

## [91] 含浸法による収縮低減剤の利用

正会員 ○富田 六郎 (日本セメント中央研究所)  
城所 卓明 (日本セメント中央研究所)

### 1. まえがき

特殊な有機化合物である収縮低減剤をセメント混合物に混和すると、乾燥収縮を大幅に低減できることが実験<sup>1,2)</sup>的に確かめられている。また、その主要な機構が毛細管張力を弱めることに起因するとの説明もなされてきた。乾燥収縮がセメント硬化体中の毛細管空隙に存在する液体の表面張力の影響を受けるならば、硬化後の混合物に何らかの方法で収縮低減剤を含浸させることによっても収縮の低減を計れると考えられる。

本研究は、初期に乾燥した数種の配合のモルタル供試体に表面から収縮低減剤を含浸させて、その後の収縮性状を基礎的に検討したものである。

### 2. 実験概要

表-1 モルタルの配合(実験Ⅰ)

フロー	W/C (%)	S/C
240	4.5	1.0
	6.5	2.0

実験は2回のシリーズに分けて行った。それらの概要を以下に示す。

(a) 実験Ⅰ：表-1に示す2種のプレーンモルタルを材令1週迄水中養生後、乾燥・含浸のサイクルを3回繰り返した。乾燥期間は1週及び4週で、含浸時間は24時間とした。

3回目の含浸以降は材令2.6週迄乾燥し、その後110°Cで2日間炉乾燥した。含浸する液は収縮低減剤のほか、比較のための水及びメタノールである。また、収縮低減剤を水に置換えてセメントの4%混和したモルタルについても同様の試験を行い、含浸を行わずに連続的に乾燥する場合についても試験した。

(b) 実験Ⅱ：表-2に示す6種のモルタルを3ヶ月水中養生した後、物性の異なる2種の収縮低減剤を1回だけ一定量含浸させて収縮性状を調べた。600L/m<sup>3</sup>、5.0%の配合条件では、乾燥期間(2~7日)及び含浸量(C×1~3%)を変えて試験した。また、実験Ⅰと同様に収縮低減剤を混和したもの、及び含浸を行わないものについて比較試験を行った。

表-2 モルタルの配合(実験Ⅱ)

ベース	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
		C	W	S
5.00	5.0	61.0	30.5	130.0
	4.0	83.3	33.3	104.0
	5.0	73.2	36.6	104.0
6.00	6.0	65.2	39.1	104.0
	7.0	58.8	41.2	104.0
	7.0	50	85.4	42.7
				78.0

表-3 含浸液の物性

### 3. 試験方法

(a) 使用材料：普通セメント及び豊浦標準砂を用いてモルタルを成形した。収縮低減剤は低級アルコールアルキレンオキシド付加物を主成分とする2種類を使用した。含浸液の20°Cにおける代表的な物性を表-3に示した。

(b) 長さ変化の測定：供試体は4×4×16cmの角柱である。水中養生終了時点を基準長として、供試体両端に埋め込んだポイント間(有効長15.4mm)をダイヤルゲージ法で測定した。乾燥雰囲気はすべて20°C、60%RHである。なお、長さ変化と同時に重量を測定した。

(c) 含浸：各種の液体の含浸は、乾燥した供試体を液中に浸漬し全表面から吸水させる方法とした。含浸量は浸漬前後の重量差で管理した。実験Ⅰでは含浸時間を一定にし、実験Ⅱでは目標含浸量を定めた。含浸量が多い条件では1回の含浸で目標値に達しないものがあるため、再度若干乾燥し再び浸漬を繰り返して累加量が目標値に近付くようにした。

(d) 付随試験：収縮に対する含浸の効果を解明するため、試験後の一剖面の供試体について水銀圧入法による細孔径分布試験、顕微鏡を用いた気泡分布試験、及びモルタル中の収縮低減剤(I)の定量分析試験を行った。分析試料は図-1のように表面部、中

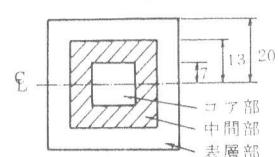


図-1 供試体の断面図

間部、及びコア部に切断したものを  $149 \mu\text{m}$  ふるい全通となるまで粉碎した。これら試料を液体クロマトグラフィを用いて定量分析した。

#### 4. 実験結果及び考察

(a) 実験 1 について: 乾燥材令 2.6 週及び 110°C 炉乾燥後の収縮を表-4 に示した。図-2 は、乾燥期間 4 週について 3 種類の液に含浸させたときの長さ変化の推移を示したものである。水の場合、乾燥期間に生じた収縮は含浸によって膨潤、回復し ( $4 \sim 7 \times 10^{-4}$ )、3 回の乾燥・含浸サイクルの間同様の挙動を繰り返す。材令 2.6 週では  $1.2 \sim 1.7 \times 10^{-4}$  となるが、乾燥途中に水の供給を受けセメントの水和が助長されるため、含浸を行わない場合より小さな収縮値を示す。メタノールの場合も水と類似した長さ変化をたどるが、表面張力が小さいため含浸による膨潤は少ない。<sup>4)</sup>

また、メタノールは硬化体空隙中に残存する水に溶解してその水の表面張力を低下させる能力を有するが、乾燥によりそれ自身が容易に逸散するため水と同程度の収縮遅延効果を現わすだけである。

これらに対し、収縮低減剤を含浸させると膨潤によって回復した収縮値を材令 2.6 週迄維持する。収縮の進行を完全に抑制する理由の 1 つとして、表層に多量の収縮低減剤が存在することで水分の逸散を抑えていることが考えられる。しかし、炉乾燥の結果をみても収縮低減剤を含浸させたものの収縮は他の場合の約半分である。水セメント比 4.5% を例にあげると、含浸を行わない場合の乾燥材令 4 週及び 2.6 週での重量減少率はそれぞれ 4.8% 及び 6.4% で、これらに対応する収縮は  $1.46 \times 10^{-4}$  及び  $2.18 \times 10^{-4}$  である。一方、収縮低減剤を含浸したもののが乾燥後は重量減少率 7.7% に対し収縮は  $1.29 \times 10^{-4}$  である。このように、残留する水分が少ないとかかわらず収縮が小さいことから、硬化体内に残存する収縮低減剤の表面張力低下機能が収縮に大きな影響を及ぼすと考えることができる。なお、収縮の主因が毛細管張力であると残留揮発水量が収縮と弾性係数との積に比例することになるが、収縮低減剤の有無を比較しても明確な差がみられなかった。<sup>5)</sup>

収縮低減剤を含浸させた場合の長さ変化を含浸させないものと比較して図-3 に示した。また、水セメント比 4.5% について対応する重量変化を図-4 に示した。収縮と重量を対比してみると、含浸と混和とで相当に異なる傾向を示している。乾燥期間 4 週の場合、材令 2.6 ( $\sim 10^{-4}$ ) 週での重量減少率は

含浸前より小さい。

このため含浸後にほどんど収縮が生じない量減少すると考えられ、逆に乾燥期間 1 週のよう量減少が生じると収

表-4 菲模収縮試験結果(実験 1)

種類	含浸液	乾燥期間(週)	材令 2.6 週		110°C 炉乾燥	
			4.5%	6.5%	4.5%	6.5%
ブレント	無	—	—	—	2180	1610
	低減剤	4	922	760	1286	974
	—	1	874	357	1208	675
	水	4	1734	1519	2442	1922
	—	1	1669	1182	2468	1688
	メタノール	4	1792	1435	2636	1935
4%	メタノール	1	1628	1162	2351	1630
	無	—	1058	1169	1558	1506
混和	低減剤	4	461	422	942	675
	—	—	—	—	—	—

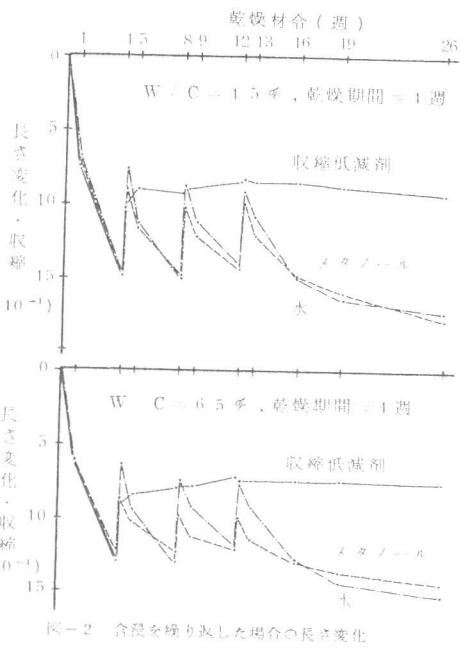


図-2 含浸を繰り返した場合の長さ変化

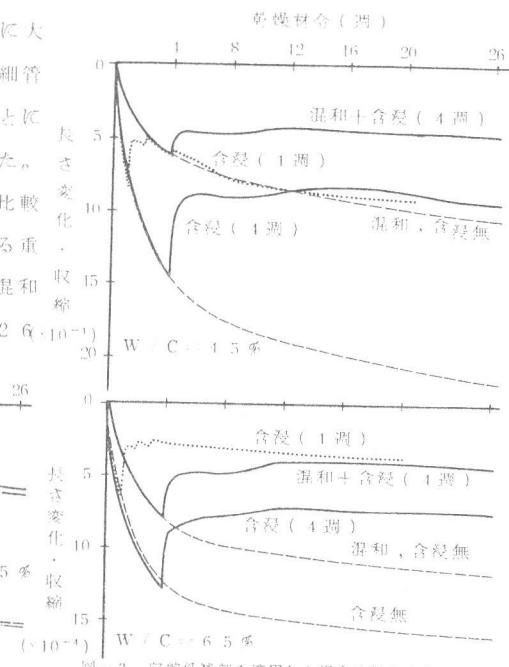


図-3 収縮低減剤を適用した場合の長さ変化

図-4 収縮低減剤を適用した場合の重量変化

縮が増加するのであろう。水セメント比4.5%で乾燥期間1週の場合、図-5に示す収縮低減剤の分布にみられるようにコア部分には収縮低減剤が存在せず、中間部の量も表層部より少ないのである。また、乾燥期間4週の場合と細孔構造に大きな違いがない（表-5参照）こと等から、含浸の程度が異なることも収縮の傾向が違う理由の一つと考えられる。実験Iでは含浸量が相当に多いため、図-6に含浸量と収縮の関係を示し混合の場合と効果を比較した。その結果供試体中に存在する収縮低減剤量（混合、 $\text{a}(\text{C})$ あるいは含浸させた収縮低減剤は一切失われていないと仮定した）と収縮には一定の関連性がみられる。しかし、含浸させる場合には1回目の乾燥期間の影響が大きく、また硬化体の空隙構造も深く係わっていることが分る。

乾燥期間1週の結果を4週の場合と比較すると、乾燥・含浸に伴う収縮挙動は同じ傾向を示すが、水セメント比4.5%では含浸量が約半分で収縮量が同程度、6.5%では含浸量が4週乾燥の約7.5%であるにもかかわらず収縮が $3 \sim 4 \times 10^{-4}$ 少ないのである。このように初期に生じる非回復性のひずみが最終的な収縮量に直接影響を及ぼしている。

水セメント比の違いは表-5及び図-7の細孔径分布にみられる。表-6には顕微鏡で直接測定した空気量、水分が逸散しても収縮応力が起らないと考えられる $430\text{\AA}$ 以上の空隙での隙、及び $7.5 \sim 430\text{\AA}$ の半径の細孔容積を示した。収縮低減剤の含浸量が容積比で7~19%であることから、 $430\text{\AA} (x10^{-4})$  $\text{\AA}$ 以上の空隙だけでなく、収縮応力を発生するそれ以下の径

の空隙にも収縮低減剤が存在することは容易に想像がつく。また、硬化体内部で水と収縮低減剤の置換が起ると考えれば、 $7.5\text{\AA}$ 以上の空隙量と収縮低減剤の容積含浸率がそれほど違わないことから、大きな収縮応力を発生する微細孔に迄相当量の収縮低減剤が浸透していることが推察できる。硬化体の空隙構造はさらに複雑なものであらうが、表-6等で明らかのように粗大な空隙がより多い水セメント比の大きいモルタルでは、収縮応力に関与しない空隙中に収縮低減剤が多く分布するため収縮低減効果が小さくなると考えられる。

(b) 実験IIについて：単位ベースト量 $6.00\text{L/m}^3$ 、水セメント比5.0%の配合について、乾燥期間及び含浸量を変えて行った収縮試験結果を混合した結果と対比して図-8に示した。材令20週では混合した場合と比較して収縮低減効果は若干小さいが、炉乾燥した場合同等の使用量において収縮低減剤Iを混合したものと同程度の収縮となつた。しかし、収縮低減剤を混合した場合の重量減少率はブレーンより大きいのに対し、含浸させた場合ブレーンより重量減少率が若干小さいという違いもあり、混合と含浸の収縮低減機構がまったく同じであるとは言い切れない要因もある。

単位ベースト量を同一とした水セメント比の異なるモルタルに収縮低減剤を含浸させた結果を図-9に示した。水セメント比が大きいモルタルほど含浸量が多い傾向があるため、表-7に示す収縮低減剤の分析結果を用いて詳細な検

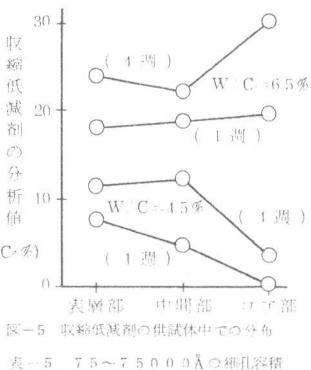


表-5  $7.5 \sim 75000\text{\AA}$  の細孔容積

種類	細孔容積 ( $\text{m}^3/\text{g}$ )	
	4.5%	6.5%
含浸無	0.06094	0.08883
含浸(4週)	0.04039	0.07441
含浸(1週)	0.04140	0.07144

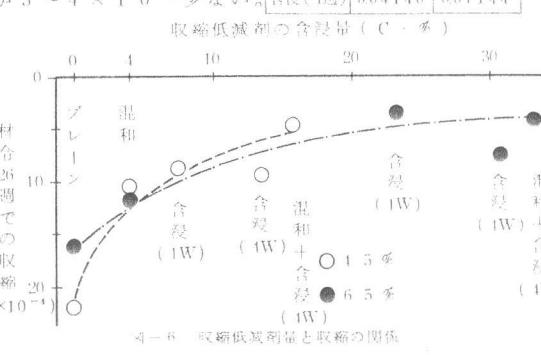


図-6 収縮低減剤量と収縮の関係

表-6 含浸供試体の空隙量

W/C (%)	乾燥期 間(w)	空気量 (%)			細孔容 積(%)	細孔容 積(%)	低減剤 量(V <sub>0</sub> %)
		4.5	6.5	6.5			
4.5	4	0.8	0.8	7.1	1.32	7.5 ~ 75000\AA の細孔容積 $\times 10^{-4}$	7.5 ~ 430\AA の細孔容積 $\times 10^{-4}$
	1	0.8	1.6	6.5	7.3		
6.5	4	3.0	8.7	5.2	1.88	7.5 ~ 75000\AA の細孔容積 $\times 10^{-4}$	7.5 ~ 430\AA の細孔容積 $\times 10^{-4}$
	1	3.0	5.9	7.5	1.60		

\*  $430 \sim 75000\text{\AA}$  の細孔容積

\*\*  $7.5 \sim 430\text{\AA}$  の細孔容積

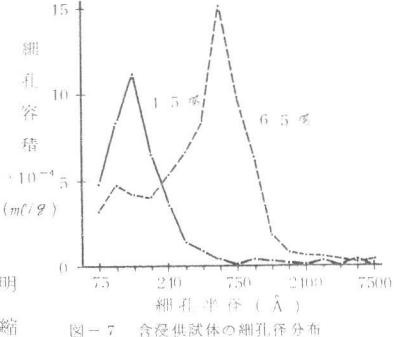


図-7 含浸供試体の細孔径分布

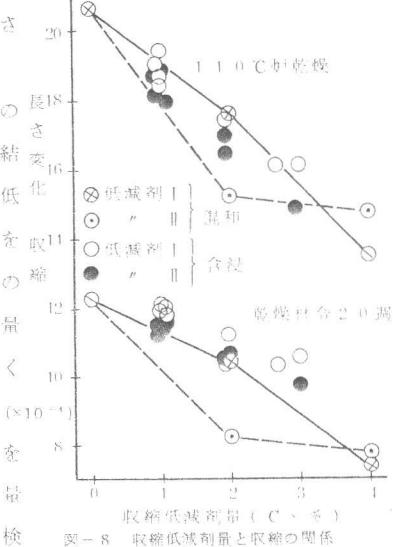


図-8 収縮低減剤量と収縮の関係

討をした。各部の分析値をみると表層部に集中して存在しているが、供試体全体としての含浸量を加重平均で求め、また1体のモルタルに吸収されている収縮低減剤の総量を求め表-7に併記した。これらから収縮低減剤を1%含浸させたことに相当する収縮低減効果を求め表-8にまとめた。材令20週では40~60%の間で水セメント比による違いに一定の傾向はなく、乾燥の場合水セメント比が大き

表-7 収縮低減剤の分析結果 (C × %)

W/C (%)	表層部	中間部	コア部	加重 平均値	1体当 りの含 浸量(g)
4.0	1.38	0.08	0.03	0.80	5.4
5.0	1.72	0.03	0.07	0.97	7.3
6.0	2.09	0.64	0.09	1.39	1.4
7.0	2.07	0.50	0.11	1.59	1.4

くなるほど効果が小さくなる傾向がみられる。また、表-8 今後による取扱い被曝効果(%)

水セメント比7.0%で収縮低減効果がみられない等全体としては水セメント比が小さく粗大な空隙の少ないモルタルに収縮低減剤を含浸させることがより適切といえるが、明確な結論を下すにはさらに詳細な検

七九卷之二 第一章 W/G 藥理社會學調

W/C (%)	乾燥糞糞 20週			110℃乾燥糞糞		
	取縮出率	減燃効果	取縮出率	減燃効果	取縮出率	減燃効果
40	90.2	123	80.9	23.9		
50	89.8	105	80.7	19.9		
60	86.6	124	81.6	17.1		
70	101.4	—	100.6	—		

討が必要であろう。また、緻密なモルタルほど収縮低減剤の含浸が容易でないという問題がある。

同一水セメント比の場合、単位ペースト量の影響は図-10に示すようで、含浸量に若干のばらつきはあるものの平均的にみれば同等の収縮低減効果を示している。

5 結論

硬化後のモルタル供試体に表面から収縮低減剤を含浸させたときの、その後の乾燥に伴う収縮挙動を基礎的に検討した。その結果、練りませ時に混和しないで硬化後に収縮低減剤を含浸させても乾燥収縮を低減できることが分った。本研究で得られた要旨をとりまとめると、概略下記のとおりである。

相当程度乾燥の進んだモルタルに多量の収縮低減剤を含浸させると、膨潤により収縮が大幅に回復する。その後乾燥を続けても含浸前に生じただけの重量減少率に達する迄収縮は進行しない。すなわち、含浸前の乾燥期間に生じる非回復性の収縮の影響が大きく現われる。そこで比較的早い材令で収縮低減剤を含浸させると、最終的な収縮量を一層低いレベルに抑えることができ、同一含浸量に対する収縮低減効果も大きくなる。また、水セメント比が小さいものほど含浸の効果は大きくなる。以上のような収縮低減作用は、収縮低減剤を混和した場合と同様に空隙中に残存する水の表面張力低下機能が関与していると考えられる。

早期材令でセメントに対して3%迄の範囲で少量含浸させた結果によると、混和した場合と同等か若干小さい収縮低減効果を示す。また少量含浸させた場合には水セメント比の影響はそれほど顕著ではないが、緻密な構造を有するモルタルに収縮低減剤を含浸させることはより効果的といえよう。

なお、本研究のうち実験Ⅰの大半は、浅野工学専門学校 本間任氏（現アサノコンクリート社勤務）が筆者の指導により卒業研究として実施したものである。多大な御協力を戴いたことに対し、誌上を借りて御礼申し上げる。

## 参考文献

- (1) 富田六郎, 後藤孝治, 酒井公式, 茂庭孝司「収縮低減剤を用いたコンクリートの乾燥収縮およびひびわれに関する実験研究」第5回コンクリート工学会発表会演説論文集 1983年
  - (2) 富田六郎, 佐田邦夫, 増所卓明「収縮低減剤を用いたコンクリートの乾燥収縮性状」セメント技術年報 第37 1983年
  - (3) 佐藤健, 後藤孝治, 酒井公式「セメント硬化体の乾燥収縮を低減する有機質混和剤の作用機構」セメント技術年報 第37 1983年
  - (4) 大岸作吉, 小野博宣, 柳橋勇「数種の建設材料の強度と膨潤に及ぼす界面エネルギーの影響」材料 Vol.32 No.3 1983年2月
  - (5) 庄谷征美, 米谷裕, 保坂悟「養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化と乾燥収縮の性状、機構との関連性について」秋田高専研究紀要 第17号 1982年2月
  - (6) 長巻重義, 米倉典志「コンクリートの乾燥収縮およびクリープの機構に関する考察」コンクリート工学 Vol.20 No.12 1982年12月

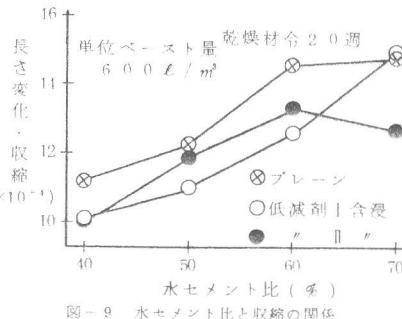


図-9 水セメント比と収縮の関係

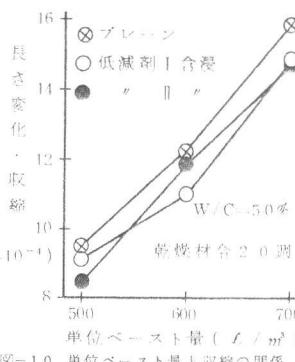


図-1-9 標位ベニスト根と収縮の関係