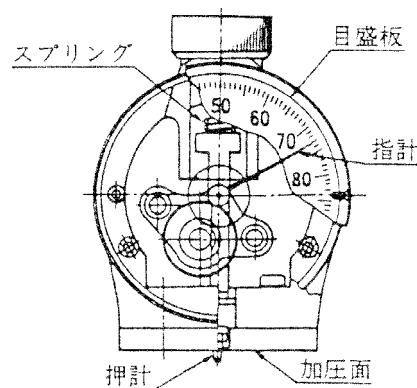
注) 表中の測定値及び換算値, 例えば 65 は A65/5, 66 は A66/5 を意味する。
「比」とは, ゴム温度 20 におけるゴム硬さの測定値との比を示す。

4. ゴム硬さ試験機の取り扱いについて ゴム硬さ試験機は 2.4) で述べたように, JIS K 6253 に示されているタイプ A デュロメータを使用する。これ以外のゴム硬さ試験機を用いて同一のゴムパッドの硬さを計測すると, 5 ~ 20 (度) の差異を生ずるので, 使用機は所定のものを使用することを基本とする。

ゴム硬さ試験機の取り扱いについては, JIS K 6253 に示されており, これを基に実験を行い具体的な方法について検討した。取り扱い上の注意事項を要約すれば以下の通りである。

- 1) ゴム硬さ試験機の降下速度(加圧面の押しつけ速度) ゴム硬さ試験機の降下速度の相違が硬さの測定値に及ぼす影響は比較的小さいが, 素早くまたは, ゆっくりゴム硬さ試験機を押しつけた場合, 押針がゴムパッドと垂直に接触できず, 測定値に誤差を生ずるおそれがあるので, 正しい測定ができるよう予め練習をする。(予備練習として数十回測定を繰り返して行えば, ほぼ一定の速度で実施できるようになる。)
- 2) 指針の読みとり時期 ゴム硬さ試験機の指針は, 加圧面がゴムパッドと完全に密着した時点で最大値を示し, そのままの状態を保持しても次第に低下する。このため, 試験時間が短く, 比較的安定した試験値が得られる条件とすることが望ましい。読みとり時期に関する実験の結果, 加圧面がゴムパッドに接触してから 5 秒後の値を読みとれば, 比較的安定した値が得られることや個人誤差が生じにくいことなどが明らかとなったので, 5 秒後に読みとることとした。

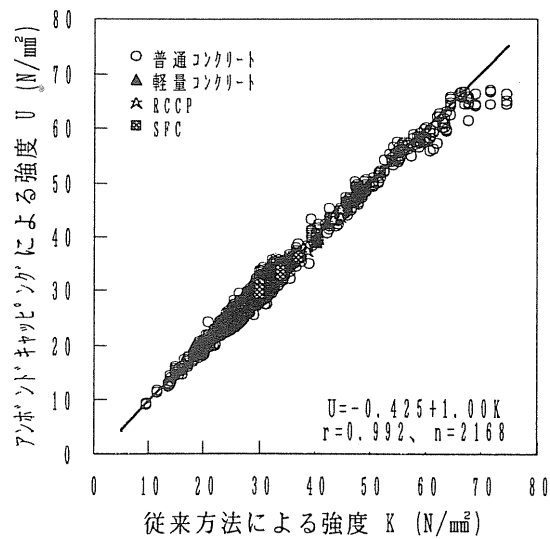
- 3) 測定時のゴム硬さ試験機に対する加圧力 ゴム硬さ試験機をゴムパッドと接触させ、硬さを読みとるまでの間に作用させる力として JIS K 6253 では 10N (1.0kgf)が推奨されている。しかし、作用させる力を 8~10N の範囲とした場合でも JIS K 6253 によるのと同様な測定値が得られること、及び 10N の力を安定して加えることは、かなりの熟練を要することなどが考えられるので、力の範囲は 8~10N の範囲であればよいこととした。
- 4) ゴム硬さ試験機の校正 ゴムパッドの使用限度をゴム硬さ試験機を用いて行うので、ゴム硬さ試験機が正しく作動していることを一定期間、あるいは、大きな衝撃を加えた時点で検査することが必要である。精密な検査方法は、JIS K 6253 の 5.2.5 によるが、この簡易法の一例として解説図 5 に示すようなデュロメータテストを用いる方法がある。これによるゴム硬さ試験機の校正は、写真に示すように、ゴム硬さ試験機を倒立させてデュロメータテストのテーブルに載せ、質量 224.5g の分銅 1 個と 191.5g の分銅 2 個を順次載荷し、それぞれの荷重におけるゴム硬さ試験機の指針の値が、25、50 及び 75 であることを確認する。各荷重に対応する指針の値に誤差がある場合は、ゴム硬さ試験機の上部ネジを取り外して、ゴム硬さ試験機内部の指針調整ネジを回して所定の値に設定し、再度 3 水準の荷重に対応するゴム硬さ試験機の指針が所定の値となることを確認する。



解説図 5 デュロメータテストの一例

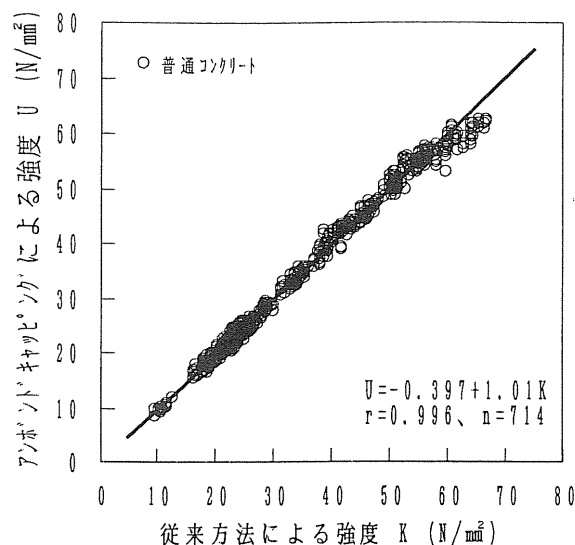
5. アンボンドキャッピングの適用範囲

- 1) コンクリートの種類 アンボンドキャッピングが適用できるコンクリートの種類については、普通コンクリートの他、軽量コンクリート、RCCP 用の超硬練りコンクリート等について圧縮強度試験を行った。実験結果は、解説図 6²⁾に示すように、普通コンクリートの事例に比べて他の種類のコンクリートの測定例は少ないものの、どの種類のコンクリートであってもアンボンドキャッピングが適用できることの示唆が得られた。



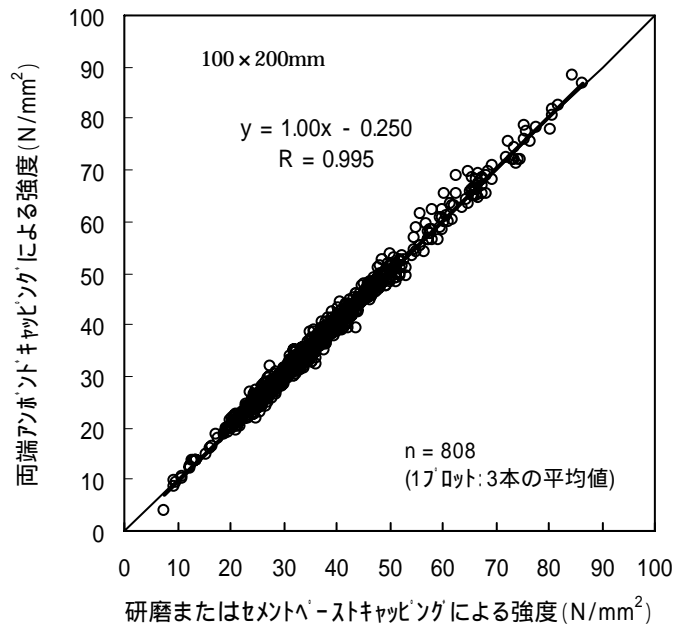
解説図6 研磨またはセメントペーストキャッピングによる強度とアンボンドキャッピングによる強度との関係 (100×200mm)

2) 強度の適用範囲 強度に関する適用範囲は、前掲の解説図6及び解説図7⁵⁾に示したように、圧縮強度試験値が10～60N/mm²の範囲であれば適正な試験が実施できる。

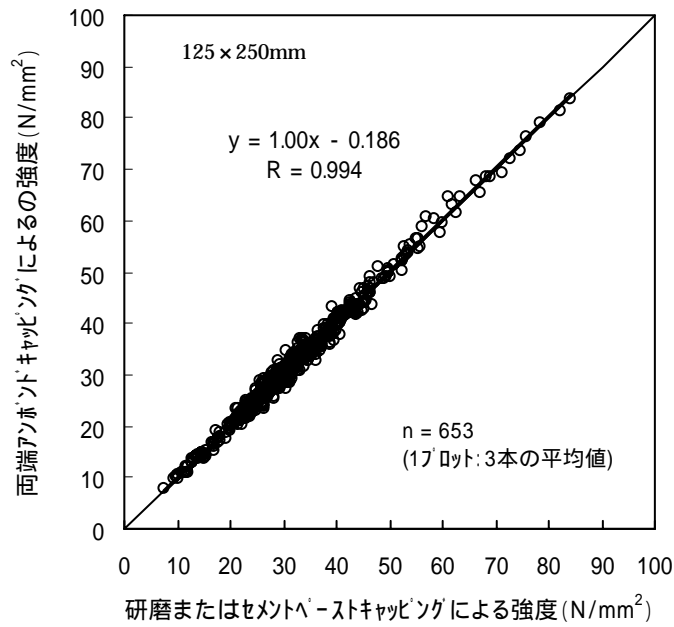


解説図7 研磨またはセメントペーストキャッピングによる強度とアンボンドキャッピングによる強度との関係 (125×250mm)

3) 両端面への適用について アンボンドキャッピング方法を供試体の両端面に適用した場合の圧縮強度の試験値は、解説図8及び解説図9に示すように、従来キャッピングの試験値と同等となるのが数多くのデータから示されている。そこで、米国材料試験協会規格 ASTM C-1231 (Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders) と同様に、アンボンドキャッピング方法を供試体の両端面へ適用できることとした。

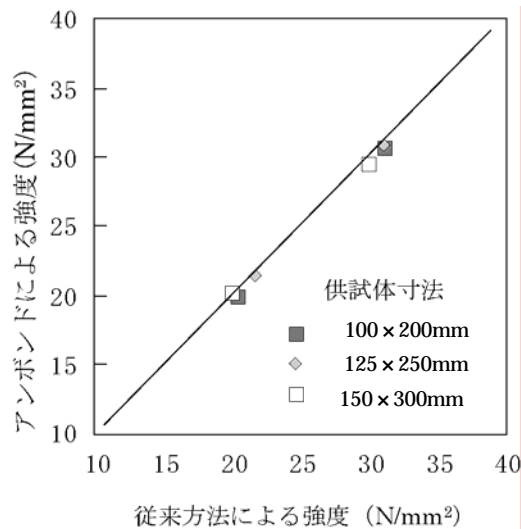


解説図 8 研磨またはセメントペーストキャッピングによる強度と両端アンボンドキャッピングによる強度との関係 (100×200mm)



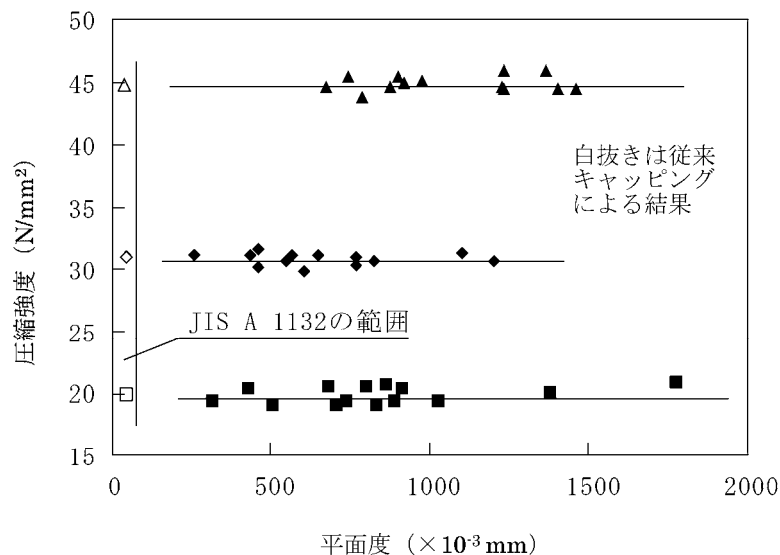
解説図 9 研磨またはセメントペーストキャッピングによる強度と両端アンボンドキャッピングによる強度との関係 (125×250mm)

4) 供試体寸法 供試体寸法に関する適用範囲については、解説図 8¹⁾ に示すように、100×200mm、125×250mm 及び 150×300mm のいずれの場合も適正な試験が実施できるが、150×300mm 供試体については実験データ数が少ないので、今回の改訂から外すこととした。



解説図 10 従来方法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) 平面度 アンボンドキャッピングが適用できる供試体上面の平面度を、解説図 9⁵⁾ に示す。若干の事例ではあるが、平面度が 3.4mm の場合であっても正しい試験値が得られる場合もあるが、この場合にはゴムパットの局所的な劣化が生じ、これに気付かないままその後の試験を行う可能性もある。解説図 8 の実験に用いた供試体の作製は、通常の成形作業において実施している程度のコテ仕上げであることから、平面度の適用範囲として具体的な数値は規定せず、成形時に最上層は粗骨材が露出しないよう平滑に且つ平坦に仕上げることにした。(平面度の範囲を示すとすれば、2mm 程度以内を目標とすればよい)



解説図 11 平面度と圧縮強度との関係

6. その他

- 1) 供試体の作製時には、できるだけ表面に粗骨材粒の浮き上がりのないよう上面を平滑に仕上げる。
- 2) 供試体上面が凹型となった場合で、その深さが 2mm 程度以上となると、供試体の外周部が低荷重領域で破壊し、正しく試験ができない。この場合には、0.15mm 程度以下の微粒の砂等を供試体上面の凹部に外周部と同じ高さに平滑に敷き詰めてから鋼製キャップをセットするとよい。
- 3) 新しいゴムパッドを使用する場合には、鋼製キャップとゴムパッドとの間に空気を残さないために、あらかじめ 150～200kN 程度の荷重を 2～3 度かけてから用いるとよい。
- 4) 本 ZKT を制定するために行った実験では、比較用のアンボンドキャッピングを行わない従来方法のキャッピングの平面度を 0.05mm 以下 (JIS A 1132 の規格値) とするために研磨キャッピングを採用した。これは、全生工組連の新技术開発報告において^{6),7)}、セメントペーストキャッピングを施した供試体の強度が、研磨キャッピングした場合に比べ 3～5% 低いこと、及び試験値の標準偏差は 2～3 倍となる場合が報告されている。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 吉兼他：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，Vol.9，No.2,1998
- 3) 三橋健八：加硫ゴムの物理試験法 新 JIS のポイントと ISO 規格との対比，日本ゴム協会誌，第 68 巻，第 1 号，pp.11～24，1995.1
- 4) 全生工組連：「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 - ，新技术開発報告 No.16，1996.3
- 5) 全生工組連新技术開発専門部会：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
- 6) 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 - ，新技术開発報告 No.8，1987.3
- 7) 全生工組連：「ペーストキャッピングの迅速法」標準化 (ZKT) のための実験結果，新技术開発報告 No.12，1993.3