

論文 減水率が異なる各種混和剤を用いたコンクリートの施工性能

近松 竜一^{*1}・桜井邦昭^{*2}・入矢桂史郎^{*3}

要旨：単位水量の低減や打込み時の施工性能を高めるために，従来の AE 減水剤より減水性が高い混和剤を使用する事例が増加している。そこで，これら各種減水剤を用いたコンクリートの諸性質を比較し，それらの適用性について検討した。その結果，水セメント比 55%，スランプ 8cm の AE コンクリートの場合，AE 減水剤を高機能型に変更すれば約 3%，高性能 AE 減水剤を用いれば約 6%，単位水量を低減できること，単位水量を一定とした場合，標準的な使用量で，スランプを 12～15cm 程度まで増大できること，などが明らかとなった。

キーワード：AE減水剤，高機能型，高性能AE減水剤，施工性能，スランプ

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を高めるうえで単位水量はできるだけ小さいことが望ましい。しかし，近年においては，骨材資源の枯渇や環境保護上の規制から良質な骨材の入手が困難で，全般的にはコンクリートの単位水量は増大する傾向にある¹⁾。また，耐震設計の見直しによって構造物の鋼材量が増加し，打込みの施工条件が厳しく，コンクリートに高い施工性能が求められる施工事例が増えている²⁾。

これらの対策としては，従来の AE 減水剤より減水率が高い高機能型の AE 減水剤や高性能 AE 減水剤の使用が挙げられる。これらの混和剤は，高い減水性に加え，使用目的に応じて使用量のある範囲で調整できる特長を有している。スランプを一定として単位水量を低減する，逆に単位水量を一定としてスランプを増大させ，所要のコンシステンシーを付与できる実用性の高い混和剤である。しかし，水量の増減によりコンシステンシーを調整する場合に比較して，プラスチックティーの相違や凝結特性などコンシステンシー以外の施工性能への影響を把握しておく必要がある。

そこで，本研究では，各種の細骨材を用いた

単位水量の水準が異なるコンクリートを対象に，減水率が異なる各種の混和剤を用いたコンクリートの諸性質を比較し，これら混和剤の適用性について検討した。

2. 実験概要

実験は，表 - 1 に示す 3 シリーズで実施した。シリーズ 1 は，標準型の AE 減水剤を用い，スランプを変化させたコンクリートの諸性質を比較した。シリーズ 2 は，減水率が異なる混和剤を用いたスランプ 8cm のコンクリートの諸性質を比較した。シリーズ 3 は，AE 減水剤を用いたスランプ 8cm の配合を基準に，単位水量を一定として混和剤の使用量を調整し，スランプを 12cm，15cm に増大させた場合の諸性質について調べた。

表 - 1 実験シリーズの概要

シリーズ	検討項目	スランプの水準
1	AE減水剤を用いたコンクリートの諸性質	8, 12, 15cm
2	スランプ一定で単位水量を減じたコンクリートの諸性質	8cm
3	単位水量一定でスランプを増大させたコンクリートの諸性質	12, 15cm

*1 株式会社大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ長 工博 (正会員)

*2 株式会社大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ主任 工修 (正会員)

*3 株式会社大林組技術研究所 土木材料研究室 室長 工博 (正会員)

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用いた。細骨材は陸砂、砕砂および混合砂の 3 種類、粗骨材は砕石を用いた。混和剤は、AE 減水剤として標準型および高機能型、高性能 AE 減水剤の計 3 種類を用い、空気量を調整するため AE 剤を併用した。これらの混和剤はメーカーが異なる 2 銘柄を選定し、陸砂を用いた場合には銘柄の影響も検討した。

配合条件は、水セメント比 55%，目標空気量 $4.5 \pm 0.5\%$ とした。スランプは 8, 12, 15cm の 3 水準とし、いずれも $\pm 0.5\text{cm}$ となるよう調整した。また、プラスティシティーを確保するために、細骨材率を適宜調整した。

練混ぜは二軸強制練りミキサ(公称容量:60L)を用い、1 バッチの練混ぜ量は 40 ~ 50 リットルとした。細、粗骨材、セメントを投入し 10 秒間練り混ぜた後、混和剤を希釈した練混ぜ水を加え、AE 減水剤を用いた場合は 60 秒間、高性能 AE 減水剤を用いた場合は 90 秒間練り混ぜた。

試験項目を表 - 3 に示す。コンシステンシーの評価指標には、スランプ、スプレッド値および沈下度を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 AE 減水剤を用いたコンクリートの諸性質 (シリーズ 1)

AE 減水剤を用い、スランプを 8, 12, 15cm の 3 水準に変化させたコンクリートの配合および諸性質を表 - 4 に示す。また、単位水量とスラ

表 - 2 使用材料の概要

種類	記号	物理的性質, その他
セメント	C	普通ポルトランド, 密度 3.16g/cm^3
細骨材	S1	陸砂, 表乾密度 2.63g/cm^3 , 粗粒率 2.60
	S2	砕砂, 表乾密度 2.65g/cm^3 , 粗粒率 2.72
粗骨材	G	砕石, 表乾密度 2.65g/cm^3 , 粗粒率 6.70
AE減水剤	WR(A)	標準型
	WR(B)	
	HWR(A)	高機能型
	HWR(B)	
高性能 AE減水剤	SPA(A)	ポリカルボン酸系
	SPA(B)	
AE剤	AE	

表 - 3 コンクリートの試験項目および方法

試験項目	試験方法 (準拠規準)
スランプ試験	JIS A 1101
スプレッド試験	DIN1048
振動台式コンシステンシー試験	JSCE - F501
空気量試験	JIS A 1128
ブリーディング試験	JIS A 1123
凝結試験	JIS A 1147
圧縮強度試験	JIS A 1108

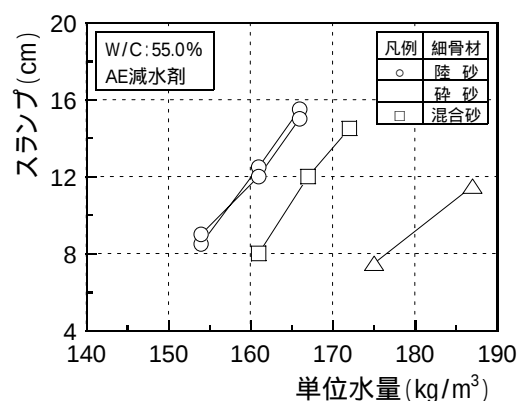


図 - 1 単位水量とスランプ

表 - 4 AE 減水剤を用いた各種コンクリートの配合および諸性質

使用材料		W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AE 減水剤 WR	フレッシュコンクリートの品質		
細骨材	減水剤			水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G		スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り 温 度 ()
						S1	S2					
陸砂	WR(A)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	C*0.25%	8.5	4.2	21.3
			43.0	161	293	793	-	1059		12.5	4.1	21.1
			44.0	166	302	803	-	1029		15.5	4.4	20.8
陸砂	WR(B)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	C*0.20%	9.0	4.9	19.0
			43.0	161	293	793	-	1059		12.0	4.8	19.0
			44.0	166	302	803	-	1029		15.0	4.5	19.0
混合砂 (陸:砕 =7:3)	WR(B)	55.0	45.0	161	293	581	251	1022	C*0.20%	8.0	4.4	19.3
			45.0	167	304	573	248	1008		12.0	4.4	19.2
			46.0	172	313	579	250	979		14.5	4.2	19.3
砕砂	WR(A)	55.0	45.0	175	318	-	810	990	C*0.25%	7.5	4.4	20.8
			46.0	187	340	-	805	945		11.5	4.3	20.7

ンプの関係を図 - 1 , スプレッド値 , 沈下度 , プリーディング率 , 凝結時間および圧縮強度を図 - 2 に示す。

水セメント比55%でスランプ8cmを付与するための単位水量は , 陸砂を用いた場合154kg/m³ , 混合砂 (陸砂70% , 砕砂30%) の場合161kg/m³ , 砕砂の場合175 kg/m³で , 砕砂の混入により水量が増加した。一方 , 単位水量とスランプの関係は , 陸砂 , 混合砂ともスランプ1cmの増大に対し単位水量が約1.2%増加する結果となった。また , 同一細骨材と比較すると , 単位水量が多く , スランプが大きい配合ほど , 沈下度は小さく , プリーディング率は若干増加し , 凝結時間は同等か若干遅延する傾向が認められた。

3.2 同一スランプで単位水量を減じた コンクリートの諸性質 (シリーズ2)

AE減水剤を用いたスランプ8cmの配合を対象に , さらに減水率が高い高機能型のAE減水剤および高性能AE減水剤に変更し , 単位水量を低減した。各種混和剤を標準的な範囲で使用した場合の配合および各種試験結果を表 - 5 に示す。また , スプレッド値 , 沈下度 , プリーディング率 , 凝結時間 , 圧縮強度を図 - 3 に示した。

高機能型のAE減水剤は , 減水率が15%以上で , 標準型 (12%) より大きく , 単位水量を5kg/m³程度減水しても同一のスランプが得られた。また , 減水率が18%以上の高性能AE減水剤に変更した場合は単位水量を10kg/m³以上低減しても同一のスランプを確保することができた。

これら減水率が異なる各種混和剤を用いたコンクリートのスランプ試験後の状況を写真 - 1 に示す。水量低減によるスランプの形状の顕著な差異は認められない。しかし , これらの減水させたコンクリートは , 基準コンクリートに比べて , 沈下度が大きく , 振動作用下での変形性が若干小さく , 粘性が高いことが確認された。また , 水セメント比一定のため , 単位水量の低減に伴い単位セメント量も少なく , 単位ペースト量の減少により荒々しさが観察されたため ,

高性能 AE 減水剤を用いた場合には細骨材率を高めてプラスティシティーを確保した。

プリーディング率は , 単位水量の低減とともに全般的に減少した。一方 , 凝結時間は , 減水率が大きい混和剤を使用した場合ほど遅延し , 終結が最大 1.5 時間程度増大した。

以上の結果は , 混和剤の銘柄による顕著な相違は認められなかった。スランプの水準が同じでも高減水性の混和剤を使用し単位水量を低減した場合は , 振動に伴う変形性の低下やプラスティシティーの確保に十分留意する必要がある。また , 骨材の表面水の誤差による変動を調べた図 - 4 によれば , 水量が設定より少なくなると品質が鋭敏に変動する結果が示されており , 製造時の品質管理が重要といえる。

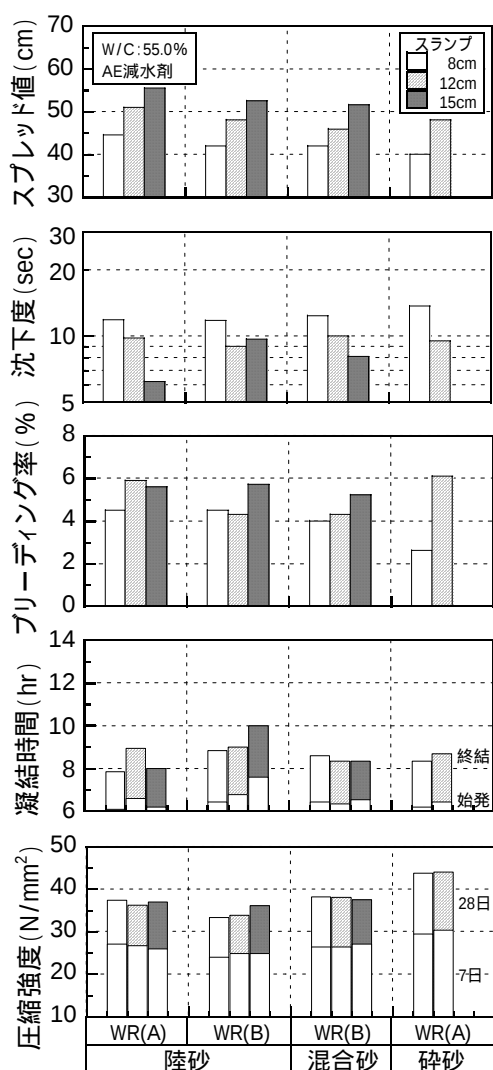


図 - 2 AE減水剤を用いたコンクリートの諸性質

表 - 5 同スランプで単位水量を低減したコンクリートの配合および諸性質

使用材料		W/C	s/a	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤 (C × %)			フレッシュコンクリートの品質		
細骨材	減水剤			水	セメント	細骨材		粗骨材	AE 減水剤	高機能 AE 減水剤	高性能 AE 減水剤	スランブ	空気量	練上り 温 度
						S1	S2							
		(%)	(%)	W	C				WR	HWR	SPA	(cm)	(%)	()
陸砂	WR(A)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	0.25	-	-	8.5	4.2	21.3
	HWR(A)			149	271	815	-	1088	-	1.00	-	8.5	4.4	20.8
	SPA(A)			144	262	843	-	1081	-	-	0.90	8.0	4.7	20.6
陸砂	WR(B)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	0.20	-	-	9.0	4.9	19.0
	HWR(B)			148	269	816	-	1090	-	1.00	-	8.0	4.8	19.1
	SPA(B)			144	262	843	-	1081	-	-	1.20	8.5	4.6	19.3
混合砂 (陸: 砕 =7:3)	WR(B)	55.0	45.0	161	293	581	251	1022	0.20	-	-	8.0	4.4	19.3
	HWR(B)			157	285	586	253	1031	-	1.00	-	8.0	4.8	19.4
	SPA(B)			150	273	595	257	1047	-	-	1.10	7.5	4.5	19.3
砕砂	WR(A)	55.0	45.0	175	318	-	810	990	0.25	-	-	7.5	4.4	20.8
	HWR(A)			169	307	-	821	1004	-	1.00	-	7.5	4.5	20.6
	SPA(A)			163	296	-	851	999	-	-	0.90	7.5	4.8	20.9

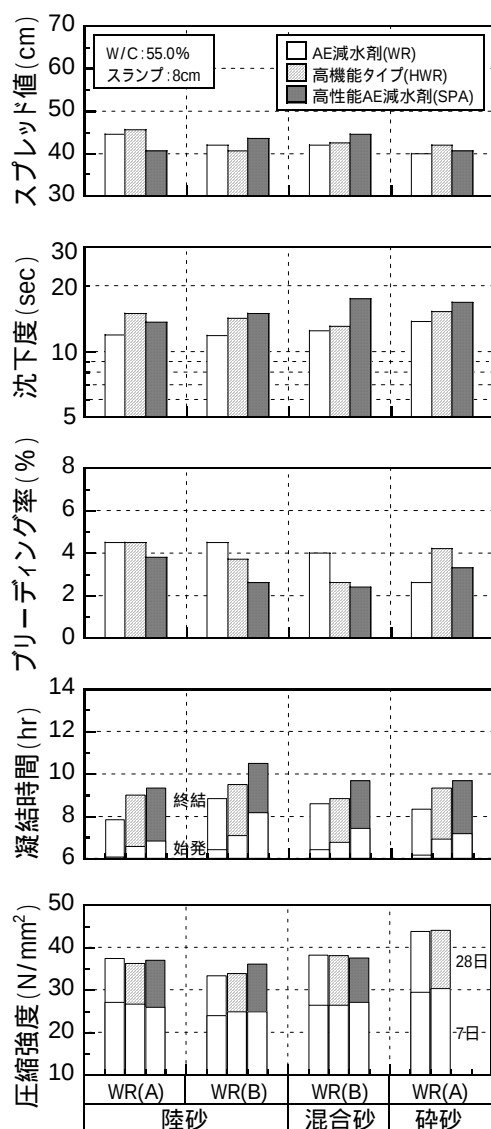


図 - 3 同スランプで単位水量を低減したコンクリートの諸性質

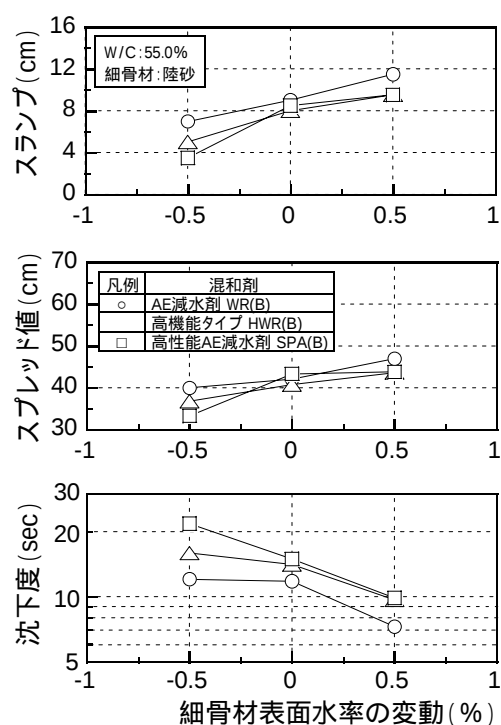


図 - 4 表面水率の変動によるスランプ、スプレッド、沈下度の変化

陸砂使用



AE減水剤(B) W=154kg/m³ 高機能タイプ(B) W=148kg/m³ 高性能AE減水剤(B) W=144kg/m³

写真 - 1 各種コンクリートのスランプ

表 - 6 単位水量一定でスランブを増大させたコンクリートの配合および諸性質

使用材料		W/C	s/a	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤 (C×%)			フレッシュコンクリートの品質		
細骨材	減水剤			水	セメント	細骨材		粗骨材	AE 減水剤	高機能 AE 減水剤	高性能 AE 減水剤	スランブ	空気量	温度
						S1	S2							
陸砂	WR(A)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	0.25	-	-	8.5	4.2	21.3
	HWR(A)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	-	1.00	-	11.5	4.4	21.0
	HWR(A)	55.0	45.0	154	280	843	-	1038	-	1.50	-	15.0	4.9	20.9
	SPA(A)			154	280	843	-	1038	-	1.00	15.0	4.1	21.1	
陸砂	WR(B)	55.0	43.0	154	280	806	-	1076	0.20	-	-	9.0	4.9	19.0
	HWR(B)	55.0	44.0	154	280	824	-	1057	-	1.30	-	12.5	4.4	18.9
	HWR(B)	55.0	45.0	154	280	843	-	1038	-	1.50	-	14.5	5.2	18.8
	SPA(B)			154	280	843	-	1038	-	-	1.10	15.5	4.4	19.2
混合砂 (陸:砕 =7:3)	WR(B)	55.0	45.0	161	293	581	251	1022	0.20	-	-	8.0	4.4	19.3
	HWR(B)	55.0	45.0	161	293	581	251	1022	-	1.10	-	12.5	4.9	19.3
	SPA(B)			161	293	581	251	1022	-	-	0.80	12.0	4.4	19.2
	HWR(B)	55.0	46.0	161	293	594	256	1004	-	1.30	-	14.5	4.8	19.1
	SPA(B)			161	293	594	256	1004	-	-	1.00	14.5	4.1	19.3
砕砂	WR(A)	55.0	45.0	175	318	-	810	990	0.25	-	-	7.5	4.4	20.8
	HWR(A)	55.0	46.0	175	318	-	828	972	-	1.50	-	12.0	4.2	20.5
	SPA(A)			175	318	-	828	972	-	-	0.90	13.5	4.7	20.4

3.3 単位水量一定でスランブを増大させた コンクリートの諸性質 (シリーズ3)

AE 減水剤を用いたスランブ 8cm の配合をもとに,水セメント比,単位水量が一定の条件で,高機能型の AE 減水剤および高性能 AE 減水剤を使用し,それらの使用量を調整してスランブを 12cm,15cm に増大させた。これらコンクリートの配合および各種試験結果一覧を表 - 6 に示す。また,スプレッド値,沈下度,ブリーディング率,凝結時間,圧縮強度を図 - 5 に示した。AE 減水剤を標準型から高機能型に変更した場合,スランブ 8cm 相当の単位水量で,減水率 15% に対応する標準使用量でスランブを 12cm 程度に大きくすることができ,さらに使用量を増加すれば 15cm 程度まで増大することも可能である。一方,高性能 AE 減水剤の場合は,標準使用量でスランブを 15cm まで増大できる結果となった。

これらのスランブの形状を示した写真 - 2 によれば,いずれもプラスチックで単位水量が多い基準コンクリートと顕著な差異は認められない。一方で,スランブを増大させた場合の沈下度に着目すると,骨材の種類にもよるがスランブ 8cm の基準コンクリートと同等か小さい場合が多い。また,スランブの増大によるブリーディング増加の悪影響はほとんど認められないが,凝結時間は混和剤の使用量に伴い若干遅延

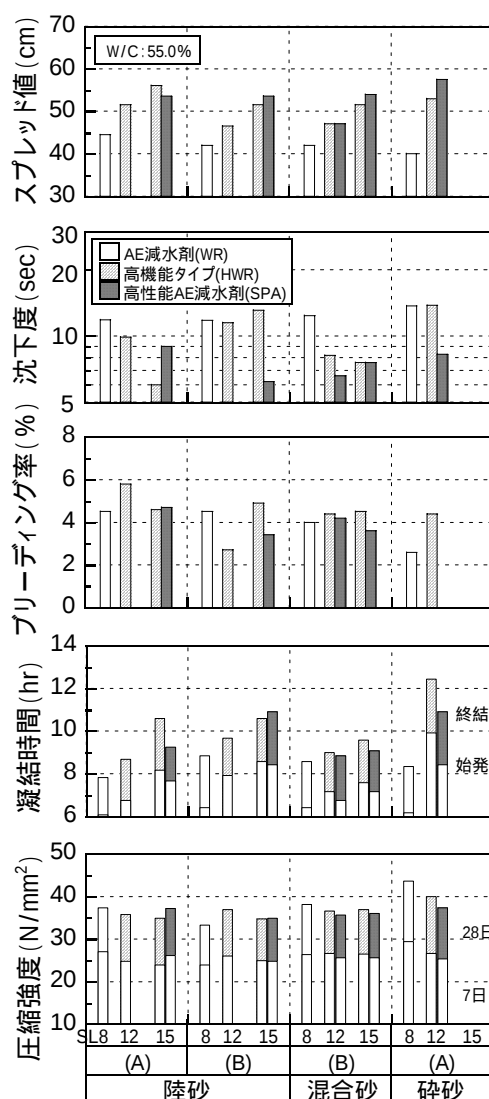


図 - 5 単位水量一定でスランブを増大させたコンクリートの諸性質

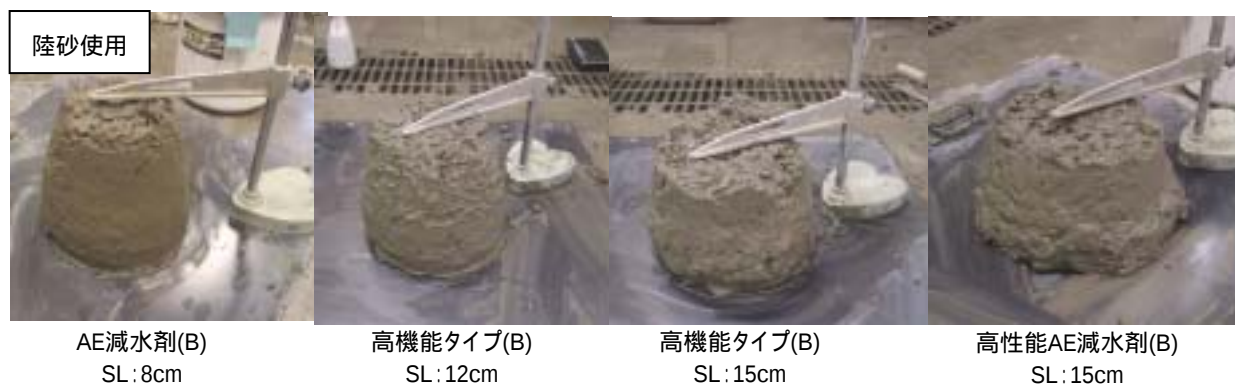


写真 - 2 各種混和剤を用いたコンクリートのスランプ試験状況（単位水量一定の場合）

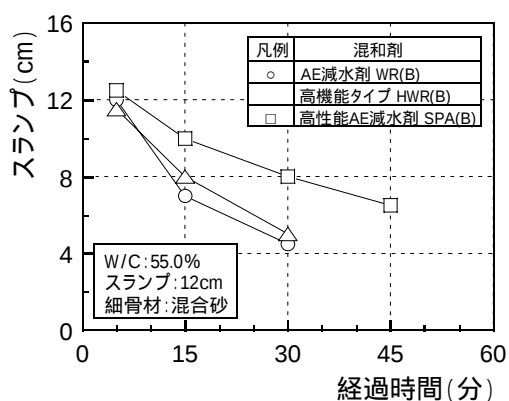


図 - 6 スランプの経時変化試験結果

する傾向にある。さらに、強度発現特性については、混和剤を変更しスランプを増大させると若材齢時の強度が若干小さくなる傾向があるが、長期的にはほぼ同等の結果が得られている。

スランプ 12cm の各種コンクリートのスランプ経時変化を図 - 6 に示す。高機能型の AE 減水剤を用いた場合、スランプの経時変化は標準型の AE 減水剤を用いた単位水量が大きいコンクリートとほぼ同じである。一方、高性能 AE 減水剤を用いた場合は、単位水量が小さくても逆にスランプ保持特性の改善が認められる。

以上の結果によれば、打込み時の施工性能を向上させる対策として、単位水量を変化させずさらに高減水性の混和剤を標準的な範囲で使用してスランプを増大させた場合には、コンクリートの諸性質に悪影響を及ぼさないものと考えられる。ただし、施工条件によっては振動作用下におけるコンクリートの変形性が低下する可能性があることを考慮し、施工計画時に打込みや締固め方法を検討することが望ましい。

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

（１）スランプ 8～15cm の範囲で AE 減水剤を用いたプラスチックなコンクリートの場合、骨材の種類によらず、スランプ 1cm の増大に対して単位水量は 1.2%程度増加する。

（２）水セメント比 55%，スランプ 8cm のプラスチックな AE コンクリートの場合、骨材の種類によらず、AE 減水剤を標準型から高機能型に変更した場合は約 3%，高性能 AE 減水剤に変更した場合は約 6%，それぞれ水量を低減できる。

（３）高性能 AE 減水剤を用いて水量を低減した場合、単位セメント量が少ないとプラスチックティーが不足し、水量が設定より減少するとコンシステンシーが鋭敏に変動する可能性がある。

（４）水セメント比 55%，スランプ 8cm の AE コンクリートの場合、単位水量を一定として、AE 減水剤を標準型から高機能型に変更、または高性能 AE 減水剤に変更することで、プラスチックティーを確保しつつ、スランプを 12～15cm に増大させ、単位水量を増やしてスランプを大きくした場合と同等以上のスランプ保持特性を確保できる。

参考文献

- 1)例えば、セメント系材料・骨材研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、2005.09
- 2)例えば、コンクリート施工基本問題検討委員会報告書（ ），日本コンクリート工学協会、2002.