収縮低減剤を塗布したセメントモルタルの乾燥収縮[†]

出 村 克 宣* 大 濱 嘉 彦*
森 川 雅 司** 阿 知 波 政 史***

Drying Shrinkage of Cement Mortars Treated with Shrinkage-Reducing Agents

by

Katsunori DEMURA*, Yoshihiko OHAMA*, Masashi MORIKAWA**
and Masafumi ACHIWA***

Cement concrete and mortar have some disadvantages such as low tensile strength, large drying shrinkage and low extensibility. Cracks frequently occur in various concrete structures and mortar walls. In particular, the large drying shrinkage is the most important factor affecting crack formation. Recently, surfactant-type shrinkage-reducing agents for concrete and mortar have been developed in Japan. The shrinkage-reducing agents (SRA) are not only added to fresh concrete and mortar, but also applied on hardened concrete and mortar surfaces. However, the effectiveness of SRA treatments for thin mortar walls in wooden buildings has not been reported till now. The purpose of this study was to make clear the effect of drying shrinkage reduction on the thin mortar by treating with SRA. Mortar specimens with or without SRA were prepared with thicknesses of 10, 20 and 40 mm, and covered with an epoxy resin paint except for one side of each specimen. Then four types of SRA were treated at coverage rates of 100 and 300 g/m² on the surfaces of the mortar specimens without SRA, and the penetration depth of SRA was measured. The drying shrinkage of the mortar specimens was also measured up to 364 days of dry curing periods. The conclusions obtained from the test results are summarized as follows:

- (1) The drying shrinkage of the mortars is considerably reduced by treating with the shrinkage-reducing agents, and depends on the coverage rate of the agents and the thickness of the mortars. The drying shrinkage can be predicted as a function of the coverage rate.
- (2) The effectiveness of the shrinkage-reducing agent treatments increases with increasing coverage rate of the agents and with decreasing thickness of the mortars.
- (3) On the basis of the above results, the shrinkage-reducing agent treatments are applicable to reduce the drying shrinkage of the finishing mortars troweled on the metal lath bases of wooden buildings.

Key words : Drying shrinkage, Shrinkage-reducing agent, Coverage rate, Mortar, Penetration depth, Mortar thickness

1 緒 言

セメントコンクリートおよびモルタルは、施工後の乾燥に伴い収縮し、その伸び能力を越える収縮が生じた場合には、ひび割れが発生する。これは、鉄筋コンクリート構造物、モルタル壁などの漏水の原因となるばかりではなく、外壁の美観を著しく損い、鉄筋コンクリート構造物の場合には、水分や気体の透過を容易にし、鉄筋の腐食を促進させ、鉄筋コンクリート構造物の耐久性に大きな影響を及ぼす。

古くから、セメント系材料の乾燥収縮機構に関しては、多くの研究が行われており、今日では、通常の環

境下におけるその乾燥収縮の主要因は、包含される水分の表面張力に起因するという毛細管張力理論が定説となっている¹⁾。そのため、現在、市販されている界面活性剤系収縮低減剤の乾燥収縮低減機構は、そのほとんどが、包含される水分の表面張力を低下させるものである。一般に、収縮低減剤は、セメントコンクリートおよびモルタルの練り混ぜ時に混入されるが、セメントコンクリートおよびモルタルの硬化後にそれを塗布含浸させた場合でも、その乾燥収縮を低減することができるといわれている^{2),3)}。しかしながら、これらの研究は、鉄筋コンクリート構造物の外壁などに生じる乾

[†] 原稿受理 昭和63年11月2日 Received Nov. 2, 1988

* 正 会 員 日本大学工学部 郡山市田村町, College of Engineering, Nihon University, Tamura-machi, Koriyama

** 学生会員 日本大学大学院 郡山市田村町, Graduate Student, Nihon University, Tamura-machi, Koriyama

*** 東亜合成化学工業(株)研究所 名古屋港区船見町, Toagosei Chemical Industry Co., Ltd., Funami-cho, Minato-ku, Nagoya

Table I. Properties of cement.

Specific gravity	Blaine's specific surface area (cm ² /g)	Setting time		Soundness	MgO (%)	SO ₃ (%)	ig. loss (%)	Compressive strength of mortar (kgf/cm ²)		
		Initial set (h-min)	Final set (h-min)					3d	7d	28d
3.16	3280	2-26	3-31	Good	1.3	1.7	0.7	139	242	424

燥収縮ひび割れを対象としたものが多く、セメントモルタルの代表的な用途の一つである左官工法を対象としたものは、ほとんど見当たらないのが現状である。

本研究では、左官工法、特に、下地からの水分の供給がない、木造建築物におけるラス下地の上に塗装されるモルタル壁の施工を想定した。3種類の厚さを持ち、一面のみを残してシールし、シールしていない面に各種収縮低減剤を塗布したモルタルおよび、収縮低減剤を混入した同様のモルタルについて、乾燥材令1年までの乾燥収縮を測定する。その結果より、モルタルの乾燥収縮に及ぼす収縮低減剤の塗布量およびモルタルの厚さの影響並びに収縮低減剤の混入効果について検討すると共に、モルタルの乾燥収縮低減策としての収縮低減剤塗布工法の有効性について検討している。

2 使用材料

2・1 セメントおよび骨材

セメントには、普通ポルトランドセメントを、骨材には、豊浦標準砂を使用した。セメントの性質を Table I に示す。

2・2 収縮低減剤

収縮低減剤 (SRA) には、低級アルコールアルキレオンオキシド付加物系 (SRA-1)、グリコールエーテル系 (SRA-2)、ポリオキシエチレンポリオキシプロピレンモノアルキルエーテル系 (SRA-3) およびポリプロピレングリコール系 (SRA-4) の4種類の市販品を用いた。収縮低減剤の性質を Table II に示す。

3 試験方法

3・1 供試体の作製

セメント：豊浦標準砂＝1：3（重量比）とした調合の供試モルタルを、そのフロー値が170±5一定となるように練り混ぜ水量を調整し、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）に従って練り混ぜ、調製した。なお、比較のため、収縮低減剤混入率を2 wt %（セ

Table II. Properties of shrinkage-reducing agents.

Type of SRA	Specific gravity (20°C)	pH (20°C) [1 % aqueous solution]	Viscosity (20°C, cP)
SRA-1	1.00	6.0	20
SRA-2	1.04	6.8	55
SRA-3	0.99	6.0	15
SRA-4	1.02	7.0	100

Table III. Mix proportions of base mortars and mortars containing SRA.

Type of mortar	Cement : Sand (by weight)	SRA content (%)	Water-cement ratio (%)	Air content (%)	Flow
Untreated and uncontaining mortar	1 : 3	0	80.0	6.1	171
Containing SRA-1		2.0	75.0	9.4	171
Containing SRA-2			76.0	6.1	168
Containing SRA-3			75.0	9.3	167
Containing SRA-4			75.0	7.5	168

メントに対する）とした調合の供試モルタルも同様に調製した。供試モルタルの調合を Table III に示す。

調製したモルタルを、厚さを10、20および40 mmに変化させ、寸法40×160×10 mm、40×160×20 mmおよび40×160×40 mmの板状に成形した後、1日湿空（20°C、80 % R.H.）養生して脱型した。なお、成形時に、乾燥収縮測定のために、モルタルの寸法40×160 mmの側面に乳白ガラスを埋込んだ。脱型後、モルタルの乳白ガラス埋込み面に、はけを用いて、塗布量0、100および300 g/m²で各種収縮低減剤を塗布し、他の面については、エポキシ樹脂塗料でシールして、材令3日まで湿空養生を継続し、供試体とした。

3・2 収縮低減剤の浸透深さの測定

各種収縮低減剤塗布直後の寸法40×160×40 mmの供試体を二分割し、その断面を自然乾燥させ、ぬれ色を呈する部分を収縮低減剤の浸透域として、供試体表面からの深さを測定した。

3・3 乾燥収縮試験

JIS A 1129（モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法）のコンパレータ法に従って、3日間湿空養生後の供試体について基長を測定した。その後、供試体を20°C、50 % R.H.の乾燥条件下に静置し、7、28、56、91、182および364日の各乾燥材令において、その乾燥収縮を測定した。

4 試験結果および考察

Fig. 1 には、収縮低減剤のモルタルに対する浸透深さを示す。収縮低減剤のモルタルに対する浸透深さは、

Fig. 1. Penetration depth of shrinkage-reducing agents.

その塗布量によって異なり, 塗布量を 100 g/m^2 とした場合の浸透深さは, $2.0 \sim 2.3 \text{ mm}$, 300 g/m^2 とした場合のそれは, $4.1 \sim 5.4 \text{ mm}$ である. 又, 塗布量を一定とした場合でも, 収縮低減剤の種類によって, モルタルに対する浸透深さは若干異なるようである.

Fig. 2 から Fig. 4 には, 各種収縮低減剤塗布モルタルおよび混入モルタルの乾燥材令と乾燥収縮の関係を示す. モルタルの厚さにかかわらず, 収縮低減剤塗布モルタルおよび混入モルタルの乾燥収縮は, 乾燥材令 91 日まで増大し, それ以後, 一定となる傾向にある. 又, いずれの乾燥材令においても, 収縮低減剤未塗布 (未混入) モルタルに比べて, 収縮低減剤塗布モルタルおよび混入モルタルの乾燥収縮は小さい. 収縮低減

Fig. 3. Dry curing period vs. drying shrinkage of SRA-containing and -treated mortars ($40 \times 160 \times 20 \text{ mm}$).

剤の種類にかかわらず, 厚さ 10 mm のモルタルにおいては, 収縮低減剤混入モルタルに比べて, 収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は小さいが, 厚さ 20 および 40 mm のモルタルにおいては, 収縮低減剤混入モルタルの乾燥収縮が最も小さい. 収縮低減剤の塗布量

Fig. 2. Dry curing period vs. drying shrinkage of SRA-containing and -treated mortars ($40 \times 160 \times 10 \text{ mm}$).

Fig. 4. Dry curing period vs. drying shrinkage of SRA-containing and -treated mortars ($40 \times 160 \times 40 \text{ mm}$).

と浸透深さから、浸透部分の収縮低減剤量を算出すると、塗布量を 100 および 300 kg/m² とした場合、それぞれ、約 10 および 15 wt % (セメントに対する) となる。したがって、これは、収縮低減剤の混入量に比べれば相当に大きな値であり、収縮低減剤の浸透深さが小さいものにもかかわらず、厚さ 10 mm のモルタルにおいては、この差が顕著に現れ、収縮低減剤混入モルタルに比べて、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮が小さくなるものと考ええる。しかし、厚さ 20 および 40 mm のモルタルにおいては、収縮低減剤未浸透部分の収縮の影響によって、収縮低減剤混入モルタルに比べて、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は大きくなるものと推察される。一方、収縮低減剤の種類およびモルタルの厚さにかかわらず、収縮低減剤塗布量の増大に伴い、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は、小さくなる傾向にある。そこで、収縮低減剤の塗布量と乾燥材令 364 日における収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮の関係を図示したものが、Fig. 5 から Fig. 8 である。これらの図から明らかなように、収縮

Fig. 5. Coverage rate vs. drying shrinkage of mortars treated with shrinkage-reducing agent (SRA-1).

Fig. 6. Coverage rate vs. drying shrinkage of mortars treated with shrinkage-reducing agent (SRA-2).

Fig. 7. Coverage rate vs. drying shrinkage of mortars treated with shrinkage-reducing agent (SRA-3).

Fig. 8. Coverage rate vs. drying shrinkage of mortars treated with shrinkage-reducing agent (SRA-4).

低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は、収縮低減剤塗布量の平方根と負の相関が認められ、その関係は、次のような実験式で表される。

$$S = A - B\sqrt{\text{SRA}} \quad (1)$$

ここに、S: 収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮 ($\times 10^{-4}$)

SRA: 収縮低減剤の塗布量 (g/m^2)

A および B: 実験定数

モルタルの厚さが同じであっても、上述の一般式における実験定数 A および B は収縮低減剤の種類によって異なることから、モルタルの厚さおよび収縮低減剤の塗布量を一定とした場合でも、モルタルの乾燥収縮に及ぼす収縮低減剤の塗布効果は、収縮低減剤の種類によって異なることが示唆される。なお、収縮低減剤塗布の有無にかかわらず、厚さ 10 mm のモルタルに比べて、厚さ 20 および 40 mm のモルタルの乾燥収縮は大きく、又、厚さ 20 および 40 mm のモルタルの乾燥収縮はほぼ同様の値を与える。この理由について、本研究の限りでは明らかでない。一般に、コンク

リートでは、乾燥によって、表面から水分が蒸発すると、内部に水分勾配が生じるため、不等収縮（表層部と内部の不均一な収縮）が起こり、これによってコンクリート自体が拘束を受けるといわれている⁴⁾。本研究のように、モルタルの一面からのみ水分が蒸発して乾燥する場合、表層部で測定される乾燥収縮について考察すると次の通りである。(1)表層部の乾燥収縮は、初期には、その厚さにかかわらず、内部に生じる水分勾配がほぼ同じであるため、内部の収縮による拘束を同様に受けるものと推測される。(2)その後の表層部の乾燥収縮は、水分の表面までの平均移動距離の増加に伴って低減される内部の収縮による拘束と蒸発による水分損失の相乗効果に大きく依存し、その厚さによる差異を生じるものと考えられる。(3)この場合、表層部の乾燥収縮に対して、モルタルの厚さが20 mmまでは、蒸発による水分損失の効果が大きい、厚さが20 mmを越えると、内部の収縮の低減による拘束の効果が顕著になるものと推察される。

Fig. 9 から Fig. 11 には、次のように定義した乾燥材令 364 日における収縮低減剤の塗布によるモルタルの乾燥収縮低減率と収縮低減剤塗布量の関係を示す。

$$R_s = \frac{S_0 - S_t}{S_0} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 R_s : 乾燥収縮低減率 (%)

S_0 : ある乾燥材令における収縮低減剤未塗布モルタルの乾燥収縮 ($\times 10^{-4}$)

S_t : 収縮低減剤未塗布モルタルと同じ乾燥材令における収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮 ($\times 10^{-4}$)

いずれの収縮低減剤をモルタルに塗布した場合でも、その塗布量の増加に伴い、モルタルの乾燥収縮低減率は大きくなる傾向にある。一方、収縮低減剤の塗布量にかかわらず、モルタルの乾燥収縮低減率は、その厚さが薄いものほど大きく、収縮低減剤の塗布による乾

Fig. 9. Coverage rate vs. shrinkage reduction of mortars (40×160×10 mm) treated with shrinkage-reducing agents.

Fig. 10. Coverage rate vs. shrinkage reduction of mortars (40×160×20 mm) treated with shrinkage-reducing agents.

Fig. 11. Coverage rate vs. shrinkage reduction of mortars (40×160×40 mm) treated with shrinkage-reducing agents.

燥収縮低減の効果は、モルタルの厚さが薄いものほど顕著である。又、モルタルの厚さが薄いものほど、収縮低減剤の種類による収縮低減効果の差が顕著に現れるようである。特に、グリコールエーテル系およびポリプロピレングリコール系の収縮低減剤は、薄いモルタルにおいて優れた乾燥収縮低減効果を与える。なお、モルタルの厚さにかかわらず、本研究で用いた収縮低減剤の中では、グリコールエーテル系収縮低減剤が最も優れた乾燥収縮低減効果を与えるようである。

本研究における試験結果から推察すれば、収縮低減剤をモルタル壁へ塗布する工法は、その乾燥収縮低減策として有効であるが、その工法による乾燥収縮低減効果はモルタルの厚さに依存するといえる。

5 結 論

以上の試験結果を総括すれば、次の通りである。

(1) 収縮低減剤のモルタルに対する浸透深さは、その塗布量によって異なり、塗布量を 100 g/m² とした場合の浸透深さは、2.0～2.3 mm、300 g/m² とした場合のそれは、4.1～5.4 mm である。又、塗布量を一定とした場合でも、収縮低減剤の種類によって、モルタルに対する浸透深さは若干異なる。

(2) いずれの乾燥材令においても、収縮低減剤未塗布（未混入）モルタルに比べて、収縮低減剤塗布モルタルおよび混入モルタルの乾燥収縮は小さい。しかし、収縮低減剤の種類にかかわらず、厚さが 10 mm の場合、収縮低減剤混入モルタルに比べて、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は小さく、厚さが 20 および 40 mm の場合には、収縮低減剤混入モルタルの乾燥収縮が最も小さい。

(3) 収縮低減剤の種類およびモルタルの厚さにかかわらず、収縮低減剤塗布量の増大に伴い、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は小さくなる傾向にある。その場合、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮は、収縮低減剤塗布量の平方根と負の相関が認められ、式(1)のような実験式で表される。この式を用いて、収縮低減剤塗布モルタルの乾燥収縮を算定することができる。

(4) 収縮低減剤の塗布量にかかわらず、収縮低減剤塗布による乾燥収縮低減効果は、モルタルの厚さが薄いものほど顕著である。特に、グリコールエーテル系およびポリプロピレングリコール系の収縮低減剤は、薄いモルタルにおいて優れた乾燥収縮低減効果を与える。

(5) 以上の結果によれば、木造建築物の外壁などに

おいて、メタルラス下地のような水分の供給がない下地の上に塗装する仕上げモルタルに、収縮低減剤を塗布する工法は、その乾燥収縮低減策として有効であると推察される。

(昭和62年 日本材料学会第36期学術講演会、

昭和63年 日本材料学会第37期学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) R. H. Smith and R. H. Mills, "Variations in the Shrinkage of Concrete Resulting from the Use of Additives", Proceedings of the RILEM/CEMBUREAU International Colloquium on the Shrinkage of Hydraulic Concretes, V. 1, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1968, pp. II-G. 0-II-G. 15.
- 2) 富田六郎, 城所卓明, "含浸法による収縮低減剤の利用", 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, May 1984, pp. 361-364.
- 3) 富田六郎, 山下善秀, 井上 潔, "乾燥収縮低減剤を含浸させたコンクリートの性状について", pp. 387-390, セメント技術年報40 (1986).
- 4) Neville, A. M., "Properties of Concrete" (3rd Edition) pp. 384-387 (1981) Pitman, London.