

# 論文 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

金 武 漢<sup>\*1</sup>・ 洪 悦 郎<sup>\*2</sup>・ 鎌 田 英 治<sup>\*3</sup>・ 金 圭 庸<sup>\*4</sup>

**要 旨**：高流動コンクリートは材料分離が起さない範囲で、流動特性を著しく向上させたもので、コンクリートの高流動特性を向上させるためには、構成材料の性能及び組合せが合理的でなければならない。このなかには、セメントペーストはコンクリートの流動特性を決める大きな要因のひとつである。従って、本研究はセメントペーストを構成しているセメントと高性能AE減水剤との相性を分析して、その効果及び特性について検討を行ったものである。

**キ-ワ-ード**：高流動特性、構成材料、セメントペースト、高性能AE減水剤、相性

## 1. はじめに

高流動コンクリートは、最近の各種混和材料の高性能化とともにコンクリート研究者たちの絶え間ない研究によって開発された締固めなしかたわく内に充填されるようにコンクリートの流動性を著しく向上させたものである<sup>1),2)</sup>。さらに、高流動コンクリートの性状を改善するためにいろいろな新しいセメント及び高性能AE減水剤などが最近開発されている。

本研究は、高流動コンクリートの各種の性能に大きく影響を与える構成要因として韓国で生産されているセメント及び高性能AE減水剤の種類と組合せを取り上げ、各種の流動特性、凝結性状及び圧縮強度特性などの高流動コンクリートの諸特性を比較・解析して、セメントと高性能AE減水剤の効果を検討したものである<sup>3),4),5)</sup>。

正範囲に対する検討を行ない、シリーズIIでは、各種セメントと高性能AE減水剤の組合せによる高流動コンクリートの流動特性を調べ、セメントと高性能AE減水剤の効果及びその相性について検討した。

## 2. 2 使用材料及び調合

コンクリートの使用材料としてTable 2に示すようにセメントは普通ポルトランドセメント(O.P.C)及び低熱ポルトランドセメント(H.B.C)の2種類、混和材はフライアッシュ、混和剤はポリカルボン酸系1種類、ナフタリン系3種類の高性能AE減水剤を使用し、細骨材及び粗骨材はシリーズI、IIで同じものを使用した。また、コンクリートの調合は試し練りを行ない決定した。Table 3に決定した調合を示す。

## 2. 実験計画及び方法

### 2.1 実験計画

本研究は、Table1に示すように2つのシリーズで構成されている。シリーズIでは、高性能AE減水剤の種類及び添加率による高流動コンクリートの各種性状を考察して高性能AE減水剤の性能と添加率の適

Table 1. Combination of cement and SP agent

Series	Combination		Sig.
I	Cement	Ordinary Portland Cement	O.P.C
	SP agent	Polycarboxylic Ether type	PK
		NSF(Naphthalene Sulfonated Formaldehyde) type	EZ PH RH
II	Cement	Ordinary Portland Cement High Belite Cement	O.P.C H.B.C
	SP agent	Polycarboxylic Ether type	PK
		NSF(Naphthalene Sulfonated Formaldehyde) type	EZ

- \* 1 大韓民国 忠南大学教授 工科大学建築工学科, 工博 (正会員)
- \* 2 北海道大学名誉教授 工学部建築工学科, 工博 (正会員)
- \* 3 北海道大学教授 工学部建築工学科, 工博 (正会員)
- \* 4 大韓民国 忠南大学校大学院 建築工学科, 博士課程

Table 2. Properties of materials

Cement	O.P.C	S.G:3.15, Blaine Value:3,250(cm <sup>2</sup> /g) C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF:19%, C <sub>2</sub> S:23%
	H.B.C	S.G:3.20, Blaine Value:4,130(cm <sup>2</sup> /g) C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF:12%, C <sub>2</sub> S:46%
Fly Ash		S.G:2.21, Blaine Value:3,144(cm <sup>2</sup> /g)
SP Agent	PK	S.G:1.04, Polycarboxylic Ether
	EZ	S.G:1.20, NSF type
	PH	S.G:1.20, NSF type
	RH	S.G:1.20, NSF type
Fine Agg.		Size:2.5mm, F.M:2.60, S.G:2.54
Coarse Agg.		Size:20mm, F.M:6.61, S.G:2.56

Table 3. Mix proportion of concrete

Series	W/B	Replacement of FA(%)	Slump-flow (cm)	s/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
					Water	Cement	FA	Fine agg.	Coarse agg.
I	0.35	30	-	50	175	350	150	766	775
II	0.35	30	60±5	50	175	350	150	766	775
								769	778

2.3 試験項目及び方法

高流動コンクリートの流動特性は日本コンクリート工学協会の超流動コンクリート研究委員会報告書<sup>1)</sup>を参考としスランプフロー、Vロート流下時間及びLフローを用いて評価した。高性能AE減水剤の減水効果にの評価はセメントペーストを製造した後、高性能AE減水剤の減水効果によって水量をだんだん減少させ、同一のスランプフローを得るための添加率及び減水量を測定した。コンクリートの凝結性状はブローカー貫入試験法(JIS A 6204 附属書 1)によって測定し、硬化コンクリートの圧縮強度の測定はJIS A 1108に準じて行なった。

3. 試験結果および考察

3.1 高性能AE減水剤の種類及び添加率による影響(シリーズI)

3.1.1 フレッシュコンクリートの流動特性

Fig.1は、高性能AE減水剤の種類による添加率とスランプフローの関係を示したものである。高性能AE減水剤の添加率が増加するほどスランプフロー値が大きくなるが、ある添加量以上になると頭打ちになって流動性増進に寄与しない範囲が存在した。

また、高流動コンクリートの高流動範囲であるスランプフロー60±5cmを確保するための高性能AE減水剤の添加率は、ポリカルボン酸系高性能AE減水

剤PKが1.3~1.8%で最も少なく、ナフタリン系EZが1.9~2.7%, PHが2.0~3.1%, RHが2.7~3.3%と順に増大し、ナフタリン系高性能AE減水剤場合の添加率がポリカルボン酸系の場合より約0.6~1.5%程度多く必要とすることが分かった。なお、RH3.3%の場合には材料分離の傾向が若干観測された。このように、高性能AE減水剤の種類によって所要の流動性を得るための添加率範囲が多少異なったことはセメントの粒子に吸着される高性能AE減水剤の分散作用が各各異なったことに基因すると考えられる。

Fig.2は、高性能AE減水剤の種類による添加率とVロート流下時間との関係を示したものである。Vロート流下時間は60±5cmのスランプフロー領域で全体的に10~20秒内外に分布され、高性能AE減水剤の添加率の増大にともないVロート流下時間が多少速くなる傾向を見せている。添加率が1.3~1.8%であるポリカルボン酸系高性能AE減水剤PKの場合Vロート流下時間が若干長く

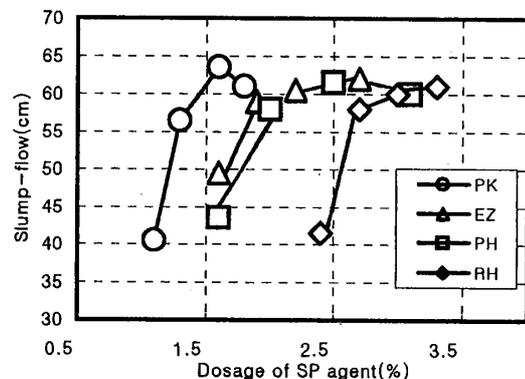


Fig. 1 Slump-flow and dosage of SP agents

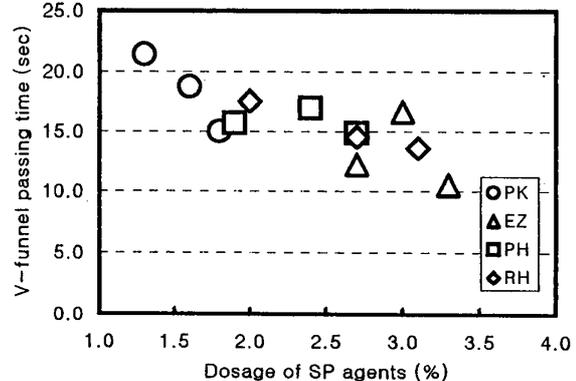


Fig. 2 V-funnel passing velocity and Dosage of SP agents

現れ相対的にコンクリートの粘性が大きいことが認められた。このように高性能AE減水剤の種類及び添加率はセメントペーストの粘性を大きくさせたり、小さくしたりするため高流動コンクリートの間隙通過性に影響を与えると考えられる。

Fig. 3は、高性能AE減水剤の種類及び添加率別スランプフローの経時変化を示したものである。高性能AE減水剤の添加率が相対的に少ないポリカルボン酸系PKの添加率 1.1、1.3%の場合はナフタリン系より相対的に急激なスランプフローのロスを示す。それ以上の添加率では緩慢なスランプフローのロスを示した。

一方、添加率が2.0%以上になる高い水準のナフタリン系 EZ、PH、RHの場合、60分間流動性損失がほとんど見られないか、緩慢に低下している。これは高流動特性を確保するための添加率が多少高く、高性能AE減水剤の分散作用が相対的に長く維持されたことであると考えられる。

### 3.1.2 コンクリートの凝結特性

Fig. 4は、高性能AE減水剤の種類及び添加率による高流動コンクリートの凝結特性を示したもので、高性能AE減水剤の種類及び添加率がコンクリートの凝結性状に大きく作用することが分かる。即ち、高性能AE減水剤の添加率水準が1.1~1.8%であるポリカルボン酸系高性能AE減水剤PKの場合8~12時間以内に終結を示し、添加率による凝結時間の変動は比較的少ない、ナフタリン系の高性能AE減水剤EZ、PH、RHの場合添加率による終結時間は14~29時間まで広く変動し、高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)<sup>6)</sup>で提示した20時間の凝結時間を超過する場合もあった。

これは高流動コンクリートの場合、高性能AE減水剤の多量な使用によって経時によるスランプフローのロスがほとんどないが、ナフタリン系高性能AE減水剤の添加率が高い場合にはセメントの水和に影響を与え凝結遅延現象が起ることになる。従って、高性能AE減水剤の主成分、構成材料の組合せなどとともにその添加率についても注意が必要であると考えられる。

### 3.1.3 硬化コンクリートの圧縮強度特性

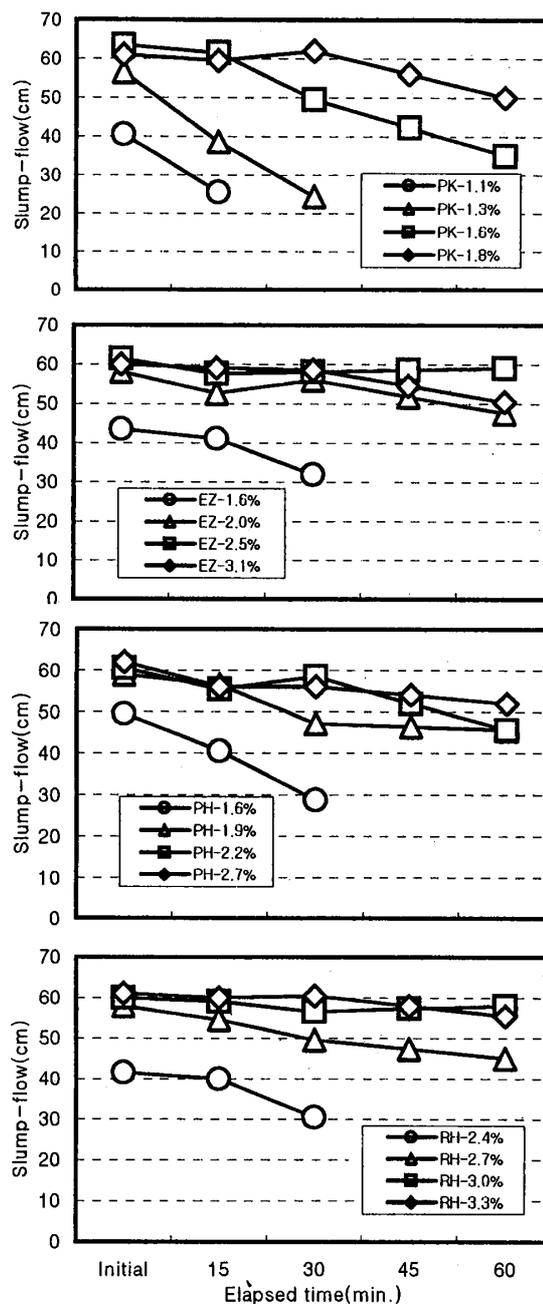


Fig. 3 Variation of slump-flow according to elapsed time

Fig.5に高性能AE減水剤の種類別添加率によるコンクリートの圧縮強度との関係を示す。高性能AE減水剤の添加率が少ないポリカルボン酸系PKの場合圧縮強度が最も大きく、高性能AE減水剤の添加率による変動もほとんど見られない。しかしながら、ナフタリン系のEZ、PH、RHの場合はPKより全般的に約10~15N/mm<sup>2</sup>程度小さい結果となった。これはポリカルボン酸系よりナフタリン系が多量に添加され、セメントの水和を遅延させて、コンクリートの初期

凝結性状に影響を与えたためであると考えられ、特にRHの場合添加率の増大にともない圧縮強度が低下する傾向が顕著に見られる。

### 3.2 セメントと高性能AE減水剤の相性(シリーズII)

#### 3.2.1 フレッシュコンクリートの流動特性

Fig. 6は、セメントペーストの同一流動値(フロー値15cm)でのセメントと高性能AE減水剤の種類による減水効果を示したもので、セメントの種類による影響は見られないが、高性能AE減水剤の種類による影響は相対的に大きく見られ、ポリカルボン酸系がナフタリン系より減水効果も大きく高性能AE減水剤の添加率も少ない。

Fig.7は、目標スランプフロー値 $60 \pm 5$ cmを満足するための高性能AE減水剤の添加率を示したものである。目標スランプフロー値を確保するための高性能AE減水剤の種類による添加率はナフタリン系高性能AE減水剤の添加率が2種類のセメントですべて相対的に大きく、セメントの種類においては低熱ポルトランドセメントが普通ポルトランドセメントより少なかった。

セメントの構成化合物中 $C_3A$ 及び $C_4AF$ の量によって高性能AE減水剤が吸着されるのが不均一になって、セメント粒子の分散作用が異なり、減水効果に影響を与えるということが報告されている<sup>7)</sup>。本研究で使用したセメントの $C_3A$ 及び $C_4AF$ の合計量な、それぞれ低熱ポルトランドセメントで12%、普通ポルトランドセメントで19%であり、普通ポルトランドセメントの場合高性能AE減水剤が相対的に多く吸着され

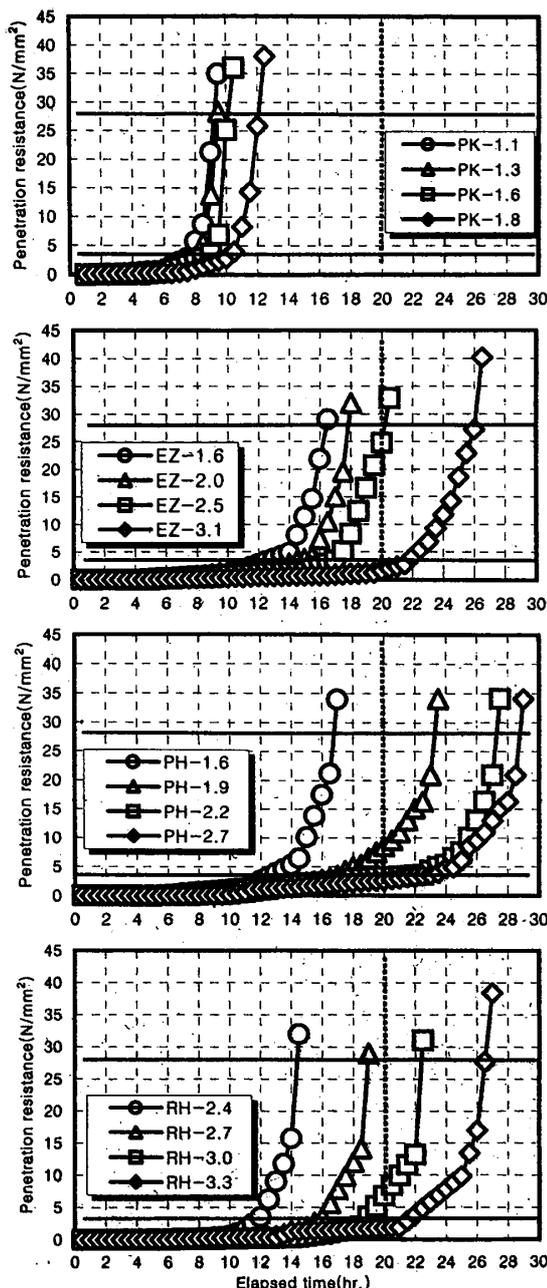


Fig. 4 Variation of setting time according to kind and dosage of SP agents

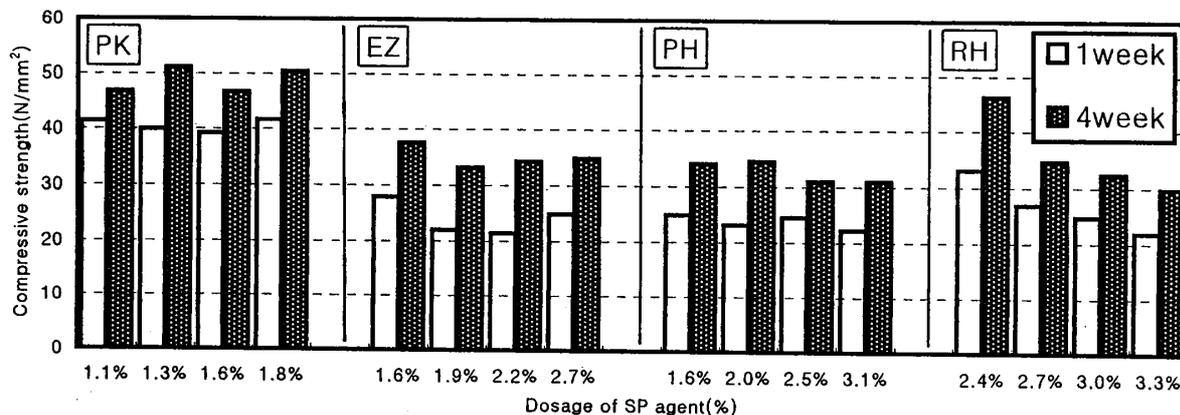


Fig. 5 Influence on compressive strength according to kind and dosage of SP agents

て分散作用が発揮されなくなったと考えられる。また、低熱ポルトランドセメント及びポリカルボン酸系高性能AE減水剤の組合せでは流動性能向上効果が最も大きく現れるのが認められた。

Fig. 8は、各セメント及び高性能AE減水剤の種類によるLフローの各区間(25, 50, 75, 100cm)において流動時間を示したものである。Lフローによる流動時間はセメントの種類よりも高性能AE減水剤の種類及び添加率による影響を大きく受けた。即ち、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤がナフタリン系より同じLフローでの流動時間が長く、コンクリートの粘性が相対的に大いが、ナフタリン系の場合は添加量が多いため流動時間が短くなった。

### 3.2.2 コンクリートの凝結特性

Fig.9は、セメント及び高性能AE減水剤の種類によるコンクリートの凝結時間を示したもので、一般的にセメントの種類に関係なしに高性能AE減水剤の種類別に異なり、ポリカルボン酸系の場合では凝結時間が速く、ナフタリン系の場合では遅くなった。また、高性能AE減水剤の添加率が1.5%前後の低熱ポルトランドセメントとナフタリン系高性能AE減水剤の組合せの場合は、普通ポルトランドセメントとポリカルボン酸系高性能AE減水剤の組合せより初結時間が約5時間程度、終結時間が約8時間が遅くなるのが認められた。このようにセメント及び高性能AE減水剤の組合せによってコンクリートの凝結性状が大きく異なることが分かる。

### 3.2.3 硬化コンクリートの圧縮強度特性

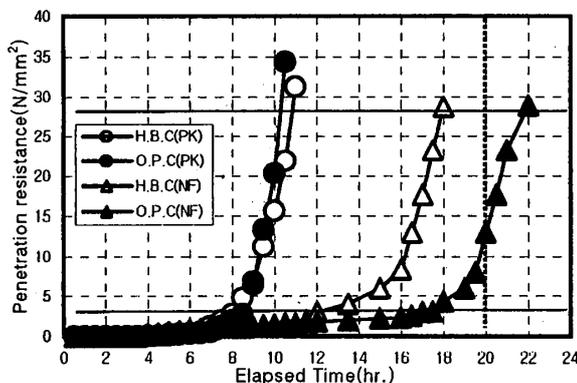


Fig. 9 Variation of setting time according to cements and SP agents

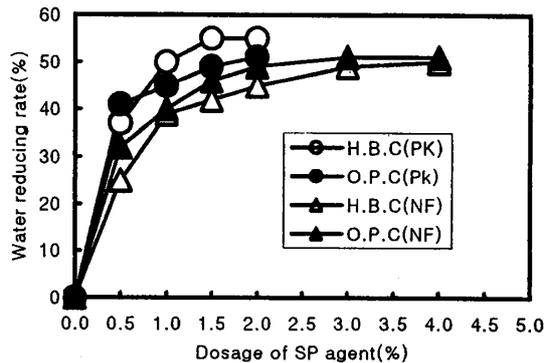


Fig. 6 Water reducing rate according to dosage and kind of SP

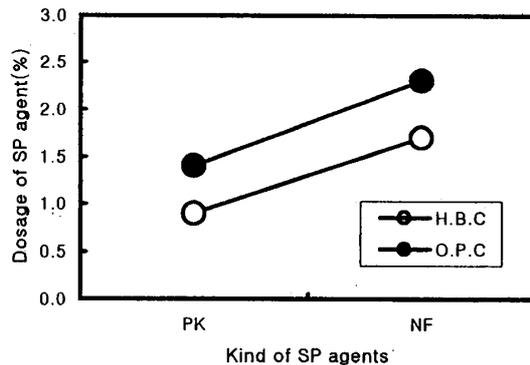


Fig. 7 Dosage of SP agent at aimed slump-flow (60±5cm)

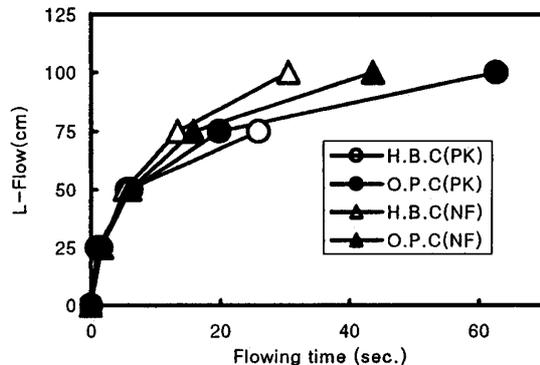


Fig. 8 L-flow and flowing time at each distance(25, 50, 75, 100cm)

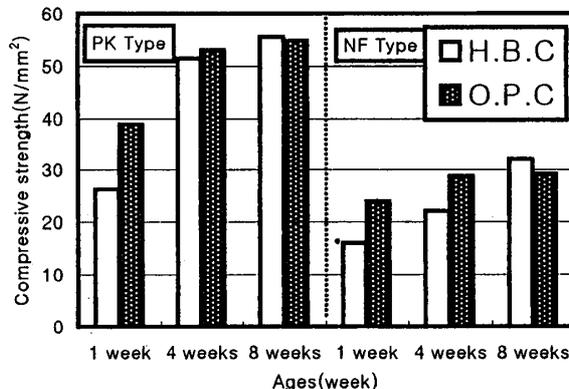


Fig. 10 Influence on compressive strength according to cements and SP agents

Fig. 10は、セメント及び高性能AE減水剤の種類による高流動コンクリートの圧縮強度特性を示したもので、高性能AE減水剤の種類による圧縮強度の差異が大きく現れ、コンクリートの4週圧縮強度の場合、ポリカルボン酸系はナフタリン系より約40%程度高い結果となった。これは、ナフタリン系の高性能AE減水剤がより多量に添加され、初期の凝結遅延作用が硬化コンクリートの圧縮強度発現に影響を与えたためであると考えられる。

また、セメントの種類に対する圧縮強度の発現傾向は、低熱ポルトランドセメントの方が普通ポルトランドセメントに比べ材齢1週で約30%程度低いが、材齢4週ではほとんど同じか、約15%程度と差異が少なくなり、材齢8週ではほとんど対等な圧縮強度を発現するのが認められた。

#### 4. まとめ

高流動コンクリートの流動特性に及ぼすセメントと高性能AE減水剤の効果について実験的研究を行った。本研究での結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 高性能AE減水剤の添加率の増大にともないスランプフロー値が大きくなるが、ある添加率以上になると材料分離は見られないが、コンクリートの流動性向上に寄与しない傾向が確認された。
- (2) 高性能AE減水剤による流動性の向上及び維持は、その種類及び添加率と密接な関係にあり、適正水準以上になった場合、コンクリートの凝結遅延現象及び圧縮強度の発現に影響が大きく現れた。
- (3) 高流動コンクリートの流動特性を得るためのナフタリン系高性能AE減水剤の添加量はポリカルボン酸系高性能AE減水剤より多くなり、高流動性の維持時間は長くなるが、凝結性状及び圧縮強度発現性状は相対的に低い水準を現れた。
- (4) セメントと高性能AE減水剤において高流動特性に影響を及ぼすことはセメントより高性能AE減水剤によって効果が大きく、目標スランプフロー値を確保するための高性能AE減水剤の添加量は、ナフタリン系よりポリカルボン酸系が、普通ポルト

ランドセメントより低熱ポルトランドセメントが少なく所要された。

- (5) 低熱ポルトランドセメントとポリカルボン酸系高性能AE減水剤の組合せでは相性による流動性能、凝結性状及び圧縮強度発現効果が相対的に大きく現れ、コンクリートの調合設計時各材料の組合せによる相性を考慮する必要があることが確認された。

#### あとがき

本研究は1996年度韓国学術振興財団の国際協力研究課題である高流動コンクリートの製造システム及び開発に関する実験的研究の一部である。

#### 参考文献

- 1) 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)，1993. 5, pp. 73～126
- 2) 岡村 堂甫 ほか：ハイパフォーマンスコンクリート，技術出版，1993
- 3) Kim M. H., Kamada E., Han C. G., Song H. Y., Kim G. Y.: An Experimental Study on the Manufacturing System and Development of High-Flowing Concrete, Journal of AIK. Vol.13, No.5, 1997. 5. pp. 279～288
- 4) 橋爪 進, 高田良章, 田中恭一：混和材料が高流動コンクリートのフレッシュ性状におよぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, 1994. pp.101～106
- 5) 金武漢, 洪悦郎, 鎌田英治, 金圭庸：細骨材の種類による高流動コンクリートの流動性及びその評価に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1. 1997. pp.67～72
- 6) 日本建築学会編, 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案), 日本建築学会, 1997. 1
- 7) 名和豊春・深谷泰文・鈴木清孝・柳田克己：高ビーライト系セメントを用いた高流動・高強度コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993. pp.143～148