

# 製紙スラッジ灰造粒砂を用いたモルタルの乾燥収縮について

愛媛大学大学院 学生会員 ○本田美紀 愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹  
 愛媛大学大学院 正会員 安原英明 愛媛大学大学院 正会員 川口 隆

## 1. はじめに

現在、製紙業の産業廃棄物である製紙汚泥焼却灰（以下、PS 灰と称す）は造粒加工され、砂（以下、PS 灰造粒砂）として埋め立て処分や、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<sup>1)</sup>。しかし、PS 灰造粒砂は、吸水率が 43.1%と高く、細骨材として使用した際に、モルタル（以下、PS モルタルと称す）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を把握・評価した結果を報告する。

## 2. 乾燥収縮試験<sup>2)</sup>

直方体（100×100×400mm）の供試体を用いて温度 20±2°C の室内で試験を行う。収縮量は、供試体上面（100×100mm）の中心にダイヤルゲージを設置し、長さ 400mm を基長として求める。上下面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%を基準値に定める。細骨材割合が乾燥収縮に及ぼす影響を検討するため、基準値の他に 30, 60%とした供試体を作製する。また、体積表面積比が乾燥収縮に及ぼす影響を検討するため、細骨材割合 44%において、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）を準備する。打設日により、表面水率が違うため、細骨材割合 44%、体積表面積比 25mm に関しては、供試体を 2 種類とする。供試体条件を表 1 に示す。測定結果より細骨材割合は大きい方が、体積表面積比は小さい方が、乾燥収縮の進行速度は速く、乾燥収縮量は大きいことを確認している<sup>3)</sup>。また、図 1 に乾燥材齢 400 日のモルタルの様子を示す。写真より、400 日乾燥させた PS モルタルには大きな亀裂が入っていることが確認できる。

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	6.6
PS44-25-1	44	25	6.6
PS60-25	60	25	6.6
PS44-25-2	44	25	8.5
PS44-50	44	50	8.5
PS44-100	44	100	8.5

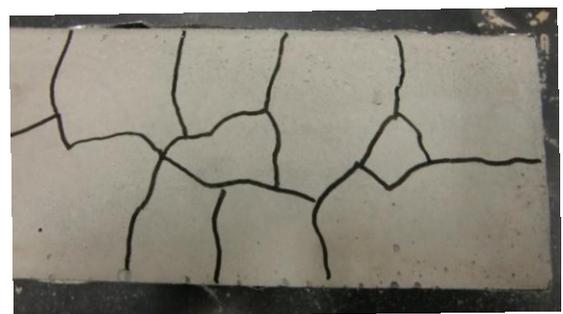


図 1 乾燥材齢 400 日の PS モルタル  
 (黒の実線：亀裂)

## 3. PS モルタルの乾燥収縮量の予測

まず、土木学会式<sup>4)</sup>、建築学会式<sup>5)</sup>、Gardner 式<sup>6)</sup>を用いて、PS モルタルの乾燥収縮ひずみの予測値を求め、計測値との比較検証を行う。予測値は、乾燥開始時に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価する傾向に転じていることが確認されている<sup>3)</sup>。その結果より、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ため、計測値をもとに 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、乾燥収縮ひずみ  $\epsilon_{sh}(t, t_0)$  は、時間依存性の項  $\alpha(t)$  と乾燥収縮ひずみの最終値  $\epsilon_{sh, \infty}$  の積で求められている。そのため、各項の検討を行い、新たな予測式を提案する。まず、収縮挙動を表す時

間依存性の項に関しては、同乾燥材齢時の堆積表面積比の変化に伴う乾燥収縮量に着目する。その結果、建築学会式が最も計測値を定性的に再現できていることが確認されたため<sup>3)</sup>、収縮挙動を表す時間依存性の項は、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。こちらでは、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。その結果、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ることが確認されている<sup>3)</sup>。以上より、乾燥収縮ひずみの最終値は、Gardner式を参考にし、予測式の提案を行う。予測式の提案では、各項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る方法を用いる。式(1)に提案するPSモルタルの乾燥収縮量予測式を示す。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{0.2(V/S)^{2.0} + (t - t_0)} \right]^{[0.5+18(V/S)]} \times 5800 \times \left[ \frac{(V/S)}{25} \right]^{0.4} \times K \times \left( \frac{f_{cm28}}{f_{cm0}} \right)^{0.4} \times \left( \frac{25}{f_{cm28}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

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<sup>6)</sup>、 $f_{cm28}$ ：28日圧縮強さ、 $f_{cm0}$ ：乾燥開始時の圧縮強さ<sup>6)</sup>である。図2および図3に提案式によるひずみの予測値と計測値の相関関係、決定係数を示す。すべての供試体において、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、提案式は、PSモルタルの乾燥収縮量予測に有用なものであることがわかる。

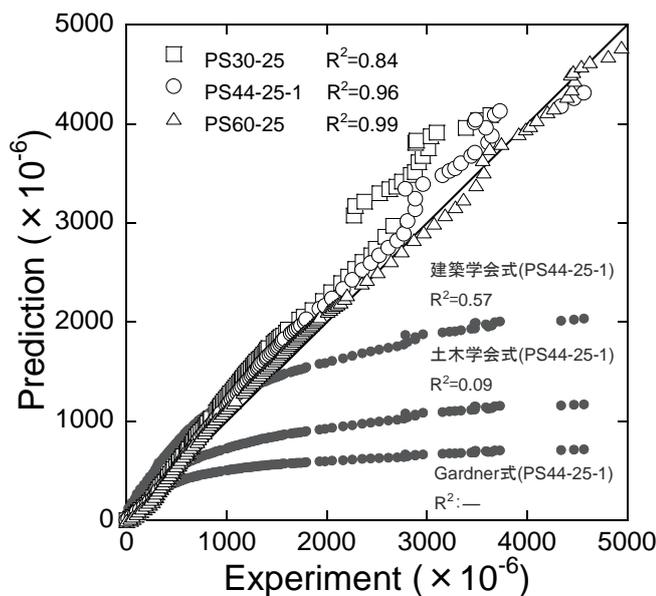


図2 予測値と測定値の相関関係  
(細骨材割合の違い)

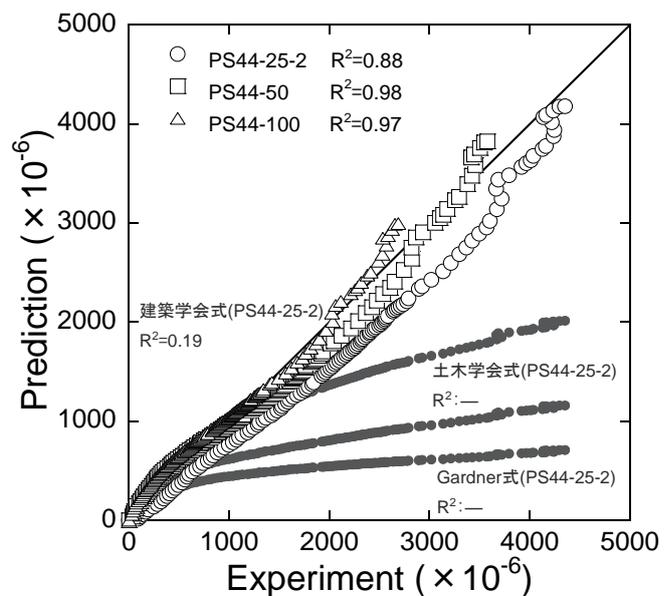


図3 予測値と測定値の相関関係  
(体積表面積比の違い)

#### 4. 終わりに

本研究では、PSモルタルの乾燥収縮試験を実施し、既存の予測式を用いて評価を行った。その結果、PSモルタルの乾燥収縮量は一般的なモルタルのものよりも大きく、測定期間が1年を超えても、収縮量は増加傾向にあった。また、既存の予測式では、その収縮挙動を予測できないことがわかった。そのため、PSモルタルの乾燥収縮挙動を評価できる予測式を提案し、その有用性を確認した。

#### 参考文献

- 1)松尾暁, 木下尚樹, 川口隆, 氏家勲: 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)本田美紀: PS灰造粒砂を用いたモルタルの乾燥収縮に関する研究, 愛媛大学工学部環境建設工学科卒業論文, 21pp., 2010
- 4)2007年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp.45-46, 2007
- 5)佐藤嘉昭, 清原千鶴, 寺西浩司, 今本啓一, 三橋博三, 岡田秀敏: 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
- 6)N.J.Gardner: Design Provisions for Shrinkage and Creep of Concrete, ACI FIP-194, pp.101-133, 2000