

# 論文 高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートに練上がり温度が与える影響

本樫 義人<sup>\*1</sup>・上原 匠<sup>\*2</sup>・梅原 秀哲<sup>\*3</sup>・荒島 猛<sup>\*4</sup>

**要旨：**高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートのフレッシュ性状は、使用時の環境、特に練上がり温度による影響が大きいことが認識されている。本研究では、同一スランプ、同一水セメント比のコンクリートにおける練上がり温度とフレッシュ性状および高性能 AE 減水剤の添加率の関係を明らかにすることを目的に実験を行った。その結果、練上がり温度が 10℃となる低温域において、排出直後では混和剤の効果の発現が弱く、排出後 15 分のスランプを目安に混和剤の添加率を調整することでスランプ保持性能を含め、良好なフレッシュ性状を確保できることが明らかとなった。

**キーワード：**高性能 AE 減水剤, 添加率, フレッシュコンクリート, 練上がり温度

## 1. はじめに

高性能 AE 減水剤は高い減水性能と良好なスランプ保持性能を有する化学混和剤であり、近年では高強度コンクリート、高流動コンクリート等に限らず、普通コンクリート等にも広く利用されるようになってきている。しかしながら高性能 AE 減水剤は AE 減水剤に比べ、その減水効果が大きく、添加量のわずかな違いがフレッシュ性状に大きく影響することから、混和剤として利用する際にあたり、その性能を十分に熟知する必要がある<sup>1)2)3)</sup>。

その一方で、実際には使用材料が十分な品質管理の下であっても、使用時の環境による影響が、特に練上がり温度がフレッシュの性状に及ぼす影響が大きいことが認識されている。また、個々の高性能 AE 減水剤ごとに温度による影響が異なることから、広範囲のコンクリートを対象とした報告は少なく、同一スランプ、同一水セメント比のコンクリートにおいて練上がり温度により高性能 AE 減水剤の使用量が大幅に異なる場合のフレッシュ性状についての報告はほとんどないのが現状である。そのため、実施工下

における高性能 AE 減水剤の添加率はコンクリート製作時に個別に対応がなされているのが実状である。

そこで本研究では、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた普通コンクリートの練上がり温度とフレッシュ性状との関係を明らかにすることを目的に実験を行い、練上がり温度の影響について考察を行った。

## 2. 高性能 AE 減水剤の添加率と練上がり温度との関係：実験 I

### 2.1 実験概要

本研究では、高性能 AE 減水剤を使用した、スランプ 8~12cm 程度となる土木用の普通コンクリートを対象としている。そこで、まず実験 I として高性能 AE 減水剤の使用量が単位セメント量に依存する点に着目し、各練上がり温度条件下においてその影響をより顕著に表すように単位セメント量を増やし、スランプを高めに設定した配合で実験を行った。

### 2.2 配合設計

一般的に使用されている普通コンクリートの

\*1 名古屋工業大学大学院 工学研究科都市循環システム工学専攻 (正会員)

\*2 名古屋工業大学 工学部 社会開発工学科 (正会員)

\*3 名古屋工業大学大学院 工学研究科都市循環システム工学専攻 Ph.D (正会員)

\*4 竹本油脂(株) 第三事業部 (正会員)

表－１ 使用材料

| 使用材料 | 種類                      | 記号 | 物性または性能                                             |
|------|-------------------------|----|-----------------------------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント<br>(三銘柄混合) | C  | 密度: 3.16<br>比表面積: 3340cm <sup>2</sup> /g            |
| 細骨材  | 大井川水系産川砂                | S  | 密度: 2.64g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.69               |
| 粗骨材  | 岡崎産砕石                   | G  | 密度: 2.68g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 6.70<br>最大寸法: 20mm |
| 混和剤  | 高性能AE減水剤                | SP | 主成分: ポリカルボン酸系                                       |

表－２ 配合表

| No. | 配合種別       |                              |            | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | 練上がり<br>温度 (℃) | SP<br>添加率 (C×%) |
|-----|------------|------------------------------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|----------------|-----------------|
|     | W/C<br>(%) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | s/a<br>(%) | W                        | C   | S   | G   |                |                 |
| 1   | 50         | 160                          | 46.8       | 160                      | 320 | 858 | 989 | 10             | 0.80            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 20             | 0.75            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 30             | 0.90            |
| 2   |            | 170                          |            | 170                      | 340 | 837 | 965 | 10             | 0.65            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 20             | 0.50            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 30             | 0.65            |
| 3   |            | 180                          |            | 180                      | 360 | 816 | 943 | 10             | 0.55            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 20             | 0.40            |
|     |            |                              |            |                          |     |     |     | 30             | 0.55            |

配合を考慮して、水セメント比を 50%とし、細骨材率は練上がり温度 20℃での試し練りを基に、46.8%で一定とした。さらに、単位水量は 160, 170, 180kg/m<sup>3</sup> の 3 水準とし、目標スランプを 18±1cm に、目標空気量を 4.5±1%に設定して高性能 AE 減水剤（以下、SP と省略）と AE 助剤（以下、AE）、および抑泡剤を適宜使用した。また、各配合に対する目標練上がり温度は実施工での環境条件を考慮して 10℃、20℃、30℃の 3 水準を設定した。実験に用いた使用材料を表－１に、配合を表－２に示す。

本研究で使用したポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤は、末端にスルホン基を有するポリカルボン酸基含有多元ポリマーを主成分とし、JIS A 6204 高性能 AE 減水剤標準形（I 種）に適合する混和剤である。

本研究では、練上がり排出時に目標スランプが得られるように SP の添加率を調整して実験を行った。ただし、練上がり温度が 10℃の場合の配合に関しては、排出後 15 分程度経過すると、スランプが増加する現象が見られたことから、練上がり温度 10℃の配合については排

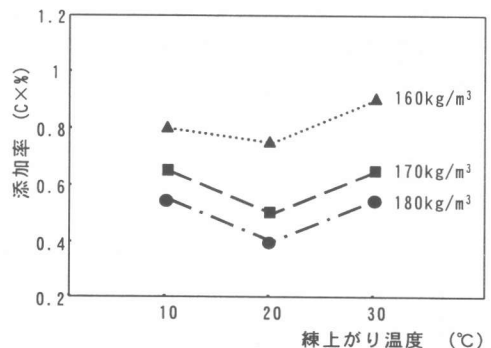
出後 15 分後に目標スランプへ到達する様に SP 添加率を調整した。

コンクリートの製造は、パン型強制練りミキサーを使用した。まず 30 秒間でモルタルを製造した後に粗骨材を投入し、90 秒間攪拌した。その後、練り板に排出し、全体が均一になるように手作業により切返しを行った。

試験項目は練り上がり排出直後、および排出後 15 分、30 分、60 分、90 分おけるスランプと空気量の経時変化、ならびに、スクリーニングにより得たモルタルペーストを容器に入れ時間の経過とともに貫入抵抗値を測定することによる凝結硬化速度試験である。なお、試料は各温度に設定した室内に静置し、計測時以外の時は試料をシートで覆い、乾燥を防いだ。

### 2.3 実験結果

目標スランプ値を得るために使用した SP の添加率を図－１に示す。このグラフから、いず



図－１ 高性能 AE 減水剤の添加率

れの単位水量においても添加率は 30℃、10℃、20℃の順に高いことが分かる。また、単位水量が少ないほど、すなわち単位セメント量の少ない配合ほど目標スランプ値を得るために必要な SP 添加率は高くなった。

次に、スランプの経時変化をグラフで表したものを図－２に示す。

これらのグラフから、スランプの経時変化に関しては、いずれの単位水量においても練上がり温度が 20℃と 30℃の経時変化は、共に単調

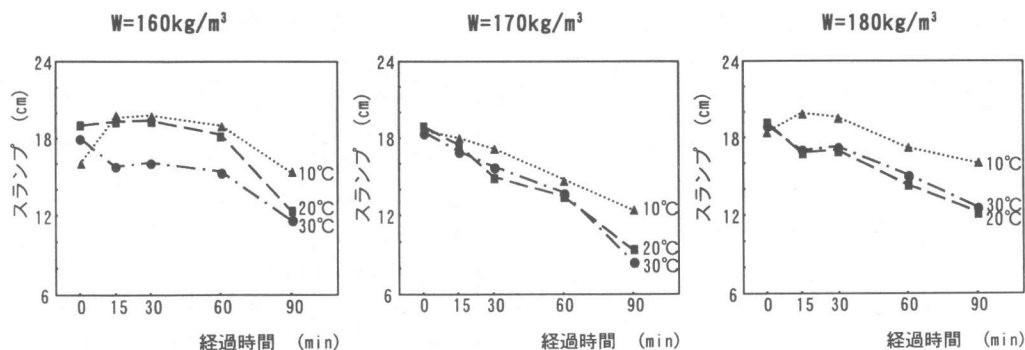


図-2 スランプの経時変化試験結果

に値が減少し、各時点におけるスランプ値の変動がほぼ等しいことがわかる。その一方で、練上がり温度が 10°C の場合では性状が異なり、特に単位水量 160kg/m<sup>3</sup>、180kg/m<sup>3</sup> の配合では練上がり排出後 15～30 分の間にスランプの増加が見られた。また、単位水量 170kg/m<sup>3</sup> の配合では、他の 2 種類の単位水量の場合と異なり、排出後のスランプの増加は見られなかったが、同一単位水量の配合中における最終的なスランプの減少量は、単位水量 160、180kg/m<sup>3</sup> の場合と同じく最も少なかった。結果として、練上がり温度 10°C の配合では、いずれの場合でも同一単位水量中でのスランプの減少は最も少なくなり、また、その経時変化の経路は練上がり温度 20°C、30°C の場合と比較して、30 分ほど遅れる形で推移することが判明した。つまり、高性能 AE 減水剤は、練上がり温度が高い場合では即効性があるが、練上がり温度が 10°C となるような低温の条件下では効きが鈍いと言える。

続いて、単位水量 160kg/m<sup>3</sup> の配合における空気量の経時変化試験結果を図-3に示す。空気量の変化は、いずれの単位水量においても最初の 15～30 分で一旦値が減少した後、その後はなだらかに減少、もしくは水平に推移する傾向が見られた。しかし、スランプ値のように、練上がり温度が空気量の経時変化の値に及ぼす明確な違いは見られなかった。

単位水量 160kg/m<sup>3</sup> の配合における凝結硬化速度試験結果を図-4に示す。目標練上がり温

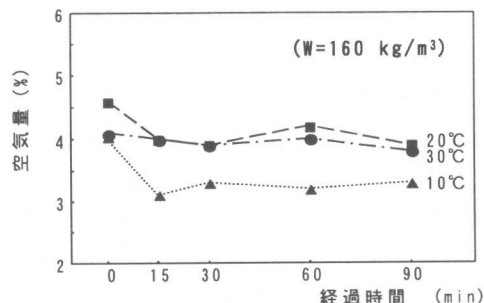


図-3 空気量の経時変化試験結果

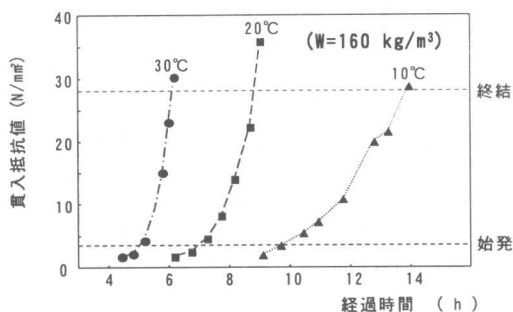


図-4 凝結硬化速度試験結果

度を維持するように室温を調節した恒温室内で保管をしたため、いずれの単位水量でも練上がり温度の高い配合の方が始発までの時間が早く、硬化速度が速い傾向にあることが明らかとなった。

### 3. 土木用コンクリートにおける練上がり温度の影響：実験Ⅱ

#### 3.1 実験概要

実験Ⅰでは、SP 添加率と練上がり温度との

表-3 使用材料

| 使用材料 | 種類                      | 記号 | 物性または性能                                             |
|------|-------------------------|----|-----------------------------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント<br>(三銘柄混合) | C  | 密度: 3.16<br>比表面積: 3340cm <sup>2</sup> /g            |
| 細骨材  | 大井川水系産川砂                | S  | 密度: 2.64g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.71               |
| 粗骨材  | 岡崎産砕石                   | G  | 密度: 2.68g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 6.69<br>最大寸法: 20mm |
| 混和剤  | 高性能AE減水剤                | SP | 主成分: ポリカルボン酸系                                       |

関係における傾向の把握を容易にするため、目標スランプ値 18cm という高い値で実験を行った。そこで実験Ⅱでは、実施工において使用される配合を考慮しコンクリートの配合を決定し、そのフレッシュ性状について考察を行った。

### 3.2 配合設計

実験Ⅰでは練上がり温度が 10℃での配合において練上がり排出後 15～30 分後にスランプの増加を示したため、練上がり温度 10℃の配合のみ排出後 15 分後に目標スランプへ到達するように SP 添加率を調整する措置をおこなっている。それゆえ、必ずしもフレッシュコンクリートの性状に関する一般的な傾向を表しているとは言いがたい。そこで以上の反省点を踏まえた上で次の配合を決定した。表-3 に使用材料を示す。

まず、土木用コンクリートに近い配合を考慮し、水セメント比を 50%、目標スランプを 12 ±1cm とし、先の実験よりも目標スランプを低く設定したことから、単位水量を 150, 160, 170kg/m<sup>3</sup> の 3 水準とした。また、粗骨材の量によって、その性状が大きく左右されることから、実験Ⅱでは単位粗骨材量一定として配合を決定した。そのために各配合において細骨材率が異なる結果となっている。さらに、練上がり温度が 10℃の場合では排出後 15 分間はフレッシュコンクリートの性状が安定しないため、今回条件を等しくするように全ての配合において練上がり排出後 15 分後に目標スランプに到達するように SP 添加率を調整して実験を行った。配合表を表-4 に示す。

練上がり温度、および試験項目は実験Ⅰと同様である。

表-4 配合表

| No. | 配合種別    |                           |         | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | 練上がり温度 (°C) | SP 添加率 (C×%) |
|-----|---------|---------------------------|---------|--------------------------|-----|-----|------|-------------|--------------|
|     | W/C (%) | 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> ) | s/a (%) | W                        | C   | S   | G    |             |              |
| 1   | 50      | 150                       | 46.8    | 150                      | 300 | 879 | 1010 | 10          | 0.85         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 20          | 0.95         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 30          | 1.05         |
| 2   | 50      | 160                       | 45.7    | 160                      | 320 | 837 | 1010 | 10          | 0.58         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 20          | 0.65         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 30          | 0.82         |
| 3   | 50      | 170                       | 44.3    | 170                      | 340 | 792 | 1010 | 10          | 0.35         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 20          | 0.42         |
|     |         |                           |         |                          |     |     |      | 30          | 0.55         |

### 3.3 実験結果

所定のスランプ値を得るために使用した SP の添加率を実験Ⅰでの添加率と共に図-5 に示す。先の実験Ⅰでは、SP 添加率は 30℃が最も高く、次いで 10℃、20℃の順に低くなる結

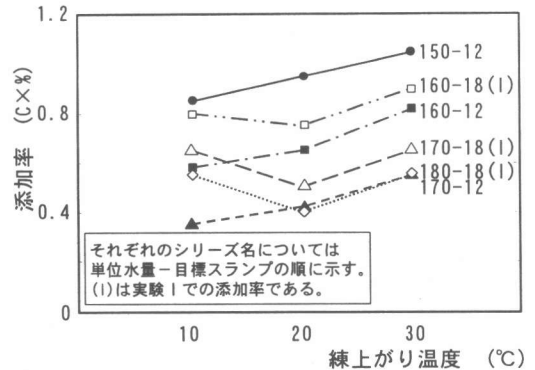


図-5 高性能 AE 減水剤の添加率

果が得られたが、この結果は先に述べたように 10℃の測定値のみが異なる条件下で得られたものであったためである。そこで、条件を等しくした状態で実験を行った結果、目標スランプ値を得るために使用した SP の添加率は 30℃が最も高く、20℃、10℃の順に低くなるという結果となった。

このような結果になった原因として、実験Ⅰの 20℃、30℃のスランプでは練上がり排出直後の値を計測していたのに対し、今回の計測では練上がり排出後 15 分後の値で測定した点が考えられる。実験Ⅰでは練上がり排出時に目標

スランプ値に到達する様に SP 添加率を調整している。そのため、図-2 に示したように練上がり排出後 15 分後には多くの配合で目標スランプ値を下回っている。つまり、このことは練上がり排出後 15 分後に目標スランプに到達するように SP 添加率を調整する場合に比べて必要とされる添加量を低目に見なしているといえる。したがって、練上がり排出後 15 分後に測定条件をそろえれば、実験 I における SP の添加率も実験 II の結果と同様な傾向を示すと推察される。測定条件を等しくしたと仮定した場合に想定され得る SP 添加率の変化を図-6 に示す。ここでは実験 I, II に共通な単位水量 160, 170kg/m<sup>3</sup> の例を挙げている。

次に、スランプの経時変化をグラフにしたものを図-7 に示す。単位水量 150kg/m<sup>3</sup> の配合では、練上がり温度 20℃, 30℃は共に、排出後 15 分間のスランプの減少幅は他の単位水量

の場合と比べて最も少なかったが、最終的なスランプ値は全単位水量中で最も小さくなった。一方、練上がり温度 10℃の配合については、排出後 15 分間はほぼ横這いとなり、その後 20℃, 30℃に比べてやや緩やかに減少していった。しかし、最終的なスランプ値の減少量は 20℃, 30℃と同じく、全単位水量の中で最も大きくなった。次に、単位水量が 160kg/m<sup>3</sup> の場合、20℃と 30℃では排出後 15 分間のスランプの減少量は異なるものの、その後の推移では非常に良く似た挙動を示した。練上がり温度が 10℃の配合では、単位水量 150kg/m<sup>3</sup> の場合と同様に、同一単位水量中の配合ではスランプの減少量が最も少なくなっている。また、その経時変化は 20℃, 30℃のそれに比べ、30 分程度遅れるような形で推移することが確認された。そして、単位水量 170kg/m<sup>3</sup> の場合では、全体的に単位水量 160kg/m<sup>3</sup> の場合と同様に単調減少しながら推移しているのが見て取れるが、練上がり温度 20℃の経時変化は、単位水量 160kg/m<sup>3</sup> の場合に比べてやや緩やかな軌跡をたどっている。また、練上がり温度 10℃に関しては、最終的なスランプの減少量は他の単位水量の場合と比べて最も少なかった。

続いて、単位水量 150kg/m<sup>3</sup> における空気量の経時変化のグラフを図-8 に示す。いずれの単位水量においても、練上がり排出後 15~30 分の間に値が大きく低下し、その後は多少の変動をしつつも、比較的平坦に推移した。

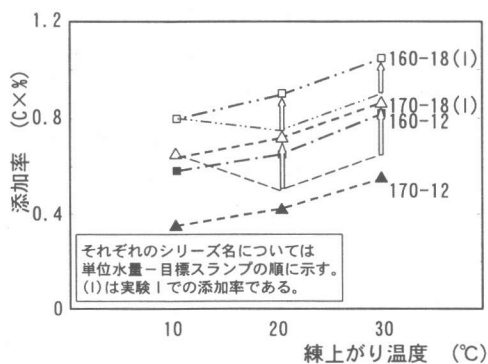


図-6 想定され得る SP 添加率

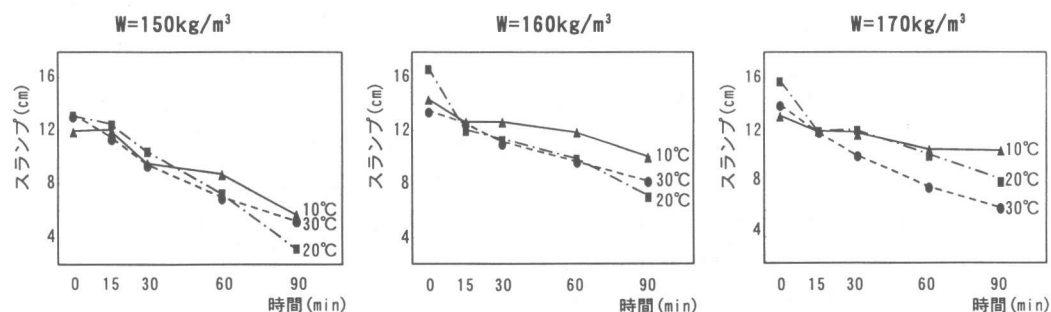


図-7 スランプの経時変化試験結果

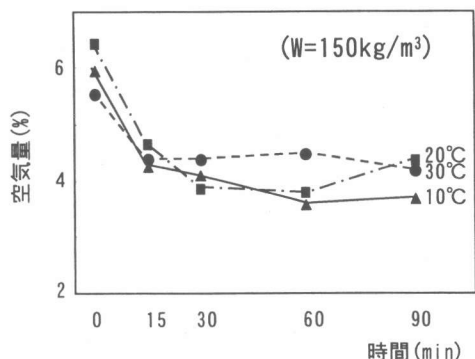


図-8 空気量の経時変化試験結果

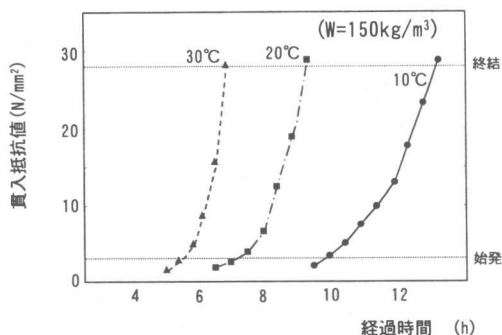


図-9 凝結硬化速度試験結果

図-9に凝結硬化速度試験結果の一例を示す。実験Ⅰの結果と同じく練上がり温度が高い方が始発までの時間は短く、また硬化速度は速くなる傾向が見られた。

#### 4. 結論

これまでの実験により得られた知見をまとめると以下のことが言える。

- 1)練上がり排出後 15 分後に目標スランプへ到達するように高性能 AE 減水剤の添加率を調整した場合、その添加率はいずれの単位水量でも 30°C が最も高く、次いで 20°C、10°C の順となった。
- 2)スランプの経時変化については、練上がり温度が 20°C と 30°C の配合ではいずれの単位水量においても単調に値が減少し、各時点におけるスランプ値の変動はほぼ等しかった。しかし、練上がり温度が 10°C の場合については他の 20°C、30°C の経時変化と比較して、スランプの減少量が少なく、また、経時変化の推移は 30 分程度遅れていることが明らかとなった。
- 3)空気量は、いずれの単位水量でも排出後 30 分間の間に大きく減少し、その後はほぼ一定の範囲で平坦に推移した。
- 4)凝結硬化速度試験では、練上がり温度を維持するように保管すると、練上がり温度の高い方が始発、終結ともに速く、また、単位水量が同じでも、練上がり温度が 30°C と 20°C の差に比

べ、20°C と 10°C の方が凝結硬化速度の差は大きく表れた。

以上のことから、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートにおける高性能 AE 減水剤の添加率と練上がり温度との関係を考えて、練上がり温度が 20°C と 30°C の配合に関しては排出直後のスランプによってそのフレッシュ性状を知ることが可能であるが、練上がり温度が 10°C の場合に関しては、練上がり排出直後は性状が安定しておらず、このような低温域の条件下でコンクリートを打設する場合には練上がり排出後 15 分後でのスランプの状態を目安として高性能 AE 減水剤の添加率を調整することが望ましいと言える。

#### 参考文献

- 1)高橋秀樹、松浦誠司、新谷嘉教：温度および経過時間が高流動コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響、土木学会第 54 回年次学術講演会、1999 年
- 2)荒島猛、友澤史紀、他：高性能 AE 減水剤コンクリートに及ぼす温度変化の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999 年
- 3)北澤淳：高性能 AE 減水剤の特性に関する研究、名工大卒業論文、1991 年