

# 論文 各種混和材を使用した高流動コンクリートに関する実験的研究

神代 泰道\*<sup>1</sup>、大池 武\*<sup>2</sup>、中根 淳\*<sup>3</sup>

要旨：各種混和材を用いた高流動コンクリートのフレッシュ時の流動性や硬化後の品質について、粉体を構成するセメントと混和材のそれぞれの種類および量による影響を実験的に考察した。その結果、各種混和材の特徴として以下の知見が得られた。高炉スラグ微粉末は強度発現に寄与し、乾燥収縮を低減する。フライアッシュは粘性を低下させ、凝結を遅延させる。石灰石粉は粘性を高め、強度発現に寄与しない。シリカフェームは粘性を低下させ、乾燥収縮を低減する。

キーワード：セメント、混和材、粘性、凝結時間、圧縮強度、乾燥収縮、重量減少率

## 1. まえがき

高流動コンクリートは、①粉体系②増粘剤系③併用系に分類される。粉体を多量に用いて分抗性を高めた高流動コンクリートの場合、水和熱による温度上昇の抑制から各種混和材の使用然となる。本研究は、セメントとして中庸熱セメントおよび普通セメント、混和材として高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石粉およびシリカフェームをとりあげ、粉体を構成するセメントと各種混和材の種類・置換率が高流動コンクリートに与える影響について考察を行った。表-1に実験項目を示す。

表-1 実験項目

フレッシュ性状	スラフフロー試験、0-10°流下試験、空気
経時変化	傾胴型ミキサ(100ℓ) 20℃
凝結時間	JIS A 6204 20℃
圧縮強度	JIS A 1108 標準水中養生
乾燥収縮試験	JIS A 1129 コックゲージ法 20℃, 6

## 2. 使用材料および調査

使用材料の概要を表-2に示す。セメントとして中庸熱セメント(記号M)および普通ポルトランドセメント(N)、混和材として高炉スラグ微粉末(SG)・フライアッシュ(FA)・石灰石粉(LF)およびシリカフェーム(SF)を用いた。また、高性能AE減水剤にはポリカルボン酸系と架橋ポリマーを複合したものを用いた。基本調査として単位水量を160kg/m<sup>3</sup>、粉体量を500kg/m<sup>3</sup>一定とし、粗骨材容積は概ね分離抵抗性が良好だった

表 2 使用材料

使用材料	記号	概 要
中庸熱ポルトランドセメント	M	比重3.21 比表面積3110c
普通ポルトランドセメント	N	比重3.16 比表面積3330c
高炉スラグ微粉末	SG	比重2.91 比表面積6420c
フライアッシュ	FA	比重2.29 比表面積4070c
石灰石粉	LF	比重2.70 比表面積3860c
シリカフェーム	SF	比重2.19 比表面積20万c
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系+架橋ポリ
細骨材		比重2.62 FM2.78 木更津産
粗骨材		比重2.64 FM6.72 青梅産砕

310ℓ/m<sup>3</sup>に固定した。粉体の構成は中庸熱セメントおよび普通セメントに混和材を内割りで重0%、20%および50%(SFについては5.10%)置換した。各シリーズ共通の調査の概要を表3に示す。下、中庸熱セメントをベースにした調査をMシリーズ、普通セメントをベースとした調査をNシリーズと呼ぶ。本実験における高流動コンクリートの性能は表5のようである。

\*1大林組技術研究所 建築第二研究室、工修 (正会員)  
 \*2大林組技術研究所 建築第二研究室主任研究員 (正会員)  
 \*3大林組技術研究所 建築第二研究室室長、工修 (正会員)

表-3 調合 (Mシリーズ、Nシリーズ共通)

セメント種類	混和材種類	置換率 (%)	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	混和材量 (kg/m <sup>3</sup> )
M, N	なし	—	500	0
	SG	20	400	100
		50	250	250
	FA	20	400	100
		50	250	250
	LF	20	400	100
		50	250	250
	SF	5	475	25
		10	450	50

表-4 基本調合

単位水量	160kg m <sup>-3</sup>
粉体重量	500kg m <sup>-3</sup>
単位粗骨材容積	310ℓ m <sup>-3</sup>

表-5 目標性能

スランプフロー	65±5cm
空気量	4.5・1.5%
コンクリート温度	20℃

### 3. フレッシュ試験結果

目標のスランプフロー値(65±5cm)を満足するのに要した高性能AE減水剤の添加量を図-1に示す。添加量は混和材の種類、置換率によって異なり、Mシリーズの場合、SFを除く混和材で置換率の増加に伴い、添加量は減少する結果となった。Nシリーズの場合は、SG50%とSFで増加した。これについて、椎葉らは、高炉スラグ微粉末やシリカフェームの高性能AE減水剤の吸着量の増大の原因をセメントの強塩基性とCa<sup>2+</sup>に起因するものと推測し、塩基性が強い場合SG、SF粒子の表面は正の電荷を帯び、それに高性能AE減水剤が吸着して負となり、さらに遊離したCa<sup>2+</sup>の吸着により正となり、高性能AE減水剤が吸着する[1]、としている。FAの場合、未燃カーボン分に吸着することが知られているが、添加量は最小でありセメントのみに吸着し、FAへの吸着は少なかったと判断できる。

スランプフロー値(降伏値)をほぼ一定とした高流動コンクリートの粘性を、図-2に示す試験装置をコンクリートが全て流下するのに要する時間(以下Oロート流下時間)とスランプフロー試験でのフローが50cmに到達するまでの時間(以下フロー時間)によ

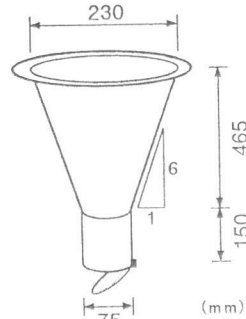


図-2 Oロート流下試験装置

って調べた。結果を図-3に示す。フロー時間およびロート流下時間はFA、SFで小さくなり、LFを置換した場合は大きくなった。SGの場合、フロー時間は約5秒程度であり、LFとFAの中間の粘性であると判断できるが、ロート流下時間では長くなり、粗骨材とモルタル部の分離抵抗性を高めた、といえる。

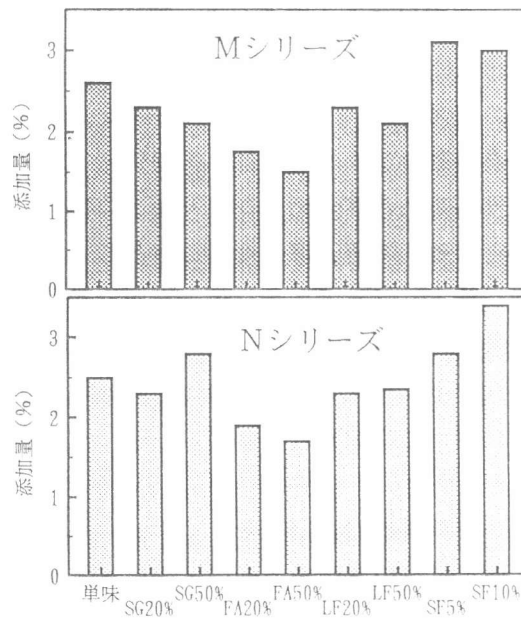


図-1 高性能AE減水剤の添加量

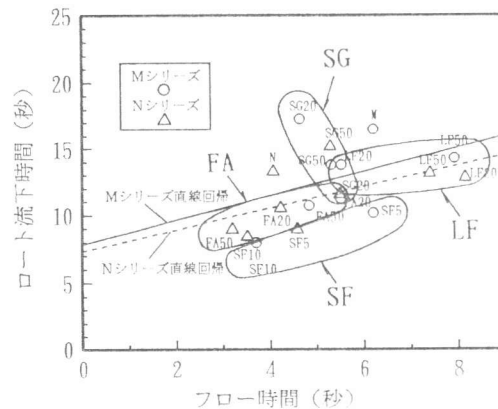


図-3 コンクリートの粘性

#### 4. フレッシュ性状の経時変化

傾胴型ミキサーによって90分まで低速攪拌しながら、フレッシュ性状の経時変化を測定した。り上がり直後から90分後の変化量として表-6に示す。フローのロスやMシリーズのSG, LF, NシリーズのN単味、SGの場合が大きかった。SGやLFを用いた粘性の高い調合でフローロスが大きくなり、の場合、フロー時間やロート流下時間は増加し、粘性の増加も伴うことが確認された。FAやSFなどの粘性を低下させる調合の場合、フローのロスやフロー時間、ロート流下時間は安定し粘性の変化も少ないことが確認された。また、空気量の経時変化は粘性の高い調合で増加し、攪によって巻き込み空気が増加したものと考えられる。

表-6(a) Mシリーズの経時変化

	スランフフロー (cm)	フロー時間 (秒)	ロート流下 時間(秒)	空気量 (%)
M	0.0	+0.7	-3.2	+4.0
SG20%	-5.8	+2.8	-2.8	+4.9
SG50%	-7.8	+1.5	-1.4	+5.0
FA20%	-0.5	-1.3	+3.3	+0.5
FA50%	+6.8	-2.0	-2.1	-2.5
LF20%	-10.8	+5.7	-2.0	+5.0
LF50%	-15.5	+4.1	-3.4	+5.5
SF5%	+0.3	-0.5	+0.6	+4.6
SF10%	-10.5	+2.0	+1.0	+0.9

表-6(b) Nシリーズの経時変化

	スランフフロー (cm)	フロー時間 (秒)	ロート流下 時間(秒)	空気量 (%)
N	7.3	+5.6	+4.1	+2.1
SG20%	-6.8	+3.2	+5.4	+0.7
SG50%	4.0	+0.1	+6.1	-2.8
FA20%	+0.3	+0.7	+3.4	2.1
FA50%	+0.8	+0.3	+0.9	3.2
LF20%	-4.0	+0.3	+1.4	-2.3
LF50%	+5.0	-3.3	3.8	-3.0
SF5%	0.8	0.5	-0.5	+3.2
SF10%	+1.0	+0.2	+0.7	+1.7

#### 5. 凝結時間

高流動コンクリートの凝結は高性能AE減水剤の添加量にともない遅れる傾向があり[2]、また、多成分系のセメントを用いた場合、混和材の種類や置換率によっては著しい凝結遅延を起こすことが報告されている[3]。本実験での各調合における凝結時間の測定結果を高性能AE減水剤の添加量で整理して図-4示す。NシリーズはMシリーズと比較して、 $C_3S$ の含有量は多く、またモルタルの細骨材量は若干少ないが、凝結は遅れる傾向であった。高性能AE減水剤の添加量が増えるにしたがって、凝結時間は遅延することが明らかとなったが、混和材としてFAを用いた調合はいずれも凝結が著しく遅延し、その傾向は置換率の増加による。混和材としてSG, SFを用いた場合の凝結は高性能AE減水剤の添加量によって遅延し、混和材の種類による影響が小さいことが確認された。

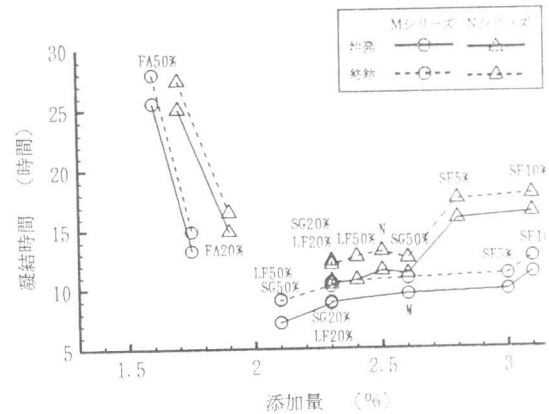


図-4 添加量と凝結時間

#### 6. 強度発現性状

材齢91日までの圧縮強度の発現性状を図-5にセメント単味、SG, FA, LF, SFの順に示す。セメントを比較した場合、 $C_2S$ の含有量の多いM単味の方が28日以降の強度の伸びに優れ、混和材を混入した全調合でMシリーズの方が91日強度でNシリーズを上回った。SG, FA, LFを置換した場合は初期における強度は小さく長期材齢において、混和材の種類による影響が顕著になる。

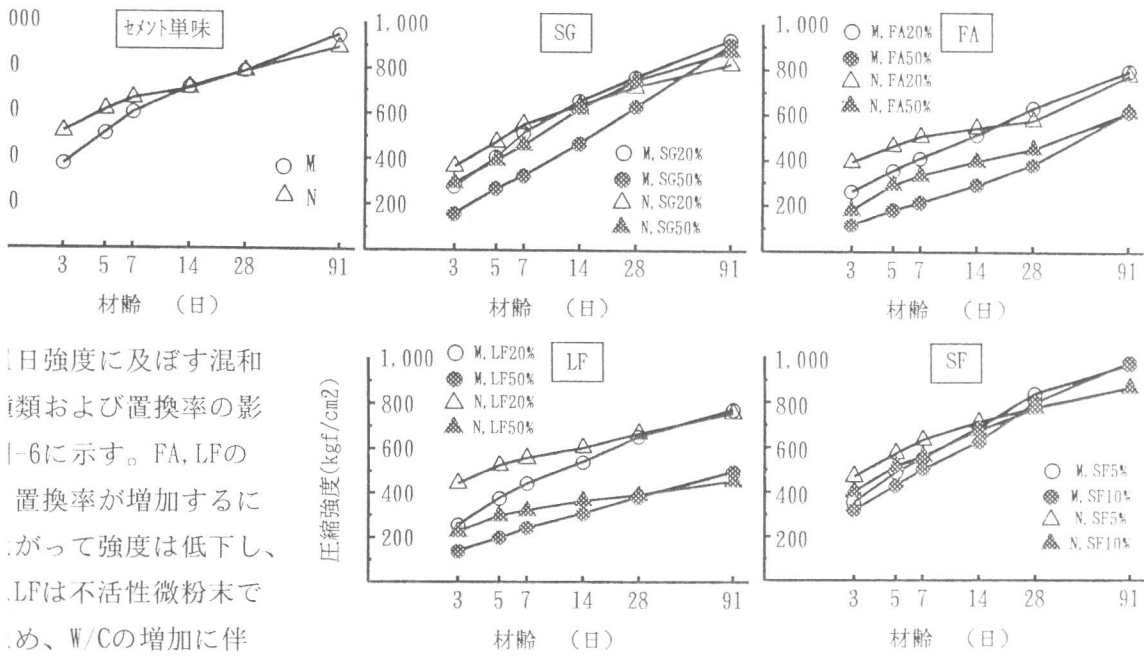


図-5 圧縮強度試験結果

28日強度に及ぼす混和材料および置換率の影響は図-6に示す。FA, LFの置換率が増加するにつれて強度は低下し、LFは不活性微粉末のため、W/Cの増加に伴って強度は低下した。FAや

いた場合は圧縮強度に与えるセメントの種類の影響は大きい。SGの場合、セメントの種類の影響は置換率が大きくなるが、置換率の増加に伴う強度の低下は認められず、SGの潜在水硬性が確認された。SFの場合は、置換であり、圧縮強度はセメントの種類に大きく関係なく、Mシリーズでは置換率に伴う強度の増進が認められた。

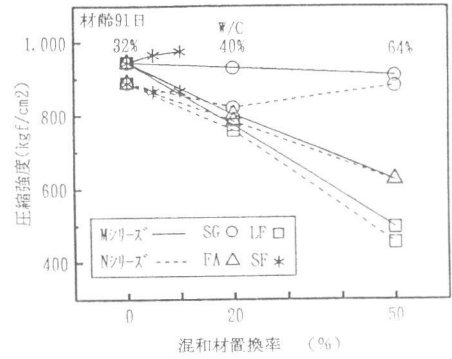


図-6 圧縮強度と置換率

弾性係数

に材齢28日における圧縮強度と静弾性係数を示す。図中に建築学会RC規準式およびNewRC式によるヤング係数推定式を示す。ヤング係数50%でやや大きくなったが、その他の調査にはRC規準式よりやや小さく、NewRC式よりは値となった。

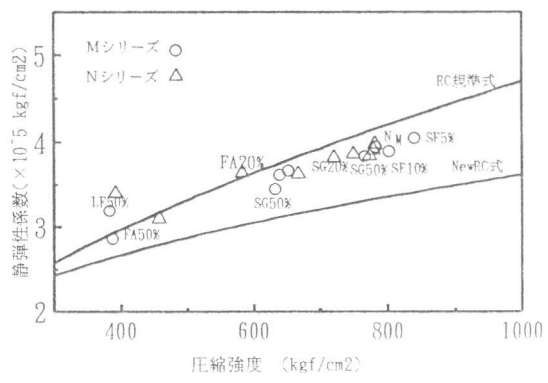
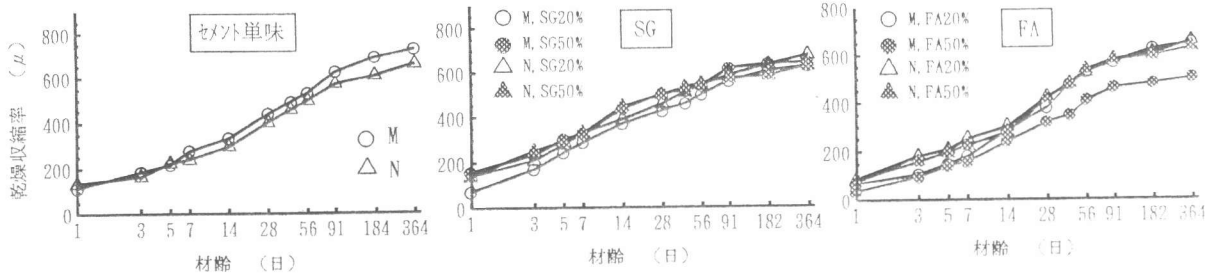


図 7 静弾性係数と圧縮強度

乾燥収縮

364日(52週)までの乾燥収縮率の測定結果を一覧する。セメント単味を比較した場合、28日以降からM単味の方が収縮は大きくなり、その差は材齢とともに大きくなる。SGを置換した、材齢14日まで急な収縮が観察され、それ以降の収縮の進行はNシリーズのSG50%が小さかった。初期材齢の収縮が低減され、長期材齢ではMシリーズのFA50%が最も収縮量が小さかった。材齢28日まではMシリーズのLF50%が小さかったが、材齢56日で600μ程度と大きくなり、LFによる収縮低減は認められなかった。とくにLFを20%置換したとき収縮が大きくなった。SFは28日から収縮が低減され、材齢364日でセメント単味に比べ、100μ以上の低減効果が認められた。



材齢364日での乾燥収縮率を混和材種類および置換率でまとめて図-9に示す。乾燥収縮の低減効果が大いなのはSFやFAであり、Mシリーズにおいては置換率に伴う収縮の低減効果が認められた。LFを除く全ての混和材で乾燥収縮の低減効果を確認できたが、置換率と乾燥収縮は必ずしも相関していない。

乾燥収縮試験における重量減少率の測定結果を図-10に示す。また、乾燥材齢364日における重量減少率と混和材の置換率の関係を図-11に示す。重量減少率は混和材の置換率が大きくなるほど増加し、とくにMシリーズにおいては顕著であった。これは混和材の混入でセメントの水和反応に寄与しない水量が見掛け上増加したこととセメントの水和反応速度が遅い場合、水分の逸散する量が多くなるため、と考えられる。

図-8 乾燥収縮試験結果

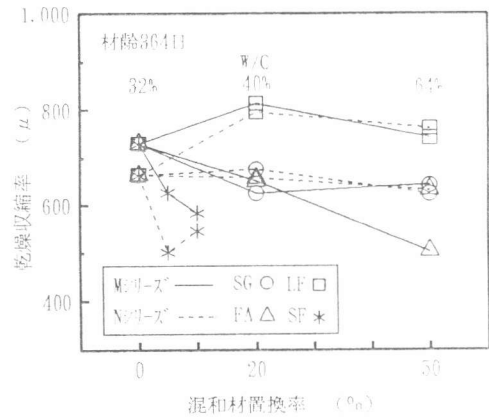


図-9 乾燥収縮と置換率

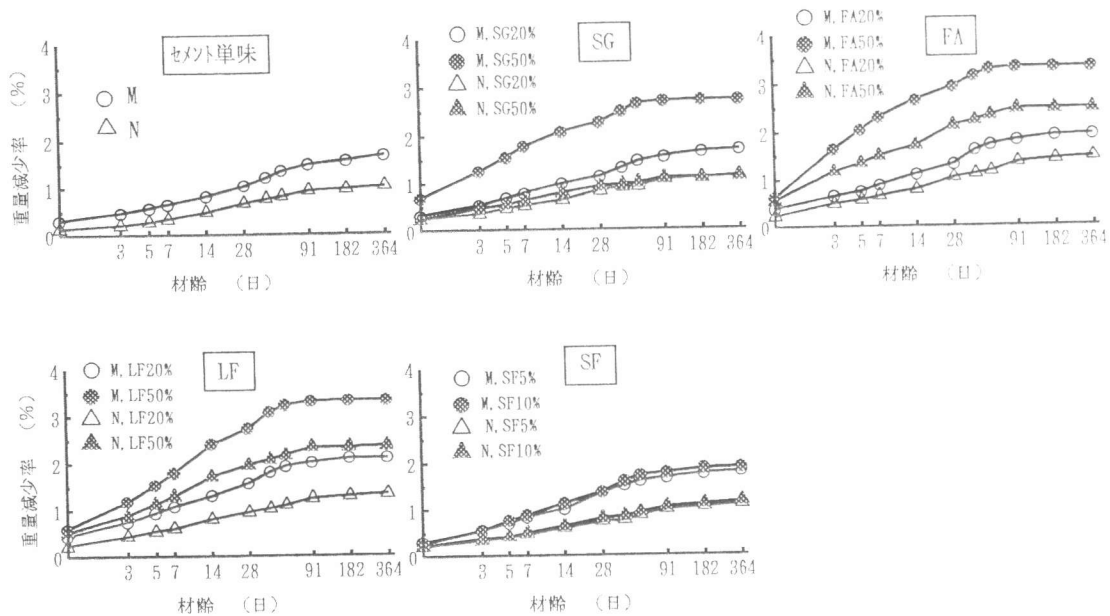


図-10 重量減少率測定結果

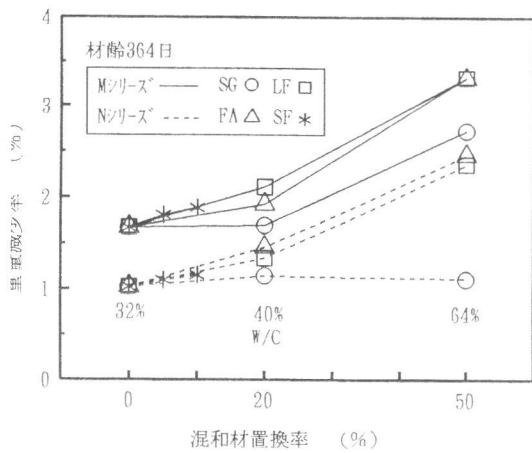


図-11 重量減少率と置換率

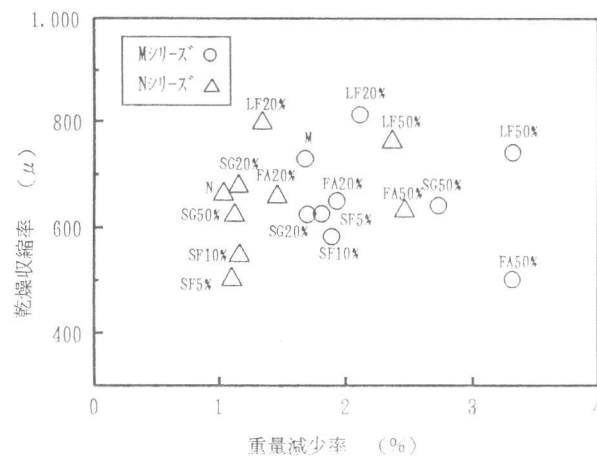


図-12 重量減少率と乾燥収縮

図-12に材齢364日における重量減少率と乾燥収縮率の関係を示す。重量減少率（水分の逸散）に伴って乾燥収縮率は大きくなると考えられるが、SG, LF, FAなどの混和材を置換した場合、相関性は認められなかった。図中のN単味やNシリーズのSGのように、重量減少率が小さく、乾燥収縮率が大きい場合は、自己収縮によるセメントペーストの収縮ひずみが卓越したと考えられる。また、MシリーズのFA50%のように重量減少率が大きく、乾燥収縮が小さい場合はペーストの収縮ひずみを低減したと推察される。

#### まとめ

以下、実験によって得られた結論を示す。

- ①各種混和材の高流動コンクリートの粘性に及ぼす影響として、FA, SFの場合はコンクリートの粘性を小さくし、逆にLFは高める傾向であった。SGはLFとFAの中間に位置する。
- ②凝結に及ぼす混和材の影響として、SG, LF, SFを用いた場合の凝結は高性能AE減水剤の添加量増加によって遅延し、FAを用いた場合は高性能AE減水剤の添加量によらず、著しく遅延した。
- ③単味に比べ、SG, FA, LFを置換した高流動コンクリートの強度発現は初期材齢で小さいが、長期度においては混和材の種類の影響が顕著となる。SGやSFは強度発現に寄与し、長期強度では置換率よりセメントの種類による影響が支配的となる。FA, LFの場合は強度の寄与は小さく、コンクリート度はセメントの種類よりも混和材の置換率が支配的となり、W/Cの増加に応じて強度は低下した。
- ④混和材の使用による乾燥収縮の低減はLFを除く混和材で確認された。MシリーズのSF, FAで、置換率に伴う収縮の低減効果が確認されが、他の調合の場合、置換率と乾燥収縮の低減効果は必ずしも相関していない。
- ⑤乾燥に伴う重量減少率は混和材を置換した場合大きくなる。混和材を多量に置換した場合、乾燥収縮と重量変化率の相関は小さく、乾燥収縮は自己収縮を含めて検討を要する。

#### 参考文献

- [1]高性能減水剤のシリカフェームおよび高炉スラグ微粉末への吸着性状に関する研究 福岡大学学集報 第51 1993.9
- [2]魚本、大下 高性能減水剤によるコンクリートの凝結遅延に関する基礎的研究 コンクリート学論文集、第5巻第1号、1994.1
- [3]大下、魚本 三成分セメントの混合比率がペーストの特性に及ぼす影響 コンクリート工学年論文報告集、Vol15, No1, 1993