

## 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)

Study on Simplification of Winter Concreting using  
the New Type Antifreeze Admixtures (II)

渡辺 宏\* 大橋 猛\*\*  
秀島 節治\*\*\* 梅沢 健一\*\*\*\*

Hiroshi WATANABE, Takeshi OHASHI  
Setsuji HIDESHIMA and Ken-ichi UMEZAWA

寒中コンクリートの合理的な施工の方策として、種々な方法がとられてきたが、問題点も少なくない。最近、無塩化形で低温時にもコンクリートの強度発現を可能とする混和剤(耐寒剤)が日曹マスタービルダーズ(株)より開発され、コンクリート研究室では昭和60年度より同社と「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」について共同研究を実施しているが、 $-5^{\circ}\text{C}$ の低温下においても所定の強度・耐凍害性を確保できることなどが明らかとなった。

現場への適用を図る目的で、耐寒剤使用コンクリートの施工性、強度特性、耐凍害性に関する試験結果のとりまとめと、あわせて使用基準について検討した。

その結果、耐寒剤使用コンクリートを流動化しても強度、耐凍害性に対してなんら問題ないこと、また、耐寒剤の使用基準としては、平均気温 $-3\sim-7^{\circ}\text{C}$ において普通ポルトランドセメントの場合では、水セメント比45%で $3\text{ l/c}=100\text{ kg}$ または水セメント比50%で $5\text{ l/c}=100\text{ kg}$ とし、養生終了時の圧縮強度は $200\text{ kg f/cm}^2$ 以上とするなどを提案した。《寒中コンクリート；混和剤；圧縮強度；耐凍害性》

Various methods of winter concreting are in use, but all have disadvantages. Recently a non-chloride antifreeze admixture was developed, and with this admixture, the strength of concrete develops at low temperatures. Our laboratory and Nisso Master Builders Co., Ltd. have carried out joint research on the "Study on Simplification of Winter Concreting using the New Type Antifreeze Admixtures" since 1985. It was found that concrete using this admixture reaches required strength and resistance to freezing and thawing at temperatures of  $-5^{\circ}\text{C}$ .

To apply this to cast-in-place concrete, research of performance, strength, and resistance to freezing and thawing was arranged, and standards for using this admixture was investigated.

It was found that flowing concrete using antifreeze admixture has adequate strength and resistance to freezing and thawing. The proposed standard is: with normal portland cement, the dosage of admixture is  $3\text{ l/c}=100\text{ kg}$  for a water cement ratio of 45% or  $5\text{ l/c}=100\text{ kg}$  for a water cement ratio of 50% at a mean temperature of  $-3^{\circ}\text{C}\sim-7^{\circ}\text{C}$  and compressive strength above  $200\text{ kg f/cm}^2$  after curing.

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

\*コンクリート研究室主任研究員 \*\*同室長 \*\*\*日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所長 \*\*\*\*同所課長補佐

## 1. ま え が き

コンクリートは、温度の低下とともに強度発現が緩慢になり初期凍害を受けると硬化コンクリートの諸性質に対する悪影響が将来にわたって残る。一般に施工されている寒中コンクリートは、凍害を受けない強度に達するまで保温養生・給熱養生などの養生を実施しているが、養生の最低限度、養生条件確保に必要な仮設工作物など、設備と保温費、適切な熱管理の程度など問題点も少なくない。また、硬化促進剤を使用して養生期間を短縮する方法も行われているが、その主成分が塩化物であるものが多く、長期強度・耐久性の低下、鉄筋を腐食させるなどの弊害が認められている。

最近、無塩化形で低温時にもコンクリートの強度発現を可能とする混和剤（耐寒剤）が日曹マスタービルダーズ㈱（以下日曹と略称）により開発され、コンクリート研究室では、昭和60年度より同社と「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」について共同研究を実施しているが、 $-5^{\circ}\text{C}$ の低温下においても所定の強度・対凍害性を確保できることなどが明らかとなった。

本研究は、耐寒剤を用いたコンクリートの施工性・強度特性・耐凍害性などに関する試験結果のまとめと、あわせて耐寒剤の使用基準について検討したものであり、現場への適用を図ることを目的としたものである。

## 2. 研究の概要

本試験は、「流動化に関する検討」、「強度・耐凍害性に関する検討」に分けて実施し、前者ではスランプ低下の復元およびスランプ低下を防止する目的で用いた流動化コンクリートのスランプ・空気量の経時変化、圧縮強度・凍結融解試験、気泡組織について試験を行い、低温下における流動化コンクリートの強度特性、耐凍害性について検討した。後者は圧縮強度・凍結融解試験、細孔分布の測定を行いセメントの種類、耐寒剤使用量、水セメント比が低温下において強度特性、対凍害性に及ぼす影響について検討した。最後に「NF使用量基準の検討」を昭和60、61年度に実施した試験結果を基に行った。

## 3. 流動化に関する検討

### 3.1 試験計画

流動化による強度特性および耐凍害性について検討するために、表-1に示す計画に従って試験を実施した。

### 3.2 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント（日本セメント㈱製、以下、普通セメントと略す）を使用した。この

物理試験結果を表-2に示す。

細骨材は静岡県大井水系陸砂、粗骨材は東京都青梅産硬質砂岩砕石を使用した。これらの試験結果を表-3、4に示す。

混和剤は、ベースコンクリートとして耐寒剤であるノンフリーズ（以下、NFと略す）を使用し、あわせて特殊コンクリート用空気量調整剤PAE（以下、PAEと略す）を用いた。流動化剤として標準形NP（以下、NPと略す）を使用した。

### 3.3 試験方法

コンクリートの練り混ぜは100ℓの可傾式ミキサーを使用し、全材料投入後3分間練り混ぜ、図-1に示すフローチャートに従って流動化、スランプ・空気量の経時変化、供試体作成を行った。

冷却養生は、図-2に示す養生温度履歴で行った。

各種試験は、関連JISあるいはASTM規格に従って実施した。

### 3.4 試験結果と考察

#### 3.4.1 フレッシュコンクリートの諸性質

##### 1) 配合試験

試験計画に従って決定したコンクリートの配合を表-5に示す。NFの使用量が $3\text{ℓ}/\text{c}=100\text{kg}$ と $5\text{ℓ}/\text{c}=100\text{kg}$ （以下、 $3\text{ℓ}$ 、 $5\text{ℓ}$ と略す）では、単位水量の差はいずれの水セメント比においても $9\text{kg}/\text{m}^3$ （単位水量の約6%に相当）となった。

また、所定空気量を得るために必要なPAEの使用量は、水セメント比が小さいほど、NFの使用量が多いほど増加する傾向を示し、水セメント比40%でNF $5\text{ℓ}$ の場合特にその使用量増加の程度は大きく、水セメント比45%でNF $5\text{ℓ}$ の約2.5倍となった。

##### 2) スランプ、空気量の経時変化に対する流動化剤の適用

図-3、4にコンクリートの練り混ぜ後のスランプ、空気量の経時変化を示す。経時におけるスランプの変化は、水セメント比が小さくなるほど、また、NFの使用量が多いほどスランプの低下量は大きくなる傾向を示し、水セメント比40~50%、NFの使用量3~5ℓで経時30分後におけるスランプの低下量は約5~7cm程度であった。経時における空気量の変化は、水セメント比およびNF使用量に関係なく経時30分後において0.5~1.0%程度であった。

経時により低下したスランプの復元を流動化剤の現場添加で、また、スランプ低下の防止を流動化剤のふりかけ添加で行った場合、水セメント比が小さくNF使用量が多い配合ほど所要スランプを得る流動化剤の使用量は

表一1 ノンフリーズを用いたコンクリートの諸性状に関する実験計画（流動化に対する検討）

| セメントの種類      | 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランプの範囲 (cm) |      | 空気量の範囲 (%) |      | 水セメント比 (%) | 前置時間 (hr) | 環境温度 (°C) | 混和剤              |          | 試験項目   |        |     |      |     |      |     |     |     |   |   |   |   |
|--------------|---------------|--------------|------|------------|------|------------|-----------|-----------|------------------|----------|--------|--------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|---|---|---|---|
|              |               | ※1 流動化後      |      | ※1 流動化後    |      |            |           |           | 使用量 (kg/c=100kg) | 流動化剤添加方法 | 圧縮強度   |        |     | 凍結融解 |     | 気泡組織 |     |     |     |   |   |   |   |
|              |               | 直後           | 流動化後 | ベース        | 流動化後 |            |           |           |                  |          | 7日     | 14日    | 28日 | 56日  | 91日 | 14日  | 28日 | 14日 | 28日 |   |   |   |   |
| 普通ポルトランドセメント | 25            | 12±1         | 12±1 | 5±1        | 5±1  | 40         | 6         | -5 (A)    | ノンフリーズ           | 3        | ※1 NPの | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ |   |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | 現場添加   | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 3        | (30分後) | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | (60分後) | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 3        |        | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | ※3 ベース | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              | 25            | 12±1         | 12±1 | 5±1        | 5±1  | 45         | (5°C)     | 6         | -5 (A)           | ノンフリーズ   | 3      | NPの    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  |          | 5      | 現場添加   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  |          | ※2 5   | (30分後) | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  |          | 3      |        | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  |          | 5      |        | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  |          | 5      | (60分後) | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 25           | 12±1          | 12±1         | 5±1  | 5±1        | 50   |            | 6         | -5 (A)    | ノンフリーズ           | 3        | ※1 NPの | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ |   |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | ふりかけ   | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 3        | 添加     | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | (30分後) | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 3        |        | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ |   |
|              |               |              |      |            |      |            |           |           |                  | 5        | NPの    | ○      | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |

注1) ※1 現場添加 ; ベースコンクリートを練り混ぜたのち30分後にNPを現場添加し所要のスランプに復元。  
 ※2 5°Cに設定される条件を+2~-15の場合と同一にする。  
 ※3 練り混ぜ直後。  
 2) 標準養生の圧縮強度は材令7, 28日とする。また、気泡分布についても測定する。  
 3) 練り混ぜ直後。

増比 3. 表 1 a 図 ンクした件、びふコンする温下動化コン b 水は図した積算 3 れめた比お高い C 表 量が空気 5 の範囲とし

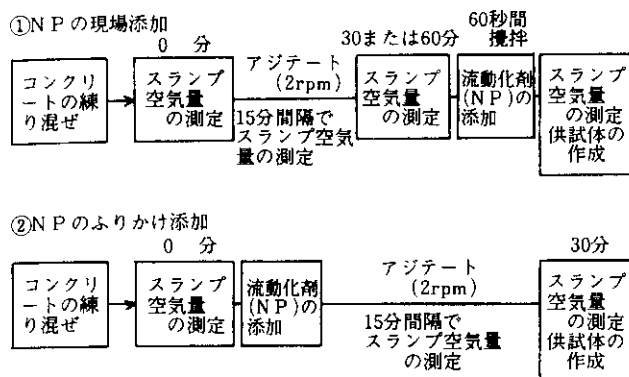


図-1 経時変化および流動化の流れ図

増大している。なお、ふりかけ添加の場合、現場添加に比べ流動化剤の使用量が約1.3倍程度増加した。

### 3.4.2 硬化コンクリートの諸性質

表-6に硬化コンクリートの諸性質を示す。

#### 1) 圧縮強度

##### a) 流動化による影響

図-5に水セメント比45%でNFを使用したベースコンクリートと流動化コンクリートの圧縮強度の比較を示したが、流動化コンクリートの圧縮強度は、養生温度条件、NFの使用量および流動化剤の添加方法（現場およびふりかけ添加）に関係なく、通常の場合と同様ベースコンクリートとほぼ同等であった。また、標準養生に対する圧縮強度比で比較した場合、表-7に示すとおり低温下においてもNFを使用したコンクリートであれば流動化剤の使用はなんら悪影響を及ぼすことなく、ベースコンクリートとほぼ同程度の強度発現性状を示した。

##### b) 積算温度と圧縮強度の関係

水セメント比45%における積算温度と圧縮強度の関係は図-6に示すとおりで、NFを使用し、さらに流動化したコンクリートにおいても、NF使用量5ℓでは同一積算温度でベースコンクリートと強度に差がなく、NF3ℓでは若干上まわっていた。また、両者の関係より求めた回帰式を表-8に示したが、養生条件、水セメント比およびNF使用量別の相関係数が0.991~1.000と高い関係が認められた。

##### c) 気泡組織

表-9に示すとおり、フレッシュコンクリートの空気量が5.0~5.8%であるのに対し、硬化コンクリートの空気量は2.8~5.0%と約1~2%小さい値を示した。

また、気泡間隔係数は一部を除きほぼ150~250μmの範囲にあり、凍結融解に対する抵抗性を判断する指標としては良好な気泡組織であると判断される。

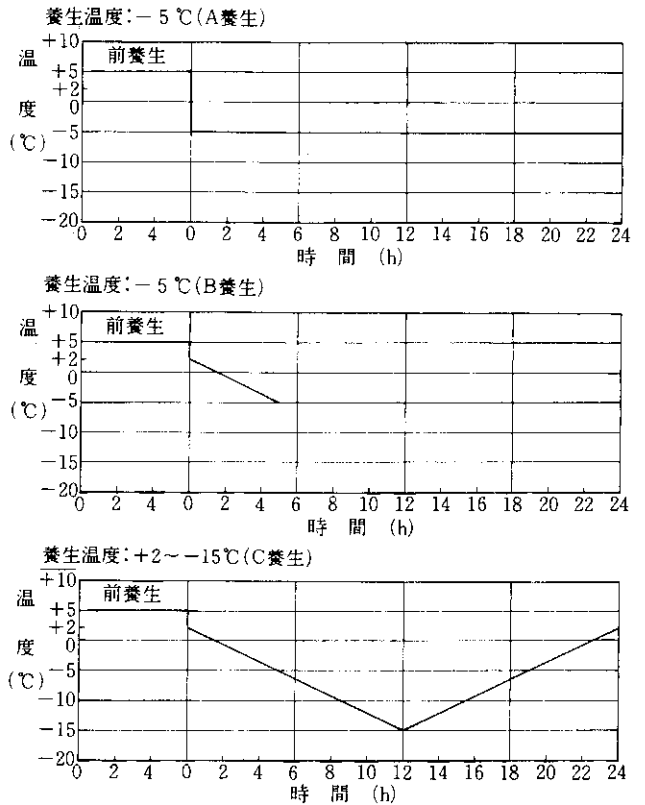


図-2 養生温度履歴

図-7は水セメント比45%、NF使用量3ℓのベースおよび流動化コンクリート（ふりかけおよび現場添加）の気泡分布であるが、いずれの場合でも気泡数のピークは気泡径が50μm前後と良好であり、流動化することによる気泡分布への悪影響はないものと考えられる。

##### d) 凍結融解

水セメント比45%におけるベースおよび流動化コンクリートを比較した場合、図-8に示すように、いずれの養生条件においてもベースコンクリートに比べ、流動化コンクリート（現場添加およびふりかけ添加）の耐久性指数は同等もしくはそれ以上であり、NFを用いたコンクリートに対する流動化剤の適用はなんら問題ないものと考えられる。

## 4. 強度・耐凍害性に関する検討

### 4.1 試験計画

強度・耐凍害性に関する試験を、表-10に示す計画に従って実施した。

### 4.2 使用材料

セメントは、普通セメント、高炉B種セメント（日鉄セメント㈱製以下、高炉セメントと略す）を使用した。この物理試験結果を表-11に示す。

細骨材は苫小牧市錦岡産の海岸砂、粗骨材は函館市莪

※2 -5°Cに設定される条件を+2~-15°Cの場合と同一にする。また、気泡組織の●は気泡分布についても測定する。  
 ※3 練り混ぜ後。  
 2) 標準養生の圧縮強度は材令7, 28日とする。

表一2 セメントの品質試験結果

| 比重   | 比表面積<br>( $cm^2/g$ ) | 凝結時間(時間一分) |      | 安定性  | 圧縮強さ( $kgf/cm^2$ ) |     |     | 酸化マグ<br>ネシウム<br>(%) | 三酸化<br>硫黄<br>(%) | 強熱減量<br>(%) |     |
|------|----------------------|------------|------|------|--------------------|-----|-----|---------------------|------------------|-------------|-----|
|      |                      | 水量(%)      | 始発   |      | 終結                 | 3日  | 7日  |                     |                  |             | 28日 |
| 3.16 | 3200                 | 28.0       | 2-30 | 3-52 | 良                  | 146 | 242 | 414                 | 1.6              | 2.0         | 0.9 |

表一3 細骨材の物理試験結果

| 産地・種類          | 表乾<br>比重 | 吸水率<br>(%) | 洗い<br>損失量<br>(%) | 有機不<br>純物 | 粘土塊<br>量<br>(%) | 安定性<br>(%) | 塩分<br>含有量<br>(%) | 比重<br>1.95<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>( $kg/L$ ) | 実積率<br>(%) | 粒度分布 (残留率%) |     |     |     |     |      |      |
|----------------|----------|------------|------------------|-----------|-----------------|------------|------------------|-------------------|--------------------------|------------|-------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                |          |            |                  |           |                 |            |                  |                   |                          |            | 5mm         | 2.5 | 1.2 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |      |
| 静岡県大井<br>川水系陸砂 | 2.63     | 1.49       | 1.2              | 合格        | 0.1             | 2.0        | 0.001<br>以下      | 0                 | 1.76                     | 67.9       | 0           | 12  | 36  | 58  | 76  | 90   | 2.72 |

表一4 粗骨材の物理試験結果

| 産地・種類            | 最大<br>寸法<br>(mm) | 表乾<br>比重 | 吸水率<br>(%) | 洗い<br>損失量<br>(%) | 粘土塊<br>量<br>(%) | 安定性<br>(%) | 軟石量<br>(%) | すりへり<br>減量<br>(%) | 比重<br>1.95<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>( $kg/L$ ) | 実積率<br>(%) | 粒度分布 (残留率%) |    |    |    |    | 粗粒率 |      |
|------------------|------------------|----------|------------|------------------|-----------------|------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------|-------------|----|----|----|----|-----|------|
|                  |                  |          |            |                  |                 |            |            |                   |                   |                          |            | 25mm        | 20 | 15 | 10 | 5  |     | 2.5  |
| 東京都青梅産<br>硬質砂岩碎石 | 25               | 2.66     | 0.63       | 0.3              | 0               | 3.4        | 0          | 11.5              | 0                 | 1.65                     | 62.4       | 0           | 24 | 49 | 69 | 96 | 100 | 6.89 |

表-5 コンクリートの配合

| 水セメント比<br>w/c<br>(%) | NF使用量<br>(ℓ/c =<br>100kg) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |          |                                | 流動化剤 (ℓ/m <sup>3</sup> ) |                 |                 |               |
|----------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|-----------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                      |                           |                    | 水<br>W                     | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | 混和剤量 (ℓ/m <sup>3</sup> )<br>NF | PAE                      | 現 場 添 加<br>30分後 | 60分後            | ふりかけ<br>添 加   |
| 40                   | 3                         | 41                 | 164                        | 405       | 710      | 1,033    | 12.15                          | (60)<br>0.243            | (450)<br>1.82   |                 |               |
|                      | 5                         |                    | 155                        | 388       | 725      | 1,055    | 19.50                          | (100)<br>0.388           | (850)<br>3.30   | (1,000)<br>3.88 | (500)<br>1.80 |
| 45                   | 3                         | 42                 | 162                        | 360       | 745      | 1,040    | 10.80                          | (35)<br>0.126            | (400)<br>1.44   |                 |               |
|                      | 5                         |                    | 153                        | 340       | 761      | 1,063    | 17.00                          | (45)<br>0.153            | (450)<br>1.53   | (700)<br>2.38   | (600)<br>2.04 |
| 50                   | 3                         | 43                 | 160                        | 320       | 779      | 1,045    | 9.60                           | (30)<br>0.096            | (250)<br>0.80   |                 |               |
|                      | 5                         |                    | 151                        | 302       | 795      | 1,066    | 15.10                          | (35)<br>0.106            | (300)<br>0.91   |                 |               |

注 ( ) の単位は ml/c = 100 kg

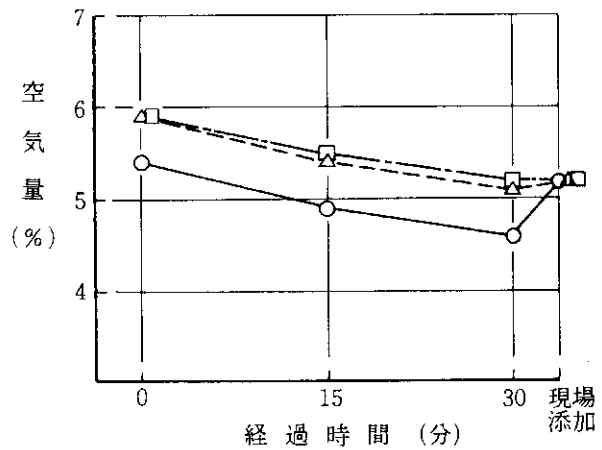
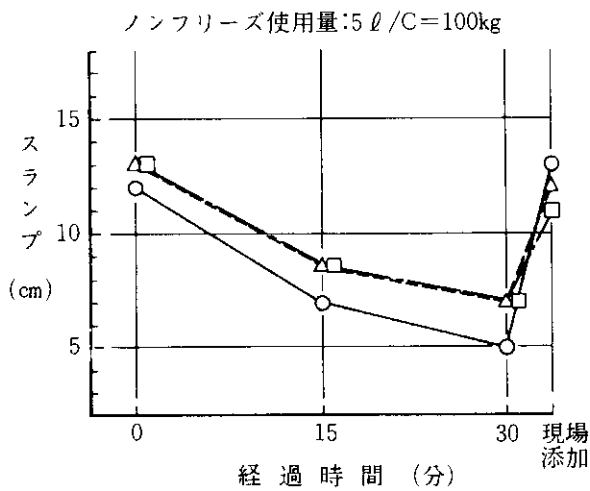
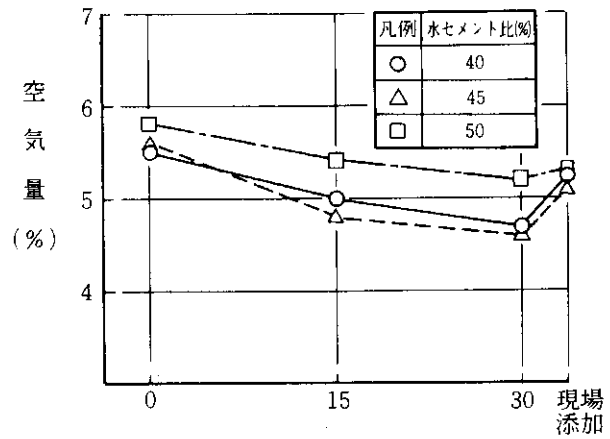
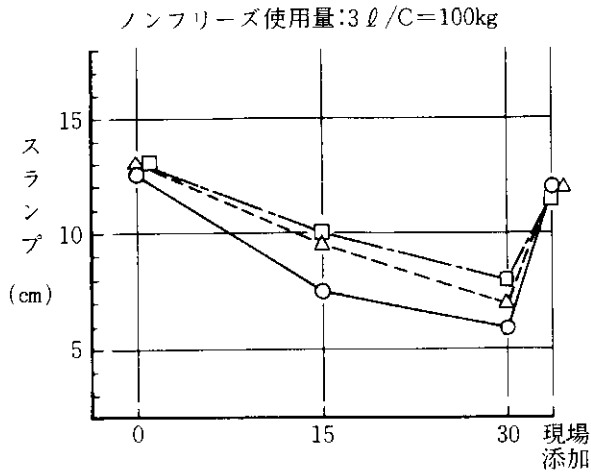


図-3 経過時間とスランプおよび空気量の関係

朗産の碎石を使用した。骨材の試験結果を表-12, 13に示す。

混和剤は、耐寒剤としてNFを使用し、比較のためAE減水剤標準形P（以下、AE減水剤と略す）を用いた。また、あわせてPAEを使用した。

#### 4.3 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、全材料投入後1.5分間練り混ぜた後供試体作成を行った。

供試体の-5℃養生は、5℃の恒温室に6時間前養生しその後-5℃の低温室で材令28日まで保存し、それ以上の材令91日について28日以降5℃とした。

各種試験は、関連JISあるいはASTM規格に従って実施したが、凍結融解試験ではあわせて供試体の残留膨張を測定して凍伸度を求めた。供試体の残留膨張の測定は、供試体の両端に真ちゅう製のボルトを埋込み、こ

れを標点としてダイヤルゲージ方法の長さ変化測定器によった。

$$\text{凍伸度 (DEF}_n) = (L_n - L_0) / L_0$$

ここで、 $L_0$ …凍結融解試験開始前の供試体の長さ

$L_n$ …凍結融解試験開始nサイクル後の供試体の長さ

また、細孔分布測定は、圧縮強度試験終了直後の供試体よりモルタルをはつとり、アセトン中で洗浄し、D-dry法で乾燥後、水銀圧入式ポロシメーター220型（カルロ・エルパ社）を用い、細孔半径38~100,000Åの測定をした。

#### 4.4 試験結果

##### 4.4.1 配合試験

コンクリートの配合は、表-14に示すとおりスランプ8±2.5cm・空気量5±1%を目標として決定した。単位水量は、NFの使用量が多くなると減少する傾向にあ





表-6 硬化コンクリートの諸性質

| 配合番号  | 水セメント比<br>W/C (%)  | ※1<br>環境温度<br>(°C)    | ※2<br>ノンフリーズ<br>使用量   | NP-20<br>添加方法<br>および時期 | 供試体<br>作成時<br>の<br>空気量<br>(%) | 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |              |              |             |             |              |              |              | 耐久性指数<br>D・F (%) |              | 硬化コ<br>ンクリ<br>ートの<br>空気量<br>(%) | 気泡間<br>隔係数<br>(μm) |
|-------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|---------------------------------|--------------------|
|       |                    |                       |                       |                        |                               | 標準養生                        |              | ※3<br>冷却養生   |             |             |              | ※4<br>開始材令   |              | 14日              | 28日          |                                 |                    |
|       |                    |                       |                       |                        |                               | 7日                          | 28日          | 7日           | 14日         | 28日         | 56日          | 91日          |              |                  |              |                                 |                    |
| II-1  | 40                 | -5<br>(A)             | 3                     | 現場添加<br>(30分後)         | 4.4                           | 340                         | 432          | 165<br>(49)  | 196         | 239<br>(55) | 393<br>(91)  | 450<br>(104) | 75           | -                | 3.5          | 201                             |                    |
| II-2  |                    |                       | 5                     |                        | 5.0                           | 383                         | 476          | 224<br>(58)  | 330         | 363<br>(76) | 512<br>(108) | 527<br>(111) | 104          | -                | 3.6          | 159                             |                    |
| II-3  |                    | +2<br>~<br>-15<br>(C) | 3                     |                        | 5.2                           | 357<br>(348)                | 424<br>(428) | 140<br>(39)  | 214         | 249<br>(59) | 396<br>(93)  | 428<br>(100) | 99           | -                | 3.9          | 159                             |                    |
| II-4  |                    |                       | 5                     |                        | 5.0                           | 401<br>(392)                | 495<br>(486) | 203<br>(51)  | 288         | 369<br>(75) | 494<br>(100) | 523<br>(106) | 104          | -                | 4.7          | 172                             |                    |
| II-5  |                    |                       | 5                     |                        | 5.5                           | 374                         | 461          | 198<br>(53)  | 276         | 342<br>(74) | 480<br>(104) | 526<br>(114) | 104          | -                | 4.1          | 172                             |                    |
| II-6  | 45                 | -5<br>(A)             | 3                     | ベース                    | 5.5                           | 301                         | 389          | 125<br>(42)  | 159         | 180<br>(46) | 314<br>(81)  | 360<br>(93)  | 29           | 55               | 4.0<br>[4.4] | 201<br>[186]                    |                    |
| II-7  |                    |                       | 5                     |                        | 5.8                           | 342                         | 420          | 180<br>(53)  | 250         | 283<br>(67) | 426<br>(101) | 454<br>(108) | 100          | -                | 4.5          | 193                             |                    |
| II-8  |                    | +2<br>~<br>-15<br>(C) | 3                     |                        | 5.0                           | 324                         | 407          | 97.8<br>(30) | 149         | 200<br>(49) | 332<br>(82)  | 356<br>(87)  | 48           | 76               | 4.0          | 171                             |                    |
| II-9  |                    |                       | 5                     |                        | 6.0                           | 333                         | 410          | 154<br>(46)  | 220         | 277<br>(68) | 397<br>(97)  | 427<br>(104) | 50           | -                | 5.1          | 184                             |                    |
| II-10 |                    | 現場添加<br>(30分後)        | -5<br>(A)             |                        | 3                             | 5.2                         | 311          | 409          | 136<br>(44) | 178         | 202<br>(49)  | 340<br>(83)  | 396<br>(97)  | 49               | 100          | 3.0                             | 191                |
| II-11 |                    |                       |                       |                        | 5                             | 5.3                         | 340          | 423          | 179<br>(53) | 253         | 289<br>(68)  | 411<br>(97)  | 441<br>(104) | 69               | -            | 3.8                             | 199                |
| II-12 |                    |                       | (B)                   |                        | 5                             | 5.3                         | 340          | 423          | 177<br>(52) | 247         | 290<br>(69)  | 403<br>(95)  | 423<br>(100) | 89               | -            | 3.2                             | 245                |
| II-13 |                    |                       | +2<br>~<br>-15<br>(C) |                        | 3                             | 4.9                         | 326<br>(318) | 394<br>(402) | 101<br>(31) | 153         | 215<br>(55)  | 338<br>(86)  | 387<br>(98)  | 57               | 95           | 4.6                             | 165                |
| II-14 |                    |                       |                       |                        | 5                             | 4.8                         | 336<br>(338) | 420<br>(422) | 153<br>(46) | 224         | 288<br>(69)  | 402<br>(96)  | 439<br>(105) | 58               | -            | 4.1                             | 272                |
| II-15 |                    |                       |                       |                        | 5                             | 5.0                         | 344          | 425          | 149<br>(43) | 216         | 271<br>(64)  | 391<br>(92)  | 441<br>(104) | 58               | -            | 3.1                             | 352                |
| II-16 | ふりかけ<br>添加<br>(直後) |                       | -5<br>(A)             | 3                      | 4.8                           | 301                         | 391          | 129<br>(42)  | 174         | 198<br>(51) | 305<br>(78)  | 362<br>(93)  | 37           | 99               | 3.2          | 197                             |                    |
| II-17 |                    |                       |                       | 5                      | 5.2                           | 345                         | 413          | 184<br>(53)  | 244         | 294<br>(71) | 404<br>(98)  | 452<br>(109) | 100          | -                | 3.6          | 224                             |                    |
| II-18 |                    | +2<br>~<br>-15<br>(C) | 3                     | 4.6                    | 314                           | 391                         | 107<br>(34)  | 156          | 218<br>(56) | 341<br>(87) | 402<br>(103) | 58           | 88           | 5.0              | 184          |                                 |                    |
| II-19 |                    |                       | 5                     | 5.3                    | 367                           | 425                         | 156<br>(43)  | 220          | 281<br>(67) | 400<br>(94) | 428<br>(101) | 52           | -            | 3.6              | 191          |                                 |                    |
| II-20 | 50                 | -5<br>(A)             | 3                     | 現場添加<br>(30分後)         | 5.0                           | 273                         | 360          | 92.9<br>(34) | 125         | 139<br>(39) | 284<br>(79)  | 326<br>(91)  | -            | 16               | 3.3          | 185                             |                    |
| II-21 |                    |                       | 5                     |                        | 5.6                           | 289                         | 365          | 139<br>(48)  | 199         | 210<br>(58) | 334<br>(92)  | 367<br>(101) | -            | 82               | 3.5          | 290                             |                    |
| II-22 |                    | (B)                   | 5                     |                        | 5.6                           | 289                         | 365          | 138<br>(48)  | 197         | 219<br>(60) | 331<br>(91)  | 367<br>(101) | -            | 59               | 2.8          | 322                             |                    |
| II-23 |                    | +2<br>~<br>-15<br>(C) | 3                     |                        | 5.5                           | 286<br>(280)                | 367<br>(364) | 84.2<br>(29) | 141         | 185<br>(50) | 294<br>(80)  | 341<br>(93)  | -            | 18               | 3.7          | 167                             |                    |
| II-24 |                    |                       | 5                     |                        | 5.2                           | 319<br>(304)                | 392<br>(378) | 120<br>(38)  | 184         | 238<br>(61) | 335<br>(85)  | 379<br>(97)  | -            | 53               | 4.3          | 171                             |                    |

注) ※1. 前置き条件はいずれの場合においても5°Cで6時間とした。  
 ※2. ノンフリーズの使用量はL/C=100kg  
 ※3. ( )の値は標準養生に対する強度比, なお, 材令56および91日の場合は標準養生の材令28日に対する比とした。  
 ※4. 材令28日以降+5°C水中養生とした。  
 ※5. ( )の値は同一配合の平均値を示す。  
 ※6. ( )の値は材令28日の測定値。

注

間数  
n)  
1  
9  
9  
2  
2  
1  
6) ※6  
3  
1  
4  
1  
9  
5  
15  
72  
52  
37  
24  
34  
91  
85  
90  
22  
67  
71

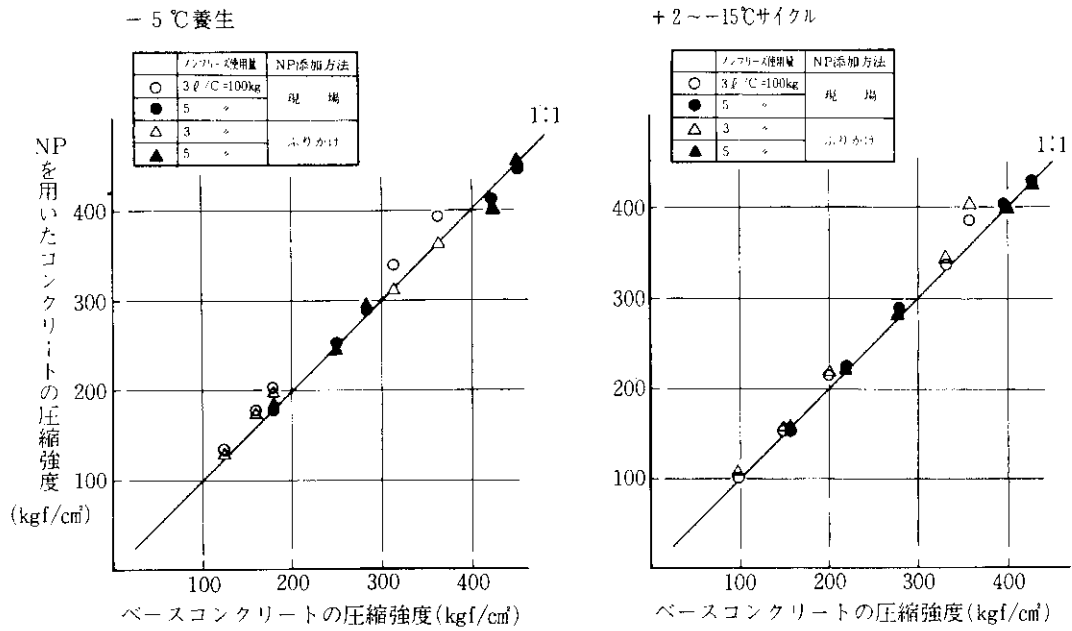


図-5 ベースコンクリートとNPを用いたコンクリートの圧縮強度の比較

表-7 標準養生に対する圧縮強度比(%)

| 水セメント比 (%) | 養生温度 (°C)  | ノンフリース使用量 | コンクリートの種類 | 標準養生に対する圧縮強度比 (%) |       |       |         |
|------------|------------|-----------|-----------|-------------------|-------|-------|---------|
|            |            |           |           | 7日                | 28日   | 56日   | 91日     |
| 45         | -5         | 3         | ベース       | 42                | 46    | 81    | 93      |
|            |            |           | 流動化       | 42~44             | 49~51 | 78~83 | 93~97   |
|            |            | 5         | ベース       | 53                | 67    | 101   | 108     |
|            |            |           | 流動化       | 52~53             | 68~71 | 95~98 | 100~104 |
|            | +2<br>~-15 | 3         | ベース       | 30                | 49    | 82    | 87      |
|            |            |           | 流動化       | 31~34             | 55~56 | 86~87 | 98~103  |
|            |            | 5         | ベース       | 46                | 68    | 97    | 104     |
|            |            |           | 流動化       | 43~46             | 64~69 | 92~96 | 101~105 |

注) ※1 材令28日以降は+5°C養生とし、材令56および91日の圧縮強度比は標準養生の材令28日に対する比とした。

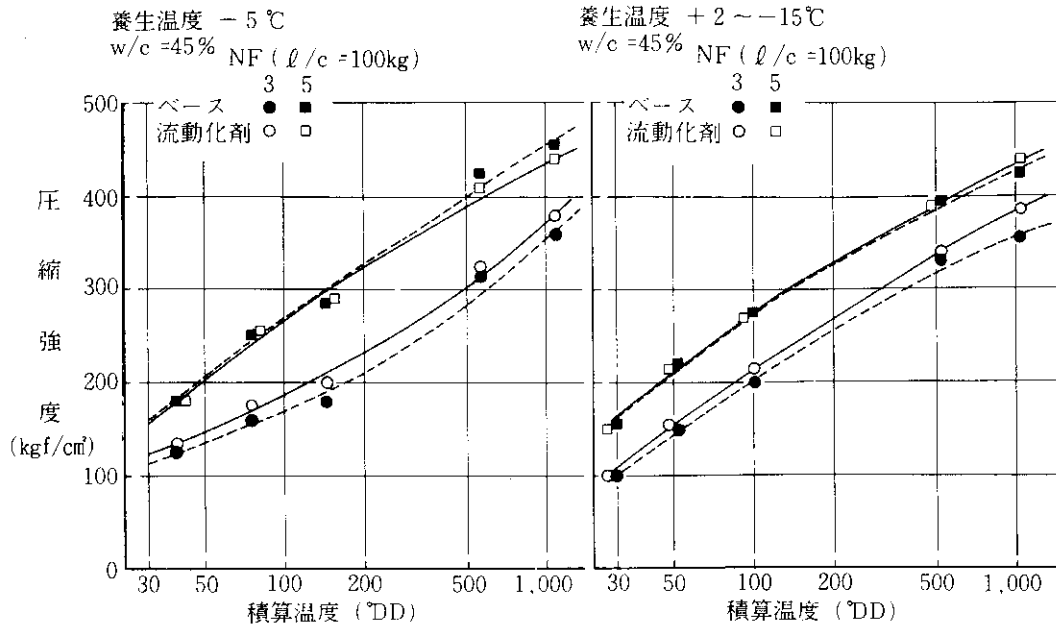


図-6 積算温度と圧縮強度の関係

表-8 積算温度と圧縮強度の関係式 ( $\sigma_c = A + B \log M + C (\log M)^2$ )

| 水セメント比 (%) | NF 使用量 (ℓ/c=100kg) | 流動化剤 | -5℃ 養生 |        |        |       | +2~-15℃ 養生 |       |        |       |
|------------|--------------------|------|--------|--------|--------|-------|------------|-------|--------|-------|
|            |                    |      | A      | B      | C      | r     | A          | B     | C      | r     |
| 40         | 3                  | 有    | 137.4  | -83.0  | 62.10  | 0.997 | -228.7     | 295.3 | -25.26 | 0.997 |
|            | 5                  | 有    | -439.7 | 534.2  | -70.35 | 0.992 | -368.1     | 489.3 | -64.15 | 1.000 |
| 45         | 3                  | 有    | 90.7   | -45.0  | 46.35  | 0.998 | -205.1     | 229.4 | -10.27 | 1.000 |
|            |                    | 無    | 125.9  | -87.8  | 55.03  | 0.995 | -257.2     | 281.7 | -25.35 | 0.998 |
|            | 5                  | 有    | -257.2 | 329.7  | -33.14 | 0.998 | -285.3     | 367.3 | -42.56 | 1.000 |
|            |                    | 無    | -192.9 | 259.5  | -14.52 | 0.994 | -291.6     | 376.2 | -45.57 | 1.000 |
| 50         | 3                  | 有    | 137.6  | -130.6 | 64.46  | 0.991 | -201.9     | 221.5 | -14.00 | 1.000 |
|            | 5                  | 有    | -74.4  | 127.2  | 6.43   | 0.993 | -265.2     | 323.9 | -37.03 | 0.999 |

表-9 気泡組織試験結果

| 配合<br>番号 | 水セメ<br>ント比<br>W/C<br>(%) | 環 境<br>温 度<br>(°C) | ノンフ<br>リース<br>使用量 | NP-20<br>添加方法<br>および<br>時 期 | 空 気 量 (%)           |                | 気泡間隔<br>係数<br>( $\mu\text{m}$ ) | 気泡分布<br>○印測定 |     |   |
|----------|--------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|----------------|---------------------------------|--------------|-----|---|
|          |                          |                    |                   |                             | フレッシュ<br>コンクリ<br>ート | 硬化コンク<br>リート   |                                 |              |     |   |
| II-1     | 40                       | A -5               | 3                 | 現場添加<br>(30分後)              | 5.5                 | 3.5            | 201                             |              |     |   |
| II-2     |                          |                    | 5                 |                             | 5.6                 | 3.6            | 159                             |              |     |   |
| II-3     |                          | C +2<br>~-15       | 3                 |                             | 5.2                 | 3.9            | 159                             |              |     |   |
| II-4     |                          |                    | 5                 |                             | 5.3                 | 4.7            | 172                             |              |     |   |
| II-5     |                          |                    | 5                 |                             | (60分後)              | 5.0            | 4.1                             | 172          |     |   |
| II-6     | 45                       | A -5               | 3                 | ベース                         | 5.8                 | ※14.0, (4.4)   | 201, (186)                      | ○            |     |   |
| II-7     |                          |                    | 5                 |                             | 5.7                 | 4.5            | 193                             |              |     |   |
| II-8     |                          | C +2<br>~-15       | 3                 |                             | 5.6                 | 4.0            | 171                             |              |     |   |
| II-9     |                          |                    | 5                 |                             | 5.6                 | 5.1            | 184                             |              |     |   |
| II-10    |                          |                    | A -5              |                             | 3                   | 現場添加<br>(30分後) | 5.0                             | 3.0          | 191 | ○ |
| II-11    |                          | 5                  |                   |                             | 5.4                 |                | 3.8                             | 199          |     |   |
| II-12    |                          | B                  |                   |                             | 5                   |                | 5.4                             | 3.2          | 245 |   |
| II-13    |                          |                    |                   |                             | 3                   |                | 5.2                             | 4.6          | 165 |   |
| II-14    |                          | C +2<br>~-15       | 5                 |                             | 5.4                 | 4.1            | 272                             |              |     |   |
| II-15    |                          |                    | 5                 |                             | (60分後)              | 5.2            | 3.1                             | 352          |     |   |
| II-16    | A -5                     |                    | 3                 | ふりかけ<br>添加                  | 5.3                 | 3.2            | 197                             | ○            |     |   |
| II-17    |                          | 5                  | 5.2               |                             | 3.6                 | 224            |                                 |              |     |   |
| II-18    |                          | C +2<br>~-15       | 3                 |                             | 5.0                 | 5.0            | 184                             |              |     |   |
| II-19    |                          |                    | 5                 |                             | 5.3                 | 3.6            | 191                             |              |     |   |
| II-20    | 50                       | A -5               | 3                 | 現場添加<br>(30分後)              | 5.6                 | 3.3            | 185                             |              |     |   |
| II-21    |                          |                    | 5                 |                             | 5.2                 | 3.5            | 290                             |              |     |   |
| II-22    |                          |                    | B                 |                             | 5                   | 5.2            | 2.8                             | 322          |     |   |
| II-23    |                          | C +2<br>~-15       |                   |                             | 3                   | 5.0            | 3.7                             | 167          |     |   |
| II-24    |                          |                    | 5                 |                             | 5.0                 | 4.3            | 171                             |              |     |   |

注) 1) ※1 ( ) は材令28日供試体の値。

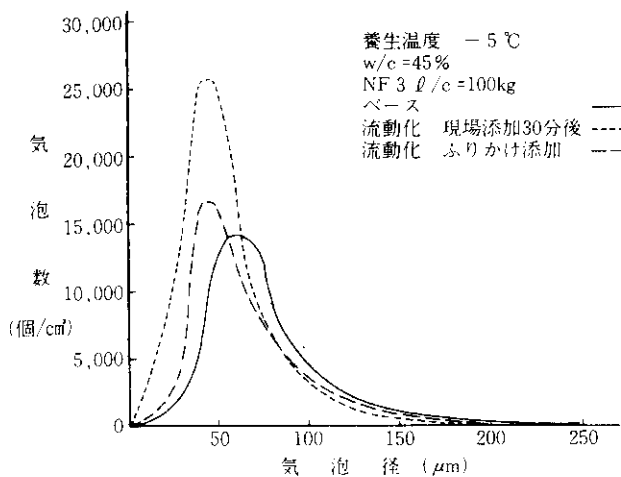


図-7 硬化コンクリート気泡分布

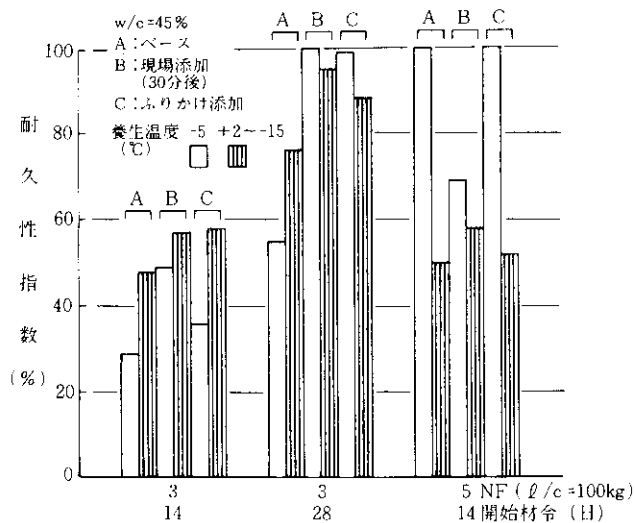


図-8 流動化が耐凍害性に及ぼす影響

表-10 試験計画

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | NF使用量 (ℓ/c=100) kg | 前置き時間 (hr) | 養生温度 (℃) | 試験項目 |    |     |     |      |     |      |    |     |     |
|---------|------------|--------------------|------------|----------|------|----|-----|-----|------|-----|------|----|-----|-----|
|         |            |                    |            |          | 圧縮強度 |    |     |     | 凍結融解 |     | 細孔分布 |    |     |     |
|         |            |                    |            |          | 3日   | 7日 | 14日 | 28日 | 91日  | 14日 | 28日  | 7日 | 14日 | 28日 |
| 普通高炉    | 40         | 0                  | —          | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      | ○  |     |     |
|         |            |                    |            | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |
|         |            | 3                  | 6          | -5       |      | ○  | ○   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○  | ○   | ○   |
|         |            |                    | —          | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |
|         | 45         | 5                  | 6          | -5       |      | ○  | ○   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○  | ○   | ○   |
|         |            |                    |            | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |
|         |            | 3                  | 6          | -5       |      | ○  | ○   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○  | ○   |     |
|         |            |                    | —          | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |
|         | 50         | 5                  | 6          | -5       |      | ○  | ○   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○  | ○   | ○   |
|         |            |                    |            | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |
|         |            | 3                  | 6          | -5       |      | ○  | ○   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○  | ○   |     |
|         |            |                    | —          | 20       | ○    | ○  |     | ○   |      | ○   |      |    |     |     |

表-11 セメントの物理試験結果

| セメントの種類 | 比重   | 粉末比表面積 (cm <sup>2</sup> /g) | 凝結     |          | 安定性  | 圧縮強さ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     | 酸化マグネシウム (%) | 三酸化硫黄 (%) | 強減量 (%) | 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 | 3,250                       | 28.6   | 3-00     | 4-05 | 良                           | 147 | 241 | 418          | 2.8       | 2.2     | 0.7        | 0.63 |
| 高炉種     | 3.05 | 3,940                       | 29.5   | 2-50     | 3-40 | 良                           | 135 | 201 | 410          | 4.3       | 1.9     | 0.6        | 0.42 |

表-12 細骨材試験結果

| 種別     | 比重   | 吸水率 (%) | 単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 実積率 (%) | 洗い損失量 (%) | 有機物純物 | 安定性試験損失量 (%) | フルイにとどまる試料の重量百分率 (%) |     |     |     |     | 粗粒率 |      |
|--------|------|---------|-----------------------------|---------|-----------|-------|--------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|        |      |         |                             |         |           |       |              | 5mm                  | 2.5 | 1.2 | 0.6 | 0.3 |     | 0.15 |
| 錦岡産海岸砂 | 2.71 | 0.93    | 1,850                       | 68.9    | 0.28      | 合格    | 1.9          | 1                    | 11  | 27  | 57  | 89  | 99  | 2.84 |

表-13 粗骨材試験結果

| 種別      | 比重   | 吸水率 (%) | 単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 実積率 (%) | 洗い損失量 (%) | すりへり損失量 (%)      | 安定性試験損失量 (%) | フルイにとどまる試料の重量百分率 (%) |    |    |    |    | 粗粒率 |      |
|---------|------|---------|-----------------------------|---------|-----------|------------------|--------------|----------------------|----|----|----|----|-----|------|
|         |      |         |                             |         |           |                  |              | 30mm                 | 25 | 20 | 15 | 10 |     | 5    |
| 莪朗産砕石   | 2.70 | 0.46    | 1,580                       | 58.8    | 0.98      | B 27.3<br>C 26.2 | 0.6          | 0                    | 1  | 17 | 38 | 79 | 98  | 6.94 |
| 静内川産川砂利 | 2.77 | 1.01    | 1,770                       | 64.5    | 0.02      | B 18.0<br>C 16.2 | 2.5          | 0                    | 1  | 21 | 42 | 87 | 100 | 7.08 |

表-14 コンクリートの配合表

| セメントの種類 | 水セメント比 W/C (%) | NF使用料 (L/c=100) <sup>kg</sup> | 細骨材率 s/a (%) | 単 位 量 (kg/m <sup>2</sup> ) |        |       |       |                 |                 |                |
|---------|----------------|-------------------------------|--------------|----------------------------|--------|-------|-------|-----------------|-----------------|----------------|
|         |                |                               |              | 水 W                        | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤量 (L)        |                 |                |
|         |                |                               |              |                            |        |       |       | NF              | PAE             |                |
| 普通      | 40             | 0                             | 41           | 151                        | 378    | 754   | 1,082 | (250)<br>*0.945 | (20)<br>0.076   |                |
|         |                | 3                             |              | 147                        | 368    | 763   | 1,094 | 11.04           | (80)<br>0.294   |                |
|         |                | 5                             |              | 134                        | 335    | 789   | 1,131 | 16.75           | (80)<br>0.268   |                |
|         | 45             | 0                             | 42           | 145                        | 322    | 800   | 1,101 | (250)<br>*0.805 | (15)<br>0.048   |                |
|         |                | 3                             |              | 140                        | 311    | 810   | 1,115 | 9.33            | (60)<br>0.187   |                |
|         |                | 5                             |              | 135                        | 300    | 820   | 1,128 | 15.0            | (70)<br>0.210   |                |
|         | 50             | 0                             | 43           | 142                        | 284    | 837   | 1,105 | (250)<br>*0.710 | (15)<br>0.043   |                |
|         |                | 3                             |              | 140                        | 280    | 840   | 1,110 | 8.40            | (30)<br>0.084   |                |
|         |                | 5                             |              | 133                        | 266    | 854   | 1,128 | 13.3            | (50)<br>0.133   |                |
|         | 高炉             | 40                            | 0            | 41                         | 150    | 375   | 752   | 1,078           | (250)<br>*0.938 | (35)<br>0.131  |
|         |                |                               | 3            |                            | 142    | 355   | 769   | 1,102           | 10.65           | (130)<br>0.462 |
|         |                |                               | 5            |                            | 130    | 325   | 792   | 1,136           | 16.25           | (300)<br>0.975 |
| 45      |                | 0                             | 42           | 147                        | 327    | 792   | 1,090 | (250)<br>*0.818 | (25)<br>0.082   |                |
|         |                | 3                             |              | 141                        | 313    | 804   | 1,106 | 9.39            | (75)<br>0.235   |                |
|         |                | 5                             |              | 130                        | 289    | 825   | 1,135 | 14.45           | (140)<br>0.405  |                |
| 50      |                | 0                             | 43           | 145                        | 290    | 827   | 1,093 | (250)<br>*0.725 | (17)<br>0.049   |                |
|         |                | 3                             |              | 135                        | 270    | 846   | 1,117 | 8.10            | (70)<br>0.189   |                |
|         |                | 5                             |              | 129                        | 258    | 858   | 1,133 | 12.90           | (85)<br>0.219   |                |

注 1) \*AE減水剤 2) ( )の単位は m l / c = 100 kg

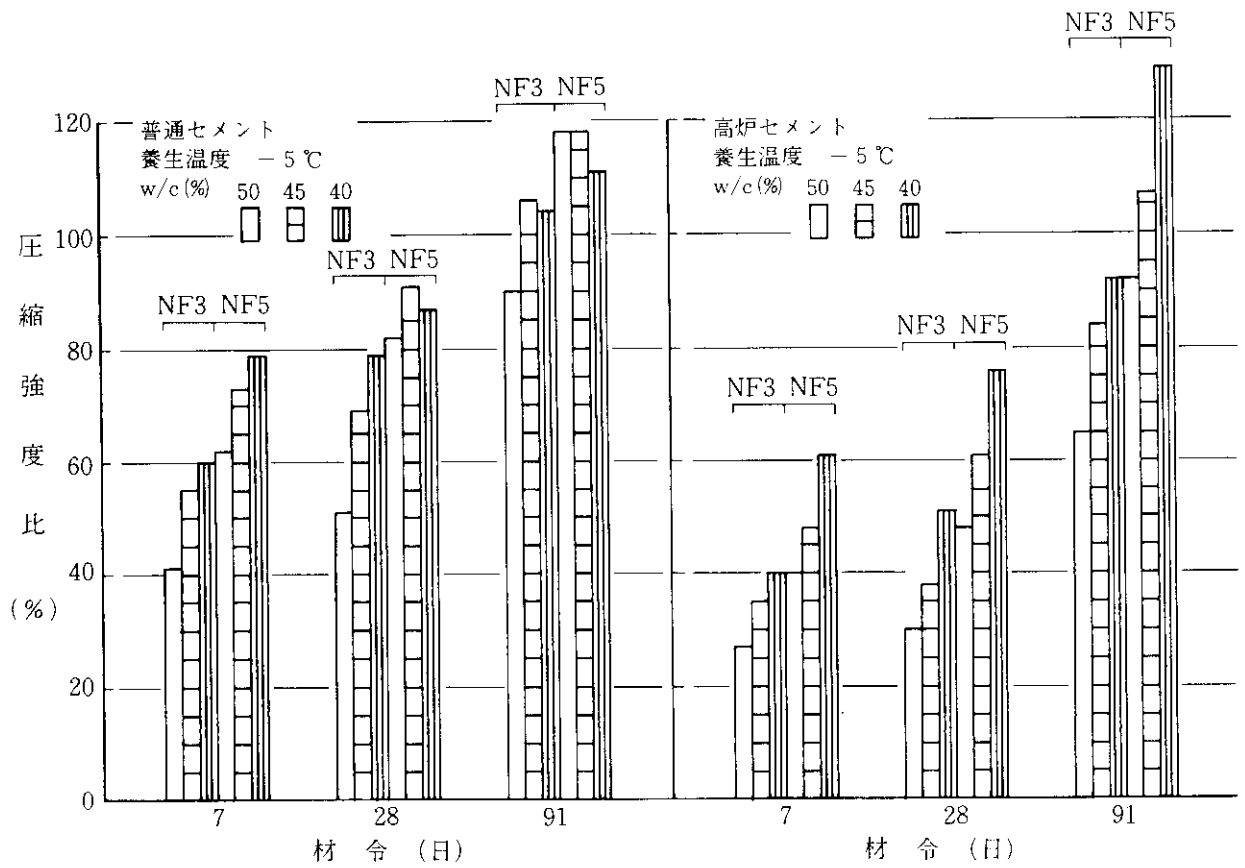


図-9 材令と圧縮強度比 (対NF0  $l/c=100kg \cdot 20^{\circ}C$ 養生) の関係



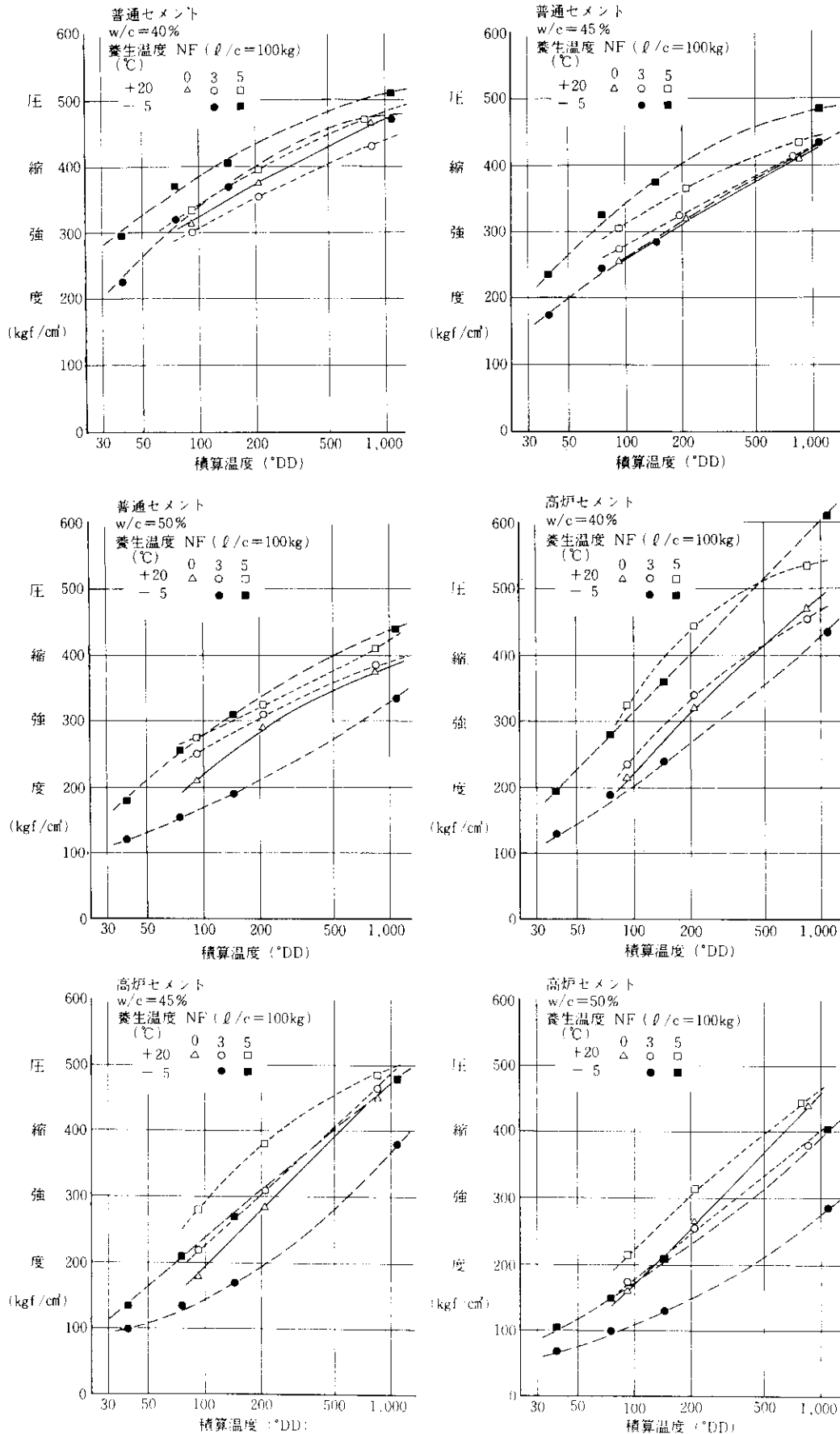


図-10 積算温度と圧縮強度の関係

表-15 積算温度と圧縮強度の関係 ( $\sigma_c = A + B \log M + C (\log M)^2$ )

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | N F 使用料 ( $L/c=100kg$ ) | 養生温度 ( $^{\circ}C$ ) | A      | B      | C      |
|---------|------------|-------------------------|----------------------|--------|--------|--------|
| 普通      | 40         | 0                       | +20                  | -70    | 230.1  | -16.32 |
|         |            | 3                       | +20                  | -48    | 207.8  | -14.92 |
|         |            |                         | -5                   | -469   | 585.4  | -89.93 |
|         |            | 5                       | +20                  | -176   | 340.1  | -40.76 |
|         | -5         |                         | -180                 | 387.9  | -52.74 |        |
|         | 45         | 0                       | +20                  | -196   | 274.4  | -22.86 |
|         |            | 3                       | +20                  | 3      | 134.6  | 2.20   |
|         |            |                         | -5                   | -205   | 277.4  | -21.96 |
|         |            | 5                       | +20                  | -255   | 391.3  | -53.37 |
|         | -5         |                         | -458                 | 581.0  | -89.26 |        |
|         | 50         | 0                       | +20                  | -559   | 546.1  | -77.49 |
|         |            | 3                       | +20                  | -200   | 295.9  | -32.98 |
| -5      |            |                         | -2                   | 40.2   | 23.43  |        |
| 5       |            | +20                     | 121                  | 39.1   | 20.72  |        |
|         | -5         | -355                    | 423.0                | -53.07 |        |        |
| 高炉      | 40         | 0                       | +20                  | -522   | 452.3  | -38.41 |
|         |            | 3                       | +20                  | -686   | 635.2  | -83.71 |
|         |            |                         | -5                   | -124   | 135.7  | 15.79  |
|         |            | 5                       | +20                  | -1,133 | 1,097  | -180.4 |
|         | -5         |                         | -251                 | 283.2  | 0.143  |        |
|         | 45         | 0                       | +20                  | -426   | 335.0  | -12.26 |
|         |            | 3                       | +20                  | -192   | 180.5  | 14.98  |
|         |            |                         | -5                   | -181   | -173.3 | 78.55  |
|         |            | 5                       | +20                  | -766   | 752.3  | -111.1 |
|         | -5         |                         | -246                 | 248.5  | -3.258 |        |
|         | 50         | 0                       | +20                  | -283   | 188.4  | 20.12  |
|         |            | 3                       | +20                  | -292   | 253.3  | -7.751 |
| -5      |            |                         | 55                   | -61.45 | 45.07  |        |
| 5       |            | +20                     | -481                 | 437.1  | -41.21 |        |
|         | -5         | -72                     | 63.43                | 30.61  |        |        |

表-16 凍結融解試験結果および総細孔容積, (普通セメント)

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | NF使用量 ( $l/c=100kg$ ) | 養生温度 (°C) | 凍結融解開始材令 (日) | 開始時の圧縮強度 ( $kgf/cm^2$ ) | 破壊回数   | 質量減少率 (%) | 耐久性指数 (%) | 300サイクルの凍伸度 | 総細孔容積 ( $ml/g$ ) |
|---------|------------|-----------------------|-----------|--------------|-------------------------|--------|-----------|-----------|-------------|------------------|
| 普通      | 40         | 0                     | +20       | 14           | (420)                   | 300回以上 | 1.5       | 93        |             |                  |
|         |            |                       |           | 14           | 320                     | 300回以上 | 0.8       | 99        | 80          | 0.1818           |
|         |            | 3                     | -5        | 28           | 368                     | 300回以上 | 0.3       | 98        |             | 0.1629           |
|         |            |                       |           | 14           | 371                     | 300回以上 | 0.5       | 98        | 98          | 0.1684           |
|         |            |                       |           | 28           | 403                     | 300回以上 | 0.5       | 99        |             | 0.1434           |
|         |            |                       |           | 14           | (365)                   | 300回以上 | 1.6       | 95        |             |                  |
|         | 45         | 0                     | +20       | 14           | 245                     | 300回以上 | 0.5       | 96        | 298         | 0.2129           |
|         |            |                       |           | 28           | 284                     | 300回以上 | 1.2       | 86        | 437         | 0.1820           |
|         |            | 3                     | -5        | 14           | 325                     | 300回以上 | 0.6       | 106       | 76          | 0.1740           |
|         |            |                       |           | 28           | 373                     | 300回以上 | 0.5       | 99        |             | 0.1605           |
|         |            |                       |           | 14           | (333)                   | 300回以上 | 2.0       | 96        |             |                  |
|         |            |                       |           | 14           | 156                     | 77回    | -         | 15        | -           | 0.2754           |
| 50      | 3          | -5                    | 28        | 192          | 123回                    | -      | 25        | -         | 0.2058      |                  |
|         |            |                       | 14        | 255          | 300回以上                  | 1.1    | 80        | 652       | 0.1982      |                  |
|         | 5          | -5                    | 28        | 307          | 300回以上                  | 0.5    | 85        | 375       | 0.1711      |                  |

( ) ……推定値

表-17 凍結融解試験結果および総細孔容積，（高炉セメント）

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | N F使用量 (ℓ/c=100kg) | 養生温度 (°C) | 凍結融解開始材令 (日) | 開始時の圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 破壊回数   | 質量減少率 (%) | 耐久性指数 (%) | 300サイクルの凍伸度 | 総細孔容積 (ml/g) |
|---------|------------|--------------------|-----------|--------------|---------------------------------|--------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| 高炉      | 40         | 0                  | +20       | 14           | (397)                           | 300回以上 | 3.2       | 98        |             |              |
|         |            |                    |           | 14           | 188                             | 300回以上 | 2.7       | 93        | 0.2137      |              |
|         |            | 3                  | -5        | 28           | 239                             | 300回以上 | 1.8       | 95        | 0.1947      |              |
|         |            |                    |           | 14           | 278                             | 300回以上 | 3.1       | 98        | 0.1940      |              |
|         |            | 5                  | -5        | 28           | 359                             | 300回以上 | 2.0       | 98        | 0.1693      |              |
|         |            |                    |           | 14           | (368)                           | 300回以上 | 3.4       | 98        |             |              |
|         | 45         | 0                  | +20       | 14           | 135                             | 300回以上 | 3.6       | 78        | 0.2275      |              |
|         |            |                    |           | 28           | 169                             | 300回以上 | 2.6       | 85        | 0.2509      |              |
|         |            | 3                  | -5        | 14           | 210                             | 225回以上 | -         | 45        | 0.1944      |              |
|         |            |                    |           | 28           | 272                             | 274回以上 | -         | 49        | 0.2093      |              |
|         |            | 5                  | -5        | 14           | (352)                           | 300回以上 | 4.4       | 93        |             |              |
|         |            |                    |           | 28           | 98.2                            | 83回    | -         | 18        | 0.3042      |              |
| 50      | -5         | 28                 | 131       | 183回         | -                               | 37     | 0.2785    |           |             |              |
|         |            | 14                 | 150       | 300回以上       | 2.7                             | 60     | 0.2561    |           |             |              |
|         |            | 5                  | -5        | 28           | 209                             | 300回以上 | 1.6       | 81        | 0.2158      |              |

( ) ……推定値

関係についての検討は、5.2耐凍害性よりの検討で行うこととし、ここでは凍結融解によって発生した残留膨張より求めた凍伸度と耐久性指数の関係について述べる。

図-11は凍結融解の回数と凍伸度、相対動弾性係数の関係の一例として示したもので、両関係とも同様な傾向となった。この関係を相対動弾性係数を対数とした片対数グラフで図-12に示す。鎌田・洪<sup>2)</sup>は、コンクリートの破壊の目安として、 $1,000 \times 10^{-6}$  の凍伸度を提案しており、この段階で相対動弾性係数は60%程度になると述べている。本試験においては、相対動弾性係数が60%となる凍伸度は、 $1,200 \sim 1,400 \times 10^{-6}$  となった。また、300サイクルの凍伸度と耐久性指数の関係を図-13に示す。両者に直線関係が認められるが、凍伸度、 $1,000 \times 10^{-6}$  で耐久性指数が60%になる直線よりやや上に片寄ったものとなった。

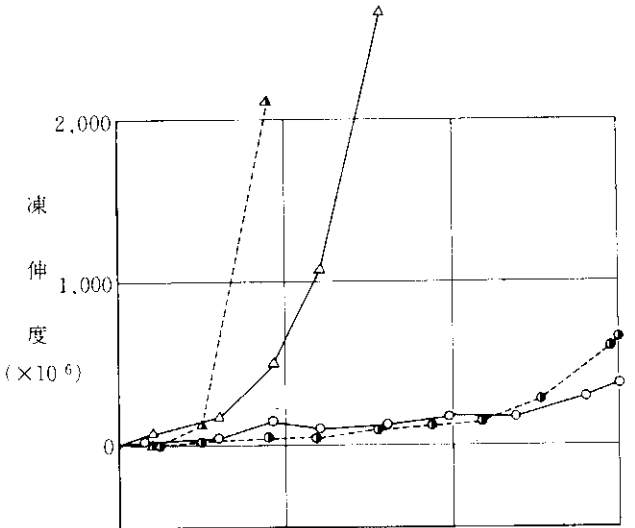
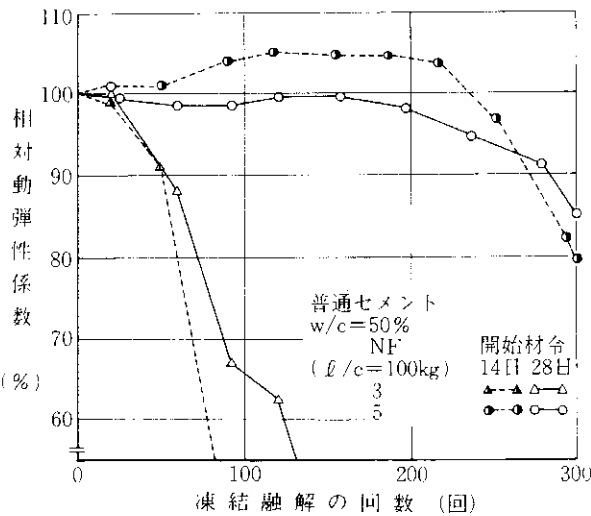


図-11 凍結融解の回数と凍伸度  
相対動弾性係数の関係



## 2) 細孔分布

総細孔容積と圧縮強度の関係を図-14に示す。両者の関係を直線式で表わしたが異なった配合にかかわらず直線関係が認められ、圧縮強度  $200 \text{ kgf/cm}^2$  の総細孔容積は  $0.24 \text{ ml/g}$  であった。

図-15に養生温度  $-5^\circ\text{C}$ 、材令14日における細孔分布を示す。NF使用量を3ℓより5ℓにすると、細孔半径のピークが  $1,000 \sim 5,000 \text{ \AA}$  から  $100 \sim 500 \text{ \AA}$  になり、総細孔容積および凍害に悪影響あるとされている  $1,000 \sim 10,000 \text{ \AA}$  の細孔容積も減少し、図-16に示すように水セメント比が大きくなるとこの傾向は顕著となった。また、水セメント比が小さくなるとこれらの細孔容積は減少した。この傾向は、凍結融解試験結果とも符合した。

細孔容積と耐久性指数の関係を図-17に示すが、総細孔容積が増加すると耐久性指数も低下し、耐久性指数60%の総細孔容積は  $0.24 \text{ ml/g}$  前後であった。

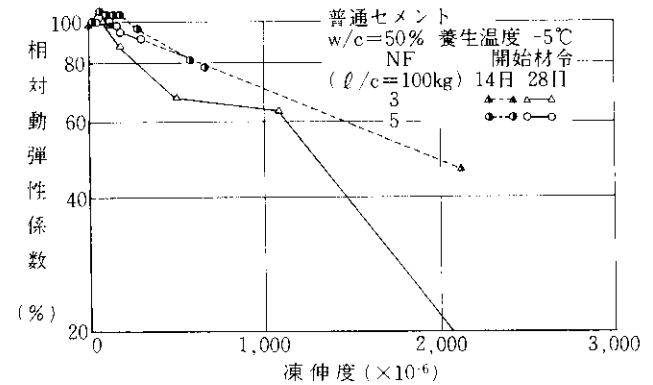


図-13 300サイクルの凍伸度と耐久性指数の関係

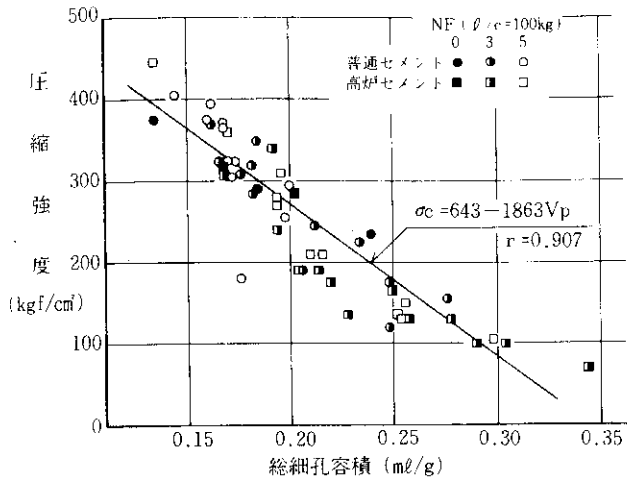


図-14 総細孔容積と圧縮強度の関係

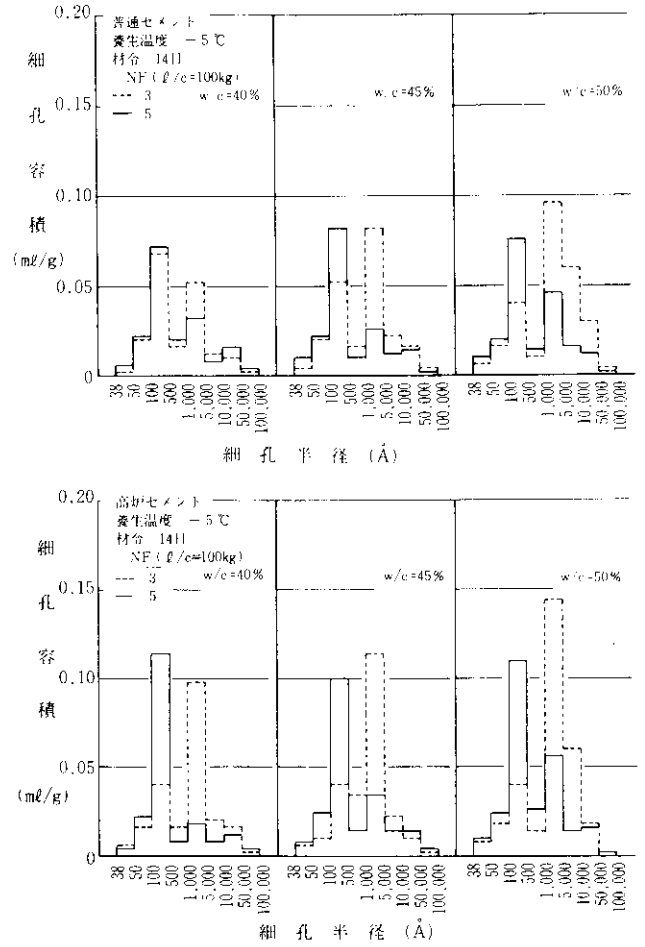


図-15 細孔分布 (水セメント比・NF使用量)

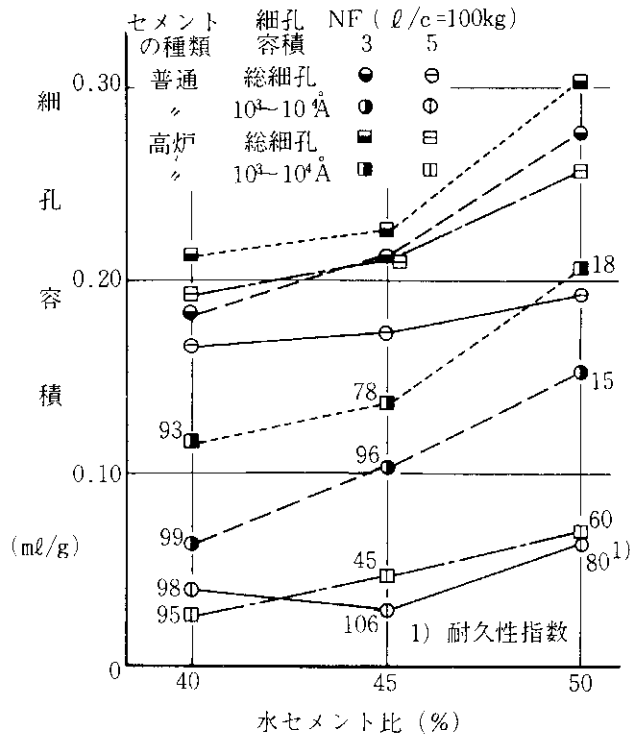


図-16 水セメント比と細孔容積の関係

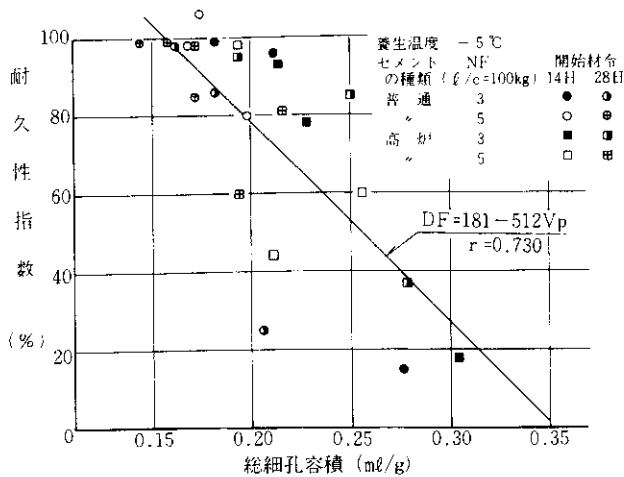


図-17 総細孔容積と耐久性指数の関係

### 5. NF 使用基準の検討

昭和60, 61年度に実施した試験結果を基に, NF の使用基準について検討した。

#### 5.1 強度からの検討

図-18は, NF 使用量と 840°DD (20°C養生・材令28日)における圧縮強度比(同一積算温度における対NF0ℓ・20°C養生)の関係を示した。同一積算温度で20°C養生と同じ強度を得るためには, 普通セメントの場合, 養生温度が+5~-10°C, -5°CではNF使用量を3ℓ・水セメント比45%以下もしくはNF5ℓとする必要があり, +2~-15°CではNF5ℓで強度比は80%程度となった。高炉セメントの場合, +5~-10°CではNF3ℓ・水セメント比40%で得られたが, -5°C, +2~-15°CではNF5ℓ・水セメント比45%以下とする必要が認められた。

#### 5.2 耐凍害性からの検討

水セメント比と耐久性指数の関係を図-19に示す。普通セメントでNF使用量3ℓの場合, 養生温度+5~-10°Cでは, 水セメント比が54.2%でも耐久性指数が88%となり, -5°C, +2~-15°Cでも水セメント比45%とすれば大概耐久性指数60%以上が得られている。なお, 開始材令14日において耐久性指数が60%以下のものがあるが, それらは凍結融解開始時の圧縮強度が159~178kgf/cm<sup>2</sup>と低かった。NF5ℓの場合, 材令14日水セメント比45%における耐久性指数は-5°Cでは平均で85%, +2~-15°Cでは60%程度となった。高炉セメントの場合, NF3ℓで+5~-10°Cでは水セメント比46%で耐久性指数が100%であり, -5°Cでは水セメン

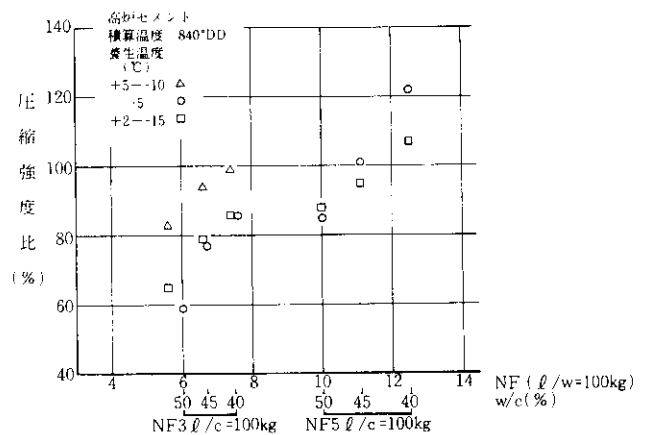
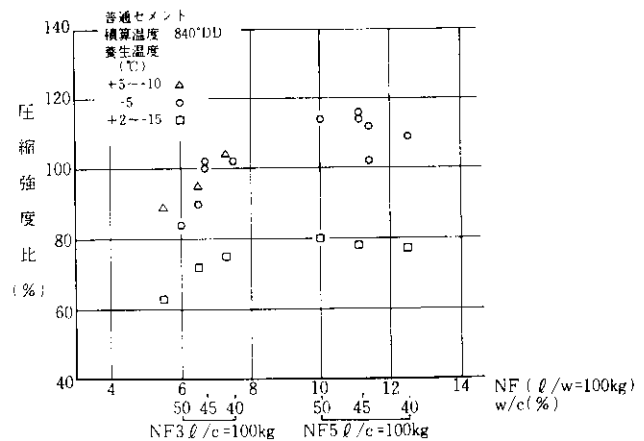


図-18 NF使用量と圧縮強度比(同一積算温度におけるNF0ℓ・20°C養生)の関係

ト比45%における耐久性指数は80%程度となった。これに対し, NF5ℓでは逆に耐久性指数が3ℓの場合より小さくなった。このことから, 高炉セメントに対する使用基準を定めることは現状では困難と判断し, 今後さらに検討することとした。

凍結融解開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係は図-20に示すとおりで, NF使用量, 養生温度などの要因の相違によりある幅は認められるが, 耐久性指数60%を得る圧縮強度は普通・高炉セメントとも200kgf/cm<sup>2</sup>程度以上必要である。

#### 5.3 NF 使用基準(案)

耐凍害性確保の観点から検討したNF使用基準(案)を表-18に示す。なお, 本基準は基礎資料の多くを室内試験に依存しており, 今後, 実構造物での施工結果も考慮しながらさらに検討する必要があると考えられる。

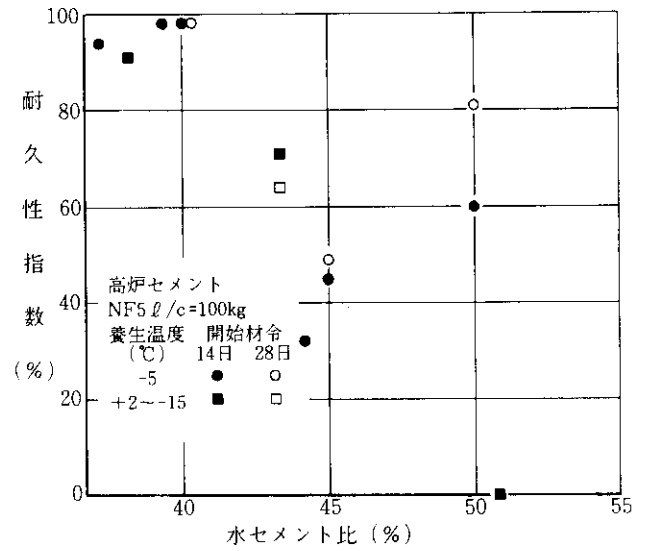
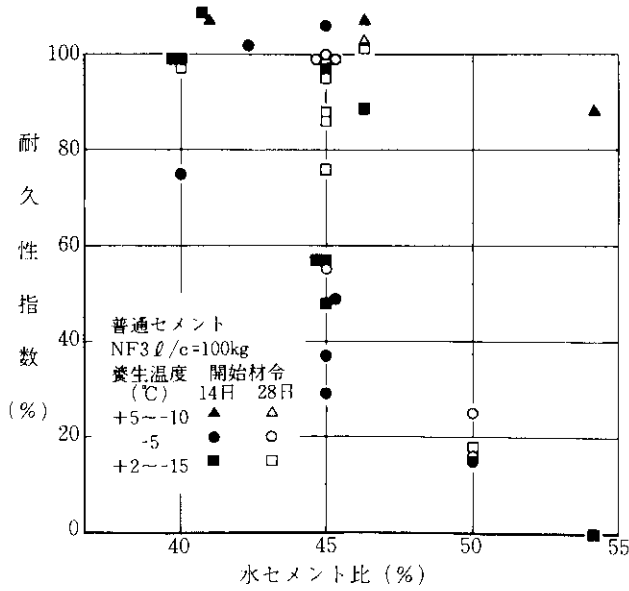
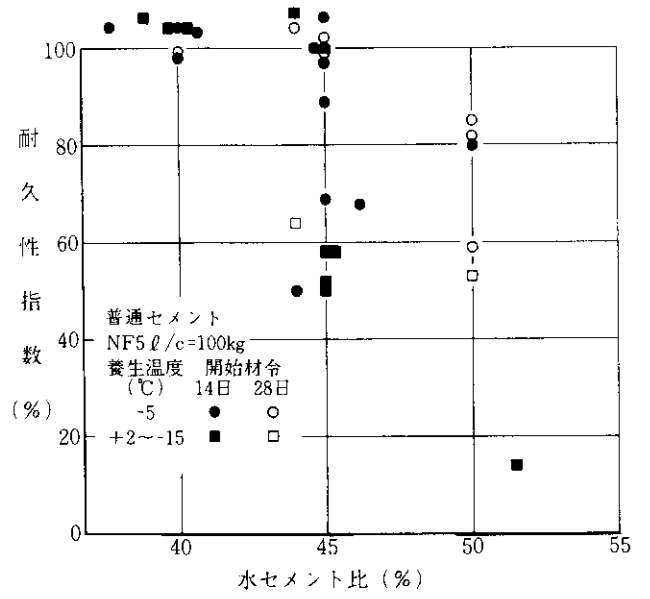
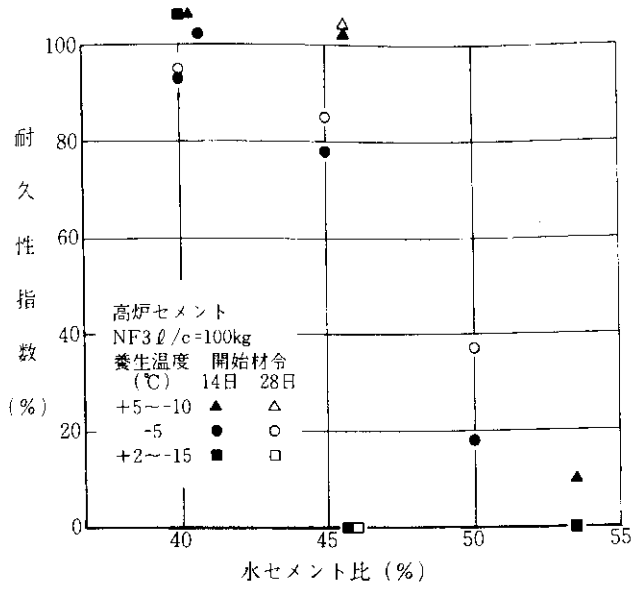


図-19 水セメント比と耐久性指数の関係

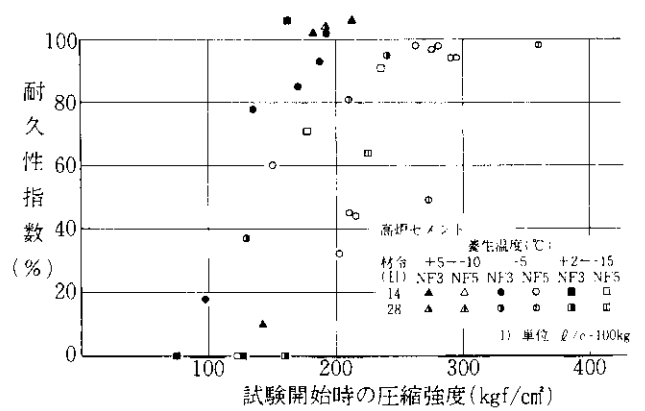
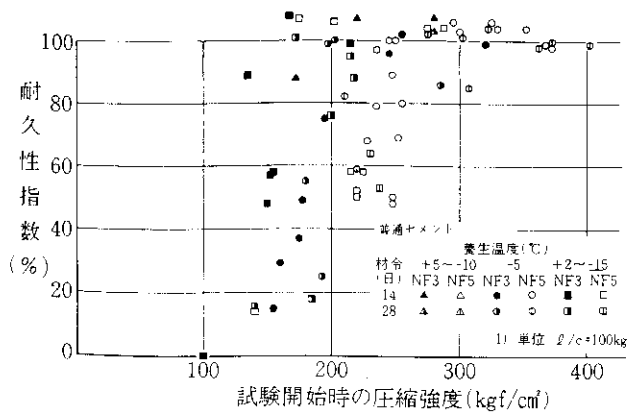


図-20 凍結融解開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係



表-18 NF使用基準(案)

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 使用セメント                  | 普通ポルトランドセメントが望ましい   |
| 標準使用量 <sup>1)</sup>     | 平均気温 <sup>2)</sup> -3°Cまで 3ℓ/c=100kg                            |
|                         | 平均気温 -3~-7°C, 水セメント比45%, 3ℓ/c=100kg<br>または水セメント比50%, 5ℓ/c=100kg |
| 凍結融解作用を受ける場合の養生終了時の圧縮強度 | 200kgf/cm <sup>2</sup> 以上                                       |

注) 1) 耐凍害性を確保し、同一積算温度において標準養生と同程度の圧縮強を得る必要量。  
2) 平均気温は、コンクリート打込みより7日間または28日間の平均値の低い気温とし、既存の気象資料により算出する。

## 6. ま と め

耐寒剤ノンフリーズ(NF)を用いたコンクリートの施工性、強度特性、耐凍害性に関する試験と耐寒剤の使用基準について検討を行った結果、およそ次のことが明らかになった。

- (1) 経時変化によるスランプの低下は、適量の流動化剤を添加することによりスランプを復元することができ、ベースコンクリートに比べ、強度・気泡分布・耐凍害性ともほぼ同等かそれ以上であり、NFを用いたコンクリートに対する流動化手法の適用はなんら問題ないものと考えられる。
- (2) 所定の水セメント比のもとでNFを適量使用することにより、-5°C程度の養生温度における圧縮強度は同一積算温度において標準養生と同等以上となった。
- (3) NFの使用基準を表-18に示すとおり提案した。

## 7. あとがき

以上、耐寒剤を用いたコンクリートの諸試験の結果か

ら、所定のNF使用量と水セメント比で常温の普通コンクリートと同程度の施工性・強度・耐凍害性を確保できることが明らかとなった。このことを基にNF使用基準について提案したが、その多くを室内試験に基づいたものであり、今後、さらに現場施工実験を実施し、構造物の設計・施工条件、気象条件に適合した使用法に関して検討する考えである。

最後に、本実験には細孔分布を始めとする諸試験でコンクリート研究室の斉藤敦志技官の協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 渡辺 宏, 大橋 猛, 今井益隆; 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, 土木試験所月報No.400, pp. 27-36, 1986年9月.
- 2) 鎌田, 洪; 耐凍害性指標としての長さの適用性, セメント技術年報, XXV, 昭和46年.