

高精度変位解析によるコンクリート腐食現象に関する研究

日大生産工 ○大木 宜章 保坂 成司
日本生産工（院） 木科 大介 杉浦 広人

1. 序文

平成 19 年 11 月に国土交通省から『管路施設の硫化水素対策の実地および点検状況に関する調査の結果について』の報告書が出された。この内容は新聞、テレビのニュースによって報道されたため認識されている人が多いと思われる。

すなわち、下水道事業を実施中の全国すべての都道府県、政令指定都市及び市町村で点検を実施した 1424 施設のうち、約 4 割(545 施設)の施設に腐食の発生が見られた。この腐食箇所は圧送管延長が長いほど腐食発生割合、腐食レベルが高く、とくに管の吐出口付近において、硫化水素による管渠の腐食が原因とみられる道路陥没事故が発生している。これらの事故はいずれも供用開始後 10 年程度の一般家庭からの排水を主とする管渠で発生している。すなわち、下水道施設のストックの増加に伴い、硫化水素の発生に起因する下水道コンクリート構造物の劣化が顕在化してきており、早急な対応が求められる。

生命第 2 プロジェクトでも過去、東京都下水道向の協力を得て同様な報告をしている。その概略は以下の通りである。

まず、東京都でも国土交通省と同様に腐食の度合いを 3 段階判定で行っている。しかし、腐食状態は複雑な様子を示していることから、我われはさらに D ランクをもうけ Fig.1 に示すようにきめ細かい分析を行い分別した。

Fig.2 に全調査路線の腐食割合を示す。グラフより 60%弱が東京都の設定した C ランクまで腐食しており、さらに本調査で新たに加えた D ランクを加えると全体の 90%以上が腐食を

受けている。また早期に再構築が必要な A・B ランクは 10 路線に約 4 路線の割合で存在することがわかる。

このように下水道管の腐食は進行しており、平成 19 年 9 月に国土交通省として下水道事業主体である地方公共団体に対し、圧力管の吐出口など硫化水素が発生しやすい箇所において、調査点検を行い、危険な個所は早急に改築・修繕を行うなど、安全対策に努めるように申し

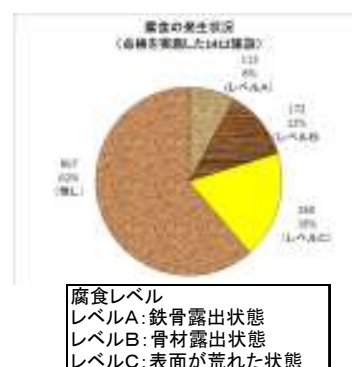


Fig. 1 腐食の発生状況
(H. 19 年国交省下水道部報告書より)



Fig. 2 腐食調査結果

た。しかしながらこの原因である腐食プロセスのうち①硫黄酸化細菌の生成プロセス、②硫酸によるコンクリート腐食プロセスは理論的には解明されていないため、硫化水素ガス濃度と腐食深度に関する経験式を用いた評価に留まっているのが現状である。このため本実験は前記した理論的に未解明である硫化水素や硫黄酸化細菌から発生する H_2SO_4 によるコンクリートの腐食プロセスを高精度変位解析により現象解明するものである。

2. 実験方法

標準砂を用いた普通ポルトランドセメント供試体 (40×40×40 mm) を pH2.0 に調整した硫酸水溶液 (400ml) 中に浸漬し、パラフィルムにて密閉した容器に入れ、25℃に設定した恒温槽内に静置した。なおこの硫酸溶液は二日毎に入れ替えた。分析はこの溶液の入れ替えと同時に水溶液から取り出し、乾燥させた後、重量、硫酸水溶液の pH、顕微鏡による視的観察、高精度レーザー変位計を用いたコンクリート供試体の形状の画像化を行った。

また、一部対照検体として耐酸性コンクリートであるシャモット(瓦を砕いて粉状あるいは粒状にしたもの)を使用した。

3. 結果および検討

酸性下におけるコンクリートの現象変化は膨張と腐食脱落の 2Phase で表される。このため、膨張現象が見られる 25 日頃までを Phase1 とし、それ以降の腐食脱落を Phase2 として結果および検討をした。

3-1 Phase1 における現象変化

pH、重量減少率、容積減少率、X-ray 結果を Fig.3、4 に示す。コンクリートは硬化にともない $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が遊離し pH12 以上の高アルカリ性となる。

このコンクリートのアルカリ分である水酸化カルシウムが硫酸と反応し、硫酸カルシウムすなわち二水石膏と C-S-ゲルとの反応からシ

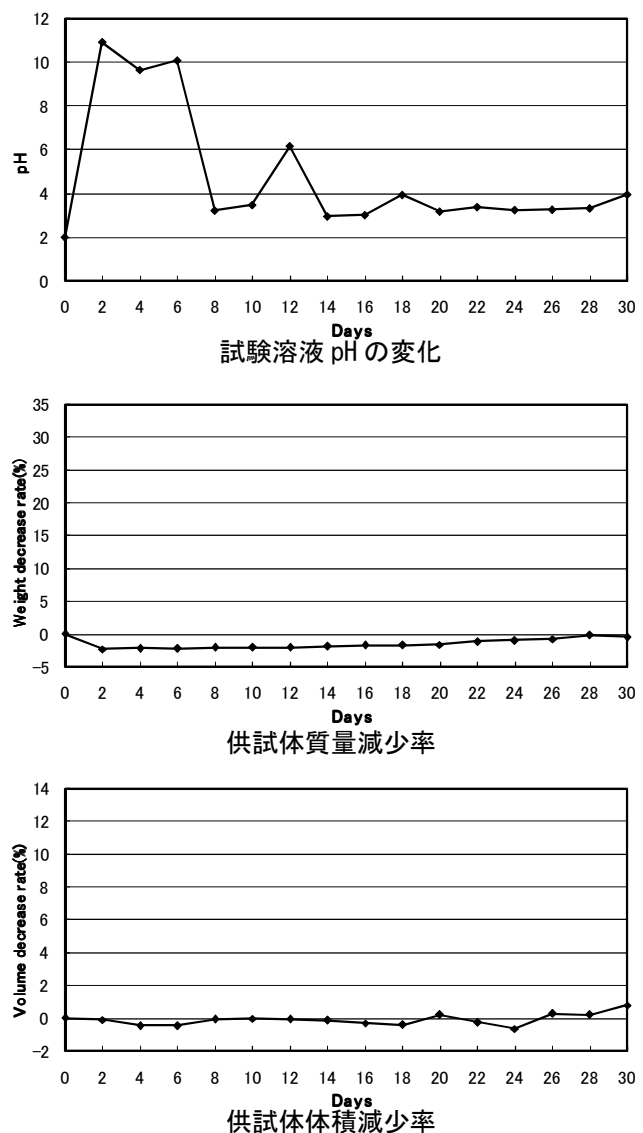


Fig. 3 膨張期 (0~30 日) の試料現象

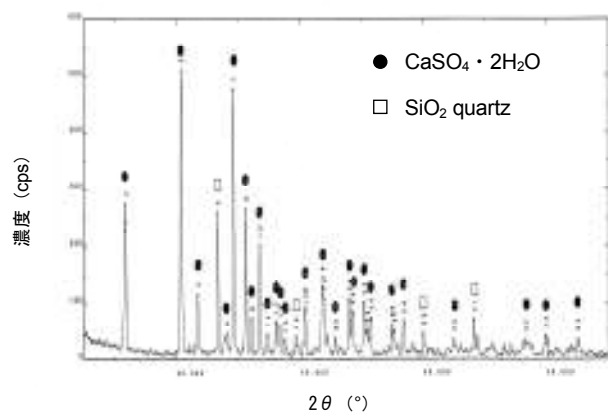
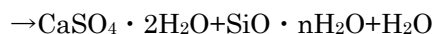
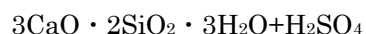


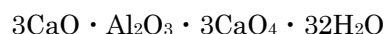
Fig. 4 試料表面の X 線解析分析結果

リカゲルをも作る。この反応は



となり生成物は X-ray 結果から証明される。

また二水石膏は硬化コンクリート中に存在する遊離水酸化カルシウムにより針状結晶物のエトリンガイトを生ずる。すなわちこのエトリンガイトは高 pH 領域で生成される。しかし、pH が低下すると二水石膏に戻る。しかも



で表される様に 32 の結晶水を有するので 3~4 倍に膨張する。したがって、これらの期間の現象は Fig.3 の体積、重量、ともに結果より増加（図ではマイナス値をとっている）している事がわかる。

3-2 Phase 2 における現象変化

20日目以降は Phase1 と異なり腐食現象が始まってくる。まず pH 変動はコンクリート中からのアルカリ分の溶質が少なく、ほぼ pH3 にとどまっている。

質量減少率は $Y=0.313X-1.612$ ($R^2=0.996$)、体積減少率は $Y=0.179X-0.396$ ($R^2=0.986$) の 1 次式で示される腐食が進行していることが判明する。また本実験では 2 日毎に硫酸を補給しているので表面の二水石膏とその内部のエトリンガイト層はさらに深部へ進行しているといえる。この表面の二水石膏は pH1~2 ではパテ状となり剥離して沈殿していく。この成分は先の反応式、さらに X-ray 結果からも明らかである。

4. 高精度分析による現象変化

4-1 Phase1、2 における試料表面現象

高性能レーザー変位計により試料の腐食表面状況を LT 変位計（計測面 $2500 \times 2500 \mu\text{m}$ ）解析画像結果を Fig.7 に示す。

0 日はほぼ様な画像色彩状態であることがわかる。したがって、一定な平面状態であるといえる。しかし時間の経過とともに濃赤い集合した団粒化状態をなしてくる。この色の变化から団粒化のピークは 3 週間後（18 日）頃と確認

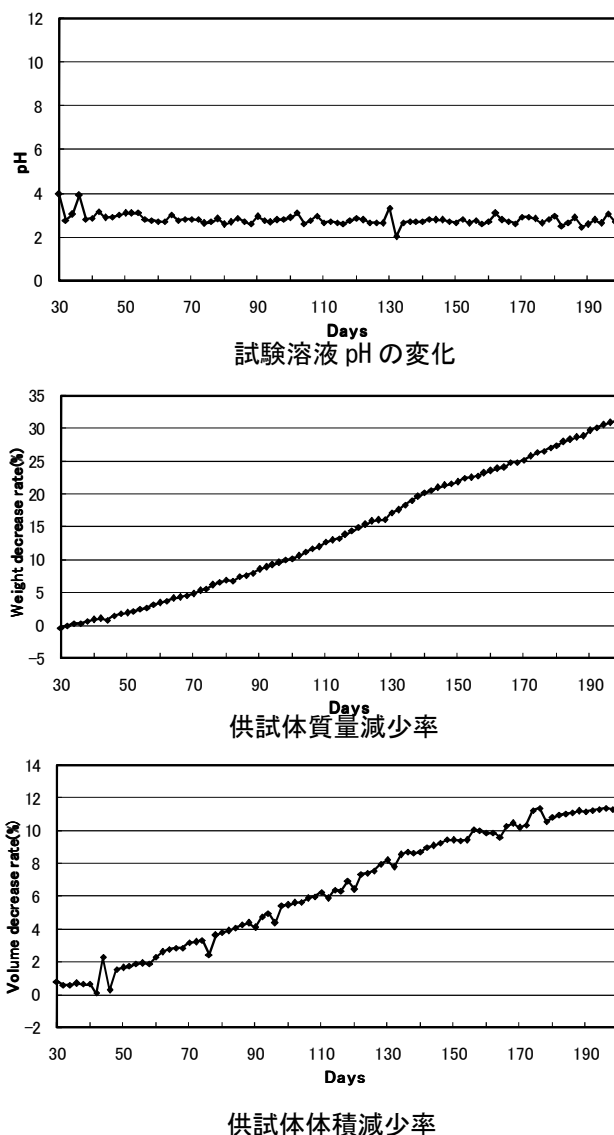


Fig. 5 減少期 (30~200 日) の試料現象

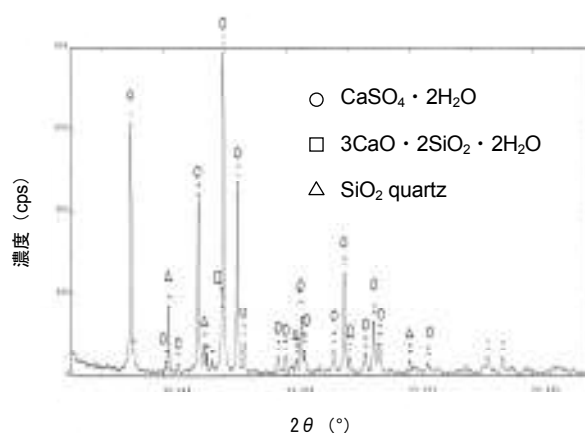


Fig. 6 沈殿物の X 線解析分析結果

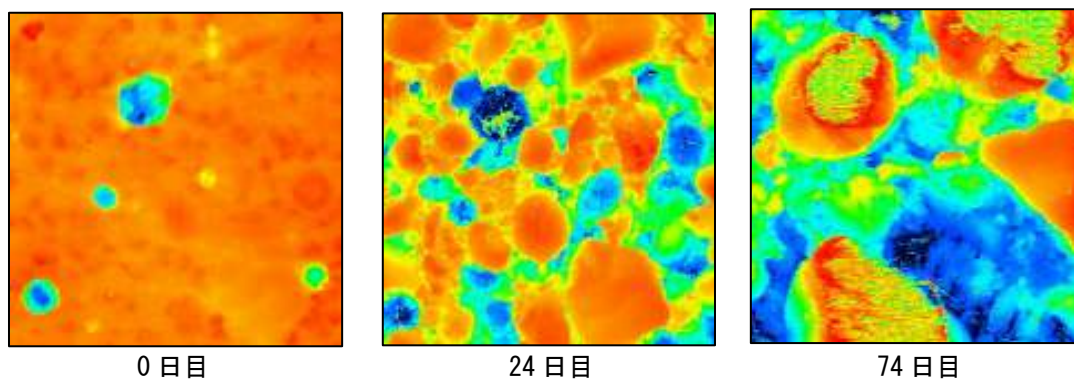


Fig. 7 LT 画像による供試体上部形状の推移

され、32 の結晶体が生成される時期であることと一致する。その後、団粒化した粒子形状回りに緑色を呈し始め、さらに青色濃く変化していく。74 日目ではほぼ一面が群青となり試料内部まで腐食が進行している。すなわち二水石膏は腐食脱離をし、耐酸性であるシリカゲルが残っている状態となっている。

4-2 Phase1、2における試料表面現象

Fig.8 に測定ピッチ 100 μ m、移動速度 25000 μ m/s での試料断面経過形状結果を示す。Fig.9 は断面形状変化を示す。この断面積は

$$Y=1.476X^2-43.07X+45.95$$

で示される減衰曲線で表された。すなわち腐食は試料の先端(角)部分から剥離崩壊し、その後の進行は加速増加していくことが判明する。

5. 総括

これまでコンクリートの酸腐食の現象は化学式や顕鏡的観察により解明されているものの、詳細な明視化はされていない。しかし本実験は腐食プロセスを高精度な明視化による現象解明により、この化学変化を同時に現象確認できたものと思われる。しかも、この現象を映像だけでなく、これを経時的に数値化できた事は腐食現象の解明に大いに役立つものと期待される。

参考文献

1)国交省 下水道事業課管路施設の硫化水素対策の実施および点検状況に関する調査の結果について、平成 19 年 11 月 22 日

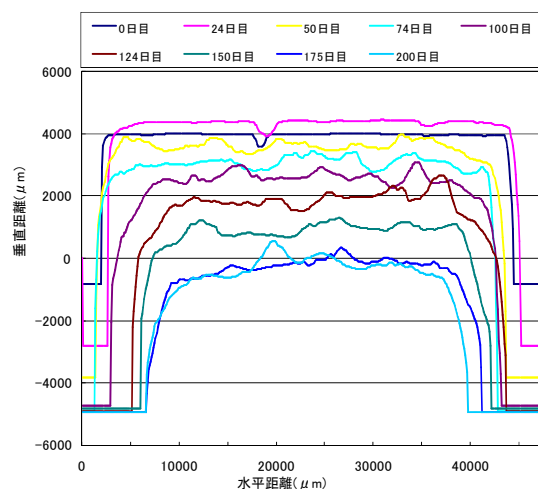


Fig. 8 LK-G による断面形状の推移

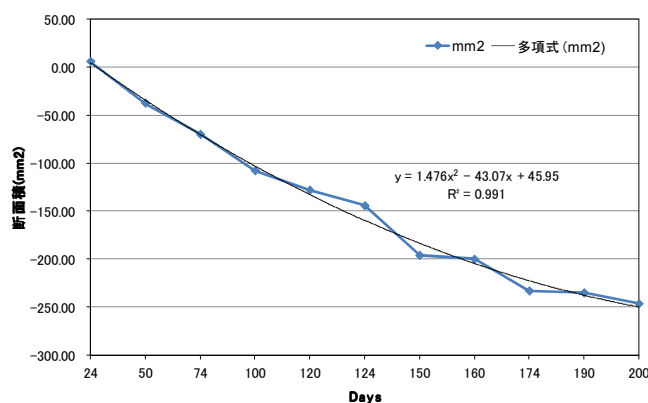


Fig. 9 断面積減少量の推移

- 2)河内隆秀, 数値解析モデルを用いた下水道管路施設における硫化水素腐食の予測解析, 2005, 下水道発表会
- 3)三品文雄, コンクリート防食実務, 森化出版
- 4)三品文雄, 下水道腐食対策講座, 環境新聞社