

# 低温期に打込まれるコンクリートの温度変化と 強度性状に関する研究（その4）

——コンクリート打込後の凍結の繰り返しが強度発現に及ぼす影響に関する検討——

長尾 覚 博      中 根   淳

## Study on Temperature Change and Strength Property of Concrete Placed in Low-temperature Period (Part 4)

——Investigation of Influence of Repeated Freezing on  
Strength Property after Concrete Placement——

Kakuhiro Nagao      Sunao Nakane

### Abstract

The strength of concrete placed when outside air temperature is in the range of  $-5$  to  $+10^{\circ}\text{C}$  is impaired because of retardation of the rate of hydration and freezing at the initial stage of hardening. For the purpose of economical placement of concrete, it is necessary for the strength gain of concrete to be accurately grasped. It is with such a background that this paper reports on the study by laboratory tests of the influence of repeated freezing at an early period after placement. As a result of the study, conditions for curing at early age to ensure adequate strength gain have been set forth.

### 概 要

コンクリート打込後の外気温が $-5^{\circ}\text{C}$ ～ $10^{\circ}\text{C}$ 程度の範囲におけるコンクリート工事では、凝結硬化過程の凍結によるコンクリート組織の変化あるいは低温を伴う温度変化による水和速度の遅延などの組み合わせにより、強度が温暖な時期に比較して低下する傾向にある。このような低温期において経済的な施工を行なうためには、低温期におけるコンクリート強度の発現性状を適確に把握する必要がある。本報告はこのような背景にもとづき、コンクリート打込直後から数回の凍結が繰り返される場合の強度性状を実験的に検討し、十分な強度を確保するための初期養生条件を示した。

### 1. はじめに

低温期（コンクリート打込後の外気温の範囲が、 $-5$ ～ $+10^{\circ}\text{C}$ 程度）におけるコンクリートの強度発現は、下記の要因によって損なわれ、硬化後のコンクリートの品質が低下することがある。

(1) 打込直後のコンクリートの凝結硬化過程における凍結

(2) 低温養生による水和速度の遅延

(1)の初期の凍結については、既に報告したように<sup>3)</sup>、凍結までに $140\text{T}^{\circ}\text{T}$ （ $20^{\circ}\text{C}$ で6時間以上の養生条件）の積算温度を確保すれば、打込直後の凍結による強度低下はほとんど認められないことを明らかにした。

今回は、凝結硬化過程における凍結も含めて、連続し

て数回の凍結が繰り返される場合の強度発現性状および静弾性係数の変化を実験的に検討した。実験ではコンクリート打込後凍結までの養生温度を $20^{\circ}\text{C}$ 、経過時間を6, 12, 24時間とし、凍結の繰り返し回数を気象資料を参考に1回, 3回, 5回と設定した。また、凍結の繰り返し終了後は $20^{\circ}\text{C}$ 標準養生として、凍結条件の影響が明らかにできるようにした。

実験の結果、封かん状態で凍結を繰り返したものは、凍結までの経過時間を6時間以上とすれば、凍結の繰り返し回数5回終了後でも強度低下は少なく、10%未満となった。しかし、気中養生状態では凍結の繰り返しの増加に伴う強度低下が大きく、また凍結までの経過時間の影響が顕著なことが判明した。

2. 実験の概要

2.1. 使用材料

実験に使用した材料は、表一1に示す通りである。

| セメント         | 骨材            | 混和剤              |
|--------------|---------------|------------------|
| 普通ポルトランドセメント | • 細骨材-富士川産川砂  | A E 剤<br>(ペンゾール) |
|              | 表乾比重 2.58     |                  |
|              | 吸水率 3.15%     |                  |
|              | 粗粒率 2.76      |                  |
|              | • 粗骨材-富士川産川砂利 |                  |
|              | 表乾比重 2.67     |                  |
| 吸水率 1.20%    |               |                  |
|              | 粗粒率 6.58      |                  |

表一1 使用材料

2.2. コンクリートの調合

コンクリートの調合条件は以下の通りとし、試し練りによって、表一2に示す調合を決定し、これを用いた。

- a. スランプ 18.0±2.5 cm
- b. 調合強度 設計基準強度  $F_c=210$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
 温度補正值  $T=60$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
 標準偏差  $\sigma=25$  (kg/cm<sup>2</sup>) とし  
 調合強度  $F \geq F_c + T + \sigma = 295$  kg/cm<sup>2</sup>
- c. 空気量 4±1%/vol

(kg/m<sup>3</sup>)

| スランプ (CM) | W/C (%) | S/A (%) | 水   | セメント | 粗骨材   | 細骨材 | 混和剤   |
|-----------|---------|---------|-----|------|-------|-----|-------|
| 18        | 55.0    | 40.0    | 182 | 331  | 1,067 | 707 | 0.083 |

表一2 コンクリートの調合表

2.3. 実験条件

実験条件は表一3に示す通りとし、各供試体の凍結の繰り返しおよび養生条件は表一4に示した。

凍結の繰り返しには大型の恒温恒湿養生槽を用い、雰囲気温度は、図一1に示すパターンに設定した。

3. 実験の結果および考察

3.1. 打込時のコンクリートの性質

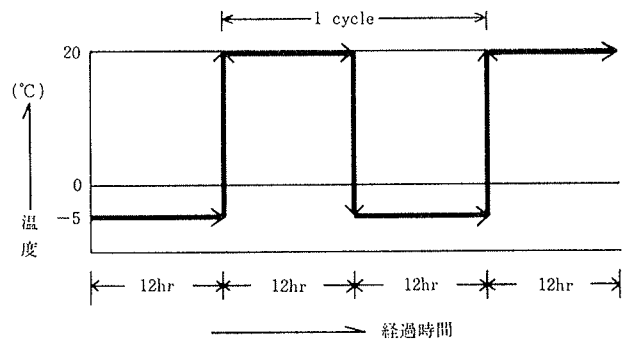
打込時のコンクリートの性質は表一5に示す通りで、所定スランプの得られなかったものが一部あったが、実験上支障のないものと見なした。

3.2. 供試体の温度変化

凍結の繰り返し時における供試体の温度変化は、図一2に示す通りである。これによると、封かん状態および気中状態の供試体温度の変化は雰囲気温度とほぼ同様であった。一方、浸水状態の場合には、雰囲気温度が-5℃になっても水の熱容量の影響で0℃以下に下らず、凍

| 項目              | 実験条件  |
|-----------------|---|
| 凍結温度            | -5℃   |
| 融解温度            | +20℃  |
| 凍結前養生温度         | 20±3℃   |
| 凍結までの経過時間       | 6, 12, 24時間                                   |
| 凍結時間            | 12時間  |
| 融解温度            | 12時間  |
| 凍結・融解繰り返し後の養生   | 20±3℃水中養生<br>20±3℃封かん養生<br>20±3℃, 60±5%RH気中養生 |
| 供試体の形状寸法        | 10φシリンダー供試体                                   |
| 凍結・融解の方法        | 大型恒温恒湿養生槽を使用                                  |
| コンクリートの目標練り上り温度 | 15±3℃   |

表一3 実験条件



図一1 雰囲気温度の変化

| 凍結までの経過時間 | 記号  | 凍結までの経過時間後の材令 (日) |    |    |    |    |    |
|-----------|-----|-------------------|----|----|----|----|----|
|           |     | 1                 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| 6         | A-1 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | A-2 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | A-3 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
| 12        | B-1 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | B-2 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | B-3 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
| 24        | C-1 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | C-2 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |
|           | C-3 | 凍結時               | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 | 水中 |

- (注)
- 凍結時 …… 20℃, 80%RH 気中養生
  - 水中, 封かん, 気中 各養生
  - ⇒ 水中, 封かん, 気中 標準養生
  - 20±3℃, 60±5%RH 気中養生

表一4 凍結の条件

| 項目<br>供試体の種類 | スラブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 単位<br>容積重量<br>(kg/ℓ) | コンクリート<br>温度<br>(°C) |
|--------------|-------------|------------|----------------------|----------------------|
| A-1          | 18.0        | 3.3        | 2.33                 | 14.0                 |
| A-2          | "           | "          | "                    | "                    |
| A-3          | "           | "          | "                    | "                    |
| B-1          | 15.9        | 3.7        | 2.34                 | 14.2                 |
| B-2          | "           | "          | "                    | "                    |
| B-3          | "           | "          | "                    | "                    |
| C-1          | 18.7        | 5.4        | 2.30                 | 14.0                 |
| C-2          | "           | "          | "                    | "                    |
| C-3          | "           | "          | "                    | "                    |

表-5 打込時のコンクリートの性質

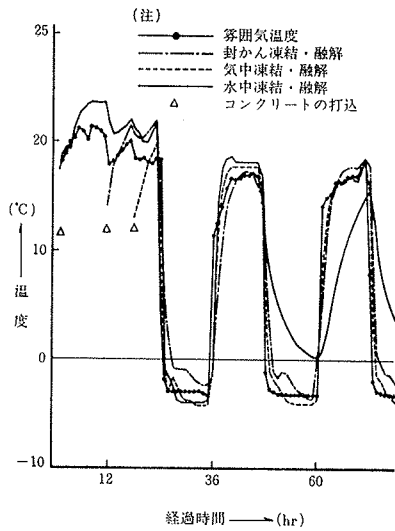


図-2 供試体中心部の温度変化

結は生じなかったため、今回の実験の範囲では浸水中の凍結融解の影響は明らかにすることはできなかった。

### 3.3. 強度・静弾性係数の試験結果および考察

3.3.1. 強度試験の結果 強度試験の結果を図示したのが図-3～5であるが、これによると、浸水状態で凍結を繰り返したものは強度低下が全く認められなかったが、これは前述のように供試体の温度が水の熱容量の影響で凍結温度以下になっていないため当然のことと思われる。

封かん状態で凍結を繰り返したものは初回の凍結の影響が大きいが、その後凍結の回数が増大してもあまり強度低下は認められなかった。また、凍結までの経過時間が長いほど強度低下の割合が少なくなる傾向が認められ、凍結までの経過時間の影響が顕著なことがわかる。

すなわち、凍結の繰り返し回数5回では、凍結までの経過時間が6時間で標準水中養生供試体の約10～12%、24時間では約5～7%の強度低下であった。

気中養生状態で凍結融解を繰り返したものは、凍結の繰り返しに伴う強度低下が著しく、凍結の繰り返し回数

5回では、標準水中養生供試体の55%程度の強度であった(図-3)。さらに、封かん状態で凍結を繰り返した場合よりも凍結までの経過時間の影響が顕著で、経過時間が長くなる程強度低下が少なくなる。特に経過時間:24時間では、凍結のない場合に比べて凍結を5回繰り返した場合、その強度低下も13%未満に止まっており、凍

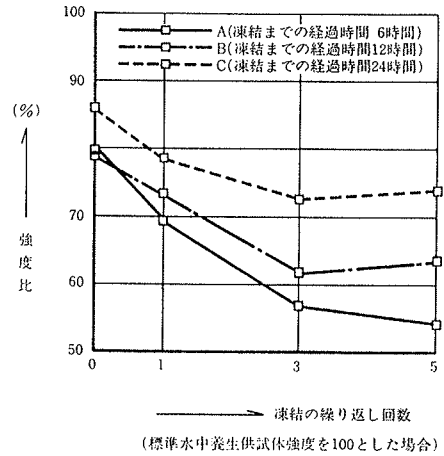


図-3 強度試験の結果 (気中養生供試体)

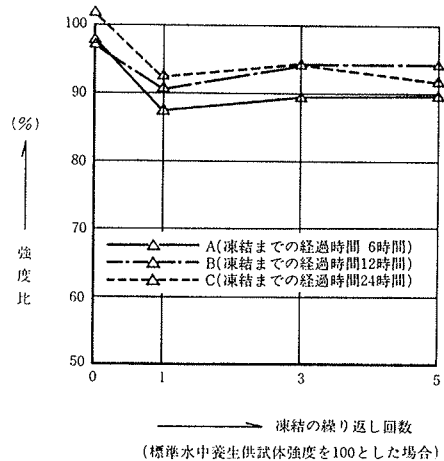


図-4 強度試験の結果 (封かん養生供試体)

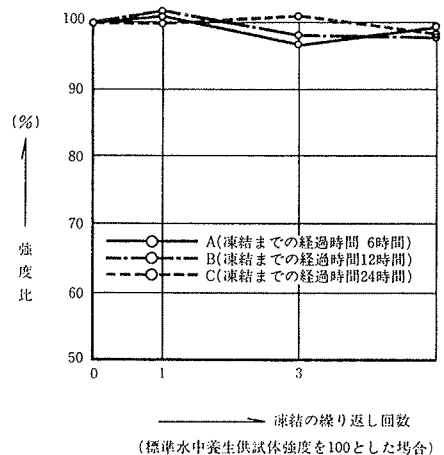


図-5 強度試験の結果 (水中養生供試体)

結までの経過時間の効果が顕著に表われている。

これらの結果から、特に凍結の影響を顕著に受けるスラブ部材<sup>3)</sup>の養生条件が気中養生条件に近いとしても、おおよそ20°Cで24時間(あるいは480 T°T)相当の養生が得られておれば、コンクリート打込直後から数回の凍結が連続して生じても強度低下はあまりないものと思われ、実際においてもこの程度の初期養生条件を考慮すればよいものと思われる。

今回の実験結果および既報告<sup>3)</sup>の結果をふまえて、凍結による強度低下を防止するために必要な、凍結までの積算温度(1)式による

$$\text{積算温度}(T^{\circ}T) = T \cdot (\bar{i} + \alpha) \dots \dots \dots (1)$$

(T: 経過時間(hr),  $\bar{i}$ : 平均温度(°C))

$$\alpha = |\bar{i} - 20|/m, 0 \leq \bar{i} < 20 \text{ のとき } m=5$$

を求め、コンクリート打込後必要な初期養生条件を図示すると図-6となる。これにより、初期養生温度別に必要な養生期間の設定が可能である。

3.3.2. 静弾性係数の結果 静弾性係数の結果を図示したのが図-7~8であるが、いずれの養生条件の場合とも強度試験の結果と比較して凍結の繰り返しによる静弾性係数の低下はあまり認められない。しかし、気中養生の場合には最初の凍結の影響が大きく、その後凍結の繰り返し回数が増大しても静弾性係数の低下は少なく、標準水中養生供試体の90%程度であった。

これらにより、静弾性係数は凍結の繰り返しによって顕著な影響は受けないことが推察される。

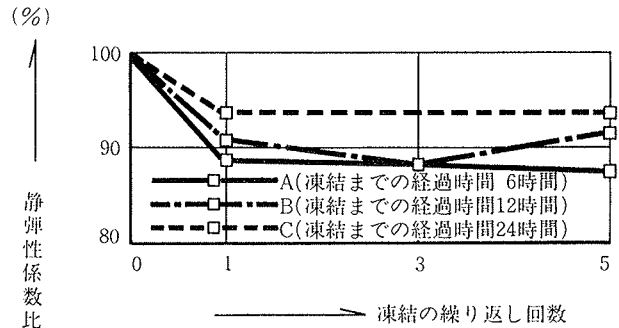


図-7 静弾性係数の試験結果 (気中養生供試体の場合)

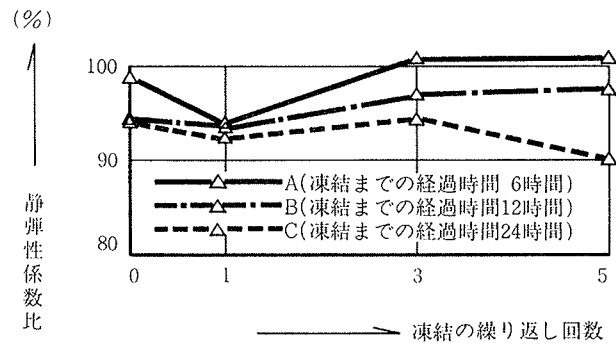


図-8 静弾性係数の試験結果 (封かん養生供試体の場合)

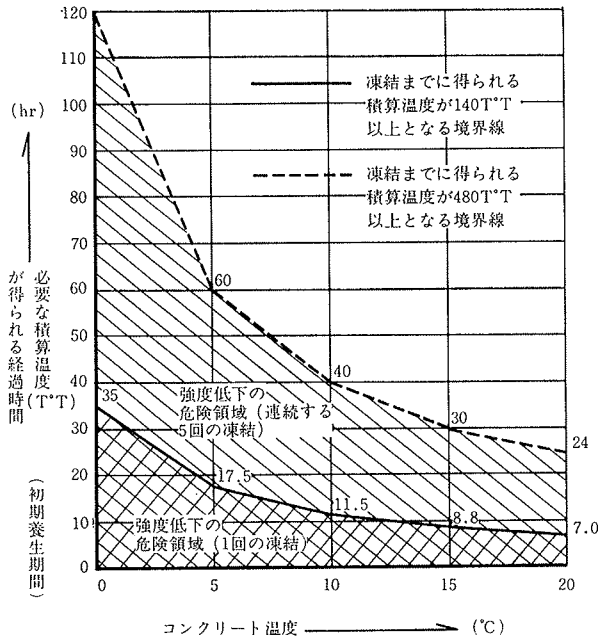


図-6 打込後の凍結による強度低下を防止するための初期養生期間

4. あとがき

今回の実験条件の範囲では、コンクリート打込後、数回の凍結の繰り返しが連続して生ずる可能性のある場合には、打込後少なくとも20°Cで24時間相当以上(480 T°T以上)の初期養生を確保する必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) D. C. McNeese: Early Freezing of Non-Air Entrained Concrete, J. of American Concrete Institute, Vol. 24, No. 4, (Dec. 1952), pp. 293~297
- 2) C. J. Bernhardt: Damage to freezing of Fresh Concrete, J. of American Concrete Institute, Vol. 27, No. 5, (Jan. 1956), pp. 573~580
- 3) 長尾, 高橋: 低温期に打込まれるコンクリートの温度変化と強度性状に関する研究, (その1~3), 大林組技術研究所報, No. 24, No. 25, No. 29, (1982, 1984), pp. 138~145, pp. 36~40, pp. 49~53