

岐阜大学工学部 正員 大浜文彦

岐阜大学工学部。正員 富田和政

1. まえがき

近年フレックドコンクリート工事において、高炉セメントが港湾構造物などで広く、普通ポルトランドセメントに代って使用される例がふえてきた。その理由として単価が安いこと、早期に強度を期待しなくてもよい構造物に適すること、耐久性に富むこと、発熱量が小さいことそして程和成としてフライアッシュなどを加えなくてもよい(しかし多くの施工例では高炉セメントにフライアッシュを添加している)ことなどがあげられる。

現在普通ポルトランドセメントを対象とし、モルタルの諸性質を示す多くの研究成果が紹介され、実際に有用な基礎資料として利用されているが、一方高炉セメントを用いたモルタルの諸性質を示す研究成果は余り紹介されていない。そのための高炉セメントをフレックド用モルタルに使用するさい適当な $S/(C+F)$ 、 W/C 、フライアッシュの添加の適否、 Al_2O_3 の量と膨張度との関係などがはっきりせず、そのつと問題となる事が多い。

本研究ではB種高炉セメント、B種高炉セメントにフライアッシュを加えたもの、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを加えたモルタルの諸性質の比較を行なった。すなわち流動性、保水性、膨張度、密度そして空気量の測定を行ない、B種高炉セメント使用の適否の検討を行なった。

2. 実験計画

実証的手段によって、ある情報をえようとするとき、データをもっとも有効に求めること、そしてどのように解析し、信頼できる判断をえるかが重要になってくる。本研究のように、高度の実験精度が期待できなく、採用した因子以外の条件が影響するとき、また規模が大きく、経時変化の考えられる場合特に有効な実験計画が必要となる。このような要求に答える一つの実験方法として、直交配列表を使用した実験計画法があり、本研究では L_{27} 直交配列表を使用した実験を大部分の実験に実行し先にはのべた問題点の検討を行なった。

本研究の実験をあけると次のようになる。

[1]流動性に関する実験

[2]保水性に関する実験

[3]密度および空気量に関する実験

[4]膨張度に関する実験

[1][2][3]は L_{27} 直交配列表を使用した実験を行ない、データは実験値と工程平均との比較よりデータおよび情報の信頼性を検討した。

3. 実験と結果

従来の報告より[1][2][3]の実験に影響を与える因子として次の因子を決定し、実用的範囲を考慮して各因子の水準を決定した。

表-1 実験[1] [2] [3]の因子と水準

因子	水準		
	第1水準	第2水準	第3水準
Aセメントの種類	A ₁ B種高炉セメント	A ₂ B種高炉セメント+フライアッシュ($E_{+F}=0.25$)	A ₃ 普通セメント+フライアッシュ+エド($E_{+F}=0.25$, $E_{+F}^{10}=0.01$)
B水セメント比(%)	B ₁ 48%	B ₂ 52%	B ₃ 56%
C砂セメント比(%)	C ₁ 1.0	C ₂ 1.25	C ₃ 1.5
D砂の粗粒率	D ₁ 1.6	D ₂ 1.8	D ₃ 2.0

表1に示す4因子間の交互作用を次の2つのグループに分け、実験[1]では両者を考慮し、実験[2][3]はグループ2のみを考慮した。

グループ1 (A×D) (B×D) (C×D)

グループ2 (A×B) (A×C) (B×C)

[1]流動性に関する実験

(実験方法) 注入モルタルの練りまぜは港研改良型試験用注入モルタルミキサーで行ない、練りまぜ方法は港研の方法にしたがった。流動性の特性値は流出時間を秒単位で測定したものである。

(結果と考察) 実験[1]-1 (グループ1を含むもの) および実験[1]-2 (グループ2を含むもの) の実験条件とシータを表-2、表-3に示す。これらの分散分析表と要因効果図を表-4、表-2、図-1・図-2に示す。実験[1]-1ではセメントの種類による有意差が検定されなかった。これは実験[1]-1では考慮外の交互作用が誤差項にあらわれたためだと思う。しかしながら因子B、C、Dは有意差があると検定された。実験[1]-2では因子A、B、C、Dおよび交互作用A×B、A×C、B×Cが有意差ありと検定されており、このことは工程平均をもとにしてかいた図-2ですべての測定値が推定区間に収まることによって実証される。

セメントの種類による流出時間は(普通F)、(高炉)、(高炉+F)の順に大きくなり、高炉セメントにフライアッシュを加えることは流出時間の短縮には負の効果を及ぼしている。このことはモルタルの流出すなわち落下はセメントの単位重量とフローコンの内壁とモルタル間の粘着すなわち流出をさまたげる力との差が大きく作用するのではないかと思われる。その中で高炉にフライアッシュを加える粒形による流動性増大の効果はこの作用によって相殺されたものと思う。水セメント比の差による効果はW/Cの増加にともない流出時間は減少し、砂セメント比の差による効果はS/Cの増加にともない流出時間は増加している。

[2]保水性に関する実験

(実験方法) 試験装置は港研改良型保水性試験装置^{を使用}し一定の負圧のもとにモルタル中の水分を吸出しモルタル中に残った水分の割合を保水性としている。

(結果と考察) モルタルの保水性とはモルタルの材料分離の抵抗程度を示すものでモルタルと粗骨材および鉄筋との付着に大きな影響をもつものである。

実験条件とシータを表-3に、この分散分析表を表-4に、要因効果図を図-3に示す。表-4より因子A、B、Cおよび交互作用A×Bは99%の信頼性をもって有意差が検定され、A×Cは95%の信頼性をもって有意差が検定されていることがわかり、実験値と工程平均との比較よりこのことが確

表-2 実験[1]-1の実験条件とデータ

列	石のFM	セメント	W/C+F	S/C+F	流動性(S)
1	1.6	高	48	1	36.0
2	1.6	高	52	1.25	24.9
3	1.6	高	56	1.5	33.4
4	1.6	高+F	48	1.25	39.6
5	1.6	高+F	52	1.5	66.0
6	1.6	高+F	56	1	13.4
7	1.6	普+F	48	1.5	60.0
8	1.6	普+F	52	1	14.2
9	1.6	普+F	56	1.25	13.5
10	1.8	高	48	1	27.5
11	1.8	高	52	1.25	23.9
12	1.8	高	56	1.5	23.7
13	1.8	高+F	48	1.25	26.2
14	1.8	高+F	52	1.5	33.3
15	1.8	高+F	56	1	13.0
16	1.8	普+F	48	1.5	52.5
17	1.8	普+F	52	1	12.4
18	1.8	普+F	56	1.25	12.5
19	2.0	高	48	1	22.9
20	2.0	高	52	1.25	21.6
21	2.0	高	56	1.5	21.8
22	2.0	高+F	48	1.25	30.3
23	2.0	高+F	52	1.5	30.9
24	2.0	高+F	56	1	12.1
25	2.0	普+F	48	1.5	21.7
26	2.0	普+F	52	1	12.3
27	2.0	普+F	56	1.25	12.7

表-3 実験[1]-2の実験条件とデータ

列	石のFM	セメント	W/C+F	S/C+F	流動性(S)	保水性(%)	密度	空気量(%)
1	2.0	高	48	1	22.7	75.4	2.082	0.42
2	2.0	高	48	1.25	30.0	78.2	2.122	0.62
3	2.0	高	48	1.5	50.0	81.3	2.187	0.66
4	2.0	高	52	1	17.9	72.2	2.047	0.28
5	2.0	高	52	1.25	21.4	77.8	2.092	0.53
6	2.0	高	52	1.5	40.0	80.0	2.130	0.84
7	2.0	高	56	1	14.5	67.7	2.014	0.30
8	2.0	高	56	1.25	20.2	74.9	2.059	0.32
9	2.0	高	56	1.5	32.0	75.5	2.093	0.42
10	2.0	高+F	48	1	30.5	75.8	2.034	0.70
11	2.0	高+F	48	1.25	45.5	76.6	2.069	0.83
12	2.0	高+F	48	1.5	60.2	74.8	2.093	0.28
13	2.0	高+F	52	1	17.8	70.8	2.007	0.30
14	2.0	高+F	52	1.25	23.2	73.6	2.039	0.33
15	2.0	高+F	52	1.5	38.5	75.9	2.078	0.76
16	2.0	高+F	56	1	12.8	66.0	1.959	0.37
17	2.0	高+F	56	1.25	15.2	67.2	2.019	0.35
18	2.0	高+F	56	1.5	23.4	70.5	2.005	0.57
19	2.0	普+F	48	1	20.2	74.3	2.004	0.35
20	2.0	普+F	48	1.25	22.0	77.8	2.080	0.80
21	2.0	普+F	48	1.5	37.0	74.6	2.101	1.15
22	2.0	普+F	52	1	12.5	64.8	2.018	0.24
23	2.0	普+F	52	1.25	17.8	69.8	2.068	0.74
24	2.0	普+F	52	1.5	22.6	72.7	2.094	1.04
25	2.0	普+F	56	1	11.2	62.0	1.983	0.25
26	2.0	普+F	56	1.25	14.0	65.8	2.047	0.41
27	2.0	普+F	56	1.5	16.7	70.6	2.073	0.54

図-1 実験[1]-1の要因効果図

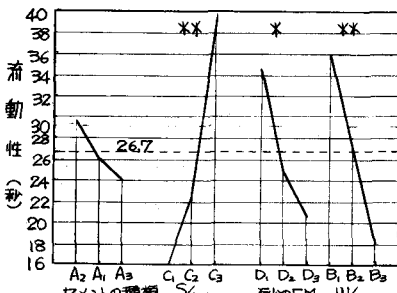


図-2 実験[1]-2の要因効果図

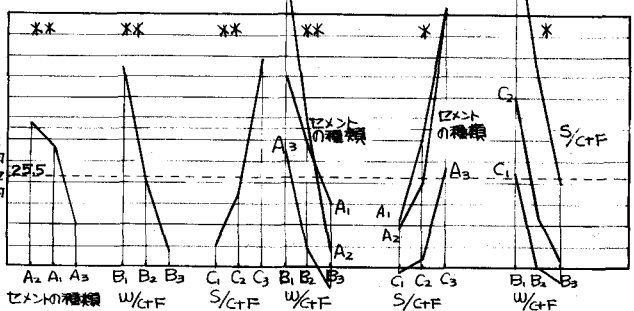


図-3 実験[2]の要因効果図

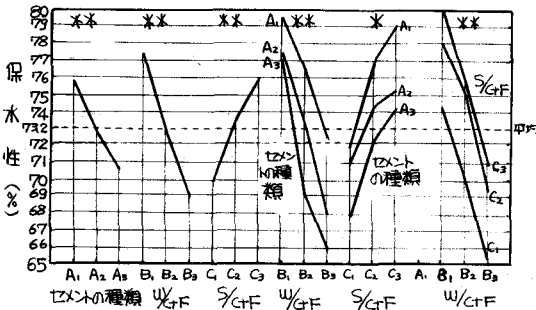


表-4 実験[1]と[2]の分散分析表

要因	実験[1]-1 分散比	判定	実験[1]-2 分散比	判定	実験[2] 分散比	判定
A	0.75		50.68	**	87.1	**
B	16.57	**	135.47	**	256.5	**
C	22.66	**	140.58	**	135.0	**
AxB			12.53	**	15.4	**
AxC			6.02	*	4.64	**
BxC			6.62	*	1.88	*
D	9.17	*				
AxD	0.75					
BxD	1.43					
CxD	3.61					

** : 危険率1%で有意 * : 危険率5%で有意

のめられる。すなわち図-3で実験値と工程平均の値とは、ほぼ一致していることから確かめられるセメントの種類による効果は(高炉), (高炉+F), (普+F)の順に小さくなり、高炉にフライアッシュを加えることは保水性にとっては好ましくないといえる。またW/C+Fの増加にともない保水性は減少しS/C+Fの増加にともない保水性は増加している。

図-4 密度に関する要因効果図

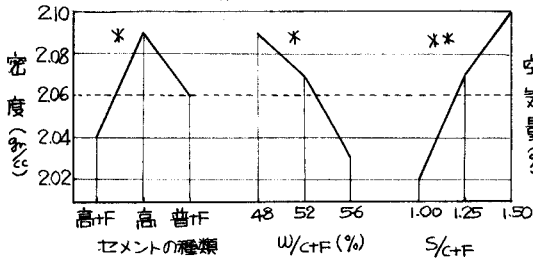


図-5 空気量に関する要因効果図

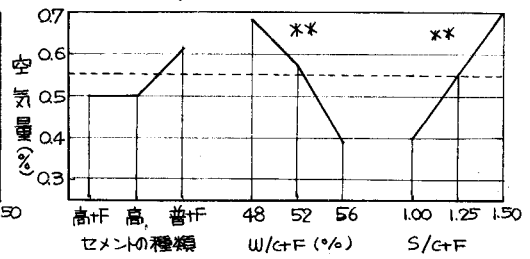


表-5 密度分散分析表

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	判定
A	0.0127	2	0.00634	4.52	*
B	0.0151	2	0.00754	5.38	*
C	0.0275	2	0.0137	9.78	**
e	0.0288	20	0.0014		

表-6 空気量分散分析表

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	判定
A	0.16	2	0.08	3.48	
B	0.37	2	0.19	6.56	**
C	0.40	2	0.20	8.68	**
e	0.46	20	0.023		

**危険率 1%で有意 *危険率 5%で有意

B) 密度および空気量の実験

(実験方法) モルタルの進行する空気量によってコンクリートの強度、耐久性に大きな影響を与えると考えられ、研究の実験方法を

にしたがって実験を行なった。

(結果と考察) 実験条件とデータを表-3, 分散分析表を表-5, 要因効果図を図-4 に示す。

この表は変動の小さいものを誤差項に入れて計算したものであり、因子A, B, Cは密度に主な因子B, Cは空気量に主効果をもつことが検定された。注入時のこれらの量が硬化モルタルにはどんな影響を与えるか今後研究しなくてはならない。

[4] 膨張度に関する実験 (実験方法) ガス発生剤はAl粉を使用し、図-6に示す実験条件で、ポリエチレン袋法にしたがって実験した。

(結果と考察) 図-6で明らかなように高炉を用いたモルタルは普通を使用したモルタルに比較して大きな差がありまた時間経過とともに温度差による影響があらわれている。

4. あとがき 本実験の範囲内で次のことがいえる。(1)流動性、保水性の点から高炉セメントはフライアッシュを加えない方がよい。(2)流動性にS/c+F, 砂のF.M, W/c+Fは大きな効果をもつ(3)保水性にS/c+F, W/GFは大きな効果をもつ。(4)高炉の膨張性は普通より劣りまた温度の影響を受けやすい。

図-6 セメントの種類による膨張度の比較

