

論文 早期強度発現形 AE 減水剤を用いたコンクリートの初期強度発現特性に関する研究

韓 千求^{*1}・李 昇勳^{*2}・黄 仁晟^{*3}・金 貞辰^{*4}

要旨：本研究では、新しい混和剤の開発が求められている現実に着目し、コンクリートの早期強度発現を目的で開発した早期強度発現形 AE 減水剤を対象に、W/C 及び流動性変化によるフレッシュコンクリートの特性及び硬化コンクリートの早期強度発現特性などを、一般 AE 減水剤と比較・検討を行った。早期強度発現形 AE 減水剤は初期凝結促進と共に強度発現が一般 AE 減水剤より優れている。特に、低温環境(養生温度 10℃)での強度発現率がより顕著であることが分かった。材齢 7 日以降からは早期強度発現形 AE 減水剤と一般 AE 減水剤共に類似した傾向を現した。

キーワード：水セメント比 (W/C), 流動性, 早期強度発現形 AE 減水剤, 初期強度発現

1. はじめに

建築工事でコンクリート打設後、型枠除去時期と関連して、圧縮強度 5.0MPa 以上を早期に発現させるのは、工期短縮及び工費節減という側面から重要な意味を持つ。

特に、建設量が急増している住商複合形超高層建築物は、韓国の場合、仕上げ工事の高級化に伴う時間確保に関連して、骨組建設工期の短縮が重要な懸案となっている。なかでも一階当たりのサイクル工期は、全体工期の中でも主工程を占めており、その工期短縮のため「システム型枠の活用」「組立鉄筋の配置」など様々な方法が施行されているが、その一方、コンクリートの早期強度発現を促進させて型枠除去時期を短縮する方法も注目されている¹⁾。

コンクリートの早期強度発現促進のための一つの方法として、調合及び使用材料などを考慮した方法もあるが、それは工事費の増加要因となり、また、混和剤の場合も形態(Type)による早強形という方法があるのはあるが、それほど大きな効果は得られないと²⁾言われている。

本研究では、新しい混和剤の開発が求められ

ている現実に着目し、コンクリートの早期強度発現を目的で開発した早期強度発現形 AE 減水剤を対象に、W/C 及びスランプ変化によるフレッシュコンクリートの特性及び硬化コンクリートの早期強度発現特性などを、一般 AE 減水剤と比較・検討して、コンクリートの早期強度発現形 AE 減水剤の効果を分析した。

2. 実験の概要

2.1 実験計画

表－1は、本研究の実験計画を表している。即ち、W/C は 40, 45, 50%の 3 水準に対して、流動性変化を W/C 40 と 50%の場合スランプ 18cm の 1 水準、W/C 45%の場合はスランプ 15, 18, 21cm の 3 水準にし、混和剤を一般 AE 減水剤と早期強度発現形 AE 減水剤の 2 水準にして、総 10 バッチを実験計画した。この際、各実験のスランプ値は目標値の±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.5%を満足するように調合設計した。

また、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの実験計画を**表－1**、コンクリートの調合は**表－2**に示す。

*1 清州大学 建築工学科教授 工博 (正会員)

*2 三星物産(株)建設部門 技術研究所

*3 清州大学 建築工学科 講師 工博

*4 東京大学 大学院 工学系研究科

表-1 実験計画

実験要因					実験項目	
W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	混和剤	養生温度 (°C)	フレッシュコンクリート	硬化コンクリート
40	18±2.5	4.5±1.5	・一般 AE 減水剤 ・早期強度発現形 AE 減水剤	10 20	・スランプ ・スランプフロー ・空気量 ・単位容積質量 ・凝結時間 ・ブリーディング	・圧縮強度 (12, 18, 24hr 3, 7, 28 日)
45	15±2.5 18±2.5 21±2.5					
50	18±2.5					

表-2 調合事項

W/C (%)	W (kg/ m ³)	s/a (%)	目標 スランプ (cm)	AE 減水剤 (%)		絶対容積調合(l/m ³)			質量調合(kg/ m ³)			
						セメ ント	細骨 材	粗骨 材	セメ ント	細骨 材	粗骨 材	AE 減水剤
40	165	44	18	一般	0.7	131	290	369	412	748	967	2.30
早強				0.8	2.89							
45		45	15	一般	0.2	116	303	371	367	782	971	0.73
				早強	0.3							1.10
		18	一般	0.5	1.83							
			早強	0.5	1.83							
		21	一般	0.6	2.20							
			早強	0.7	2.57							
50		48	18	一般	0.4	105	329	356	330	849	934	1.32
				早強	0.4							1.32

表-3 セメントの物理的特性

密度 (g/cm³)	粉末度 (cm²/g)	安定度 (%)	凝結時間(分)		圧縮強度(MPa)		
			初結	終結	3 日	7 日	28 日
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

表-4 骨材の物理的特性

区分	表乾密度 (g/cm³)	粗粒率	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m³)	0.08mm 網通過率
細骨材	2.58	2.89	1.12	1,614	1.15
粗骨材	2.62	6.75	0.69	1,563	0.1

表-5 混和剤の物理的特性

区分	主成分	形態	色相	比重(20°C)	早強成分
一般形	ナフタレン系	液体	淡褐色	1.185	-
早強形	ナフタレン系	液体	暗褐色	1.185	無機質類 +Alcohol 類

2.2 使用材料

本実験に用いたセメントは、韓国産普通ポルトランドセメントで、その物理的特性は表-3に示している。骨材として細骨材は、韓国仁川中区恒東産洗浄砂を、粗骨材は京畿道光州産25mm 碎石を使用、その物理的特性は表-4に表している。

また、混和剤としての一般 AE 減水剤と、早期強度発現形 AE 減水剤は、韓国産 D 社のナフタレン系を使

用した。その物理的特性は、表-5の通りである。

2.3 実験方法

本研究の実験方法として、コンクリートの混合は、強制式ファンタイプミキサーを使って混合した。

フレッシュコンクリートの実験で、スランプは、JIS A 1101 に準じて実施し、スランプフローは、スランプ測定終了後、最大直径とそれに直交する直径の平均値にし、空気量及び単位容積質量は JIS A 1128 及び 1104 に準じて実施した。

凝結時間は、JIS A 6204 附属書 1 のプロクター貫入抵抗実験方法に準じて測定、ブリーディングは、JIS A 1123 に準じてブリーディング水を測定後、ブリーディング量として評価した。

硬化コンクリートの実験として、圧縮強度は、直径 100×200mm の供試体を JIS A 1132 に準じて製作し、JIS A 1108 に準じて測定したが、材齢 24 時間までは石膏、以降はセメントペーストキャッピングを実施後 U.T.M で測定した。

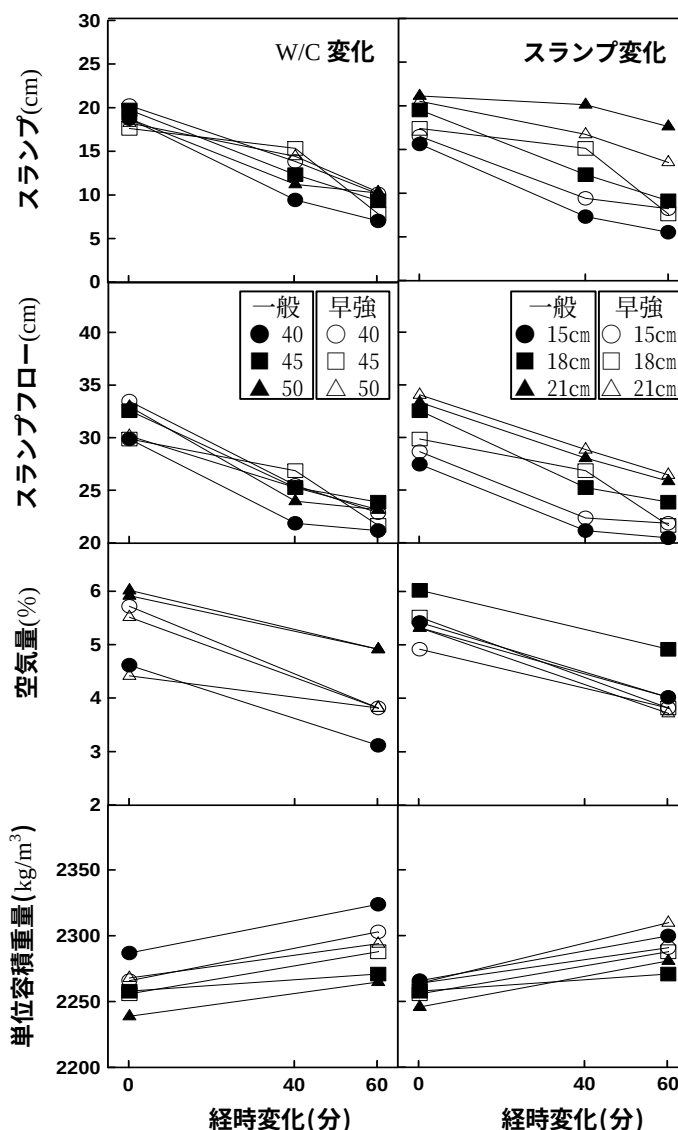


図-1 W/C 及び流動性別経時変化によるスランプ、スランプフロー、空気量、単位容積質量

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの特性

図-1 は、早期強度発現形と一般の AE 減水剤を使用したコンクリートの W/C 及びスランプ別、経時変化によるスランプ、スランプフロー、空気量、単位容積質量を表したものである。

まず、W/C 及びスランプ別、経時変化に伴うスランプとして、初期スランプ値は、目標スランプ値を満たし、経時変化に伴ってスラ

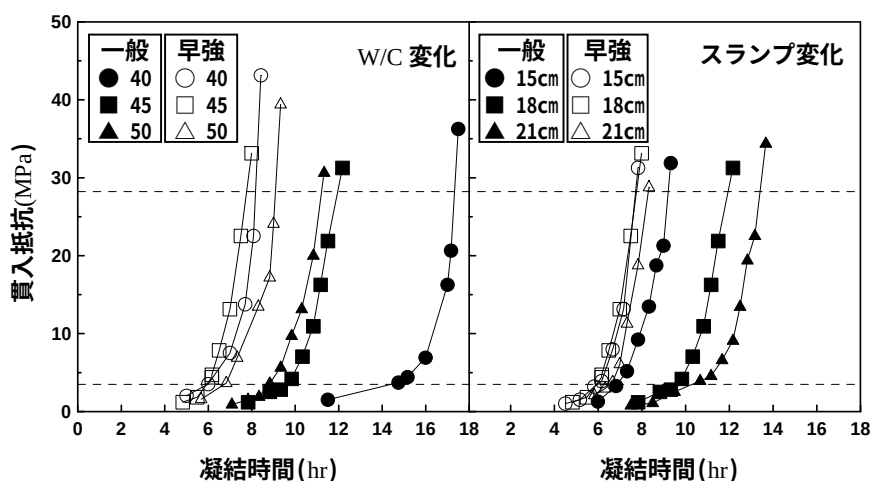


図-2 W/C 及び流動性別凝結時間による貫入抵抗

ンプロスによって低下した。一方，早期強度形 AE 減水剤を使用した方と 一般 AE 減水剤を使用した方のスランプロスによるスランプの低下は著しい差がないことに現れた。

また，経時変化に伴う空気量は，早期強度発現形及び一般 AE 減水剤共に低下したが，早期強度発現形の方が，若干損失が少なかった。

図-2 は，早期強度発現形及び一般 AE 減水剤を使用したコンクリートの W/C 及びスランプ別の凝結時間に伴う貫入抵抗値を現したものである。

凝結時間は，一般 AE 減水剤を使用した場合，W/C が低いほど，スランプが増加するほど減水剤量増加による遅延作用で凝結が遅延した。しかし，早期強度発現形 AE 減水剤は W/C 及びスランプ別に変わず 8 時間前後で，一般 AE 減水剤より促進された結果となった。

図-3 は，早期強度発現形と一般 AE 減水剤を使用したコンクリートの経過時間に伴うブリーディング量を表したものである。

まず，一般 AE 減水剤のブリーディング量は，W/C が大きいほど初期に急激に増加したが，その結果は，単位セメント量減少による粘性低下に起因したものと分析される。また，一般 AE 減水剤の場合，スランプ変化によっては，初期にはそれほど差が現れなかったが，240 分以降からはスランプが大きいほど最終ブリーディング量が増加した。その反面，早期強度発現形 AE 減水剤は，W/C 及びスランプが大きいほど全般的に一般 AE 減水剤より初期にブリーディング量が迅速かつ多く発生した。従って，早期強度発現形 AE 減水剤は，一般 AE 減水剤よりブリーディングが多くなる。ゆえに，その対策が必要であると考えられる。

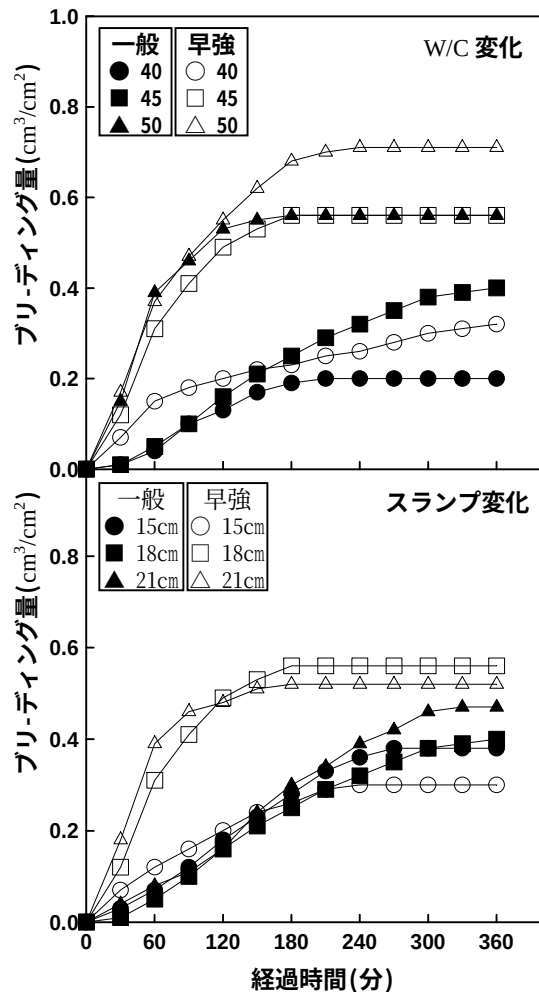


図-3 W/C 及びスランプ別経過時間による

3.2 硬化コンクリートの特性

図-4 と図-5 は，W/C 及びスランプ別養生温度 10℃，20℃で，初期材齢である 24 時間までの圧縮強度を表したものである。

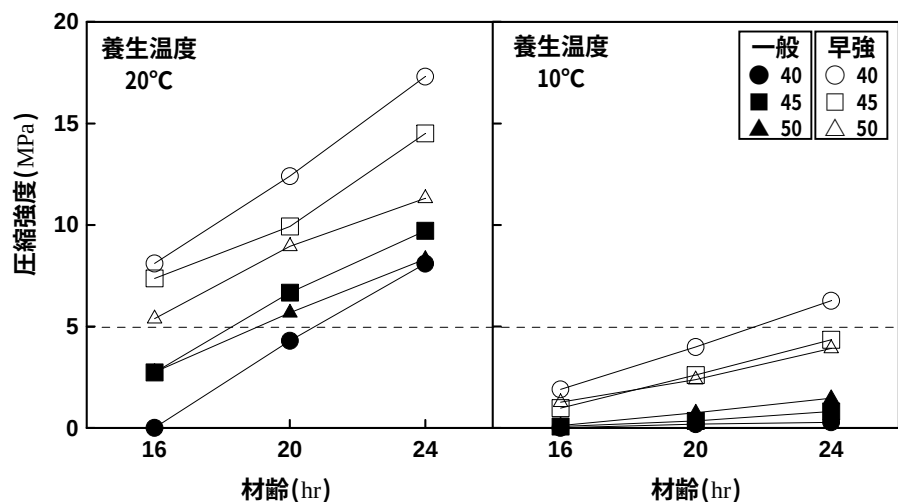
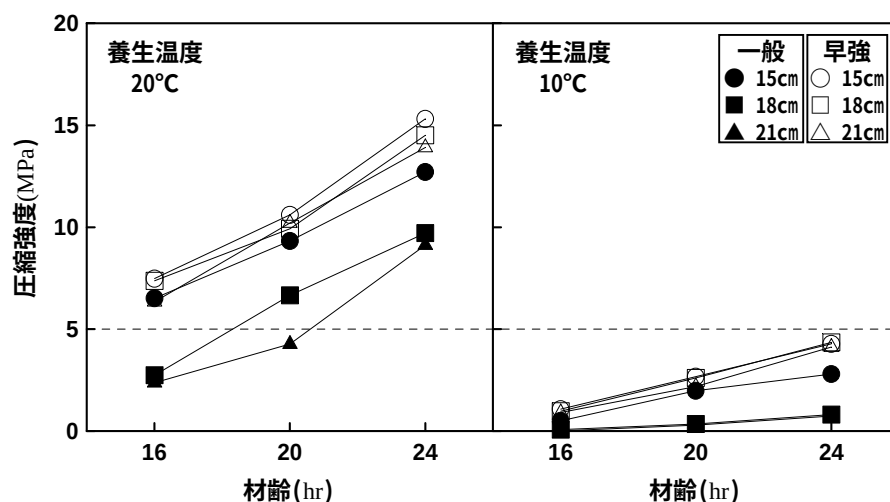
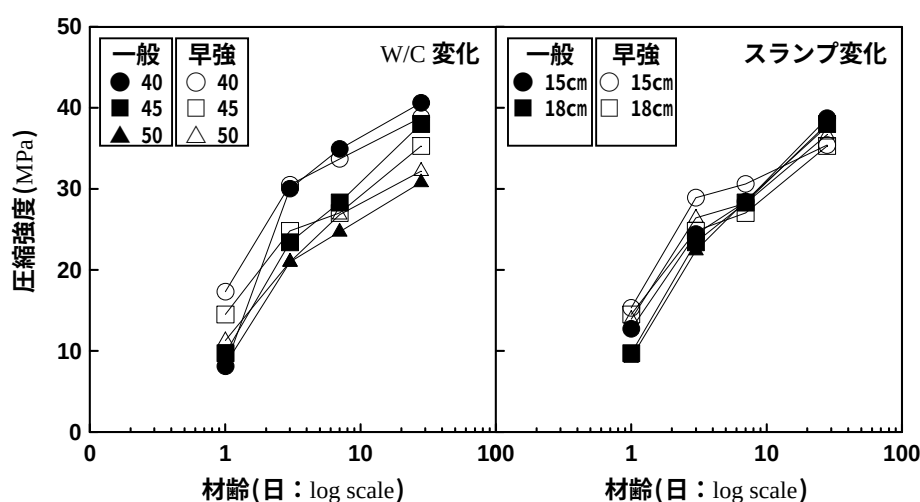


図-4 W/C 別初期材齢経過による圧縮強度



図－５ スランプ別初期材齢経過による圧縮強度



図－６ W/C 及びスランプ別材齢経過による圧縮強度

まず、W/C 変化に伴う初期圧縮強度は、養生温度 20°C で、早期強度発現形 AE 減水剤を使用する場合、W/C が低いほど、材齢が経過するほど増加し、16 時間以前に側面型枠の取外しが可能な圧縮強度 5.0MPa に到達したが、一般 AE 減水剤の場合、W/C 別の到達時間は 21、18.5、19 時間で、W/C 40% が、45 及び 50% より 5.0MPa 到達時間が遅く現れた。それは、減水剤の添加量が多いことに起因し、凝結時間が遅延された結果と考えられる。

養生温度 10°C の場合、早期強度発現形 AE 減水剤を使用した W/C 40% が 21.5 時間で 5.0MPa に到達し、W/C 45、50% は 24 時間で 4.0MPa 前後に到達した。一方、一般 AE 減水剤の場合、材齢 24

時間で 1.0MPa 前後という低い結果を現し、結果的に早期強度発現形 AE 減水剤の方が、低温でも早期強度発現率がより大きく現れることが分かった。

また、スランプ変化に伴う初期圧縮強度は、養生温度 20°C で、早期強度発現形 AE 減水剤を使用した場合、スランプ変化に伴ってさほどの格差なしに 16 時間以前に 5.0MPa に到達したが、一般 AE 減水剤の場合、スランプが増加するほど初期強度発現が小さくなり、養生温度 10°C では、20°C と類似傾向で早期強度発現の面では多少優れていることが分かった。

以上の実験結果を総合してみると、早期強度発現形 AE 減水剤は初期凝結促進と共に強度発現が一般 AE 減水剤より優れている。特に、低温環境(養生温度 10°C)での強度発現率がより顕著であることが分かった。

図－6 は W/C 及びスランプ別、材齢 28 日までの圧縮強度をログスケールで表したものである。

材齢経過に伴う圧縮強度は、W/C が低いほど高く現れ、スランプ変化によっては初期材齢とは異なって材齢が経過するほど格差が少ないという結果が現れた。また、早期強度発現形 AE 減水剤を使用した場合、早期強度発現は一般 AE 減水剤より大きく現れたが、材齢 7 日以降からは一般 AE 減水剤より低い、または類似した傾向が現れた。

4. まとめ

W/Cとスランプ別，早期強度発現形AE減水剤を使用したフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの特性を，一般AE減水剤を用いて比較・分析したが，その結果は次の通り要約出来る。

- 1) フレッシュコンクリートの特性として，W/C 及びスランプ別，経時変化に伴うスランプは，経時変化に伴って低下した。一方，早期強度形 AE 減水剤を使用した方と一般AE減水剤を使用した方のスランプロスによるスランプの低下は著しい差がないことに現れ，経時変化に伴う空気量は，早期強度発現形の方が，若干損失が少なかった。
- 2) W/C 及びスランプ変化による凝結時間は，一般AE減水剤を使用した場合，W/C が低いほど，スランプが増加するほど減水剤量増加による遅延作用で凝結が遅延されたが，早期強度発現形AE減水剤は，W/C 及びスランプ別にさほど関係なく 8 時間前後であって，一般AE減水剤より早い結果が現れた。但し，ブリーディング量は，早期強度発現形AE減水剤の方が一般AE減水剤より多く，特に初期に多く発生した。
- 3) 初期圧縮強度特性として，養生温度 20℃で早期強度発現形AE減水剤を使用したコンクリートは，W/C が低いほど，材齢が経過するほど増加し，16 時間以前に側面型枠の取外しが可能な圧縮強度 5.0MPa に到達したが，一般AE減水剤は添加量の増加によってW/C 別の到達時間が 21，18.5，19 時間となり W/C 40%が，45 及び 50%より早期強度発現が遅く現れた。養生温度 10℃の低温環境で，早期強度発現形AE減水剤は一般AE減水剤より早期強度発現率が顕著に大きく現れた。また，スランプ変化に伴う初期圧縮強度は，養生温度 20℃で，早期強度発現形AE減水剤を使用した場合，スランプ変化に伴ってさほどの格差なしに 16 時間以前に 5.0MPa に到達したが，一般AE減水剤の場合，スランプが増加するほど早期強度発現が少なく

現れ，養生温度 10℃では，20℃と類似傾向で早期強度発現形AE減水剤の方が，早期強度発現の面では優れていることが分かった。

- 4) 材齢 28 日までの圧縮強度は，W/C が低いほど高く現れ，スランプ変化による初期材齢とはさほど関係なく，早期強度発現形AE減水剤を使用した場合，早期強度発現は一般AE減水剤より大きく現れたが，材齢 7 日以降からは一般AE減水剤より低い，かつ類似した傾向を現した。

参考文献

- 1) 韓千求，黄仁晟，李昇勳：コンクリートの初期強度発現に与える混和材料の影響，大韓建築学会論文集，Vol. 19，No. 9，pp.95～102，2003.9
- 2) 韓千求，黄仁晟：コンクリートの初期強度発現による型枠脱型時期の決定，大韓建築学会論文集，Vol. 18，No. 9，pp.157～162，2002.9