

注入コンクリートの実験的研究

構造研究室 技官 鎌野輝雄

1. 緒言

従来構造物の新設、補修などに注入コンクリートが施工されているが、現今では急速に歩進発達し、特に一部会社によつてプレパクトコンクリート工法が盛んに行なわれている。プレパクトコンクリート工法は、イントリュージョンエイドのような注入補助材や、フライアッシュを使用するため、コンクリートの欠点である沈下、収縮が著しく小さくなり、付着、耐久性の点でも非常に良いものができている。しかし、補助材であるイントリュージョンエイドが特許品であるため、容易に入取することができない、当所ではイントリュージョンエイドの代用としてアルミニウム粉末とポゾリスを使用し、フライアッシュを併用して注入コンクリートの研究を進めてきた。また、道内におけるフライアッシュは、道外より搬入するため非常に高価になるので、道内の安価な高炉セ

メントも使用して実験を行なつてきた。今回、本実験の強度、ブリージング、膨脹、容積変化、耐久性などについても実験が完了、結果を取り纏めたので報告する。

2. 混和材およびセメント、骨材の品質

1. アルミニウム粉末 特級品
2. ポゾリス No. 8
3. フライアッシュ A社ポゾランを使用し、品質は当所で分析の結果表-1のとおりである。
4. セメント A社の普通ポルトランドセメントおよびF社の高炉セメントを使用、品質は当所で分析の結果表-2、表-3に示すとおりである。
5. 細骨材 苫小牧市錦岡海岸砂を使用、品質は表-4のとおりである。
6. 粗骨材 静内町静内川砂利を使用、品質は表-4のとおりである。

表-1 フライアッシュの化学試験および物理試験成績

比重	所要水量比 (%)	粉末度 (ブレン法) (cm ² /g)	Ig. loss (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	強度比 (%)			
												曲げ		圧縮	
												材齢 7日	材齢 28日	材齢 7日	材齢 28日
2.07	95.4	3.170	1.54	56.48	25.13	4.56	7.26	2.18	0.50	1.13	1.39	76	125	75	104

所要水量比、圧縮強度比試験は土木学会フライアッシュ規格案に準じて行なつた。

表-2 セメントの化学試験成績

種別	Ig. loss (%)	Insol. res. (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	MnO (%)	total (%)
普通ポルトランドセメント	0.80	0.64	22.22	4.96	2.85	64.35	1.77	1.63	—	99.22
高炉セメント	0.20	0.79	25.16	9.80	2.74	55.63	2.92	1.85	0.11	99.20

表-3 セメントの物理試験成績

種別	比重	粉末度 (ブレン法) (cm ² /g)	凝結試験(時-分)		安定度	フロー値	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
			始発	終結			3日	7日	28日	3日	7日	28日
普通ポルトランドセメント	3.15	3.050	2-35	4-59	良	224	32.6	47.9	69.7	102	196	393
高炉セメント	3.03	4.290	2-11	3-40	〃	200	29.3	43.6	69.7	97	161	353

表 4 骨材の品質

種 別	比重	吸水量 (%)	単位容積重 (kg/m ³)	洗い試験で失われる量 (%)	硫酸による試験の損失 (%)	ナトリウム耐久性損失 (%)	有機物試験	粗粒率 F.M	最大骨材寸法 (mm)	摘 要
苫小牧市 錦岡海岸砂	2.80	0.98	1.836	0.50	0.87	---	合格	2.48	2.5	2.5 mm ふるいでふるい分け粗粒を取除いた
静内町 静内川砂利	2.78	0.63	---	---	3.80	---	---	---	40	15 mm ふるいでふるい分け細粒を取除いた

3. 実験方法

アルミニウム粉末およびポゾリス No. 8 の混入量は、表-5 のように、それぞれセメント+フライアッシュ重量の 0.015% および 0.25% とした。

砂は注入機械の能力を考え、また、グラウトの流入を良くするため 2.5 mm ふるいで粗粒を取り除いた。

砂利はグラウトの注入量を少なくするため、粒度をできるだけ空隙率の少なくなるように選ばなければならないが、一方グラウトの流入を容易にする必要もあり、15 mm 以下の粒子を取り除いた。

配合は 表-5、表-6 のとおりで普通セメントの一部をフライアッシュで置換したもの 9 種、高炉セメント単味

のもの 3 種で、いずれもセメント+フライアッシュと砂の比率を 1:0.5, 1:1, 1:1.5 の 3 通りに分けた。

フロー値は注入に適するコンシステンシーを得るため 21 秒とし、1,725 CC のフローコーンを流過する時間によつて定めた。このようにフロー値を一定にしたので、セメントの種類、フライアッシュ置換率の相違によつて、セメント+フライアッシュと砂の比、あるいはセメントと砂の比が一定の配合 4 種の間でも単位セメント、フライアッシュ量、または単位セメント量が異なる結果となつた。すなわち、単位セメント、フライアッシュ量はセメント+フライアッシュと砂の比が 1:0.5 のとき 354~395 kg, 1:1 のとき 314~322 kg, 1:1.5 のとき 271~274 kg に対し、高炉セメント単味のものではそれぞれ 413,

表-5 普通セメントを使用したコンクリート 1 m³ 当りの配合 (粗骨材の空隙を 38% とする)

配合 No.	フライアッシュ : セメント : 砂 (重量比)	水, セメント+フライアッシュ比 (W/C+F)	アルミニウム粉末 (C+F に対して 0.015%) (gr)	ポゾリス No. 8 (C+F に対して 0.25%) (gr)	フライアッシュ F (kg)	セメント C (kg)	セメント+フライアッシュ C+F (kg)	水 W (kg)	砂 S (kg)	砂利 G (kg)
セメント+フライアッシュ 1 : 砂 0.5										
1	1 : 1 : 1	0.49	53	885	177	177	354	174	177	1,724
2	1 : 3 : 2	0.45	58	960	96	288	384	174	192	1,724
3	1 : 7 : 4	0.45	59	988	49	346	395	176	198	1,724
セメント+フライアッシュ 1 : 砂 1										
4	1 : 2 : 3	0.48	47	785	105	209	314	151	314	1,724
5	1 : 4 : 5	0.48	48	803	64	257	321	153	321	1,724
6	1 : 6 : 7	0.48	48	805	46	276	322	155	322	1,724
セメント+フライアッシュ 1 : 砂 1.5										
7	1 : 3 : 6	0.51	41	678	68	203	271	138	406	1,724
8	1 : 5 : 9	0.51	41	685	46	228	274	139	410	1,724
9	1 : 7 : 12	0.52	41	683	35	239	273	141	410	1,724

表-6 高炉セメントを使用したコンクリート 1 m³ 当りの配合 (粗骨材の空隙を 38% とする)

配合 No.	セメント : 砂 (重量比)	水, セメント比 (W/C)	アルミニウム粉末 (セメントに対して 0.015%) (gr)	ポゾリス No. 8 (セメントに対して 0.25%) (gr)	セメント C (kg)	水 W (kg)	砂 S (kg)	砂利 G (kg)
10	1 : 0.5	41	62	1,033	413	170	207	1,724
11	1 : 1	44	51	843	337	149	337	1,724
12	1 : 1.5	47	43	715	286	133	429	1,724

337, 286 kg で高炉セメント単味のものの方が大となつた。表-5, 表-6 によれば, 注入グラウト中の砂の量が増加するにしたがつて, 同一コンシステンシーのグラウトを得るに要する水量が少なくなることが明らかである。従つて, 配合を富にして砂量を減じて単位水量が増大するので, それほど W/C は小さくならないことになる。

グラウトミキサーは, 縦型 2 槽式を使用, 羽根の回転数は一分間に 180 回転で, グラウトをきるような構造とし, 木屑, その他大きな粒子を除くため流出口に 3 mm の金網を取付けた。

注入ポンプは, 横型単動のプランジャータイプで, 変速装置, 還流装置のあるものを使用, デリベリホースは柔軟で取扱い易く, 堅牢なものを取付けた。また, デリベリホースにはバイパスコックを取付けて注入量を調節し, 適当な注入速度にした。

ミキサーへの投入順序は, 水, アルミニウム粉末, ポゾリス, フライアッシュ, セメント, 砂の順序で, 投入後 10 分間練り混ぜてから注入を開始した。注入圧力は型枠の構造上, 圧縮強度試験用供試体の作製には 1 kg/cm^2 , その他の供試体作製には 0.5 kg/cm^2 とした。グラウトは常に下から上に向けて注入するため, 型枠の下部に注入孔を付け, 上部に排水気孔をもうけた。注入完了後は, 約 30 分で再注入をして注入側ストップバルブを閉じ, 圧力をしばらく保つようにした。上蓋は 2 時間で取り外して供試体は 20°C の水槽で所定の材齢まで養生した。また供試体は, 全実験に必要な本数を同時に作製するようにした。

4. 実験結果とその考察

実験-1 圧縮強度試験

圧縮強度 (以下単に強度という) 試験用供試体作製に用いた型枠は, コンクリート用円筒形鉄製型枠の $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ を改良して下面にストップバルブを取付け, 上面に排水気孔をもうけた。グラウトは練り混ぜ時間が長くなるほどフロー値が小さくなり, 投入後 5 分のフロー値は 30 分のフロー値よりも, 高炉セメントの場合は 2 秒大きく, 普通セメントにフライアッシュを使用した場合には 3 秒大きくなつた。また 30 分から 1 時間の間では変化がみられなかつた。

注入は下部にデリベリホースを取付けて行ない, 注入完了と同時にストップバルブを閉めて内部圧力を保持するようにした。

供試体は一種類 3 個とし, 3 材齢で 9 個を作製した。強度試験は材齢 7 日, 28 日, 90 日に行ない, 結果は, 図-1 のとおりである。

図によると, フライアッシュの多いものほど強度が低く, 特に配合 1 と 4 では 100 kg/m^3 以上を混入したため初期の強度が低い。しかし, 28 日以後の増進率は比較的大きく, 材齢 90 日でそれぞれ 228 kg/cm^2 , 286 kg/cm^2 に増進している。

配合 1, 4 以外のフライアッシュの少ない配合の材齢 90 日の強度には, あまり大きな差はみられなかつたが, これはセメント使用量の多い配合ほど使用水量が多くなつているためと思われる。

配合 1, 2 ではフライアッシュ量, セメント量がかなり

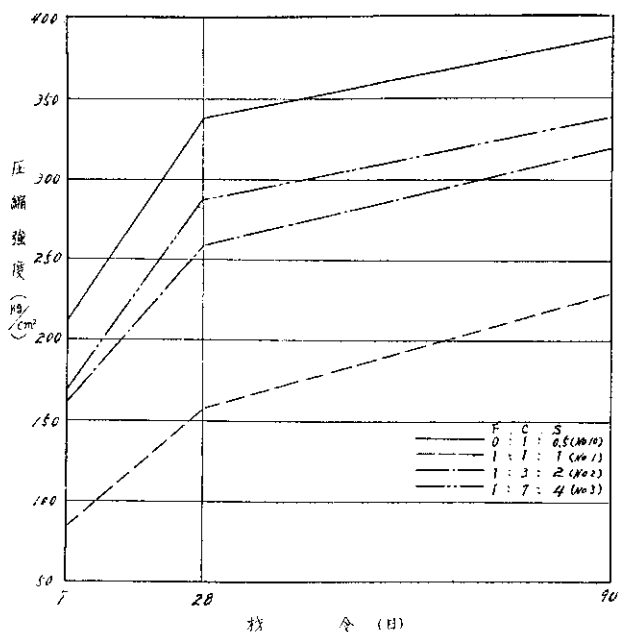


図 1.1 セメント+フライアッシュ 1:砂 0.5

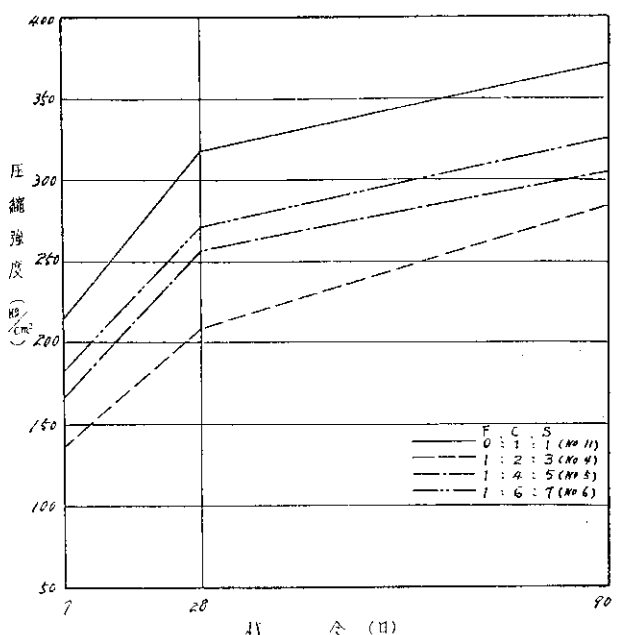


図 1.2 セメント+フライアッシュ 1:砂 1

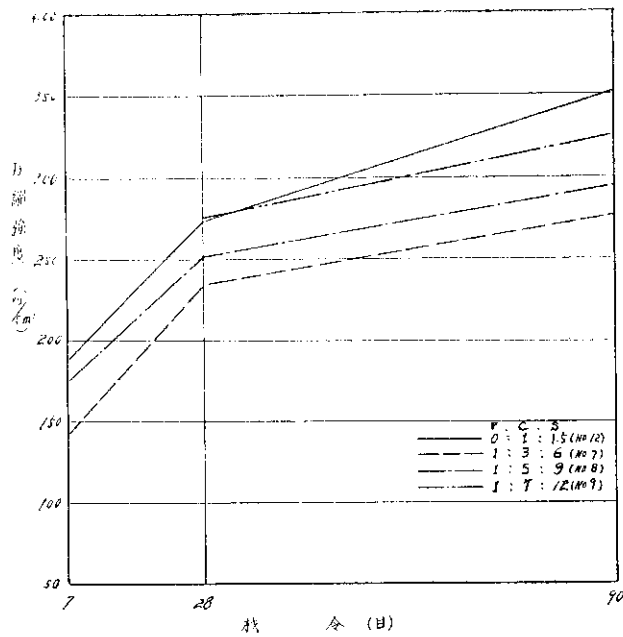


図-1.3 セメント+フライアッシュ 1:砂1.5

違うために約100kg/cm²の強度差が出ている。高炉セメントを使用した配合10~12では他の配合に比較して、各材齢とも強度が大きく、材齢90日では353~388 kg/cm²となつている。

実験-2 曲げ強度試験

曲げ強度(以下単に強度という)試験用供試体型枠は、15×15×53 cmの鉄製型枠を用い、上部に締付けボール

トで蓋を取付けた。注入は型枠を立てて下部注入口にデリベリホースを取付けて注入し、グラウト面が下から上にあがるようにした。

材齢28日と90日に、JIS A 1106の8~10にしたがつて強度試験を行なつたが、その結果は図-2のとおりである。

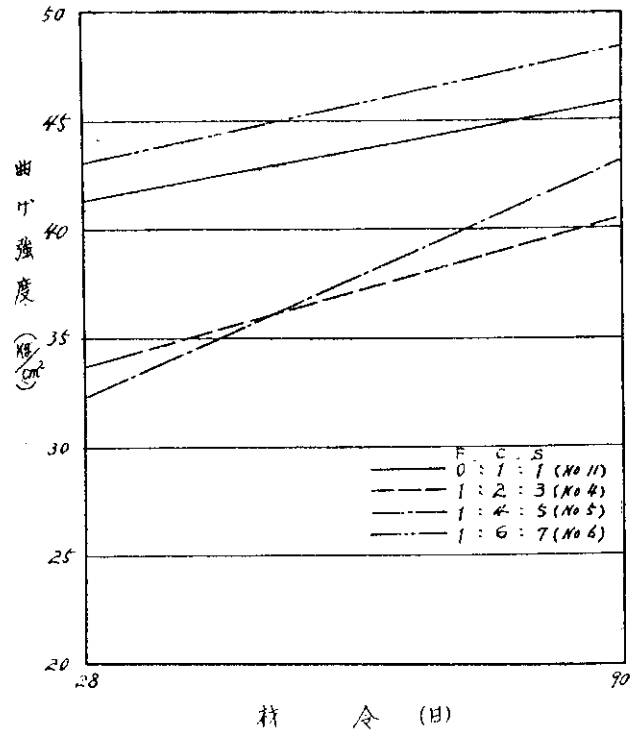


図 2.2 セメント+フライアッシュ 1:砂1

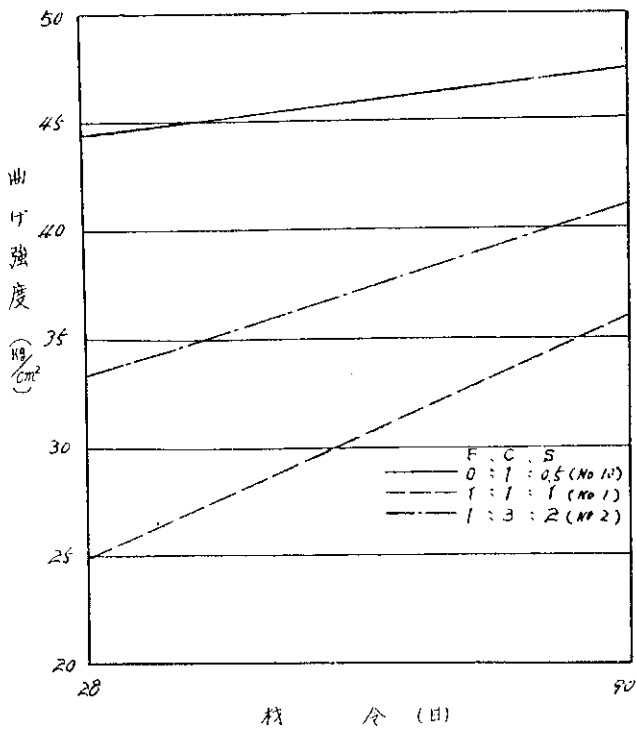


図-2.1 セメント+フライアッシュ 1:砂0.5

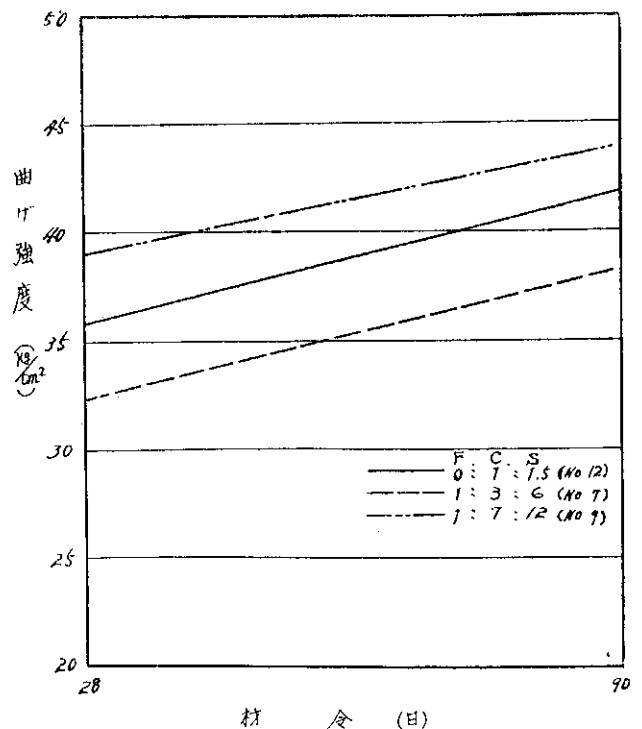


図-2.3 セメント+フライアッシュ 1:砂1.5

本実験では、実験-1より注入圧力が小さいためか、圧縮強度の高い割合に曲げ強度は低くなっている。図によると、フライアッシュの混入量の少ないものほど強度が高く、またフライアッシュの多い配合1および4では、材齢28日の強度は低いが、材齢90日の強度は大きく増進している。すなわち配合1では材齢28日で 24.8 kg/cm^2 であるが、90日になつて 35.9 kg/cm^2 に増進している。高炉セメントを使用した場合、10、11および12では一般に普通セメントにフライアッシュを使用した配合よりも強度が高いが、フライアッシュ置換率の小さなものよりは低い。

実験-3 ブリージング試験

ブリージング測定に使用した容器は、1,000 ccのガラス製メスシリンダーで、所定の位置までグラウトを入れ、一定時間ごとにブリージング量を測定した。

実験は地下恒温室を利用して、室内温度を $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 湿度を 90% とした。

実験の結果は 図-3 のとおりである。ブリージング率は時間とともに増加しているが、いずれも5時間以後では増加率が小さくなっている。フライアッシュを混入したグラウトでは、フライアッシュの混入量の多いものほど、またセメント量が

多く、砂の量が少ない配合ほどブリージングが小さくなっている。高炉セメントを使用した配合 10、11、12の間では大きな差はみられなかつたが、普通セメントにフラ

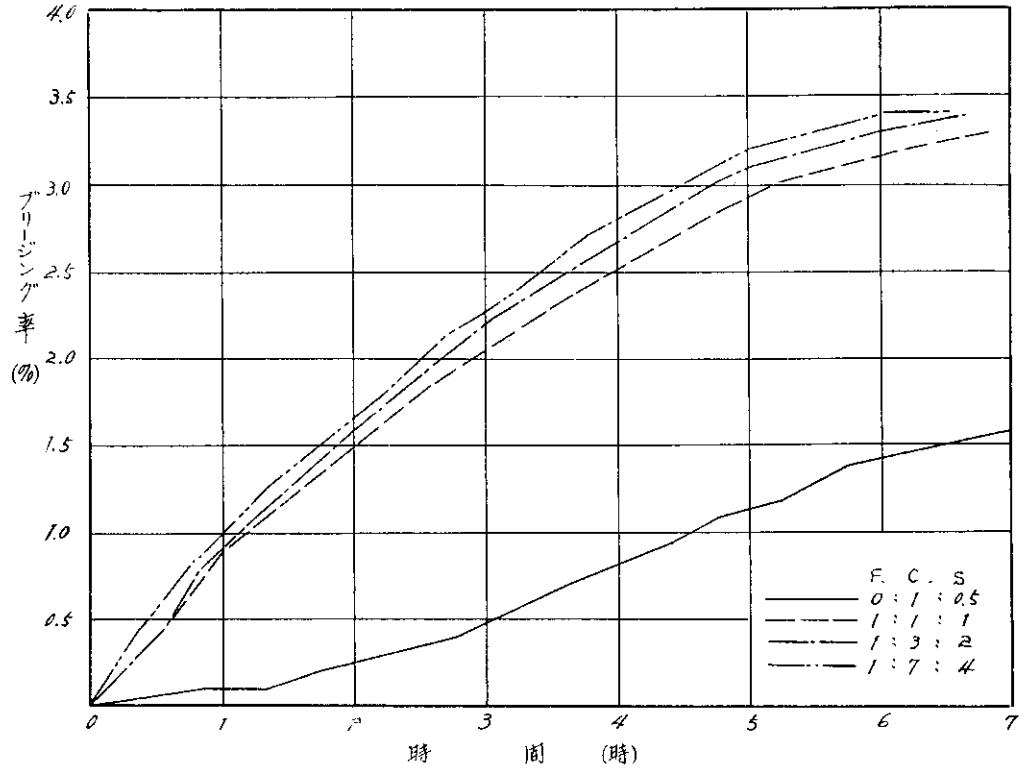


図-3.1 セメント+フライアッシュ 1:砂0.5

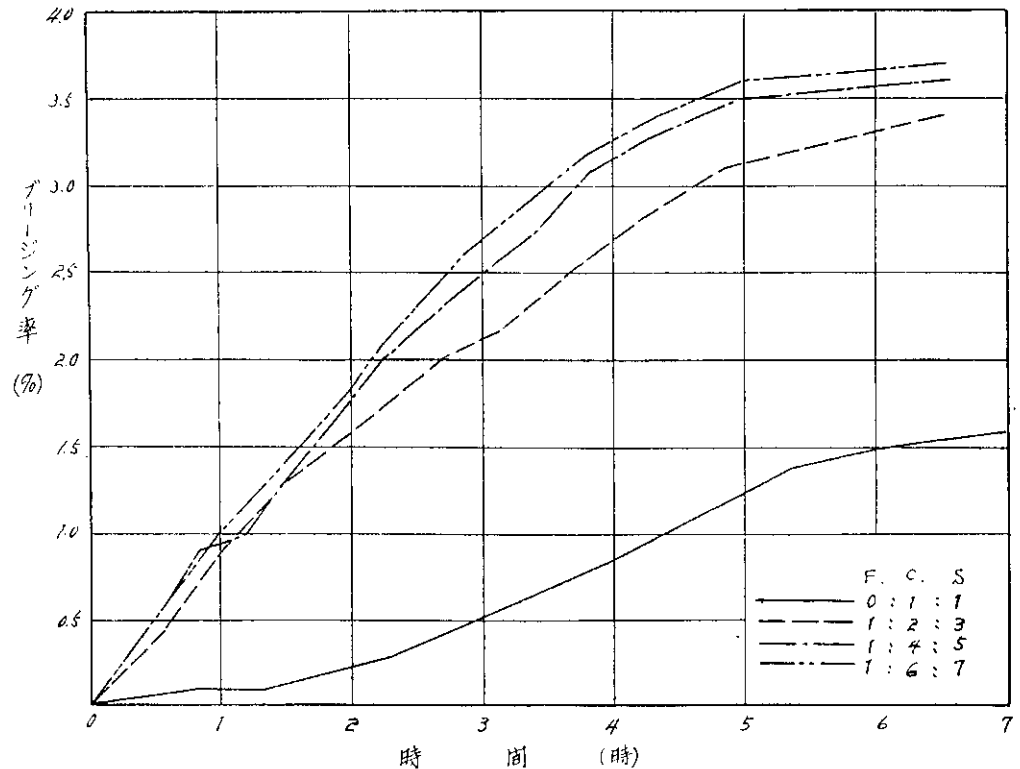


図-3.2 セメント+フライアッシュ 1:砂1

イアッシュを用いたものよりもブリージングは非常に少なくなっている。

実験-4 膨脹試験

本実験は、実験-3 と同時に行なつたもので、試験に用

いた容器、実験方法は実験-3 と同一である。測定は7時間にわたつて行ない、その間のグラウトの膨脹は 図-4 のとおりである。

図によると、フライアッシュの混入量の少ない配合ほど膨脹が大きくなつてゐる。アルミニウム粉末の量は、セメント+フライアッシュに対する割合としたため、セメント+フライアッシュ量が多く、砂の少ない配合ほど膨脹も大きい。高炉セメントの膨脹は、普通セメントよりも非常に小さく、いずれも3%以下である。膨脹の割合

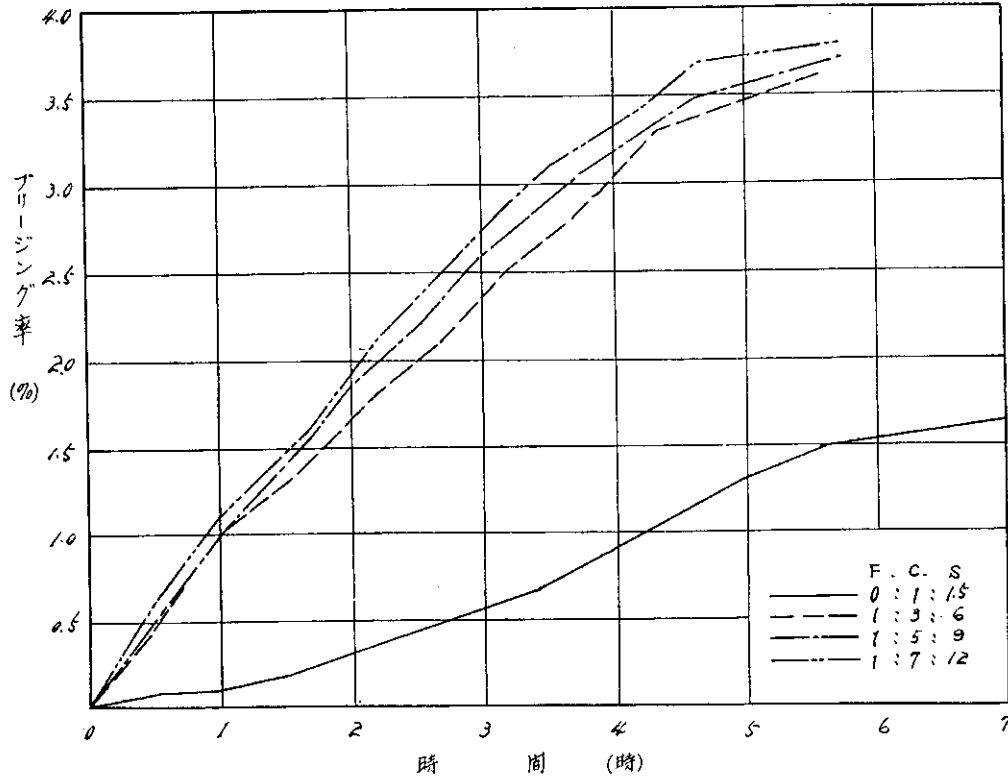


図-3.3 セメント+フライアッシュ 1:砂 1.5

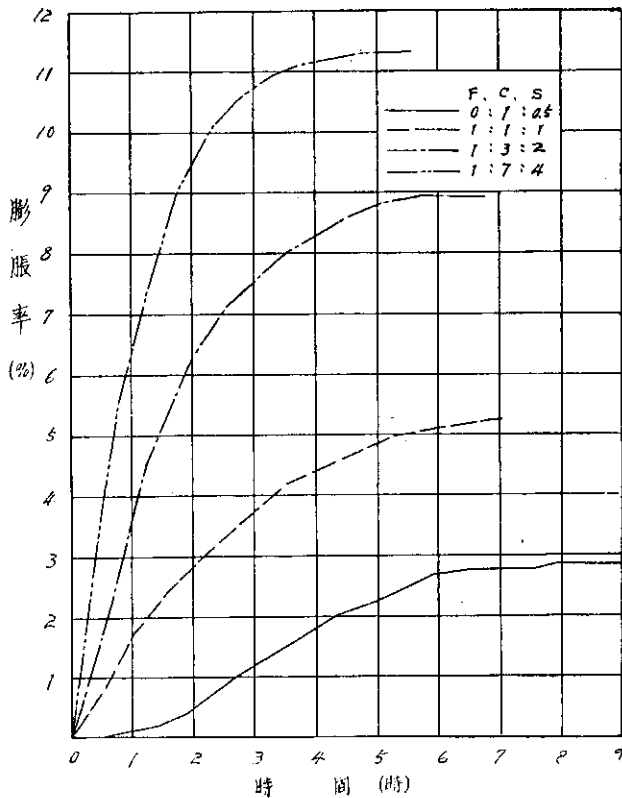


図-4.1 セメント+フライアッシュ 1:砂 0.5

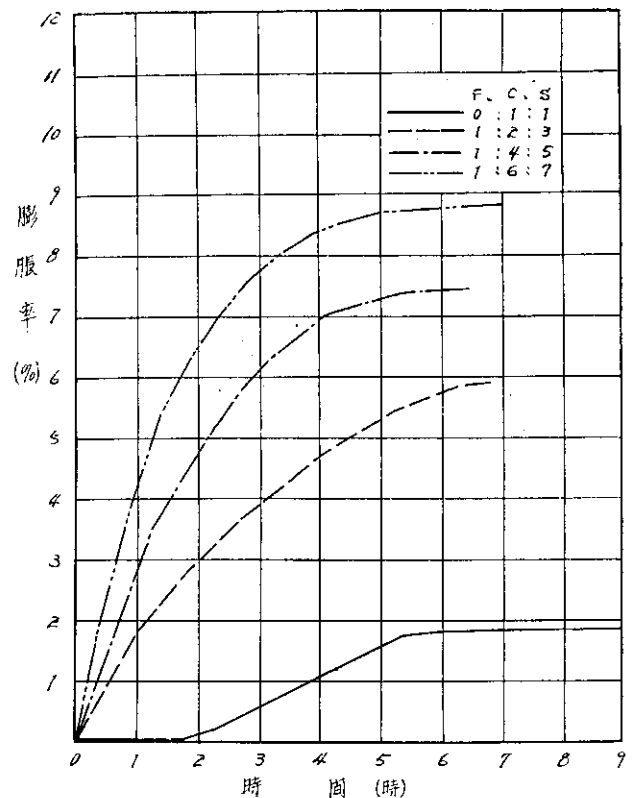


図-4.2 セメント+フライアッシュ 1:砂 1

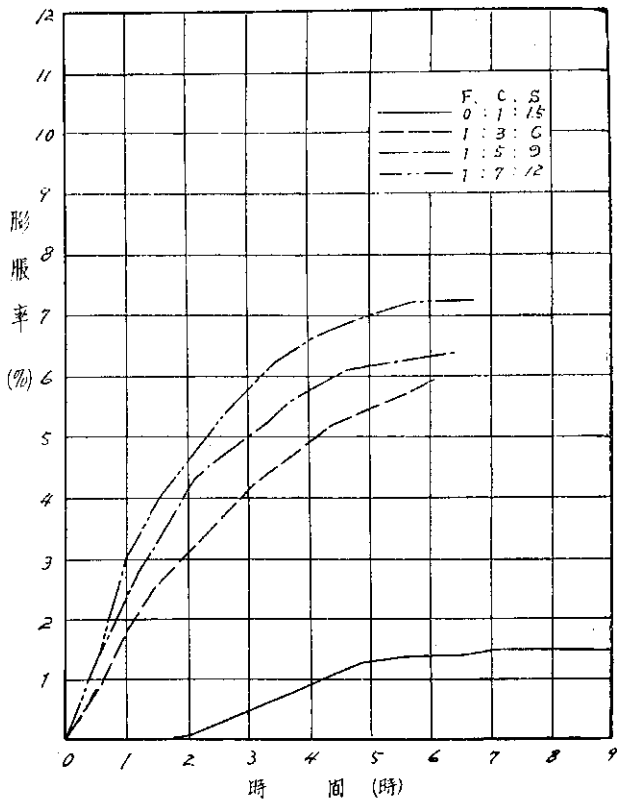


図-4.3 セメント+フライアッシュ 1:砂 1.5

は普通セメントの場合と同様、セメント量の多いものほど大きく膨張している。

実験-5 乾燥収縮試験

供試体の作製には、4×4×11½吋の鉄製型枠を用いた。

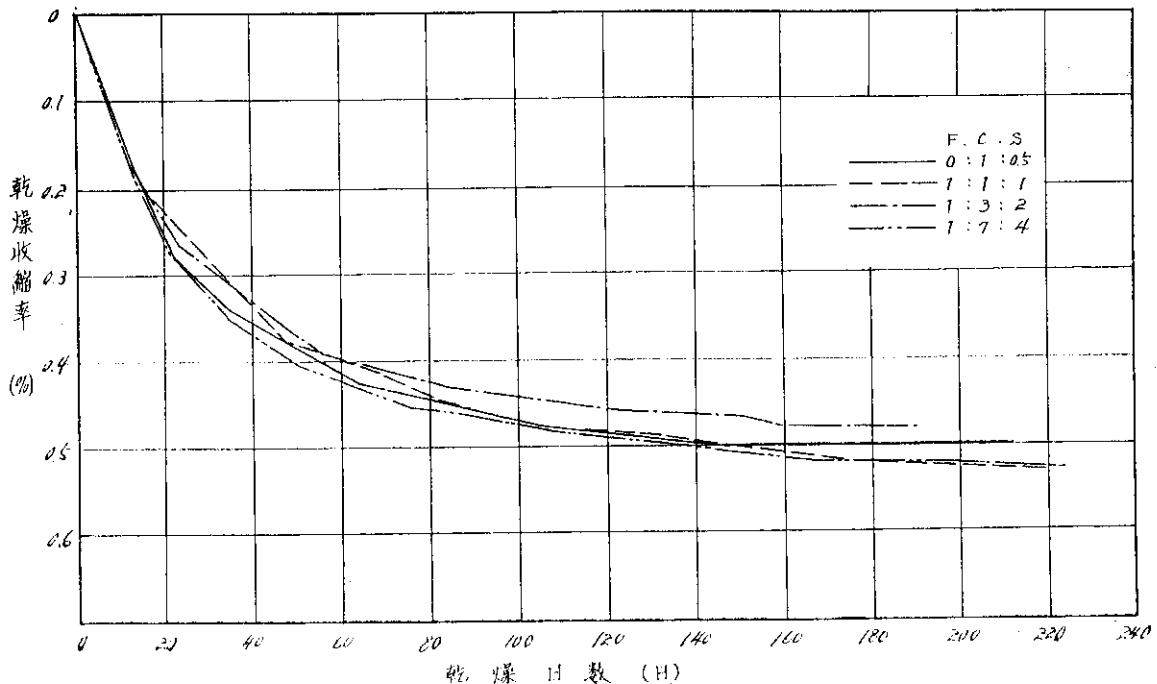


図-5.1 セメント+フライアッシュ 1:砂 0.5

注入は型枠を立てて下部よりグラウトを注入して、グラウト面が次第に上部にあがるようにした。注入完了後は再注入をして加圧した。成型後は 21±3°C の湿気養生槽に 24 時間入れて脱型し、第 1 回の測長を行なった。その後 21±3°C の水中で 7 日間養生し、第 2 回の測長を行ないこの時の供試体の有効長を基長とした。2 回目の測長後は、温度 20±5°C、湿度 65±5% の保存槽に供試体を入れ、一定期間ごとに測長した。測定はダイヤルゲージ方法 JIS A 1124 に準じて行なった。

測定結果は 図-5 のとおりである。各配合とも大きな差は認められなかつたが、セメント使用量の多い配合では比較的収縮が大きい傾向がある。乾燥収縮の割合は、30 日までは急激に収縮してくるが、それ以後では小さくなり 120 日から 240 日の間ではほとんど変動がない。

実験-6 耐久性試験

凍結融解試験に用いた供試体は、10×10×42 cm で作製に当つては、鉄製型枠の上部に透水気孔をもうけた。注入その他は実験-2 と同様である。

凍結融解試験は材齢 91 日より開始した。試験方法は、ASTM. Designation C 290 に準じて行なった。供試体の周囲には厚さ約 3 mm の水または氷を保ち、凍結融解は 1 日 10 cycle とした。凍結時の供試体中心部の温度は -18±1.5°C で融解時は +4.5±1.5°C である。約 30 cycle ごとに供試体重量、動弾性係数を測定し、供試体表面の Sealing の模様を写真に記録した。凍結融解試験装置および試験方法の詳細は、土木試験所月報第 23 号に説明

してあるので省略する。

凍結融解の進行にともなう重量の変化、動弾性係数の変化は図-6, 7のとおりである。重量の百分率は、特にフライアッシュの多い配合 1, 4, 7 の3種が悪くなっているが、その他の配合では 300 cycle で、90~95%の間にある。各配合ともその差は顕著にあらわれていない。高炉セメントの場合は、300 cycle で95%から99%位にな

っている。重量減少率は、セメント使用量が多く配合の良いものほど少ない傾向にある。

動弾性係数百分率は、重量と同様にフライアッシュの多い配合 1, 4, 7 が大きく低下している。高炉セメントを使用したものは、普通セメントの一部をフライアッシュで置換したものよりも良好で、300 cycle で65%から75%の間であり、セメント量の多い配合 10 が最もよく、

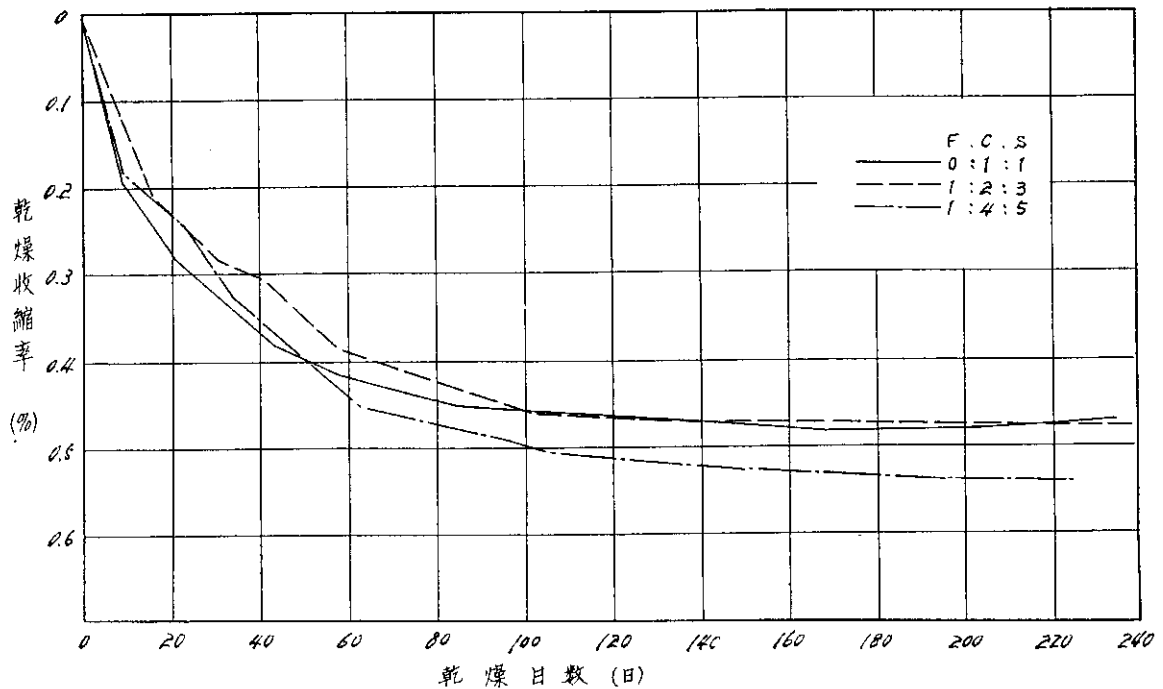


図-5.2 セメント+フライアッシュ 1:砂1

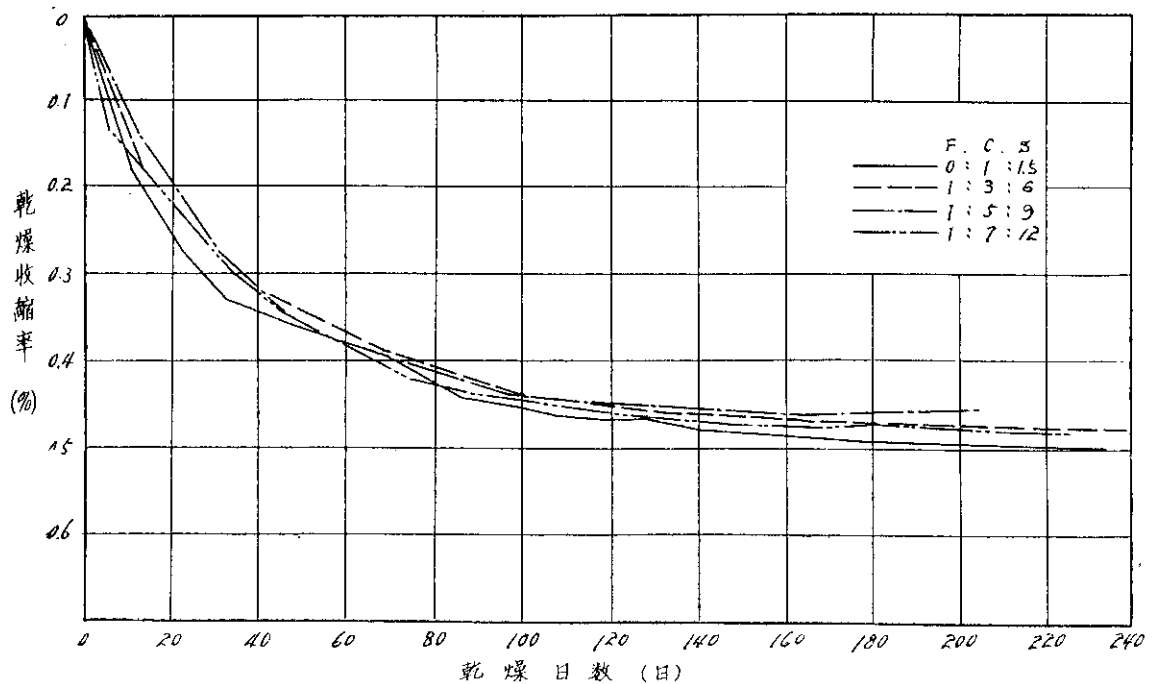


図-5.3 セメント+フライアッシュ 1:砂1.5

11, 12の順となつている。

5. 結 言

セメント+フライアッシュ、砂比およびフロー値一定の場合、単位セメント、フライアッシュ量に幾分差異が生じ、高炉セメント単味の場合は普通セメントの一部をフライアッシュで置換した場合より大きくなつたが、その結果を取り纏めると次のようである。

(1) 注入モルタルのフロー値を一定にすると、セメン

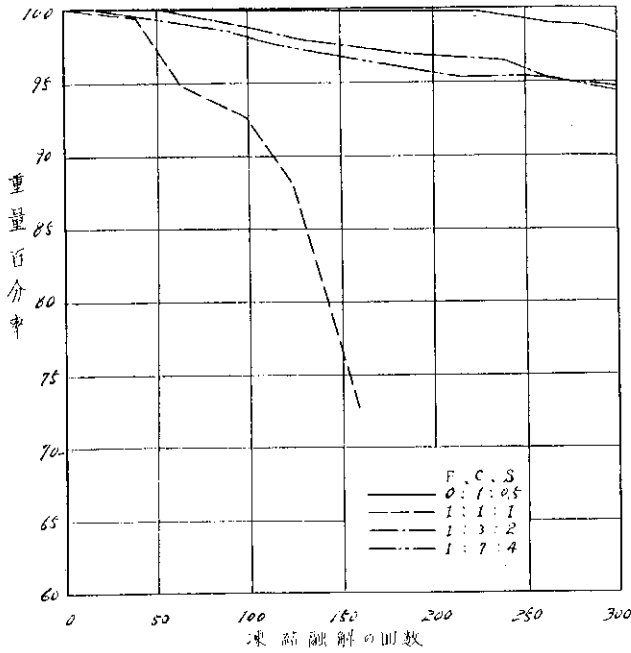


図-6.1 セメント+フライアッシュ 1:砂0.5

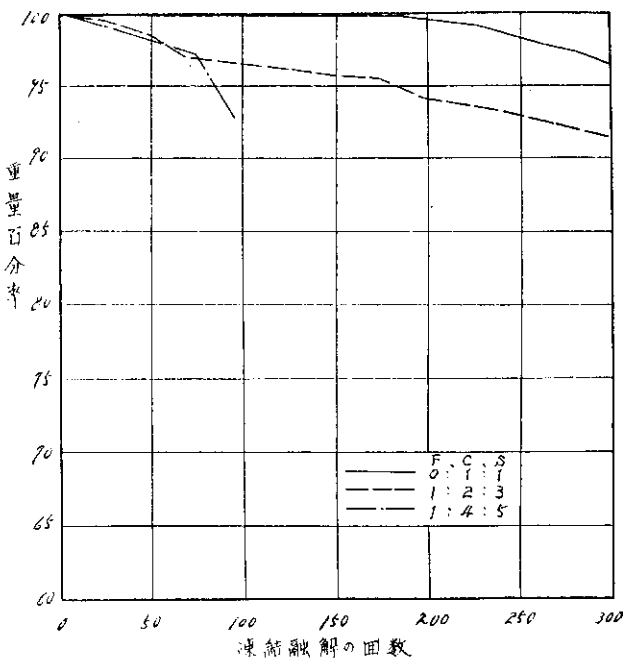


図-6.2 セメント+フライアッシュ 1:砂1

ト+フライアッシュと砂の比が1:0.5, 1:1, 1:1.5と砂量が増加するほど砂量に比例して単位水量がほぼ直線的に減少する。

(2) フライアッシュの多い配合では、初期強度は小さいが、長期における強度の増進は大きい。

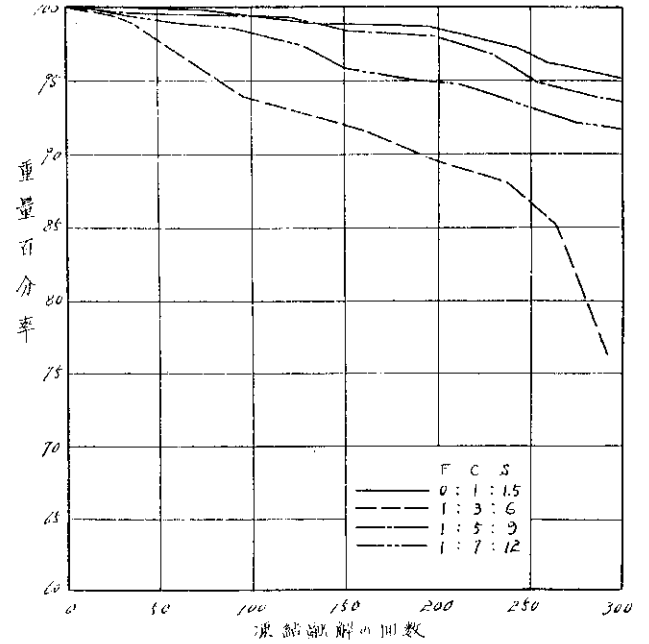


図-6.3 セメント+フライアッシュ 1:砂1.5

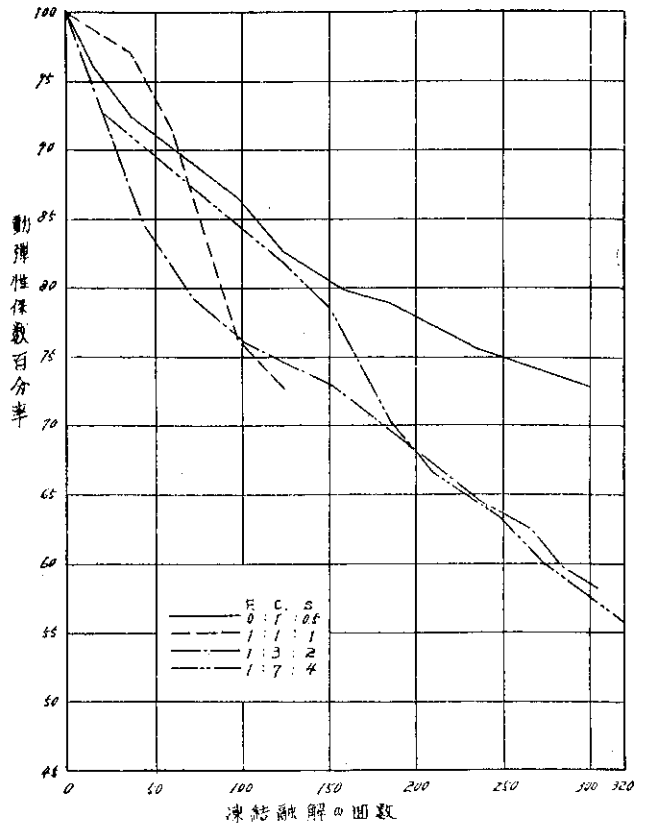


図-7.1 セメント+フライアッシュ 1:砂0.5

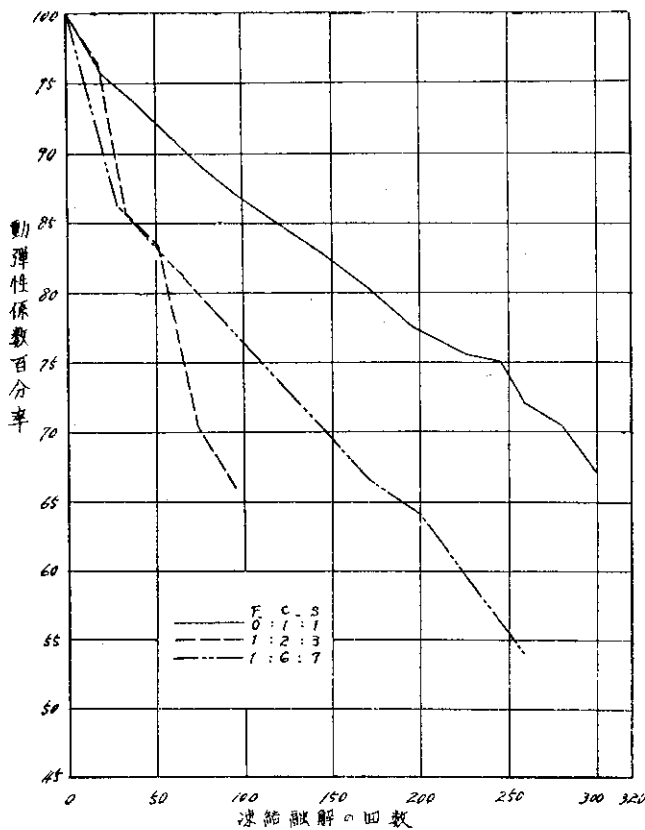


図-7.2 セメント+フライアッシュ 1:砂1

(3) 高炉セメントを使用したものの圧縮強度は、水セメント比が小さいためか、普通セメントの一部をフライアッシュで置換したものよりも大きい。

(4) 高炉セメントを使用したものの曲げ強度は、普通セメントの一部をフライアッシュで置換したものと比較して、フライアッシュ置換率の大きなものよりは高いが、置換率の小さなものよりは低い。

(5) ブリージングは、富配合でフライアッシュの多いものほど少なく良好である。

(6) 膨脹は、富配合でフライアッシュの少ないものほど大きい。

(7) 高炉セメントを使用したもののブリージングや膨

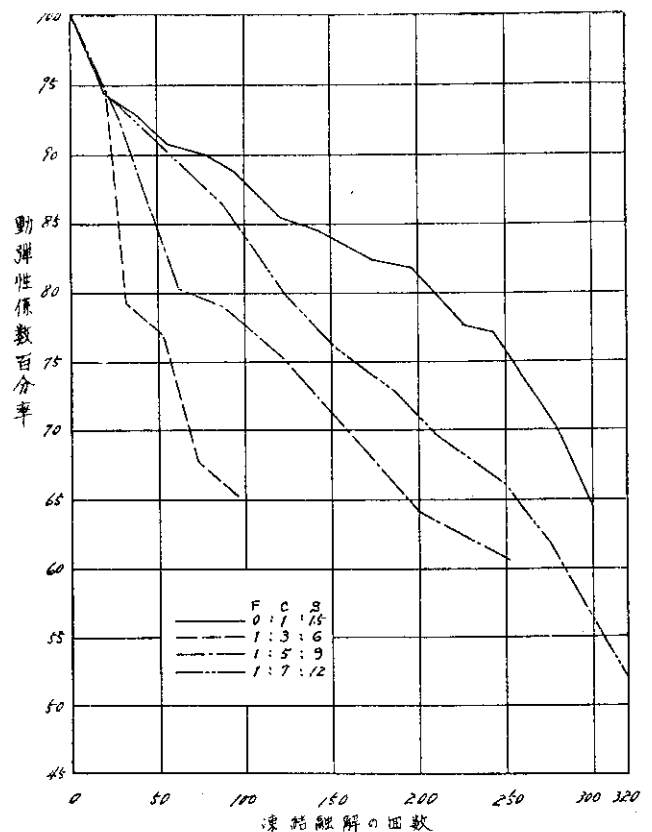


図-7.3 セメント+フライアッシュ 1:砂1.5

脹は小さい。

(8) 富配合のものほど乾燥収縮が大きい傾向がある。乾燥収縮の程度は、材齢1カ月位までは急激に収縮してくるが、4カ月から8カ月の間ではほとんど変化がない。

(9) 凍結融解試験の結果、重量および動弾性係数の百分率は、特にフライアッシュの多いものほど低下している。

(10) また高炉セメントを使用したものは、普通セメントの一部をフライアッシュで置換したものに比較して、重量および動弾性係数の低下は少なく、また富配合のものほど少ない。

土試短信

所内『技術談話会』開催

当所各研究室に勤務している技術職員の研修の一助と、相互の研究に対する理解を深めるために、『技術談話会』を3月15日研修講堂において開催した。今回は研究室紹介を主題とし、水工研究室(星野、鴻上副室長説明)と、土壌保全研究室(佐藤室長説明)の紹介がなされ好評であった。今後は各研究室持ち廻りで毎月第2火曜日恒例に開かれる。