

[214] し尿浄化槽におけるコンクリートの劣化調査報告

正会員 田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員 高橋 利一 (日本建築総合試験所)

正会員 ○斉藤 広志 (日本建築総合試験所)

1. はじめに

今回、し尿浄化槽内部のコンクリートについて、目視観察および分析試験を実施し、その劣化状況を調査した。これまでこの種の報告例はほとんどないので、その調査結果をここに紹介する。

この構造物は、昭和51年3月に竣工され以後現在に至るまで補修工事は一切行なわれていない。コンクリート躯体面の仕上は各槽とも汚物（以下、液と呼ぶ）に浸る部分のみエポキシ樹脂防水材を塗布しており、他の部分は打ち放しである。し尿浄化槽の平面概要を図-1に示す。槽の損傷は、調査を実施した各層とも液に浸っていた部分ではコンクリートの損傷はほとんど認められないのに対し、液面より上部でコンクリートの劣化が認められ、特に生し尿投入受槽では、かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が露出している箇所もあるという状況であった。

2. 調査および試験項目

調査を実施した槽は、生し尿投入受槽、曝気槽および酸化汚泥槽（以下、順にA槽、B槽およびC槽と呼ぶ）であり下記に調査および試験項目を示す。

- (1) 外観損傷目視調査
- (2) 鉄筋の腐食状況調査およびコンクリートの中性化深さの測定
- (3) コンクリート・コアによる分析試験
 - a) コンクリート・コアの目視観察
 - b) 粉末X線回折試験 c) 蛍光X線分析試験
 - d) 示差熱分析試験 e) pH測定試験

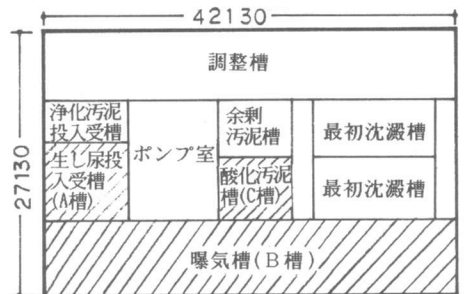
3. 調査方法ならびに調査結果

(1) 外観損傷目視調査

各浄化槽内部の損傷状況を目視観察した。その結果、A槽においては特に損傷が著しく、柱、梁の隅角部のひびわれ、コンクリートの剥落（写真-1）、壁および天井スラブの躯体表層部分の劣化が認められ、また柱および梁下端においては、かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が露出して腐食している箇所も認められた。B槽およびC層においては、A槽において見られた損傷ほど著しくはないが、液上の柱、梁、壁および天井スラブにおいてコンクリート躯体表層部分の劣化が認められ、特に排気口の付近で顕著であった。

(2) 鉄筋の腐食状況調査およびコンクリートの中性化深さの測定

各浄化槽内部の柱、梁の隅角部および壁、天井スラブにおいてかぶりコンクリートを研り取り、鉄筋の腐食状況を目視観察し、また同様の位置でコンクリートの中性化深さの測定（1%フェノールフタレイン溶液）も実施した。その結果、各槽とも液下では鉄筋の腐食およびコンクリートの中性化は認められなかった。また液上でかつコンクリートの劣化が認められる箇所においては、コンクリートの中性化は進行していたが（損傷著しい箇所での中性化深さ：30～60mm程度）、鉄筋の腐食状況はフープ筋およびスターラップ筋で一部腐食による断面欠損が認められたものの、主筋については一部分（すでにかぶりコンクリートが剥落し鉄



///: 調査を実施した槽を示す。(寸法: mm)

図-1 し尿浄化槽の平面概要

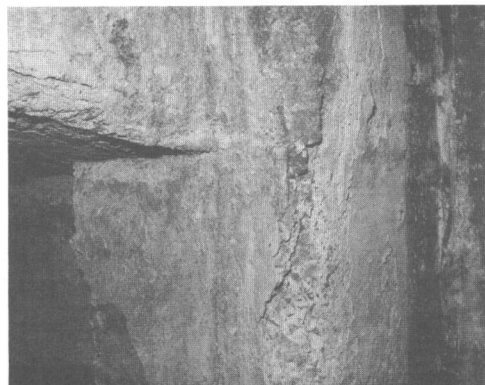


写真-1 柱、梁隅角部のひびわれ、剥落

筋が露出している箇所)を除いてほとんど錆が見られない状況であった。

(3) コンクリート・コアによる分析試験

予備試験として損傷が著しい部分のコンクリート塊を採取し、これについて粉末X線回折および蛍光X線による元素の定性分析を実施した結果、液より発生する硫酸成分がコンクリート中の酸化カルシウムと反応して硫酸カルシウム水和物を生成し、そのためコンクリートが膨張し、ひびわれの発生ならびにコンクリートの剥落等の損傷に至ったものと考えられた。これより、各浄化槽の液下および液上の柱、壁、天井スラブより計10本のコンクリート・コアを採取し、図-2に示す如く試料調整を行なった後、これを分析用試料とした。

a) コンクリート・コアの目視観察

試料調整を行なう前にコンクリート・コアの表面状態を目視観察した。その結果、損傷が認められたコアはいずれも液上の部分で採取したものであり、A槽液上より採取したコアは、コンクリート躯体面より内部へ約30mm程度、B槽およびC槽より採取したものについては約10mm程度劣化しており、コンクリートが白色または褐色に変色している部分あるいは骨材の割れが認められた(以下、これを「コアの劣化した部分」と呼ぶ。写真-2)。

b) 粉末X線回折試験

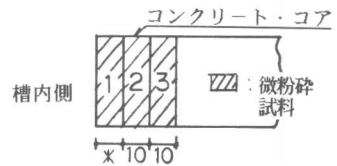
試料調整を行なった分析用試料について表-1に示す回折条件で試験を実施した。その結果、液上の損傷の著しい部分より採取したコンクリート・コアでかつ「コアの劣化した部分」では、硫酸カルシウム水和物およびエトリンガイトが同定された(図-3~5)。コンクリートの未中酸化部分の試料においては、硫酸カルシウムのピークを確認することができ、そのほとんどのものについて硫酸カルシウム水和物およびエトリンガイトは同定されなかった(図-6)。

表-1 X線回折条件

管 球	Cu
フ ィ ル タ ー	Ni
電 圧	40 KV
電 流	10 mA
カウントフルスケール	1000 c.p.s
時 定 数	1 sec
走 査 速 度	2°/min
記 録 紙 速 度	2 cm/min
発 散 ス リ ッ ト	1°
受 光 ス リ ッ ト	0.3 mm
検 出 器	SC

c) 蛍光X線分析試験

試料調整を行なった分析用試料について表-2に示す分析条件で試験を実施し、硫酸の含有量の程度を確認した。その結果、液下より採取したコアの分析用試料については、コンクリート表層部分と躯体内部の硫酸はほとんど同程度のピークを示していること(図-7)、また粉末X線回折の試験結果もあわせて考えると、この部分



*: コンクリート躯体面が劣化したものについてはその部分のコンクリートを、劣化が認められないものについては厚さ5mm。

図-2 分析用試料

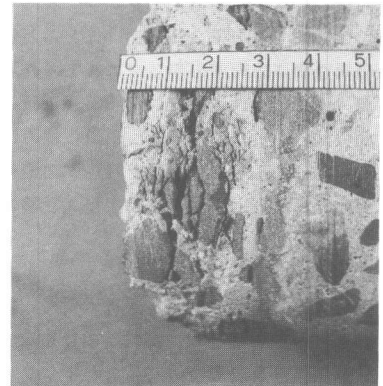


写真-2 コアの劣化した部分

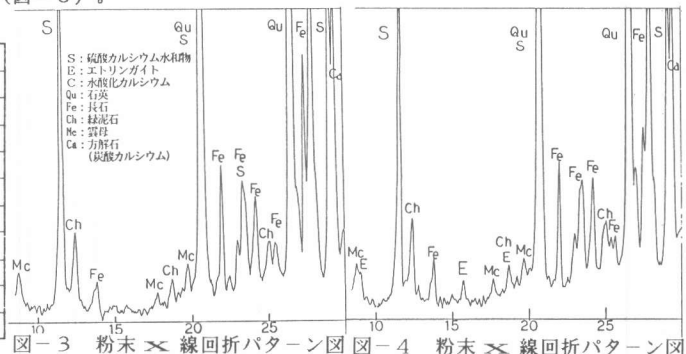


図-3 粉末X線回折パターン図

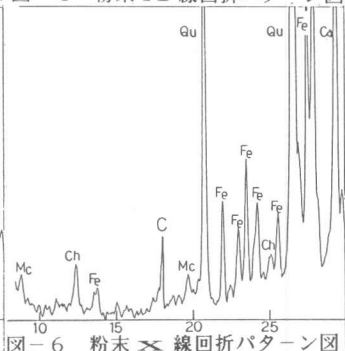


図-4 粉末X線回折パターン図

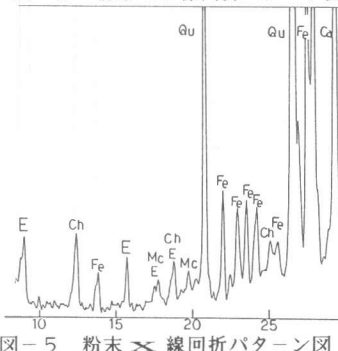


図-5 粉末X線回折パターン図

図-6 粉末X線回折パターン図

のコンクリート中の硫黄の含有量は健全なコンクリートと同程度のものであると考えられる。液上より採取したコアの分析用試料については、損傷の著しい「コアの劣化した部分」およびその近傍のコンクリートでは健全な部分（液下のコンクリート）に比べ、はるかに多量の硫黄のピークが確認でき、また躯体内部の未中性化部分のコンクリートにおいても若干高いピークを示すものがあった（図-8）。

なお、参考までにコンクリート中の硫黄の定量分析を行なった結果、含有量のごく微量のものが0.10～0.20%（平均0.14%）、少ないものが0.23～0.36%（平均0.28%）、多いものが1.10～3.35%（平均1.93%）、非常に多いものが4.45～5.35%（平均4.83%）であった。因に、コンクリートの単位容積質量を2300kg/m³、セメント量を320kg/m³、セメント中の三酸化硫黄を3%（JIS R 5210（ポルトランドセメント）の普通ポルトランドセメントの規格上限値）と仮定し、コンクリート中の硫黄量を換算すると0.167%となる。これを試験結果より得られた硫黄の含有量の平均値と比べてみると、ごく微量以外のものはすべてこの値を上回り、これらについては外部より硫黄が混入したことは明らかである。

表-2 X線分析条件

管 球	Cr
電 圧	60 KV
電 流	40 mA
分 光 結 晶	Ge
カウントフルスケール	40000 c.p.s
時 定 数	0.5 sec
走 査 速 度	4°/min
記 録 紙 速 度	2 cm/min
検 出 器	PC

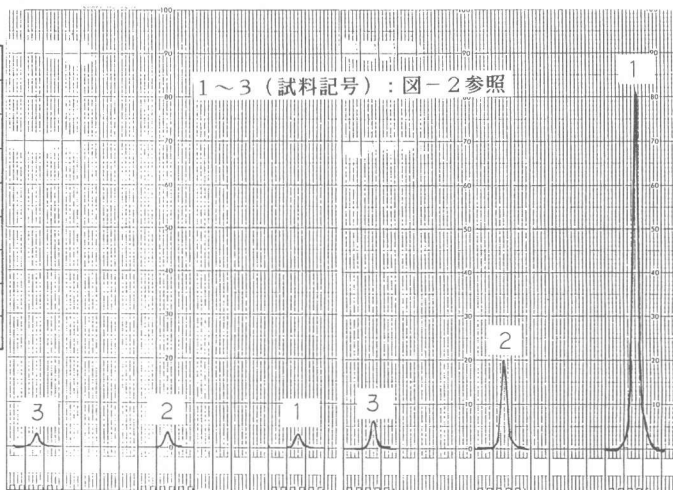


図-7 蛍光 X線分析パターン図 図-8 蛍光 X線分析パターン図

d) 示差熱分析試験

試料調整を行なった分析用試料について表-3に示す分析条件で試験を実施し、示差熱曲線（DTA曲線）、試料質量減少

曲線（TGA曲線）よりエトリンガイトおよび硫酸カルシウム水和物が確認されたものについてはその量を概算した。その結果、X線分析試験において硫酸カルシウム水和物が同定され、コンクリート中の硫黄の含有量が非常に多く認められた「コアの劣化した部分」のみに、DTA曲線およびTGA曲線において硫酸カルシウム水和物特有の変化がみられ、その含有量は11.96～19.62%（平均15.14%）であった（図-9）。

また、この「コアの劣化した部分」よりさらに躯体内部の硫黄の含有量が多いコンクリート部分においても1.75～5.12%（平均3.12%）のエトリンガイトが確認できたが、X線分析試験において水酸化カルシウムが認められ、かつ硫黄の含有量が微量または少量のものについては、ほとんど硫酸カルシウム水和物はもちろんエトリンガイトも認められなかった（図-10、11）。

e) pH測定試験

試料調整を行なった分析用試料25gと水（イオン交換水、pH5.85）をよく混合した後、30分間静置し、その後再びよくかき混ぜこれを試験に供した。なお試験は室温20℃で実施し、pH測定にはガラス電極式水素イオン濃度計を用いた。その結果、各分析試験で硫酸カルシウム水和物ならびに硫黄が非常に多く認められた「コアの劣化した部分」のpH（H₂O）は8.1～10.7であり、また硫黄が多く確認できたものは、pH（H₂O）12を下回る傾向であったが、これら以外の硫黄の含有量のごく微量あるいは少量のものでかつ粉末X線回折において水酸化カルシウムのピークを確認できたものについては、すべてpH（H₂O）12以上であった。

表-3 示差熱分析条件

熱 電 対	白金-白金13%ロジウム
熱 天 秤	5mg フルスケール
示 差 熱	±50 μVフルスケール
昇温速度	10℃/min (約240℃まで加熱)
記録紙速度	8mm/min

以上、各種試験結果の一覧を表-4に示す。

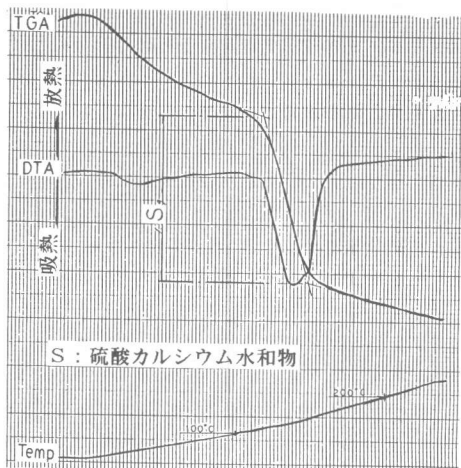


図-9 示差熱分析パターン図

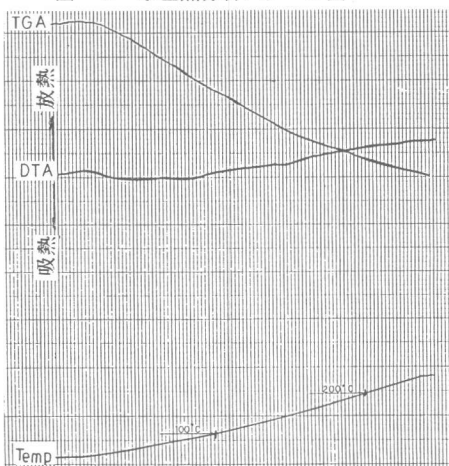


図-11 示差熱分析パターン図

4. おわりに

各槽ともエポキシ樹脂防水材を塗布した液下のコンクリートは健全であると判断されたが、液上の打放しコンクリートについては劣化が著しく、劣化した部分からは多量の硫黄成分および硫酸カルシウム水和物ならびにエトリンガイトが認められ、劣化の原因は、硫酸によるものと判断された。また、コンクリートが中性化していない部分では硫黄成分、硫酸カルシウム水和物やエトリンガイトがほとんど含まれておらず、健全なコンクリートとなっており、コンクリートの中性化試験がこの種のコンクリートの劣化状況の概略を把握する上で、充分利用可能なことが判明した。

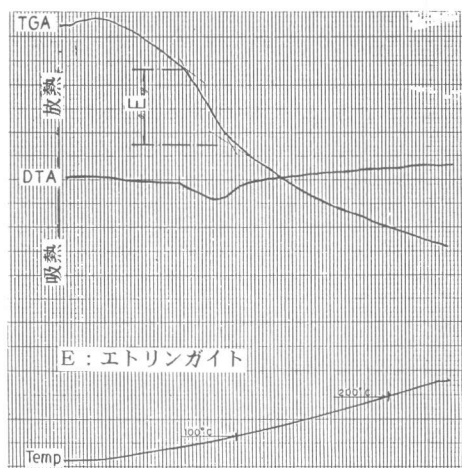


図-10 示差熱分析パターン図

表-4 コンクリート・コアによる分析試験結果一覧

槽 記 号	コ ア 記 号 No	試料記号	粉末X線回折*1 試験結果			*2 示差熱分析*3 試験結果		*3 コンクリート の pH (H ₂ O) 測定試験結果
			水カル 酸シウ 化ム	硫ウ 酸ム カ水 ル和 シ物	エト リガ ンイ ト	硫ウ 酸ム カ水 ル和 シ物 (%)	エト リガ ンイ ト (%)	
A	1	液下 (壁)	1-1	○	*	○ (0.20)	*	12.2
			1-2	—	—	○ (0.10)	*	12.2
			1-3	—	—	○ (0.13)	—	12.2
	2	液下 (壁)	2-1	○	*	○ (0.18)	*	12.1
			2-2	—	—	○ (0.16)	*	12.2
			2-3	—	—	○ (0.15)	—	12.2
	3	液上 (壁)	3-1	*	○	● (4.45)	17.41	8.2
			3-2	*	○	● (5.35)	19.62	8.1
			3-3	○	*	◎ (1.10)	2.70	11.9
			3-4	○	*	◎ (0.23)	*	12.2
B	4	液上 (柱)	4-1	*	○	◎ (2.55)	12.69	10.7
			4-2	○	*	◎ (0.45)	*	12.2
			4-3	—	—	○ (0.20)	—	12.2
	5	液上 (壁)	5-1	*	○	◎ (3.35)	11.96	8.1
			5-2	○	*	◎ (1.55)	5.12	11.9
			5-3	○	*	◎ (0.36)	*	12.2
	6	液下 (壁)	6-1	*	*	○ (0.13)	*	11.9
			6-2	○	*	○ (0.15)	—	12.1
			6-3	—	—	○ (0.12)	—	12.2
C	7	液上 (天井 スラブ)	7-1	*	*	◎ (0.24)	*	10.0
			7-2	*	*	◎ (0.27)	*	12.2
			7-3	○	*	○ (0.16)	—	12.2
	8	液下 (壁)	8-1	○	*	○ (0.12)	*	12.2
			8-2	—	—	○ (0.12)	—	12.2
			8-3	—	—	○ (0.12)	—	12.2
	9	液下 (壁)	9-1	○	*	○ (0.14)	*	12.2
			9-2	—	—	○ (0.13)	—	12.2
			9-3	—	—	○ (0.14)	—	12.2
	10	液上 (壁)	10-1	*	○	● (4.70)	14.03	9.1
			10-2	*	○	◎ (1.10)	4.25	11.7
			10-3	○	*	◎ (1.28)	*	12.2

注) *1: ○印は同定された成分を示す。他にコンクリート中の骨材(鉱物)として、石英、長石、緑泥石、雲母および方解石(炭酸カルシウム: コンクリートの中性化による影響も考えられる)が同定された。また、*印は試験を実施したが同定できなかったことを示す。—印は試験を実施しなかったことを示す。

*2: ○ … 微量, ◎ … 少ない, ● … 多い, ● … 非常に多い
また()内の数値は参考までに測定した硫黄の定量分析結果である(単位: %)

*3: *印はDTAおよびTGA曲線より硫酸カルシウム水和物またはエトリンガイトが確認できなかったことを示す。—印は試験を実施しなかったことを示す。なお、コンクリートのpHに用いた水(H₂O)はイオン交換水でpH5.85のものである。