

各種 AE 剤，減水剤を用いたコンクリートの品質について

Properties of Concrete Using Several Air-Entraining Admixtures and Water-Reducing Admixtures

太田利隆* 服部健作**
今井益隆*** 小長井宣生***

北海道開発局で制定している「コンクリートの設計積算基準(案)」によれば，建設工事において施工されるコンクリートの標準配合は，レデーミクストコンクリートの JIS に準拠してすべて AE 剤，減水剤を用いた空気量 4.5% の AE コンクリートとなっている。

一方，AE 剤および減水剤は，現在種々の製品が市販されており，昭和 53 年度の調査では合計 15 メーカー，65 種類にものぼっている。このうち前記の基準(案)では，道内で使用実績のあるもの 6 メーカー，26 種類をリストアップしている。

ここでは，これらの AE 剤および減水剤の適切な利用をはかるために，その性能を土木学会の混和材料規格により確認することを目的として，実施してきた試験の結果について報告する。

《AE 剤；減水剤；土木学会混和材料規格；AE コンクリート》

1. ま え が き

AE 剤は，寒冷地におけるコンクリートの凍結融解抵抗性を向上させ，また，凍害と無縁な温暖な地域でもコンクリートのワーカビリティを改善する効果を持つことからこれまで広く普及しており，さらに，AE 剤の欠点である強度減少を補うものとして減水剤が出現してきた。

現在では，土木工事において施工されるコンクリートの大半に，AE 剤または空気連行性を持つ減水剤が使用されており，これらの混和剤はコンクリートの一成分として不可欠のものとなっている。また，昭和 53 年にはレデーミクストコンクリート(生コン)の JIS が改訂され，標準品はすべて AE 剤または減水剤を用いて空気量 4.5% (寒冷地の場合) の AE コンクリートとするよう規定された。この改訂に伴い北海道開発局においても，その適切な運用をはかるために「コンクリートの設計積算基準(案)」を定めている。

混和剤の使用については，生コンの JIS によれば「生産者は購入者の承認を得なければならない」とされている。一般には官公庁からの発注を受け工事を実施する建

設会社が生コン製造会社と契約を結んで生コンを購入するので，この場合には，建設会社が承認を与えることになる。一方，建設会社は発注者が定める工事仕様書に従う義務を負っており，北海道開発局の仕様書ではコンクリート標準示方書に準拠して「混和剤として用いられる AE 剤，減水剤は，それぞれ土木学会規準：AE 剤規格および減水剤規格に適合したものでなければならない」と規定している。

また，生コン JIS の審査事項(参考)には，生コン製造会社が行う混和剤の受入れ検査方法として，「官公庁のコンクリート関係の試験研究機関などにより性能を確認し，または，5 年間以上の実績により性能を確認した製造工場の試験成績表によって，1 回/月以上品質を確認し，かつ入荷の都度銘柄を確認していること」とされている。これらのことから，北海道開発局では前記基準(案)のなかで，実績のある混和剤についてリストアップしたものである。

混和剤の規格については，これまで土木学会，建築学会などがそれぞれ独自に定めており，混和剤メーカーとしては不便であったが，昭和 57 年 12 月にコンクリート用化学混和剤の JIS がようやく制定され性能判定基準

*コンクリート研究室長 **同室副室長 ***同室主任研究員

が統一されるにいたっている。

コンクリート研究室では、前記基準(案)のなかでリストアップされている、AE 剤および減水剤について、その性能を土木学会規格により確認することを目的として、昭和 54 年以来試験を行ってきたが、今回、それらの結果を一括して報告し、現場のコンクリート工事における混和剤の適切な使用に資するものである。

2. 使用材料および試験方法

セメントは土木学会の減水剤規格によれば「2 銘柄以上の普通ポルトランドセメントについて試験を行うのが望ましい」とされているが、ここでは、日本セメント社の普通ポルトランドセメント(比重 3.15~3.16) 1 銘柄について試験を行った。細骨材は苫小牧市錦岡産の海岸砂(比重: 2.70~2.76, 吸水率: 0.98~1.26%, FM: 2.36~

表—1 試験を行った混和剤

No.	名 称	年 度	種 類	主 成 分
1	A ₁	54	AE 剤	— 天然樹脂酸塩
2	A ₂	56	〃	— 〃
3	A ₃	56	〃	〃
4	A ₄	56	〃	— 特殊アルキル・サルフェート
5	B ₁	54	減 水 剤	遅 延 形 アルキルアリルスルホン酸
6	B ₂	54	〃	〃 ポリオール複合体
7	B ₃	54	〃	〃 リグニンスルホン酸
8	B ₄	54	〃	〃 ヒドロキシカルボン酸
9	B ₅	54	〃	促 進 形 リグニンスルホン酸塩
10	B ₆	54	〃	〃
11	B ₇	54	〃	〃 リグニンスルホン酸カルシウム
12	B ₈	54	〃	〃 リグニンスルホン酸塩
13	B ₉	55	〃	標 準 形 ポリオキシ・エチレン・アルキルアリル・エーテル
14	B ₁₀	55	〃	〃 有機酸系誘導体
15	B ₁₁	56	〃	遅 延 形 リグニンスルホン酸カルシウム
16	B ₁₂	56	〃	標 準 形 ポリオール複合体
17	B ₁₃	56	〃	〃 リグニンスルホン酸カルシウム
18	B ₁₄	56	〃	〃 オキシカルボン酸塩
19	B ₁₅	56	〃	〃 リグニンスルホン酸塩
20	B ₁₆	57	〃	〃
21	B ₁₇	57	〃	〃 リグニンスルホン酸カルシウム
22	E ₁₈	57	〃	〃
23	B ₁₉	57	〃	〃 オキシカルボン酸塩
24	B ₂₀	57	〃	〃 ヒドロキシ系複合体・天然樹脂酸塩
25	B ₂₁	57	〃	促 進 形 リグニンスルホン酸塩・オキシカルボン酸塩
26	B ₂₂	57	〃	標 準 形 〃

(注) No. 24~No. 26 の 3 種は、北海道開発局制定「コンクリートの設計積算基準(案)」には含まれていない。

2.82) を、また、粗骨材は最大寸法 25 mm で、静内川産の砂利 (比重: 2.77~2.78, 吸水率: 1.12~1.32%) を使用した。試験を行った混和剤を表-1 に示す。なお、減水剤の種類について、土木学会減水剤規格では空気連行性を持たず減水作用のみを持つものと、空気連行性と減水作用の両方を持つものを合わせて「減水剤」としているが、混和剤の JIS では、前者を「減水剤」、後者を「AE 減水剤」として区別している。ここでは、土木学会の用

語に従うこととする。表-2 は土木学会の AE 剤規格および減水剤規格であるが、AE 剤と減水剤では性能判定基準が異なるので、AE 剤 A₁~A₄ は AE 剤規格により、また、減水剤 B₁~B₂₂ は減水剤規格によりそれぞれ試験を行い性能を判定した。これらの規格は、あくまでも混和剤を用いて一定の条件下で製造されたコンクリートの品質によって混和剤の性能を評価するためのものである。

表-2 土木学会規格

		AE 剤 規 格	減 水 剤 規 格
試 験 条 件	粗骨材最大寸法 (mm)	25	同 左
	セメント量 (kg/m ³)	300 (普通ポルト)	300 (普通ポルト 2 銘柄以上)
	ス ラ ン プ (cm)	7±1	同 左
	空 気 量 (%)	標準: 2.0 以下 試験: 4~4.5	
	s/a (%)	標準: — 試験: 標準より小	
混 和 剤 を 用 い た コ ン ク リ ー ト の 性 能	減 水 率 (%)	標準より少ないこと	90 以下 ⁽¹⁾
	ブリージング量比 (%)	70 以下	70 以下
	圧縮強度比 (%)	85 以上 〔材齢の指定なし〕	100 以上
			100 以上
			90 以上
			90 以上
			90 以上
	曲げ強度比 (%)	85 以上 (材齢の指定なし)	95 以上
			95 以上
	付着強度比 (%)	85 以上	95 以上
	長さ変化比 (%)	0.010 以下 ⁽¹⁾	0.010 以下 ⁽²⁾
	凍結融解に対する抵抗性低下率 (%)	80 以上 ⁽²⁾	80 以上 ⁽³⁾
	備 考	(1) 乾燥期間28日, 6 カ月, 1 年における乾燥収縮の差 (2) 相対耐久性係数*	(1) 単位水量比 (2) 乾燥期間28日, 6 カ月, 1 年における乾燥収縮の差 (3) 相対耐久性係数*

* 相対耐久性係数: ヴィンゾールを用いたコンクリートの耐久性係数との比。

試験方法は、それぞれの JIS に従い、また、凍結融解試験については ASTM に従った。なお、試験項目のうち、付着強度および一部の長期材令圧縮強度については

試験を行っていない。また、減水剤の場合所要の空気量を得られるように各メーカーの補助 AE 剤によって調整した。

3. 試験結果

混和剤の性能試験の結果の一覧を表-4に示す。

また、表-3は混和剤を用いたコンクリートの性質を判定する際の基準となる。混和剤を用いない標準コンクリート（プレーンコンクリート）の品質である。ここで、混和剤を用いたコンクリートの単位水量比、ブリージング量比、圧縮強度比、曲げ強度比は、それぞれ標準コン

クリートとの値との比を示し、長さ変化率の差は乾燥収縮を長さの百分率で表わした値について、標準コンクリートのそれとの差を示す。また、相対耐久性係数は、ASTM規格の急速水中凍結融解試験から求めた300サイクル後の耐久性係数と、ヴィンゾールを用いたコンクリートの耐久性係数との比である。

表-3 標準コンクリート（プレーン）の品質

年度	単位水量 (kg/m ³)	ブリージング量 (cc/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)				曲げ強度 (kg/cm ²)		長さ変化率 (%)			300サイクル後 耐久性係数 (%)*
			7日	28日	6ヵ月	1年	7日	28日	28日	6ヵ月	1年	
54	147	0.174	237	328	364	414	37.4	49.9	0.052	0.113	0.113	92.0
55	149	0.077	252	314	382	422	41.3	52.9	0.032	0.047	0.038	95.5
56	154	0.106	259	319	379	393	42.7	48.1	0.051	0.084	0.107	96.0
57	157	0.190	221	300	—	—	33.9	52.4	0.064	0.107	0.171	91.7

* ヴィンゾールを用いたコンクリート。

表-4 混和剤の性能試験結果

No.	名称	単位水量 (%)	ブリージング量比 (%)	圧縮強度比 (%)				曲げ強度比 (%)		長さ変化率の差 (%)			相対耐久性係数 (%)
				7日	28日	6ヵ月	1年	7日	28日	28日	6ヵ月	1年	
1	A ₁	88	33	104	100	94	92	105	97	-0.025	-0.049	-0.021	92
2	A ₂	90	61	94	105	97	103	89	101	-0.042	-0.018	-0.066	90
3	A ₃	91	58	90	96	98	90	90	94	-0.024	-0.009	-0.009	95
4	A ₄	91	56	96	112	97	98	95	108	-0.040	-0.037	-0.070	101
5	B ₁	86	33	135	120	123	107	128	100	-0.009	-0.018	0.01	102
6	B ₂	86	58	129	117	117	117	132	106	-0.033	-0.041	-0.035	100
7	B ₃	85	24	135	122	120	116	133	107	-0.017	-0.054	-0.024	103
8	B ₄	84	64	125	130	127	113	125	108	0.007	-0.022	-0.016	104
9	B ₅	84	40	120	109	107	101	124	104	-0.043	-0.035	-0.033	100
10	B ₆	85	31	120	109	110	108	119	98	-0.012	-0.028	-0.026	102
11	B ₇	87	60	122	112	121	110	119	106	-0.023	-0.026	-0.025	98
12	B ₈	90	48	124	110	105	98	130	105	-0.018	-0.016	-0.014	103
13	B ₉	90	56	103	104	99	85	99	93	0.008	-0.032	-0.044	99
14	B ₁₀	88	43	112	124	99	86	119	95	-0.018	0.007	-0.064	100

No.	名 称	単位 水量 (%)	ブリー ジング 量比 (%)	圧 縮 強 度 比 (%)				曲げ強度比 (%)		長さ変化率の差 (%)			相対耐久 性係数 (%)
				7 日	28 日	6 カ月	1 年	7 日	28 日	28 日	6 カ月	1 年	
15	B ₁₁	88	58	108	121	124	94	97	99	-0.025	-0.053	-0.094	88
16	B ₁₂	89	63	121	115	113	110	96	103	-0.007	-0.004	-0.061	97
17	B ₁₃	85	46	107	112	99	104	110	115	-0.035	-0.038	-0.062	99
18	B ₁₄	87	93	113	111	109	115	105	103	-0.051	-0.051	-0.097	100
19	B ₁₅	88	39	135	124	109	103	104	107	-0.014	-0.043	-0.093	99
20	B ₁₆	87	63	134	113	—	—	126	98	-0.022	-0.037	—	102
21	B ₁₇	84	34	109	116	—	—	129	100	-0.063	-0.106	—	102
22	B ₁₈	83	53	116	117	—	—	119	98	-0.030	-0.045	—	100
23	B ₁₉	88	87	107	119	—	—	135	95	-0.030	-0.047	—	102
24	B ₂₀	87	70	109	109	—	—	123	97	-0.038	-0.033	—	102
25	B ₂₁	87	65	148	119	—	—	140	93	-0.014	-0.044	—	101
26	B ₂₂	88	66	122	125	—	—	135	98	-0.044	-0.046	—	96

ある AE 剤、または減水剤の性能を相対的に比較評価する際の目安として、試験を行った各種混和剤の性能の平均値を表-5に示す。試験の結果、AE 剤、減水剤ともほぼ土木学会の規格を満足しているが、減水剤 B₉、B₁₀ の長期材令圧縮強度および曲げ強度、また、オキシカル

ボン酸塩を主成分とする減水剤 B₁₄、B₁₉ のブリージング量がやや規格値を下まわる結果となっている。寒冷地で特に必要とされる凍結融解に対する抵抗性については、いずれも規格値を満足しており問題はない。

表-5 各種混和剤の性能の平均値

		単位 水量 (%)	ブリー ジング 量比 (%)	圧 縮 強 度 比 (%)				曲げ強度比 (%)		長さ変化率の差 (%)			相対耐久 性係数 (%)
				7 日	28 日	6 カ月	1 年	7 日	28 日	28 日	6 カ月	1 年	
AE 剤 (4 種)	平 均 値	90.0	52.0	96.0	103.3	96.5	95.8	94.8	100.0	-0.033	-0.024	-0.042	94.5
	標準偏差	1.2	11.1	5.0	6.0	1.5	5.1	6.3	5.2	0.008	0.022	0.027	4.2
減水剤 (22 種)	平 均 値	86.6	54.3	120.6	116.3	112.1	104.5	120.3	101.3	-0.024	-0.037	-0.045	100.0
	標準偏差	1.9	17.0	11.5	6.4	9.2	9.8	12.8	5.5	0.017	0.021	0.031	3.3

4. あ と が き

新しく制定されたコンクリート用化学混和剤の JIS と、従来の土木学会の AE 剤および減水剤規格とは、試験条件ならびに混和剤を用いたコンクリートの品質の判定項目およびその基準がやや異なっており、今後、両者による試験結果について比較検討しておく必要がある。また、これらの規格は、あくまでも一定の条件下で

つくられたコンクリートの品質によって混和剤の性能を評価しようとするものであり、実際に混和剤を用いるコンクリートのセメント種類、骨材、配合などの条件が異なる場合には、それらに合わせた試験を行って品質を確かめる必要がある。減水剤の効果については、セメントのアルカリ含有量、化学組成などの違いにより、コンクリートの減水率、圧縮強度などの性質が異なるとの報

告¹⁾もある。なお、各種減水剤を用いた混合セメント(高炉B種、フライアッシュB種)コンクリートの品質については、すでに報告²⁾している。

最後に今後の問題点について述べると、現在までの混和剤規格には規定がないが、混和剤のなかには促進形減水剤などで塩化カルシウムを成分に含むものがあり、これを用いる場合には鉄筋あるいはPC鋼線の腐食に及ぼす影響の有無について確かめる必要があろう。

なお、これに関して ASTM C 494: コンクリート用化学混和剤の規格では、「混和剤をプレストレストコンクリートに用いる場合には、購入者の要請があれば混和剤の生産者は、混和剤中の塩化カルシウムの含有量および生産過程で塩化カルシウムを添加しているか否かについて明示しなければならない」と規定している。

また、土木学会のプレストレストコンクリート標準示方書では、「塩化カルシウムまたは塩化物を相当量含む混和剤は、それが緊張材に接触する恐れがある場合にはこれを用いてはならない」とされ、コンクリート中の総塩化物の許容量が定められている。

AE 剤、減水剤の pH 値は、通常 7~8 のものが多い

が、なかには pH が 12~13 の高アルカリ度のものもあり、これを用いた場合にはセメントペーストのアルカリ度を高める一要因になると考えられ、特に化学的に不安定な骨材とともに使用した場合には、コンクリートが劣化する恐れがある。今後、混合剤に関してこれらの化学的影響についても検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 有泉 昌; 混和剤とセメント, セメントコンクリート, No. 253, 1968 年.
- 2) 太田利隆ほか; 各種減水剤を用いた混合セメントコンクリートの性質について, 土木試験所月報, 第 350 号, 1982 年.
- 3) JIS A 6204; コンクリート用化学混和剤, 解説.
- 4) JIS A 5308; レデーミクストコンクリート, 解説.
- 5) ASTM C 494-80; Standard Specification For Chemical Admixtures for Concrete.
- 6) 土木学会基準; AE 剤規格, 減水剤規格.
- 7) 北海道開発局; コンクリートの設計積算基準(案), その運用と解説, 1979 年.
- 8) 北海道開発局; 道路・河川工事仕様書.

*

*

*