

## 混和材を用いたコンクリートのフレッシュ性状経時変化への化学混和剤の影響

三井住友建設(株) 正会員 修(工) ○恩田 陽介  
 三井住友建設(株) 正会員 葦 哲義  
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 佐々木 亘  
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 谷口 秀明

キーワード：高炉スラグ微粉末，フライアッシュ，経時変化，高性能AE減水剤

### 1. はじめに

循環型社会の構築に向けた取組みの一環として、ポルトランドセメントの一部をフライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材で置換した結合材を用いたコンクリートの利用が注目されている。筆者らにおいても、PC構造物に用いられるようなコンクリートに混和材を置換した場合におけるASR抑制効果<sup>1)</sup>や強度発現性<sup>2)</sup>などを検討してきた。一方で、混和材を多量に用いたコンクリートは経時に伴うスランプや空気量の変化が大きい<sup>3)</sup>という報告もある。本報告では、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートに着目し、フレッシュ性状の経時変化に与える高性能AE減水剤の影響について検討した。

### 2. 実験概要

本報告は2つの実験ケースからなる。実験1では、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートを種々の高性能AE減水剤を用いて練り混ぜ、スランプと空気量の経時変化を測定した。実験2では、実験1で使用したそれぞれの高性能AE減水剤がコンクリートの凝結、ブリーディングおよび圧縮強度に与える影響を早強ポルトランドセメント単味のコンクリートを用いて確認した。

#### 2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。フライアッシュにはJIS A 6201におけるフライアッシュII種に適合するもの、高炉スラグ微粉末にはJIS A 6206における高炉スラグ微粉末6000および4000に適合するものを用いた。粗骨材の最大寸法は20mmである。検討した高性能AE減水剤の種類は表-1に示すとおりである。

表-1 使用材料

材料	物性等	記号
水	上水道水	W
結合材	セメント	早強ポルトランドセメント, 密度3.13g/cm <sup>3</sup>
	フライアッシュ	JISII種灰, 密度2.33g/cm <sup>3</sup>
	高炉スラグ微粉末	高炉スラグ微粉末6000, 密度2.87g/cm <sup>3</sup>
		高炉スラグ微粉末4000, 密度2.88g/cm <sup>3</sup>
細骨材	山砂	富津産山砂, 密度2.65g/cm <sup>3</sup>
	砕砂	岩瀬産砕砂, 密度2.60g/cm <sup>3</sup>
	砕砂	佐野産砕砂, 密度2.73g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石	岩瀬産砕石2005, 密度2.66g/cm <sup>3</sup>
化学混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物, 標準型
		ポリカルボン酸エーテル系化合物, 遅延型
		ポリカルボン酸エーテル系化合物, 経時保持型
		ポリカルボン酸エーテル系化合物, 経時保持型
	AE剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 配合

実験番号	配合記号	W/B	s/a	単位量 kg/m <sup>3</sup>										SP (B×wt%)	AE (B×wt%)	
				W	B				S				G			
					(計)	H	FA	B6	B4	(計)	S1	S2				S3
実験1	H40	0.40	43.0	160	400	400	-	-	-	752	305	447	-	1011	0.6~0.65	0.0025
	HF	0.35	40.5		457	366	91	-	-	679	276	403	-		0.6~0.8	0.01~0.015
	HB6	0.35	40.8		457	228	-	229	-	686	278	408	-		0.6~0.85	0.005
	HB4	0.35	41.1		457	320	-	-	137	694	281	413	-		0.7	0.004
実験2	H40-2	0.40	43.0		400	400	-	-	-	784	-	-	784		0.8	0.001~0.002

2.2 配合

コンクリートの配合を表-2に示す。設計基準強度が40N/mm<sup>2</sup>程度の現場打ちPC部材に多用されるコンクリートを想定し、H40およびH40-2ではW/Bを40%とした。HF、HB6、HB4においては材齢2~3日のプレストレス導入を想定した材齢での圧縮

強度をH40と同程度とするためW/Bを35%とした。各配合で単位水量は160kg/m<sup>3</sup>、粗骨材の絶対容積は0.380m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>に統一した。結合材中の混和材の質量割合はフライアッシュでは20%、高炉スラグ微粉末6000では50%、高炉スラグ微粉末4000では30%とした。細骨材は、実験1では山砂と砕砂を容積比率4:6で用い、実験2では実験1で用いた砕砂とは産地の異なる砕砂を単独で用いた。練上り直後の目標値をスランブは15.0±2.5cm、空気量は4.5±1.0%とし、それぞれ化学混和剤の使用量で調整した。

2.3 試験項目および実験水準

実験1では、H40、HF、HB6、HB4について、表-3に示す組合せで高性能AE減水剤を用いて、スランブ (JIS A 1101) と空気量 (JIS A 1128) の経時変化を測定した。それぞれ、練上り直後および注水から30分ごとに測定し、スランブが10cm未満となるか、または注水からの経過時間が180分となるまで測定を継続した。試験後の試料は乾燥しないよう練り舟に静置して保管し、試験前には十分な切返しを行った。

実験2では、H40-2に対して各高性能AE減水剤を用いた場合の凝結試験 (JIS A 1147)、ブリーディング試験、圧縮強度試験 (JIS A 1108) を実施した。ブリーディング試験は簡易試験方法<sup>4)</sup>により実施した。試験に用いる容器は内径150mm内高300mmのブリキ製型枠である。圧縮強度試験は材齢1, 2, 3, 7, 28日に実施した。圧縮強度試験を行う供試体は打設後翌日まで封かん養生とし、そののちは試験まで標準水中養生とした。

以降、試料名は「配合記号-英字 (高性能AE減水剤の種類A~D)」のかたちで表記する。なお、いずれの実験も室温20±3℃の試験室内で行った。

3. 実験結果

3.1 実験1

スランブの経時変化を図-1、空気量の経時変化を図-2にそれぞれ示す。図-1よりHF-CおよびHB6-C,Dでは注水後3時間におけるスランブが目標範囲内かそれ以上となっている。そのほかの配合については注水後2時間以内の間にスランブが10cm未満となった。混和剤C,Dの結果に着目すると、HF-Cおよ

表-3 実験水準

実験番号	配合記号	高性能AE減水剤	実験項目				
			実験1		実験2		
			経時変化		凝結	ブリーディング	圧縮強度
スランブ	空気量						
実験1	H40	A, B	○	○	-	-	-
	HF	A, B, C, D	○	○	-	-	-
	HB6	A, B, C, D	○	○	-	-	-
	HB4	A	○	○	-	-	-
実験2	H40-2	A, B, C, D	-	-	○	○	○

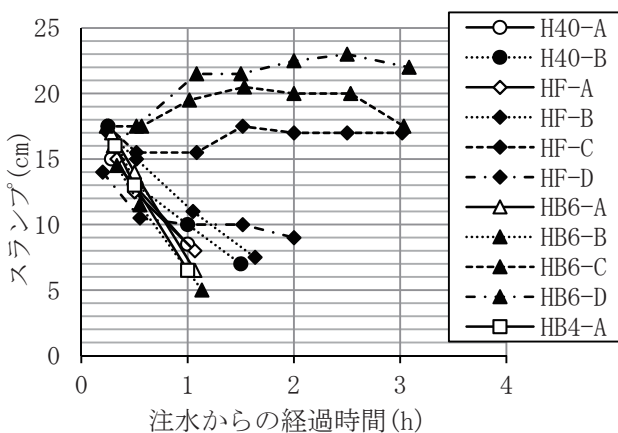


図-1 スランブの経時変化

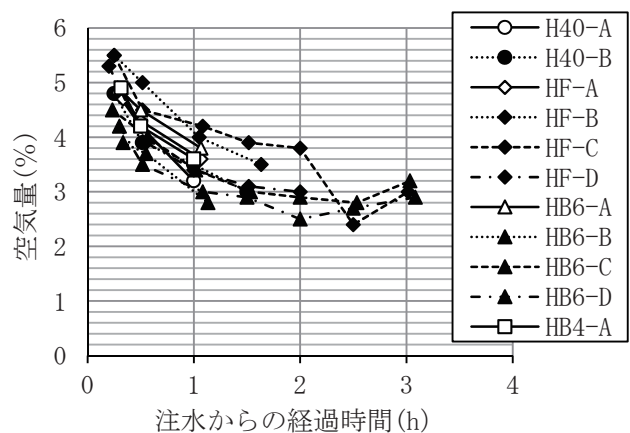


図-2 空気量の経時変化

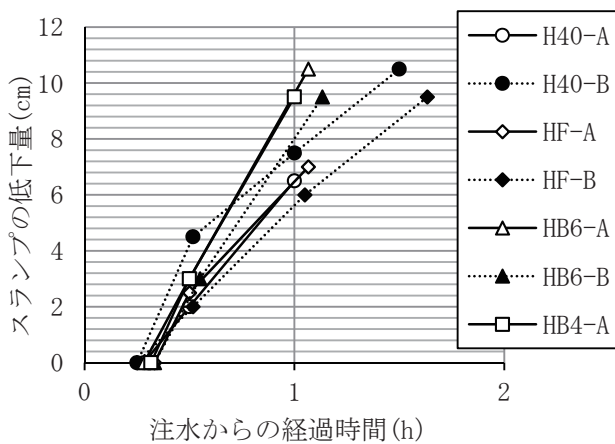


図-3 スランプの低下量 (A, B)

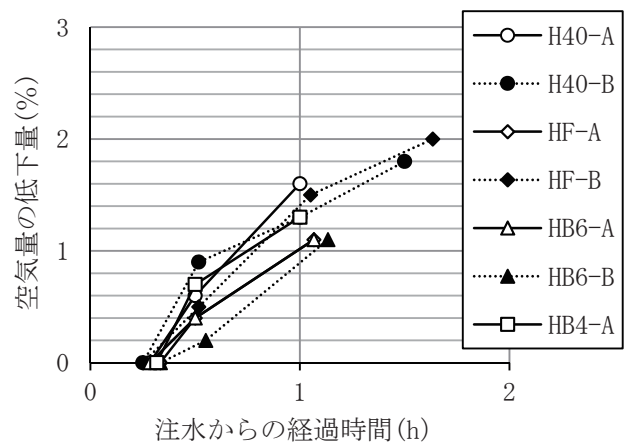


図-4 空気量の低下量 (A, B)

びHB6-C, Dにおいては注水後2時間でのスランプが17.0~22.5cmとなった。HF-Dについては注水後1時間でスランプが10cmとなったのち、注水後2時間で9.5cmとなった。HF-Dの経時的な低下が大きかった原因はスランプの初期値が14cmと若干低めであったことや、フライアッシュと化学混和剤Dの相性などが影響しているものと考えられるが明らかとはならなかった。また、図-2より空気量の経時変化に与える高性能AE減水剤の影響は小さいことが分かる。

高性能AE減水剤A, Bについて、スランプと空気量の低下量について整理した図を図-3, 4に示す。注水から1時間後のスランプ低下量に着目すると、高炉スラグ微粉末を用いたHB6-A, BおよびHB4-Aの低下量は9.5~10.5cmであり、他配合と比べ大きい。また、スランプ低下量が約10cmに達するまでの時間で見ると、HB6-A, BおよびHB4-Aは、H40-BやHF-Bと比較して、約0.5時間早いことが分かる。一方で、空気量に着目すると同時間における空気量の低下量はHB6-A, Bで約1%であり他配合と比較して小さく、HB4-Aでは他配合と同程度であった。

フライアッシュを用いたHFでは、早強ポルトランドセメント単味のH40と比較してスランプと空気量のいずれも同程度の値となっている。しかし表-2より、同程度の空気量を得るためには、HFのAE剤使用量はH40と比べて約4~6倍程度させる必要があることが分かる。セメントの一部をフライアッシュで置換したコンクリートではフライアッシュ中の未燃カーボンにAE剤が吸着されるため、同一の空気量を得るためにはAE剤の使用量を増加させる必要がある<sup>5)</sup>ことが一般に知られている。本実験においても、フライアッシュの混和によって同程度の空気量を得るために必要なAE剤の使用量は増加した。また、高炉スラグ微粉末を用いたHB6, HB4でもH40と比較して約2倍程度にAE剤を増加させる必要があった。

### 3.2 実験2

実験2の結果を表-4に示す。表-4より凝結は化学混和剤A, Bを使用した場合、始発が注水から約310分~335分後、終結が約420分~450分後であり、化学混和剤C, Dを使用した場合は始発が約480分~500分後、終結が585~610分後であった。化学混和剤C, Dを使用することで凝結の遅れが確認された。ブリーディングは化学混和剤A, Bを使用した場合、ブリーディング量で0.02~0.05cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>、ブリーディング率では0.14~0.29%であり、化学混和剤C, Dを使用した場合はブリーディング量で0.13~0.16cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>であり、ブリーディング率で0.80~0.96%であった。化学混和剤C, Dを使用することでブリーディングの増加が確認された。

表-4 凝結, ブリーディング (実験 2)

実験水準	凝結		ブリーディング	
	始発時間	終結時間	ブリーディ ング量	ブリーディ ング率
	(m)	(m)	( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )	(%)
H40-2-A	310	420	0.05	0.29
H40-2-B	335	450	0.02	0.14
H40-2-C	480	585	0.13	0.8
H40-2-D	500	610	0.16	0.96

図-5に圧縮強度試験の結果を示す。いずれの材齢においても混和剤の違いによる圧縮強度の差はみられず、本報告で用いた高性能AE減水剤は圧縮強度の強度発現性に影響がないといえる。

4. まとめ

早強セメントの一部を混和材で置換した結合材を用いるコンクリートの経時変化に関する実験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) 高性能 AE 減水剤の種類によりスランプの経時変化は大きく異なった。また、高性能 AE 減水剤の種類が空気量の経時変化に与える影響は小さかった。
- (2) 早強ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末 6000 で 50%置換、高炉スラグ微粉末 4000 で 30%置換した結合材を使用し W/B を 35%とした配合においてスランプの経時による低下が高炉スラグ微粉末を用いない配合と比較して大きいことが確認された。
- (3) 早強ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置換した配合では、用いなかった配合と比較して AE 剤の量を増加する必要がある、その量は早強ポルトランドセメントを単味で使用した配合の約 4~6 倍となった。
- (4) 経時保持型の高性能 AE 減水剤では凝結が遅延し、ブリーディングの増加が確認された。いずれの混和剤を用いた場合でも圧縮強度には大きな差は見られなかった。

参考文献

- 1) 谷口秀明, 浅井洋, 三加崇, 三上浩:高強度コンクリートのアルカリシリカ反応性, プレストレストコンクリート技術協会第 17 回シンポジウム論文集, pp. 87-92, 2008. 11
- 2) 佐々木亘, 石澤正大, 梶哲義, 谷口秀明:場所打ち PC 橋への適用を想定したフライアッシュコンクリートの強度発現, プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集, pp. 537-540, 2017. 10
- 3) たとえば根岸稔, 檜垣誠, 西祐宣, 守谷健一:高炉スラグ微粉末を大量混合したコンクリートの経時安定性改善に関する一提案, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-463, pp. 925-926, 2012. 9
- 4) 公益社団法人日本コンクリート工学会:構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, pp. 252-262, 2017. 6
- 5) たとえば吉越盛次:混和材としてのフライアッシュに関する研究, 土木学会論文集, 第 31 号, pp. 1-62, 1955

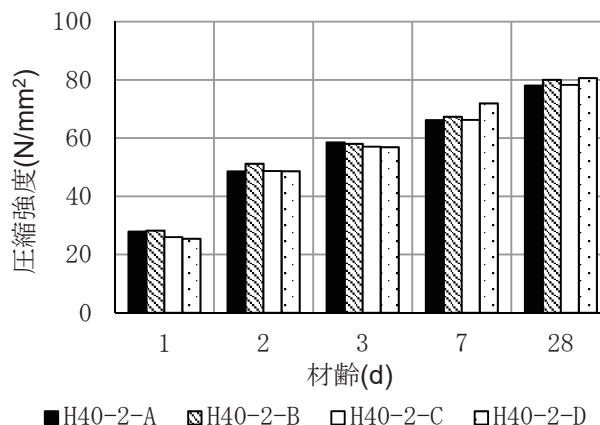


図-5 圧縮強度 (実験 2)