

コンクリート

各種 AE 材の使用方法に関する研究

正員 工学博士 国分正胤*

STUDIES ON THE USE OF AIR-ENTRAINING AGENTS.

(Trans. of JSCE, No.23, Feb. 1955)

By Dr. Eng., Masatane Kokubu, C.E. Member

Synopsis Studies on the properties of air-entrained concrete using five different agents which are now in common use in Japan are presented. It is concluded that ; (a) the proportion of the air entrained concrete to obtain the desired quality is almost the same for Vinsol, Protex, Darex and Spuma except the amount of agent to be used ; (b) Pozzolith as an air-entraining agent is very advantageous in some cases of mass concrete.

要旨 本文は、各種 AE 材を用いた AE コンクリートの諸性質を実験した結果を述べ、(1) 所望の性質を有するコンクリートを造るに必要な配合は、AE 材の使用量を除いては、ビンゾール、プロテックス、ダレックス、スプーマ、のいずれを用いる場合にも実用的には全く同じとしてよいこと、(2) ポゾリスの使用によつてえられる AE コンクリートは、マスコンクリートにたいして特に有利な場合があること、等を結論したものである。

目次

第1章 緒論	第5章 各種 AE 材が、標準養生した AE コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響
第2章 供試体の製造、養生および試験方法	第6章 各種 AE 材が、AE コンクリートの凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響
第3章 各種 AE 材が AE コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響	第7章 養生温度が、ビンゾール、ドレシネート X およびポゾリスを用いた AE コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響
第4章 各種 AE 材が AE コンクリートのブリーディングに及ぼす影響	第8章 結論

第1章 緒論

数年前から、わが国でも、AE コンクリートの研究が盛んになり、そのすぐれた特性が認識されるにつれて工事現場にも普及し、今日では各種の工事に AE コンクリートが利用され、特に大規模なダム工事ではほとんど例外なくこれを用いている。

現在わが国では数種の AE 材が使用されているが、その大部分はアメリカからの輸入品である。アメリカでは AE 材の標準試験方法試案¹⁾を制定し、AE 材の試験についての規準を与えている。

米国における AE 材の試験報告には Wuerpel²⁾、Washa³⁾、Jackson⁴⁾、Dalton⁵⁾、諸氏のものがあるが、AE 材の商品名を明記しているものはすこぶる少ない。また、セメントの品質が米国とわが国とである程度相違していること、その他を考えると、米国における試験結果のみにもとづいてわが国の工事に用いる AE 材を示方することは適当でない。

わが国における AE 材の試験報告には、長野氏⁶⁾、高野氏⁷⁾、河原氏⁸⁾、近藤氏⁹⁾、日本セメント技術協会 AE 委員¹⁰⁾、等のものがあり貴重な資料となつている。

これらの諸研究の大部分は、AE 材の品質判定に重点を置いて行つたものであつて、各種 AE 材の使用方法について論じたものはきわめて少ない。

* 東京大学教授，工学部土木工学教室

表-1 セメントの

区分	比重	粉末度		凝結		安定度		フロー (mm)	軟練りモ		
		0.088mm フルイ 残分(%)	ブレン 比表面積 (cm ² /g)	始発 (時分)	終結 (時分)	煮沸法	オートクレ ープ方法 (%)		曲げ強度(kg/cm ²)		
									3日	7日	28日
小野田 普通ポルトランドセメント (津久見第一工場製)	3.14	2.8	3 020	1,38	2,51	完全	—	223	31.9	41.2	60.0
小野田 中庸熱ポルトランドセメント (藤原工場製)	3.19	1.8	3 200	3,28	4,51	完全	0.03	227	24.5	34.3	53.1
アサノ 普通ポルトランドセメント (西多摩工場製)	3.14	3.5	3 180	2,09	3,24	完全	+ 0.08	246	28.5	44.2	63.2
アサノ マスコンセメント (西多摩工場製)	3.23	1.5	3 200	2,00	3,40	完全	0	255	21.2	31.6	66.3

急速に施工される大きなダム内部コンクリートは、セメントの水和にともなつて温度が上昇し、ある程度の人工冷却を行つたとしても 40°C 近くの温度に達する。従つて、AE コンクリートの諸性質に及ぼす養生温度の影響を研究することはきわめて重要なことである。また、AE 材の相違が AE コンクリートの性質に及ぼす影響を、各種の養生温度について研究することも大切と思われる。

本論文は、1952年から1954年に至る間に、各種 AE 材を用いたコンクリートについて行つた研究成果を取りまとめたもので、各種 AE 材の特徴を明らかにするとともに各種 AE 材の使用方法を論じたものである。

本研究の実施に当つては、恩師吉田徳次郎先生より終始御懇篤なる御指導御鞭撻を賜つた。ここに謹んで厚く御礼申上げる。

第2章 供試体の製造、養生および試験方法

1. コンクリート材料

(1) セメント セメントは、小野田セメントKK津久見第一工場製普通ポルトランドセメント、同社藤原工場製中庸熱ポルトランドセメント、日本セメントKK西多摩工場製のアサノ普通ポルトランドセメントおよびアサノマスコンセメント、等でそれらの試験結果は表-1のごとくであつた。これらの中庸熱ポルトランドセメントは、その購入に当り、注文者の指示に従つて製造しているものであるもので自由な立場で製造しているものではないことを、工場側で申し添えていた。なお、一部の試験においては宇部興産KK製普通ポルトランドセメントおよび秩父セメントKK製シリカセメントをも用いた。

(2) 砂 砂は相模川平塚産のもので、その比重は 2.6、吸水量は 2.6%、安定性試験(硫酸ナトリウム溶液を用いたもの)における損失重量は 5 サイクル後で 8.2% であつた。砂の使用に当つては、室内で乾燥したものをふるい分け、粒の大きさによつて 3 種に区分し、これらを一定の割合に配合して用いた。用いた粒度は表-2のごとくであつた。なお使用前に、ふるい分けたものに吸水量よりいくぶん多い水量を加えてよくかきまぜ、5 日間以上木箱の中に密閉して保存したのである。

(3) 砂利 砂利は 25 mm 以下の粒は安倍川静岡産を、25 mm 以上の粒は庄川高岡産のものを用い、それらの試験結果は表-3のごとくであつた。砂利の使用に当つては、あらかじめふるい分けたものを表-4に示す粒度に配合して用いた。

表-2 用いた砂の粒度

フルイ目 (mm)	フルイを通る量の百分率		
	粗骨材の最大寸法を 25 mmとした実験	粗骨材の最大寸法を 50 mmとした実験	粗骨材の最大寸法を 100 mmとした実験
5	100.0	100.0	100.0
2.5	90.9	89.6	90.5
1.2	69.1	75.9	74.5
0.6	55.4	49.7	49.4
0.3	16.9	15.7	14.6
0.15	2.3	3.1	2.0
洗い試験によつて 失われる量	0.6	0.6	0.5
備考	粗粒率 =2.66	粗粒率 =2.65	粗粒率 =2.70

試 験 結 果

ル グ ル			水 和 熱 (cal/g)			化 学 成 分 (%)							
圧縮強度 (kg/cm ²)			3 日	7 日	28 日	強熱減量	不溶解残分	シリカ (SiO ₂)	アルミナ (Al ₂ O ₃)	酸化第二鉄 (Fe ₂ O ₃)	酸化カルシウム (CaO)	マグネシヤ (MgO)	無水硫酸 (SO ₃)
3 日	7 日	28 日											
118	215	363	—	—	—	0.72	0.26	21.89	5.17	3.40	65.88	1.00	0.96
86	143	260	46.9	63.9	79.0	0.87	0.50	22.80	4.97	3.39	64.22	1.46	1.36
111	215	391	—	—	—	0.86	0.34	22.31	5.20	3.04	65.14	0.94	1.44
75	137	386	—	54.0	71.0	0.50	0.36	24.21	4.43	4.36	63.85	0.78	1.16

表—3 用いた砂利の試験結果

区 分	比 重	吸水量 (%)	安定性試験(硫酸ナトリウム溶液を用い5サイクル後)					
			とどまる フル (mm)	通 ル る イ (mm)	各群の重 量 率 (%)	試験前の各 群の重 量 (g)	各群の損失 重量 百分率 (%)	粗骨材の損失 重量 百分率 (%)
安倍川 静岡産のもの	2.63	0.30	5	15	50	300.0	9.7	4.9
			15	25	50	1512.2	5.0	2.5
			合 計					
庄川 高岡産のもの	2.62	0.29						

表—4 用いた砂利の粒度

フルイ目の開き (mm)	フルイを通る量の百分率		
	粗骨材の最大寸法を 25 mm としたものを	粗骨材の最大寸法を 50 mm としたものを	粗骨材の最大寸法を 100 mm としたものを
100	100	100	100
80	100	100	85
50	100	100	65
40	100	80	51
25	100	60	30
15	50	30	10
5	0	0	0

(4) AE 材 ビンゾール粉末は Hercules Powder Co. 製のものを高田事務所より入手した。

プロテックスは Autolene Lubricants Co. 製のものを日本海外商事KKより入手した。

ダレックスは Dewey and Almy Chemical Co. 製のものを第一物産KKより入手した。

スプーマは日本松脂KKより入手した。以上4種の AE 材の使用量は、それぞれ所望の空気量のコンクリートが得られるように定めた。

ポゾリスには No.5, No.8 等があり, No.5 は一般工事のコンクリートに用いるため, No.8 はダムその他マッシブなコンクリートに用いるためのものである。なお, これらに適宜 AE 材を加えて空気量が多くなるようにした製品もある。たとえば, No.5 A, No.5 AA, No.8 A 等である。本実験に用いたポゾリスは No.5 A および No.8 であつて, これらは Master Builders Co. 製のものを日本曹達KKより入手した。ポゾリス No.5 A はセメント重量の 0.5% だけ用い, ポゾリス No.8 はセメント重量の約 0.25% だけ用いた。これは2種のポゾリス中におけるセメント分散材の使用量を同程度とするためである。なお, ポゾリス No.8 を用いる場合に, 上記の使用量で所望の空気量のコンクリートが得られないときには, その原料に用いている AE 材を適宜添加した。また, 一部の実験においては, ポゾリス No.8 の使用量をセメント重量の 0.1~0.4% と変化させた。

また, 一部の実験には Hercules Powder Co. 製のドレンネートXを電源開発KKより入手して用いた。

表-5 ASTM の標準試験方法¹⁾に準じて、スランブ約 6.5 cm の AE コンクリートを造るために用いた配合

区分	セメント	A E 材	コンクリートの単位セメント量 [*] C		コンクリートの単位水量 ^{**} W		水セメント重量比 (%)	絶対細骨材率 ^{***} S/A (%)	空気量 (%)
			(kg)	比	(kg)	比			
I	小野田 普通 ポルトランド セメント	ビンゾール (23 g/m ³)	280	1.00	141	1.00	50.4	37	4.8
		ダレックス (120 cc/m ³)	280		141		50.4	37	5.2
		ポゾリス No. 5 A (セメントの 0.5%)	250	0.89	133	0.94	53.2	37.5	4.9
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.23%)	258	0.92	133		51.6	37.5	4.9
		ポゾリス No. 5 A (セメントの 0.5%)	280	1.00	133	47.5	37.5	4.7	
		用いない	280		159	1.13	56.8	41	2.1
II	小野田 中庸熱 ポルトランド セメント	ビンゾール (19 g/m ³)	280	1.00	142	1.00	50.8	37	4.7
		プロテックス (65 cc/m ³)	280		142		50.8	37	4.9
		ダレックス (110 cc/m ³)	280		142		50.8	37	4.7
		スプーマ (67 cc/m ³)	280		142		50.8	37	4.7
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.23%)	258	0.92	134	0.94	52.0	37.5	5.0
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.23%)	280	1.00	134		47.9	37.5	4.7
		用いない	280		160	1.13	57.1	41	2.8
III	アサノ 普通 ポルトランド セメント	ビンゾール (19 g/m ³)	280	1.00	147	1.00	52.5	36.5	5.1
		プロテックス (48 cc/m ³)	280		147		52.5	36.5	5.0
		ダレックス (70 cc/m ³)	280		147		52.5	36.5	4.9
		スプーマ (47 cc/m ³)	280		147		52.5	36.5	4.9
		ポゾリス No. 5 A (セメントの 0.5%)	250	0.89	138	0.94	55.2	36.5	5.0
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.2%)	258	0.92	138		53.5	36.5	5.1
		ポゾリス No. 5 A (セメントの 0.5%)	280	1.00	138	49.3	36.5	5.0	
		用いない	280		158	1.07	56.5	40	3.3
IV	アサノ マスコン セメント	ビンゾール (17 g/m ³)	280	1.00	138	1.00	49.3	36.5	4.7
		ダレックス (80 cc/m ³)	280		138		49.3	36.5	4.9
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.17%)	248	0.89	125	0.91	50.4	37	5.0
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.18%)	280	1.00	125		44.6	36.5	4.8
		用いない	280		150	1.09	53.6	40	2.2
V	小野田普通 ポルトランド セメント	ビンゾール (29 g/m ³)	307		140	1.00	45.7	36.5	4.5
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.25%)	307		130	0.93	42.3	37	4.4
	宇部普通 ポルトランド セメント	ビンゾール (29 g/m ³)	307		141	1.00	46.0	36.5	4.6
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.25%)	307		131	0.93	42.7	37	4.6
	秩父 シリカセメント	ビンゾール (24 g/m ³)	307		142	1.00	46.2	36.5	4.4
		ポゾリス No. 8 (セメントの 0.25%)	307		132	0.93	43.3	37	4.5

備考

1. I~IV の実験は ASTM Designation : C 233-49 T に準じて行つたものであり、V の実験は C 233-52 T に準じたものである。
2. * 単位セメント量とはコンクリート 1 m³ に用いるセメント量を、** 単位水量とはコンクリート 1 m³ に用いる水量を、*** 絶対細骨材率とは細骨材の骨材全量に対する絶対容積の比を、いうのである。
3. 粗骨材の最大寸法は 25 mm とした。
4. 練り混ぜたときのコンクリートの温度は、18~26°C と変化した。各区分内ではほぼ同じ温度であつた。

2. コンクリート

(1) 配合 実験に用いたコンクリートにおける粗骨材の最大寸法は、25 mm, 50 mm, および 100 mm の 3 種である。最大寸法 25 mm のコンクリートは ASTM の標準方法試案¹¹⁾ に準じて AE 材の比較試験を実施した場合に用いたものであつて、コンクリートの単位セメント量* は 280 kg, スランプは約 6.5 cm, AE コンクリートの空気量は約 5% とした。なお、ポゾリスは単位セメント量を 258 kg および 250 kg とした場合についても実験した。

これらのコンクリートの配合は 表—5 に示すごとくである。

粗骨材の最大寸法を 100 mm としたコンクリートは、ダムにおけるものをめやすとしたものであつて、その水セメント重量比は 47% および 55% の 2 種, スランプは 1 cm および 2.5 cm の 2 種, 空気量は約 3.9% とし, 絶対細骨材率** は, 通常のダム工事において適当なウオーカピリチーのコンクリートを造るのに必要な, コンクリートの単位水量*** が最小となるように試的方法によつて定めた。これらのコンクリートの配合は 表—9 および 表—10 に示すごとくである。

(2) 練り混ぜ, および, まだ固まらないコンクリートの試験 最大寸法 25 mm の粗骨材を用いたコンクリートはバッチの大きさを 70 l とし, バレル型 4 切可傾式ミキサを用いて, 材料全部の投入を終つてから 2 分間練り混ぜたのち 3 分間ミキサを止め, さらに 1 分間練り混ぜた。練り混ぜたコンクリートについて, スランプ, 空気量, ブリーディングを試験するとともに圧縮強度試験および凍結融解試験の供試体を造つた。この実験は約 40 日にわたつて行つたので練り混ぜたときのコンクリートの温度は 18°~26°C に変化したが, 1 種のセメントを用いた実験は約 5 日の間に行い, 各種 AE 材がコンクリートの性質に及ぼす影響を比較する目的にたいしては支障ないようにした。なお, 実験の誤差を少なくするため, 1. に述べたごとく乾燥してふるい分けした砂を用いたのであるが, これがために AE 材を用いない場合の空気量がいくぶん大きくなつた。しかし, 前記の目的のためには試験の結果は信頼できるものと思う。

ブリーディング試験は ASTM の標準試験方法試案¹²⁾ に準じて行つた。

最大寸法 50 mm のコンクリートは, バッチの大きさを 40 l とし, バレル型 2 切可傾式ミキサを用いて材料全部の投入を終つてから 2 分間練り混ぜた。

最大寸法 100 mm の粗骨材を用いたコンクリートはバッチの大きさを 180 l とし, コーン型 8 切可傾式ミキサを用いて, 材料全部の投入を終つたのち 1 分 30 秒間練り混ぜた。材料を投入する場合には, 水を注入してから 5 秒後にセメント, 砂, および砂利を同時に一樣な速度で投入し (これらの投入には約 15 秒を要した), これらの投入が終つてから約 2 秒後に水が注入し終るように調節した。なお一部の試験においては, バッチの大きさを 100 l とし, バレル型 4 切可傾式ミキサを用い, 前記と同様の方法で練り混ぜた。練り混ぜたコンクリートは 40 mm 網フルイを用いて 40 mm 以上の粒を取り除き, 練り直して, スランプおよび空気量を試験するとともに, 圧縮強度試験供試体を造つた。

一部の試験においてはリモルジング試験をも行つた。練り混ぜたときのコンクリートの温度は $10 \pm 1^\circ\text{C}$ および $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の 2 種とした。

コンクリートの空気量はすべて容積方法¹³⁾ で試験した。これはこの方法が最も信頼度の高い便利な方法であると信じたからである。

3. 圧縮強度試験

圧縮強度試験に用いた供試体は, 直径 15 cm 高さ 30 cm の円柱形である。粗骨材の最大寸法を 25 mm としたコンクリートの供試体は $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中で養生したのち, 材令 2 日, 7 日, 28 日, 3 月, 6 月, 1 年において試験し, 供試体 4 個の試験値の平均値を試験値とした。

粗骨材の最大寸法を 100 mm としたコンクリートは 2. に述べたごとく 40 mm 以上の粒をふるい去つて供試体を造り, 所定の温度で湿気養生を行つたのち, 材令 28 日, 3 月, 6 月, において試験し, 供試体 3 個の試験値の平均値を試験値とした。

コンクリートを練り混ぜたときの温度を 10°C とした場合における養生温度は 10°C , 21°C , 30°C の 3 種とし, 練り混ぜたときの温度を 21°C とした場合における養生温度は 21°C , 30°C , 40°C の 3 種とした。コンクリートを型わくへ詰めたのち 30 分後からこれらの温度に保つた。

* 単位セメント量とはコンクリート 1 m^3 に用いるセメント量をいう。

** 絶対細骨材率とは, 細骨材の, 骨材全量に対する絶対容積の比をいう。

*** 単位水量とはコンクリート 1 m^3 に用いる水量をいう。

4. 凍結融解試験

凍結融解試験に用いた供試体は $10 \times 10 \times 42$ cm のハリ供試体である。供試体の製造に当つては、型わくにコンクリートを詰めてただちに $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の養生室へ運搬しコンクリート上面を湿布でおおい 24 時間養生したのち、脱わくして $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中で養生した。凍結融解試験を開始したときの供試体の材令は、小野田中層熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートは 35 日とし、その他の 3 種のセメントを用いたものは 14 日とした。

試験の実施に当つては、所定の材令に達した供試体を約 -10°C に保つた冷蔵庫へ格納し、1 種のセメントを用いた全供試体が所定の材令に達したときに、これらの供試体を冷蔵庫から取り出し、約 $+4^\circ\text{C}$ の水中に 4 時間浸して融解したのちに試験を開始した。これは、準備研究の結果、全供試体について同時に試験を行わないと、比較の目的を達しようような結果が得られないことが明らかになされたからである。試験は ASTM の標準試験方法試案¹¹⁾に準じて行つた。凍結融解槽は 図-1 に示すもので、凍結には約 -20°C の塩化カルシウム溶液を、融解には約 $+10^\circ\text{C}$ の水を用いた。図-2 は凍結融解作業間における供試体各部の温度を示した一例である。

図-1 凍結融解槽

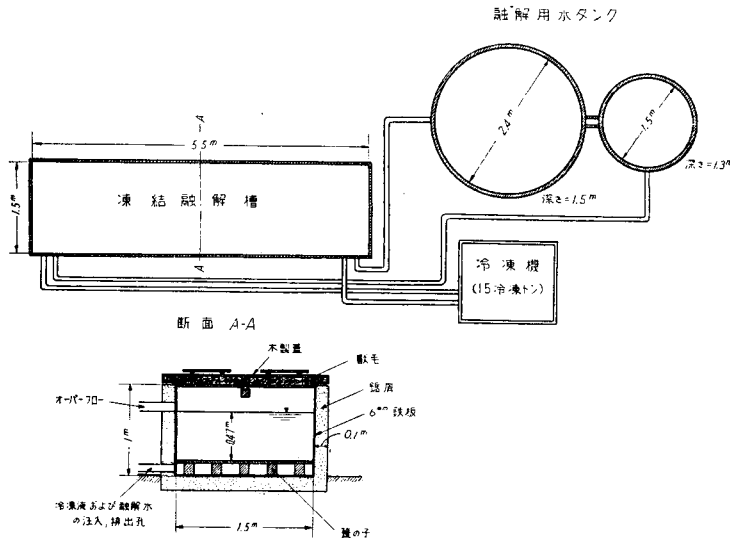
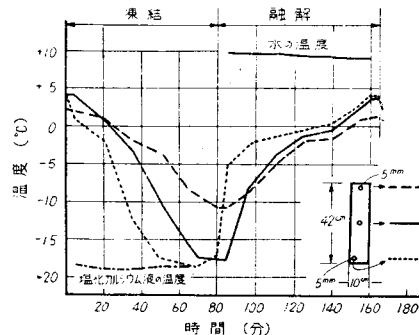


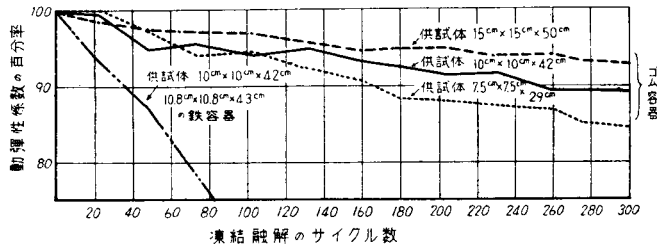
図-2 凍結融解試験を行つたときの供試体各部の温度



ASTM の標準試験方法試案¹¹⁾では、供試体の高さおよび巾を 7.5~12.5 cm の範囲で適当に選ぶように規定している。実験を開始するに先立つて、まず、この範囲内において最適の高さおよび巾を求めるため、また、供試体の寸法の差が試験結果に及ぼす影響を確かめるため、の実験を行つた。すなわち、同じコンクリートを用いて $15 \times 15 \times 50$ cm, $10 \times 10 \times 42$ cm, $7.5 \times 7.5 \times 29$ cm, の 3 種の供試体を造り、これらを全く同様に養生したのち、凍結融解を繰り返して動弾性係数の減少程度を比較した。試験の結果は 図-3 に示すごとくであつて、凍結融解に対する抵抗性は高さおよび厚さの大きい供試体ほど大きい、この程度の寸法の差が試験結果に及ぼす影響は比較的小さいことが認められた。それで、実験の都合上、供試体の高さおよび厚さを 10 cm と定めたのである。

なお、試験の全期間を通じて、供試体の周囲には厚さ約 3 mm の水または氷があることが必要とされている。これがためには、供試体の外部を約 3 cm 目の網で包んでゴム容器に入れ、供試体と容器壁との間に水を注入した

図一3 供試体の寸法および容器の相違が凍結融解試験に及ぼす影響

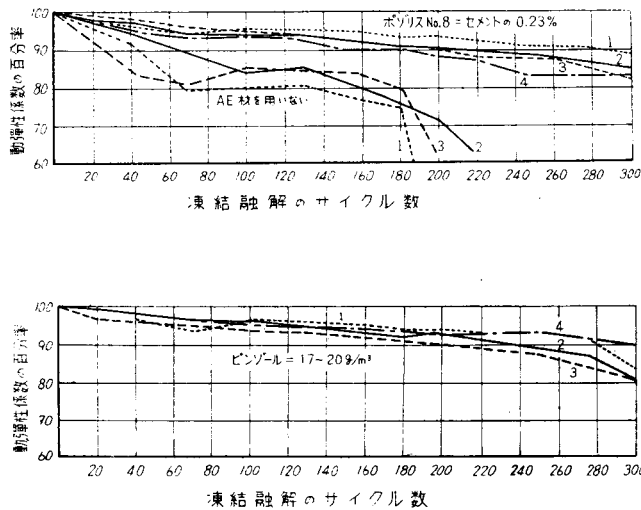


註 粗骨材の最大寸法=25 mm, セメント=小野田普通ポルトランド セメント
 コンクリートの単位セメント量= 280 kg, ポゾリス No.5 をセメント重量の 0.5% 用いた。
 スランプ=6 cm, 空気量=4.7%

の凍結融解槽の溶液中に縦にして入れた。容器の材質については準備研究において検討したのであつて、鋼容器を用いると、凍結に際して容器が変形するため、融解期間内にふたの部分から水が浸入して容器中の水量が増し供試体が過大な破壊力を受ける場合のあることが示された。

図一3 は容器の相違が試験結果に及ぼす影響を示した一例である。これらの実験結果から、容器の適当な材質としてゴムを選んだのである。

図一4 コンクリートの凍結融解試験結果の一例



註 粗骨材の最大寸法= 25 mm, コンクリートの単位セメント量= 280 kg
 AE コンクリートの空気量= 4.7%, スランプ=6cm
 供試体の寸法= 10×10×42 cm, 試験を開始したときの材令=35日
 図の 1,2,3,4 等の数字は供試体の番号を示す。

一般に、凍結融解の 20~25 サイクルごとに供試体の動弾性係数を試験し、凍結融解は 300 サイクルに達するまで、これを行つた。1 サイクルに要した時間は平均約 170 分であつた。動弾性係数は ASTM の標準試験方法試案¹⁵⁾ によつて試験した。供試体 4 個の試験値の平均値を試験値とした。図一4 は 4 個の供試体における実験誤差の一例を示したものである。

動弾性係数を試験するごとに、一定容量の鋼容器の中へ水を入れその中へ供試体を洗めて、これにより排除される水の量を正確に測定して供試体の容積を求め、凍結融解の進行にともなう供試体表面のはげ落ちの程度を試験した。これは供試体損耗の程度をあらわすのに、供試体の重量の減少では不適当な場合のあることを考慮したからである。

第3章 各種 AE 材がコンクリートのコンシステンシー に及ぼす影響

1. ASTM の標準試験方法試案¹⁾ によつて比較した場合

各種の AE 材を用いた場合について、粗骨材の最大寸法を 25 mm とし単位セメント量を 280 kg とし、スランプ約 6.5 cm、空気量約 5% の AE コンクリートを造るための配合を定めた結果は表-5のごとくであつた。

表-5 から次のことが認められる。

(1) ある空気量およびスランプの AE コンクリートを造る場合に必要単位水量および絶対細骨材率は、ピンゾール、プロテックス、ダレックス、スパーマのいずれを用いるときにも全く同様になる。これは、エントレインド エアの粒径および分布状態がこれら 4 種の AE 材を用いたコンクリートにおいてほとんど同じであることによるものと思われる。

また、ポゾリスを用いる場合には、絶対細骨材率を他の AE 材を用いる場合よりいくぶん大きくする必要のあることが認められた。これは主として、エントレインド エアの相違によるものであろう。

(2) ある空気量およびスランプの AE コンクリートを造るときに必要な単位水量は、ポゾリスを用いる場合と他の AE 材を用いる場合とで相違し、ポゾリスを用いる場合には他の AE 材を用いる場合の 91~94% となる。単位水量を減じることがポゾリスのいちじるしい特徴であつて、コンクリートの単位水量をできるだけ少なくすることが必要である場合にはポゾリスを用いるのが特に有利であると思われる。

ポゾリスを用いた場合における単位水量の減少の程度を、単位セメント量のはなはだしく相違したコンクリートについて比較した結果は表-6のごとくであつて、単位セメント量を 145 kg としたときにも 280 kg としたときにくらべて、いちじるしい差は認められなかつた。

表-6 コンクリートの単位水量を、ピンゾールを用いた場合とポゾリスを用いた場合とで比較した一例

セメント	AE 材	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト重量比 (%)	単位セメ ント量 (kg)	単位水量		絶対 細骨材率 (%)	練り混ぜた ときのコン クリートの 温度	空気量 (%)	スランプ (cm)
					(kg)	比				
アサノ マスコン セメント	ピンゾール (17 g/m ³)	50	52	246	128	1.00	33	14°C	4.6	6
	ポゾリス No. 8 (セメントの 0.25%)			227	118	0.92	34		4.5	6.5
	ピンゾール (14 g/m ³)	100	55	155	85	1.00	26	21°C	3.7	2.5
	ポゾリス No. 8 (セメントの 0.25%)			144	79	0.93	26		3.8	2.5

2. 粗骨材の最大寸法を 100 mm および 50 mm としたコンクリートについて比較した場合

(1) ポゾリスを用いた場合と他の AE 材を用いた場合とにおけるコンクリートの単位水量の相違をさらに確かめるため、粗骨材の最大寸法を 100 mm としスランプを 1 cm とし空気量を 3.9% としたダム用コンクリート、および粗骨材の最大寸法を 50 mm としスランプを 6.5 cm とし空気量を 4.5% としたコンクリートについて実験した。この場合、コンクリートの水セメント比を一定に保ちながらポゾリス No. 8 の使用量を変化させ、それぞれ、所定のスランプのコンクリートをうるに必要な単位水量を求めて、ピンゾールを用いたときの単位水量と比較した。

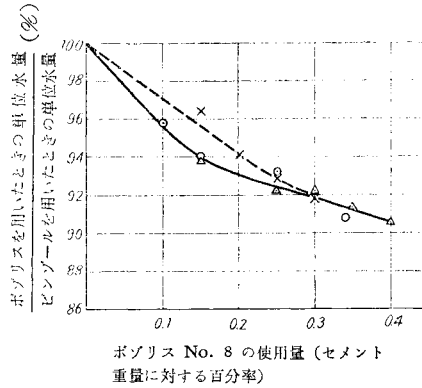
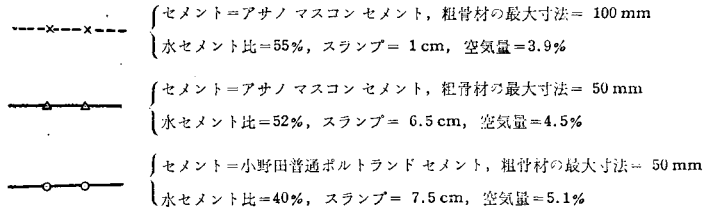
ポゾリスの使用量を変化させて同じ空気量のコンクリートを造るには、ポゾリス No. 8 の原料に用いている AE 材を適当に添加したのである。

試験の結果は図-5のごとくであつて、ポゾリスの使用量が増加するほどコンクリートの単位水量は減じ、セメント重量の 0.25% のポゾリス No. 8 を用いる場合の単位水量はピンゾールを用いる場合の約 93% となり 1. に述べた結果と一致している。

ポゾリス No. 8 はセメント分散材に少量の AE 材を添加して造られたものであり、図-5 にはポゾリス No. 8 をセメントの 0.3% 以上用いてもコンクリートの単位水量はそれほどいちじるしく減じないことが示されてい

る。従つてポゾリスを用いる場合には、その中の分散材の使用量がセメントの 0.25% 程度となるように用いるのが適当であると認められる。

図-5 ポゾリスの使用量とコンクリートの単位水量との関係



(2) 以上に述べた実験は、乾燥してふるい分けた砂を用いたものであるため、AE コンクリート中のエントラップド エアの状態が、湿つた砂を用いたときとある程度相違することが考えられる。この相違が AE 材の比較試験結果に及ぼす影響を確かめるため、粗骨材の最大寸法を 50 mm とし、粗粒率 2.8 の湿つた砂を用いた場合について、(1) に述べたと同様にポゾリス No.8 の使用量を変化させて所定のスランプのコンクリートをうるに必要な単位水量を求めた。ただしこの場合、コンクリートの水セメント重量比は 40%、スランプは 7.5 cm、空気量は 5.1% とした。

試験の結果は 図-5 に示すごとくであつて、砂の含水状態の相違が、ポゾリスを用いた場合における単位水量減少の程度に及ぼす影響はほとんど認められない。

従つて、本実験の AE 材比較試験の結果は、通常の範囲内では、工事現場におけるコンクリートにも適用できるものと信ずる。

第 4 章 各種 AE 材が AE コンクリートのブリーディングに及ぼす影響

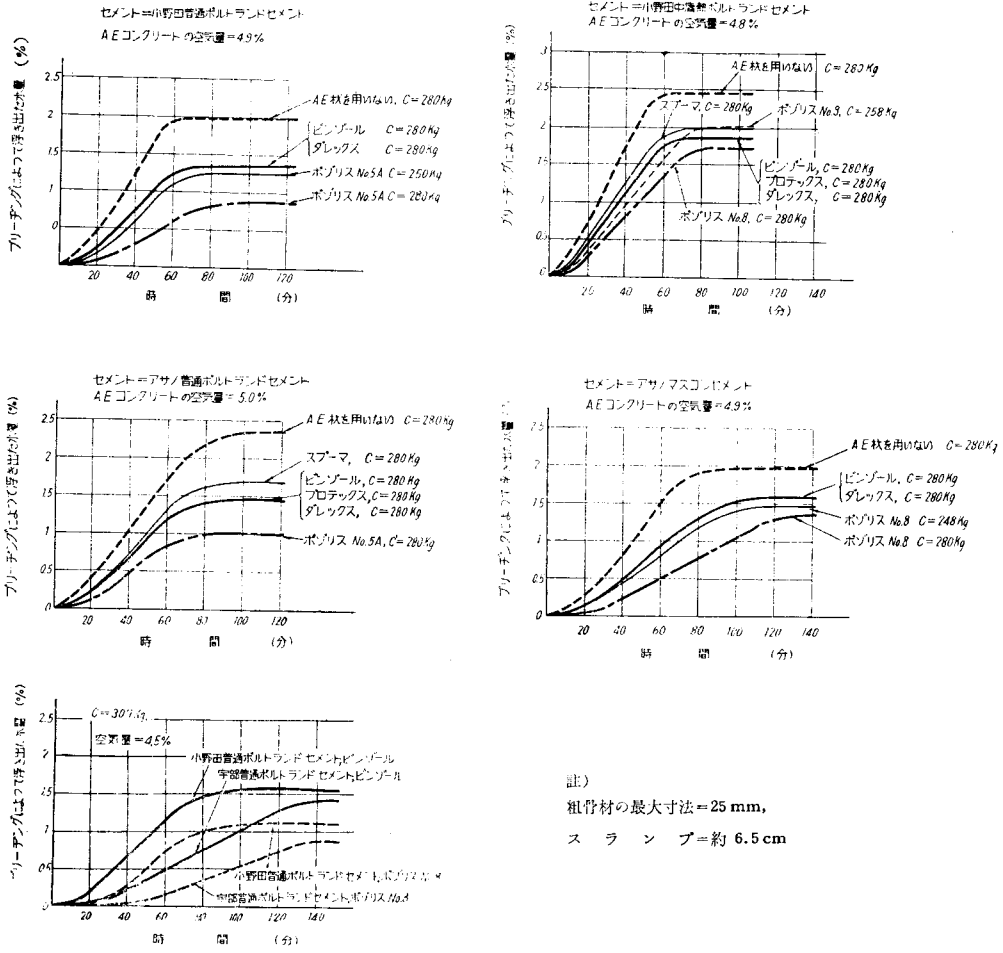
各種 AE 材を用いた場合において 表-5 に示した配合のコンクリートのブリーディングを試験した結果は、図-6 のごとくであり、用いるセメントによつてブリーディングは相当に相違している。セメントが異なる場合の実験は 第 2 章 に述べたごとく、ある程度の期間をおいて行つたものであるから、この試験結果はセメントの相違によるブリーディングの差を正確に表わすものではないが、現在の中熱セメントには粉末度その他について一層の研究が必要であることを示すものと思われる。

図-6 から次のことが認められる。

(1) あるセメントを一定の量だけ用いて造つた AE コンクリートのブリーディングは、その空気量およびスランプを同じくしたときには、ビンゾール、プロテックス、ダレックスのいずれを用いた場合にも全く同様である。これは、第 3 章 に述べたごとく、これらの AE 材によつて生じたエントレインド エアが全く同様のものであると考へれば当然のことである。

(2) ポゾリスを用いた場合のブリーディングは、他の AE 材を用いた場合よりも相当に小さくなる。これは、単位水量の減少、セメント粒の分散、等によるものと思われる。

図-6 コンクリートのブリージングの試験結果



註)
 粗骨材の最大寸法 = 25 mm,
 ス ラ ン プ = 約 6.5 cm

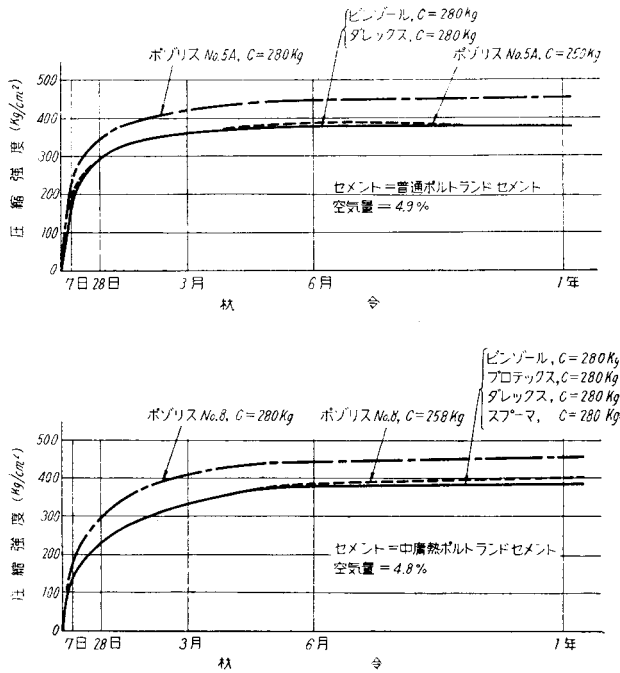
第5章 各種 AE 材が、標準養生をした AE コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

各種 AE 材を用いて造つたコンクリートの圧縮強度を、ASTM の標準試験方法試案⁽¹⁾に準じて試験した結果は表-7、図-7 および 図-8 に示すごとくである。

表-7、図-7 および 図-8 から次のことが認められる。

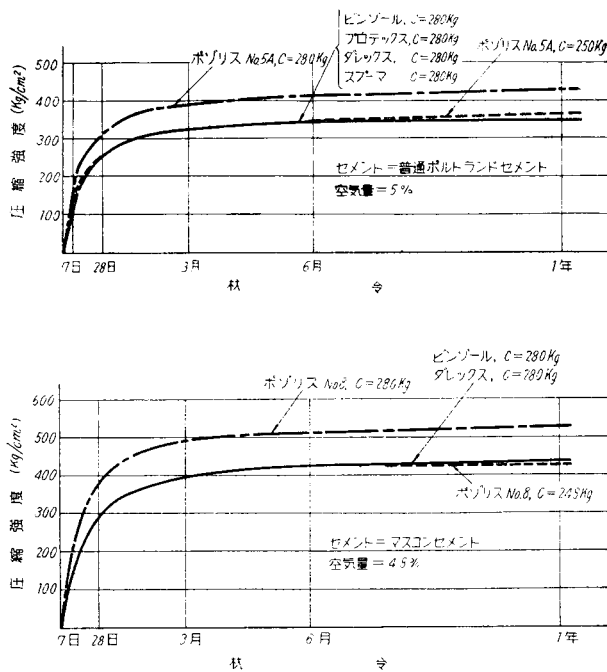
- (1) 中庸熱ポルトランド セメントを用いて造つたコンクリートを標準養生すれば、長期の材令における強度の増加量は、一般に、普通ポルトランド セメントを用いたコンクリートより大きい、その強度増加の程度はセメントによって相当に相違することが示されている。
- (2) あるセメントを用いた AE コンクリートの圧縮強度は、水セメント比および空気量が等しくなるように造つて標準養生した場合には、ビンゾール、プロテックス、ダレックス、スーパーのいずれを用いたときにも全く同じである。これは 第3章 で述べたごとく、入念に練り混ぜた AE コンクリートにおいては、コンクリート中におけるエントレインド エアの状態が、これら AE 材の種類に関せずほぼ同様であることによるものと思ふ。

図一 小野田セメントを用いたコンクリートの圧縮強度



註) 粗骨材の最大寸法 = 25 mm, スランプ = 6 cm, 21°C の水中養生

図二 アサノセメントを用いたコンクリートの圧縮強度



註) 粗骨材の最大寸法 = 25mm, スランプ = 6.5 cm, 21°C の水中養生

(3) 同じ空気量および圧縮強度を有するプラスチックな AE コンクリートを作るのに必要な水セメント重量比は、ポゾリスを適量用いる場合には他の AE 材を用いる場合よりある程度大きくできる。この水セメント重量比の差は、用いるセメントおよびコンクリートの単位セメント量その他によつていくぶん異なるが、単位セメント量 250~280 kg 程度のコンクリートにおいては約 2% である。これは、ポゾリスの使用によりセメント粒が分散されて、セメントと水との化学反応が起りやすい状態になることによると思われる。

(4) 同程度の空気量、コンシステンシーおよび圧縮強度の AE コンクリートを作る場合に、ポゾリスを適量に用いれば他の AE 材を用いるときよりもコンクリートの単位セメント量を減ずることができる。単位セメント量を減じうる程度は、表一に示したコンクリートにおいてはおよそ 10% となっている。これは、第 3 章に述べた単位水量が減少することと、(3) に述べたセメントと水との化学反応が起りやすい状態になること、とによるものと思われる。従つて、単位セメント量を減じうる程度はコンクリートの単位セメント量によつていくぶん相違するのは当然である。

表一に示した実験において、ポゾリス No. 8 を用いた場合と No. 5 A を用いた場合とで、単位セメント量を減じうる程度がいくぶん異なつてゐるのは、主として、コンクリートの空気量を調節するためにポゾリス No. 8 の使用量を No. 5 A の使用量に相当する量よりもある程度少なくしたことによるものと思われる。ポゾリス No. 8 をセメントの 0.25% だけ用いて、ポゾリス No. 5 A を 0.5% だけ用いたときと同じ空気量のコンクリートを作つたとすれば、材令 28 日以後の強度を等しくするための単位セメント量は、2 種のポゾリスにおいてほとんど一致するはずである。また、ポゾリス No. 5 A を用いた標準養生を行つたコンクリートにおいて、材令 7 日以内の強度がいちじるしく大きくなつてゐるのは、硬化促進材の影響によるものであるが、この硬化促進材が長期材令における強度に及ぼす影響は認められない。

表一7 各種 AE 材を用いたコンクリートの圧縮強度試験結果

区分	セメント	A E 材	単位セメント量* C (kg)	単 位 水量** W (kg)	水セメ ント重 量比 (%)	空気量 (%)	練り混 ぜの コン クリ ートの 温 度	21°C の水中で養生した場合の圧縮強度 (kg/cm ²)					
								材令 2 日	材令 7 日	材令 28 日	材令 3 月	材令 6 月	材令 1 年
I	小野田 普通 ポルト ランド セメント	ピンゾール	280	141	50.4	4.8	約 26°C	58.5 } 60.1 } 平均 59.3	189 } 184 } 平均 187	293 } 291 } 平均 292	365 } 355 } 平均 360	375 } 376 } 平均 376	381 } 373 } 平均 377
		ダレックス	280	141	50.4	5.2							
		ボゾリス No.5A	250	133	53.2	4.9							
		ボゾリス No.8	258	133	51.6	4.9							
		ボゾリス No.5A	280	133	47.5	4.7							
用 いない	280	159	56.8	2.1	52.2	186	303	390	396	399			
II	小野田 中庸熱 ポルト ランド セメント	ピンゾール	280	142	50.8	4.7	約 25°C	69.8 } 70.3 } 平均 70.1	141 } 141 } 平均 141	227 } 222 } 平均 222	335 } 327 } 平均 327	383 } 375 } 平均 376	382 } 388 } 平均 383
		プロテックス	280	142	50.8	4.9							
		ダレックス	280	142	50.8	4.7							
		スプーマ	280	142	50.8	4.7							
		ボゾリス No.8	258	134	52.0	5.0							
ボゾリス No.8	280	134	47.9	4.7	70.2	139	223	329	385	405			
用 いない	280	160	57.1	2.8	57.7	121	209	320	373	396			
III	アサノ 普通 ポルト ランド セメント	ピンゾール	280	147	52.5	5.1	約 25°C	43.4 } 43.0 } 平均 43.2	107 } 111 } 平均 109	251 } 243 } 平均 247	326 } 318 } 平均 322	345 } 341 } 平均 343	330 } 348 } 平均 339
		プロテックス	280	147	52.5	5.0							
		ダレックス	280	147	52.5	4.9							
		スプーマ	280	147	52.5	4.9							
		ボゾリス No.5A	250	138	55.2	5.0							
ボゾリス No.8	258	138	53.5	5.1	46.7	113	257	327	346	345			
ボゾリス No.5A	280	138	49.3	5.0	46.8	111	262	328	348	357			
用 いない	280	158	56.5	3.3	42.5	120	248	323	347	342			
ボゾリス No.5A	280	138	49.3	5.0	91.3	186	315	387	412	428			
用 いない	280	158	56.5	3.3	42.2	126	265	339	347	372			
IV	アサノ マスコン セメント	ピンゾール	280	138	49.3	4.7	約 18°C	31.6 } 35.6 } 平均 33.6	107 } 104 } 平均 106	301 } 288 } 平均 295	411 } 382 } 平均 397	434 } 417 } 平均 426	444 } — } 平均 444
		ダレックス	280	138	49.3	4.9							
		ボゾリス No.8	248	125	50.4	5.0							
		ボゾリス No.8	280	125	44.6	4.8							
用 いない	280	150	53.6	2.2	36.5	100	300	398	426	427			
							49.9	142	380	494	497	542	
							32.2	103	308	433	428	454	
備 考	<ol style="list-style-type: none"> ASTM Designation: C 233-49 T に準じて行つた試験結果である。 * 単位セメント量とはコンクリート 1 m³ に用いるセメント量を, ** 単位水量とはコンクリート 1 m³ に用いる水量を, いうのである。 粗骨材の最大寸法は 25 mm とした。 コンクリートのスランプは, I および II の実験では約 6 cm, III および IV の実験では約 6.5 cm であつた。 												

第 6 章 各種 AE 材が, AE コンクリートの凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響

各種 AE 材を用いて造つたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性を ASTM の標準試験方法試案¹⁴⁾に準じて試験した結果は, 図-9 および 図-10 に示すごとくであつた。凍結融解のサイクルの増加にともない供試体の表面は少しづつはげおちて, 供試体の容積は減少した。この容積の減少率と動弾性係数の減少率とを, 用いたセメントごとに示せば 表-8 のごとくであつた。表-8 に示した平均値は, 表-5 に示した配合のコンクリートについて行つた試験値の平均値である。なお, 写真-1 および 写真-2 は供試体の破損状況を示した一例である。

図-9, 図-10 および 表-8 から次のことが認められる。

(1) 単位セメント量を 280 kg として造つた空気量約 5% の AE コンクリートは, ピンゾール, プロテックス, ダレックス, スプーマ, ボゾリス, のいずれを用いたものも, 凍結融解に対する十分な抵抗性を示し, 4 種

図-9 小野田セメントを用いたコンクリートの凍結融解試験結果

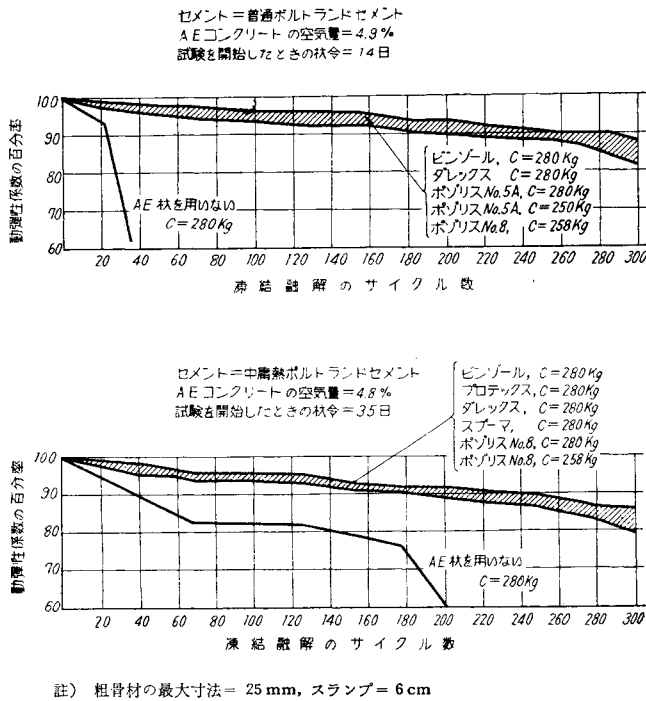
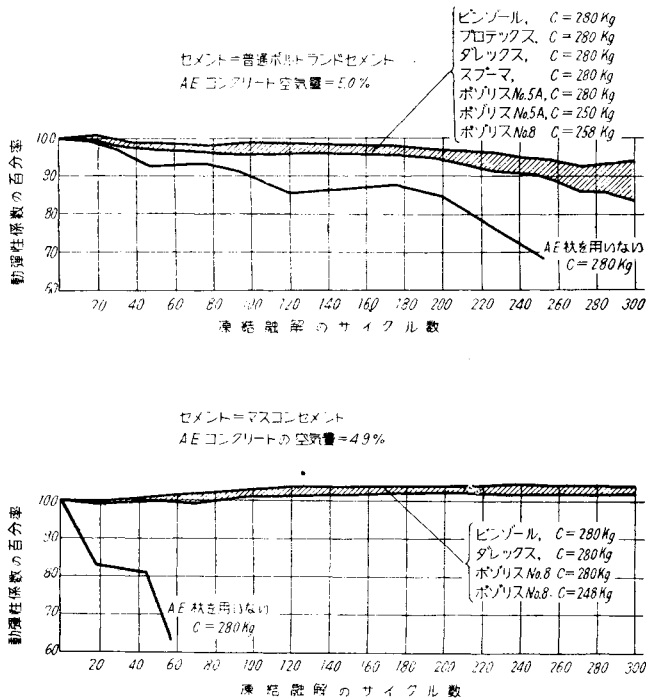


図-10 アサノセメントを用いたコンクリートの凍結融解試験結果



註) 粗骨材の最大寸法= 25 cm, スランプ= 6.5 cm, 試験を開始したときの材令=14日

のセメントを用いたコンクリートにおいて、凍結融解200サイクル後の動弾性係数は試験を開始したときの動弾性係数の90%以上、300サイクル後の動弾性係数は80%以上となつている。なお、ポゾリスを用いて単位セメント量を約10%減じたコンクリートも上記と同様な抵抗性を示している。これらの5種のAE材が凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響については、優劣の差を認めることはできなかつた。

(2) 凍結融解の進行にともなう、AEコンクリートの動弾性係数の減少状態はセメントの種類によつてい

表-8 AEコンクリートの凍結融解試験結果

用いたセメント	区 分	凍結融解の進行にともなう動弾性係数の減少率			凍結融解の進行にともなう供試体容積の減少率		
		100サイクル後	200サイクル後	300サイクル後	100サイクル後	200サイクル後	300サイクル後
小野田 普通 ポルトランドセメント	平均値	4.2%	7.8%	15.2%	1.1%	2.3%	3.4%
	最高値	6.1	9.9	17.7	1.5	2.8	4.1
	最低値	3.0	5.7	12.1	0.7	2.1	2.9
小野田 中庸熟 ポルトランドセメント	平均値	5.0%	8.8%	17.0%	1.8%	4.0%	5.4%
	最高値	6.4	10.1	20.3	2.5	4.5	6.2
	最低値	3.0	7.6	13.7	1.2	3.5	4.8
アサノ 普通 ポルトランドセメント	平均値	2.9%	4.3%	11.5%	1.9%	4.2%	6.3%
	最高値	4.5	5.7	16.4	4.0	5.8	8.0
	最低値	1.5	2.9	6.0	0.7	3.4	5.0
アサノ マスコンセメント	平均値	-1.9%	-3.1%	-3.1%	1.1%	3.3%	3.8%
	最高値	-0.8	-2.0	-1.7	1.5	3.8	4.9
	最低値	-3.1	-4.1	-4.6	0.7	2.5	3.0
備 考		1. *印の平均値は、単位セメント量を280kgとして5種のAE材を用いたコンクリートおよび単位セメント量を250kg程度としてポゾリスを用いたコンクリートにおける試験結果の平均値を示したものである。 2. 動弾性係数減少率の負号は、動弾性係数が増加したことを示したものである。					

じりしく相違しているのであつて、アサノマスコンセメントを用いたAEコンクリートの動弾性係数は、300サイクルまで、凍結融解の進行にともなつて増加している。このセメントは、図-8に示されているごとく材令14日以後における強度増進がきわめていじりしいものである。ASTMの標準試験方法試案¹⁾では供試体の材令14日に試験を開始するごとく規定しているが、この実験結果は、セメントの種類によつてはこの材令において開始したのでは試験の意義を失つてしまう場合のあることを示すものである。また、動弾性係数の減少率と供試体容積の減少率との間に一定の関係は認められない。これは、容積減少率が供試体コンクリートの上面仕上げの程度の差異その他の影響をも受けるためと思われる。

(3) AE材を用いないコンクリートの凍結融解に対する抵抗性が、比較的に大きくなつている実験結果のあることから考えると、セメントの製造に当りクリンカーの粉碎助材としてAE材を用いている工場もあるように思われる。

第7章 養生温度が、ビンゾール、ドレシネートXおよびポゾリスを用いたAEコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

第5章に述べたものは、21°Cの水中で養生した場合におけるコンクリートの強度の実験結果である。コンクリートの強度がその養生温度によつていじりしく相違することは明らかであつて、養生温度とコンクリートの強度との関係についてはすでに多くの研究成果が発表されている。しかし各種のAE材を用いたAEコンクリートについて、養生温度が強度に及ぼす影響を研究したものはきわめて少ない。本章はアサノマスコンセメントを用いたダム用のコンクリートについて、ビンゾール、ドレシネートXおよびポゾリスを用いた場合における、養生温度がコンクリートの強度に及ぼす影響を実験した結果を述べたものである。

1. 粗骨材の最大寸法を 100 mm とし、水セメント重量比を 47% および 55% の 2 種とし、空気量を約 3.7 %、スランプを 2.5 cm としたコンクリートを約 21°C の温度で造つたのち、それぞれ 21°C、30°C および 40°C の温度で湿気養生した場合の圧縮強度の試験結果は表-9のごとくであった。

表-9から次のことが認められる。

(1) コンクリートの材令の増加にともなう強度の増進は、養生温度によつて相違し、高い温度で養生したコンクリートの強度は短期の材令においては低い温度で養生したものより強いが長期の材令においては低い温度で養生したものより弱くなつてゐる。すなわち 40°C で養生した場合の圧縮強度は材令 3 月において 21°C で養生した場合の 95% 程度となつた。

また、材令 3 月における圧縮強度と材令 28 日における圧縮強度との比はつぎのごとくであつた。

ポゾリスを用い、	21°C で養生した場合	約 1.35
ビンゾールを用い、	21°C で養生した場合	約 1.25
ポゾリスを用い、	30°C で養生した場合	約 1.15
ビンゾールを用い、	30°C で養生した場合	約 1.1

高温で養生したコンクリートにくらべて低温で養生したコンクリートの強度増進のいちじるしい理由について、高野氏⁶⁾はセメントの水和過程においてセメント粒の周囲に半透膜が生成し、これがその後のセメントの水和をにぶらせるためであることを明らかにしている。

(2) 水セメント比、空気量およびスランプを同じくした AE コンクリートの強度は、用いた AE 材によつて相違し、ポゾリスを用いた場合の方がビンゾールを用いた場合よりも強くなつてゐる。ポゾリスを用いた場合の圧縮強度とビンゾールを用いた場合の圧縮強度との比は、水セメント比が小さいほど、養生温度が高いほど、また材令が長いほど、大きくなつてゐて、実験に用いたセメントについてつぎのようであつた。

水セメント重量比 55% で、養生温度 21°C のとき……材令 28 日で約 1.05, 材令 3 月で約 1.1
水セメント重量比 47% で、養生温度 21°C のとき……材令 28 日で約 1.1, 材令 3 月で約 1.2
養生温度が 30°C および 40°C のとき……………材令 3 月で 1.15~1.2

すなわち、ポゾリスを用いる場合には、ビンゾールを用いる場合にくらべて、同じウオーカピリチーをうるに必要なセメントペーストの使用量が少なくなるとともに、コンクリートの強度が相当に大きくなること示されている。これはセメント分散材の効果によるものと思われる。

(3) ドレシネット X がコンクリートの強度に及ぼす影響は大体においてビンゾールと同様になつた。

AE コンクリートの強度に及ぼす養生温度の影響が、いかなる種類のセメントにおいても前記の程度であるとは限らないが、少なくとも現在の中熟熱セメントにはある程度まで共通した事項であらう。

これらの実験結果は重力ダムに用いるコンクリートにおいて、所要の水セメント比を有するセメントペー

表-9 ポゾリスを用いた場合と、ビンゾールあるいはドレシネット X を用いた場合とにおける、コンクリートの圧縮強度の相違

A E 材	水セメント重量比 (%)	単位セメント量 C		単位水量 W		絶対骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	リモールヂングの回数	湿気養生を行つた場合の圧縮強度 (kg/cm ²)					
		(kg)	比	(kg)	比					養生温度 21°C		養生温度 30°C		養生温度 40°C	
										材令28日	材令3月	材令28日	材令3月	材令28日	材令3月
ポゾリス No.8 (セメントの0.25%)	55	143.7	0.93	79	0.93	26	3.8	2.5	70	230	311	271	321	274	301
ビンゾール (14 g/m ³)	55	154.5	1.00	85	1.00	26	3.7	2.5	73	223	281	247	281	231	249
ポゾリス No.8 (セメントの0.25%)	47	161.7	0.92	76	0.92	24.5	3.7	2.5	68	323	427	379	438	391	403
ビンゾール (21 g/m ³)	47	176.6	1.00	83	1.00	24.5	3.8	2.5	64	293	361	352	372	315	339
ドレシネット X (6.5 g/m ³)	47	173.4	0.98	81.5	0.98	24.5	3.7	2	70	295	381	323	377	325	369

備 考

1. 用いた粗骨材の最大寸法は 100 mm である。セメントはアサノマスコンセメントである。
2. 練り混ぜたときのコンクリートの温度は約 21°C であつた。
3. コンクリートの圧縮強度は、40 mm 以上の粒をふるい去つたコンクリートについて試験をした。試験値は供試体 3 個の試験値の平均値である。

ストの使用量をウオーカビリチーの許す範囲内で、できるだけ少なくすれば、コンクリートの温度上昇を少なくして温度応力を減少するとともに工事費を減ずるのみならず、さらに、コンクリートの強度増進にも有利であることを実証するものである。従つて、ダムコンクリートにおいてポゾリスのようなセメント分散材を使用し所要のウオーカビリチーのコンクリートをうるに必要な単位水量を減ずることは適切な手段であると思われる。

重力ダムの施工においてコンクリートの配合の設計は、従来、21°C で養生した場合における材令 28 日または 3 月の強度にもとづいて行われている。前記の実験結果は、この在来の方法が、コンクリートの強度に及ぼす養生温度の影響を考慮していないので、適当でないことを示すものである。

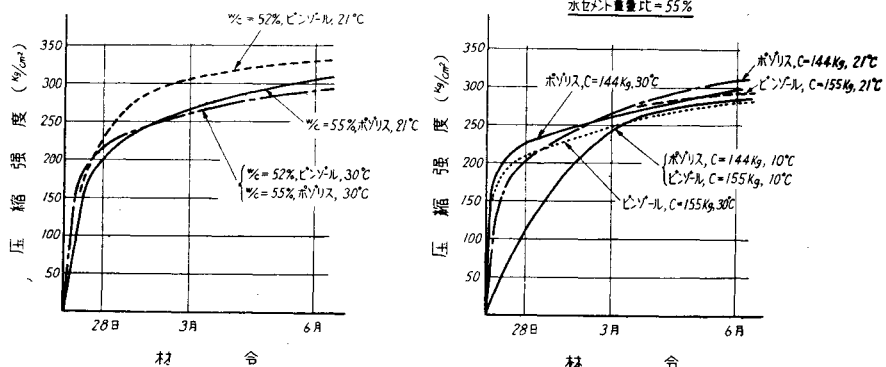
表-10 ポゾリスを用いた場合と、ピンゾールを用いた場合におけるコンクリートの圧縮強度の相違

A E 材	水セメント重量比 (%)	単位セメント量 C		単位水量 W		絶対細骨材率 (%)	空気量 (%)	湿気養生を行ったときの圧縮強度 (kg/cm ²)																	
		(kg)	比	(kg)	比			養生温度 10°C			養生温度 21°C			養生温度 30°C											
								材令28日	材令3月	材令6月	材令28日	材令3月	材令6月	材令28日	材令3月	材令6月									
ポゾリス No.8 (セメントの0.3%)	55	141.8	0.92	78	0.92	26	4.0	104	243	288	202	270	307	221	264	292									
ポゾリス No.8 (セメントの0.25%)	55	143.6	0.93	79	0.93	26	3.9	107	105	245	240	281	287	195	201	262	268	311	308	226	222	257	260	295	291
ポゾリス No.8 (セメントの0.2%)	55	145.3	0.94	80	0.94	26	3.8	105	233	293	207	273	307	218	260	286									
ポゾリス No.8 (セメントの0.15%)	55	149.1	0.96	82	0.96	26	4.1	112	246	312	207	275	287	228	254	282									
ピンゾール (10g/m ³)	55	154.5	1.00	85	1.00	26	3.9	107	243	282	201	266	293	207	248	280									
ピンゾール (11g/m ³)	52	163.5	1.06	85	1.00	25.5	3.9	129	264	321	225	309	331	222	259	292									

備考

- 用いた粗骨材の最大寸法は 100 mm である。セメントはアサノ マスコン セメントである
- コンクリートのスランプは約 1 cm であつた。
- コンクリートの圧縮強度は 40 mm 以上の粒をふるい去つたコンクリートについて試験した。試験値は供試体 3 個の試験値の平均値である。
- 練り混ぜたときのコンクリートの温度は約 10°C であつた。

図-11 アサノ マスコン セメントを用いたコンクリートの圧縮強度



註) 粗骨材の最大寸法 = 100 mm, スランプ = 1 cm, 空気量 = 3.9%, 湿気養生

2. 粗骨材の最大寸法を 100 mm とし、水セメント重量比を 55% および 52% の 2 種とし、空気量を約 3.9%, スランプを約 1 cm としたコンクリートを約 10°C の温度で造つたのち、それぞれ 10°C, 21°C および 30°C の温度で湿気養生した場合における圧縮強度の試験結果は表-10、および図-11 のごとくであつた。

表-10 および図-11 から次のことが認められる。

(1) コンクリートの材令の増加にともなう強度の増進は、1. で述べたと同様に養生温度の低いものほどいじりしく、10°C の場合の強度は、材令 28 日においては 30°C の場合の約 1/2 であるが材令 6 月においてはほとんど同程度となつていて、6 月以上の材令においては 30°C の場合より強くなることが推定される。これ

は、重力ダムの施工において、コンクリートの人工冷却が長期強度の増進にもきわめて有利であることを示すものである。なお、この種の中層熱セメントは重力ダムのみならず一般の水利構造物のコンクリートに用いてもきわめて有利であると思われる。

- (2) 練り混ぜたときの温度を 21°C としたコンクリートの場合ほど明らかではないが、この場合にも、ポゾリスを用いたコンクリートの強度がビンゾールを用いたものの強度より強くなる程度が、養生温度が高いほど、また材令が長くなるほど、いちじるしくなる傾向は認められるのであつて、養生温度 30°C ではポゾリスを用いて単位セメント量を 144 kg としたコンクリートの強度はビンゾールを用いて 164 kg としたコンクリートの強度とほぼ相等しくなっている。
- (3) 同じ水セメント比のコンクリートにおいて空気量が一定となるように調整した場合には、ポゾリス No.8 の使用量をセメント重量の 0.2~0.3% の範囲内で変化させてもコンクリートの強度はほとんど一定となつている。これは実験に用いたコンクリートの温度が低く、また、単位セメント量が少ないために、ポゾリスの使用量の影響が弱められたのである。しかし別に行つた実験の結果を参照して考えると、これは、ポゾリスを AE 材として用いる場合、この程度の範囲内では、空気量の調節をポゾリス使用量の増減によつて行つても実用上支障ないことを示すものと思われる。

第 8 章 結 論

本実験の範囲内で次のことが言えると思われる。

1. エントレインド エアーが、コンクリートのウオーカビリチー、強度および凍結融解にたいする耐久性に及ぼす影響は、ビンゾール、プロテックス、ダレックス、スプーマの 4 種の AE 材のいずれを用いた場合にも全く同様と考えられる。従つて、所望のウオーカビリチー、強度および耐久性を有する AE コンクリートを造るに必要な配合は、AE 材の使用量を除いては 4 種の AE 材のいずれを用いる場合にも、実用的には全く同じとしてよい。

2. ある空気量の AE コンクリートを造る場合、適当量のポゾリスを AE 材として用いれば、他の AE 材を用いるときよりもコンクリートの単位水量を減じて、同じコンシステンシーのコンクリートを造ることができる。この単位水量を減じる程度は、セメントの種類、コンクリートの単位セメント量等によつていくぶん相違するが、一般に、6~8% である。

従つて、ポゾリスを用いれば、所望のウオーカビリチー、強度および耐久性を有するコンクリートを造るために必要な単位セメント量を、他の AE 材を用いる場合より相当に減ずることができる。この単位セメント量を減じる程度は、セメントの種類、コンクリートの単位セメント量ならびに養生温度、等によつて異なるが、21°C で養生した場合にはおよそ 10% である。

3. 容積変化が小さく耐久性の大きいコンクリートを造るためには、ウオーカブルなコンクリートが得られる範囲でできるだけ単位水量を少なくすることが必要であるのは当然であるが、単位水量の減少はコンクリートの長期材令における強度にもよい影響を及ぼし、特に養生温度が高い場合にその好影響がいちじるしくなることが本実験において明らかにされた。たとえば水セメント比空気量およびスランプを同じくして、21°C で造り 30°C で養生したコンクリートの圧縮強度では、材令 3 月においてすら、ポゾリスを用い単位セメント量を 162 kg とした場合はビンゾール用い 177 kg とした場合の約 1.2 倍の強度となつている。

従つて、重力ダムのコンクリートにポゾリスを用いれば、他の AE 材を用いる場合にくらべて、所望の強度をうるに必要な単位セメント量を減じコンクリートの温度上昇を少なくして温度応力を減ずるのみならず、コンクリートの長期における強度増進にも有利である。

4. ポゾリスには、たとえば No.5, No.8, No.5 A No.8 A 等各種の製品があるから、ポゾリスを用いて所望の空気量の AE コンクリートを造るためには、ポゾリス中のセメント分散材の使用量がセメント重量の 0.25% となるように用いたときに所要の空気量が得られるような製品を使用するのが適当である。これを工事現場で用いる場合、細骨材の粒度のわづかの变化その他ともなる空気量の変動を調整するには、分散材の使用量がセメント重量の 0.2~0.3% である範囲内で、ポゾリスの使用量を増減しても実用上支障はない。

5. AE コンクリートの材令の増加にともなう強度の増進は養生温度によつて相違し、長期材令における強度は、10°~40°C の範囲において養生温度の低いものほど強くなる。従つて、重力ダムの施工におけるコンクリートの人工冷却は、長期強度の増進にもきわめて有利である。

参 考 文 献

- 1) Tentative Method of Testing Air-Entraining Admixtures for Concrete (ASTM Designation : C 233-52 T).
- 2) C.E. Wuerpel : "Laboratory Studies of Concrete Containing Air-Entraining Admixtures." Proceedings, ACI, Vol. 42, p. 305 (1946).
- 3) G.W. Washa, C.H. Scholer, D.W. Lewis, and N.H. Withey : "Test for Air-Entraining Agents in Cement and Concrete." Bulletin No.163, ASTM, Jan. 1950.
- 4) F.H. Jackson and A.G. Timms : "Evaluation of Air-Entraining Admixtures for Concrete." Public Roads, Vol. 27, No.12, Feb. 1954.
- 5) J.C. Dalton : "Effect of Admixtures on Air Content and Strength of Portland Cement Concrete." Concrete, Jan. 1953.
- 6) 長野蘭蔵 : 各種空気連行材について, セメント技術年報 (昭和26年)
長野蘭蔵 : 各種空気連行材について (第2報, 各種 AE コンクリートの耐硫酸性)
セメント技術年報 (昭和28年)
長野蘭蔵・細谷繁好 : 各種 AE 材について (第3報), セメント技術年報 (昭和29年)
- 7) 高野俊介・森茂二郎・柳川晃夫 : 各種 AE 材の試験成績について, セメント技術年報 (昭和27年)
- 8) 河原友純 : セメント分散剤を加えたコンクリートに関する実験報告—第一部 一般構造物を対象としたコンクリートに関する実験—電力技術研究所の報告 (昭和28年12月)
- 9) 近藤泰夫・秀島節治 : AE 材の研究 (第1報), セメント技術年報 (昭和29年)
- 10) 日本セメント技術協会 AE 委員報告 G-2 : AE 材鑑別試験 (その1) (昭和29年5月)
- 11) Tentative Method of Testing Air-Entraining Admixtures for Concrete (ASTM Designation : C 233-49 T).
- 12) Tentative Method of Test for Bleeding of Concrete (ASTM Designation : C 232-49 T).
- 13) JIS A 1118 : まだ固まらないコンクリートの空気量の容積による試験方法 (容積方法)
- 14) Tentative Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Rapid Freezing and Thawing in Water (ASTM Designation : C 290-52 T).
- 15) Tentative Method of Test for Fundamental Transverse and Torsional Frequencies of Concrete Specimens (ASTM Designation : C 215-52 T).
- 16) 高野俊介 : 打込み温度がマッサコンクリートの強度に及ぼす影響の研究(土木学会論文集として刊行予定)

昭和 30 年 2 月 10 日 印 刷	土木学会論文集	定価 40 円
昭和 30 年 2 月 15 日 発 行	第 23 号	
著 者	埼玉県浦和市岸町 4 丁目 18 番地	国 分 正 胤
編集兼発行者	東京都千代田区大手町 2 丁目 4 番地	中 川 一 美
印 刷 者	東京都港区赤坂溜池 5 番地	大 沼 正 吉
印 刷 所	東京都港区赤坂溜池 5 番地	株式会社 技報堂

東京中央郵便局区内 千代田区大手町 2 丁目 4 番地

行 所

社 団 法 人 土 木 学 会

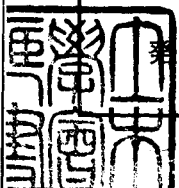
電話 (20) 3945・4078
振替東京 16828

写真-1 小野田普通 ポルトランド セメントを用いたコンクリートの凍結融解試験結果の一例

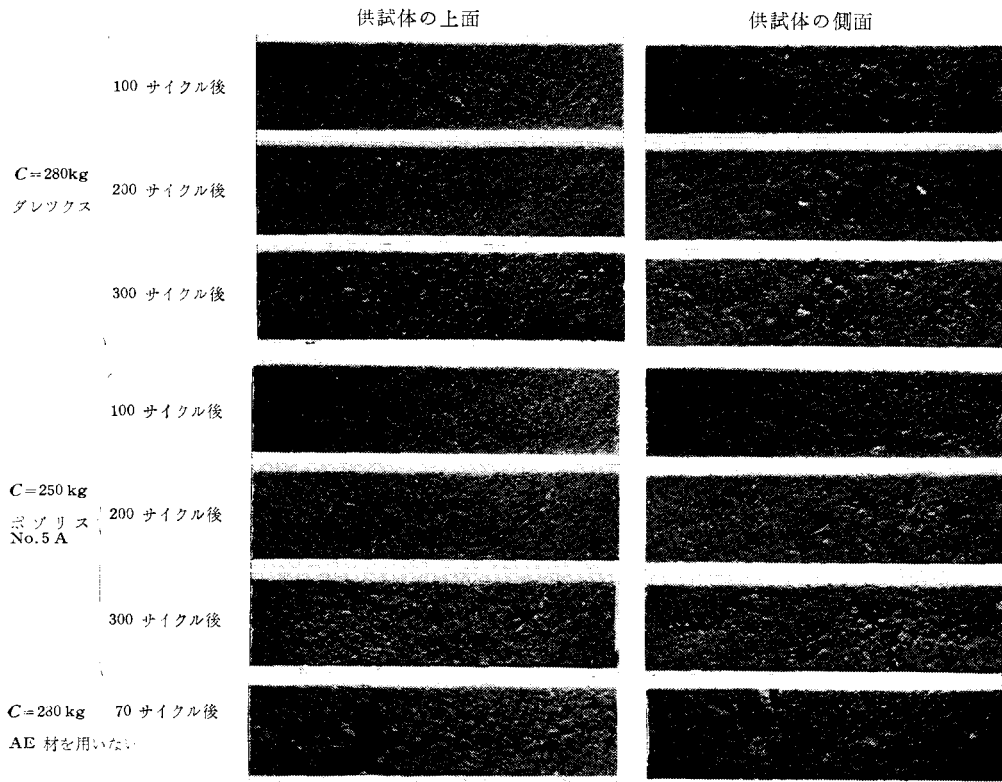


写真-2 アサノ マスコン セメントを用いたコンクリートの凍結融解試験結果の一例

