

報告 環境温度20～35℃における高流動コンクリートのフレッシュ性状

秋山 哲治^{*1}・沖野 宏樹^{*2}・大野 武志^{*3}・壹岐 直之^{*4}

要旨：那覇沈埋8号函製作工事を対象にした室内試験練りにおいて、暑中環境においても確実な充填性を有する高流動コンクリートの配合を抽出した。環境温度は20, 25, 35℃の3水準について行った。その結果、暑中タイプの高性能AE減水剤を用いることで所定の品質を満足できることが判った。また、環境温度20℃では、25℃以上と比べて、練上がり直後のスランプフロー変化量が大きいこと、粘性が強くV漏斗流下時間が長くなることを把握した。一方、細骨材表面水率の変動および高性能AE減水剤の添加量がフレッシュ性状に及ぼす影響は、環境温度20℃と35℃とでは概ね同じであることが判った。

キーワード：高流動コンクリート, フレッシュ性状, 環境温度, 暑中環境, 室内実験

1. まえがき

現在建設が進められている那覇港臨港道路空港線での沈埋函製作工事では、鋼板により閉鎖された空間にコンクリートを充てんするため、締固めが不要な高流動コンクリートが採用されている。高流動コンクリートのフレッシュ性状は、通常のコンクリートよりも環境温度の影響を強く受ける。これまでの工事ではコンクリート打設が11～12月に行われてきたが、8号函製作工事では4～7月に施工が予定される。このため、施工期間中の環境温度は20～35℃程度となることが予想される。本工事では、暑中環境においても確実な充てん性を有する高流動コンクリートの配合を策定する必要がある。

本報告は、本工事を対象にした室内試験練りにおいて、環境温度を20～35℃として行った実験結果を取りまとめたものである。実験では、環境温度が、高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響を確認した。また、細骨材表面水率の変動、高性能AE減水剤（以下、SPと称す）の添加量が、フレッシュ性状に及ぼす影響を、環境温度の違いにより考察した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

表-1に実験での使用材料を示す。これらは、実施工で予定している材料であり、SP以外は那覇沈埋函製作工事で実績があるものである。

表-1 使用材料

材料名	記号	種類・内容
セメント	C	【普通ポルトランドセメント】 密度3.16g/cm ³ , 比表面積3220cm ² /g
混和材	Ls	【石灰石微粉末】 密度2.71g/cm ³ , 比表面積6130cm ² /g
細骨材	S1	【海砂】東村新川沖産 表乾密度2.60 g/cm ³ , 吸水率2.10% 微粒分量2.2%, 粗粒率2.29
	S2	【砕砂】本部産 表乾密度2.64 g/cm ³ , 吸水率1.55% 微粒分量4.6%, 粗粒率3.02
粗骨材	G	【碎石】本部産 表乾密度2.70 g/cm ³ , 吸水率0.40% 微粒分量0.5%, 粗粒率6.58
混和剤	SP	【高性能AE減水剤*】 ポリカルボン酸系(暑中タイプ)
	VA	【増粘剤】 セルロース系
	AE	【空気量調整剤】 変性アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤

*）環境温度20～35℃の範囲において対応可能と評価した混和剤である。

*1 若築建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

*2 若築建設・三井造船・本間組 特定建設工事共同企業体

*3 若築建設・三井造船・本間組 特定建設工事共同企業体

*4 若築建設(株) 技術研究所 博(工) (正会員)

表-2 コンクリートの配合（基本配合）

G _{max} [mm]	Air [%]	W/P* [%]	W/C [%]	単位量 [kg/m ³]						VA [W×%]	SP [P×%]	AE [P×%]
				W	C	LS*	S1	S2	G			
20	4.0	30.4	50.7	175	345	230	458	384	760	0.115	1.000	0.0020

* Pは、CとLSを合計した粉体量。石灰石微粉末LSは、骨材微粒分とLSの質量和が230kg/m³となるように調整。

表-3 フレッシュ性状の品質基準

試験項目	品質基準
スランプフロー	65±5cm
V75漏斗流下時間	5~20秒
ブリーディング率	1.0%未満
単位容積質量	2.30~2.40t/m ³

※上記の品質基準以外の試験項目として、空気量試験を行った。また、これらフレッシュ性状の品質保持時間は、練混ぜ終了から90分間とした。

表-2にコンクリートの配合を示す。この配合は、表-3に示す本工事における高流動コンクリートの品質基準を満足するように抽出した配合である。

細骨材は、海砂と砕砂の混合したものを、混合砂の粗粒率が2.6程度になるように設定した。実験での混合比は、海砂：砕砂=55：45であり、混合砂の粗粒率は2.62である。

2.2 コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは0.1m³の強制二軸型ミキサを用いた。練混ぜ手順は、セメント、混和材、骨材および増粘剤を30秒間練り混ぜた後、水、SP、空気量調整剤を加えて120秒間、合計150秒間練り混ぜる方法とした。

2.3 実験ケース

表-4に実験ケースを示す。実験は、恒温室内を20、25、35℃に制御して品質基準を満たす配合を抽出し、環境温度による影響を調べた。また、環境温度20℃および35℃について、細骨材表面水率の変動、およびSP添加量による影響を確認した。なお、実験では細骨材表面水率を直接操作することが困難である。このため、単位水量補正計算での表面水率の変動を模擬し、例えば表面水率の実測値が1.0%であるときに、設定値1.5%とした場合を+0.5%として示した。

試験は、練混ぜ終了から7,30,60,90分後（以下、練混ぜ終了からを省略し、*分後と称す）に、表-3に示す項目について行い、フレッシュ性

表-4 実験ケース

実験要因	設定条件			備考			
	環境温度	細骨材表面水率の設定	SP添加量 [P×%]				
環境温度	20℃	実測値 (=0.3~3.8%)	1.200	基本配合			
	25℃		1.000				
	35℃		1.050				
表面水率の変動	20℃	実測値+0.5% 実測値 実測値-0.5%	1.200				
					35℃	実測値+1.0% 実測値 実測値-0.5%	1.050
	35℃	1.025					
			1.075				

状の経時変化を確認した。これらの試験では、コンクリート試料を練船に静置し、所定の試験時刻直前にショベルで練り直してから試料を採取した。ブリーディング率の測定は、表-4に記載する実験要因が環境温度の3ケースと、表面水率の設定を減少させた（=単位水量を増加させた）ケースとについて実施した。

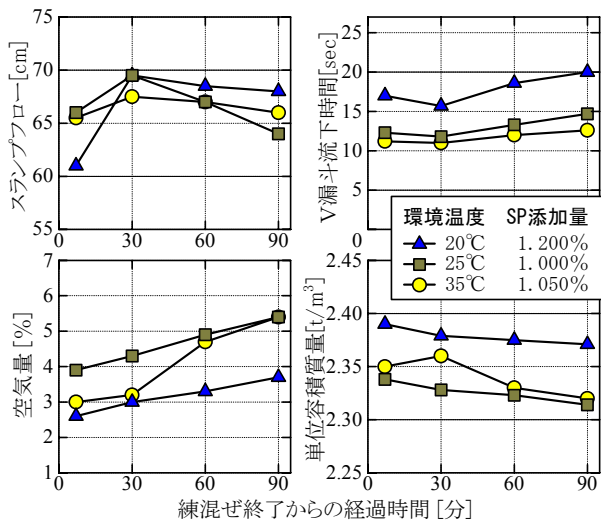
コンクリート温度は、環境温度20℃で20.6~23.5℃、環境温度25℃で24.3~26.7℃、環境温度35℃で30.7~32.7℃であった。また、空気量調整剤の添加量は、環境温度20℃および35℃では0.0025%とした。表-4に示した実験ケースを、実施工で予定している複数の工場について行ったが、紙面の都合上、1工場の結果を主として報告する。

3. 実験結果および考察

3.1 環境温度の影響

(1) スランプフローに及ぼす影響

図-1にフレッシュ性状の経時変化を示す。本実験では、品質基準を満足するように環境温度に応じてSP添加量を調整した。いずれの環境温度でも、スランプフローは30分後まで増加し、それ以降は緩やかに低下する傾向を示した。



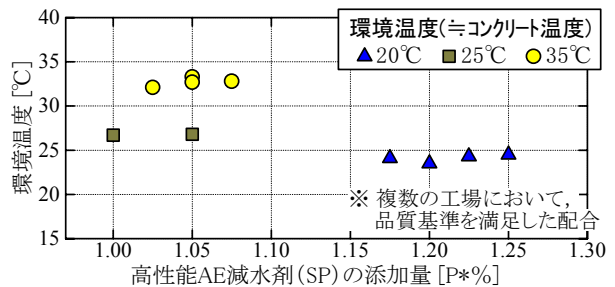
図－1 フレッシュ性状の経時変化（環境温度）

環境温度35℃では30～90分後までのスランプロスが1.5cmと小さく、暑中環境においても良好な経時保持性能を有していた。環境温度25℃のケースにおいて、30分後以降のスランプ低下が最も大きくなったのは、SP添加量が3ケースの中で最も少なかったことに起因するものであろう。

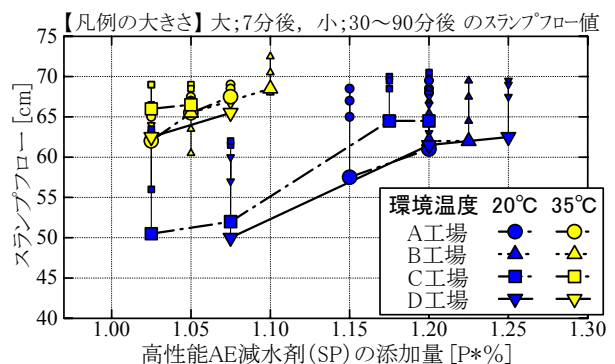
また、7～30分後までのスランプフロー変化量は、環境温度25℃と35℃では2.0～3.5cmであったのに対して、環境温度20℃では8.5cmとなった。このことから、今回使用したSPは、環境温度が比較的低い場合では、練上がり直後のスランプフロー変化量が大きくなる性質を有することが判った。

(2) V漏斗流下時間に及ぼす影響

環境温度25℃と35℃では、V漏斗流下時間は10～15秒の範囲内で推移しており、概ね同じであった。一方、環境温度20℃では、25℃以上と比較して、V漏斗流下時間が4～6秒程度長くなり、90分後まで15秒以上で推移した。実験では、表－4に示すケースに加えて、粘性を抑えることを目的として増粘剤量を低減させたケースも実施したが、V漏斗流下時間に変化が見られなかった。このことから、環境温度20℃において粘性が強くなる傾向を示したのは、SP添加量が3ケースの中で最も多かったことが要因であると推測する。



図－2 環境温度とSP添加量の関係



図－3 スランプフローとSP添加量の関係

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

空気量は時間の経過とともに増加し、それに伴って単位容積質量は品質基準の2.3～2.4t/m³の範囲で推移した。

環境温度20℃と25℃では、7～90分後までの空気量の増加は1.1～1.5%程度であったのに対して、環境温度35℃では若干大きく2.4%であった。同様にして、単位容積質量の90分後までの低下は、前者が0.017～0.024t/m³減少したのに対して、後者では最大で0.040t/m³低下し、前者の2倍程度となった。これらのことから、環境温度35℃では、25℃以下と比較して、90分後までの空気量の増加（＝単位容積質量の低下）が大きくなる傾向を示した。これらの変動量を予め考慮した配合を設定することによって、実施工においても所定の範囲内に制御できると考える。

(4) 環境温度とSP添加量の関係

図－2に環境温度（≒7分後のコンクリート温度として図示）とSP添加量の関係を示す。同図は、実施工で予定している複数の工場についての結果である。

SP添加量は、環境温度25℃で1.000～1.050%、35℃で1.025～1.075%となり、温度が高くなるに

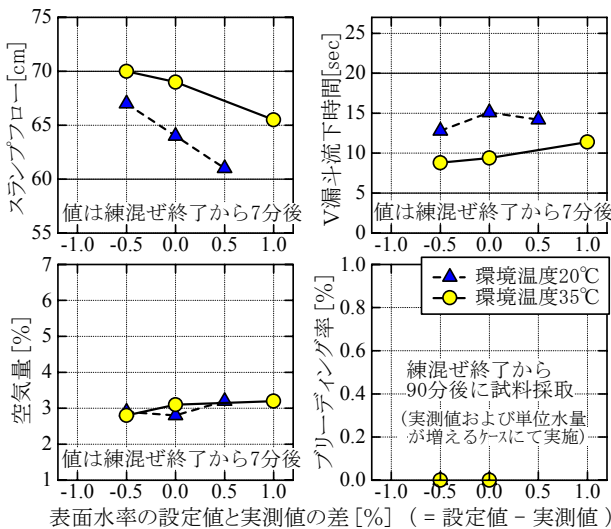


図-4 細骨材表面水率の変動による影響

つれて増加した。一方で、環境温度20°Cでは、今回の実験範囲ではSP添加量が1.175~1.250%で最も多くなり、環境温度25°Cと比べて平均0.200%増加した。一般に、ポリカルボン酸系のSPは、温度が高い時はフレッシュ性状の保持性を確保するために添加量を増やす傾向がある¹⁾が、本実験での環境温度20°Cではこれと相反する傾向を示した。今回の実験結果と同様に、低温環境下においてポリカルボン酸系のSP使用量を増やした²⁾報告もされており、適切なSP添加量については実機試験練りも併せた十分な事前検討が必要であると考えられる。

図-3にスランプフローとSP添加量の関係を示す。図-2と同様に、複数の工場におけるすべての結果である。本実験の範囲では、環境温度20°Cの場合について、SP添加量が1.200%程度になると、それ以上SP添加量を増やしてもスランプフローの増加が認められず、頭打ちとなる傾向を示した。

3.2 細骨材表面水率の変動による影響

図-4に細骨材表面水率の変動によるフレッシュ性状への影響を、図-5にフレッシュ性状の経時変化を示す。なお、表面水率の設定値を実測値より0.5%増やすことは、単位水量をおよそ4.5kg/m³減らすことになる。

(1) スランプフローに及ぼす影響

表面水率0.5%の変動に対するスランプフロ

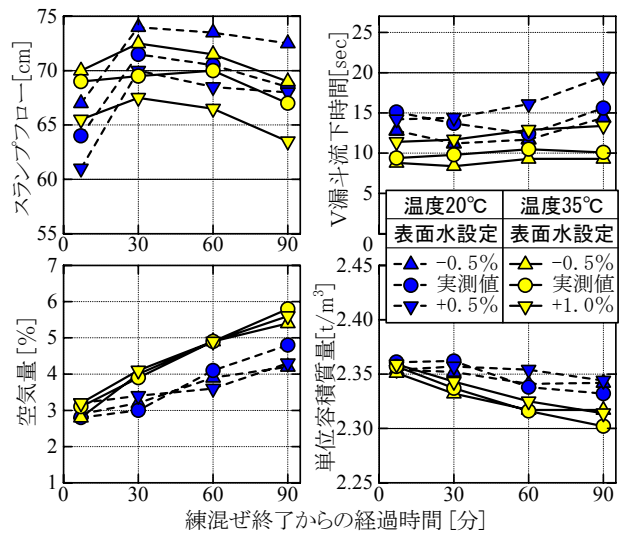


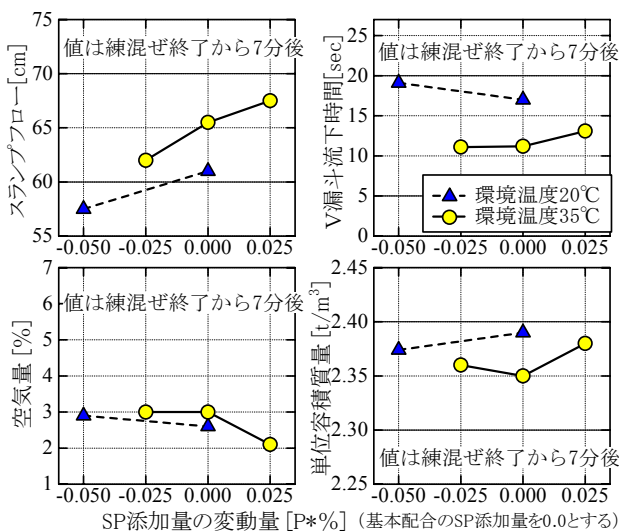
図-5 フレッシュ性状の経時変化 (表面水率)

一の変動について、7分後における変動量は、環境温度20°Cで3.0cm、35°Cで1.5cmであった。一方で、90分後まで全体を通してみると、環境温度にかかわらず変動量は概ね同じであり、その大きさは2.2cm程度であった。

また、スランプフローの経時変化は、表面水率を変動させた後においても、環境温度20°Cと35°Cではともに実測値の経時変化と同じ傾向であった。すなわち、7~30分後までの変化量は、環境温度35°Cでは2.5cm以内で小さく、20°Cでは8cm程度と大きくなった。それ以降30~90分後までのスランプフロー変化量は、環境温度20°Cと35°Cでともに2~3cm程度となり、良好な経時保持性能を有していた。

(2) V漏斗流下時間に及ぼす影響

表面水率0.5%の変動に対する7分後におけるV漏斗流下時間の変動量は、環境温度20°Cは0.7秒、35°Cは0.8秒であり、ほぼ同じであった。90分後までの全体を通してみると、表面水率の設定値に伴って粘性に変化が認められた。つまり、単位水量を増加すればV漏斗流下時間が減少し、逆に単位水量を減じればV漏斗流下時間が増加する傾向を示した。なお、環境温度20°Cでの7分後において、表面水率設定を増加 (= 単位水量を減少) させたケースのみ、基本ケースと比べて粘性が小さくなった。この傾向は、30分後以降では認められないため、環境温度が比較的



図一六 高性能AE減水剤(SP)添加量による影響

低い場合は、SPの効き始めが若干遅延する場合がありますことに起因するものであろう。

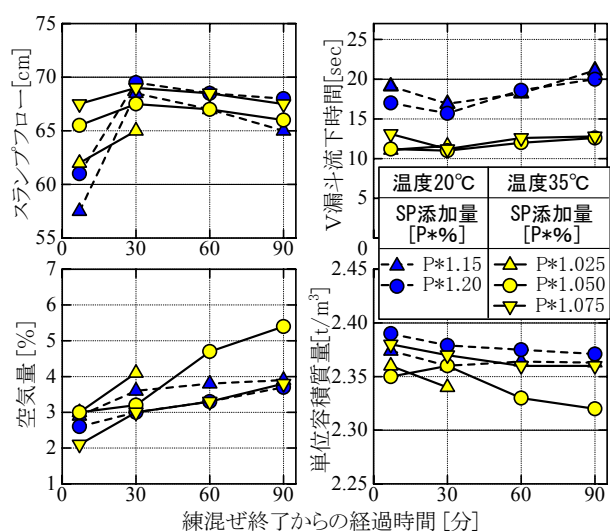
V漏斗流下時間の経時変化では、環境温度20°Cおよび35°Cとも、90分後まで基準値内で推移した。特に、環境温度35°Cでは、表面水率設定を1.0%増加(=単位水量を減少)させた場合でも、90分後まで15秒以内で推移しており、良好な経時保持性能を有していた。一方、環境温度20°Cでは、60分後以降において、スランプフローが68cm以上で比較的大きいにも関わらず、V漏斗流下時間は16.1~19.5秒と長くなった。これは、環境温度20°Cでは、SP添加量が元々多いため、表面水率の設定を増加する(=単位水量を減じる)ことによって、SP自体の使用量による粘性が強くなる効果が現れたと考える。

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

90分後までの全体を通して、表面水率の設定を減じると(=単位水量を増やすと)、空気量が僅かに減少する傾向があった。単位水量を増加させることで流動性は増加するが、粘性が低下するため、空気を巻き込みにくくしていると考えられる。これに対して、表面水率の設定を変更しても、単位容積質量の変化がほとんどみられなかったのは、空気量の変動量が少なかったためと考える。

(4) ブリーディングに及ぼす影響

すべての実験ケースにおいて、ブリーディン



図一七 フレッシュ性状の経時変化 (SP添加量)

グ率は0%であった。また、表面水率の設定を減じた(=単位水量を増加させた)ケースにおいても、練船でのコンクリート練り返しにおいて材料分離などの傾向は認められなかった。特に環境温度20°Cでは、SP添加量が元々多いにもかかわらず、ブリーディング率が0%であり、目視観察でもフレッシュ性状は良好であった。このことから、配合に関して材料分離抵抗性に寄与すると考える増粘剤の添加量などは、本実験で設定した使用量が妥当であると考えられる。

3.3 高性能AE減水剤(SP)の添加量による影響

図一六にSP添加量の変動によるフレッシュ性状への影響を、図一七にフレッシュ性状の経時変化を示す。

(1) スランプフローに及ぼす影響

SP添加量0.025%の変動に対する7分後でのスランプフローの変動量は、環境温度20°Cで1.8cm、35°Cで2.8cmであった。環境温度が低い場合、SP添加量に対するスランプフロー変動量は、温度が高い場合と比べて鈍感であると考えられる。このことは、3.1で記述したように、SP添加量が1.200%程度になるとスランプフロー変動量が小さくなる傾向と一致している。

スランプフローの経時変化は、表面水率の設定を変化させた場合と同様に、SP添加量を変動させた場合においても、環境温度20°Cと35°Cではともに実測値の傾向と同じ経時変化を示した。

環境温度20℃の1.15%(=基本量-0.050%)では、7~30分後までのスランプフロー変化量が10cmを越える結果となった。このため、環境温度が20℃程度以下の場合、練上がり直後(=工場出荷時)の結果によって、30~60分後(=打設現場の到着時)の結果を予測することは難しいと予想される。このため、製造後にアジテータ車をしばらく待機させて、練上がり10分後での試験を行うなどの配慮を検討する必要がある。一方で、環境温度35℃では、7~30分後のスランプフロー変化量も小さく、良好な経時保持性能であった。これらのことから、今回用いた暑中タイプのSPは、環境温度25℃以上の範囲において、特に優れた経時保持性能を有していることが判った。

(2) V漏斗流下時間に及ぼす影響

環境温度20℃と35℃とでは、ともにSP添加量を変化させることによって、V漏斗流下時間に変化は見られなかった。この性状は、SP添加量がスランプフローに及ぼす影響とは異なった。つまり、SP添加量がフレッシュ性状に与える影響は、スランプフローに対する影響が大きいものに対して、粘性(=材料分離抵抗性)に与える影響は比較的小さいと考察する。

V漏斗流下時間の経時変化は、環境温度35℃は90分後まで12秒程度でほぼ一定に推移したが、20℃では90分後まで15.7~21.1秒で推移した。このように、環境温度20℃では、V漏斗流下時間が比較的長くなる性質があった。

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

全体を通して、SP添加量を増加させると、空気量が減少する(=単位容積質量が増加する)傾向であった。SP添加量の変動量0.025%に対する7分後での空気量の変化は、環境温度35℃では0.5%と比較的大きく、20℃では0.2%であった。単位容積質量についても空気量と同様な傾向を示し、環境温度35℃では0.010t/m³であったのに対して、20℃では0.005t/m³となり、35℃と比較して小さくなった。

4. まとめ

本報告での結論を以下に示す。

- 1) 暑中タイプの高性能AE減水剤を用いることによって、環境温度20~35℃で所定の品質を満足できることが判った。
- 2) 環境温度20℃では、25℃以上と比べて、練上がり直後のスランプフロー変化量が大きく、V漏斗流下時間が長くなることを把握した。
- 3) 環境温度25℃以上では、温度が高くなるにつれて、SP添加量は多くなった。一方で、環境温度20℃では、SP添加量が最も多くなり、環境温度25℃と比べて0.200%増加した。
- 4) 本実験の範囲内では、環境温度20℃の場合、SP添加量が1.200%程度になると、それ以上SP添加量を増やしても、スランプフローの増加が小さくなり頭打ちとなる傾向を示した。
- 5) 細骨材表面水率の変動および高性能AE減水剤の添加量がフレッシュ性状に及ぼす影響は、環境温度20℃と35℃では、概ね同等であることが判った。

なお、本報告は、那覇沈埋8号函製作工事の室内試験として実施した。ここに、内閣府沖縄総合事務局の皆様をはじめ、(株)ポゾリス物産、沖縄県生コンクリート工業組合、(株)沖縄生コンクリート、球陽生コンクリート(株)、(資)山城生コンクリート工業、琉球生コン(株)、ならびにご指導・ご協力頂いた関係各位の皆様には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大川裕：高性能AE減水剤の特徴・種類および性能、コンクリート工学Vol.37 No.6, pp.15~26, 1999.6
- 2) 吉田、金森、浜崎、金井：高流動コンクリートの製造時に於ける変動要因の検証、生コン技術大会研究発表論文集, Vol.10, pp.145~150, 1999
- 3) 後藤、藤村、佐野：環境温度の変化が高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響、土木学会第55回年次学術講演会, V-107, 2000.9
- 4) 柳澤、山田、羽原、須藤：練混ぜ温度が高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響の作用機構、コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.2, pp.547~552, 1999.7