

凍害を受けない地域における Non-AE コンクリートの使用に関する一考察

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員 ○白岩誠史
セントラルコンサルタント 海外部 高山博文

1. はじめに

AE 剤 (air entraining agent : 空気連行剤) は, コンクリートの中に多数の微細な空気泡を一様に分布させるために用いる混和剤で, その大きな目的は凍結融解に対する抵抗性の向上である. 日本では, 更に微細な気泡のベアリング効果によるワーカビリティの向上効果も考慮し, AE 剤を使用する AE コンクリートを基本としている. 一方, 北・中央アメリカの凍害を受けない地域においては, AE 剤を使用せずに, 日本と比較して空気量の少ないコンクリート (以下, Non-AE コンクリート¹⁾) を使用している.

本論文は, 上記の背景を文献により調査し, 中央アメリカの現地関係者へ, 凍害を受けない地域における AE 剤使用に関する実態調査を実施した. また, 中央アメリカにおいて, 張出し架設の PC 上部工に使用するコンクリートの配合について, 試験練りを実施し, Non-AE コンクリートの使用について考察した.

2. アメリカでの AE 剤開発の経緯および空気量の基準

1930 年代, アメリカの北部地方においてコンクリート舗装の冬期間のひび割れやスケールングが大問題となり, 大規模な調査・研究の結果, 松脂を原料とする AE 剤が開発された²⁾.

ASTM (米国材料試験協会) では, AE 剤の規格 C260-01 は, 減水剤や高性能減水剤等のその他の化学混和剤の規格 C494/C494M とは別の規格となっている. 更に, AE 剤を混入した AE 減水剤や高性能 AE 減水剤は規格化されていない. また, ACI (アメリカコンクリート協会) 301 委員会の作成した基準³⁾では, 表-1 に示すように, 環境条件や骨材の寸法によって, 空気量を 1%~9% の範囲で設定できる.

3. 日本での AE 剤導入の経緯および現状

日本では, AE 剤は JIS A 6204 で定められており, 計量誤差によるリスク対策として, 予め減水剤や高性能減水剤に混入し, AE 減水剤または高性能 AE 減水剤として一般的に使用されている.

また, コンクリート標準示方書における空気量の規定値は, 沖縄も含め, 凍結融解抵抗性を考慮した 4%~7% を標準としている. 日本における AE 剤は, 本格導入がダム建設であったこともあり, 凍結融解抵抗性の向上の他に, ワーカビリティの改善による単位水量の低減やセメント量の低減, 4% 程度の空気連行による使用材料の節約という効果も期待された背景がある²⁾. 上記の 2. で記述したように, 深刻な凍害被害から AE 剤を開発したアメリカとは, その出発地点で大きく異なる.

4. 中央アメリカ地域における AE 剤使用に関する実態調査

中央アメリカ地域における AE 剤使用状況の実態調査は, 世界的なセメントメーカー 2 社 (Holcim 社, Cemex 社), 中央アメリカ全域で混和剤を販売している混和剤メーカー 1 社 (IMI 社), 中央アメリカの混和剤販売代理店 2 社から実施した. AE 剤は, 中央アメリカ地域での販売実績がほとんどなく, 保冷室等の凍害が懸念される施設等でのみ使用すると回答を得た. また, 日本のように AE 剤の使用に関する規定はなく, 凍害を受ける気象条件でもないことが, AE 剤を使用しない理由であるとの回答も得た.

5. コンクリートの品質に及ぼす空気量の影響に関する検討

試験練りを実施した配合表および試験結果の一覧表を表-2 に示す.

キーワード AE 剤, AE コンクリート, Non-AE コンクリート, 空気量, 凍害

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 安藤ハザマ 土木事業本部 TEL 03-6234-3670

表-1 環境及び骨材径による空気量の設定
(ACI 301 委員会基準)

Nominal maximum size of aggregate, in.	Air content, [†] percent		
	Severe exposure	Moderate exposure	Mild exposure
Less than 3/8	9	7	5
3/8	7.5	6	4.5
1/2	7	5.5	4
3/4	6	5	3.5
1	6	4.5	3
1-1/2	5.5	4.5	2.5
2	5	4	2
3	4.5	3.5	1.5
6	4	3	1

[†]Measured in accordance with ASTM C 231, C 173, or C 138.

[†]Air-content tolerance is $\pm 1-1/2\%$.

Severe : 化学物質の影響, 湿潤状態が継続する中で凍結が考慮される環境

Moderate : 凍結が起こるが継続しない環境

Mild : 凍結しない環境

表-2 試験練り配合および試験結果一覧表

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	配合										フレッシュコンクリートの試験結果						圧縮強度試験結果			備考
			W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	高性能減水剤 (ml/kg)	遅延剤 (ml/kg)	AE剤 (ml)	スランプ (cm)	空気量 (%)	外気温 (°C)	材齢3日 N/mm ²	材齢7日 N/mm ²	材齢28日 N/mm ²							
1	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	0	0.00	14.3	1.7	28.0	25.7	-	-	Non-AEコン			
2	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	146	0.30	15.2	2.3	27.6	26.0	-	-	AE剤添加量 を変更			
3	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	195	0.40	16.7	4.3	27.1	26.6	-	-				
4	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	195	0.40	16.4	3.2	27.7	26.7	-	-				
5	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	243	0.50	16.0	2.5	27.9	26.6	-	-				
6	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	292	0.60	14.7	2.4	28.2	26.5	-	-				
7	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	195	0.40	15.5	1.9	28.6	26.7	-	-				
8	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	341	0.70	16.7	4.0	29.4	27.0	-	-				
9	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	389	0.80	19.6	3.4	29.5	27.2	-	-				
10	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	438	0.90	16.7	4.1	29.4	27.2	-	-				
11	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	365	0.75	11.8	3.2	29.6	27.2	-	-				
12	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	487	1.00	17.4	3.6	29.9	26.2	-	-				
13	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	341	0.70	18.0	3.4	29.6	27.0	29.9	41.3	41.7	Non-AEコン		
14	38	56	185	487	978	734	5599	11.5	1461	3	0	0.00	17.8	1.0	28.9	26.8	33.4	44.2	48.1	単位水量 を変更		
15	38	56	180	474	994	745	5447	11.5	1421	3	332	0.70	15.0	4.6	28.7	27.3	-	-	AE剤添加量、 単位水量を変更			
16	38	56	175	461	1009	757	5296	11.5	1382	3	322	0.70	12.5	2.6	28.4	26.8	-	-	更			
17	38	56	180	474	994	745	5447	11.5	1421	3	332	0.70	15.8	2.0	30.0	26.3	-	-	Non-AEコン			
18	38	56	180	474	994	745	5447	11.5	1421	3	332	0.98	17.6	4.3	30.0	26.8	-	-				
19	38	56	175	461	1009	757	5296	11.5	1382	3	322	0.98	15.1	3.9	30.0	26.3	25.7	36.7	45.7			
20	38	56	185	487	1019	764	5599	11.5	1461	3	0	0.00	16.7	1.0	29.0	26.0	31.0	42.4	53.2	Non-AEコン		
21	38	56	175	461	1009	757	5296	11.5	1382	3	451	0.98	16.1	4.4	31.0	27.5	26.1	40.6	-			
22	36	56	175	466	995	746	5590	11.5	1458	3	476	0.98	13.5	3.4	31.0	27.3	29.8	40.3	-	水セメント比 を変更		
23	34	56	175	515	979	735	5919	11.5	1544	3	504	0.98	13.3	2.9	30.0	27.1	30.7	41.1	-			

AE 剤添加量と連行される空気量の関係を図-1 に示す。AE 剤の添加量を増加すると空気量は増えるが、メーカーの推奨する標準添加量の上限 0.98ml/kg を添加しても、最大 4.4% までしか連行できなかった。現地の外気温が常に 30℃ 程度の高温であるため、空気量が連行できなかったと考えられる。

AE 剤添加量とスランプの関係を図-2 に示す。AE 剤の添加量を増加するとスランプが大きくなり、標準添加量の上限 0.98ml/kg を添加すれば、単位水量 175kg で、目標スランプ 12.5~17.5cm の範囲にできることが確認できた。

空気量と圧縮強度の関係を図-3 に示す。各材齢とも、一般的な傾向と同様に、空気量 1% あたり、圧縮強度が約 5% 低下する結果となった。

水セメント比と圧縮強度の関係を図-4 に示す。張出し架設の工程は、標準的な 1 ブロック 11 日サイクルであれば、材齢 3 日で緊張することが必要であるため、安全率を 1.1 として 31N/mm² 以上を目標強度としている。AE コンクリートの場合は、水セメント比 34% で 31 N/mm² となり、目標強度を超える。一方、Non-AE コンクリートの場合は、空気量が小さいため、水セメント比が 38% で 31N/mm² となり、単位セメント量を 28kg 低減できる。

今回の試験練りによる検討結果から、Non-AE コンクリートとすることで、目標強度を満足するための単位セメント量を低減できることが確認された。また、これらの結果から予想される収縮量を算出すると、表-3 のように、AE コンクリートの場合は収縮量 850 μ 、Non-AE コンクリートの場合は 770 μ と推定でき、Non-AE コンクリートとすることで、収縮量が小さくできる結果となった。

表-3 配合及び予想される収縮量の一覧表

配合 No.	AE剤 (ml/kg)	W (kg)	W/C (%)	C (kg)	Air (%)	σ_3 (N/mm ²)	予想される収縮量(μ)			備考
							乾燥収縮 ⁴⁾	自己収縮 ⁵⁾	計	
23	0.98	175	34.0	515	2.9	30.7	570	280	850	AEコン
20	0	185	38.0	487	1.0	31.0	570	200	770	Non-AEコン

6. まとめ

今回の試験練りにより、AE 剤を使用しない Non-AE コンクリートとすることで、同程度の圧縮強度を確保しながら、単位セメント量を 28kg 低減し、収縮量を小さくできることが確認できた。北・中央アメリカの凍害を受けない地域においては、Non-AE コンクリートの使用も有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 小笠原孟伯, 最近の AE 剤仕様のすう勢, The Society of Materials Science, 昭和 42 年 8 月, pp.612
- 2) 笠井芳夫, 小林正凡, セメント・コンクリート用混和剤, 技術書院 1986 年, pp.11-12, 245-246, 255-265
- 3) ACI301-99 Specifications for Structural Concrete Reported by ACI Committee 301 pp.17, 41
- 4) 西林新蔵, 宮川豊章ほか, コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店 2009 年 10 月, pp.453
- 5) 土木学会発行, コンクリート技術シリーズ 24 コンクリートのクリープおよび乾燥収縮, 平成 9 年 10 月, pp.97

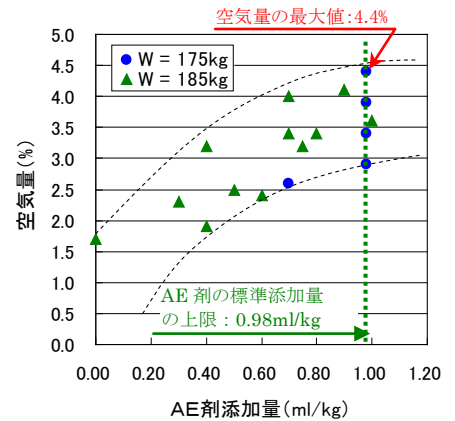


図-1 AE 剤添加量と空気量の関係

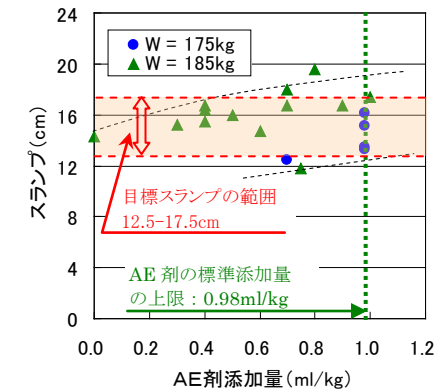


図-2 AE 剤添加量とスランプの関係

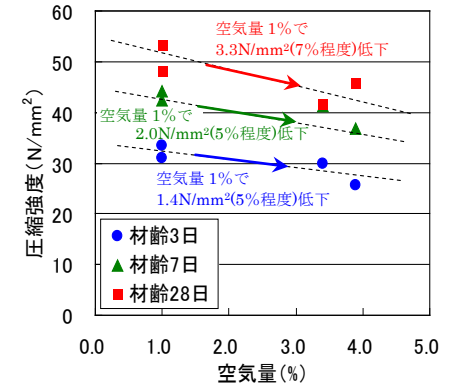


図-3 空気量と圧縮強度の関係

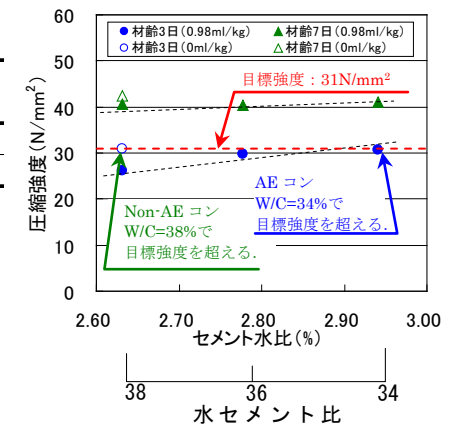


図-4 水セメント比と圧縮強度の関係