

コンクリート微生物腐食に及ぼす環境要因

島根大学 ○森 忠洋、野中資博、田崎和江
大牟田市下水道部 古賀みな子

1. はじめに

コンクリート構造物の生物腐食は、硫酸塩還元菌による硫化水素生成と硫黄酸化細菌による硫酸生成の2段階からなる^{1)・2)}。下水管内での硫化水素生成は、管壁に付着したスライムによると言われていたが、スライムよりむしろ幹線管路内および圧送管内の沈澱物から発生することがわかった。これまでに沈澱物からの硫化水素(H_2S)生成速度、 H_2S 生成制限要因を検討すると共に沈澱物から硫酸塩還元菌を分離した³⁾。本報では生成した硫酸によるコンクリートの腐食速度、腐食生成物の形態について検討した結果を報告する。

2. 方法

2. 1 実際の下水管の調査

大牟田市手鎌処理場のリホーミングに際して直径1000mmのヒューム管1ユニット(1.5m)を取り出した後、また、直径100mmのコアサンプルを取り、厚さおよび性質を調査した。

2. 2 コンクリート供試体

供試体は土木学会土木材料実験指導書⁴⁾に準じて断面40mm四方、長さ160mmのモルタル角柱を作成した。

2. 3 設置場所

大牟田市手鎌処理場では圧送管の出口、すなわち自然流下で処理場へ到達する管路の最初の位置に設置した。この場所の H_2S 濃度は数ppm～400ppm、気温は12～28℃の範囲にあった。

腐食実証プラントではΦ150mmの鉄筋コンクリート管2.0mを勾配1/1000で設置し、そこにモルタル供試体を6本を入れた。供試体は下部が下水に浸るように設置した。このコンクリート管中の空気中 H_2S 濃度は25～300ppm、気温は12～30℃の範囲であった。本装置は日本下水道事業団技術開発部が製作したものである。室内実験では硫化水素生成のために1.5N塩酸(HCl)と4%硫化ソーダ(Na_2S)を微量ポンプ(アト-社製)で4.6ml/hの速度で発生器に送る。 HCl と Na_2S 溶液は発生器内のY字管内で混合するので効率よく H_2S が発生する。 H_2S の希釈および輸送はエアポンプを通して硫化水素発生器に空気を送り込むことによって行う。反応槽は幅440mm×奥行き300mm×高さ300mmアクリル製の水槽の上部を塩ビ板で密閉したものを用いた。反応槽上部から排出した H_2S は1N硫酸亜鉛溶液に通して除去し、空气中に拡散しないようにした。槽内には巾85mm×高さ120mm×長さ215mmの水槽を3ヶ設置し、その中にそれぞれ流入下水、チオ硫酸を除いたAT培地および蒸留水を入れた。そして、それぞれの槽内にモルタル供試体3本を60mmの深さで浸漬した。槽内の水溶液は1週間毎に新しいものと交換した。実験開始時には 1.14×10^9 cells/mlの*Thiobacillus thiooxidans* (OMS 024) brothを5mlを供試体の表面に接種した。チオ硫酸を除いたAT培地を用いた。

pHの測定にはpH試験紙(Toyo濾紙社製)又は腐食物質を蒸留水に懸濁しpHメーター(Horiba)を用いた。 SO_4^{2-} 測定は工場排水試験方法(JIS K0102)に準じた。空気中の硫化水素は北川式検知管を用いて測定した。X線マイクロアナライザーはHoriba EMAX-3000、日立走査型電顕S-2100を用いた。カーボン 蒸着にはHitachi E 101 Sputter, を用いた。粉末X線回折装置としては東芝ADG30型を使用した。流入下水中のBOD、SSは下水試験方法に準じて測定した。

3. 結果

3. 1 腐食速度

腐食が著しく進んだ大牟田市手鎌処理場の下水管（直径1000mm）管壁の厚さを表-1に示す。腐食されない底部は88mmであったが最も管の厚さが減少していたのは喫水部で底部厚さの40%程度の32～36mmに減少していた。喫水部から管頂の方向に向かう程、管の厚さは増したが管頂は65mmの厚さになっていた。すなわち、下水との接触部である喫水部の腐食が最も著しく管頂の方向に向かう程腐食の程度は減少した。当処理場は1975年に供用開始した。供用開始の2年経過の後から、管路が腐食し始めたと仮定して腐食速度を求めれば最も腐食した喫水部では1年に4.3～4.7mm、管頂部では1.9mmとなった。コンクリート表面垂直方向のT. *thiooxidans* の密度を求めたところ1gの腐食物当たり、0～9mmで 10^4 、9～11mmで 10^3 でそれより深部には生存しなかった。pH測定のため、腐食物を蒸留水に懸濁して求めたところ、表層腐食部（0～0.4cm）で3.2であり内部（0.9～1.1cm）になると4.0に上昇し、コンクリートの健全部は11.6～12.0であった。

腐食実証プラントに設置したモルタル供試体の腐食結果は以下の通りである。コンクリート供試体は1988年9月から1989年7月までの間約10ヶ月間設置した。水面下は何ら影響を受けなかったが水面上の大気中の部分が著しく腐食した。面の部分の腐食された深さは3.1～6.3mmであった。従って、腐食速度を計算すれば3.7～7.6mm/年となる。腐食による重量減少量は表-3に示すように47～72g-湿重となり実験開始時重量の約10%程度が消失した。pHは1.8～1.9と低くなり表面をブラシで洗いその腐食生成物および SO_4^{2-} 生成量を求めたところそれぞれ38～39g（湿重）、310～570mg（乾重）であった。次に腐食が著しく進んでいる下水管のマンホール下部に6月から9月までの夏期3ヶ月間モルタル供試体を設置して腐食速度を求めた。気温は25～30℃の範囲にあり、気相中の硫化水素濃度は数ppmから400ppmの範囲にあった。モルタルは著しく腐食し、最も腐食した面は3ヶ月で9mmも減少した。従って腐食速度の最高は36mm/年となる。

室内での供試体の腐食実験結果は下水やチオ硫酸を除いた培地に浸漬した場合に水面上約5mmの幅で腐食が進行した。下水の場合が著しく約6ヶ月経過すると腐食深さは3mmに達した。一方、AT基礎培地では2mmであった。下水に浸漬した場合の腐食速度を計算すれば6mm/年となった。現場実験の場合供試体全体が腐食し、実験室では水面上の約5mmしか腐食しなかった理由は、実験室では1分間に810mlの空気を送ったので供試体が乾燥したためと考えられる。空気は水中を通して送ったにもかかわらずその量が多いため完全飽和にならなかったと考えられる。下水、又はチオ硫酸を除いたAT培地に浸漬した際の腐食部分のpHは40日後に3.5程度、180日後にはそれぞれ0.2又は1.0に低下した。 SO_4^{2-} の生成量は下水に浸漬した場合が最も多く、180日後で0.2g、チオ硫酸を除いたAT培地に浸漬した場合は0.1g程度であった。一方、蒸留水に浸漬した供試体の表面pHは40日後に一旦7.0に低下し、180日後には再び9.0程度になった。

3. 2 腐食生成物

腐食生成物は白色パテ状の柔らかい物質であり、pHは2.0～2.3の範囲にあった。腐食生成物を走査型電子顕微鏡で観察したところ幅2μm×長さ20μm程度の方形結晶が多くみられた。この結晶をX線マイクロアナライザーで調査したところ、SとCaの元素比はほぼ等しかった。又、この結晶を粉末X線回折にかけたところ2水石膏の特徴的なピークが現れた。これらの結果から腐食の進行に伴って生成した物質は2水石膏であることが判明した。

室内実験終了後 H_2S を供給せず室内にて約2ヶ月放置したところ、供試体は真中から2つに折れた。この断面のpHを測定したところ9～11であった。この部分を走査型電顕でみると多くの針状結晶が観察された。X線マイクロアナライザーでその部分の元素を調べるとAlのピークが現れた。粉末X線回折を行うと示すようにエトリンガイトのピークが現れた。以上の結果から電顕写真に現れた針状結晶はエトリンガイトであることが判明した。

4. まとめ

硫黄酸化細菌によって生成した硫酸によるコンクリート下水管の腐食速度、腐食生成物の形態について検討した結果、次の事項がわかった。

(1) 腐食した実際の下水管を地上に取り出しその断面を測定したところ、喫水部の腐食が最も著しく、その腐食速度は1年に4.3～4.7mmの深さであった。

(2) 喫水部から管頂の方向の管壁ほど腐食速度は減少した。

(3) モルタル供試体を用いて腐食速度を測定したところ、実験室では6mm/年、実証プラントでは3.7～7.6mm/年であった。

(4) 一方、前述の腐食が著しい下水管マンホールの下部にモルタル供試体を設置したところ腐食が著しく3.6mm/年となった。

(5) 腐食が急速に進む条件としては、下水が十分に供給され、温度が高く、 H_2S 濃度が高いことが考えられる。

(6) 腐食生成物としてはpHが低い表面腐食では2水石膏、シリカゲルが生成し、pHが中性以上での断面ではエトリンジャイトが生成していると考えられる。

表.1 Thicknesses of Pipe Wall and Corrosion Rates after Exposure for 12 Years

Portion		Thickness mm	Corrosion Rate mm/y
Crown		71	1.4
Middle	Left	66	1.8
	Right	58	2.5
Sewage level	Left	32	4.7
	Right	36	4.3
Bottom(No corrosion)		88	0

* The diameter and the thickness of the pipe were 1000 mm

参考文献

- 1) US EPA, Design manual, odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants, EPA/625/1-85/018(1985).
- 2) 森 忠洋, コンクリート構造物の微生物腐食, 用水と廃水, 31, 391-396(1989).
- 3) 森 忠洋, 古賀みな子, 米倉義和, 堺 好雄, 三品文雄, 立脇征弘, 小泉淳一: 下水管生物腐食の原因と対策(1) - 腐食の現状と沈殿物からの硫化水素生成, 下水道協会誌, 27, 316(1990).
- 4) 土木学会編, 土木材料実験指導書(基礎編), 土木学会発行(1984)12-17.