

# 中性化によるアルカリ含有量に依存したセメント系材料の細孔構造・韌性の変化性状とその速度場の温度依存性に関する研究

研究代表者 大下 英吉 研究員

## 本研究の背景

コンクリート構造物の早期劣化が問題視されている

その原因の一つに炭酸化が挙げられる

大気中の二酸化炭素

温度・湿度 → コンクリート中に侵入

**炭酸化反応**

- 水酸化カルシウム(初期段階に影響)
- CSH(超長期に影響)
- その他

アルカリ量  
含水率 → 温度・  
湿度

細孔溶液  
のpH低下  
水和物の  
組織変質  
組織の緻密化  
炭酸化収縮

かぶり厚 →

コンクリート内部の鋼材腐食  
・ひび割れ発生、かぶりの剥離・剥落  
・耐荷力の低下(鋼材の断面欠損)

様々な内的・外的要因による化学作用が炭酸化速度を決定

経年劣化予測システムの確立が急務  
↓  
化学的劣化がもたらすコンクリートの物性変化は確立されていない

化学的原因により生じる  
劣化メカニズムの解明が必要

## 本研究の目的および解析モデル

セメントの水和反応より生成(内的要因)

(1)水酸化カルシウム (2)CSH (3)アルカリ

従来の炭酸化反応モデル

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$   
 $2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$

$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(\text{l})$   
 $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

$\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

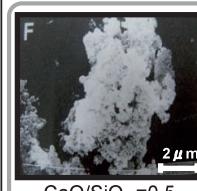
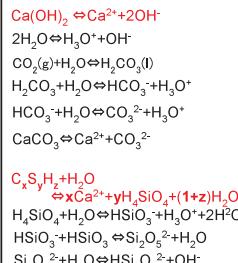
$\text{CO}_2(\text{g}) \downarrow$   
 $\text{H}_2\text{CO}_3 \downarrow$   
 $\text{H}^+ \quad \text{HCO}_3^-$

$\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$

未考慮

水酸化カルシウムと  
炭酸の中和反応のみ水酸化カルシウムは初期  
段階で炭酸化に寄与水酸化カルシウム消失後  
は炭酸化反応を正確に  
表現できない長期に寄与するCSHの考  
慮が必要(②)

## CSHを考慮した炭酸化反応モデル

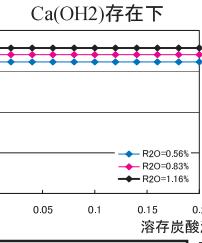
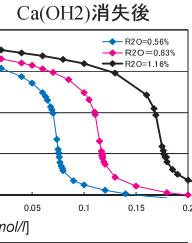
 $\text{CaO/SiO}_2 = 0.5$ 

比表面積が異なる  
↓  
表面反応が異なる  
↓  
CaO/SiO<sub>2</sub>の違いにより炭酸化反応速度・炭酸カルシウムの生成量が異なる  
↓  
CaO/SiO<sub>2</sub>を考慮する必要がある

 $\text{CaO/SiO}_2 = 1.33$  $\text{C/S}(\text{CaO/SiO}_2) = x/y$ によって  
CSHの組織構造が異なる $\text{CaO/SiO}_2$ が小さい → 比表面積が大きい  
 $\text{CaO/SiO}_2$ が大きい → 比表面積が小さい

## 解析結果

## pH遷移

不足分の $[\text{OH}^-]$ ,  $[\text{Ca}^{2+}]$ を $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ が補う不足分の $[\text{OH}^-]$ を $\text{CSH}(\text{s})$ が補えない  
R+と珪酸イオンが平衡

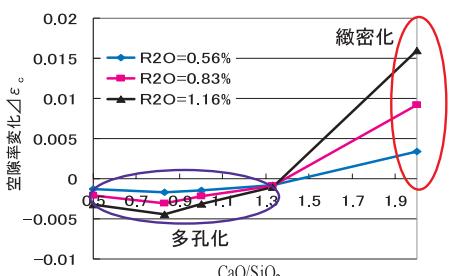
pHは低下しない

pHは低下する

## 炭酸化による空隙率

	$w/c = 0.5$		
	$R_2\text{O} = 0.56$	$R_2\text{O} = 0.83$	$R_2\text{O} = 1.16$
炭酸化後 : 実験値	0.087	0.088	0.090
炭酸化後 : 解析値	0.074	0.082	0.104

炭酸化後における解析値と実験値は比較的良好な一致

炭酸化による空隙率においてCSHを考慮する必要あり  
炭酸化による定量的な空隙率予測が示唆各 $\text{CaO/SiO}_2$ における空隙率変化 $\text{CaO/SiO}_2$ が大きい → 組織は緻密化  
 $\text{CaO/SiO}_2$ が小さい → 組織は多孔化

コンクリートの炭酸化による組織構造変化を統一的に説明可能