

[51] 各種フライアッシュー普通ポルトランドセメントー水系オートクレーブ養生

正会員 ○笠井 芳夫 (日本大学生産工学部)

正会員 松井 勇 (日本大学生産工学部)

長野 基司 (日本大学生産工学部)

正会員 嵩 英雄 (竹中工務店、技研)

1. はじめ

現在、オートクレーブ養生に使用されている材料には、石灰、シリカ、ポルトランドセメント、一部高炉水砕スラグなどがある。本論文は、シリカ分としてフライアッシュを用いたフライアッシュー普通ポルトランドセメントー水系のオートクレーブ養生に関する実験研究をとりまとめたものである。

シリーズⅠでは、2種のフライアッシュ FA、FBを用いてオートクレーブ養生条件を一定とし、フライアッシュ(F)と普通ポルトランドセメント(C)の割合を変えて実験し、強度からみた最適割合を求めた。シリーズⅡでは13種類の品質の異なるフライアッシュを用いて、オートクレーブ養生条件を変えて実験し、それらが強度におよぼす影響を明らかにした。

表-1 使用材料

種類	比重	粉末度	
		比表面積 (cm^2/g)	88ふるい 残分(%)
フライアッシュFA 電発フライアッシュ竹原事業所	2.27	4,620	4.00
フライアッシュFB 電発フライアッシュ高砂事業所	2.26	3,740	0.80
普通ポルトランドセメント 日本セメント(株)	3.14	3,420	1.00

2. フライアッシュー普通ポルトランドセメントー水(F-C-W)系の割合を変えた実験(シリーズⅠ)

オートクレーブ養生による最適割合を求めるため、フライアッシュ(F)と普通ポルトランドセメント(C)の混合割合を $F:C=0:100$ から $90:10$ と変えてオートクレーブ養生を行った。

2.1 実験方法

(1) 使用材料

使用材料を表-1に示す。フライアッシュは、粉末度の異なる2種類(F A、F B)を用いた。セメントは、普通ポルトランドセメントを用いた。

(2) 割合

フライアッシュと普通ポルトランドセメントの割合を表-2に示す。 $W/(F+C)$ は、フロー値が 180 ± 10 となるように定めたため、フライアッシュの量が多くなるに従い、 $W/(F+C)$ は大きくなっている。

表-2 割合表(重量比:フロー値 180 ± 10)

フライアッシュ [F] (%)	普通ポルトランド セメント [C] (%)	$W/(F+C)$ (%)
0	100	28.0
10	90	30.5
20	80	33.0
30	70	34.9
40	60	38.0
50	50	40.5
60	40	43.0
70	30	45.5
80	20	48.0
90	10	50.5

(3) 供試体の形状・寸法および成形方法

供試体の形状・寸法は、 $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ とした。フライアッシュと普通ポルトランドセメントを粉末の状態です定量計算し、V型混合機で30分間混合した。これをJIS R 5201(セメントの物理試験方法)に準じて、練り混ぜ、および成形した。

本実験では、供試体成形後直ちにオートクレーブ養生を行うため、成形後型わく上面を図-1に示す拘束鉄板により拘束した。

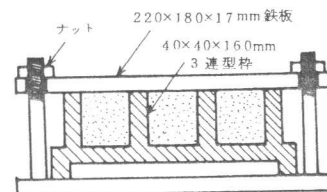


図-1 モルタル成形後の型枠の拘束断面図

(4) オートクレープ養生方法

供試体を拘束したのち、オートクレープ養生を行った。オートクレープ養生は、図-2に示すように200℃まで約5時間で昇温させ、200℃を8時間持続した。その後電源を切って常温になるまで約16時間放置した。

(5) 強度試験

オートクレープ養生終了後脱型し、直ちに圧縮強度および曲げ強度をJIS R 5201（セメントの物理試験方法）に準じて試験した。

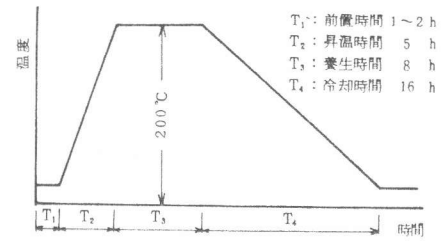


図-2 オートクレープ養生

2.2 結果および考察

F-C-W系硬化体の圧縮強度および曲げ強度を図-3(a)、(b)に示す。フライアッシュの混入率が0から50%までは、ほぼ一定の強度を示し、混入率が60%以上になると強度は急激に低下する。フライアッシュAは、F:C=0:100から50:50の範囲で、圧縮強度約500 kgf/cm²、曲げ強度約120 kgf/cm²を得た。フライアッシュBは、Aと同じ調合範囲で、圧縮強度約400 kgf/cm²、曲げ強度約100 kgf/cm²であり、Aに比し、強度がかなり小さかった。この理由としては、Aに比し比表面積が小さいためであろう。

F-C-W系に石灰(CaO)を内割で10%混入し、強度の増大を期待したところ、図中の■印に示すように強度の増加は認められなかった。

以上の結果、フライアッシュ-普通ポルトランドセメント-水系オートクレープ養生の最適調合は、フライアッシュを多量に使用するという観点から

F:C=50:50とした。

3. 各種フライアッシュのオートクレープ養生実験(シリーズII)

3.1 実験方法

(1) 使用材料

実験したフライアッシュは、JIS A 6201(フライアッシュ)規格外品6種類、規格品7種類、計13種類である。これらの品質試験結果を表-3に示す。

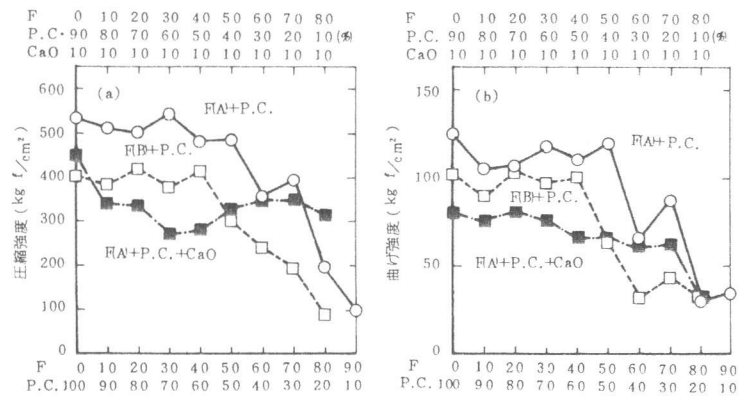


図-3 フライアッシュ-セメント-水系硬化体の強度

表-3 フライアッシュの品質試験結果

フライアッシュ No.	種 類		湿 分 (%)	強熱減量 (%)	SiO ₂ (%)	比 重	メチレンブルー 吸着量(mg/g)	粉 末 度		単位水量比 (%)	圧 縮 強 度 比			J I S の 合 否
								ブレン (cm ² /g)	88μ 残分 (%)		7 日	28 日	91 日	
1	規 格 外 品	仙台（東北）	0.2	7.2	79.2	1.96	0.69	1640	8.8	104	57	64	71	不 合 格
2		竹 原	0.3	9.2	59.3	2.05	1.47	2490	20.5	102	51	57	69	不 合 格
3		西 条 A	0.2	3.7	69.5	2.15	0.62	2490	8.6	101	59	63	88	合 格
4		新 宇 部 A	0.3	8.2	72.4	2.21	1.89	3990	7.7	102	60	68	74	不 合 格
5		下 関	0.4	2.7	56.8	1.96	0.46	測定不能	34.1	—	—	—	—	不 合 格
6		松 島 A	0.2	5.9	75.8	2.13	0.84	3360	8.0	100	58	64	75	不 合 格
7	規 格 品	勿 来	0.2	3.9	62.2	2.09	0.59	2810	12.8	98	59	67	81	合 格
8		高 砂	0.3	4.4	59.5	2.19	0.79	2850	13.0	98	69	77	84	合 格
9		西 条 B	0.3	3.8	68.4	2.20	0.68	3840	5.6	99	70	77	87	合 格
10		新 宇 部 B	0.2	3.0	73.3	2.28	0.46	4630	1.3	96	74	81	99	合 格
11		松 島 B	0.4	3.4	76.4	2.20	1.01	4360	1.2	96	70	78	90	合 格
12		常 盤	0.3	2.0	73.5	2.07	0.48	3380	3.7	—	—	—	—	—
13		北 電	0.2	1.2	64.2	2.08	0.24	3100	2.3	—	—	—	—	—
J I S 規 格			1 以下	5 以下	45 以上	1.95 以上	—	2400 以上	—	102 以下	—	60 以上	70 以上	—

セメントは、T社製普通ポルトランドセメントを用いた。

(2) 調合

調合は、 $F:C=50:50$ とし、フロー値 180 ± 10 となるよう水を加えて練り混ぜた。これらの $W/(F+C)$ を表-5に示す。

(3) 供試体の形状・寸法および成形寸法

供試体の形状・寸法および成形方法は、前項2.1(3)に準じた。

(4) オートクレーブ養生条件

オートクレーブ養生条件を表-4に示す。

(5) 強度試験

圧縮強度および曲げ強度試験は、前項2.1(5)に準じた。

3.2 結果および考察

圧縮強度および曲げ強度試験結

果を表-5に示す。

(1) フライアッシュ-普通ポ

ルトランドセメント-水 ($F-C-W$) 系硬化体の養生時間と強度との関係

$F-C-W$ 系硬化体を 180°C 、6、8、10時間オートクレーブ養生した圧縮強度および曲げ強度を図-4(a)、(b)に示す。

図-4(a)規格外品の圧縮強度は、養生時間が6時間から8時間まで、全般的に強度が増加する傾向を示す。曲げ強度も同様の傾向を示している。

図-4(b)規格品の圧縮強度は、養生温度が高くなるに従い急激に

表-4 オートクレーブ養生条件

昇温始間(h)	養生温度(°C)	養生時間(h)
3.5	160	8
4	180	6, 8, 10
5	200	8

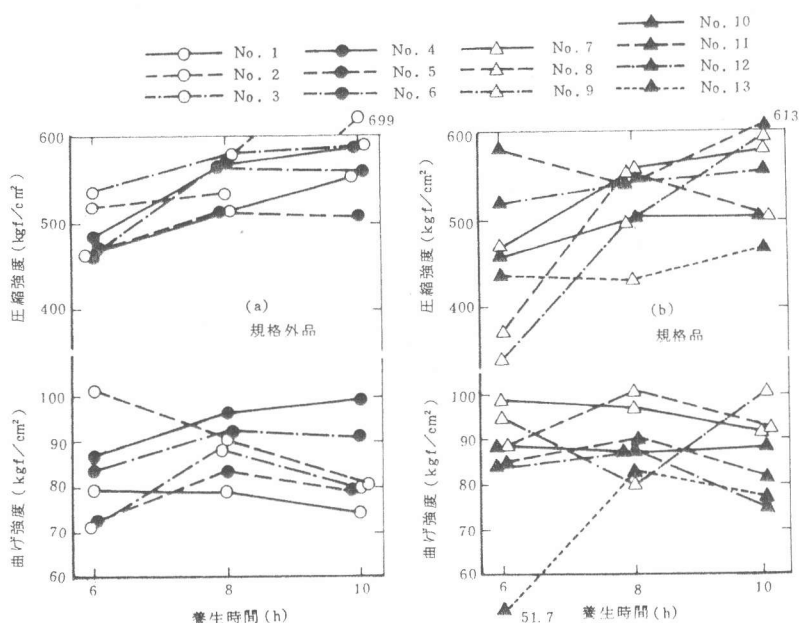


図-4 養生時間と強度との関係

表-5 強度試験結果一覧表

フライアッシュの No.	$W/(F+C)$ (%)	160°C-8h		180°C-6h		180°C-8h		180°C-10h		200°C-8h	
		圧縮強度 (kgf/cm^2)	曲げ強度 (kgf/cm^2)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	曲げ強度 (kgf/cm^2)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	曲げ強度 (kgf/cm^2)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	曲げ強度 (kgf/cm^2)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	曲げ強度 (kgf/cm^2)
1	3.8	42.2	6.29	46.4	7.93	51.5	7.90	55.5	7.44	61.0	7.17
2	3.2	47.4	7.50	51.9	10.15	53.5	9.07	69.9	8.07	63.9	8.08
3	3.6	46.6	7.50	53.6	7.11	57.9	8.85	58.9	8.01	64.7	6.90
4	3.6	50.9	8.03	48.4	8.68	56.9	9.64	58.8	9.96	65.0	7.61
5	3.4	33.0	5.84	46.5	7.30	51.3	8.37	50.8	7.96	53.4	8.80
6	3.6	47.1	5.78	46.9	8.35	56.3	9.27	56.0	9.13	63.7	7.17
7	3.3	47.1	5.91	46.8	9.86	56.2	9.70	58.3	9.15	67.1	8.06
8	2.8	49.6	7.36	37.2	8.84	55.6	10.07	50.7	9.27	70.2	10.74
9	3.5	52.1	5.97	33.8	9.46	49.9	8.01	59.9	10.95	67.5	11.87
10	3.4	51.5	5.98	45.8	8.86	50.6	8.73	50.6	8.85	61.0	9.30
11	3.6	52.4	5.97	58.1	8.53	54.2	9.00	61.3	8.17	70.3	11.89
12	3.2	49.8	6.74	51.9	8.42	55.3	8.74	56.1	7.49	67.6	10.99
13	3.0	46.6	6.71	43.6	5.17	43.3	8.29	47.1	7.72	56.3	10.33

大きくなるものや、それほど増加しないものがある。また曲げ強度は、養生時間が長くなるに従い若干低下するものもある。

(2) フライアッシュー普通ポルトランドセメントー水 (F-C-W) 系の養生温度と強度との関係

F-C-W系硬化体の養生温度と圧縮強度と曲げ強度との関係を図-5 (a), (b) に示す。

図-5 (a) 規格外品は、養生温度 160℃、180℃、200℃ と上昇するに従い、ほぼ同じ割合で圧縮強度は増加している。しかし、曲げ強度は養生温度 180℃ において最も高い強度が得られ、200℃ になると低下している。

図-5 (b) 規格品の圧縮強度は養生温度 160℃ から 180℃ までは増加が見られないが、養生温度 180℃ から 200℃ になると急激に大きくなる。また曲げ強度は、養生温度が高いほど大きくなっている。

(3) 各種フライアッシュの種類と強度

各種フライアッシュと普通ポルトランドセメントー水系の 160℃、180℃、200℃ 8 時間オートクレーブ養生硬化体の強度を図-6 (a), (b) に示す。規格外品フライアッシュのうち 1 と 5 は、圧縮強度が小さかった。

この理由の一つは、粉末度が小さいためと思われる。特に 5 の 200℃ 養生の圧縮強度は、著しく小さい。

規格品フライアッシュのうち 10、13 の圧縮強度は小さい。特に 13 の 200℃ 養生の圧縮強度は著しく小さい。

これらの原因についてフライアッシュの品質試験結果と対照し、検討したが、1 と 5 については、粉末度が小さいこと、10 と 13 については、強度試験ができなかったが、JIS 合格品と思われるので、理由がわからない。今後更に実験検討の必要がある。

4. まとめ

フライアッシュをオートクレーブ製品へ利用するため、フライアッシュー普通ポルトランドセメントー水系オートクレーブ養生の最適調合を求め、次に 13 種類のフライアッシュについて養生条件を変えて強度試験を行った。本実験の範囲で次のことが言える。

(1) F-C-W系オートクレーブ硬化体の最適調合は、F : C = 50 : 50 となった。

(2) 規格品フライアッシュは、養生温度を 160℃ から 180℃ と上げても圧縮強度の増加は見られないが、200℃ になると急激に大きくなり、養生温度 200℃ で規格外品に比し強度が大きい。これらの理由については更に検討を要する。

本実験研究は昭和 58、59 年度建設省総合技術開発プロジェクト建設事業への廃棄物利用技術の開発の一部として行ったものである。

参考文献 1) 笠井芳夫、高炉水砕スラグ石灰のオートクレーブ養生、昭和 59 年日本建築学会大会梗概集 (関東)
2) 笠井芳夫、近藤勝哉、スラグセッコウ石灰系セメントの強度に関する研究 1981 年 コンクリート工学年次講演会講演論文集

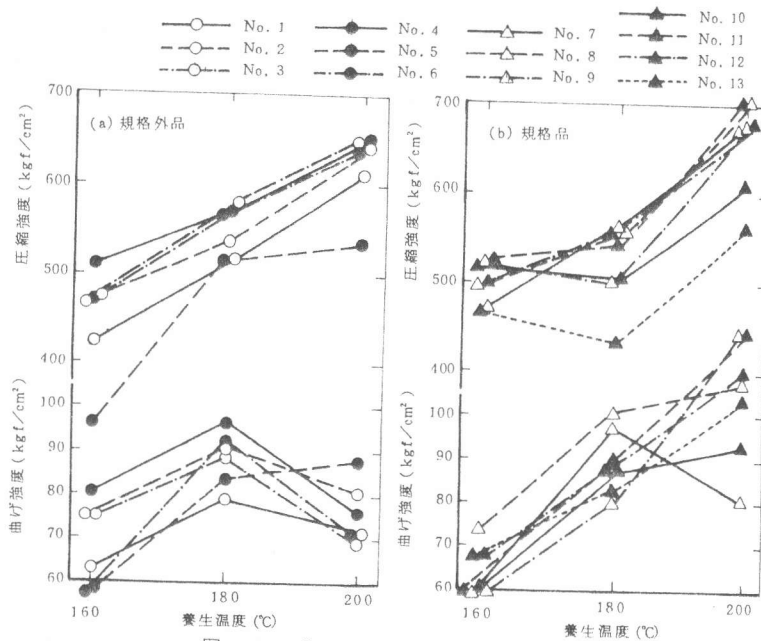


図-5 養生温度と強度との関係

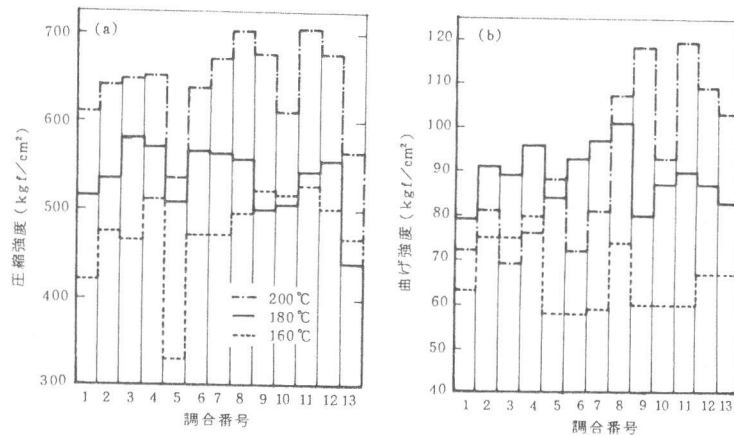


図-6 フライアッシュの種類と強度の関係