

土木研究所資料

高炉スラグ骨材を用いたコンクリートの品質に関する試験

昭和59年3月

建設省土木研究所
コンクリート研究室

Copyright © (1984) by P. W. R. I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

要 旨

高炉スラグ碎石、スラグ砂を用いた舗装用コンクリートの性能及びスラグ砂の混合割合を変えた一般のコンクリートの性能を調査した。

その結果、スラグ碎石コンクリートの曲げ強度がやや低いこと、スラグ砂コンクリートの凍結融解耐久性はスラグ砂の混合割合の増加に伴って低下するが、50%以下の混合割合であれば耐久性上、特に問題はなく、むしろ、乾燥収縮の低減に有効であること、等が明らかとなった。

序 言

高炉スラグ粗骨材及び細骨材の品質は、それぞれ JIS A 5011 (1977 年制定), JIS A 5012 (1981 年制定) で規定されている。しかし、コンクリートへの利用に当っては、高炉スラグ粗骨材、細骨材が、構造物によって異なるコンクリートの性能を満足するかどうかを調べておく必要がある。

そこで、土木研究所コンクリート研究室では、高炉スラグ骨材を用いたコンクリートについて次の試験を実施した。

- (1) 高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートのせん断強度試験
- (2) 高炉スラグ粗骨材と細骨材を用いた舗装用コンクリートの性能試験
- (3) 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解耐久性試験

(1) の試験は、高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートのせん断に対する設計方法を得る目的で行ったもので、試験の結果、普通骨材を用いた場合と同様の許容せん断応力度を採用できることが明らかとなっている。¹⁾

本報告書は、昭和56～58年度に行った(2)と(3)の試験結果をとりまとめたものである。

昭和59年3月

コンクリート研究室	室 長	小 林 茂 敏
	研究員	小 野 金 造
	〃	河 田 博 之
		石 井 良 美

序言

1. 高炉スラグ粗骨材と細骨材を用いた舗装用コンクリートの性能試験 (56年度)	
1.1 試験目的	1
1.2 試験方法	1
1.2.1 骨材試料	1
1.2.2 骨材の試験	1
1.2.3 コンクリートの試験	1
1.3 試験結果	3
1.3.1 骨材試験	3
1.3.2 コンクリートの単位水量試験	4
1.3.3 コンクリートのブリージング試験	7
1.3.4 コンクリートの圧縮, 曲げ強度試験	10
1.3.5 コンクリートの乾燥収縮試験	14
1.3.6 コンクリートの凍結融解試験	16
2. 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解耐久性試験 (57.58.年度)	
2.1 試験目的	23
2.2 試験方法	23
2.2.1 骨材試料	23
2.2.2 骨材の試験	23
2.2.3 コンクリートの試験	23
2.3 試験結果	25
2.3.1 骨材試験	25
2.3.2 ブリージング試験	25
2.3.3 コンクリートの圧縮強度試験	28
2.3.4 コンクリートの乾燥収縮試験	29
2.3.5 コンクリートの凍結融解試験	33
2.3.6 硬化コンクリートの気泡観察	42
3. まとめ	44
結言	44
参考文献	44

1. 高炉スラグ粗骨材と細骨材を用いた舗装用コンクリートの性能試験 (56年度)

1.1 試験目的

舗装コンクリートは、大きな輪荷重や気象作用を直接受けるので、強度と耐久性が要求される。また、乾燥収縮ひびわれの抑制や施工性の確保も必要であり、コンクリートに用いる骨材にも高い品質が求められる。折しも、セメントコンクリート舗装要綱²⁾の改訂作業が進められ、高炉スラグ骨材、特に高炉スラグ細骨材のJIS化に伴う品質規定の追加が必要となった。

そこで、舗装要綱の改訂に資するために高炉スラグ粗骨材（以下 スラグ碎石）と高炉スラグ細骨材（スラグ砂）を用いた舗装用コンクリートの各種性能を明らかにすることを目的として試験を行った。

1.2 試験方法

1.2.1 骨材試料

試験には、スラグ碎石1種、スラグ砂2種の他に比較用として、普通の碎石1種、砕砂、川砂の2種を対象とした。

1.2.2 骨材の試験

骨材試料の各々について、次の試験を行った。

- (1) 細骨材の比重及び吸水率試験 (JIS A 1109)
- (2) 粗骨材の比重及び吸水率試験 (JIS A 1110)
- (3) 骨材の単位容積重量及び実積率試験 (JIS A 1104)
- (4) 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験 (JIS A 1122)
- (5) ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験 (JIS A 1121)
- (6) 骨材の洗い試験 (JIS A 1103)
- (7) 細骨材の有機不純物 (JISA 1103)
- (8) 骨材のふるい分け試験 (JISA 1102)

1.2.3 コンクリートの試験

表-1.1に示す骨材組合せについて、以下のコンクリート試験を行った。

なお、スラグ砂は、他の細骨材の粒度調整、塩分希釈等を目的として混合使用される場合が多いが、今回の試験ではスラグ砂を100%使用した。

表-1.1 骨材の組合せ

記号	細骨材	粗骨材
A	スラグ砂(H)	スラグ碎石(S)
B	普通砕砂	スラグ碎石(S)
C	スラグ砂(H)	普通碎石
D	普通砕砂	普通碎石
E	スラグ砂(K)	スラグ碎石(S)
F	川砂	スラグ碎石(S)

(1) 試験項目

1) 粗骨材の最大寸法40 mmについて

- i) コンクリートの単位水量試験
- ii) コンクリートのブリージング試験
- iii) コンクリートの圧縮、曲げ強度試験

2) 粗骨材の最大寸法25 mmについて

- i) コンクリートの乾燥収縮試験
- ii) コンクリートの凍結融解試験

(注) H : 広畑 K : 君津 S : 堺

(2) 使用材料

1) セメント

普通ポルトランドセメントを用いた。表-1.2にセメントの試験成績を示す。

表-1.2 セメントの試験成績

種 類	比 重	比 表 面 積 (cm^2/g)	凝 結 時 間			安 定 性	フ ロ ー 値	曲 げ 強 さ ($\text{kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$)			圧 縮 強 さ ($\text{kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$)			化 学 成 分 (%)							
			水量 (%)	始発 (時分)	終結 (時分)			3日	7日	28日	3日	7日	28日	igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
普通セメント	3.15	3.360	28.0	2-26	3-36	良	262	32	46	66	141	224	404	0.6	0.3	22.2	5.4	3.0	64.5	1.2	2.1

2) 混和剤

A E減水剤（パリックS標準型）を用いた。

(3) コンクリートの配合

1) セメント水比 (C/W)

表-1.3に示すように、試験項目によってC/Wを1.5, 2.0, 2.5と変化させた。

表-1.3 コンクリートの試験項目と配合

C/W	振動台式コンシ ステンシー試験	ブリージング 試験	圧縮強度試験	曲げ強度試験	乾燥収縮試験	凍結融解試験
1.5	—	—	2.5 cm 8 cm	2.5 cm 8 cm	—	—
2.0	2.5 cm	2.5 cm 8 cm	2.5 cm 8 cm	2.5 cm 8 cm	8 cm	8 cm
2.5	—	—	2.5 cm 8 cm	2.5 cm 8 cm	—	—

2) スランプ及び空気量

スランプは、舗装コンクリートの標準値 2.5 cmと一般の 8 cmの2種とし、表-1.3に示すように試験項目によって変化させた。

空気量は、4～5%とした。

(4) コンクリートの単位水量試験

単位粗骨材容積を変えたコンクリートについて、土木学会規準「振動台式コンシステンシー試験方法」に従って試験を行った。

(5) コンクリートのブリージング試験

JIS A 1123「コンクリートのブリージング試験方法」に従って行った。

(6) コンクリートの圧縮強度試験

供試体の大きさは、 $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ とし、試験はJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って行った。強度試験は、材令28日で行った。（一部のコンクリートでは7日、91日についても行った。）

(7) コンクリートの曲げ強度試験

供試体の大きさは、 $15 \times 15 \times 53 \text{ cm}$ とし、試験はJIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に従って行った。強度試験は、材令28日で行った（一部のコンクリートでは、7日、91日についても行った）。

(8) コンクリートの乾燥収縮試験

供試体の大きさは、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、試験はJIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に従って行った。保存条件は、 $21 \pm 1^\circ \text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{ R.H.}$ の恒温恒湿とし、保存期間は1年とした。

(9) コンクリートの凍結融解試験

供試体の大きさは、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、試験はJIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の附属書2「コンクリートの凍結融解試験方法」に従って行った。

1.3 試験結果

1.3.1 骨材の試験

細骨材と粗骨材の物理試験結果を、それぞれ表-1.4、1.5に示す。また、スラグ砂とスラグ碎石の化学成分を表-1.6、1.7に示す。

表-1.4 細骨材の物理試験結果

種 類	絶 乾 比 重	吸 水 率 (%)	洗い損 失重量 (%)	有機不 純物	安定性損 失重量 (%)	粒 度						
						5~2.5 mm	2.5~1.2 mm	1.2~0.6 mm	0.6~0.3 mm	0.3~0.15 mm	0.15mm 以下	F.M.
スラグ砂 (H)	(2.85) 2.83	0.8	4.93	合 格	1.1	5	21	32	22	11	9	2.60
スラグ砂 (K)	(2.82) 2.81	0.5	3.80	合 格	1.4	1	20	42	24	8	5	2.66
普通砕砂	(2.62) 2.59	1.1	6.02	合 格	3.3	8	35	22	10	12	13	2.80
川 砂	(2.63) 2.58	2.0	1.70	合 格	6.2	10	20	30	24	12	4	2.80
JISA5012 規 格 値	2.5以上	3.5以下										

(注) () 内は表乾時の値である。

表-1.5 粗骨材の物理試験結果

種 類	絶乾比重	吸 水 率 (%)	単位容積 重量 (kg/ℓ)	実積率 (%)	すりへり 減量 (%)	安定性損 失重量 (%)	40t 破 砕 値 (%)
スラグ碎石	(2.51) 2.47	1.7	(1.49) 1.51	60.2	23.1	1.43	27.7
普通碎石	(2.67) 2.66	0.5	(1.59) 1.62	60.8	11.9	2.99	10.5
JISA5011 規格値B種	2.4以上	4以下	1.35以上				

(注) () 内は表乾時の値である。

表－1.6 スラグ砂の化学成分

種 類	化 学 成 分 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	S	SO ₃	FeO	MgO
スラグ砂(H)	35.0	14.6	41.8	0.78	0.04	0.34	5.14
スラグ砂(K)	32.8	—	40.0	—	0.01	0.38	—
JISA 5012 規格値			45.0以下	2.0以下	0.5以下	3.0以下	

表－1.7 スラグ碎石の化学成分

種 類	化 学 成 分 (%)				水中浸せき 試験	紫 外 線 (360.0nm) 照明試験
	CaO	S	SO ₃	FeO		
スラグ碎石	42.5	0.9	0.1	0.3	合 格	合 格
JIS A5011 規格値B種	45.0以下	2.0以下	0.5以下	3.0以下	—	—

この試験に用いたスラグ砂、スラグ碎石とも市販のものであり、それぞれJISの物理化学的品質規定に合格している。今回試験したスラグ砂は、水砕砂で一般に比重は大きく、吸水率、安定性損失重量は小さいようである。一方、スラグ碎石は、多孔質で比重は小さく、吸水率、すりへり減量がやや大きい。

1.3.2 コンクリートの単位水量試験

スランブ約2.5cmのコンクリートについて、振動台式コンシステンシーメーターを用いた単位水量の試験結果を、配合とともに表－1.8に示す。また、これらの表のうち、コンクリートの単位粗骨材容積と沈下度との関係を図－1.1に示す。

単位粗骨材容積とは、コンクリート1m³に用いる粗骨材のかさ容積である。沈下度の最小となる、いわゆる締め固めエネルギーが最小の最適粗骨材容積は、使用する細骨材及び粗骨材によって異なる。図－1.1より、粗骨材が一定の場合、スラグ砂を用いたコンクリートの最適粗骨材容積は2種類とも川砂と砕砂の中間の値となっている、また、図－1.2に最適粗骨材容積と単位水量との関係を示したが、所定のコンシステンシーを得るためのスラグ砂、砕砂の単位水量は粗骨材の種類にほとんど関係なく川砂のそれぞれ7%、17%増である。スラグ砂の単位水量が川砂より多いのは、スラグ砂の粒形が角ばっていること、また、ガラス質であるため川砂より保水性が小さいことによるものと考えられる。また、砕砂の場合には粒形が角ばっていることに加えて、微粒分が多いことによるものであろう。

表-1.8 単位水量試験用コンクリートの配合と沈下度試験結果

配 合	単位粗 骨材容 積	細骨材 率(%) s/a	セメント 水 比 c/w	単 位 量 (kg/m ³)					パリック A E 助 剤(%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	沈下度 (秒)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	パリック 減水剤				
A ス ラ グ 砂 (H) + スラグ碎石 (S)	0.77	35.7	2.0	141	282	732	1160	0.564	5.64	4.0	4.3	92
	0.75	37.2				761	1135			3.5	4.6	49
	0.72	39.7				812	1089			3.1	4.7	23
	0.67	43.7				895	1017			3.1	5.0	45
	0.65	45.7				938	979			1.7	4.3	75
B 普 通 砕 砂 + スラグ碎石 (S)	0.72	38.3	2.0	153	306	702	1084	0.612	30.60	3.9	5.3	68
	0.69 ⁵	40.3				739	1049			3.8	5.0	28
	0.67	42.3				776	1014			3.1	4.5	24
	0.64	45.3				831	961			2.5	4.8	38
	0.60	46.3				849	944			1.7	5.1	70
C ス ラ グ 砂 (H) + 普 通 砕 石	0.79	33.0	2.0	140	280	678	1290	0.560	11.20	3.0	5.0	84
	0.77	35.0				718	1250			2.8	4.5	60
	0.75	37.0				761	1212			3.0	5.0	33
	0.72	39.0				801	1175			3.9	5.3	32
	0.69	42.0				864	1116			3.2	5.1	60
D 普 通 砕 砂 + 普 通 砕 石	0.69	39.6	2.0	154	308	723	1127	0.616	24.64	2.8	4.7	90
	0.67	41.6				760	1089			3.5	4.8	58
	0.65	43.6				796	1052			2.5	4.7	40
	0.62 ⁵	45.6				833	1015			1.6	4.8	46
	0.60	47.6				870	977			1.5	4.8	80
E ス ラ グ 砂 (K) + スラグ碎石 (S)	0.77	36.0	2.0	142	284	728	1155	0.568	2.84	3.8	4.5	61
	0.74	38.0				770	1117			3.5	4.6	35
	0.72	40.0				809	1082			3.0	4.7	37
	0.69	42.0				852	1044			1.7	4.4	55
	0.67	44.0				891	1009			1.1	4.7	97
F 川 砂 + スラグ碎石 (S)	0.80	35.0	2.0	131	262	679	1200	0.524	18.30	3.5	5.0	81
	0.77	37.0				715	1165			3.2	5.0	38
	0.75	39.0				755	1127			2.1	5.3	28
	0.72	41.0				794	1089			2.5	4.9	36
	0.70	43.0				831	1054			1.9	4.9	67

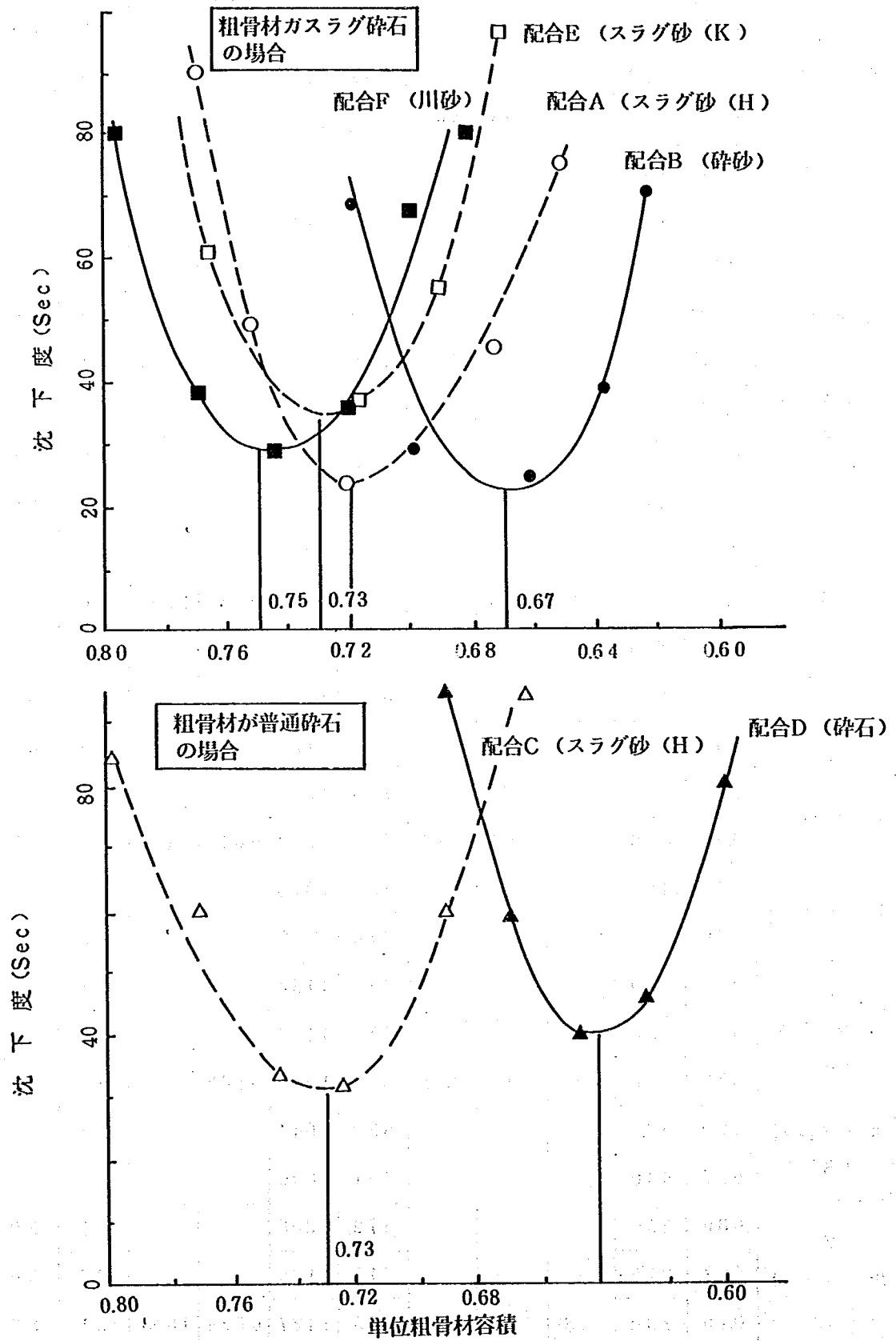


図- 1.1 沈下度と単位粗骨材容積との関係

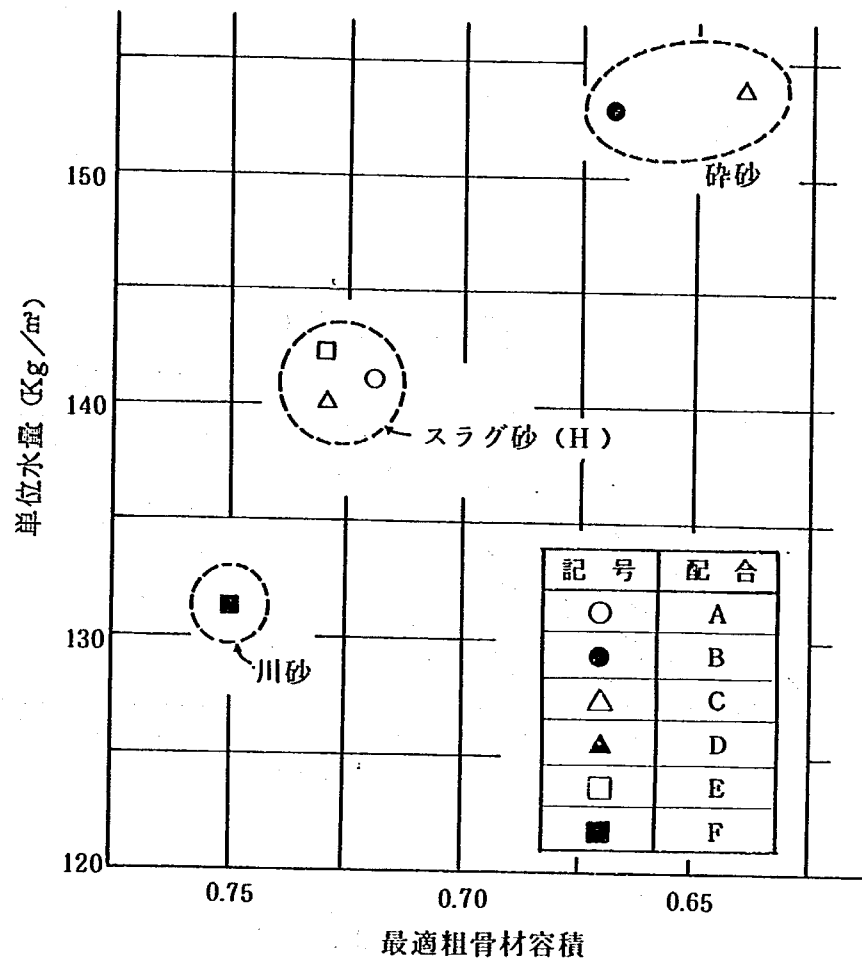


図- 1.2 最適粗骨材容積と単位水量との関係

1.3.3 コンクリートのブリージング試験

スランプ 2.5 cm と 8 cm のコンクリートのブリージングの試験結果を、図- 1.3、表- 1.9 に示す。なお、この試験は $C/W = 2.0$ について行ったもので、その配合は表- 1.10、1.11 に示してある。

ブリージングは、コンクリートの材料分離の一現象であり、舗装コンクリートのように耐摩耗性等が要求される場合には、ブリージングはなるべく少ない方が望ましい。スランプ 2.5 cm と 8 cm では当然のことながら単位水量の多いスランプ 8 cm のコンクリートのブリージング量が全配合で大きい値となっている。また、コンクリートの単位水量の大小を考慮したブリージング率でみると、粗骨材が同じでもスラグ砂を用いた配合 A、E が川砂の配合 F よりもスランプ 2.5 cm、8 cm の両方で約 4 倍程度の値を示している。2 種類のスラグ砂では、スラグ砂 (H) の方が一幾分大きいようであり、砕砂と川砂では、砕砂の方が大きい。一方、スラグ碎石 (配合 A) と普通碎石 (配合 C) では、スランプによってブリージング率が異なる結果となっており、コンクリートのブリージングに及ぼす粗骨材の影響は明確でない。

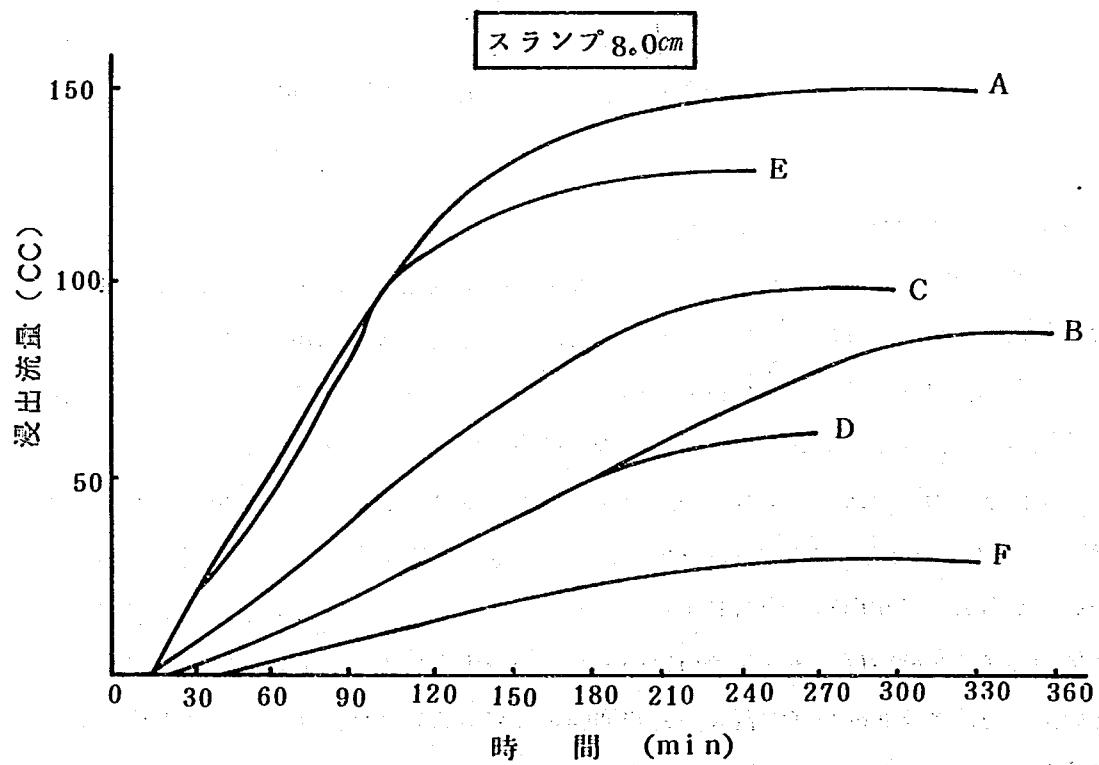
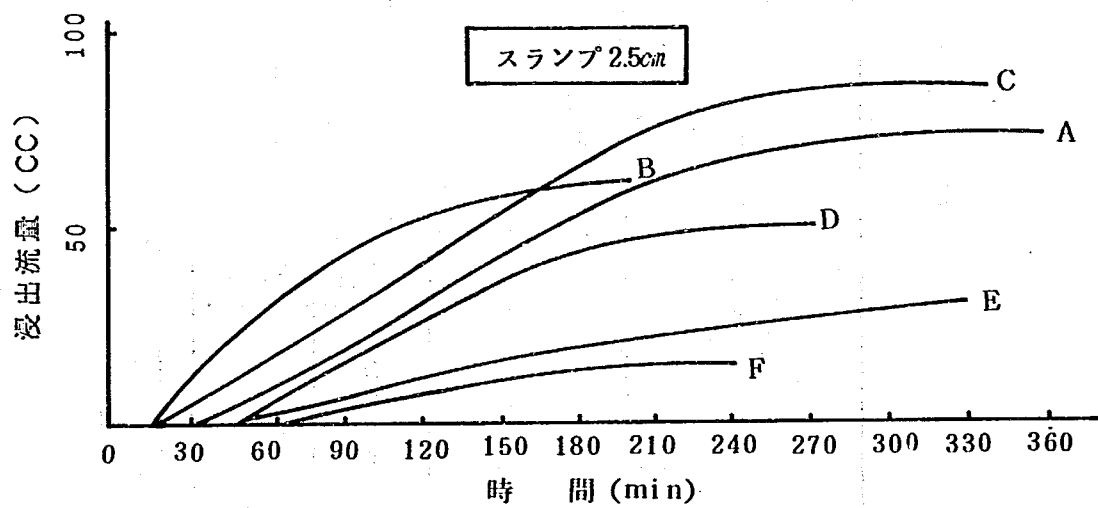


図- 1.3 浸出流量と時間との関係

表-1.9 ブリージング試験結果

配 合	時間(分) スランプ (cm)	ブ リ ー ジ ン グ 量 (cc)															ブリージング ¹⁾	ブリージング ²⁾
		10	20	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	量(ml/cm)	率(%)
A	2.5	0	2.0	5.5	11.0	20.5	32.0	45.0	54.0	61.5	68.0	72.0	75.0	76.0	76.0	—	0.155	4.35
	8.0	0	8.0	22.0	45.0	82.0	115.0	132.0	142.5	145.5	148.0	149.5	150.0	150.0	—	—	0.306	7.60
B	2.5	0	0	0	3.5	9.0	13.0	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	30.5	31.5	32.0	32.0	0.065	1.64
	8.0	0	2.0	4.0	12.0	21.0	31.0	42.0	51.0	60.0	69.0	77.0	85.0	88.0	88.0	—	0.179	4.14
C	2.5	0	2.0	7.0	19.0	31.0	43.0	55.0	66.0	76.5	83.0	86.0	87.0	87.0	—	—	0.177	5.07
	8.0	0	4.0	9.0	24.0	40.0	55.5	70.0	83.0	93.0	96.5	98.0	98.0	—	—	—	0.200	5.14
D	2.5	0	0	4.0	11.0	20.0	29.0	38.0	46.0	49.0	50.5	50.5	—	—	—	—	0.103	2.65
	8.0	0	0	1.0	6.0	16.5	27.5	38.5	48.0	57.5	62.0	62.0	—	—	—	—	0.126	2.90
E	2.5	0	0	6.0	13.0	32.0	46.0	56.0	63.0	65.0	65.0	—	—	—	—	—	0.132	3.69
	8.0	0	2.0	10.0	23.0	55.0	87.0	112.0	123.0	129.0	132.0	132.0	—	—	—	—	0.269	6.60
F	2.5	0	0	0	2.0	4.0	6.0	10.0	13.5	15.5	16.5	16.5	—	—	—	—	0.034	1.03
	8.0	0	0	0	5.0	8.0	14.0	19.0	23.5	26.0	28.0	20	29.0	—	—	—	0.059	1.55

注 1) 単位面積当りの浮水の量

2) 試料中の水量に対する浮水の百分率

1.3.4 コンクリートの圧縮、曲げ強度試験

コンクリートの配合及び強度試験結果を、スランプ 2.5 cm について表-1.10に、スランプ 8 cm について表-1.11に示す。また、セメント水比と圧縮強度、曲げ強度との関係を図-1.4, 1.5に示す。

スラグ砂あるいはスラグ碎石を用いたコンクリートの圧縮強度は、細、粗骨材の組合せによって変化しているが、各 C/W も平均的なコンクリートの圧縮強度を示すセメント協会式³⁾をほぼ上回る結果となっている。また、圧縮強度との関係で曲げ強度をみると、図-1.6のようにスラグ碎石を用いた場合に圧縮強度の増加に伴う曲げ強度の増加が普通碎石を用いたものに比べて小さい傾向がある。これは、表-1.5の40t破砕値等で示される骨材自体の強度に原因するものと思われる。

今回の舗装要綱の改訂内容の一つにコンクリートの設計基準曲げ強度を圧縮強度に置換えて配合設計を行うことが提案されている。しかし、図-1.6でも明らかなように曲げ強度と圧縮強度の関係は使用するセメント、混和剤が同じであっても細骨材、粗骨材によって異なるので、圧縮強度により曲げ強度を推定しようとする場合には必ず同一材料を用いた試験によって両者の関係を求めておく必要がある。

表一 1.10 強度試験用コンクリートの配合および試験結果 (スランプ 2.5 cm)

配 合	粗骨材 の最大 寸法(mm)	セメント 水 比 C/W	細骨材 率 s/a	単 位 量 (kg/m ³)					パリック A E 助 剤 (g)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)			曲 げ 強 度 (kg/cm ²)		
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	パリック S減水剤				7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日
A	4.0	1.5	43.6	153	230	901	1024	0.460	4.60	2.4	4.5		261			34.4	
B			45.7	158	237	859	976	0.474	23.70	2.5	4.7		251			37.6	
C			41.6	153	230	858	1129	0.460	9.20	2.2	5.4		240			32.7	
D			47.6	159	239	891	1001	0.478	23.90	2.0	4.9		252			37.6	
E			42.2	155	233	857	1047	0.466	4.66	2.0	5.2		238			25.6	
F			42.4	145	218	821	1064	0.436	15.26	3.5	4.5		296			37.9	
A	4.0	2.0	40.2	141	282	829	1084	0.564	5.64	2.0	4.7	291	379	517	34.0	41.8	52.1
B			42.3	153	306	776	1014	0.612	30.60	3.2	4.7	268	404	453	30.3	45.4	54.4
C			38.2	140	280	784	1191	0.560	11.20	2.2	5.1	261	361	451	36.5	45.9	52.5
D			44.2	154	308	810	1039	0.616	24.60	2.5	4.9	239	349	406	37.0	45.4	51.9
E			38.8	142	284	787	1102	0.568	2.84	2.0	4.5	225	393	439	30.5	43.0	52.1
F			39.0	131	262	755	1127	0.524	18.30	3.0	5.1		392			48.9	
A	4.0	2.5	38.2	140	350	761	1084	0.700	14.00	3.0	4.6		477			53.8	
B			40.3	155	388	710	1007	0.776	50.44	1.8	4.5		474			56.2	
C			36.2	140	350	721	1191	0.700	24.50	2.0	4.5		501			61.1	
D			42.2	160	400	734	1023	0.800	60.00	2.0	5.0		467			57.7	
E			36.8	148	370	711	1087	0.740	14.80	3.0	5.1		438			48.2	
F			37.0	131	328	697	1130	0.656	45.92	2.0	5.1		438			52.7	

表-1.11 強度試験用コンクリートの配合および試験結果 (スランプ8cm)

配 合	粗骨材 の最大 寸法(mm)	セメント 水 比 C/W	細骨材 率 s/a	単 位 量 (kg/m ³)					パリック A E 助 剤 (g)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²) 28 日	曲げ強度 (kg/cm ²) 28 日
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	パリック S減水剤					
A	40	1.5	43.6	164	246	881	1001	0.492	4.92	7.0	4.5	258	37.2
B			45.7	172	258	833	949	0.516	23.22	7.5	5.0	249	37.8
C			41.6	162	243	844	1108	0.486	9.72	7.3	5.5	243	34.4
D			47.6	176	264	859	967	0.528	13.20	8.5	4.6	245	38.0
E			42.2	167	251	838	1019	0.502	5.02	7.0	5.3	224	27.6
F			42.4	155	233	805	1042	0.466	13.98	8.0	4.8	273	35.4
A	40	2.0	40.2	155	310	798	1047	0.620	6.20	9.0	5.5	353	43.7
B			42.3	167	334	749	981	0.668	30.10	8.5	5.5	372	42.7
C			38.2	153	306	761	1156	0.612	9.20	8.0	5.3	358	43.0
D			44.2	172	344	776	996	0.688	17.20	7.5	5.3	376	49.9
E			38.8	160	320	753	1057	0.640	3.20	7.0	4.7	333	47.6
F			39.0	149	298	723	1082	0.596	17.90	8.5	4.5	438	45.3
A	40	2.5	38.2	156	390	730	1039	0.780	11.70	8.5	4.5	546	57.2
B			40.3	178	445	665	946	0.890	40.05	8.2	5.5	416	53.7
C			36.2	155	388	693	1145	0.776	23.28	7.3	4.7	437	53.1
D			42.2	184	460	686	956	0.920	50.60	8.0	5.3	459	55.5
E			36.8	160	400	688	1052	0.800	8.00	8.5	4.5	471	54.2
F			37.0	149	373	665	1079	0.746	37.30	7.7	5.5	496	48.9

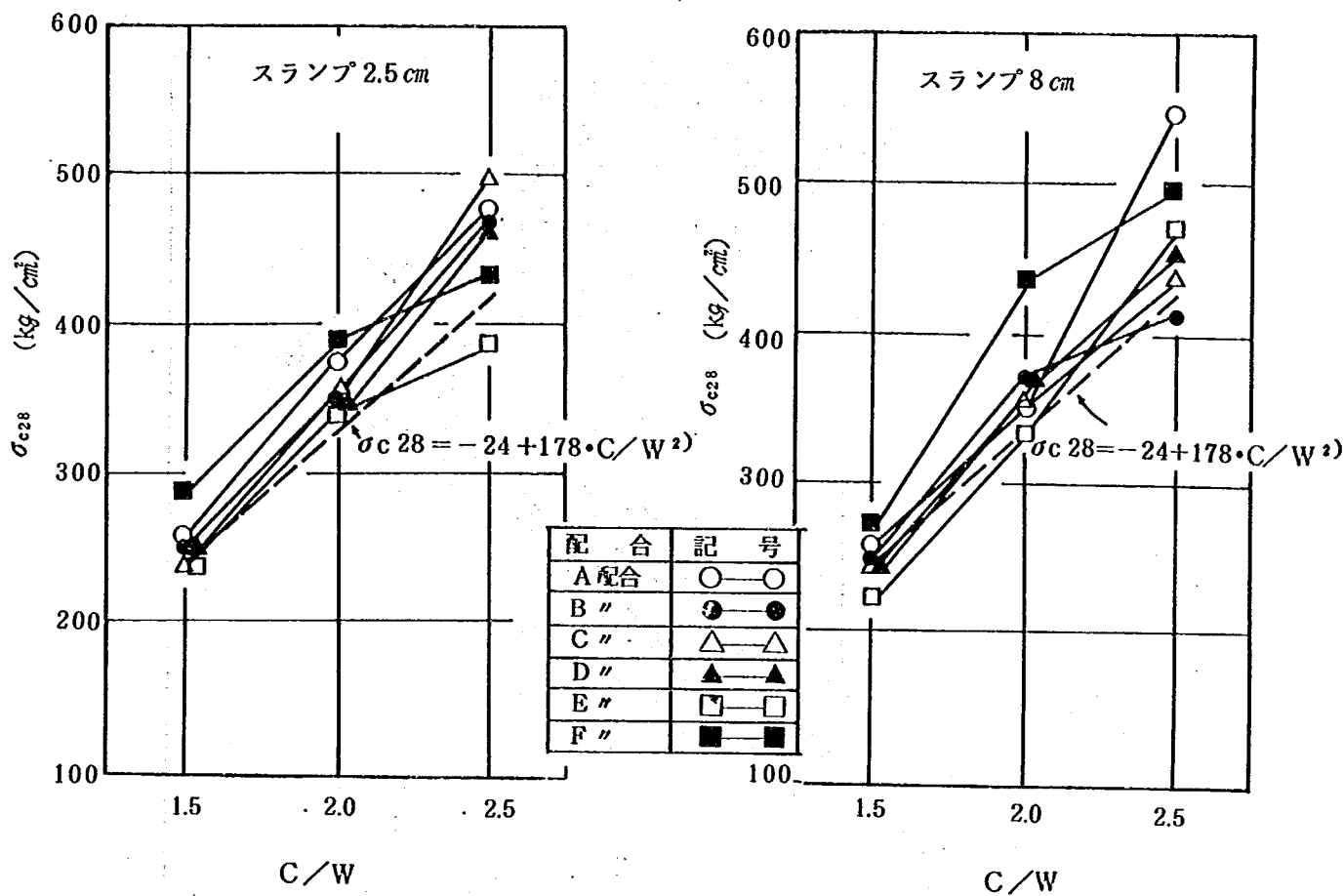


図-1.4 圧縮強度とセメント水比の関係

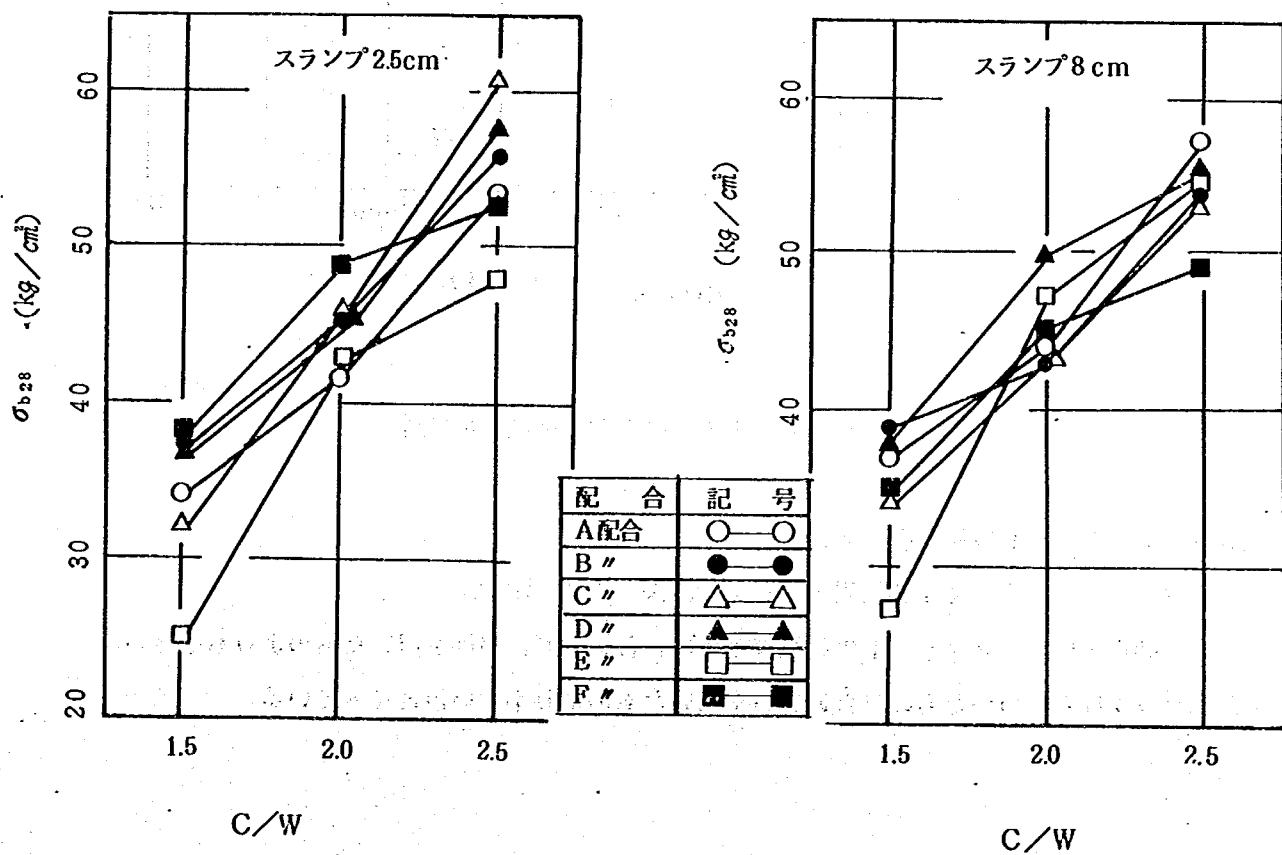


図-1.5 曲げ強度とセメント水比との関係

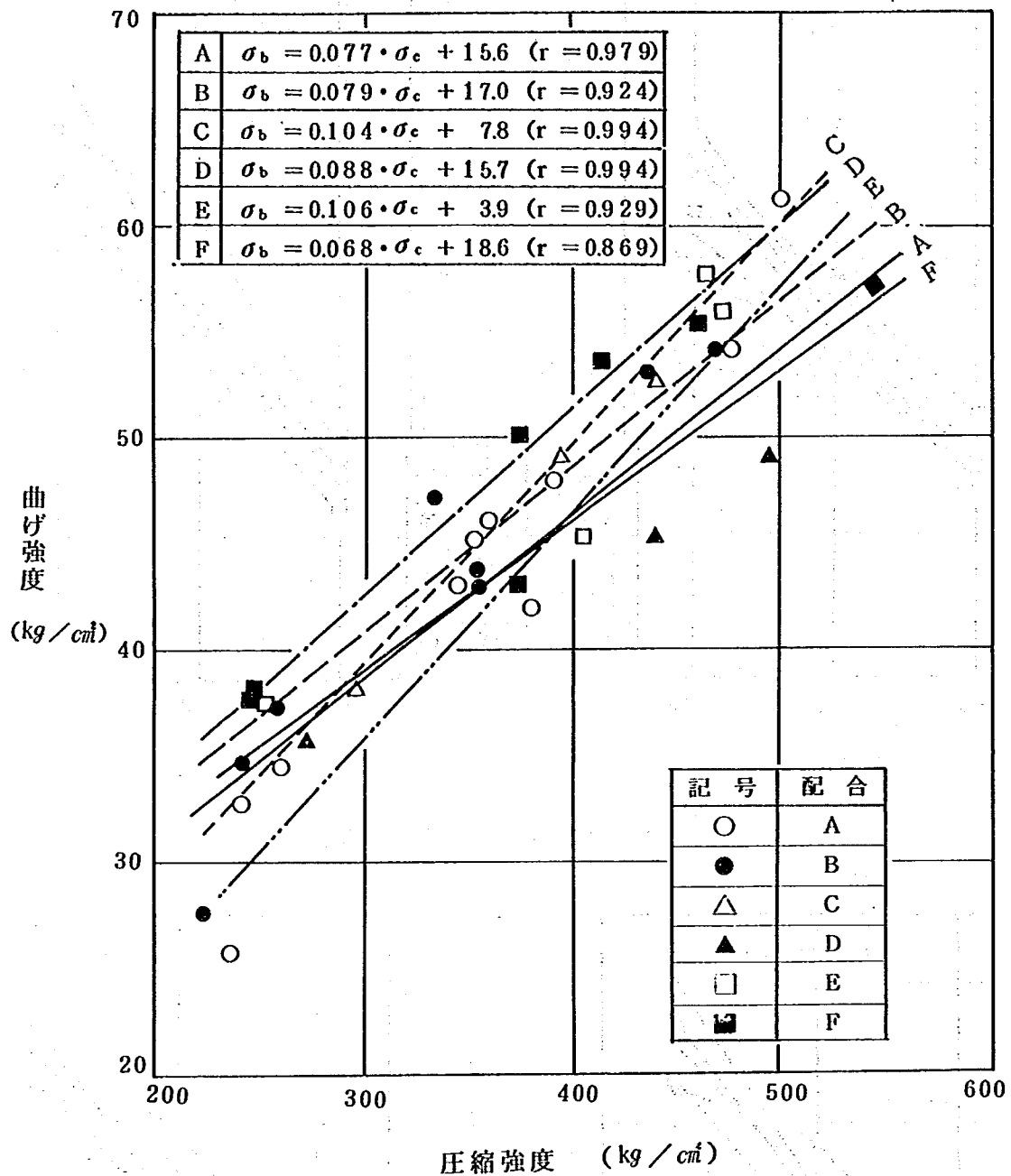


図-1.6 圧縮強度と曲げ強度との関係

1.3.5 コンクリートの乾燥収縮試験

コンクリートの乾燥収縮試験結果を表-1.12, 図-1.7に示す。

スラグ砂を用いたコンクリートの乾燥収縮率は、普通碎石、川砂を用いたものよりも小さい。
また、スラグ碎石を用いたものは普通碎石を用いたものより小さい値となっている。

表- 1.12 コンクリートの乾燥収縮試験結果

項 目	配 合	材 令 (週)					
		1	4	8	13	26	52
長さ 変化率	A	33	183	212	234	289	318
	B	66	260	399	458	528	582
	C	73	293	334	359	410	479
	D	107	390	500	522	581	626
	E	103	190	263	282	318	350
	F	110	282	378	429	467	502
重量 変化率 (%)	A	0.37	1.04	1.17	1.30	1.46	1.72
	B	0.86	1.68	2.14	2.36	2.61	3.04
	C	0.45	0.91	1.12	1.22	1.37	1.64
	D	0.69	1.44	1.83	2.00	2.20	2.58
	E	0.79	1.20	1.42	1.50	1.66	2.00
	F	0.80	1.50	1.80	2.06	2.09	2.44

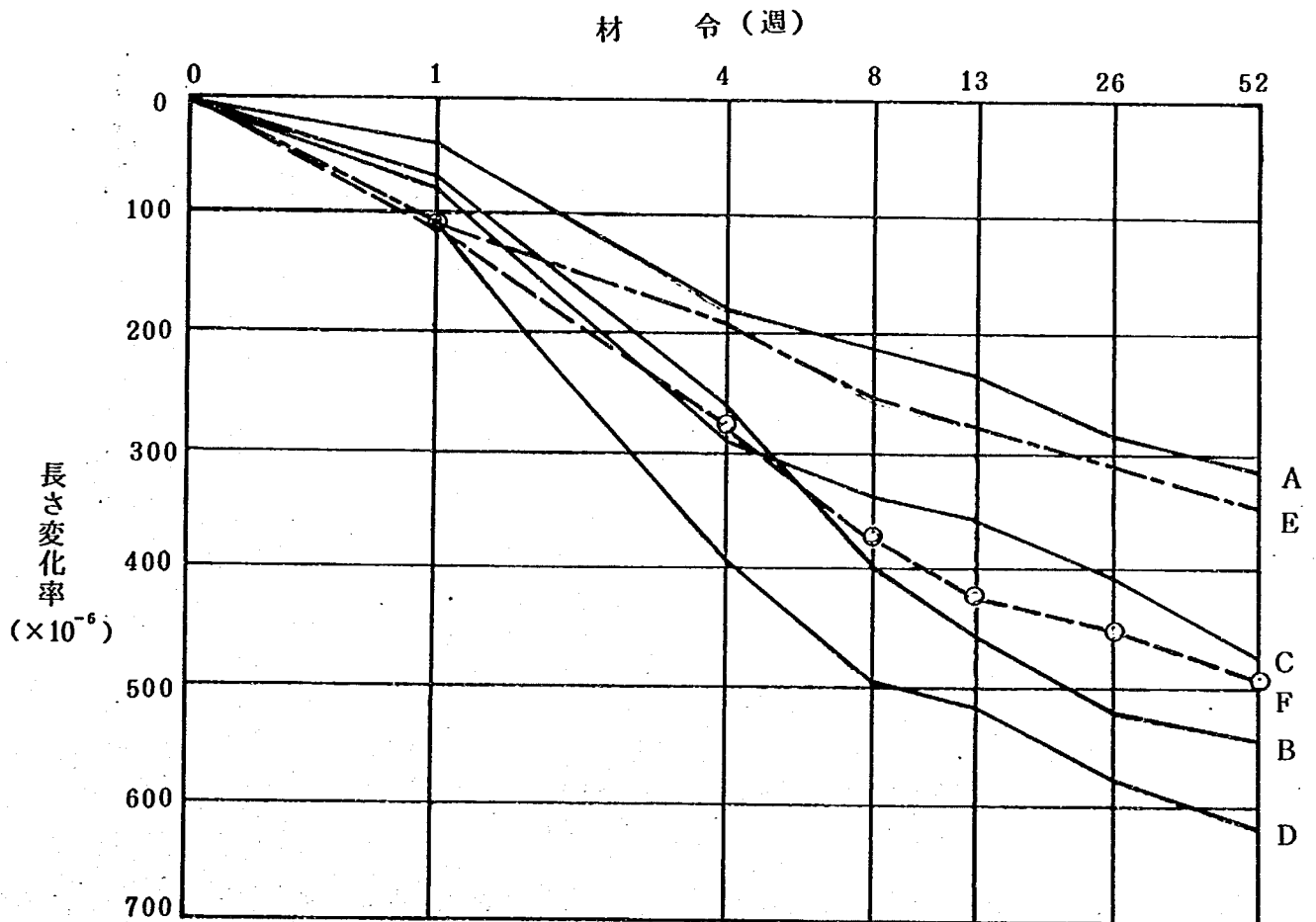


図- 1.7 材令と長さ変化率との関係

1.3.6 コンクリートの凍結融解試験

凍結融解試験用コンクリートの配合を表-1.13に、凍結融解繰返しに伴うコンクリートの動弾性係数及び重量の変化を図-1.8に示す。この試験では、供試体の大きさが試験結果に及ぼす影響を併せて明らかにすることを目的として $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ と $7.5 \times 10 \times 40\text{cm}$ の2種類の供試体を用いて試験を行ったが、供試体の大きさの影響は少ないようである。

5種類の骨材組合せのうち、十分な凍結融解耐久性を示したのは普通砕石と普通砕砂の配合Dのみである。細骨材にスラグ砂を用いた配合A, C, Eの耐久性が悪いことを考えるとスラグ骨材、特にスラグ砂を100%使用する場合には凍結融解耐久性に対する十分な配慮が必要である。

表-1.14は、プレーンコンクリートのエントラップドエアーを求めたものであるが、細骨材にスラグ砂を用いたコンクリートは、エントラップドエアーが多くなる傾向があり、このことがコンクリートの凍結融解耐久性を低下させていると考えることができる。またスラグ砕石を用いたコンクリートは、普通砕石を用いたものに比べて、耐久性が劣るようである。

なお、参考のために表-1.15～1.18に各測定サイクルにおける供試体の動弾性係数及び重量の変化を示した。

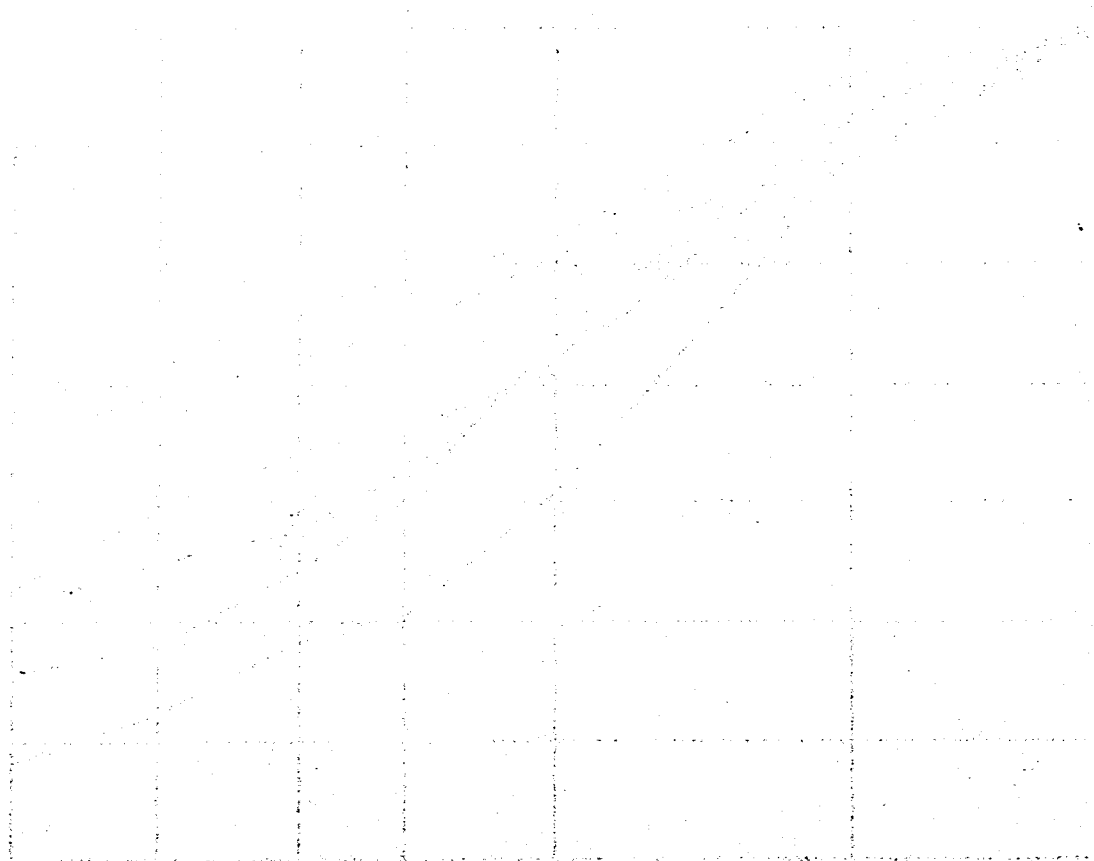


図-1.8 凍結融解試験による動弾性係数の変化

表-1.13 凍結融解試験用コンクリートの配合および試験結果

配 合	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト比 w/c	細 骨 材 s/a	単 位 量 (kg/m ³)					パリック A E 助剤 (g)	スランブ (cm)	空 気 量 (%)	耐 久 性 指 数 1) D.F	動 弾 性 2) 係 数 E ($\times 10^3$ kg/cm)	単位容積 重 量 (kg/cm)
				水 W	セメント C	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	パリック S 減 水 剤						
A	25	50	43.5	165	330	844	964	0.66	6.60	7.9	5.2	11.6	372	2354
B			44.0	177	354	762	929	0.71	21.24	7.0	4.5	42.0 (46.0)	369	2290
C			44.0	170	340	844	1004	0.68	10.20	7.4	4.8	31.6 (16.4)	409	2446
D			44.0	180	360	757	980	0.72	28.80	7.0	5.0	97.8 (96.0)	374	2346
E			43.8	173	346	823	941	0.69	3.46	7.2	4.5	11.0 (6.2)	367	2317

注) 1) () 内は 7.5 × 10 × 40cm についての値

2) 試験開始時 (材令 14 日) の値

表-1.14 プレーンコンクリートの配合と空気量測定結果

配 合	単 位 量 (kg/m ³)				水セメント 比 w/c	細 骨 材 率 s/a	空 気 量 (%)	スランブ (cm)	コンクリート 温 度 (°C)
	W	C	S	G					
A	178	356	755	989	50	40.2	1.3	12.0	19
B	192	384	705	921	"	42.3	0.9	9.5	19
C	176	352	721	1092	"	38.2	1.4	9.1	19
E	184	368	711	996	"	38.8	2.9	8.0	19

凍結融解繰り返し回数 (回)

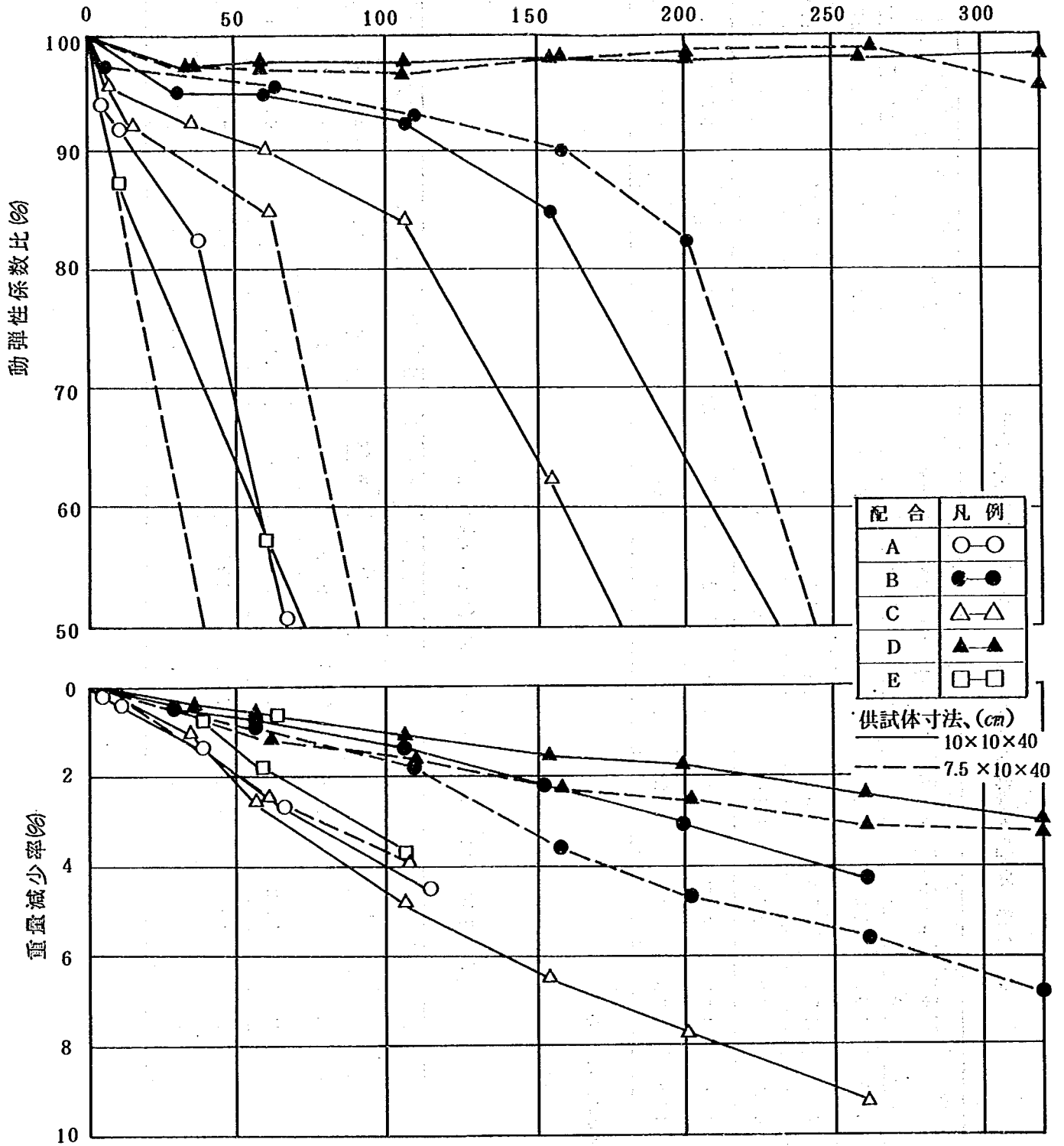


図-1.8 凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化及び供試体の重量変化

表- 1.15 動弾性係数の変化 (供試体寸法 10×10×40cm)

配 合	供試体 番 号	試験開始 前動弾性 係数 $E_0 \times 10^3$	動 弾 性 係 数 費 $\frac{f_p^2}{f_0^2} \times 100 (\%)$													
			4	6	10	29	34	38	57	66	105	113	152	199	261	320
A	1	369	94.2		91.2			77.3		39.3		22.2				
	2	379	92.9		89.4			81.9		44.9		8.1	破			
	3	367	95.0		94.5			88.1		68.0		15.0	崩			
	平均	372	94.0		91.7			82.4		50.7		15.1				
B	1	382				93.7			92.1		88.9		81.8	65.5	36.3	
	2	360				95.0			94.6		93.9		89.5	83.0	53.5	
	3	364				95.3			97.2		94.2		80.6	50.0	18.7	
	平均	369				94.7			94.6		92.3		85.0	66.2	36.2	
C	1	407		96.1				94.6		(60) 92.8		(108) 91.0	(155) 87.1	(202) 66.4	(266) 22.3	
	2	400		96.9				91.9		89.7		80.1	37.8	13.7	9.2	
	3	420		95.3				90.9		88.7		80.1	62.6	31.4	17.3	
	平均	409		96.1				92.5		90.4		83.7	62.5	37.2	16.3	
D	1	376		96.9				96.7		(60) 97.4		(108) 97.0	(155) 98.3	(202) 98.3	(266) 98.6	97.9
	2	372		97.4				97.5		97.8		98.0	97.6	98.6	98.8	98.1
	3	376		96.8				97.3		98.3		98.9	98.1	98.1	98.6	97.4
	平均	374		97.0				97.2		97.7		98.0	98.0	98.3	98.7	97.8
E	1	368				88.4			62.8		43.3	測				
	2	365				86.1			56.5		40.0	定				
	3	369				87.5			53.1		21.1	不				
	平均	367				87.3			57.5		34.8	能				

表- 1.16 供試体の重量変化 (供試体寸法10×10×40cm)

配 合	供 試 体 番 号	試験開始前 供試体重量 (kg)	重 量 減 少 率										$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100$ (%)			
			4	6	10	29	34	38	57	66	105	113	152	199	261	320
A	1	9.370	0.16		0.28			0.55		2.48		4.91				
	2	9.413	0.03		0.24			1.69		2.84		4.49	破			
	3	9.463	0.04		0.26			1.66		2.78		4.55	崩			
	平均	9.415	0.08		0.26			1.30		2.70		4.65				
B	1	9.118				0.35			0.70		1.28		2.01	2.94	3.65	
	2	9.132				0.46			0.64		1.52		2.49	3.39	4.58	
	3	9.226				0.35			0.73		1.30		2.05	2.75	4.45	
	平均	9.159				0.39			0.69		1.37		2.18	3.03	4.23	
C	1	9.811		0.04			1.09		(60) 2.24		(108) 4.19		(155) 6.03	(202) 7.17	(266) 8.23	
	2	9.720		0.08			1.11		2.88		4.98		6.74	8.13	9.90	
	3	9.823		0.03			0.95		2.93		5.20		6.73	7.89	9.50	
	平均	9.785		0.05			1.05		2.68		4.79		6.50	7.73	9.21	
D	1	9.386		0.03			0.53		(60) 0.81		(108) 1.36		(155) 1.70	(202) 2.00	(266) 2.67	3.37
	2	9.404		0.02			0.38		0.53		0.87		1.11	1.49	1.81	2.28
	3	9.360		-0.05			0.34		0.53		1.09		1.54	1.82	2.35	2.69
	平均	9.383		0			0.42		0.62		1.11		1.45	1.77	2.27	2.78
E	1	9.260				0.71			2.07		3.67	測				
	2	9.338				0.81			1.64		3.41	定				
	3	9.208				0.96			1.87		3.63	不				
	平均	9.269				0.83			1.86		3.57	能				

表一 1.17 動弾性係数の変化 (供試体寸法 7.5 × 10 × 40cm)

配 合	供 試 体 番 号	試験開始前 動弾性係数 $E_D \times 10^3$	動 弾 性 係 数								$\frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 (\%)$					
			6	12	61	109	157	201	261	320						
A	1	37.8	96.8													
	2	38.7	96.8													
	3	39.0	96.8													
	平均	38.5	96.8													
B	1	35.4	96.8		95.3	92.7	87.4	72.1	32.7	測定						
	2	35.5	96.4		96.6	95.3	94.7	92.5	50.9	不能						
	3	37.2	97.2		94.7	91.1	87.3	81.7	53.2	23.2						
	平均	36.0	96.8		95.5	93.0	89.8	82.1	45.6	—						
C	1	40.3		92.9	84.6	40.0	測定不能									
	2	41.8		91.9	86.5	38.5	—									
	3	39.7		90.6	83.4	47.4	破 崩									
	平均	40.6		91.8	84.8	42.0	—									
D	1	37.4	96.9		97.1	96.8	98.1	98.3	98.2	96.0						
	2	37.4	97.6		97.1	96.9	98.5	98.3	99.3	96.4						
	3	37.6	97.4		97.3	97.1	97.6	98.1	98.8	93.0						
	平均	37.5	97.3		97.2	96.9	98.1	98.2	98.8	95.1						
E	1	37.5	90.1		16.1											
	2	37.2	89.8		29.7	破										
	3	36.3	94.9		13.7	崩										
	平均	37.0	91.6		19.8	—										

表- 1.18 供試体の重量変化 (供試体寸法 $7.5 \times 10 \times 40\text{cm}$)

配 合	供 試 体 番 号	試験開始前 供試体重量 (kg)	重 量 減 少 率								$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$					
			6	12	61	109	157	201	261	320						
A	1															
	2															
	3															
	平均															
B	1	7.038	0.16		1.07	1.93	5.85	7.64	8.75	9.86						
	2	7.014	0.20		1.20	1.92	2.51	2.79	3.51	3.95						
	3	7.020	0.34		1.00	1.85	2.65	3.73	4.50	6.27						
	平均	7.024	0.23		1.09	1.90	3.67	4.72	5.59	6.69						
C	1	7.320		0.34	3.57	4.15	5.93	測定不能								
	2	7.475		0.20	1.98	3.06	4.66	"								
	3	7.460		0.32	1.86	3.89	—	破 崩								
	平均	7.418		0.29	2.47	3.70	—									
D	1	7.180	0.28		1.27	1.95	2.51	2.73	3.22	3.68						
	2	7.170	0.17		0.81	1.39	1.83	2.01	2.52	2.75						
	3	7.262	0.17		1.18	1.76	2.30	2.62	3.02	3.64						
	平均	7.204	0.21		1.09	1.70	2.21	2.45	2.92	3.36						
E	1	7.176	0.08		0.71											
	2	7.102	0.11		1.03	破										
	3	7.094	0.20		0.48	崩										
	平均	7.124	0.13		0.74											

2. 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解耐久性試験 (57, 58年度)

2.1 試験目的

1で実施した調査の結果、スラグ砂を100%使用した場合、コンクリートの凍結融解耐久性が大幅に低下することが明らかになった。一方、高炉スラグ砂の年間供給量は昭和57年2月の時点で僅か300万t程度であって、実際には粒度調整、塩化物含有量の低減、その他の目的で従来の普通骨材と混合して用いられることが多い。スラグ砂を用いたコンクリートの耐久性の点からも普通骨材との混合使用が望ましいと考えられるが、その際、どの程度の混合割合であれば、所要の品質を満足するコンクリートが得られるのかを調査しておく必要がある。

そこで、57, 58年度の2年間にわたり、スラグ砂と普通骨材との混合割合がコンクリート凍結融解耐久性その他の性能に及ぼす影響を明らかにする目的で試験を行った。

2.2 試験方法

2.2.1 骨材試料

57, 58年度とも粗骨材は最大寸法25mmの普通碎石を、混合用のスラグ砂は君津産を用いた。また、普通細骨材として57年度は一般に使用されている川砂を、58年度は普通砕砂を用いた。58年度に砕砂を用いたのは、スラグ砂による砕砂の粒形や粒度の品質改善効果も併せて検討するためである。

2.2.2 骨材の試験

試験に用いた普通碎石、普通砕砂は、1の調査(56年度)で用いた試料と同一のものであるが、スラグ砂(K)は、57年度に新たに購入したものである。スラグ砂(K)について、次の試験を行った。

- (1) 細骨材の比重及び吸水率試験(JIS A 1109)
- (2) 骨材の単位容積重量及び実積率試験(JIS A 1104)
- (3) 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験(JIS A 1122)
- (4) 骨材の洗い試験(JIS A 1103)
- (5) 細骨材の有機不純物試験(JIS A 1105)
- (6) 骨材のふるい分け試験(JIS A 1102)

2.2.3 コンクリートの試験

表-2.1に示す細骨材の混合割合について、次のコンクリート試験を行った。

(1) 試験項目

表-2.1 細骨材の混合割合

種類	細 骨 材 (%)		粗 骨 材
	スラグ砂 (K)	川砂 (57年度) 砕砂 (58年度)	
A, F*	100	0	硬質砂岩
B	70	30	
C	50	50	
D	30	70	
E	0	100	

*FはA E剤によりコンクリートの空気量を増したもの

(2) 使用材料

1) セメント

普通ポルトランドセメントを用いた。表-2.2にセメントの試験成績を示す。

2) 混和剤

AE剤（ヴィンソル）を用いた。

表-2.2 セメントの試験成績

年 度	比 重	比表面積 (cm^2/g)	凝結時間			安 定 性	フ ロ ー 値	曲げ強さ (kgf/cm^2)			圧縮強さ (kgf/cm^2)		
			水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)			3日	7日	28日	3日	7日	28日
57	3.15	3360	27.8	2-23	3-43	良	266	33	50	66	145	233	404
58	"	3320	28.0	2-21	3-26	良	266	31	46	65	133	232	407

年 度	化 学 成 分 (%)							
	igloss	insol	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
57	0.6	0.2	22.1	5.3	2.9	64.8	1.2	2.1
58	0.5	0.3	22.0	5.4	3.1	64.4	1.4	1.9

(3) コンクリートの配合

1) 水セメント比 (w/c)

55%のみとした。

2) スランプ及び空気量

スランプは $7 \pm 1 \text{ cm}$ 、空気量は 4～5% を目標とした。ただし、表-2.1の F は、スラグ砂 100% 使用したものであるが、この配合については、プレーンコンクリートの空気量（エントラップドエア）に約 3% のエントインドエアーを AE 剤で連行した。

(4) コンクリートのブリージング試験

JIS A 1123 「コンクリートのブリージング試験方法」に従って行った。

(5) コンクリートの圧縮強度試験

供試体の大きさは $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ とし、試験は JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って行った。強度試験は、材令 14 日（58 年度のみ）と 28 日で行った。

(6) コンクリートの乾燥収縮試験

供試体の大きさは、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、試験は JIS A 1129 「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に従って行った。保存条件は、 $21 \pm 1^\circ \text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{ R.H.}$ の恒温恒湿とし、保存期間は 1 年とした。

(7) コンクリートの凍結融解試験

供試体の大きさは、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、試験は JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」

の附属書2「コンクリートの凍結融解試験方法」に従って行った。

2.3 試験結果

2.3.1 骨材試験結果

スラグ砂の物理試験結果を表-2.3に、化学成分を表-2.4に示す。普通砕砂、川砂及び碎石は、1の調査と同様のもので、これらの物理試験結果は、表-1.4、1.5に示してある。

表-2.3 スラグ砂の物理試験結果

種 類	絶 乾 比 重	吸水率 (%)	洗い損 失重量 (%)	有機不 純 物	安定性損 失 重 量 (%)	粒 度						
						5mm ~2.5	25mm ~1.2	1.2mm ~0.6	0.6mm ~0.3	0.3mm ~0.15	1.15mm 以下	粒度
スラグ 砂(K)	(2.82) 2.79	1.0	7.6	合 格	7.5	4	23	43	19	7	4	283

注 ()内は表乾時の値である。

表-2.4 スラグ砂の化学成分

スラグ砂(K)は、57年に購入したものであるが、その品質はJIS A 5011の規格を満足している。しかし、56年度の1の調査で用いたスラグ砂(K)と比べて洗い損失重量、安定性損失重量及び粗粒率がやや大きい値を示した。

種 類	化 学 成 分 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	S	SO ₃	FeO	MgO
スラグ砂 (K)	32.8	—	40.0	—	0.02	0.33	—

2.3.2 コンクリートのブリージング試験

コンクリートの試験に用いた配合を、表-2.5に示す。この配合のコンクリートについてブリージング試験を行った結果を、図-2.1、表-2.6に示す。コンクリートのブリージングは、スラグ砂の混合割合が大きくなるほど多くなる傾向があり、特にスラグ砂を100%使用した場合のブリージング率は多く、川砂100%のものの1.7~3.7倍の値となっている。また、今回の試験では56年度の結果と異なり、川砂と砕砂ではブリージング量にほとんど差は認められなかった。

表-2.7は、所定のコンシステンシーを有するプレーンコンクリートの配合及びスランプ、空気量の試験結果であるが、スラグ砂の混合割合の増加に応じてエントラップドエアが多くなることがわかる。そこで、配合Fでは所定のエントレインドエアを連行することにより、凍結融解耐久性を向上させることが可能かどうかを調べる目的で57、58年度ともAE剤によって、A配合の空気量に3%以上加えて、表-2.5のような空気量とした。

表-2.5 コンクリートの配合

年 度	配 合	粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	水セメ ント比 w/c (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				AE剤 (C×%)	試 験 値	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		スランブ (cm)	空気量 (%)
57	A	25	55	43.0	177	322	821	1028	0.012	7.5	4.3
	B			42.3	174	316	795	1049	0.013	6.6	4.3
	C			41.5	172	313	770	1068	0.014	7.6	4.4
	D			40.8	169	307	750	1089	0.015	6.4	4.0
	E			40.0	166	302	723	1111	0.018	6.2	4.5
	F			43.0	177	322	821	1028	0.016	6.0	6.5
58	A	25	55	43.0	175	318	823	1023	0.010	6.0	4.9
	B			"	177	322	806	1028	0.014	7.0	5.0
	C			"	177	322	792	1028	0.019	7.0	5.0
	D			"	178	324	774	1025	0.024	8.0	4.9
	E			"	179	325	757	1025	0.030	7.0	5.0
	F			"	168	305	838	1049	0.019	6.0	7.0

表-2.6 ブリージング試験結果

年度	配合	ブリージング量 (cm/cm)	ブリージング率 (%)
57	A	0.255	5.84
	B	0.191	4.41
	C	0.258	6.00
	D	0.201	4.74
	E	0.147	3.43
	F	0.381	8.59
58	A	0.484	11.38
	B	0.234	5.38
	C	0.178	4.02
	D	0.176	3.99
	E	0.137	3.09
	F	0.387	9.36

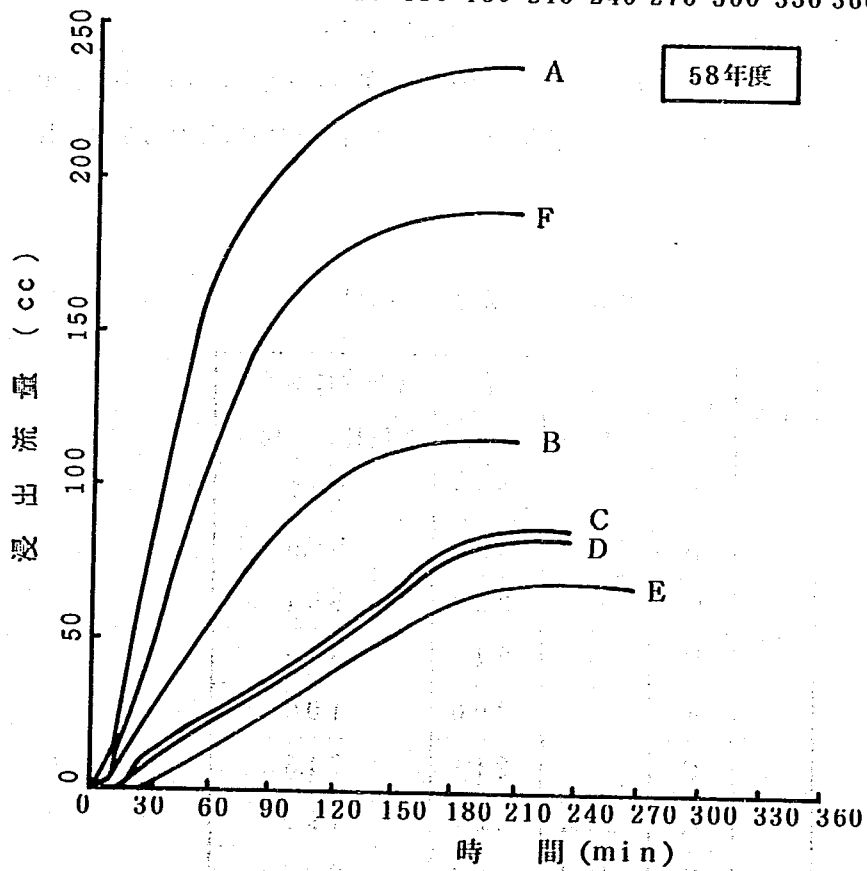
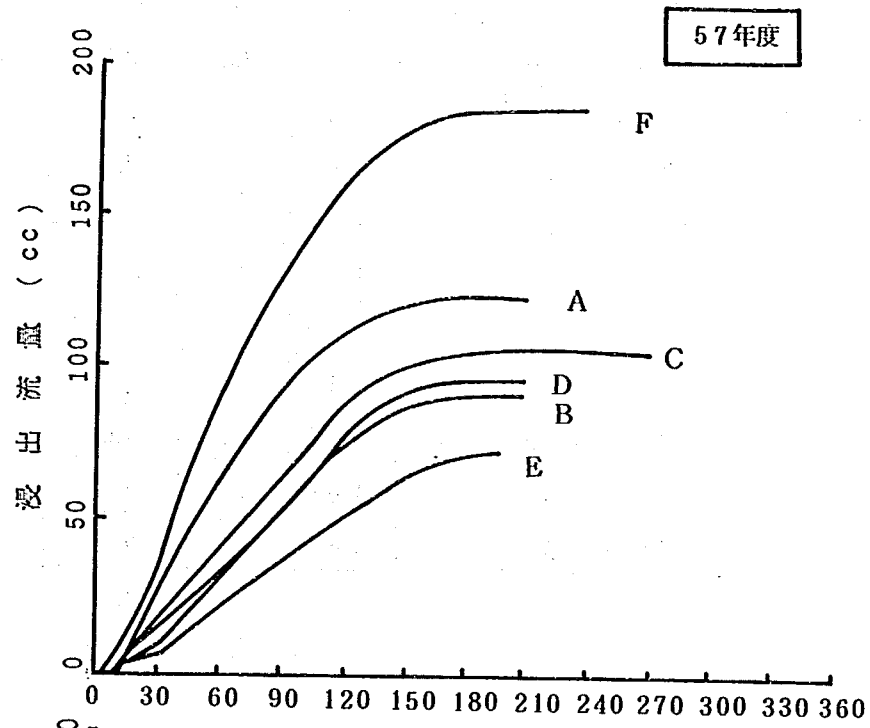


図-2.1 浸出流量と時間との関係

表-2.7 プレーンコンクリートの配合及び試験結果

年度	配合	単 位 量 (kg/m ³)				w/c (%)	s/a (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	コンクリート 温 度 (℃)
		W	C	S	G					
57	A	194	353	880	980	55	46.0	3.2	7.5	21.0
	B	191	347	856	999		45.3	2.8	7.9	20.0
	C	188	342	832	1020		44.5	2.2	7.3	20.0
	D	186	338	809	1039		43.8	2.2	7.7	20.0
	E	183	333	783	1060		43.0	2.1	6.5	20.0
58	A	194	353	880	980	55	46.0	3.0	6.5	22.0
	B	196	356	861	975		46.0	2.3	8.0	22.0
	C	197	358	846	972		46.0	1.9	7.0	22.1
	D	198	360	828	969		46.0	1.7	7.5	22.0
	E	199	362	810	967		46.0	1.7	7.5	22.5

2.3.3 コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を、表-2.8、図-2.2に示す。

スラグ砂の混合割合が多くなるほど、コンクリートの圧縮強度が低下する傾向がある。そしてスラグ砂を100%使用し、空気量を増したF配合の圧縮強度は、川砂を100%使用したE配合に比べて、約30%の低下となっている。

表-2.8 圧縮強度試験結果

年度	配合	材 令		E配合に対する 強度比 (%)
		14 日	28 日	
57	A	—	233	78.7
	B	—	253	85.5
	C	—	252	85.1
	D	—	271	91.6
	E	—	296	100
	F	—	211	71.3
58	A	224	267	79.8
	B	284	304	90.7
	C	265	301	89.9
	D	262	297	88.7
	E	261	335	100
	F	220	248	74.0

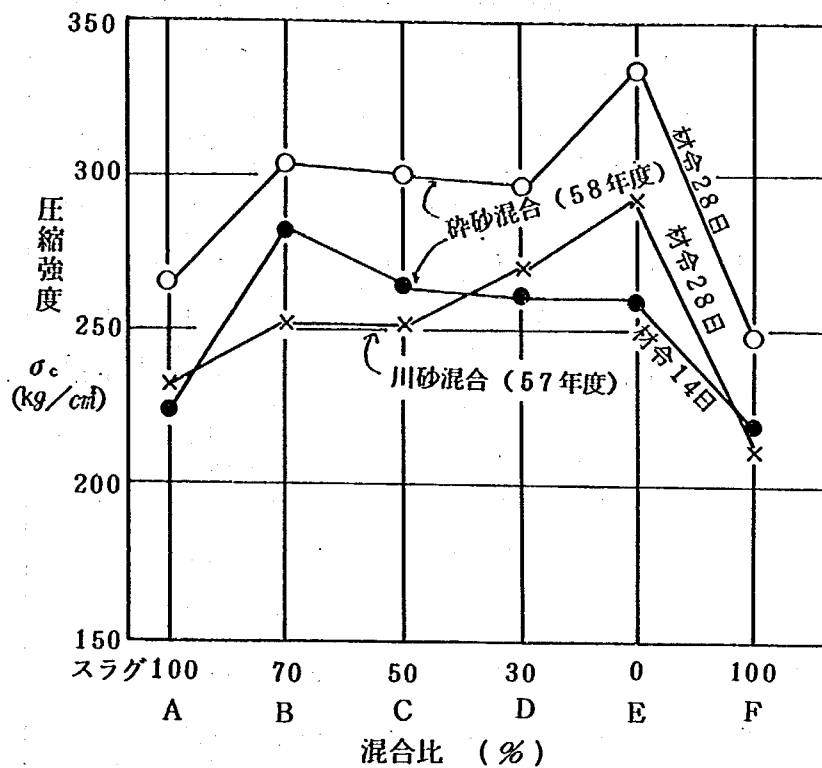


図-2.2 砂の混合比と圧縮強度との関係

2.3.4 コンクリートの乾燥収縮試験

コンクリートの乾燥収縮試験結果（長さ変化率および重量減少率）を表-2.9, 2.10, 図-2.3, 2.4に示す。

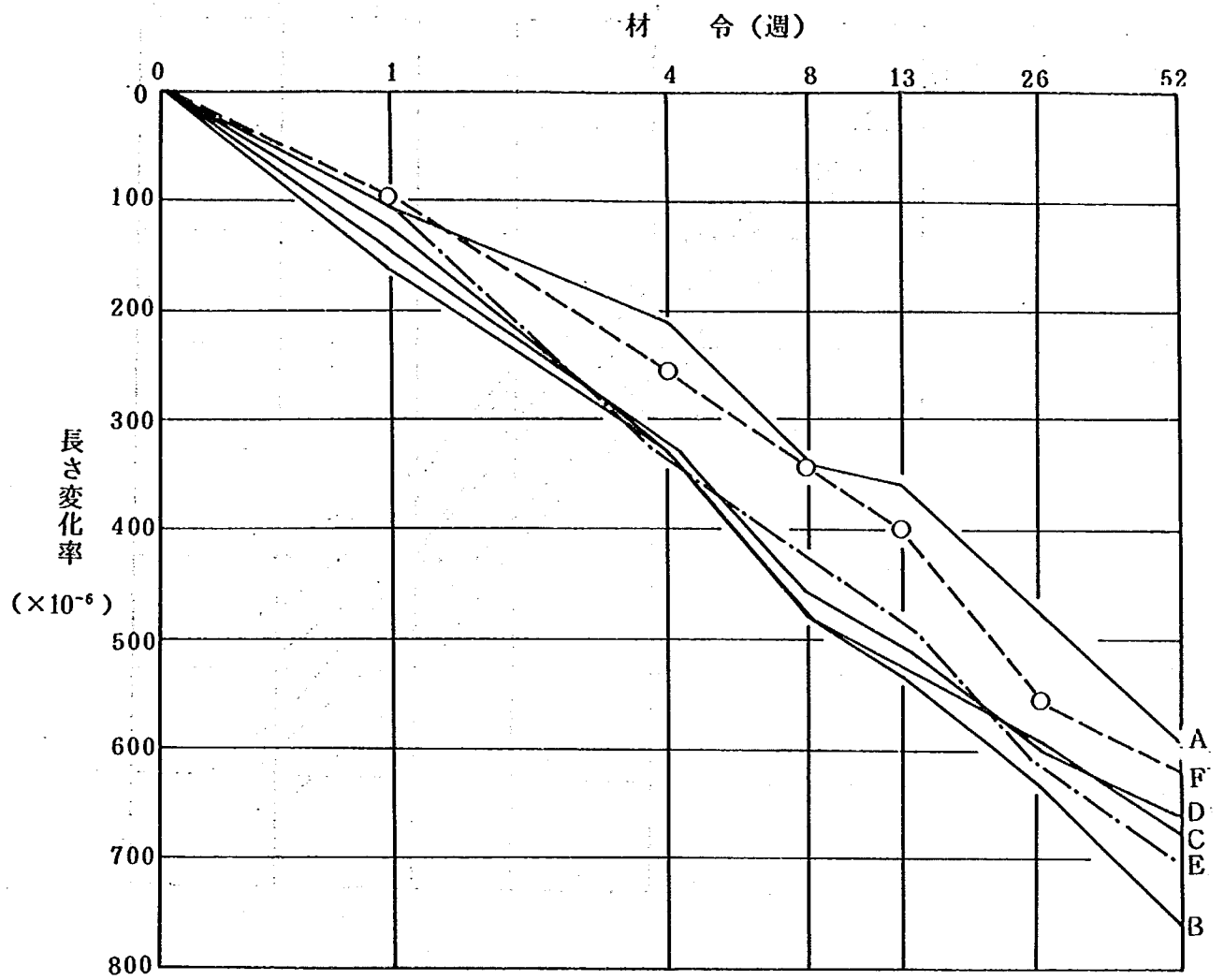
コンクリートの乾燥収縮率は、スラグ砂の混合割合が増すに従って小さくなる傾向がある。一般に砕砂、山砂を用いたコンクリートの乾燥収縮率は大きいと言われており、これらの細骨材とスラグ砂との混合使用はコンクリートの乾燥収縮低減に有利となることがわかる。

表-2.9 コンクリートの乾燥収縮試験結果（長さ変化率 $\times 10^{-6}$ ）

年 度	配 合	材 令（週）					
		1	4	8	13	26	52
57	A	108	212	338	357	475	588
	B	161	327	484	531	634	759
	C	128	336	479	492	591	676
	D	146	321	458	510	595	665
	E	103	339	433	480	616	701
	F	99	266	337	403	559	625
58	A	52	231	335	449	548	
	B	57	250	373	501	590	
	C	57	279	388	499	648	
	D	112	335	463	562	680	
	E	71	351	489	614	727	
	F	52	227	322	425	487	

表-2.10 コンクリートの乾燥収縮試験結果（重量減少率％）

年 度	配 合	材 令（週）					
		1	4	8	13	26	52
57	A	1.90	2.25	2.53	2.79	3.00	3.27
	B	1.45	2.03	2.33	2.68	2.92	3.30
	C	2.06	2.63	2.86	3.11	3.29	3.62
	D	2.05	2.65	2.88	3.10	3.31	3.59
	E	2.16	2.71	3.05	3.27	3.50	3.77
	F	1.41	2.32	2.42	2.79	2.98	3.42
58	A	1.27	1.83	2.03	2.43	3.15	
	B	1.21	1.81	2.08	2.46	3.21	
	C	1.26	1.90	2.19	2.63	3.35	
	D	1.35	2.11	2.35	2.83	3.58	
	E	1.41	2.11	2.43	2.87	3.64	
	F	1.33	1.88	2.09	2.49	3.20	



図一 2.3 材令と長さ変化率との関係 (57 年・川砂混合)

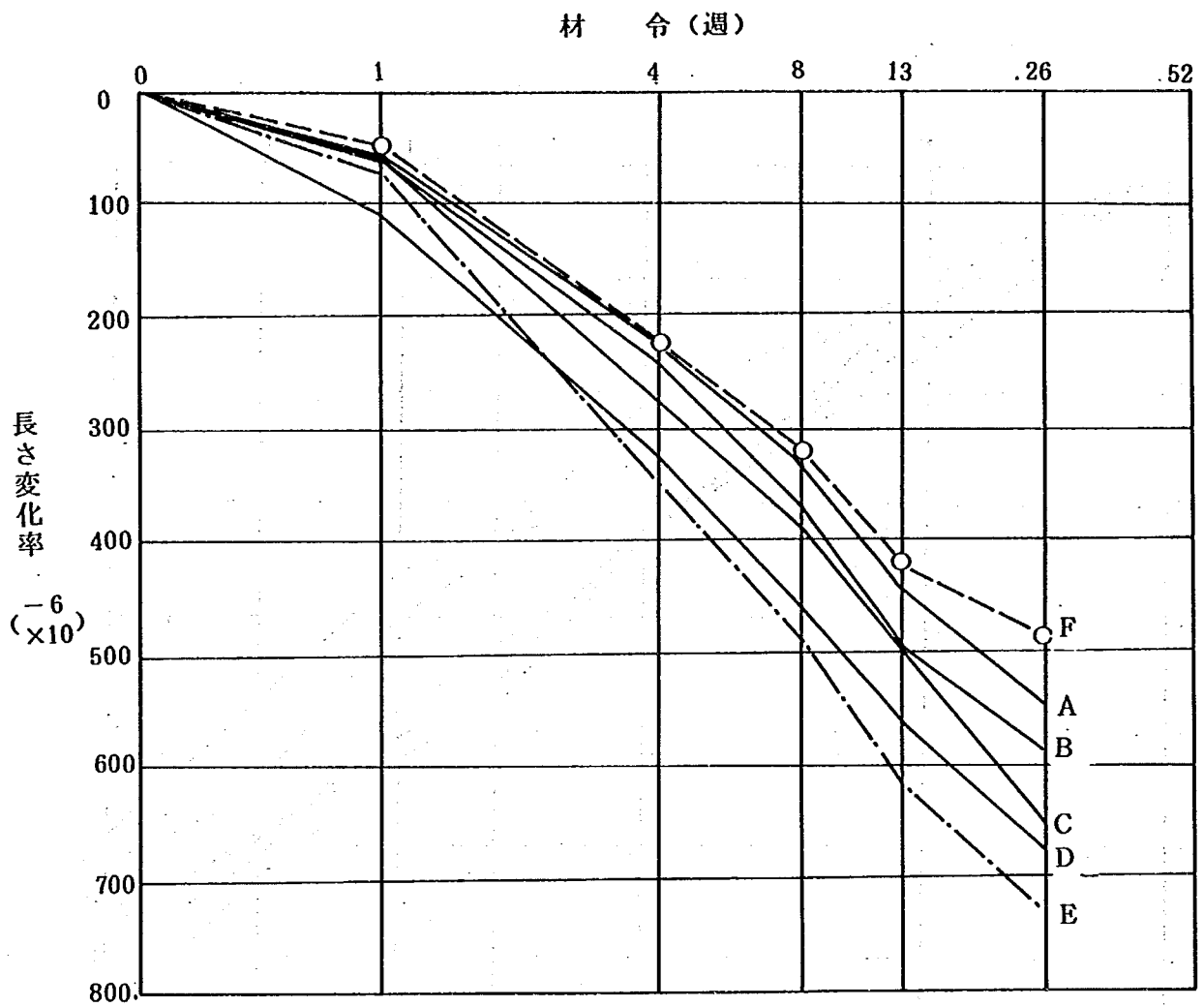


図- 2. 4 材令と長さ変化率との関係 (58年・砕砂混合)

2.3.5 コンクリート凍結融解試験

コンクリートの凍結融解試験結果を表-2.11に、凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化を図-2.5～2.7に示す。

凍結融解試験は、一般に材令14日で行われるが、試験開始材令が結果に及ぼす影響を調べるため、57年度には28日材令についても行った。

コンクリートの凍結融解耐久性は、スラグ砂の混合割合の増加に伴って低下する傾向があり、特に、混合割合が70%を越えると大幅に低下する。

また、細骨材にスラグ砂を100%使用して空気量を増した配合Fでは、配合Aに比べて耐久性は幾分向上するものの、十分な改善方法とは言えない。むしろ、空気量の増加に伴う強度の低下を考えると不経済なコンクリートとなる(図-2.2)。以上のことより、スラグ砂の混合割合を50%以下とし、通常の空気量のコンクリートとすることが、強度、耐久性の点で望ましい。

一方、材令28日の供試体について凍結融解試験を行った結果、材令14日のものに比べて耐久性指数は大きくなる。しかし、コンクリートの凍結融解試験が耐久性の相対的評価を与えるものであることを考えると、材令等の試験条件は一定とすることが望ましいと考えられる。

なお、参考のために表-2.12～2.17に各測定サイクルにおける供試体の動弾性係数及び重量変化を示した。

表-2.11 コンクリートの凍結融解試験結果

年 度	配 合	耐久性指数 ¹⁾ D F	300 サイクル における重量 減少率(%)	動弾性係数E ²⁾ ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)	単位容積重量 ²⁾ (kg/m^3)
57	A	(72.0) 54.4	—	361	2408
	B	(83.5) 56.4	9.72	357	2394
	C	(90.0) 73.4	8.95	349	2357
	D	(93.0) 90.4	9.17	350	2370
	E	(94.7) 97.4	3.96	357	2387
	F	(88.5) 67.4	10.59	342	2378
58	A	20.0	—	393	2419
	B	38.8	7.82	382	2387
	C	85.5	4.33	379	2382
	D	90.5	4.60	367	2370
	E	96.8	2.42	353	2337
	F	31.4	8.42	370	2369

注 1) ()内は材令28日についての試験値

2) 試験開始時(材令14日)の値

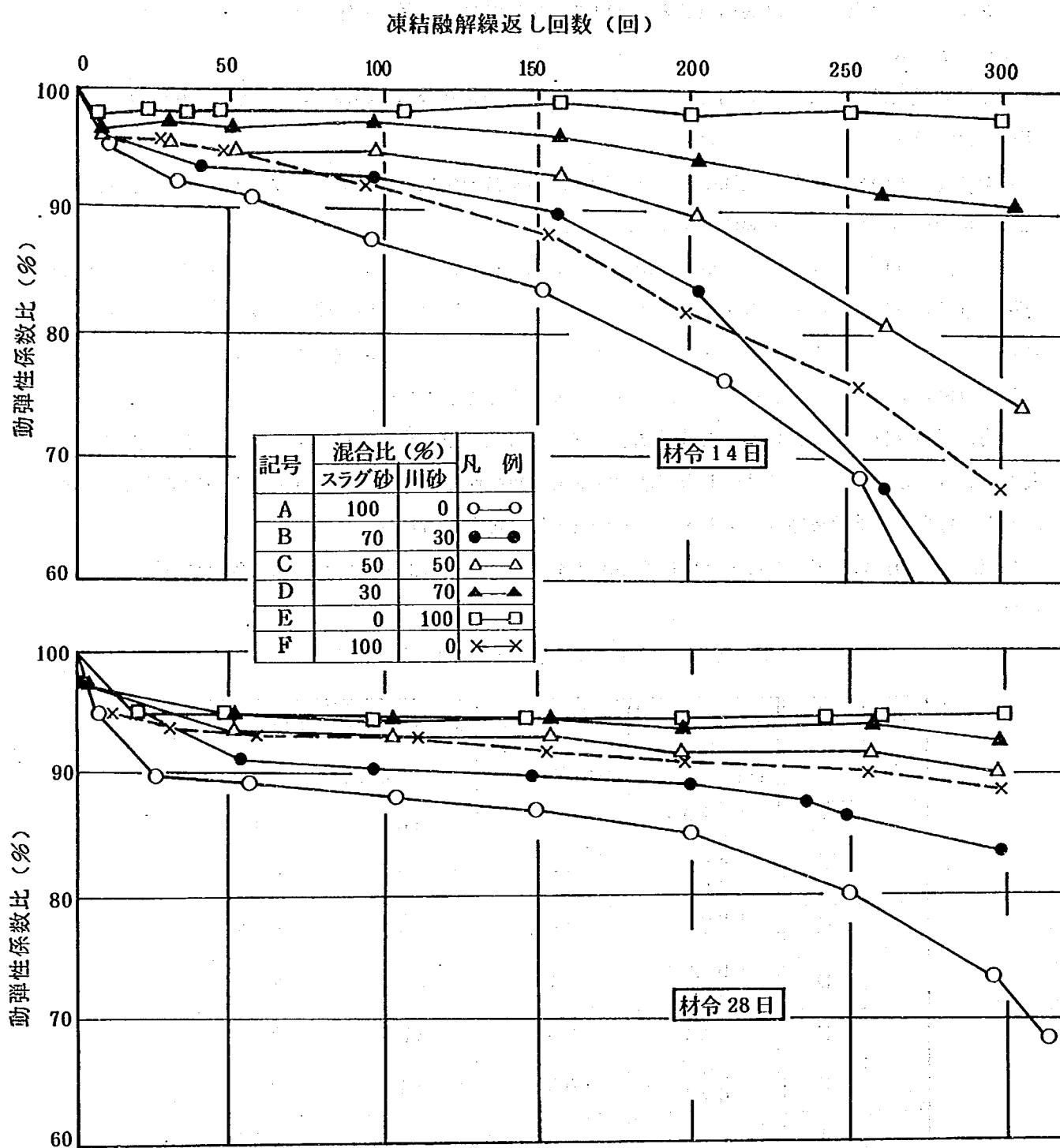


図- 2.5 凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化
(57年試験結果)

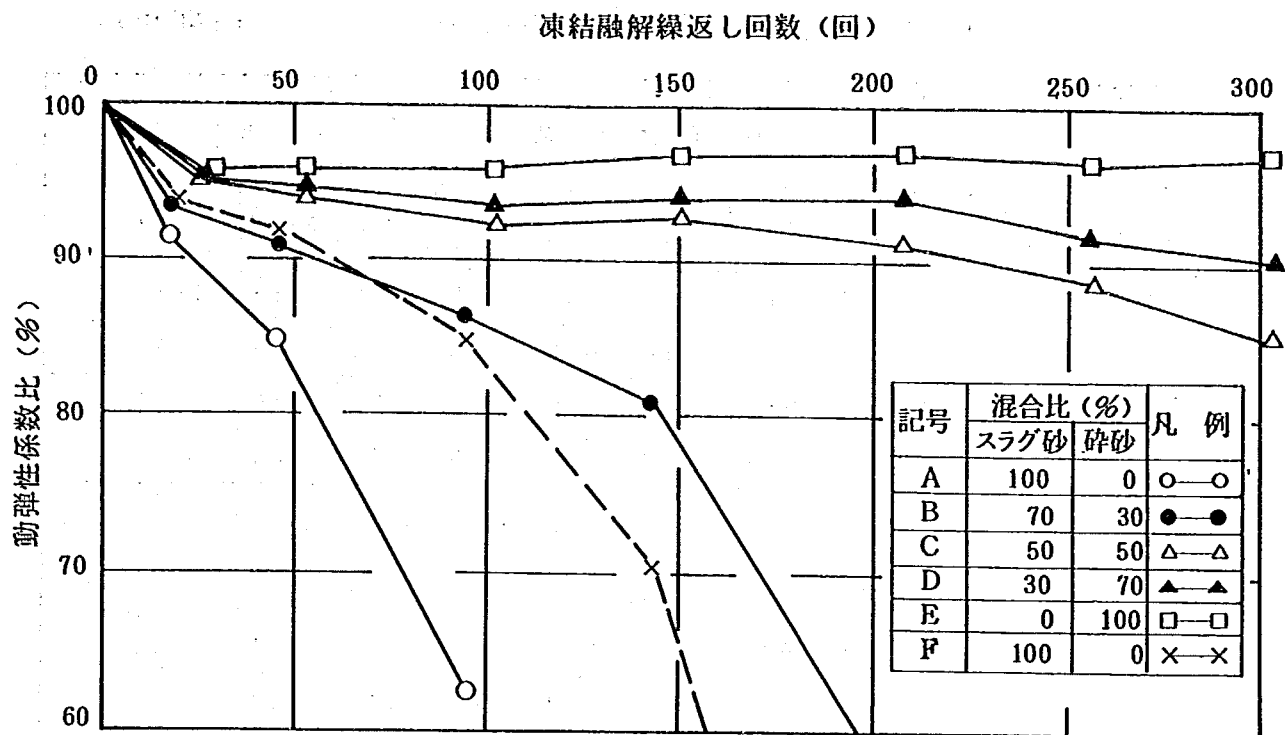


図-2.6 凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化
(58年試験結果)

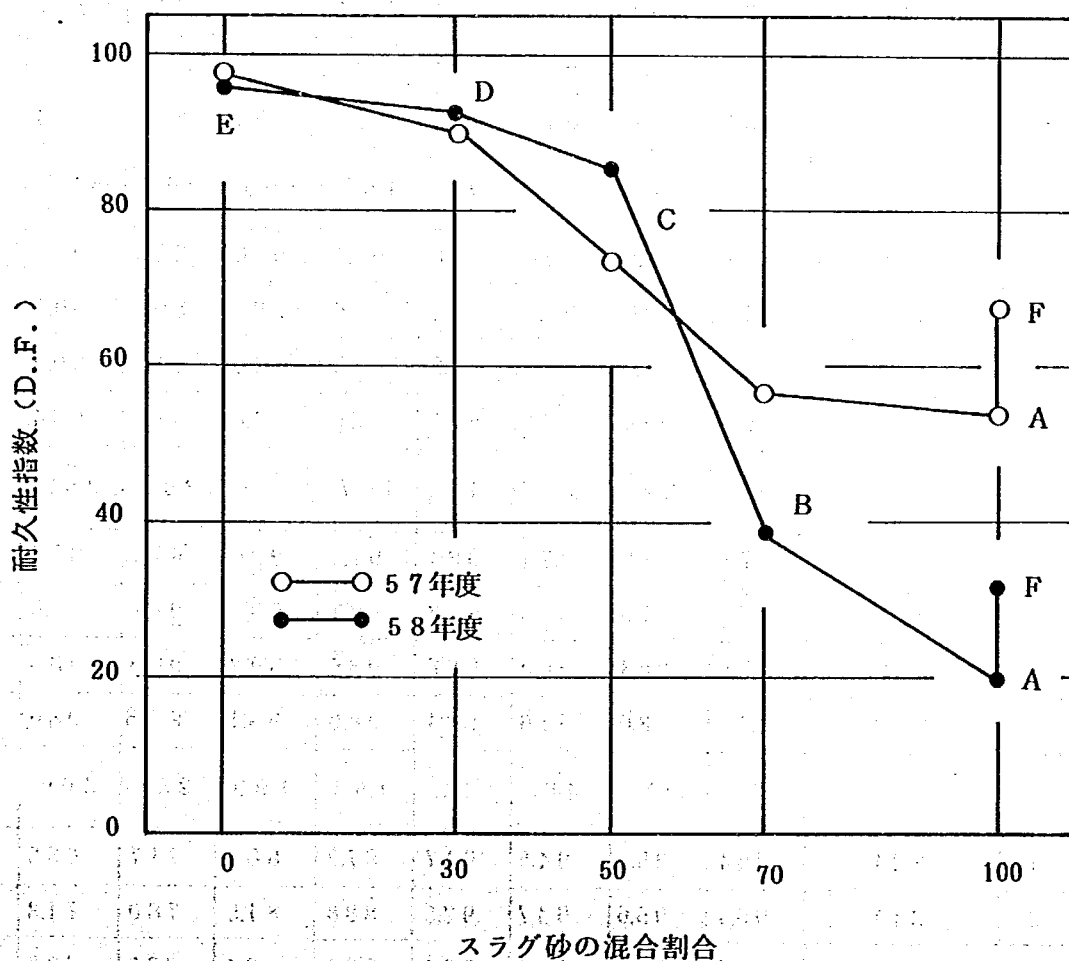


図-2.7 スラグ砂の混合割合と耐久性能指数との関係
耐久性能指数 (D, F)

表-2.12 動弾性係数の変化 (材令14日)

(57年実施)

記 号	供 試 体 番 号	サイクル $E_{D0} \times 10^3$	動弾性係数比 $\frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 (\%)$								
			7	32	57	97	150	210	255	309	
A	No 1	355	94.4	91.7	90.4	85.7	84.5	78.8	68.9	48.7	
	2	380	95.8	92.0	91.8	88.6	86.8	83.6	78.8	66.5	
	3	348	95.6	91.3	90.2	87.0	79.1	65.0	57.6	—	
	平均	361	95.3	91.7	90.8	87.1	83.5	75.8	68.4	(38.4)	
B			7	40	96	156	202	261	306		
	No 1	352	95.7	94.0	93.5	92.0	88.5	79.9	66.2		
	2	357	95.5	93.5	94.0	90.8	85.5	76.8	65.1		
	3	361	95.3	92.9	91.8	85.4	76.3	44.7	24.4		
	平均	357	95.5	93.5	93.1	89.4	83.4	67.1	51.9		
C			6	30	51	97	157	203	262	307	
	No 1	344	96.5	96.5	95.9	95.9	94.8	93.1	87.8	86.4	
	2	348	97.0	95.9	95.0	95.1	93.1	88.2	78.0	71.7	
	3	354	95.6	94.8	93.5	93.3	90.1	86.7	76.1	62.8	
	平均	349	96.4	95.7	94.8	94.8	92.7	89.3	80.6	73.4	
D			6	30	51	97	157	203	262	307	
	No 1	344	97.1	97.0	96.6	96.8	96.1	94.6	92.5	91.3	
	2	351	97.3	97.0	96.5	97.3	95.6	92.7	89.9	89.1	
	3	355	96.4	97.0	96.8	97.2	96.3	94.8	91.7	90.9	
	平均	350	96.9	97.0	96.6	97.1	96.0	94.0	91.4	90.4	
E			6	22	35	47	107	157	200	252	299
	No 1	353	97.1	98.0	97.4	98.1	97.4	98.6	97.4	97.6	96.8
	2	357	97.6	97.0	97.5	98.3	98.1	99.5	98.1	98.0	97.5
	3	360	97.8	98.3	98.0	98.8	98.5	99.2	98.0	98.5	98.0
	平均	357	97.5	98.0	97.6	98.4	98.0	99.1	97.8	98.0	97.4
F			7	27	48	94	153	199	254	300	
	No 1	341	96.4	95.7	94.6	91.7	87.2	80.0	71.7	63.5	
	2	341	96.4	95.6	94.7	92.5	88.8	81.5	78.0	71.3	
	3	344	97.7	96.6	95.3	93.0	87.0	83.1	77.5	67.5	
	平均	342	96.8	96.0	94.9	92.4	87.7	81.5	75.7	67.4	

表-2.13 供試体の重量変化 (材令14日)

(57年実施)

記 号	供 試 体 番 号	サ イ ク ル Wo (g)	重 量 減 少 率 $\frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100 (\%)$								
			7	32	57	97	150	210	255	309	
A	No 1	9528	0.05	0.14	0.81	2.20	4.20	6.30	7.20	8.67	
	2	9858	0.02	0.54	1.60	3.20	5.20	7.00	7.80	8.88	
	3	9506	0.19	0.48	1.50	3.40	6.20	8.40	9.60	—	
	平 均	9631	0.09	0.39	1.30	2.93	5.20	7.23	8.20	—	
B			7	40	96	156	202	261	306		
	No 1	9574	0.12	0.89	3.40	6.76	8.16	9.57	10.66		
	2	9575	0.01	0.78	2.80	4.60	5.65	6.89	7.91		
	3	9581	-0.03	0.96	4.10	5.10	7.37	8.88	10.60		
	平 均	9577	0.03	0.88	3.43	5.49	7.06	8.45	9.72		
C			6	30	51	97	157	203	262	307	
	No 1	9408	0.02	0.15	0.60	2.90	4.30	5.08	6.39	7.27	
	2	9478	0	0.30	0.99	3.00	4.70	5.08	7.68	11.56	
	3	9392	0	0.27	0.79	2.70	4.40	5.49	7.02	8.03	
	平 均	9426	0.01	0.24	0.78	2.87	4.47	5.22	7.03	8.95	
D			6	30	51	97	157	203	262	307	
	No 1	9470	-0.05	0.23	0.86	2.96	4.57	5.87	7.31	8.18	
	2	9484	-0.04	0.35	1.20	4.60	6.60	8.08	9.25	10.52	
	3	9490	-0.05	0.28	0.99	3.49	5.19	6.43	7.70	8.80	
	平 均	9481	-0.05	0.29	1.02	3.68	5.45	6.79	8.09	9.17	
E			6	22	35	47	107	157	200	252	299
	No 1	9504	0.04	0.12	0.20	0.40	1.61	2.30	2.93	3.40	3.95
	2	9589	0.04	0.08	0.15	0.26	1.61	2.30	3.00	3.60	4.09
	3	9549	0.10	0.12	0.26	0.47	1.51	2.24	2.84	3.36	3.84
	平 均	9547	0.06	0.11	0.20	0.38	1.58	2.28	2.92	3.45	3.96
F			7	27	48	94	153	199	254	300	
	No 1	9520	0.19	0.47	1.10	2.80	4.73	6.90	8.16	9.61	
	2	9494	0.15	0.52	1.00	2.90	6.38	8.49	9.84	11.18	
	3	9516	0.08	0.40	0.86	3.20	5.10	7.77	9.48	10.98	
	平 均	9510	0.14	0.46	0.99	2.97	5.40	7.72	9.16	10.59	

(57年実施)

— 38 —

表- 2.15 供試体の重量変化 (材令28日)

(57年実施)

記 号	供 試 体 番 号	サイクル Wo (g)	重 量 減 少 率 $\frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100 (\%)$								
			7	27	57	104	149	200	252	297	316
A	No 1	9645	0.08	0.29	0.88	2.40	4.10	5.96	7.19	8.37	8.89
	2	9715	0.09	0.25	0.73	1.78	3.09	4.62	6.25	7.48	7.98
	3	9582	0.20	0.44	1.00	2.30	3.33	4.99	6.20	7.63	8.06
	平 均	9647	0.12	0.33	0.87	2.16	3.51	5.19	6.55	7.83	8.31
B			4	54	97	148	200	237	250	300	
	No 1	9650	-0.07	1.92	3.23	4.57	5.49	7.34	7.80	9.28	
	2	9578	0.03	0.08	1.39	3.82	4.68	6.66	7.16	8.49	
	3	9622	0.01	1.33	2.62	3.95	4.89	6.49	6.94	8.70	
	平 均	9617	-0.01	1.11	2.41	4.11	5.02	6.83	7.31	8.82	
C			3	53	104	155	198	258	299		
	No 1	9474	-0.04	0.04	2.45	3.55	5.07	6.26	7.43		
	2	9584	-0.02	1.09	2.49	3.42	4.72	5.60	7.19		
	3	9595	-0.03	0.99	2.45	3.49	4.78	6.10	7.76		
	平 均	9551	-0.03	0.71	2.46	3.49	4.86	5.99	7.46		
D			3	53	104	155	198	258	299		
	No 1	9548	-0.03	0.50	1.84	2.94	4.34	5.51	6.45		
	2	9512	-0.01	1.01	2.54	4.32	5.59	6.93	7.91		
	3	9532	0.02	0.90	3.08	4.43	5.36	6.86	7.89		
	平 均	9531	-0.01	0.80	2.49	3.92	5.10	6.43	7.42		
E			20	50	97	147	197	244	263	301	
	No 1	9582	0.13	0.74	1.75	2.37	2.94	3.86	4.06	4.72	
	2	9405	0.11	0.61	2.05	2.72	3.25	4.35	4.55	5.26	
	3	9430	0.16	0.85	1.74	2.35	3.15	4.09	4.41	5.00	
	平 均	9472	0.13	0.73	1.85	2.48	3.11	4.10	4.34	4.99	
F			13	33	60	111	153	199	256	302	337
	No 1	9549	0.27	0.31	0.83	1.87	3.67	4.93	6.69	7.32	8.43
	2	9566	0.24	0.36	0.89	1.82	3.45	4.45	5.95	6.90	8.13
	3	9651	0.21	0.35	0.86	1.80	3.18	4.52	6.41	7.24	8.33
	平 均	9589	0.24	0.34	0.86	1.83	3.43	4.63	6.35	7.15	8.30

表-2.16 動 弾 性 係 数 の 変 化 (材 令 14 日)

58年実施

配 合	供 試 体 番 号	サイクル $E_{00} \times 10^3$	動 弾 性 係 数 比 $\frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 (\%)$														耐久 性 指 数
			20	27	48	55	96	103	116	143	150	199	206	247	254	300	DF
A	1	392	91.5		87.2		70.6		40.7	—		—					20
	2	395	88.8		77.0		30.7		13.0	—		—					
	3	394	94.1		71.2		86.1		83.4	75.7		25.9					
	平均	393	91.5		85.1		62.5		45.7	—		—					
B	1	394	92.4		89.5		84.3			70.1		21.7		—		—	38.8
	2	385	94.6		92.5		88.4			86.7		79.5		46.9		11.1	
	3	368	93.6		91.6		87.1			85.3		73.5		43.7		12.0	
	平均	382	93.6		91.2		86.6			80.7		58.2		45.3		11.6	
C	1	375		95.4		94.6		92.7			92.5		91.5		89.5	86.7	85.5
	2	380		95.3		94.5		92.5			93.0		89.6		87.4	83.4	
	3	381		95.5		94.6		92.7			93.3		91.5		89.5	86.3	
	平均	379		95.4		94.6		92.6			92.9		90.9		88.8	85.5	
D	1	373		95.3		94.9		93.3			94.3		93.9		91.4	89.9	90.5
	2	370		95.1		94.8		93.6			93.9		93.7		91.3	89.7	
	3	357		96.0		95.4		94.6			95.2		95.2		93.6	91.9	
	平均	367		95.5		95.0		93.8			94.4		94.3		92.1	90.5	
E	1	335		95.5		95.9		96.0			97.1		96.8		96.4	96.5	96.8
	2	351		95.9		96.4		96.1			97.3		97.9		96.0	96.9	
	3	375		95.3		96.2		96.3			97.1		96.6		97.5	97.1	
	平均	353		95.6		96.2		96.1			97.2		97.1		96.6	96.8	
F	1	364	94.4		92.4		86.0			71.9		20.9		14.5			31.4
	2	361	93.6		91.2		82.1			55.7		16.4		6.8			
	3	385	94.4		93.3		87.9			83.0		69.8		32.9			
	平均	370	94.1		92.3		85.3			70.2		35.7		18.1			

表-2.17 供試体の重量変化 (材令14日)

58年実施

配 合	供 試 体 番 号	サイクル Edo (g)	重 量 減 少 率 $\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100$ (%)													
			20	27	48	55	96	103	116	143	150	199	206	247	254	300
A	1	9693	0.24		0.91		2.80		3.36							
	2	9667	0.23		0.95		2.56		3.20							
	3	9665	0.19		0.65		1.98		2.48	3.72		5.02				
	平均	9675	0.22		0.84		2.45		3.01	-		-				
B	1	9659	0.26		0.91		2.33		-	3.80		5.26		7.04		9.46
	2	9613	0.16		0.55		1.60		-	2.62		3.77		5.00		6.42
	3	9371	0.25		0.78		1.98		-	3.36		4.70		5.82		7.57
	平均	9548	0.22		0.75		1.97		-	3.26		4.58		5.92		7.82
C	1	9513		0.35		0.62		1.23			1.95		3.14		4.45	5.30
	2	9474		0.29		0.46		0.98			1.62		2.37		2.97	3.67
	3	9590		0.37		0.62		1.22			1.91		2.61		3.36	4.03
	平均	9526		0.34		0.57		1.14			1.83		2.71		3.59	4.33
D	1	9502		0.43		0.72		1.41			2.09		2.86		3.85	4.88
	2	9535		0.31		0.55		1.18			1.91		2.83		4.10	4.75
	3	9399		0.30		0.43		0.90			1.37		2.55		3.40	4.16
	平均	9479		0.34		0.57		1.16			1.79		2.75		3.78	4.60
E	1	9155		0.15		0.26		0.58			0.87		1.28		1.71	2.09
	2	9340		0.21		0.38		0.68			0.95		1.35		1.84	2.40
	3	9547		0.19		0.27		0.52			0.82		1.24		2.21	2.76
	平均	9347		0.18		0.30		0.59			0.88		1.29		1.92	2.42
F	1	9407	0.30		0.89		2.38			3.72		5.54		6.40		8.38
	2	9497	0.29		0.85		2.33			3.96		5.61		8.12		9.82
	3	9525	0.35		1.02		2.21			3.50		4.73		5.76		7.05
	平均	9476	0.31		0.92		2.31			3.73		5.29		6.76		8.42

2.3.6 硬化コンクリートの気泡観察

スラグ砂の混合割合が70%を越える細骨材を用いたコンクリートの凍結融解耐久性が大巾に低下する原因として、表-1.14, 2.7で示されたエントラップドエアの増加が考えられる。そこで58年度にスラグ砂を混合使用した場合のコンクリートの気泡組織の変化をASTM C 457「顕微鏡による硬化コンクリートの気泡システムのパラメータと空気量の測定方法」により測定した。その結果が表-2.18, 図-2.8である。

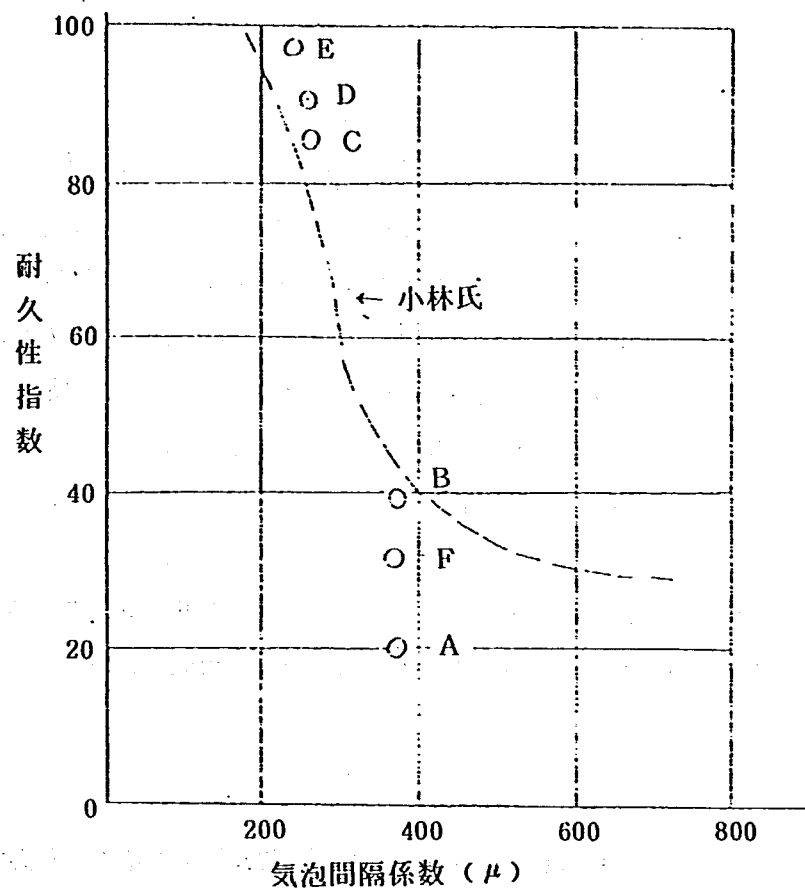
コンクリートの凍結融解耐久性に関係するのは気泡間隔係数で、その値が250 μ 程度以下であれば十分な耐久性を示すと言われているが、⁴⁾今回の試験でも同様の結果となった。また、スラグ砂を70%以上混合使用した場合の気泡間隔係数は360 μ 以上であり、気泡径の大きいエントラップドエアが多く入っていることを示している。さらに、AE剤によって3%以上のエントレインドエアを加えても気泡間隔係数を小さくすることはできないことから、スラグ砂の混合割合が多い場合の空気量の増大は、耐久性改善の十分な方法とは言えない。

表-2.18 硬化コンクリート空気量測定結果

	配 合					
	A	B	C	D	E	F
No.1 カウンターカウント数 (N)	675	722	975	1046	1195	824
No.2 " (St)	5200	5200	5200	5200	5200	5200
No.3 " (Sv)	236	251	238	243	262	345
No.4 " (Sp)	1038	1049	1064	1097	1151	962
空気ベースト比 (A/P)	0.227	0.239	0.224	0.222	0.227	0.359
ベースト空気比 (P/A)	4.40	4.18	4.47	4.51	4.41	2.79
ペーストを通るトラバース全長〔mm〕(Tp)	1018	1029	1044	1076	1133	944
ペースト1mm当りの気泡断面数 (Np)	0.663	0.702	0.934	0.972	1.05	0.873
気泡断面の平均弦長〔mm〕(ℓ)	0.342	0.340	0.240	0.228	0.216	0.411
比 長 面 (α)	11.7	11.8	16.7	17.5	18.5	9.73
気泡間隔係数〔 μ 〕(L)	373	362	263	252	236	365
空 気 量〔%〕(A)	4.54	4.83	4.58	4.76	5.04	6.63

※ I : 1mm

T ℓ : 100



図一2.8 気泡間隔係数と持久性指数との関係

3 ま と め

2つの試験で得られた結果をまとめると以下のようである。

- 1) コンクリートの単位水量は、スランプの大小にかかわらず、スラグ砂の混合割合の増加に伴って多くなり、スラグ砂を100%使用した場合、川砂を使用したものより7%程度増加する。また、ブリージングもスラグ砂の混合割合の増加によって多くなり、川砂の最大4倍程度にもなる。
- 2) 混合割合70%以上のスラグ砂を用いたコンクリートの凍結融解耐久性は、大幅に低下し、スラグ砂を100%使用した場合、空気量を増やしても耐久性改善の効果は少ない。通常の4～5%の空気量の範囲では、スラグ砂を50%以下の混合割合で使用するのが望ましいと考えられる。
- 3) スラグ碎石コンクリートの曲げ強度は、普通碎石コンクリートよりも小さい傾向がある。また、スラグ碎石コンクリートは、普通コンクリートに比べて凍結融解耐久性が劣る。
- 4) スラグ砂は50%程度以下の混入率であれば、コンクリートのブリージングはあまり多くなく、逆に乾燥収縮を低減できるので舗装コンクリートでも十分に使用が可能である。

4 結 言

スラグ碎石やスラグ砂を有効に利用して、従来の骨材の品質改善を図ることが必要となっている。本試験ではこのような観点からスラグ碎石、スラグ砂を用いたコンクリートの各種性能について調べ、スラグ骨材を使用する場合の留意点を明らかにした。また、これらの結果はセメントコンクリート舗装要綱のスラグ砂と従来の細骨材との混合使用の規定にも反映されている。さらに、建設省技術管理業務連絡会・コンクリート部会のスラグ分科会でも同称の調査を実施しており、これらの成果と合せて各地方建設局の土木工事共通示様書に反映される予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：高炉スラグ碎石コンクリートのせん断試験，土木研究資料第1981号，昭和58年3月
- 2) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，昭和59年2月
- 3) セメント協会：スランプの相違をも含めたコンクリートのセメント水比と圧縮強度に関する報告，コンクリート専門委員会報告，F-16（1966）
- 4) 小林正凡，田中弘：高炉急冷スラグ砂を用いたコンクリートの気泡組織について，第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1980

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2091号
マイクロフィルム第 号
昭和59年3月(1984)

小林茂敏, 小野金造, 河田博之, 石井良美

要旨

高炉スラグ碎石, 砕砂を用いた舗装コンクリートの性能及び高炉スラグ砕砂を混合使用したコンクリートの性能を調査した。

キーワード: 高炉スラグ碎石, 高炉スラグ砂, 舗装コンクリート, 凍結融解耐久性

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
コンクリート研究室 御中

No. _____

No. _____

土研資料 2091 号

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2091号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印