

# 養生中の温度および湿度が、フライアッシュを用いたコンクリートの強度におよぼす影響\*

正員 河原友純\*\*

## EFFET OF TEMPERATURE AND HUMIDITY DURING CURING ON STRENGTH OF CONCRETE CONTAINING FLY ASH

By Tomozumi Kawahara, C.E. Member

**Synopsis:** This paper describes the results of studies on the effects of temperature and humidity during curing on the compressive strength of concrete containing fly ash. Results of the strength tests of the air entrained and non air entrained concretes containing various brands of fly ash cured in water for various periods at certain constant temperatures i.e. 5°C, 21°C and constant or varying humidity are described. Consequently, (1) in case of water curing, it is recognized that the effects of containing fly ash on the strength of concrete cured at 5°C is same as that on the strength when it is cured at 21°C, or, the increase of strength of concrete cured at 5°C is larger than another preferably. And, (2) in case of dry curing, it is recognized that the increase of strength of concrete is smaller than that when it is cured under another condition.

**要旨** 本文は、養生中の温度および湿度がフライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度におよぼす影響について研究した結果を述べたものである。

すなわち、品質の異なるフライアッシュを用いてつくった AE コンクリートおよび Non AE コンクリートについて、温度を 5°C および 21°C として水中で養生し、その養生期間を変化させた場合ならびに養生中の湿度を変化させた場合におけるそれぞれのコンクリートの強度を試験した結果を述べた。

その結果、(1) 水中養生を行なった場合には、フライアッシュを用いたことによるコンクリートの強度におよぼす影響は、その養生温度が 5°C であっても 21°C のときと同様か、あるいは、長期材令においてはむしろ強度の増進が大きいことが認められた。

また、(2) 養生中乾燥状態であるとフライアッシュを用いたコンクリートも、用いないコンクリートもいずれもかわりなく、強度の増進が小さいことが認められた。

### 1. 緒 論

さきに、土木学会フライアッシュ小委員会で3回にわたって行なった共通試験の結果、国内産フライアッシュには工場によって品質的に相当変動があることが認められた。

また、新しい標準示方書では、ダムの場合はもちろん一般土木工事でもある程度ポゾランの使用を認めているので、フライアッシュがこのような工事のコンクリートに用いられた場合、養生中の温度、湿度が異なることによって、これら品質の異なるフライアッシュを用いたコンクリートの強度がどのような影響を受けるか明らかにする必要がある。

この実験は、前記委員会の第2回および第3回共通試験に並行して行なったもので、第2回の場合には、3種類のフライアッシュを用い Non AE コンクリートについて、6種類の養生条件に従い、また、第3回の場合には、4種類のフライアッシュを用い AE コンクリートについて、3種類の養生条件に従って行なった。

ダム コンクリートの標準示方書には、ポゾランを用いた場合の養生期間について、「少なくとも21日間たえず湿潤状態に保たなければならない」としているが、この実験結果からみて、たとえフライアッシュの品質が異なっても、以上の条項は厳守されなければならないものと考えられた。

### 2. 使用材料

#### (1) セメント

Non AE コンクリートの実験には、第2回共通試験における日本セメントKK西多摩工場製普通ポルトラン

\*本文は著者病気のため、シンポジウム当日には講演されなかったが、講演当日に原稿は提出されていたので掲載した。

\*\*電力中央研究所技術研究所、第2部コンクリート研究室

ドセメントを用い、AE コンクリートの実験には、第 3 回共通試験における小野田セメントKK藤原工場製普通ポルトランドセメントを用いた。それぞれの試験結果は表-1 のようであった。

表-1 セメントの試験結果

化学成分 (%) および諸比率													
強熱減量	不溶残分	シリカ	アルミナ	酸化鉄	酸化カルシウム	マグネシア	無水硫酸	合計	H.M.	A.I.	S.M.	I.M.	L.S.D.
日本セメントKK西多摩工場製、普通ポルトランドセメント													
0.82	0.42	22.62	5.29	2.89	64.34	1.45	1.61	99.44	2.05	4.28	2.77	1.83	0.865
小野田セメントKK藤原工場製、普通ポルトランドセメント													
0.65	0.26	22.14	4.84	3.18	65.32	1.48	1.48	99.35	2.13	4.57	2.76	1.52	0.920

物理的性質

比重	粉末度		凝 結						安定性 フロー パット (mm)	強 さ (kg/cm <sup>2</sup> )							
	ブレン値 (cm <sup>2</sup> /g)	88μ 残分 (%)	温度 (°C)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時一分)	終結 (時一分)	曲 げ				圧 縮					
								3 日		7 日	28 日	91 日	3 日	7 日	28 日	91 日	
日本セメントKK西多摩工場製、普通ポルトランドセメント																	
3.15	3010	3.1	20.7	91	26.0	2-33	3-48	良	227	40.3	43.4	64.8	71.5	116	202	412	482
小野田セメントKK藤原工場製、普通ポルトランドセメント																	
3.16	3220	1.0	20.0	85	25.3	3-06	4-17	良	247	28.6	43.9	73.7	74.7	111	204	393	483

(2) フライアッシュ

Non AE コンクリートの実験には、第 2 回共通試験における No. 1, No. 6 および No. 7 のフライアッシュを用い、AE コンクリートの実験には、第 3 回共通試験における No. 103, No. 107, No. 111 および No. 112 を用いた。それぞれの試験結果は表-2 のようであった。

表-2 フライアッシュの試験結果

フライアッシュの 試料番号	化 学 成 分 (%)							物 理 的 性 質								
	湿 分	強熱減量	シリカ	アルミナ	酸化鉄	酸化石灰	比 重	粉 末 度			単 位 水量比 (%)	圧縮強度比 (%)				
								ブレン値 (cm <sup>2</sup> /g)	44μ 残分 (%)	88μ 残分 (%)		7 日	28 日	91 日		
第 2 回共通試験の フライアッシュ	No.1	0.3	2.7	57.7	24.9	5.3	4.3	2.14	3 160	12.3	3.0	97	62	67	81	
	No.6	0.2	0.8	59.9	25.3	5.9	3.8	2.10	3 040	18.5	5.6	97	65	68	91	
	No.7	0.3	0.8	59.8	28.0	5.0	1.6	2.02	3 130	19.2	5.0	97	65	66	78	
第 3 回共通試験の フライアッシュ	No.103	0.1	0.9	60.2	27.7	5.0	2.2	2.05	3 870	14.1	5.3	95	—	77	104	
	No.107	0.2	0.6	54.1	28.2	7.9	3.9	2.36	3 120	3.2	0.7	93	—	81	92	
	No.111	0.3	2.3	56.4	24.0	9.2	3.5	2.18	3 490	3.3	0.4	95	—	74	90	
	No.112	0.2	0.6	60.2	25.5	6.2	2.2	2.25	3 910	3.7	0.7	92	—	87	103	

(3) 骨 材

Non AE コンクリート、AE コンクリートいずれの実験にも、細骨材は、相模川産の川砂で、比重 2.61、粗粒率 2.75 のものを、また、粗骨材は多摩川産の川砂利で、比重 2.62、最大寸法 25 mm のものを、表面乾燥飽和状態で用いた。

3. コンクリートの配合および試験方法

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、次の諸条件により試し練りを行なって、表-3 のようにこれを定めた。

(a) 単位セメントフライアッシュ量 (C+F) を 300 kg とし、フライアッシュによるセメントの置き換え率 (F/C+F) を 0.25% とする。

(b) 粗骨材の最大寸法を 25 mm とする。

(c) スランプの範囲を 5~7 cm とし、AE コンクリートの空気量の範囲を 4~5% とする。

(2) 試験方法

表-3 コンクリートの配合

フライアッシュの試料番号	材 料 の 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						水セメント比 (%) W/C+F	絶対細骨材率 (%) s/a	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリージング率 (%)
	水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	AE 剤 AE					
Non AE コンクリート											
なし	162	300	0	760	1 150	—	54	40	6.2	—	2.1
No. 1	150	225	75	753	1 142	—	50	40	6.8	—	2.4
No. 6	145	225	75	682	1 228	—	48	36	6.6	—	1.4
No. 7	148	225	75	722	1 192	—	49	38	5.8	—	1.7
AE コンクリート											
なし	139	300	0	680	1 210	0.021	46.4	36	6.0	4.5	—
No. 103	131	225	75	653	1 216	0.035	43.7	35	5.0	4.5	—
No. 107	129	225	75	660	1 232	0.032	43.0	35	5.5	4.7	—
No. 111	131	225	75	656	1 224	0.150	43.7	35	5.2	4.3	—
No. 112	128	225	75	660	1 232	0.032	42.7	35	6.5	4.5	—

供試体は直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱形とし、コンクリートを練り混ぜたのち、JIS A 1108 に従って供試体を作製した。成型後 1 日で脱型し所定の材令まで、所定の条件で養生して圧縮強度試験を行なった。また、供試体は、1 試験条件、1 材令につき、それぞれ 3 本ずつとした。

#### 4. 養生条件および材令

##### (1) Non AE コンクリートの場合

- (a) 21°C 水中養生；材令 28 日，91 日，180 日，365 日
- (b) 5°C 水中養生；材令 28 日，91 日，180 日，365 日
- (c) 材令 28 日まで 21°C 水中養生，以後 5°C 水中養生；材令 91 日，180 日，365 日
- (d) 材令 91 日まで 21°C 水中養生，以後 5°C 水中養生；材令 180 日，365 日
- (e) 21°C，85%，恒温恒温空中養生；材令 28 日，91 日，180 日，365 日
- (f) 屋外放置；材令 28 日，91 日，180 日，365 日

(注) 試験は 2 月に開始した。試験期間中の月別平均気温は次の通りである。

月	気温	月	気温	月	気温	月	気温
1	1.0	4	17.4	7	25.2	10	16.4
2	6.6	5	20.3	8	27.3	11	11.3
3	12.7	6	23.7	9	23.4	12	6.7

##### (2) AE コンクリートの場合

- (a) 21°C 水中養生；材令 28 日，91 日，180 日
- (b) 5°C 水中養生；材令 28 日，91 日，180 日
- (c) 21°C，85% 恒温恒温空中養生，材令 28 日，91 日，180 日

#### 5. 試験結果および考察

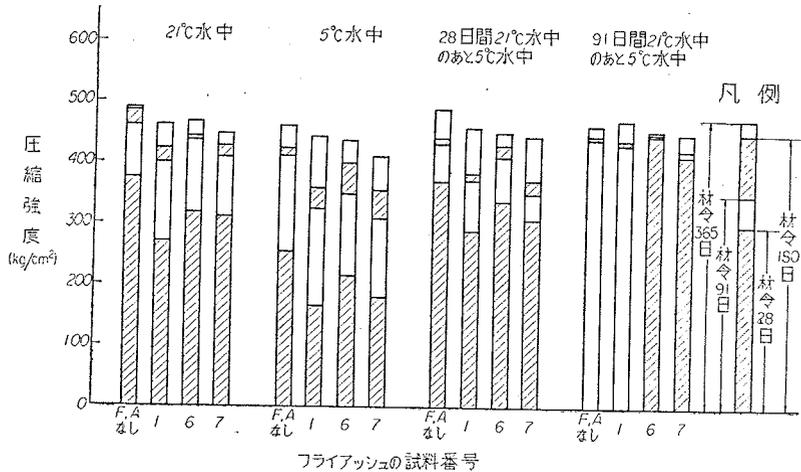
試験の結果は、図-1~3 および表-4 のとおりであった。

図-1 は、養生中の水の温度を変えた場合の Non AE コンクリートの圧縮強度をフライアッシュ試料番号別に、図-2 は同じく、AE コンクリートの圧縮強度をフライアッシュ試料番号別に示したものであり、図-3 は養生中の湿度を 85% 一定（温度は 21°C）とした場合の Non AE および AE コンクリートの圧縮強度並びに屋外放置した場合の Non AE コンクリートの圧縮強度をフライアッシュの試料番号別に示したものである。また、表-4 は、それぞれの養生条件の材令による圧縮強度増進率（材令 28 日の強度を 100% とした）を示したものである。これらの結果から、次のことが認められた。養生条件がフライアッシュを用いたコンクリートの強度におよぼす影響としては、Non AE コンクリートの場合にも、AE コンクリートの場合にも、その傾向としては、変わりなかった。従って、試験結果の考察としては、両コンクリートをふくめて述べることにする。

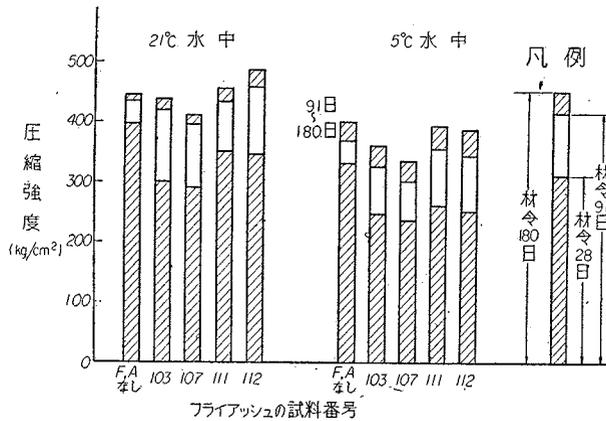
##### (1) 温度の影響

- (a) 21°C 水中養生の場合には、フライアッシュを用いないコンクリートの強度は、材令 28 日以後、特に 91

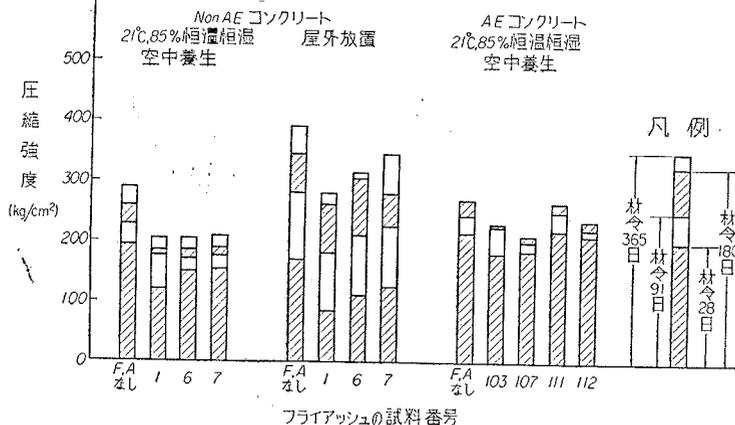
図一 養生中の温度を変えた Non AE コンクリートの圧縮強度



図二 養生中の温度を変えた AE コンクリートの圧縮強度



図三 養生中の温度を変えたコンクリートの圧縮強度



日以後の増進があまり認められなかったが、フライアッシュを用いたコンクリートの強度は、表一にみられるようにどのフライアッシュの場合にも長期材令になるに従って前者より大きい増進率を示した。

(b) 5°C 水中養生の場合には、フライアッシュを用いたコンクリートの強度は、フライアッシュを用いないコンクリートの強度にくらべて、材令 28 日では、相当開きがあり低い値を示したが (No.6 をのぞく)、材令とともに増進し、材令 180 日では 0.84 以上、材令 365 日では 0.92 以上であって、その増進率も表一に示すとおり 21°C 水中養生の場合よりもさらに大きく、材令 180 日では 167% に対し約 200%、あるいは 112% に対し約 150% であり、材令 365 日では 181% に対し約 240% であって、フライアッシュを用いたことによる

表-4 材令による強度増進率（材令 28 日の強度を 100% とした）

フライアッシュの 試料の 番号	21°C 水中養生				5°C 水中養生				28 日間 21°C 水中 以後 5°C 水中養生				91日間 21°C 水中養生以後 5°C 水中養生				21°C 85% 恒湿 恒湿養生				屋外 放置			
	28日		91日		180日		365日		28日		91日		180日		365日		28日		91日		180日		365日	
	100	122	129	130	100	162	167	181	100	117	119	132	100	117	119	123	100	118	133	150	100	164	202	229
なし	100	122	129	130	100	162	167	181	100	117	119	132	100	117	119	123	100	118	133	150	100	164	202	229
1	100	148	156	170	100	197	216	267	100	128	132	158	100	160	162	174	100	146	152	169	100	209	305	326
6	100	138	140	147	100	163	187	205	100	121	126	133	100	142	142	143	100	114	124	137	100	192	281	287
7	100	134	137	143	100	174	200	237	100	114	121	145	100	136	133	145	100	115	123	137	100	181	223	279
Non AE コンクリート																								
AE コンクリート																								
なし	100	110	112	100	122	112																		
103	100	140	142	109	133	147																		
107	100	137	140	100	128	142																		
111	100	123	129	100	137	152																		
112	100	132	140	100	137	154																		

長所がよりよく発揮されていた。

(c) 初期の低温養生が、フライアッシュを用いたコンクリートの強度に悪影響をおよぼすことを考慮して、材令 28 日まで、および材令 91 日まで、それぞれ 21°C 水中養生を行なったのち、それぞれ 5°C 水中養生を行なった場合には、最初から 5°C 水中養生を行なった場合とくらべて、フライアッシュを用いたコンクリートもフライアッシュを用いないコンクリートも、材令 180 日および材令 365 日の強度はあまり差異がなく、特に早期強度を要求する場合以外は水中養生をする限り、湿度の影響は比較的少ないものと認められた。

(2) 湿度の影響

(a) 温度 21°C、湿度 85% の恒温恒湿空中養生の場合には、フライアッシュを用いたコンクリートの強度も、フライアッシュを用いないコンクリートの強度も、各材令とも、いずれも同じ 21°C で水中養生の場合よりいちじるしく少なく、強度増進率も少なく、空中養生の場合には、フライアッシュを用いることによる効果はみられなかった。

試みに 21°C における空中養生の強度と水中養生の強度との比をとると、各材令とも、フライアッシュを用いないコンクリートの方がフライアッシュを用いたコンクリートよりやや大きいが、大体 0.45~0.60 であった。

(b) 屋外放置の場合の気温並びに湿度は、2 月に実験を始めたため、初期は低温 (3°C~15°C) で、材令 91 日頃より 20°C をこえる気温となり、材令 180 日頃真夏を迎える状況であり、湿度は 5 階建ビルの屋上に置いたため、比較的低かったと考えられた。

従って、フライアッシュを用いたコンクリートの強度は、フライアッシュを用いないコンクリートの強度にくらべて、材令 28 日では低温乾燥の最悪の養生条件であったためか、いちじるしく低かったが、材令が進むに従ってかなり増進し、材令 365 日では水中養生の場合にはおよばないが、かなりの強度回復がみられた。

6. 結 論

養生中の温度および湿度が、フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度におよぼす影響について種々実験を行なった結果、次のような結論がえられた。

(1) フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度は、水中養生を行なえば低温であっても初期材令では低いが、材令とともに増進し、材令 91 日ないし 180 日で、常温養生の場合に近い強度に回復する。

このことはフライアッシュを用いないコンクリートの場合よりも大きい。また、ダム コンクリートのように特に早期強度も要求しないような場合には、初期低温による悪影響を心配しなくてもよいようである。

(2) フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度は、空中養生あるいは屋外放置すれば、水中養生の場合にくらべて、各材令とも低く、また、材令によるその強度増進率も小さい。このことはフライアッシュを用いないコンクリートの場合にもいえることであるが、特にフライアッシュを用いたコンクリートの場合には、湿潤養生が一層必要なことを示している。

従って、ダム コンクリート標準示方書 51 条、養生の項に示された、ポゾランを用いた場合の養生期間「少なくとも 21 日間、たえず湿潤状態に保たなければならない」、また「この期間以後における養生は現場の状況により異なるが、できるだけ表面が乾燥しないように養生しなければならない」の条項は厳守しなければならないものと考えられた。