

オートクレーブ養生における供試体寸法の影響

—早期強度判定に関する研究—

久 保 直 志 森 野 奎 二

The Influence of Size of Concrete Test Cylinders on Autoclaved Curing

The Investigation for Accelerated curing of concrete with a view
to rapid control tests

Naoshi KUBO, Keiji MORINO

Autoclaved curing (high pressure steam curing) is adopted as the accelerated test for the quality control of concrete.

The compressive strengths of autoclave and standard cured concrete are compared with test specimens of 7.5 cm by 15cm ($\phi 7.5 \times 15$ cm) cylinders, $\phi 10 \times 20$ cm cylinders and $\phi 15 \times 30$ cm cylinders.

The results of about 60 samples showed that no significant difference was recognized between autoclaving and standard curing, as to the strength-ratios of 7.5×20 cm cylinders or 10×20cm cylinders against the strength of 15×30 cm cylinders.

In addition, the optimum steam pressures (temperatures) which 28-days strength can be obtained in 24 hours are sought about the concrete made four type of cements.

They were within range of pressure from 4.5 kg per sq cm to 6 kg per sq cm.

1. ま え が き

コンクリートの強度の判定は、材令28日の標準供試体の強度によることになっているが、これでは使用コンクリートの配合の適否、または施工中のコンクリート強度の判定は、28日経過後でなければ判明しないので、その間いろいろの不都合が生じてくる。このため、28日強度を早期に推定しようとする各種の研究が行なわれてきているが、それらは温水、常圧・高圧蒸気、電熱、赤外線等で、加熱処理を行う促進養生によるものが多い。

われわれはコンクリートの28日強度を1日程度で判定するために、オートクレーブによる促進養生を行なってきたが、使用する供試体の大きさによって加熱状態が異なり、強度に差違が生ずるのではないかと疑問に思われた。さらにオートクレーブのような高温、高圧の条件では、セメントの化学反応が、標準養生の場合とは異なると言われていることから、オートクレーブ養生における供試体寸法と強度との関係は、標準養生の場合とは異なるのではないかと思われた。

すでに、標準養生における供試体寸法と強度との関係は、コンクリート供試体の寸法が小さくなると圧縮強度は大きくなるものとされている²⁾が、最近の $\phi 10 \times 20$ cm 供試体と $\phi 15 \times 30$ cm 供試体との比較の研究結果では、

^{3,4,5)}強度差はないとされている。JIS の強度試験においても $\phi 15 \times 30$ cm と $\phi 10 \times 20$ cm 供試体とは同様に扱ってよいことになっている。また軽量骨材コンクリートの $\phi 15 \times 30$ cm 供試体と $\phi 10 \times 20$ cm 供試体との関係も、普通コンクリートの場合と同様、強度差はないとの報告がある⁶⁾。

促進養生によって、コンクリート強度を推定する場合、オートクレーブ養生の釜の大きさなど、その他、熱処理をおこなう養生では、養生装置の大きさから、使用する供試体の寸法は制限を受けることがあるが、供試体の寸法と強度との関係は明らかでない。

本実験では、オートクレーブ養生における供試体寸法と圧縮強度との関係を調べるため、 $\phi 7.5 \times 15$ cm, $\phi 10 \times 20$ cm, および $\phi 15 \times 30$ cm 供試体を使用して実験をおこなった。なおオートクレーブ養生の型枠は密封型枠を使用した。

さらに、われわれはこれまで、普通セメント使用コンクリートの標準養生強度 σ_{28} を、オートクレーブ養生による1日強度 σ_1 で求めてきたのであるが、今回はB種、C種高炉セメント、およびB種フライアッシュセメントを使用したコンクリートについても、圧縮強度におよぼす供試体寸法の影響を調べると同時に、それらのセメン

1表 骨材の性質

骨材の産地		各フルイの通過率 (%)								粗粒率	比重	吸水率 (%)	
		25	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3				0.15
実験Ⅰ	和歌山県 紀ノ川砂				100	86	70	45	14	1	2.84	2.60	1.50
	高知県 四万十川砂利	100	85	42	0						6.73	2.62	0.88
実験Ⅱ	和歌山県 紀ノ川砂				100	84	69	41	11	3	2.92	2.61	1.65
	徳島県 吉野川砂利	100	80	46	0						6.75	2.61	1.07

2-1表 セメントの物理試験

セメントの種類	比重	粉末度		凝結		安定性 温水法	フロー値	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)				
		比表面積 (cm ² /g)	88μフィル残分 (%)	始発時一分	終結時一分			3日	7日	28日	3日	7日	28日		
普通ポルトランドセメント	3.15	3100	1.6	2	38	3	59	良	238	33.2	50.2	73.2	128	234	417
B種高炉セメント	3.05	3900	0.7	2	55	4	40	良	239	29.8	42.7	68.7	105	195	398
C種高炉セメント	2.98	4140	0.5	3	18	5	15	良	240	28.8	42.6	67.6	93	190	385
B種フライアッシュセメント	2.97	3620	0.5	3	04	4	50	良	254	31.2	45.3	67.4	105	190	367

2-2表 セメントの化学試験 (%)

セメントの種類	強熱減量	不溶残分	シリカ	アルミナ	酸化第二鉄	酸化カルシウム	マグネシア	無水硫酸	合計
普通ポルトランドセメント	0.4	0.2	22.0	5.6	3.0	64.6	1.5	2.1	99.4
B種高炉セメント	0.5	0.5	25.2	10.3	2.5	55.1	2.6	2.3	99.0
C種高炉セメント	0.5	0.7	27.8	13.8	1.8	48.9	3.2	2.2	98.9
B種フライアッシュセメント	0.8	14.0	18.7	5.4	2.8	54.3	1.4	1.9	99.3

3表 コンクリートの配合

配合番号	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)										
			水	セメント	普通セメント		高炉 B 種		高炉 C 種		フライアッシュ B 種		
					細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	
1			160	320	814	1088							
2	50	43	180	360	778	1039	773	1033	771	1029	770	1029	
3			200	400	741	990							
4			160	291	825	1101	821	1097	819	1094	818	1093	
5	55	43	180	327	790	1055	785	1049	783	1046	782	1045	
6			200	364	754	1007	749	1001	747	997	746	997	
7			160	267	833	1113							
8	60	43	180	300	799	1067	795	1062	793	1059	793	1059	
9			200	333	765	1022							
10			160	246	841	1123	837	1119	836	1116	835	1116	
11	65	43	180	277	807	1078	804	1074	802	1071	801	1070	
12			200	308	774	1034	770	1029	767	1025	767	1025	

トを使用したコンクリートの σ_{28} を、オートクレーブの σ_1 で求めることを行なった。

2. 使用材料および実験器具

骨材：1表に示すもので、骨材最大寸法は 25mm である。実養Ⅱでは粗骨材粒度はフィル分けて使用した。

セメント：大阪セメント社製のもので2表に示す4種のセメントである。

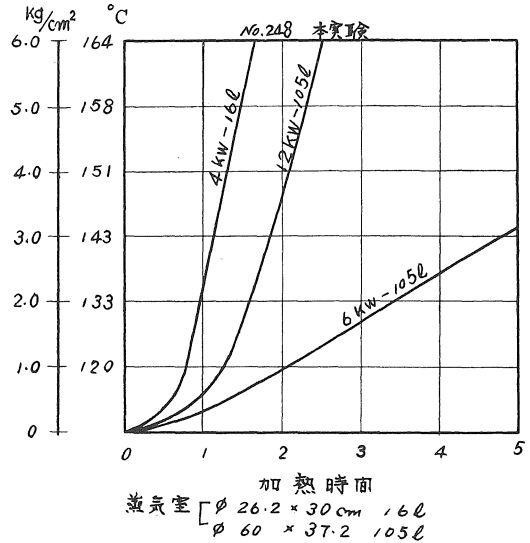
配合：3表に示すものであり、セメントの種類が異なった場合もセメントの比重差のみ調整して、同一配合を用いた。細骨材率は43%に一定した。

実験器具：ミキサーは可傾式、容量 100ℓ のものと、アイリッヒ型ミキサー容量 25ℓ のものを用いた。

型枠は $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 、 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の3種類である。オートクレーブ養生用の型枠は密封型枠を使用したのであるが、密封状態とするためには、同種の型枠の底板を利用して上面の密封を行なった。

オートクレーブ（写真1、2参照）は釜の大きさが、内径60cm、高さ70cmのもので、200V 12KW（6KW

2基）のヒーター付きで、最高 7kg/cm^2 のものである。温度上昇速度は1図に示すとおりである。供試体収容能力は、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 、 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体が、各々3個づつ型枠付きのまま同時に入るもので、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体のみでは12個入るものである。脱型供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ が37本入るものである。



1図 オートクレーブの蒸気圧（温度）と加熱時間

3. 供試体の作製

同一バッチのコンクリートから、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ および $\phi 15 \times 30\text{cm}$ を、各々8～9個づつ成形した。オートクレーブ養生用に各サイズ3個、標準養生用に各サイズ5～6個 (σ_T に2個、 σ_{28} に3個あるいは σ_{28} に6個) づつ成形した。

成形方法は JIS A 1132 に依った。ただし、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体では2層に分けて詰め、各層5回づつ突き、側面を木づちで軽く叩いた。成形後、直ちに、型枠上面より底板をさし込み、密着させた後、側方の留め金具を充分に締めつけ固定し、密封状態とした。

4. オートクレーブ養生条件

供試体作製後、直ちに、オートクレーブの中へ入れ、注水より1時間後に温度上昇を開始する2図の養生条件によって、オートクレーブ養生を行なった。練り混ぜてより23時間後に釜より取り出した。

5. 試 験

釜より取り出した後、脱型し、イオウキャッピングを行った。強度試験は脱型後、主として、3時間後（冬季では2時間後）に行なったが、空中に放置しておく、4表に示すように脱型1時間後より、1週間後まで強度

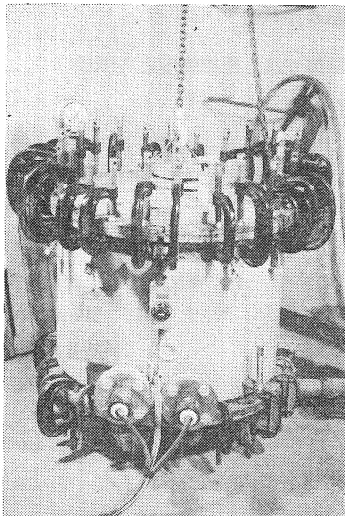


写真1 オートクレーブ

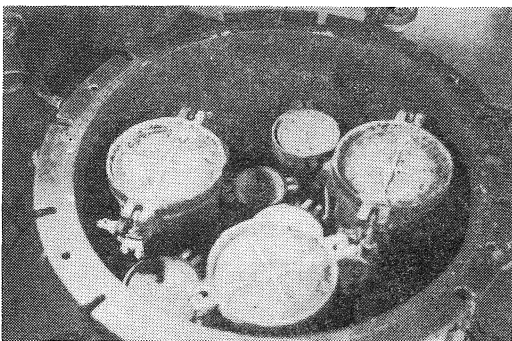
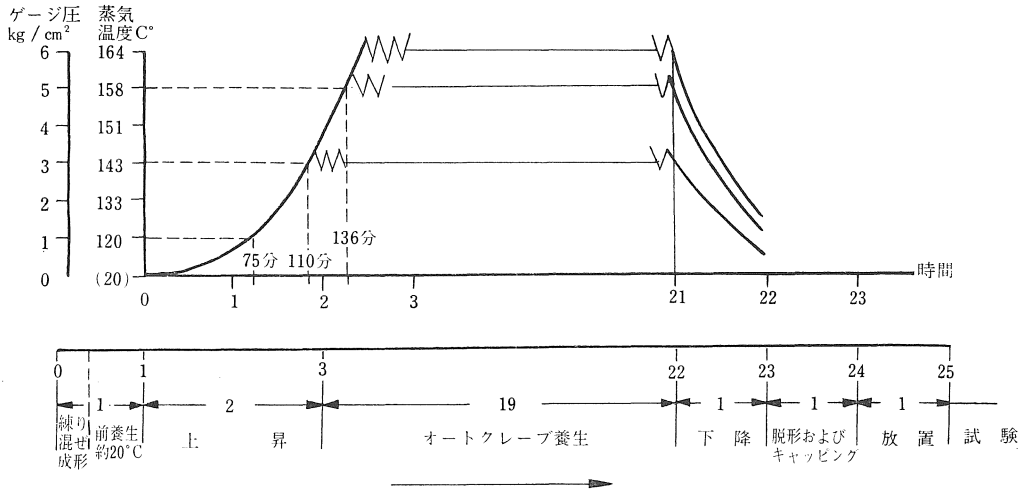


写真2 オートクレーブに供試体を入れた状態



2図 オートクレーブ養生条件

4表 後養生試験 (配合 No.8 による)

練り混ぜてから (時間)	24	25	30	48	7日
脱型してから (時間)	1	2	7	25	6日
圧縮強度 (kg/cm ²)	252 255 251	244 270 252	257 241	246 260	250 240
平均 (kg/cm ²)	253	255	249	253	245

供試体をオートクレーブより取り出した後、強度試験までの放置時間に関する実験

変化はみられない。なお供試体の内部の温度の状態を示せば、3図のようであって、(室温22°Cのとき)脱型後

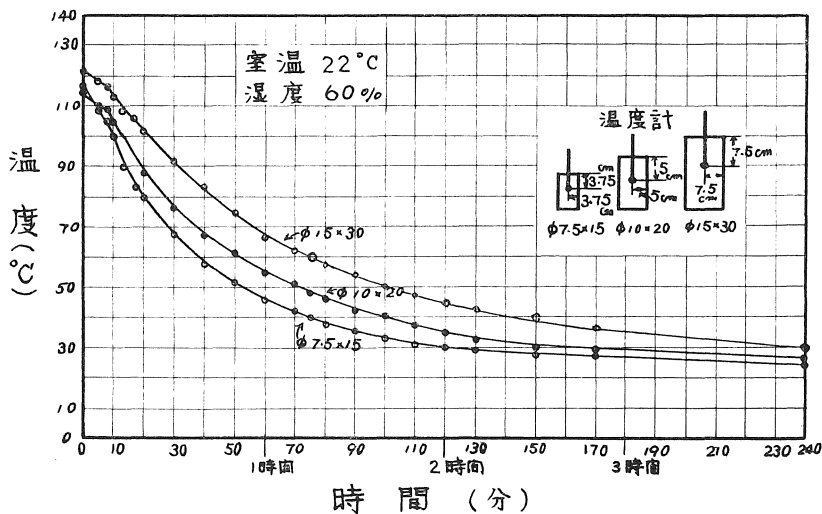
3時間たつと、3種類の供試体の温度差は10°C以下となっている。

6. 結果および考察

(1) 供試体寸法と圧縮強度との関係

(i) 実験 I

φ15×30cm 供試体の強度100に対する、φ10×20cm および φ7.5×15cm 供試体の圧縮強度の比率は5表に示すとおりである。5表の結果では、強度比が84~110とバラツキがあり、その平均値によって強度比に差があるかどうか、判断するのが困難なために統計的処理によつた。すなわち、φ15×30cm、φ10×20cm、φ7.5×15cm の一組の供試体は同じバッチで、同時に作製していることから、データに対応があるときの検定規準、



3図 脱型後の供試体の温度降下

5表 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体の強度に対する $\phi 10 \times 20\text{cm}$
および $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体の圧縮強度の比率 (実験 I)

セメントの種類	配合番号	W/C	スランブ	オートクレーブ養生			標準養生					
				σ_{sp-19h}			σ_{τ}			σ_{28}		
				$\frac{\sigma_{\phi 7.5}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 10}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 15}}{\text{(kg/cm}^2\text{)}}$	$\frac{\sigma_{\phi 7.5}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 10}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 15}}{\text{(kg/cm}^2\text{)}}$	$\frac{\sigma_{\phi 7.5}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 10}}{\sigma_{\phi 15}}$	$\frac{\sigma_{\phi 15}}{\text{(kg/cm}^2\text{)}}$
普通ポルトランドセメント	1	50	6.5	102	102	304	90	100	279	107	102	387
	2		12.5	90	97	326	87	99	275	99	106	395
	3		21.7	92	100	323	94	95	260	100	101	422
	4	55	6.1	104	93	305	101	97	239	107	101	357
	5		18.5	102	96	296	100	98	246	100	97	374
	6		22.0	93	90	307	83	88	265	97	101	418
	7	60	4.5	109	100	256	105	109	206	101	99	333
	8		16.8	94	94	252	91	93	192	93	93	322
	9		21.5	94	97	253	90	92	210	90	96	370
	10	65	6.0	108	98	180	81	88	139	102	97	252
	11		17.5	98	101	196	100	91	164	99	102	272
	12		20.4	90	88	248	94	92	181	101	98	303
強度比平均 (n=12)				98	96		93	95		100	99	
B種高炉セメント	4	55	6.2	97	100	235	103	102	207	98	102	380
	5		19.6	93	93	258	87	102	221	103	102	385
	6		21.9	97	97	246	108	98	201	107	102	364
	10	65	4.2	102	97	175	109	104	128	89	93	294
	11		17.6	104	91	182	104	101	145	99	98	291
	12		20.5	100	90	190	104	100	148	93	100	300
強度比平均 (n=6)				99	95		103	101		98	99	
C種高炉セメント	4	55	3.0	110	104	276	109	104	165	104	99	350
	5		15.2	100	97	279	104	102	167	96	95	345
	6		20.4	88	98	283	93	97	163	102	96	320
	10	65	2.9	109	93	225	91	95	126	100	97	259
	11		16.0	102	99	217	97	99	140	98	93	298
	12		21.4	89	98	231	103	100	114	106	107	264
強度比平均 (n=6)				100	98		100	100		101	98	
B種フライアッシュセメント	4	55	13.0	85	89	232	98	102	177	98	97	301
	5		20.3	85	89	253	84	91	187	96	94	320
	6		23.0	84	86	278	89	88	220	97	97	343
	10	65	11.5	97	98	188	112	114	121	103	105	222
	11		20.4	88	97	188	87	94	142	90	98	242
	12		24.4	85	89	223	90	102	145	107	94	250
強度比平均 (n=6)				87	91		93	99		98	98	
4種のセメントを総合した強度比の平均 (n=30)				96	95		97	98		99	99	
				フライアッシュセメントを除いた場合 (n=24) 99 96			σ_{τ} と σ_{28} の強度比を合計した場合 (n=60) $\frac{\sigma_{\phi 7.5}}{\sigma_{\phi 15}} = 98$ $\frac{\sigma_{\phi 10}}{\sigma_{\phi 15}} = 98$					

6表 $\phi 7.5 \times 15$, $\phi 10 \times 20$ および $\phi 15 \times 30$ cm 供試体の強度比に差があるか, どうかの判定

養生方法	セメントの種類	試料数 n	$t_o = \frac{\bar{d}}{\sqrt{V/n}}$			$t(n-1, \alpha)$	
			$\phi 15 - \phi 7.5$	$\phi 15 - \phi 10$	$\phi 10 - \phi 7.5$	$\alpha : 0.05$	$\alpha : 0.01$
オートクレーブ養生	普通ポルトランドセメント	12	0.748	2.902*	0.904	2.201	3.106
	B種高炉セメント	6	0.720	3.322*	1.618	2.571	4.032
	C種	6	0.086	1.267	0.327	〃	〃
	B種フライアッシュセメント	6	6.299**	4.310**	3.554*	〃	〃
	上記3種セメント	24	0.810	4.326**	1.512	2.069	2.807
標準養生 (7日)	普通ポルトランドセメント	12	3.282**	2.828*	1.258	2.201	3.106
	B種高炉セメント	6	0.768	1.400	0.382	2.571	
	C種	6	0.176	0.374	0.0	〃	
	B種フライアッシュセメント	6	1.590	0.387	2.791*	〃	
	全セメント	30	2.175*	1.879	1.465	2.045	2.756
標準養生 (28日)	普通ポルトランドセメント	12	0.236	0.586	0.194	2.571	
	B種高炉セメント	6	1.147	0.535	1.372	〃	
	C種高炉セメント	6	0.500	1.084	2.858*	〃	
	B種フライアッシュセメント	6	1.029	1.517	0.357	〃	
	全セメント	30	1.202	1.906	0.443	2.045	

* 危険率5%で有意差がある. ** 危険率1%で有意差がある.

$t_o = \bar{d} / \sqrt{V/n}$. (\bar{d} は差の平均値, \sqrt{V} は差 d の不偏分散の平方根, n は対応のあるデータの組数),

$|t_o| \geq t(n-1, \alpha)$ 棄却域; によって強度比に差があるかどうかを判定すると, 6表のようになる.

5表のオートクレーブ養生の結果では, 普通, B種高炉, C種高炉セメントの結果は同じ傾向を示しているが, フライアッシュセメント使用コンクリートの結果が, 他のセメントの結果と異なり, 著しく小さな値となっている. この理由は, セメントの化学反応の影響とみるよりは, コンクリートの配合が軟練りに過ぎたために, 実験誤差が生じたものと考え方が良いように思われる. 追試験として行なった, 配合 No. 7 (スラング9cm), No. 8 (スラング20cm) のオートクレーブ養生の結果では, 96, 97と他のセメントと同じような値を示した. なお実験Ⅱにおいても, 他のセメントと同じような傾向を示している. しかし実験Ⅰの結果では, フライアッシュセメントは他の三種のセメントとは異なる傾向を示したので, 5表の平均値および6表の有意差判定では取り除いて集計を行なった.

5表, 6表によると, オートクレーブ養生を行なった場合の圧縮強度と供試体寸法との関係は, $\phi 15 \times 30$ cm 供試体 (圧縮強度を $\sigma_{\phi 15}$ と表わす) と $\phi 7.5 \times 15$ cm 供試体 (圧縮強度を $\sigma_{\phi 7.5}$ と表わす) とでは, $\sigma_{\phi 7.5} / \sigma_{\phi 15} = 99$, $t_o = 0.810 < t(23, 0.05) = 2.069$ と強度比に有意差はないが, $\phi 15 \times 30$ cm 供試体と $\phi 10 \times 20$ cm 供試体 (圧縮強度を $\sigma_{\phi 10}$ と表わす) とでは, $\sigma_{\phi 10} / \sigma_{\phi 15} = 96$, $t_o =$

$4.326^{**} > t(23, 0.01) = 2.807$ と危険率1%で強度比に有意差が現われた.

なお, 比較のためにと, 常に作製しておいた28日標準養生の強度比に於いては, $\sigma_{\phi 7.5} / \sigma_{\phi 15} = 99$, $t_o = 1.202 < t(29, 0.05) = 2.045$, $\sigma_{\phi 10} / \sigma_{\phi 15} = 99$, $t_o = 1.906 < 2.045$ といずれも強度比に差はみられない. $\phi 15 \times 30$ cm 供試体に対する $\phi 7.5 \times 15$ cm 供試体の強度比には, オートクレーブ養生, 標準養生ともに差はみられないが, $\phi 10 \times 20$ cm 供試体のオートクレーブ養生の強度比に差がみられる. このことは, $\phi 7.5 \times 15$ cm の小さな供試体に差がなく, その中間の $\phi 10 \times 20$ cm 供試体に差が生じていることから, 実験全体の誤差ではないかと考えられ, 更らに多くの試料によって検討するため, 実験Ⅱを行うこととした.

なお以上の実験に使用した球座は, アムスラーに取付けられている所定の球座では曲率半径が大きすぎるため, 使用せず, 特製の 2in. の球を持ったものであったが, 実験Ⅱでは, さらに, 偏心荷重が掛からないように, 各 1in. の球を持った 7.5cm, 10cm の供試体と同じ寸法の球座を使用した.

(ii) 実験Ⅱ

コンクリートの配合は3表を使用し, 使用骨材は2表の通りである.

骨材最大寸法 25mm は同じであるが, 20~25mm は15%から20%と5%増加し, 骨材の粒径は, 産地の異なるため実験Ⅰより相当悪く, 偏平, 細長い片岩などが多く

7表 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体の強度に対する $\phi 10 \times 20\text{cm}$ および $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体の圧縮強度の比率 (実験Ⅱ)

セメントの種類	配合 番号	W/C	ス ラ ン プ	オートクレーブ養生			標準養生		
				$\sigma_{5\beta}$			σ_{28}		
				$\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 15}$ kg/cm ²	$\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 15}$ kg/cm ²
普通ポルトランド セメント	2	50	16.0	107	101	405	102	101	402
	5	55	18.0	99	99	369	92	96	376
	8	60	15.0	101	100	341	92	89	318
	11	65	16.0	103	93	318	91	94	286
平均 (n=4)				103	98	(100)	94	95	(100)
B種高炉セメント	2	50	14.0 17.5	92 94	98 96	337 351	98 99	99 98	391 384
	5	55	18.5 19.0	93 82	94 90	348 359	87 89	91 92	340 380
	8	60	18.0 18.0	90 96	91 96	309 300	91 95	91 96	304 317
	11	65	16.0 19.0	96 97	93 93	289 274	95 90	94 101	287 278
平均 (n=8)				93	94	(100)	93	95	(100)
C種高炉セメント	2	50	14.0 18.0	101 99	98 101	315 338	104 102	96 100	373 354
	5	55	17.0 19.0	92 88	98 94	321 324	99 95	97 95	309 342
	8	60	18.1 19.1	89 90	92 93	285 296	93 88	94 91	285 305
	11	65	18.0 15.5	103 98	98 96	271 273	107 96	103 97	278 300
平均 (n=8)				95	96	(100)	98	97	(100)
B種フライアッシ ュセメント	2	50	18.5 20.0	103 94	101 95	325 328	88 83	101 103	373 373
	5	55	20.5 18.5	88 89	98 99	278 282	108 100	107 100	286 277
	8	60	19.5 19.5	99 91	95 95	281 293	94 96	94 95	255 282
	11	65	18.5 18.5	98 100	96 99	250 252	87 96	93 100	235 233
平均 (n=8)				95	97	(100)	94	99	(100)
総平均 (n=28)				95	96	(100)	95	96	(100)

含まれたものである。

オートクレーブ養生の蒸気圧は 5kg/cm^2 とした。コンクリートの成形は、同じ配合のものを二度づランダムに繰り返して行ない、一回目と二回目の作製日は、成形によるカタヨリを無くするために、1ヶ月から4ヶ月間あけてある。

結果は7表に示した。この結果によると、オートクレーブ養生では、普通ポルトランドセメント以外の三種のセメントの強度比は、ほぼ同じ値を示し、いずれも供試体が小型になるほど小さくなった。また標準養生では、どのセメントも同じ傾向を示し、全体を平均してみると、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体 95、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体 96 と

8表 分散分析表

養生方法	セメント	実験	要因	平方和 S	自由度 ϕ	不偏分散 V	分散比		
							F_0	$F_{\phi E}^{\phi i}(0.05)$	$F_{\phi E}^{\phi i}(0.01)$
オートクレープ養生	P	I II	供試体寸法	746	2	373.0	2.674	3.44	10.9
			〃	800	2	400.0	☆ 5.926	5.14	
	B	I II	〃	391	2	195.5	4.250	4.10	7.56
			〃	2732	2	1366.0	13.440**	3.89	6.93
C	I II	〃	52	2	26.0	0.122	4.10	6.93	
		〃	1253	2	626.5	6.056*	3.89		
F	I II	〃	2848	2	1423.9	21.540**	4.10	7.56	
		〃	775	2	387.5	5.432*	3.89	6.93	
標準養生 (28日)	P	I II	〃	27	2	13.5	0.102	3.44	
			〃	818	2	409.0	3.200	5.14	
	B	I II	〃	73	2	36.5	0.290	4.10	
			〃	2147	2	1073.5	3.022	3.89	
C	I II	〃	345	2	172.5	2.526	4.10		
		〃	464	2	232.0	1.286	3.89		
F	I II	〃	817	2	89.0	0.091	4.10	6.93	
		〃	1748	2	874.0	3.793	3.89		

*; 有意水準5%, **; 有意水準1%で供試体寸法によって強度差がある。

☆ $P=15.926$ は $F(2, 6; 0.05)=5.14$ より大きいが, B, C, Fの有意差とは反対の傾向である。実験IIの分散分析において供試体寸法と配合の違い(セメント量)との間にいずれも交互作用は存在しなかった。

$\phi 15 \times 30$ 供試体より小さな値となり、既往の実験結果とは異なる値となった。この標準養生の結果で、小さな供試体ほど弱い強度となった一つの理由は骨材の影響ではないかと思われる。最近のように骨材事情が悪くなると、粒形の悪いものが多く含まれて、特に小型の供試体を使用する場合などは、骨材最大寸法が型枠の $\frac{1}{3}$ ぎりぎりであれば、その悪影響が顕著に現われるために、このような結果になったものかとも思われる。(実験III参照)

しかしいずれにしろ、オートクレープ養生と標準養生とは全く同じ条件で実験を行なっているので、両養生の結果を比較しながら判断することによって、オートクレープ養生の供試体の違いが、強度にどのように影響を及ぼすかを知ることができる。

したがって、両養生の誤差を考慮する分散分析によって、供試体寸法によって強度に差があるかどうかを判断すると、8表のような結果となった。(8表には実験Iの強度の分散分析も付け加えた。)

8表によると、オートクレープ養生では、供試体寸法の違いによって、普通ポルトランドセメント(Pの記号で示す)を除く、高炉セメントB種、C種(B, Cの記号で示す)およびフライアッシュセメントB種(Fの記号で示す)に有意水準5%および1%で強度差がみられる。一方、標準養生では、供試体寸法によって強度に差はみられない。

以上のように、供試体寸法と強度値の分散分析では、

両養生に違いがみられるが、その差は非常に小さなものである。たとえば、実験IIのB, Fなどは危険率10%とすると標準養生にも有意差があらわれる。

このために両養生の強度比の違いにのみポイントを置き、同じ寸法の供試体を対にして考えると、9表に示すように、両養生の相異はみられない。ただ9表では、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体の実験Iのフライアッシュセメントに、また、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体では、実験IのB種高炉セメントの場合と、四種のセメントを総合して、検出力が良くなった場合に有意差があらわれているが、実験IIの結果と合せて考えると、両養生に強度比の違いは無いと解釈してよさそうである。

従って、両養生に同じ大きさの供試体を使用しさえすれば、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ および $\phi 15 \times 30\text{cm}$ のいずれの供試体を用いても、同じ結果が得られるわけである。

(iii) 実養III

実養IIの結果が粗骨材の影響ではないかと考えられたので、モルタルによって実験を行なった。配合はセメント:砂が1:3で、 $W/C=51.7\%$ のもので、フロー値が172~187である。成形はコンクリートと同じ要領で行なった。

結果を10表に示し、有意差の判定を11表に示す。オートクレープ養生では、コンクリート実験I, IIの平均値とほぼ同じような強度比となっているが、このモルタル

9表 オートクレーブ養生と標準養生の強度比に差があるどうかの判定

実験	セメントの種類	試料数	分散		分散の比 F_0	検定規準 $F(\phi_1, \phi_2; 0.025)$	有意差の判定				
			オートクレーブ養生 V_1	標準養生 V_2			$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{V \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$ $V = (S_1 + S_2) / \phi$	$t(\phi, 0.05)$ $\phi = n_1 + n_2 - 2$	$t(\phi, 0.01)$	判定	
$\phi 7.5 \times 15 \text{cm}$	I	P	12	46.36	23.88	1.941 <	3.48	0.690	2.074	2.819	なし
		B	6	15.77	42.57	2.700 <	7.15	0.212	2.228	3.169	〃
		C	6	89.86	14.00	6.419 <	7.15	0.319	〃	〃	〃
		F	6	24.26	34.70	1.430 <	7.15	3.562**	〃	3.169	有意水準1%
		P.B.C.F	30	61.48	26.90	2.283*>	2.10	☆ 1.766	2.009	〃	なし
	II	B	8	23.43	19.14	1.224 <	4.99	0.354	2.145	2.977	なし
		C	8	34.86	38.86	1.115 <	4.99	0.990	〃	〃	〃
		F	8	30.79	63.71	2.069 <	4.99	0.364	〃	〃	〃
B.C.F	24	62.63	67.88	1.084 <	2.31	0.179	2.034	2.732	〃		
$\phi 10 \times 20 \text{cm}$	I	P	12	19.15	11.91	1.608 <	3.48	1.917	2.074	2.819	なし
		B	6	15.47	12.70	1.218 <	7.15	2.229**	2.228	3.169	有意水準5%
		C	6	12.56	24.16	1.923 <	〃	0.137	〃	〃	なし
		F	6	24.26	16.30	1.489 <	〃	2.040	〃	〃	〃
		P.B.C.F	30	21.76	14.48	1.503 <	2.10	3.066**	2.002	2.664	有意水準1%
	II	B	8	7.24	14.79	2.034 <	4.99	0.217	2.145	2.977	なし
		C	8	9.36	13.41	1.433 <	〃	0.223	〃	〃	〃
		F	8	5.36	23.27	4.341 <	〃	0.992	〃	〃	〃
B.C.F	24	8.78	19.52	2.223 <	2.31	1.113	2.034	2.732	〃		

☆ $\rho^2_1 \approx \rho^2_2$ だから $t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{V_1 + V_2}{n_1 + n_2}}}$ $\phi = \left(\frac{V_1 + V_2}{n_1 + n_2} \right) / \left\{ \left(\frac{V_1}{n_1} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{n_2} \right)^2 \right\}$ による検定を行う。

10表 モルタルの強度比 (実験Ⅲ)

C : S = 1 : 3, W / C = 51.7%

セメントの種類		フ ロ ー 値	オートクレーブ養生				標準養生							
			σ_{5p} - および $\sigma_{3p} - 19h$				σ_{τ}				σ_{28}			
			$\sigma_{\phi 5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 7.5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 10} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 15}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{\phi 5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 7.5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 10} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 15}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{\phi 5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 7.5} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 10} / \sigma_{\phi 15}$	$\sigma_{\phi 15}$ (kg/cm ²)
普通ホルトランドセメント B種高炉セメント C種高炉セメント B種フライアッシュセメント 平均	5 kg/ cm ²	176	100	98	96	450	115	96	100	309	115	98	100	355
		187	101	99	102	374	118	103	94	297	113	105	101	384
		173	100	90	93	394					111	103	104	403
		187	102	91	98	326	115	103	103	232	114	105	96	351
		101	95	97			116	101	99		113	103	100	
普通ポルトランドセメント C種高炉セメント 全平均	3 kg/ cm ²	177	97	103	100	303	110	106	107	295	101	95	105	371
		172	111	92	91	299	89	84	101	254	98	96	102	418
全平均			102	96	97		109	98	101		109	100	101	

実験で初めて扱った $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の供試体では、比率がやや大きくなっている。一方、標準養生 (28日) では、実験 I、II のコンクリートの結果よりも、小さな供試体の強度比が大きくなる傾向を示しており、特に $\phi 5 \times 10$

cm の供試体では、109 と大きくなっている。11表 (試料数が少ないので検出力は悪いが) によると、 $\phi 15 \times 30 \text{cm}$ 供試体と $\phi 7.5 \times 15 \text{cm}$ および $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 供試体との強度比はオートクレーブ養生、標準養生ともに、有意差は

11表 モルタルによる強度比の判定

養生方法	試料数 <i>n</i>	$t_o = \frac{\bar{d}}{\sqrt{V/n}}$			$t(n-1, \alpha)$	
		$\phi 15-\phi 5$	$\phi 15-\phi 7.5$	$\phi 15-\phi 10$	$\alpha; 0.05$	$\alpha; 0.01$
		オートクレープ養生	6	0.937	2.102	1.954
標準養生	7日	1.787	0.404	0.471	2.776	
	28日	2.914*	0.180	1.019	2.571	4.032

* 危険率5%で有意差がある。

12表 $\phi 7.5 \times 15, \phi 10 \times 20, \phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体強度試験値の変動係数 (実験 I)

セメントの種類	配合 番号	W/C	スラ ンプ	変 動 係 数 (%)								
				オートクレープ養生			標準養生					
				σ_{sp-19h}			σ_7			σ_{28}		
				$\phi 7.5$	$\phi 10$	$\phi 15$	$\phi 7.5$	$\phi 10$	$\phi 15$	$\phi 7.5$	$\phi 10$	$\phi 15$
普通ポルトランドセメント	1 2 3	50	6.5	3.7	0.8	1.6	0.4	1.6	2.3	1.3	2.8	1.7
			12.5	2.8	4.0	1.7	3.3	1.1	1.1	1.5	0.9	2.1
			21.7	8.3	8.0	3.7	7.6	7.3	3.7	4.7	5.5	5.5
	4 5 6	55	6.1	5.0	1.2	2.4	1.2	2.4	3.6	1.8	0.7	3.1
			18.5	2.4	4.2	2.6	0.8	5.0	1.0	3.9	4.3	2.9
			22.0	8.3	6.0	2.5	3.2	4.1	1.7	9.6	3.9	1.4
	7 8 9	60	4.5	4.1	2.0	3.6	0.5	0.4	1.9	2.8	2.0	3.6
			16.8	6.1	5.7	1.9	1.4	0.8	0.1	2.1	0.8	4.0
			21.5	3.1	2.0	1.0	0	6.4	2.1	1.9	4.1	3.7
	10 11 12	65	6.0	2.1	5.6	2.0	1.3	3.7	5.0	2.2	3.6	2.3
			17.5	4.5	5.8	3.1	0.9	0.7	0.9	1.1	2.2	1.7
			20.4	5.2	7.6	3.0	4.1	1.8	5.6	4.1	2.3	4.8
変動係数平均 (n=12)				4.6	3.8	2.4	2.1	2.9	2.4	3.1	2.8	3.1
B種高炉セメント	4 5 6	55	6.2	5.2	3.1	0.3	1.9	3.8	1.4	2.4	1.3	0.7
			19.6	3.1	2.5	1.9	6.3	0.9	3.9	3.0	1.9	2.2
			21.9	2.4	4.0	1.2	1.8	0	4.4	2.8	2.1	3.8
	10 11 12	65	4.2	11.0	3.1	2.1	3.2	0.8	3.7	4.4	3.2	2.2
			17.6	2.7	3.1	5.7	2.6	1.7	1.8	4.0	4.5	2.9
			20.5	3.6	4.4	4.6	1.3	0.7	2.3	3.5	3.4	2.4
変動係数平均 (n=6)				4.7	3.4	2.6	2.9	1.3	2.9	3.4	2.7	2.4
C種高炉セメント	4 5 6	55	3.0	4.1	2.2	2.9	1.1	1.2	2.7	3.4	3.6	2.2
			15.2	6.4	0.4	2.5	1.1	2.1	4.2	4.6	2.2	0.4
			20.4	2.7	1.5	3.1	6.3	2.5	0.9	1.8	1.9	1.8
	10 11 12	65	2.9	9.2	3.0	1.6	4.3	3.7	0.4	5.9	2.4	2.8
			16.0	7.3	1.3	5.5	1.5	1.5	3.9	4.0	0.9	2.2
			21.4	2.8	1.2	1.7	3.8	0.4	2.6	3.4	3.5	2.8
変動係数平均 (n=6)				5.4	1.6	2.9	3.0	1.9	2.5	3.9	2.4	2.0
B種フライアッシュセメント	4 5 6	55	13.0	3.8	3.7	1.8	0.9	0.8	4.0	1.2	3.8	1.6
			20.3	3.0	2.4	2.6	1.3	0.9	5.1	0.8	1.1	4.7
			23.0	2.6	2.0	1.5	3.6	4.1	1.8	1.3	1.7	1.9
	10 11 12	65	11.5	4.1	5.3	0.7	0	1.4	4.1	4.6	1.2	1.5
			20.4	4.6	1.6	4.3	0.8	4.5	1.1	2.2	8.1	2.6
			24.4	7.0	6.0	4.1	1.2	6.4	2.8	2.3	4.8	3.2
変動係数平均 (n=6)				4.2	3.5	2.5	1.3	3.0	3.2	2.1	3.5	2.6
変動係数総平均 (n=30)				4.7	3.1	2.6	2.3	2.4	2.7	3.1	2.8	2.5

供試体数 オートクレープ養生および28日標準養生: 3本

7日標準養生: 2本

13表 $\phi 7.5 \times 15$, $\phi 10 \times 20$, $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体強度試験値の変動係数 (実験Ⅱ)

セメントの種類	配合 番号	W/C	ス ラ ン プ	オートクレーブ養生			標準養生		
				σ_{5p}			σ_{28}		
				$\phi 7.5$	$\phi 10$	$\phi 15$	$\phi 7.5$	$\phi 10$	$\phi 15$
普通ポルトランドセメント	2	50	16.0	8.9	1.9	1.8	6.0	3.0	2.5
	5	55	18.0	2.1	3.6	2.6	3.7	2.3	1.8
	8	60	15.0	0.5	0.7	0.8	4.0	4.6	1.3
	11	65	16.0	1.6	0.9	1.3	1.3	3.4	5.4
平均 (n=4)				3.3	1.8	1.6	3.8	3.3	2.8
B種高炉セメント	2	50	14.0	2.3	3.0	0.7	1.5	2.3	2.0
			17.5	5.6	1.1	3.3	3.2	0.7	2.5
	5	55	18.5	7.8	0.6	0.4	3.6	2.2	2.8
			19.0	2.7	6.3	0.9	6.2	1.9	2.9
8	60	18.0	1.1	4.6	1.7	7.9	2.0	4.5	
		18.0	4.5	3.1	0.9	2.5	4.4	4.4	
11	65	16.0	4.7	2.5	3.5	2.7	4.8	2.3	
		19.0	4.0	2.8	1.5	4.0	6.4	4.9	
平均 (n=8)				4.2	3.0	1.6	4.0	3.1	2.9
C種高炉セメント	2	50	14.0	6.0	1.5	1.2	2.0	6.1	2.7
			18.0	5.4	3.1	1.8	1.4	3.1	2.8
	5	55	17.0	3.3	2.0	1.6	3.0	4.6	3.4
			19.0	2.0	0.1	0.9	3.4	2.1	4.1
8	60	18.1	2.9	3.8	2.1	2.9	1.8	3.2	
		19.1	1.7	1.6	0.9	4.6	4.7	5.0	
11	65	18.0	2.8	3.7	1.4	0.5	6.5	0.5	
		15.5	2.9	6.9	2.5	2.0	2.5	3.3	
平均 (n=8)				3.4	2.8	1.6	2.5	3.9	3.1
B種フライアッシュセメント	2	50	18.5	8.9	3.5	2.8	5.8	1.9	1.4
			20.0	2.9	3.2	3.2	1.5	5.6	2.7
	5	55	20.5	6.2	8.5	3.6	1.8	2.6	1.3
			18.5	6.5	1.9	1.3	3.1	1.3	1.0
8	60	19.5	2.8	1.7	2.8	3.8	2.7	2.7	
		19.5	9.5	2.5	2.1	3.0	2.3	3.9	
11	65	18.5	8.9	2.8	3.8	7.0	4.3	3.0	
		18.5	6.7	5.1	2.6	3.3	1.6	3.1	
平均 (n=8)				6.6	3.7	2.8	3.7	2.8	2.4
変動係数総平均 (n=8)				4.5	3.0	1.9	3.4	3.3	2.8

1 試料：供試体数3本

ないという結果になっている。なお $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体と $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 供試体の強度化についてもオートクレーブ養生では、有意差はみられない。が、標準養生での関係は危険率5%で有意差がある。

したがって、実験Ⅱでは骨材の影響によって、ある程度小さな供試体が低い強度となったのではないかと思われる。

(iv) 圧縮強度試験値のバラツキについて

実験Ⅰ、ⅡおよびⅢの圧縮強度試験のバラツキを変動係数によって表わすと、12~14表となるが、それらの値をまとめたのが15表である。オートクレーブ養生、標準養生ともに供試体寸法が小さくなるとバラツキは大きくなる。その傾向は、オートクレーブ養生の $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体において最も顕著であり、同養生の $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試

14表 モルタル強度試験の変動係数(%) (実験Ⅲ)

セメントの種類	蒸気圧	オートクレーブ養生				標準養生							
						7日				28日			
		φ5	φ7.5	φ10	φ15	φ5	φ7.5	φ10	φ15	φ5	φ7.5	φ10	φ15
普通ポルトランドセメント	5 kg/cm ²	8.8	2.6	1.4	1.7	0.7	6.8	1.7	2.3	2.3	6.8	7.0	0.5
B種高炉セメント		2.1	2.7	1.0	2.9	2.6	7.1	5.4	1.9	2.7	0.7	5.5	4.8
C種高炉セメント		9.6	1.3	3.6	2.5					1.0	1.1	3.8	2.8
B種フライアッシュセメント		4.7	5.8	2.1	1.7	3.8	0.3	0.3	3.5	4.3	4.4	4.4	3.8
平均		6.3	3.1	2.0	2.2								
普通ポルトランドセメント	3 kg/cm ²	1.6	4.3	1.9	0.8	3.6	1.7	2.5	2.0	4.2	1.6	1.6	2.5
C種高炉セメント		3.6	1.5	1.4	3.9	1.5	1.2	0.6	0.2	2.1	1.3	5.5	2.2
全平均		5.1	3.0	1.9	2.3	2.4	3.4	2.1	2.0	2.8	2.7	4.6	2.8

15表 供試体寸法と変動係数の関係

	実験グループ	変動係数 (%)						
		オートクレーブ養生(1日)				標準養生(28日)		
		蒸気圧 kg/cm ²	φ7.5	φ10	φ15	φ7.5	φ10	φ15
コンクリート 実験	I	3	4.7	3.1	2.6	3.1	2.8	2.5
	II	5	4.5	3.0	1.9	3.4	3.3	2.8
	平均 (n=58)		4.6	3.1	2.3	3.2	3.1	2.7
モルタル実験	III	3 or 5 (n=6)	3.0	1.9	2.3	2.7	4.6	2.8

16表 相関分析 (普通ポルトランドセメント)

	オートクレーブ養生と標準養生28との相関係数 (r _o)			標準養生(7日)と(28)との相関係数 (r _o)			検定	
	φ7.5×15	φ10×20	φ15×30	φ7.5×15	φ10×20	φ15×30	$ r_o \geq r(u-2, \alpha)$	判定
強度比	0.502	0.249	(-)	0.386	0.232	(-)	$\langle r(10, 0.05) = 0.5760$	相関関係なし
強度値	0.916	0.932	0.933	0.900	0.903	0.943	$\rangle r(10, 0.01) = 0.7079$	高度に有意

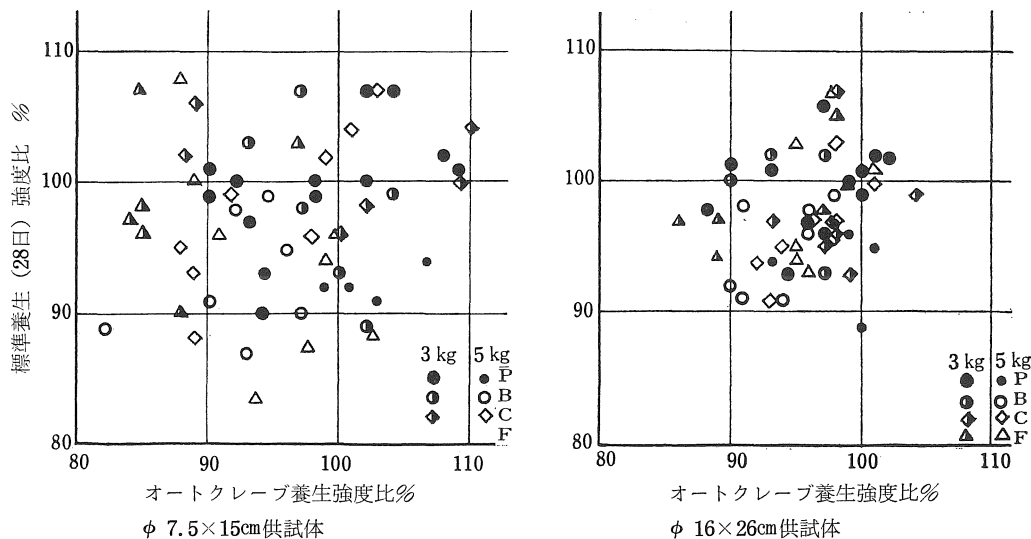
体の約2倍となっている。しかし、φ10×20cm 供試体および φ15×30cm 供試体では、両養生とも同じ程度の変動係数であって、養生の相違がバラツキに影響しないようである。

(v) オートクレーブ養生と標準養生との相関関係

4図によっても解かるように、オートクレーブ養生の強度比と標準養生の強度比との間に相関々係はないようである。すなわち、オートクレーブ養生で φ7.5×15cm 供試体の比率が100以上であっても、それと同バッチの標準養生の φ7.5×15cm の比率は100以上とは限らない。たとえば、普通ポルトランドセメントで

は、16表に示すような相関係数となっている。他のセメントについても同様の傾向を示しているが、この関係は、オートクレーブ養生と標準養生だから生ずるというわけではなく、16表に示すように標準養生の7日と28日強度においても同様である。つまり強度比は実験誤差によって支配される要因が高いようである。もちろん、両養生の関係は強度比ではなく、強度値においては高度に有意である。

(2) 各種セメント使用コンクリートのオートクレーブ養生強度 (σ_i) と標準養生強度 (σ₂₈) との関係
オートクレーブ養生強度と標準養生強度との関係を求



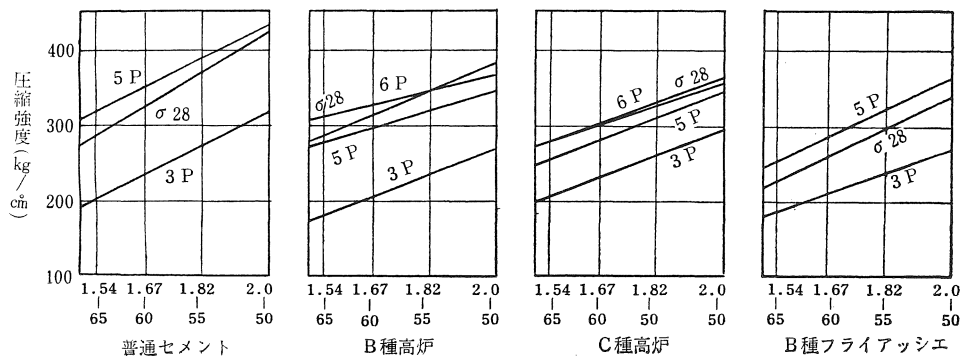
4 図 オートクレーブ養生と標準養生との関係

(φ15×30cm 供試体に対する φ7.5×15cm および φ10×20cm 供試体の強度比について)

17表 各種セメントの標準養生 σ_{28} およびオートクレーブ養生 σ_1 と C/W の関係

(供試体寸法 φ10×20cm)

W/C %	普通セメント			B種高炉セメント			C種高炉セメント			B種フライアッシュセメント				
	σ_{28} 20°C	σ_1		σ_{28} 20°C	σ_1		σ_{28} 20°C	σ_1		σ_{28} 20°C	σ_1			
		3P	5P		3P	5P		6P	3P		5P	6P	3P	5P
50	411	316	423	380	263	354	369	361	293	345	353	333	272	363
55	381	281	395	349	237	314	345	336	262	314	328	306	235	326
60	328	246	343	307	214	297	333	314	228	272	308	266	215	275
65	273	197	313	280	170	275	307	270	206	258	273	219	187	258
σ_1 と C/W の関係式	$\sigma_{28} = -181 + 301C/W$	$\sigma_1 = -185 + 253C/W$	$\sigma_1 = -67 + 248C/W$	$\sigma_{28} = -57 + 220C/W$	$\sigma_1 = -121 + 195C/W$	$\sigma_1 = 16 + 167C/W$	$\sigma_1 = 113 + 129C/W$	$\sigma_{28} = -14 + 190C/W$	$\sigma_1 = 91 + 193C/W$	$\sigma_1 = -52 + 199C/W$	$\sigma_1 = 20 + 168C/W$	$\sigma_{28} = -152 + 246C/W$	$\sigma_1 = -89 + 180C/W$	$\sigma_1 = -116 + 240C/W$



5 図 標準養生 σ_{28} およびオートクレーブ養生 σ_1 と C/W の関係

18表 標準養生強度 (σ_{28}) に対するオートクレーブ養生強度 (σ_1) の比率
(最適蒸気圧 (温度) の推定)

セメント 蒸気圧 kg/cm ² W/C %		σ_1/σ_{28}										
		普通ポルトランドセメント			B種高炉セメント			C種高炉セメント			B種フライアッシュセメント	
		3	空気+蒸気 3+3	5	3	5	6	3	5	6	3	5
50		0.78	0.83	1.01	0.69	0.91	1.04	0.81	0.93	0.98	0.82	0.98
55		0.77	0.75	1.02	0.67	0.93	0.99	0.81	0.96	0.98	0.78	1.03
60		0.75	0.71	1.06	0.70	0.98	1.08	0.73	0.94	0.98	0.81	1.05
65		0.74	0.69	1.13	0.62	0.99	1.10	0.80	0.95	1.01	0.84	1.12
平均		0.76	0.75	1.06	0.67	0.95	1.05	0.79	0.95	0.99	0.81	1.05
最適蒸気 (温度) の推定		4.5kg/cm ² (154°C)			5.5kg/cm ² (161°C)			6.0kg/cm ² (164°C)			4.5kg/cm ² (154°C)	

めるため、実験Ⅰの結果に一部追加実験を行なって整理したものが、17表であり、5図に強度とセメント水比との関係を示した。なお実験Ⅱの結果についても、強度とセメント水比は直線関係にあるとして、最小二乗法により関係式を求めたところ、フライアッシュコンクリートだけは、5図とは異なり、 σ_{28} と σ_{sp} (5kg/cm² 養生強度) の直線は途中で交差し、セメント量が多いほど強度の伸びが悪くなった。また普通セメントの直線は σ_{28} と σ_{sp} ともに勾配がややゆるくなった。

28日強度が1日養生で得られるような蒸気圧 (温度) を求めるために、実験Ⅰ、Ⅰ' および実験Ⅱの結果から σ_1/σ_{28} の比を計算して、その値を取りまとめたものが18表である。18表によると、普通セメントおよび混合セメントいずれも、オートクレーブ養生としては低圧の、4.5kg/cm² (154°C) から6kg/cm² (164°C) 位の蒸気圧 (温度) によって σ_{28} を σ_1 で求めることができる。更に詳しくみると、普通セメントおよびフライアッシュコンクリートはほぼ等しい蒸気圧4.5kg/cm²で、高炉セメントB種は5.5kg/cm²で、C種は6kg/cm²である。四種のセメントの温度差は約10°Cであるが、養生時間が19時間であるから、度時 (マチュリティ) で考えると、10°C×19h=190度時の違いとなる。例えば、5kg/cm²:158°C×19h=3002度時、3kg/cm²:142°C×21h=3003度時である。

今回の実験結果では、普通セメントの最適蒸気圧は4.5kg/cm² (154°C) となったが、前回の結果では3kg/cm (143°C) であった。これはオートクレーブの性能の圧力・温度上昇速度が1図のように異なっているためであり、また、それに伴って最高温度継続時間が短縮されたためである。オートクレーブ養生では、圧力 (温度) 上昇勾配は、強度に影響を及ぼす大きな要因であるために、釜に可変装置を取り付けるか、あるいは、その

釜に適した条件を調べる必要がある。われわれは釜のヒーターによって、規制される温度上昇速度を、簡単に変える一つの方法として、圧縮空気を加えることを考えた。この方法によって、水温は急速に上げることができるが、釜の蒸気室の温度は期待したように早めることはできなかった。しかし供試体の状態は、普通の場合とは異なっていた。密封型枠を使用しても、多少水分が逃げるらしく、釜より取り出して、脱型すると、供試体は乾燥しているように見える。しかし気圧を加えた場合は、脱型直後は充分温っており、放置しておくとすぐ乾燥してくるが、型枠付きのままにしておくと、湿潤状態が保たれていた。

釜の中に圧縮空気を送入することは、常に釜の圧力を水蒸気圧よりも高い圧力とするため、密封型枠を使用しない場合でも、水分の蒸発および膨張は防げるのではないかと思われた。このことは、初期の目的の上昇温度の変更には直接役立たなかったため、そのまま中止していたところ、6ヶ月後に、樋口氏らによって上記の効果のあることが指摘された。

18表をみると、どのセメントもW/Cが小さくなるほど、オートクレーブ養生の強度の増進が鈍るが、この圧縮空気を併用する方法は、一つの解決方法ではないかと思っている。

7. ま と め

① 今回のオートクレーブ養生の結果では、 $\phi 15 \times 30$ cm 供試体に対する $\phi 7.5 \times 15$ cm および $\phi 10 \times 20$ cm 供試体の圧縮強度比は、実験Ⅰで、 $\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}=99$ 、 $\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}=96$ 、実験Ⅱで $\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}=95$ 、 $\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}=96$ となり強度差が現われた。同時に作製した標準養生28日の強度比は、実験Ⅰで、 $\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}=99$ 、 $\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}=99$ 、実験Ⅱで $\sigma_{\phi 7.5}/\sigma_{\phi 15}=95$ 、 $\sigma_{\phi 10}/\sigma_{\phi 15}=96$ となった。両養生

の関係は、 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 供試体では、97:97、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体では、96:98となるが実験誤差を考慮して、両養生の関係を分析すると、両養生の強度比に相違は認められない。従って、両養生に同じ寸法の供試体を使用すれば、オートクレーブ養生強度 (σ_1) と標準養生強度 (σ_{28}) との関係はいずれも同じ結果が得られるわけである。ただし、供試体のバラツキは小さな供試体ほど大きくなる。

②オートクレーブ養生によって28日強度を推定する場合には、セメントの種類が異なっても、養生条件に大差はなさそうである。2図の養生条件(成形・前養生1h、温度上昇速度(158°:1.5h)、最高蒸気圧(温度)継続時間19h、下降時間1h)の最高蒸気圧(温度)のみ変化させた場合、普通セメントおよびB種フライアッシュコンクリートでは、4.5kg/cm²(154°C)で、高圧セメントB種は5.5kg/cm²(161°C)で、C種は6.0kg/cm²(164°C)位で、28日強度が得られるようである。

参 考 文 献

- 1) 久保, 森野, 大西, コンクリートの強度判定に関する一実験, セメントコンクリートNo. 248 昭42, 10
- 2) たとえば Boulder Canyon Project Final Report Part VII Cement and Concrete Investigations, Bulletin 4. Mass Concrete 1949. (米国開拓局編 マスコンクリート近藤泰夫訳)
- H.F. Gonnerman, Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Proc. of ASTM 1925 など
- 3) 杉木, 啓上, 藤井, 供試体の大きさとコンクリートの圧縮強度 — $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体と $\phi 15 \times 30$ 供試体との比較 — セメントコンクリート No.194 昭38.4
- 4) 笠井芳夫, 供試体寸法とコンクリートの圧縮強度ならびに強度のバラツキとの関係
($10\phi \times 20\text{cm}$ と $15\phi \times 30\text{cm}$ 供試体との関係および $5\phi \times 10\text{cm}$ と $15\phi \times 30\text{cm}$ 供試体との関係)
日本建築学会論文報告集第100号 昭39.7
- 5) セメント協会, コンクリート専門委員会報告 F-14, F-15 各種のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度に関する共同試験報告 昭39.6, 昭40.8
- 6) 日本コンクリート会議海外連絡委員会, 軽量コンクリート分科会, 軽量コンクリートの圧縮強度試験方法, コンクリートジャーナル Vol.6, No.8 昭43.8
- 7) 樋口, 原田, 圧気を併用したコンクリートの高温高圧蒸気養生, セメントコンクリート No.265, 昭44.3
- 8) ADAM M. NEVILLE, a General Relation for Strengths of Concrete Specimens of Different Shapes and Sizes, ACI JOURNAL, Proceedings, V.63, No.10, Oct. 1966.
- 9) ACI Committee 516, High Pressure Steam Curing, ACI JOURNAL, Proceedings V.62, No. 8, Aug. 1965