

論文 ポリマー含浸シリカフュームモルタルの定盤としての利用に関する研究

小林忠司*1・前田直己*2・米田正彦*3・三浦智*4

要旨：シリカフュームモルタルを寸法検査やけがき用の定盤として応用するためには、力学的性質の改善と共に、その経時的な寸法安定性を高める必要があり、本研究では、メタクリル酸メチルまたはアルキルアルコキシシランの含浸の効果を検討した。その結果、メタクリル酸メチルを含浸したシリカフュームモルタルは、強度及び弾性係数が大きく、乾湿や加熱冷却の繰り返しを受けても寸法安定性に優れており、定盤としての利用の可能性はある。アルキルアルコキシシランでは、経時的な寸法変化が生じることなどが分かった。

キーワード：定盤、ポリマー含浸、シリカフューム、寸法安定性、メタクリル酸メチル

1. はじめに

定盤は、工作物の寸法検査やけがき用の基準面として用いられる精密な平面をもったブロックであり、一般には花崗岩・はんれい岩などの石材、鋳鉄、セラミックスで作られている。石定盤においては、その原石のほとんどを輸入に依存しており、また寸法の大きいものや複雑形状をもった定盤の製造は、石材の内部欠陥の存在や加工費の点から困難な状況となっている。

シリカフュームコンクリート（モルタル）は、極めて高強度が得られ、普通コンクリートに比べて透水性、クリープなどが小さく^{1),2)}、型枠次第で自由形状が造れることから、石定盤の代替品としての利用の可能性が考えられる。しかしながら、乾燥収縮やクリープなどは当然免れえない現象であり、これが定盤の面精度に悪影響を与えることが予想される。

本研究では、シリカフュームモルタルに、メタクリル酸メチルまたはアルキルアルコキシシランを含浸させることによって、その力学的性質並びに寸法安定性の向上を図り、定盤としての

利用の可能性を検討するものである。

2. 使用材料

シリカフュームモルタルには、普通ポルトランドセメント、ノルウェー産シリカフューム、岩手県米里産砕砂（粒径：1.2mm以下または5mm以下、比重：2.78）、ナフタレンスルホン酸ホルマリン高縮合物塩系高性能減水剤を使用した。1種類の配合には、シリカフュームモルタルの自己収縮を低減させるために、市販の石灰系膨張材を混和した。シリカフュームの性質は、表-1に示す通りである。

含浸材には、2,2'-アゾビスイソプロピロニトリルを1%及びγ-メタクリロキシプロピルトリメトキシシランを1%添加したメタクリル酸メチルモノマー（MMA）、並びにアルキルアルコキシシラン系防水剤（AAS）を使用した。

表-1 シリカフュームの性質

Chemical composition (%)								Particle size (μm)	Specific surface area (m ² /g)
SiO ₂	C	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃		
89.6	1.92	1.30	0.87	0.48	2.15	2.22	0.62	0.13-0.16	15-20

*1 (株)前田先端技術研究所 研究第一部部長 工博 (正会員)

*2 前田製管(株) 取締役社長

*3 (株)前田先端技術研究所 研究第一部 コンクリートチーム 主任研究員

*4 (株)前田先端技術研究所 研究第一部 コンクリートチーム 研究員

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

定盤には、力学的な性能面だけでなく、花崗岩等に類似したテクスチャーも求められることから、研削後の表面に粗骨材が露出しないように、本研究ではモルタルにて試験を行った。モルタルの配合を表-2に、供試体寸法、養生方法などの試験の概要を表-3に示す。フロー値が 200 ± 10 になるように調製したモルタルを、テーブルパイプレータで型枠に充填し、練り混ぜから24時間後に蒸気養生を行った。続いて、モルタルの乾燥収縮を最小限にするために、また含浸前の乾燥処理によるひび割れを抑制するために、オートクレーブ養生を行って基材モルタルを作製した。

未含浸モルタルの場合を除いて、基材モルタルを 150°C で72時間乾燥させ、室温まで冷却してから次の含浸操作を行った。この含浸操作の前後の質量から、ポリマー含浸率を求めた。

(1) MMAの含浸

基材モルタルを真空容器に入れ 13hPa 以下で1時間脱気した後、容器に含浸材を注入して、大気圧下で18時間浸せきした。その後 80°C の温水中で4時間加熱重合を行った。

(2) AASの含浸

はけを用いて、基材モルタルにAASを塗布した。1回目の塗布後にモルタル表面が乾いたら2回目を塗布するものとし、計5回の塗布を行った。

それぞれのモルタルは、材齢14日まで 20°C - $50\% \text{R.H.}$ に放置してから各試験に供した。

なお、本研究では、加圧含浸は行っていないことから、供試体の全断面への含浸は不可能であり、供試体の断面が大きくなれば、表層のみの部分含浸となる。そこで、シリーズBの試験では、強度及び長さ変化に及ぼす供試体寸法の

表-2 シリカフェームモルタルの配合

Mix No.	W (C+E) (%)	SF (C+E) (%)	Unit weight (kg/m^3)					Water-reducing agent	Expansive additive E
			Water W	Cement C	Silica fume SF	Sand			
A10	30	10	237	791	79.1	1251*	8.99	-	
A20	30	20	220	733	147	1251*	15.4	-	
B10	30	10	202	672	67.2	1529**	8.48	-	
B20	30	20	188	626	125	1529**	11.8	-	
B20-E	30	20	188	570	125	1529**	11.8	56.0	

Notes: * 1.2mm or finer, sand volume of 45%
** 5.0mm or finer, sand volume of 55%

表-3 試験の概要

Series of test	Mix No.	Specimen size (mm)	Curing method	Impregnant	Test	
					Item	No. of specimen
A	A10 A20	140x160x40	80°C-4h steam +	MMA AAS Nil	Polymer loading	3
					Compressive strength	3
					Length change (50%R.H. and 85%R.H.)	2
B	B10 B20 B20-E	40x40x160	180°C-4h autoclave	MMA Nil	Polymer loading	3
		60x60x240			Polymer depth	3
		100x100x400			Flexural strength	3
					Length change (50%R.H.)	2
C	A10	300x300x80		MMA Nil	Flatness change (80°C and -30°C)	1

影響を検討した。

3.2 強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて行い、同時に、ワイヤストレインゲージにて縦ひずみを測定し、強度の1/3における応力にて割線弾性係数を求めた。

曲げ強度試験は、JIS R 5201並びにJIS A 1106に準じて行った。また、曲げ試験後の断面で黒っぽく変色した部分を測定して、これをポリマー含浸深さとした。

3.3 長さ変化試験

JIS A 1129に準じて、図-1に示すように長さ変化を測定した。シリーズAの試験では、 20°C - $50\% \text{R.H.}$ で12日間乾燥と 20°C - $85\% \text{R.H.}$ で

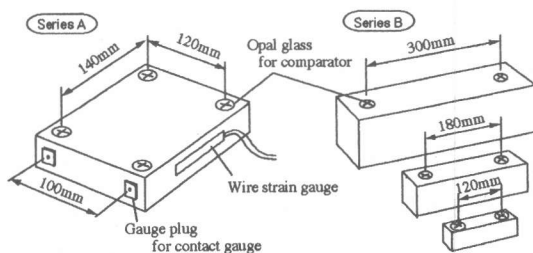


図-1 長さ変化測定方法

2日間湿空を繰り返し受ける状態で、コンパレータ法とコンタクトゲージ法、更にひずみゲージにより長さ変化を測定した。シリーズBの試験では、20℃-50%R.H.の乾燥を受ける状態で、コンパレータ法により長さ変化を測定した。

3.4 加熱冷却試験

シリーズCの試験では、モルタル表面を平面研削盤で研削した模擬的な小型定盤を作製して、加熱冷却試験前後の平面度の変化を調査した。[80℃ 2時間～常温約半日～-30℃ 2時間～常温約半日]を1サイクルとして、これを3サイクル行い、JIS B 7513に準じ、電気水準器を用いて測定ピッチ25mmで平面度を測定した。この試験に限り、蒸気養生処理のみの供試体も評価した。

4. 試験結果及び考察

4.1 乾湿繰り返しの影響

図-2及び図-3には、ポリマー含浸したモルタル(MMA, AAS)及び未含浸のモルタル(Normal)の圧縮強度並びに弾性係数を示す。シリカフューム混和率10及び20%のいずれにおいても、MMAを含浸することによって、モルタルの圧縮強度及び弾性係数は増大する。AASを含浸した供試体では、圧縮強度は若干増大するものの、弾性係数は減少を示している。これは、AASの影響ではなく、含浸前にモルタルを72時間乾燥したことに起因するものと推察される。MMAにおけるポリマー含浸率は、モルタルの細孔構造の影響が現われたものと考えられるが、シリカフューム混和率の小さい10%の方が、ポリマー含浸率は大きいと共に、圧縮強度も大きい。

図-4及び図-5には、コンパレータ法で測定した乾湿繰り返し条件下におけるモルタルの長さ変化を示す。長さ変化挙動はモルタルの処理方法によって異なり、未含浸モルタルは収縮傾向にあるが、AAS含浸モルタルは膨張傾向を示している。この傾向はシリカフューム混和

率が異なっても同様である。一般に、AASは水蒸気や気体の透過性のあることが知られており³⁾、また含浸前には供試体を強制乾燥していることから、湿度50%R.H.の低湿度においても、AAS含浸モルタルは吸湿して膨張を示すものと推察される。未含浸モルタルの場合には、湿度50%R.H.で乾燥による収縮、湿度85%R.H.で吸湿による膨張を繰り返しながら、全体的には収縮傾向が現われている。このような長さ変化挙動は、ミクロンオーダーの平面度が要求される定盤にとっては、好ましくない性状である。

一方、MMAを含浸したモルタルにおいては、乾湿繰り返し条件下においても膨張や収縮を示さず、寸法安定性に優れていることが認められる。一般に、ポリマー含浸コンクリート(モルタル)では、モノマーが重合してポリマーになる際に収縮するため、ポリマー相には引張応力、基材相には圧縮応力が生じる。従っ

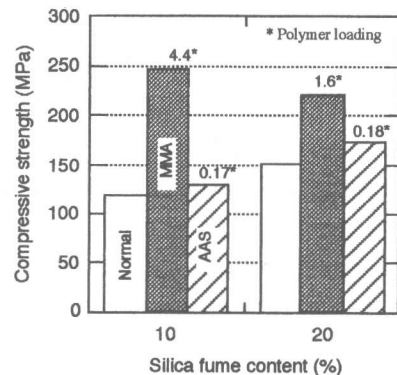


図-2 各種処理モルタル圧縮強度

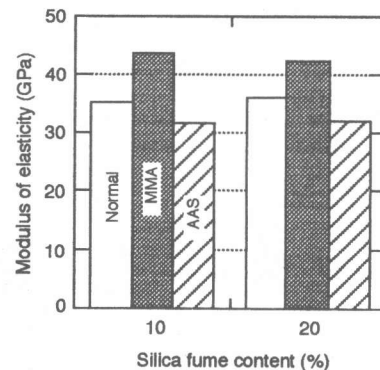


図-3 各種処理モルタルの弾性係数

て、含浸後にはそれらの応力がリラクゼーションによって低下し、それに応じた弾性もどりが現われる⁴⁾ことから、ポリマー含浸コンクリートは低温保存でも膨張を示すことが多い。しかしながら、本研究の保存期間96日以内では、そのような膨張はほとんど認められない。これは、基材であるシリカフェームモルタルの空隙率が小さく、ポリマー含浸率が低いことに起因するものと考えられる。

なお、ひずみゲージ法及びコンタクトゲージ法においても、上述と同様の結果を得ている。

4.2 供試体寸法の影響

図-6及び図-7には、MMAを含浸したモルタルのポリマー含浸率並びに曲げ強度に及ぼす供試体寸法の影響を示す。本研究でのポリマー含浸深さは、供試体寸法にかかわらず、シリカフェーム混和率10%で20~25mm、混和率20%で6~10mmであった。従って、シリカフェーム混和率10%の40x40x160mmの供試体以外は、表層部のみの部分含浸である。このことから、ポリマー含浸率は、供試体寸法が大きい程小さくなっている。曲げ強度に関しては、供試体の寸法効果も考えられるが、このポリマー含浸率に起因して、供試体寸法が大きいほど曲げ強度は小さい。また、前述の結果と同様、ポリマー含浸率はシリカフェーム混和率に影響される

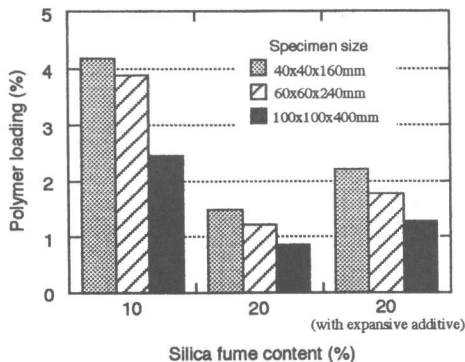


図-6 ポリマー含浸率と供試体寸法の関係

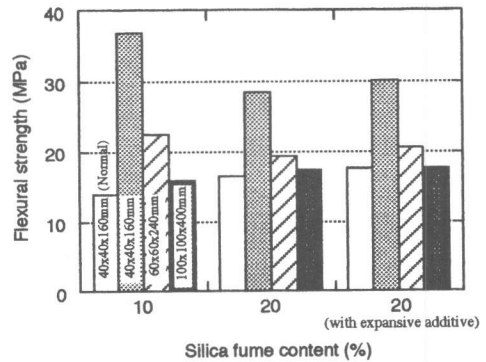


図-7 曲げ強度と供試体寸法の関係

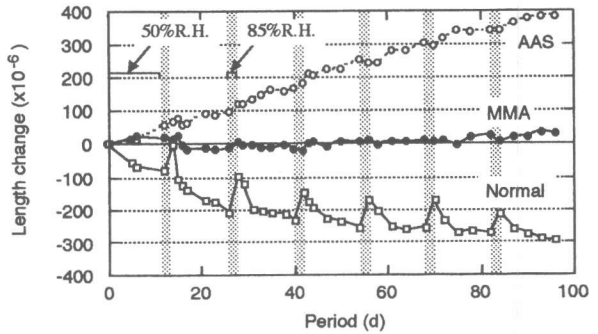


図-4 各種処理モルタルの長さ変化 (シリカフェーム10%混和)

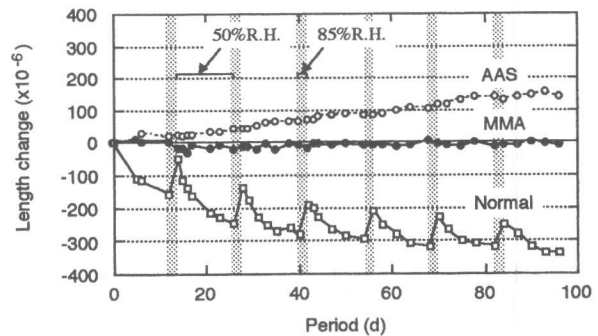


図-5 各種処理モルタルの長さ変化 (シリカフェーム20%混和)

が、同じシリカフェーム混和率でも、膨張材を混和したモルタルは、無混和よりも空隙率が大きい理由からか、ポリマー含浸率は大きく、曲げ強度も若干であるが大きい。

図-8から図-10には、20℃-50%R.H.におけるモルタルの長さ変化に及ぼす供試体寸法の影響を示す。当然のことながら、未含浸モルタル

ルでは乾燥収縮が現われている。この収縮量は、オートクレープ養生しているために、通常のもルタルと比較すると余り大きくない。MMA含浸もルタルでは、いずれの寸法においても若干の膨張が認められるものの、その長さ変化量は、未含浸もルタルよりも相当に小さい。このMMA含浸もルタルの膨張は、吸湿によるものと考えられ、寸法の大きい供試体ほど大きい傾向にある。730日後の質量変化は、未含浸もルタルで1.2~1.4%減少、MMA含浸もルタルで0.03~0.09%増加である。シリカフェーム混和率及び膨張材の有無がもルタルの長さ変化に及ぼす影響はほとんど認められない。

4.3 加熱冷却の影響

表-4には、加熱冷却試験前後のもルタル供試体の平面度を示す。未含浸もルタルの平面度の変化量はオートクレープ養生で1.3 μ m、蒸気養生のみで3.8 μ mであるが、MMA含浸もルタルでは-0.7~-0.1 μ mである。測定精度上、0.5~1.0 μ m程度の平面度の変化は、測定誤差と考えられることから、ポリマー含浸した供試体では平面度がほとんど変化していないものと判断できる。オートクレープ養生した供試体も、蒸気養生の供試体に比べれば、平面度の変化は小さい。蒸気養生のみの供試体は、加熱冷却後には、上に凸の状態に変形したが、これは乾燥収縮が大きいことに加えて、打設時に生じたわずかな材料分離によって、供試体の上面（型枠側）と底面（打設側）のひずみ量が異なったことに起因する変形であると推察される。

5. 定盤の試作

試作した定盤は、フロッピーディスクの検査用機械の内部に組み込まれるもので、**写真-1**に示すように、5箇所の孔と2箇所の溝があり、外寸法は600x225x75mm

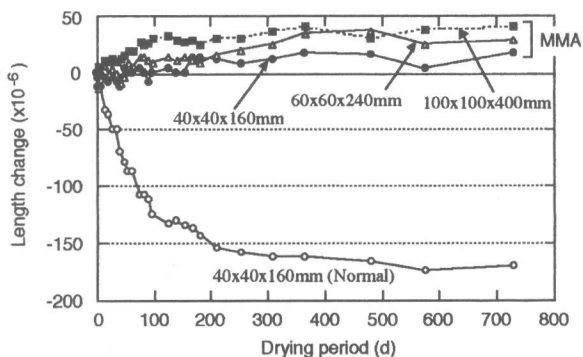


図-8 各供試体寸法のもルタルの長さ変化 (シリカフェーム10%混和)

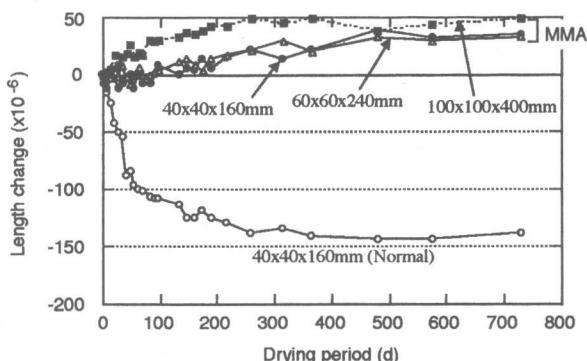


図-9 各供試体寸法のもルタルの長さ変化 (シリカフェーム20%混和)

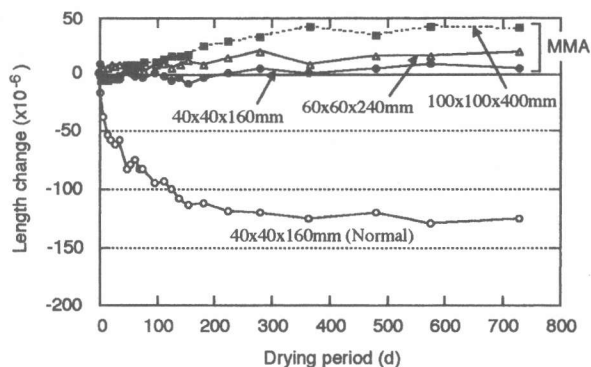


図-10 各供試体寸法のもルタルの長さ変化 (シリカフェーム20%、膨張材混和)

表-4 加熱冷却試験前後の平面度の変化

Type of Specimen	Flatness (μ m)		Flatness change (μ m)	
	Before thermal test	After thermal test		
MMA	1	8.5	8.4	-0.1
	2	9.5	8.8	-0.7
Normal	Autoclave cure	10.2	11.5	1.3
	Steam cure	7.5	11.3	3.8*

Note: * Upward convexity

である。また定盤の上面及び側面には金属製インサートが多数埋め込まれ、これらのインサートは導電性を持たせるために、それぞれがモルタル内部で接続されている。このような定盤を石材で作るには、極めて困難な加工が要求されるが、モルタルの場合には、型枠にあらかじめインサート類を取り付けておくことで、容易に成形できることが大きなメリットである。

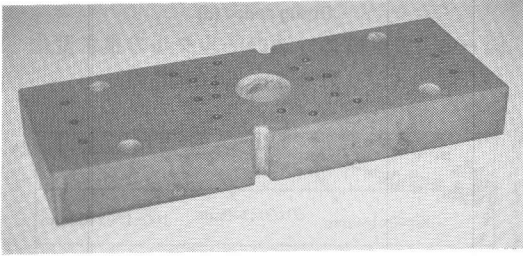


写真-1 試作定盤

5.1 モルタルの打設

研削後のモルタル表面には気泡の無いことも定盤としての一条件であることから、図-11に示すように、真空ミキサでモルタルを練り混ぜると共に、鋼製型枠を真空チャンパー内に入れ、ミキサから接続したパイプを通して、減圧下(80hPa以下)でモルタルを打設した。

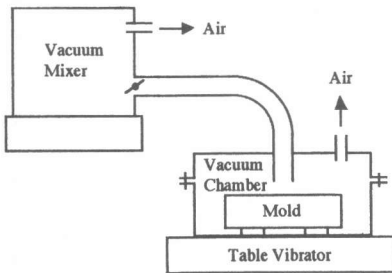


図-11 モルタルの打設方法

5.2 養生と含浸処理

打設から18時間後に、前述の試験と同様の操作で、蒸気養生、次いでオートクレーブ養生を行い、冷却後にMMAのポリマー含浸を行った。オートクレーブ養生によって、ポリマー含浸前の150℃乾燥処理において発生する亀甲状の微細ひび割れを抑制することができるが、寸

法の大きい定盤では、熱応力によると考えられる別のひび割れが金属製インサート周辺に発生することが多かった。このようなひび割れを抑制するために、昇温・降温速度などの養生条件の検討が今後必要である。

5.3 平面研削

JIS 2級(17 μ m以下)の平面度になるよう平面研削盤を用いて、モルタルの表面を研削した。型枠の寸法精度を向上させたとしても、オートクレーブ養生やポリマー含浸の過程でモルタルが変形することから、定盤としての平面度を得るために、ポリマー含浸後の研削は必要である。

6. 結論

- (1) メタクリル酸メチルモノマーを含浸したシリカフェームモルタルは、強度及び弾性係数が大きく、乾湿や加熱冷却の繰り返しを受けても寸法安定性が良好であり、定盤としての利用の可能性はある。
- (2) アルキルアルコキシシランの含浸では、水蒸気透過性に起因して、シリカフェームモルタルは経時的な寸法変化を生じる。
- (3) オートクレーブ養生時に微細ひび割れが発生しやすいこと、定盤としての平面度の長期的な把握などは今後の検討課題である。

参考文献

- 1) Houde, J., Prezeau, A. and Roux, R. : Creep of Concrete Containing Fibers and Silica Fume, American Concrete Institute SP-105, pp.101-118, 1987
- 2) Gjorv, O.E. : Durability of Concrete Containing Condensed Silica Fume, American Concrete Institute SP-79, pp.695-708, 1983
- 3) 大濱嘉彦 : 鉄筋コンクリート構造物の劣化対策技術, テクノシステム, pp.88-101, 1996.1
- 4) 小林一輔, 田澤栄一 : 最新コンクリート技術選書 繊維補強コンクリート・ポリマーコンクリート, 山海堂, pp.126-128, 1980. 4