

下水管渠内環境と微生物によるコンクリート腐食に関する研究

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. はじめに

日本の下水道普及率は高度経済成長期より年平均 1.5%上昇し、平成 18 年度末での全国の下水道普及率は 70.5%となっている。なかでも都市部における下水道整備は急速に行われ、人口規模 100 万人以上の都市に至っては 98.4%（平成 18 年度末）とほぼ全ての家庭に下水道が整備されている。

一度整備された下水道は半永久的と思われるが、実際には耐用年数が存在し、コンクリート構造物では 50 年である。

しかし近年この耐用年数を待たずに、十数年で再構築が必要となる早期老朽化下水道管の存在が報告されている。

この早期老朽化の原因は交通量増加などの影響による損傷といった物理的要因によるものと、下水中に含まれる成分や微生物が原因となる化学的要因によるものに分けられる。

なかでも化学的要因によるものが下水道施設に最も深刻なダメージを与えているとの報告から本研究は微生物腐食について、下水管渠内の環境を考慮し実験を行うものである。

2. 実験方法

2. 1 実験概要

コンクリートは当初高アルカリであり、硫黄酸化細菌の生育条件には適合せ

ず微生物腐食は生じない。しかしコンクリートの pH が低下し硫黄酸化細菌の至適生育環境になると一気に腐食が進行する。この pH 低下の原因は、気中もしくは水中に溶解した CO_2 とコンクリート中のアルカリ分の反応（コンクリートの中性化）が原因とされてきた。しかしこれまでの研究結果より、 CO_2 以外で下水成分に含まれる有機酸においてもコンクリート中のアルカリ分を消失させることが明らかとなった。

このことから、下水管渠内では

- ① 気相部では CO_2 によりアルカリ分が消失（通常のコンクリート中性化）
 - ② 吃水部、液相部では下水中に含まれる有機酸によりアルカリ分が消失
- の 2 つがアルカリ分を消失させる主な原因と考えられる。

よってこの 2 方法によりアルカリ分を消失させたコンクリートを用い、硫黄酸化細菌による腐食を想定し H_2SO_4 水溶液を用いて腐食実験を行った。なおこの腐食現象の解析には高精度レーザー変位計と解析ソフトを用いた。

2. 2 コンクリート中性化方法

本実験において用いたコンクリート試験体はセメントの強さ試験 (JIS R5201) に基づき、普通ポルトランドセメントを用いて作成した。

このコンクリート試験体を用い

An Experimental Study for Concrete Corrosion Behavior due to Difference in
Environments of Sewer Tube and Microorganism Effects.

Seiji HOSAKA ,Takaaki OHOKI and Tadashi KAWAI

- ① 中性化促進装置を用い CO_2 濃度 5%、RH65%の条件でコンクリート供試体を 1 年間中性化(通常の下水道管の気相部を想定：供試体 A)
- ② 人工下水にコンクリート供試体を 1 年間浸漬させ（人工下水は毎週交換）アルカリ分を消失（下水道管の吃水部、液相部を想定：供試体 B）

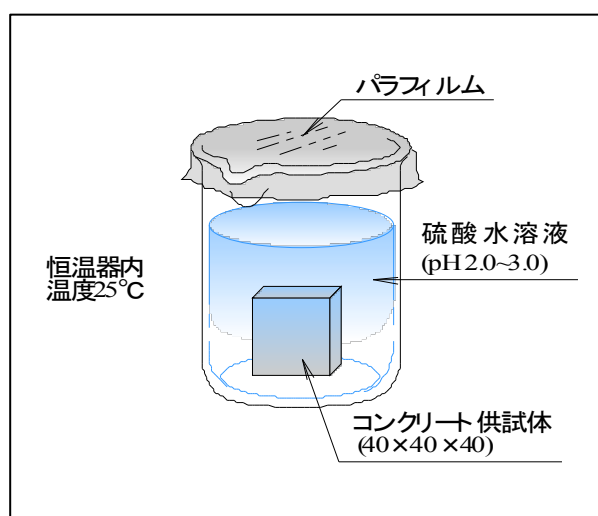
以上の 2 通り方法によりコンクリート表面のアルカリ分を消失させた。なおフェノールフタレインによるコンクリートの中性化深さ試験では、いずれのコンクリートも同じ 2mm 程度の中性化深さ(アルカリ分の消失深さ)であった。

2. 3 実験条件および測定項目

図－1 に実験概略図を示す。

実験条件は微生物により腐食された下水道施設のコンクリートの pH が 2.0～3.0 であったことから、硫酸酸化細菌が生成する H_2SO_4 の濃度も同様と考え、pH2.0～3.0 の硫酸水溶液 400ml 中に、コンクリート供試体（形状 40×40×40 mm）を静置し、フィルムにて密閉した状態で恒温器内で 25℃に保ち実験を行った。なお、硫酸水溶液の pH はコンクリートからのアルカリ分溶出により上昇するため、pH を一定に保つべく 2 日毎に交換した。

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変化の測定および光学顕微鏡によ



図－1 硫酸実験概略図

る視的観察であり、測定は 2 日間毎に行った。

2. 4 測定装置

本研究において、重量測定には電子分析天秤（測定最小目盛 0.001 g）、視的観察にはデジタルマイクロスコープ（倍率：×5～800）を用い、形状測定には KEYENCE 社製の 3D レーザー変位計を用いた。

レーザー変位計は、可動式ステージ KS-1100 とセンサーヘッドからなり、センサーヘッドは用途に応じて付け替えが可能である。

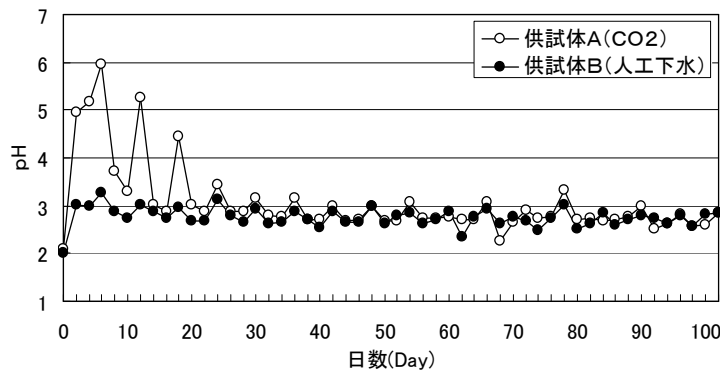
本実験に用いたレーザー変位計は三角測量を応用した測定方法のレーザー変位計 LK-G30（測定範囲±4.5 mm、精度 0.1 μm）と対物レンズを高速で上下させ焦点の合った位置から距離を測定するダブルスキャン高精度レーザー変位計 LT9010M（測定範囲±0.3 mm、精度 0.01 μm）である。LT9010M の最大の特徴は通常のレーザー変位計では測定困難な透明な結晶物の測定が可能なことである。しかし高分解能であり測定ピッチが細かく測定に時間を要することから、本実験においては試験体全体の測定を LK-G30 で行い、細部の測定を LT9010M で行うこととした。なお、得られたデータは解析ソフト KS-Analyzer により解析を行った。

3. 実験結果

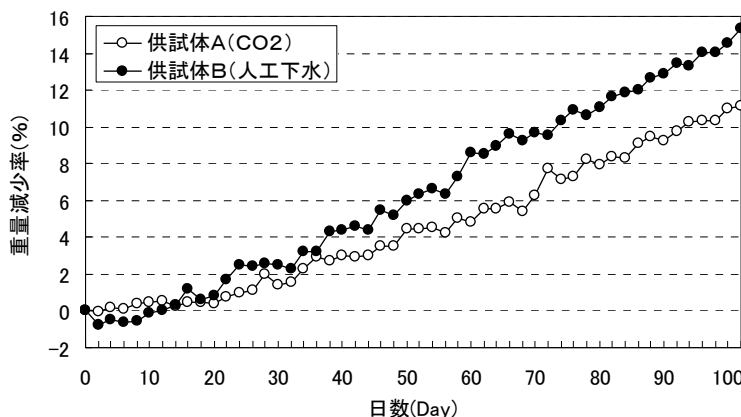
3. 1 硫酸水溶液 pH の変化

図－2 に硫酸水溶液の pH の変化を示す。通常の CO_2 による中性化コンクリートである供試体 A を浸漬した溶液は実験開始直後に pH の大きな上昇を示し、6 日目以降 6 日を 1 サイクルとして pH の上昇を繰り返したが、その上昇幅は経時的に小さくなった。一方人工下水によりアルカリ分を消失させた供試体 B を浸漬した溶液の pH は実験開始より期間を通して 2.5 付近を推移し大きな変化は示していない。

すなわちこの pH の変化より、通常の CO_2



図－２ 硫酸水溶液の pH の変化



図－３ 各供試体の重量減少率

による中性化ではコンクリートは内部にアルカリ分を保持しているが、人工下水によりアルカリ分を消失させたコンクリートは内部にアルカリ分をほとんど保持していないといえ、このアルカリ分の有無が下水道施設におけるコンクリートの微生物腐食進行に影響を与えていると考えられる。

３．２ 各供試体の重量の変化

図－３に各供試体の重量の減少率を示す。まず供試体 A (CO_2) の推移では二次関数的な減少傾向が確認される。これまでの実験結果から硫酸によるコンクリート腐食は時間の二乗に比例して進行することが確認されており、コンクリートが腐食するときの一般的な現象といえる。一方供試体 B (人工下水) においては減少傾向こそ供試体 A に類似しているが、その減少傾向は著しく、100 日目では供試体 B においては供試体 A の 1.4 倍近い減少を示した。また、供試体 B にお

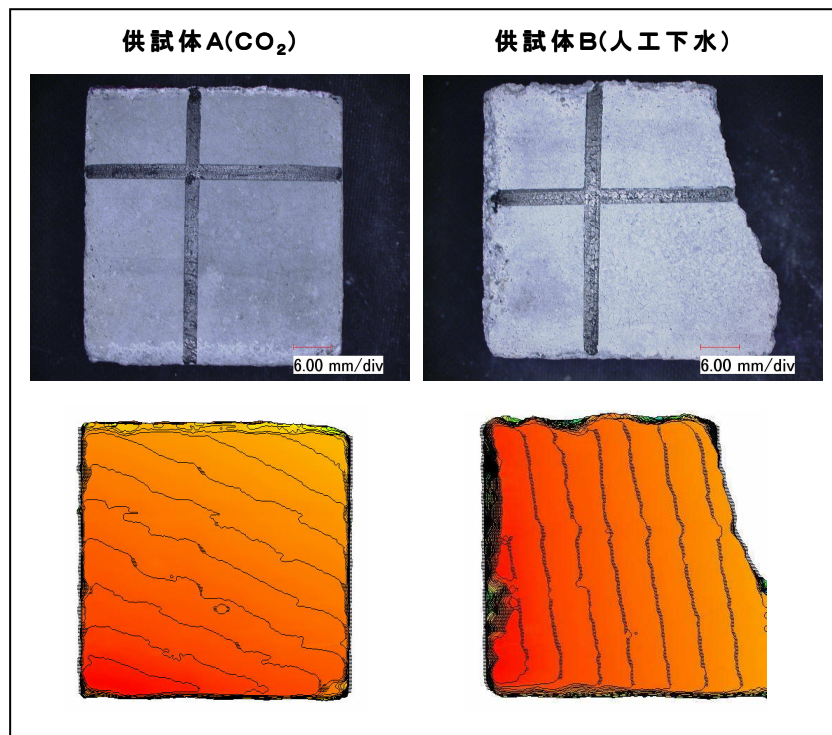
いて実験開始 10 日目までは重量は増加を示した。この重量増加現象はこれまでの実験よりコンクリートの主成分である Ca と H_2SO_4 の反応によって生成された膨張性物質である二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) および、エトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) 等の影響と考えられる。

３．３ レーザー変位計による試験体表面の微細変化

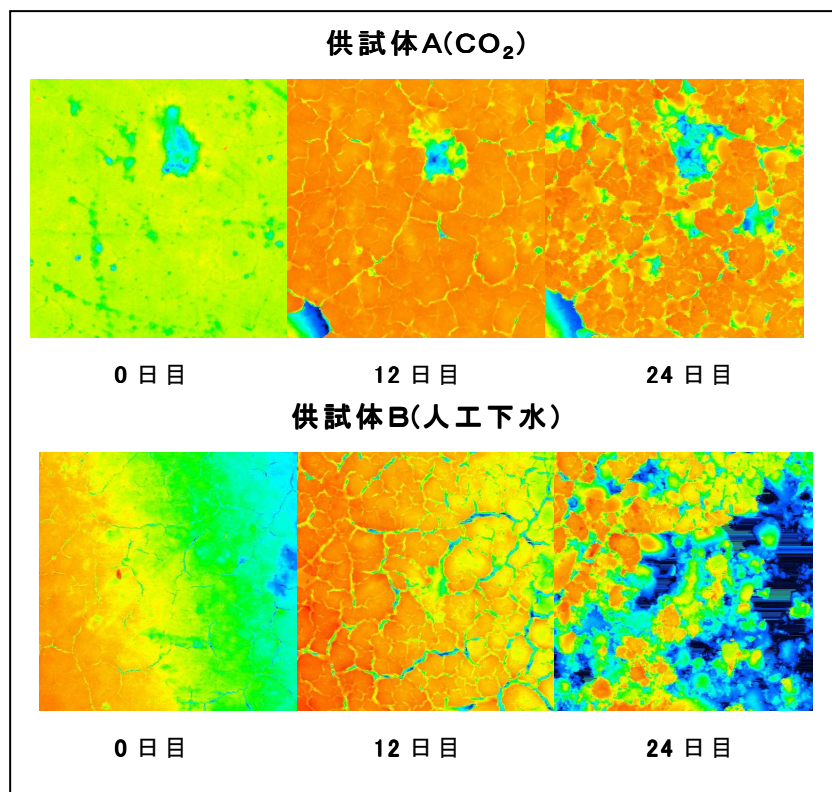
これまで硫酸水溶液の pH の変化および各供試体の重量の変化をグラフで示したが、ここでレーザー変位計による測定および解析結果について述べることにする。

図－４に中性化終了後の各供試体の全体写真およびレーザー変位計 LK-G30 による解析

画像を示す。また図－５に各供試体表面の一部 ($5\text{mm} \times 5\text{mm}$) を LT9010M により測定、解析した画像を示す。図－５より、供試体 B (人工下水) の 0 日目において供試体 A (CO_2) には観られない微細なクラックが生じていることが確認できる。またこのクラックは硫酸実験開始後急速に成長し、24 日目には既に測定範囲をオーバー (画像中黒線箇所) している。すなわち、LT9010M による測定結果より図－４で示した目視やこれまでのレーザー変位計では捉えることができなかった微細なクラックが供試体 B (人工下水) では生じていたことが判明し、このクラックがコンクリート中のアルカリ分の溶出を促進させ、さらにその後の硫酸実験において腐食の進行を早めたといえる。なおこのことは先の硫酸水溶液の pH の変化において供試体 B (人工下水) における変化が少なかったことと一致する。また先の各供試体の重量の変化の結果における供試体 B の初期の重量増加もこの



図－４ 中性化終了後の各供試体



図－５ 各供試体の細部の画像 (5mm×5mm)

クラックが硫酸との接触面積を増加させたことが原因であるといえる。

４．まとめ

I．通常の中性化である CO_2 と下水成分

に見立てた人工下水の２通り方法でコンクリートのアルカリ分消失を行い、この試験体を用いて硫酸による腐食実験を行った結果、浸漬した硫酸水溶液のpHの変化より、通常の CO_2 による中性化ではコンクリート内部にアルカリ分を保持しているが、人工下水でアルカリ分を消失させたコンクリート内部にはアルカリ分が残存していなかった。すなわち下水（人工下水）はコンクリート表面だけではなく、内部のアルカリ分まで溶出させる働きがあり、結果コンクリートの微生物腐食を促進させるといえる。

Ⅱ．高精度レーザー変位計によりコンクリート表面の微細な変化を測定した結果、人工下水でアルカリ分を消失させたコンクリート表面には微細なクラックが生じていることが明らかとなった。また、供試体の重量変化より、この微細なクラックがその後の硫酸によるコンクリート腐食の進行を促進させているといえる。

以上、本研究の結果より、下水（人工下水）にはコンクリート内部

のアルカリ分の溶出作用とコンクリート表面の微細なクラック生成作用が確認され、これらが微生物腐食を促進させることが明らかとなった。