

# 論文 高性能減水剤 分離低減タイプを用いた高流動コンクリートの性能

宮川 美穂<sup>\*1</sup>・西村 正<sup>\*2</sup>・小谷田 秀雄<sup>\*3</sup>

**要旨:** 一般的な道路用製品で用いられている固練り・軟練りコンクリートの施工性向上を目的として、高性能減水剤・分離低減タイプを用いた併用系高流動コンクリートの適用を考えその性能を、市販の高性能減水剤添加の場合と比較した。普通、高炉および早強セメントの3種類を使用したモルタル試験を行った結果、高性能減水剤・分離低減タイプは、市販の高性能減水剤よりもブリーディングが少なく、同一降伏値で比較した場合、塑性粘度は高くなることを確認した。粉体量を著しく増やすことなく分離低減効果の高い高流動コンクリートを製造することが可能であり、耐久性に関しても問題ないことを確認した。

**キーワード:** 高流動コンクリート, 高性能減水剤, 道路用製品, 分離低減

## 1. はじめに

高流動コンクリートが開発されて約15年、その普及率は徐々に上がっている。特に、コンクリートの道路用製品工場では、既存の固練り配合もしくは軟練り配合のコンクリートを高流動コンクリートに変更することで、工場内の作業環境改善、ならびに周辺への騒音対策を図ることが可能である。しかしその反面、多量の結合材を使用するため、材料コストが上がるのが普及率を伸ばす上での最大の問題であると言われている<sup>1)</sup>。

コンクリート道路用製品工場で用いられている高流動コンクリートの多くは、粉体系高流動コンクリートであり、セメント以外の粉体、例えば、高炉スラグ、炭酸カルシウム微粉末、フライアッシュ、石粉等を各工場を選定し、配合設計が行われている。しかし、粉体の違いによる強度発現性や製品肌面の美観が重要視されていることから、新たな粉体の選定は非常に困難である<sup>2)</sup>。また、粉体の種類や使用量によっては、コンクリートの粘度が上がり、打設時に巻き込んだ空気が抜けることができず、型枠面に気泡として現れ、肌面に多大な悪影響を与える<sup>3)</sup>。

また、既往の研究<sup>4)</sup>では、分離低減性を付与した高性能AE減水剤の開発も行われているが、道路用製品に関する使用は行われていない。

以上の背景をもとに、本研究では、粉体系高流動コンクリートより結合材量が少ない併用系高流動コンクリートに着目し、高性能減水剤および高性能減水剤・分離低減タイプの2種類の混和剤を用い、フレッシュ性状および硬化性状を比較し、高性能減水剤・分離低減タイプを使用した併用系高流動コンクリートの適応性について考察した。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料および特性

本研究の使用材料を表-1に示す。結合材は、普通ポルトランドセメント(3種銘柄等量混合)、高炉セメントB種および早強セメントを使用した。

表-1 使用材料

種類	記号	名称	密度(g/cm <sup>3</sup> )
練混ぜ水	W	水道水	-
結合材	NC	普通ポルトランドセメント	3.16
	BC	高炉セメントB種	3.04
	HC	早強ポルトランドセメント	3.14
細骨材	S	大井川産陸砂	2.58
粗骨材	G	青梅産碎石	2.70
高性能減水剤 (ポリカルボン酸系)	AD-N	市販品	-
	AD-V	新規品:分離低減タイプ	
AE剤	AE	特殊アニオン界面活性剤	

混和剤は、市販品であるポリカルボン酸系高性能減水剤(以下AD-N)と、同じくポリカルボン酸系高性能減水剤・分離低減タイプ(以下AD-V)を使用した。なお、AD-Vには、分離低減剤が配合され一剤になっている<sup>5)</sup>。

### 2.2 モルタル試験

AD-NおよびAD-Vが、フレッシュ性状に及ぼす影響の違いについて検討を行うために、モルタル試験を行った。表-2に、配合を示す。この配合は、粗骨材の容積を300L/m<sup>3</sup>と想定し、配合から粗骨材を除いたモルタル部分を用いた。単位セメント量は350, 378, 413kg/m<sup>3</sup>の3水準を、また単位水量は155, 165, 170, 175, 190kg/m<sup>3</sup>の5水準を選んだ。

\*1 グレースケミカルズ(株) 技術部 研究員 工修 (正会員)

\*2 グレースケミカルズ(株) 技術部 部長 工修 (正会員)

\*3 グレースケミカルズ(株) 技術部 上級研究員 工修 (正会員)

### (1) フロー試験

フロー試験は、JIS A 1173(ポリマーセメントモルタルのスランプ試験方法)のスランプコーンを用いて、スランプコーンを引き上げたときのモルタルの広がりを測定した。モルタルフローが  $300 \pm 20\text{mm}$  となるように高性能減水剤の添加率を調整した。配合 No.3~6 に関しては、単位粉体量および高性能減水剤の添加率を一定とし、単位水量だけを増減させた試験も行った。なお、全ての練り混ぜに一定量の消泡剤を添加し、モルタルの空気量を 2.0%以下とした。

表 - 2 モルタル配合(空気量 2.0%以下)

配合No.	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
		W	C	S
1	50.0	175	350	1017
2	45.0	170	378	1007
3	37.5	155	413	1017
4	40.0	165		992
5	42.4	175		966
6	46.0	190		926

### (2) レオロジーの測定

練り混ぜ直後のモルタル塑性粘度ならびに降伏値を、外筒回転式粘度計 (TV-10 形) で測定した。

### (3) 漏斗を用いた流下試験

JSCE-F 512 (高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法 (案)) に準じて、図 - 1 に示す大きさの V 漏斗を使用し、モルタルの流下時間を測定した。

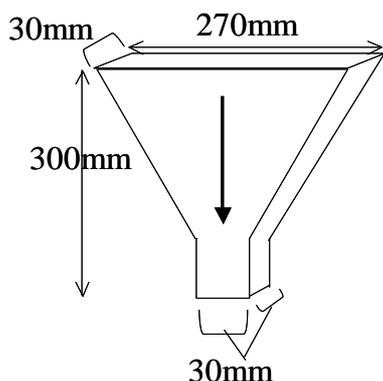


図 - 1 流下試験で用いた V 漏斗

### (4) プリーディング試験

モルタルのプリーディング試験は、JSCE-F 52-1999(ブレパッドコンクリートの注入モルタルのプリーディング率および膨張率試験方法 (ポリエチレン袋方法)) に準じて、練り混ぜられたモルタルを指定のポリエチレン袋に一定量入れ、練り混ぜ後 3 時間を経過した時のモルタル上面のプリーディング水量を、メスシリンダーを用いて測定した。

### (5) 圧縮強度試験

圧縮強度用供試体を、寸法  $5 \times 10\text{cm}$  で作製した。材齢は 7 日および 28 日 (標準養生) とし、各材齢にて圧縮強度試験を行った。測定は、表 - 2 の配合 No.2 の供試体を用いた。

### 2.3 コンクリート試験

表 - 3 に示す配合で 2 種類の高性能減水剤を用いて、普通ポルトランドセメントを使用した高流動コンクリートの試験を行った。コンクリートは、スランプフロー  $60 \pm 5\text{cm}$ 、空気量  $2.0 \pm 1.5\%$  の範囲となるように、高性能減水剤の添加率を調整した。ただし、凍結融解試験用供試体は、空気量  $4.5 \pm 1.5\%$  の範囲となるように AE 剤で調整し供試体の作製を行った。なお、試験室環境は  $20 \pm 70\%$  (RH) である。

表 - 3 コンクリート配合 (空気量  $2.0 \pm 1.5\%$ )

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		W	NC	S	G
43.8	49.3	175	400	849	942
41.7	49.6		420	833	942
38.9	48.1		450	810	942

### (1) 練混ぜ方法

容量 55L 強制二軸ミキサにて、40L の高流動コンクリートの練り混ぜを行った。練り混ぜ時間は、セメント、細骨材および粗骨材を投入して空練りを 10 秒間行った後、練混ぜ水および高性能減水剤を投入して 2 分間行った。

### (2) 試験項目

表 - 4 に、高流動コンクリートの試験項目を示す。

#### (a) コンクリートのフレッシュ性状

コンクリート試験の項目は、練り混ぜ直後と静置法で、経過時間 20 分のスランプフロー試験、空気量試験、漏斗を用いた流下試験 ( $V_{65}$  漏斗) および充てん装置を用いた間げき通過試験 (U 形容器、障害 R2) とした。

#### (b) 圧縮強度試験

圧縮強度用供試体を、寸法  $10 \times 20\text{cm}$  で作製した。材齢は 1 日、7 日および 28 日 (標準養生)、ならびに蒸気養生強度試験を行った。蒸気養生パターンを図 - 2 に示す。なお、蒸気養生強度の測定は、前置きから 4 時間、5 時間および 6 時間の 3 点とした。

#### (c) 凝結時間試験

凝結時間の測定は、練り混ぜ直後のコンクリートを呼び寸法  $4.75\text{mm}$  の網ふるいでふるい、粗骨材粒を除去したモルタル部分を用いて行った。

#### (d) 長さ変化試験

長さ変化試験の測定は、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$  の供試体を作製し、材齢 1 週を基長として、その後 26 週まで測定を行った。

表 - 4 コンクリートの試験項目

試験項目	試験方法
スランプフロー	JIS A 1150 (コンクリートのスランプフロー試験方法)
空気量	JSCE-F 513
充てん装置を用いた間げき通過試験	JSCE-F 511 (U形容器使用で、障害 R2)
漏斗を用いた流下試験	JSCE-F 512 (V漏斗使用、吐出口：65mm×75mm)
圧縮強度	JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)
凝結時間	JIS A 1147 (コンクリートの凝結時間試験方法)
長さ変化試験	JIS A 1129-2 (モルタルおよびコンクリートの長さ試験方法)
凍結融解試験	JIS A 1148 (コンクリートの凍結融解試験方法)

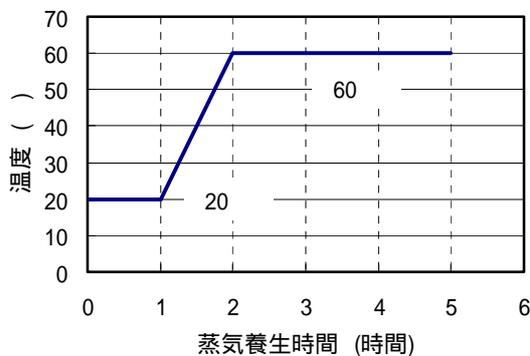


図 - 2 蒸気養生パターン

(e) 凍結融解試験

凍結融解試験の測定は、AD-V を添加したコンクリートで 10×10×40cm の供試体を作製し、材齢 4 週から試験を開始した。

3. モルタルの実験結果および考察

3.1 各種セメントを用いたモルタルのフレッシュ性

表 - 5 に、各種粉体を使用したフレッシュ性状の試験結果一例 (配合 No.2) を示す。同程度のモルタルフロー値を得るための高性能減水剤の添加率は、AD-N よりも AD-V の方が低い傾向があった。また、セメントの種類が異なる場合の高性能減水剤の添加率は、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、早強セメントの順番に低い傾向があった。

図 - 2 に、配合 No.1, 2 および 4 のモルタルフロー値を同程度とした水セメント比と V 漏斗流下時間の関係を示す。水セメント比が低くなるほど、V 漏斗流下時間は遅くなり、AD-N よりも AD-V の方が流下時間は遅くなる傾向にあった。すなわち、AD-V を添加したモルタルは、AD-N よりも粘度が高いことが示唆される。

表 - 5 モルタル試験結果 (配合 No.2)

W/C (%)	セメントの種類	混和剤の種類	添加率 (C x %)	フロー (mm)	V漏斗流下(s)
45	NC	AD-N	1.40	292	4.6
		AD-V	1.20	302	5.5
	BC	AD-N	1.00	302	5.0
		AD-V	0.95	320	5.1
	HC	AD-N	1.00	313	4.1
		AD-V	0.90	298	4.7

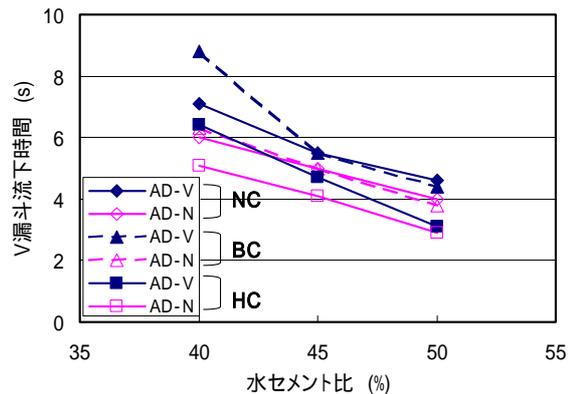


図 - 2 水セメント比と V 漏斗流下時間

3.2 単位水量の変動と分離低減性

図 - 3 に、配合 No.3~6 の単位水量とモルタルフロー値の関係を示す。単位水量が多くなるに従って、AD-N は分離する傾向があるが、AD-V では分離が見られなかった。AD-N に比べて、AD-V は分離低減性に優れていることがわかる。すなわち、単位水量が多少変動しても、AD-V を使ったコンクリートは、分離のない安定したコンクリートが得られることが示唆される。

3.3 塑性粘度

図 - 4 に、配合 No.1, 2 および 4 の各種粉体における塑性粘度と降伏値の関係を示す。配合および粉体の種類に関係なく AD-N より AD-V の方が塑性粘度および降伏値は高くなる傾向があった。同一降伏値で比較した場合、AD-V の方が AD-N より塑性粘度が高いことがわかる。

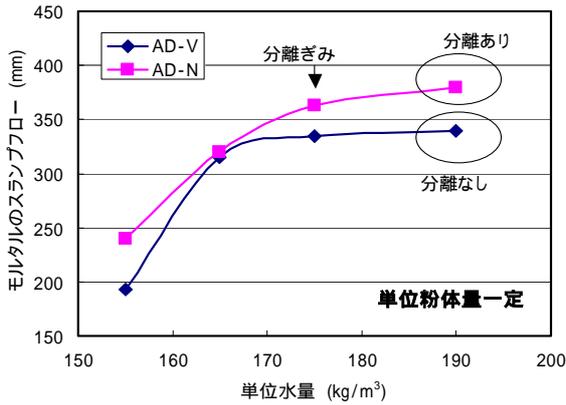


図 - 3 単位水量とモルタルフロー値

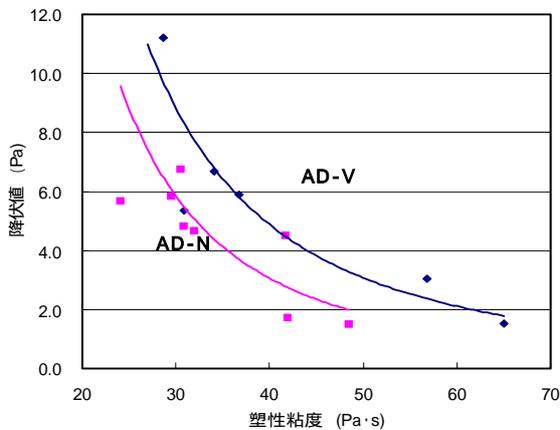


図 - 4 塑性粘度と降伏値

### 3.4 ブリーディング試験

図 - 5 に、配合 No.1, 2 および 4 のモルタルのフロー値を同程度とした場合の水セメント比とブリーディング率の関係を示す。ブリーディング率は、AD-N および AD-V のどちらを添加した場合でも、高炉セメントが最も低く、普通ポルトランドセメントおよび早強セメントでは高くなる傾向があった。また、水セメント比が高いと、ブリーディング率は大きくなり、AD-N よりも AD-Vの方がブリーディング率は低かった。

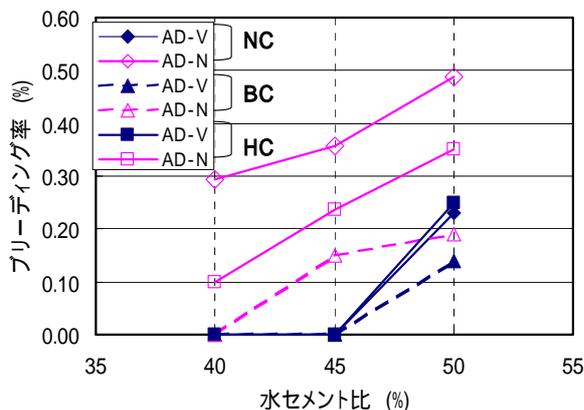


図 - 5 水セメント比とブリーディング率

### 3.5 圧縮強度試験

表 - 6 に、圧縮強度試験結果の一例として配合 No.2 の結果を示す。AD-N および AD-V の圧縮強度試験結果は、各材齢で同程度であり、高性能減水剤の違いによる差はみられなかった。

表 - 6 モルタルの圧縮強度試験(配合 No.2)

W/C (%)	セメントの種類	混和剤の種類	添加率 (C×%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
				7日	28日
45	NC	AD-N	1.40	60.8	77.5
		AD-V	1.20	61.5	77.5
	BC	AD-N	1.00	44.6	65.0
		AD-V	0.95	44.9	68.8
	HC	AD-N	1.00	71.0	74.1
		AD-V	0.90	70.5	79.7

### 4. コンクリート試験結果

一般的な道路用製品を作製することを考慮し、練混ぜ後の経過時間 0 分および 20 分の試験値について検討を行った。表-7 に各配合によるコンクリートのフレッシュ性状を示す。

#### 4.1 コンクリートのフレッシュ性状

表 - 8 に、コンクリートのスランブフロー値を 60 ± 5cm とした場合の各種試験結果を示す。本研究で使用した材料では、単位粉体量 400kg/m<sup>3</sup> で AD-N 添加率 C×1.0%添加すると分離し、目標のコンクリートフローを得ることができなかった。一方 AD-V を用いた場合、C×1.0%の添加率で、分離のない目標スランブフロー値を得ることができた。

表 - 7 コンクリート試験結果

粉体量 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤の種類	添加率 (C×%)	スランブフロー(mm)		空気量 (%)	経時0分の状態
			0分	20分		
400	AD-N	0.8	423	235	3.0	フロー不足
		1.0	525	-	3.4	フロー不足・分離
420	AD-V	1.0	620	555	2.7	分離なし
		1.2	558	425	3.5	分離なし
450	AD-N	1.3	630	555	2.5	分離なし
		1.3	650	645	3.0	分離なし

表 - 8 コンクリートの試験結果

粉体量 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤の種類	添加率 (C×%)	V <sub>65</sub> 流下時間(s)		経時0分の充てん高さ(cm)	凝結始発時間 (h-min)
			0分	20分		
400	AD-N	0.8	-	-	-	6-00
		1.0	-	-	-	-
420	AD-V	1.0	7.8	11.7	32.0	6-10
		1.2	8.3	-	35.0	6-00
450	AD-N	1.3	11.1	-	34.5	6-15
		1.3	12.0	11.5	35.0	6-15

#### 4.2 V<sub>65</sub> 漏斗流下時間

V<sub>65</sub> 漏斗流下時間の測定は、コンクリートのスランプフローが600mm以上のものについて行った。表-8から、単位粉体量が上がるに従って、コンクリートのV<sub>65</sub> 漏斗流下時間は、遅くなる傾向があった。しかし、単位粉体量の多い450kg/m<sup>3</sup>の配合では、AD-NおよびAD-VのV 漏斗流下時間は同程度であった。

#### 4.3 充てん装置を用いた間げき通過試験

各単位粉体量における充てん装置を用いた充てん高さは30cm以上であれば、間げき通過性が良好であると言われているが<sup>6)</sup>、全てその範囲内であった。

#### 4.4 凝結時間

表-8に示す結果から、AD-Vは、コンクリートの凝結始発時間に影響を及ぼさないことがわかった。

#### 4.5 圧縮強度試験

表-9に、単位粉体量420kg/m<sup>3</sup>の配合で作製した供試体の圧縮強度試験結果を示す。蒸気養生強度および標準水中養生強度は、AD-NおよびAD-Vともに同程度であった。この結果から、AD-Vは、コンクリートの圧縮強度に影響を及ぼさないことがわかった。

表-9 コンクリートの圧縮強度試験(C=420kg/m<sup>3</sup>)

湿和剤の種類	蒸気			標準水中			
	4時間	5時間	6時間	1日	7日	14日	28日
AD-N	8.8	15.0	21.7	15.2	57.2	61.9	69.2
AD-V	8.5	14.3	20.5	14.8	56.3	60.6	67.6

#### 4.6 長さ変化

図-6に、単位粉体量420kg/m<sup>3</sup>の配合で作製した長さ変化試験結果を示す。AD-NとAD-Vの長さ変化はほぼ同程度であり、AD-Vは、長さ変化に関して悪影響を及ぼさないことがわかった。

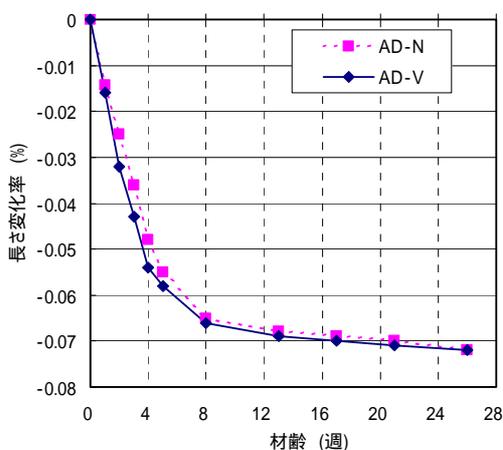


図-6 長さ変化試験結果

#### 4.7 凍結融解試験結果

図-7に、単位粉体量420kg/m<sup>3</sup>の配合で、所定の空気

量を、AE剤を用いて作製した供試体の凍結融解試験結果を示す。サイクル数300回で相対動弾性係数が92%と高く、AD-Vは良好な耐凍害性が得られることがわかった。

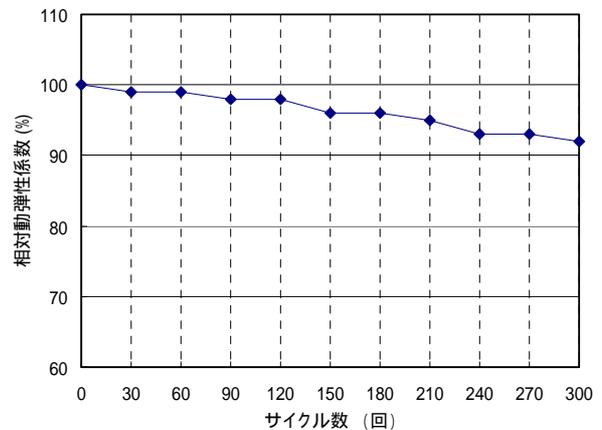


図-7 凍結融解試験結果

#### 5. まとめ

本実験で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 一定のモルタルフロー値を得るための高性能減水剤添加率は、AD-NよりもAD-Vの方が低く、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、早強セメントの順番に少なくなる傾向があった。
- (2) 単位粉体量および高性能減水剤の添加率を一定とした場合、AD-Nは単位水量が増加するとともに分離する傾向にあったが、AD-Vは良好なモルタルのフレッシュ性状が得られた。
- (3) モルタルフロー値および降伏値が一定で比較した場合、モルタルの塑性粘度はAD-NよりもAD-Vの方が高い傾向にあった。これは、AD-Vの増粘作用により分離低減効果が発揮されたものと考えられる。
- (4) モルタルフロー値を一定で比較した場合、V漏斗流下時間は、AD-NよりもAD-Vの方が長かった。この傾向は、普通ポルトランドセメント、高炉セメントおよび早強セメントを使った場合も同様であった。
- (5) モルタルフロー値を一定で比較した場合、AD-Vを添加したモルタルのブリーディング率は、AD-Nよりも小さくなる傾向があった。この傾向は、単位水量が多い場合に顕著であった。
- (6) 高流動コンクリート試験を行った結果、単位粉体量400kg/m<sup>3</sup>の配合では、AD-Nは添加率の増加にともない分離し、目標スランプフロー値が得られなかったが、AD-Vを使用した場合は、良好な高流動コンクリートの製造が可能であった。
- (7) コンクリートのV<sub>65</sub>漏斗流下時間は、単位粉体量が多くなるに従って遅くなる傾向があるが、単位粉体量

450kg/m<sup>3</sup>の配合においては,AD-N および AD-V の大きな差異は認められなかった。

- (8) 間げき通過高さは,間げき通過性が良好であると言われている範囲内であり,材料分離抵抗性が高いと考えられる。
- (9) コンクリートの圧縮強度は,蒸気養生および標準水中養生にかかわらず,AD-N および AD-V の差は見られなかった。
- (10) 長さ変化試験結果は,AD-N とほぼ同程度であり,凍結融解試験はサイクル数 300 回で,相対動弾性係数が 92%と高い値が得られた。

以上の結果から,AD-V を使用したコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状は,AD-N と同等もしくはそれ以上であり,特に,単位粉体量の少ない配合における分離低減に効果を発揮することが明らかとなった。よって,新規品である高性能減水剤・分離低減タイプは,道路用製品の製造における品質の安定化やコスト低減に有効と考えられる。今後,道路製品の肌面への検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) セメント新聞 2003.12, 2004.1
- 2) 柏木隆男:打放しコンクリートの色調制御,セメント・コンクリート No.630, pp.34-41, 1999.8
- 3) 一宮一夫,出光隆,山崎竹博,渡辺明:高流動コンクリートの表面気泡と材料分離に及ぼす微振動の影響,材料 vol.48 No.11, pp.1294-1299, 1999.11
- 4) 住学,芝池達司,梶山毅,平弘毅,玉石竜介:分離低減型高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートに関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) pp.267-270, 2001.8
- 5) Jeknavorian, A., et al.: Use of Chemical Admixtures to Modify the Rheological Behavior of Cementitious Systems Containing Manufactured Aggregates, SP-239, 8<sup>th</sup> CanMET ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete Oct.2006
- 6) 土木学会:高流動コンクリート施工指針, 1998.7