

[58] 酸素活性汚泥処理施設におけるコンクリートの腐食について

正会員 岡田 清 (京都大学工学部)

正会員 ○宮川 豊章 (京都大学工学部)

吉村 憲次 (京都市下水道局)

1. はじめに

酸素活性汚泥処理法は、そのすぐれた性能から近年各地で導入されてきたが、その処理施設の一部においてコンクリート表面における早期劣化が認められている。本研究は、京都市下水道局吉祥院下水処理場におけるこの種コンクリートの劣化について現場調査を行なうとともに、種々要因の供試体を用いて処理水中で浸漬試験することによって、コンクリート防食対策のための基礎資料をうることを目的としたものである。

2. 現場調査

吉祥院処理場は、昭和52年9月から下水処理を開始した。コンクリートとしては、普通ポルトランドセメントおよび膨張材を計304 kg/m³用い、水セメント比55%、スランプ12 cm、空気量は4%未満、材令28日における圧縮強度が210 kg/cm²のものが使用された。昭和54年2月の点検時に、酸素法の処理系列のコンクリートが、標準の空気法のものに比べて劣化が若干大きいことが発見され、昭和55年7月においては、コンクリートの表面が2~3 mm軟化していることが認められた。

吉祥院処理場の水質分析結果の1例を表1に示す。酸素法処理水は、原水および空気法処理水に比べてpH値が低く、腐食性炭酸の量が多いことが認められる。腐食性炭酸の量が60 mg/l以上となった場合、かなり激しいコンクリート腐食が生じるとされており¹⁾吉祥院処理場におけるコンクリート腐食は主として腐食性炭酸によるものであると推定された。

現場より試料を採取し、化学分析、X線回折による分析、電子顕微鏡(SEM)およびX線マイクロアナライザー(EPMA)による分析を行なったところ、以下の3点が明らかとなった。

(1)処理水に露出状態で接したコンクリートは、表面から深さ3 mm程度まで分解溶出しており、3~6 mm程度の深さにおいても、Caは存在するが水和物の形態では存在せずCaCO₃となっている。

(2)エポキシ塗装直下のコンクリートはほぼ健全な状態にある。

(3)部分的な補修のためにセメントペーストが用いられている

部分では、水セメント比の小さいことによる耐腐食性の向上が見られる。しかし、表面にエポキシ樹脂塗装されていない箇所では、SEM、EPMAの分析によれば表面より1 mm深さでは腐食を生じている。

3. 実験計画

下水処理法および流速による影響を考慮して、酸素法の最終沈澱槽およびその水路、空気法最終沈澱槽の水路の3ヶ所で浸漬実験を行なうこととした。酸素法沈澱槽には10×10×40 cm、水路2種については5×10×40 cmのそれぞれ角柱供試体を用い、動弾性係数および重量の経時的な測定を行なった。

下水処理施設に用いられるコンクリート配合として、PCAの仕様およびアメリカで現在用いられている標準的な仕様から、水セメント比50%、スランプ8~10 cm、単位セメント量330 kg/m³程度が考えられる。一方、土木

表1. 水質分析結果

| | 原水 | 酸素法処理水 | 空気法処理水 |
|---|------|--------|--------|
| イオン性の分析 | | | |
| pH | 7.4 | 6.5 | 7.2 |
| Na ⁺ (mg/l) | 250 | 150 | 150 |
| K ⁺ (mg/l) | 11.8 | 8.5 | 8.3 |
| Ca ⁺ (mg/l) | 9.4 | 10.0 | 10.0 |
| Mg ⁺ (mg/l) | 6.8 | 6.0 | 6.0 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | 28.0 | 17.5 | 18.0 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 70 | 57 | 66 |
| SO ₄ ⁻ (mg/l) | 186 | 137 | 129 |
| SO ₃ ⁻ (mg/l) ¹⁾ | 31 | 15 | 15 |
| TOC(mg/l) ²⁾ | 80 | 45 | 45 |
| 全炭酸炭酸の分析 | | | |
| pH | 7.12 | 6.37 | 7.10 |
| 全炭酸炭酸 ³⁾ | 39.5 | 61.8 | 19.6 |

1) SO₂、S₂O₃、S₂O₄のI₂を消費する還元物をSO₃換算した。

2) 全有機炭素。

3) CaCO₃を用いHClによって滴定(DIN 4030)。

学会での水密コンクリートに対する仕方によれば、水セメント比は55%以下、スランブは8cm以下が標準とされている。以上の諸数値および吉祥院処理場で実際に用いられたコンクリート配合をもととして、水セメント比を50、55、60%の3種類、単位セメント量は300、330kg/m³の2種類を選び、スランブは8±1cm、空気量は4±0.5%程度となるようにした。さらに、近年その使用が普及しつつある流動化コンクリートはスランブ18±1cmとなるようにし、耐久性に優れているとされるポリマーセメントコンクリート（PCC）も用いた。

さらに、ライニング材として、その実績を考慮し、市販のエポキシ、タールエポキシおよびモルタルの3種類を用いた。ライニング厚としては、エポキシおよびタールエポキシについては1回塗りおよび3回塗りとし、モルタルについては目標厚を10mmとした。

コンクリート供試体の種類をまとめて表2に示す。

4. 実験結果および検討

実施ライニング厚は、エポキシおよびタールエポキシの1回塗りの場合400～600μm、3回塗りで600～1000μmであり、モルタルは10～12mmであった。なお、酸素法水路における流速は0.96m/sec、空気法水路における流速は0.80m/sec程度である。

酸素法沈澱槽における相対動弾性係数、重量変化率をそれぞれ表3、4に、酸素法水路および空気法水路における相対動弾性係数をそれぞれ表5、6に、供試体3本の平均で示す。また、同時に酸素法沈澱槽に浸漬した10φ×20cm円柱供試体による圧縮強度については、浸漬1年まででは低下は認められなかった。

浸漬1年以上では全ての供試体が多少の表面変化を示しており、樹脂ライニングを施していない供試体については供試体を洗う際に表面に書いた供試体No.が落ちるものが多かった。樹脂ライニングを施した供試体については、ライニングにブリストアが発生しており、特に1回塗りの供

試体で目立った。モルタルライニングを施した供試体については、表面のペースト部が溶出しており、細骨材が表面に露出していた。また、外観からは、単位セメント量および水セメント比の影響については明らかではなかった。

酸素法沈澱槽における相対動弾性係数の経時変化を図1～4に、重量

表2. 供試体

| No. | W/C (%) | S/a (%) | C (kg/m ³) | 備考 |
|-----|---------|---------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 50 | 44 | 300 | 高性能減水剤、AE剤 |
| 2 | 55 | 44 | 300 | 減水剤、AE剤 |
| 3 | 60 | 44 | 300 | AE剤 |
| 4 | 50 | 42 | 330 | 減水剤、AE剤 |
| 5 | 55 | 42 | 330 | AE剤 |
| 6 | 60 | 42 | 330 | AE剤 |
| 7-1 | | | | エポキシ1回塗り |
| 7-3 | | | | エポキシ3回塗り |
| 8-1 | 55 | 42 | 330 | タールエポキシ1回塗り |
| 8-3 | | | | タールエポキシ3回塗り |
| 9 | | | | モルタル(水セメント比0.34、S/C=0.50)10mm塗り |
| 10 | 55 | 48 | 330 | 流動化コンクリート(ベースコンクリートNo.5)、高性能減水剤、AE剤 |
| 11 | 51 | 42 | 330 | ポリマーセメントコンクリート(PCC:クロスレン使用) |

表3. 相対動弾性係数(1) - 酸素法沈澱槽 -

| No. | 直前 | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 1年 | 2年 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 100 | 104.6 | 106.9 | 107.0 | 103.2 |
| 2 | 100 | 105.2 | 108.1 | 105.8 | 99.2* |
| 3 | 100 | 103.0 | 106.2 | 104.6 | — |
| 4 | 100 | 104.7 | 106.9 | 106.5 | 100.3 |
| 5 | 100 | 103.7 | 106.8 | 106.9 | 103.3 |
| 6 | 100 | 104.9 | 108.2 | 106.3 | — |
| 7-1 | 100 | 103.0 | 105.8 | 108.0 | 110.4* |
| 7-3 | 100 | 104.8 | 106.8 | 109.9 | 110.5 |
| 8-1 | 100 | 103.7 | 106.2 | 106.6 | 107.9 |
| 8-3 | 100 | 102.3 | 103.7 | 105.2 | 106.2 |
| 9 | 100 | 113.0 | 115.9 | 115.5 | 113.1 |
| 10 | 100 | 104.8 | 107.7 | 105.1 | 98.8 |
| 11 | 100 | 103.0 | 106.7 | 107.1 | 100.8 |

*: 1本のみ

表4. 重量変化率(1) - 酸素法沈澱槽 -

| No. | 直前 | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 1年 | 2年 |
|-----|------|------|------|------|--------|
| 1 | 0.00 | 0.78 | 0.77 | 0.21 | -1.39 |
| 2 | 0.00 | 0.73 | 0.75 | 0.21 | -1.50* |
| 3 | 0.00 | 0.92 | 0.94 | 0.26 | — |
| 4 | 0.00 | 0.69 | 0.69 | 0.36 | -1.61 |
| 5 | 0.00 | 0.61 | 0.74 | 0.00 | -1.96 |
| 6 | 0.00 | 1.09 | 1.09 | 0.48 | — |
| 7-1 | 0.00 | 0.12 | 0.15 | 0.23 | 0.23* |
| 7-3 | 0.00 | 0.08 | 0.07 | 0.14 | 0.20 |
| 8-1 | 0.00 | 0.12 | 0.16 | 0.36 | 0.20 |
| 8-3 | 0.00 | 0.05 | 0.08 | 0.18 | 0.23 |
| 9 | 0.00 | 1.16 | 1.13 | 0.82 | -0.32 |
| 10 | 0.00 | 0.79 | 0.70 | 0.35 | -1.59 |
| 11 | 0.00 | 0.68 | 0.58 | 0.21 | -0.99 |

*: 1本のみ

表5. 相対動弾性係数(2) - 酸素法水路 -

| No. | 直前 | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 1年 |
|-----|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 100 | 109.7 | 109.6 | 106.4 |
| 2 | 100 | 107.3 | 109.4 | 100.0 |
| 3 | 100 | 103.3 | 106.5 | 100.4 |
| 4 | 100 | 101.6 | 115.3 | 104.1 |
| 5 | 100 | 100.5 | 104.9 | 105.1 |
| 6 | 100 | 104.7 | 106.0 | 101.0 |
| 7-1 | 100 | 96.9 | 99.3 | 118.9 |
| 7-3 | 100 | 93.2 | 96.7 | 114.0 |
| 8-1 | 100 | 103.0 | 112.2 | 113.6 |
| 8-3 | 100 | 108.7 | 102.2 | 114.9 |
| 9 | 100 | 119.1 | 123.7 | 121.5 |
| 10 | 100 | 107.6 | 113.0 | 103.7 |
| 11 | 100 | 99.8 | 97.4 | 97.0 |

表6. 相対動弾性係数(3) - 空気法水路 -

| No. | 直前 | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 1年 |
|-----|-----|-------|-------|--------|
| 1 | 100 | 108.0 | 109.4 | 108.4 |
| 2 | 100 | 105.5 | 116.9 | 110.3 |
| 3 | 100 | 106.2 | 106.3 | 105.6 |
| 4 | 100 | 104.2 | 106.3 | 102.9 |
| 5 | 100 | 113.2 | 100.3 | 109.0 |
| 6 | 100 | 107.9 | 109.6 | 106.3 |
| 7-1 | 100 | 100.7 | 101.6 | 101.6 |
| 7-3 | 100 | 100.1 | 86.1 | 103.2 |
| 8-1 | 100 | 113.4 | 98.5 | 115.4* |
| 8-3 | 100 | 100.5 | 99.9 | 103.7 |
| 9 | 100 | 121.5 | 123.1 | 128.7 |
| 10 | 100 | 108.3 | 107.9 | 99.0 |
| 11 | 100 | 99.6 | 89.5 | 94.9 |

*: 2本のみ

変化率を図5～8にそれぞれ示す。樹脂ライニングを施していない供試体については、相対動弾性係数、重量変化率ともに浸漬期間1年程度から減少の様子を見せており、樹脂ライニングの効果が認められる。また、流動コンクリートはベースコンクリート（供試体No.5）に比べて相対動弾性係数が小さく、さらにモルタルライニング、ポリマーセメントコンクリートについてはその効果は明瞭ではない。

なお、酸素法沈澱槽に1年浸漬した時点で化学分析、X線回折による分析、SEMおよびEPMAによる分析をも別途行なったが、X線回折による結果から、樹脂ライニングを施していないものについては、表面部での腐食性炭酸による腐食が明らかとなった。

水セメント比の影響を見るために、単位セメント量 300 kg/m^3 の場合を図9に、単位セメント量 330 kg/m^3 のものを図10に、それぞれ浸漬期間1年における相対動弾性係数と水セメント比との関係で示す。単位セメント量が 300 kg/m^3 の場合には、水セメント比が大きくなるにつれて相対動弾性係数が小さくなる傾向を示すものの、単位セメント量が 330 kg/m^3 のものではその影響は明確ではない。また、相対動弾性係数の値は、ほぼ酸素法水路<酸素法沈澱槽<空気法水路の順となっており、酸素法によるコンクリート腐食が空気法に比べて大きく、さらに水路での流速の増大によって加速される

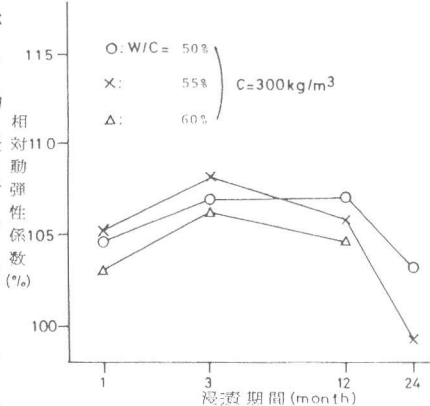


図1. 相対動弾性係数の経時変化(1)
— プレーン : C=300kg/m³ —

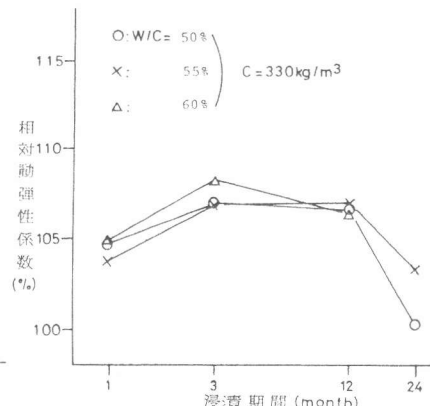


図2. 相対動弾性係数の経時変化(2)
— プレーン : C=330kg/m³ —

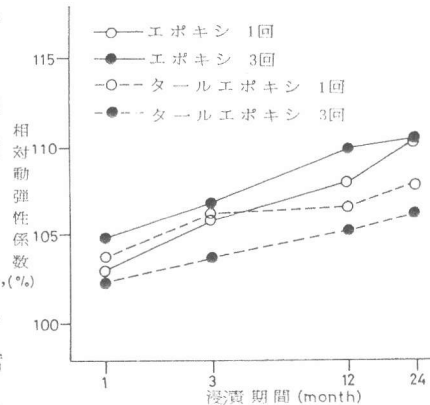


図3. 相対動弾性係数の経時変化(3)
— 樹脂ライニング —

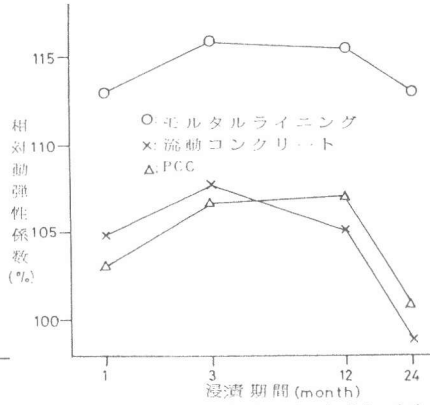


図4. 相対動弾性係数の経時変化(4)

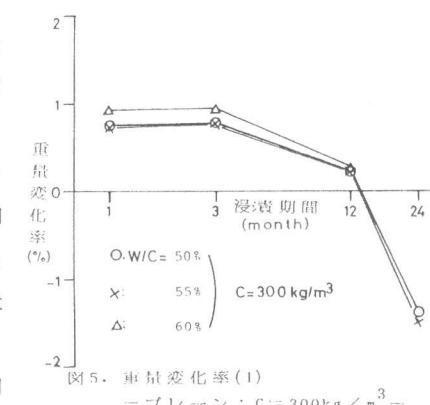


図5. 重量変化率(1)
— プレーン : C=300kg/m³ —

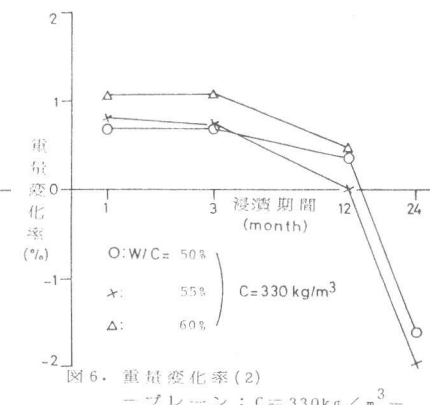


図6. 重量変化率(2)
— プレーン : C=330kg/m³ —

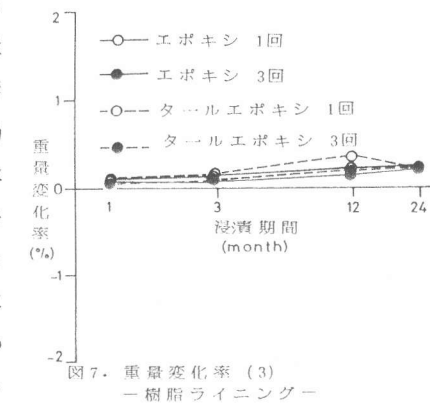


図7. 重量変化率(3)
— 樹脂ライニング —

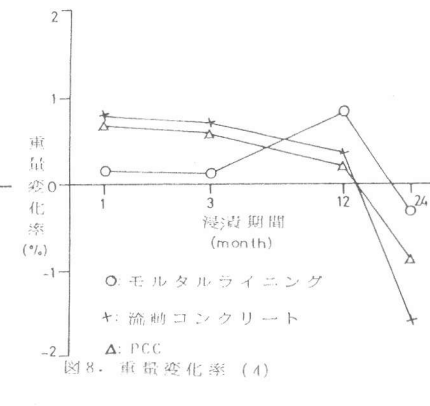


図8. 重量変化率(4)

ことが認められる。

次に、樹脂ライニングによる防食効果を検討するため、酸素法沈澱槽における浸漬2年の相対動弾性係数および2年間での最大値を図11に、重量変化率についても同様に図12に示す。相対動弾性係数の変化をみると、樹脂ライニングの効果は明らかであり、エポキシの方がタールエポキシよりも若干大きめの値を示している。重量変化率についても樹脂ライニングの効果は認められ、ライニングを施していない供試体が初期に吸水し重量増加を示した後に大きく重量減少を示すのに対し、ライニングを施した供試体は若干の吸水を示すものの、比較的一定な値を示している。なお、相対動弾性係数、重量変化率ともにライニング厚さの影響は顕著ではないものの、重量変化率については、吸水性が小さく重量増加が少ない方が防水および耐腐食性の上から効果があるものとすれば、3回塗りの方が1回塗りに比べて良好のようである。

5. 結論

本実験の範囲内で得られた結論を以下に示す。

(1) 単位セメント量が小さく、水セメント比の大きなコンクリートは腐食に対する抵抗性が小さい。

(2) ある程度以上の厚みを持つエポキシあるいはタールエポキシライニングはコンクリートの防食上有効な方法である。

(3) 酸素活性汚泥システムの処理水は、空気法による処理水よりも腐食性が高く、これは腐食性炭酸に起因するものと考えられる。

(4) ほぼ同一の処理水であっても、流速が大きな場合には腐食速度が促進される。

(5) 本実験で用いたモルタルライニング、流動コンクリートおよびポリマーセメントコンクリートの耐腐食性については、今後更に検討する必要がある。

最後に、本実験の遂行にあたって御協力いただいた大阪セメント株式会社のみなさんに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) J. Calleja, "Durability", 7-th International Congress on the Chemistry of Cement, Vol. 1, Sub-Theme VII-2/1 ~ 48, 1980
- 2) 岡田清, "酸素活性汚泥処理施設におけるコンクリート壁の腐食状況調査(その1)", 日本材料学会, 1981・3
- 3) 岡田清, "酸素活性汚泥処理施設におけるコンクリート壁の腐食状況調査(その2)", 日本材料学会, 1982・3
- 4) Philip H. Perkins, "The Corrosion Resistance of Concrete Sanitary Engineering Structures", Concrete International, Vol. 3, No. 4, pp 75 ~ 81, 1981・4

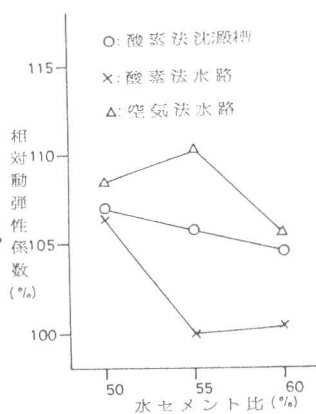


図9. 水セメント比の影響
—C=300kg/m³—

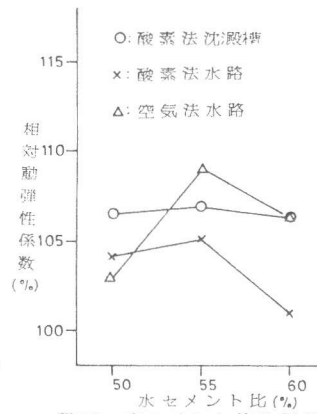


図10. 水セメント比の影響
—C=330kg/m³—

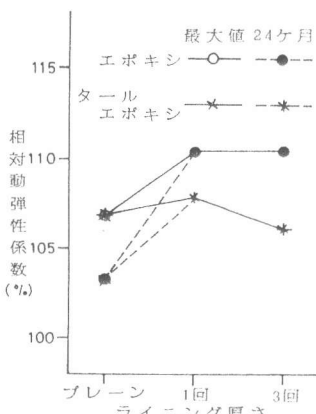


図11. ライニングの影響 (1)
—相対動弾性係数—

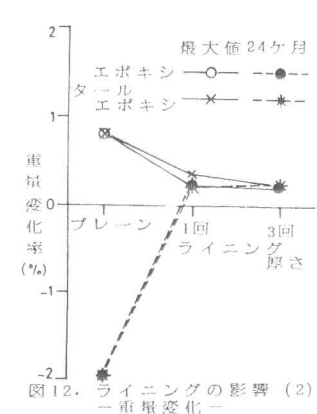


図12. ライニングの影響 (2)
—重量変化—