

論文

[1030] 高流動コンクリートの硬化後の品質に及ぼす蒸気養生の影響

庄司 芳之\*1、竹下 治之\*2、佐原 晴也\*3

1. はじめに

近年、高流動コンクリートに関して各所で研究開発が盛んに進められているが、その有効な適用対象の一つに、製造時の振動締固めに伴う騒音の軽減、省力化、品質の向上などが要求されているコンクリート二次製品がある。著者らは、増粘剤と高性能(AE)減水剤を添加した高流動コンクリート[1] (以下、SFコンクリートと略称) をコンクリート二次製品に適用し、その有用性を確認している[2]。しかし、一般に、高流動コンクリートは高性能減水剤を多めに使用するため、凝結が遅延する傾向にあり、コンクリート二次製品製造時の蒸気養生方法(前置き時の温度、前置き時間、養生温度の上昇勾配など) が不適切な場合、硬化後の品質が損なわれる危険性がある。

本報では、SFコンクリートを用いてコンクリート二次製品を製造する場合、強度や耐凍害性などを損なうことなく製造可能な配合条件および蒸気養生方法について実験的検討を行ったが、その結果を報告する。実験は、まず強度および気泡分布を検討するシリーズIを実施し、続いて、その結果をもとに数種類の養生パターンを決定し凍結融解試験を含めたシリーズIIを実施した。以下、これらの実験の内容および結果について報告する。

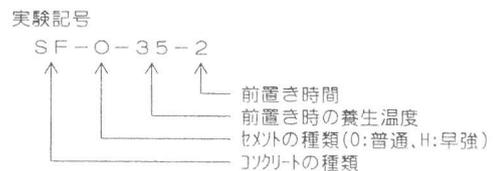
2. シリーズIの実験

2.1 実験計画

シリーズIの実験因子としてコンクリートの種類、セメントの種類、前置き時の養生温度、前置き時間について実験を行った。表-1に実験計画を、表-2には使用したセメントの凝結試験結果を示す。最高養生温度とその継続時間は70℃、3時間とし、その後は室内気中養生とした。なお、実験の実施時期は8月で、外気温は25~31℃であった。

表-1 実験計画

| 実験因子         | 水準   |
|--------------|--|
| コンクリートの種類    | SFコンクリート、通常コンクリート                            |
| セメントの種類      | 普通ポルトランドセメント(普通セメント)<br>早強ポルトランドセメント(早強セメント) |
| 前置き時の養生温度(℃) | 35、45  |
| 前置き時間(h)     | 2、3、4、5                                      |



2.2 実験方法

2.2.1 コンクリートの配合および練り混ぜ

表-3にコンクリートの配合を示す。増粘剤はセルロース系水溶性高分子化合物を、高性能減水剤はトリアジン系高縮合化合物を使用した。SFコンクリートは、ミキサにセメント、砂、碎石を投入して30秒間空練りし、その後、水、増粘剤、高性能減水剤を添加して90秒間本練りを行う方法で製造した。練り混

表-2 セメントの凝結試験結果

| セメント種類 | 凝 結        |                |                |
|--------|------------|----------------|----------------|
|        | 水 量<br>(%) | 始 発<br>(h-min) | 終 結<br>(h-min) |
| 普通セメント | 27.8       | 2-35           | 3-40           |
| 早強セメント | 30.3       | 1-37           | 2-35           |

\*1 日本国土開発(株) 技術研究所 コンクリート研究室、工修(正会員)

\*2 日本国土開発(株) 技術研究所 コンクリート研究室長、工博(正会員)

\*3 日本国土開発(株) 技術研究所 コンクリート研究室主任研究員(正会員)

表-3 コンクリートの配合

| コンクリート種類 | セメント種類 | 粗骨材寸法 (mm) | スランプ・フローまたはスランプ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | 増粘剤 (kg/m <sup>3</sup> ) | 高性能減水剤 (g/C=100kg) |
|----------|--------|------------|----------------------|---------|---------|---------|----------------------------|-----|-----|------|--------------------------|--------------------|
|          |        |            |                      |         |         |         | W*                         | C   | S   | G    |                          |                    |
| SFコンクリート | 普通     | 20         | 57.5±5.0             | 5.0±1.0 | 41.5    | 45.0    | 160                        | 386 | 781 | 1021 | 0.4                      | 2.25               |
|          | 早強     |            |                      |         |         |         | 〃                          | 〃   | 780 | 1019 |                          | 2.50               |
| 通常コンクリート | 普通     | 20         | 12.0±2.5             | 5.0±1.0 | 41.5    | 45.0    | 160                        | 386 | 781 | 1021 | —                        | 0.75               |

\* 高性能減水剤の使用量を含む

ぜバッチ数はSFコンクリート8バッチ（普通、早強セメント各4バッチ）、通常コンクリート4バッチであり、3日間で実験を行った。

### 2.2.2 試験項目

フレッシュコンクリートの試験として、スランプフローまたはスランプ、空気量、コンクリートの練り上り温度、凝結時間を測定した。また、養生温度および供試体温度を測定した。硬化コンクリートの試験として、圧縮強度（脱型時：蒸気養生終了2時間後、材令14日）、および気泡組織を測定した。これらの供試体はすべてφ10×h20cmの供試体を使用した。また、φ15×h30cmの供試体を用いて脱型面の美観の比較を行った。

### 2.3 実験結果および考察

#### 2.3.1 フレッシュコンクリート

図-1にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。SFコンクリート、通常コンクリートともにほぼ目標としたスランプフロー、スランプ、空気量が得られていることが分かる。また、コンクリートの練り上り温度は22~25℃であった。

#### 2.3.2 養生温度および供試体温度

図-2に養生温度および供試体温度の測定結果の一例を示す。供試体温度は、前置き1時間程度で前置き時の養生温度まで上昇し、その後は養生温度にほぼ追従して変化していることが分かる。

#### 2.3.3 凝結時間

図-3に凝結試験結果を示す。SFコンクリートの凝結性状はセメントの種類による違いは小さいが、始発、終結ともに通常コンクリートよりも90分前後遅延することが分かる。また、前置き時の養生温度35℃と45℃では後者の方が凝結が1時間程度速いことが分かる。

このような結果から、前置き時間によっては、始発の前に養生温度の上昇（昇温）が開始される場合や、逆に終結の後

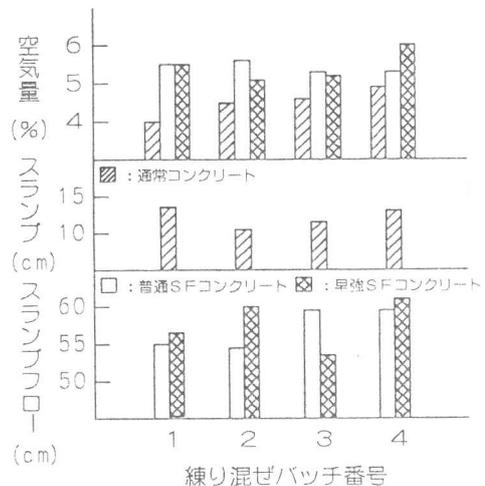


図-1 フレッシュコンクリートの試験結果

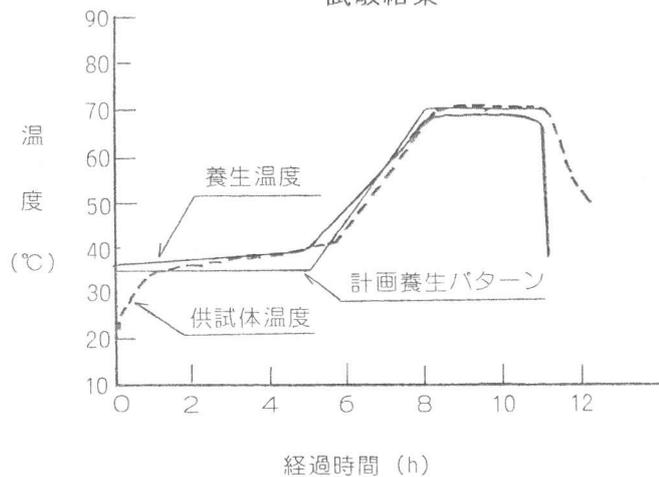


図-2 温度測定結果

に昇温が開始される場合など様々な状態があり、このような違いがコンクリートの硬化物性に影響を及ぼすものと考えられた。

### 2.3.4 圧縮強度

図-4に圧縮強度試験結果を示す。蒸気養生による圧縮強度の低下が、普通セメントを使用したSFコンクリート、および通常コンクリートで前置き時の養生温度45℃とした場合の一部にみられる。特に、前置き時の養生温度35℃、前置き時間2時間とした場合(SF-0-35-2)が大きい。しかし、この場合でも標準水中養生強度の約85%の強度発現を示し、設計基準強度(300kgf/cm<sup>2</sup>)は十分に確保されていた。

一般に、二次製品用のコンクリートの配合設計を行う際には、蒸気養生による強度低下量を10~15%としていると考えられる[3]。従って、SF-0-35-2の養生条件でも、現状の配合設計の考え方で所要の製品強度を得ることが可能であるが、安全を考えると、普通セメントを使用したSFコンクリートの前置き時間は3時間以上が望ましいと言える。

一方、早強セメントを使用したSFコンクリートでは、いずれの蒸気養生条件においても標準水中養生のものに比べ10%程度強度が大きく、SFコンクリート用混和剤、早強セメント、蒸気養生の組み合わせは硬化コンクリートの品質上、有利な組み合わせであることが推察される。

### 2.3.5 気泡組織

図-5に硬化コンクリートの気泡組織の測定結果を示す。硬化したSFコンクリートの空気量は、普通セメントを使用した場合が4.8~5.7%、早強セメントを使用した場合が4.1

~5.1%であったが、気泡間隔係数はセメント種類や養生条件に関わらず165~185μmであり、十分な耐凍害性を有していると考えられる[4]。

### 2.3.6 供試体の外観

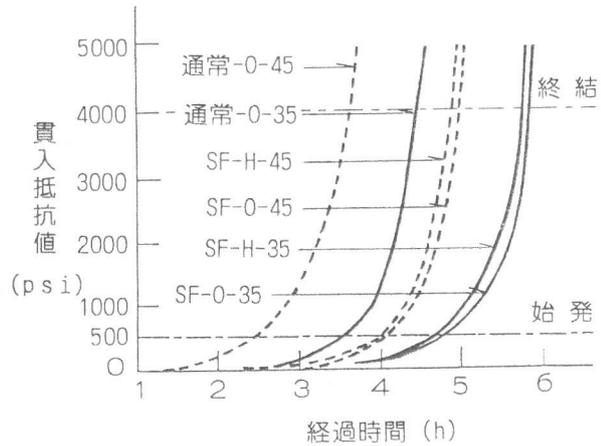


図-3 凝結試験結果

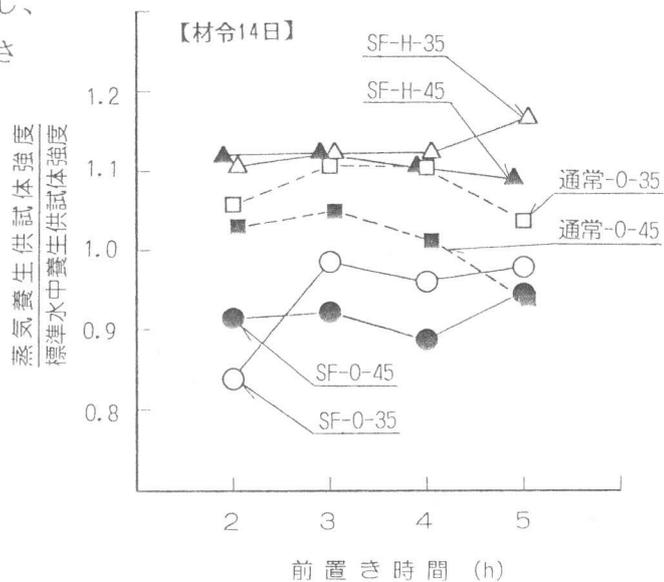


図-4 圧縮強度試験結果

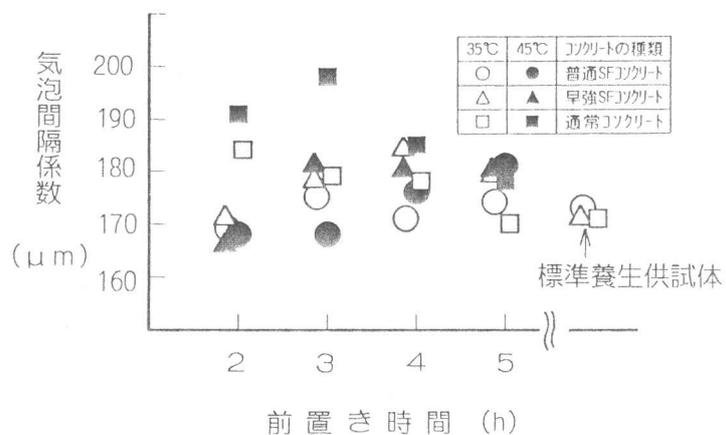


図-5 気泡組織の測定結果

供試体の外観には、前置き時の養生温度や前置き時間による気泡の数、色などの違いはほとんどみられなかった。

### 3. シリーズII

シリーズIの実験結果から、普通セメントまたは早強セメントを用いたSFコンクリートの場合、さらに厳しい養生条件でも強度および耐凍害性が満足できる可能性が考えられた。そこで、シリーズIIでは、前置き時間2時間以内、前置き時の養生温度35℃以下とし、製造時期もシリーズIと異なる条件下（春期：外気温9～15℃）で実験を行って、強度および耐凍害性に及ぼすセメントの種類および養生条件の影響を検討した。

#### 3.1 実験計画

シリーズIIの実験因子として、セメントの種類、前置き時の養生温度、前置き時間の影響について検討を行った。表-4に実験計画を、表-5には使用したセメントの凝結試験結果を示す。最高養生温度とその継続時間はシリーズIと同様に70℃、3時間とし、その後は室内気中養生とした。なお、蒸気養生を行わないで室内気中養生を行った供試体についても比較検討した。

#### 3.2 実験方法

##### 3.2.1 コンクリートの配合および練り混ぜ

コンクリートの配合および練り混ぜ方法は2.2.1と同様である。しかし、高性能減水剤の添加量は普通セメントを用いた場合2.75ℓ/C=100kg、早強セメントを用いた場合で3.25ℓ/C=100kgと、表-3に示した量よりも多量した。

##### 3.2.2 試験項目

フレッシュコンクリートの試験として、スランプフロー、空気量、コンクリートの練り上り温度を測定した。また、養生温度および供試体温度を測定した。硬化コンクリートの試験として、圧縮強度（脱型時：蒸気養生終了2時間後、材令14日）、気泡組織の測定、および凍結融解試験を行った。

#### 3.3 実験結果および考察

##### 3.3.1 フレッシュコンクリート

スランプフローおよび空気量ともほぼ目標範囲内であった。しかし、シリーズIIでは所定のスランプフローを得るための高性能減水剤の添加量は、シリーズIに比べて普通セメントを使用した場合で22%、早強セメントを使用した場合で30%多く必要であった。これは、シリーズIIのコンクリートの練り上り温度（約15℃）が、シリーズIのそれ（約25℃）よりも10℃程度低かったことが主な原因と考えられる。このように製造時期によっては、コンクリートの練り上り温度が低くなり、しかも高性能減水剤の添加量が増加する傾向にあるため、SFコンクリートの凝結が更に遅延し、蒸気養生後のコンクリートの品質に悪影響を及ぼすことが考えられた。

##### 3.3.2 養生温度および供試体温度

表-4 実験計画

| 実験因子         | 水準                               |
|--------------|----------------------------------|
| コンクリートの種類    | SFコンクリート                         |
| セメントの種類      | 普通セメント、早強セメント<br>（普通セメント、早強セメント） |
| 蒸気養生の有無      | 有、無                              |
| 前置き時の養生温度（℃） | 20、35                            |
| 前置き時間（h）     | 1、2                              |

実験記号

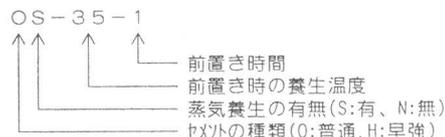


表-5 セメントの凝結試験結果

| セメント種類 | 凝 結        |                |                |
|--------|------------|----------------|----------------|
|        | 水 量<br>(%) | 始 発<br>(h-min) | 終 結<br>(h-min) |
| 普通セメント | 27.6       | 2-34           | 3-34           |
| 早強セメント | 30.1       | 1-32           | 2-31           |

図-6に、養生温度および供試体温度の測定結果の一例を示す。供試体温度は、前置き時の養生温度が35℃と20℃の違いがあったにもかかわらず、昇温時の温度上昇勾配はごく初期を除き同程度となった。

### 3.3.3 圧縮強度

表-6に、圧縮強度試験結果を示す。表-6から、セメントは早強セメントを使用した場合が、前置き時の養生温度は35℃とした場合が、前置き時間は2時間とした場合が、圧縮強度比は大きいことが分かる。しかし、実験条件に関わらず蒸気養生を施した供試体の圧縮強度は、標準水中養生を施した供試体に比べてシリーズIよりも大きく低下した。例えば、普通セメントを使用し前置き時の養生温度が35℃、前置き時間が2時間の実験条件(OS-35-2)についてみると、標準水中養生に対する強度比がシリーズIでは0.84であるのに対し、シリーズIIでは0.70となっており、製造時期によっては蒸気養生が圧縮強度に及ぼす影響が大きいことが分かる。これは、前述したように、コンクリートの練上り温度が低くなり、しかも高性能減水剤の使用量が増加したため、SFコンクリートの凝結がシリーズIよりも遅延したことが主な原因と考えられる。

従って、蒸気養生を施す必要のあるコンクリート二次製品にSFコンクリートを適用する場合、製造時期(コンクリートの練上り温度)が圧縮強度に及ぼす影響が大きいことを考慮し、製造時期に応じた適切な蒸気養生方法を選定しなくてはならないと考えられる。すなわち、コンクリートの練上り温度がシリーズIIのような条件で、

圧縮強度比が0.9程度以上を確保するためには、前置き時の養生温度を35℃とし、前置き時間は普通セメントを使用するときには少なくとも3時間以上、早強セメントを使用するときには2時間以上必要と言える。

### 3.3.4 気泡組織

図-7に、シリーズIの結果も含めて、フレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリートの気泡間隔係数の関係を示す。同図より、シリーズIIの気泡間隔係数は、シリーズIの結果に比べやや大きい値(188~223 $\mu\text{m}$ )となっていることが分かる。しかし、この値は既往の研究[4]で、耐凍害性が確保できるとされる範囲内になっており、十分な耐凍害性を有するものと推測される。

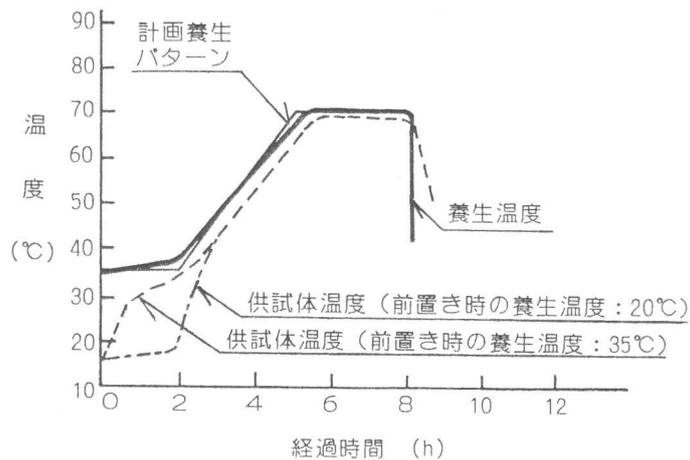


図-6 温度測定結果

表-6 圧縮強度試験結果

| 実験記号    | 蒸気養生供試体強度<br>標準水中養生供試体強度 |
|---------|--------------------------|
| OS-20-2 | 0.64                     |
| OS-35-1 | 0.69                     |
| OS-35-2 | 0.70                     |
| HS-20-2 | 0.77                     |
| HS-35-1 | 0.78                     |
| HS-35-2 | 0.89                     |

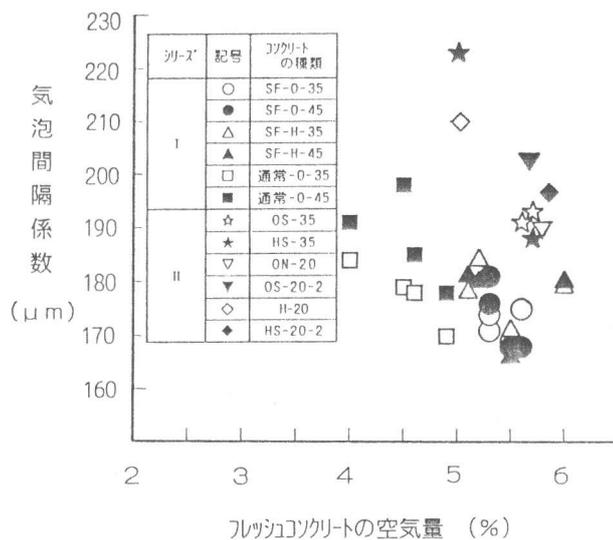


図-7 気泡組織の測定結果

### 3.3.5 凍結融解試験

図-8に、一例として、普通セメントを使用した場合のSFコンクリートの凍結融解試験結果を示す。同図から、前置き時間、前置き時の養生温度に関わらず、SFコンクリートの相対動弾性係数の低下は全く見られず、逆に幾分増加する傾向にあることが分かる。また、早強セメントを使用した場合も同様な傾向であった。

なお、このような結果から、シリーズIIに比較し気泡間隔係数が小さい値であったシリーズIにおいても、耐凍害性を十分に満足していたものと判断される。

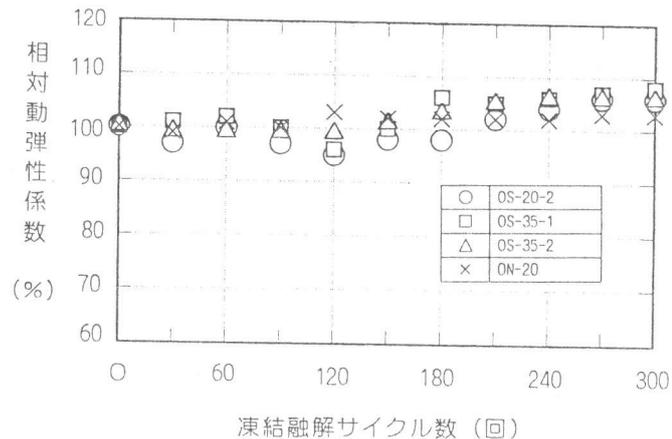


図-8 凍結融解試験結果

## 4. まとめ

SFコンクリートを用いてコンクリート二次製品を製造する場合の、適切な蒸気養生方法について検討を行った。その結果、蒸気養生がSFコンクリートの硬化後の品質に及ぼす影響について、以下のことが明らかとなった。

- (1) SFコンクリートは混和剤の影響により凝結速度は遅れるものの、適切な蒸気養生方法を選定することによって、所定の強度と耐凍害性を確保することができる。
- (2) 蒸気養生を行う場合は、製造時期、すなわちコンクリートの練り上り温度が強度発現に比較的大きな影響を及ぼす。このため、製造時期のコンクリートの練り上り温度に十分留意し、適切な蒸気養生方法を決定する必要がある。
- (3) 普通ポルトランドセメントを使用し、十分な強度と耐凍害性を確保するために必要な前置き時間は、コンクリートの練り上り温度が15℃前後のときには3時間以上、25℃前後のときには2時間以上とすればよいと考えられる。また、早強ポルトランドセメントを使用する場合は、このようなコンクリートの練り上り温度条件下では、2時間以上あればよいと考えられる。
- (4) 早強ポルトランドセメントの使用は、凝結速度はほとんど変わらないものの、蒸気養生を行う場合の強度発現に有効である。特に、コンクリートの練り上り温度が高くなる夏期において、その効果が大きい。
- (5) 凝結の始発前に蒸気養生を開始した場合でも、所定の前置き時間をとれば、連行空気泡の著しい拡大、大きな強度低下、表面の色の变化などは生じない。

### 【参考文献】

- 1) 竹下 治之、佐原 晴也、横田 季彦：締固め不要な高流動コンクリートに関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、Vol. 1、No.1、pp. 143~153、1990. 1
- 2) 佐原 晴也、竹下 治之、横田 季彦：実構造物を対象とした締固め不要な高流動コンクリートの打設実験、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp. 291~296、1990. 6
- 3) 河野 清、小池 欣司：最新コンクリート技術選書10 コンクリート工場製品・プレキャストコンクリートの設計と施工、山海堂、1980. 7
- 4) 佐原 晴也、庄司 芳之、竹下 治之、鮎田 耕一：増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性の向上方法に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、14-1、pp. 1009~1014、1992. 6