

# 報告 練混ぜ時期が異なる各種結合材を用いたフレッシュコンクリートの性状に関する一考察

荒巻 卓見\*1・中田 善久\*2・大塚 秀三\*3・榊田 佳寛\*4

**要旨:** 本報告は、各種結合材を用いたフレッシュコンクリートの性状に及ぼす練混ぜ時期の影響について、レディーミクストコンクリート工場における実機のみキサで練混ぜたコンクリートを対象に確認した。その結果、結合材に普通、中庸熟および低熟ポルトランドセメントを用いた調合の経時変化は、練混ぜ時期によって相違があるものの練混ぜ開始からの時間が90分までJISに規定される許容差の範囲内であった。一方、混和材料を混入した調合の経時変化は、無混入の調合に比して変化量が大きく許容差を下回る調合が混在し、練混ぜ時期におけるコンクリート温度の相違による影響が明確であった。

**キーワード:** フレッシュコンクリート, プリーディング, 混和材料, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末

## 1. はじめに

コンクリート工事においてフレッシュコンクリートの性状は、施工性能を大きく左右する重要な要素の一つであり、所要のワーカビリティを有するものでなければならぬ。このため、フレッシュコンクリートの性状は、打込み、締固めおよび仕上げなどの作業に応じたワーカビリティを把握し調合設計に反映することが重要であり、運搬や施工条件、環境条件などによる品質変化および経時変化を考慮して定める必要がある。

一方、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュなどの各種結合材を用いたコンクリートの積極的な活用が検討され構造体への適用が普及しつつある。しかしながら、既往のフレッシュコンクリートの性状に関するデータは、単一の結合材や施工環境とした報告例<sup>2,3)</sup>が多く、異なる練混ぜ時期においてレディーミクストコンクリート工場における実機のみキサによって練混ぜた各種結合材を用いたコンクリートを対象に、統一条件のもとで実施された例は見当たらない。

そこで、本報告は、異なる練混ぜ時期において、レディーミクストコンクリート工場における実機のみキサによって練混ぜた各種結合材を用いたフレッシュコンクリートの性状について述べたものである。ここでは、練混ぜ時期が夏期、標準期および冬期におけるフレッシュコンクリートのスランプまたはスランプフローおよび空気量の練混ぜ開始からの時間が90分までの経時変化とコンクリートのプリーディング量について検討した結果を報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 コンクリートの使用材料

コンクリートの使用材料を表-1に示す。結合材は、普通ポルトランドセメント、中庸熟ポルトランドセメント、低熟ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末4000およびフライアッシュII種の5種類を用いた。なお、コンクリートの使用材料における結合材および骨材の品質は、練混ぜ時期ごとに製造ロットが異なり若干の差異があるものの、フレッシュコンクリートの性状に大きな影響を与えない範囲の変動と捉え、ここでは考慮せずに検討した。

### 2.2 コンクリートの調合条件

コンクリートの調合条件を表-2に示す。コンクリートの調合は、結合材の5種類と水結合材比(W/B)が37%、47%および60%の3水準で組み合わせられる計13調合とした。結合材に混和材料を用いる調合は、普通ポルトランドセメントをベースに混和材料を置換し、混合セメントのB種およびC種相当最大値になるように置換率を定めた。

フレッシュコンクリートの目標値は、JIS A 5308:2014に準じて空気量を $4.5 \pm 1.5\%$ 、W/B=37%の場合スランプフローを $50 \pm 7.5\text{cm}$ 、W/B=47%および60%の場合スランプを $18 \pm 2.5\text{cm}$ とした。なお、フレッシュコンクリートの性状は、実施工における荷卸し地点までの運搬による影響を考慮し、荷卸し時間を練混ぜ直後から30分後と想定して、練混ぜ開始からの時間30分に目標値を満足するようにした。

コンクリートの練混ぜ時期は、夏期、標準期および冬期の3シーズンとし、表-2に示す期間に練混ぜた。コンクリートの練混ぜは、定格容量 $3.0\text{m}^3$ の水平二軸形強制

\*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 修士(ものづくり学) (学生会員)

\*2 日本大学 理工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

\*3 ものづくり大学 技能工芸学部建設学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*4 日本大学 理工学部建築学科特任教授 工博 (正会員)

表－1 コンクリートの使用材料

材料(略記)	種類(略記)	品質・性質・主成分	
結合材(B)	セメント(C)	普通ポルトランドセメント(N)	密度：[夏期, 標準期, 冬期]3.16g/cm <sup>3</sup> 比表面積：[夏期]3,320cm <sup>2</sup> /g, [標準期]3,330cm <sup>2</sup> /g, [冬期]3,310cm <sup>2</sup> /g
		中庸熱ポルトランドセメント(M)	密度：[夏期, 標準期, 冬期]3.21g/cm <sup>3</sup> 比表面積：[夏期]3,130cm <sup>2</sup> /g, [標準期]3,090cm <sup>2</sup> /g, [冬期]3,090cm <sup>2</sup> /g
		低熱ポルトランドセメント(L)	密度：[夏期, 標準期, 冬期]3.22g/cm <sup>3</sup> 比表面積：[夏期]3,380cm <sup>2</sup> /g, [標準期]3,360cm <sup>2</sup> /g, [冬期]3,500cm <sup>2</sup> /g
	混和材料	高炉スラグ微粉末4000(BF)	密度：[夏期, 標準期, 冬期]2.90g/cm <sup>3</sup> 比表面積：[夏期]4,300cm <sup>2</sup> /g, [標準期]4,340cm <sup>2</sup> /g, [冬期]4,320cm <sup>2</sup> /g
		フライアッシュⅡ種(FA)	密度：[夏期, 標準期]2.31g/cm <sup>3</sup> , [冬期]2.33g/cm <sup>3</sup> 比表面積：[夏期]4,220cm <sup>2</sup> /g, [標準期]4,440cm <sup>2</sup> /g, [冬期]4,340cm <sup>2</sup> /g
水(W)	地下水	懸濁物質の量：0.0g/L, 溶解性蒸発残留物の量：0.2g/L, Cl <sup>-</sup> 量：8mg/L	
細骨材(S)	陸砂 栃木県栃木市尻内町産	表乾密度：[夏期, 標準期, 冬期]2.61g/cm <sup>3</sup> 吸水率：[夏期]2.18%, [標準期]2.17%, [冬期]2.21%	
粗骨材(G)	石灰石砕石2005 栃木県佐野市会沢町産	表乾密度：[夏期, 標準期, 冬期]2.70g/cm <sup>3</sup> 吸水率：[夏期]0.65%, [標準期]0.69%	
化学混和剤	高性能AE減水剤標準形・遅延型Ⅰ種(Ad <sup>1</sup> )	ポリカルボン酸系化合物	
	AE減水剤標準形・遅延型Ⅰ種(Ad <sup>2</sup> )	リグニンスルホン酸塩・特殊界面活性剤	
	AE剤Ⅰ種	天然樹脂酸塩	

表－2 コンクリートの調査条件

結合材の種類 混和材料の置換率	N	M	L	N+BF		N+FA	
	—	—	—	B×45%	B×70%	B×20%	B×30%
水結合材比(W/B) [調合記号]	37%[N37] 47%[N47] 60%[N60]	37%[M37] 47%[M47]	37%[L37] 47%[L47]	47% [N+BF <sup>(45)</sup> 47] 60% [N+BF <sup>(45)</sup> 60]	47% [N+BF <sup>(70)</sup> 47]	47% [N+FA <sup>(20)</sup> 47] 60% [N+FA <sup>(20)</sup> 60]	47% [N+FA <sup>(30)</sup> 47]
フレッシュコンクリートの目標値	【 W/B=37% 】 スランブフロー：50±7.5cm 空気量：4.5±1.5% 【 W/B=47%, 60%】 スランブ：18±2.5cm 空気量：4.5±1.5%						
練混ぜ時期	夏期：2014年8月12日～8月26日, 標準期：2014年10月18日～11月4日, 冬期：2014年12月19日～12月30日						

練りミキサによるレディーミクストコンクリート工場の実機によって行った。また、練り混ぜたコンクリートは、トラックアジテータにより運搬した。

### 2.3 試験項目および方法

試験項目および方法を表－3に示す。試験項目は、スランブ、スランブフロー、空気量およびブリーディングとし、該当JISに準拠した。スランブ、スランブフローおよび空気量の試験は、練混ぜ開始からの時間の練上がり直後(直後)、30分および90分の経時変化を測定し、JIS A 1115：2005に準じてトラックアジテータで30秒間高速かくはんした後、試料を採取した。ブリーディング試験は、練混ぜ開始から30分後にトラックアジテータから試料を採取し、日射を受けない半屋外の環境下において行った。

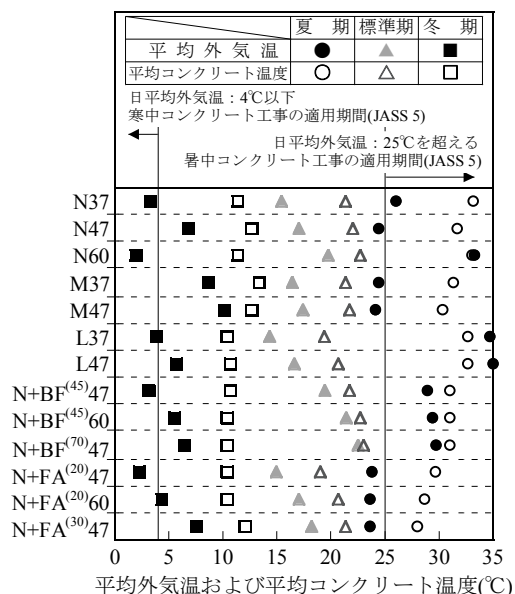
## 3. 結果および考察

### 3.1 練混ぜ時の外気温およびコンクリート温度

調査ごとの練混ぜ開始から90分間の平均外気温および平均コンクリート温度を図－1に示す。平均外気温および平均コンクリート温度は、ガラス製棒状温度計によって練混ぜ開始からの時間が練上がり直後(直後)、30分および90分に測定した平均値を用いた。練混ぜ時期が夏期および冬期における平均外気温は、JASS 5に規定される暑中または寒中コンクリート工事の適用期間となる日平均外気温<sup>9)</sup>の付近に分布した。また、標準期に関しては、

表－3 試験項目および方法

試験項目	試験方法	試験時間
スランブ	JIS A 1101：2005	練混ぜ開始からの時間
スランブフロー	JIS A 1150：2007	練上がり(直後), 30, 90分
空気量	JIS A 1128：2005	
ブリーディング	JIS A 1123：2012	練混ぜ開始から30分に 試料を採取



図－1 調査ごとの練混ぜ開始から90分間の平均外気温および平均コンクリート温度

15℃～25℃の範囲であった。

### 3.2 コンクリートの調査

表-4 コンクリートの調合

結合材の種類	調合記号	W/B (%)	混和材料の置換率 (B×%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						AE剤 (B×0.004%)					
				B			W	S	G	化学混和剤 Ad <sup>1</sup> [Ad <sup>2</sup> ]			練混ぜ時期		
				C	BF	FA				練混ぜ時期			練混ぜ時期		
							夏期	標準期	冬期	夏期	標準期	冬期			
N	N37	37	—	460	—	—	170	846	851	6.67	6.44	5.86	—	0.50	0.50
	N47	47	—	362	—	—	170	856	923	3.98	3.80	3.62	—	1.25	0.75
	N60	60	—	307* <sup>1</sup>	—	—	184* <sup>1</sup>	867* <sup>1</sup>	923* <sup>1</sup>	[3.68]	[3.62]	[3.59]	1.00	—	—
		—	302* <sup>2</sup>	—	—	181* <sup>2</sup>	877* <sup>2</sup>	923* <sup>2</sup>							
M	M37	37	—	460	—	—	170	853	851	6.44	6.44	5.98	—	0.50	0.63
	M47	47	—	362	—	—	170	861	923	3.62	3.80	3.80	1.40	1.50	1.00
L	L37	37	—	446	—	—	165	877	851	6.47	6.02	5.02	—	1.00	—
	L47	47	—	362	—	—	170	864	923	4.83	3.80	2.90	1.70	1.00	0.50
N+BF	N+BF <sup>(45)</sup> 47	47	45	199	163	—	170	846	923	3.98	3.80	3.44	1.50	1.50	1.00
	N+BF <sup>(45)</sup> 60	60	45	167* <sup>1</sup>	137* <sup>1</sup>	—	182* <sup>1</sup>	864* <sup>1</sup>	923* <sup>1</sup>	[3.68]	[4.04]	[4.43]	6.00	4.50	3.50
		—	164* <sup>2</sup>	135* <sup>2</sup>	—	179* <sup>2</sup>	874* <sup>2</sup>	923* <sup>2</sup>							
		—	162* <sup>3</sup>	133* <sup>3</sup>	—	177* <sup>3</sup>	885* <sup>3</sup>	923* <sup>3</sup>							
N+BF <sup>(70)</sup> 47	47	70	109	253	—	170	840	923	3.80	3.62	3.44	3.00	2.50	2.50	
N+FA	N+FA <sup>(20)</sup> 47	47	20	290	—	72	170	835	923	3.44	3.08	2.90	5.00	4.00	6.00
	N+FA <sup>(20)</sup> 60	60	20	244* <sup>1</sup>	—	61* <sup>1</sup>	183* <sup>1</sup>	853* <sup>1</sup>	923* <sup>1</sup>	[3.66]	[3.75]	[3.71]	13.00	9.50	9.00
		—	240* <sup>2</sup>	—	60* <sup>2</sup>	180* <sup>2</sup>	864* <sup>2</sup>	923* <sup>2</sup>							
		—	238* <sup>3</sup>	—	59* <sup>3</sup>	178* <sup>3</sup>	874* <sup>3</sup>	923* <sup>3</sup>							
N+FA <sup>(30)</sup> 47	47	30	253	—	109	170	825	923	2.90	2.90	2.81	7.50	10.00	10.50	

\*1: 練混ぜ時期が夏期 \*2: 練混ぜ時期が標準期 \*3: 練混ぜ時期が冬期

コンクリートの調合を表-4に、平均コンクリート温度と化学混和剤の添加量および単位水量の関係を図-2に示す。W/B=37%および47%の調合は、スランプフローまたはスランプの目標値を満足するための高性能AE減水剤の添加量が平均コンクリート温度が高いほど多くなった。また、混和材料にBFおよびFAを混入した調合は、Nの調合に対して、添加量が少なかった。これは、混和材料のマイクロファイラー効果によって流動性が増大することに起因するものと考えられる。一方、W/B=60%の調合は、AE減水剤の添加量を一定として単位水量による調節であり、平均コンクリート温度が高いほど単位水量が大きくなった。また、混和材料にBFおよびFAを混入した調合は、Nの調合に対して、単位水量が小さかった。これは、前述と同様で、混和材料のマイクロファイラー効果に起因するものと考えられる。空気量の目標値を満足するためのAE剤の添加量は、結合材がN、MおよびLの調合に対して、混和材料にBFをおよびFAを混入した調合において多くなった。なお、混和材料にBFを混入したコンクリートに関して、無混入のコンクリートと同じ空気量を得る場合、化学混和剤の主剤(高性能AE減水剤またはAE減水剤)の添加量は同一でもAE剤の添加量は置換率が高いほど多くなり、既往の知見<sup>6)</sup>と同様であった。また、混和材料にFAを混入したコンクリートに関して、フライアッシュ中に含まれる未燃焼カーボンにAE剤が吸着されるため、所定の空気量を得るためのAE剤の量が大幅に増加した<sup>7)</sup>と考えられる。なお、すべての調合において、練混ぜ開始からの時間30分のスランプまたはスランプフローおよび空気量は目標値を満足しており、目視による

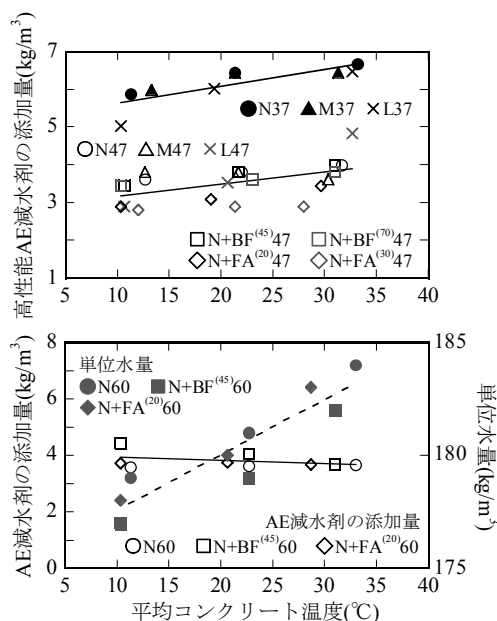


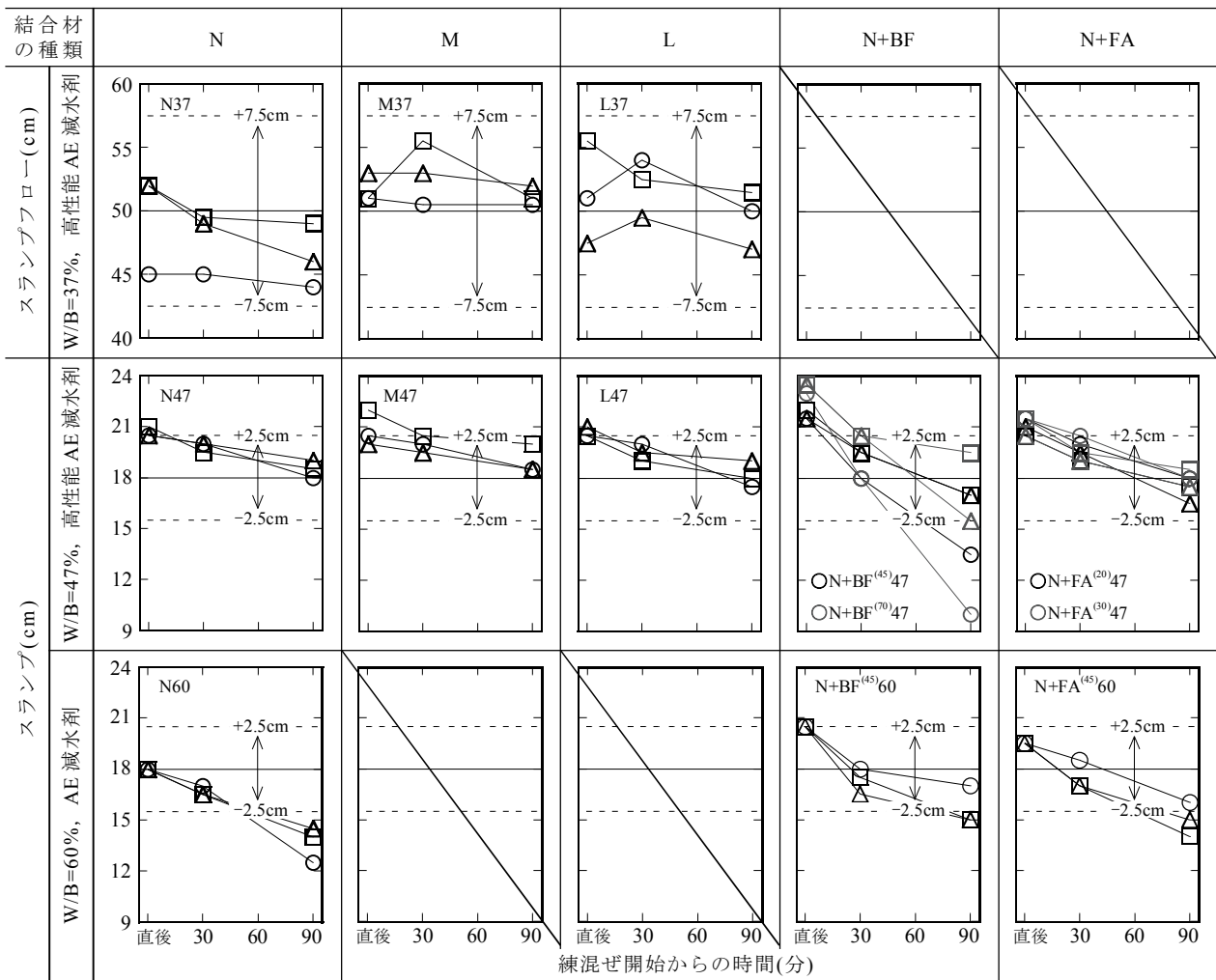
図-2 平均コンクリート温度と化学混和剤および単位水量の関係

フレッシュコンクリートの状態は、材料分離が見られず良好なワーカビリティを有しているものと判断した。

### 3.3 フレッシュコンクリートの性状の経時変化

#### (1) スランプフローまたはスランプの経時変化

スランプフローまたはスランプの経時変化を図-3に示す。スランプフローまたはスランプは、いずれの練混ぜ時期においてもすべての調合で経時変化に伴い低下する傾向を示した。W/B=37%および47%の結合材がN、M、LおよびN+FAの調合では、いずれの練混ぜ時期においても練混ぜ開始からの時間90分まで目標値を満足していたが、それ以外の調合においては目標値の許容差を下回る



【凡例】練混ぜ時期：○夏期，△標準期，□冬期

図-3 スラップフローまたはスラップの経時変化

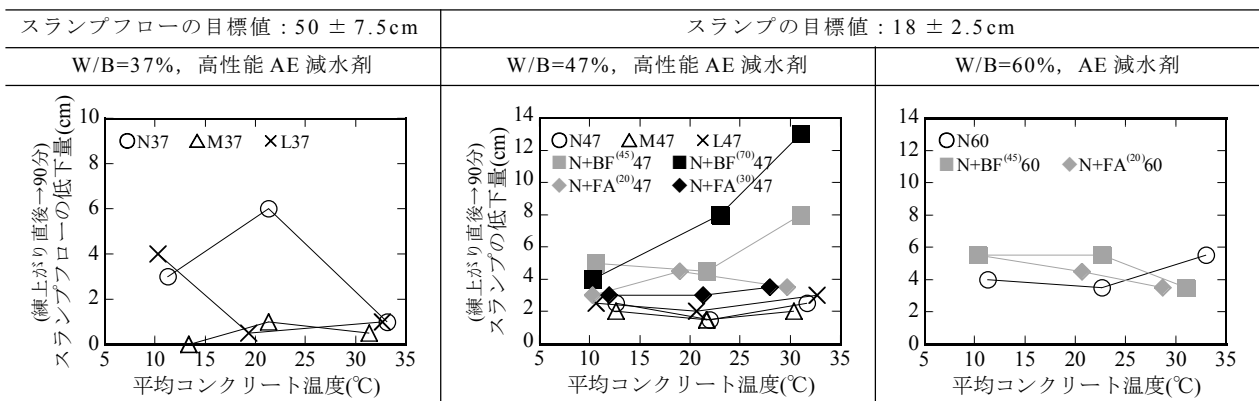
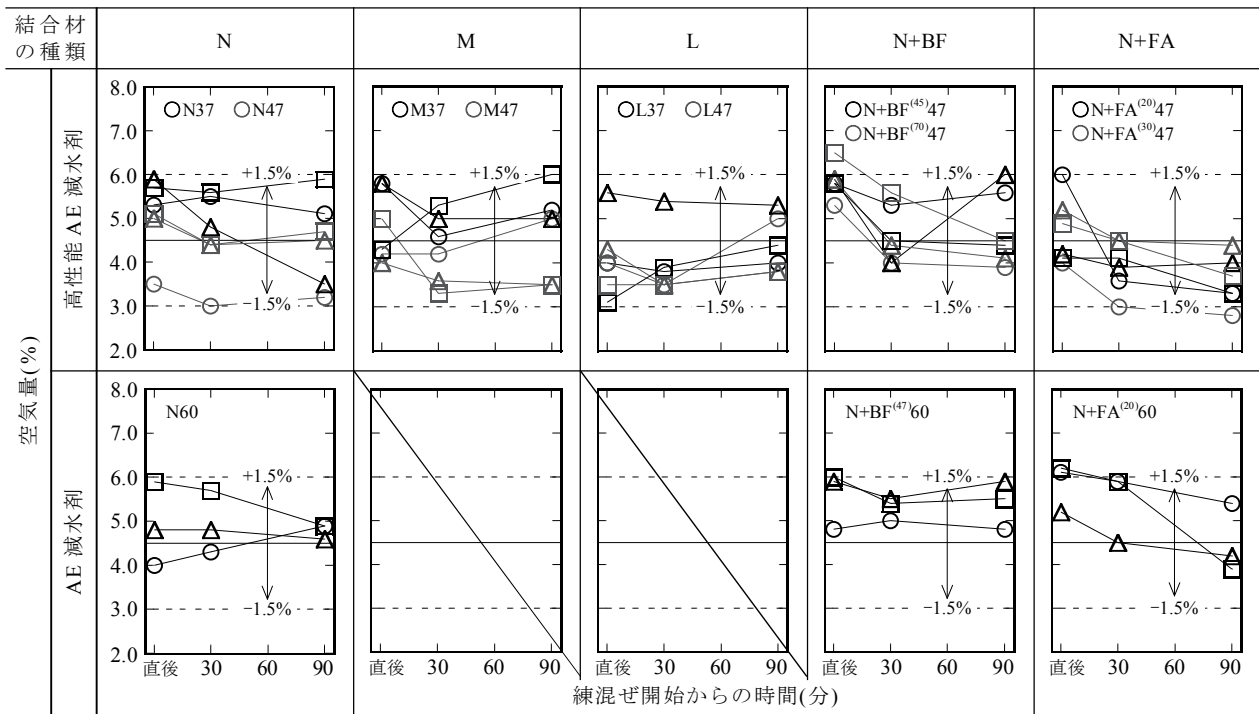


図-4 平均コンクリート温度とスラップフローまたはスラップの低下量の関係

水準が混在した。混和材料にFAを混入した調査のスラップの経時変化は、置換率にかかわらず結合材がNの調査と概ね同様であり、既往の研究<sup>9)</sup>の傾向と一致した。一方、混和材料にBFを混入した調査のスラップの経時変化は、練混ぜ開始からの時間30分までの低下が大きく、置換率が高い調査(N+BF<sup>(70)</sup>47)で顕著な傾向を示し、練混ぜ開始からの時間90分で目標値の許容差を下回った。これは、既往の研究において一般的な高性能AE減水剤(主成分：ポ

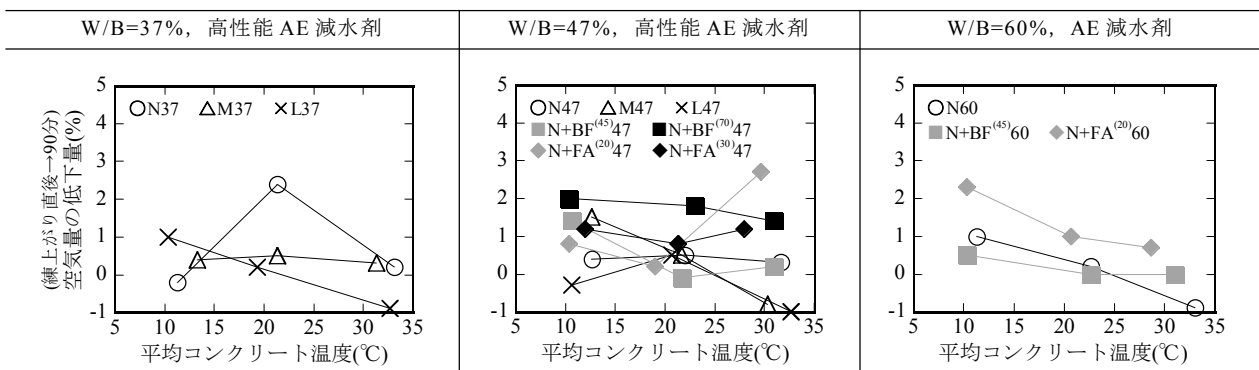
リカルボン酸系化合物)を用いた場合、著しく低下する<sup>9)</sup>ことが報告されており、同様の傾向であった。なお、練混ぜ時期が冬期の場合ではNの調査と大差がなかった。

平均コンクリート温度とスラップフローまたはスラップの低下量の関係を図-4に示す。ここでは、練上がり直後に対する練混ぜ開始からの時間90分の低下量を示す。W/B=37%の高性能AE減水剤を用いた調査およびW/B=60%のAE減水剤を用いた調査におけるスラップフ



【凡例】練混ぜ時期：○夏期，△標準期，□冬期

図－5 空気量の経時変化



図－6 平均コンクリート温度と空気量の低下量の関係

ローまたはスランブの低下量は、平均コンクリート温度による明確な影響を示さなかった。一方、W/B=47%の高性能AE減水剤を用いた調合では、結合材の種類にかかわらず平均コンクリート温度が高いとスランブの低下量がわずかな差ではあるが概ね大きくなる傾向を示し、混和材料にBFを混入したコンクリートにおいて顕著であった。なお、平均コンクリート温度が10℃前後の場合、結合材の種類による低下量に大差がなかった。

## (2) 空気量の経時変化

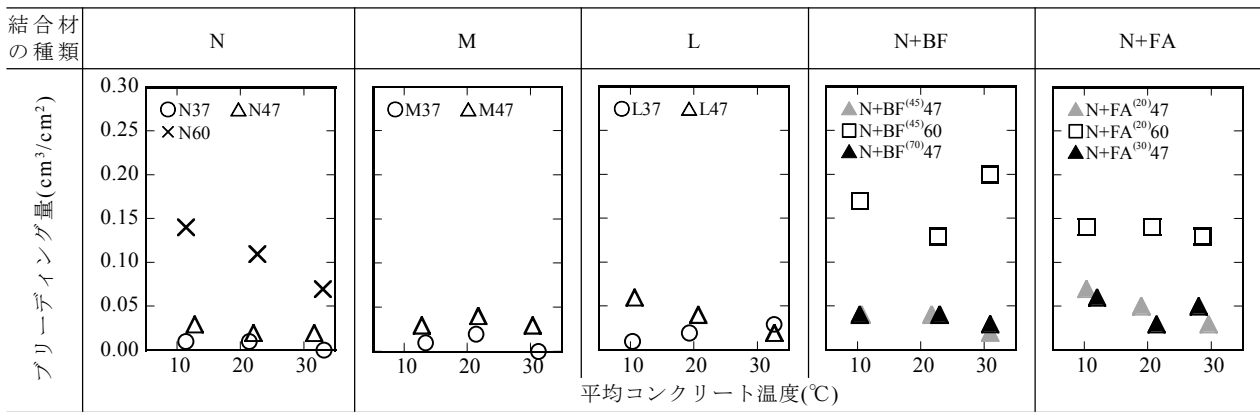
空気量の経時変化を図－5に示す。空気量は、いずれの練混ぜ時期においてもほとんどの調合で練混ぜ開始からの時間90分まで目標値を満足した。また、空気量の経時変化は、練混ぜ時期および調合によって増減が混在する水準があるものの、全般的には低下する傾向を示した。特に、混和材料にFAを混入した調合は、Nの調合に対して、練混ぜ開始からの時間30分の低下が顕著であり、練混ぜ開始からの時間90分に許容差を下回る水準が混在し

た。これは、フライアッシュ中の未燃焼カーボンがAE剤を吸着することで空気連行作用を阻害したことによる影響<sup>10)</sup>と考えられる。

平均コンクリート温度と空気量の低下量の関係を図－6に示す。ここでは、練上がり直後に対する練混ぜ開始からの時間90分の低下量を示す。W/B=37%および47%の高性能AE減水剤を用いた調合における空気量の低下量は、結合材の種類によって相違はあるものの、平均コンクリート温度が低いと概ね大きくなる傾向を示した。特に、W/B=60%のAE減水剤を用いた調合で、その傾向が明確であった。なお、コンクリート温度が高い夏期の調合は、冬期に比してAE剤の添加量が多く、エントレインドエアが安定したことによる影響も含まれる。

## 3.4 ブリーディング量

平均コンクリート温度とブリーディング量の関係を図－7に示す。ブリーディング量は、すべての調合において収縮ひび割れの抑制のための目標値<sup>11)</sup>である



図ー7 平均コンクリート温度とブリーディング量の関係

0.3 $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下を満足し、結合材の種類および割合によって相違はあるものの、平均コンクリート温度が低いと概ね多くなる傾向を示した。特に、W/B=60%の割合において顕著であった。また、混和材料にBFおよびFAを混入した割合のブリーディング量は、Nの割合に対していずれのW/Bにおいても若干多くなる傾向を示した。これは、混和材料を混入した割合の場合、Nの割合に比して水和反応が緩慢となることに起因するものと考えられる。

#### 4. まとめ

本報告では、実施工環境下における各種結合材を用いたフレッシュコンクリートの性状に及ぼす練混ぜ時期の影響について検討した。以下に、得られた知見を示す。

- (1)スランプまたはスランプフローおよび空気量の経時変化は、練混ぜ時期および結合材の種類によって異なる傾向を示した。ブリーディング量についても、同様であった。
- (2)混和材料にBFを混入した割合のスランプの経時変化は、一般的な高性能AE減水剤を用いた場合、置換率が高く、平均コンクリート温度が高いほど低下する傾向を示した。一方、FAを混入した割合のスランプの経時変化は、結合材がNの割合と同様であった。
- (3)混和材料にBFおよびFAを混入した割合の空気量の経時変化は、置換率が高く、平均コンクリート温度が低いほど低下量が概ね大きくなる傾向を示した。

#### 謝辞

本報告は、国土交通省平成26年度建築基準整備促進事業「S14.コンクリートの強度管理の基準に関する検討」の一環として実施したものである。(事業者：日本大学、ものづくり大学、東京大学大学院野口貴文教授、東京都立大学佐藤幸恵准教授、株式会社長谷工コーポレーション吉岡昌洋氏、三井住友建設株式会社蓮尾孝一氏、鉄建建設株式会社唐沢智之氏、株式会社奥村組河野政典氏、五洋建設株式会社高橋祐一氏および東洋建設株式会社安

田正雪氏)ここに記して関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1)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，pp.177-179，2009.2
- 2)太田達見，内川陽平，高田良章，友澤史紀ほか：遅延剤を用いたコンクリートの実施工環境下における凝結特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.273-278，2007.7
- 3)近松竜一ほか：異種粒度の結合材を用いたフレッシュコンクリートの性質，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12，No.1，pp.93-98，1990.6
- 4)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，pp.56-60，2009.2
- 5)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，pp.60-62，2009.2
- 6)日本建築学会：高炉スラグ微粉末を使用するコンクリートの割合設計・施工指針・同解説，pp.128-129，2001.7
- 7)日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの割合設計・施工指針・同解説，pp.28-31，2007.10
- 8)船本憲治，松藤泰典，森永繁ほか：フライアッシュを内割使用したコンクリートの暑中環境下における諸性質に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第531号，pp.1-6，2000.5
- 9)守屋健一，西祐宜ほか：高炉スラグ微粉末を大量に使用したコンクリートの経時安定性に関する実験的研究その1・2，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1分冊，pp.291-294，2012.9
- 10)千歩修，須藤由美子，鎌田栄治：フライアッシュコンクリートの空気量・気泡組織の経時変化と耐凍害性，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1分冊，pp.47-48，1997.9
- 11)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，2006.2