

下水道施設長期保全更新計画の 策定に関する調査研究

1. 研究目的

下水道施設の整備普及が進捗するなかで、古くから整備を進めている大都市の下水道施設は、改築・更新の時期を迎えつつある。

このうち、下水道処理場やポンプ場の土木構造物は、気候や設置環境、流入水量や水質など様々な外的要因の影響を受けて、施設の劣化状態に大きなばらつきがみられる。また、土木構造物の更新時期を施設の耐力から定量的に判断する指標が明確でないため、これらを管理している団体は、独自の判断基準で改築・更新の時期や補修工法について検討を行っているのが現状である。

しかし、これらの作業を行うには多大な費用と時間が必要であり、評価手法の統一化や一元化による維持管理の効率化が求められている。

このような状況の中で、本研究は、専門技術者でなくても土木構造物の劣化診断、補修・補強工法の概略検討、将来概算コストの算出を行うことが可能となる簡易な施設診断支援ソフトを開発し、改築更新計画に関わる構造物診断などの作業の効率化を図ることを目的とするものである。

本研究は下水道技術開発連絡会議の研究テーマとして取り組んでいる課題であり、2ヵ年にわたり調査研究を実施する。平成17年度は最初の1年目として、下水処理場におけるコンクリート構造物の劣化状況について調査を実施し、劣化指標や劣化判定基準を検討する際の基礎資料を収集、整理した。

2. 調査方法と内容

コンクリート劣化調査は、図-1に示すように二段階の手順を踏まえて実施した。

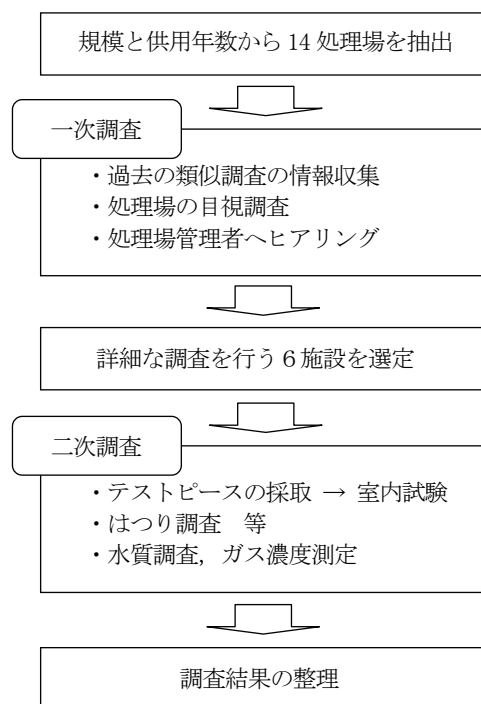


図-1 劣化調査の流れ

最初に、14政令指定都市ならびに東京都の下水処理場の中から、施設規模や供用年数などの条件を考慮して、14箇所の処理場を抽出した。

一次調査として、これらの処理場に対して目視調査を行うと同時に、処理場管理者に対してヒアリングを行った。この結果をもとに、詳細なコンクリート劣化調査を実施する施設として水処理系3施設、汚泥処理系3施設を選定した。

二次調査としては、選定された上記6施設を対象に実施した。調査の内容としては、施設の躯体よりテストピースを採取し、これを用いて中性化深さ、硫黄浸透深さ、圧縮強度の測定などを実施すると同時に、はつり調査等を実施した。

また、環境条件を把握する目的で施設を通常運転している状態における水質調査とガス濃度測定を行い、劣化状況との関連性について整理を行った。

3. 一次調査

3.1 調査の概要

一次調査を行った処理場の一覧を表-1に示す。ここに挙げた処理場を対象として、目視調査ならびに処理場管理者へのヒアリングを実施した。このときの主な確認項目を以下に示す。

(1) コンクリートの劣化状況

コンクリートの表面性状について、腐食生成物の発生、ひび割れ、骨材の露出、既存被覆層の異

状、錆・鉄筋の露出などについて目視で確認を行い、それぞれⅠ～Ⅳのランク付けを実施した。ここで、Ⅰは目視による劣化が認められない状態であり、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳになるにつれて劣化が進行していることを示す。最終的な施設の評価は、各項目の中で最も劣化している指標を代表値として表している。

(2) 防食被覆の有無

二次調査を行う際、防食被覆があると復旧が困難になるため、防食被覆が施されているか否かを調査した。なお、防食被覆が施されている施設でも、被覆の劣化が著しい施設は被覆が無いものと考えて、二次調査の対象とした。

(3) 運転管理上の制約

二次調査は、通常の運転状態で水面下にあたる部位についても調査を行うため、調査時に施設の運転調整を行い、水位の変更が出来るか否かを調べた。調整が行える場合は○、出来ない場合は×、条件付で調整が出来る場合を△で表す。

(4) 調査の難易度

詳細な調査を実施するため、開口部の大きさや足場の設置の難易度、ガス濃度などの作業環境について検討を行った。結果は○、△、×の3段階で評価した。

(5) 覆がいの有無

覆がいの有無が施設の劣化に与える影響が大きいことから、調査結果の整理を行う際の重要な情報として、覆がいが施されているかどうかについて示している。

表-1 目視調査ならびにヒアリングを実施した処理場

都市名	水量 (m ³ /日最大)	主な水処理方式	系列数	経過年
A	144,000	標準法	5	39
B	434,000	標準法 (擬似嫌気好気法)	2	41
C	23,000	標準法	2	39
D	203,050	標準法, 嫌気無酸素好気法	2	24
E	(汚泥処理施設のみを調査)		2	17
F	397,000	標準法, 嫌気無酸素好気法	12	44
G	96,300	標準法	8	43
H	206,000	標準法, 高速エアレーション沈殿法	2	45
I	270,000	標準法	8	75
J	975,000	標準活性汚泥法, ほか	11	66
K	326,000	嫌気好気法	14	65
L	151,000	標準法	10	31
M	90,000	ステップエアレーション法	7	33
N	334,900	標準法	7	35

表-2 一次調査結果の概要

都市名	施設名	水処理施設								汚泥処理施設			
		沈砂池	汚水調整槽	導水渠A		導水渠B		反応タンク		最終沈殿池	受泥槽	汚泥濃縮槽	濃縮汚泥貯留槽
A	劣化状況				II	II	II	II	II	II		III	III
	防食有無				なし	あり	なし	なし	なし	なし		あり	あり
	運転管理				△	△	×	△	△	△		○	○
	調査の難易				△	△	△	△	△	△		○	○
	覆がい有無				あり	あり	あり	なし	なし	なし		あり	あり
B	劣化状況		I		II	II		II	II		I	III	
	防食有無		なし		なし	あり		なし	なし		あり	なし	
	運転管理		△		△	△		△	△		△	△	
	調査の難易		△		△	△		△	△		△	×	
	覆がい有無		なし		なし	あり		なし	なし		あり	あり	
C	劣化状況	II	III		III	III		II	II		I		
	防食有無	あり	なし		なし	なし		なし	なし		あり		
	運転管理	○	○		△	△		△	△		×		
	調査の難易	○	○		△	△		△	△		×		
	覆がい有無	あり	あり		あり	あり		あり	なし		あり		
D	劣化状況	II	I		II	I		I	I		I	II	
	防食有無	あり	あり		あり	あり		あり	あり		あり	あり	
	運転管理	△	×		△	△		△	△		×	△	
	調査の難易	△	×		△	△		△	△		×	△	
	覆がい有無	あり	なし		あり	あり		なし	なし		あり	あり	
E	劣化状況										III	I	
	防食有無										あり	あり	
	運転管理										○	△	
	調査の難易										○	△	
	覆がい有無										あり	あり	
F	劣化状況	II	III		I	I		I	III			I	
	防食有無	なし	なし		なし	あり	あり	あり	あり			あり	
	運転管理	△	△		×	×	△	△	△	△		○	
	調査の難易	△	△		△	△	○	△	△	△		△	
	覆がい有無	あり	なし		あり	あり	あり	あり	なし	なし		あり	
G	劣化状況		II		I	I		I					
	防食有無		なし		あり	あり		あり					
	運転管理		—		—	—		—					
	調査の難易		—		—	—		—					
	覆がい有無		あり		あり	あり		あり					
H	劣化状況	II			II	III		II	I	I	III	IV	
	防食有無	なし			なし	なし		あり	あり	あり	あり	あり	
	運転管理	△			△	△		△	△	△	○	○	
	調査の難易	△			△	△		○	×	×	○	○	
	覆がい有無	なし			なし	あり		なし	あり	なし	あり	あり	
I	劣化状況	I		III	III	III	III	III	II				
	防食有無	あり		あり	あり	あり	あり	なし	なし				
	運転管理	△		×	△	×	×	×	△				
	調査の難易	△		△	△	△	△	△	△				
	覆がい有無	あり		あり	あり	あり	あり	あり	なし				
J	劣化状況				II	II		II	I	II	I		
	防食有無				なし	なし		なし	あり	なし	あり		
	運転管理				△	○		△	△	△	△		
	調査の難易				△	○		△	△	△	△		
	覆がい有無				なし	なし		なし	あり	なし	あり		
K	劣化状況				II	III		II	II	II	II	III	
	防食有無				—	なし		なし	なし	あり	—	なし	
	運転管理				—	—		—	—	—	—	—	
	調査の難易				—	—		—	—	—	—	—	
	覆がい有無				あり	あり		なし	なし	あり	あり	あり	
L	劣化状況				II	III		III			III	II	
	防食有無				なし	あり		あり			あり	あり	
	運転管理				△	△		△			×	×	
	調査の難易				△	△		△			×	×	
	覆がい有無				あり	あり		あり			あり	あり	
M	劣化状況	II						II	II		I	I	
	防食有無	なし						なし	なし		あり	あり	
	運転管理	△						△	△	△	△	△	
	調査の難易	△						△	△	△	△	○	
	覆がい有無	あり						あり	なし		あり	あり	
N	劣化状況	II		II		I		I	I		I	I	
	防食有無	なし		なし		あり		なし	なし		あり	あり	
	運転管理	△		△		△		○	○		△	△	
	調査の難易	△		△		△		○	○		△	△	
	覆がい有無	あり		あり		あり		なし	なし		なし	なし	

※ 劣化状況：Iは目視による劣化が認められない状態であり、II、III、IVになるにつれて劣化が進行していることを示す。

3.2 調査結果

以上の観点により一次調査を行った結果を表-2に示す。表中に記述のない箇所は、処理場に該当する施設がないか、あるいは一次調査を行わなかったことを表している。

また、網掛けをして表示している施設は、後述する手順に従い、二次調査を行う箇所として候補に挙げた施設である。

4. 二次調査

4.1 調査施設の選定

表-2に示した一次調査の結果をもとに、二次調査の対象とする施設を選定した。このときの手順を図-2に示す。

この手順に従い、二次調査の候補施設として、1)劣化が著しく進行している施設、2)防食被覆がされていない施設、3)詳細な調査を行うために運転調整ができる施設、4)作業環境などの条件を満たす施設を選定した。

この結果を表-2に網掛けをして示している。これらの施設の管理者と協議を行い、実際に調査を行う施設として表-3に挙げた水処理系3施設、汚泥処理系3施設を選定した。

ちなみに、これら6施設には建設当初から覆いが掛けられていることが一次調査の際に確認されている。

4.2 調査内容

二次調査の内容としては、躯体の気相部、喫水部、液相部の3箇所からそれぞれテストピースを採取し、これを用いて中性化深さ、硫黄浸透深さ、圧縮強度の測定を行った。また、劣化が進行している部分ではつり調査を行い、内部の鉄筋の腐食状況を確認すると同

時に、EPMA 試験による硫黄浸透深さを測定した。

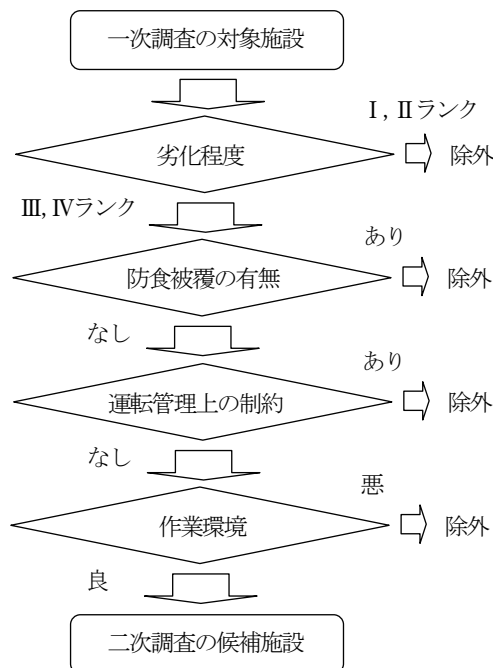


図-2 二次調査の対象施設選定手順

また、環境条件を把握する目的で、施設を通常運転している状態で水質調査とガス濃度測定を行った。水質調査のうち、水温、pH、溶存酸素量、酸化還元電位は現場の水中に試験器を投入することで測定を行った。さらに、室内試験で溶存硫化物濃度（メチレンブルー吸光光度法）と硫酸イオン濃度（イオンクロマトグラフ法）を測定した。また、硫化水素ガス濃度は自動計測器を用いて24時間連続測定を行った。

表-3 コンクリート劣化調査対象施設

	都市名	処理施設名	施設規模	供用年数
水処理施設	都市C	汚水調整池	幅15.0m×奥行15.0m×深さ6.7m	39年
	都市M	導水渠	幅0.8m×奥行2.7m×深さ0.9m	33年
	都市N	最初沈殿池	幅16.0m×奥行28.5m×深さ5.0m	35年
汚泥処理施設	都市A	汚泥濃縮槽	直径12.0m×(中心深さ8.0m, 外周深さ6.4m)	38年
	都市E	受泥槽	幅10.8m×奥行6.3m×深さ5.6m	17年
	都市J	汚泥貯留槽	直径25.0m×(中心深さ7.8m, 外周深さ5.3m)	37年

表-4 コンクリート劣化調査結果

調査項目		水処理施設			汚泥処理施設			
		都市C 汚水調整池	都市M 導水渠	都市N 最初沈殿池	都市A 汚泥濃縮槽	都市E 受泥槽	都市J 汚泥貯留槽	
調査日	劣化調査	H18.1.17~20	H18.2.16, 17	H18.2.8, 9	H18.1.31, 2.1	H18.2.22, 23	H18.1.27	
	水質調査	H18.3.3	H18.2.10	H18.2.3	H18.1.31	H18.1.19	H18.1.20	
	ガス濃度調査	H18.2.20~3.3	H18.2.10~16	H18.2.3~2.8	H18.1.31, 2.1	H18.2.22, 23	H18.3.20, 21	
水質調査	水温	16.2 °C	16.2 °C	17.4 °C	14.0 °C	19.6 °C	15.4 °C	
	pH	6.8	7.2	7.4	6.8	6.8	6.8	
	溶存酸素量	3.6 mg/l	3.0 mg/l	0.0 mg/l	0.0 mg/l	0.2 mg/l	0.0 mg/l	
	酸化還元電位	102 mV	-104 mV	-66 mV	115 mV	-259 mV	-179 mV	
	溶存硫化物濃度	不検出 (0.1mg/l以下)	不検出 (0.1mg/l以下)	不検出 (0.1mg/l以下)	不検出 (0.1mg/l以下)	19 mg/l	0.7 mg/l	
	硫酸イオン濃度	41 mg/l	160 mg/l	2.7 mg/l	1.6 mg/l	1.2 mg/l	不検出 (0.4mg/l以下)	
ガス濃度調査	硫化水素ガス濃度	最高 4 ppm 最低 3 ppm 平均 3.7 ppm	最高 16 ppm 最低 4 ppm 平均 6.7 ppm	最高 4 ppm 最低 3 ppm 平均 3.7 ppm	最高 0 ppm 最低 0 ppm 平均 0 ppm	最高416 ppm 最低 3 ppm 平均53.2 ppm	最高 12 ppm 最低 4 ppm 平均 8.2 ppm	
	炭酸ガス濃度	300 ppm	300 ppm	200 ppm	500 ppm	3,000 ppm	500 ppm	
	湿度	67 %	77 %	65 %	80 %	67 %	65 %	
コンクリート表面pH測定		4	4	4	4	4	4	
テストピースによる調査	中性化深さ	気相部	6.1 mm	18.0 mm	5.2 mm	1.1 mm	32.8 mm	40.6 mm
		喫水部	6.1 mm	13.3 mm	4.4 mm	8.8 mm	5.9 mm	32.2 mm
		液相部	5.3 mm	13.5 mm	4.9 mm	0.0 mm	6.4 mm	5.4 mm
	硫黄浸透深さ	気相部	7.8 mm	23.5 mm	9.0 mm	4.8 mm	33.0 mm	41.3 mm
		喫水部	7.3 mm	18.8 mm	9.4 mm	10.4 mm	8.4 mm	32.7 mm
		液相部	5.8 mm	14.3 mm	7.0 mm	0.0 mm	8.3 mm	5.4 mm
	圧縮強度	気相部	28.6 N/mm ²	36.0 N/mm ²	47.8 N/mm ²	39.5 N/mm ²	31.9 N/mm ²	21.3 N/mm ²
		喫水部	28.7 N/mm ²	36.8 N/mm ²	31.4 N/mm ²	25.9 N/mm ²	41.5 N/mm ²	22.6 N/mm ²
		液相部	29.0 N/mm ²	34.6 N/mm ²	45.1 N/mm ²	46.5 N/mm ²	32.2 N/mm ²	26.8 N/mm ²
	EPMA試験による硫黄浸透深さ		2 mm	14 mm	5 mm	9 mm	42 mm	53 mm
簡易強度調査	テストハンマ深さ	11 mm	14 mm	4 mm	9 mm	43 mm	64 mm	
	ドリル削孔深さ	12 mm	12 mm	5 mm	10 mm	40 mm	58 mm	
	シュミットハンマ反発度	R=10	R=16	R=14	R=13	R=18	R=16	
はつり調査	消失深さ		0 mm	5 mm	0 mm	0 mm	37 mm	28 mm
	測定鉄筋被り	主筋	25 mm	60 mm	101 mm	56 mm	55 mm	94 mm
		配筋	41 mm	77 mm	114 mm	69 mm	75 mm	111 mm
	鉄筋の腐食程度	主筋	点 錆	点 錆	点 錆	異常なし	点 錆	表面錆
		配筋	点 錆	表面錆	点 錆	異常なし	点 錆	表面錆
中性化深さ		9.6 mm	13.1 mm	6.0 mm	9.8 mm	18.8 mm	47.3 mm	

4.3 調査結果

表-3に示した6施設に対して、コンクリート劣化調査を実施した結果を表-4に示す。

(1) 環境条件

水質調査の結果として、水温は14℃～20℃であり、pHは概ね7に近く中性を示していた。また、ガス濃度としては、ほとんどの施設で硫化水素ガス濃度は8ppm以下、炭酸ガス濃度は500ppm以下であったが、都市Eの受泥槽についてはガス濃度が非常に高く、施設の腐食環境としては高負荷であった。この結果は、コンクリートの劣化状況と対比すると非常に大きな影響を及ぼしていることが明らかである。

(2) コンクリート表面のpH

全ての施設でコンクリート表面のpHは4であり、酸性を示していた。通常、コンクリートはアルカリ性を有していることから、周辺環境による影響を受けていることがわかる。

(3) テストピースを用いた試験結果

中性化深さの測定は、コンクリート表面にフェノールフタレイン溶液を散布し、躯体表面から赤色に呈する部分までの距離で表している。同様に、硫黄浸透深さについては劣化診断薬を散布して、躯体表面から硫酸劣化している部分の深さを測定した結果である。それぞれ6点で測定を行い、平均値を表に記している。気相部、喫水部、液相部の3箇所における測定結果を比較すると、気相部のコンクリートが最も劣化していることが確認された。

コンクリートの圧縮強度については、劣化した部分を取り除いて試験を行っていることから、圧縮強度の違いは採取位置および劣化程度による傾向が明確には現れなかった。また、施設設計時の資料により、コンクリートの設計強度は把握できるが、実際の施設建設時にどのようなコンクリートを用いて施工を行ったのかが不明である。このため、施設の建設当時からどの程度強度が低下しているかが明確ではない。

EPMA試験による硫黄浸透深さに関しては、既往の研究による知見と同様の傾向が現れており、化

学的腐食が進行しているところほど、フェノールフタレイン溶液を用いて測定した中性化深さよりもEPMA試験によって得られた硫黄浸透深さのほうが内部まで劣化が進行している結果となった。

(4) 簡易強度調査結果

テストハンマでコンクリート表面を叩き、健全なコンクリートが現れるまでの深さを測定した結果を「テストハンマ深さ」として記載した。また、コンクリート表面からドリルで削孔を行い、健全な部分に突き当たるまでの深さを測定した結果を「ドリル削孔深さ」として記載した。

これらの結果、テストハンマ深さ、ドリル削孔深さ、中性化深さ、EPMA試験による硫黄浸透深さを比較すると、多少のばらつきがあるものの概ね相関関係にあると思われる。

(5) はつり調査結果

被りコンクリートを取り除き、鉄筋の腐食状況を確認した結果、周辺環境の影響を受けておらず、ほぼ健全であることが確認された。部分的に錆が見られたところもあったが、これは施設の建設当時のものと考えられる。先に示した計測項目における中性化深さや硫黄浸透深さが鉄筋被りよりも浅く、鉄筋が直接腐食環境に曝されていなかったことと整合している。

5. 今後の課題

今回の調査は冬季に実施しているが、腐食環境の季節変動を考慮するために夏季の水質調査とガス濃度測定を継続して実施する予定である。

また、今後は現場で行える簡易な調査結果と硫黄浸透深さ等の劣化程度との関係や、劣化速度に与える影響について検討を行う予定である。

●この研究を行ったのは

研究第一部長	堀江 信之
研究第一部総括主任研究員	加畑 雅宏
研究第一部研究員	渡邊 俊光
研究第一部研究員	福嶋 研一

●この研究に対するお問い合わせは

研究審議役兼研究第一部長	藤木 修
研究第一部副部長	小野田吉恭
研究第一部主任研究員	渡邊 俊光
研究第一部研究員	福嶋 研一