

各種AE剤, 分散剤を用いたコンクリートの特性

前 川 静 男* 岡 村 武**

目	次
まえがき.....13	(1) 実験の概要および結果.....17
実験Ⅰ.....13	(2) 凍結融解試験に対する考察.....17
1. 使用材料.....13	7. AE剤, 分散剤の規格について.....18
2. 実験内容.....14	実験Ⅱ.....18
3. 練り混ぜ, 供試体の作成および養生方法.....14	1. 使用材料.....18
4. 実験A 単位水量・水セメント比一定のコン クリートのスランプ, 空気量, 圧縮強度試験.....14	2. 配 合.....21
(1) 実験の概要および結果.....14	3. コンクリートのブリージング試験.....21
(2) 考 察.....15	4. 強 度 試 験.....22
1) ス ラ ン プ	5. コンクリートの長さ変化試験.....26
2) 空 気 量	6. コンクリートの凍結融解試験.....26
3) 圧 縮 強 度	7. 考 察.....26
5. 実験B スランプおよび空気量一定の コンクリートの単位水量圧縮強度試験.....15	(1) 単 位 水 量
(1) 実験の概要および結果.....15	(2) 空 気 量
(2) 考 察.....16	(3) ブリージング
1) 単 位 水 量	(4) 強 度
2) 圧 縮 強 度	(5) 乾燥による長さ変化
6. 実験C コンクリートの凍結融解試験.....17	(6) 凍結融解試験
	む す び.....35
	付表 圧縮強度, 曲げ強度, 引張強度の関係

ま え が き

コンクリートの品質を改善するために, AE剤, 分散剤などの混和剤が広く用いられている。AE剤, 分散剤などを用いることにより, コンクリートのワーカビリティをよくし, また凍結融解に対する抵抗性を大幅に改善して耐久的なコンクリートをつくることのできる。北海道のような寒冷地ではAE剤, 分散剤の使用効果は特に大きい。

現在国内で販売されているAE剤, 分散剤は非常に種類が多く, またこれらの混和剤が, コークリートに及ぼす効果は種類によってかなりの差があり, まだ十分にわかっていない点が多いので, ここに一連の実験を行なってその性

質を明らかにした。

実験Ⅰでは7種類のAE剤, 分散剤についてコンクリートの圧縮強度試験と, 凍結融解試験を行ない, 実験Ⅱでは11種類の分散剤についてコンクリートの長さ変化試験および凍結融解試験を行ない, このうちの3種類の分散剤についてはコンクリートのブリージング試験および強度試験も行なった。

実 験 I

1 使用材料

試験に用いたAE剤, 分散剤は表一に示す7種類のものである。

*コンクリート研究室副室長 **同室主任研究員

表—1

分 散 剤 の 種 類

記 号	種 類	摘 要
A	リグニンスルホン酸系の分散剤	一 般 用
B	〃	〃
C	アルキルアリルスルホン酸系の分散剤	Dと同種類のものでも早強用
D	〃	一 般 用
E	A E 剤	
F	アルキルエステル系の非イオン活性剤	
G	樹脂系 A E 剤	

セメントは日本セメント上磯工場製造の普通ポルトランドセメントを使用した。その物理試験成績は表—2のとおりである。

表—2

セメントの物理試験結果

比 重	粉 末 度		凝 結		安定性	フロー値	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
	88 μ 残分 (%)	ブレン法 (cm ³ /g)	始 発 (時—分)	終 結 (時—分)			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
3.16	2.0	3.360	2—32	4—03	良	220	28.7	45.9	77.6	104	217	419

細骨材は苫小牧市宇津岡海岸産の砂を使用した。その物理試験成績は表—3のとおりである。

表—3

砂 の 試 験 結 果

比 重	吸水量 (%)	単位容積重 (kg/m ³)	有機不純物試験	洗い試験で失われる量 (%)	フルイにとどまる重量百分率						粗粒率
					5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.75	0.93	1,895	合 格	0.1	3	11	22	43	73	98	2.50

粗骨材は静内郡静内町の静内川産の川砂利で、この骨材を粒径40~20mm, 20~10mm, 10~5mmの3種類にフルイ分け、それぞれ5:3:2の比率で使用した。その物理試験成績は表—4のとおりである。

表—4 砂 利 の 試 験 結 果

比 重	吸水量 (%)	単位容積重 (kg/m ³)	洗い試験で失われる量 (%)	硫酸ナトリウムによる安定性試験の損失量 (%)
2.72	1.18	1,820	0.3	2.5

2 実 験 内 容

7種類のA E剤、分散剤を用いたコンクリートについて次のような実験を行なった。なお、比較のために混和剤を用いないブレンコンクリートも同時に試験を行なった。

実験A 単位水量、水セメント比一定のコンクリートのスランプ、空気量、圧縮強度試験

実験B 単位セメント量、スランプ、空気量一定のコンクリートの単位水量、圧縮強度試験

実験C 凍結融解試験

3 練り混ぜ、供試体の作成および養生方法

練り混ぜには3切(81ℓ)可傾式ミキサを使用し全材料投入後4分練り混ぜし、ミキサより吐出し後練り板の上で2回切返し各試験に使用した。空気量の測定にはワシントン型エアメーターを使用した。供試体は製作後20°C±3°Cの湿気養生槽で養生を行ない24時間後に脱型して強度試験日まで20°C±3°Cの水中養生を行ない、材令3日、7日、28日で強度試験を行なった。

4 実験A 単位水量、水セメント比一定のコンクリートのスランプ、空気量、圧縮強度試験

(1) 実験の概要および結果

コンクリートの配合はブレンコンクリートでは単位セメント量 300kg, 単位水量 150kg とし、A E剤、分散剤使用のコンクリートは単位セメント量 300kg, 単位水量はブレンコンクリートの場合より10%減じて135kg とした。s/aはブレンコンクリートでは37%, A E剤、分散剤使用の場合はすべて35%とした。

A E剤、分散剤の使用量は製造会社の指示する量とした。試験の結果は表—5に示す。

表-5

種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	混和剤量 (セメントに対して) (%)	練上がりコンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
												3日	7日	28日
プレーン	40	10.0	1.6	150	300	50	37	768	1293	-	16.5	183	273	403
A	40	9.3	4.1	135	300	45	35	707	1299	0.5	18	232	322	428
B	40	6.5	3.9	135	300	45	35	707	1299	0.5	19	232	335	453
C	40	8.0	5.5	135	300	45	35	707	1299	0.5	18	198	273	361
D	40	8.0	3.4	135	300	45	35	707	1299	0.25	19	184	294	401
E	40	8.5	5.4	135	300	45	35	707	1299	0.05	18	160	240	330
F	40	5.0	2.5	135	300	45	35	707	1299	0.1	19.5	211	302	423
G	40	10.5	6.0	135	300	45	35	707	1299	0.04	16	141	205	291

(2) 考 察

1) スランブ 規定量のAE剤、分散剤を用いて単位水量をプレーンコンクリートよりも10%減らすと、スランブは混和剤の種類によって大きな差を生じ5~10.5cmに変化した。プレーンコンクリートよりもスランブが大きくなったものは1種類のみであったが、いずれのAE剤、分散剤の場合も空気量あるいは分散作用などによってコンシステンシーが改善されていた(図-1)。なお、図-1

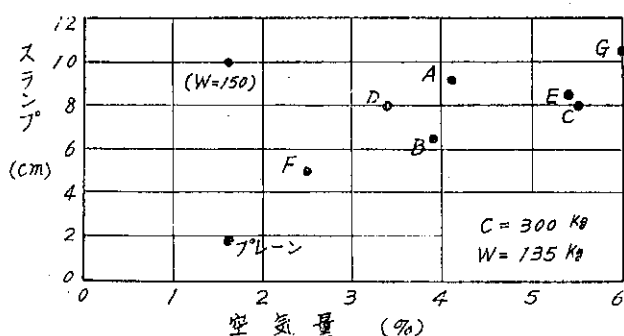


図-1 単位水量および単位セメント量一定のコンクリートの空気量とスランブの関係

のプレーンコンクリートで単位水量 135kg のときのスランブは $W=150\text{kg}$ のときの試験値から推定したものである。

2) 空気量 この種の配合のコンクリートに対しては耐久性の点からは4%程度の空気量が適当と思われるが、Fのように2.5%と過少のものがあつたほかは、いずれも4~5%の空気量があつた。分散剤はAE剤と異なり空気連行作用が主目的ではないので、発生する空気量もAE剤に比べると概して少なかった。

3) 圧縮強度 AE剤、分散剤を用いて単位水量をプレーンコンクリートよりも10%減らしたコンクリートは、分散剤5種類のうち3種類はプレーンコンクリートよりも強度が大きく、1種類は小さく、1種類は同程度であつた。AE剤を用いたものは空気量が大いいために強度が低かつた(図-2)。

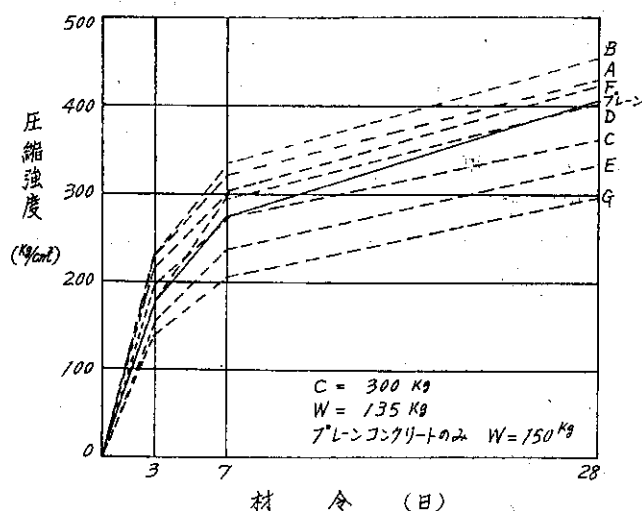


図-2 単位セメント量および単位水量一定のコンクリートの圧縮強度

また、一般に材令初期における強度増進率がプレーンコンクリートよりも大きかつた。

表-6

種 別	σ_3/σ_{28}	σ_7/σ_{28}
プレーンコンクリート	45%	67%
混和剤を用いたコンクリート	51	74

5 実験B 単位セメント量、スランブおよび空気量一定のコンクリートの単位水量、圧縮強度試験

(1) 実験の概要および結果

この実験では単位セメント量、スランブおよび空気量を一定とした場合、AE剤、分散剤が単位水量および圧縮強度に及ぼす影響を調べた。設計基準として

- 単位セメント量は300kgとした。
- スランブの範囲は $6.0 \pm 1\text{cm}$ とした。
- 空気量は $4.5 \pm 1\%$ を目標にし、AE助剤のないも

のは製造会社の指示量をそのまま使用した。したがって空気量の過大、過小のものがでたが、配合は変えずにそのまま使用した。

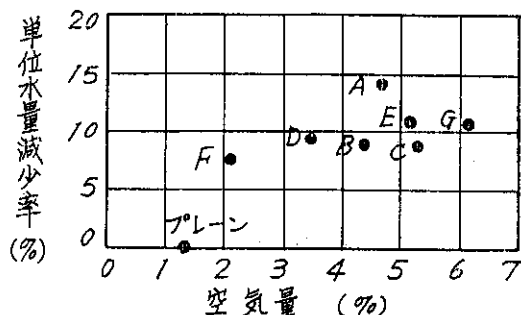
表—7

種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	W/C (%)	s/a (%)	単細材量 (kg)	単粗材量 (kg)	単位骨量 (kg)	混和剤量 (セメントに対して)		減水率 (%)	練上りコンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
											本剤 (%)	助剤 (%)			3日	7日	28日
プレーン	40	8±1	1.3	147	300	48.7	37	772	1300		-	-	0	18.5	175	278	413
A	40	8±1	4.7	126	300	42.7	35	706	1322	0.5	使用		14.3	19.6	166	291	405
B	40	8±1	4.4	134	300	45.0	35	698	1281	0.5	ク		8.9	18.8	196	295	409
C	40	8±1	5.3	135	300	45.0	35	698	1281	0.5	-		8.2	20.0	181	237	376
D	40	8±1	3.5	133	300	45.0	35	698	1281	0.25	-		9.5	20.0	203	298	394
E	40	8±1	5.2	131	300	44.3	35	700	1285	0.05	-		10.9	20.0	142	260	352
F	40	8±1	2.1	136	300	45.3	33	706	1297	0.1	-		7.5	18.5	179	323	428
G	40	8±1	6.2	131	300	44.0	35	701	1287	0.04	-		10.9	18.8	155	237	342

(2) 考 察

1) 単位水量

ある空気量およびスランプのコンクリートを作る場合に必要な単位水量は、混和剤の種類によっていくぶん差があったが、いずれの混和剤を用いてもプレーンコンクリートよりは単位水量が減少しており、その減少率は8～14%の範囲であった。この単位水量の減少と連行空気



図—3 単位水量減少率と空気量の関係

量との関係は図—3 のようになり、分散剤の種類が異なれば両者の相関関係はないことがわかった。

最も減水効果の大きかった分散剤AとAE剤E、Gを比較すると、前者の単位水量は後者の96%となっており、AE剤の減水効果もかなり大きかった。これはAE剤を用いたコンクリートの空気量が分散剤Aを用いたものより大きかったことにもよるので、空気量が同一であるとして換算すると94～91%程度になると推定される。

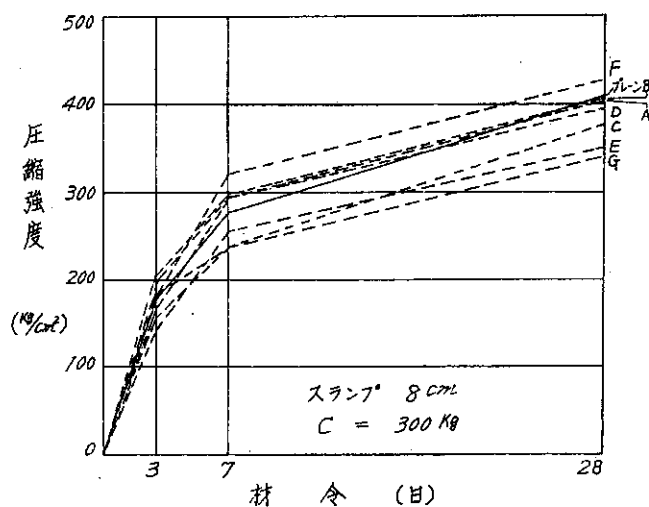
2) 圧縮強度

スランプおよび単位セメント量を一定にした混和剤を用いたコンクリートの圧縮強度をプレーンコンクリートと比較すると、28日強度では4種類の混和剤を用いたコンクリートがプレーンコンクリートとほぼ同等であり、

iv) s/aはプレーンコンクリートで37%、AE剤、分散剤使用のコンクリートではすべて35%とした。試験の結果は表—7に示す。

他の3種類はプレーンコンクリートよりも小さかった。

(図—4)。



図—4 スランプおよび単位セメント量一定のコンクリートの圧縮強度

また、実験Aにおけると同様に、初期材令における強度増進率は混和剤を用いたもののほうが大きく、平均すると表—8のようになった。

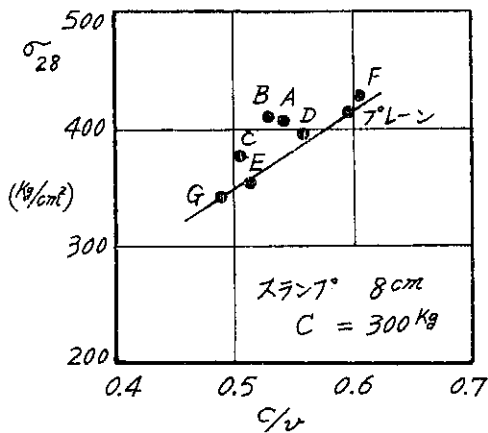
表—8

種 別	σ_3/σ_{28}	σ_7/σ_{28}
プレーンコンクリート	42%	67%
混和剤を用いたコンクリート	49	72

コンクリートの材令28日における圧縮強度と、セメント空隙比との関係を図—5に示す。

$$\text{ここに } \frac{c}{u} = \frac{\text{セメントの絶対容積}}{\text{空気量+水の絶対容積}}$$

この図によると、プレーンコンクリートと分散作用を持たないAE剤をE, Gを結ぶ線から左上に離れるものほど分散剤による強度増進の効果が大きいといえる。



図—5 $c/u-\sigma_{28}$ 線

一般に分散剤を用いたコンクリートはプレーンコンクリートに比べて、スランプおよび単位セメント量を同一にした場合には10%程度強度が大きいといわれているが、この実験では1種類を除き他はいずれもプレーンコンクリートよりも材令28日における圧縮強度が小さかった。これは分散剤を用いたコンクリートではA, BのようにAE助剤を添加して空気量を増やしたことが原因であると考えられる。

6 実験C コンクリートの凍結融解試験

(1) 実験の概要、および結果

試験は全自動式凍結融解試験装置によってASTMC290-57Tに準じて行なった。すなわち10×10×42cmのコンクリート供試体が絶えず3mm程度の水または氷で覆われるように綿糸製網袋で保護し、これをゴム製袋に収め、塩化カルシウム溶液を媒液として凍結融解を繰返すものであり、供試体中心部温度が凍結時最低 $-18^{\circ}\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 融解時最高 $+4.5\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ となるようにそれぞれ70~90分、50~70分程度を要し、1日約10回の凍結融解を繰返した。また、凍結融解の開始材令は試験装置の都合により35日とし、凍結融解約30回ごとにJISA1127による動弾性係数の測定を行ない、約50回ごとに凍結融解の反復による供試体表面のはく離状況を写真—1に記録した。凍結融解の繰返しによる動弾性係数の百分率を求め図示したものを図—6に、また耐久性指数を表—9に示す。

耐久性指数は次式により算出した。

$$DF = \frac{PN}{M}$$

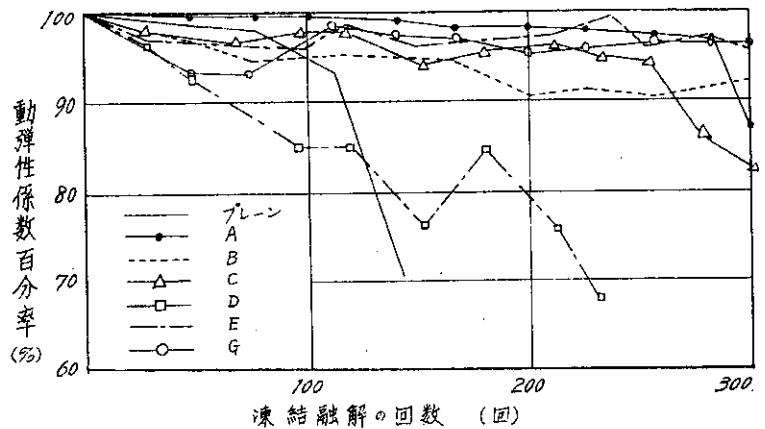
DF：供試体の耐久性指数

P：凍結融解開始時の動弾性係数に対するNサイクル時における動弾性係数の百分率

N：Pの値が60に達したときの凍結融解のサイクル

ル数が、60に達しないときは凍結融解を止めるように指示された回数でこの場合は300

M：凍結融解を止めるように指示された回数



図—6 凍結融解試験結果

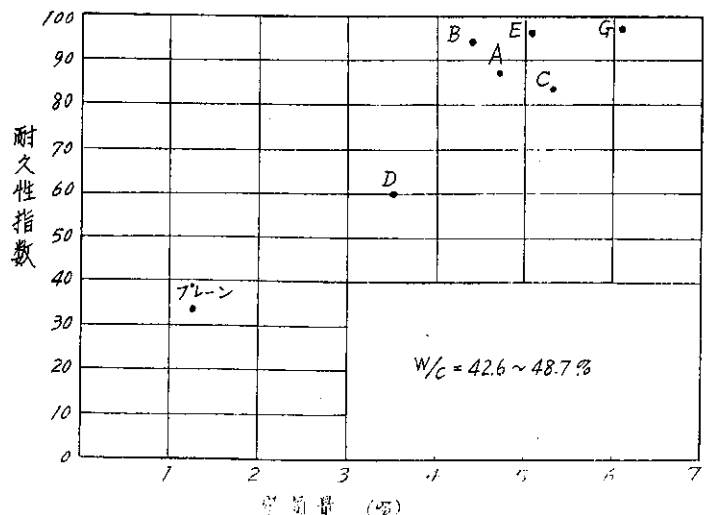
表—9 耐久性指数

混和剤の種類	プレーン	A	B	C	D	E	G
耐久性指数	34	87	94	83	60	96	97

なおコンクリートの配合は実験Bにおける配合と同一である。

(2) 凍結融解試験に対する考察

図—6から明らかなように、プレーンコンクリートが140回程度で破壊したのに対し、混和剤を用いたコンクリートでは1種類を除き凍結融解を300回繰返した結果、動弾性係数百分率は82~96%であり、ことにA, B, E, Gは耐久性改善の点からはすぐれた混和剤であるといえる。他の混和剤使用のものは、プレーンコンクリートよりは耐久性が改善されたが、A, B, E, Gに比べるといくぶん劣る。



図—7 耐久性指数と空気量の関係

コンクリートの耐久性指数と、空気量との関係を図示すると図-7のようになり、空気量の多いものは凍結融解に対する抵抗性が大きかった。

7 AE剤、分散剤の規格について

AE剤の規格には、土木学会AE剤規格案があり、AE剤を用いたコンクリートと用いないコンクリートについてブリージング率、圧縮強度、曲げ強度、付着強度および乾燥収縮を比較し、また、耐久性試験を行なうことになっている。今回のAE剤の試験方法は上記のAE剤規格案で規定している試験方法と少し異なる点があり、また試験を行っていない項目もある。しかし、実験B、実験CはAE剤規格案とほとんど同一の試験方法なので、この規格案により品質を調べてみると表-10のようになる。

表-10 土木学会AE剤規格案の規定値と試験値

種 別	規定値	AE剤の試験値	
		E	G
AE剤を用いないコンクリートに対する圧縮強度(%)	材令 3日	85以上	81
	7日	〃	94
	28日	〃	85
相 対 耐 久 性 係 数 (%)	80以上	99	100

注) ここで、相対耐久性係数を算出するときの基準となるコンクリートには、AE剤Gを用いたコンクリートをとった。

圧縮強度比が規定値より下廻っているものがあるが、その差はわずかであり、試験したAEコンクリートの空気量が規定量の4.5%よりも大きかったことを考慮に入れるとE、Gの2種類のAE剤はこの試験項目の規定には合致するものと思われる。

分散剤の規格として国内で定められたものはないが、減

水剤、レターダー、硬化促進剤などの規格を規定しているASTM Designation: C 494-62T 化学混和剤の暫定規格が参考になる。これによると試験条件は、粗骨材の最大寸法25mm、単位セメント量306±3kg、スランブ6.5±1cmとし、混和剤を用いたコンクリートと用いないコンクリート(基準コンクリートという。ただし両者の空気量の差は0.5を超えないものとする。)について、単位水量、凝結時間、圧縮強度、曲げ強度、付着強度、容積変化、耐久性指数、ブリージングの各試験を行なって比較することになっている。

実験B、実験Cがここに規定されている試験方法と大体同じなので、該当する項目について比較すると表-11のようになる。

この試験の基準コンクリート(AE剤Gを用いたコンクリート)の空気量と、各分散剤を用いたコンクリートの空気量の差が規定値の0.5%よりも大きかったことを考慮に入れて、これらの試験値から各分散剤の品質を判断するとAとBが強度、耐久性ともすぐれた品質をもつ分散剤といえることができる。またCが早強用分散剤と称していながら、各材令を通じてDよりも強度が低いのが注目される。

実 験 II

本実験では11種類の分散剤を用いたスランブと水セメント比が一定のコンクリートについて、コンクリートの長さ変化試験と凍結融解試験とを行ない、このうちの3種類の分散剤については、ブリージング試験と圧縮強度、曲げ強度、引張強度の各強度試験も行なった。なお比較のためにブレンコンクリートについても同様の試験をした。

1 使用材料

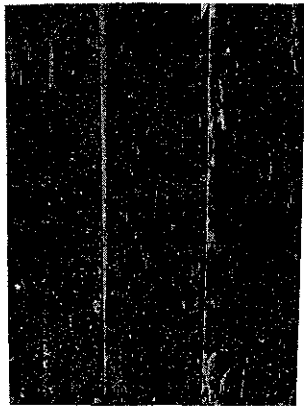
試験に用いた分散剤は11種類でありコンクリートに使用する量は製造会社の指示する量とした(表-12)。

表-11

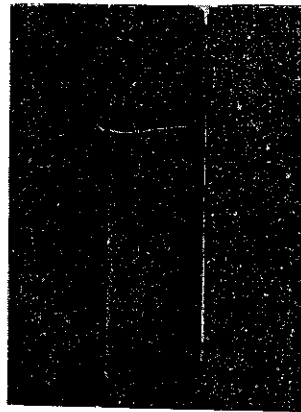
ASTM 混和剤の暫定規格の規定値と試験値

種 別	規 定 値	各 分 散 剤 の 試 験 値				
		A	B	C	D	F
基準コンクリートに対する単位水量百分率 (%)	95以下	96	102	103	102	(93) 104
基準コンクリートに対する圧縮強度百分率 (%)	3日 110以上	107	126	117	131	(102) 115
	7日 110以上	123	124	100	126	(116) 136
	28日 110以上	118	120	110	115	(101) 125
基準コンクリートに対する耐久性指数百分率(%)	80以上	90	97	86	72	—

注) AE剤Gを用いたコンクリートを基準コンクリートとした。Fのカッコ書きは、Fの空気量が少ないため、これを空気を連行しない分散剤とみなして、基準コンクリートにはブレンコンクリートを用いた場合の数字である。



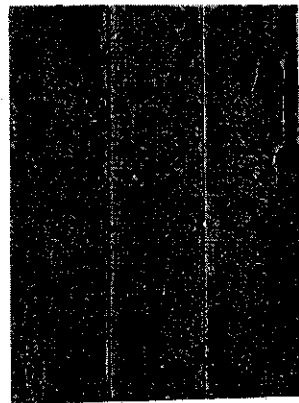
プレーン 0 サイクル



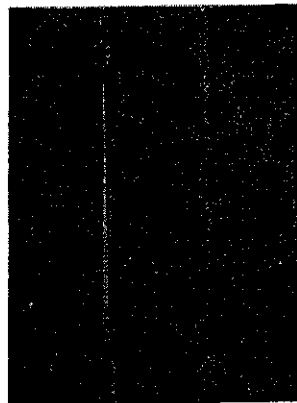
86 サイクル



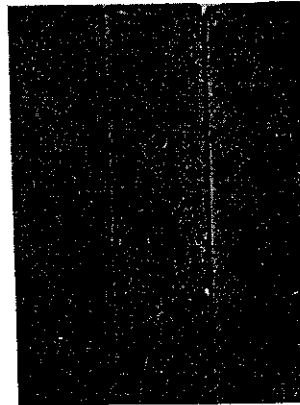
141 サイクル



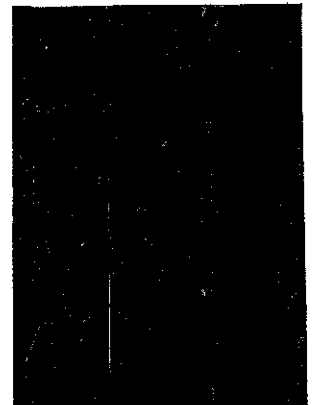
A 0 サイクル



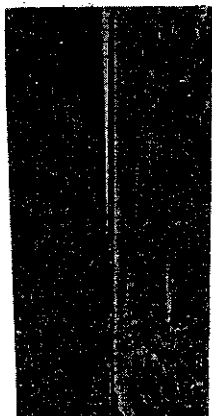
14.1 サイクル



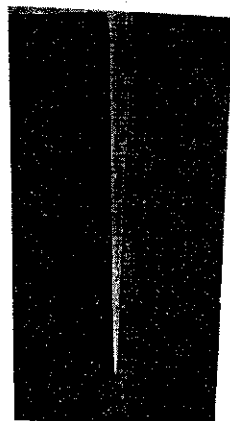
198 サイクル



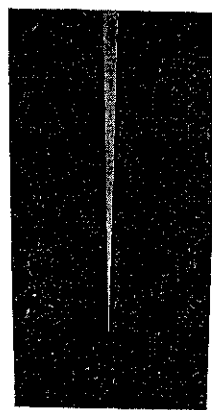
304 サイクル



B 0 サイクル



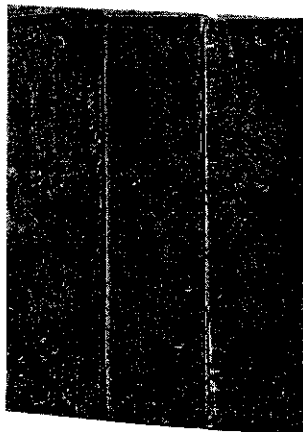
14.1 サイクル



200 サイクル



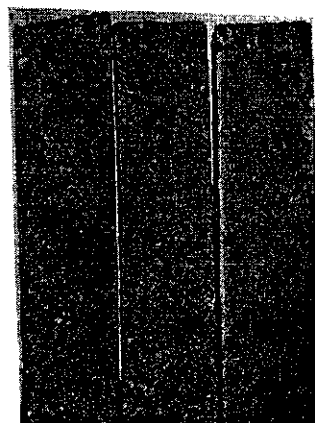
302 サイクル



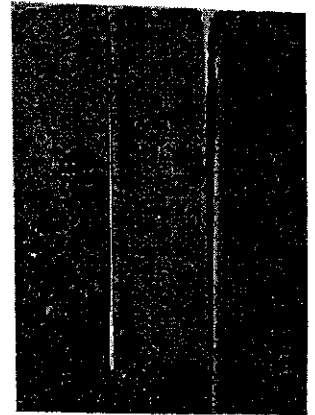
C 0 サイクル



94 サイクル



211 サイクル



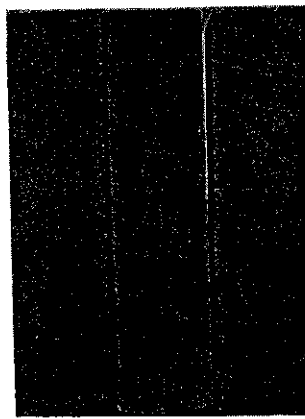
303 サイクル

写真—1—1

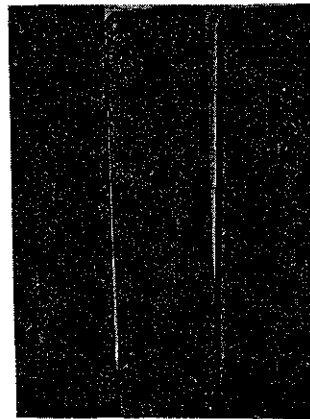
AE 剤, 分散剤を用いたコンクリートの凍結融解による表面剥離の状況



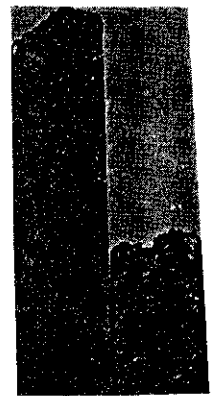
D 0 サイクル



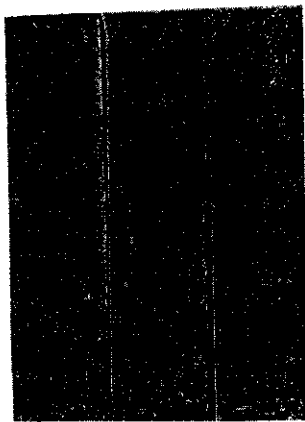
94 サイクル



211 サイクル



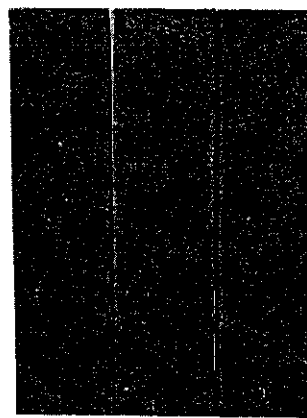
303 サイクル



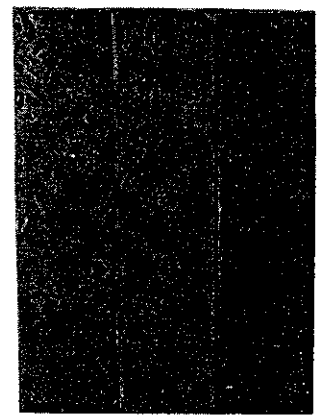
E 0 サイクル



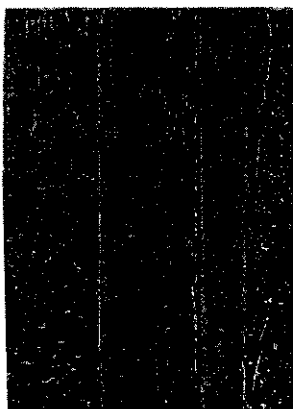
94 サイクル



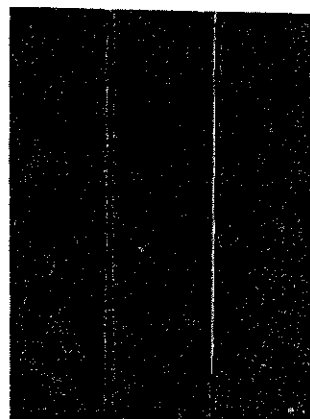
211 サイクル



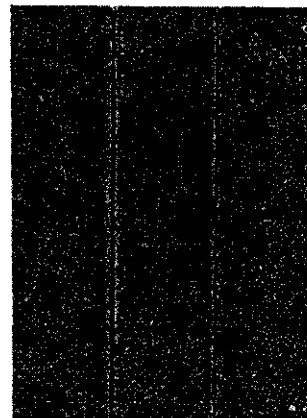
303 サイクル



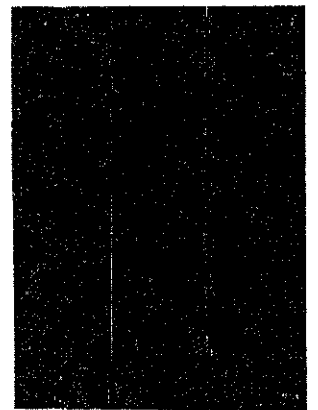
F 0 サイクル



141 サイクル



200 サイクル



302 サイクル

写真—1—2

表-12 試験した分散剤の種類

記 号	種 類
A	アルキルアリル系非イオン活性剤
B	スルホン酸カルシウム、レジン
C	アルキルエーテル系非イオン活性剤
D	ニトロフミン酸物質
E	リグニン、アルカリ塩
F	アルキルアリルスルホン酸カルシウム
G	アクリル酸誘導体
H	リグニンスルホン酸カルシウム
I	〃
J	〃
K	ポリプロピレン系非イオン活性剤

注：この記号は実験Ⅰの記号とは別個のものである。

セメントは日本セメント上磯工場製の普通ポルトランドセメントで、その物理試験成績は表-13のとおりである。

細骨材は苫小牧市宇錦岡海岸産の砂を使用した。その物理試験成績は表-14のとおりである。

粗骨材は静内郡静内町の静内川産の川砂利を使用した。搬入された骨材を粒径25mm～15mm、15mm～5mmの2の種類にフルイ分け、これを水中で完全に吸水させた後ミキサーの中にウェスと一緒に投入して回転させて骨材を表面乾燥飽水状態にした。実際使用にあたって、25～15mmを55%、15～5mmを45%の比率で使用した。なお物理試験成績は表-15のとおりである。

2 配 合

コンクリートのスランプは6.5±1cm、水セメント比は66%、50%、40%の3種類とした。ただしコンクリートの

強度試験およびブリージング試験を行なわなかった8種類の分散剤については水・セメント比は50%の1種類とした。コンクリートの配合設計にあたっては2切(54ℓ)の可傾式ミキサーを使用した。分散剤は稀釈して混合水と一緒にミキサーに投入し、全材料投入後4分間練り混ぜた。

供試体の製作には4切(108ℓ)の可傾式ミキサーを使用し、JIS A 1132により行ない、3バッチから材令3日、7日、28日、91日、180日、365日の6材令の供試体をおおの4個採取した。圧縮試験、曲げ試験、引張試験用の供試体は同一のバッチから採取した。

コンクリートの練り上がり温度は21±3℃になるように混合水を加熱して調整した。供試体は製作後20℃±3℃の湿気養生槽で24時間養生したのち脱型し、20℃±3℃で水中養生を行なった。水中養生の際、養生槽の容量の関係から、180日強度と365日強度の供試体を9月中旬から10月末まで(材令1箇月から2箇半月の間)戸外の水槽に入れたが、水温は平均すると9月では14℃、10月では11℃であった。

配合試験の結果は表-16のとおりである。

3 コンクリートのブリージング試験

コンクリートのブリージング試験はC、I、Kの3種類の分散剤を用いたコンクリートとブレンコンクリートとについて行なった。試験はJIS A 1123に従って21±1℃の恒温槽で行なった。試験結果は表-17のとおりである。

表-15 砂 利 の 試 験 結 果

比 重	吸水量 (%)	単位容積重 (kg/m ³)	洗い試験 で失なわ れる量 (%)	硫酸ナトリウ ムによる安定 性試験損失量 (%)
2.76	1.08	1,753	0.4	1.5

表-13

セメントの物理試験結果

比 重	粉 末 度		凝 結 始		安定性	フ ロ ー 値	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
	88μ残分 (%)	ブレン (cm ³ /g)	始 発 (時—分)	終 結 (時—分)			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
3.16	2.6	3,310	2—21	3—34	良	227	33.8	52.5	78.5	136	242	436

表-14

砂 の 試 験 結 果

比 重	吸水量 (%)	単位容積重 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験で 失なわれる量 (%)	フルイにとどまる重量の百分率						粗粒率
					5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.71	1.00	1,883	合 格	0.5	4	12	28	49	80	98	2.71

表—16—

コンクリートの配合

種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg)	単 セメント 位置 (kg)	水セメ ン 比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単 細骨材量 (kg)	単 粗骨材量 (kg)	分散剤量 (セメント に対し (%)
ブレーション	6.5±1	1.9~2.3	150	227	66	42	886	1246	—
		1.7~2.2	150	300	50	40	819	1251	—
		1.6~2.2	150	375	40	38	754	1252	—
A	6.5±1	2.9	135	270	50	37	747	1295	0.04
B		2.7	133	266	50	37	750	1301	0.2
C	6.5±1	2.9~3.5	137	208	66	39	806	1284	0.1
		2.2~3.5	137	274	50	37	744	1290	0.1
		1.9~2.1	138	345	40	35	681	1288	0.1
D	6.5±1	2.3	137	274	50	37	744	1289	0.1
F		3.9	129	258	50	37	757	1312	0.15
E		5.6	128	256	50	37	758	1314	0.25
G		2.1	141	282	50	37	740	1278	0.5
H		2.8	128	256	50	37	758	1315	0.5
I	6.5±1	2.9~3.7	131	198	66	39	815	1299	0.5
		3.0~3.8	131	262	50	37	753	1307	0.5
		2.8~3.1	131	328	40	35	693	1311	0.5
J	6.5±1	5.1	121	242	50	37	770	1335	0.25
K	6.5±1	3.7~4.4	133~138	202~209	66	39	804~812	1281~1294	0.08
		2.8~3.7	136~138	272~276	50	37	742~745	1287~1292	0.08
		2.2~3.3	136~138	340~345	40	35	681~685	1288~1295	0.08

表—17— ブリージング試験結果

種類	W/C (%)	最終ブ リージ ング量 (cm ³ /cm ³)	最終ブ リージ ング率 (%)	ブレーションとの比 (%)	
				ブリージ ング量	ブリージ ング率
ブレーション	66	0.235	5.6	100	100
	50	0.105	2.5	100	100
	40	0.056	1.4	100	100
C	66	0.153	4.1	65	73
	50	0.090	2.4	86	96
	40	0.043	1.2	77	86

I	66	0.145	3.8	62	68
	50	0.082	2.0	78	80
	40	0.037	1.0	66	72
K	66	0.119	3.3	51	59
	50	0.085	2.1	81	84
	40	0.045	1.1	80	79

4 強度試験

C, I, Kの3種類の分散剤を用いたコンクリートとブレーションコンクリートについて、水セメント比66%, 50%, 40%, 材令3日, 7日, 28日, 91日, 180日, 365日で強度試験をした結果は表—18のとおりである。

表—18— 強度試験結果
材 令 3 日

種類	強度の別 水セメ ン ト比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧 縮強度 (kg/cm ²)		
		66			66			66			66		
		66	50	40	66	50	40	66	50	40	66	50	40
ブレーション		113	183	255	23.2	34.6	40.8	12.8	20.6	25.1	139	217	280
C		105	181	256	23.2	30.6	37.0	15.1	27.0	29.0	132	206	281
I		111	214	263	23.3	34.9	41.6	16.0	22.7	26.6	125	219	303
K		98	179	260	21.1	33.3	40.3	10.6	20.6	25.4	110	204	264

材 令 7 日

種 類	強度の別 水セメ ント比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧縮強度 (kg/cm ²)		
		66	50	40	66	50	40	60	50	40	66	50	40
プレ ー ン		160	236	334	30.8	42.3	52.2	16.0	25.5	31.1	201	324	399
C		153	266	346	30.7	42.4	50.8	18.6	28.9	33.0	189	289	379
I		153	275	362	31.4	43.4	53.8	18.4	29.7	34.6	180	332	390
K		139	265	341	30.8	42.5	51.5	17.7	30.5	34.5	160	290	378

材 令 28 日

種 類	強度の別 水セメ ント比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧縮強度 (kg/cm ²)		
		66	50	40	66	50	40	66	50	40	66	50	40
プレ ー ン		257	353	419	41.0	49.4	57.0	24.9	30.1	40.8	284	415	490
C		257	389	439	40.4	49.4	56.3	25.5	33.0	37.0	289	485	502
I		283	404	507	38.0	47.6	53.9	25.6	33.8	35.6	311	401	521
K		232	366	430	37.1	46.1	60.2	26.2	36.1	40.9	247	383	444

材 令 91 日

種 類	強度の別 水セメ ント比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧縮強度 (kg/cm ²)		
		66	50	40	66	59	40	66	50	40	66	50	40
プレ ー ン		290	403	480	46.8	55.0	59.1	28.2	38.8	42.0	330	448	552
C		296	420	482	47.0	56.3	58.6	28.3	41.1	40.5	323	472	564
I		289	440	518	44.2	54.2	58.4	31.4	39.2	45.9	321	453	550
K		267	436	487	40.2	52.7	59.2	26.3	35.5	40.7	280	450	498

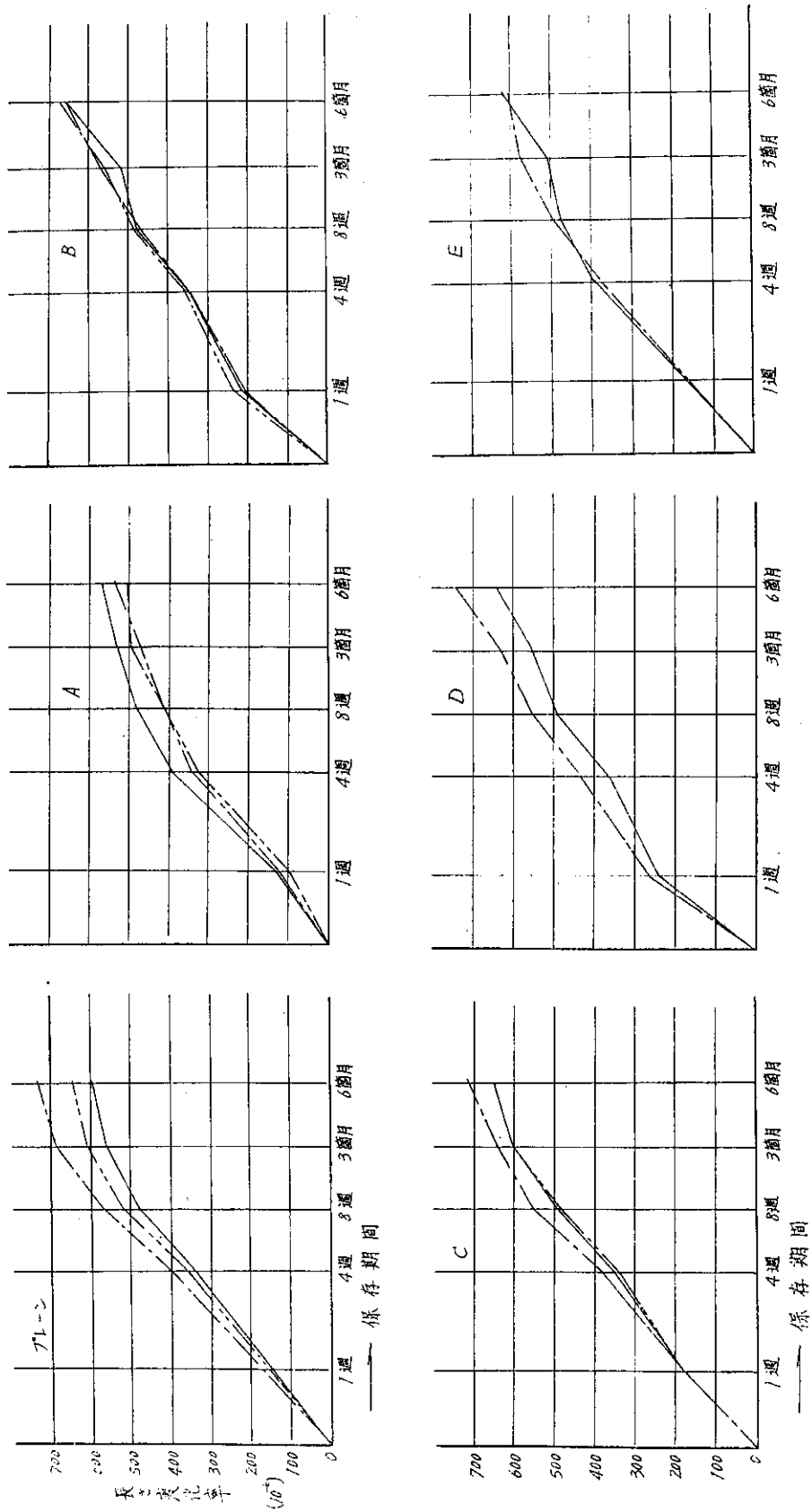
材 令 180 日

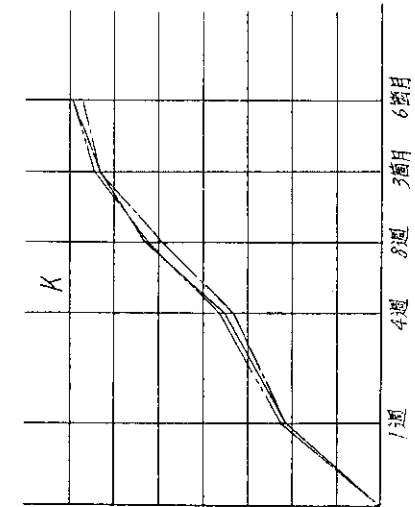
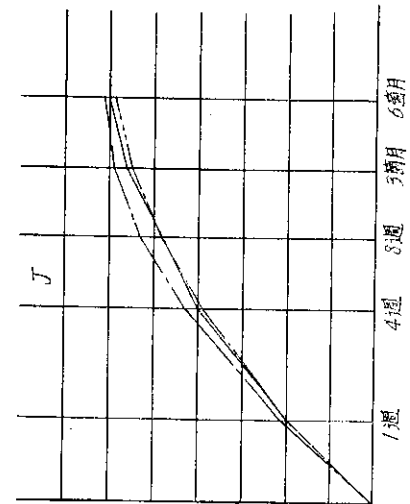
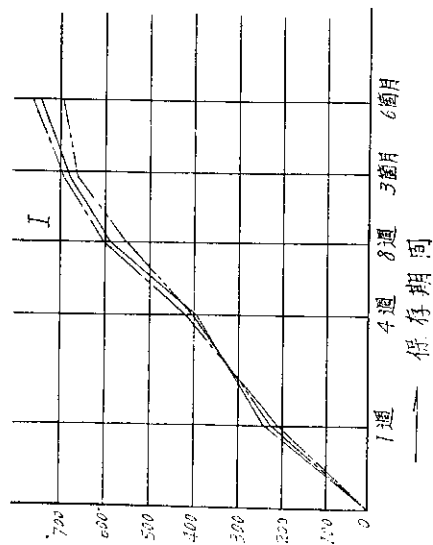
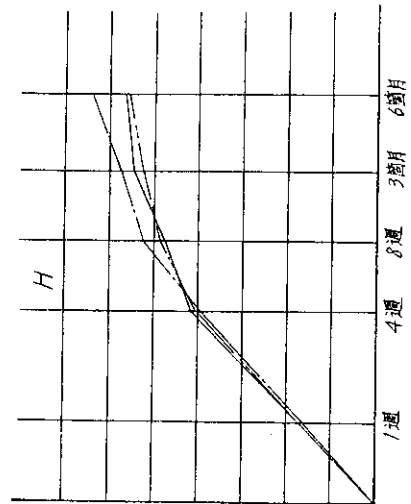
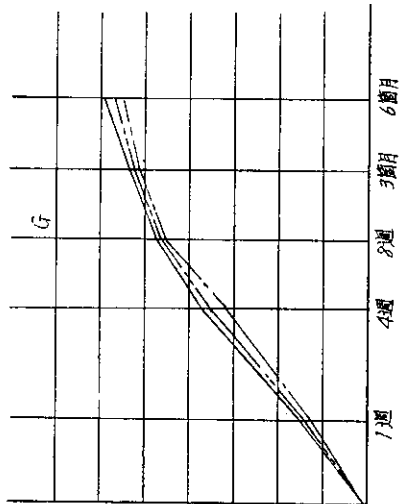
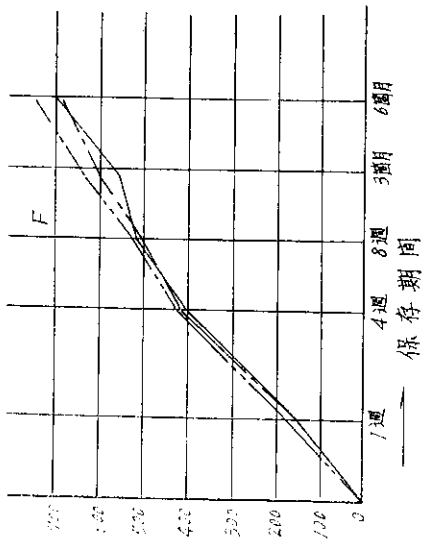
種 類	強度の別 水セメ ント比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧縮強度 (kg/cm ²)		
		66	50	40	66	50	40	66	50	40	66	50	40
プレ ー ン		269	404	467	42.5	51.3	56.3	26.7	27.4	38.0	298	415	471
C		278	416	518	44.8	52.9	58.8	26.9	33.0	38.2	301	448	516
I		276	426	504	43.9	53.2	58.9	28.6	35.7	41.8	316	472	506
K		258	412	521	44.9	54.5	59.1	20.6	25.0	35.2	288	474	555

材 令 365 日

種 類	強度の別 水セメ ント比(%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			曲げ折半による圧縮強度 (kg/cm ²)		
		66	50	40	66	50	40	66	50	40	66	50	40
プレ ー ン		280	416	474	41.7	48.0	53.4	25.3	36.3	41.3	329	490	573
C		279	379	467	39.5	49.5	55.8	26.1	36.2	41.4	307	468	556
I		288	435	509	40.5	50.2	55.9	25.9	35.3	40.0	304	471	542
K		270	415	460	41.7	51.9	55.1	22.5	35.8	39.3	297	448	535

図一八 乾燥による長さ変化率と保存期間との関係





5 コンクリートの長さ変化試験

11種類の分散剤を用いたコンクリートとプレーンコンクリートとの乾燥による長さ変化を技協Ⅱ型コンパレーターを用いてJIS A 1125により試験した。ただし型ワは $10 \times 10 \times 42 \text{ cm}$ のものを使用した。また供試体は $21^\circ \pm 1^\circ \text{ C}$ の恒温室内に保存したが、湿度はおおむね65~75%、最高94%、最低55%であった。

保存期間1週、4週、8週、3箇月、6箇月においての

表—19 乾燥による長さ変化率 ($\times 10^{-5}$)

種類 \ 保存期間	1 週	4 週	8 週	3 箇月	6 箇月
プレーン	160	370	520	620	660
A	120	350	430	500	540
B	210	340	470	540	650
C	180	360	510	610	670
D	250	400	520	590	690
E	160	380	480	540	610
F	160	420	520	590	700
G	130	330	450	510	560
H	170	400	490	540	580
I	230	400	580	670	730
J	200	410	500	570	600
K	220	360	520	650	690

長さ変化率は表—19、図—8のとおりである。

6 コンクリートの凍結融解試験

凍結融解試験は分散剤を用いたコンクリート11種類と、プレーンコンクリートとの計12種類のコンクリートについて、材令14日より当所の全自動式コンクリート凍結融解試験装置を用いてASTM C 290-57Tに準じて行なった。

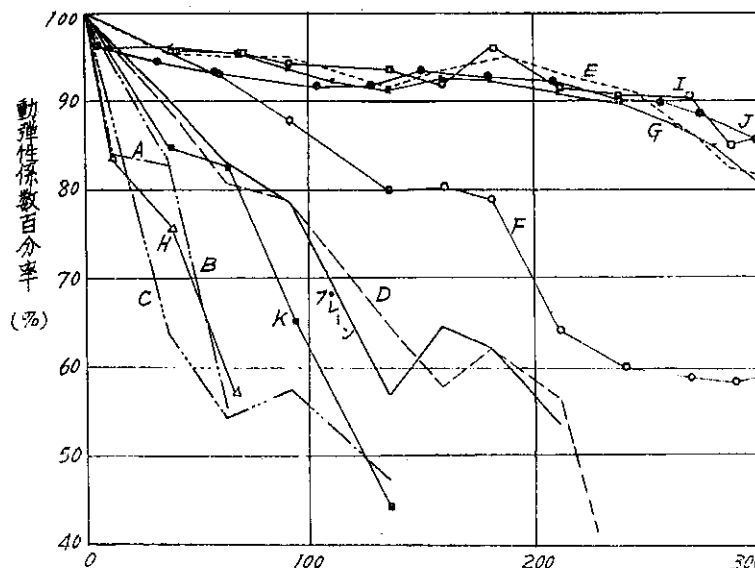
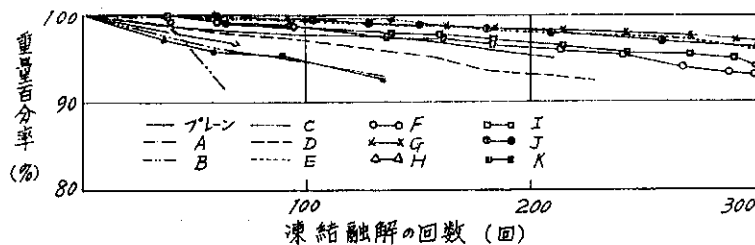
試験方法は実験Ⅰの場合と同様であり、凍結融解約30回ごとに動弾性係数と供試体重量を測定し、約50回ごとに凍結による表面はく離の状況を写真に記録した。凍結融解の繰返しによる重量の百分率および動弾性係数の百分率を求め図示すると図—9のとおりである。表面はく離状況を記録したものを写真—2に示す。

7 考 察

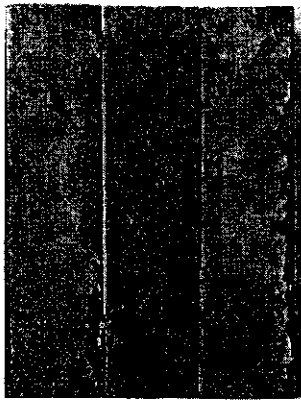
(1) 単位水量

11種類の分散剤を用いたコンクリートでは、プレーンコンクリートと同一のスランプにするための単位水量はプレーンコンクリートの場合の81~94%の範囲にあった(図—10)。

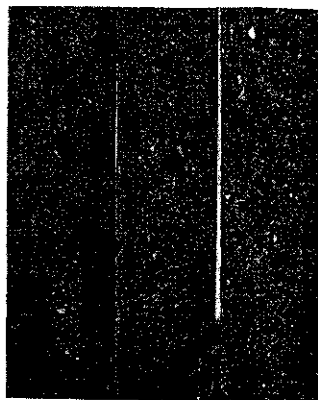
水セメント比と単位水量減少率との関係を3種類の分散剤について調べると表—20のようになり、同一の分散剤では水セメント比が変わっても単位水量減少率はあまり変わらないようである。



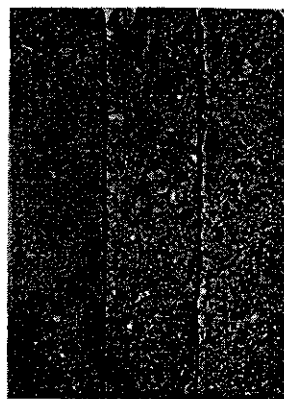
図—9 凍結融解試験結果



プレーン 0 サイクル



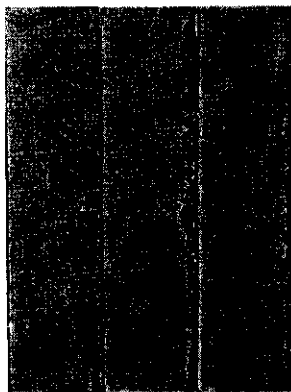
135 サイクル



240 サイクル



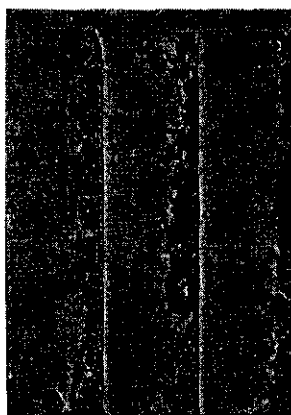
300 サイクル



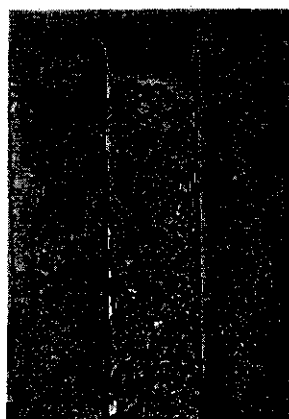
A 0 サイクル



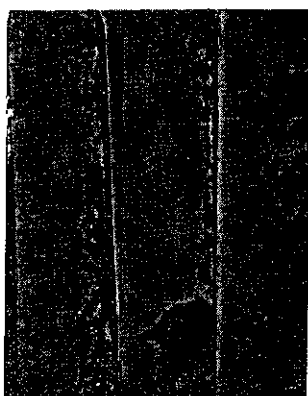
111 サイクル



B 0 サイクル



63 サイクル



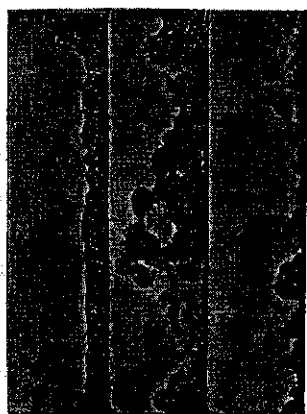
C 0 サイクル



135 サイクル

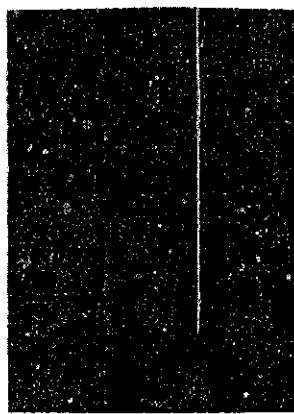
写真—2—1

分散剤を用いたコンクリートの凍結融解による表面剥離の状況

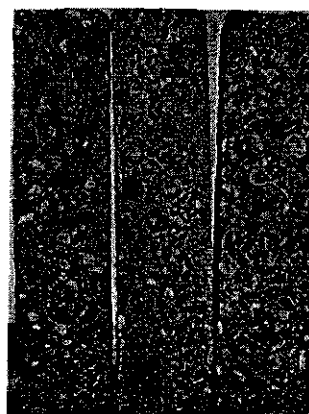


D

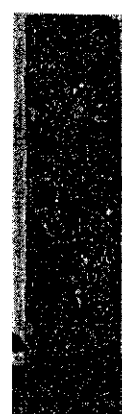
0 サイクル



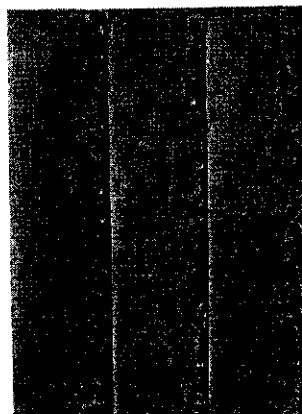
135 サイクル



240 サイクル

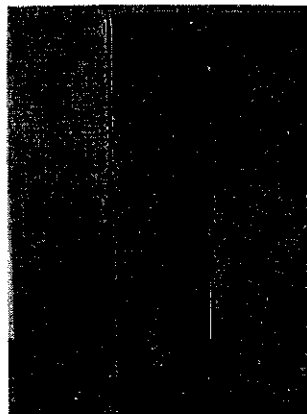


300 サイクル

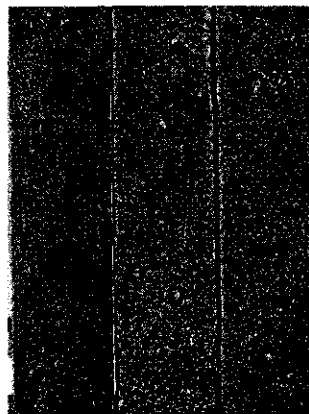


E

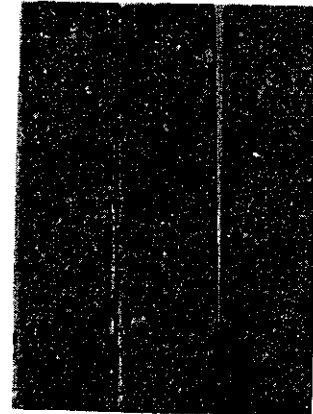
0 サイクル



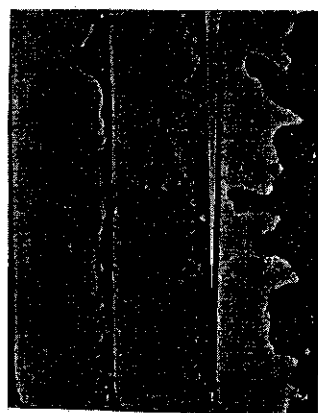
135 サイクル



181 サイクル

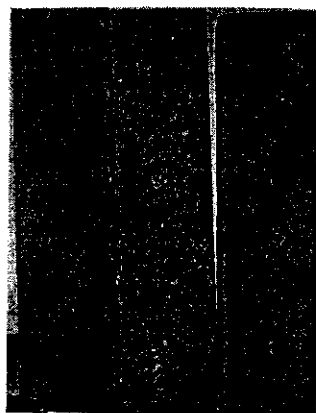


300 サイクル

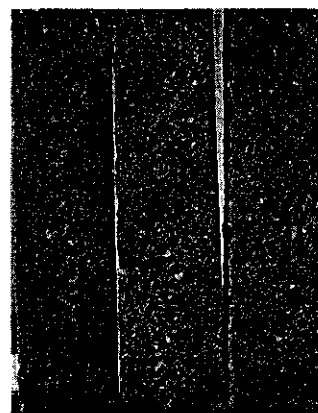


F

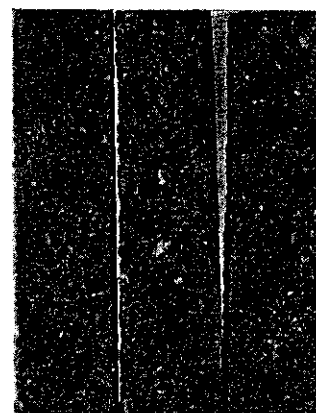
0 サイクル



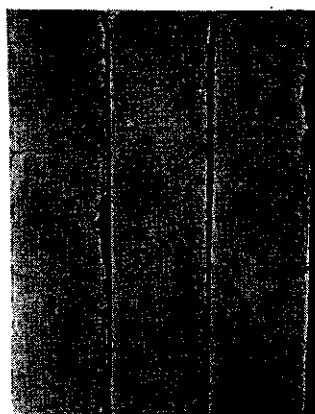
135 サイクル



181 サイクル



300 サイクル

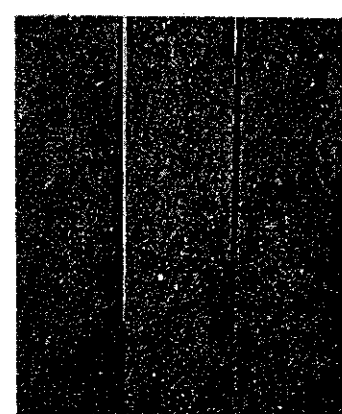


G

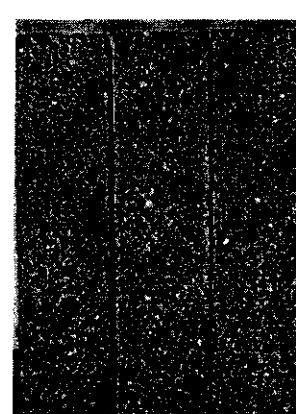
0 サイクル



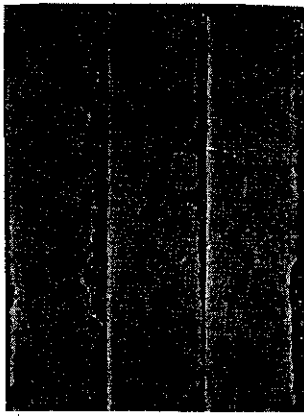
111 サイクル



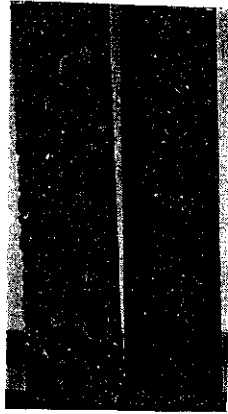
216 サイクル



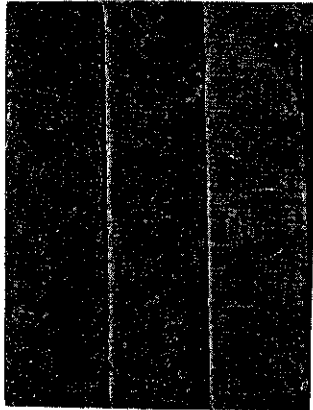
300 サイクル



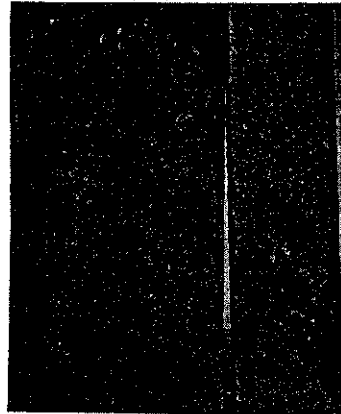
H 0 サイクル



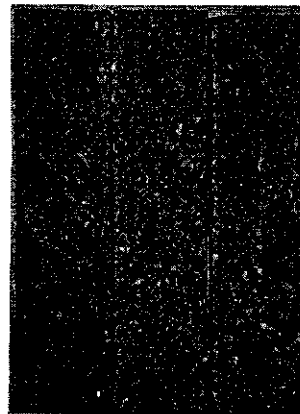
111 サイクル



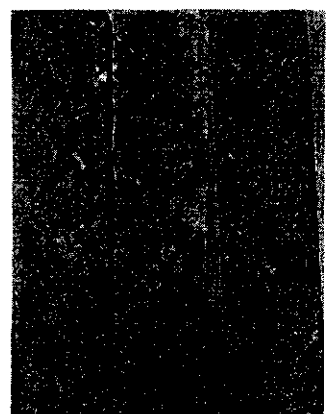
I 0 サイクル



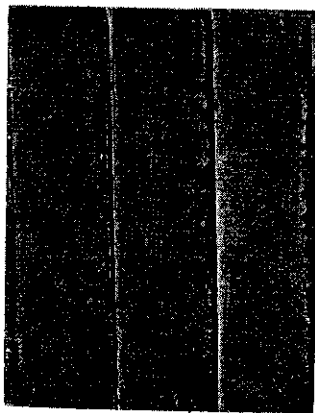
135 サイクル



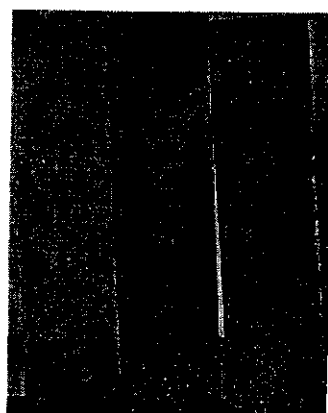
240 サイクル



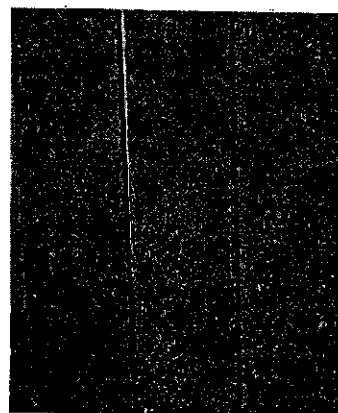
300 サイクル



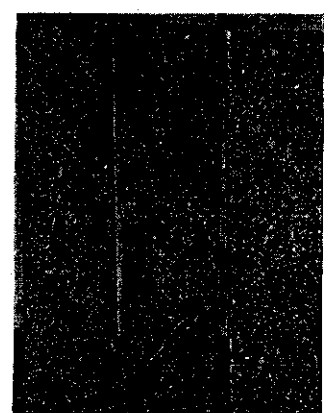
J 0 サイクル



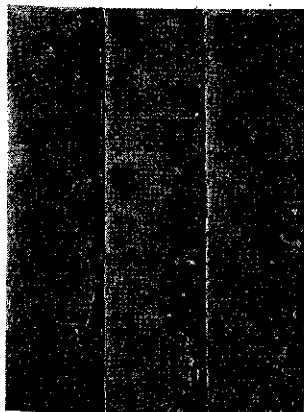
104 サイクル



209 サイクル



300 サイクル



K 0 サイクル



135 サイクル

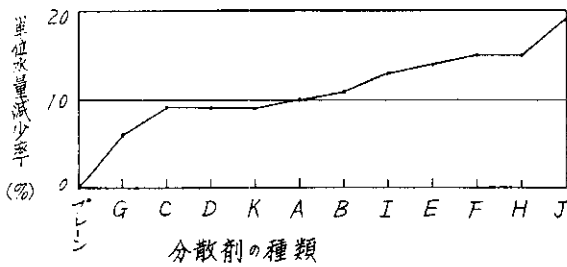


図-10 単位水量減少率

表-20 単位水量減少率(%)

分散剤	C	I	K
W/C(%)			
66	9	13	9
50	9	13	9
40	8	13	9

(2) 空気量

規定量の分散剤を用いて発生する空気量は大部分が2~4%の範囲内にあり平均3.2%であった。

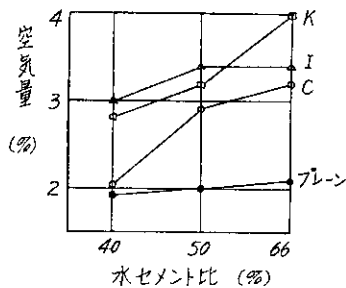


図-11 水セメント比と空気量の関係

図-11に3種類の分散剤を用いたコンクリートおよびプレーンコンクリートの水セメント比による空気量の変化を示す。これによるとプレーンおよび分散剤を用いたコンクリートとも水セメント比の大きいもののほうが空気量が大きいことがわかり、したがってエントレインドエアも大きいと推定することができる。

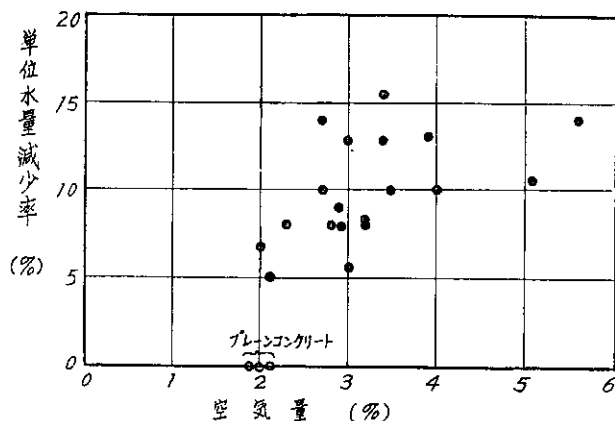


図-12 単位水量減少率と空気量の関係

空気量と単位水量の関係は図-12のようになる。実験Iにおける図-3と同じように、両者に明らかな関係はな

く、分散剤の種類によって大きな差異が認められた。

(3) ブリージング

ブリージング試験の結果を図示すると、図-13のとおりで、同一のW/Cでは分散剤を使用することによりブリージング率がプレーンコンクリートの59~96%に減少した。この比率は同一分散剤でもW/Cの相違で差があり、W/C=66%の場合に最もブリージング率減少の割合が大きかった。

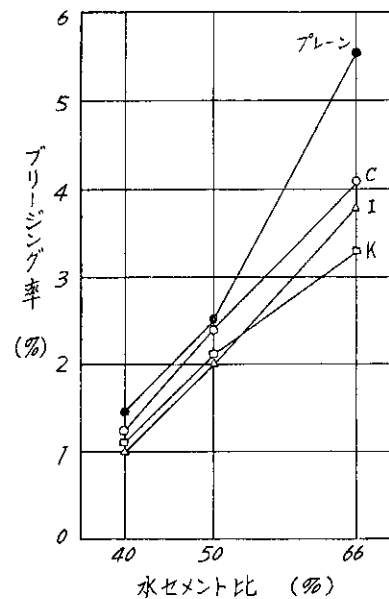


図-13 ブリージング率と水セメント比の関係

分散剤のブリージングの規格を定めているものにASTMの化学混和剤暫定規格があるが、本実験では基準コンクリートについて試験をしていないのでこれによらず、土木学会AE剤規格案によって検討してみた。

土木学会AE剤規格案では試験するコンクリートの配合は「AE剤を用いるコンクリートもAE剤を用いないコンクリートも、ともに、粗骨材の最大寸法は25mm、スランブは約6.5cm、単位セメント量は300kgとする」とあるので、分散剤を用いて単位セメント量を300kgとした場合のブリージング率を図-13から求める。その結は表-21のように

表-21 分散剤を用いたコンクリートのブリージング (単位セメント量 300kg)

コンクリートの種類	W/C (%)	ブリージング率 (%)	ブリージング率のプレーンとの比(%)
プレーン	50	2.5	100
C	45.7	1.9	76
I	43.7	1.4	56
K	45.7	1.7	68

なり、AE剤規格案のブリージングの規定「AE剤を用いたコンクリートのブリージング率は、AE剤を用いないコンクリートのブリージング率の65%以下でなければならない

い」に合うのはIだけで、C、Kのブリージング率はプレーンコンクリートよりも大幅に減つてはいるがAE剤規格案の値には達していなかった。

(4) 強度

材令と強度の関係は図-14-1～14-9に示す。各種類とも材令180日では強度低下の現象が見られたが、これは長期間の水中養生の間にコンクリート中の水酸化石灰が水に

溶解したこと、また養生温度に相違があったことなどに原因があったのではないかと考えられる。

分散剤を用いたコンクリートのプレーンコンクリートに対する強度比率は表-22のとおりである。圧縮強度、曲げ強度、引張強度とも強度比率は100%前後であった。

また材令の経過に伴ってプレーンコンクリートに対する強度比率が著しく低下することはなかった。

表-22 水セメント比、スランプが等しいときプレーンコンクリートとの強度比率(%)

分散剤の種類	W/C (%)	圧 縮 強 度 比						曲 げ 強 度 比						引 張 強 度 比					
		3日	7日	28日	91日	180日	365日	3日	7日	28日	91日	180日	365日	3日	7日	28日	91日	180日	365日
C	66	93	96	100	102	103	100	100	99	98	100	105	95	118	116	102	100	101	103
	50	99	101	110	104	103	91	88	100	100	102	103	103	131	113	110	106	120	100
	40	100	104	105	100	111	99	91	97	99	99	104	105	115	105	91	96	101	100
I	66	98	96	110	100	103	103	100	102	93	94	103	97	125	115	103	111	107	102
	50	117	105	114	109	105	105	101	103	96	99	104	105	110	117	112	101	130	97
	40	103	109	121	108	108	107	102	103	95	99	105	105	106	111	87	109	110	97
K	66	87	87	90	92	96	96	91	100	90	86	106	100	83	111	105	93	77	89
	50	98	101	104	108	102	100	96	101	93	96	106	108	100	120	120	91	91	99
	40	102	102	103	102	112	97	99	99	106	100	105	103	101	110	100	97	93	95
平均		100	100	106	103	105	100	96	101	97	97	105	102	110	113	103	100	103	98

圧縮強度と材令の関係

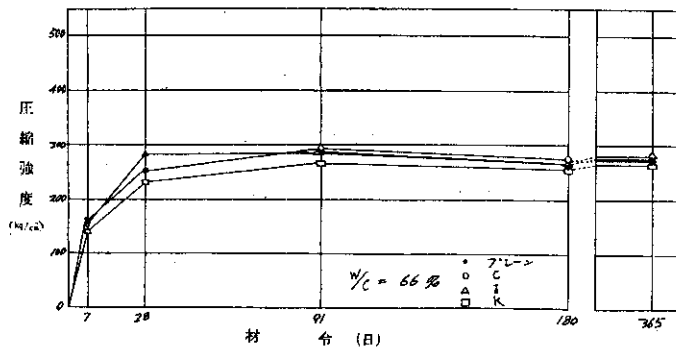


図-14-1

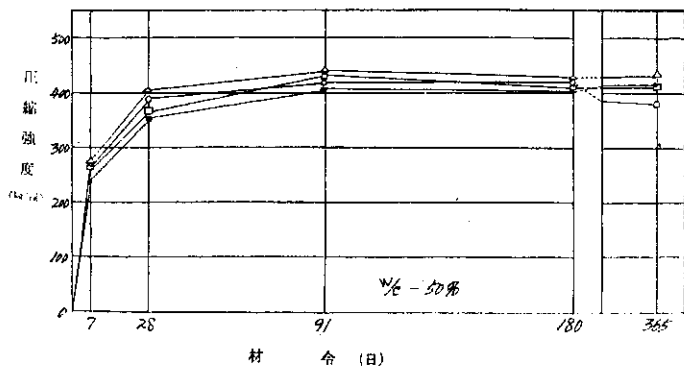


図-14-2

图-14-3

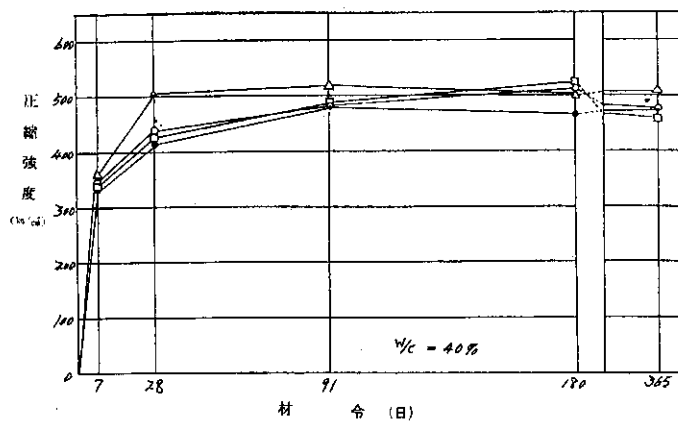


图-14-4

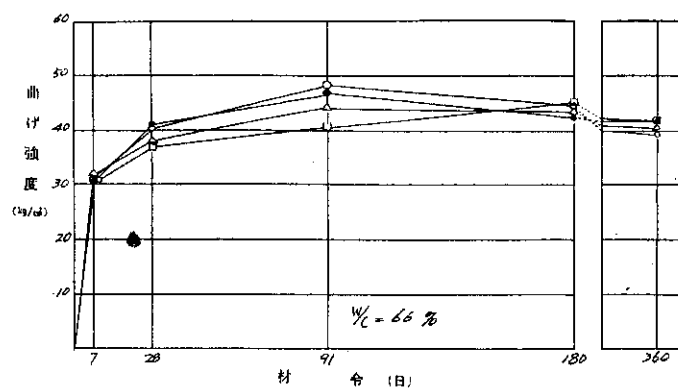


图-14-5

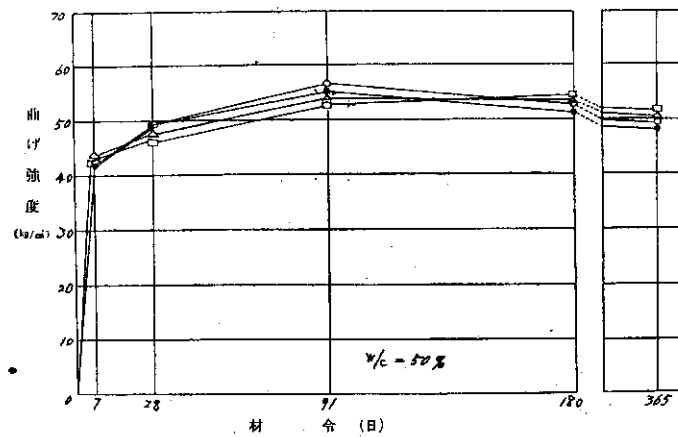
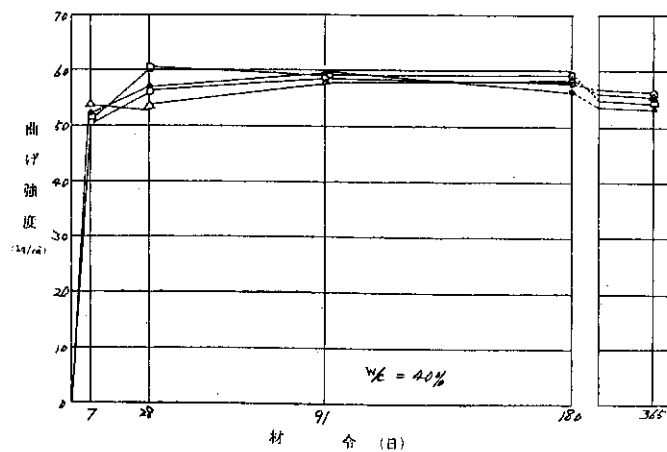


图-14-6



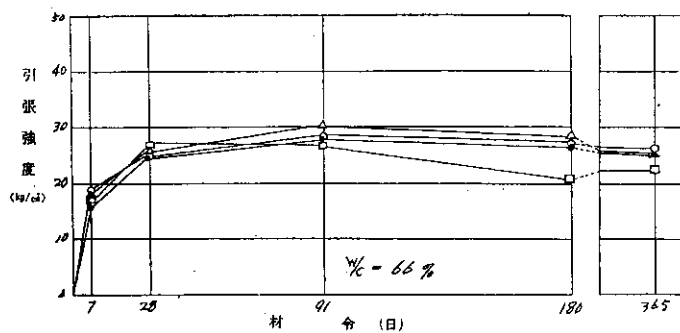


図-14-7

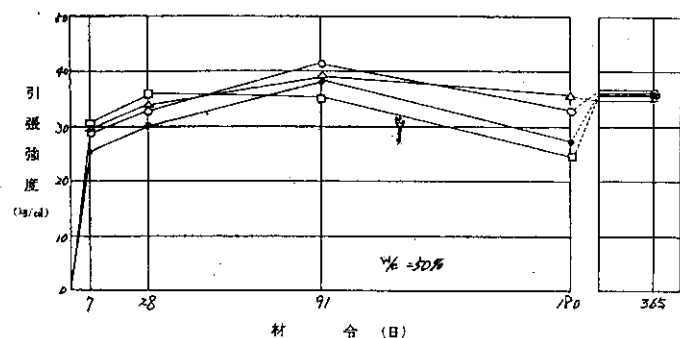


図-14-8

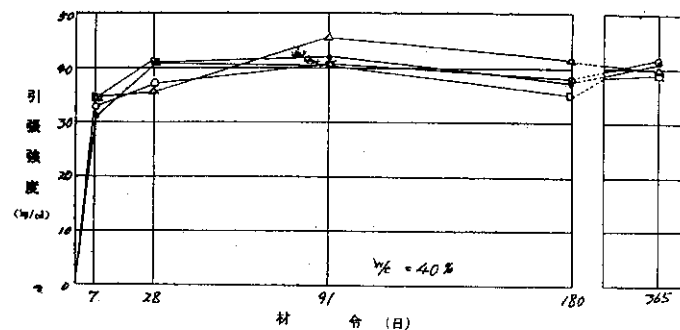


図-14-9

表-23

分散剤の経済比較

(ブレンコンクリートを100とした場合の価格比)

分散剤 の種類	材令28日における 圧縮強度 250kg/cm ²			材令28日における 圧縮強度 350kg/cm ²			材令28日における 曲げ強度 50kg/cm ²		
	単位セメ ント量 (kg)	ブレンコンクリート に対する比率		単位セメ ント量 (kg)	ブレンコンクリート に対する比率		単位セメ ント量 (kg)	ブレンコンクリート に対する比率	
		セメント	セメント +分散剤		セメント	セメント +分散剤		セメント	セメント +分散剤
ブレン	213	100	100	306	100	100	308	100	100
C	193	91	95	267	87	91	285	93	97
I	179	89	96	234	76	82	291	94	102
K	208	98	101	278	91	94	286	93	96

注) 分散剤の価格は1kg当たりCは300円, Iは115円, Kは250円とした。セメントは7円/kgとした。

分散剤の経済性を判断する場合には、一定の強度を得るために必要な単位セメント量と分散剤との価格の和を考慮しなければならない。このために図-15の $c/w-\sigma$ 線図を使って、材令28日において圧縮強度 250kg/cm^2 および 350kg/cm^2 、曲げ強度 50kg/cm^2 を得るための単位セメント量とブレンコンクリートに対する比率を求めてみた。

表-23によると、同一強度のコンクリートをつくる場合に、いずれの分散剤を用いてもブレンコンクリートよりもセメント量が減少することがわかる。しかし分散剤の価格も含めて比較すると、ブレンコンクリートよりも安い場合が多いが、場合によっては高くなることもある。また富配合のほうが貧配合のコンクリートよりもセメント量減少の割合が大きく、分散剤の効果が大きい。

(5) 乾燥収縮による長さ変化

11種類の分散剤を用いたコンクリートの乾燥収縮と保存期間との関係を図示すると図-16のようになり、保存期間が3箇月で大部分の乾燥収縮をおえていた。

各期間においてブレンコンクリートよりも乾燥収縮の大きい分散剤があったが、保存期間6箇月について比べると、ブレンコンクリートの乾燥収縮より大きいものは5種類、小さいものは6種類であった。

各保存期間を通じて、ブレンコンクリートと、乾燥収縮を比べると、乾燥収縮変化率を百分率で表わした数字がブレンコンクリートよりも0.007大きいものが最大であり、0.012小さいものが最小であった。

なお前述のASTM化学混和剤の暫定規格では、減水剤を用いたときの長さ変化率を百分率で表わした値が基準コンクリート（単位セメント量、スランブが同一で、空気量の差が0.5%以内の減水剤を用いないコンクリート）の長さ変化率より多くてよい限界を0.01としており、一方土木学会AE剤規格案では、ブレンコンクリートに比べて

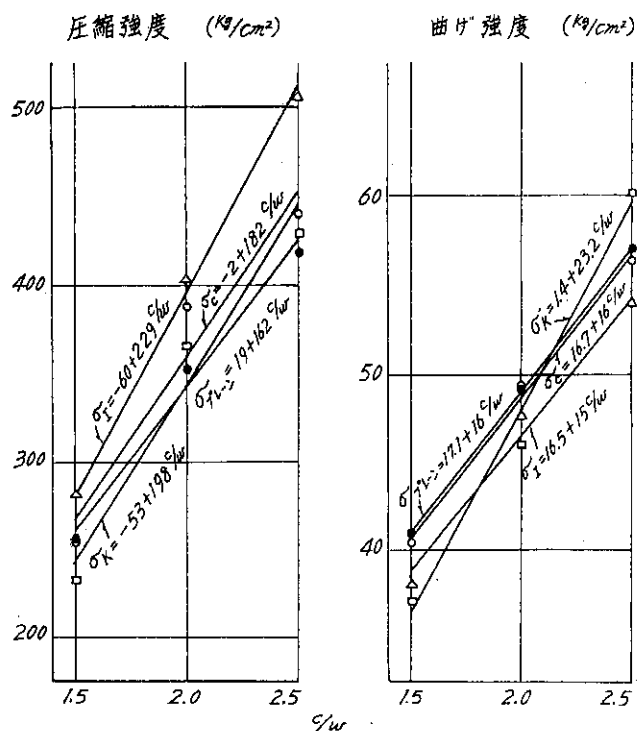


図-15 σ_{28} と c/w の関係

0.01大きいのを限界としている。このいずれとも試験条件が違いため、今回の試験結果と直接比較することはできないが、上記の2つの規格の値が一応の参考になる。

(6) 凍結融解試験

11種類の分散剤を用いたコンクリートの凍結融解試験をした結果、耐久性の良くなるものと良くならないものととの差が著しかった。同一の W/C で耐久性がブレンコンクリートよりも大幅に改善されたものは4種類、同程度のものが2種類で、あとの5種類はブレンコンクリートよりもかえって耐久性が低下した。耐久性が良くなったものは概して空気量が多いものであったが、例外として分散剤G

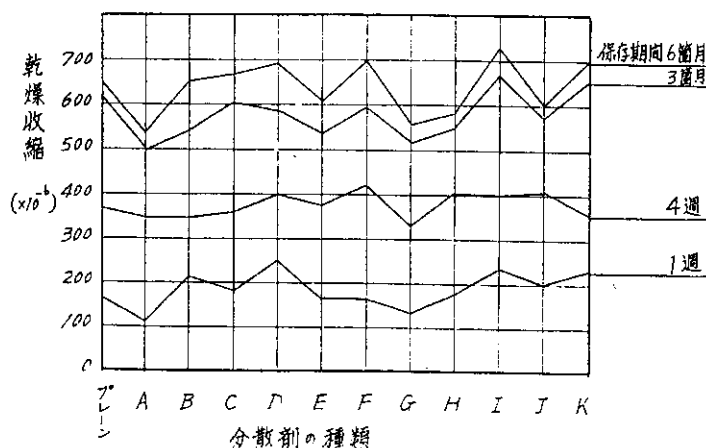


図-16 各保存期間と乾燥収縮との関係

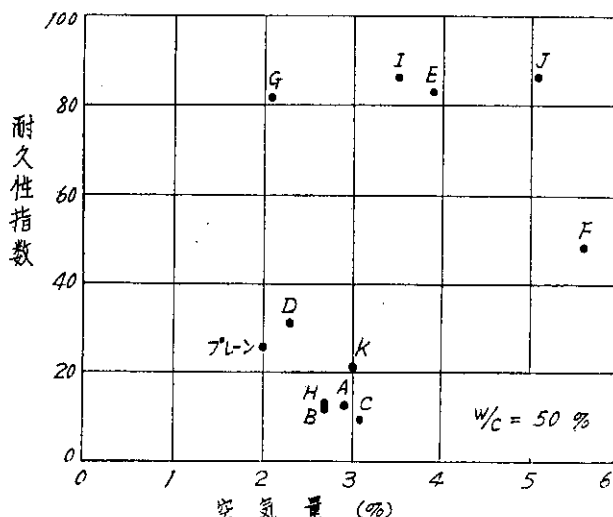


図-17 耐久性指数と空気量の関係

を用いたものは空気量はプレーンと同程度であるが耐久性が大きかった(図-17)。

耐久性向上に役立たないA, B, C, D, H, Kなどの分散剤は単位水量の減少を主目的とする減水剤ということはあるがAE剤のような耐久性改善の働きはしない。しかし製造者のカタログによるとこのようなものでもほとんどのものが耐久性が向上すると書かれているので使用にあたっては注意しなければならない。

む す び

実験I, IIの結果を要約すると

- (1) 分散剤による単位水量の減少率は5~16%の範囲であり、平均10%であって、同一の分散剤では水セメント比が変わっても大きな差はなかった。
- (2) 分散剤を使用したコンクリートの空気量は大部分が2.5~3.5%の範囲にあった。
- (3) 3種類の分散剤について、ブリージング率は分散剤の種類、水セメント比によって異なり同一の水セメント比ではプレーンコンクリートの59~96%になった。
- (4) 3種類の分散剤について、水セメント比およびスランプを一定にしたコンクリートの材令28日の強度はプレーンコンクリートに比べて圧縮強度は121~90%、曲げ強度は106~90%、引張強度は120~87%の範囲にあった。

また材令180日、365日の長期強度において、プレーンコンクリートに対する強度比率は100%前後であり、材令3日、28日、91日における強度比率と大差はなかった。

強度試験の結果から、材令28日で同一強度のコンクリートをつくるために必要なセメント量を推定すると、求める強度の種類、大小によって差があるが、圧縮強度 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合にはプレーンコンクリートのセメント量の76~91%になった。

分散剤の経済性を比較するために、材令28日で同一強度(圧縮強度 $250\text{kg}/\text{cm}^2$, $350\text{kg}/\text{cm}^2$, 曲げ強度 $50\text{kg}/\text{cm}^2$)のコンクリートをつくる場合のセメントの価格+分散剤

の価格とプレーンコンクリートのセメント価格の比率を求めると82~102%の範囲にあり、プレーンコンクリートよりも安くなる場合が多いが、逆に高くなることもありうる。

- (5) 11種類の分散剤を用いたコンクリートの乾燥収縮は、同一水セメント比では、大部分がプレーンコンクリートよりも減少しているが、1種類だけ各材令を通じてプレーンコンクリートよりも大きいものがあった。
- (6) 16種類のAE剤、分散剤を用いて凍結融解試験を行なった結果、良質なAE剤、分散剤を用いると凍結融解に対する抵抗性は大幅に向上した。しかし同一の水セメント比で凍結融解に対する抵抗性がプレーンコンクリートよりも低い分散剤が5種類あって、これらはAE剤のような働きをしていないことがわかった。したがって分散剤の選択にあたってはその特性と使用目的をよく検討することが必要である。

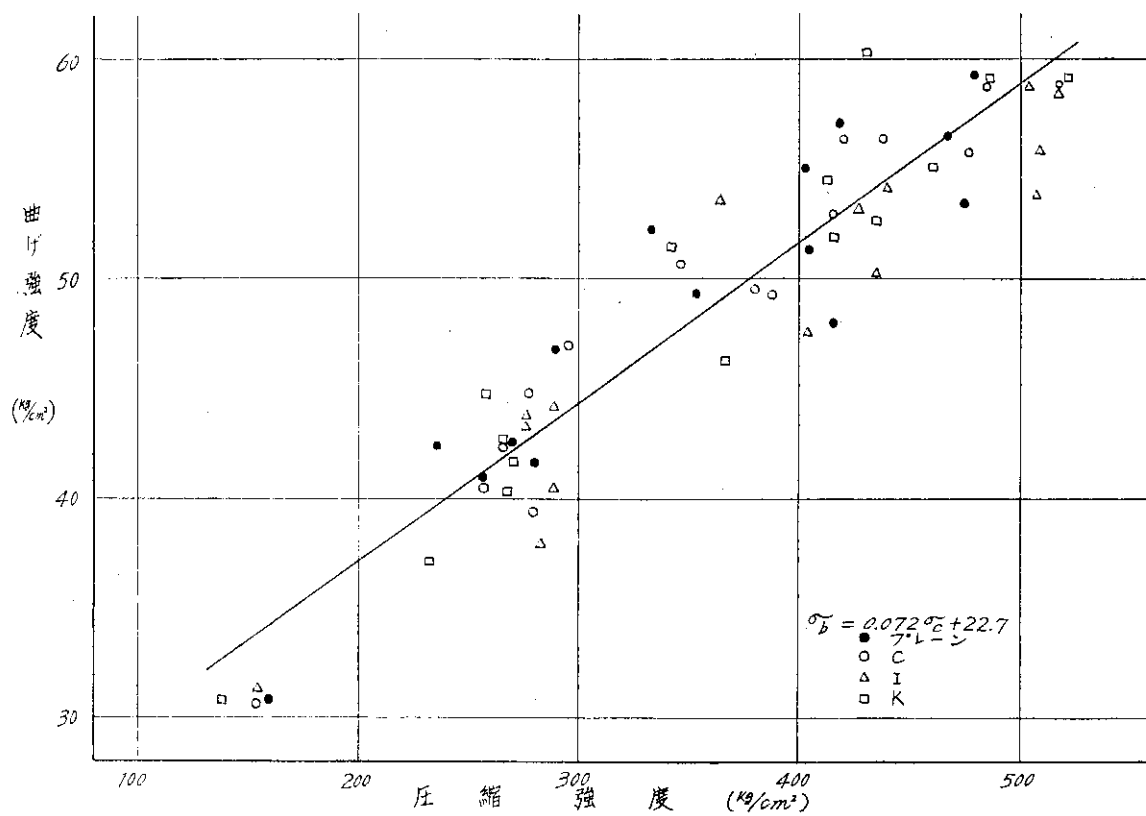
おわりに本実験に協力された今井益隆、渡辺宏両君にあつく、謝意を表する次第である。

付 表

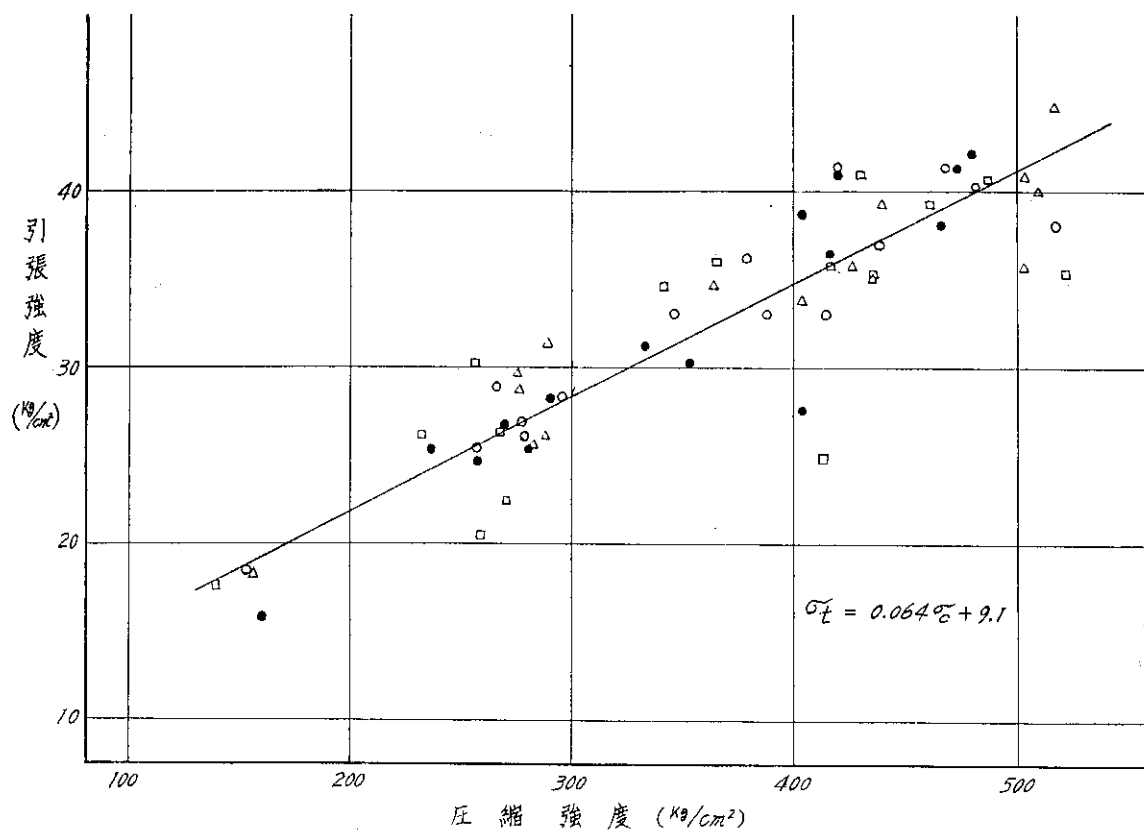
圧縮強度、曲げ強度、引張強度の関係

分散剤を用いたコンクリート3種類とプレーンコンクリートについて、水セメント比66%, 50%, 40%, 材令7日、28日、91日、180日、365日で強度試験をした結果から、コンクリートの圧縮強度と曲げ強度、圧縮強度と引張強度、曲げ強度と引張強度の関係を求めて図-18~図-22に示した。図-23~図-25は今回得た結果(太線)とGonnermanの実験結果を比較したものであるが、これによると両者はほとんど同じ数値を示していることがわかる。

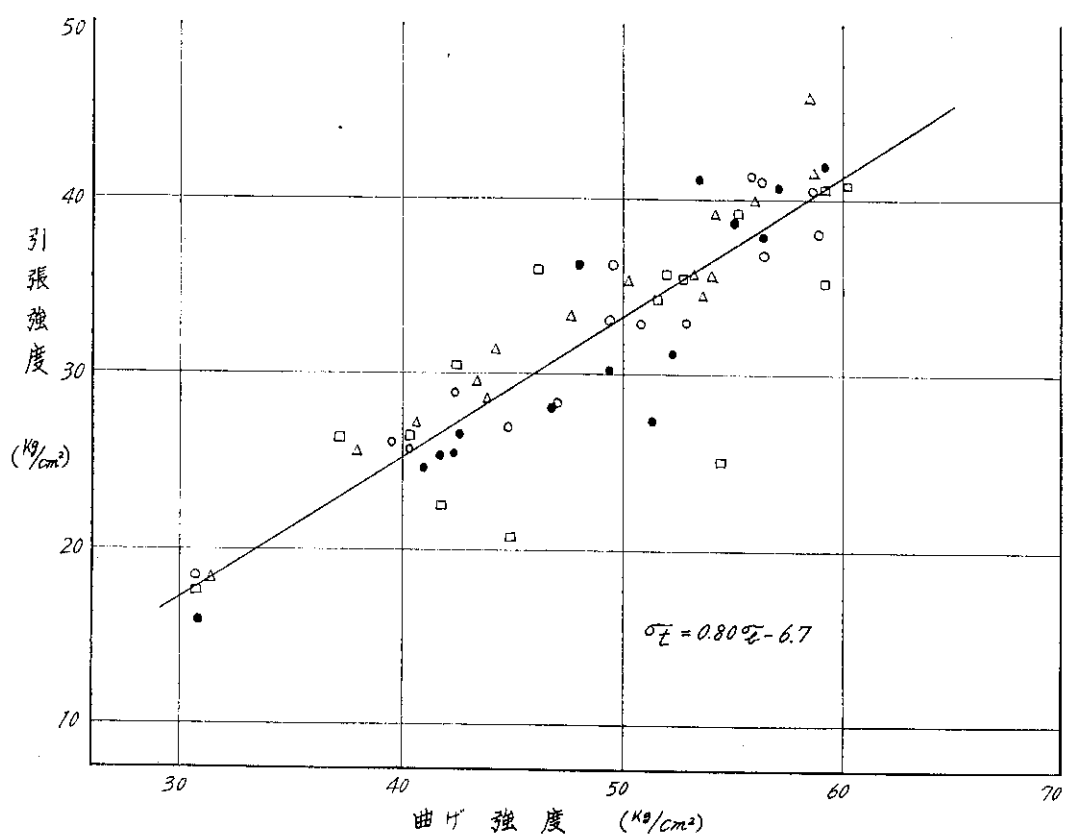
また本文の表-21からもわかるように分散剤の有無はこれらの関係には大きな影響を及ぼさないものと思われる。



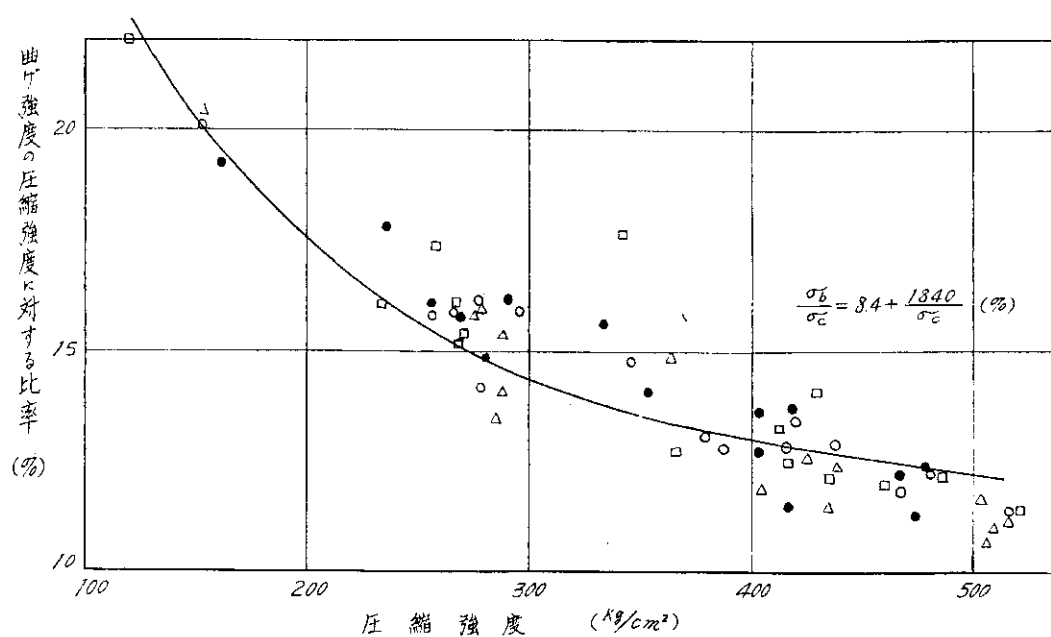
図—18 圧縮強度と曲げ強度の関係



図—19 圧縮強度と引張強度の関係



図—20 曲げ強度と引張強度の関係



図—21 曲げ強度の圧縮強度に対する比率

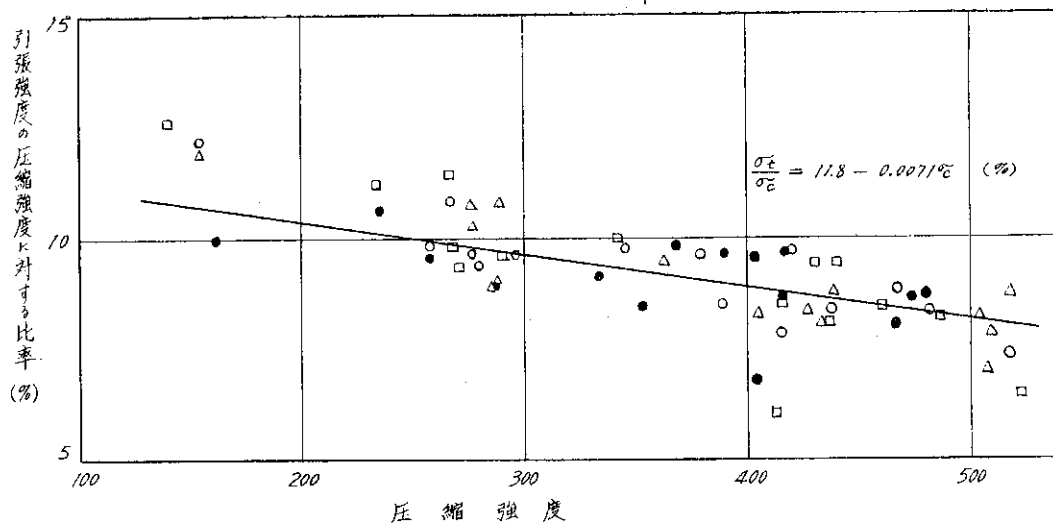


図-22 引張強度の圧縮強度に対する比率

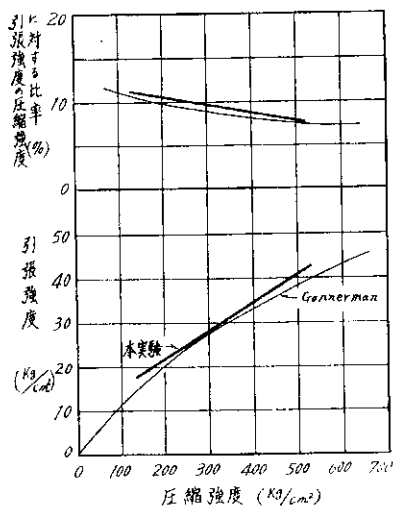


図-23 圧縮強度と曲げ強度の関係

Gonnerman—断面17.8×25.4cm
スパン91cm
3等分点荷重

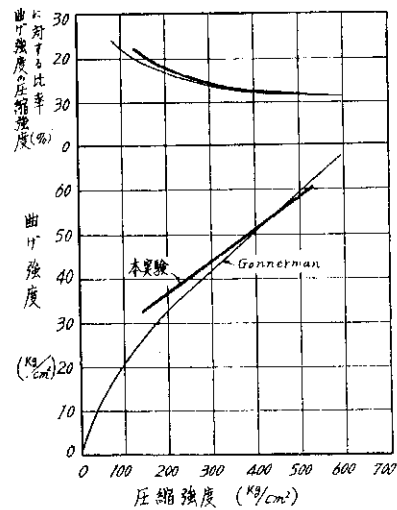


図-24 圧縮強度と引張強度の関係

Gonnerman—湿室養生、材令1
年まで各種
φ15cm長さ46cm

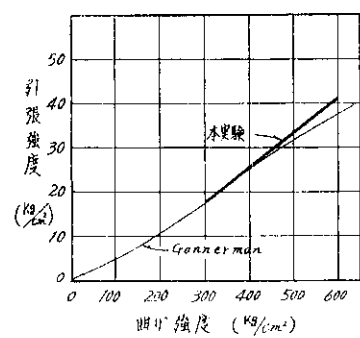


図-25 曲げ強度と引張強度の関係