

コンクリート下水管路の劣化調査 その2. 管路内から採取したコアの分析

(一財) 日本建築総合試験所 正会員 ○吉田 夏樹
(一財) 日本建築総合試験所 正会員 中山 健一
パシフィックコンサルタンツ (株) 正会員 山中 明彦
大阪大学 正会員 鎌田 敏郎

1. はじめに

前報 (その1) では、下水管路内の環境濃度を把握することを目的として表面水を採取し、pH および SO_4^{2-} 濃度を分析した。その結果、コンクリートは様々な pH および SO_4^{2-} 濃度の環境に曝されており、それぞれの環境下で劣化状態が異なることが分かった。

本報では、コンクリートに生じた劣化現象をさらに詳しく分析することを目的として、管路内の9箇所からコアを採取し、分析を行った結果を報告する。

2. コア採取箇所

表面水の pH が中性域および酸性域の環境から、それぞれ3箇所、6箇所を選択し (図-1 中に●で示す計9箇所)、マンホールの側壁からコアを採取した。採取箇所の詳細 (表面水の分析結果、コア採取箇所の周辺施設、布設後の経過年数) を表-1 に示す。各コアは、表-1 に示す名称で表記する。

3. 分析方法

採取したコアについて、外観観察及び電子線マイクロアナライザ (EPMA) 分析を行った。EPMA 分析は、コアの断面を対象とし、鏡面研磨した後にカーボン蒸着させ、点分析および面分析を行った。

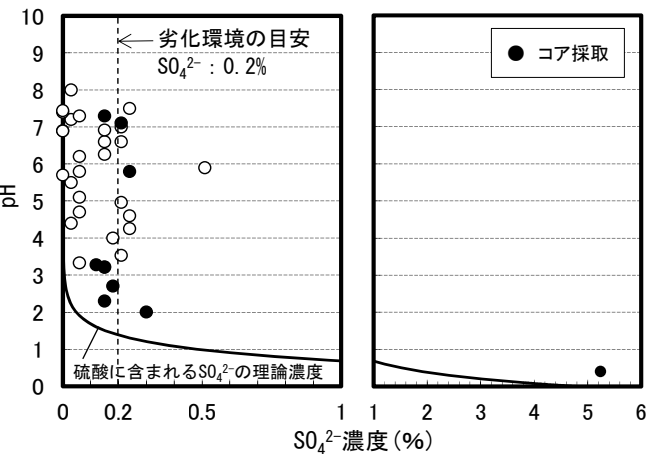


図-1 コア採取箇所

4. 分析結果および考察

コアの外観観察結果および EPMA による点分析結果を表-2 に示す。

コアの外観について、全てのコアでコンクリート表面の劣化 (スケーリングや粗骨材の露出) が確認された。pH3 以下の環境は相対的に劣化状態が大きく、酸-3~5 では、粗骨材の露出が観察された。なお、酸-2, 5, 6 では、表層に補修跡と思われる層が見られた。ただし、補修履歴の詳細は不明であった。

EPMA 点分析により、硫酸や硫酸塩劣化に特徴的

表-1 コア採取箇所の環境

名称	pH	SO_4^{2-} (%)	採取水	周辺施設*1	経過年数
中-1	7.3	0.15	人工水滴	BP	78
中-2	7.1	0.21	抽出水	—	78
中-3	5.8	0.24	人工水滴	BP	53
酸-1	3.3	0.12	抽出水	BP	44
酸-2	3.2	0.15	抽出水	伏越	80
酸-3	2.7	0.18	人工水滴	圧送近	8
酸-4	2.3	0.15	人工水滴	BP	35
酸-5	2.0	0.30	人工水滴	圧送	21
酸-6	0.4	5.24	表面水	圧送	12

*1 BP: ビルビット排水管
圧送: 圧送管の吐出し口
圧送近: 圧送管の吐出し口付近

表-2 コアの外観観察及び EPMA 点分析結果

名称	外観観察	EPMA 点分析結果*2
中-1	スケーリング	Ett
中-2	スケーリング	Gyp 層 (厚 1mm), Ett
中-3	スケーリング	Ett
酸-1	スケーリング	Gyp 層 (厚 3mm), Ett
酸-2	スケーリング, 補修跡	Gyp 層 (厚 5mm), Ett
酸-3	粗骨材露出	Ett
酸-4	粗骨材露出	Ett
酸-5	粗骨材露出, 補修跡	Ett
酸-6	補修跡	Ett

*2 Gyp: 二水セッコウ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Ett: エトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)

キーワード 下水道, 環境濃度, 硫酸劣化, 硫酸塩劣化, 二水セッコウ, エトリンガイト

連絡先 〒565-0873 大阪府吹田市藤白台 5-8-1 (一財) 日本建築総合試験所 材料部 材料試験室 TEL 06-6834-0271

な生成物（二水セッコウ（Gyp）とエトリンガイト（Ett））の有無を分析した．酸-1 の分析例を図-2 に示す．表層部には Gyp（CaO : SO₃ = 1 : 1）が広範囲に生成し，それより深部では，エトリンガイト（CaO : Al₂O₃ : SO₃ = 6 : 1 : 3）と推察される物質が生成していた．Gyp 層と Ett の生成は，典型的な硫酸劣化の特徴である¹⁾．なお，硫酸塩劣化では Gyp 層は観察されない．表-2 のまとめから，中-2 と酸-1，2 において，典型的な硫酸劣化の特徴が観察された．中-2 は，硫酸の作用を過去に受けた可能性が考えられる．一方，酸性環境下の酸-3～6 では Gyp 層は検出されなかった．これは，補修時（酸-5，6）に Gyp 層が取り除かれたことや，流水の作用を受け，脆弱な Gyp 層が欠損したことが一因と推察された．

次に，EPMA 面分析結果から描いたペースト中の FeO，Al₂O₃，MgO 濃度分布を図-3 に示す．既往の研究より²⁾，Fe，Al，Mg が沈着する pH は，Fe : 1～2，Al : 2.5～3.5，Mg : 8～9 とされ，中-1，3 の環境も，過去に pH2.5～3.5 程度の硫酸の作用を受けた可能性が考えられた．

さらに，SO₃ 濃度分布を図-4 に，S の浸透深さより算出した見掛けの侵食速度係数を表-3 に示す（補修跡が見られた酸-2，5，6 は参考値）．中性域では，侵食速度は相対的に穏やかである一方，酸性域では，侵食速度は相対的に大きく，特に酸-3，6 では，侵食速度は極めて大きかった．この結果は，およそコアの外観観察結果（表-2）と一致した．

本研究結果より，下水管路の表面水濃度は多様であり，コンクリートの劣化機構や侵食速度が異なることが明らかとなった．今後の課題として，例えば中性域と評価された環境でも，コアの分析では硫酸の作用を過去に受けたと思われるデータが得られた．環境濃度と劣化現象の関係をより詳しく検討するには，経時的に変化する表面水の濃度を連続的に捉える方法の検討などが必要と思われる．

5. まとめ

- (1)劣化状態は，pH3 以下の環境で相対的に大きく，pH3 以上では相対的に小さい傾向が認められた．
- (2)pH3 以下では，主として硫酸劣化の特徴が見られ，侵食速度が極めて大きい箇所も認められた．
- (3)中性域においても，Gyp 層や Al の濃縮が見られ，過去に硫酸の作用を受けた可能性が示唆された．

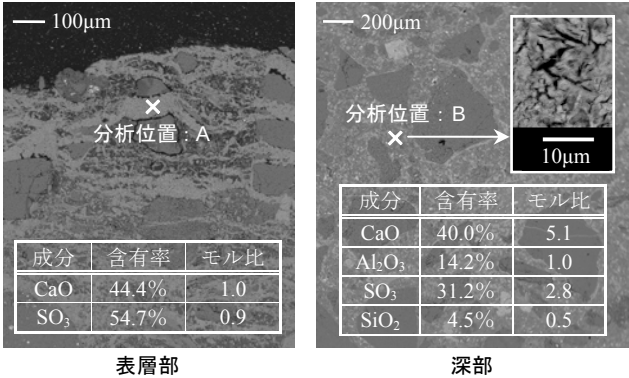


図-2 EPMA 点分析の一例（酸-1）

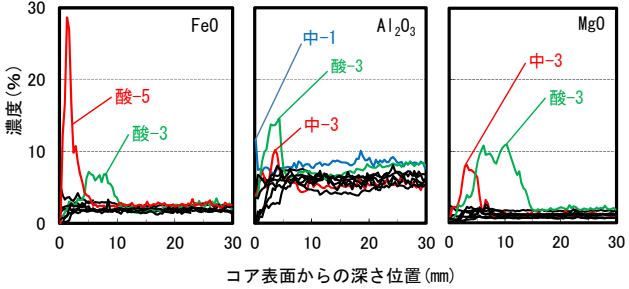


図-3 EPMA 面分析結果（FeO，Al₂O₃，MgO 濃度分布）

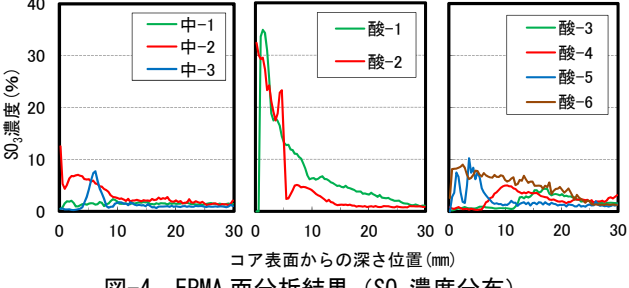


図-4 EPMA 面分析結果（SO₃ 濃度分布）

表-3 コンクリートの見掛けの侵食速度係数

名称	y: 硫黄の浸透深さ (mm)	t: 経過年数 (年)	a: 見掛けの侵食速度係数 (mm/年)
中-1	2.06	78	0.03
中-2	10.69	78	0.14
中-3	8.06	53	0.15
酸-1	27.19	44	0.62
酸-2	14.06	(80)	0.18
酸-3	23.06	8	2.88
酸-4	18.94	35	0.54
酸-5	7.69	(21)	0.37
酸-6	24.75	(12)	2.06

註) 侵食速度は時間に比例すると仮定した (y=at)

- (4)各環境濃度，劣化状況，見掛けの侵食速度係数の三者間には，相関関係が認められた．

参考文献

1)吉田夏樹，中山健一：硫酸および硫酸塩によるコンクリートの化学的侵食に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.715-720，2013

2)上田洋，高田潤，立松英信：セメントペーストと酸との反応特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.17，No.1，pp.991-996，1995