

V—10 寒冷期用特殊混和剤を用いたコンクリートの強度と耐久性

北海道開発局土木試験所 正会員 太田 利隆
正会員 今井 益隆
中井 俊英

1. まえがき

セメントの水和反応は、低温時においてその速度が遅滞するとともに、コンクリートが凝結硬化過程の初期に凍結すると、その後の強度増進はほとんど期待できず、耐久性、水密性など他の諸性状に対しても悪影響を与えることとなる。¹⁾このため冬期におけるコンクリート工事に際しては、一般に構造物を仮囲いして給熱、保温によるコンクリートの硬化促進を計ることが必要となるが、設備および保温に要する費用の増加や、非合理的な熱管理の方法など問題点も多い。このため、現在効率的な冬期施工の推進を目指して多岐に亘る調査研究が行われている。²⁾

古くから寒中コンクリートの工費節減の一方策として、硬化促進による養生軽減を目的としたカルシウム、ナトリウムの塩化物の利用が行われ効果が認められてきたが、使用量によってはコンクリートの長期強度、耐久性の低下、³⁾鉄筋の腐食⁴⁾などの弊害が明らかとなり、現行の R C 示方書ではこれらの使用について制限を加えている。混和剤の一種として防凍剤あるいは耐寒剤と呼ばれる数種が市販されているが、その主成分は殆んどが塩化物であり、2, 3 の耐寒剤の性能を検討した結果⁵⁾でも鉄筋に著しい発錆が認められた。

本報告は、最近の材料科学の進歩によって開発され、在来の耐寒剤と主成分を異にした寒冷期用特殊混和剤を対象に、その性能と実用性を確認するために混入量、初期養生温度条件などが、モルタルおよびコンクリートの強度発現、凍結融解抵抗性に与える影響について検討した結果を取りまとめたものである。

2. 試験概要

2.1 使用材料

試験に用いた寒冷期用特殊混和剤(A)は、P社が開発した高性能減水剤と含窒素無機塩を主成分とする淡褐色透明な比重 = 1.4 (20℃)、PH = 8.9 の液状混和剤⁶⁾であり、セメント 100 Kg 当り 3 ~ 7 ℓ 使用した。なお、比較のために A E 減水剤促進形 P も用いたが、空気量の調節にはいずれの場合も専用の調節剤 P A を併用した。

表一 1 セメントの物理試験結果

種類	比重	比面積 (cm^2/g)	凝 結			安定性	曲げ強さ (Kg/cm^2)				圧縮強さ (Kg/cm^2)			
			水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)		1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	23日
普通	3.16	3060	28.7	2.47	3.52	良		33	44	67		131	230	413
早強	3.16	4420	30.1	2.15	3.20	良	32	47	64	72	121	243	350	448
高炉	3.05	3980	29.2	2.10	3.40	良		33	46	71		138	220	414

セメントは、普通

ポルトランド(N)、早

強ポルトランド(I)、

B種高炉(B)の3種を

使用した。これらの

物理試験結果を表一

1 に示す。

細骨材は、苫小牧市錦岡産の海岸砂(比重 2.81、吸

水率 0.92%、粗粒率 2.36)を、また、粗骨材は静内

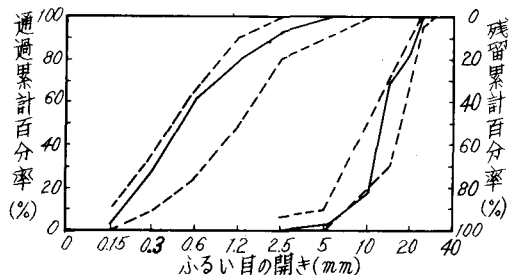
川産の砂利 2.5 ~ 15 mm 群(比重 2.79、吸水率 1.26

%)、1.5 ~ 5 mm 群(比重 2.79、吸水率 1.39%)を

0.7 : 0.3 の割合で再混合して使用した。これらの粒度

分布は図一 1 に示すとおりである。

なお、モルタル試験には豊浦標準砂を用いた。



図一 1 骨材の粒度分布曲線

2.2 試験の計画と方法

(1) モルタル試験

初期養生温度を20℃とし、表-2に示す養生の終了時から所定の材令までを-5℃とした場合の、混和剤量がモルタルの強度発現に及ぼす影響について検討を行った。

試験はJIS R5201 に準じて、モルタルの配合をS/C=2.0, W/C=0.65とし、混和剤量を0, 3, 5, 7ℓ/C=100Kgの4種とした。練りまぜは、プロベラミキサ(容量20ℓ、回転数1,000rpm)によって行い、供試体(4×4×16cm)は脱型後、ビニルフィルムで包んで封緘した。なお、強度試験は20℃の水中に約1時間浸漬させたのちに実施した。

(2) コンクリート試験

既報5)の場合、打設直後より所定の温度条件下(-10, -5, 0, 20℃)に曝したが、ここでは初期養生温度条件を変化させ、これらがコンクリートの強度、耐久性に及ぼす影響について検討した。

コンクリートの配合は、スランプ7±1cm、空気量5±1%とし、混和剤量は表-3に示すように5ℓ/C=100Kg一定とした。なお、表中の0は、混和剤Pを標準量であるC×0.25%を混和した。

コンクリートの養生は、図-2に示すように標準養生(養生番号⑥)のほか7種とし、初期養生温度が20℃の場合は1日後に、また5℃、-5℃ではそれぞれ3, 7日後に脱型した。供試体は脱型後、ビニルフィルムで包んで水分の蒸発を防止した。

試験は、圧縮強度(φ10×20cm)を材令3, 7, 28日(W/C=0.55では7, 28日)でJIS A1132に従って行い、凍結融解(10×10×42cm)をASTM C666に従って、材令14日より実施した。

表-2 モルタルの養生条件

練りまぜ 温度(℃)	前 養 生		後 養 生		型枠存置 期間(日)
	温 度 (℃)	時 間 (時)	温 度 (℃)	材 令 (日)	
2 0	2 0	0	2 0	7 & 28	1
		3	-5		3
		6			3
		2 4			1
		4 8			1

表-3 試験計画

セメント	特殊混 和剤量	水セメント比		
		0.45	0.55	0.65
N	0		●	
	5	○	●	○
H	0		●	
	5	○	●	○
BB	0		●	
	5	○	●	○

○強度のみ ●凍融を含む

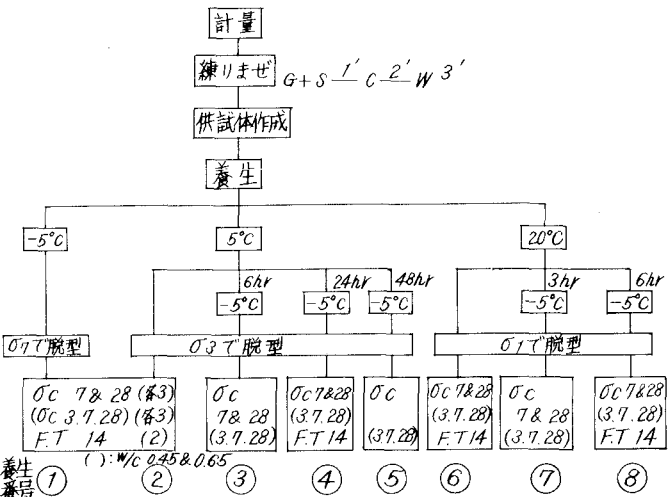


図-2 コンクリート試験の行程

供試体は、いずれも20℃の水槽に約2時間浸漬して解凍したのちに試験を行った。

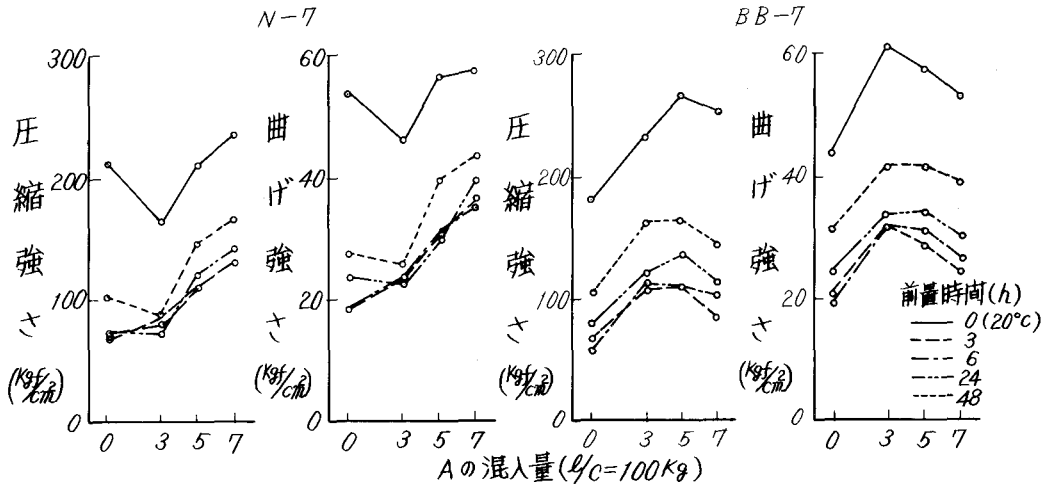
3. 試験結果と考察

3.1 モルタル試験

(1) 混和剤の使用量とモルタル強度

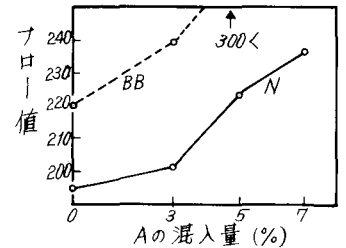
ブレンモルタルおよび特殊混和剤Aを、3, 5, 7ℓ/C=100Kg(以下、%で表現)混入した場合の材令7日における強度試験の結果を図-3に示す。

混和剤の使用による強度発現性状はセメントの種類によって大きく異なり、20℃養生の場合普通セメントでは3%の混入で曲げ強度が13%、圧縮強度が23%低下したのに対し、高炉セメントでは曲げて39



図一 3 混和剤使用量とモルタル強度の関係

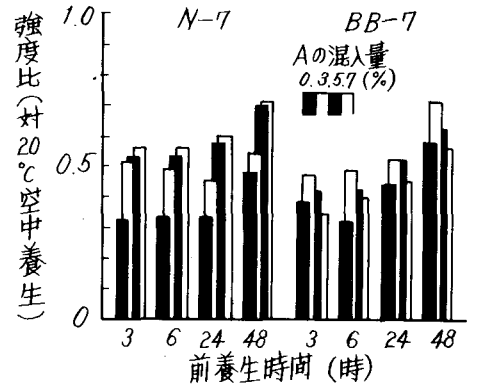
%、圧縮で 28 % ブレーンモルタルの強度を上回り、混和剤による強度改善が認められた。一方、使用量を 5, 7 % と増加した場合は、普通セメントでは使用量に従って強度が向上し、5 % の混入でブレーンモルタルの強度を上回った。しかし、高炉セメントでは 7 % の混入で曲げ強度が 4 Kg f/cm^2 、圧縮強度が 13 Kg f/cm^2 、それぞれ 5 % 混入の場合に比べて低下した。これは図一 4 に示すように、混和剤による減水効果が高炉セメントで著しく、水量一定の試験条件ではフロー値が過大となって、分離現象を起したものと考えられる。



図一 4 混和剤使用量とフロー値

(2) 前養生時間とモルタル強度

混和剤の使用量を変えたモルタルの、 20°C 養生強度に対する -5°C 養生の強度比 (圧縮、材令 7 日) を図一 5 に示す。すなわち、セメントの種類、混和剤の使用量などに関らず、24 時間以下の前養生ではいずれも 20°C 養生の強度の 60 % 以下となった。しかし、前養生時間とともに強度比が向上する傾向は明らかであり、48 時間の前養生により、普通セメントの場合では 5 % 以上の混入で、また高炉セメントの場合では 3 % の混入によって、70 % 以上の強度が得られた。これらのことから、実用的にはセメントの種類によって適当な混和剤の使用量と、前養生時間を選定する必要があるといえる。



図一 5 前養生時間と強度発現 (-5°C)

3.2 コンクリート試験

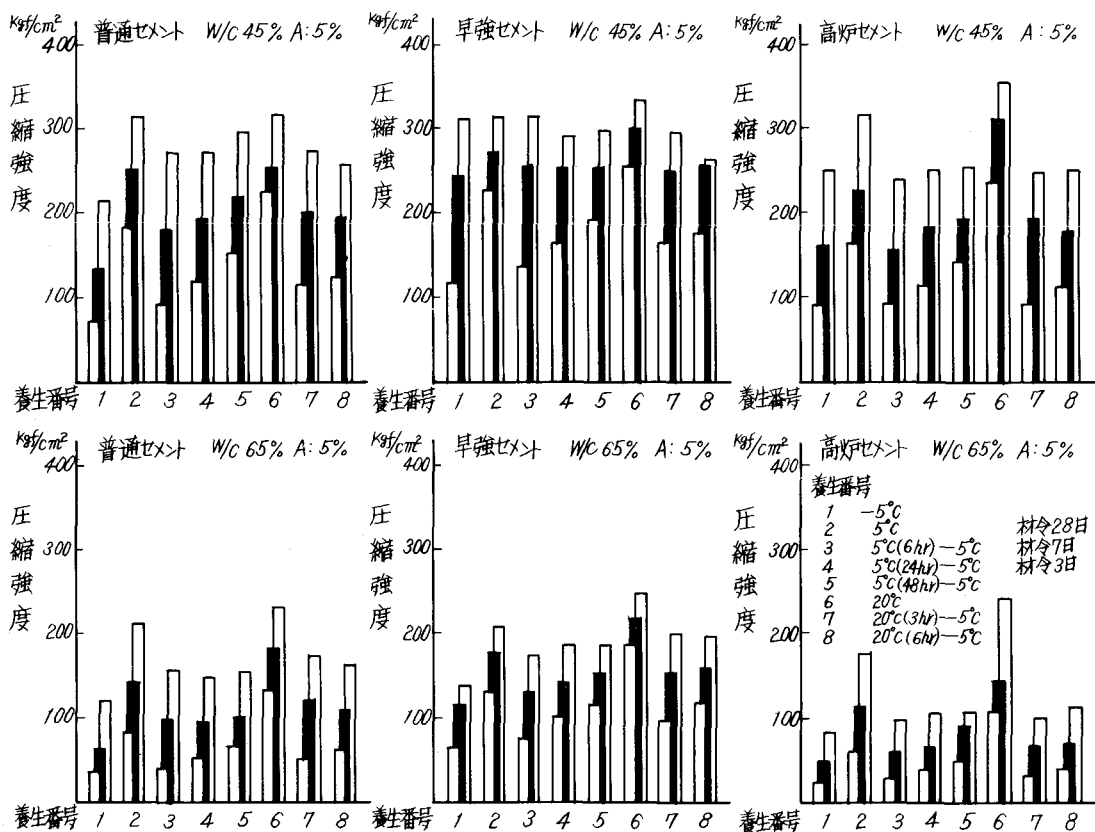
(1) コンクリートの配合

表一 3 の試験計画に基づいて、コンクリートの配合を決定した。その結果を表一 4 に示す。

所定のコンシステンシーを得るために必要な水量は、特殊混和剤 A では A E 減水剤 P に比較して 5 ~ 7 % 少なく、従ってセメント量も $W/C = 0.55$ の場合で $13 \sim 18 \text{ Kg/m}^2$ 少なくなった。しかし、A では空気連行性能が悪く、空気量調節剤 PA の量が P の 5 ~ 6 倍必要となった。とくに高炉セメントの場合、約 7 倍添加しても所定の空気量が得られなかった。

表一４ コンクリートの配合

配合 番号	セ ン ト	粗骨材の 最大寸法	スラン プの 範囲	空気量 の範囲	水セ メント 比	細骨 材率	単 位 量 (Kg / m³)							ス ラ ン プ	空気量	練上り 温 度
							水	セ ン ト	細骨材	粗骨材	混 和 材 量					
		W	C	S	G	A(ℓ)					P (Kg)	PA	(cm)	(%)	(℃)	
01	BB	25	7 ± 1	5 ± 1	55	37	133	242	767	1297	—	1.210	A 3.0	8.9	5.1	17.5
02	BB				55	37	126	229	779	1317	11.45	—	A10.0	6.6	3.5	18.5
03	H				55	37	134	244	768	1299	—	1.220	A 2.5	6.9	5.4	23.5
04	H				55	37	127	231	780	1318	11.55	—	A15.0	7.0	5.4	23.0
05	N				55	37	136	247	765	1294	—	1.235	A 2.0	8.1	5.2	23.5
06	N				55	37	126	229	782	1322	11.45	—	A10.0	6.8	4.6	16.0
07	N				45	35	125	278	725	1337	13.90	—	A12.0	7.6	5.5	25.0
08	N				65	39	132	203	826	1283	10.15	—	A10.0	6.1	5.6	21.0
09	H				45	35	129	287	718	1324	14.35	—	A17.0	7.4	6.4	23.0
10	H				65	33	128	197	833	1293	9.85	—	A12.0	8.2	6.6	22.5
11	BB				45	35	124	276	724	1335	13.80	—	A20.0	7.0	2.3	22.0
12	BB				65	39	130	200	826	1283	10.00	—	A20.0	6.3	4.2	19.0



図一６ 養生行程と強度発現

混和剤の性能がセメントの種類によって変動する理由として、セメントとその組成鉱物への吸着現象が挙げられ、添加方法によっても影響をうけるが⁷⁾、正確な原因の把握には至っていない。

(2) コンクリートの強度

a) 初期養生温度条件と強度発現

−5℃に冷却するまでの養生温度条件と混和剤Aを5%混入したコンクリートの圧縮強度の関係を、W/C=0.45と0.65の場合について図-6に示す。

標準養生(⑥)に次いで5℃養生(②)が、いずれのW/C、セメントでも強度発現が大きく、−5℃(①)の場合が最も小さい。この傾向はとくに初期材令で明確となっており、他の養生条件についても強度との関係が積算温度で把握できる。しかし、材令28日ではW/C=0.45の場合、−5℃でも早強セメントで311Kgf/cm²となり、標準養生強度の93%が得られ高炉セメントでも250Kgf/cm²、70%で前養生時間を変化させた④、⑤、⑦、⑧と殆んど同じ結果となった。

b) 使用材料と強度発現

W/C=0.55の場合の各養生温度条件における材令28日強度の標準養生(⑥)強度に対する比を図-7に示す。

同図によると、混和剤およびセメントの種類による強度の差異は明らかであり、標準養生強度もAの場合、早強セメントで6%、普通で15%、高炉で40%Pを上回った。また、20℃で前養生を行う⑦、⑧の強度改善効果が著しく、高炉セメントでは標準養生の50%、普通では80%が得られ

た。とくに早強セメントの場合、いずれの養生条件でも90%280Kgf/cm²以上となり混和剤Aの効果が明らかとなった。

c) 水セメント比と強度発現

混和剤Aを5%使用

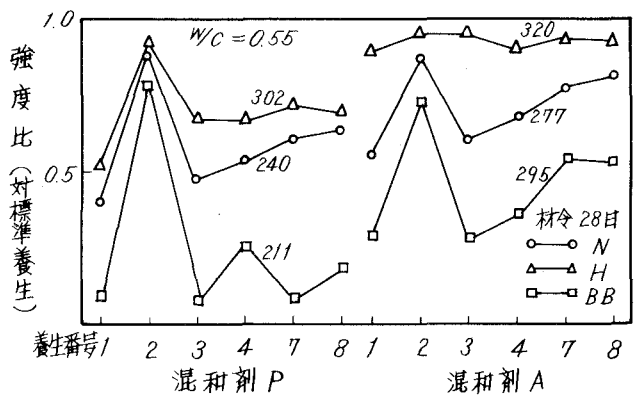


図-7 養生行程と強度比

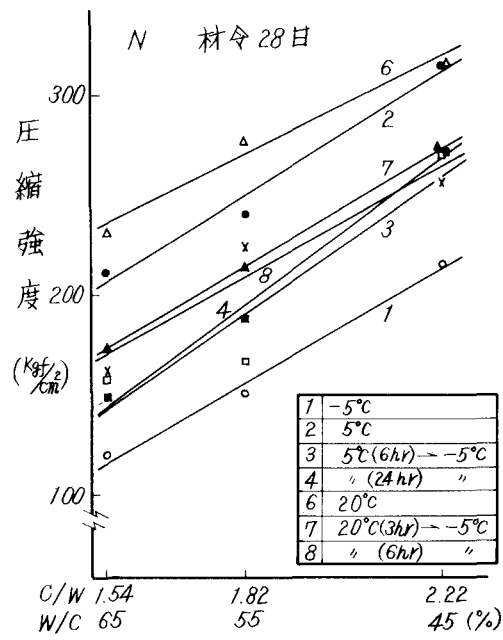


図-8 C/W-σ線の例

表-5 C/W-σの関係(σ=A+B(C/W))

養生 番号	養生行程	セメント 材令 定数		N				H				BB			
				7		28		7		28		7		28	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	-5℃	-105	106	-101	141	-141	178	-204	242	-232	172	-333	254		
2	5℃	-105	159	-30	154	-19	135	7	144	-145	167	-156	211		
3	5℃(6h)→-5℃	-114	128	-120	171	-130	177	-96	194	-175	145	-271	221		
4	5℃(24h)→-5℃	-137	146	-135	182	-89	157	-8	142	-213	176	-258	222		
6	20℃	36	101	49	122	50	117	75	122	-242	249	-9	166		
7	20℃(3h)→-5℃	-94	127	-51	146	-52	140	25	130	-227	186	-236	218		
8	20℃(6h)→-5℃	-84	125	-35	134	-40	137	91	87	-184	162	-212	207		

したコンクリートの圧縮強度は、初期養生温度条件を異にした場合でもW/Cが小さい程強度が増大し、C/Wと強度は一次式の関係で示される。図-8に普通セメントの材令28日強度とC/Wの関係を示したが、単位セメント量203〜278Kgの範囲では打設直後より−5℃冷却とした場合でも120〜215Kgf/cm²

の強度が得られた。これは標準養生強度に対して 52～68%となる。材令7日および早強セメント、高炉セメントの場合の材令7日、28日のC/W-σの関係式、σ=A+B(C/W)における定数A、Bを表-5に示す。

(3) コンクリートの耐久性

凍結融解に対する抵抗性を、W/C=0.55の場合について検討した結果より、試験終了時の凍結融解回数と耐久性指数を表-6に示す。

混和剤Aの場合、早強セメントでは標準養生の耐久性指数が60となったが、他はすべて100以上であり、水中養生による強度増進が必ずしも耐久性の改善に結びつかないといえる。普通および高炉セメントでは、すべて試験途中で破壊し耐

久性指数も著しく低い、空気量調節剤による連行能力がPに比べて劣り、所定の空気量が得られなかったためと考えられる。一方、AE減水剤Pの場合、-5℃養生(①)と高炉セメントの前養生を加えた④、⑧を除き、すべて耐久性指数は60以上で混和剤Aに比較して良好な結果となった。

表-6 凍結融解試験結果

配合 番号	セ メント	混和剤		養 生 番 号				
		A	P	1	2	4	6	8
01	BB	—	025	58	300<	300<	300<	124
				3	99	54	93	4
02	BB	5	—	25	91	25	152	25
				2	8	2	4	2
03	H	—	025	300<	300<	300<	300<	300<
				41	100	106	93	110
04	H	5	—	300<	300<	300<	300<	300<
				106	100	106	60	105
05	N	—	025	300<	300<	300<	300<	300<
				14	100	79	88	91
06	N	5	—	56	130	92	130	56
				7	19	13	10	19

上欄：破壊回数 下欄：耐久性指数

4. まとめ

新たに開発された寒冷期用混和剤の性能と、実用性を検討した試験の結果を要約すると次のとおりである。

(1) 寒冷期用特殊混和剤Aを用いたモルタルの強度発現性状は、セメントの種類によって異なり、普通セメントでは3%の混入でブレーンの場合を下回り、また高炉セメントでは5%以上の混入で強度が低下する傾向が認められた。

(2) -5℃養生のモルタル強度は、混和剤Aの場合20℃前養生時間とともに強度は向上するが、48時間では高炉セメントで3%、普通セメントで5%の混和で、標準養生強度の70%以上が得られた。

(3) 混和剤Aを5%混入したコンクリートは、所定のコンシステンシーを得るための水量がPに比較して5～7%少ないが空気連行性能が悪く、とくに高炉セメントではPの約7倍を添加しても所定の空気量は得られなかった。

(4) -5℃に冷却したコンクリートの強度は、混和剤Aの前養生効果が著しく20℃6時間で高炉セメントでは標準養生の50%、普通では80%が得られた。とくに早強セメントでは養生条件に関らず90%、280Kgf/cm²以上の強度が得られた。

(5) 混和剤Aを使用したW/C=0.55のコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、早強セメントの場合を除き著しく低下した。

今後、効果的な空気連行性能の向上とともに、耐久性に影響する細隙構造についても検討する必要がある。

参考文献

1) 神田；早期凍害とその防止、コンクリート・ジャーナル Vol 4 No.10. 1966
2) 通年施工化技術研究協議会ほか；昭和58年度以降調査研究実施計画書（案） 昭58.5
3) 林ほか；塩化カルシウムを用いてつくったコンクリートに関する実験的研究、土試報告 昭35.11
4) 日本コンクリート工学協会；コンクリート用混和剤をめぐる最近の動向 昭57.2
5) 中井ほか；耐寒剤を用いたコンクリートの性状について、第26回局技研論文集 昭58.2
6) 児玉ほか；寒冷期用特殊混和剤ANF-28の性能効果に関する実験的研究、材料 昭58.2
7) 服部ほか；高性能減水剤のセメント粒子への吸着、セメントコンクリート No.416. 1981.10