

## V-10 耐寒剤使用コンクリートの特性

|        |     |       |
|--------|-----|-------|
| 北見工業大学 | 正会員 | 鮎田 耕一 |
| 北見工業大学 | 正会員 | 桜井 宏  |
| 北見工業大学 | 正会員 | 猪狩平三郎 |

### 1. まえがき

本研究は、耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度発現性状と耐凍害性について述べたものである。

すなわち、北見市で12月と2月に暖房養生なしでコンクリートを打込み、その圧縮強度発現性状と、材令6か月から行なった水中における急速凍結融解試験によって耐凍害性を明らかにし、寒中コンクリートの合理化施工方法の確立に資することを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試体

供試体は、12月（以下シリーズⅠ）と2月（以下シリーズⅡ）に北見工業大学構内でレデーミクストコンクリートを用いて作成した。各シリーズとも写真-1に示すように10cm厚の断熱材で周り及び底面を囲って作成した75×75×20cmのスラブ8個のほか、円柱（ $\phi 10 \times 20$  cm）と角柱（10×10×40 cm）供試体を作成した。円柱および角柱供試体も10cm厚の断熱材で作った1.5m角の箱に入れ、供試体間には細かな発泡スチロール樹脂を詰めた。すなわち、スラブ、円柱・角柱供試体とも断面が厚い部材を想定した環境条件としている。

コンクリート温度をスラブ中の熱電対（銅-コンスタンタン）で求めた。測定位置はスラブ表面直下、中央（表面から10cm）、底面（表面から20cm）である。

#### 2.2 使用材料

##### （1）耐寒剤

メラミンスルホン酸塩系高性能減水剤と含窒素化合物を主成分とする耐寒剤を使用した。使用量は、セメント100kgあたり、シリーズⅠで4ℓ、シリーズⅡで5ℓである。また、空気量調整剤を併用した。ほかに、比較のためにA E剤だけを用いたコンクリートも作成した。

##### （2）セメント及び骨材

セメントは普通ポルトランドセメントを、骨材は山砂（比重2.63, 吸水率1.06%）と川砂利（比重2.58, 吸水率2.25%, 最大寸法25mm）を用いた。

#### 2.3 配合及び練りあがり性状

配合はW/C=40%で、単位セメント量345kg, 単位水量138kg, 単位細骨材量686kg, 単位粗骨材量1143kgである。

練りあがり性状を表-1に示す。

記号欄のNは耐寒剤使用、AはA

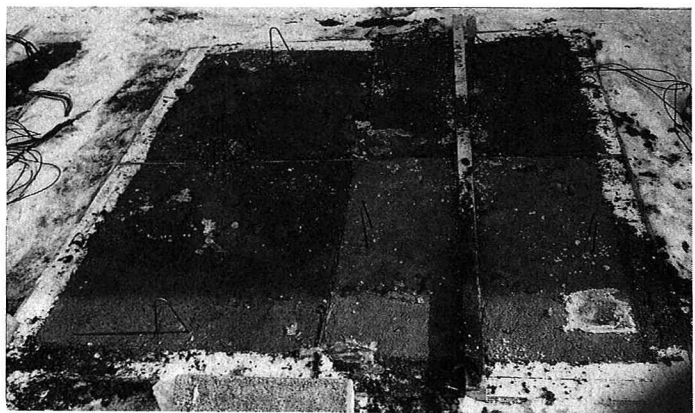


写真-1 スラブ

E剤使用コンクリートを表している。

## 2.4 養生

シリーズⅠでは、普通シート養生と断熱シート（シート内部にエアを挿入させたもの）養生の2条件で行なった。シートは耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度が、50 kgf/cm<sup>2</sup>を越えた材令3日で外した。

シリーズⅡでは、普通シート養生と養生なしとした。普通シートは耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度が50 kgf/cm<sup>2</sup>を越えた材令7日で外した。

なお、冬期間はシリーズⅠ、Ⅱとも除雪を行ない、コンクリート上には常に雪が無い状態を保った。

この他に、円柱供試体は20℃水中養生も行なった。

## 2.5 圧縮強度試験

材令3日～7か月で行なった。供試体は1時間浸水後試験に供した。

表-1 練りあがり性状

シリーズⅠ

| 記号 | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 温度<br>(℃) |
|----|--------------|------------|-----------|
| N  | 8.5          | 5.1        | 15.0      |
| A  | 6.0          | 3.4        | 14.0      |

シリーズⅡ

|   |     |     |      |
|---|-----|-----|------|
| N | 4.5 | 6.2 | 13.0 |
| A | 7.0 | 3.8 | 15.0 |

N：耐寒剤使用 A：AE剤のみ使用

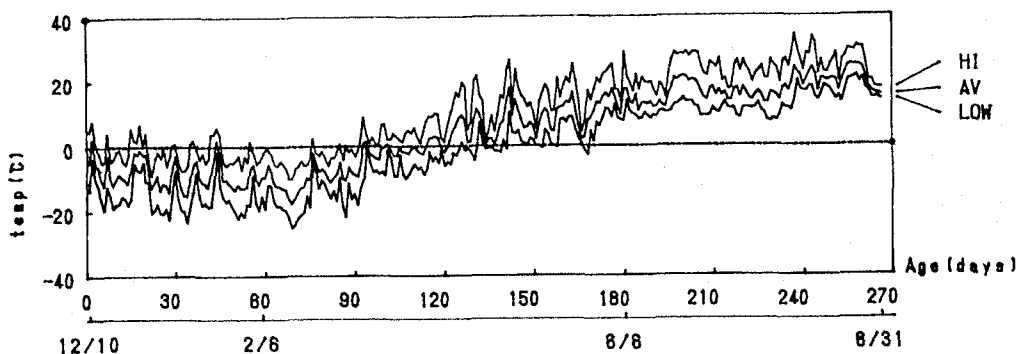


図-1 気温

## 2.6 凍結融解試験

J S C E-1986「コンクリートの凍結融解試験方法(案)」に準じて角柱供試体を用いて行なったが、試験開始材令は6か月とした。なお、試験開始前1日間浸水させた。相対動弾性係数、質量減少率のほかに長さ増加率も求めた。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 気温及びコンクリート温度

打込み後から8月までの気温(日

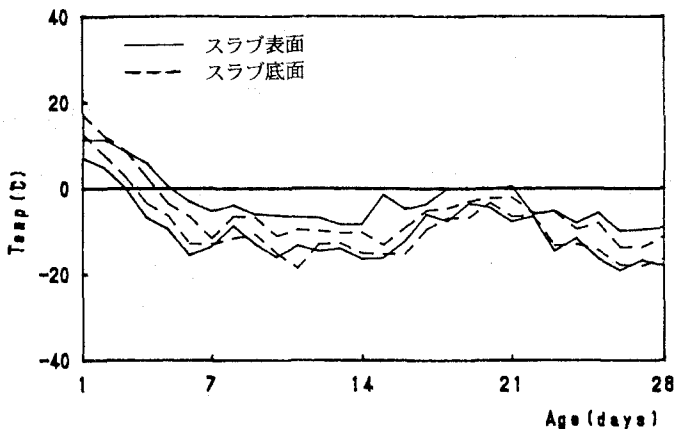


図-2 コンクリート最高・最低温度  
(シリーズⅠ・普通シート養生3日間)

最高、最低、平均)を本学の寒地気象観測システムのデータから求め図-1に示した。

打込み後7日間の平均気温は、シリーズIで $-5.4^{\circ}\text{C}$ 、シリーズIIで $-9.5^{\circ}\text{C}$ 、28日間のそれは、シリーズIで $-7.6^{\circ}\text{C}$ 、シリーズIIで $-10.1^{\circ}\text{C}$ であった。シリーズIIでは材令28日までのうち2日間を除いて真冬日であった。

スラブコンクリートの打込み後28日間の温度(日最高、最低)を図-2(シリーズI、普通シート養生)、図-3(シリーズI、断熱シート養生)、図-4(シリーズII、普通シート養生)および図-5(シリーズII、養生なし)に示した。普通シート養生コンクリートの表面温度は、シリーズIでは打込み3日後、シリーズIIでは1日半後にマイナス温度になっている。また、シリーズIの断熱シート養生コンクリートの表面温度は打込み3日後、シリーズIIのシート養生なしのそれは半日後にマイナス温度になっている。

### 3.2 圧縮強度

シリーズIの圧縮強度発現性状を図-6に示した。材令3か月までは円柱供試体、それ以降はスラブから抜き取ったコア供試体強度である。

土木学会コンクリート標準示方書では寒中コンクリートの養生終了時の圧縮強度を普通の露出条件の場合で $50\text{ kgf/cm}^2$ と定めている。シリーズIに使用したコンクリートは耐寒剤使用の有無、養生シートの違いにかかわらず、いずれもシートを取り外した材令3日で圧縮強度が $50\text{ kgf/cm}^2$ を越えている。

耐寒剤使用・断熱シート養生コン

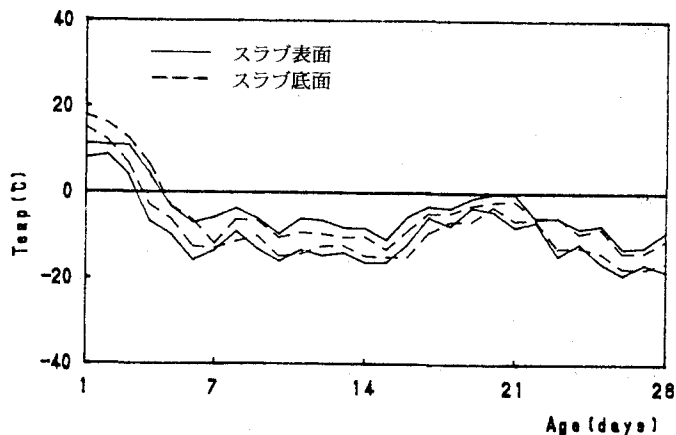


図-3 コンクリート最高・最低温度  
(シリーズI・断熱シート養生3日間)

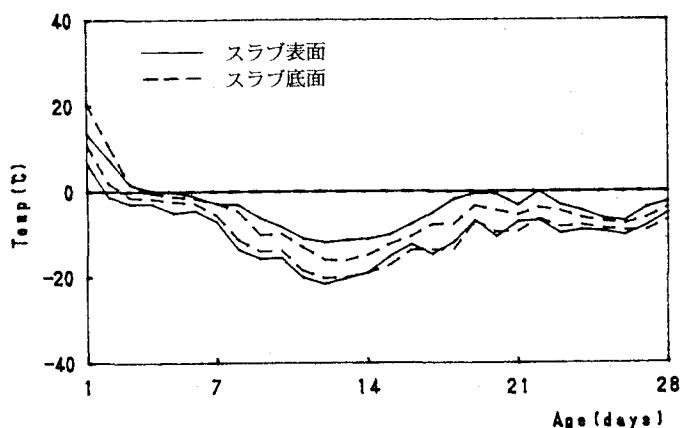


図-4 コンクリート最高・最低温度  
(シリーズII・普通シート養生7日間)

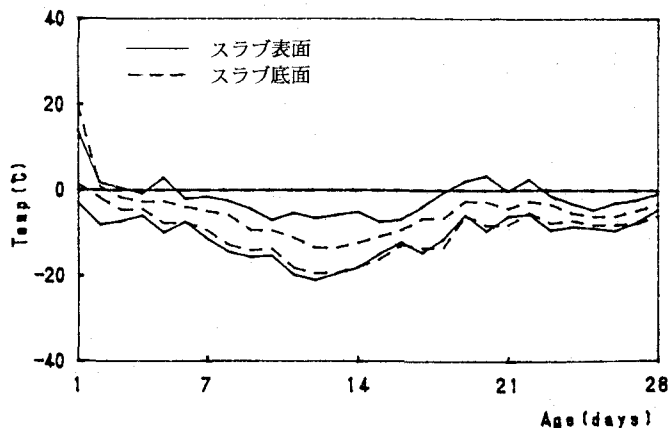


図-5 コンクリート最高・最低温度  
(シリーズII・養生なし)

クリートの材令3日における圧縮強度は $81.9 \text{ kgf/cm}^2$ で、耐寒剤使用・普通シート養生の $62.7 \text{ kgf/cm}^2$ (圧縮強度比76.5%)や耐寒剤不使用・断熱シート養生の $65.9 \text{ kgf/cm}^2$ (同80.4%)、耐寒剤不使用・普通シート養生の $56.8 \text{ kgf/cm}^2$ (同69.4%)に比べて高く、耐寒剤と断熱シート養生の効果が表れている。

この結果から、打込み後7日間の日平均気温が $-5^\circ\text{C}$ 程

度と予想される場合、普通の露出条件にある断面の厚い部材では、耐寒剤と普通ポルトランドセメントを使用し、 $W/C=40\%$ で普通シート養生を3日間行なえば、暖房養生等の特別な養生方法をとらないでも、その後の凍結融解作用に対して十分な強度を確保できるといえよう。

耐寒剤使用・断熱シート養生コンクリートの材令28日における圧縮強度は $165 \text{ kgf/cm}^2$ で、耐寒剤使用・普通シート養生の $144 \text{ kgf/cm}^2$ (圧縮強度比90.0%)や耐寒剤不使用・断熱シート養生の $144 \text{ kgf/cm}^2$ (同90.0%)、耐寒剤不使用・普通シート養生の $142 \text{ kgf/cm}^2$ (同88.8%)に比べて高く、耐寒剤と断熱シートによる初期強度増進効果がその後も良い影響を与えている。材令2か月以降の圧縮強度は、耐寒剤使用の有無、養生シートの種類にかかわらずほぼ同じである。

耐寒剤使用・暴露供試体の材令28日における圧縮強度( $144\sim165 \text{ kgf/cm}^2$ )は、耐寒剤使用・ $20^\circ\text{C}$ 水中養生供試体の材令28日強度( $332 \text{ kgf/cm}^2$ )の43~50%であった。

シリーズIIの圧縮強度発現性状を図-7に示した。材令4か月までは円柱供試体、それ以降はスラブから抜き取ったコア供試体による強度である。

耐寒剤及び養生シートの使用の有無が圧縮強度発現に大きな影響を及ぼしている。すなわち、耐寒剤使用・普通シート養生コンクリートの養生終了時の材令7日における圧縮強度は $53.4 \text{ kgf/cm}^2$ であるが、耐寒剤不使用・普通シート養生コンクリートの材令7日における圧縮強度は $6.5 \text{ kgf/cm}^2$ に過ぎない。また、耐寒剤使用コンクリートであってもシート養生を行なわなかったコンクリートの圧縮強

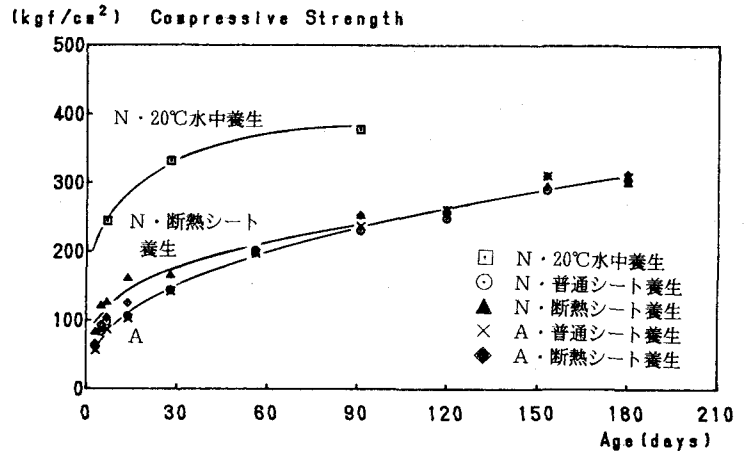


図-6 圧縮強度(シリーズI)

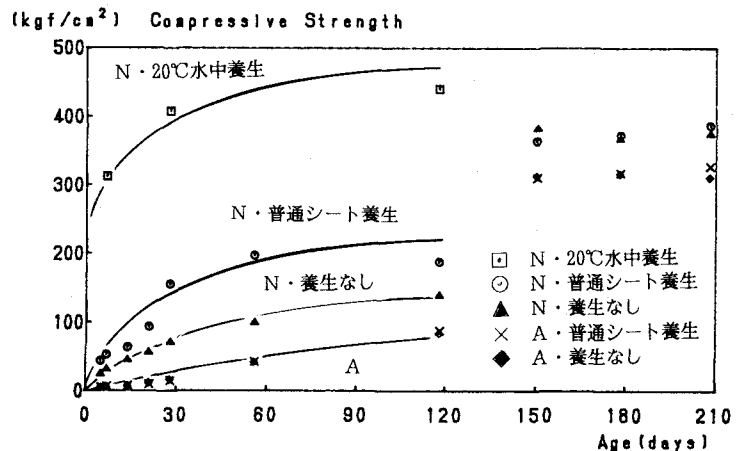


図-7 圧縮強度(シリーズII)

度が50 kgf/cm<sup>2</sup>を越えるのは材令3週後である。

この結果から、打込み後7日間の日平均気温が-10℃程度と予想される場合、普通の露出条件にあり、かつ断面が厚い部材であっても、シート養生だけを行なうことにより養生終了後の耐凍害性を確保するには耐寒剤の使用が不可欠であり、W/C=40%の普通ポルトランドセメントコンクリートで養生期間は少なくとも7日間必要である。

耐寒剤使用・普通シート養生コンクリートの材令28日における圧縮強度は156 kgf/cm<sup>2</sup>で、耐寒剤使用・シート養生なしの70.9 kgf/cm<sup>2</sup>（圧縮強度比45.4%）や、耐寒剤不使用・普通シート養生の14.7 kgf/cm<sup>2</sup>（圧縮強度比9.4%）に比べて極めて高くなっている。

また、耐寒剤使用・普通シート養生コンクリートの材令28日における圧縮強度は、耐寒剤使用・20℃水中養生供試体の材令28日強度（409 kgf/cm<sup>2</sup>）の38%であった。

なお、図-7ではコア供試体からの結果である材令150日以降の圧縮強度が、それ以前の円柱供試体強度と比べて急激に高くなっている。これは発泡スチロール樹脂で円柱供試体間の間隙を埋めたものの供試体の冬期間の温度がスラブのそれに比べて低かったためと思われる。したがって、実際の構造物を対象とした場合、円柱供試体からの結果である上記の暴露後の圧縮強度の数字は、安全側を示しているといえよう。

3.3 耐凍害性

シリーズIの急速凍結融解試験の結果を図-8に示した。

耐寒剤の使用の有無にかかわらず、耐凍害性は良好である。耐寒剤を使用していないコンクリートでも耐凍害性が優れているのは、打込み後の低温があまり厳しくなく、その結果、初期材令からセメントの水和作用が進行し、凍結融解試験開始の材令6か月ではセメント硬化体組織が緻密になっていたためであろう。

シリーズIIの急速凍結融解試験の結果を図-9に示した。

耐寒剤を用いたコンクリートは、相対動弾性係数がやや

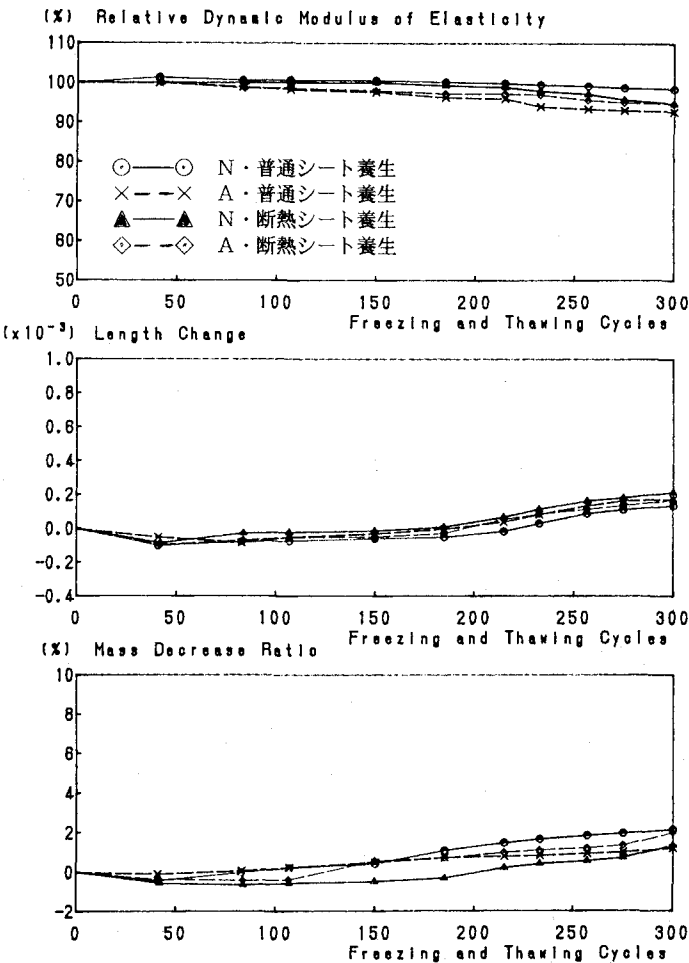


図-8 急速凍結融解試験結果（シリーズI）

低めであるが、おおむね耐凍害性は良好である。一方、耐寒剤を用いなかったコンクリートの耐凍害性は劣っているが、これは、打込み後の低温が厳しくセメントの水和作用が阻害されたため、凍結融解試験開始時の材令6か月でも実験に用いた角柱供試体の組織がポーラスであったためと推測される。

この実験結果から、厳寒期に打込んでも耐寒剤を用いたコンクリートの耐凍害性は、おおむね良好であることが確認された。

#### 4. まとめ

W/C=40%の普通ポルトランドセメントコンクリートを用い、断面の厚い部材を想定して行った本実験の範囲で、以下のことが明らかになった。

(1) 打込み後7日間の日平均気温が $-5^{\circ}\text{C}$ 程度の場合、耐寒剤を用いたコンクリートは、普通シート養生3日間で圧縮強度が $50\text{ kgf/cm}^2$ 以上になる。

この場合の材令28日(日平均気温約 $-8^{\circ}\text{C}$ )の圧縮強度は $20^{\circ}\text{C}$ 水中養生強度の43%であった。

(2) 打込み後7日間の日平均気温が $-10^{\circ}\text{C}$ 程度の場合、耐寒剤を用いたコンクリートは、普通シート養生7日間で圧縮強度が $50\text{ kgf/cm}^2$ 以上になる。

この場合の材令28日(日平均気温約 $-10^{\circ}\text{C}$ )の圧縮強度は $20^{\circ}\text{C}$ 水中養生強度の38%であった。

(3) 材令6か月からの水中における急速凍結融解試験の結果によれば、耐寒剤を用いたコンクリートの耐凍害性は、おおむね良好であった。

本研究の遂行にあたり御協力をいただいた北見土木技術協会、水元建設株式会社、卒業研究として実験・データ整理に御協力をいただいた松田守正氏(現北海道開発局)、十枝内美範氏(現建設省東北地建)及び武田均、中村龍司両君をはじめ本学現4年生のコンクリート研究室の諸君に謝意を表します。

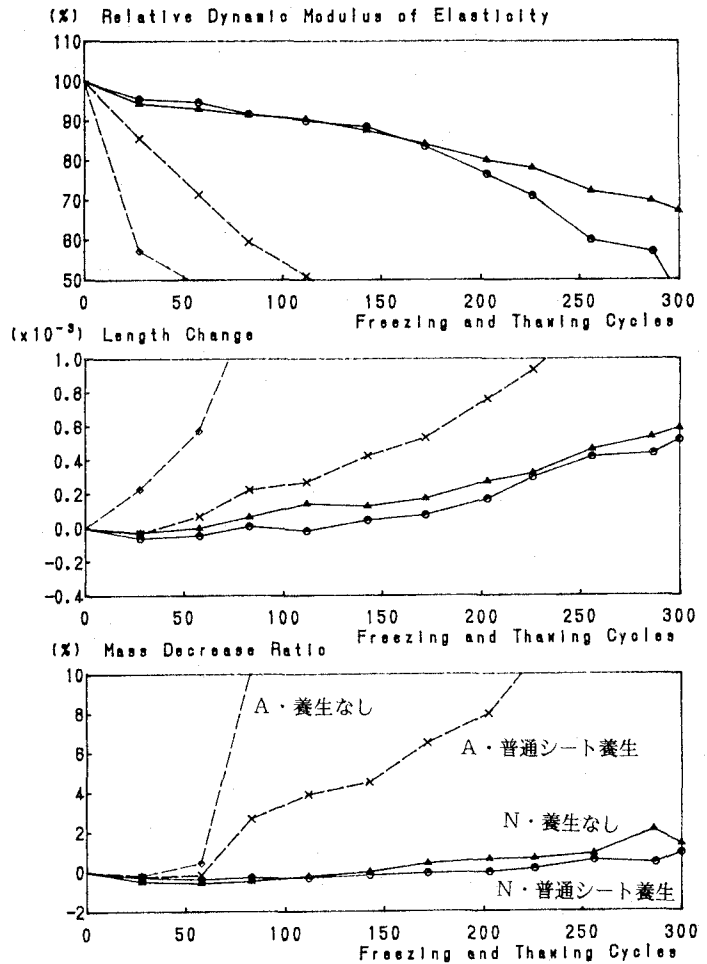


図-9 急速凍結融解試験結果(シリーズII)