

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	国	分	正俊	胤*
正員	高	野	介**	
正員	三	浦	郎***	
正員	杉	木	一六	郎****

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

By Dr. Eng., Masatane Kokubu, C.E. Member, Dr. Eng., Shunsuke Takano,
C.E. Member, Ichiro Miura, C.E. Member, and Rokuro Sugiki, C.E. Member

Synopsis : This paper discusses the results of studies on the effect of temperature and humidity during curing on strength of concrete conducted at the Onoda Cement Company Research Laboratory, Japanese National Railway Technical Laboratory and the Civil Engineering Department of University of Tokyo. Results of strength tests of concretes containing various brands of fly ash cured at varying temperatures in the range of 10° to 30° centigrade and at varying humidities are described and it is concluded that (1) curing at high temperatures adversely affects long-term strength of concrete, but judicious use of fly ash is beneficial as it considerably alleviates the ill effects, and (2) the effect of temperature and humidity during curing on strength of concrete containing fly ash was practically the same with the majority of seven brands of fly ash sold on the market except with one brand where peculiar results were recognized.

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強度におよぼす影響について小野田セメントKK研究所、国鉄鉄道技術研究所および東京大学土木工学教室において研究した結果を論じたものである。すなわち、数種のフライアッシュを用いてつくったコンクリートについて、養生温度を10°～30°Cの範囲内で変化し、また、養生中の湿度を変化させた場合におけるコンクリートの強度を試験した結果を述べ、

(1) 高温度による養生はコンクリートの長期強度に悪影響をおよぼすが、フライアッシュを適当に用いればこの悪影響を相当に緩和するから有利であること、

(2) 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は、市販の7種のフライアッシュの大部分においてほとんど同様であったが、1種だけには特異な影響が認められたこと、等を結論したものである。

第1章 序 説

土木学会フライアッシュ小委員会で行なった国内産主要フライアッシュの共通試験結果はすでに土木学会論文集*****として発表されているが、その論文集には、フライアッシュを用いたコンクリートおよびモルタルを21°Cの水中で養生した場合の試験結果だけが収録されている。フライアッシュを用いたコンクリートの強度その他の性質が、養生中の温度および湿度によって相違することは明らかであって、フライアッシュを各種のコンクリートに利用するためには、まず、これらのおよぼす影響を明らかにする必要があるが、この種の影響を研究したもので公表されている研究結果は比較的に少ない。

これらの影響について小委員会の一部の委員は共通試験に並行して研究を行なった。すなわち、合計10種のフライアッシュを用いたコンクリートについて、養生温度を10°～30°Cの範囲に変化させ、湿度を数種に変化させて研究したのである。

本文は、高野、三浦および杉木、国分、の各委員が行なった研究を一括したものであって、用いたセメントお

*工学博士 東京大学教授 工学部土木工学教室

**工学博士 小野田セメントKK中央研究所

***国鉄鉄道技術研究所

****小野田セメントKK中央研究所

*****国分・河原・太賀（土木学会フライアッシュ小委員会）：各種フライアッシュの共通試験報告、土木学会論文集第68号別冊(1-1)

よりフライアッシュは主として第2回共通試験における試料である。養生中の温度および湿度がおよぼす影響は複雑であって、フライアッシュおよびセメントの品質ならびにこれらの単位量、コンクリートの材令、等によって相違することは論をまたないが、この研究はある程度のめやすを与えるものと考えられる。

第2章 高野俊介の行なった研究

1. 使用材料

(1) セメント

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ドセメントを用いたのであって、その試験結果は表-1 のようであった。

表-1 セメントの試験成績

強熱減量	不溶残分	シリカ	アルミナ	酸化鉄 カルシウム	酸化マグネシア	無水硫酸	合計	H.M	A.I	S.M	I.M	L.S.D					
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				
<hr/>																	
比重	粉末度 ブレーン値 (cm ² /g)	度 温 度 (%)	凝 結 湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時一分)	終 結 (時一分)	安定性 パット	フロー (mm)	強 さ 曲 げ 3 日	圧 縮 7 日 28 日 91 日	3 日 7 日 28 日 91 日	kg/cm ²					
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

(2) フライアッシュ

第2回共通試験における No. 1, No. 2 および No. 7 のフライアッシュを用いたのであって、その試験結果は表-2 のようであった。

表-2 フライアッシュの試験成績

区分	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		单 位 水 量 比 (%)	圧縮強度比 (%)			
								ブレーン値 (cm ² /g)	44 μ 残分 (%)	88 μ 残分 (%)	7 日	28 日	91 日	
No. 1	0.3	2.7	57.7	24.9	5.3	4.3	2.14	3160	12.3	3.0	97	62	67	81
No. 2	0.2	0.6	60.9	27.2	4.7	2.4	2.02	3240	15.8	5.1	94	68	73	93
No. 7	0.3	0.8	59.8	28.0	5.0	1.6	2.02	3130	19.2	5.0	97	65	66	78

(3) 骨材

粗骨材は山口県錦川産の川砂利で、最大寸法 25 mm, 比重 2.63, 細骨材は山口県秋穂産の浜砂で、比重 2.56, 粗粒率 2.67 である。

2. 試験方法

(1) コンクリートの配合

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 25% とした。スランプの値は各種コンクリートとも 6 cm で、配合の詳細は表-3 のとおりである。

表-3 コンクリートの配合

フライアッシュの種類	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	単位フライアッシュ量 (kg)	水セメント比 $W/(C+F)$ (%)	絶骨材 (%)	細骨材 (%)	単位粗骨材 (kg)	単位細骨材 (kg)	単位粗骨材 (kg)
No. 1	25	6	1.5	149	225	75	49	38.5	729			1167
No. 2	"	"	"	144	"	"	48	"	733			1173
No. 7	"	"	"	144	"	"	"	"	"			"
フライアッシュ を用いない	"	"	"	152	300	0	51	"	738			1180

(2) 試験方法

圧縮強度試験の供試体は直径 10 cm, 高さ 20 cm のシリンダーとした。コンクリートの練り混ぜ後から試験を行なうまでの間、養生温度をそれぞれ 10°C, 20°C, および 30°C の一定温度に保つようにした。すなわち、コンクリートの練り上り温度が所定の温度になるようにし、そのコンクリートを型わくに詰めた後、所定の温度に保つてある恒温槽中に静置し、成型後 24 時間で脱わく、以後圧縮強度試験を行なうまで水槽および湿度 90% の

温気箱中で養生した。試験材令を 28 日および 91 日とし、供試体 3 個の平均値をもって試験値とした。

なお、参考のため、一部の供試体を脱わく後屋外の空中に貯蔵した。貯蔵中、毎日午前 10 時に一回気温を測定したが、材令 28 日までにおいて、最高 15.0°C、最低 3.4°C、また材令 91 日では、最高 19.8°C、最低 3.4°C を示した。

3. 試験結果および考察

試験結果は 図-1、および 図-2 に示すとおりである。

図-1 フライアッシュ コンクリートの養生温度と強度との関係

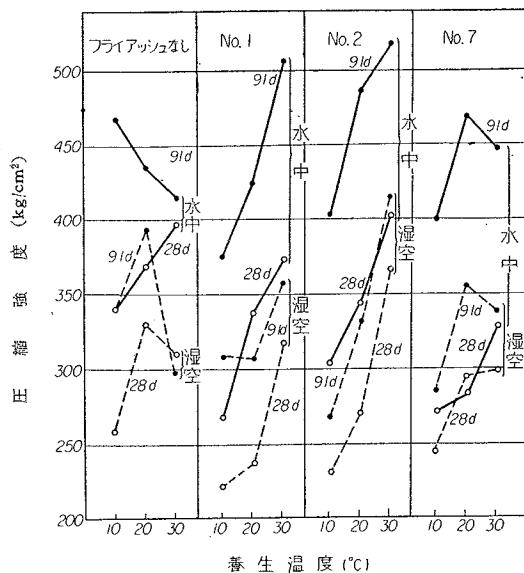


図-2 フライアッシュ コンクリートの強度比

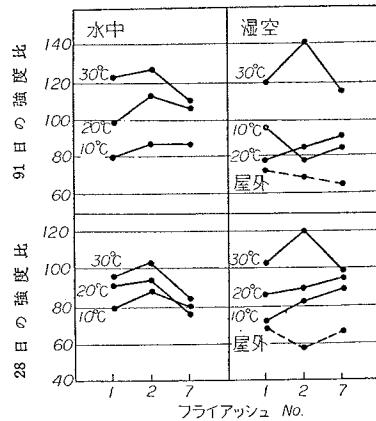


図-1 はフライアッシュを用いないコンクリート、および用いたコンクリートについて養生温度と圧縮強度との関係を、また、図-2 はフライアッシュを用いた各種コンクリートの種類とフライアッシュを用いないコンクリートに対する強度比との関係を示したものである。

試験結果を考察する。

まず、水中養生の場合についてみると、フライアッシュを用いないコンクリートも、用いたコンクリートも材令 28 日では、養生温度にはほぼ比例して圧縮強度が大きくなっている。材令 91 日になると、フライアッシュを用いないコンクリートでは、材令 28 日の場合とは逆に養生温度が高いほど、強度が低く、高温度による悪影響を示したのにたいし、フライアッシュを用いたコンクリートでは材令 91 日においても、依然、材令 28 日の場合と同様、温度が高いほど強度も大きい。しかも、同じ温度で養生したフライアッシュを用いないコンクリートにくらべて強度比は 10°C のものをのぞいておおむね大である。すなわち、フライアッシュを用いたコンクリートはいずれもこの程度の材令では、大体において強度の増進がいちじるしく、高温で使用した場合相当に有利であることを示している。

ただし、フライアッシュの種類により、強度値相互に差異が認められるほか、養生温度が強度におよぼす影響も多少異なるようである。すなわち、No. 7 のフライアッシュを用いたコンクリートでは 30°C で養生した場合、強度増進が少ないため、材令 91 日になると、20°C で養生したものより、かえって低い強度値を示した。

次に湿空中および屋外空中養生の場合は、フライアッシュの使用の有無にかかわらず同じ温度で水中養生したものにくらべて各材令を通じて強度値がいちじるしく小さく、かつ、一般に強度増進の割合も少ない。ことに、フライアッシュを用いないコンクリートを 30°C で養生したものは、材令 28 日以後強度の増進が見られない。

屋外空中で養生したものは、気温が低かったためか、湿空中養生の場合よりも一層強度の増進が少ない。

以上、水中、湿空中養生を通じてみると、フライアッシュを用いたコンクリートは用いないコンクリートにくらべて一般に温度による影響を受けやすく、この点ほかの混合セメント例えれば高炉セメントの場合とよく似ている。

本試験の結果からみても、フライアッシュを用いたコンクリートでは 10°C のような比較的低い温度では長期材令の場合は別として一般に不利であるが、20°C 以上の高温で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有利であると思われる。ただし、養生温度による影響はフライアッシュの種類によっても異なるので注

意を要する。

第3章 三浦一郎および杉木六郎の行なった研究

1. 使用材料

(1) セメント

第2回共通試験におけるセメントを用いた(表-1 参照)。

(2) フライアッシュ

第2回共通試験における No. 3 および No. 4 のフライアッシュを用いたのであって、その試験結果は表-4 のようであった。

表-4 フライアッシュの試験成績

区分	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	単位水重量比 (%)	圧縮強度比 (%)		
								ブレーン値 44 μ 残分 (%)	88 μ 残分 (%)	7 日	28 日	91 日
No. 3	0.3	1.1	55.9	28.2	6.4	3.3	2.39	3570	1.9	92	82	84
No. 4	0.3	1.3	52.6	27.3	5.3	7.8	2.16	3310	15.6	2.5	96	71

(3) 細骨材

相模川産砂と荒川産砂とを 8:1 の割合で混合したものであって、粗粒率は 2.78、比重は 2.62 であった。

(4) 粗骨材

相模川産砂利であって、最大寸法は 25 mm、比重は 2.63 であった。

2. 供試体の製造

コンクリートの配合は、つぎの条件により試し練りを行なって、表-5 のようにこれを定めた。

表-5 コンクリートの示方配合

記号	フライアッシュ試料番号	フライアッシュ置き換率 (%)	材 料 の 単 位 量 (kg)				水セメント比 W/C+F (%)	絶対細骨材率 s/a (%)	スランプの範囲 (cm)
			水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S			
0	—	0	165	300	0	743	1143	55	40.0
3-25	3	25	145	225	75	775	1143	48	41.1
3-40	3	40	138	180	120	781	1143	46	41.2
4-25	4	25	155	225	75	740	1143	52	39.9
4-40	4	40	143	180	120	754	1143	48	40.4

(1) フライアッシュによるセメントの置き換率 ($F/C+F$) を 0, 25, 40% とする。

(2) 単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$) を 300 kg とする。

(3) スランプの範囲を 6~7 cm とする。

コンクリートは、容量 80 l 可傾式ミキサで 3 分間練り混ぜ、内径 15 cm、高さ 30 cm の型わくにてん充した。材令 2 日で脱型し、それぞれ所定の養生を行なった。

3. 養生条件および試験

各供試体は、つぎの 3 種の条件で養生した。屋外に放置したものは、強度試験に先立ち 1 昼夜 20°C 水中にひたし、試験の直前に水から取出した。

養生条件:

(A) 標準養生; 18~20°C 水そう中。

(B) 屋外水そう養生; 屋外に置いた水そう(容量 180 l ドラムカン)中。水温は表-6 に示す。

(C) 屋外放置養生; 風雨、日射をさえぎるものはない。気象状況は表-6 に示す。

5. 試験成績

圧縮強度試験の結果は図-3 および表-7 に示す。

試験成績について:

(1) フライアッシュ混和の有無にかかわらず圧縮強度は養生条件 A, B, C の順となった。

表-6 屋外の気象条件

コンクリートの材令、日	0~28	28~91
養生期間、月/日	2/8~3/26	3/9~5/29
外 気 温 °C	最高 19 最低 2 平均 12	30 6 20
屋外水そうの水温 °C	最高 18 最低 2 平均 11	28 7 20
天 气 日	晴 23 曇 20 雨 4	29 40 12

注: 温度は正午に測定した値

図-3 養生条件を変えたコンクリートの試験

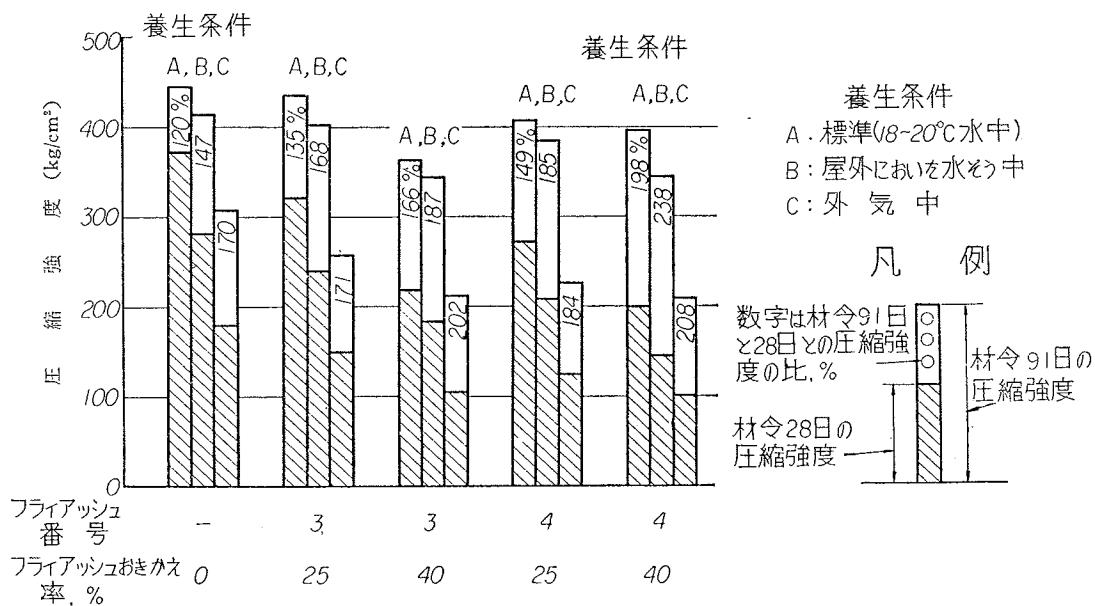
セメント フライアッシュ 300 kg/m³ スランプ 6~7 cm 供試体寸法 $\phi 15 \times 30$ cm

表-7 各養生条件におけるコンクリートの強度比

フライアッシュを混和しないコンクリートの圧縮強度を 100 とした値

記号	フライアッシュ試料番号	A 準		B 屋外の水中		C 外気中	
		28日	91日	28日	91日	28日	91日
0	なし	100	100	100	100	100	100
		(371)	(445)	(281)	(414)	(181)	(308)*
3-25	3	87	98	85	98	83	84
3-40	3	58	82	65	83	58	69
4-25	4	74	92	74	93	68	72
4-40	4	54	88	52	83	56	72

注: * () の数字は、フライアッシュを混和しないコンクリートの圧縮強度, kg/cm² を示す。

(2) 材令 28 日から 91 日への強度増進の割合は、各配合とも養生条件 C, B, A の順となり、その増進割合はフライアッシュ置き換え率の大きいほど大となった。また、外気中に放置した場合 C においても、フライアッシュ置き換え率の大きい方が増進率は大きくなった。

(3) フライアッシュ混和コンクリートの無混和コンクリートに対する圧縮強度比は、養生条件 A, B にくらべ C は劣った。フライアッシュを混和したときは、湿潤養生が一層必要なことを示している。

第4章 国分正胤の行なった研究

1. 養生温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

(1) 土木学会フライアッシュ小委員会の第2回共通試験*における、セメント(表-1 参照)と No. 5 および No. 6 のフライアッシュ(表-8 参照)とを用い、粗骨材の最大寸法=25 mm、単位セメント フライアッシュ量($C+F$)=300 kg、フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)=25%、スランプ=6.5 cm のコンクリートをつくり、それぞれ、10°, 21°, 30°C の3種の温度に保った水中で養生したのち圧縮強度を試験した結果は表-9 のようであった。

表-9 から次のことが認められる。

(a) フライアッシュを用いないコンクリートの強度は短期材令においては養生温度の高いほど大きいが、材令3月においては10°C, 21°C、および30°C のいずれの養生温度のものも同様の強度となり、3月より後の材令においては養生温度の高いほど強度が小さくなる傾向が示されている。しかし、フライアッシュを用いたコンクリートの強度は材令3月においても養生温度が高いほど大であって、21°C で養生した場合にはフライアッシュ

*各種フライアッシュの共通試験報告(前出)

表-8 フライアッシュの試験成績

区分	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 (%)	圧縮強度比 (%)				
								ブレーン値 (cm²/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. 5	0.3	2.1	53.5	29.8	6.7	4.5	2.24	3300	4.1	0.5	94	71	73	92
	No. 6	0.2	0.8	59.9	25.3	5.9	3.8	2.10	3040	18.5	5.6	97	65	68	91
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	3870	14.1	5.3	95	—	77	104
	No.106	0.3	1.6	56.6	25.0	7.6	3.7	2.14	2920	16.6	4.3	95	—	72	84
A会社製 フライアッシュ		0.2	2.3	54.6	28.2	5.1	5.9	2.25	3730	6.5	2.4	—	—	—	—

表-9 3種の温度で養生したコンクリートの圧縮強度

フライ アッシュ	コンクリートの配合					コンクリートの圧縮強度 (kg/cm²) および強度の比								
	フライアッシュによるセメント置き換 え率 (F/(C+F)) (%)	単位セメント 量 (kg)	単位水量 (W) (kg)	空気量 (%)	スランプ (cm)	10°C の水中養生			21°C の水中養生			30°C の水中養生		
						材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月	材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月	材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月
No. 5	25	300	145	1.5	7	92 (0.75)	228 (0.77)	348 (0.85)	115 (0.79)	270 (0.78)	403 (1.00)	150 (0.81)	349 (0.92)	434 (1.07)
No. 6	25	300	151	1.5	6.5	85 (0.69)	200 (0.68)	337 (0.82)	101 (0.69)	265 (0.77)	396 (0.98)	146 (0.79)	314 (0.83)	425 (1.05)
用いない	0	300	160	2.0	6.5	123 (1.00)	295 (1.00)	409 (1.00)	146 (1.00)	346 (1.00)	405 (1.00)	185 (1.00)	378 (1.00)	406 (1.00)

を用いないものの強度と同等になり、30°Cで養生した場合にはフライアッシュを用いないものより強度が大となっている。

(b) フライアッシュ No.5 と No.6 とは、JIS A 6201* によって試験して比較した結果は相当に相違しているが(表-8 参照)，単位セメント量，単位フライアッシュ量，コンシスティンシーを同じくし 21°C で養生したコンクリートによって比較した強度はほとんど同程度となったものである**。この関係は 10°C および 30°C で養生したコンクリートの場合にも同様であってほとんど同等の強度となっている。

表-10 セメントの試験成績

区 分	化 学 成 分 (%)								
	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
電気化学工業会社製普通ポルトランドセメント	細粒	0.65	0.20	22.14	4.87	3.15	65.24	1.59	1.53
	粗粒	0.71	0.17	21.93	5.09	3.19	65.13	1.49	1.34
小野田藤原工場製普通ポルトランドセメント(第3回共通試験のもの)		0.65	0.26	22.14	4.84	3.18	65.32	1.48	1.48

比 重	物 理 的 性 質						強 さ (kg/cm²)			
	粉 末 度	凝 結			安定性	(mm)	強 さ (kg/cm²)			
		水 量	始 発	終 結			曲 げ	压 績	3 日	7 日
3.14	3250	2.8	25.1	2-01	3-00	良	230	35.9	53.7	71.0
3.14	2780	4.8	25.0	2-10	3-08	々	217	28.8	47.8	67.7
3.16	3220	1.0	25.3	3-06	4-17	々	247	28.6	43.9	73.7
								71.0	111	204
								74.7	279	430
								—	228	379
									—	—

備考：電気化学工業会社製の2種のセメントは、化学成分を同じくし粉末度だけを特に相違させたものである。

(2) 電気化学工業会社製普通ポルトランドセメント(表-10 参照)とA会社製フライアッシュ(表-8 参照)とを用い、粗骨材の最大寸法=25 mm、フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)=25%、空気量=約4%，スランプ=6.5 cm のコンクリートを 330 kg および 290 kg の2種の単位セメントフライアッシュ量($C+F$)を用いてつくり、それぞれ 21°C および 30°C の2種の温度で保った水中で養生したのち圧縮強度を試験して比較した。

*日本工業規格フライアッシュ

**各種フライアッシュの共通試験報告(前出)の表-6 参照

なお $C+F$ を 300 kg および 260 kg としてポゾリス No. 8 を $(C+F)$ の 0.25% 用いた同様のコンクリートについても試験したのであって、これらの試験結果は表-11、図-4 および図-5 のようであった。セメントは、特に工場へ依頼し、化学成分を同じくし粉末度だけを相違させた細・粗 2 種の普通ポルトランドセメントを用いたのであって、これらのプレーン値は 3250 および 2780 cm^2/g であった。

表-11、図-4 および図-5 から次のことが認められる。

(a) フライアッシュを用いない場合には、(1) で述べたと同様に養生中の高温度がコンクリートの長期強度におよぼす悪影響が明瞭に認められるのであって、材令 3 月以内において 30°C 養生のコンクリートが 21°C 養生のものよりも弱くなっている。

(b) 高温度養生が長期強度におよぼす悪影響は、フライアッシュでセメントの適当量を置き換える場合には相当に緩和され、緩和される程度は単位セメント量の多いほどいちじるしい。例えば $C+F=292 \text{ kg}$, $F/C+F=25\%$ のコンクリートは、21°C 水中養生の場合には材令 2 月以後において $C=292 \text{ kg}$ のコンクリートより強くなり、30°C 水中養生の場合には材令 1 月で強くなっている。しかし、 $C+F=330 \text{ kg}$ のコンクリートは、30°C 水中養生の場合には、材令 2 週間程度で $C=330 \text{ kg}$ のコンクリートより強くなっている。

(c) 高温度が長期強度におよぼす影響は AE 剤によっても相違するのであって、ビンゾールを用いたものに

表-11 2 種類の温度で養生したコンクリートの圧縮強度

セメント	コンクリートの配合							コンクリートの圧縮強度 (kg/cm^2)												
	単位セメント量 ($C+F$) (または単位セメント量 (C)) (kg)	フライアッシュによるセメントの置き換え率 ($F/(C+F)$) (%)	単位水量 (W) (kg)	$W/(C+F)$ または W/C (%)	絶対細骨材率 (s/a) (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位 AE 剤量 (%)	コンクリートのブリージング率		21°C の水中養生					30°C の水中養生				
									材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月	材令 6 月	材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月	材令 6 月				
粗粒 (ブレーン値) (2780 cm^2/g)	330	25	133.5	40.5	38	4.05	7	ビンゾール 44 g	1.74	202	324	417	453	256	417	467	478			
	297	25	123.5	41.5	39.5	4.0	6.5	ボゾリス No.8 A/2 ($C+F$) の 0.25%	1.39	203	336	455	499	258	417	498	537			
	330	0	144	43.5	38	4.0	6.5	ビンゾール 15 g	1.85	241	352	407	436	292	350	360	383			
	292	25	133	46	39.5	4.25	6.5	ビンゾール 33 g	1.96	160	273	399	435	190	337	445	435			
	263	25	125.5	48	41	4.3	6.5	ボゾリス No. 8 ($C+F$) の 0.25%	1.74	146	249	365	403	163	325	419	436			
	292	0	145	49.5	40.5	4.25	6	ビンゾール 10 g	2.24	183	289	365	360	220	327	349	360			
細粒 (ブレーン値) (3250 cm^2/g)	284	25	131	46	39	4.05	6	ビンゾール 37 g	—	175	292	368	413	207	366	413	435			
	257	25	123	48	40	4.05	6	ボゾリス No. 8 ($C+F$) の 0.25%	—	169	273	381	416	208	359	429	446			
	288	0	143	49.5	40	4.05	6	ビンゾール 13 g	—	224	343	387	392	279	338	353	372			

備考：セメントは電気化学工業会社製のもので、化学成分を同じくし粉末度だけを 2 種に相違させたものである。フライアッシュは A 会社製のものである。練り混ぜた時のコンクリートは約 24°C であった。型わくへ詰めたコンクリートは 24 時間約 24°C の室内で養生し、24 時間後に脱枠してそれぞれ 21°C および 30°C の水中で養生した。

図-4 フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度

電化普通ポルトランドセメント（粗粒）と、A 会社製フライアッシュを用いた。

粗骨材の最大寸法 = 25 mm, スランプ = 6.5 cm, 空気量 = 4.1%

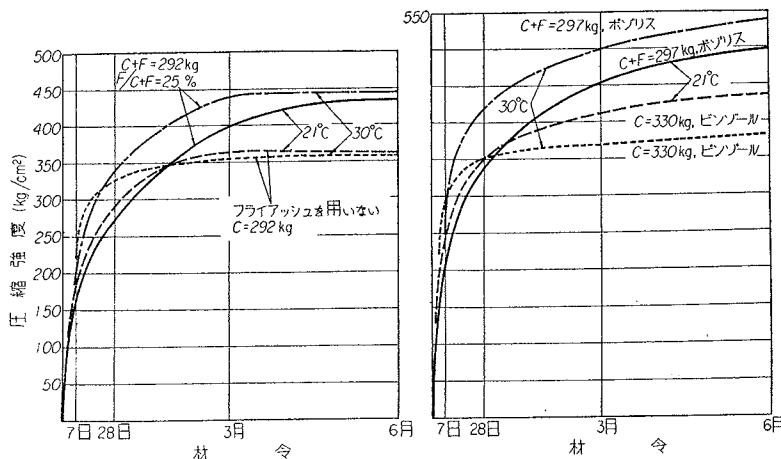
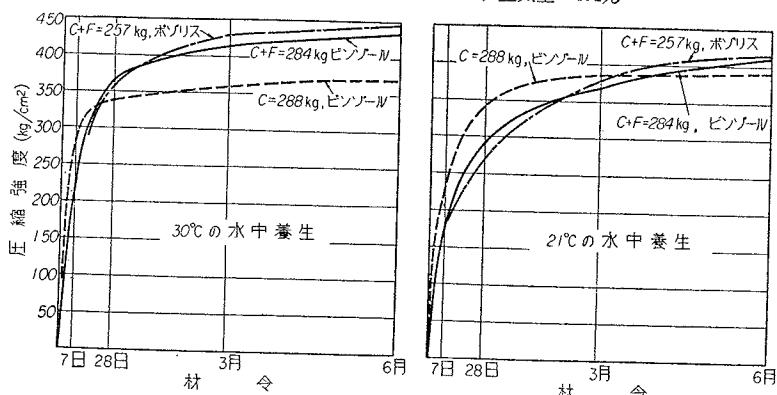


図-5 フライアッシュを用いたコンクリート圧縮強度
電化普通ポルトランド(細粒)と、A会社製フライアッシュを用いた。
粗骨材の最大寸法=25 mm; スランプ=6 cm, 空気量=4.1%



くらべて、ポジリスを用いて単位セメント フライアッシュ量を10% 減じたものは、高温度養生の場合の長期強度は特にすぐれている。

(1) および (2) に述べた研究結果を通覧すると、

(i) 養生温度が高い場合にはフライアッシュの適當量でセメントの一部を置き換えるのが有利であって、フライアッシュをダム コンクリートその他マスコンクリートに用いることは、硬化熱を緩和し工費を減ずるのみならず長期強度の増進にも有効であり、このようなコンクリートには良質のセメント分散剤を適当に用いるのが有利であること、(ii) マスコンクリートばかりでなく、高温度養生を行なうコンクリート製品等にはフライアッシュを適当に用いることが有利となる場合があること、(iii) フライアッシュでセメントの一部を置き換えることは、養生温度が低い場合には、強度が小さくなるので、一般に適当でない。

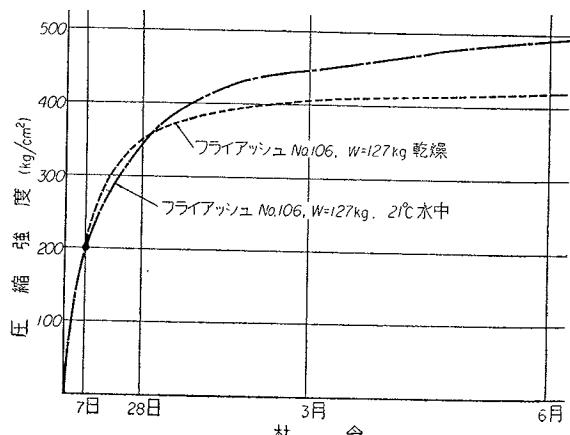
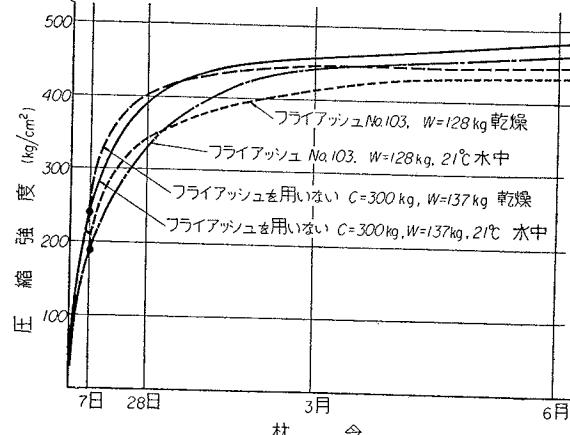
2. 養生中の湿度がフライアッシュを用いたコンクリートの強度におよぼす影響

(1) 第3回の共通試験におけるセメント(表-10 参照)と No.103 および No.106 のフライアッシュ(表-8 参照)とによる、粗骨材の最大寸法=25 mm, $C+F=300 \text{ kg}$, $F/C+F=25\%$, 空気量=4.5%, スランプ=5 cm のコンクリートを用いてつくった供試体を7日間 21°C の水中で養生したのち、温度 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 湿度 $75 \pm 10\%$ の室内に放置して乾燥し圧縮強度を試験した結果は 図-6 のごとくであった。

乾燥によって最初は強度は増加するが、約1月以後には、いずれも、水中養生を連続したものより弱くなる。乾燥した場合の強度とフライアッシュを用いないコンクリートを乾燥した場合の強度との比は、No. 103 のフ

図-6 21°C の水中で養生したコンクリートを材令
7 日から室内で乾燥した場合の圧縮強度

粗骨材の最大寸法 25 mm, 単位セメントフライアッシュ量 ($C+F$)=300 kg, フライアッシュによるセメントの置き換え率 ($F/C+F$)=25%, 空気量=4.5%, スランプ=5 cm, 乾燥した室内的温度は $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 湿度は $75 \pm 10\%$



ライアッシュの場合も No.106 の場合も全く同じであって、乾燥期間 1 月以内においては、乾燥を行なう前におけるこれらの強度の比と同様である。これは、初期に十分に養生すれば、その後の乾燥によって強度の変化する程度はフライアッシュを用いないコンクリートの場合と大差無いことを示すものである。しかし、硬化の初期における養生が不適当である場合には、フライアッシュを用いたコンクリートの強度はこれを用いないコンクリートより相当に劣るものと思われる。

乾燥期間が 3 月以上にわたった場合の強度の増加が、フライアッシュを用いたコンクリートの方がいくぶんいちじるしいのはフライアッシュを用いたものの方が乾燥しやすかったことによると思われる。

(2) 第 2 回共通試験におけるセメントと No.5 および No.6 のフライアッシュとを用い 1. (1) に述べたと同じ配合のコンクリートで供試体をつくり、材令 7 日まで 21°C の水中で養生したのち、供試体を温度 21±1°C、湿度 75±5% の室内に放置し所定の材令において圧縮強度を試験した。また、材令 28 日および 3 月まで 21°C の水中で養生した供試体についても全く同様の試験を行なった。これらの結果は 表-12 のようであって、

(1) に述べたと同様に、乾燥による強度の増加はフライアッシュを用いないものと同程度であり、強度の増加がフライアッシュの種類によって相違するとは認められない。これは急速に乾燥したため、乾燥期間内におけるセメントの水和が、短期材令で乾燥し始めた場合をのぞけば、あまり起こらなかったことを考えれば当然である。表-12 には乾燥した供試体を 1 日間 10°C の水中へ浸したのちに試験した場合の強度も示してあるが、水中へ浸す前の強度よりも相当に小さくなっているのである。

表-12 フライアッシュを用いたコンクリートを所定の材令まで水中養生したのち、室内に放置して乾燥した場合の圧縮強度

フライアッシュに よるセメント置き換 え率(F/C+F) (%)	コンクリートの配合			室内で乾燥した供試体の圧縮強度 (kg/cm ²) および強度の比												乾燥した供試体を 10°C 水中に 1 日 間浸したのちの圧 縮強度 (kg/cm ²) および強度の比
	単位セメント 量(C+F) (kg)	単位水量 (kg)	スランプ (cm)	材令 7 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で養生 したもの		
	材令 7 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 7 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 28 日 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	材令 3 月 まで 21°C 水 中で乾燥し たもの	
No. 5	25	300	145	7 110 (0.78)	201 (0.79)	252 (0.82)	289 (0.82)	352 (0.83)	378 (0.89)	402 (0.96)	427 (0.97)	441 (0.98)	173 (0.76)	319 (0.88)		
No. 6	25	300	151	6.5 105 (0.74)	190 (0.75)	226 (0.74)	275 (0.78)	346 (0.81)	358 (0.84)	392 (0.94)	420 (0.96)	438 (0.97)	166 (0.73)	311 (0.86)		
用いない	0	300	160	6.5 142 (1.00)	254 (1.00)	306 (1.00)	353 (1.00)	426 (1.00)	424 (1.00)	418 (1.00)	439 (1.00)	450 (1.00)	228 (1.00)	361 (1.00)		

備考：コンクリートを放置した室内は、温度 21±1°C、湿度 75±5% であった。

以上に述べた実験は、直径 10 cm、高さ 20 cm の小型シリンダーによるもので、フライアッシュでセメントの一部を置き換えたコンクリートでも、初期に十分に養生すれば、以後の乾燥によって圧縮強度はある程度まで増加し、その増加の程度はフライアッシュを用いないコンクリートと同程度であるという結果になっている。しかし乾燥しやすいコンクリート部材では、乾燥した部分に引張応力が起り、これによってひびわれを生ずることが考えられるから、このような部材のコンクリートにフライアッシュを用いる場合には、特に養生を入念に行なうとともに、コンクリートの配合は養生を終った時期における強度を基準として定めるのが適当であると思われる。

第 5 章 緒論

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強度におよぼす影響を、合計 10 種のフライアッシュを用いたコンクリートについて実験した結果、実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

(1) コンクリートの強度は養生温度によって相違し、高温度の場合には、短期強度は大きいが、長期における強度の増加はあまり認められないであって、この傾向は養生温度の高いほどいちじるしい。セメントの適当な量をフライアッシュで置き換えるれば、長期強度におよぼす高温度のこの悪影響は緩和され、30°C 程度の温度においては比較的短時間内に、フライアッシュを用いないコンクリートより強くなる。たとえば、C+F=290 kg, F/C+F=25% として通常の AE 剤を用いたコンクリートは 21°C 水中養生の場合には材令 3 月以後において C=290 kg のコンクリートより強くなり、30°C 水中養生の場合には材令 1 月以内においてすでに C=290 kg のコンクリートより強くなった例がある。

従ってフライアッシュをダムコンクリートその他のマスコンクリートに用いることは工費を減じ硬化熱を緩和するのみならず、長期強度の増進にも有利である。

(2) コンクリートの長期強度におよぼす高温度の悪影響がフライアッシュによるセメントの置き換えによって緩和される程度は、セメントおよびフライアッシュの品質ならびに単位量によって相違するのは当然であり、単位セメント量が多いほどいちじるしくなる。フライアッシュのこの効果は実験した8種のフライアッシュの中の7種においてはほぼ同様であったが、1種だけは高温度の場合の長期強度の増進にあまり寄与しなかったのである。

また、高温度がフライアッシュを用いたコンクリートの長期強度におよぼす影響は AE 剤によっても相違し、良質なセメント分散剤の使用が有効であると思われる。

(3) セメントの一部をフライアッシュで置き換えてつくったコンクリートを低温度で養生する場合には、特に長期材令まで温潤に保たれていない限り、一般に、強度は小さくなる。例えば $C+F=300 \text{ kg}$, $F/C+F=25\%$ のコンクリートを 10°C の水中で養生した場合、材令3月における強度は $C=300 \text{ kg}$ のコンクリートの強度の80%程度であった。

従って比較的低い温度においてフライアッシュを用いる場合には、セメントおよびフライアッシュの単位量、養生方法、等について慎重に考慮する必要がある。

(4) コンクリートを材令1日から湿度約90%の室内で養生したときの強度と、同じ温度の水中で養生したときの強度との比は、セメントの一部をフライアッシュで置き換えたものも、フライアッシュを用いないものも0.85~0.75となつた。また、戸外で養生したときの強度と戸外に置いた水中で養生したときの強度との比は、0.75~0.65となつた。この強度の比は、フライアッシュの種類に関せずほぼ同様となつたのである。

実験に用いた供試体が小型であるので、これらの結果は、そのまま構造部材のコンクリートに適用できるものではないが、これらの研究結果は、セメントの一部をフライアッシュで置き換えてつくったコンクリートを早期に乾燥させると、強度がいちじるしく弱くなることを示すものである。

なお、フライアッシュを用いたコンクリートを、打込んだ初期に 21°C の水中養生を1週間以上続けたと同程度に、十分に養生した場合には、以後の乾燥によって起こる強度の変化は、これと同様に養生して乾燥したフライアッシュを用いないコンクリートにおける強度の変化と同等であることが認められ、また、乾燥が強度におよぼす影響は4種のフライアッシュにおいてほとんど同程度であった。

(5) 比較的に乾燥しやすい部材のコンクリートにフライアッシュを用いる場合には、単位セメント量・単位フライアッシュ量・等コンクリートの配合は、部材のコンクリートに類似する状態で養生した供試体における強度試験結果を基準として定めるべきものであり、この強度試験は部材の養生が終ると思われる材令で行なうのが適当である。
