

炭酸化によるフリーデル氏塩の分解速度に及ぼす CO<sub>2</sub> 濃度の影響に関する一検討

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○市場 大伍  
 広島大学大学院工学研究科 正会員 石田 剛朗  
 広島大学大学院工学研究科 正会員 河合 研至

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において避けることのできない経年劣化の一つに、炭酸化による鉄筋腐食がある。既存の、あるいは新規の構造物に対してその耐久性能を評価するために、より正確な劣化進行予測を行う手法が求められている。

コンクリートの炭酸化を考えるうえでは、細孔溶液の pH の低下とともに、セメント水和物の分解を考慮する必要がある。これに関して、筆者らは、特に鉄筋腐食に与える影響が大きいと考えられるフリーデル氏塩の分解速度について検討を行っている<sup>1)</sup>。しかしながら、過去の検討においては、雰囲気中の二酸化炭素ガス濃度が 2% および 10% と、非常に高濃度環境下で実験を行っており、より実際の環境に近い低濃度での検討は行っていない。

そこで本研究では、試薬により作成した模擬細孔溶液に合成したフリーデル氏塩を加えたものを試料とし、より実現象に近い低濃度 CO<sub>2</sub> 環境の炭酸化促進槽内および室内に暴露することで、炭酸化によるフリーデル氏塩の分解速度について実験的に検討を行った。

## 2. 実験概要

## 2. 1 フリーデル氏塩の合成方法

フリーデル氏塩の合成方法としては、試薬の塩化カルシウムを用いて調整した 3.4% CaCl<sub>2</sub> 溶液中に、試薬を用いて合成した C<sub>3</sub>A を加え、24 時間の攪拌を行った。C<sub>3</sub>A のブレン比表面積は 3900cm<sup>2</sup>/g である。また、CaCl<sub>2</sub> 溶液量は水粉体比が 1000% となるように定めた。攪拌後、溶液を吸引ろ過し、残渣について 24 時間以上の真空脱気を行って乾燥しこれをフリーデル氏塩とした。模擬細孔溶液は、試薬の水酸化ナトリウムを用いて理論上 pH13.2 となるように作製した NaOH 溶液とした。

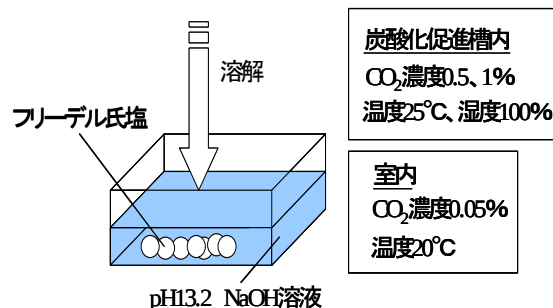


図-1 炭酸化実験の概念図

## 2. 2 炭酸化によるフリーデル氏塩の分解実験

プラスチック製の長方形容器に、作製した模擬細孔溶液 80ml と 0.5g のフリーデル氏塩を加え、これを試料とした。試料は作製後直ちに曝露を開始した。炭酸化促進槽内の雰囲気には、二酸化炭素と空気の混合気体を用い、パラメータとして槽内の CO<sub>2</sub> 濃度を 0.5%、1.0% に設定して実験を行った。雰囲気の温度は 25℃ 一定とし、蒸発の影響を排除するため湿度を 100% とした。一方、室内の雰囲気は通常の空気である。室内の CO<sub>2</sub> 濃度に関しては、ほぼ 0.05% で一定であった。また、室内の湿度と気圧については一定の条件を設けていないが、気温は 20℃ 一定とした。

所定の曝露期間が経過した後、直ちに吸引ろ過を行い溶液と残渣に分離した。ろ液については、pH メーターにより pH を測定した後、直ちに希釈し、イオンクロマトアナライザにより Cl<sup>-</sup> 濃度を測定した。残渣については 24 時間以上の脱気を行った後、DTG により CaCO<sub>3</sub> 量を、DSC によりフリーデル氏塩量を定量した。実験についての概念図を図-1 に示す。

## 3. 実験結果および考察

## 3. 1 ろ液の分析結果

ろ液の分析結果として pH、OH<sup>-</sup> 量および Cl<sup>-</sup> 量の経時変化を、図-2 から図-4 にそれぞれに示す。本来であれば、OH<sup>-</sup> および Cl<sup>-</sup> に関してはイオン濃度で表す

キーワード 炭酸化、フリーデル氏塩、分解速度、二酸化炭素濃度

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL082-424-7786

べきであるが、室内環境では水の蒸発の影響が無視できないほど大きく、イオン濃度が見かけ上増大してしまうため、イオン濃度と溶液量から溶液中のイオン量に換算したものを示している。

CO<sub>2</sub>濃度 1%と CO<sub>2</sub>濃度 0.5%を比較すると、いずれの図においてもその差は僅かであるが、CO<sub>2</sub>濃度 0.05%における pH の低下速度は CO<sub>2</sub>濃度 1%, 0.5% に比べ、非常に緩やかであった。このような傾向は OH<sup>-</sup>量に関しても同様に見られた。一方で、Cl<sup>-</sup>量に関しては、pH および OH<sup>-</sup>量に比べ、CO<sub>2</sub>濃度 1%, 0.5%と CO<sub>2</sub>濃度 0.05%との差は小さい。

### 3. 2 残渣の分析結果

残渣の分析結果として、フリーデル氏塩量、CaCO<sub>3</sub>量の経時変化を図-5 および図-6 に示す。

図-5 より、フリーデル氏塩の分解は溶液の pH が高い値を保っている段階で既に始まっていることがわかる。また Cl<sup>-</sup>量と同様に、CO<sub>2</sub>濃度 1%, 0.5%と CO<sub>2</sub>濃度 0.05%との間におけるフリーデル氏塩の分解速度の差は、pH の低下速度に比べて小さい。

CaCO<sub>3</sub>量は、炭酸化が進行し、フリーデル氏塩がほぼ消失して以降に、増加から減少に転じている。pH の低下に伴い CaCO<sub>3</sub>が Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> となり、溶液中に溶解しているものとも考えられるが、本研究の範囲内ではこの原因を特定することはできなかった。

### 4. 結論

CO<sub>2</sub>濃度 1%, 0.5% (炭酸化促進槽内) と CO<sub>2</sub>濃度 0.05% (室内) とを比較すると、炭酸化によるフリーデル氏塩の分解速度の差は、pH の低下速度 (OH<sup>-</sup>の減少速度) に比べて小さい。また、CO<sub>2</sub>濃度 0.05% では、pH が高い値を保っている段階において、既にフリーデル氏塩の分解が生じている。よって、フリーデル氏塩の分解速度には、酸の濃度 (H<sup>+</sup>濃度あるいは pH) だけでなく、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度が影響を及ぼしているものと推察される。

### 参考文献

石田剛朗, 河合研至, 佐藤良一: 炭酸化によるフリーデル氏塩の分解速度に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No.58, pp.289-294, 2004

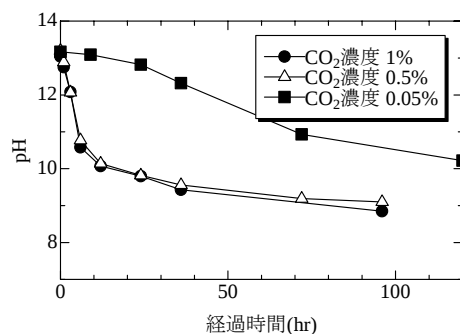


図-2 pH の経時変化

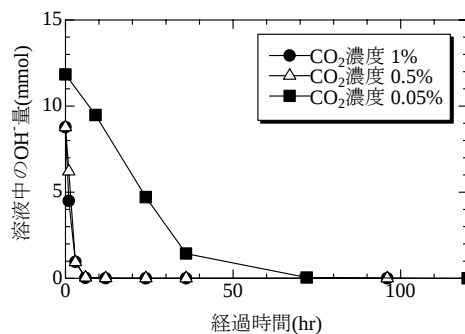


図-3 溶液中の OH<sup>-</sup>量の経時変化

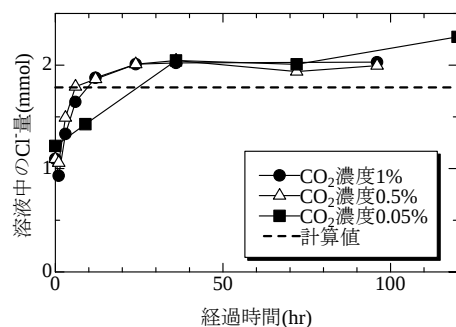


図-4 溶液中の Cl<sup>-</sup>量の経時変化

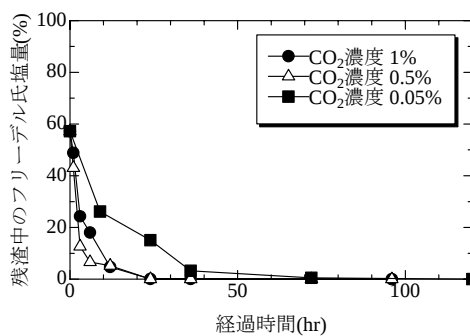


図-5 フリーデル氏塩量の経時変化

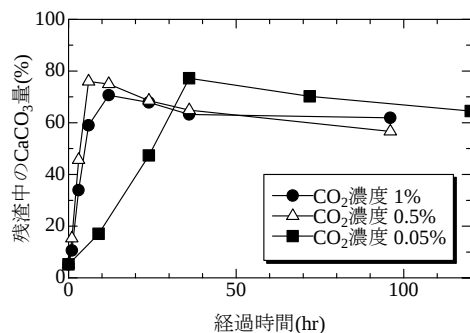


図-6 CaCO<sub>3</sub>量の経時変化