

# 反応性骨材を用いたモルタル細孔溶液の組成(III) ——アルカリシリカ反応による膨張と細孔溶液のアルカリ——

Pore Solution Composition of Mortars with Reactive Aggregate (III)

——Expansion of Mortars due to Alkali Silica Reaction and Alkalis in Pore Solution——

小林 一 輔\*・瀬野 康 弘\*・河合 研 至\*  
Kazusuke KOBAYASHI, Yasuhiro SENO and Kenji KAWAI

## 1. は じ め に

前報<sup>1)2)</sup>ではモルタルの細孔溶液中の各種イオンの濃度とその経時変化について報告した。本文では反応性骨材を用いたモルタルの拘束膨張と細孔溶液中の水酸イオンおよびアルカリイオンとの関係について報告する。

## 2. 実 験 の 概 要

### 2.1 使用材料および配合

セメントは  $R_2O=0.52\%$  の低アルカリセメント (LAC) および  $R_2O=1.03\%$  の高アルカリセメント (HAC) の 2 種類の普通ポルトランドセメントを使用した。これらのセメントの化学分析結果を表-1 に示す。アルカリ量は  $R_2O=0.83, 1.04$  および  $1.56\%$  となるよう LAC に NaOH (試薬特級) を用いて調整したが、 $R_2O$  が  $1.04\%$  のものは、このほかに NaCl (試薬特級) を用いてアルカリ量の調整を行っている。

反応性骨材は安山岩とチャートの 2 種類で、いずれも

前報の実験に用いたものと同じである。水セメント比は 40, 50 および  $60\%$  の 3 種で、これらの組み合わせを表-2 に示す。

### 2.2 供試体の作製および養生方法

細孔溶液の分析を目的とする供試体の作製および養生は前報と同じである。

膨張圧の測定を目的とする供試体は、長さ 45cm, 内径 6 cm, 肉厚 5 mm の黄銅製円管内部にモルタルを充填したものであるが、中心部には直径 2 cm の中空円筒部分を設け、これを通じて湿分の供給が可能な形状となっている<sup>3)</sup>(図-1 参照)。モルタルは 3 層に分けて打設し、24 時間  $20^\circ C$ , 100% R. H. の環境に保存したのち、 $40^\circ C$ , 100% R. H. の恒温恒湿槽にて拘束膨張の測定を行った。なお 1 条件当たりの供試体本数は 2 本である。

### 2.3 膨張圧の測定

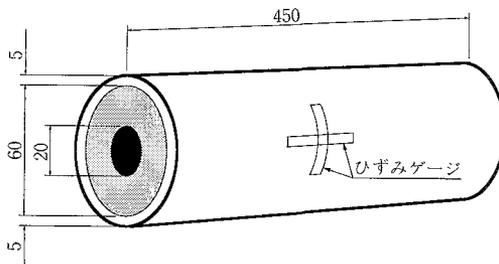
拘束膨張は円管供試体中央部の軸方向および円周方向のひずみを測定し、次式のような厚肉円筒式を適用して膨張圧 (P) としてこれを求めた。

表-1 使用セメントの化学分析結果

種 別	化 学 分 析 (%)										
	igloss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O
L A C	1.1	0.1	21.9	4.9	2.9	64.7	1.5	1.9	0.24	0.43	0.52
H A C	0.6	0.1	22.5	6.1	2.8	62.4	1.5	2.0	0.59	0.67	1.03

表-2 シリーズII—覧表

W/C (%)	骨材	セメント					
		R <sub>2</sub> O	LAC+NaOH	NaCl	HAC		
		0.83	1.04	1.56	1.04	1.03	
40	安山岩	○					
	チャート	○					
50	安山岩	○	○	○	○	○	
	チャート	○	○	○	○	○	
60	安山岩		○	○			
	チャート		○	○			



\*東京大学生産技術研究所 第5部

図-1 拘束膨張測定用供試体

研 究 速 報

$$p = \frac{(e_1 + \nu \cdot e_2) \cdot E}{1 - \nu^2} \cdot \{t/r + t^2 / (2r^2)\}$$

ここに、

- $e_1$  : 円管表面における円周方向ひずみ
- $e_2$  : 円管表面における軸方向ひずみ
- $E$  : 円管材料のヤング率
- $\nu$  : 円管材料のポアソン比
- $t$  : 管の厚み
- $2r$  : 管の内径

円管表面のひずみは抵抗線ひずみゲージにより自動測定を行った。また、データの整理に用いる膨張圧は、2本の供試体の平均値とし、膨張圧の初期値は供試体温度が一定となる養生開始24時間後（打設2日後）に設定した。

3. 実験結果および考察

図-2は、モルタルの膨張圧の経時変化と細孔溶液中のアルカリの濃度（ $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ の濃度を合計した値）の経時変化を比較して示したものである。この図より、膨張圧はアルカリシリカ反応の進行により、時間とともに増大するのに対し、細孔溶液中のアルカリ量は逆に減少しており、反応の進行にともなってアルカリが消費されることを示している。一方、材令26週における膨張圧は、 $\text{NaOH}$ によって強化したものが最も大きく、以下 $\text{HAC}$ 、 $\text{NaCl}$ 強化の順になっているが、アルカリの濃度減少もこれに対応して減少していることがわかる。同様な傾向

はチャートを骨材として用いた場合も認められた。

図-3は、細孔溶液中の $\text{OH}^-$ 濃度と膨張圧の関係を材令を追って示したものである。一方、図中の矢印は $W/C=50\%$ の場合について、 $R_2O$ 別の膨張挙動を示したものである。図中の矢印をたどると、いずれの骨材も、材令が経つにつれて、 $\text{OH}^-$ 濃度は減少し、それに伴い膨張圧が増大していることがわかる。また材令1週における $\text{OH}^-$ の濃度が高いものほど、26週における膨張圧が大きくなっており、アルカリシリカ反応の進行は、細孔溶液中の $\text{OH}^-$ 濃度によっても支配されることを示している。このことはイオンの電荷の平衡を考えれば、図-2の結果

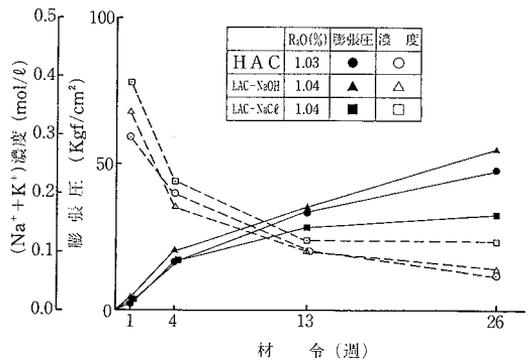


図-2 反応性骨材を用いたモルタルの膨張圧および細孔溶液中のアルカリ濃度の経時変化  
—安山岩使用,  $W/C: 50\%$ —

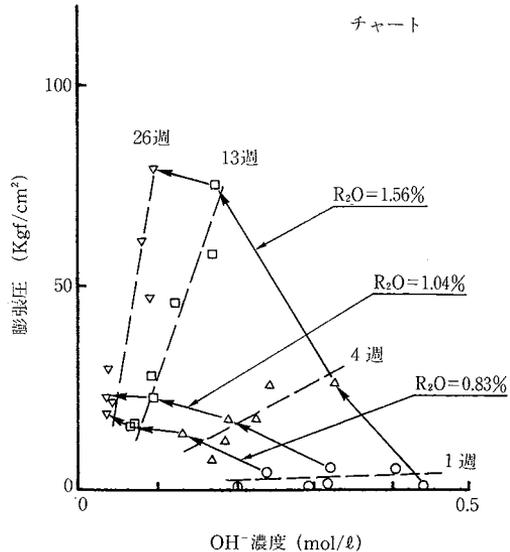
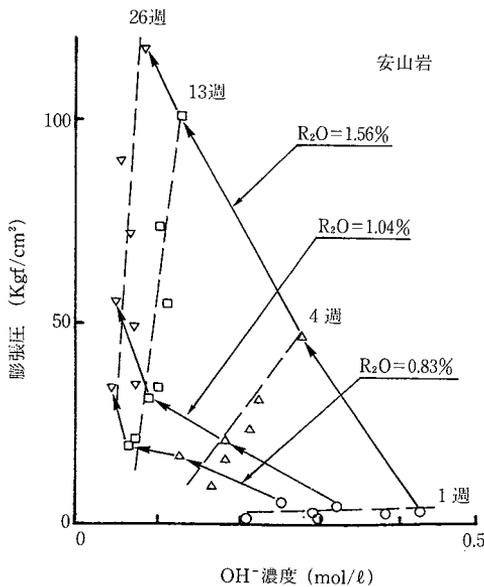


図-3  $\text{OH}^-$ 濃度と膨張圧との関係

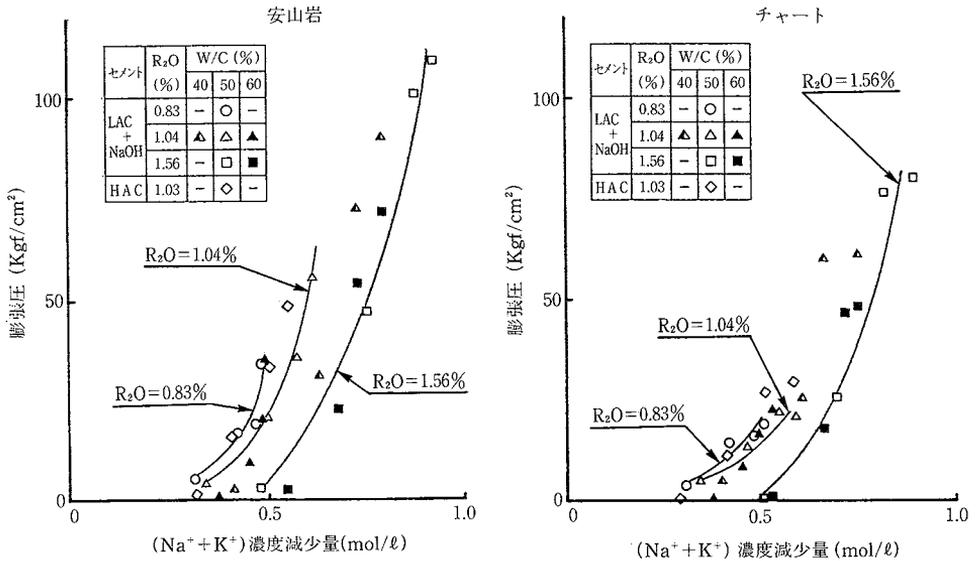


図-4 (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>) 濃度減少量と膨張圧との関係

を別の形で表現していることになる。

反応性骨材の種類によって、OH<sup>-</sup>濃度の減少にともなう膨張挙動はやや異なり材令26週において、チャートを用いた場合はほぼ収束しているのに対し、安山岩を用いた場合は、なお膨張する傾向を示している。

図-4は、細孔溶液中のアルカリ金属イオンの濃度(Na<sup>+</sup>+k<sup>+</sup>)の減少量と膨張圧の関係を示したものであり、図中の曲線は、W/C=50%の場合について示したものである。ここで(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)濃度の減少量とは、セメント中のアルカリもすべて可溶性であるとして求めた練り混ぜ水中の濃度から、分析によって得られた濃度を減じた値である。いずれの反応性骨材を用いた場合も、濃度減少量が増加するに従い、膨張圧が大きくなっている。また、アルカリ量の多いものほど、アルカリイオン濃度の減少量は大きい。この結果は、細孔溶液中の金属アルカリイオンが反応によって消費されるという図-2の結

果を別の形で表現したことになる。

以上より、細孔溶液中のアルカリ濃度減少量は、骨材の反応性を推定する一つの目安になると言える。

(1988年6月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林, 瀬野, 河合, 宇野: 反応性骨材を用いたモルタル細孔溶液の組成(I)—細孔溶液中のNa<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>およびOH<sup>-</sup>の濃度変化—, 生産研究, Vol.40, No. 6, 1988. 6
- 2) 小林, 瀬野, 河合, 宇野: 反応性骨材を用いたモルタル細孔溶液の組成(II)—アルカリ量とOH<sup>-</sup>濃度の関係および細孔溶液中の微量イオン濃度—, 生産研究, Vol. 40, No. 7, 1988. 7
- 3) 小林, 伊藤: 膨張セメントの膨張圧に影響をおよぼす諸要因, 土木学会論文報告集, 第226号, 1974. 6