

# 中性化の相異によるコンクリートの腐食・劣化の解析

日本大学 (院)  
日本大学

○藤本 憲司  
保坂 成司

日本大学 大木 宜章  
日本大学 関根 宏

## 1. はじめに

近年東京都など大都市の、下水道管においてコンクリートの老朽化による損壊が原因で道路の陥没事故などが起きている。

この老朽化は、コンクリートの中性化による劣化、下水中に含まれる有機酸、 $H_2S$  による腐食、施設内に生息する硫酸化細菌（以下菌体と略す）による生物腐食などが複合的に作用し引き起こしている。

本研究では、中性化深さの異なるコンクリート供試体を用い有機酸や  $H_2S$  といった下水に含まれる成分や、菌体が生成する  $H_2SO_4$  などによって引き起こされる腐食・劣化現象を高精度のレーザー変位計を用い、コンクリート表面の腐食・劣化の進行状況をマイクロオーダーで捉え、数値化することによりこれら現象の解析を行った。

## 2. 測定装置

測定装置はKEYENCE社製の3Dレーザー変位計を用いセンサー部は、高速・高精度 CCD レーザー変位計 LK-G30 (以下 LK-G と略す)、ダブルスキャン高精度レーザー測定器 LT9000 (以下 LT と略す) の2種類を使用した。

- ・ 図-1 に LK-G の詳細図を示す。LK-G は  $0.1\mu m$  の精度、測定範囲は $\pm 5mm$  で測定物の変位を高速で測定できることからコンクリート供試体の腐食脱落および形状変化の測定に適する。
- ・ 図-2 に LT の詳細図を示す。LT は測定対象の材質、色、傾きなどの影響を受けることなく  $0.01\mu m$  の精度、測定範囲は $\pm 0.3mm$

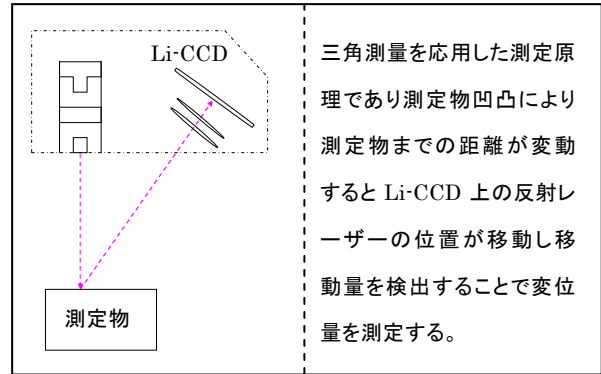


図-1 LK-Gの詳細図

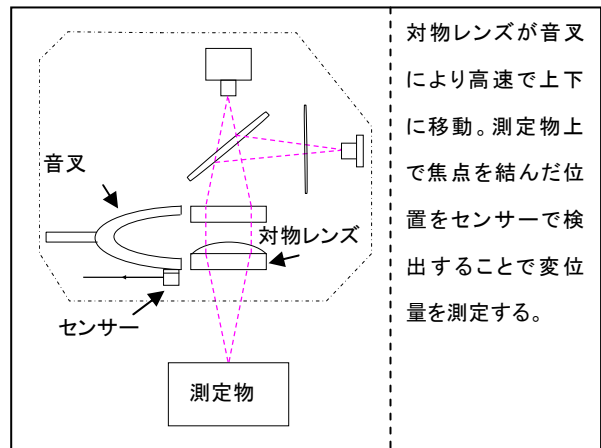


図-2 LT詳細図

の精度で測定が可能でありコンクリート供試体に生成される結晶物等による微細な形状変化の測定に適する。

これらの2種類のセンサーを測定目的別に使用し、解析ソフトにより測定、解析を行った。

## 3. 予備実験

本実験を行う前にこれまで用いた簡易レーザー装置の測定結果と LK-G および LT による測定結果を比較するために予備実験を行った。

### 3. 1 予備実験方法

予備実験はコンクリート供試体（形状4×4×4cm）を硫酸水溶液 pH2 に浸漬し、腐食進行状況を LK-G および LT で測定した。なお、コンクリート供試体中のアルカリ分が水溶液中に溶出し pH が上昇するため、pH2.85～3.15 を上限として硫酸水溶液を交換。測定項目はこれまでの

- ①pH
  - ②電子天秤による重量の測定
  - ③簡易レーザーによる表面の腐食度合の測定
- のうち③を次の④、⑤とした。
- ④LK-G と解析ソフトを用いた表面の形状変化の測定
  - ⑤LT と解析ソフトを用いた微細な形状変化の測定

なお、測定は2日毎に行うこととした。

### 3. 2 予備実験結果

#### 3. 2. 1 過去のデータとの比較

まず、図-3 に過去の実験結果を示す。グラフより初期段階において重量減少率、腐食度合とも微量増加を示し、その後減少に転じている。

次に図-4 に本年度の実験結果を示す。グラフより初期段階において重量減少率、腐食度合とも微量増加を示し、その後減少に転じており、図-3 と比べ測定値に差異はあるものの全体的な傾向としては同じである。この初期段階における重量減少率、腐食度合の微量増加は、コンクリートの主成分である  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等と  $\text{H}_2\text{SO}_4$  による反応で生成された  $\text{CaSO}_4$  およびエトリンガイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) 等の影響であると考えられる。

#### 3. 2. 2 LK-G および LT による測定結果

図-5 に LK-G を用いて測定した供試体上面の経日変化を示す。図-5 より、6日目から8日目にかけて最初の急激な腐食現象が見られたことから、LK-G より高精度な LT に

よって表面の一部（5mm×5mm）を測定した結果を図-6 に示す。

このグラフは供試体に発生した内部へのクラック、すなわちひび割れの深さを表している。6日目と8日目では明らかにひび割れの度合が大きく表れていることから、腐食が進行しているといえる。

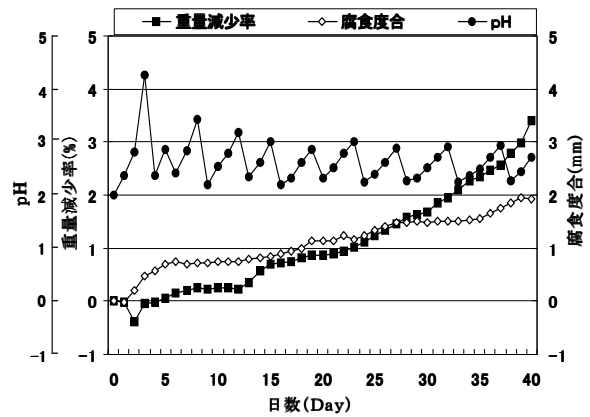


図-3 過去の実験結果

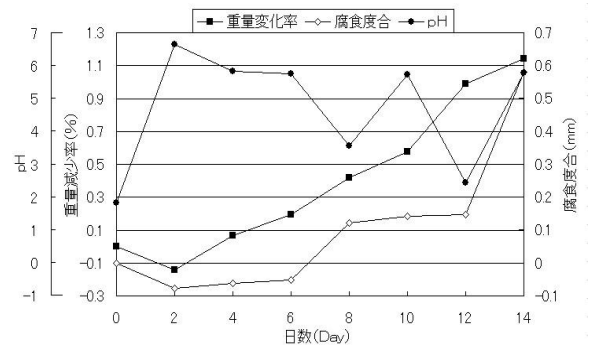


図-4 今年の実験結果

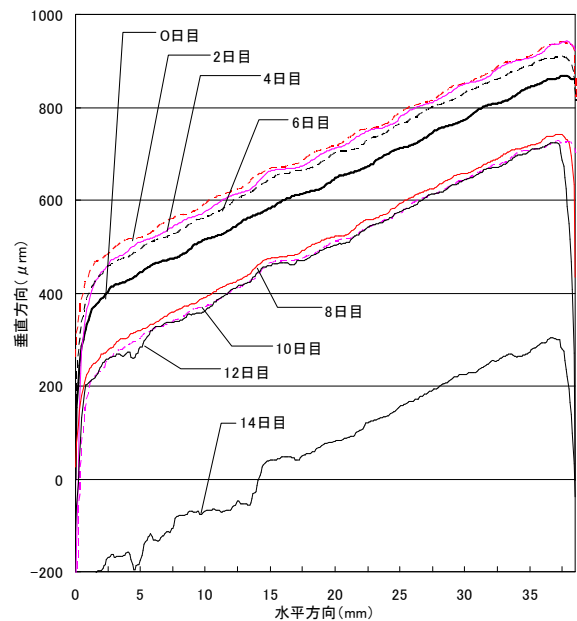


図-5 LK-G による測定結果

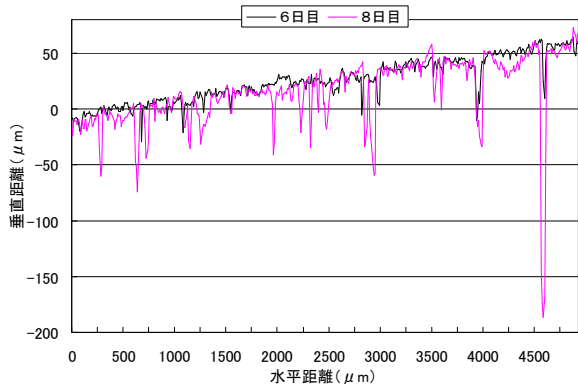


図-6 LTによる測定結果

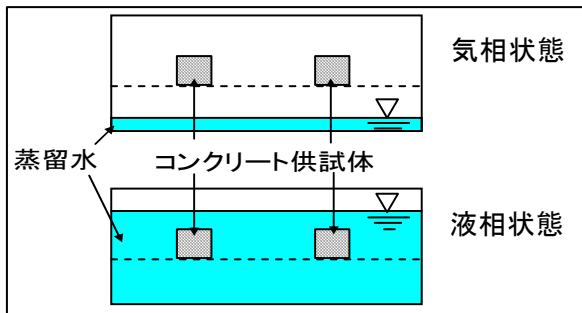


図-7 実験概略図

#### 4. 中性化の相異による腐食・劣化実験

##### 4. 1. 実験概要

図-7に示した実験概略図、表-1に示した実験条件下で、コンクリート供試体（形状4×4×4cm）を密閉容器内に静置し、実験を行った。なお、菌体はA0、A10の供試体上部のみ塗布してある。

##### 4. 2. LK-Gによる測定結果

各供試体の結果を図-8～13に示す。実験開始から28日目経過時には全ての供試体において初期の形状より垂直距離に約100μmの膨張が確認された。なお、菌体の有無にかかわらず膨張が見られたことから、この膨張は菌体の作用によるものではなく、容器内に充填したガス及び水分の影響と考えられる。また、光学顕微鏡下の観察ではコンクリート表面に結晶物の生成が確認された。しかし、各供試体共に42日目には実験初期に比べ垂直距離約50μmの減少が見られた。すなわち、増加から減少に転じていることから腐食が進

表-1 実験条件

供試体名	ガス	塗布の有無	静置場所	中性化深さ
A0	H <sub>2</sub> S	菌体有り	気相	0mm
A10				10mm
B0	有機酸	菌体有り	気相	0mm
B10				10mm
C0	有機酸	菌体無し	液相	0mm
C10				10mm
D0	H <sub>2</sub> S	菌体無し	気相	0mm
D10				10mm
E0	H <sub>2</sub> S	菌体無し	液相	0mm
E10				10mm
F0	CO <sub>2</sub>	菌体無し	気相	0mm
G0				液相

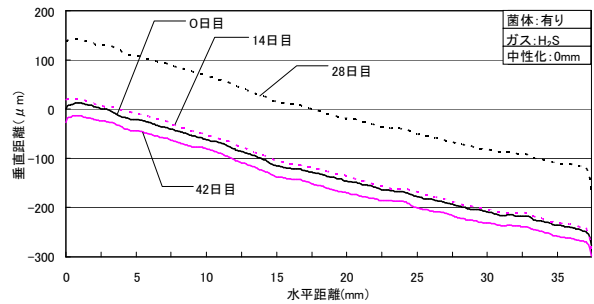


図-8 供試体 A0 の断面の経日変化

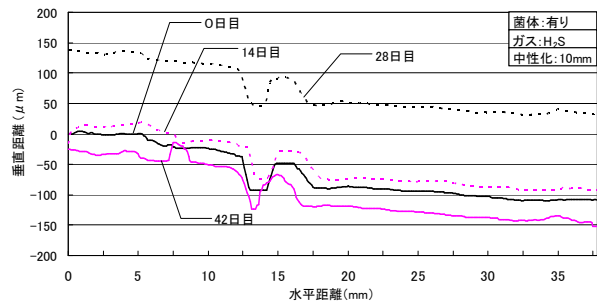


図-9 供試体 A10 の断面の経日変化

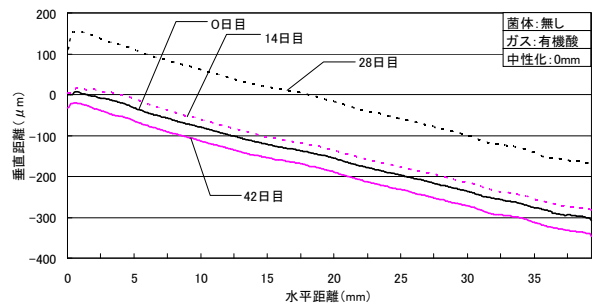


図-10 供試体 B0 の断面の経日変化

行していると言える。なお、現段階では気相、液相にかかわらず腐食状態に差がなかったため液相条件下であるC0、C10、E0、E10、F0、G0の結果は紙面の都合上割愛した。

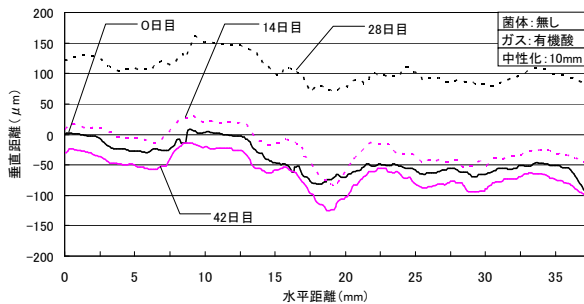


図-11 供試体 B10 の断面の経日変化

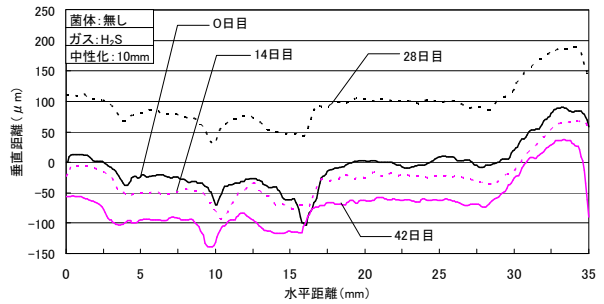


図-13 供試体 D10 の断面の経日変化

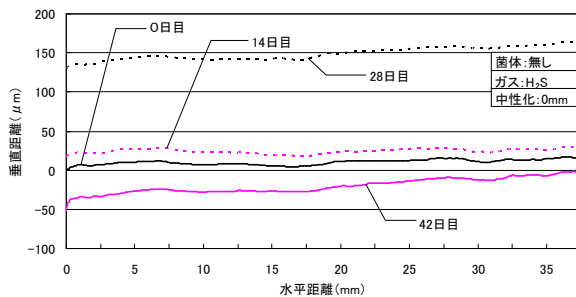


図-12 供試体 D0 の断面の経日変化

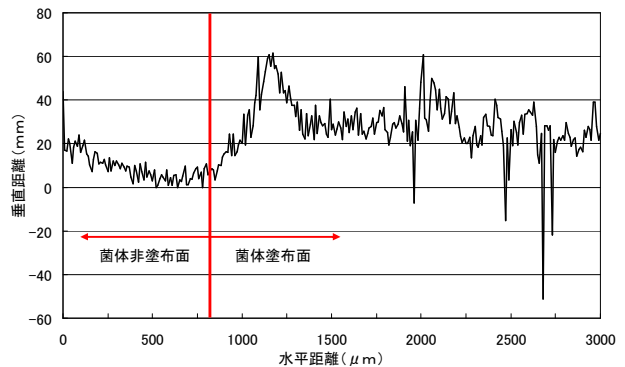


図-14 LTを用いた供試体 A0 の菌体塗布境界面の測定結果

#### 4. 3. LTによる測定結果

LTによる測定結果を図-14に示す。目視により菌体を塗布した供試体表面に変化が見られたが、LK-Gによる測定結果では判別できなかったことから結晶物の測定が可能なLTを用いて供試体表面の菌体塗布面と非塗布面の境界面を測定した。

グラフより菌体塗布面は非塗布面と比較して凹凸が激しく最大で約60μmの垂直方向に差が生じている。

増加部分は菌体の作用により生成された $H_2SO_4$ により $CaSO_4$ および膨張性物質であるエトリンガイト等が生成されていると考えられ、減少部分は生成された結晶物が崩壊していると考えられる。すなわち、膨張と崩壊を繰り返すことにより、コンクリートの腐食は内部に進行していくと言える。

#### 5. まとめ

- 1) 過去の結果より、コンクリートの腐食は初期段階において膨張することが確認されていたが、今回高精度レーザー変位計を用いることにより膨張がマイクロオーダーで測定でき、さらに結晶物の測定も可能である。
- 2) 初期段階における膨張は菌体の作用によるものではなく、容器内に充填したガス及び水分の影響と考えられる。
- 3) 本実験においてコンクリート腐食の初期段階において中性化深さの相異による影響は確認されなかった。しかしながら、これまでの結果より、今後各供試体は中性化の相異により異なる腐食現象が生ずると考えられ、菌体が塗布してある供試体は菌体が生成する $H_2SO_4$ の影響により急激に腐食が進行すると考えられる。