

論文 高炉スラグ微粉末を使用した高流動コンクリートの流動・凝結特性に及ぼす混和剤の構成比率に関する実験的研究

金武漢*1・姜錫杓*2・金容魯*2・金載桓*2

要旨：本研究は結合材として高炉スラグ微粉末を使用した高流動コンクリートにおいて、混和剤を構成する分散剤であるβ-ナフタレンスルホン酸高縮合物ナトリウム塩とメラミンスルホン酸ナトリウム塩との構成比率の変化がペーストとコンクリートの流動性及び凝結特性に及ぼす影響について検討・分析したものである。その結果、ナフタレンとメラミンとの構成比率の変化による流動特性および凝結時間の差が認められた。なお、高性能減水剤としてナフタレンとメラミンの混用により高品質の高流動コンクリートを効果的に製造できることがわかった。

キーワード：高流動コンクリート, 高炉スラグ微粉末, 混和剤, 流動特性, 凝結特性

1. はじめに

コンクリート用混和剤である高性能減水剤は優れた単位水量の低減効果を持っているため、コンクリートの高流動化、耐久性向上、高強度化などを目的として使用されているが、最近のコンクリートの高性能化の要求に伴い、コンクリートの諸性質に及ぼす影響の解明が望まれている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ なお、この混和剤はその種類及び混和剤を構成する成分の種類や混合比率により、コンクリートの流動性と凝結特性などに差が生じる。⁵⁾⁶⁾⁷⁾

一方、韓国の建設生産現場では経済性などの理由で高流動コンクリートの高性能減水剤としてナフタレン系及びメラミン系が主に使用されている。

本研究では、結合材として高炉スラグ微粉末を使用した粉体系の高流動コンクリートにおいて混和剤を構成する分散剤であるβ-ナフタレンスルホン酸高縮合物ナトリウム塩(以下ナフタレンと称する)とメラミンスルホン酸ナトリウム塩(以下メラミンと称する)との構成比率の変化がペーストとコンクリートの流動・凝結特性に及ぼす影響について検討・分析したものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画及び調査

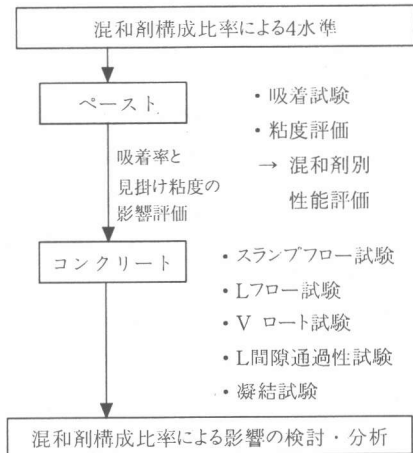


図-1 研究のフロー

本研究では、図-1に示すようにペースト、コンクリートについて実験を行った。混和剤はその構成比率を変えたものを4水準設定し、ペーストにおいては吸着性能および粘性について検討し、各々混和剤の性能及び特性を評価した。

ペーストの試験結果を分析・検討した後、混和剤の構成比率による高流動コンクリートの流動性・凝結特性に及ぼす影響を評価した。

本研究で使用したペーストとコンクリートの調査を

* 1 大韓民国 忠南大学校 工科大学 建築工学科, 教授・工博(正会員)

* 2 大韓民国 忠南大学校大学院 建築工学科, 博士課程

表-1 ペーストとコンクリートの調合

ペースト				コンクリート									
W/B (%)	混和剤*	高炉スラグ置換率 (%)	混和剤添加率 (%)	W/B (%)	混和剤	高炉スラグ置換率 (%)	混和剤添加率 (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				
									水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材
30	N	0	1.0	30	N	45	1.0	50	175	321	263	804	829
	NM												
	MN												
	M												

* 混和剤構成比率による水準 (N : ナフタレン, M : メラミン, NMとMN : ナフタレンとメラミンの混用)

表-1に示す。

ペーストの調合は、水結合材比を30%、高炉スラグ微粉末の置換率を0%と45%に設定した。コンクリートの調合は、水結合材比30%、高炉スラグ微粉末の置換率45%、単位水量を175kg/m³に設定した。なお、混和剤の添加量は、4水準ともセメント質量に対し1.0%一定とした。

2.2 使用材料

本研究に使用した使用材料を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、混和材は比表面積4,379cm²/gの高炉スラグ微粉末を使用した。なお、細骨材は粗粒率2.85の海砂を、粗骨材は最大寸法20mmの碎石を使用した。

表-3は、混和剤の物理的性質を示したもので、混和剤を構成する分散剤であるナフタレンとメラミンの構成比率により、ナフタレン100%(N)、ナフタレンとメラミンとの混用(NM, MN)、メラミン100%(M)の4種類を用いた。

2.3 試験方法

1) ペースト試験

混和剤の吸着率は、W/B30%のペーストをマグネットミキサで10分間練り混ぜ、その後10分間遠心分離を行って、上層液を抽出した。このように得られた上層液中の混和剤の濃度を紫外線吸光スペクトル(UV spectrophotometer)で測定した。⁵⁾⁸⁾

流動性は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に規定されているミキサおよびフローコーンを用いて、練り混ぜ直後の引抜きフローを測定した。

ペーストの粘性は回転粘度計(Brookfield DV II+ Viscometer)を用いて見掛け粘度を測定した。

2) コンクリート試験

表-2 使用材料の物理的性質

セメント	・種類 : 普通ポルトランドセメント ・比重 : 3.15, 比表面積 : 3,680cm ² /g
細骨材	・種類 : 海砂 ・比重 : 2.57 ・粗粒率 : 2.85
粗骨材	・種類 : 碎石 ・比重 : 2.65 ・最大寸法 : 20mm
混和材	・種類 : 高炉スラグ微粉末 ・比重 : 2.99, 比表面積 : 4,379cm ² /g

表-3 混和剤の物理的性質

混和剤	重量比* (%)		比重	pH	粘度 (cP)
	メラミン	ナフタレン			
N	0	100	1.168	6.28	29.7
NM	22	78	1.160	7.56	18.7
MN	57	43	1.162	7.56	16.6
M	100	0	1.218	7.13	46.5

* (メラミン+ナフタレン)の総重量当りに占める割合

コンクリートの試験は、フレッシュコンクリートの流動性を評価するために、スランプフローおよびLフロー試験を行った。

フレッシュコンクリートの粘性は、フロー到達時間で、空隙通過性は、VルートおよびL空隙通過性試験によって評価を行った。

また、流動性状の経時変化を評価するために、練り混ぜ直後に測定した後静置し、練り混ぜ後40分、60分後の同性状を1分間練り返した上で測定した。

コンクリートの凝結試験は、JIS A 6204 附属書1に準用して行った。また、コンクリートの圧縮強度試験(JIS A 1108)は、φ10×20cmの円柱供試体を用いて、材齢3, 7, 28及び56日にそれぞれ行った。

本研究で流動性状の評価のために使用した試験装置を図-2に示す。

3. 実験結果の分析及び検討

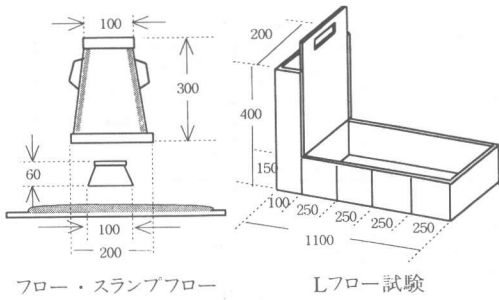


図-2 試験装置 (単位:mm)

表-4 ペーストの測定結果

混和剤	吸着率 (%)	高炉スラグ置換率 (%)	フロー (cm)	見掛け粘度 (mPa・S)
N	92	0	22.0	2500
		45	27.9	1218
NM	84	0	16.5	5460
		45	26.0	1400
MN	81	0	14.9	6200
		45	25.8	1610
M	74	0	13.8	6830
		45	21.4	2370

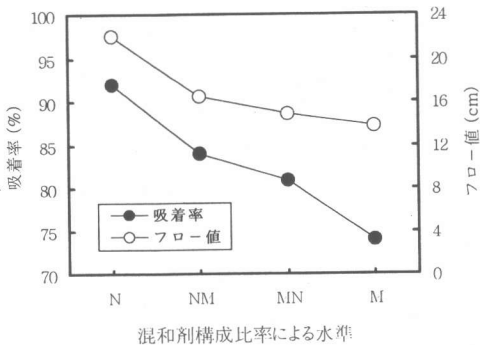


図-3 混和剤の構成比率によるペーストの吸着率及びフロー値の変化

3.1 ペースト性状の分析及び検討

表-4は、ペーストでの測定結果を示したものである。

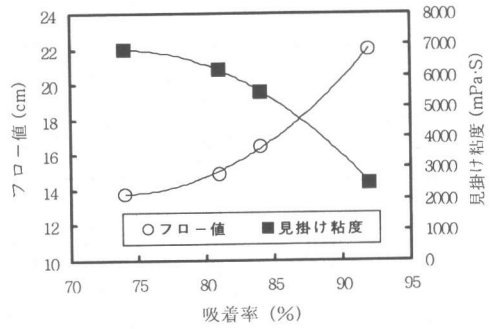


図-4 ペーストの吸着率とフロー値及び見掛け粘度の関係

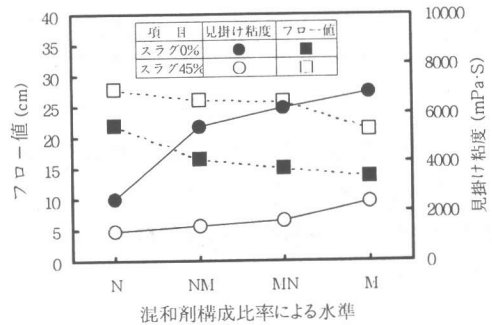


図-5 混和剤の構成比率及び高炉スラグ微粉末の置換有無によるペーストのフロー値及び見掛け粘度の変化

1) 混和剤の構成比率による吸着率

図-3は、混和剤の構成比率による吸着率及びフロー値を示したもので、ナフタレン構成比率が増加するほど吸着率及びフロー値も大きくなっている。また、吸着率とペーストのフロー値の変化は類似な傾向を示しており、吸着率は分散性能と密接な関係があることから既存の研究と一致している。⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

図-4は本研究で吸着率とペーストのフロー値及び見掛け粘度との関係を示したもので、混和剤の吸着率が増加するほどペーストの流動性は向上され、粘性は低下することが分かる。

2) 混和剤の構成比率及び高炉スラグ微粉末の置換有無による粘性及び流動性

図-5は、混和剤の構成比率及び高炉スラグ微粉末の置換有無によるフロー値と見掛け粘度の変化を示したもので、メラミン構成比率が増加するほどフロー値は減少し、ペーストの粘性は増加している。

なお、混和材無混入のペーストの場合、高炉スラ

表-5 コンクリートの測定結果

混和剤	フレッシュコンクリート							凝結性状		硬化コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)			
	経過時間 (min)	スランブフロー (cm)	スランブフロー50cm速度 (cm/sec)	Lフロー (cm)	Lフロー50cm速度 (cm/sec)	Vロート流下時間 (sec)	L間隙スランブ (cm)	始発 (h:m)	終結 (h:m)	材齢 (days)			
										3	7	28	56
N	直後	69.0	2.59	97	12.44	7.34	30.0	26:40	29:54	28	48	83	84
	40	69.0	2.14	95	7.49	10.22	18.5						
	60	68.5	1.35	95	6.18	13.72	9.0						
NM	直後	66.0	2.49	97	9.90	7.46	30.0	17:12	20:41	30	50	79	80
	40	68.5	2.02	95	7.35	10.81	23.5						
	60	64.0	1.28	84	6.14	14.69	11.0						
MN	直後	65.5	2.14	89	8.01	9.06	28.0	14:39	17:34	30	50	78	79
	40	61.0	1.19	90	6.49	11.75	26.5						
	60	59.5	1.04	74	3.99	15.00	16.5						
M	直後	65.0	2.05	90	6.88	9.50	30.5	7:45	9:54	37	58	75	78
	40	42.0	-	48	2.71	16.47	17.5						
	60	29.0	-	21	-	37.53	0.1						

グ微粉末を使用したペーストに比べフロー値は減少し、見掛け粘度は増加しており、混和剤の構成比率による粘性の差が著しく生じた。

3.2 コンクリート性状の分析及び検討

表-5は、コンクリートの測定結果を示したものである。

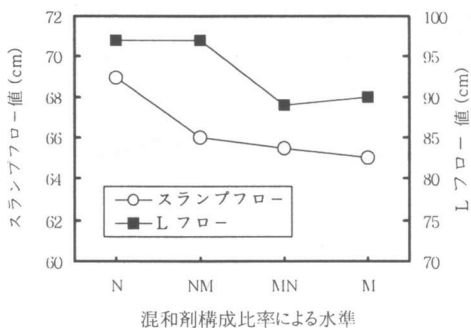


図-6 混和剤の構成比率によるコンクリートのスランブフロー値とLフロー値の変化

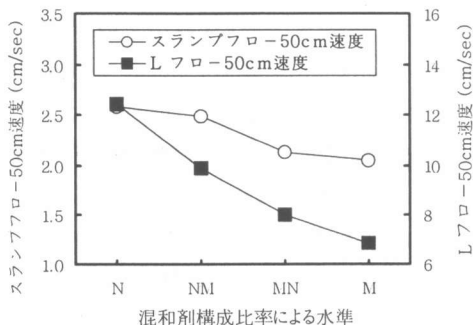


図-7 混和剤の構成比率によるコンクリートのスランブフロー50cm速度とLフロー50cm速度の変化

1) 混和剤の構成比率による流動性の分析及び検討

図-6は、混和剤の構成比率による練り混ぜ直後のスランブフロー値及びLフロー値の変化を示したもので、スランブフロー値及びLフロー値はナフタレンの構成比率の増加(N>NM>MN>Mの順)に伴って大きくなる傾向がみられる。

コンクリートの流動性は、ペーストと類似な傾向を示しており、これはナフタレンの構成比率が増加するほど相対的に吸着率が増加するためと考えられる。

2) 混和剤の構成比率による粘性及び間隙通過性の分析及び検討

図-7は、混和剤の構成比率による練り混ぜ直後のスランブフロー50cm速度及びLフロー50cm速度の変化を示したもので、スランブフロー50cm速度及びLフロー50cm速度は、メラミンの構成比率が増加するほど低下しており、高炉スラグ微粉末を使用したペーストの見掛け粘度と類似な傾向がみられる。

なお、スランブフロー50cm速度の場合、混和剤の構成比率にかかわらず「JASS5-18高流動コンクリート」及び「超流動コンクリート研究委員会報告書」²⁾の提案領域の1.875~5.000cm/sec(スランブフロー50cm到達時間3~8sec)を満足している。

図-8は、混和剤の構成比率による練り混ぜ直後のVロート流下時間及びL間隙スランブの変化を示したもので、間隙通過性においては、混和剤の構成比率による明確な差は認められなかった。

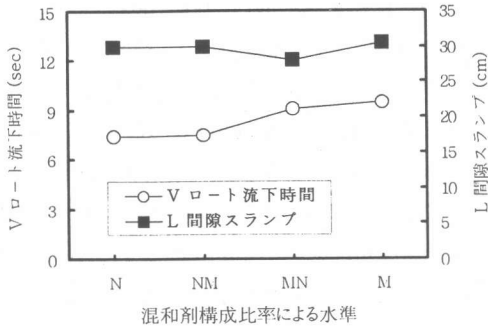


図-8 混和剤の構成比率によるコンクリートのVロート流下時間とL間隙スランプの変化

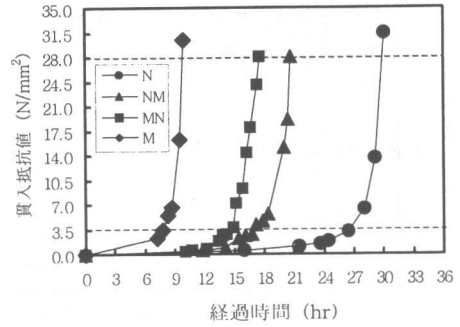


図-11 混和剤の構成比率及び経過時間による貫入抵抗値の変化

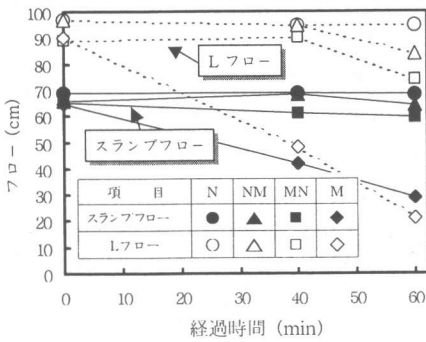


図-9 混和剤の構成比率及び経過時間によるコンクリートのスランプフロー値とLフロー値の変化

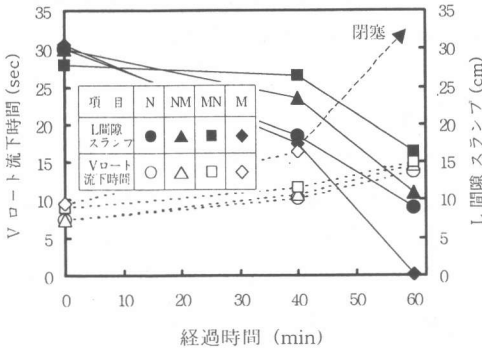


図-10 混和剤の構成比率及び経過時間によるコンクリートのVロート流下時間とL間隙スランプの変化

3) 混和剤の構成比率による保持性能の分析及び検討

図-9は、混和剤の構成比率及び経過時間によるスランプフロー値とLフロー値の変化を示したもので、スランプフロー値の場合、Nは流動性の保持性能が一番優秀であるが、Mは流動性の保持性能が相対的に顕著に低下することが示される。Lフロー値の場

合もスランプフロー値と類似な傾向を示している。

図-10は、混和剤の構成比率及び経過時間によるVロート流下時間とL間隙スランプの変化を示したもので、Vロート流下時間の場合、N・NM・MNは、経時60分まで良好な性状を示した。しかし、Mは、経時40分後のVロート流下時間が17秒となり、経時60分では閉塞する傾向がみられる。

L間隙スランプの場合、NMとMNのようなナフタレンとメラミンの混用は、NとMに比べて相対的に良好な性状を示した。特にMは、経時60分で閉塞し、間隙通過性の経時変化が大きく、時間とともに顕著に低下するのが認められた。

4) 混和剤の構成比率による凝結特性の分析及び検討

図-11は、混和剤の構成比率及び経過時間による貫入抵抗値の変化を示したもので、始発時間の場合、Mは7時間45分、MNは14時間39分、NMは17時間12分、Nは26時間40分の水準で、MとNの差が約22時間程度と示した。すなわち、凝結時間はメラミン構成比率の増加によって早くなる事が分かる。

なお、NM及びMNのナフタレンとメラミンの混用したものは、Nと同程度の流動性保持性能を持つことにもかかわらず、凝結時間はNよりも大幅に短くなっている。

5) 混和剤の構成比率による圧縮強度発現特性の分析及び検討

図-12は、材齢28日の圧縮強度を100%としたときの混和剤の構成比率による圧縮強度の発現率を示したものである。Mの場合、材齢3日及び7日の初期

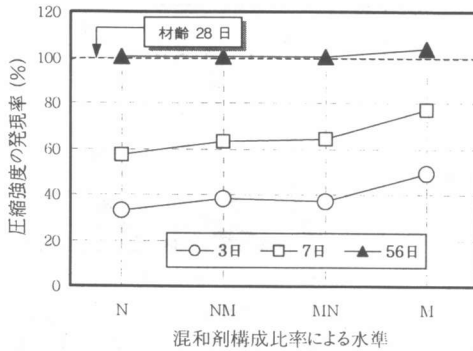


図-12 混和剤の構成比率による材齢28日圧縮強度に対する強度発現率の変化

圧縮強度の発現率は、N・NM・MNに比べて大きな傾向を示しているが、表-5に示すように材齢28日及び56日の長期材齢では、圧縮強度は相対的に低い傾向を示した。

4. まとめ

高炉スラグ微粉末を使用した高流動コンクリートの流動及び凝結特性に及ぼす混和剤の構成比率に関する実験的研究の結果をまとめると以下の通りである。

- 1) ペーストの吸着率は、ナフタレンの成分が増加するほど大きくなり、吸着率の増加によってペースト及びコンクリートの流動性は向上される。
- 2) 混和剤の構成比率による間隙通過性は、流動性と粘性及び保持性能に比べて相対的に明確な差は認められない。
- 3) ナフタレンが増加するほど流動性及び保持性能が向上され、メラミンが増加するほど粘性及び凝結特性が良好な性状になっている。
- 4) ナフタレンとメラミンの適切な構成比率により、良好な流動性、粘性、凝結特性及び初期強度発現率を持つ高流動コンクリートが効果的に製造できると思われる。

参考文献

- 1) 金武漢ほか、高流動コンクリートの流動特性に及ぼすセメント及び高性能AE減水剤の効果に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol.

20, No. 2, pp.385~390, 1998

- 2) 日本コンクリート工学協会、超流動コンクリート研究委員会報告書(I)-超流動コンクリートに関する技術の現状と今後の展望-, 1993. 5
- 3) 日本建築学会、高性能AE減水剤コンクリートの調査・製造および施工指針・同解説, 1999
- 4) 岡村 甫ほか、自己充填コンクリート用高性能AE減水剤の効果の定量評価法、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 20, No. 2, pp.355~360, 1998
- 5) 丸山久一ほか、高流動コンクリートの流動性保持機構に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 18, No. 1, pp.129~134, 1996
- 6) 松久真人ほか、セメントのキャラクターが β -ナフタレンスルホン酸系またはポリカルボン酸系混和剤を添加したセメントペーストの流動性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 20, No. 2, pp.67~72, 1998
- 7) 名和豊春ほか、高流動コンクリートの自己充てん性に及ぼす減水剤の化学構造の影響、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 22, No. 2, pp.835~840, 2000
- 8) 山田一夫ほか、混和剤の吸着現象から解析したポリカルボン酸系混和剤を添加したセメントペーストの流動化機構、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 20, No. 2, pp.73~78, 1998
- 9) 魚本 健人ほか、各種結合材粒子に対するポリカルボン酸系分散剤の分散効果に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 20, No. 2, pp.85~90, 1998
- 10) 呉承寧ほか、高流動モルタルの性状に及ぼすセメント及び高性能AE減水剤の影響、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学協会、Vol. 18, No. 1, pp.57~62, 1996