

各種混和材を混合したアルミナセメントを用いたコンクリートの
ワーカビリティーならびに圧縮強度について

法政大学 正員 小林正凡
東京大学 正員 岡本下 旭

ま え が き

ポルトランドセメントを一般の土木構造物に用いる場合には、コンクリートの品質を改善するため良質なフライアッシュを混用することがすすめられており、これによつてコンクリートのワーカビリティーが改善されること、長期使用における強度および水密性が増大すること、経済的となること、などが実験的にもまた施工実績においても確かめられている。

しかし、従来アルミナセメントにおける混和材料の混用は好ましくないとされており、したがつてこの種の研究報告はあまり多くはない。この報告は、混和材の種類、混入方法および粉末度の相違がコンクリートのワーカビリティーおよび圧縮強度におよぼす影響について述べ、アルミナセメントに混和材を混用することの適用性について論じたものである。

混和材として、フライアッシュ、ゲイ砂粉およびガラス粉を用いた。フライアッシュは東京電力 K K十筆火力発電所より採取したものである。ゲイ砂粉は京都府網野産の砂を粉砕したものであり、ガラス粉はゲイ酸カルシウムソーダ系ガラスを微粉としたものである。これらの粉末度は 3/20~3/70 である。またフライアッシュを粉砕して 44μm 以下を 16% から 1% 以下に下げ、比表面積を 3610 cm^2/g としたのも用いた。このほかアルミナセメントのフリッカーにフライアッシュあるいはゲイ砂粉を混合して、粉末度がアルミナセメントと同程度となるまで粉砕したものも使用した。

アルミナセメントはロータリーキルンによる焼成法で製造されたものを使用した。これらの物理試験および化学分析試験の結果は表-1 および表-2 に示すようであった。

表-1 試験に用いたセメントの試験成績

アルミナセメント	物理的性質										化学成分 (%)					
	粉末度		凝結		引張		圧縮		比重		Tg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
	80μm (%)	44μm (%)	水量 (%)	指数 (秒)	5分 (秒)	10分 (秒)	1分 (秒)	5分 (秒)	1分 (秒)	比重						
A-1	0.5	39.00	28.0	6-54	7-25	228	84.0	50	305	1.3	3.7	52.4	5.2	33.9	1.1	
A-2	2.0	31.80	-	8-22	9-09	236	62.6	41.9	30.9	0.0	4.6	50.7	8.8	32.9	0.3	
AF*	2.0	33.60	-	5-57	6-28	247	51.9	40.8	29.3	0.2	15.6	46.4	7.3	27.5	0.3	
AK**	3.0	29.60	-	4-27	4-49	216	51.4	32.9	29.8	0.2	22.3	43.0	6.4	25.3	0.6	

* A-2に用いたフリッカーとフライアッシュを70:30の重量比で混合粉砕したものを示す。

** A-2に用いたフリッカーとゲイ砂を85:15の重量比で混合粉砕したものを示す。

表-2 試験に用いた混和材の試験成績

混和材	比重	粉末度			化 学 成 分 (%)							備 考
		80μm	44μm	比表面積	Tg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
		%	%	cm ² /g								
フライアッシュ-F-1	2.17	3.0	16.0	317.0	0.7	54.5	29.3	5.2	8.3	1.9		
フライアッシュ-F-2		0.0	1.0	361.0								
ゲイ砂粉	2.60	7.0	-	337.0	0.5	69.3	4.5	1.5	-	-	F-1を粉砕	
ガラス粉	2.52	2.0	-	312.0	-	70.0	-	-	13.0	-		

試験に用いた骨材は富士川産のものである。細骨材の比重は2.63で粗骨材率は29.0であった。また粗骨材の最大寸法は25mmで比重は2.66、粗骨材率は68.5であった。

1. 各種混和材がアルミナセメントコンクリートのワーカビリティーにおよぼす影響について

各種の混和材を用いた場合について、それぞれ単位セメント・混和材量を350gとし、5~7cmの

スラングをうるに必要な単位水量を求めて比較した結果は表-3に示すごとくであった。この結果によれば、所要のコンシステンシーをうるに要する単位水量は、これらの混和材を使用することによって低減することが示されている。すなわち、単位水量は混和材を用いない場合には147 kgであるのに対し、アルミナセメントの15%および30%をフライアッシュでおまかえた場合には、143.5 kgおよび140 kgであって用いない場合の98%および95%となっている。またゲイ砂粉およびガラス粉を15%用いた場合には、それぞれ142.5および141 kgであって、用いない場合の97%および96%であった。フライアッシュをアルミナセメントの一部におまかえて用いた場合、コンクリートの所要単位水量が低減する割合は、ポルトランドセメントについて行われた既往の研究結果と同程度であることが認められる。

ゲイ砂粉およびガラス粉においても、これと類似した効果を示された。なおこれらの混和材を用いても実用上問題となるような異常凝結は認められず、コンクリートはプラスチックとなり水の分離も減少することが認められた。

表-4は、粉末度の相違がアルミナセメントコンクリートのワーカビリティにおよぼす影響を確かめるために行った試験結果である。この結果によれば、フライアッシュを粉砕して使用しても所要のコンシステンシーをうるに要する単位水量はほとんど変化しないことが認められた。粉砕したフライアッシュを用いた場合には、粉砕しないものにくらべてコンクリートはプラスチックになりワーカビリティがいろいろしく改善された。

表-5は、フライアッシュをコンクリートの練り混ぜ時に混入して使用した場合と、フリンカーに混ぜて粉砕したものについて、単位セメント・フライアッシュ量を350 kgとし、4~5 cmのスラングをうるに要する単位水量を求めて比較したものである。これによれば、コンクリートの所要単位水量はいずれの場合も同じであった。

2 各種の混和材がアルミナセメントコンクリートの初期状態における圧縮強度におよぼす影響について

混和材を用いたアルミナセメントコンクリートの初期状態における圧縮強度の試験結果は、表-3

表-3 各種混和材を混入したアルミナセメントコンクリートのワーカビリティおよび圧縮強度試験結果

混和材		単位水量	スラング	圧縮強度									
種類	配合率			5時		24時		7日		28日			
	%			kg	kg	%	cm	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	
用いない	0	350	147	100	6.9	2.9	100	5.0	100	5.6	100	6.0	100
フライアッシュ	15		143.5	98	6.9	1.9	73	5.0	100	5.4	97	5.9	99
	30		140	85	4.5	2.5	11	5.2	100	5.8	103	6.3	101
ゲイ砂粉	15		142.5	97	5.6	2.5	17	4.9	99	5.8	104	6.1	103
ガス粉	15		141	96	8.0	1.9	77	5.4	109	5.6	101	5.9	99

- (注) ① セメントはA-1を使用した。
 ② コンクリートの練り上がり温度は15~17℃であった。
 ③ 供試体は、24時まで15~17℃の室内で養生し、以後試験機内で21℃の水中で養生した。

表-4 粉砕フライアッシュを用いたアルミナセメントコンクリートに関する試験結果

フライアッシュ				単位水量		スラン		圧 縮 強 度					
種 類	粉末度	3500目	5 時					24 時		3日			
	比表面積 cm ² /g	440目 %	%	Kg	%	cm	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	
粉 砕 し な い フ ラ イ ア ッ シ ュ	3310	-	0	149	100	5.5	2.4	100	4.9	100	5.3	100	
粉 砕 し た フ ラ イ ア ッ シ ュ	3610	24	30	142	85	5.8	8.9	32	4.3	87	4.7	90	
粉 砕 し た フ ラ イ ア ッ シ ュ	3610	1		142	84	4.0	20.3	74	4.2	85	4.5	84	

- (注) ① セメントはA-1を使用した。
 ② 単位セメント・フライアッシュ量は350 kgであった。
 ③ コンクリートの練り上がり温度および養生温度は21℃であった。

表-4 および表-5に示すごとくであつた。これによれば、找令5時間の圧縮強度は、混和材の種類とそのおまの文率および粉末度によつてかなり相違していることが認められる。

表-5 混和材の混入方法が異なるコンクリートのワーカビリティおよび圧縮強度試験結果

すなわち 表-3において、混和材のおまの文率を15%とした場合の圧縮強度は、フライアッシュ、ゲイ砂粉およびガラス粉ではそれぞれ159, 257, 169 kg/cm^2 であつて、これをを用いないものの29 kg/cm^2 にたいしそれぞれ73%, 117% および77%となつてゐる。

またフライアッシュを30%おまの文率としたものは29 kg/cm^2 であり、これをを用いないものの11%であつた。(しかし、找令24時間以後における圧縮強度は、いずれも混和材を用いない場合の強度の97~109%であつて、まったく同等となつてゐる。

このように、找令24時間以後において混和材の効果は顕著となる理由については検討中であつて明確なことはいいがたいが、セメント粒子によつて構成されるブロック構造の中に、鉱物質微粉末が進入するために生ずる物理化学的効果 その他によると思われよう。

表-4は、フライアッシュを微粉砕したものについて行つた圧縮強度試験結果を示したものである。これによれば、フライアッシュを粉砕し微粉末にすることにより找令5時間の強度は粉砕しないものより大きいことが認められる。

表-5はフライアッシュおよびゲイ砂粉をコンクリートの練り混ぜ時に混入した場合と、フリーに混ぜて粉砕したものについて行つた圧縮強度試験結果である。これによれば、フライアッシュを粉砕して使用しても圧縮強度はほとんど影響されないことが認められた。

混入の方法	種類	おまの文率		単位水量		スランプ		圧縮強度					
		%		kg		%		5時		24時		7日	
		0	10	kg	%	cm	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%
-	-	0	143	100	4.8	120	100	4.85	100	4.93	100	4.93	100
練り混ぜ時に混入した場合	75AF732	30	141	99	4.5	16	13	4.86	99	4.89	96	4.89	96
	75砂粉	15	150	105	4.6	108	90	4.00	81	4.66	79	4.66	79
フリーに混ぜて粉砕した場合	75AF72	30	141	99	4.0	43	36	4.47	90	4.64	95	4.64	95
	75砂粉	15	150	105	4.6	129	107	4.12	83	4.64	102	4.64	102

(註)①粉砕はドラム型試験機である。

②セメントは A-2 を使用した。

③混合セメントは AF, AK (表-2) である。

④コンクリートの練り混ぜ温度および養生温度は21℃であつた。

3. フライアッシュの混入がアルミナセメントコンクリートの長期強度におよぼす影響について

水セメント比を0.40とし、フライアッシュのおまの文率を0%, 10% および20%に変化させ、それぞれのスランプリを5.1cmとしたコンクリートについて找令2年までの圧縮強度試験を行つた。コンクリートは練り上がり温度を21℃に保つとともに找令7日まで21℃の水中で養生し、以後試験の時期まで21℃水中、屋外、温度20℃湿度50%の恒温湿室に保存した。

試験の結果は表-6に示すようであつて、找令7日においてはフライアッシュのおまの文率0%, 10%, 20%のいずれの場合にもコンクリートの圧縮強度はまったく同等で50/〜53/ kg/cm^2 であつた。屋外養生の場合、找令1年までの強度はフライアッシュを用いたものも、用いないものも找令7日における強度と同程度であるが、找令2年ではやや低下している。すなわち 找令2年の強度はフライアッシュのおまの文率0%, 10%, 20%の場合、それぞれ422, 477, 478 kg/cm^2 であり、找令7日強度の80, 95, 95%であつて、フライアッシュを用いた場合の強度低下は5%にとどまつてゐる。

一方コンクリートを恒温室で乾燥させた場合の找令1年までの圧縮強度はフライアッシュを用いた場合にはほとんど変化しないが、これをを用いないものではかなり低下した。找令2年においては、

いずれの場合も圧縮強度は低下したか低下する割合は、フライアッシュのおまかせ率が小さいものほど大きかった。

またの水中で養生した場合には、フライアッシュを用いたコンクリートにおいても、またこれを用いないものにおいても、概ねともに強度は増進すると思われる。

アルミナセメントを用いたコンクリートの長期性能における強度低下について検討するため、概ね2年間の試験結果を、表-6. フライアッシュを混入したアルミナセメントコンクリートの長期性能における圧縮強度試験結果

試験回数 折試験を 行った。 試験は上 記の屋外	フライアッシュ の おまかせ率	単位セメント フライ アッシュ量	単位 水量	圧 縮 強 度											
				水中養生				屋 外 養 生				空 内 養 生			
				7日		6月		1年		2年		6月		1年	
				kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
	0	375	150	53/100		53/100		52/93		42/80		49/94		48/91	
	10	369	1475	503/100		54/93		60/91		47/85		55/110		51/101	
	20	352.5	141	501/100		51/94		-		47/85		54/117		52/104	

養生および恒温室養生を行ったコンクリート試験体から採取したものであって、フライアッシュのおまかせ率を20%としたものと、これを用いないものの2種である。

X線回折試験では、試験の性質上明確にはいいがたいが、屋外に養生した場合、フライアッシュを用いないものは CaH_2O 、 CaH_2O のほかに CaH_2O も存在することがわかったが、フライアッシュを用いたものでは CaH_2O が認められなかった。また恒温室で養生した場合、フライアッシュを用いたコンクリートでは、転移した場合の結晶物が検出されなかったのである。表-6に示す試験結果で、フライアッシュを用いた場合に、長期性能における圧縮強度が減少していかないのはこの理由によると思われるが、これについてはなお研究を続けている。(ここで $C=CaO$, $A=Al_2O_3$, $H=H_2O$)

4. 考察

本実験の範囲内でつぎのことが言えると思われる。

- (1) 適当な粉末度を有する良質な混和材を用いればコンクリートのワーカビリティは改善されるので初期強度の低下がいくぶんしくならない範囲で混和材を適用することは有利である。
- (2) 混和材のおまかせ率を15~30%としたコンクリートの性能と時間における圧縮強度は、混和材の種類および粉末度によってかなり相違するが、性能24時間以後では大差がない。
- (3) アルミナセメントを用いたコンクリートは、短期性能においていくぶん高い強度を示すが、乾燥する状態にさらしておくとき長期間には相応の強度低下が起る。しかし一般の土木構造物のコンクリートが長期間に乾燥されることはあり得ないことを考慮すると、良質のフライアッシュを適当に用いれば、アルミナセメントコンクリートの長期性能は実用上問題にする必要はないと思われる。
- (4) フライアッシュの適当なおまかせ率は、コンクリートの配合、初期強度、その他によって定まるべきものであるが一般に10~15%程度が適当である。

謝辞

この研究を行うに際し、東京大学教授・国分正樹先生より終始ご懇篤なるご指導を賜わり、また東京大学コンクリート研究室の方々には多大のご援助を戴いた。謹しんでお礼申し上げます。