

PS 灰造粒砂を用いたモルタルの乾燥収縮特性

愛媛大学 学生会員 ○本田美紀 正会員 安原英明 正会員 木下尚樹 正会員 川口隆
(株)予州興業 正会員 松尾暁

1. はじめに

現在、製紙業特有の産業廃棄物である製紙汚泥焼却灰（以下、PS 灰と称す）を造粒加工し、得られる砂（以下、PS 灰造粒砂）は、埋め立て処分や、道路用路盤材として利用されているが、新たな埋め立て地の立地が困難であること、用途の拡大などの課題より、モルタル二次製品の細骨材としての利用が検討されている¹⁾。しかし、PS 灰造粒砂は、吸水率が 43.1%と高く、モルタルの乾燥収縮量が大きくなると考えられる。そこで、本論では、乾燥収縮試験を実施し、PS モルタルの乾燥収縮量の把握、評価した結果を報告する。

2. 乾燥収縮試験²⁾

供試体寸法を 100×100×400mm とし、供試体上面（100mm×100mm）の中心にダイヤルゲージを設置し、長さ 400mm を基長とし、収縮量を求める。上下面（100×100mm）にはエポキシ樹脂系接着材を施し、側面以外からの水の蒸発を抑える。配合は、水セメント比を 40%とし、W : C : S=1 : 2.5 : 4 の質量比から求めた細骨材の割合（以下、細骨材割合と称す）44%を基準に定める。細骨材割合が乾燥収縮に及ぼす影響を検討するため、基準値の細骨材割合 44%から約±15%変化させ、細骨材割合 30、60%を設定する。細骨材割合 44%においては体積表面積比が乾燥収縮に及ぼす影響を検討するため、側面 2 面にアルミテープを貼った供試体（体積表面積比 50mm）と側面 3 面にアルミテープを貼った供試体（体積表面積比 100mm）を準備し、試験を行う。供試体条件を表 1 に示す。試験は、温度 20±2℃、平均湿度 40%の条件下で行う。図 1 に乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。細骨材割合が大きい方が乾燥収縮の進行速度は速く、乾燥収縮ひずみは大きいこと、体積表面積比が大きい方が進行速度は遅く、乾燥収縮ひずみは小さいことが確認できた。また、PS モルタルは砕砂などを使用した一般的なモルタルと比較し、乾燥収縮量は大きく、材齢 14 週でも増加傾向にあり、今後も進行すると考えられる。

表 1. 供試体条件

供試体名	細骨材割合 (%)	体積表面積比 (mm)	細骨材の表面水率 (%)
PS30-25	30	25	8.5
PS44-25-1	44	25	8.5
PS60-25	60	25	8.5
PS44-25-2	44	25	9.4
PS44-50	44	50	9.4
PS44-100	44	100	9.4

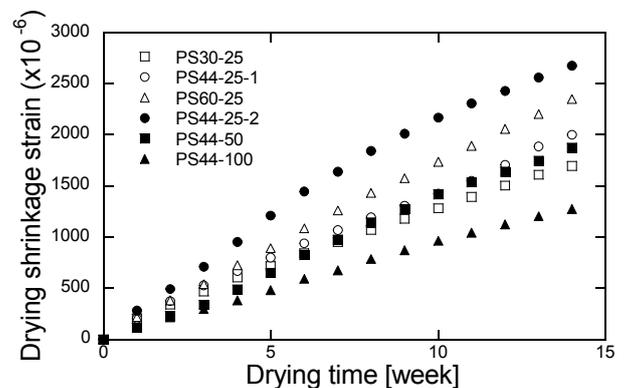


図 1. 乾燥収縮ひずみの経時変化

3. PS モルタルの乾燥収縮量の予測式の提案

まず、土木学会式³⁾、建築学会式⁴⁾、Gardner 式⁵⁾を用いて、PS モルタルの乾燥収縮ひずみの予測値を求め、妥当性を検討する。表 2 に予測精度を示す。また、図 2 に最も予測精度の高かった建築学会式の予測値と計測値の相関関係を示す。予測精度に着目すると、多くの条件で、精度は低く、予測値の経時変化に着目すると、乾燥開始時は、計測値を過大評価しているが、時間の経過とともに過小評

表 2. 予測精度

供試体名	決定係数R ²		
	土木学会式	建築学会式	Gardner式
PS30-25	0.76	0.94	0.23
PS44-25-1	0.52	0.74	0.32
PS60-25	0.028	0.59	0.31
PS44-25-2	0.24	0.69	—
PS44-50	0.53	0.54	0.50
PS44-100	0.74	0.46	—

価する傾向に転じている。これらより、既存の予測式を用いて、PSモルタルの乾燥収縮量を予測することは困難であることがわかる。以上より、PSモルタル独自の乾燥収縮量予測式を提案し、評価を行う。ここで、既存の予測式では、式(1)に示すように、乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$ は、時間依存性の項 $\alpha(t)$ と乾燥収縮ひずみの最終値 $\varepsilon_{sh\infty}$ の積で求められている。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \alpha(t) \times \varepsilon_{sh\infty} \quad (1)$$

まず、収縮挙動を表す時間依存性の項の検討を行う。既存の3式において、土木学会式は、パラメータに乾燥時間と湿度が使用されており、建築学会式、Gardner式は、乾燥時間と体積表面積比が使用されている。そこで、同乾燥材齢時の体積表面積比の変化に伴う乾燥収縮ひずみに着目すると、建築学会式が、測定値を定性的に再現できているため、収縮挙動を表す時間依存性の項には、建築学会式を参考とする。次に、乾燥収縮ひずみの最終値の検討を行う。3式において、最終乾燥収縮ひずみを求めるために使用されるパラメータとして、単位水量、単位セメント量、28日圧縮強さのいずれかが含まれている。これらのパラメータは、PSモルタルの細骨材割合の影響を受けるパラメータと考えられ、同乾燥材齢時の細骨材割合の変化に伴う乾燥収縮ひずみに着目すると、計測値は細骨材割合が大きいほど乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向を示しており、3式のうち、Gardner式のみが、計測値を定性的に再現できている。以上より、乾燥収縮ひずみの最終値には、Gardner式を参考にし、検討を行う。方法として、各式において未知数を設定し、計測値に対する回帰分析により値を求め、予測式を提案する。式(2)に提案するPSモルタルの乾燥収縮量予測式を示す。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{0.16(V/S)^{2.4} + (t - t_0)} \right]^{0.8} \times 6645 \times K \times \left(\frac{f_{cm28}}{f_{cmic}} \right)^{1/2} \times \left(\frac{25}{f_{cm28}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 t :乾燥材齢、 t_0 :乾燥開始材齢、 V/S :体積表面積比、 K :セメントの種類に関する係数⁵⁾、 f_{cm28} :28日圧縮強さ、 f_{cmic} :乾燥開始時の圧縮強さ⁵⁾である。図3に、4つの供試体の提案式による予測値と計測値の相関関係、予測精度を示す。PS30-25、PS44-25-1、PS60-25において、予測値は、計測値を精度良く再現していることが確認できる。一方、PS44-50の予測値は再現性がなく、予測精度が低い結果が得られた。これは、提案式において、体積表面積比の影響が評価されないためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、PSモルタルの乾燥収縮量は大きく、既存の式では予測できなかった。今後の課題として、体積表面積比の影響を詳細に検討し、より精度の高い予測式の提案が必要である。

参考文献

- 1) 松尾ら：製紙スラッジ灰造粒砂を用いたプレキャスト型枠の開発について(その2)、平成21年度土木学会第65回年次術講演会, pp.889-890, 2010
- 2) 2007年制定コンクリート標準示方書[基準編], pp.316-319, 2007
- 3) 2007年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp.45-46, 2007
- 4) 佐藤ら：国内の実験データに基づいたコンクリートの時間依存性ひずみの予測式に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第597号, pp.9-15, 2005
- 5) N.J.Gardner :Desing Provisions for Shrinkage and Creep of Concrete, ACI FIP-194, pp.101-133, 2000

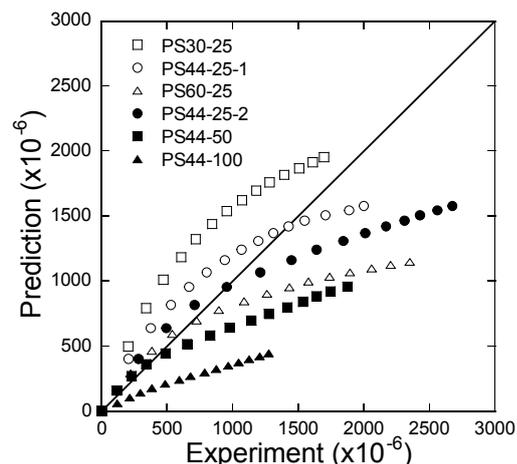


図2.乾燥収縮ひずみ

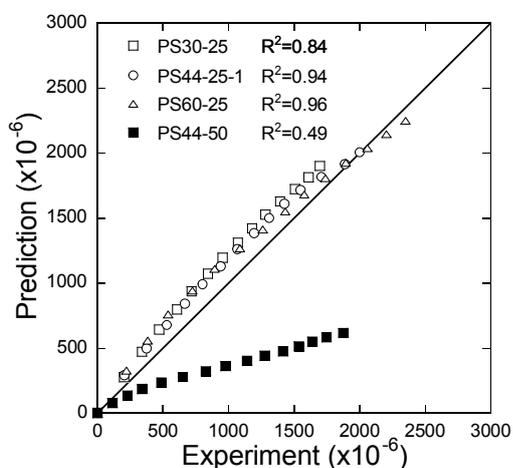


図3 乾燥収縮ひずみと予測精度