

論文 コンクリート温度と高性能 (AE) 減水剤の種類が 高流動コンクリートの諸性質に及ぼす影響

飯生昌之*¹・阿部保彦*²・柿崎正義*³・奈良禧徳*⁴

要旨：本研究では、高性能(AE)減水剤を用いた高流動コンクリートのフレッシュ時、凝結時および硬化後の主要物性について、コンクリート温度別タイプおよび混和剤の添加量を変えた場合の影響を定量的に把握することが出来た。スランプフローは、低温ほど練上がり直後の値が小さく、最大値を示す時間が遅くなることがわかった。ポリカルボン酸塩系および高縮合トリアジン系化合物とも凝結時間は、養生温度が高くなるほど早くなり、また低温タイプから低・常温タイプ、常・高温タイプおよび高温タイプになるほど遅くなることがわかった。

キーワード：高流動コンクリート、高性能(AE)減水剤、スランプフロー、凝結試験、圧縮強度

1. 試験目的

近年、コンクリート構造物の大型化や高層化に伴う過密配筋化された部位へのコンクリート施工技術として、高流動コンクリートを適用することが多くなってきた。特に、高流動コンクリートの打込み時に適当な流動性を確保するためには練混ぜから打込みまでの時間経過による性状変化に関するデータが不可欠である。流動性付与に必要な高性能(AE)減水剤に、コンクリート温度別タイプが用意されている場合もあるが、使用温度に対する適当な添加量およびフレッシュコンクリートの性状の経時変化に関するデータがほとんどない。

そこで、本研究は、コンクリートの温度変化に対応した最適な高性能(AE)減水剤やスランプフロー低下を調整する減水剤の使用方法を把握するために、現場打ち高流動コンクリートによく使用されているポリカルボン酸塩系の高性能 AE 減水剤 (KP 剤と略称) と、プレキャストコンクリートに主に使われている高縮合トリアジン系の高性能減水剤 (NP 剤と略称) について、コンクリート温度別によって、高流動コンクリートの諸性状に及ぼす影響について

検討したものである。

2. 試験概要

2.1 試験の組合せ

試験要因はコンクリート温度別タイプの KP 剤系とコンクリート温度別に添加量を変えた NP 剤系を取り上げた。KP 剤系は、コンクリート温度別タイプの低温用、低・常温用、常・高温用および高温用の 4 タイプを選び、NP 剤系は、低温、低・常温、常温および高温のそれぞれの温度に応じて、高性能減水剤、減水剤の添加量を選定した。そのときの養生温度はそれぞれ 10、20 および 30℃とした。表 1 に試験の組合せによる要因と水準ならびに測定項目を示す。

2.2 使用材料および調査

表2, 3に試験に用いた高流動コンクリートの使用材料および基本調査を示す。KP 剤は空気連行性を持っているが、温度に応じて空気量を調整するために AE 剤を用いた。NP 剤は空気連行性を持っていないため、温度に応じて空気量を調整するために AE 剤とスランプフロー低下を調整する減水剤 (リグニンスルホン酸とポリオール複合体) を用いた。KP

*1 株式会社アドバンス 中央技術研究所 コンクリート製品研究室 (正会員)

*2 鹿島 技術研究所 建築技術研究部 上席研究員 (正会員)

*3 三友エンジニアリング(株) 専務取締役 工博 (正会員)

*4 株式会社アドバンス中央技術研究所 所長

表1 試験の組合せと測定項目

要因		水準	
養生温度		a: 10℃ (低温) a: 10℃~20℃ (低・常温) a: 20℃ (常温) a: 20℃~30℃ (常・高温) a: 30℃ (高温)	
混和剤の種類	高性能減水剤	b ₁ : ポリカルボン酸塩系化合物 b ₂ : 高縮合トリアジン系化合物	
	減水剤	c: リグニンスルホン酸とポリオール複合体	
	AE剤	d ₁ : アルキルカルボン酸系化合物 d ₂ : ロジン酸化合物	
測定項目		a. スランプフロー c. 空気量 e. 圧縮強度	b. フロータイム(50cmフロー到達時間) d. 凝結時間

表2 高流動コンクリートの使用材料

材料	種類および物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³)
細骨材	奥多摩産砕砂と佐原産山砂の混合砂 (65%:35%)、混合密度: 2.58g/cm ³
粗骨材	青梅産砕石 (密度: 2.65g/cm ³ 、最大寸法: 20mm)
分離低減剤	低界面活性水溶性シリコーン系
混和剤	高流動コンクリート(A) 高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸塩系化合物) - KP 剤 AE 剤(アルキルカルボン酸系化合物) KP-1 剤(低温タイプ), KP-2 剤(低・常温タイプ), KP-3 剤(常・高温タイプ), KP-4 剤(高温タイプ) の 4 種類 (番号の増加に伴い流動性の経時保持性が向上する) 高流動コンクリート(B) 高性能減水剤(高縮合トリアジン系化合物) - NP 剤 減水剤(リグニンスルホン酸とポリオール複合体) AE 剤(ロジン酸化合物)

表3 高流動コンクリートの基本調合

目標スランプフロー (cm)	目標空気量 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	粗骨材のかさ容積 (m ³ /m ³)	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)		分離低減剤 (g/m ³)
					水	セメント	
65 ± 5	4.5 ± 1.5	20	0.545	53	180	340	400

剤, NP 剤および AE 剤の添加量は, 練り上がり 60 ~ 90 分のスランプフロー および空気量がそれぞれ 65 ± 5cm および 4.5 ± 1.5 % になるように試し練りにより定めた。これらの添加量は, 図 1, 2 に示すように養生温度により異なり, KP 剤系, NP 剤系は温度が低いほど, また AE 剤は温

度が高いほど多くの量になる傾向を示した。

2.3 練混ぜ

練混ぜは 100 ℓ のパグミル型二軸強制練りミキサーを用いて, 次のような順序にしたがって行った。
[細骨材+セメント+分離低減剤] → 空練り 5 秒 → [水+混和剤] → 30 秒 [粗骨材] → 90 秒 → [排出]

コンクリートの経時変化による試験は, 練り混ぜられたコンクリートを所定時間 (0 ~ 120 分) まで静置し, 測定の前直前に練り容器で切返しを行った後に行った。

2.4 試験項目と試験方法

フレッシュおよび硬化コンクリートの各試験項目による方法を次に示す。スランプフローは練り上がり 0, 5, 30, 60, 90 および 120 分後に JASS 5T-503, 50cm フロー到達時間 (以下: フロータイムと略称) および空気量は, JASS 5T-503 と JIS A 1128 に準じて, それぞれの時間に合わせて行った。コンクリート温度は棒状アルコール温度計を使用した。なお, プロクター貫入針の抵抗値による凝結時間の試験は, JIS A 6204 の附属書 1 に準じて, 500PSI (3.5MPa) に達したときを始発, 4000PSI (28MPa) に達したときを終結とした。圧縮強度試験は JIS A 1108 (標準水中養生) に準じて, 材齢 1, 3, 7, 28 および 91 日で行った。

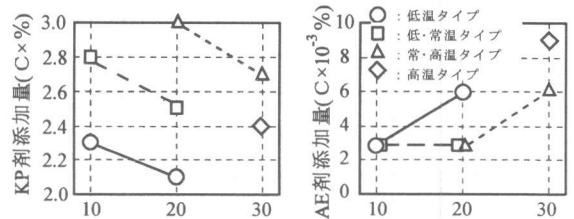


図1 養生温度と KP 剤および AE 剤の添加量の関係

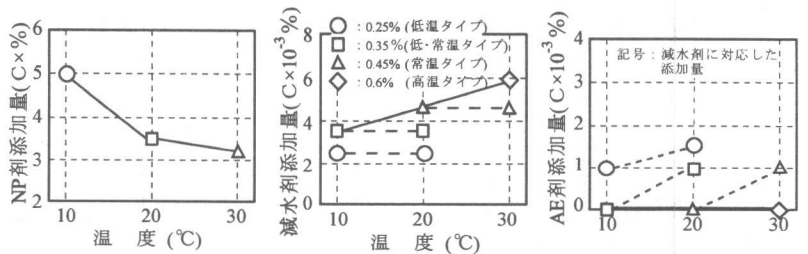


図2 養生温度と NP 剤, 減水剤および AE 剤の添加量の関係

2.5 養生温度と高性能(AE)減水剤の種類 の組合せ

表 4 に養生温度別による高性能(AE)減水剤の種類
の組合せを示す。養生温度の水準は、試験時
の養生温度別に応じて組合せた。

表 4 養生温度別による高性能(AE)減水剤
の種類組合せ

養生 温度 (°C)	タイプ	低温	低・常温	常温	常・高温	高温
	タイプ	タイプ	タイプ	タイプ	タイプ	タイプ
10	○	○	—	—	—	—
20	○	○	○	○	—	—
30	—	—	○	○	○	○

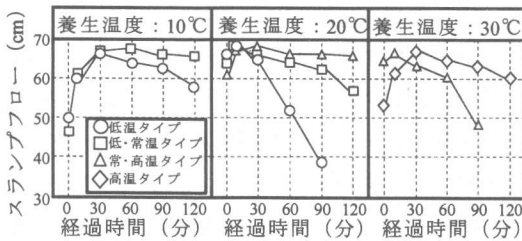


図 3 経過時間とスランプフローの関係
(高流動コンクリートA)

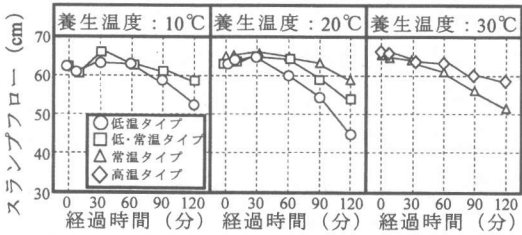


図 4 経過時間とスランプフローの関係
(高流動コンクリートB)

3. 試験結果と考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

3.1.1 各試験の経時変化

(1) スランプフローの経時変化

図 3, 4 に経過時間とスランプフローの関係を示す。これより、ポリカルボン酸塩系の KP 剤による高流動コンクリート (以下: 高流動コンクリートAと略称) は練り上がり直後のとき、養生温度や高性能 AE 減水剤の種類によって目標値に達しないことがある。しかし、練り上がり直後から 5 ~ 30 分後の間にスランプフローは増加するが、同じコンクリート温度別タイプの場合、最大スランプフローに達する時間は養生温度の低いほうが遅い。また、練り

上がり直後のスランプフローと最大スランプフローとの差は養生温度の低いほど、特に 10 °C の場合に大きい。一方、20 °C では図 1 に示したように低温用、低・常温用および常・高温用の順に KP 剤の添加量を多くしたが、時間経過に伴うフロー低下は低温タイプほど大きい。養生温度 10 °C においても同様な傾向を示した。しかし、養生温度 30 °C においては、高温タイプが常・高温タイプより添加量が少ないにもかかわらず、時間経過に伴うフロー低下は小さい。

このように、高流動コンクリートAのスランプフローは、養生温度によって高性能(AE)減水剤の種類や添加量を変化させて調整するため、生コンクリート工場において出荷日や日内の温度変化に合わせて管理する必要がある。また混和剤の貯蔵槽は温度変化に合わせて変えられるように種類ごとに貯蔵槽を準備して適時対応できるように管理する必要がある。

これに対して、高縮合トリアジン系化合物の NP 剤による高流動コンクリート (以下: 高流動コンクリートBと略称) は練り上がり直後のとき、養生温度や高性能減水剤の種類、減水剤の適性使用によって目標値に達していた。スランプフローは養生温度 10 °C のとき、経過 30 分で練り上がり直後より 3 ~ 5cm 大きくなり、それ以降経過時間に対して低下していた。養生温度 20 °C のスランプフローは経過 30 ~ 60 分までほぼ平衡状態で、それ以降低下していた。養生温度 30 °C のスランプフローは練り上がり直後より少しずつ低下していた。

このように、スランプフローは養生温度が高いほど NP 剤の添加量が少なくなる。一方、20 °C では図 2 に示したように低温用、低・常温用および常温用で NP 剤の添加量が同じで、減水剤の添加量を多くしたが、時間経過に伴うフロー低下は KP 剤と同様に低温タイプほど大きい。

スランプフローを目標値に早く近づけるには、養生温度に応じた高性能(AE)減水剤量を適時変化させる必要がある。なお、最近では、ポリカルボン酸塩系高性能 AE 減水剤もかなりの種類が販売されており、本研究で使用したものと化学構造や性能効果が

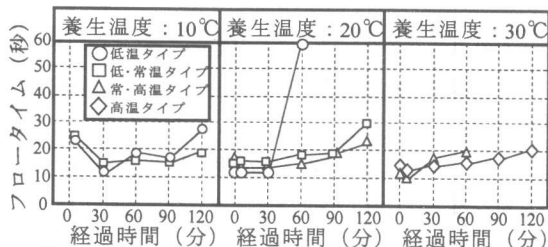


図5 経過時間とフロアタイムの関係
(高流動コンクリートA)

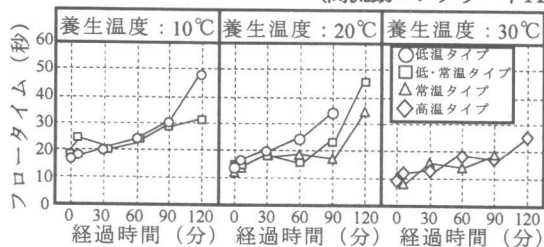


図6 経過時間とフロアタイムの関係
(高流動コンクリートB)

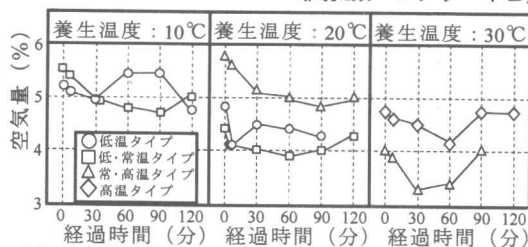


図7 経過時間と空気量の関係
(高流動コンクリートA)

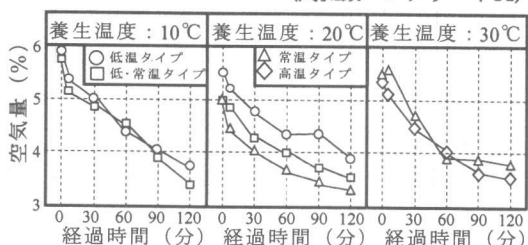


図8 経過時間と空気量の関係
(高流動コンクリートB)

異なるものも多数ある。練り上がり後 30 分程度での流動性の増大はコンクリートの品質管理を困難にするので、これら新規材料による検討を今後の課題としたい。

(2) フロータイムの経時変化

図5, 6に経過時間とフロータイムの関係を示す。これより、フロータイムは、スランプフローによる経過時間の傾向と逆の傾向にあり、経過時間が増加するにつれて大きい。また、フロータイムは KP 剤の場合、養生温度が 10℃のとき経過 30 分で練り上がり直後より約 10 秒小さくなり、スランプフロー

の経時変化と逆の傾向を示した。また、養生温度 20℃, 30℃の練り上がり時のフロータイムは 10～14 秒程度で、それ以降の経過時間に伴ってわずかに増大していた。KP-1 剤の養生温度 20℃でフロータイムが大きくなったことは、今後の検討課題とする。

これに対して、NP 剤の練り上がり直後のフロータイムは養生温度が高くなるほど早くなるが、それ以降は KP 剤より時間経過による変化が大きい。目標スランプフロー (65 ± 5cm) を確保するフロータイムは、高性能(AE)減水剤の種類、添加量が変わっても養生温度が高くなるほど早くなる。

(3) 空気量の経時変化

図7, 8に経過時間と空気量の関係を示す。これより、高流動コンクリート A の空気量は、練り上がり直後から 5～30 分の間に低下するが、その後はほぼ一定になる態様を示した。同じコンクリート温度別タイプの場合、養生温度が高いほど早く低下する。しかし、その低下割合は、スランプフローに比べて小さく、またその後の経時変化も少ない。低温タイプ、低・常温タイプおよび常・高温用タイプでは、養生温度が高いほど小さい空気量を示した。温度上昇に伴う KP 剤の添加量は、今回添加した以上の添加量が必要であることが分かった。目標の空気量が得られない場合には、AE 剤を増大させる必要がある。今回の経過時間 90 分の空気量は、4.5 ± 1.0%の範囲に収まっていた。

これに対して、高流動コンクリート B の空気量は、スランプフローによる経過時間の傾向と逆の傾向にあり、経過時間が増加するにつれて小さくなっていった。空気量は、練り上がり直後から経過時間 120 分まで低下するが、練り上がり直後から 5～30 分間で養生温度が高いほど早く低下した。その低下割合は、スランプフローに比べて大きく、またその後の経時変化も大きい。一方、養生温度別の空気量は、減水剤の添加量が多くなるほど、また養生温度が高いほど早く低下する。

3.1.2 フロータイムとスランプフローの関係

図9にフロータイムとスランプフローの関係を示す。これより、スランプフローは、フロータイムに対して負の関係にあり、高流動コンクリート A, B

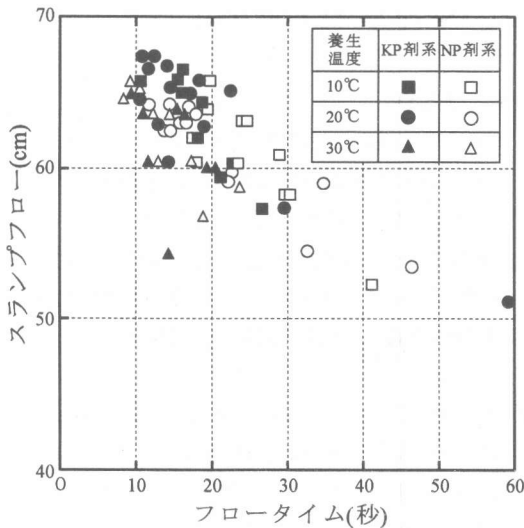


図9 フロートタイムとスランプフローの関係

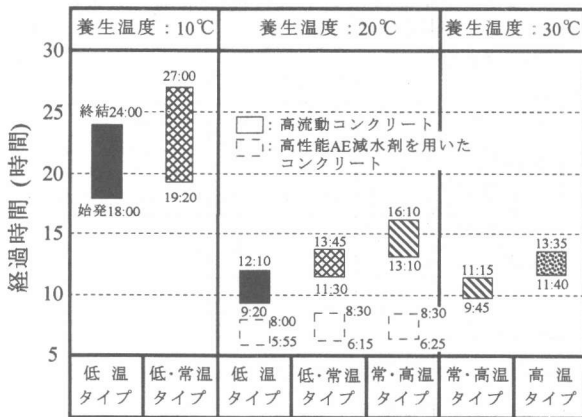


図10 養生温度によるコンクリートの凝結時間の差 (高流動コンクリートA)

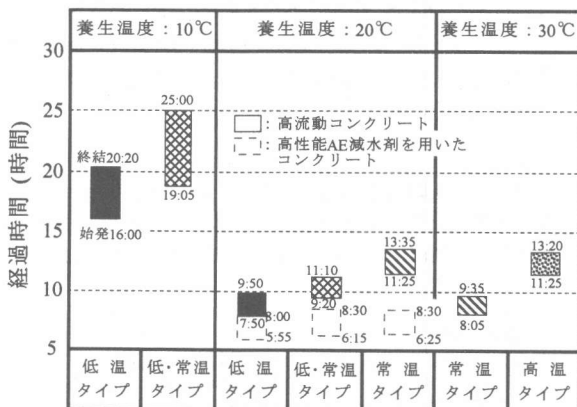


図11 養生温度によるコンクリートの凝結時間の差 (高流動コンクリートB)

とも同じ傾向を示した。またフロートタイムはスランプフロー 65 ± 5cm を確保するとき、9 ~ 22 秒の範

囲にあるが、混和剤の種類とコンクリート温度によって異なる。

3.1.3 コンクリートの凝結時間

図 10, 11 に養生温度による高流動コンクリートの凝結時間を示す。これより、高流動コンクリート A, B の凝結時間は同一養生温度のとき、それぞれ高性能 AE 減水剤、減水剤の添加量が多くなるほど遅く、高性能 AE 減水剤、減水剤の添加量が同一のとき、養生温度が高いほど早くなる傾向を示した。その時間差は、養生温度が低いほど大きい。また、図 10 の高流動コンクリート A の凝結時間は養生温度 20 °C のとき、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートに対して、始発、終結とも低温タイプ、低・常温タイプおよび常・高温タイプでそれぞれ 1.36, 1.00 および 1.44 倍を示し、凝結時間の遅れは低温タイプより常・高温タイプの方が大きい。このことは図 1 より、高流動コンクリート A の養生温度 20 °C における KP 剤の添加量が、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの約 2 倍であるためと思われる。

また、高流動コンクリート A と B の凝結時間を比較したとき、高流動コンクリート A は高流動コンクリート B に対して、養生温度 10 °C の始発が低温タイプで約 2 時間遅く、低・常温タイプで 15 分遅い、終結はそれぞれ 3 時間 40 分、2 時間遅い。また、養生温度 20 °C のとき低温タイプ、低・常温タイプでは始発が 1 時間 30 分 ~ 2 時間 10 分、終結が約 2 時間 20 分 ~ 2 時間 35 分遅い。養生温度 30 °C では、高温タイプは始発、終結とも約 15 分遅くなった。養生温度の変化による凝結時間の調整は、高性能 AE 減水剤の種類と添加量の 2 つの要素によって行う必要がある。

3.2 硬化コンクリートの性状

3.2.1 養生温度と圧縮強度との関係

図 12 にコンクリートの養生温度と圧縮強度との関係を示す。これより、材齢 1, 3 日の圧縮強度は、養生温度が高くなるにつれて直線的に大きくなり、養生温度による強度差も 0.5 ~ 1.0MPa/°C となった。しかし、材齢 28, 91 日の圧縮強度は、養生温度による差が 0.1 ~ 0.5MPa/°C で、長期材齢になるほど強度発現が小さい。この傾向は、高流動コンクリー

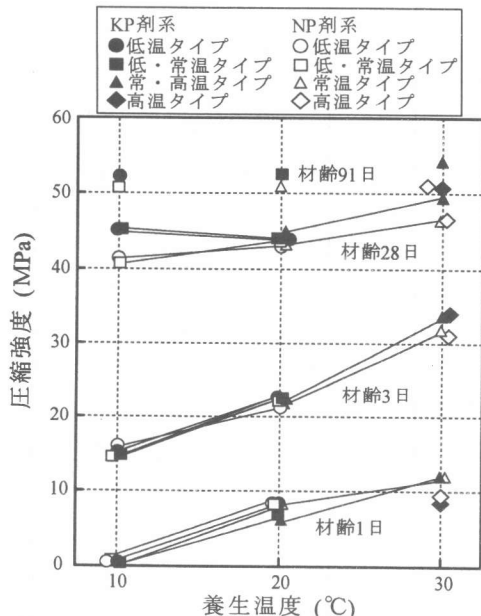


図 12 養生温度と圧縮強度の関係

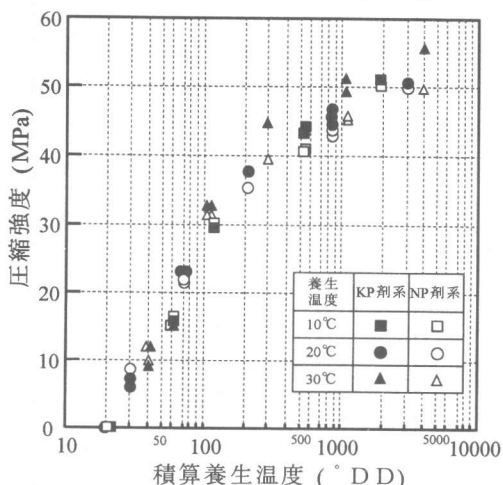


図 13 積算養生温度と圧縮強度の関係

ト A, B とも同じであった。

3.2.2 積算養生温度と圧縮強度との関係

図 13 にコンクリートの積算養生温度と圧縮強度との関係を示す。これより、圧縮強度は積算養生温度との関係において、KP 剤、NP 剤のコンクリート温度別タイプが異なってもほぼ同一の S カーブに乗ることがわかった。高流動コンクリートの圧縮強度は、通常のコンクリートと同じように積算養生温度が高くなると大きくなり、養生温度によるばらつきも小さいことがわかった。また、積算養生温度が同一のとき、高流動コンクリートの圧縮強度は KP 剤

および NP 剤の使用とも同じ傾向を示した。

4. まとめ

これらの結果から、次のことがわかった。

- 1) ポリカルボン酸塩系の KP 剤、高縮合トリアジン系化合物の NP 剤を用いた高流動コンクリートのフレッシュ時、凝結時および硬化後の主要物性について、コンクリート温度別タイプおよび使用時温度の影響を定量的に把握することが出来た。
- 2) スランプフローは、低温ほど練り上がり直後の値が小さく、最大値を示す時間が遅くなる。表 5 に養生温度に対してスランプフロー変動の小さい混和剤の種類と添加量を示す。

表 5 養生温度による高性能減水剤、減水剤の種類と添加量

コンクリート 混和剤種類	養生温度 (°C)					
	10	10~20	20	20~30	30	
高流動 コンクリート (A)	高性能 減水剤 AE (%)	2.3	2.8	2.5	3.0	2.4
	高性能 減水剤 (%)	5	5	3.5	—	3.2
高流動 コンクリート (B)	高性能 減水剤 (%)	0.25	0.35	0.45	—	0.6
	減水剤 (%)	—	—	—	—	—

- 3) KP 剤の凝結時間は NP 剤に対して、養生温度が 20°C のとき低温タイプおよび低・常温タイプでは始発が 1 時間 30 分～2 時間 10 分、終結が 2 時間 20 分～2 時間 35 分遅い。ただし、養生温度 10°C の低・常温タイプの始発は 15 分遅い程度であった。養生温度 30°C では、高温タイプでは始発・終結とも約 15 分遅くなった。

謝辞：この実験に多大な協力を頂いた (株) エヌエムビー中央研究所の関係者の方々並びに三友エンジニアリング(株)工事課長 伊勢隆氏に紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 高 育海, 友沢史紀, ほか 4 名: 各種温度条件におけるコンクリートの強度発現性状に関する一実験, 日本建築学会学術梗概集, pp. 299~300, 1985年10月
- 2) 阿部保彦, 柿崎正義: 高性能 AE 減水剤の種類が高流動コンクリートの諸性質に及ぼす影響, 日本建築学会学術梗概集, pp. 145~146, 1996年10月