

中性化したコンクリート下水道管の腐食現象解明

日大生産工
ジェコス (株)

○丸山 詔之
大松澤 季宏

日大生産工 高橋 岩仁
日大生産工 大木 宜章

1 はじめに

現在、高速道路、橋梁などインフラ施設はかつてないメンテナンスの時代に入っているといえる。このため、維持管理の重要性が認識され、急速に老朽化が進む社会資本をいかに効率的かつ戦略的に維持管理・更新するかが課題となった。

下水道においても例外ではなく、下水道管更生協会における下水道管更生に関する資格取得者は増加の一途をたどっている。この下水道管のチェックには必ず有毒ガス濃度を測定してから入らなければならないとされている。

力学的な応力による破壊は当然として、これらのガスを基としたコンクリート下水道管内の劣化腐食等種々の現象が生じている。

すなわち、下水道コンクリート管はコンクリートとしての無機反応だけではなく、微生物の介在による有機反応、さらにはこれら混合反応が関与して劣化腐食を引き起こしているといえる。なお、製品化されたコンクリート管は作成時点から大気中のCO₂により中性化が始まっている。また、施工後に硫黄酸化細菌が培養されるには至的環境もあり、それなりの時間がかかることと、さらにこの菌が大量の酸を生成するには長時間を必要とし、速効性が高いものではない。むしろ優先的にCO₂の中和現象が先で、酸などによる劣化も並行して起こっている。これを考慮すれば、現実的には中性化されたコンクリートに、その後劣化・腐食の原因であるH₂S、CO₂、硫黄酸化細菌などの影響を受けることになる。

本研究の目的は、中性化したコンクリートの腐食現象解明を行うものである。特に、下水道管の腐食現象は地中に埋められ、人目につきにくい環境にあり、また前記した有毒ガ

表 1 各特性の比較

中性化	要因
なし	H ₂ S
	CO ₂
	硫黄酸化細菌
	人工下水
あり	CO ₂
	硫黄酸化細菌
	人工下水
あり	H ₂ S
	CO ₂
	硫黄酸化細菌
	人工下水

表 2 人工下水成分表

成分名	成分量 (g ⁻¹)
D-グルコース	15.74 g
酢酸アンモニウム	13.44 g
ポリペプトン	6.66 g
栄養塩類	10 ml

(100mL⁻¹)

栄養塩類		
試料	成分名	成分量
A	リン酸二カリウム	0.175g
	リン酸一カリウム	0.850g
	リン酸二ナトリウム	4.460g
	塩化アンモニウム	0.170g
B	硫酸マグネシウム	2.250g
C	塩化カルシウム	2.750g
D	塩化第二鉄	0.025g
上記成分を蒸留水100mLに溶かし、試料A,B,C,D各2mLをフラスコにとった。		

Corrosion Analysis of Neutralized Concrete Sewerage Pipes

Noriyuki MARUYAMA, Iwahito Takahashi, Norihiro OHMATSUZAWA and Takaaki OHKI

スなどの問題から視覚的に把握しづらい。このため、適切な時期に適切な方法により更生させることは困難である。このような腐食現象を視覚化・説明することにより適切な、コンクリート下水道管更生に役立つといえる。

2 実験条件

表 1 に本研究における実験条件を示す。まず、コンクリートの劣化・腐食程度の違いや状態変化について、一部浸漬試験を行った。



写真 1 観察に用いる顕微鏡



写真 2 高精度 CCD レーザー変位計 (LK-G)



写真 3 ダブルスキャン高精度レーザー測定器 (LT)

さらに、実際の下水道管内を想定した複合要因による、一部浸漬実験を行い『可視化』を図るべく劣化・腐食現象の挙動について測定および観察を行った。

供試体はセメントモルタル(水：1，セメント：2，標準砂：3 (水セメント比=0.5)) を試料とした。なお、形状と寸法は $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の角柱として適宜切断し、用いた。

人工下水については、表 2 の成分とした。なお、 H_2S を使用する実験装置 (温度範囲 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ ，湿度範囲 $60 \sim 70\%$ ， H_2S 付加範囲 $0 \sim 150\text{ppm}$) で腐食促進実験を行った。

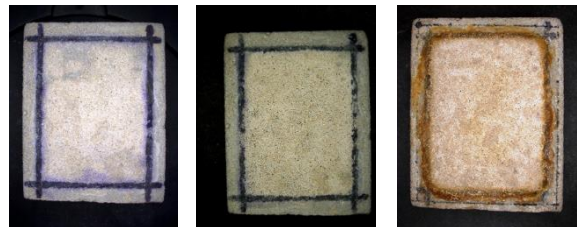


図1 中性化なし， $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 供試体の顕微鏡で撮影した供試体 (左より0週目，32週目，55週目)



図2 中性化あり， CO_2 供試体の顕微鏡で撮影した供試体 (左より0週目，38週目，55週目)



図3 中性化あり， $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 供試体の顕微鏡で撮影した供試体 (左より0週目，40週目，55週目)

3 腐食試料の分析

試料の分析は下記の項目について行った。

- a) 質量測定
- b) 顕微鏡観察 (写真 1)
- c) 供試体の形状測定
 - イ) 高速・高精度 CCD レーザー変位計
LK-G30 (写真 2:以後 LK-G と記す)
 - ロ) ダブルスキャン高精度レーザー測定器
LT-9010M (写真 3:以後 LT と記す)

4 実験結果

図 1～3 に各条件における供試体上部の顕微鏡画像, 図 4～6 に LK-G における形状変化の測定結果, 図 7～9 に LT における形状変

化の測定結果を示す。

まず, 顕微鏡画像についての結果であるが, すべての供試体でわずかな表面の剥離の進行が確認できるが、各条件での大きな差異は見られない。

次に, LK-GとLTの違いであるが, LK-Gは高速での測定が可能で, LTはLK-Gよりも精密な測定が可能である。二つの測定結果を比較すると, LK-Gに比べLTの画像の等高線が密になっている。

各条件での測定結果の違いを見てみると, LK-G, LTを通じて, 中性化あり, CO₂供試体の変化が一番小さい。これは, 気中に硫化水素が含まれていないことで硫酸が生成されないためと考えられる。また, 中性化されていることでコンクリートが緻密になり, 腐食が防げ

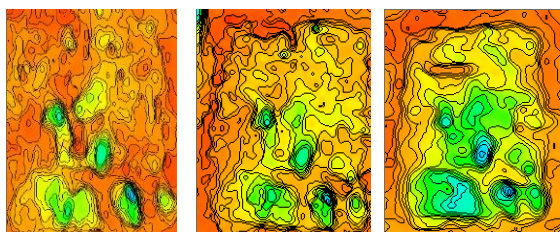


図4 中性化なし, CO₂+H₂S供試体の LK-Gによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 32週目, 55週目)

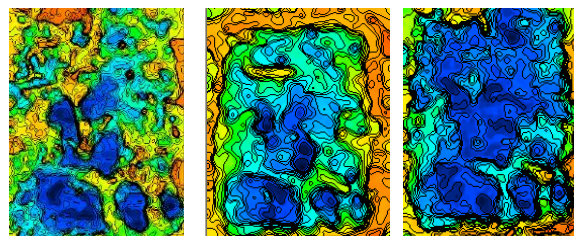


図7 中性化なし, CO₂+H₂S供試体の LTによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 32週目, 55週目)

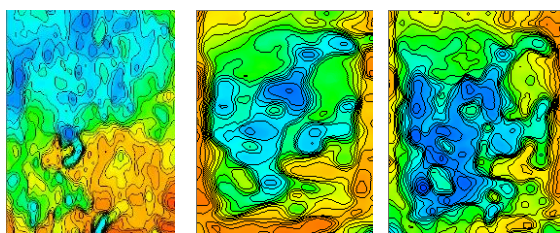


図5 中性化あり, CO₂供試体の LK-Gによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 38週目, 55週目)

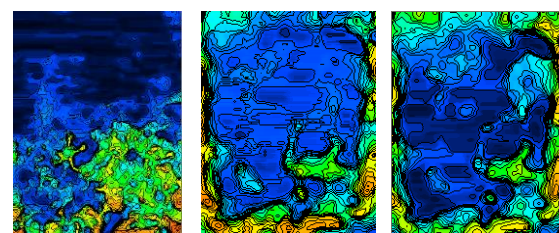


図8 中性化あり, CO₂供試体の LTによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 38週目, 55週目)

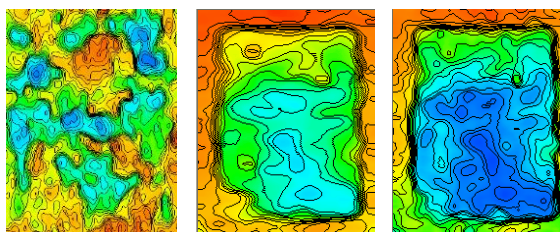


図6 中性化あり, CO₂+H₂S供試体の LK-Gによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 40週目, 55週目)

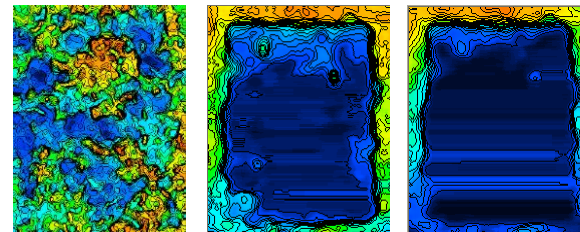


図9 中性化あり, CO₂+H₂S供試体の LTによる形状変化の測定結果 (左より0週目, 40週目, 55週目)

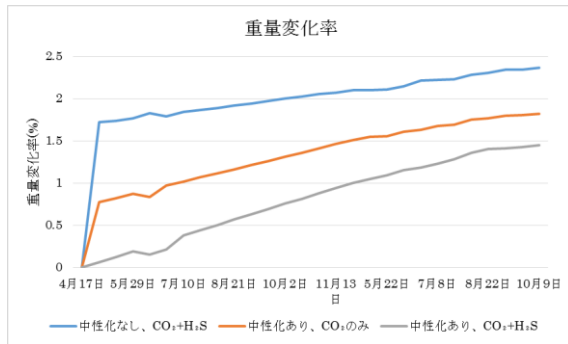


図10 供試体の重量変化率

たことが考えられる。

図 10 に各供試体の重量変化率のグラフを示す。縦軸のパーセンテージが大きくなるほど、重量の減少が大きいことを示している。グラフでは、中性化なし、CO₂+H₂S 供試体の重量減少率が最も大きい。対して中性化している二つの供試体は、中性化していない供試体よりも比較的重量の減少が小さい。このことから、中性化がコンクリート下水道管の腐食程度に差を生じさせていることが分かる。

5 結論

H₂S の存在や酸欠が想定される使用中の下水道管中での腐食の観察、測定など人間が行うことは至難の技である。このため移動式のカメラ等によって、画面解析を行っているが、一時的かつ断片的な結果とならざるを得ない。

本研究はモデル化した実験により腐食現象の連続的な『可視化』を図り、腐食の挙動を解析するとともにこの特徴を探り実下水管の観察、測定で行われる腐食判定の参考に寄与するものである。

結果として、以下のことが明らかになった。

- イ) 腐食過程における質量や体積の増減が単なる数字ではなく、連続の『可視化』により腐食の挙動が一目瞭然である。
- ロ) 場所による腐食の強弱は等高線による『可視化』から不均一に起こる現象といえる。
- ハ) 供試体断面は経過時間とともに凹凸が大きくなるが、終盤には小さく細かい変化となる。この現象は4段階に分類され、

I 初期（体積増加）、II 減少期（体積減少開始）、III 対数減少期（急激な体積減少傾向）、IV 減衰期（体積減少収束）からなる。

中性化によりCa(OH)₂がCaCO₃に変化し、量は1.35倍、体積は1.12倍となるため膨張圧が生じ、また単位体積質量は1.21倍になる。これはコンクリート中の細孔が生成したCaSO₄・2H₂Oなどの膨張圧を受容し、結果として組織が緻密化するため、コンクリート中の細孔からの酸の浸透を防ぎ、結果的に浸食が防げるため、腐食が起りづらいと結論される。

「参考文献」

- 1) 社団法人日本下水道協会、「下水道協会紙 新春号」(2012) p.99.