

中性化方法の相違によるコンクリート腐食の解明

－ 硫黄酸化細菌の影響を考慮した －

日大生産工 ○保坂成司
日大生産工 大木宜章
日大生産工 河合紘茲

1.序文

下水道整備は都市の健全な発達や公衆衛生の向上、および公共用水域の水質保全を図る上で重要な事業であり、全国自治体において下水道の整備が急がれている。

一方、下水道整備が完了した都市においては下水道管の老朽化という新たな問題に直面している。例えば東京都においては下水道管の老朽化が原因による陥没事故が年間 1400 件発生するなど、社会問題も引き起こしている。一般的に下水道施設におけるコンクリート管等の耐用年数は 50 年とされており、この年数に達した下水道を対象に調査が行われ、結果に基づき補修や再構築が実施されている。

しかし近年、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おり、この早期老朽化のメカニズムの解明が下水道施設の延命化を図る上で重要な課題となっている。

なお老朽化の主な原因として、これまでの報告および研究結果より、

①下水道管渠内に生息する硫黄酸化細菌が作り出す H_2SO_4 によるコンクリート腐食

②下水中に含まれる酢酸などの有機酸に

よるコンクリート腐食

③ CO_2 （二酸化炭素）によって引き起こされるコンクリート劣化

の 3 つが挙げられ、中でも①による腐食が早期老朽化に最も大きく影響している。また①による腐食の進行速度は②、③によるコンクリート中性化が大きく影響していると考えられる。

本研究は、硫黄酸化細菌による腐食進行に大きな影響を与えるコンクリートの中性化に着目し、人工下水および CO_2 により中性化した供試体を用い、微生物腐食を想定した実験を行った。

なお測定に関しては高精度のレーザー変位計と解析ソフトにより供試体表面の形状や体積変化の数値化を試み、この数値から検討を行った。

	中性化方法	中性化深さ
供試体 A	人工下水により中性化	約 2 mm
供試体 B	CO_2 により中性化	約 2 mm

図-1 硫酸腐食実験概略図

Analysis of Concrete Corrosion about Difference of Neutralizations

－ Consider to Sulfur-Oxidizing Bacterium Effect －

Seiji HOSAKA , Takaaki OHKI , Tadashi KAWAI

2.実験概要

前述のように、硫酸によるコンクリートの腐食の進行速度は中性化が影響していると考えられることから、中性化方法が異なるコンクリート（中性化深さ約2mm）を用いて硫酸による腐食の影響を検討した。

実験概略図を図-1に示す。

なお腐食された下水道施設のコンクリートの表面はpHが2.0～3.0である。このことから、硫黄酸化細菌はコンクリート表面で増殖しているといえる。したがって同様な条件下に保つためpH2.0～3.0の硫酸水溶液400ml中に、コンクリート供試体(形状40×40×40mm)を静置し、フィルムにて密閉した状態で25℃の恒温器内で実験を行った。

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および、光学顕微鏡による視的観察を2日毎に行った。なお、硫酸水溶液はpHを一定に保つため2日毎に交換した。

3.実験結果

3.1 硫酸水溶液のpHの変化

図-2に硫酸水溶液のpHの変化を示す。初期の段階において供試体Bの水溶液ではpHが上昇するが12日以降は供試体A同様徐々にpHは低下傾向を示す。この違いは、これら供試体の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は人工下水中にコンクリートを静置させ中性化させたものであり、人工下水中の酢酸など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pHの上昇が僅かであったと推察できる。

一方、供試体Bは密閉容器内にCO₂を充

満させ中性化させたため、コンクリート中のカルシウム分とCO₂の反応により弱アルカリ性の炭酸カルシウム(CaCO₃)が生成されたため、実験開始

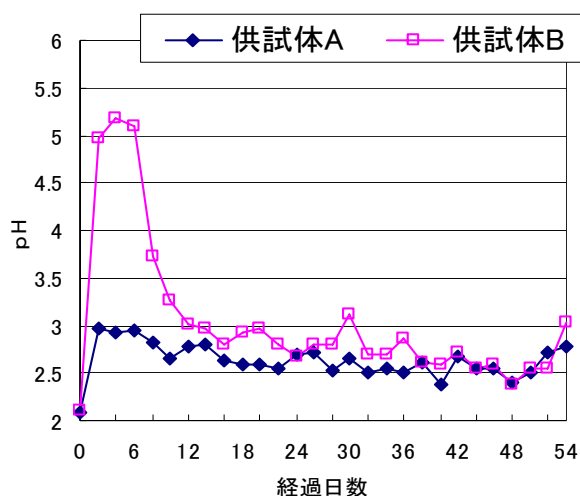


図-2 硫酸水溶液のpHの変化

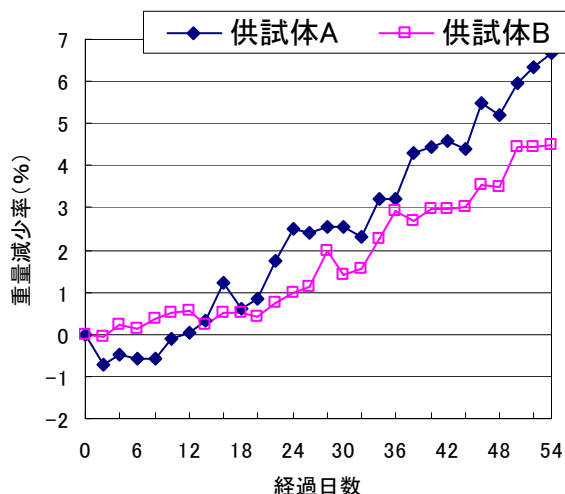


図-3 供試体重量減少率

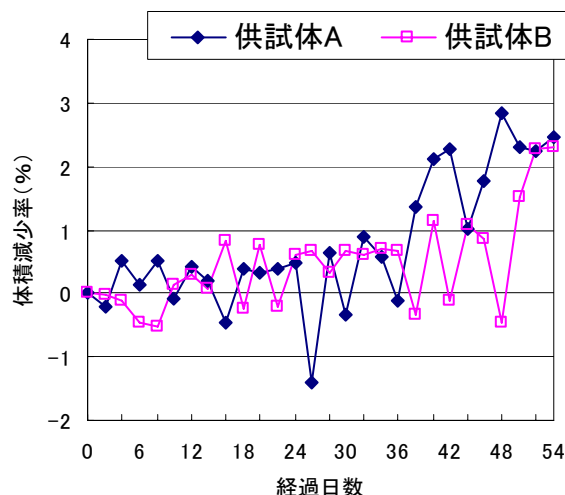


図-4 供試体体積減少率

直後この CaCO_3 が溶液中に溶出し pH を上昇させたものと考えられる。

3.2 供試体重量の変化

図-3 に、供試体重量減少率を示す。供試体 A において実験初期段階に重量の微量増加が見られた。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 (H_2SO_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 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) 等の影響であるといえる。

一方供試体 B では初期の微量増加は確認

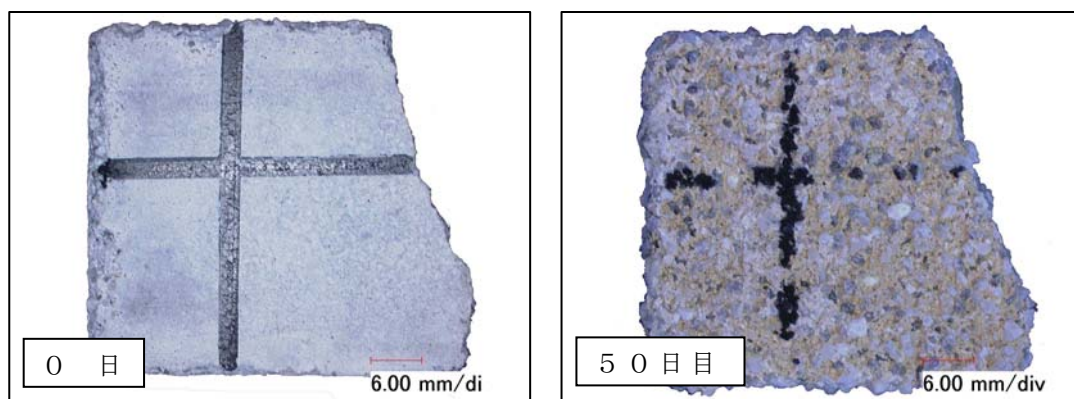


図-5 供試体 A 形状変化（写真）

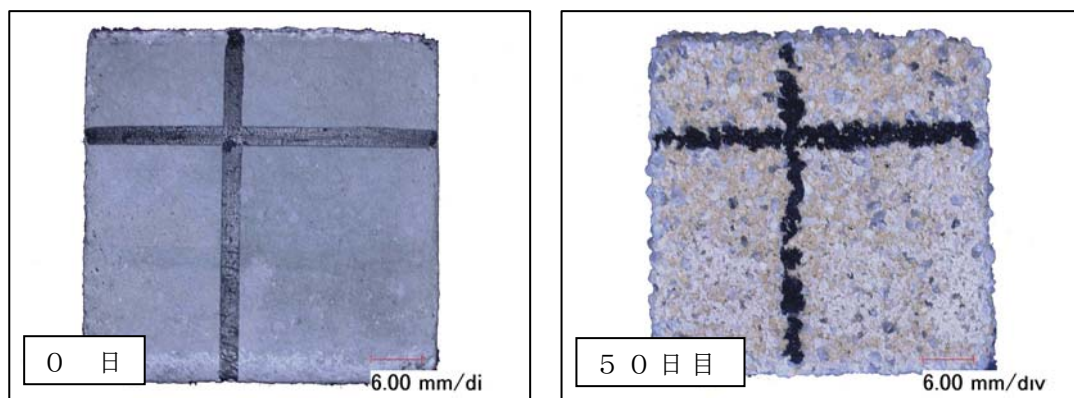


図-6 供試体 B 形状変化（写真）

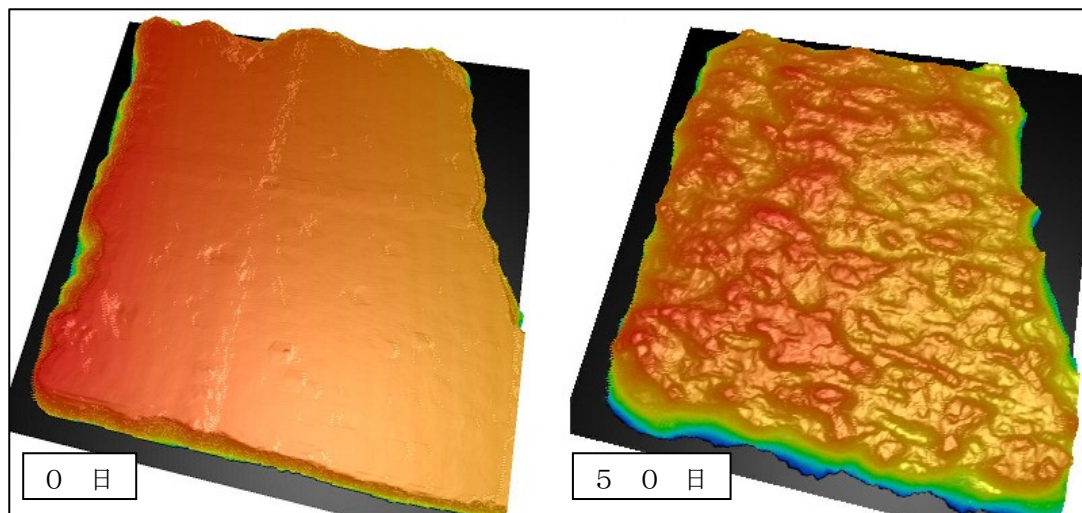


図-7 供試体 A 形状変化（3D）

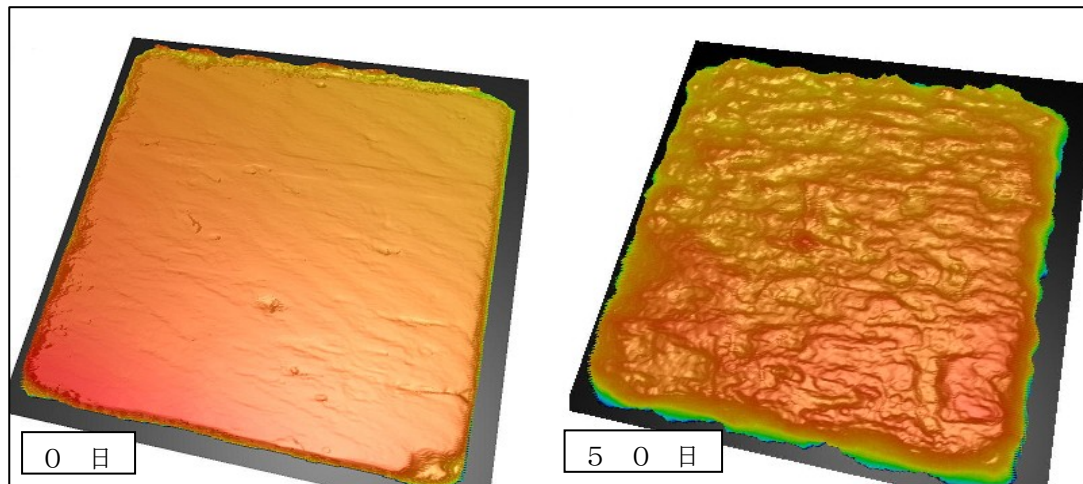


図-8 供試体 B 形状変化（3D）

されないが、次項 3.3 の供試体体積減少率の実験結果においては微量増加が認められる。しかしこれは供試体 A に比べ非常に小さいものであり、この結果も中性化方法の違いによるものといえる。

3.3 供試体の形状・体積変化

図-4 に供試体体積変化率を示す。

供試体 A、供試体 B とともに起伏の激しいグラフとなっている。

これは、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。すなわちエトリンガイトは結晶中に多く水を取り込む膨張性物質であるが、非常に崩壊性が高い物質である。エトリンガイトは崩壊に伴い硫酸イオンを遊離するため、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。このため、グラフ上でも確認できるように腐食は膨張、脱落を繰り返し凹凸の激しいグラフとなっている。

なお、グラフ上では中性化方法の違いによる影響は際だって表れていないが、供試体 A は実験開始直後の膨張期間が少なく直ぐに体積減少に移っている。一方、供試体 B は実験開始直後における膨張期間が長く供試体 A に比し 1 週間程度遅い

変化をたどっていることから、同程度の中性化深さであれば人工下水による中性化(供試体 A)の方が、腐食が進行しやすいといえる。

次に、図-5～図-8 に供試体形状変化の写真および 3D 画像を示す。

写真では判別できないが、3D 画像では供試体 A、供試体 B に腐食の進行度合いに違いがある。すなわち供試体 B は表面が均等に腐食されているのに対し、供試体 A は表面が不均一に腐食されていることから腐食が内部にも進行していると推察できる。

4.まとめ

中性化方法の違う供試体（人工下水と CO_2 ）を用いて硫酸による腐食実験を行った結果、次のことが判明した。

同じ中性化深さでも中性化方法の違いにより、硫酸による腐食の進行速度は異なり、人工下水による中性化の方が硫酸による腐食の進行速度は速い。このことは通常の下水道管において下水と空気両方に接する吃水部における腐食が著しことと一致しており、有機酸によるコンクリート中性化が硫酸腐食の進行に対して大きく影響していると言える。

