

フライアッシュ高含有コンクリートに関する研究

琉球大学 工学部土木工学科 学O 富山 潤

正 和仁屋 晴謔

正 伊良波 繁雄

1. はじめに

近年、エネルギーとして石炭資源の利用が電気事業を中心に見直されてきており、その副産物であるフライアッシュの量も増加している。現在我が国の電気事業における石炭灰発生量の約半が発電所構内の埋め立て等に利用されている。今後、石炭資源利用の増加に伴い石炭灰の処理方法が問題になる。将来的には大規模な処理場を確保するのは容易ではない。筆者らはフライアッシュの有効利用に関する研究を継続しているが、今回はフライアッシュをコンクリート中に50%まで含有したときのフライアッシュがコンクリートに与える基礎的影響に関する検討を行った。

2. 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント（琉球セメント産）。

フライアッシュ：沖縄県産フライアッシュ。その性質を

表-1に示す。

細骨材：砕砂 粗骨材：砕石 骨材の性質を表-2に示す。

混和剤：表-3に使用した混和剤とその主成分を示す。

3. 実験方法

まず、フライアッシュの諸性質を知るためにJISに準拠して試験を行った。

予備実験としてフライアッシュ・混和剤がフライアッシュコンクリートに与える影響を知るために実験計画法に基づきL₉(3⁴)直交表により、表-4の様な3因子3水準のフライアッシュコンクリートのスランプ、空気量及び圧縮強度について検討を行った。また、ベースコンクリートと比較したフライアッシュコンクリートの長期材令圧縮強度の比較検討を行った。

4. 配合・練り混ぜ方法・供試体作成及び養生方法

配合はフライアッシュをセメント一部代替して、スランプ10cm、空気量5%を目標に行った。練り混ぜ方法は図-1に示す方法で行った。表-5に配合表を示す。圧縮試験用としてφ10×20cmの供試体をスランプ・空気量試験と並行して作製した。養生方法は、20±3℃の水中養生とした。

表-1 フライアッシュの物理的・化学的性質

試験項目		品 質
灰 分	(%)	0.1
灰 融 点	(%)	3.0
二酸化珪素	SiO ₂ (%)	61.1
アルミナ	Al ₂ O ₃ (%)	27.8
酸化鉄	Fe ₂ O ₃ (%)	4.5
酸化カルシウム	CaO (%)	1.7
酸化マグネシウム	MgO (%)	1.0
可溶性アルカリ	Na ₂ O (%)	0.2
	K ₂ O (%)	0.7
物 質	比 重	2.23
容 積	堆積密度 (ブレン方法) (cm ³ /g)	3520
性 質	単位重量 (%)	92
	28日	84
	91日	98

表-2 骨材の物理的性質

	最大寸法	F _M	比 重	吸水率
粗骨材	20mm	6.67	2.71	0.73%
細骨材	—	2.65	2.63	1.32%

表-3 混和剤の主成分

混和剤	名 称	主 成 分
AE減水剤 (標準型)	PZ	リグニンスルホン酸化合物 及び ポリオール親合体
高性能AE減水剤	MT	特殊オニオン系界面活性剤
	FP	オキシカルボン酸系界面活性剤
フライアッシュコンクリート用 AE剤	FA	オニオン系 及び ノニオン系界面活性剤

表-4 因子と水準

因子 (記号)	水準番号	1	2	3
FL置換率 (A)		30%	40%	50%
AE剤 (B)		10cc/kg	12.5cc/kg	15cc/kg
減水剤種類 (標準使用量)		MT (15cc/kg)	FP (10cc/kg)	PZ (3.5cc/kg)

FL：フライアッシュ

表-5 配合表

供試体番号	W/C (%)	S/a (%)	F/F+O (%)	減水剤 (%)	W (kg)	C (kg)	FL-Ash (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	減水剤 (cc)	AE剤 (cc)
FB-1-7	55	41.3	0	0	185	320	0	815.3	1030	4500	2100
FB-1-8	82.5	45	40	10	148.5	180	120	817	1030	1650	3000
FB-1-9	70.7	45.3	30	10	148.5	210	90	827.4	1030	1650	4500
FB-2-0	99	44.7	50	10	148.5	150	150	806.6	1030	3000	3000
FB-2-1	70.7	45.3	30	10	148.5	210	90	827.4	1030	4500	3000
FB-2-2	99	44.7	50	10	148.5	150	150	806.6	1030	1650	3750
FB-2-3	82.5	45	40	10	148.5	180	120	817	1030	3000	4500
FB-2-4	70.7	45.3	30	10	148.5	210	90	827.4	1030	3000	3750
FB-2-5	82.5	45	40	10	148.5	180	120	817	1030	4500	3750
FB-3-0	82.5	45.7	0	0	185	320	0	815.3	1016	4500	2100
FB-3-3	73.1	45.6	30	7	153.5	210	80	828	1016	4500	3000
FB-3-4	84.3	45.5	40	8	151.8	180	120	821.9	1016	4500	3800
FB-3-5	101.9	45.1	50	9	151.8	150	150	811.9	1016	4500	4200

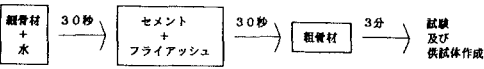


図-1 練り混ぜ方法

5. 実験結果及び考察

5. 1 L₉(3⁴) 直交表による解析結果

表-6に分散分析表、表-7に有意な因子について母平均の推定値を示す。

a) スランブについて

A因子の効果：フライアッシュ置換率が増加するほどスランブ値が大きくなる。

B因子の効果：AE剤量についてはスランブ値に対して適量があるかもしれない。

C因子の効果：フライアッシュコンクリートには減水剤PZの効果は期待できないようである。

b) 圧縮強度について

A因子の効果：フライアッシュ置換率が増加するに伴い圧縮強度（一週間強度・四週間強度）はほぼ直線的に減少している。

表-7 母平均の推定値

因子	A	B	C
スランブ			
1	3.82(cm)	4.32(cm)	6.42(cm)
2	6.05(cm)	6.08(cm)	7.77(cm)
3	6.32(cm)	5.78(cm)	2.00(cm)
1W	281.1(kg/cm ²)	257.4(kg/cm ²)	218.4(kg/cm ²)
4W	419.5(kg/cm ²)	391.0(kg/cm ²)	357.6(kg/cm ²)

1w：一週間強度 4w：四週間強度

表-8 分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	F値
スランブ				
A	11.300	2	5.650	118.32** (0.008)
B	5.822	2	2.911	56.15* (0.018)
C	0.004	2	0.002	0.04 (0.962)
誤差	0.00125	2	0.000625	
計	17.125	8		
圧縮強度				
A	0.007356	2	0.003678	0.65 (0.532)
B	1.5878	2	0.7939	1.08 (0.347)
C	0.0004	2	0.0002	0.00 (0.999)
誤差	1.0142	2	0.5071	
計	15.003	8		
一週間強度				
A	14002	2	7001	48.36* (0.002)
B	2360.8	2	1180.4	7.76 (0.016)
C	515.91	2	257.95	1.90 (0.145)
誤差	297.67	2	148.83	
計	18216	8		
四週間強度				
A	13210	2	6605	42.04* (0.002)
B	1778	2	889	4.91 (0.033)
C	1053.3	2	526.65	3.18 (0.134)
誤差	341.85	2	170.92	
計	15332	8		

5. 2 材令と圧縮強度

フライアッシュコンクリートは、一般に初期強度が低いと言われているが、この実験でも表-8, 9に示すように7日強度の場合はフライアッシュ置換率が増加するに伴いベースコンクリートに対する強度比は、置換率30%で74%、40%で65%、50%で51%の強度しか出ていない。これはフライアッシュコンクリートを利用する上で、最も検討すべき問題である。しかし、91日強度では置換率30%で99%、40%で91%、50%でも82%の強度が出ている。強度増進率（一週間強度に対する強度比）だけ見てみると置換率が増加するほど、材令が経過するほど大きくなっている。これより、フライアッシュコンクリートは、今後かなり強度の伸びが期待できそうである。

表-8 材令と圧縮強度及び強度増進率

供試体名	0	圧縮強度(kg/cm ²)				一週間強度に対する比			
		7日	28日	56日	91日	7日	28日	56日	91日
FE-32(0%)	0	292.5	387.1	483.1	424.8		1.32	1.38	1.45
FE-33(30%)	0	217.9	340.8	390.9	422.3		1.57	1.75	1.95
FE-34(40%)	0	180.8	308.2	363.3	387.5		1.62	1.91	2.04
FE-35(50%)	0	148.2	266.7	306.7	347.8		1.80	2.07	2.34

表-9 ベースコンクリートに対する圧縮強度比

供試体名	7日	28日	56日	91日	91日
FE-32	100	100	100	100	100
FE-33	74	88	94	99	
FE-34	65	80	90	91	
FE-35	51	69	76	82	

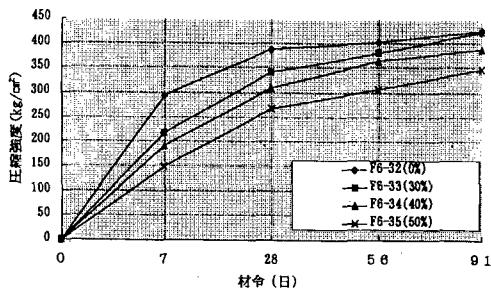


図-2 材令と圧縮強度

5. 3 静弾性係数と動弾性係数

ここで静弾性係数とは、破壊強度の1/3に相当する応力点で求めた割線係数である。表-10に弾性係数を示す。初期材令においてはベースコンクリートに対してフライアッシュ置換率が増加するに従い静弾性係数は低くなる傾向にある。しかし、材令の経過とともにベースコンクリートに近づいている。動弾性係数については、静弾性係数ほど差はないようである。

表-10 静弾性係数と動弾性係数

供試体名	28日		56日		91日		180日	
	Ec3 (kg/cm ²)	Ecd (kg/cm ²)	Ec3 (kg/cm ²)	Ecd (kg/cm ²)	Ec3 (kg/cm ²)	Ecd (kg/cm ²)	Ec3 (kg/cm ²)	Ecd (kg/cm ²)
FE-32	356970	398607	401786	411609	382513	412075		
FE-33	336258	378167	376885	409492	396029	412224		
FE-34	316074	353089	366700	413111	383393	417051		
FE-35	286609	363801	323226	393352	356032	409305		

Ec3：静弾性係数 Ecd：動弾性係数