

# 軽量気泡コンクリートの炭酸化収縮特性におよぼす 低品位珪砂と湿度の影響

前川明弘\*, 西川 孝\*\*, 柴田純夫\*\*\*, 大廣敏之\*\*\*, 松下文明\*\*\*

## Effects of Silica Sand and Humidity on Carbonation Shrinkage Properties of Autoclaved Lightweight Aerated Concrete

Akihiro MAEGAWA, Takashi NISHIKAWA, Sumio SHIBATA,  
Toshiyuki OHHIRO and Fumiaki MATSUSHITA

In this research, the effect of low quality silica sand on carbonation shrinkage and degree properties of the autoclaved lightweight aerated concrete mixed low quality sand were investigated. For the properties, all specimens were treated by carbon dioxide gas. Accelerated carbonation treatment conditions were 75 %R.H. or 90 %R.H. in 3 vol.%CO<sub>2</sub> at 20 °C. Resultly, carbonation degree of autoclaved lightweight aerated concrete was not influenced so much by the usage of low quality sand. However, carbonation shrinkage became higher under high humidity conditions.

Key words: Autoclaved Lightweight Aerated Concrete, Carbonation Shrinkage, Carbonation Degree, Silica sand, Humidity, Autoclave Curing

### 1. はじめに

日本の主要な建築材料の1つであるオートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (Autoclaved lightweight aerated concrete : ALC) は、セメント、珪砂 (珪砂)、生石灰、石こうなどの原料に、金属アルミニウム粉末を混合し発泡させ、さらにオートクレーブ養生を行うことで製造されている。これらは軽量で、優れた断熱性や耐火性を有することから、住宅やビルなどの外壁、屋根、床などに広く用いられている。

一般的に、原料となる珪砂は、ALC製品の品質を確保するためにアルカリ等の成分含有量が少ないことが絶対条件となっており、加えてシリカ成

分が高含有 (90%程度以上) であるものが選定されている。

しかしながら近年、高品位な珪砂を安定的に入手することが難しい状況になりつつあるため、アルカリ成分など、一定の要求性能は満たした上で、シリカ含有量が少し劣る珪砂の利用について検討を進めておく必要性が生じてきている。

そこで本研究では、実製品で使用している珪砂に、シリカ含有量が少ない珪砂を混合した ALC 供試体を作製し、それらの耐久性に関する基礎実験を実施した。本報では、ALCの耐久性に大きな影響をおよぼす要因の一つである炭酸化収縮<sup>1)6)</sup>に着目し、その影響について確認した。

\* ものづくり研究課

\*\* 窯業研究室

\*\*\* 住友金属鉱山シボレックス株式会社

### 2. 実験方法

#### 2. 1 使用材料

本実験で作製した ALC 供試体の配合表を表 1 に、珪石および珪砂の化学組成を表 2 示す。また供試体には、表 1 に示した全質量の 0.07% となる金属アルミニウム粉末（発泡材）を添加し、珪石については、シリカ成分が高含有である珪石のみと、珪石にシリカ成分の含有量が少ない珪砂を質量比 40% の割合で混合したもの 2 種類を使用した。

## 2. 2 ALC 供試体作製方法

ALC 供試体は、小型ミキサを用いて粉末材料をスラリー状にし、鋼製型枠（180×130×420 mm）に casting し、発泡スチロール製の保温箱内で 4 時間静置した。その後、脱型を行い、発泡した供試体（図 1 参照）を取り出し、約 180 °C、飽和水蒸気圧 10 気圧、6 時間保持の条件でオートクレーブ養生を行い、硬化体を得た。硬化体はカッターソーを用いて、40 × 40 × 160 mm と 40 × 10 × 100 mm に切り出し、それぞれ長さ変化測定用、炭酸化度測定用 ALC 供試体とした。また、長さ変化測定用 ALC 供試体（図 2 参照）の両端中央部には、計測のための真鍮製ピンを取り付けた。

## 2. 3 促進炭酸化処理

作製した全ての ALC 供試体は、20 °C、CO<sub>2</sub> 濃度 3% で、湿度を 75% R.H. と 90% R.H. の 2 条件に変化させて促進炭酸化処理を施した。

## 2. 4 炭酸化度および炭酸化収縮に関する測定

ALC 供試体の炭酸化度の測定では、まず、各処理時間における ALC 供試体を 1 cm 角程度に切り出した後、粉碎した。次に、熱分析装置 (TG-DTA) を用いて、各粉体を室温から 820 °C まで加熱処理（昇温条件 20 °C/分）し、600~820 °C の間の質量減少量 (mg) を測定した。得られた測定値は全て炭酸ガス質量とみなし、式(1)により炭酸化度  $D_c$  を算出した。

$$D_c (\%) = \{ (C - C_0) / (C_{max} - C_0) \} \times 100 \quad (1)$$

$C - C_0$  : 炭酸化処理前・後の TG-DTA による 600~820 °C での質量減少量  
(%, 結合した炭酸ガス量に相当)

$C_{max}$  : 化学分析による CaO 量 (全 CaO (%) - SO<sub>3</sub> (%) × 56/80) が全量炭酸カルシウムになった時の炭酸ガス量

表 1 ALC 供試体の配合表

早強セメント	生石灰	珪石・珪砂*	石こう
28	5	60	7

\*) 珪砂の混合は、珪石質量の 40%

表 2 珪石および珪砂の化学組成 (wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
珪石	93.99	2.61	0.23	1.39	0.63	0.20
珪砂	88.60	7.41	0.14	0.26	4.20	1.04



図 1 脱型後の発泡した供試体 (例)

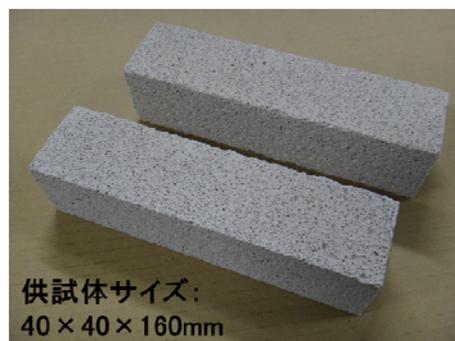


図 2 長さ変化測定用 ALC 供試体の例

一方、炭酸化収縮に関する評価では、各処理時間における ALC 供試体の長さを計測し、式(2)により長さ変化率  $\delta$  を求めた。

$$\delta (\%) = \{ (L - L_0) / L_0 \} \times 100 \quad (2)$$

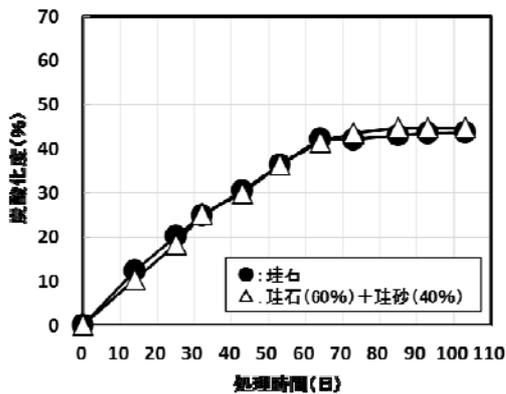
$L_0$  : 炭酸化処理前における供試体長さ、

$L$  : 炭酸化処理後における供試体長さ

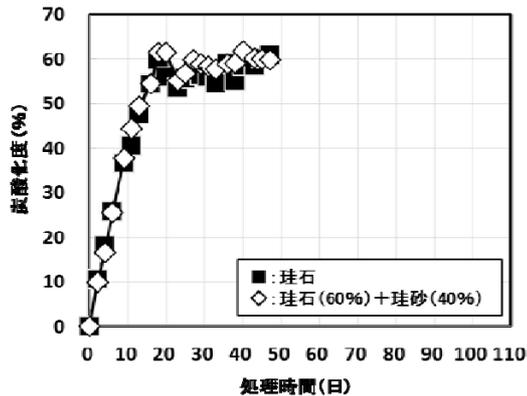
## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 炭酸化度

ALC 供試体の炭酸化度と処理時間との関係を図 3 に示す。図 3 より、炭酸化度の飽和点は、湿度

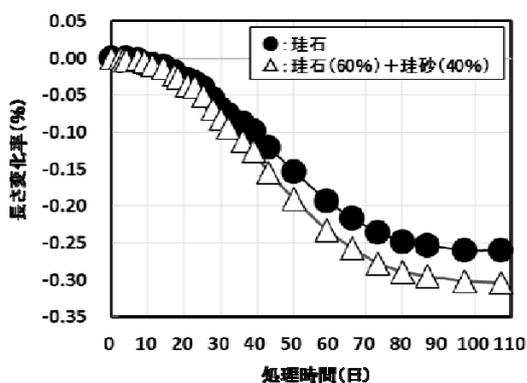


(a) 20°C, 75%R.H., CO<sub>2</sub> 濃度 3%

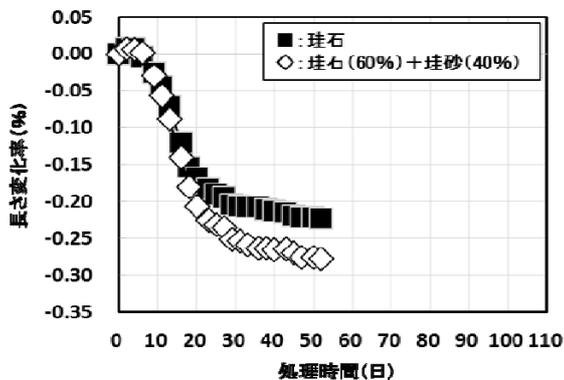


(b) 20°C, 90%R.H., CO<sub>2</sub> 濃度 3%

図 3 炭酸化度と処理時間との関係



(a) 20°C, 75%R.H., CO<sub>2</sub> 濃度 3%



(b) 20°C, 90%R.H., CO<sub>2</sub> 濃度 3%

図 4 長さ変化率と処理時間との関係

75 %R.H.で 45 %，湿度 90 %R.H.で 60 %程度となり，同一の条件であれば，低品位珪砂の使用が炭酸化度に及ぼす影響はほとんどないという結果が得られた．また，炭酸化度の飽和点に到達するまでの日数は，湿度 75 %R.H.で約 80 日，湿度 90 %R.H.で約 20 日となり，湿度が高い条件ほど炭酸化が促進されることが明らかとなった．

### 3. 2 炭酸化収縮

ALC 供試体の長さ変化率と処理時間との関係を図 4 に示す．図 4 より，珪石のみを用いた供試体の最大収縮量は約 0.25 %で，珪石と珪砂の混合使用した供試体では約 0.30 %となり，処理条件に係わらず低品位珪砂を混合することにより収縮量が増加傾向となることが確認できた．また，ALC 供試体が最大収縮量に到達するまでの日数は，湿度 75 %R.H.の条件で約 80 日，90 %R.H. の条件で約 50 日となり，湿度が高い条件ほど短期間で最大収縮量に到達した．低品位珪砂を混合使用した ALC 供試体の炭酸化

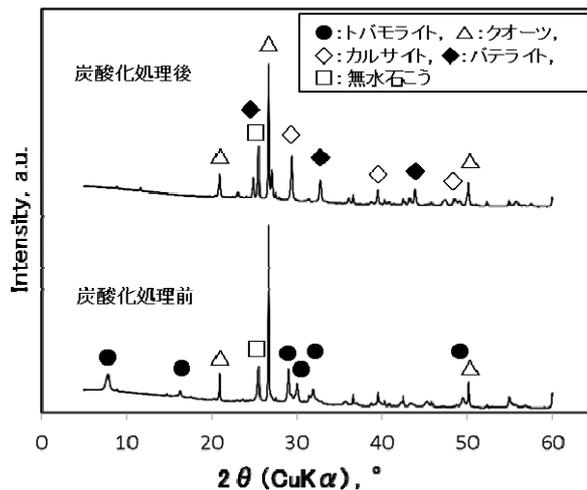


図 5 珪石と珪砂を混合使用した ALC 供試体の炭酸化処理前後の XRD パターン

処理前後の X 線回折分析結果 (XRD パターン) を図 5 に示す．図 5 より，炭酸化処理前の ALC 供試体には，トバモライト (Ca<sub>4.9</sub>(Si<sub>5.5</sub>Al<sub>0.5</sub>O<sub>16.3</sub>)(OH)<sub>0.7</sub>)

(H<sub>2</sub>O)<sub>5</sub>, ICDD#01-074-2878), クオーツ (SiO<sub>2</sub>, ICDD#01-086-1629), 無水石膏 (CaSO<sub>4</sub>, ICDD#01-071-4906) に一致するピークが出現した. 一方, 炭酸化処理後の ALC 供試体では, カルサイト (CaCO<sub>3</sub>, ICDD#01-086-2339), バモライト (CaCO<sub>3</sub>, ICDD#01-074-1867), クオーツ, 無水石膏に一致するピークが出現し, 炭酸化処理でトバモライトが炭酸カルシウムに変化したことが確認できた.

以上の結果より, 低品位珪砂を混合使用した供試体の収縮量が, 珪石のみの場合より増加した理由は, 炭酸化に伴うシリケートやカルシウムに起因するトバモライトの結晶構造の変化に差異が生じていたなどの要因によるものと推察される. これらについては, 今後, NMR を用いた詳細な検討などを行うことで明らかにしていく必要がある.

#### 4. まとめ

オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート製品で使用するシリカ成分の含有率が 90 %を超える高品位な珪石の一部に, シリカ含有量の少ない低品位珪砂を混合し, 炭酸化収縮特性におよぼす影響について確認した.

その結果, 低品位珪砂を混合使用すると, ALC 供試体の炭酸化度におよぼす影響はほとんどないものの, 炭酸化収縮量におよぼす影響は大きく, 約 0.05 %の差が生じることが明らかとなった.

#### 参考文献

- 1) 松下文明ほか: “オートクレーブ養生軽量気泡コンクリートの炭酸化収縮”. 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, p463-468 (2005)
- 2) 小嶋芳行: “オートクレーブ養生軽量気泡コンクリートの炭酸化の評価”. Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.21, p170-175 (2014)
- 3) 水谷吉克ほか: “ALC の強度特性に及ぼす炭酸化の影響”. 日本建築学会構造系論文, 第 81 巻, 第 728 号, p1619-1625 (2016)
- 4) 時津総一郎ほか: “炭酸化反応を利用したトバモライトのリサイクル”. Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.16, p94-100 (2009)
- 5) 松井久仁雄: “ALC の歴史と耐久性の考え方”. Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.23, p384-390 (2016)
- 6) 五十嵐豪ほか: “拡張 BET 理論を用いたトバモライトの水蒸気吸着性状に関する一考察”. 日本建築学会大会講演梗概集(関東), p41-42 (2015)
- 7) F. Matsushita et al.: “Carbonation Degree as Durability Criteria for Autoclaved Aerated Concrete”. Proc. 5<sup>th</sup> CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, p1123-1134 (2000)