

耐寒剤を利用した寒中コンクリートの合理化に 関する研究 (その3)

Simplification of Winter Concreting with a New Type of Antifreeze Admixture (III)

渡辺 宏* 堺 孝司**
高田 誠*** 梅沢 健一****

Hiroshi WATANABE, Koji SAKAI,
Makoto TAKADA and Ken'ichi UMEZAWA

寒中コンクリートでは、所定の強度が得られるまで一般に保温や給熱などの養生を実施しているが、それに要する設備や温度管理など、通常のコンクリートに比べ施工上の留意点も少なくない。最近、無塩化タイプで氷点下においてもコンクリートの強度発現を可能にする耐寒剤が開発された。これまで、この耐寒剤を添加したセメントペーストでは、 -10°C 程度の低温環境下におかれても材令の経過に伴ってセメントの水和が進行し、ち密な内部組織が形成され、また、この耐寒剤を用いたコンクリートでは、 -5°C 程度の低温環境においても適当な条件の下では、所定の強度および耐凍害性が得られることが明らかにされてきた。

本報告は、耐寒剤が鉄筋の腐食に及ぼす影響に関する試験、耐寒剤がアルカリ骨材反応に及ぼす影響に関する試験および現場の適用を図るため、現場施工実験を実施した。

その結果、耐寒剤を用いたコンクリートは鉄筋の腐食に対して問題がなかった。潜在的有害でアルカリ骨材反応が起こらない場合であっても、耐寒剤の使用量が多くなるとアルカリ骨材反応の危険性が増すという問題点が生じた。また、現場施工実験においては、ビニールで封かんした現場養生の供試体は室内試験と同様な強度発現が得られることが明らかとなった。しかし、現場実験のコンクリートにおいては、初期材令で寒風にあて乾燥させたものは強度および耐凍害性が劣った。

《寒中コンクリート；混和剤；耐寒剤；圧縮強度；耐凍害性；養生》

In winter concreting, initial curing such as insulated curing or heat curing is generally provided for the concrete to reach required strength, but this necessitates special facilities to control the temperature. Recently a non-chloride antifreeze admixture that would make strength development possible below 0°C was developed. It was found that cement with antifreeze admixture hydrates and forms a dense structure at temperatures down to about -10°C , and that concrete with this admixture reaches the required strength and resistance to freezing and thawing at temperatures of about -5°C , under proper condition.

In this paper, the effects of antifreeze admixture on corrosion of rein-

* 材料研究室主任研究員 ** 同室長 *** 日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所課長代理 **** 同所課長補佐

forcing bars and alkali aggregate reaction and the application of the admixture to cast-in-place concrete were investigated.

It was found that antifreeze admixture does not cause corrosion problems, and that concrete with large amounts of antifreeze admixture are more likely to suffer from alkali aggregate reaction. Strength development of concrete wrapped in vinyl sheets and cured outdoors was similar to concrete cured indoors, but concrete dried by cold winds in the initial period showed low strength and inferior resistance to freezing and thawing.

Keywords : winter concreting, chemical admixture, antifreeze admixture, compressive strength, resistance to freezing and thawing, curing.

1. ま え が き

コンクリートは、初期凍害を受けるとその後適切な養生を行っても強度を回復せず、耐久性および水密性が著しく劣ったものとなる。そこで、寒中コンクリートでは、所定の強度が得られるまで一般に保温や給熱などの養生を実施しているが、それに要する設備や温度管理など、通常のコンクリートに比べ施工上の留意点も少なくない。また、以前から塩化物を主成分とする混和剤の利用が行われてきたが、鉄筋の腐食への影響、コンクリートの長期強度および耐凍害性の低下など多くの弊害があり、現在ではほとんど使用されなくなった。

最近、無塩化タイプで氷点下においてもコンクリートの強度発現を可能にする耐寒剤が開発された。この耐寒剤を添加したセメントペーストでは、 -10°C 程度の低温環境下におかれても材令の経過に伴ってセメントの水和が進行し、強度発現にいたるような密な内部組織が形成された。また、この耐寒剤を用いたコンクリートでは、 -5°C 程度の低温環境においても適当な条件の下では、所定の強度および耐凍害性が得られるものであった。

本報告は、耐寒剤が鉄筋の腐食に及ぼす影響および耐寒剤がアルカリ骨材反応に及ぼす影響についての検討結果ならびに現場施工の実験結果を述べたものである。なお、本研究成果は、昭和62年度の日曹マスタービルダーズ(株)との共同研究に基づくものである。

2. 研究の概要

本研究は、「鉄筋の腐食に関する検討」と「アルカリ骨材反応に関する検討および現場施工実験」とに分けて実施した。前者の鉄筋の腐食に関する検討では、促進腐食試験としてオートクレーブ養生によるコンクリート中の鉄筋の促進腐食試験を、また、電気化学的試験として、定電流分極試験および鉄筋を塩水に浸せきさせ自然電位を測定する自然電位試験を行った。後者のアルカリ骨材反応に関する検討では、モルタルによる試験およびコンクリートによる試験を行った。また、現場施工実験では寒中コンクリートの施工において、水セメント比、耐寒

剤使用量、養生条件の違いが、コンクリートの強度および耐凍害性に及ぼす影響について検討した。

3. 鉄筋の腐食に関する検討

3.1 オートクレーブ養生によるコンクリート中の鉄筋の腐食試験

3.1.1 試験計画

試験は、表-1 に示す試験計画に従って実施した。

表-1 試験計画

要 因	水 準
セメントの種類	普通, 高炉
水セメント比 (%)	45, 50, 55
NF使用量 ($\ell/c=100\text{kg}$)	0, 3, 5
塩素イオン (kg/m^3)	0, 0.6

3.1.2 使用材料およびコンクリートの配合

混和剤は、耐寒剤としてメラミンスルホン酸高性能減水剤と含窒素化合物を主成分とするノンフリーズ(以下、NFと略す)を使用した。比較のため、AE減水剤標準型P(以下、AE減水剤Pと略す)を用いた。あわせて、空気量調節剤(以下、PAEと略す)として、NFには高アルキルカボン酸を、AE減水剤Pにはアルキルアリルスルホン酸を主成分とするものを用いた。

セメントは、普通ポルトランドセメントおよび高炉B種セメントを使用した。この物理試験結果を表-2に示す。

骨材は大井川水系陸砂、東京都青梅産硬質砂岩砕石を使用した。これらの物理試験結果を表-3, 4に示す。

練り混ぜ水は水道水を使用した。塩分は試薬1級のNaClを使用した。

鉄筋はJIS G 3108「みがき棒鋼用一般鋼材」のSGD 3に規定する材質を有し、JIS G 3123「みがき棒鋼」に規定する形状丸13mmのものを用い、長さ $178 \pm 2\text{mm}$ に切断し、両端を面取り加工したものとした。

3.1.3 試験方法

コンクリートの練り混ぜは、50ℓの強制練りミキサー

表-2 セメントの物理試験結果

セメントの種類	比重	粉末度 比表面積 (cm ² /g)	凝 結			安定性	圧縮強さ (kgf/cm ²)			酸化マ グネシ ウム (%)	三酸化 硫 黄 (%)	強 熱 減 量 (%)	塩 素 (%)	全アル カリ量 (%)
			水量 (%)	始発 (h:m)	終結 (h:m)		3日	28日	91日					
普通 ポルト	3.16	3,170	27.9	2-29	3-50	良	143	242	416	1.4	2.0	0.7	0.006	0.63
高 炉 B 種	3.04	3,000 以上	28.8	2-58	4-30	良	117	207	408	3.3	1.6	0.9	0.006	

1) 普通ポルトランドセメントにおいては、JIS R 5210で混合材（高炉スラグ、フライアッシュなど）を5%まで混入を認められているが、本試験で用いた普通ポルトランドセメントについても4%の高炉スラグが混入されている。

表-3 細骨材の物理試験結果

産地・種類	絶 乾 比 重 (表乾)	吸水率 (%)	洗 い 損 失 量 (%)	有 機 不 純 物	粘 土 塊 量 (%)	安定性 (%)	塩 分 含 有 量 (%)	単 位 容 積 質 量 (kg/l)	実 積 率 (%)	粒度分布(通過率%)						粗粒率
										5 mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
静岡県大井 川水系陸砂	2.60 (2.63)	1.33	1.5	合格	0.1	2.8	0.001 以下	1.79	68.6	100	88	70	48	24	7	2.63

表-4 粗骨材の物理試験結果

産地・種類	最大 寸法 (mm)	絶 乾 比 重 (表乾)	吸水率 (%)	洗 い 損 失 量 (%)	粘 土 塊 量 (%)	安定性 (%)	単 位 容 積 質 量 (kg/l)	実 積 率 (%)	粒 形 判 定 実 積 率 (%)	粒度分布(通過率%)						粗粒率
										25 mm	20	15	10	5	2.5	
東京都青梅産 硬質砂岩碎石	20	2.62 (2.64)	0.72	0.1	0	1.5	1.62	61.8	61.5	100	97	75	28	3	0	6.72

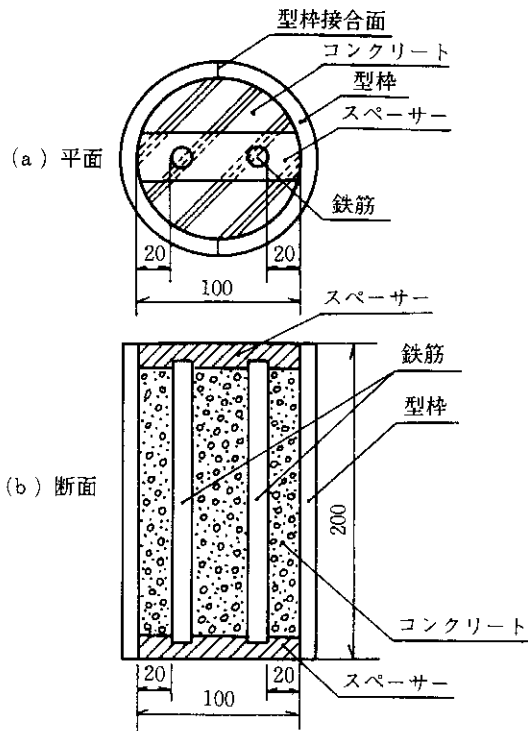


図-1 供試体の形状および寸法

用い、図-1 に示す供試体を作製し、両面をペーストキャッピングした後、促進腐食試験を JIS A 6205「鉄筋コンクリート用防せい剤」付属書 2（コンクリート中の鉄筋の促進試験方法）に準じて行った。

3.1.4 試験結果と考察

コンクリートの配合および鉄筋の腐食面積率を、表-5 に示す。なお、コンクリートの配合は目標スランプを 12 ± 1 cm、目標空気量を $5.5 \pm 0.5\%$ として決定した。さびの発生は水セメント比55%、NF 使用量 0 l、塩素イオン量 0.6 kg/m^2 の配合において若干あったが、それ以外のものでは認められなかった。

3.2 定電流分極試験

3.2.1 試験計画

試験は、表-6 に示す試験計画に従って実施した。

3.2.2 使用材料およびコンクリートの配合

混和剤、表-7 に示すポルトランドセメント以外の高炉セメント、骨材、練り混ぜ水、塩分および鉄筋は、オートクレーブ養生によるコンクリート中の鉄筋の促進腐食試験と同様なものを用いた。ただし、鉄筋は 230mm に切断したものをを使用した。

コンクリートの配合は、NF 使用量を 0 (AE 減水剤 P)、3、5 l、水セメント比を 55%、塩素イオンを

0, 0.6kg/m²とし、オートクレーブ養生によるコンクリート中の鉄筋の促進腐食試験の配合と同じものとした。

3.2.3 試験方法

コンクリートの練り混ぜは、50ℓの強制練りミキサーを用いた。

供試体は10×20cmの鋼製型枠を用い、図-2に示す形状のものを作製した。

試験は材令1日で、図-3に示す装置を用いて行った。測定は鉄筋を陽極として、電流密度が10μA/cm²となるようにカルボスタットを設定し、通電開始から1分間は15秒ごと、その後は1秒ごとに30分間まで行った。

3.2.4 試験結果と考察

定電流分極試験による分極電位の経時変化を図-4, 5に示す。図-4は普通ポルトランドセメントにおけるNF使用量の違いによるもので、NF使用量が多くなるとコンクリート供試体中の鉄筋の分極電位は若干小さくなった。しかし、いずれの場合でも分極電位が最初の6~7分間で大きく上昇し、その後は徐々に安定した値を示しており、経過時間の途中で下降するような現象は認められなかった。また、塩素イオンを添加したものは6~7分間まで若干分極電位が小さかったが、それ以降は差がなくなった。図-5はNF使用量5ℓにおけるセ

表-5 コンクリートの配合および鉄筋の促進腐食試験結果

セメントの種類	水セメント比 (%)	NF使用量 (ℓ/c =100)	塩素イオン (kg/m ³)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ℓ)		発錆面積率 (%)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	N F	P A E	
普通	45	0	0.6	44	165	367	768	982	*0.918	0.018	0
		3			165	367	768	982	11.01	0.037	0
		5			160	356	778	993	17.80	0.071	0
	50	0	0.6	45	162	324	805	987	*0.810	0.016	0
		3			162	324	805	987	9.72	0.032	0
		5			157	314	815	1,001	15.70	0.063	0
	55	0	0	46	162	295	833	985	*0.738	0.015	0
			0.6		162	295	833	985	*0.738	0.015	2.8
		3	0		162	295	833	985	8.85	0.030	0
			0.6		162	295	833	985	8.85	0.030	0
		5	0		157	285	844	995	14.25	0.057	0
			0.6		157	285	844	995	14.25	0.057	0
高炉	45	0	0.6	44	165	367	763	974	*0.918	0.028	0
		3			165	367	763	974	11.01	0.055	0
		5			160	356	773	987	17.80	0.089	0
	50	0	0.6	45	162	324	800	982	*0.810	0.024	0
		3			162	324	800	982	9.72	0.049	0
		5			157	314	810	995	15.70	0.079	0
	55	0	0	46	162	295	831	977	*0.738	0.022	0
			0.6		162	295	831	977	*0.738	0.022	0
		3	0		162	295	831	977	8.85	0.044	0
			0.6		162	295	831	977	8.85	0.044	0
		5	0		157	285	839	990	14.25	0.071	0
			0.6		157	285	839	990	14.25	0.071	0

注 1) * A E 減水剤

ント種類の違いによるもので、高炉B種セメントの方が普通ポルトランドセメントより若干小さかったが、上昇傾向は同じであった。

3.3 自然電極電位試験

3.3.1 試験計画

表-6 試験計画

要因	水準
セメントの種類	普通, 高炉
NF使用量 (ℓ/c =100kg)	0, 3, 5
塩素イオン (kg/m ³)	0, 0.6

表-7 セメントの物理試験結果

セメントの種類	比重	粉末度 比表面積 (cm^2/g)	凝 結			安定性	圧縮強さ (kgf/cm^2)			酸化マ グネシ ウム (%)	三酸化 硫 黄 (%)	強 減 (%)	熱 量 (%)	塩 素 (%)	全アル カリ量 (%)
			水量 (%)	始発 (h:m)	終結 (h:m)		3日	28日	91日						
普通 ポルト	3.16	3,240	27.7	2-31	3-44	良	150	251	407	1.7	2.0	1.0	0.007	0.65	

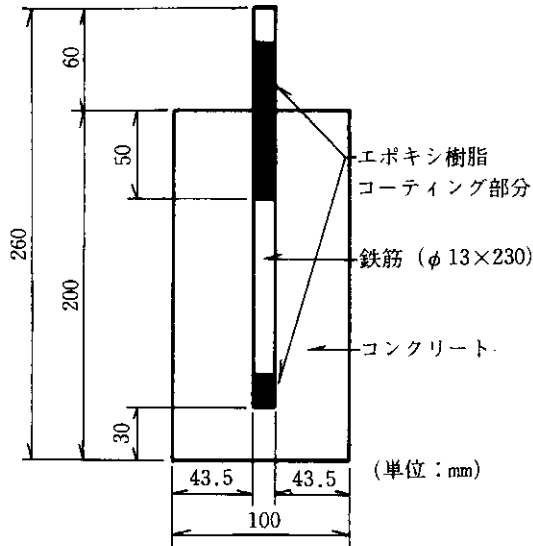


図-2 供試体の形状および寸法

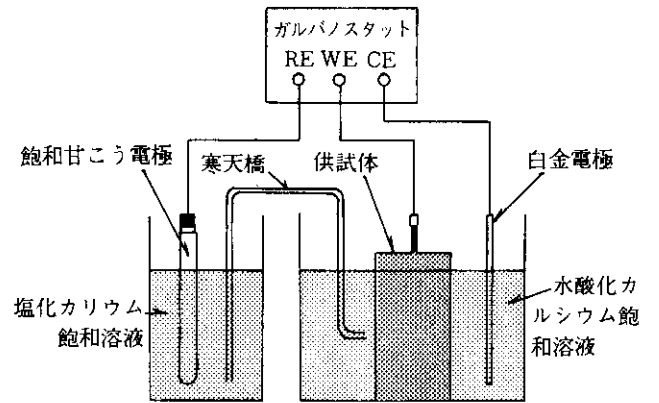


図-3 定電流陽分極試験装置

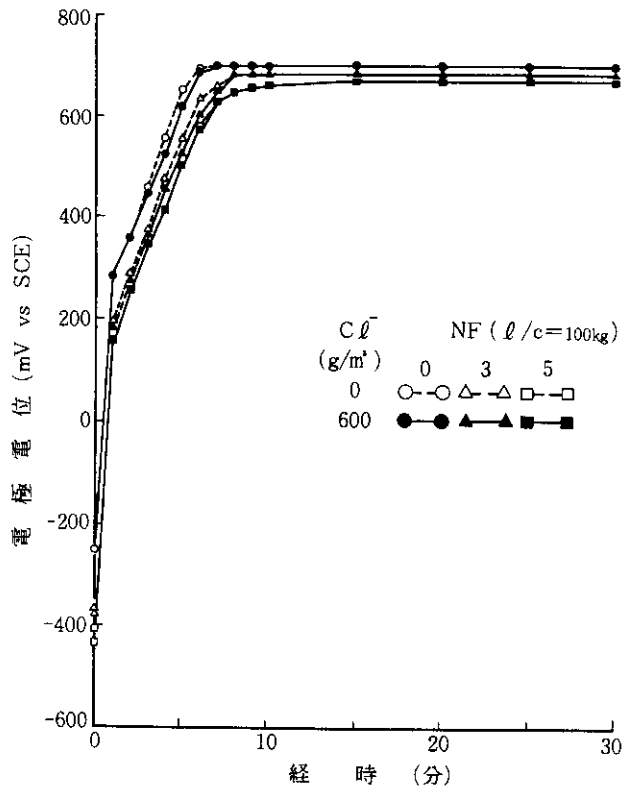


図-4 鉄筋の電極電位経時変化(NF使用量の影響)

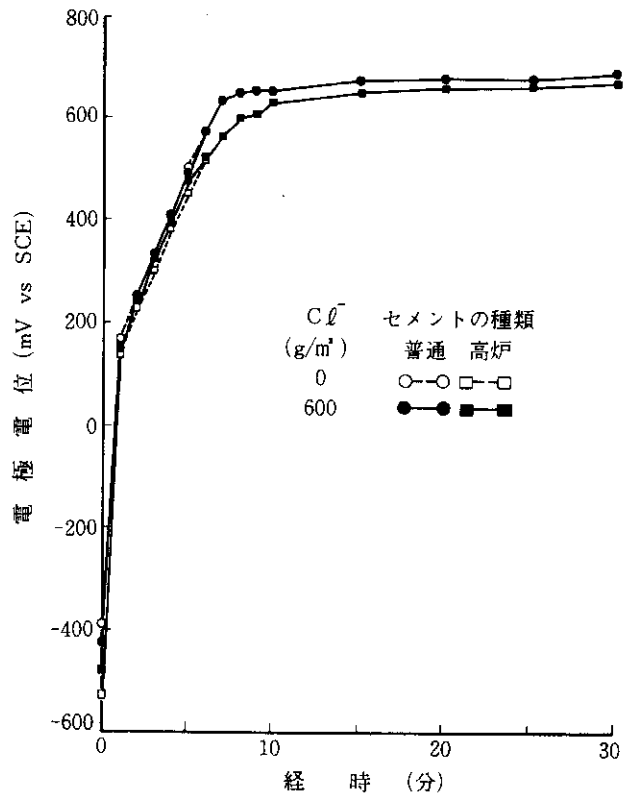


図-5 鉄筋の電極電位経時変化(セメントの種類の影響)

表-8 試験計画

要因	水準
NF使用量 (ℓ/c=100kg)	0, 3, 5
塩素イオン (kg/m ³)	0, 0.6

試験計画を表-8に示す。

3.3.2 使用材料

混和剤は、NFと比較のためAE減水剤Pを用いた。水はイオン交換水を使用した。塩分は試薬特級を用いた。鉄筋はJIS G 3108「みがき棒鋼用一般鋼材」のSGD3に規定する材質を有し、JIS G 3123「みがき棒鋼」に規定する形状丸10mmのものを用い、長さを約100mmに切断し一端を半球状に加工したものとした。

3.3.3 試験溶液の調製

試験溶液の調整は、水にNaClを0または1.7g加えた後、水酸化カルシウムを3g加え攪はんしたもの、所定のAE減水剤PまたはNFを添加し、全量が500mlになるようにした。なお、この試験溶液に用いた材料の添加量は、JIS A 6205「鉄筋コンクリート用防せい剤」付属書2（コンクリート中の鉄筋の促進試験方法）に規定するコンクリート配合（単位セメント量300kg、単位水量180kg、砂800kg）のコンクリート中に溶けている濃度と同じ濃度になる量とした。

3.3.4 試験方法

試験は、JIS A 6205の付属書1（鉄筋の塩水浸せき試験方法）に準じて行った。測定は図-6に示す試験装置を用い、鉄筋と比較電極を試験溶液に浸せきさせ、溶液表面を流動パラフィンでシールした後、所定の時間で行った。また、目視による観察も行った。

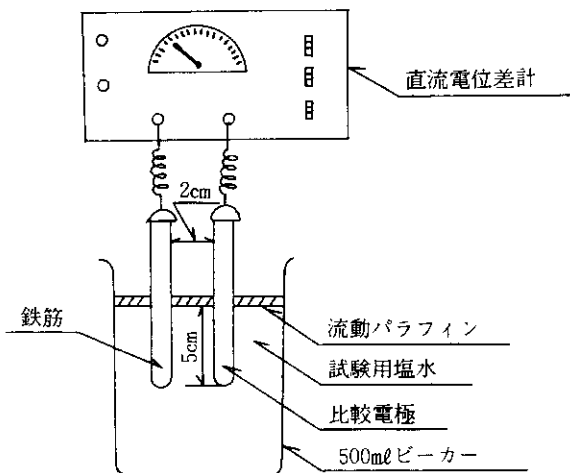


図-6 自然電極電位試験装置

3.3.5 試験結果と考察

自然電極電位-時間曲線を図-7に示す。試験溶液が水においては塩素イオンを含まないものでは、自然電位は“貴”に向かう傾向を示した。しかし、塩素イオンを含んだものでは逆に“卑”に向かう傾向を示し、7日経過で鉄筋表面にさびが発生していることを確認した。NF、AE減水剤P(NFO)を添加した試験溶液においては、自然電位が“卑”に向かった後、徐々に“貴”に向かう傾向を示し、NF使用量が多くなるとその傾向は若干大きかったが、7日経過における鉄筋の表面を目視観察した結果、さびの生成は認められなかった。また、塩素イオンの添加の有無による差は認められなかった。

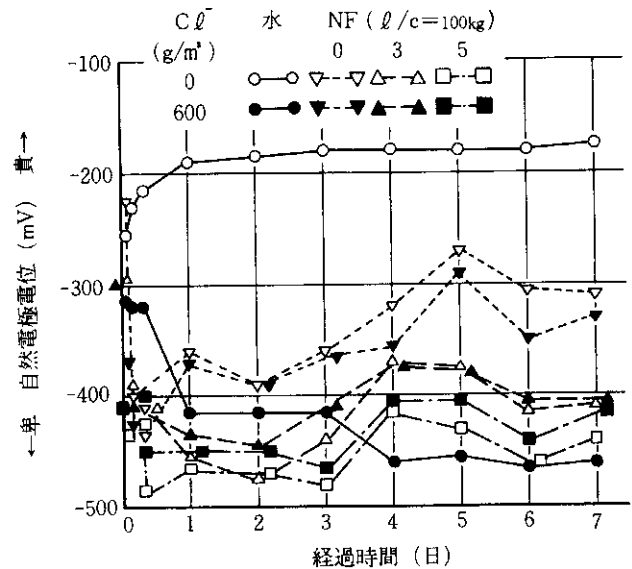


図-7 自然電極電位-時間曲線

この結果は、他の試験結果と同様なものであり、NFはコンクリート中の鉄筋の腐食に対し悪影響を与えないものであると判断される。

4. アルカリ骨材反応に関する検討

4.1 試験計画

モルタルによる試験は表-9に、コンクリートによる試験は表-10に示す計画に従って実施した。

表-9 試験計画 (モルタルバー)

要因	水準
セメントの種類	普通, 高炉, 低アルカリ
骨材の種類	M, Y1, Y2, Y3
NF使用量 (ℓ/c=100kg)	0, 3, 5, 7

表-10 試験計画 (コンクリート)

要因	水準
セメントの種類	普通, 高炉
細骨材の種類	M, Y 2
粗骨材の種類	M, Y 2
NF使用量 ($\ell/c = 100\text{kg}$)	0, 3, 5, 7

4.2 使用材料

セメントは、表-11に示す普通ポルトランドセメント、高炉B種セメント、低アルカリ普通ポルトランドセメントを使用した。

骨材はモルタルによる試験では、表-12に示す化学法およびモルタルバー法の試験で、無害から有害までの4種類のものを用いた。また、コンクリート試験ではその中から表-13に示す無害な碎石、砕砂である骨材Mと、

化学法で潜在的有害、モルタル法で有害な碎石、砕砂である骨材Y2を使用した。

4.3 試験方法

4.3.1 モルタルによる試験

試験は、JIS A 5308付属書8のモルタルバー法に従って行った。

4.3.2 コンクリートによる試験

コンクリートの練り混ぜは、50 ℓ の強制練りミキサーを用いた。

供試体は10 \times 10 \times 40cmの型枠の両端に、長さ変化測定用のゲージプラグを埋め込んだものを用いて製作した。

初期養生は、打設後20 $^{\circ}\text{C}$ の湿気養生で24時間行い、その後、供試体を湿った紙で包み、所定の材令まで温度40 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度95%以上で貯蔵した。

長さ変化の測定は、測定前日に20 \pm 3 $^{\circ}\text{C}$ の恒温室に移動し、JIS A 1129ダイヤルゲージ法により行った。

表-11 セメントの物性値および化学成分

セメントの種類	比重	比表面積 (cm ² /g)	化学成分											
			ig-loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TOTAL	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
普通ポルト	3.16	3,290	0.8	0.2	21.6	4.4	3.3	63.1	3.0	2.1	98.5	0.32	0.45	0.62
高炉B種	3.05	3,960	0.6	0	25.7	9.0	1.7	54.9	4.0	2.2	98.1	0.23	0.41	0.50
低アルカリ	3.15	3,150	0.5	0	21.5	5.7	2.8	64.1	2.4	1.8	98.8	0.20	0.36	0.44

1) 普通ポルトランドセメントにおいては、JIS R 5210で混合材(高炉スラグ、フライアッシュなど)を5%まで混入を認められているが、本試験で用いた普通ポルトランドセメントについても4%の高炉スラグが混入されている。

表-12 骨材の岩質と化学法・モルタルバー法による性状

記号	岩石名	化学法				モルタルバー法		
		Sc* ¹	Rc* ²	Sc/Rc	判定	3カ月	6カ月	判定
M	石灰岩	2	246	0.01	無害	0.041	0.040	無害
Y1	両安輝石岩	603	146	4.13	潜在的有害	0.047	0.042	無害
Y2	両安輝石岩	429	114	3.76	潜在的有害	0.235	0.233	有害
Y3	両安輝石岩	620	97	6.39	有害	0.223	0.224	有害

*1 Sc: 溶解シリカ量 (mmol/ ℓ)

*2 Rc: アルカリ濃度減少量 (mmol/ ℓ)

表-13 骨材の物理的性質

種別	最大寸法 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率
砕砂 M	—	2.67	0.83	2.77
砕砂 Y 2	—	2.61	1.67	2.67
碎石 M	25	2.70	0.46	7.03
碎石 Y 2	20	2.67	0.80	6.76

4.4 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-14に示す。配合は単位セメント量 300kg、細骨材率30%、水セメント比55%で、スランプの範囲を5~15cmとした。この配合条件で、スランプが指定範囲外になる場合は水セメント比を調整した。

4.5 試験結果と考察

4.5.1 モルタルによる試験

普通ポルトランドセメントで、各種骨材を用いた場合

表-14 コンクリートの配合

セメントの種類	骨材の種類		水セメント比 w/c (%)	NF使用量 ℓ/c =100kg	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
	粗骨材	細骨材				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	NF (ℓ)		
普通	M	M	55	5	40	165	300	790	1,199	15.0		
			57	0		172		783	1,174	0		
	55		3	165		790		1,185	9.0			
			5	165		790		1,185	15.0			
	Y 2		52.3	7		157		799	1,198	21.0		
			58.3	3		157		762	1,169	9.0		
			55	7		165		773	1,185	21.0		
			高 炉	M		55		3	165	787	1,181	9.0
						51.7		7	155	798	1,197	21.0

の材令と膨張率の関係を図-8に示す。非反応性骨材においては、NF使用量を5~7ℓとしても材令6ヵ月の膨張率がモルタルバー法で有害と判定される0.1%より小さな値であった。しかし、反応性骨材においては、化学法で潜在的有害、モルタルバー法で有害な骨材Y2および化学法で有害な骨材Y3では、NF使用量3ℓでも材令6ヵ月の膨張率が0.31%および0.34%と大きな値であった。化学法で潜在的有害、モルタルバー法で無害な骨材Y1では、NF使用量3ℓで材令6ヵ月の膨張率が0.05%と小さな値であったが、NF使用量7ℓで0.71%と大きな膨張率を示した。

この各種骨材を用いた場合の膨張率をアルカリ量との関係で表わすと、図-9に示すようになる。この図が示すように、有害と判定された骨材Y2、Y3ではアルカリ量に比例し膨張率が大きくなり、 $R_2O = 1.4\%$ (NF使用量3ℓ)で、アルカリ骨材反応の判定値である0.1%を越えていた。しかし、潜在的有害な骨材Y1では、前に述べたように $R_2O = 1.4\%$ (NF使用量3ℓ)で0.1%以内であったが、 $R_2O = 2.5\%$ (NF使用量7ℓ)で0.71%になり、モルタルバー法で無害となった骨材でもアルカリ量が多くなると大きな膨張率を示した。

骨材Y2で各種セメントを用いた場合のアルカリ量と膨張率の関係を図-10に示す。各種セメントともアルカリ量に比例して膨張率が増加したが、高炉セメントが他のセメントより同一アルカリ量において若干小さい膨張率であった。

以上の結果より、モルタルバー法で有害となった骨材については、NF使用量3ℓで各種セメントとも膨張率が0.16~0.34%となっており、NFを用いたコンクリートには使用できないと考えられる。また、化学法で潜在的有害、モルタルバー法で無害となった骨材についてもNF使用量が多くなると膨張率が0.1%より大きくなることがある。このような骨材の使用にあたっては、アルカリ量をNFのアルカリ量を含めた総アルカリ量としてモルタルバー試験を行い、その試験結果からその骨材の使用について検討しなければならないと思われる。

4.5.2 コンクリートによる試験

図-11に材令と膨張率の関係を示す。普通ポルトランドセメントにおいて、粗骨材のみを反応性骨材としたNF使用量3ℓでは、材令6ヵ月の膨張率が0.09% (供試体にクラックが発生する膨張率は0.04%前後)であったが、同じNF使用量でも細粗骨材とも反応性骨材としたものは0.02%と小さな膨張率であった。しかし、NF使用量7ℓでは両方とも大きな値を示した。また、高炉B種セメントの方が同一材令において普通ポルトランドセメントより膨張率が小さかった。

4.5.2 コンクリートによる試験

図-12に、材令6ヵ月におけるアルカリ総量と膨張率の関係を示す。普通ポルトランドセメントにおいて、粗骨材のみが反応性骨材を用いたものはアルカリ量に比例して膨張率も大きくなった。しかし、細粗骨材とも反応性骨材を用いたのは、 $R_2O = 4.2\text{kg}$ (NF使用量3ℓ)では前述したように膨張率が小さく、それよりもアルカリ量が多くなると、その量に比例して膨張率も大きくなったが、粗骨材のみ反応性骨材としたものより小さかった。これは、ベシマム現象によるものと考えられる。また、高炉B種セメントにおいて、 $R_2O = 3.9\text{kg}$ (NF使用量3ℓ)では反応骨材でも膨張せず、 $R_2O = 7.1\text{kg}$ (NF使用量7ℓ)では普通ポルトランドセメント ($R_2O = 7.4\text{kg}$)の1/3の膨張率であり、高炉B種セメントによる膨張抑制効果が認められた。

図-12に、材令6ヵ月におけるアルカリ総量と膨張率の関係を示す。普通ポルトランドセメントにおいて、粗骨材のみが反応性骨材を用いたものはアルカリ量に比例して膨張率も大きくなった。しかし、細粗骨材とも反応性骨材を用いたのは、 $R_2O = 4.2\text{kg}$ (NF使用量3ℓ)では前述したように膨張率が小さく、それよりもアルカリ量が多くなると、その量に比例して膨張率も大きくなったが、粗骨材のみ反応性骨材としたものより小さかった。これは、ベシマム現象によるものと考えられる。また、高炉B種セメントにおいて、 $R_2O = 3.9\text{kg}$ (NF使用量3ℓ)では反応骨材でも膨張せず、 $R_2O = 7.1\text{kg}$ (NF使用量7ℓ)では普通ポルトランドセメント ($R_2O = 7.4\text{kg}$)の1/3の膨張率であり、高炉B種セメントによる膨張抑制効果が認められた。

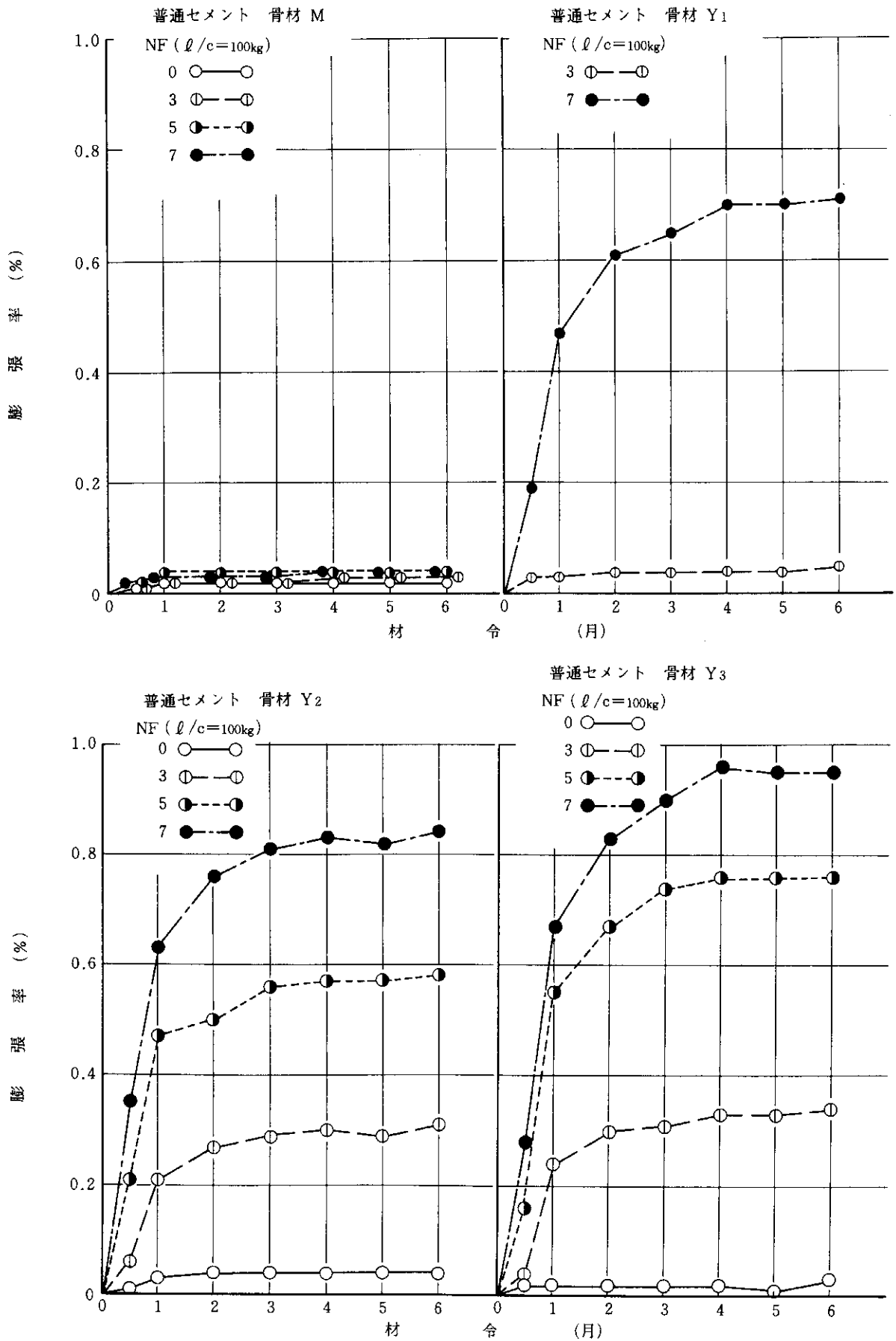


図-8 材令と膨張率の関係

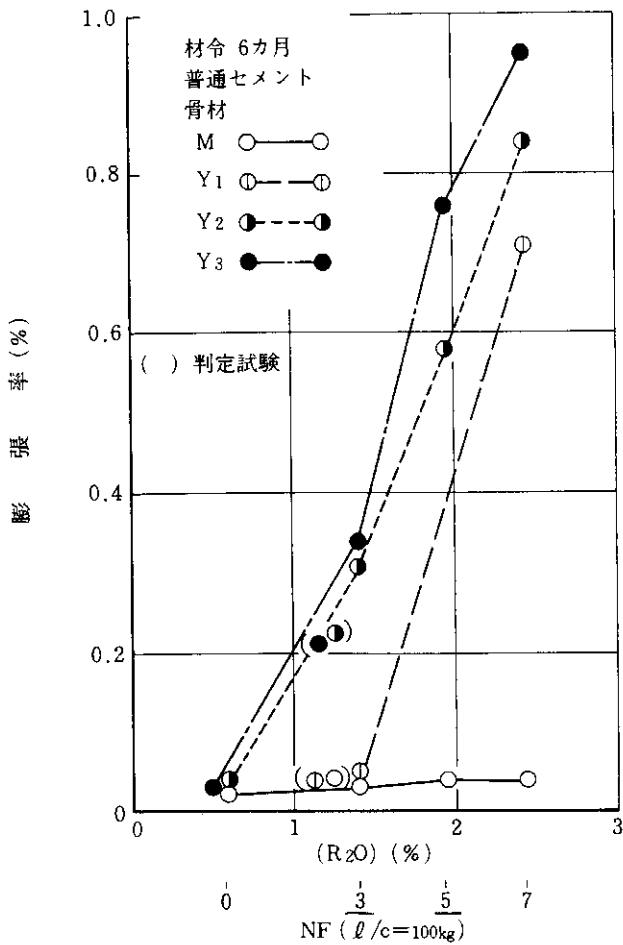


図-9 アルカリ量と膨張率の関係(骨材の種類の影響)

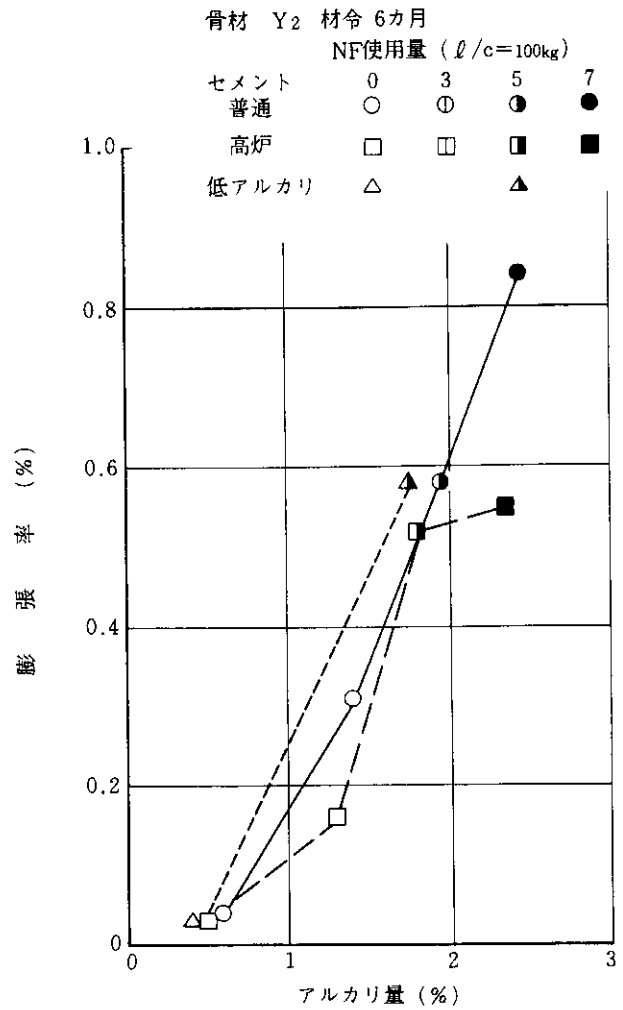


図-10 アルカリ量と膨張率の関係(セメントの種類の影響)

5. 現場施工実験

5.1 実験計画

実験計画を表-15に示す。

5.2 使用材料

混和剤は、耐寒剤としてNFのほかに比較のためA E減水剤Pを用いた。あわせて、空気量調節剤PAEを使用した。

セメントは、表-16に示す普通ポルトランドセメントを使用した。

骨材は静内川産の川砂、静内川産の川砂利を使用した。これらの物理試験結果を表-17, 18に示す。

5.3 実験方法

コンクリートの練り混ぜは、300 lの強制練りミキサーを用いた。実験用ブロック供試体の製作は、0.30×0.50×2.00mの鋼製型砕を用いて行った。また、圧縮強度試験

表-15 実験計画

要因	水準
水セメント比 (%)	45, 50
NF使用量 (l/c=100kg)	0, 3, 5
養生条件	標準, 現場
暴露開始材令(日)	14, 28

表-16 セメントの物理試験結果

セメントの種類	比重	粉末度 比表面積 (cm ² /g)	凝 結			安定性	圧縮強さ(kgf/cm ²)			酸化マ グネシ ウム (%)	三酸化 硫 黄 (%)	強 熱 減 量 (%)	塩 素 (%)	全アル カリ量 (%)
			水量 (%)	始発 (h:m)	終結 (h:m)		3日	28日	91日					
普通 ポルト	3.16	3,290	29.3	2-30	3-34	良	151	239	423	3.1	2.0	0.7	0.008	0.62

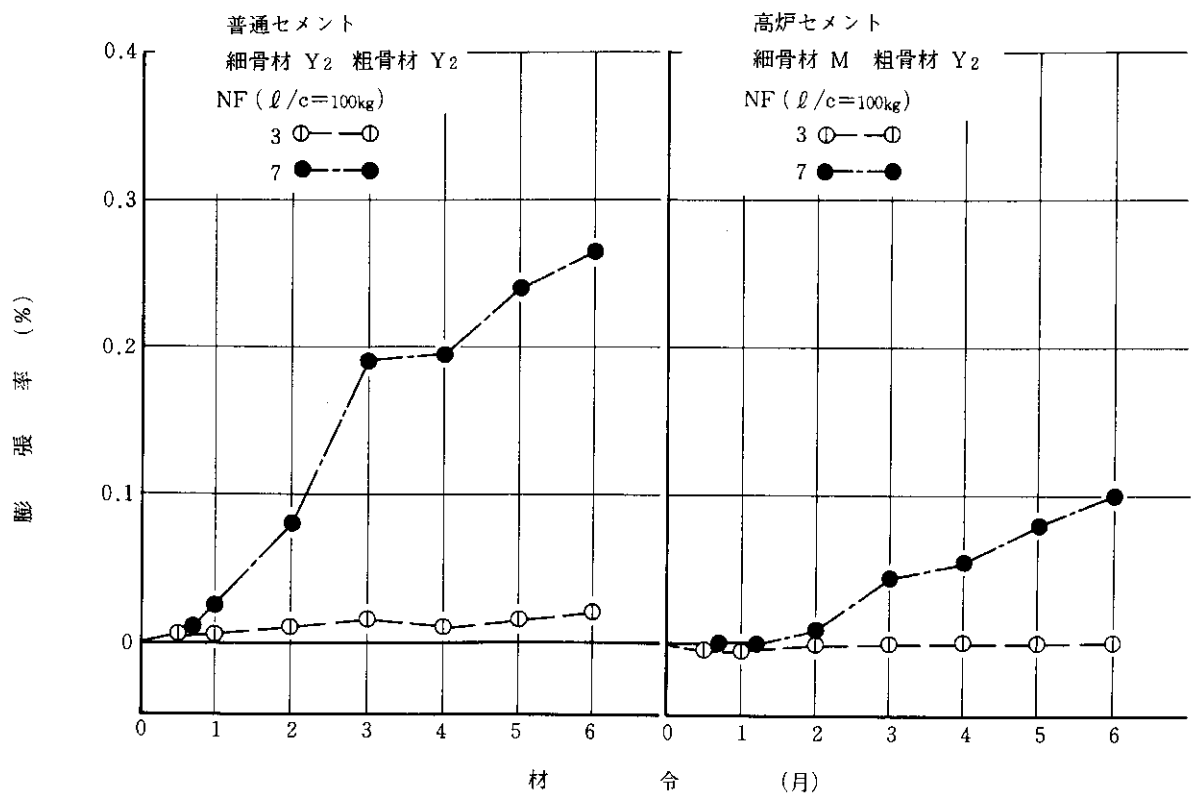
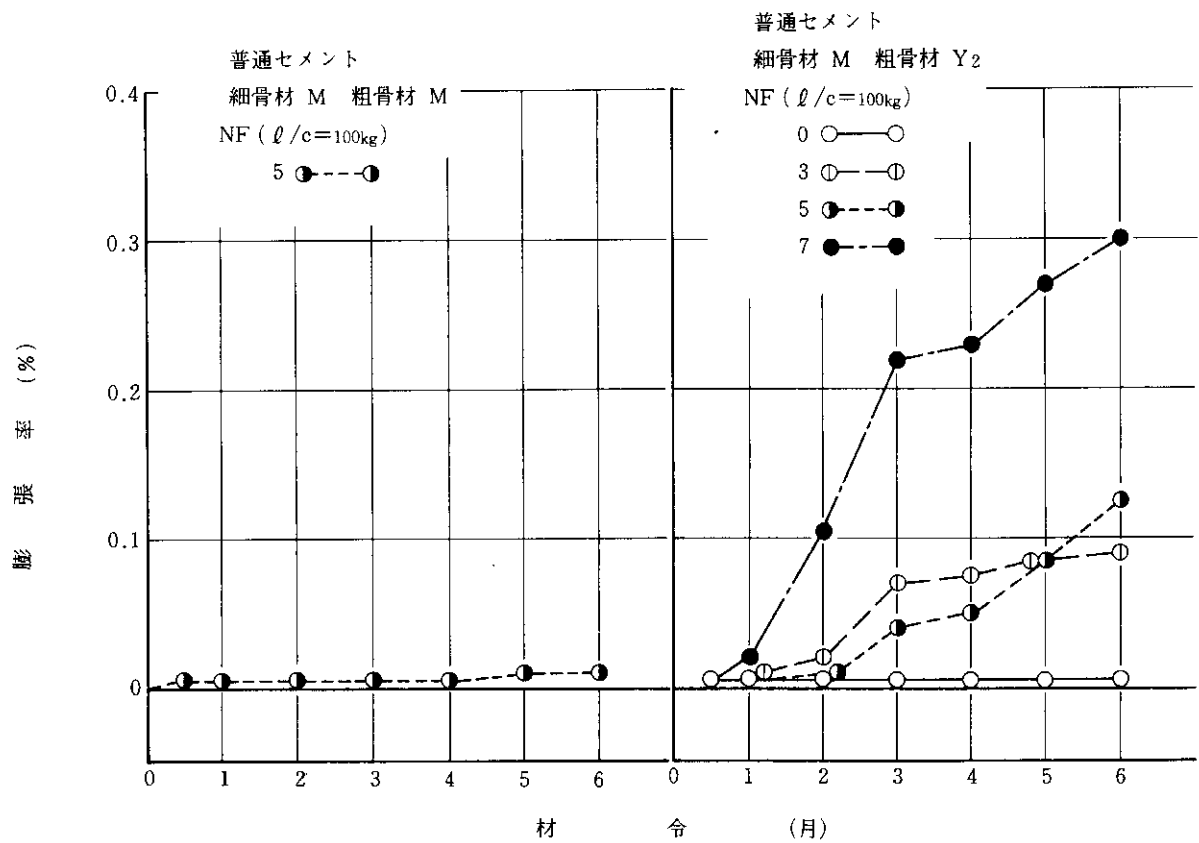


図-11 材令と膨張率の関係

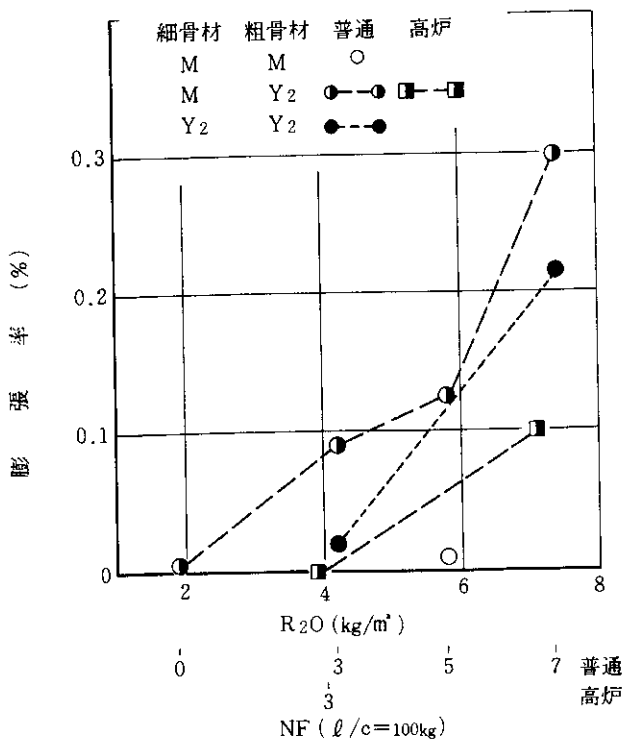


図-12 アルカリ総量と膨張率の関係

用供試体の製作はφ10×20cmの円柱の、凍結融解試験および気泡組織測定用は10×10×40cmの角柱の鋼製型枠を用いて行った。製作終了後、ブロック供試体においては、NF使用量0ℓでは材令7日で、NF使用量3, 5ℓでは材令3日で脱型し、シートを取りはずした。円柱および角柱供試体においては、標準養生では20℃の湿気養生に約24時間おいた後に脱型し、試験時まで水中養生を行い、現場養生ではブロック供試体と同じ場所におき、作製から3日後に脱型しビニールに密封した。

ブロック供試体からのコア供試体の採取は、圧縮強度試験用についてはコア採取機によりφ10×20cmの円柱供試体を、凍結融解試験用については切断機により10×10×40cmの角柱供試体を所定材令で行った。

コンクリート内の温度測定は、所定の位置に測温体を埋設し、自記温度記録計により行った。

圧縮強度試験は、JIS A 1108に従って所定の材令で行った。

凍結融解試験は、土木学会規準のコンクリートの凍結融解試験方法(案)に従って行った。

気泡組織は、材令14日で供試体を2cm間隔で切断し、この切断した試料を研磨、表面処理した後、画像処理装置により気泡を測定した。なお、気泡の測定範囲は80×

表-17 細骨材試験結果

産地 種類	比重	吸水率 (%)	単位 容積重量 (kg/m ³)	実積率 (%)	洗い 損失量 (%)	有機 不純物	安定性試験 損失量 (%)	塩分 含有量 (%)	粒度分布 (残留率%)						粗粒率
									5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
静内川 産砂	2.69	1.91	1,760	66.9	1.90	合格	1.9	0.001	0	14	34	56	81	96	2.81

表-18 粗骨材試験結果

産地 種類	比重	吸水率 (%)	単位 容積重量 (kg/m ³)	実積率 (%)	洗い 損失量 (%)	すりへり 損失量 (%)	安定性試験 損失量 (%)	粒度分布 (残留率%)						粗粒率	
								30	25	20	15	10	5		2.5
静内川 産砂利	2.75	1.04	1,720	63.2	0.33	15.0	7.7	0	2	34	56	81	97	100	7.12

表-19 コンクリートの配合

水セメント比 w/c (%)	NF使用量 ℓ/c= $\frac{\text{kg}}{100}$	細骨材率 s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)					
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤量 (ℓ)	
							NF	AE-775
45	3	41	139	309	775	1,141	9.27	0.618
	0	42	145	290	794	1,121	*0.725	0.116
	3	42	140	280	803	1,134	8.40	0.420
	5	42	133	266	817	1,153	13.30	0.452

注) 1) AE減水剤

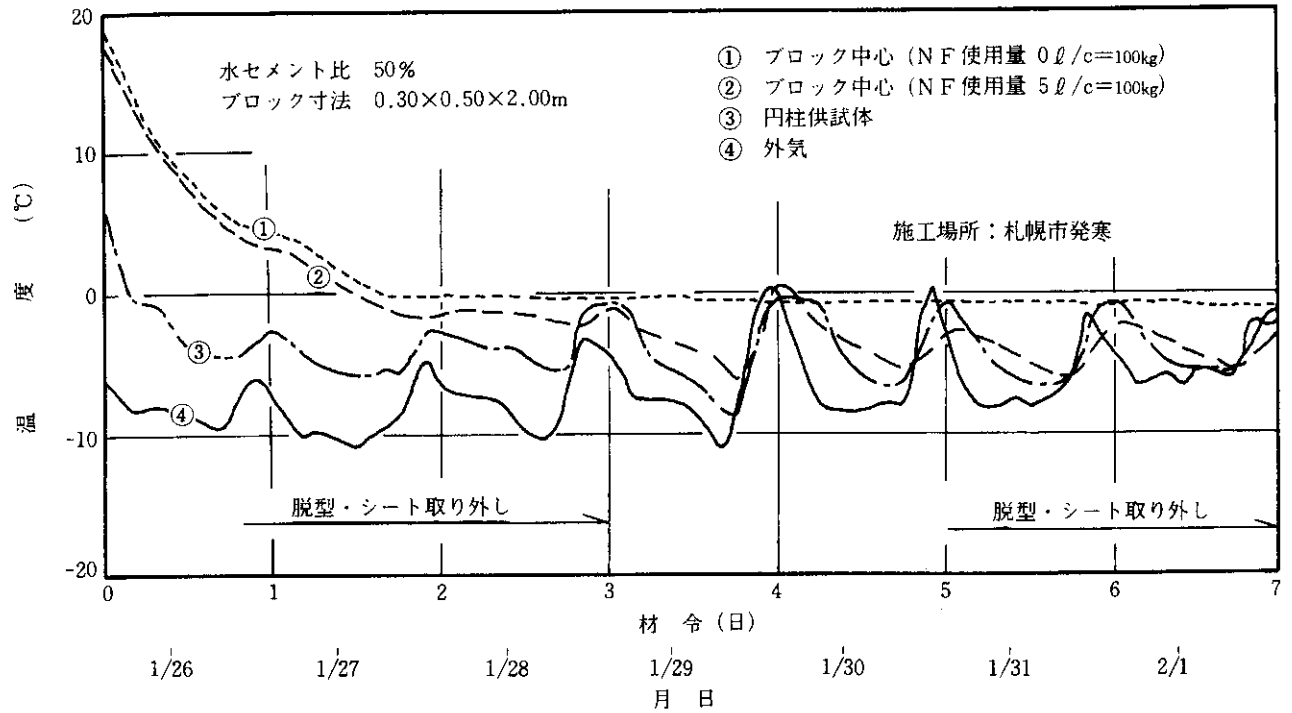
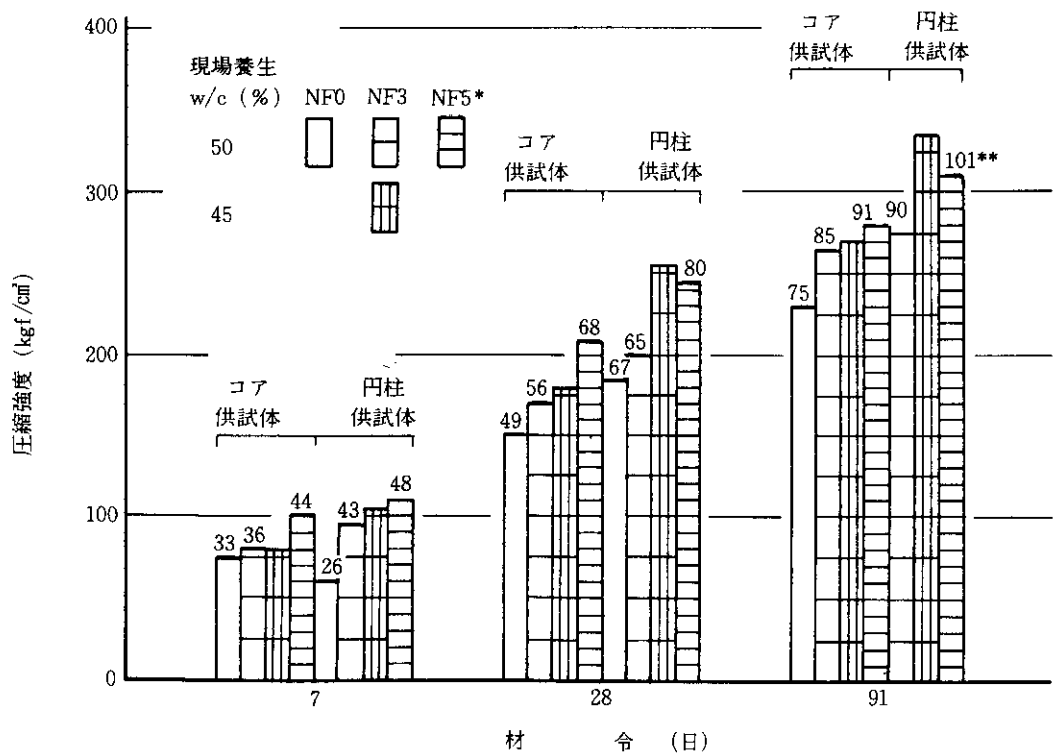


図-13 コンクリートの温度履歴 (昭和63年1月25日～2月1日)



* 単位 $l/c=100kg$

** NF0* 標準養生に対する強度比, ただし, 材令91日は材令28日のNF0* 標準養生に対する比

図-14 材令と圧縮強度の関係度

80mmとした。気泡の測定は15～800 μ m間の小気泡測定 (1画面を2.87mmとして300画面を測定し, その測定範

囲は18%)と800～2,300 μ m間の大気泡測定 (1画面を22.47mmとして測定範囲全体を測定)に分割して行い,

この測定したデータを統合し、15~2,300 μ mの気泡径を対象としてパラメータを求めた。

5.4 試験結果と考察

5.4.1 コンクリートの配合

ブロック供試体の作製に用いたコンクリートの配合は

表-19に示すように、スランプ 8 \pm 2.5cm、空気量 6 \pm 1%を目標として決定した。水セメント比50%において、単位水量はNF使用量が多くなると減少したが、所定の空気量を得るために必要なPAEの量は逆に増加し、NF使用量 0 ℓ の3.3~6.5倍となった。

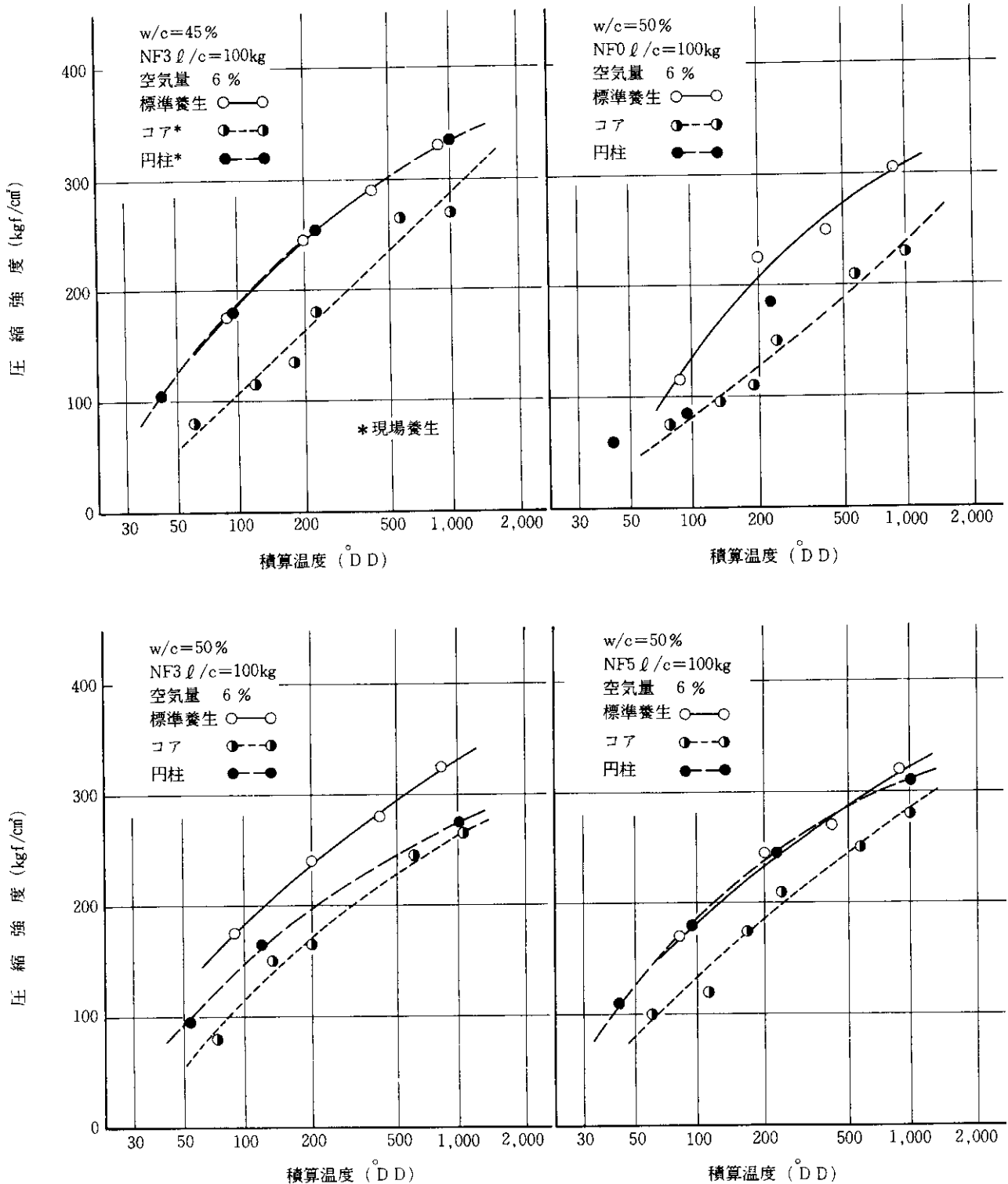


図-15 積算温度と圧縮強度の関係

5.4.2 コンクリートの温度履歴

図-13に、ブロック供試体コンクリートの温度履歴を示す。コンクリート打設からブロック供試体をシートで覆っていた期間では、外気温の低下によるブロック供試体温度の変化が小さく、コンクリート中心で1~2℃であった。しかし、脱型、シート取りはずし以後では外気温の温度サイクルと同様なものとなった。また、ブロック供試体中心の材令7日までの平均温度と外気の材令7日までの平均温度の差は、材令3日で取りはずしたもので3.9~5.4℃、材令7日でシートを取りはずしたもので7.8℃となった。

5.4.3 圧縮強度

1) 材令と圧縮強度の関係

材令と圧縮強度の関係を図-14に示す。ブロック供試体から採取したコア供試体、現場養生の円柱供試体とも材令の経過に伴い強度の増加が顕著である。現場養生の円柱供試体において、水セメント比が50%、NF使用量5ℓでは材令28日でNF使用量0ℓ、標準養成の80%、材令91日で100%以上と61年度の室内試験と同様な値となった。しかし、ブロック供試体から採取したコアにおいては、水セメント比50%では現場養生のものよりも材令28日で29~39kgf/cm²、材令91日で14~29kgf/cm²小さかった。現場養生の円柱供試体では、ビニールで封かんしたため、コンクリートが乾燥しなかったが、コア供試体から採取したブロック供試体では、脱型およびシートの取りはずしを材令3日で行い、外気にコンクリートをさらし乾燥させた。その結果、コア供試体の水和反応が現場養生の円柱供試体のそれより少なくなり、コア供試体の方の強度が小さくなったものと思われる。また、NF使用量が多くなると現場養生の円柱供試体とコア供試体の強度差が大きくなった。NFを使用することにより、コンクリートの水和反応が促進させるということがこれまでの研究で明らかになっている。NF使用量が増すと、水和に必要な水が多くなる。しかし、本実験のブロック供試体では、コンクリートの乾燥により水和に必要な水が十分供給できなかった。特に、NF使用量が多い場合その影響が顕著になり、大きな強度差が生じたものと思われる。なお、NF使用量0ℓでブロック供試体から採取したコアと現場養生の円柱供試体の強度の差が小さかったのは脱型、シートの取りはずしを材令7日で行い、この結果、7日間における外気の最低気温が-10.9℃であったにもかかわらず、コンクリートの中心部温度が最低で-0.8℃とコンクリートが凍結をほとんど受けなかったことによるものと思われる。

3) 積算温度と圧縮強度の関係

土木学会の標準示方書において、寒中コンクリートの養生管理を行う場合、積算温度と圧縮強度とは養生温度

が異なってもよい相関を示すことが認められているとして、積算温度より強度を推定してもよいとしている。この手法が、NFを用いた現場養生のコンクリートを氷点下で養生した場合にも適用可能であるかを検討した。図-15は積算温度と圧縮強度の関係を示したもので、現場養生の円柱供試体では、水セメント比が45%、NF使用量が3ℓおよび水セメント比が50%、NF使用量が5ℓの配合で標準養生の曲線式と同じ関係になった。しかし、ブロック供試体から採取したコアでは、いずれの配合でも標準養生および現場養生の円柱供試体より同一積算温度で小さかった。図-16は、積算温度90°DDにおける標準養生の強度に対する現場養生の円柱供試体の強度の比を示したものである。なお、図-16の横軸は単位水量当たりのNF使用量を表わしている。この図が示すように、NF使用量が増加すると圧縮強度比も増加し、NF使用量6.7ℓ/w=100kg (NF使用量3ℓ/c=100kg, w/c=45%)で強度比は100%以上となり、61年度に行った室内試験結果と同様な結果となった。これらのことから、コンクリートをビニールなどで十分覆ったものについては、NF使用量3ℓでは水セメント比が45%、NF使用量5ℓでは水セメント比が50%より小さければ、積算温度と圧縮

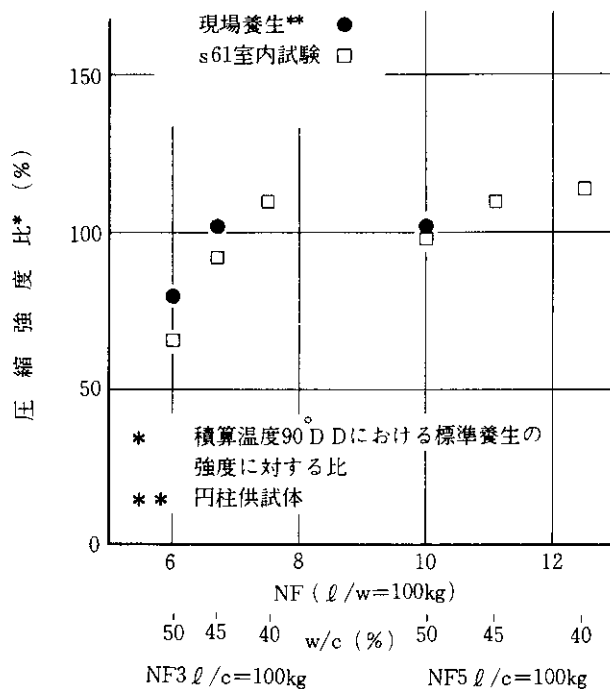


図-16 NF使用量と圧縮強度比の関係

強度の関係から強度を推定する手法を用いることができると考えられる。

5.4.4 耐凍害性

ブロックより採取したコア供試体について、凍結融解試験を行った結果を図-17に示す。この図が示すように、NF使用量が多くなると凍結融解サイクルに伴う相対動

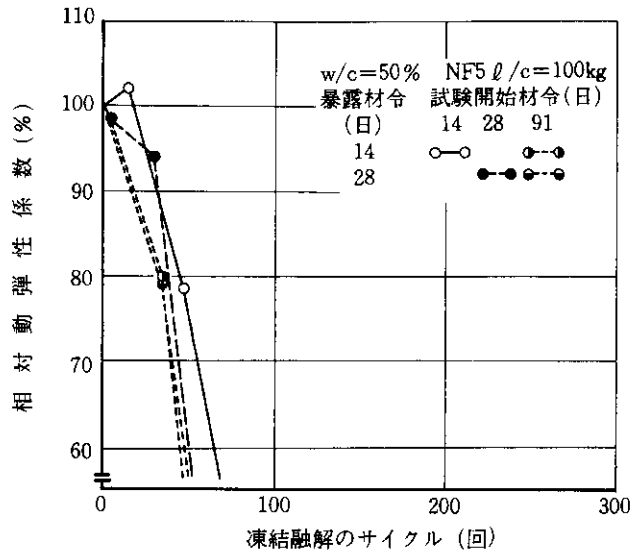
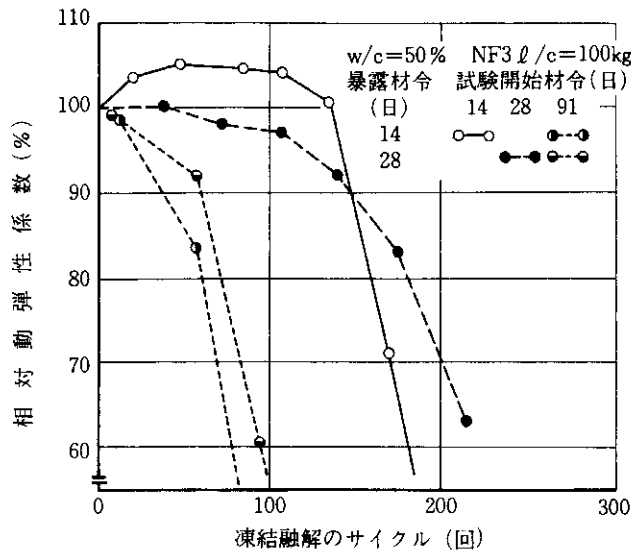
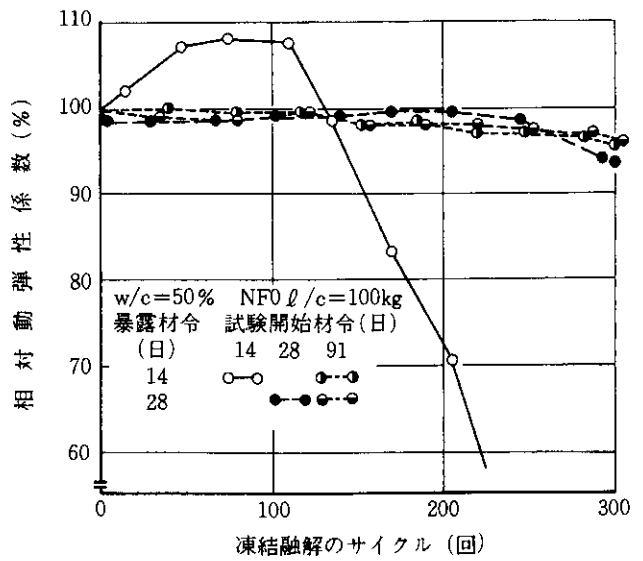
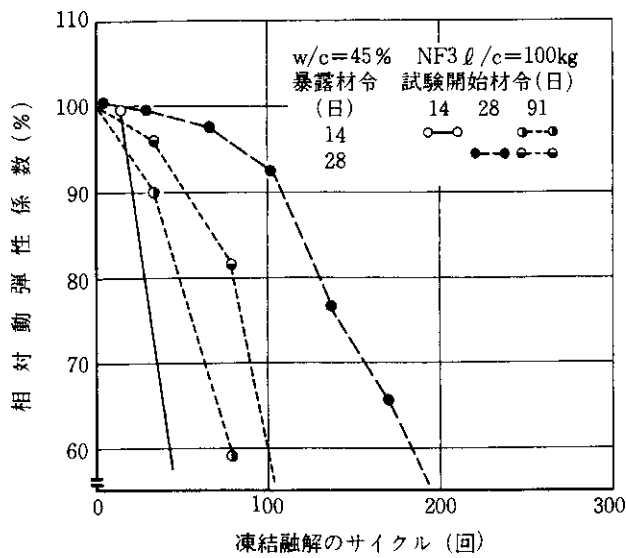


図-17 凍結融解試験結果

弾性係数の低下が大きくなり、NF使用量5 l では凍結融解のサイクルが47~66回で相対動弾性係数が60%以下となった。また、凍結融解開始材令が長くなるとNF使用量0 l では相対動弾性係数の低下が小さくなり、材令91日で凍結融解のサイクルが300回における相対動弾性係数は96%であった。しかし、NF使用量5 l では低下傾向にあまり差が認められなかった。

図-18に、凍結融解開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係を示す。NF使用量0 l においては、強度の増加に伴い耐久性指数は増加し、圧縮強度152kgf/cm²で耐久性指数は90%以上となった。また、材令14日および28日より暴露した試験開始材令91日の耐久性指数は試験開始材令28日の耐久性指数より若干大きくなり、暴露の影響がなかった。NF使用量3 l においては、強度増加に伴う耐久性指数の増加が試験開始材令14日から28日では小さ

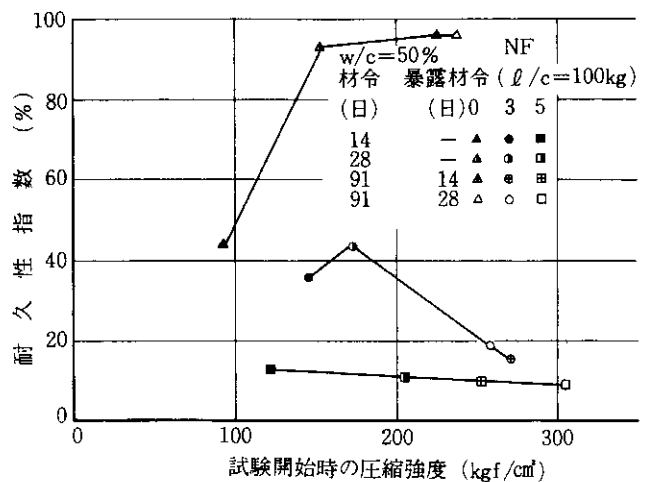


図-18 凍結融解開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係

く、試験開始材令91日では逆に低下し耐久性指数が16~19%となった。NF使用量5ℓにおいては、強度が増加しても耐久性指数は若干低下した。このように、NF使用量3ℓおよび5ℓでは強度が増加したにもかかわらず試験開始材令91日の耐久性指数は小さく、暴露したことによる影響があったと思われる。また、凍結融解開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係においても、NF使用量が多くなると耐久性指数が小さくなった。これは、NF使用量0ℓにおいては圧縮強度のところでも述べたように、ブロック供試体が凍害をほとんど受けなかったこと、さらに、材令7日のブロックより採取したコア供試体の強度が72.8kg f/cm²あり、この強度は土木学会のコンクリート標準示方書「施工編」で凍害を受けることが少ないとされている強度40kg f/cm²（コンクリートが水にぬれても激しい気象作用を受けない環境の場合）以上であったことなどによるものであると思われる。それに対して、NF使用量3ℓおよび5ℓでは、前述したように、材令3日でブロック供試体の脱型、シート取りはずしを行い、外気にコンクリートをさらしたことにより水和反応が不十分になり、さらに、耐凍害性を損なうような欠陥をコンクリートに生じさせたことによるものであると思われる。このことについては、今後さらに検討する考えである。

6. まとめ

耐寒剤、ノンフリーズ（NF）が鉄筋の腐食およびアルカリ骨材反応に及ぼす影響を調べるための試験ならびに現場施工実験を行った。得られた結果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) オートクレープ養生による促進試験において、NFを用いてもまったく鉄筋にさびの発生が認められなかった。同様に、定電流分極試験においても、さびを発生させるような電位の低下がなかった。また、自然電極電位試験において、NFを用いたものは電位が若干低下することもあったが、さびの発生はまったく認められなかった。これらのことから、NFはコンクリート中の鉄筋の腐食に対し悪影響を与えず、なんら使用上問題がないと考えられる。
- (2) モルタルバー法で有害となった骨材については、NFを使用するコンクリートには用いることができないと考えられる。また、潜在的有害でモルタルバー法で無害となる骨材でも、NF使用量が多くなるとアルカリ骨材反応の判定値以上の膨張量となることもある。そこで、そのような骨材の使用にあたっては、総アルカリ量で考えたモルタルバー試験結果から、骨材の使用について検討するなど、十分に注意して決めなければならないと思

われる。

(3) ビニールで封かんした現場養生の円柱供体の圧縮強度は、水セメント比50%、材令91日においてNF使用量0ℓ、標準養生、材令28日の強度と同等以上になった。また、NF使用量3ℓでは水セメント比が45%、NF使用量5ℓでは水セメント比が50%より小さければ積算温度と圧縮強度の関係から強度を推定できると考えられる。これは、60年度に行った室内試験と同様な結果であった。しかし、ブロック供試体より採取したコア供試体の圧縮強度は、現場養生の円柱供試体よりも小さかった。同様に、ブロック供試体より採取したコア供試体の凍結融解試験において、NF使用量が多くなると耐久性指数が小さくなり、NF使用量5ℓでは耐久性指数が10%程度となった。これは、初期材令で外気にコンクリートをさらしたことにより、耐凍害性を損うような欠陥をコンクリートに生じさせたことによるものと考えられる。

7. あとがき

以上、耐寒剤を用いたコンクリートは鉄筋の腐食に対して問題がなかった。また、ビニールで封かんした現場養生の供試体は、室内試験と同様な強度発現が得られることが明らかとなった。しかし、現場実験のコンクリートにおいて、初期材令で寒風にあて乾燥させたものは、強度および耐凍害性が劣った。また、潜在的有害でアルカリ骨材反応が起こらない場合であっても、NF使用量が多くなるとアルカリ骨材反応の危険性が増すという問題点もあった。今後、これらの問題点に関して明らかにするため、現場実験の一部のものについて、強度および耐凍害性が劣ったことに対する原因究明と、あわせて、反応性骨材に対応した耐寒剤の開発およびその特性について検討していく考えである。

最後に、本研究の計画と実施にあたり、前材料研究室長 大橋 猛氏に御指導をいただいた。また、アルカリ骨材反応に関する試験では材料研究室の中井俊英研究員に、気泡分布を始めとする諸試験では斉藤敦志研究員に協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 児玉和巳, 御所窪邦男, 能町 宏, 岡沢 智; 寒冷特殊混和剤ANF-28を用いたセメント硬化体の組織構造と強度発現性について, 日曹マスタービルダー株式会社研究所所報No.6, pp. 13-23, 1983年.
- (2) 渡辺 宏, 大橋 猛, 秀島節治, 梅沢健一; 耐寒剤を利用した寒中コンクリートの合理化に関する研究(その2), 土木試験所月報No.414, pp. 14-38 1987年11月.