高性能 AE 減水剤を用いて流動化させた 高強度コンクリートの基礎的性状に関する一考察

CONSIDERATION ON FOUNDATIONAL CHARACTERS OF HIGH-STRENGTH CONCRETE PLASTICIZED BY AIR-ENTRAINING AND HIGH-RANGE WATER REDUCING ADMIXTURE

中田 善久^{*1}, 斉藤 丈士^{*2}, 西 祐宜^{*3}

Yoshihisa NAKATA, Takeshi SAITO and Hironobu NISHII

Experimental research was conducted to clarify fundamental characters of high-strength concrete plasticized by air-entraining and high-range water-reducing admixture. Plasticized high-strength concrete was water cement ratio of 28 to 48%, and target slump-flow was fluidized to 50cm using air-entraining and high-range water-reducing admixture. From the results, high-strength concrete plasticized by air-entraining and high-range water-reducing admixture has same points to be noted as conventional plasticized concrete, such as decrease in slump-flow amount after plasticization is larger and setting time faster. However, it is possible to obtain hardened concrete comparable to standard high-strength concrete while reliably obtaining necessary slump-flow.

Keywords : *Air-Entraining and High-Range Water Reducing Admixture, Plasticized Concrete, Plasticizing, High-Strength Concrete, Foundational Characters*

高性能 AE 減水剤, 流動化コンクリート, 流動化, 高強度コンクリート, 基礎的性状

1. はじめに

流動化コンクリートは、あらかじめ練り混ぜられた単位水量の小さい硬練りコンクリートに分散性能が高い化学混和剤を加えることにより流動性を改善させるものとして、わが国において昭和 50 年以降から実用化され¹⁾、1986 年版の日本建築学会「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」²⁾（以下、JASS 5 という）に「流動化コンクリート」の節が新設された。

JASS 5 (2018) ³⁾の「1.6 用語」において、「流動化コンクリート」とは、「あらかじめ練り混ぜられたコンクリートに流動化剤を添加し、これを攪拌して流動性を増大させたコンクリート」と記述されている。また、「3.6 ワークビリティおよびスランプ」において、流動化コンクリートのスランプは、調合管理強度 33N/mm²未満で 21cm 以下、調合管理強度 33 N/mm²以上で 23cm 以下と解説されている。さらに、「15 節 流動化コンクリート」の「表 15.1 流動化コンクリートのスランプ」において「調合管理強度が 33 N/mm²以上の場合、材料分離を生じない範囲でベースコンクリートをスランプ 18cm 以下、流動化コンクリートをスランプ 23cm 以下とすることができる。」と注釈されている。この他に、「15.4 材料」において「a. 流動化剤は、JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）に適合するものとし、その種類は、特記による。特記のない場合は、工事

監理者の承認を受けたものを用いる。」と記述されている。

これまでに述べたように、JASS 5 ³⁾の「流動化コンクリート」は、比較的単位水量や単位セメント量の小さいベースコンクリートに流動化剤を用いて、流動化剤の品質、添加量およびスランプの増大量などを記述することによって、材料分離抵抗性が損なわれないようにしてコンクリートの品質を確保している。

一方、JASS 5 ³⁾における「高強度コンクリート」は、設計基準強度 (Fc) が 36N/mm²を超えるものであり、高性能 AE 減水剤を用いて水セメント比を小さくして材料分離抵抗性を高めている。そのため、流動性を高めたスランプフロー（以下、SF とする）により管理することができる ³⁾。このような高強度コンクリートに流動化コンクリートの手法を適用すれば、流動化後の流動性を著しく高めても品質が損なわれずに、品質管理の面で有益となる可能性がある。しかし、前述のように、JASS 5 ³⁾の流動化コンクリートはベースコンクリートのスランプ（以下、ベース SL とする）および流動化コンクリートのスランプが限定されていることや高強度コンクリートに使用される高性能 AE 減水剤が流動化剤に適合していないことによって、高強度コンクリートに流動化コンクリートの手法を適用した場合について検討した報告は極めて少ない ⁴⁾。さらに、調合の条件や製造の条件が高性能 AE 減水剤を用いて流動化した高強度コン

^{*1} 日本大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

^{*2} 日本大学生物資源科学部生物環境工学科
准教授・博士(工学)

^{*3} (株)フローリック技術本部コンクリート研究所
主席研究員・博士(工学)

Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, Dr.Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Bioenvironmental and Agricultural Engineering, College of
Bioresource Science, Nihon University, Dr.Eng.
Senior Researcher, Concrete Research Laboratory, FLOWRIC Co., Ltd., Dr.Eng.

クリートの品質に及ぼす影響を系統的に調べた報告は、筆者の知る限り見当たらない。

そこで、本研究は、高性能 AE 減水剤を用いて流動化した高強度コンクリート（以下、流動化高強度コンクリートとする）の基礎的な性状を明らかにするために、あらかじめ練り混ぜられた目標スランプが 8~21cm の高強度コンクリート（以下、ベース高強度コンクリートとする）に高性能 AE 減水剤を添加して目標 SF を 50cm とした流動化高強度コンクリートの性質について系統的に検討したものである。ここでは、ベース高強度コンクリートの練混ぜに使用した高性能 AE 減水剤と同じものを用いて流動化する流動化高強度コンクリートを対象として、ベース SL と練混ぜから流動化するまでの経過時間（以下、流動化時間とする）が高性能 AE 減水剤の吸着特性に及ぼす影響、セメントの種類、水セメント比、ベース SL および単位水量の調合条件の違いならびに流動化時間と環境温度の製造条件の違いが流動化高強度コンクリートの性質に及ぼす影響について述べる。

なお、本論文は、以前の研究^{5)・6)・7)}に新たなデータを加えてとりまとめたものである。

2. 流動化させたコンクリートに関する既往の研究と本研究の関係

1961 年~2016 年の間の日本建築学会構造系論文集、技術報告集および大会学術講演梗概集の流動化コンクリートに関する文献調査⁸⁾において、流動化コンクリートの調査数は 278 調査に及んでいる。この中で、水セメント比は 50% を超えるものが半数以上であり、流動化コンクリートの目標スランプを 18~23cm とするものが大多数であった。このように、流動化コンクリートは、単位セメント量の比較的小さいコンクリートについて流動化剤を用いてスランプ管理の範囲内で流動性を高めたものが主流となっていた。これは、JASS 5³⁾の流動化コンクリートは、調合管理強度が 33 N/mm² 以上、すなわち単位セメント量が比較的大きく一定以上の材料分離抵抗性を有する場合でも、ベースコンクリートのスランプ（以下、SL とする）は 18cm 以下、流動化コンクリートの SL は 23cm 以下とされており、さらに「スランプの増大量は 10cm 程度以下とすることが望ましい。」と解説されているためと考えられる。また、JASS 5³⁾における流動化コンクリートが「あらかじめ練り混ぜられたコンクリートに流動化剤を添加し、これを攪拌して流動性を増大させたコンクリート」であり、流動化には JIS A 6204 の「流動化剤」に適合したものを用いる必要があるため、高性能 AE 減水剤は流動化剤と同等以上の減水性能を有するものの、流動化コンクリートへの適用事例が少なくなっている。

流動化させたコンクリートについて、嵩ら^{9),10)}、川崎ら¹¹⁾は、SL が 8cm または 12cm のベースコンクリートに流動化剤または高性能減水剤を用いて目標 SL が 21cm 以下の範囲で流動化させたコンクリートに関して、流動化後の品質や施工実験における適用性などを検討した結果を報告している。また、流動化後の SL が 21cm を超える場合について、榊田ら¹²⁾は、SL が 18cm のベースコンクリートに流動化剤または高性能 AE 減水剤を用いて目標 SL が 23cm まで流動化させたコンクリートに関して、諸性質を調べた結果を報告している。さらに、高性能 AE 減水剤を用いた場合について、依田ら¹³⁾は、SL が 12cm のベースコンクリートに高性能 AE 減水剤を

用いて目標 SL が 18cm まで流動化させ、スリップフォーム工法に適用した結果を報告している。このほかに、粉末状の流動化剤を用いて流動化したコンクリートについて、関口ら¹⁴⁾は、SL が 8 または 15cm のベースコンクリートを目標 SL が 18 または 21cm まで流動化させたコンクリートに関して諸性質を調べた結果を報告している。これら既往の研究は、いずれも水セメント比が 40% 程度以上の普通強度のものを対象としており、また、JIS A 1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」が制定される 2001 年以前のものであるため、流動化後の流動性を SL で管理するものとなっている。

一方で、近年において流動化後の材料分離抵抗性を確保するために増粘型流動化剤を用いる場合が多く、古川ら¹⁵⁾は、水セメント比が 45% で SL が 21cm のベースコンクリートを増粘型流動化剤により目標 SF が 60cm まで流動化した場合について基礎物性を調べた結果を報告している。また、神代ら^{16),17)}は、水セメント比が 35% 前後で SL が 18cm のベースコンクリートを増粘型流動化剤により目標 SF が 60cm まで流動化させて CFT 造に適用した結果および水セメント比が 47% 前後で SL が 21cm のベースコンクリートを増粘型流動化剤により目標 SF が 45cm 程度まで流動化させて場所打ち杭に適用した結果を報告している。

このように、高性能 AE 減水剤により流動化するコンクリートに関する研究は非常に少なく^{12),13)}、また、流動化後の流動性を SF で管理するコンクリートに関する検討は、物件や特定の工法に対応するためのものが多く^{16),17)}、調合の条件や製造の条件に関して系統的に調査されていない。

本研究は、高性能 AE 減水剤を使用した水セメント比が 28~48% のベース高強度コンクリートを高性能 AE 減水剤により目標 SF が 50cm まで流動化した流動化高強度コンクリートを対象として、セメントの種類、水セメント比、ベース SL および単位水量の調合条件の違いならびに流動化時間と環境温度の製造条件の違いが流動化高強度コンクリートの性質に及ぼす影響について、系統立てて検討を行ったものである。なお、ここでベース高強度コンクリートの流動性は SL で管理しているが、流動化により変化させる流動性の指標は、SF に統一して検討した。

3. 高性能 AE 減水剤を用いて流動化させた流動化高強度コンクリートに関する実験の概要

3.1 使用材料

実験の使用材料を Table1 に示す。本論文中においてセメントの種類は、普通ポルトランドセメントを「N」、中庸熱ポルトランドセメントを「M」および低熱ポルトランドセメントを「L」と表記する。

3.2 流動化高強度コンクリートの製造方法

ベース高強度コンクリート（以下、図中では BHC と表記する）は、強制練りミキサ（水平 2 軸形、公称容量=60L）により 90 秒間練り混ぜた。練り混ぜたベース高強度コンクリートはできるだけ乾燥を防止して静置し、流動化時間の直前に小形傾胴形ドラムミキサ（公称容量=55.6L）に移した。小形傾胴形ドラムミキサを回転させて 30 秒間攪拌した後に SL および SF を測定し、所定量の高性能 AE 減水剤を添加した後、さらに 30 秒間攪拌して流動化させ、流動化高強度コンクリート（以下、図中では PHC と表記する）を得た。

Table1 Materials for Experiments

Kind of Material		Character
Cement	N: Normal Portland Cement	Density: 3.16g/cm ³ , Blaine Specific Surface: 3,300cm ² /g
	M: Moderate-Heat Portland Cement	Density: 3.21g/cm ³ , Blaine Specific Surface: 3,160cm ² /g
	L: Low-Heat Portland Cement	Density: 3.22g/cm ³ , Blaine Specific Surface: 3,420cm ² /g
Water	Tap Water	In Urayasu City, Chiba Prefecture
Fine Aggregate	Mountain Sand	Locality: Futtu City, Chiba Prefecture, Density: 2.59g/cm ³ , Fineness Modulus: 2.38
Coarse Aggregate	Crushed Stone 2005 (Sandstone)	Locality: Ome City, Tokyo, Density: 2.70g/cm ³ , Solid Content: 59.3%
Admixture	Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture	Main component: Polycarboxylate
	Air-Entraining Admixture	Main component: Modified Rosin Acid Compound
	Antifoaming Admixture	Main component: Polyalkylene Glycol Derivatives

Table2 Mix-Proportion of Concrete

Factor of Mix-Proportions						Mix Proportion※4			
Kind of Cement ※1	W/C (%)	Gbv※2 (m³/m³)	s/a ※3 (%)	Target Slump -Flow (cm)	Target Air (%)	Unit Weight (kg/m³)			
						W	C	S	G
N	48	0.580	48.9	50 ± 3.0	4.5 ± 1.5	170	354	852	929
	38	0.560	49.1			160	421	829	896
			48.4			170	447	808	
			47.7			180	474	785	
			47.6			170	607	730	
M	48	0.580	49.0	50 ± 3.0	4.5 ± 1.5	170	354	857	929
	38	0.560	48.6				447	813	896
	28	0.525	47.8				607	738	840
L	48	0.580	49.0	50 ± 3.0	4.5 ± 1.5	170	354	857	929
	38	0.560	48.6				447	813	896
	28	0.525	47.8				607	738	840

※1 N: Normal Portland Cement, M: Moderate-Heat Portland Cement, L: Low-Heat Portland Cement

※2 Gbv: Bulk Volume of Coarse Aggregate ※3 s/a: Sand-Total Aggregate Ratio

※4 W: Water, C: Cement, S: Fine Aggregate, G: Coarse Aggregate

Table3 Test Item and Test Method

Test Item	Test Method
Slump	JIS A 1101
Slump-Flow	JIS A 1150
Air Volume	JIS A 1128
Adsorption Ratio of Air-Entraining and High-Range Water Reducing Admixture	For the solution extracted from the concrete, GPC (Gel permeation chromatography) was measured using HPLC (High performance liquid chromatography), and adsorption ratio of admixture was calculated. We calibrate the column using an authentic sample before the measurement.
Time Variation of Slump-Flow	Measured amount of change in slump-flow from after plasticized to elapsed time of 30 minutes and 60 minutes.
Setting Time	JIS A 1147
Compressive Strength	JIS A 1108 (Specimen size: $\phi 10 \times 20$ cm, Curing method: Standard curing, Test specimen age: 7, 28, 91 days)
Young's Modulus (static modulus of elasticity)	JIS A 1149 (Measurement length: 10 cm, Test specimen age: 28 days, Measured strain during compressive strength test)
Drying Shrinkage (Length Change)	JIS A 1129-2 (Specimen size: $10 \times 10 \times 40$ cm, pre-curing: 7 days of standard curing, Drying conditions: room temperature 20 ° C., relative humidity 60%, curing period 26 weeks)

なお、流動化後の空気量が $4.5 \pm 1.5\%$ となるように、ベース高強度コンクリートの練混ぜ時に AE 剤および消泡剤を適宜添加している。また、比較用として、練混ぜから 30 分後における目標 SF が 50 ± 3 cm の高強度コンクリート（以下、基準高強度コンクリートとし、図中では SHC と表記する）を前述の強制練りミキサを用いて練り混ぜた。基準高強度コンクリートは、練り混ぜた後にできるだけ乾燥を防止して静置し、試験の直前に小形傾胴形ドラムミキサで攪拌したときの SF が 50 ± 3 cm、空気量が $4.5 \pm 1.5\%$ となるように調整したものである。

3.3 コンクリートの調合

コンクリートの調合を Table2 に示す。基準高強度コンクリートおよび流動化高強度コンクリートの調合は同様となるものの、化学混和剤の使用量および添加時期が実験条件によりそれぞれ異なっている。なお、本論文において、高性能 AE 減水剤の使用量は、ベース高強度コンクリートにおける単位使用量をベース使用量、流動化時における単位使用量を流動化使用量およびベース使用量と流動化使用量の和を総使用量と称する。また、基準高強度コンクリートにおける高性能 AE 減水剤の単位使用量を基準使用量と称する。

3.4 試験項目および方法

試験項目および方法を Table3 に示す。ここで、高性能 AE 減水剤の見掛けの吸着率（以下、吸着率とする）(%)は、加圧ブリーディング装置 (JSCE-F 502) を用いて抽出したコンクリート中の懸濁水を孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のシリンジフィルタによりろ過したものを検液とし、調合上の高性能 AE 減水剤の濃度（高性能 AE 減水剤の使用量

を単位水量で除して求めた）に対する、調合上の高性能 AE 減水剤の濃度と検液中の高性能 AE 減水剤の濃度の差の比として求めた。また、高性能 AE 減水剤の見掛けの吸着量（以下、吸着量とする）(kg/m³)は、吸着率に高性能 AE 減水剤の使用量を乗じたものとした。

3.5 実験条件と検討項目の組合せ

流動化高強度コンクリートにおける実験条件は、セメントの種類、水セメント比、単位水量、ベース SL、流動化時間および環境温度とした。ここで、ベース SL は、練混ぜ時における高性能 AE 減水剤の使用量により調整した。また、目標コンクリート温度は「目標環境温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 」とし、すべての材料および使用器具を所定の環境温度の室内に 24 時間以上保管してから実験に使用した。その結果、練上がりにおけるコンクリート温度はすべて目標範囲内にあった。

実験条件と検討項目の組合せを Table4 に示す。

4. 流動化高強度コンクリートにおける高性能 AE 減水剤の吸着特性に関する一考察

N を用いたベース SL および流動化時間を変化させた流動化高強度コンクリートと基準高強度コンクリートについて、高性能 AE 減水剤の吸着特性を検討した。流動化時間を変化させたときのベース使用量は、流動化時間の違いにかかわらず練混ぜから 30 分後におけるスランプが 15 ± 1.5 cm となるように調整した。また、高性能 AE 減水剤の濃度を測定するための検液の採取は、ベース高強度コンクリートにおいて流動化直前とし、流動化高強度コンクリートにおいて流動化直後とし、基準高強度コンクリートにおいて練混ぜから 30 分後に行った。

Table4 Combination of Experimental Factors and Consideration Items

No. ※1	Experimental Factors							Consideration Item ※3										
	Kind of Cement	W/C (%)	Unit Water Content (kg/m ³)	Target Slump of Base High-Strength Concrete (cm)	Target Slump -Flow of Plasticized High-Strength Concrete (cm)	Plasticizing Time ※2 (min)	Environmental Temperature (Target Temp. of Concrete) (°C)	Addition Amount of Ad. ※4 (kg/m ³)	Adsorption Ratio of Ad. ※4 (%)	Properties of Fresh or Initial Concrete		Properties of Hardened Concrete						
										Time Variation of Slump-Flow (cm)	Setting Time (hour)	Compressive Strength (N/mm ²)	Young's Modulus (kN/mm ²)	Drying Shrinkage (×10 ⁻⁴)				
1	N	48	170	—	50	—	20	○	—	—	○	○	○	○				
2		38	170	—	50	—	10	○	—	○	○	○	○	—				
3							20	○	○	○	○	○	○					
4							30	○	—	○	○	○	○	—				
5							28	170	—	50	—	20	○	—	—	○	○	○
6	M	38	170	—	50	—	20	○	—	○	○	○	○	○				
7	L	38	170	—	50	—	20	○	—	○	○	○	○	○				
8	N	48	170	8	50	30	20	○	—	—	—	○	○	—				
9				15				○	—	—	○	○	○	○				
10				21				○	—	—	—	○	○	○	—			
11		38	160	15	50	30	20	○	—	○	○	○	○	—				
12				8				○	○	○	○	○	○	—				
13				15				30	10	○	—	○	○	○	○	—		
14									20	○	○	○	○	○	○	—		
15			30			○	—		○	○	○	○	—					
16			20			○	○		○	—	○	○	—					
17						90	○		○	○	—	○	○	—				
18				120		○	○	○	—	○	○	—						
19				180		○	○	○	—	○	○	—						
20				21		○	○	○	—	○	○	—						
21			180	○		—	○	○	—	○	○	—						
22			28	170		8	50	30	20	○	—	—	—	○	○	—		
23						15				○	—	—	○	○	○	○		
24		21			○	—				—	—	○	○	—				
25		15			○	—				—	—	○	○	—				
26		M	48	170	8	50	30	20	○	—	—	—	○	○	—			
27			15		10			○	—	○	○	○	○	—				
28					20			○	—	○	○	○	○	○				
29	30				○			—	○	○	○	○	—					
30	20				○			—	○	—	○	○	—					
31	28				15			20	○	—	—	—	○	○	—			
32	L		48		170			15	50	30	20	○	—	—	—	○	○	—
33			8					20			○	—	○	—	○	○	—	
34		15	10	○		—	○	○			○	○	—					
35			20	○		—	○	○			○	○	○					
36			30	○		—	○	○			○	○	—					
37			20	○		—	○	—			○	○	—					
38	28	15	20	○	—	—	—	○	○	—								

※1 No.1~7: Standard High-Strength Concrete, No.8~38: Plasticized High-Strength Concrete
 ※3 ○: Examined Items ※4 Ad.: Air-Entraining and High-Range Water Reducing Admixture

※2 Plasticizing Time: Time of Plasticizing for Base High-Strength Concrete from Mixing

ここでは、吸着した高性能 AE 減水剤が分散に寄与し、未吸着の高性能 AE 減水剤は分散に寄与しないと仮定して考察している。

4.1 ベース SL が異なる流動化高強度コンクリートにおける SF と高性能 AE 減水剤の吸着特性

ベース SL を変化させた場合のベース高強度コンクリート、流動化高強度コンクリートおよび基準高強度コンクリートにおける吸着量と SF の関係を Fig.1 に示す。図中には、ベース使用量、基準使用量および総使用量を併記した。ベース高強度コンクリートおよび基準高強度コンクリートは、吸着量が多くなると SF は直線的に大きくなる傾向を示した。これより、練混ぜ時に添加された高性能 AE 減水剤は、練混ぜ水中における濃度が高いほど吸着量が多くなり、吸着量に応じて SF を増大させると考えられる。また、流動化高強度コンクリートにおける吸着量は、ベース高強度コンクリートおよび基準高強度コンクリートにおける傾向の直線から外れ、いずれも基準高強度コンクリートよりも少なかった。これより、高性能 AE 減水剤は流動化剤と同様に、練混ぜ時に添加した場合と流動化時に添加した場合で吸着特性が異なるものと推察される。さらに、流動化高強度コンクリートにおける吸着量はベース SL で 15cm < 8cm < 21cm となり、流動化高強度コンクリートにおける総使用量

Fig. 1 Relation Between Adsorbed Amount and SF Value

Fig. 2 Relation Between Adsorbed Amount in BHC and Unit Increased Amount of SF Value

と同様の傾向を示した。4.2 に後述するように総使用量の傾向はセメントの種類が異なっても同様であることから、流動化後に一定の SF を得るための総使用量が最も少なくなるベース使用量が存在する可能性がある。

ベース高強度コンクリートにおける吸着量と高性能 AE 減水剤の流動化使用量 1kg/m³ 当りの SF 増大量 (以下、単位 SF 増大量とい

Fig. 3 SF at Each Elapsed Time from Mixing

Fig. 4 Influence of Plasticizing Time to Addition Amount and Adsorbed Amount of Ad.

う)の関係を Fig.2 に示す。図中には、流動化時に添加した高性能 AE 減水剤の吸着量を併記した。単位 SF 増大量は、ベース高強度コンクリートにおける吸着量が多いほど大きくなる傾向を示した。これより、ベース高強度コンクリートにおける吸着量が多いほど流動化時における高性能 AE 減水剤の分散効果は有効に作用すると考えられる。また、流動化時に添加した高性能 AE 減水剤の吸着量は概ね一定であることから、ベース高強度コンクリートの練混ぜ時における吸着特性と流動化時における吸着特性は異なることがこれから推察される。

4.2 流動化時間が異なる流動化高強度コンクリートにおける SF と高性能 AE 減水剤の吸着特性

流動化時間ごとの練混ぜからの経過時間と SF の関係を Fig.3 に示す。流動化高強度コンクリートの流動化後における SF は、流動化時間が 30 分の場合に基準高強度コンクリートの SF よりも大きく低下し、また、流動化時間が長いほど、流動化後 30 分における SF は大きく低下する傾向を示した。

流動化時間と流動化使用量および吸着量の関係を Fig.4 に示す。流動化使用量および総使用量は、流動化時間が長くなるほど多くなり、従来の流動化剤を用いた流動化コンクリートと同様の傾向を示した。ただし、総使用量はいずれの流動化時間においても基準使用量より少なく、本実験の範囲では高性能 AE 減水剤においても化学混和剤を練混ぜ時に添加するより練混ぜ後に添加する方が大きな流動効果が得られる、いわゆる「後添加効果」¹⁹⁾が確認された。

ベース高強度コンクリートにおける吸着量は、流動化時間が 120 分まで大きな変化が見られず、流動化時間が 180 分の場合に多くなった。また、流動化時に添加した高性能 AE 減水剤の吸着量は、流

Fig. 5 Image of Cement Agglomeration Process

Fig. 6 Influence of Water-Cement Ratio to Addition Amount

動化時間が 120 分まで増加する傾向にあるものの流動化時間が 180 分の場合は減少した。これは、流動化時間が 180 分の場合と流動化時間が 120 分の場合における流動化高強度コンクリートの吸着量に差が見られないものの、ベース高強度コンクリートにおける吸着量が多くなったためと考えられる。これより、前述の流動化後における SF の傾向も併せて考慮すると、ベース高強度コンクリートの練混ぜから 120 分以降において、高性能 AE 減水剤の吸着特性を変化させるようなセメントの凝集構造の変化を生じたものと推察される。

4.3 吸着特性から見た高性能 AE 減水剤の流動化効果

セメントの凝集過程の概念を Fig.5 に示す。セメントは高性能 AE 減水剤の水溶液と接触した瞬間から液相に分散する。このときに、高性能 AE 減水剤の添加量が多ければ分散系となり、少なれば凝集系になる。これは、Fig.1 のように SF の大きさとも密接に関係しており、ある範囲で吸着量と分散の相関が概ね直線的であることが影響していると考えられる。一方で、水分と接触したセメントは時々刻々と比表面積を増加させ、この現象も吸着サイトを変化させる要因である。ただし、流動化時間を変化させても凝結時間が大きく変化しないことから、比表面積の変化は分散系も凝集系も大きく影響しないと仮定している。図中の凝集状態は、左が分散系で吸着サイトが多く、右が凝集系で吸着サイトが少ないことを示している。また、各凝集体が堆積した場合、かさ容積の小さい方が高性能 AE 減水剤による流動化効果は高いと考えられる。

また、Fig.1 のベース高強度コンクリートにおける吸着量が多い場合および Fig.4 における流動化時間が 30 分の場合は分散系で吸着サイトが多く、吸着効率が比較的良好であるため流動化効果は大きいと考えられる。一方、Fig.4 における流動化時間が 180 分の場合は凝

Fig. 7 Influence of Target SL of BHC

集系で吸着サイトが少なく、流動化時において同等の流動化効果を得るための吸着量は少なくなるが、凝集が進行しているため Fig.3 のように流動化後における SF の経時変化量が大きくなると考えられる。流動化時間により流動化後における SF の経時変化量が異なる理由は、時間の経過とともに凝集体を形成していくためと考えられ、Fig.3 の結果は、凝集体を無理やり分散させ流動化しても経時変化量が大きくなり、SF の安定性は確保できないことを示唆するものと考えられる。

このように、セメントの凝集の進行と凝集体の径および流動化時の攪拌による凝集体の破壊は相互に作用し、高性能 AE 減水剤の吸着特性と流動化効果に複雑に影響するものと考えられる。

5. 流動化高強度コンクリートにおけるフレッシュ性状に関する一考察

5.1 流動化高強度コンクリートにおける高性能 AE 減水剤の使用量

セメントの種類ごとの水セメント比と高性能 AE 減水剤の使用量の関係を Fig.6 に、セメントの種類ごとのベース SL と高性能 AE 減水剤の使用量の関係を Fig.7 に、単位水量と高性能 AE 減水剤の使用量の関係を Fig.8 に示す。各図中には、単位 SF 増大量を併記した。

ベース使用量は、セメントの種類にかかわらず水セメント比が大きいほど少なくなる傾向を示した。これは、単位セメント量が一定の範囲にある（本実験の高強度コンクリートでは 354～607kg/m³）場合には、単位セメント量が小さくなったことが影響したと考えられる。また、ベース使用量は、ベース SL が大きいほど多くなった。これは、Fig.1 に示すように、所要のベース SL を得るために練混ぜ水中における高性能 AE 減水剤の濃度を高める必要があったことが影響していると考えられる。さらに、ベース使用量は、単位水量が大きいほど少なくなる傾向を示した。これは、細骨材率が小さくなることと練混ぜ水の絶対量が多くなることで高性能 AE 減水剤の分散効果が有効に働いた¹⁹⁾ためと考えられる。

流動化使用量は、水セメント比および単位水量の違いによる傾向は明確でなく、ベース SL が大きいほど少なくなる傾向を示した。これは、水セメント比、ベース SL および単位水量の調査条件が単位 SF 増大量に大きな影響を及ぼしていないため、流動化使用量が概ね SF の増大量に支配されていると考えられる。

総使用量は、水セメント比が大きいほど、単位水量が大きいほど少なくなり、ベース使用量と同様の傾向を示した。これは、流動化

Fig. 8 Influence of Unit Water Content to Addition Amount

Fig. 9 Influence of Environmental Temperature to Addition Amount

使用量があまり変化しなかったためである。また、Fig.7 において総使用量に及ぼすベース SL の影響は小さかった。これは、ベース使用量と流動化使用量が逆の傾向を示し、相殺されたためと考えられる。

セメントの種類では、ベース使用量および総使用量が $N > M > L$ 、流動化使用量が $N \approx M > L$ となり、単位 SF 増大量が $N \approx M < L$ となった。これは、セメントの鉱物組成の違いによる影響と考えられ、一般的練混ぜ方法の高強度コンクリート¹⁹⁾と同様の傾向である。

なお、全体に総使用量は同条件の基準使用量よりも少なくなり、本実験の範囲ではいずれの条件でも後添加効果¹⁸⁾が見られていた。

環境温度と高性能 AE 減水剤の使用量の関係を Fig.9 に示す。図中には、単位 SF 増大量を併せて示した。ベース使用量、流動化使用量および総使用量のいずれも環境温度が高いほど多くなる傾向を示した。また、単位 SF 増大量は、環境温度が高いほど小さくなった。これは、練混ぜ時における高性能 AE 減水剤の吸着量が少ない領域において、練混ぜ時における吸着と練混ぜ後に時間経過とともに進行する吸着および流動化時における吸着のいずれも環境温度が高いほど盛んになるためと考えられる。なお、環境温度が基準使用量に及ぼす影響は僅かであったことからすると、環境温度が高いほど後添加効果¹⁸⁾は小さくなる傾向を示した。

5.2 流動化高強度コンクリートの SF の経時変化量

各種条件と SF の経時変化量の関係を Fig.10 に示す。ここで、ベース SL、単位水量およびコンクリート温度を変化させた場合における流動化時間は、すべて 30 分である。また、流動化時間を変化させた場合に関しては Fig.3 と同じデータを用いて作図している。

流動化から 30 分後および 60 分後における SF の経時変化量は、セメントの種類にかかわらず、ベース SL が 15cm のときに最も小さくなる傾向を示した。この原因は明確でないが、Fig.7 においてベース SL が 15cm の場合に高性能 AE 減水剤の総使用量が最も小さくなるように、高性能 AE 減水剤のベース使用量において、流動化後の分散性および SF の安定性に最も効果を発揮する最適量が存在する可能性がある。

N を使用した場合は、単位水量が大きいほど SF の経時変化量は小さくなる傾向を示した。これは、以前の研究における高強度コンクリート¹⁹⁾と同様に、単位セメントペースト量が大きくなるためと考えられる。

Fig. 10 Influence of Experimental Factors to Time Variation of SF

Fig. 11 Influence of Experimental Factors to Setting Time

流動化から 30 分後における SF の経時変化量は、流動化時間が長いほど大きくなった。これは、セメントの凝集の進行と高性能 AE 減水剤の吸着の進行が作用したためと考えられる。流動化から 60 分後における SF の経時変化量は、流動化時間が 90 分までは流動化時間が長いほど大きくなったが、それ以降はほとんど変化しなかった。これは、流動化から 60 分後における SF が下限近くまで低下したためと考えられる。

環境温度を変化させた場合の流動化から 30 分後および 60 分後における SF の経時変化量は、いずれのセメント種類においても $20^{\circ}\text{C} < 10^{\circ}\text{C} < 30^{\circ}\text{C}$ となり、基準高強度コンクリートにおいて環境温度が高いほど大きくなった場合と傾向が異なっていた。この原因は明確でないが、4.1 で述べたように、練混ぜ時に添加する場合と流動化時に添加する場合で高性能 AE 減水剤の吸着特性が異なることが影響している可能性がある。また、N を用いた場合、環境温度が 10°C および 20°C のとき、流動化高強度コンクリートにおける SF の経時変化量はいずれも基準高強度コンクリートにおける SF の経時変化量よりも大きくなり、従来の流動化剤を用いた流動化コンクリートと同様の傾向⁹⁾を示した。しかし、環境温度が 30°C のときは、流動化高強度コンクリートと基準高強度コンクリートで SF の経時変化量の違いは明確でなかった。これは、本研究では標準形の高性能 AE 減水剤を使用しているため、環境温度が高い場合に基準高強度コンクリートにおいて SF の安定性が十分に得られなかったものと考えられる。これより、暑中において使用する高性能 AE 減水剤は遅延形が適する可能性があり、これに関しては今後の検討課題といえる。

5.3 流動化高強度コンクリートの凝結時間

各種条件と凝結時間の関係を Fig.11 に示す。ここで、水セメント比、ベース SL、単位水量およびコンクリート温度を変化させた場合における流動化時間は、すべて 30 分である。

セメントの種類にかかわらず、流動化高強度コンクリートの凝結時間は、始発時間、終結時間のいずれも基準高強度コンクリートよりも早くなる傾向にあった。これは、流動化剤を用いた一般的な流動化コンクリート⁹⁾における SL や流動化高強度コンクリートにおける SF の経時変化量が多いことと関連する傾向と考えられる。すなわち、Fig.1 に示したように、流動化高強度コンクリートは高性能 AE 減水剤の総使用量と吸着量がいずれも基準高強度コンクリートよりも小さいことから、未吸着の高性能 AE 減水剤の濃度も基準高強度コンクリートより小さいと考えられる。このため、Fig.4 に示したように時間経過とともに吸着が進行するとコンクリート中の水における高性能 AE 減水剤の濃度がより一層低下し、SF の低下や凝結が促進すると考えられる。JASS 5⁹⁾の 15.7 運搬および打込み・締固めにおいて、「流動化コンクリートは、型枠に打ち込んだ後の流動性の低下が速いので、打重ね時間間隔が長くなるとコールドジョイントが発生しやすい。」と解説している。SF の経時変化および凝結時間の試験結果から、流動化高強度コンクリートも流動化剤を用いる従来の流動化コンクリート⁹⁾と同様な性状が得られたことから、注意を要する可能性が高いと考えられる。

なお、N を使用した流動化高強度コンクリートにおいて、水セメント比およびベース SL の違いの影響は小さかった。また、凝結の

Fig. 12 Influence of Experimental Factors to Compressive Strength

始発時間が単位水量の違いから受ける影響は小さかったが、終結時間は単位水量が 160kg/m^3 の場合に遅くなった。これは、Fig.8 に示したように、高性能 AE 減水剤の総使用量が多かったことが影響したと思われる。

N を使用した流動化高強度コンクリートの凝結時間は、流動化時間が 120 分まではあまり変化しなかったものの、流動化時間が 180 分の場合は始発時間と終結時間のいずれも遅くなった。これは、Fig.4 において示したように、流動化時間が 180 分の場合は高性能 AE 減水剤の流動化使用量が多い一方で流動化時における吸着量が少ないため、コンクリート中の水における高性能 AE 減水剤の濃度が高めとなったことが関係していると考えられる。

N を使用した場合、環境温度にかかわらず流動化高強度コンクリートの凝結時間は始発時間、終結時間ともに基準高強度コンクリートよりも早くなり、前述と同様の傾向を示した。また、セメントの種類ごとの凝結時間は、環境温度が 20°C および 30°C のときに大きな差は見られないが、環境温度が 10°C のときに差が大きく、始発時間および終結時間のいずれも $N < M \leq L$ となった。これは、図に示されるように環境温度が低くなると全体に凝結が遅くなるため、セメントの鉱物組成の影響が大きく現れたものと考えられる。

6. 流動化高強度コンクリートにおける強度性状および乾燥収縮に関する一考察

6.1 流動化高強度コンクリートの圧縮強度およびヤング係数

各種条件と圧縮強度の関係を Fig.12 に示す。ここで、水セメント比、ベース SL、単位水量および環境温度を変化させた場合における流動化時間は、すべて 30 分である。

流動化高強度コンクリートの圧縮強度は、セメントの種類および材齢にかかわらず、一般的な高強度コンクリート²⁰⁾と同様にセメント水比を大きくすると直線的に大きくなる傾向を示した。これより、流動化高強度コンクリートは、一般的なコンクリートと同様にセメント水比と圧縮強度の関係から所要の水セメント比を求めることが可能²⁰⁾と考えられる。また、若干のばらつきは見られるものの、流動化高強度コンクリートと基準高強度コンクリートの圧縮強度に明確な差は見られず、流動化剤を用いる従来の流動化コンクリート¹⁾と同様の傾向を示した。なお、ベース SL および単位水量の違いが圧縮強度に及ぼす影響は見られなかった。

Fig. 13 Relationship Between Compressive Strength and Young's Modulus

Fig. 14 Influence of Water-Cement Ratio and Environmental Temperature to Drying Shrinkage of Curing Period 26W

N を使用した流動化高強度コンクリートの圧縮強度は、流動化時間が遅くなるほど僅かに大きくなる傾向を示した。これは、打ち込んだコンクリートに再振動を加えた場合²²⁾と同様に、流動化および供試体採取の作業中に目視によるブリーディングは認められなかったものの、高性能 AE 減水剤の添加および攪拌の作業によってブリーディングによる水みちや骨材下面の空隙などが除去された²²⁾ためと考えられる。また、これらの量は流動化時間が遅いほど大きくなると考えられることから、流動化時間が遅くなるほど圧縮強度は僅かに大きくなったと思われる。

基準高強度コンクリートの圧縮強度は、材齢にかかわらず環境温度が高いほど僅かに小さくなり、既往の研究²³⁾において高性能 AE 減水剤コンクリートの圧縮強度が初期養生温度の高いほど小さくな

るのと同様の傾向を示したが、流動化高強度コンクリートの圧縮強度は、セメントの種類および材齢にかかわらず、環境温度の違いによる明確な傾向が見られず、変化は小さかった。この原因は明確でないが、流動化における高性能 AE 減水剤の添加および攪拌によって環境温度が圧縮強度に及ぼす影響²³⁾は緩和される可能性がある。

材齢 28 日における圧縮強度とヤング係数の関係を Fig.13 に示す。ここでは、セメントの種類ごとに基準高強度コンクリートと流動化高強度コンクリートを区別した。なお、図中には、単位容積質量(γ)を 2.4t/m^3 とした場合の JASS 5 式³⁾による計算値を併せて示した。

流動化高強度コンクリートのヤング係数は、圧縮強度が大きくなると大きくなる傾向にあり、JASS 5 式³⁾による計算値に概ね近似していた。また、流動化高強度コンクリートと基準高強度コンクリートのヤング係数に傾向の違いは見られなかった。これより、高性能 AE 減水剤による流動化がヤング係数に及ぼす影響は小さいと考えられる。

6.2 流動化高強度コンクリートの乾燥収縮率

水セメント比および環境温度と乾燥期間 26 週における乾燥収縮率の関係を Fig.14 に示す。ここで、流動化時間は、すべて 30 分である。流動化高強度コンクリートの乾燥収縮率は、水セメント比が 28%の場合に小さく、水セメント比が 38%と 48%の場合は 28%よりも大きかったものの、38%と 48%の差は小さかった。これは、既往の研究における水セメント比が 25, 35 および 45%の高強度コンクリート¹⁹⁾と概ね同様の傾向である。また、流動化高強度コンクリートおよび基準高強度コンクリートのいずれの乾燥収縮率においても、環境温度の違いによる明確な傾向は見られなかった。なお、多少のばらつきが見られるものの、セメントの種類および水セメント比の違いにかかわらず、流動化高強度コンクリートの乾燥収縮率と基準高強度コンクリートの乾燥収縮率に大きな差は見られなかった。これより、高性能 AE 減水剤による流動化が乾燥収縮に及ぼす影響は小さいと考えられる。ただし、本実験において流動化高強度コンクリートの凝結過程における収縮率は測定していないため、自己収縮に関する検討は今後の課題といえる。

7. まとめ

高性能 AE 減水剤を用いて目標 SF が 50cm に流動化させた水セメント比が 28~48%の流動化高強度コンクリートの基礎的な性質を明らかにするために、高性能 AE 減水剤の吸着特性と各種条件の違いが流動化高強度コンクリートの性質に及ぼす影響について検討を行った。本研究により得られた知見をまとめると、以下のようである。

- (1) 高性能 AE 減水剤は、練混ぜ時と流動化時で異なる吸着特性を示し、流動化時は、より少ない使用量で流動性を増すことができる。また、これにより流動化高強度コンクリートにおいて、同じ SF を得るための高性能 AE 減水剤の使用量が少なくなる「後添加効果」が確認された。
- (2) 流動化高強度コンクリートの流動化後における SF の低下量は、流動化時間が 30 分の場合、基準高強度コンクリートと比較して大きくなる。また、流動化時間が遅いほど、SF の低下量は大きくなる。
- (3) 流動化高強度コンクリートの凝結時間は、基準高強度コンクリートに対して早くなる傾向にあり、この差およびセメントの種類による凝結時間の違いの差は、環境温度が低いと大きくなる。

- (4) 圧縮強度、ヤング係数および乾燥収縮率の硬化コンクリートの性質において、高性能 AE 減水剤による流動化が及ぼす影響はいずれも見られなかった。

以上の結果より、高性能 AE 減水剤により流動化した流動化高強度コンクリートは、流動化後における SF の経時変化量が大きくなる、凝結時間が速くなるなど従来の流動化コンクリートと同様の注意を要するものの、荷卸し時において確実に所要の SF を確保した上で、基準高強度コンクリートに遜色ない硬化コンクリートを得ることが可能といえる。

今後は、流動化高強度コンクリートを実用化するために、実機プラントによる練混ぜやトラックアジテータによる流動化などについて検討を行う予定である。

謝辞

本研究を行うに当たり、日本大学大学院理工学研究科大学院生(当時)の吉田雪乃氏、宮部義章氏、株式会社内山アドバンス中央技術研究所より多大な協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Architectural Institute of Japan: Recommendation for Practice of Plasticized Concrete, 1989.9
日本建築学会: 流動化コンクリート施工指針・同解説, 1989.9
- 2) Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work JASS5, 1986.9
日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1986.9
- 3) Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work JASS5, 2018.7
日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2018.7
- 4) Kim,M., Koh,E., Kamata,E., Kim,M., Hideshima,S.and Kodama,K.: An Experimental Study on the Engineering Properties of High Strength Flowing Concrete, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.249-250, 1989.10 (in Japanese)
金武漢, 洪悦郎, 鎌田英治, 金文漢, 秀島節治, 児玉和己: 高強度流動化コンクリートの工学的特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.249-250, 1989.10
- 5) Saito,T., Nakata,Y., Seki,H., Hashizume,S., Tamura,Y. and Yoshida,Y.: Influence of Re-Addition of Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture to Properties of Concrete (part1~part3), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.979-984, 2010.9 (in Japanese)
斉藤丈士, 中田善久, 關裕司, 橋爪進, 田村裕介, 吉田雪乃: 高性能 AE 減水剤の再添加がコンクリートの諸性質に及ぼす影響 (その 1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.979-984, 2010.9
- 6) Nishi,H., Nakata,Y., Saito,T., and Inaba,Y.: Influence of Re-Addition of Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture to Properties of Concrete (part4), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.379-380, 2011.8 (in Japanese)
西祐宣, 中田善久, 斉藤丈士, 因幡芳樹: 高性能 AE 減水剤の再添加がコンクリートの諸性質に及ぼす影響 (その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.379-380, 2011.8
- 7) Miyabe,Y., Nakata,Y., Saito,T. and Nishi,H.: Study on Basic Properties

- of High-Strength Concrete with Split Addition of Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture, proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.34, No.1, pp.1252-1257, 2012.7 (in Japanese)
- 宮部義章, 中田善久, 斉藤丈士, 西祐宣: 高性能 AE 減水剤を分割して使用した高強度コンクリートの基礎的性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1252-1257, 2012.7
- 8) Nakata,Y., Miyata,A., Otsuka,S., Masuda,Y., Yumoto,T., Hirano,S., Hagiya,S. and Kikuchi,T.: The Vicissitude of Conditional Mix-Proportions in JASS 5 and Consideration in Conditional Mix-Proportions of Concrete Fluidity Based on Literature Surveys, AIJ Journal of Technology and Design, No.56, pp.1-6, 2018.2 (in Japanese)

中田善久, 宮田敦典, 大塚秀三, 梶田佳寛, 湯本哲也, 平野修也, 萩谷祐介, 菊地貴志: JASS 5 における調査条件の変遷と文献調査に基づく流動性を考慮したコンクリートの調査条件に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 第 56 号, pp.1-6, 2018.2

 - 9) Kobayashi,S., Kasami,H., Ootake,T., Iguchi,M., Hattori,N. and Asai,T.: Study on Casting Method of High Quality Concrete by Delayed Addition of High-Range Water-Reducing Admixture (part1~part5), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, A, pp.259-268, 1975.10 (in Japanese)

小林昌一, 嵩英雄, 大竹隆夫, 井口昌彦, 服部直博, 浅井敏雄: 高性能減水剤の遅延添加による高品質コンクリート打設工法の研究 (第 1 報~第 5 報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp.259-268, 1975.10

 - 10) Kasami,H., Sato,T., Ootake,T., Yamamoto,T., Shimono,T. and Asai,T.: Study on High-Strength Concrete by Delayed Addition of High-Range Water-Reducing Admixture (part1~part4), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, A, pp.85-92, 1976.10 (in Japanese)

嵩英雄, 佐藤忠博, 大竹隆夫, 山本常夫, 下野敏秀, 浅井敏雄: 高性能減水剤の遅延添加による高流動コンクリートの研究 (第 1 報~第 4 報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp.85-92, 1976.10

 - 11) Tagusakawa,M., Saito,S. and Kawasaki,S.: A Study on Construction and Quality of High Strength Flowing Concrete (part1~part2), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, A, pp.289-292, 1988.10 (in Japanese)

田草川正光, 斎藤晋, 川崎三十四: 高強度流動化コンクリートの施工性と品質の検討 (その 1~その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp.289-292, 1988.10

 - 12) Yasuda,M., Masuda,Y., Aragane,N. and Oota,K.: Experimental Study on Semi High-Flow Concrete (part3), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, A, pp.223-224, 1997.9 (in Japanese)

安田正雪, 梶田佳寛, 荒金直樹, 太田一浩: 準高流動コンクリートに関する実験的研究 (その 3. 各種製造方式の準高流動コンクリートの性質), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp.223-224, 1997.9

 - 13) Okazawa,S., Yoda,K., Nozaki,N. and Nabeshima,T.: Application of Superplasticized Concrete Using Air Entraining and High-Range Water Reducing Agent to Slip-form Constructions (part1~part2), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.907-910, 1999.9 (in Japanese)

岡沢智, 依田和久, 野崎信雄, 鍋島健彦: 高性能 AE 減水剤による流動化コンクリートのスリップフォーム工法への適用 (その 1~その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 907-910, 1999.9

 - 14) Sekiguchi,Y., Tobori,N., Hosoda,T. and Yamamoto,Y.: A Study on Properties of Flowing Concrete Added with Powdered Superplasticizer, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No.505, pp.1-8, 1998.3 (in Japanese)

関口義光, 戸堀悦雄, 細田高明, 山本康弘: 微粉末状高性能減水剤を用いた流動化コンクリートに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.505, pp.1-8, 1998.3

 - 15) Furukawa,Y., Kaneko,T., Ago,N. and Abe,M.: Study on Practical Use of Plasticized Concrete of Slump Flow Management (part1 Basic Properties), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.121-122, 2014.9 (in Japanese)

古川雄太, 金子樹, 阿合延明, 阿部道彦: スランブフロー管理の流動化コンクリートの実用化に関する研究 (その 1 基礎物性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 121-122, 2014.9

 - 16) Koshiro,Y., Sakai,M., and Namiki,K.: Development and Applicability of High Flowing for CFT, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , AIJ Journal of Technology and Design, No.47, pp.1-6, 2015.2 (in Japanese)

神代泰道, 酒井正樹, 並木憲司: 高性能な流動化コンクリートの開発と CFT 造への適用, 日本建築学会技術報告集, 第 47 号, pp.1-6, 2015.2

 - 17) Koshiro,Y., Namiki,K. and Yoshida,R.: Application of Flowing Concrete with New Viscosity Modifier Agent to Cast in Place Concrete Pile, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.533-534, 2016.8 (in Japanese)

神代泰道, 並木憲司, 吉田理紗: 高性能な流動化コンクリートの場所打ち杭への適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 533-534, 2016.8

 - 18) Okada,E.: Chemistry and Fluidization Mechanism of Superplasticizer, Cement Association of Japan, CEMENT & CONCRETE, No.479, pp.22-29, 1987.1 (in Japanese)

岡田英三郎: 流動化剤の化学と流動化機構, (社)セメント協会, セメント・コンクリート, No.479, pp.22-29, 1987.1

 - 19) Nakata,Y., Saito,T., Kajita,H., Otsuka,S. and Haruyama,N.: Influence on the properties of high-strength concrete by the change of unit water at fixed bulk volume of coarse aggregate, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.82, No.738, pp.1145-1154, 2017.8 (in Japanese)

中田善久, 斉藤丈士, 梶田秀幸, 大塚秀三, 春山信人: 単位水量の変化が単位粗骨材かさ容積を一定とした高強度コンクリートの性質に及ぼす影響の一考察, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.738, pp.1145-1154, 2017.8

 - 20) Architectural Institute of Japan: Recommendation for Practice of High-Strength Concrete, 2013.11

日本建築学会: 高強度コンクリート施工指針・同解説, 2013.11

 - 21) Architectural Institute of Japan: Recommendation for Practice of Mix Design of Concrete, 2015.2

日本建築学会: コンクリートの調査設計指針・同解説, 2015.2

 - 22) Nakata Y., Otsuka S., Miyata A. and Niitsuma N.: Investigation of Revibration of Concrete Considered Time Intervals Between Placing Operations (Part.2 Influence of Existence of Revibration on Compressive Strength of Concrete), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting , Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp.597-598, 2014.9 (in Japanese)

中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 新妻尚祐: 打重ね時間間隔を想定したコンクリートの再振動に関する一考察 (その 2 再振動の有無がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.597-598, 2014.9

 - 23) Seki H., Mimoto I., Onaya H. and Saito T.: Influence of temperature in from placing to curing on quality of hardened concrete , proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.32, No.1, pp.527-532, 2010.7 (in Japanese)

關裕司, 三本巖, 女屋英明, 斉藤丈士: 打込みから養生までの温度の違いが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.527-532, 2010.7

CONSIDERATION ON FOUNDATIONAL CHARACTERS OF HIGH-STRENGTH CONCRETE PLASTICIZED BY AIR-ENTRAINING AND HIGH-RANGE WATER REDUCING ADMIXTURE

Yoshihisa NAKATA ^{*1}, *Takeshi SAITO* ^{*2} and *Hironobu NISHI* ^{*3}

^{*1} Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, Dr.Eng.

^{*2} Assoc. Prof., Dept. of Bioenvironmental and Agricultural Engineering, College of Bioresource Science, Nihon University, Dr.Eng.

^{*3} Senior Researcher, Concrete Research Laboratory, FLOWRIC Co., Ltd., Dr.Eng.

Experimental research was conducted to clarify fundamental characters of high-strength concrete plasticized by air-entraining and high-range water-reducing admixture. Plasticized high-strength concrete was water cement ratio of 28 to 48%, and target slump-flow was fluidized to 50cm using air-entraining and high-range water-reducing admixture.

Investigated items are adsorption characteristics of air-entraining and high-range water-reducing admixture and influence of the difference of various conditions of water cement ratio, unit water amount, slump before plasticization, environmental temperature, fluidization time on properties of plasticized high-strength concrete.

As a result, air-entraining and high-range water-reducing admixture showed different adsorption characteristics during mixing and plasticization, and at plasticization, fluidity could be increased with less use than at mixing. Considering the adsorption characteristics of air-entraining and high-range water-reducing admixture, the agglomeration characteristics of cement is thought to change markedly within 180 minutes from 120 minutes after mixing. The decrease in slump-flow amount after plasticization of plasticized high-strength concrete is larger than that of standard high-strength concrete. Also, slower the plasticization time, larger the decrease in slump-flow amount. The setting time of plasticized high-strength concrete tends to be faster than standard high-strength concrete, and the difference increases as environmental temperature to colder. Among properties of hardened concrete, effect of plasticizing by air-entraining and high-range water-reducing admixture on compressive strength, Young's modulus and drying shrinkage ratio was small.

From the above results, high-strength concrete plasticized by air-entraining and high-range water-reducing admixture has same points to be noted as conventional plasticized concrete, such as decrease in slump-flow amount after plasticization is larger and setting time faster. However, it is possible to obtain hardened concrete comparable to standard high-strength concrete while reliably obtaining necessary slump-flow.

(2019年1月10日原稿受理, 2019年4月17日採用決定)