

セメントペーストの乾燥収縮に及ぼす 低減剤の影響について

ハル工業大学 学員 小本浩道
" 正員 左谷征美
" " 杉田修一

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮を防止する対策として、昨今開発された収縮低減剤の活用は、その顕著な収縮低減効果から従来にない強力な手段になりうると考えられる。また、この観点から筆者らは低減剤の添加及び含浸がコンクリートのひびわれ遅延に有効であることをすでに確認している。しかしながらこの低減剤の作用機構については必ずしも明確にされていない。本研究はセメントペーストを試料とし、これら低減剤の効果および収縮機構について、その基礎的検討をしたものである。

2. 実験概要

試料は1×1×16 cmのセメントペースト供試体でありセメントはヤシ普通ポルトランドセメントを使用した。本研究に用いた収縮低減剤（ひびわれ低減剤と称するものも含む）は、表-1に示す5種類でありいずれも水に溶解、分散してその表面張力を大幅に低下させる働きを持つものである。また5%希釈液の表面張力は低減剤の種類にもよるが、最大純水に5割弱にまで低下している事がわかる。用いたセメントペーストの水セメント比は30%であり養生期間は7日及び28日としたが本文の解析には前者の7日データのみに対象とした。低減剤添加量はセメント量の2%および6%とし試験環境条件としては20℃一定、相対湿度90%、79%、58%、45%、20%および0%を設定したがこれは、調湿剤で所定の湿度に調節したデシケーターを用い実施した。なお、湿度0%については、各湿度で試験終了後、供試体を用いMg(ClO₄)₂デシケーター内乾燥条件下で得られると仮定した。又、水和収縮はこれを考慮していない。長さ変化はダイヤルゲージ(1/1000 mm)により測長し重量は化学天秤(1/1000 g感量)によった。

表. 1 低減剤の物理化学的性質

種類	成分	外 観	比 重	粘 度	PH	特徴	* 表面張力
A	アルキレンオキド系	青色透明 液状	1.00 (20°C)	約20CPS (20°C)	6 (1%水溶液)	水に易溶	34.5
B	アルキレンオキド系	低粘透明 液状	0.98 (20°C)	18CPS (20°C)	6.1 (1%水溶液)	水に易溶	47.8
C	ポリエーテル系	無色～淡色 液状	1.02±0.02 (20°C)	100±20CPS (20°C)	7.1	水に易溶	37.0
D	グリコールエーテル系	淡黄色の 液状	1.04	—	—	水に難溶	38.8
E	エチレン・酢酸ビニル・塩 化ビニル三元共重合樹脂系	白色乳白液	約1.05 (20°C)	50CPS (25°C)	4.5~7	水に分散	36.2

* 5%希釈液 (dyn/cm)

3. 結果

結果を表-2に示す。値は乾燥後60日の値である。全般的に低減剤添加は収縮を減少させるが、重量減は低湿度下を除き増加しており収縮低減の原因が乾燥遅延ではない事がわかる。又、低減剤添加量の増加に伴い、収縮は低減するが、低減剤A使用の場合60%減と効果的には最も薄く、Eが10%程度で効果の少ない事がわかる。又、20~60%RH程度の環境での低減効果が大きいように見える。

表. 2 平衡時収縮量及び重量

RH%		A			B			C			D			E		
		0%	2%	6%	2%	6%	2%	6%	2%	6%	2%	6%	2%	6%	2%	6%
0%	MgClO ₄	489 288	381 270	316 281	388 288	337 300	430 300	355 289	400 278	331 274	474 278	444 279				
	CH ₃ COOK	278 192	153 179	120 181	176 201	155 208	237 184	140 196	175 180	126 137	263 178	265 171				
45%	KN ₂	238 121	123 132	82 151	152 136	139 156	180 139	106 157	150 128	109 113	193 123	207 126				
	Na ₂ SiO ₃	181 90	125 109	74 132	144 108	137 120	191 110	100 131	156 98	100 100	172 98	183 102				
79%	NH ₄ Cl	135 37	102 40	60 82	111 52	106 57	154 50	80 85	117 54	71 49	140 49	110 51				
	2x50% H ₂ O	80 7	30 4	29 51	41 12	35 15	89 12	49 23	48 23	25 23	56 23	38 30				
水中	(乾燥)	29	35	27	37	23	24	24	23	26	12	23				
	重量増	25	24	25	26	22	25	24	25	10	38	18				

* 収縮 (×10⁻⁴)
** 重量変化 (mg/ccペースト)

図-1 は各相対湿度と収縮の関係を示したものである。このようにコントロール供試体の収縮は、45% RH まで湿度の低下と共に増大するが、20%~45% 間で進行が停滞すること、これに対し低減剤添加の場合、E を除けば58% RH 以下20% RH までの進行が緩く、このことが特徴である。図-2 には、低減剤6%添加時の収縮Eと重量減Wの関係を描いたが、図-1 と同様の湿度範囲で重量減少の増加に拘らず、収縮の進行が少し少ないことが明確に認められるのである。

セメント硬化体の収縮は一般にその湿度領域では毛細管凝縮理論によって説明されることはいわゆる。空隙中の凝縮に対し熱力学的平衡を仮定した場合の液の表面形状、蒸気圧の関係をKelvin式で表すと、 r は主曲率半径、 R はガス定数、 T は絶対温度、 V_f は液のモル容積、 γ は表面張力とすると

$$1/r_1 + 1/r_2 = \frac{-RT}{M V_f} \ln(P/P_s) \quad (1)$$

P/P_s は相対湿度である。又、乾燥収縮の原因となる内部応力 σ_{cp} は W と残留塑性水分(体積含水率)と(2)式で求められる。

$$\sigma_{cp} = -W \frac{RT}{M V_f} \ln(P/P_s) \quad (2)$$

式(1)より、 M 、 V_f など一定とすれば細胞半径すなわちケルビン半径と表面張力とが比例する。表-3 は式(1)のセメント量2%濃度液より求めた表面張力 γ を代入して計算したケルビン半径を示す。このケルビン半径と表-2 より求めた残留塑性水分 W の関係を図-3 に示す。このようにコントロール供試体の W は一定と比べると異なるとなり計算上求めた細胞半径と低減剤添加により幾分変化することと観察される。これは(2)式で計算に用いた表面張力はケルビン空隙中の実測値ではないこと、10 Å 以上の同一半径にあっては多少の相違がなり事であるが毛細管凝縮理論が適用しうらなれば式(2)の σ_{cp} が表面張力 γ のみにより変化した乾燥収縮の結果同様比例して変化することと推定されるのである。図-4 はケルビン半径と表-3 に対応した湿度下の実測収縮量の関係を示し低減剤A、B、およびFについて示したものである。前二者についてはコントロールペーストに対し表面張力を低下させた収縮量と実測値は良く一致し毛細管理論が当てはまることと理解しうる。これに対し低減剤Fについては図-3 でも一部認められたように樹脂成分により細胞径と水和形態の変化が影響し表面張力 γ で説明できない結果を示したものである。

最後に、今後更なるセメントペースト中の水分の表面張力を求めて上記と同様の検討を行う所である。

図. 1

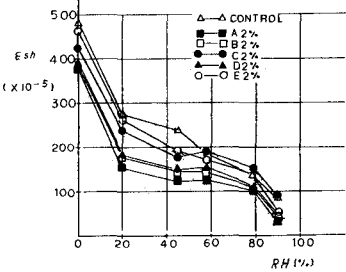


図. 2

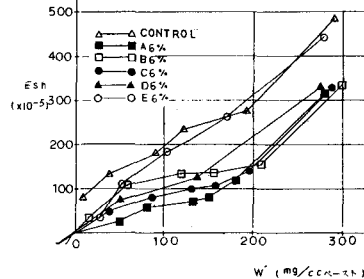


表. 3 ケルビン半径 (Å)

	CONTROL	A 2%	B 2%	C 2%	D 2%	E 2%
表面張力 (dyn/cm)	72.8	32.6	46.3	36.0	38.4	45.5
半径 (Å)	(100)	(44.8)	(63.6)	(49.4)	(52.7)	(48.8)
90	102.2	45.8	65.0	50.5	53.0	49.8
79	45.7	20.5	29.1	22.6	24.1	22.3
58	19.8	8.9	12.6	9.8	10.4	9.7
45	13.5	6.0	8.6	6.7	7.1	6.6
20	6.7	3.0	4.3	3.3	3.5	3.3

図. 3

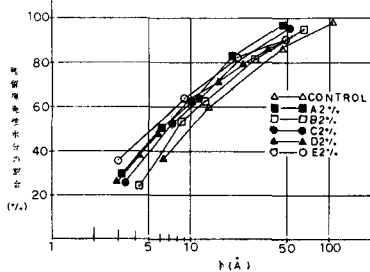


図. 4

