

# CO<sub>2</sub>・人工下水により中性化したコンクリート腐食現象の解析

日大生産工（院）○杉浦 広人 日大生産工 大木 宜章  
日大生産工 保坂 成司 日大生産工（院）藤本 憲司

## 1. はじめに

わが国の下水道整備は、雨水の排除や生活環境の改善を目的としてスタートし、その後、高度経済成長期には公害の顕在化の中で、公共用水域の水質保全という新たな目的を加えながら整備が行われてきた。この結果、全国の下水道普及率は69.3%（平成18年3月31日現在）に達している。しかし、下水道整備が行き渡った大都市では初期に整備された下水道が耐用年数に達し、再構築という新たな課題に取り組んでいる。一方、近年耐用年数に達していないコンクリート構造物において早期老朽化が報告されている。この老朽化の原因として、以下の3点が挙げられる。

- ① 下水道施設内に棲息する硫黄酸化細菌が、  
H<sub>2</sub>S(硫化水素)を酸化することによって生成するH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(硫酸)によるコンクリート腐食
- ② 下水中に含まれる有機酸によるコンクリート腐食
- ③ CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)により引き起こされるコンクリートの中性化

中でも①による腐食が早期老朽化に最も影響を及ぼしていると考えられる。

本研究は、硫黄酸化細菌が生成する硫酸による腐食と、その進行に関与しているコンクリートの中性化に着目し、人工下水およびCO<sub>2</sub>により中性化した供試体を用い、腐食の解析を行うものである。

## 2. 実験方法および測定方法

硫酸によるコンクリート腐食の進行は中性化

が影響していると考えられることから、人工下水およびCO<sub>2</sub>で中性化させたコンクリート供試体（中性化深さ約2mm）を用いて硫酸による腐食の過程を、レーザー変位計等を用い数値的に解析を行った。なお、人工下水中に静置し、有機酸などで中性化させたものを供試体A、密閉容器にCO<sub>2</sub>を充満させ、中性化させたものを供試体Bとする。

実験方法は図-1に示す様にpH2.0の硫酸水溶液400ml中に、コンクリート供試体（形状40mm×40mm×40mm）を静置し、フィルムにて密閉をした状態で、25°Cの恒温器内で実験を行った。なお硫酸水溶液のpHは、硫黄酸化細菌が生成する硫酸のpHを考慮しpH 2.0とした。

測定項目は硫酸水溶液のpH、供試体重量、レーザー変位計による供試体上部の形状測定、光学顕微鏡による視的観察を2日毎に行った。また、pHを一定に保つため、硫酸水溶液は測定日毎に交換した。

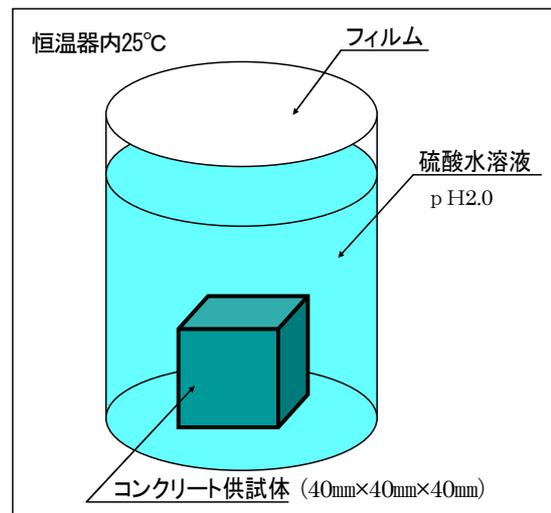


図-1 実験概略図

Analysis of concrete corrosion phenomenon consider to concrete neutralization by carbon dioxide or artificial drainage water

Hiroto SUGIURA, Takaaki OHKI, Seiji HOSAKA, and Kenji FUJIMOTO

### 3. 実験結果

#### 3-1 pHの推移

図-2に硫酸水溶液のpHの推移を示す。

初期の段階において供試体Bの水溶液のpHが上昇しているが、24日目以降は供試体Aと同様の緩慢な変化が続いた。

この初期段階における違いは、中性化方法の違いによるものといえる。すなわち供試体Aにおける推移は、人工下水中の酢酸などの有機酸とコンクリート中のカルシウム分が反応し、弱酸性の酢酸カルシウム $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca})$ などを生成したため、溶液中へのアルカリ分の溶出が少なく、初期段階における急激なpHの上昇がなかったものと考えられる。一方、供試体Bはコンクリート中のカルシウム分と $\text{CO}_2$ の反応により弱アルカリ性の炭酸カルシウム $(\text{CaCO}_3)$ が生成されたため、実験開始直後に $\text{CaCO}_3$ が溶液中に溶け出し、pHを上昇させたものと考えられる。

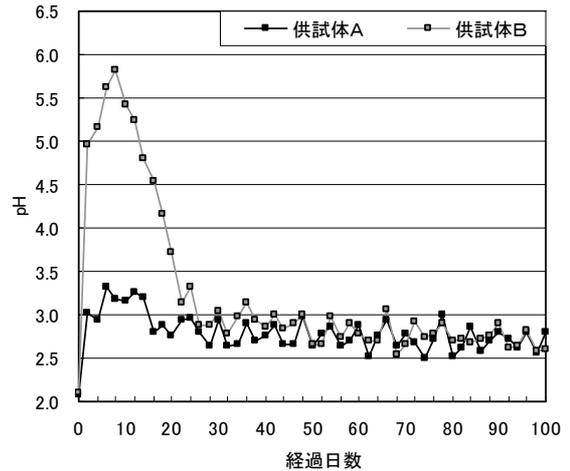


図-2 pHの推移

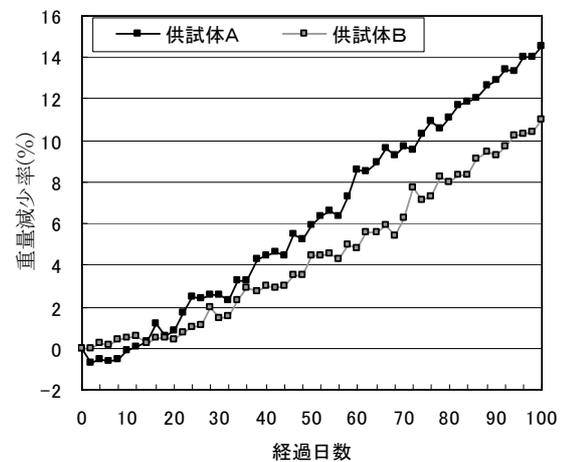


図-3 重量減少率

#### 3-2 供試験体重量の変化

図-3に重量減少率を示す。

供試体Aにおいて、実験開始直後に重量の増加がみられる。これはコンクリートの主成分である水酸化カルシウム $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ 等と硫酸 $(\text{H}_2\text{SO}_4)$ の反応によって生成された、二水石膏 $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ および、エトリンガイト $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O})$ 等、膨張性物質の影響であるといえる。なお、供試体Bの実験開始初期においても同様の反応が生じていると考えられるが、膨張量よりも減少量の方が以降に記す中性化の違いなどの影響で大きくなったため、20日目位まで横這いに推移したのと考えられる。

ここで写真-1に実験開始前の供試体上面の顕微鏡写真を示す。供試体Aにおいて、硫酸水溶液に浸す前からクラックが形成されている。これは、人工下水中に含まれる有機酸により、コンクリー

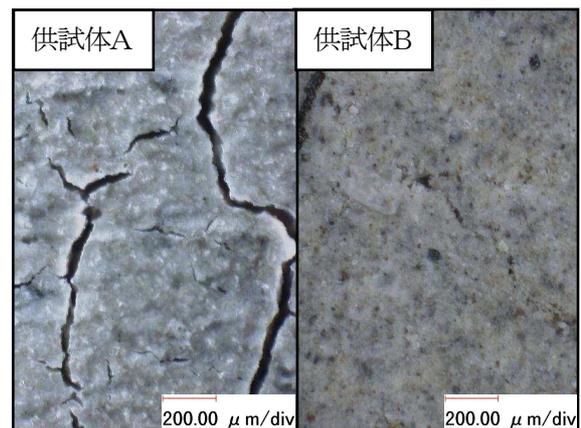


写真-1 供試体A・B : 0日目(×200)

トの表面が腐食され、微細なクラックを形成したためである。また36日目以降、供試体Bに比し、供試体Aの減少率が大きくなっていることもクラックが硫酸の浸透を容易にしたためといえる。

### 3-3 供試体の形状・体積変化

図-4に体積減少率のグラフを示す。

供試体A・Bともに体積の増加・減少を繰り返しながら徐々に減少している。

このグラフの推移は、コンクリート中のカルシウム分と硫酸の反応により生成されるエトリンガイト等の影響と考えられる。エトリンガイトは結晶中に多く水分を取り込む膨張性の物質であるが、酸性下においては崩壊性が高い物質でもあり、崩壊に伴い硫酸イオンを遊離する。これらの硫酸イオンはさらにコンクリート内部へ浸透し、結晶を生成するため、グラフ上では膨張・脱落を繰り返す凹凸の激しい結果を示した。

写真-2, 3に実験開始2日目と4日目の両供試体の経過を示す。供試体Bは実験開始4日目に供試体Aの0日目と同程度のクラックが硫酸の腐食によって形成された。なお、先に示した図-4において供試体Bのグラフが供試体Aから数日ほど遅れて同じ推移を示していること、および供試体Aの方が減少量が高いのは、この初期状態の違いからである。

次に両供試体上面の経日変化を図-5, 6に示す。図は、供試体の断面形状を表したものであるが、供試体Aは全体的に1.5mm以上減少しているが、供試体Bは1.0mm程度の減少であり、供試体Aに比し減少量が小さい。先に示した図-4のグラフからも、供試体Aの減少が大きく、この原因は先に記した供試体Aの表面に人工下水の腐食によって生じたクラックの影響であるといえる。

すなわち、このクラックの有無が、供試体Aの重量・体積の減少を促進させた要因である。図-7の供試体上面の画像では輪郭の部分からも確認できるように、供試体Aの面積の減少が供試体Bの減少と比べて大きいことが分かり、腐食・脱落の進行速度の違いが確認できる。

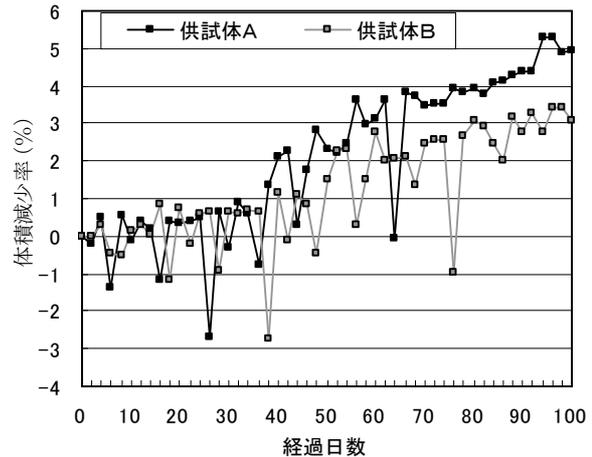


図-4 体積減少率

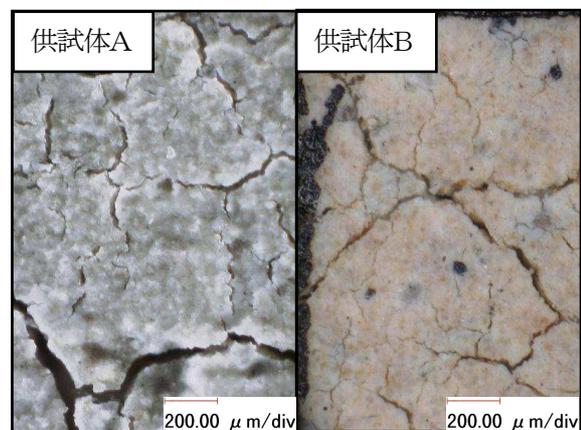


写真-2 供試体A・B：2日目(×200)

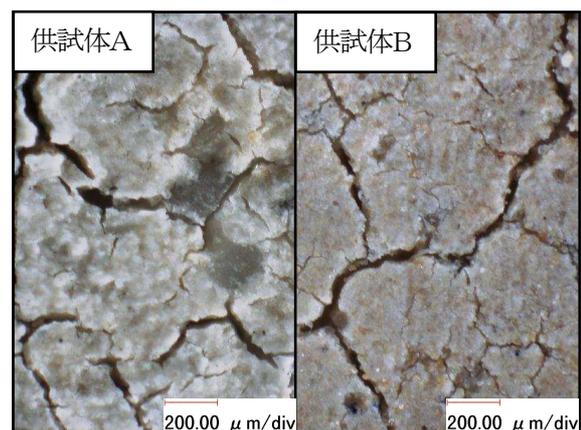


写真-3 供試体A・B：4日目(×200)

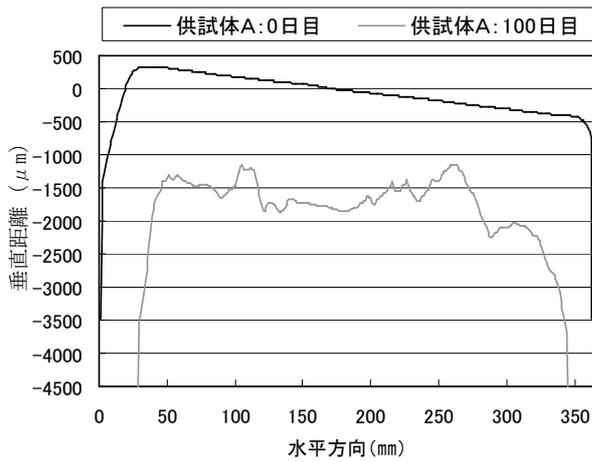


図-5 供試体A経日変化

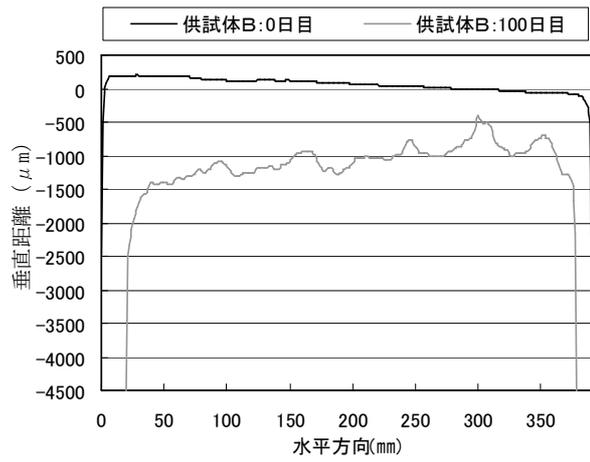


図-6 供試体B経日変化

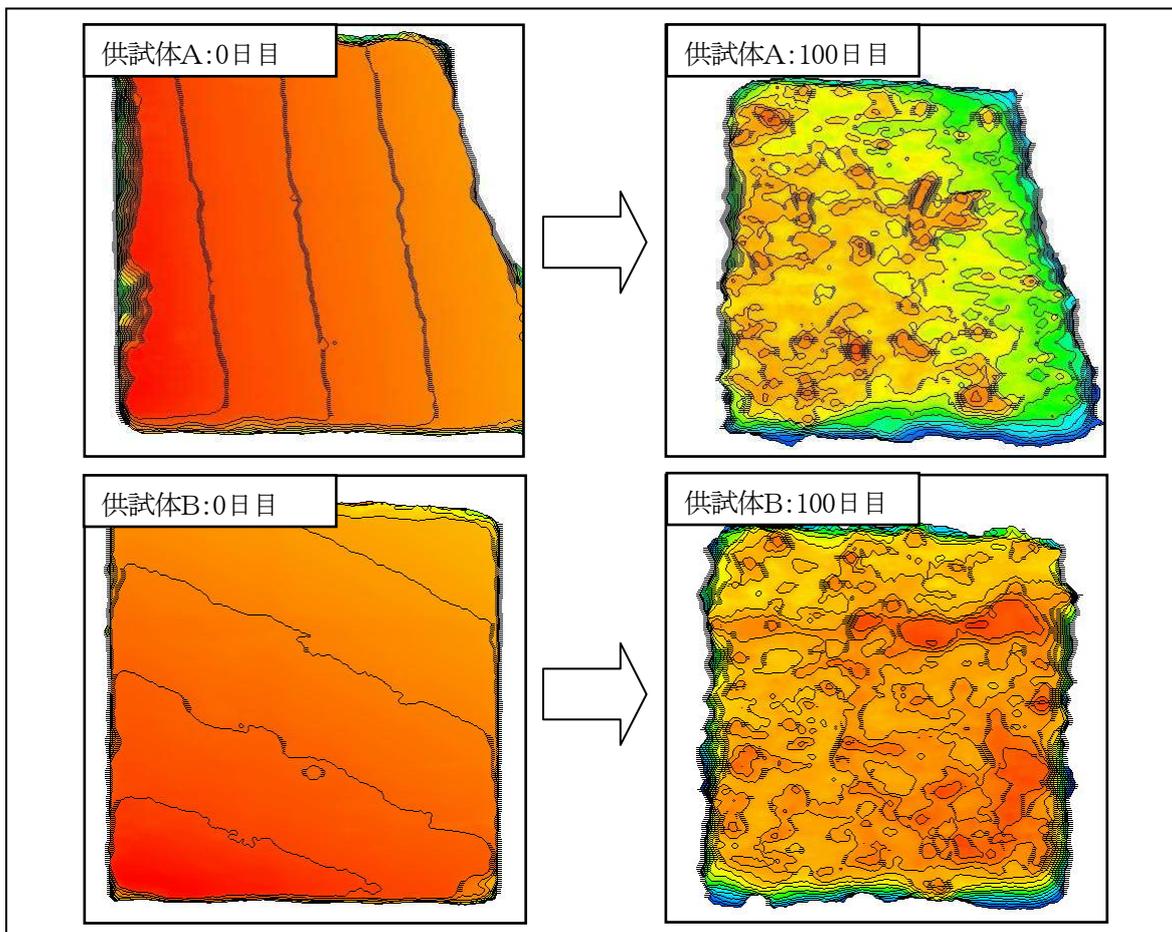


図-7 供試体上面の経日変化

#### 4. まとめ

異なる方法にて中性化を行った2つのコンクリート供試体を用いた本実験では、人工下水によるコンクリートの中性化が、硫酸による腐食の進行を早めていることが明らかとなった。この条件は下水道管内でも同じであり、下水中に含まれる有機酸などがコンクリートの表面を中性化、さらに

は腐食・劣化させることにより、硫黄酸化細菌が生成する硫酸の影響を受け易くさせると考えられる。

以上、実下水道管においても空気と下水の両方に触れる喫水面の腐食が最も激しいことから、今回の結果が裏付けされる。