

V—3 流動化コンクリートの気泡分布性状と凍結融解抵抗性について

北海道開発局土木試験所

正員 根本 任 宏
 “ 太田 利 隆
 “ 服部 健 作
 “ 今井 益 隆
 “ 小長井 宣 生

1. まえがき

高性能減水剤の一つである流動化剤を用いて、単位水量の少ない硬練りのコンクリートの施工性を改善することが、マカンに行なわれるようになってきた。一般に、流動化コンクリートと呼ばれているが、流動化剤の品質規準や、流動化剤を用いたコンクリートの施工指針等は、現在のところ成案を見えていない。

流動化コンクリートは、流動化剤の添加量が多い場合、使用する AE 剤の種類によっては、流動化後の空気量が減少し、硬化コンクリートの気泡間隔係数が増大することによって、凍結融解抵抗性が低下するとされている。¹⁾ 一方、レジン系の AE 剤を併用すれば、流動化コンクリートの気泡間隔係数が増大する傾向は認められるものの、凍結融解抵抗性には問題がないとの報告もある。²⁾

本文では、標準型、および遅延型の減水剤、ならびにレジン系の AE 剤を組合せて、スランプが 5 cm のベースコンクリートに、標準型の流動化剤を添加して、スランプが 12 cm、および 18 cm になるようにした場合のスランプと空気量の変動や、その他の性質、特に、硬化コンクリートの気泡分布性状と凍結融解抵抗性との関係を調べた。また、主として、暑中コンクリートのスランプロスも軽減することを目的とした、遅延型の流動化剤についても同様の試験を行ない、標準型流動化剤との違いを比較、検討した。

2. 材料および試験方法

1). 材 料

セメントは、N 社、O 社、S 社製普通ポルトランドセメントの 3 種を等量混合して用いた。骨材は、表-1 に示す性質のものを使用した。

また、試験に用いた混和剤の主成分を表-2 に示す。ベースコンクリートの減水剤は、リグニンスルホン酸塩系と、ナフタリンスルホン酸塩系の 2 種とし、AE 剤は、天然樹脂酸塩系のものを用いた。流動化剤は、メラミンスルホン酸塩系と、ナフタリンスルホン酸塩系の 2 種である。

2). 試験方法

ベースコンクリートの配合は、単位セメント量 300 kg、 $S/a = 40\%$ とし、スランプは 5 ± 0.5 cm、空気量は $4 \pm 0.5\%$ を目標とした。

練り混ぜ方法は、図-1 に示したが、流動化コンクリートは、ベースコンクリートの加水後 15 分に流動化剤を添加して、流動化後のスランプが 12 cm、あるいは、

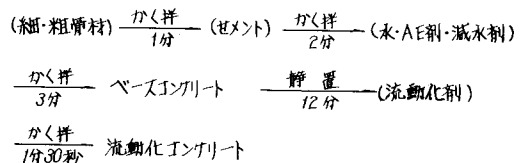
表-1 骨材の性質

種類	産 地	粒径 (mm)	比重	吸水率 (%)	F.M	最大寸法 (mm)
細骨材	徳島県産青砂	—	2.75	1.19	2.67	5
粗骨材	静岡県産砂利	5~15	2.79	1.48	—	25
		15~25	2.77	1.21	—	

表-2 試験に用いた混和剤

記号	種 類	主 成 分	形 式
D	減水剤	リグニンスルホン酸塩	遅延形
E		“	標準形
F		ナフタリンスルホン酸塩・ポリマリン併用型	“
G	AE 剤	天然樹脂酸塩	遅延形
h		“	—
i		“	—
N	流動化剤	メラミンスルホン酸塩系複合剤	標準形
NR		“	遅延形
M		ナフタリンスルホン酸塩系	標準形
SR	“	“	遅延形
S		“	標準形

図-1 コンクリートの練り混ぜ方法



18 cm になるようにした。

フレッシュコンクリートの試験は、ベースコンクリートと流動化後のコンクリートについて、スランパと空気量の練りより後 90 分までの経時変化の測定も行なったほか、ブリージング試験、アロクター貫入による凝結硬化時間の測定を行った。

硬化コンクリートについては、養生 7 日と 28 日における圧縮強度を求め、気泡間隔係数は、顕微鏡によるポイントカウント法 (ASTM C-457) により測定した。また、凍結融解試験 (ASTM C-666 水中急凍法 300 回) を行い、耐久性指数を求めた。

3. 試験結果と考察

試験を行ったコンクリートの配合、および試験結果を表-4 に示した。流動化剤 N と NR を用いたものを I シリーズ、M と MR を用いたものは II シリーズ、S は III シリーズとした。また、ベースコンクリートは A、スランパ 12 cm に流動化したものは b、同じく 18 cm にしたものは c と、記号化した。

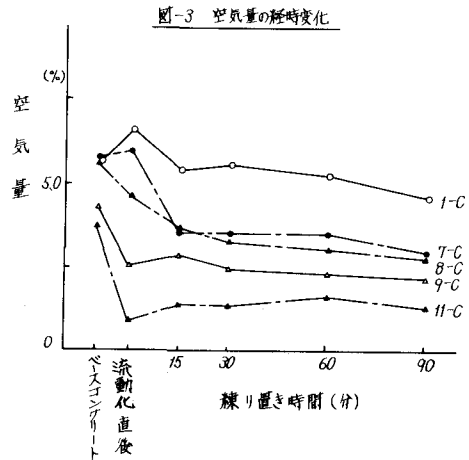
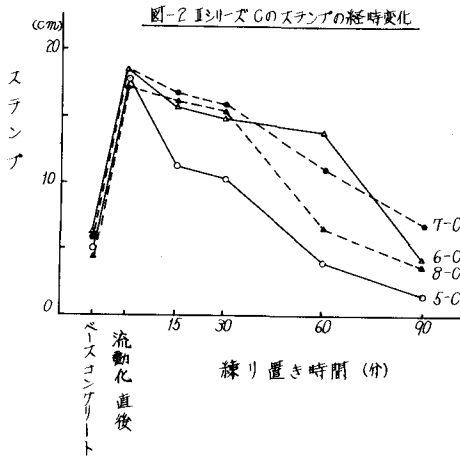
I シリーズにおける減水剤 D は、標準添加量が $C \times 0.25\%$ とされているが、No. 11-C、12-C 以外はその倍の $C \times 0.5\%$ を添加した。

り。スランパおよび空気量の経時変化

試験結果を表-4 に示した。スランパの経時変化は、I シリーズにおいて、b・c とともに練り混ぜ終了後 60 分程度で、ほぼベースコンクリートのスランパに戻っている。No. 1-C のスランパロスが少ないのは、流動化の程度が過大となったためと考えられる。流動化剤 NR は遅延型であるが、スランパロスも軽減する効果は見られなかった。II シリーズでは、b が I シリーズと同様に、練り混ぜ終了後 60 分程度で、ほぼベースコンクリートのスランパに戻っているが、c については、図-2 に示すように、減水剤か流動化剤のどちらか一方に遅延型のものを用いたもの (No. 6-C、7-C) は、両剤ともに標準型を用いたもの (No. 5-C) に比べ、スランパロスがやや小さかった。III シリーズは、スランパロスは比較的少ないようであった。

表-3 コンクリートの配合とフレッシュコンクリートの性質

No.	w/c (%)	流動化剤 (%)	減水剤 (%)	AF 剤 (%)	スランパの経時変化 (cm)					空気量の経時変化 (%)					凝結時間 (h)				
					15	30	60	90	120	15	30	60	90	120	15	30	60	90	120
I-1-a	39.7	N	—	D	—	4.5	—	2.4	2.1	2.0	1.2	5.7	—	4.5	4.4	4.1	3.7	—	—
I-1-b	39.7	N	6.7	0.5	—	5.2	13.6	10.4	7.6	5.1	3.4	5.7	6.6	5.4	5.6	5.3	4.7	—	—
I-1-c	43.0	N	11.7	0.25	—	5.4	22.0	19.7	19.1	16.0	4.3	6.0	6.8	6.3	4.4	2.8	2.9	—	—
I-2-a	39.7	NR	6.7	0.5	—	5.7	17.7	17.5	10.5	3.7	1.5	3.4	1.1	1.8	1.2	1.0	0.9	—	—
I-2-b	39.7	NR	6.7	0.5	—	5.6	16.9	14.0	8.9	5.4	3.4	6.2	8.0	6.5	5.7	5.1	3.4	—	—
I-2-c	43.0	NR	11.7	0.25	—	5.4	17.3	7.0	4.2	2.2	0.9	6.0	5.7	2.8	3.2	2.9	2.6	—	—
I-3-a	43.0	NR	11.7	0.25	—	5.6	17.8	16.9	14.4	5.0	1.7	3.8	0.9	1.4	1.4	1.7	1.4	—	—
I-3-b	44.3	N	5.6	0.25	0.0025	5.8	—	3.3	3.0	2.2	2.1	4.0	—	3.3	3.4	2.7	2.7	0.177	100
I-3-c	44.3	N	10.7	0.25	0.0025	5.7	11.5	8.6	7.2	6.0	4.8	3.4	3.2	3.0	3.0	2.4	1.8	0.186	105
I-4-b	43.0	NR	10.8	0.25	0.0025	5.6	18.1	14.3	9.5	6.1	4.9	3.6	1.5	1.6	1.3	1.3	1.4	0.314	177
I-4-c	43.0	NR	11.7	0.25	0.0025	5.5	18.0	10.7	8.5	5.0	4.5	4.1	2.5	1.8	1.4	1.4	1.3	—	—
I-5-a	43.0	M	2.7	0.6	0.05	4.7	—	3.2	2.7	1.7	0.6	2.7	—	3.0	2.9	2.4	2.3	0.110	100
I-5-b	43.0	M	3.4	0.6	0.05	4.7	11.5	11.5	8.0	6.3	3.5	2.2	3.1	2.9	3.2	2.8	2.5	0.050	45
I-5-c	41.3	MR	3.0	0.6	0.04	5.0	18.0	11.3	10.3	4.0	1.6	3.7	5.5	4.3	4.1	2.7	1.8	0.087	79
I-6-b	41.3	MR	5.4	0.6	0.04	6.4	13.7	12.8	9.4	5.7	4.1	5.8	6.0	3.6	3.6	3.6	3.1	—	—
I-7-a	42.7	M	—	0.4	0.025	6.2	18.5	15.8	14.8	13.7	4.3	5.3	4.4	4.1	2.5	2.6	2.1	—	—
I-7-b	42.7	M	2.7	0.4	0.025	5.3	—	2.6	2.1	1.2	0.9	5.4	—	4.8	4.2	4.2	3.7	—	—
I-7-c	42.7	M	4.0	0.4	0.025	4.7	13.0	11.0	9.4	5.6	2.8	5.7	5.4	5.2	4.1	4.0	3.1	—	—
I-8-b	42.7	MR	5.4	0.4	0.025	5.7	18.5	16.5	15.7	11.0	6.9	5.2	6.2	5.9	4.6	4.2	3.9	—	—
I-8-c	42.7	MR	6.8	0.4	0.025	5.3	12.5	10.0	8.8	5.9	2.5	5.7	4.2	3.4	2.6	2.6	2.2	—	—
I-9-a	45.0	S	—	—	—	5.2	18.7	18.1	17.0	13.7	2.0	5.2	4.1	2.5	1.9	1.6	1.0	—	—
I-9-b	45.0	S	4.0	—	—	4.1	—	3.0	2.7	2.3	0.9	4.6	—	4.0	3.9	3.9	2.6	0.095	100
I-9-c	45.0	S	7.0	—	—	6.0	12.5	11.8	9.0	6.3	3.9	5.0	5.4	5.1	4.1	3.6	3.6	0.140	147
I-9-d	45.0	S	—	—	—	5.1	18.2	14.9	13.7	9.9	7.3	4.3	2.6	2.9	2.5	2.4	2.3	0.366	385



空気量については、流動化剤を添加した直後、一時的に変化するが、練り上げ後15分程度で、ほぼ定常的となる傾向にあった。代表的なものを図-3に示す。

2). フリージング

標準型の流動化剤を用いた、流動化コンクリートのフリージング試験結果を表-3、図-4に示す。

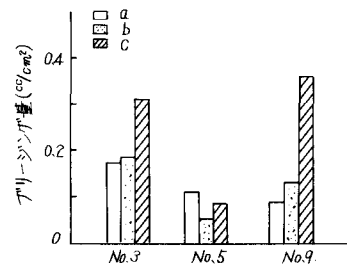
一般に、流動化コンクリートのフリージング量は、ベースコンクリートとほぼ同程度であるとされている。³⁾ IIシリーズのナフタリン系の流動化剤Mを添加した場合 (No.5), 流動化コンクリートのフリージング量はベースコンクリート以下となったが、IIシリーズのナフタリン系の流動化剤Sを用いた場合 (No.9), ベースコンクリート以上のフリージング量となり、Cにおいては、ベースコンクリートの4倍近い量となった。また、メラミン系の流動化剤Nを添加した場合 (No.3), bはベースコンクリートと同程度のフリージング量であったが、Cでは、1.8倍と多くなった。

3). 凝結性状

測定結果を表-3に示す。Iシリーズにおいて、リグニン系の減水剤Dを用いた場合、ベースコンクリートの始発に、16時間30分程度要している。また、流動化剤N、およびNRを添加して流動化マセタとき、凝結の終結までに、23～27時間程度要した。これは、No.1, 2における減水剤Dの添加量は、標準量の2倍であるため、著しい凝結遅延性を示したと思われる。このことは、No.11, 12 (標準量添加) と比較すれば明らかである。また、IIシリーズにおいて、流動化剤と減水剤の両剤に遅延型のものを用いたものは (No.8), 流動化剤の添加量の増加に伴い、著しい凝結遅延を示したが、両剤ともに標準型のものを添加した場合 (No.7), ほとんど凝結遅延性は認められなかった。

一般に、メラミン系、およびナフタリン系の流動化剤は凝結遅延性を持たないといわれているが⁴⁾、No.1のように、ベースコンクリートに添加する減水剤の量が多い場合、標準型の流動化剤を添加しても、著しい凝結遅延をおこすことがあるので、流動化コンクリートを使用するときは、減水剤の種類と添加量、および流動化剤の組合せに注意を要するといえる。

図-4 フリージング試験結果



4). 圧縮強度

表-4に試験結果を示した。IシリーズのNo.1-Cの7日強度が、ベースコンクリートに比べて、21%低下したが、28日強度においては、8%の低下であった。これは、枚令一面では、凝結が著しく遅れたことの影響が現れたものと思われる。その他の配合については、ベースコンクリートの強度より、10%以上低下したものはなく、流動化コンクリートの圧縮強度には問題がないと思われる。

㊦. 凍結融解抵抗性

凍結融解のくり返し、300サイクルにおける耐久性指数を表-4に、また、動弾性係数の変化を図-5に示す。

一般に、エントレインドエアが4%以上混行され、気泡間隔係数が200 μ 以上であれば、凍結融解に対して耐久的なコンクリートとされており、流動化コンクリートの耐久性も同様に、空気量、および気泡分布性状が大きく影響されると考えられる。

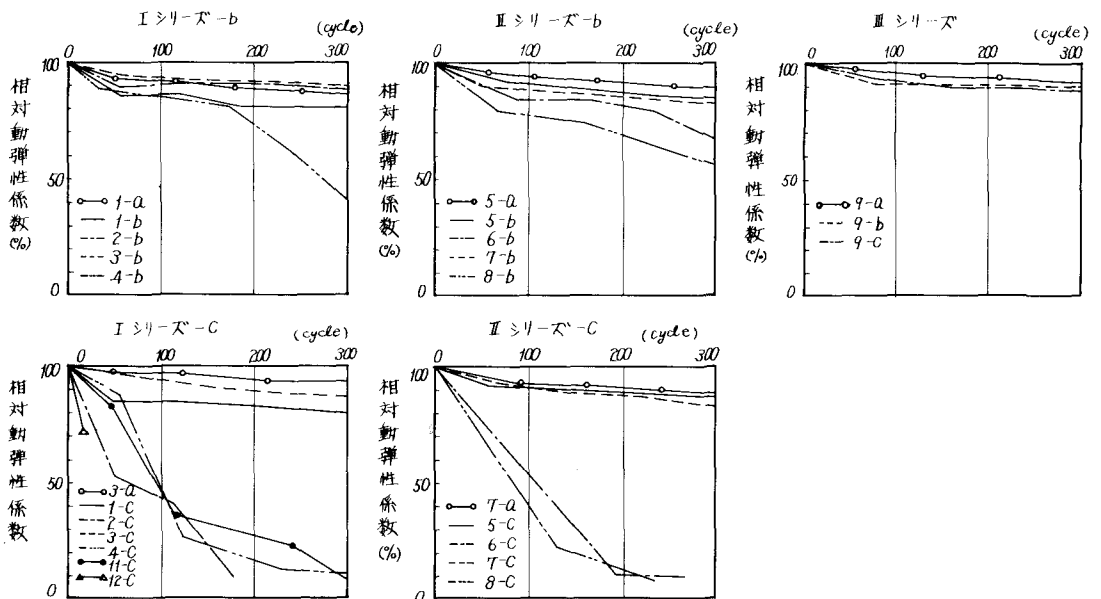
今回の実験に用いたベースコンクリートは、いずれもAEコンクリートとされており、エントレインドエアを4~5%混行しているため、耐久性は良好なものである。

流動化コンクリートの耐久性は、Iシリーズにおいて、標準型の流動化剤Nを用いた場合、流動化後のスランパが18cmになるように添加しても、耐久性は良好であったが、減水剤Dを標準量添加したとき(No.11-C, 12-C)は、流動化後の空気量の減少が大きく、気泡間隔係数は400 μ 以上となり、耐久性指数は約20%以下となった。また、星型型の流動化

表-4 硬化コンクリートの性質

試料	No.	流動化剤の種類	ベース (%)	圧縮強度 (MPa)	7日 (%)	28日 (%)	凍結融解 (サイクル)	凍結融解後の強度 (%)	凍結融解後の弾性係数 (%)	凍結融解後の空気量 (%)	凍結融解後の間隔係数 (μ)
I	1-a	—	—	309	100	380	100	84.9	100	4.1	179
	1-b	5.4	6.0	307	99	390	103	81.3	96	3.4	205
	1-c	5.1	5.7	245	79	350	92	80.2	94	—	—
	11-c	4.2	1.9	316	102	417	110	20.6	24	1.3	323
	2-b	5.6	6.0	304	98	404	106	84.4	99	3.1	112
	2-c	5.6	4.0	316	102	432	114	13.6	16	—	—
	2-c	3.9	1.3	286	93	429	113	11.3	13	0.7	415
	3-a	4.6	—	288	100	382	100	93.7	100	4.2	119
	3-b	3.7	3.6	307	107	389	102	90.5	97	3.7	198
	3-c	3.8	2.1	308	107	401	105	87.7	94	1.0	156
	4-b	4.4	3.2	338	117	448	117	49.6	53	2.3	536
	4-c	3.8	3.3	316	110	417	109	19.2	20	0.6	561
II	5-a	3.9	—	286	100	396	100	89.5	100	2.0	99
	5-b	3.1	3.5	297	104	398	101	85.2	95	1.9	123
	5-c	3.2	5.4	287	100	394	99	88.1	98	2.7	117
	6-b	4.8	4.6	341	119	454	115	68.2	76	—	—
	6-c	5.1	4.6	316	110	416	105	19.8	22	3.2	267
	7-a	5.4	—	272	100	350	100	88.1	100	4.0	125
	7-b	5.4	6.3	286	105	369	105	83.3	95	3.7	209
	7-c	4.7	5.3	296	109	374	107	84.2	96	3.5	191
	8-b	5.8	3.9	314	115	390	111	55.4	63	1.9	498
	8-c	5.1	3.9	267	98	332	95	13.0	15	1.2	323
	9-a	5.1	—	206	100	315	100	90.1	100	3.1	182
	9-b	4.9	5.1	219	106	293	93	89.6	99	3.0	187
	9-c	4.7	5.7	210	102	354	112	88.3	98	2.5	82

図-5 流動化コンクリートの凍結融解抵抗性



剤NRを添加した場合、No.2-bを除いては、気泡間隔係数は 400μ 以上となり、耐久性は劣る傾向にあり、No.2-Cでは、流動化後の空気量が4%であるも、耐久性指数が13%程度と著しく劣った。また、No.4においては、ベースコンクリートにレジン系のAE剤を用いたにもかかわらず、遅延型の流動化剤NRの添加により、気泡間隔係数は 500μ 以上で、耐久性指数は50%以下となった。

IIシリーズにおいて、標準型の流動化剤Mを用いた場合、減水剤の種類にかかわらず気泡間隔係数は 200μ 程度以下で、耐久性指数は80%以上となり、凍結融解抵抗性は良好となった。しかし、遅延型の流動化剤MRを用いたとき、減水剤の種類にかかわらず、また、Iシリーズの流動化剤NRを用いた場合と同様に、レジン系のAE剤を併用しても、気泡間隔係数は 500μ 程度となり、流動化剤の添加量の増加に伴い、耐久性指数は低下する傾向にあった。

IIIシリーズの、標準型流動化剤Sを添加した場合、流動化剤の添加量にかかわらず、気泡間隔係数は 200μ 以下で、耐久性指数も90%程度となり、凍結融解に対して耐久的なコンクリートであった。

図-6に、フレッシュコンクリートと、硬化コンクリートの空気量の変化を示したが、流動化コンクリートのフレッシュな状態から、硬化するまでの間の空気量の減少は、ベースコンクリートに比べて大きいようである。また、図-7に示すように、標準型の流動化剤を用いた場合、No.11-C以外は気泡間隔係数が 200μ 程度以下で、耐久性指数は80%以上となり、凍結融解抵抗性は良好であったが、遅延型の流動化剤を用いたときは、No.12-bを除いて、気泡間隔係数は 400μ 以上となり、耐久性指数は60%以下に低下している。

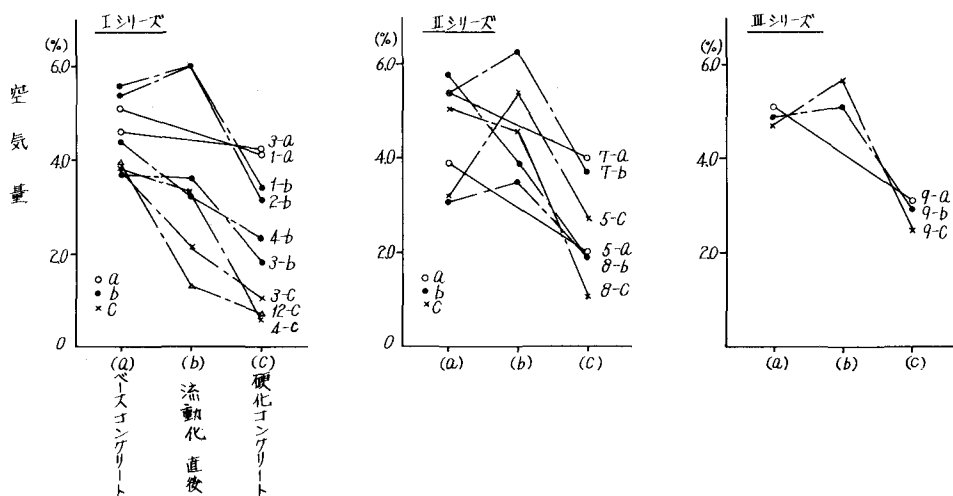
流動化後の空気量と耐久性指数の関係を図-8に示した。流動化後の空気量が4~4.5%程度以上あれば、凍結融解抵抗性は良好となる傾向にあるが、遅延型の流動化剤を用いた場合、流動化後の空気量が4%以上であっても、スランプを5cmから18cmに流動化マゼカ場合、耐久性指数は低い結果となった。

4. まとめ

1. 流動化コンクリートの空気量は、流動化剤添加直後から15分程度までは変動するが、それ以降は定常的となる。また、流動化コンクリートでは、ベースコンクリートに比べて硬化後の空気量は、フレッシュ時の空気量よりかなり減少する傾向となった。

2. 減水剤と流動化剤の両方に遅延型のものを用いた場合、著しい凝結遅延性を示す傾向となった。

図-6 フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量の変化



3). 標準型の減水剤を添加したベースコンクリートに、標準型の流動化剤を添加した流動化コンクリートは、流動化後の空気量が比較的安定しており、気泡間隔係数が200 μ 程度以下となり、凍結融解抵抗性は良好であった。

4). 遅延型の流動化剤を用いた場合、ベースコンクリートに良質なAE剤(レジン系)を併用しても、硬化コンクリートの空気量は小さく、気泡間隔係数は200 μ より大きくなり、凍結融解抵抗性は劣る傾向となった。この傾向は、ベースコンクリートに遅延型減水剤を標準量用いた場合の方が、標準型減水剤を用いた場合よりさらに大きい。また、流動化後の空気量が4%以上確保されていても、流動化の程度が大きい場合には、凍結融解抵抗性が低下する。

5. あとがき

寒冷地における流動化コンクリートの使用に際しては、強度のみならず、耐久性についても留意しなければならない。そのためには、流動化剤の種類や添加量、およびベースコンクリートに用いる混和剤と添加量についても、十分検討すべきである。

今後、ベースコンクリートの水セメント比、スランパ、コンクリートの温度、セメントの種類、および流動化剤をくり返し添加した場合などの要因を変えて、流動化コンクリートの気泡分布性や凍結融解抵抗性を検討していく所存である。

参考文献

- 1). 小長井ほか：流動化剤を添加した舗装コンクリートの性状，セメントコンクリート No.422 1982
- 2). Kobayashi et al: Frost Resistance of Superplasticized Concrete，ACI Publication SP-68 1981
- 3). 友沢・福士：流動化コンクリートの現状と問題点，コンクリート工学 Vol.16 No.8 Aug 1978
- 4). 服部ほか：流動コンクリートについて，セメント技術年報 XXX 昭和51年

図-7 耐久指数と気泡間隔係数の関係

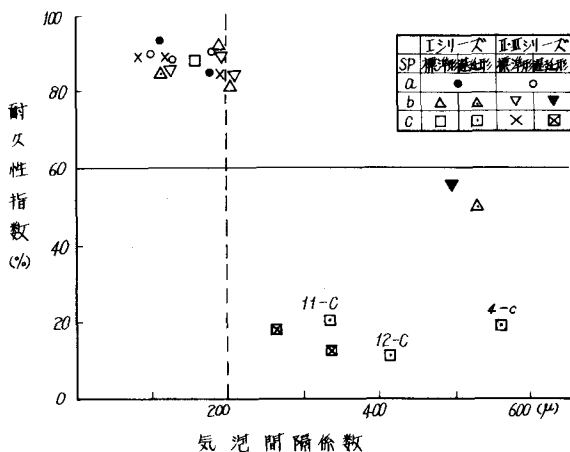
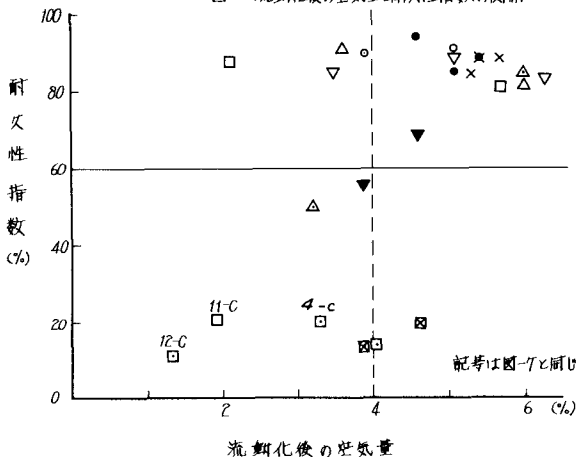


図-8 流動化後の空気量と耐久指数の関係



記号は図-7と同じ