

# モルタルの耐熱強度

—主として加熱及び保存状態との関係について—

正員 木村 惠彦<sup>\*</sup>

## ON THE STRENGTH OF HEATED CEMENT MORTAR

—mainly in relation to the heat condition and reserving conditions.—

(JSCE Oct. 1950)

Shigeo Kimura, C.E. Member

**Synopsis** This experiment is a part of fundamental studies about heated concrete.

The Author heated the mortars which consisted of normal Portland Cement and Toyoura-Standard Sand, and researched their residual compressive strength in relation to the heating condition and the reserving condition after cooling.

Consequently, it is obtained that the mortars has very unstable qualities immediately after cooling and then their residual strength vary in the no small range according to the reserving condition (mainly to the supplying condition of moisture), in any case the mortars which were heated at the temperature of 500°C almost collapsed, wholly with severe cracks, and etc.

### 1. 緒言

熱害を受けたコンクリートの性質が如何に変化するかについては従来多くの研究が行はれているが、これに関係する要素が多く未だこの問題は科学的に解決されていない事は坂静雄博士の指摘されている処である<sup>1)</sup>。

筆者は予想される多くの要素が夫々いかなる程度に残存強度に影響するかを順次分析的に明にしたいと考えて実験を行つているが普通ポルトランドセメントを用いたセメントペーストについて徐熱した場合の加熱温度、時間、水セメント比と冷却直後の強度の関係、並に普通セメントと豊浦標準砂とを用いたモルタルについて徐熱した場合の加熱温度、時間、配合と冷却直後の強度の関係については既に別の機会に発表した処である。

今回は上記と同様のモルタルについて、急激加熱した場合と徐熱した場合の冷却直後の強度の関係並に冷却後各種の状態に保存した後の残存強度について行つた実験の結果を述べる。

### 2. 実験方法

表-1 使用セメントの品質

比重	粉末度	膨脹性	凝結	強度 (フロー 209)		
				材令	曲ゲ	圧縮
				kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
3.08	6.0%	異常なし	水量29.0%	3日	21.5	86.6
			始発1h40m	7日	29.5	127.1
			終結3h00m	28日	47.0	227.2

\* 神戸大学 神戸工業専門学校教授

### A) 供試体

イ) 使用材料 セメントは大阪窯業製の普通ポルトランドセメントでその品質について試験した結果は表-1の通りである。

砂は豊浦標準砂を用いた。

ロ) 配合 モルタルは2種とし配合水比等は表-2の通りである。

表-2 モルタルの配合

記号	重量配合比	水セメント重量比	モルタルのフロー
A	1:2	60%	181
B	1:4	120%	195

ハ) 寸法、形状、製作、養生 供試体の各部がなるべく一様な熱の影響を受けるようになるべく小なる寸法のものを用いる事とし、直径、高さ共に 20mm の円柱形とした。

特別に製作した鉄製型枠を用い同時に 28 個を製作した。填充は2層に分け各層を 1.5 時の釘の頭で 25 回づゝ突いた。余分に約 3mm 盛上げ、数時間たつて充分硬くなつてから余分の部分を削りとりセメント粉末をふりかけて硝子板で充分平滑にキャッピングを行つた。硝子板で蓋をしておいて翌日脱型し、溢水状態の砂の中に入れて養生した。

材齢3週の後、約 48 時間の間 80~90°C の熱湯養生を行つた。水和を出来る丈進めておき度いと考えたからである。熱湯養生が終つて常温に冷えれば、又もとの湿砂中にもどして養生し、製作後 28 日目に加熱を行つた。養生期間中の室温は 31.0~19.3°C、水温は

28.0~18.9°Cであつた。

#### B) 加熱

加熱は3KWの電気炉を用い供試体をブリキ製の皿に横に並べて載せて入れ、供試体の中央部で約2cm上方に温度計を挿入し、電圧を加減して所定の加熱状態に保つた。従つて以下に示す温度は全てこの温度計に表はれた炉内温度を意味している。但し、105°Cの場合は島津電気恒温乾燥機で一般に行はれる乾燥法と同様の方法によつた。

加熱温度は105°, 200°, 300°, 400°, 500°とした。今回の実験でこの上限を500°にとつたのは、実際火災等を受けた際コンクリート部材の内部で500°以上に加熱されるのは比較的表面に近い部分だけであると推察される事、及び予備実験の結果モルタルでは500°位に加熱されると異状な変化が生じる事がわかつた為である。

加熱状態としては、徐熱と急熱との2様を行つた。徐熱の場合は前回の実験と同様、その速度を毎分2°Cとし、所要温度に達した後、その温度を1時間持続し同じ速度で冷却した。冷却の末期に於ては炉の蓋をきり、その開き加減によつて所定の速度を保たせた。従つて最後には蓋は全く開放され供試体は炉の口に近く引出され自然冷却に近い状態になる。大体60~70°C位で全く取出し室内で冷却させる。

急熱の場合は予め炉の温度を所定の温度より約20~30°C位高い目にあげておいてから、急に蓋を開いて供試体を入れる。蓋を開く為と冷たい試料が入るため炉の温度は急激に低下するが電圧を最大にして、なるべく速に所定温度にもどす。その間の時間は500°Cの場合で約10分間、それ以下では数分間である。供試体を入れてから丁度2時間所定温度を保ち終ればさつと蓋を開いて供試体を取り出し室温迄室内で冷却させた。在来急熱の方法として炉より出してすぐ水に漬ける事が行はれているが、水の化学的作用が著しく影響すると考えられるのでこの方法は避けた。従つてその方法を別とすれば上記の加熱冷却は最も急激なものである。

105°Cの場合は従つて徐熱に相当するがその速度は更にはるかに小であつた。

加熱は湿砂中より取出した試料を直に炉に入れて行つた。猶、その直前に重量を測定しておいた。

加熱開始後暫くすると炉の口より水蒸気が出はじめて数分間続く。然し試料に対し炉の容量が大であつたからこの蒸発のため温度上昇が停滞する事は認められなかつた。

急熱の場合供試体内部の水の蒸気圧は相当大となる事が推察される。筆者が行つた別の実験で直径56mm

高さ112mmの円柱形モルタルの充分吸水しているものを500°C以上で急熱すると、加熱開始後約15分で何れも爆音と共に供試体は破裂した。然し今回の場合は試料が小さい為かそのような破裂は起らなかつた。

#### C) 冷却後の保存状態

加熱を終つて冷却した供試体は重量を測定しその1組は直に強度試験を行うが他のものは3組に分けて次の状態に保存した。

イ) 乾燥保存——塩化カルシウムを入れたデシケーターの内に入れて7日間保存する。

ロ) 湿気中保存——デシケーター用の容器の底に水を入れ蓋を密にしたものに7日間保存する。容器中の温度及び湿度は乾湿温度計により観測した結果温度は27.6~18.7°C湿度は97~91%であつた。

ハ) 水中保存——水中に浸漬して7日間保存する。但し、A-モルタルを急熱せる場合については保存期間の影響をみる為湿気保存で期間を3日、7日とした

#### D) 圧縮強度試験

同時に作つて同様に養生した28個の供試体を5組に分けその1組は加熱せず材齢28日に表面乾燥飽和状態で圧縮強度を試験した。残り4組を同日加熱し冷却後1組を圧縮試験し、他はC)に記したように各の状態に保存し保存期間終了後再び重量を測定して圧縮試験を行つた。

表-3~5に示す圧縮強度は夫々上記各組の6~5個の供試体の平均値である。測定値の平均偏差はA-モルタルで0.7~7.1%、B-モルタルで2.8~13.8%であつた。

圧縮試験には軟練モルタル用20t試験機を用い加圧速度は毎秒約5kg/cm<sup>2</sup>で行つた。

加熱したものの残存強度に対して標準となる無加熱のものゝ強度を表面乾燥飽和状態のものについて試験したのは、空中乾燥による乾燥度の不同がその強度に相当影響する事を考慮した為である。

### 3. 実験結果

#### A) 加熱状態と冷却直後の残存強度

A, B 両種のモルタルについて急熱及徐熱した場合の直後の残存強度、その強度比、重量減少率と温度との関係は表-3の通りでその強度比を図-1に示したものが図-1である。

以上の結果より次の事が考えられる。

イ) 冷却直後の強度は表面乾燥飽和状態の無加熱の強度に比し相当大なるものである。此の関係は筆者が既に発表した結果と数量的な幾分の不同はあるがよく一致している。

ロ) 何れの場合にも温度が高くなる程残存強度比が

図-1 冷却直後の残存強度比

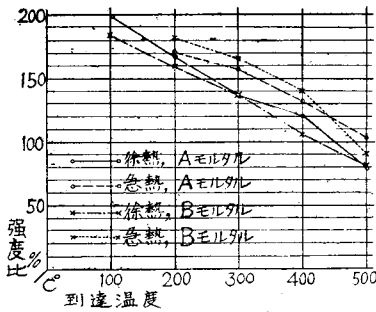


表-3 冷却直後の残存強度

加熱状態	モルタル種別	到達温度 (°C)				
		105	200	300	400	500
急熱	A	60 (kg/cm <sup>2</sup> )	225	235	231	245
		61 (kg/cm <sup>2</sup> )	387	369	304	253
		6/60 (kg/cm <sup>2</sup> )	171	157	131	103
	B	60	70.6	677	707	144
		61	127	116	97.3	57.9
		6/60	183	161	140	91.4
徐熱	A	60	220	239	241	175
		61	435	377	330	233
		6/60	199	167	137	120
	B	60	64.1	76.1	477	644
		61	108	122	65.6	68.8
		6/60	184	160	137	107

(註) 60.....原加熱強度 61.....冷却直後強度 6/60.....重量減少率

ほぼ直線的に小となつて 500°C で約 100% 前後となる。

ハ) A, B 兩種共何れの温度に於ても急熱した場合の方が徐熱した場合よりも残存強度比が大である。

此の事は熱応力の大小から予想したところと逆の結果となつた。この原因は徐熱の場合は冷却末期に炉の蓋が次第に開かれてゆく、その可成の時間の間に於ける吸湿その他の影響の為かとも考えられるが明かでない。重量減少率も徐熱の場合の方が幾分小である点と関係するように思はれる。何れにしても本実験に用いたような小寸法の供試体では熱応力のみによる被害は余り問題にならないと云う事が云える。

ニ) 配合の影響はあまり顕著に表われていない。

図-3 保存後の残存強度比 (A-モルタル, 徐熱)

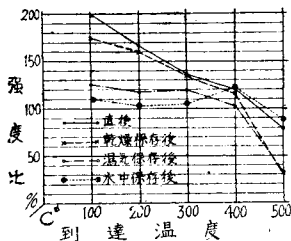


図-4 保存後の残存強度比 (B-モルタル, 徐熱)

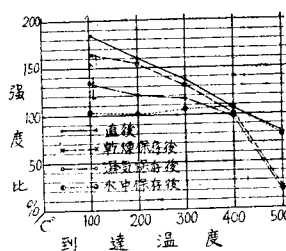
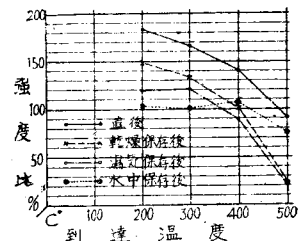


図-5 保存後の残存強度比 (B-モルタル, 急熱)



B) 保存状態と残存強度

加熱後の時間の経過と共に残存強度が低下する事は既往の諸研究の結果云はれている事である。保存する環境と期間によつていかに変化するかを調べるために本実験を行った。先づ保存期間の影響を見るため A-モルタルを急熱したものについて前述の湿気中保存を行い 3 日, 7 日の期間の後にその強度を求めた結果表-4 の値を得た。その強度比を图示したのが図-2 である。

図-2 Aモルタル湿気中保存後の強度比

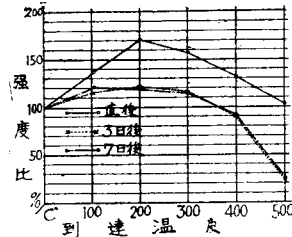


表-4 湿気保存後の残存強度

	到達温度 (°C)				
	105	200	300	400	500
60 (kg/cm <sup>2</sup> )	212	226	235	231	245
61 (kg/cm <sup>2</sup> )	294	387	369	304	253
6m <sub>3</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	247	223	272	208	58.0
6m <sub>7</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	260	267	268	212	62.5
6/160	137	171	157	132	103
6/60	115	121	116	90.0	23.7
6m/60	121	118	114	91.7	25.5

(註) 6m<sub>3</sub>.....湿気中 3日保存後強度 6m<sub>7</sub>..... 7日

以上の結果から 3 日と 7 日の期間の差異は残存強度比に殆んど差異がない事がわかつたが充分の期間を与える意味で 7 日を採用する事にした。

次に保存の環境として前述の 3 状態即ち乾燥器中, 湿気中, 水中をとりそれらに 7 日保存した後の残存強度を求めた。その結果は表-5 の通りで、各の場合の強度比を图示すると図-3, 4, 5 となる。

なお、配合の相違、加熱冷却の急徐と残存強度比との関係を各保存状態毎に图示したのが、図-6, 7, 8 である。

図-6 乾燥保存後の残存強度比

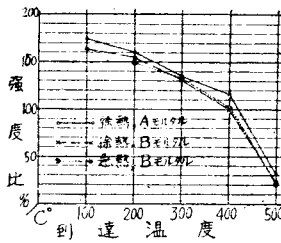


図-7 湿気中保存後の残存強度比

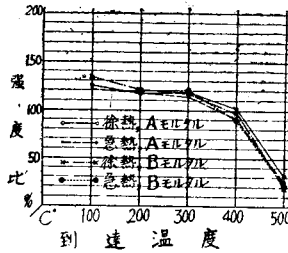


図-8 水中保存後の残存強度比

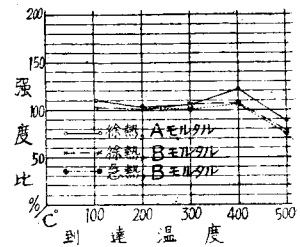


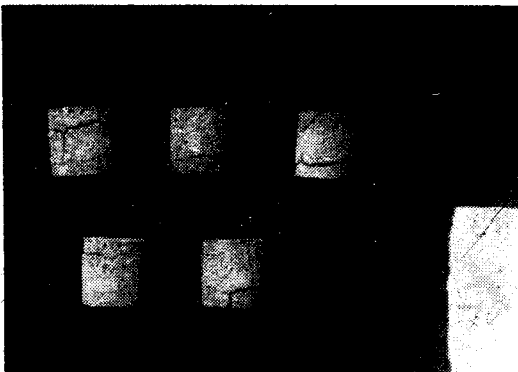
表-5 各種保存後の残存強度

モルタル種別	加熱状態	到達温度 (°C)					
		105	200	300	400	500	
A	徐熱	G <sub>0</sub> (乾)	270	237	201	175	208
		G <sub>d</sub> (湿)	393	383	325	297	206
		G <sub>m</sub> (水)	276	277	287	179	222
		G <sub>w</sub> (水)	281	266	250	238	178
		G <sub>d</sub> /G <sub>0</sub>	174	160	135	116	31.5
		G <sub>m</sub> /G <sub>0</sub>	125	117	119	102	32.2
	急熱	G <sub>d</sub> /G <sub>0</sub>	110	103	105	122	88.4
		G <sub>m</sub> /G <sub>0</sub>	64.1	76.7	477	644	72.2
		G <sub>w</sub> /G <sub>0</sub>	105	117	425	646	16.3
		G <sub>d</sub> /G <sub>m</sub>	86.6	91.9	55.7	62.5	13.4
		G <sub>w</sub> /G <sub>m</sub>	65.8	77.2	50.6	68.9	54.2
		G <sub>d</sub> /G <sub>w</sub>	164	154	131	100	22.6
B	徐熱	G <sub>0</sub>	70.6	677	709	644	72.2
		G <sub>d</sub>	105	92.8	71.4	14.4	14.4
		G <sub>m</sub>	84.0	84.0	62.7	13.5	13.5
		G <sub>w</sub>	72.4	70.1	74.8	48.0	48.0
		G <sub>d</sub> /G <sub>0</sub>	14.9	133	101	22.4	22.4
		G <sub>m</sub> /G <sub>0</sub>	11.9	121	106	10.6	21.0
	急熱	G <sub>w</sub> /G <sub>0</sub>	10.3	101	101	106	74.6

(註) G<sub>d</sub>…乾燥保存後強度 G<sub>m</sub>…湿気中保存後強度  
G<sub>w</sub>…水中保存後強度

以上の何れの場合も 400°C以下の加熱温度ではヒビワレは発生しない。もつとも、400°Cの時キャッピングのセメントペースト部丈に網目状の毛細ヒビワレが表われる事がある。然るに500°Cの場合は何れのものも冷却直後に毛細ヒビワレがありそれが保存中に著しく成長する。そのヒビワレの状態の一例を写真-1に示す。

写真-1 保存後のヒビワレ(500°C徐熱B-モルタル乾燥保存)



保存末期のヒビワレの程度は乾燥保存の場合最も大で湿気中これに次ぎ、水中のものは最小であつた。B-モルタルはAよりも、又徐熱の場合は急熱の場合より

も幾分その程度が大であるように思はれた。従つて、500°Cの保存後の残存強度はかゝるヒビワレの相当ひどい供試体を圧縮試験した結果であつて特に乾燥保存湿気保存のものの中には崩壊一步手前のものもあつて強度を云々するのは不相当と思はれるが、一応その値をかゝげたものである。

C) 保存状態と重量減少率

加熱前、冷却直後、及び保存期間終了して圧縮試験をする直前の3回に測つた重量から求めた冷却直後の重量減少率とそれに対する各保存状態終了時のその比を示すと表-6のようになる。

表-6中 \*<sub>1</sub>は加熱時間が1時間でのもの、1/2であつた為著しく小となつている。\*<sub>2</sub>はヒビワレが甚

表-6 重量減少率の変化

モルタル種別	加熱状態	到達温度 (°C)					
		105	200	300	400	500	
A	急熱	W <sub>0</sub>	207*	132	134	144	157
		W <sub>d</sub> /W <sub>0</sub> (%)	80	65	64	64	70
		W <sub>m</sub> /W <sub>0</sub> (%)	80	65	64	64	70
		W <sub>w</sub> /W <sub>0</sub> (%)	80	65	64	64	70
		W <sub>d</sub> /W <sub>m</sub>	111	127	122	137	153
		W <sub>m</sub> /W <sub>d</sub>	95	93	94	96	94
	徐熱	W <sub>w</sub> /W <sub>0</sub>	62	59	57	65	62
		W <sub>d</sub> /W <sub>0</sub>	87	13	70	46	26.2
		W <sub>0</sub>	150	156	165	165	177
		W <sub>d</sub> /W <sub>0</sub>	97	97	98	98	96
		W <sub>m</sub> /W <sub>0</sub>	73	71	75	80	80
		W <sub>w</sub> /W <sub>0</sub>	16	11	10	10	22.2
B	急熱	W <sub>0</sub>	145	149	168	165	173
		W <sub>d</sub> /W <sub>0</sub>	96	97	97	98	95
		W <sub>m</sub> /W <sub>0</sub>	79	73	78	78	82
	徐熱	W <sub>w</sub> /W <sub>0</sub>	15	16	14	14	0.9*

(註) W<sub>0</sub>…冷却直後重量減少率(%) W<sub>d</sub>…乾燥保存後重量減少率  
W<sub>m</sub>…湿気中保存後 W<sub>w</sub>…水中保存後

しくその間隙に入った水分の為重量減少率が著減しているのである。

D) 実験結果の考察

以上の結果から次の事が考えられる。

イ) 冷却直後のモルタルは極めて不安定な状態にある。僅か数日の経過の後にその強度は著しく変化する。在来の試験結果の異なる大きな原因の一つがこゝにあると考えられる。

ロ) 残存強度がその保存状態によつて変化する様子を観察すると 400°C附近を境として相違が見られる。

ハ) 即ち、それ以下の温度に加熱されたものでは水

分を吸収する事によつて、直後に相当増大していた強度は次第に減少して充分吸水すればほぼ無加熱のものゝ強度になる。

従つてかゝる温度ではモルタルは殆んど熱による被害を受けていないと云える。冷却直後の強度増大はセメント水和物中の一部のもが乾燥固結していた為と考えられる。図-8 で水中保存のもが 300°C 以下の場合、無加熱の強度よりごく僅か増大しているのは保存期間中に於ける水和作用の進行によるものと考えられる。

ニ) 400°C 以上に於ては湿気吸収の多少に関係なく強度は急激に低下し 500°C の場合はヒビワレの為殆んど崩壊に近い状態になる。此の原因としては多くの研究者によつて既に認められているように遊離石灰の生成が主なるものと考えられる。

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  が  $\text{CaO}$  に分解する現象について T.Tamaru, K.Siomi 両氏の示された実験式によれば  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の解離圧は 513°C に於て 760mmHg になる。この事からも 500°C 附近で急に  $\text{CaO}$  が多くなり、これがその後の吸濕並に  $\text{CO}_2$  の吸収によつて膨脹し、ヒビワレが生長するものと考えられる。従つてモルタルの耐熱性にとつて 500°C と云う温度は重要な意味を持つと考えられる。

ホ) 400°C, 500°C のものが水中に保存された時は、その他の場合よりもヒビワレの生長が少く、強度比も相当大となるのは、既に出てきている毛細ヒビワレを通じて深く滲入した水分が未水和のセメント部分と水和して或る程度のゆ着が起る為ではないかと考えられる。

ヘ) 配合、水量の差異、加熱状態の差異は保存後の強度比にも顕著な影響を及ぼしていないようである。

ト) セメントペーストについて同様に行つた実験結果もこのモルタルの場合とよく似ている事から、この程度の量の骨材の存在と骨材の岩種の相違は上記の現象に大なる影響を及ぼさないように考えられる。もつともヒビワレの程度及び強度比の低下はセメントペーストの方が大である。

#### 4. 結 語

普通セメントと豊浦標準砂を用いた極めて小さいモルタル供試体について加熱後の残存強度の変化を実験した結果大要次の事が考えられる。

イ) モルタルの熱による被害は、熱応力によるものを別として次の事が云える。

300°C 以下の加熱では殆んど害を受けない。

400°C 以上では急に被害が大きくなり 500°C 附近ではヒビワレが甚しく崩壊の状態に近くなる。その主なる原因は 500°C 附近で遊離石灰の生成が急に増大する為と考えられる。従つてこの温度はセメントペーストモルタル等の耐熱性に重大な意味をもっている。

ロ) 冷却後 しばらくの間のモルタルは極めて不安定な状態にありその後の経過と環境によつて残存強度は大いに变化する。

ハ) 普通に用いられる範囲内の配合、水量の差異は耐熱強度に著しい影響を及ぼさない。

セメント品種による影響もさる事ながら以上のモルタルについての結果はコンクリートの場合には又異なるものと思はれるが、それらについては今後の研究に待ち度い。

本研究は昭和 24 年度文部省科学研究費の補助を受けて行つているものである事を附記して謝意を表す。猶、種々御懇切な指導を賜つた坂静雄先生に謹んで謝意を呈する次第である。

#### 脚 註

- 1) 「罹災鉄筋コンクリート家屋の診断」坂静雄, セメント技術年報, 昭22
- 2) 「セメントの耐熱強度について」筆者, 土木学会関西支部講演会, 昭.24-7
- 3) 「徐熱した場合のモルタルの耐熱強度について」筆者, 日本建築学会近畿支部研究会, 昭.24-8
- 4) 「高温度に於けるコンクリートの温度伝導係数と火災教室の構造部内部温度推定」坂静雄, セメント技術年報, 1948
- 5) T.Tamaru. u., K.Siomi, Z. für Physikalische Chemie. A.162, 421, 1932.