

# 下水処理施設の維持更新 に関する調査

## 1. 調査の背景と目的

わが国の下水道普及率は平成4年度末には47%に達し、今後、下水道事業の中での老朽化した施設の修繕・改築等を含む維持管理の比重が高まってゆくものと予想される。このような背景から、下水道施設の維持更新の実態を把握し、今後どのような維持更新を図ってゆくべきかを検討してゆく必要がある。

そこで、本調査は、下水処理施設のコンクリート構造物を対象を絞って、施設の維持管理や修繕・改築の実態をアンケート調査から明らかにするとともに、文献調査により構造物の劣化原因別に診断方法、修繕・改築方法等について整理を行うことを目的に行った。

本調査は、建設省土木研究所が（財）下水道新技術推進機構に委託し、調査を行った内容の報告である。

## 2. 下水処理施設の修繕・改築事業の位置づけ

下水道事業の中での下水処理施設の維持更新事業の位置づけを平成3年度版の下水道統計をもとにみると、全下水道事業費の20.7%が維持管理費、その維持管理費の内52.4%が処理場施設に関するものであった。下水道施設の維持管理費の詳細な内訳は図-1のとおりであり、処理場施設の維持・補修費（補修費）としては全維持管理費の6.9%であった。

また、13大都市を対象としたアンケート調査から処理場に係わる事業費の推移をみると（図-2）、修繕費が増加の傾向であることがわかり、今後の修繕・改築事業量の増加が予想される。なお、この図

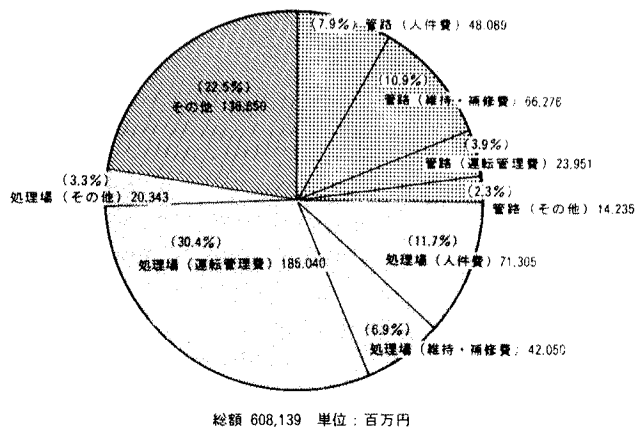


図-1 下水道施設の維持管理費の内訳

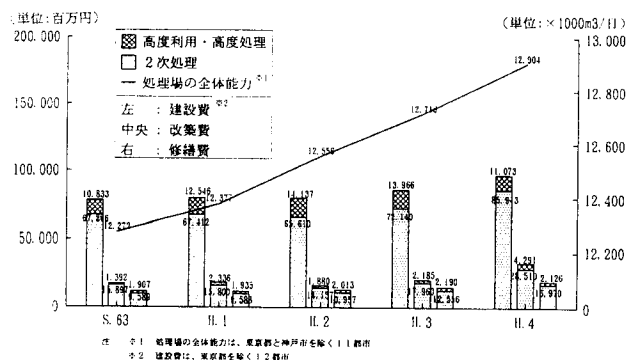


図-2 13大都市の処理場に係わる事業費の推移

で高度利用・高度処理というのは高度処理施設や上部利用のための覆蓋施設・処理水再利用施設等の高度利用施設を示している。

### 3. 処理場施設の劣化状況とその対応の実態調査

本調査では、13大都市の全公共下水道を対象として、処理場施設の劣化状況、劣化状況の調査事例、修繕・改築の実績等についてアンケート調査を行った。このアンケートに対して13大都市全てから回答があり、94処理場の回答が得られた。ちなみに平成3年度版下水道統計による処理場維持管理費の内の維持更新費に占める13大都市の割合は36.6%である。なお、このアンケートで対象となった施設の年代別建設件数、劣化の認められた施設件数、修繕した施設件数は図-3に示すとおりである。ここでの施設件数は、同じ施設でも建設時期の異なる場合は別件として数えた。また、この件数は全ての処理施設（各水処理、汚泥処理施設）の件数の合計値である。

このアンケートの結果は、主として劣化原因別に整理を行った。劣化原因としては硫化水素、侵食性炭酸、中性化、アルカリ骨材反応、塩害、凍害、化

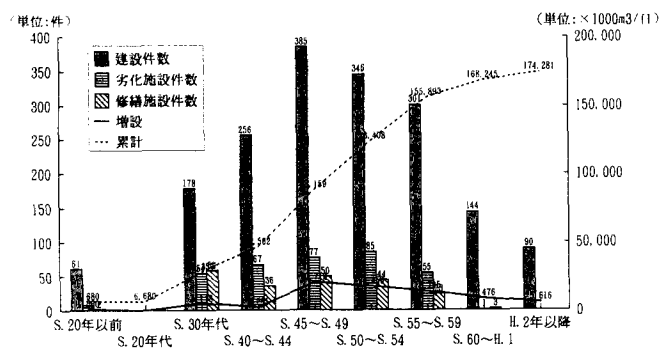


図-3 年度別の施設数と施設能力（全施設）

学的侵食、温度応力・乾燥収縮、損食、その他（疲労、不同沈下等）に分類し、それぞれの定義は表-1に示すとおりである。

#### 3.1 処理場施設の劣化状況について

アンケート結果より、処理場施設の中で劣化の認められる施設とその劣化原因についてみると表2のとおりとなった。この表では、劣化原因別に劣化の認められる施設数の多い施設を上位5番目まで示している。また、施設によってアンケート対象の施設総数が異なるので、それぞれの施設の総数に対する劣化の認められる施設の比率についても示した。

表-1 劣化の原因

用語	内容
(a) 硫化水素	下水中に含まれる硫化水素がセメント硬化体中の水酸化カルシウムと反応して水溶性の塩を作ることにより、水酸化カルシウムを溶出させ、コンクリートを劣化させる原因となる。
(b) 侵食性炭酸	水中に溶け込んだ遊離炭酸の一部である腐食性炭酸ガスは、石炭を溶解する能力を持ち、その濃度が高い場合はコンクリートの結合材の石灰や炭酸塩を溶解し、コンクリートを腐食させる。
(c) 中性化	中性化は、コンクリート中の水酸化カルシウムと大気中の炭酸ガスが反応してpHがさがること、中性化が進むと鉄筋の腐食の原因となる。
(d) アルカリ骨材反応	骨材中のある種の鉱物とコンクリート中のアルカリ性の細孔溶液との間の化学反応によって、コンクリート内部で局所的な容積膨張が生じ、それがコンクリート中にひび割れを発生させることによりコンクリートの強度低下を起こす。
(e) 塩害	塩分が骨材としてコンクリートに含まれている場合や海水等の影響により、コンクリートを劣化させるかあるいは鉄筋の腐食を促進させる。
(f) 凍害（凍結融解）	コンクリート中の水分が凍結融解を繰り返し、ひび割れを発生させたり、表層部が剥離したりし、表層に近い部分から破壊し、次第に劣化する。
(g) 化学的侵食	コンクリート中の水和物と化学反応を起こし、本来水に溶けにくいセメント水和物を可溶性の物質に変えてコンクリートを劣化させる。あるいはコンクリート中の水和物と反応して新たな化合物をつくり、コンクリートを膨張させ劣化させる。
(h) 疲労	疲労とは機器の振動や水の波力などの繰り返しの荷重によりコンクリートや鉄筋に品質低下を起こすことである。
(i) 損食	コンクリート表面は多くの環境のもとですべり、けずりあるいは衝撃により摩耗するもので、水処理施設などの場合流水によるキャピテーションや水に運ばれた摩耗性の物質の作用で侵食することをいう。
(j) 温度応力・乾燥収縮	自然の温度変化や人工的温度変化、あるいはコンクリートの内部の温度変化による構造物の膨張・収縮によりコンクリートにひび割れが生じる。また、セメントの凝固が終了した後、大気中に放置すると次第に乾燥収縮し、コンクリートに有害なひび割れが生じる。
(k) 不同沈下	構造物の下部の軟弱層の厚みが場所により異なる場合や、構造物の重量配分が不相当であったり、概造物が長く中央の荷重が大きく下部の粘性土が圧縮されて大きく沈下し構造物の使用に支障をきたすような均等でない沈下をいう。

この表より以下のことがいえる。

- ①劣化原因としては、硫化水素と温度応力・乾燥収縮によるものが多く、これらへの対策が重要と考えられる。次いで中性化、化学的腐食、塩害による劣化施設が多かった。
- ②硫化水素による劣化施設としては最初沈殿池が最も多かった。しかし、濃縮槽や貯留槽は最初沈殿池よりも硫化水素による劣化を受けている施設の割合が高かった。
- ③汚泥処理棟や管理棟などの建築施設は、温度応力・乾燥収縮、塩害、アルカリ骨材反応等による劣化を受けているものが多い。

### 3.2 処理場施設の修繕・改築の実績について

アンケート結果より、過去10年間に修繕を行った処理場施設について、劣化原因別に整理してみると表3のとおりとなった。この表では、劣化原因別に修繕を行った施設数の多い施設を上位5番目まで示している。また、施設によってアンケート対象の施設総数が異なるので、それぞれの施設の総数に対する修繕を行った施設の比率についても示した。なお、改築の実績については件数が少ないためここでは省略する。

- ①修繕された施設の劣化原因としては硫化水素が最も多く、次いで温度応力・乾燥収縮であった。
- ②硫化水素による劣化を受けた施設としては、消化槽、濃縮槽などの汚泥処理施設の件数が多く、修繕比率も高い。それに対して、最初沈殿池は劣化の認められる施設としては最も多いが修繕件数としては3番目である。これは劣化の症状の程度の差が原因と推測される。
- ③エアレーションタンクの修繕については、中性化、化学的侵食、侵食性炭酸による劣化によるものが多く、他の施設とは様相が異なる。これは槽中で混合液と空気が流動するという特殊な環境によるものと推測される。
- ④管理棟や汚泥処理棟では、およそ1／4の施設で温度応力・乾燥収縮が原因の劣化に対する修繕が行われている。

次に、修繕した施設の欠陥状況をみると図4のとおりである。全体的にはひび割れの症状が最も多いことがわかる。消化槽をはじめとする汚泥処理施設やエアレーションタンクには、劣化症状としては重い粗骨材の剥離や鉄筋の露出・溶出（欠損）などが一部みられる。管理棟、汚泥処理棟の建築施設は、ひび割れとセメントモルタルの一部剥離の症状が多い。

また、劣化原因別の修繕方法は図5に示すとおりである。硫化水素による劣化に対しては、コンクリート表面からの劣化であるためコーティング・ライニング工法とモルタルの表面修復工法で大部分を占める。温度応力・乾燥収縮による劣化に対しては、症状としてひび割れが多いことから半分近くが注入・充填工法である。

劣化原因として件数の多い硫化水素と温度応力・乾燥収縮について、建設から修繕までの年数別に修繕した施設の割合を示したのが図-6及び図-7である。これより、硫化水素による劣化施設に対しての方が早い時期に修繕されている傾向が見られる。

### 3.3 劣化状況の調査事例

アンケートより劣化診断事例としては、ひび割れ、漏水などの原因調査と老朽化した施設の健全度・耐久性などを見る調査に大別された。変わった例としては、耐震強度の調査を行っている例もあった。

これらの劣化診断調査の項目としては、目視を中心とした比較的簡単な調査から、中性化深度測定、圧縮強度試験などを行うもの、さらには、コア採取による分析、X線回析分析、電子顕微鏡観察、腐食環境の指標としての $H_2S$ 、 $CO_2$ ガス濃度測定などの分析・試験等を行っているものもあった。

表-2 劣化の認められる施設の劣化原因別の整理

項目	総計	No 1	割合	No 2	割合	No 3	割合	No 4	割合	No 5	割合
硫化水素	80	最初沈殿池	8.6%	濃縮槽(重力)	14.4%	貯留槽	12.1%	エアタン 消化槽(嫌気)	1.7% 5.7%	洗浄槽	11.1%
温度応力・乾燥収縮	80	汚泥処理棟(建築)	31.3%	管理棟(建築)	18.2%	最初沈殿池	2.8%	沈砂池ポンプ棟(建築) 水処理施設(建築)	12.3% 8.1%	最終沈殿池	1.7%
中性化	33	最終沈殿池	4.1%	エアタン	2.1%	最初沈殿池 管理棟(建築)	1.4% 6.1%	沈砂池ポンプ棟(土木) 濃縮槽 消化槽 貯留槽 水処理施設(建築) 汚泥処理棟(建築)	0.7% 0.8% 1.1% 1.5% 1.2% 2.1%	その他	2.9%
化学的腐食	18	最初沈殿池	2.4%	エアタン 濃縮槽(重力)	1.0% 2.3%	消化槽(嫌気)	2.3%	貯留槽 管理棟(建築) 汚泥処理棟(建築)	1.5% 1.5% 2.1%		
塩害	14	汚泥処理棟(建築)	10.4%	沈砂池ポンプ棟(建築)	7.0%	管理棟(建築)	3.0%	最初沈殿池 最終沈殿池 水処理施設(建設)	0.3% 0.3% 1.2%		
アルカリ骨材反応	5	管理棟(建設)	3.0%	沈砂池ポンプ棟(土木) 消化槽(嫌気) 水処理施設(建築)	0.7% 1.1% 1.2%						
侵食性炭酸	2	水処理施設 管理棟(建築)	1.2% 1.5%								
凍害(凍結融解)	1	沈砂池ポンプ棟(土木)	0.8%								
損食不明	1	その他	2.9%								
	20	管理棟(建築)	6.1%	消化槽(嫌気) 沈砂池ポンプ棟(建築)	3.4% 5.3%	水処理施設(建築) 汚泥処理棟(建築)	2.3% 4.2%	最終沈殿池 塩素混和池 洗浄槽	0.3% 0.8% 2.8%	その他	11.4%
その他	16	水処理施設(建築)	4.7%	最終沈殿池	1.0%	エアタン	0.7%	管理棟(建築) 汚泥処理棟(建築)	1.5% 2.1%	その他	14.3%

注)・総計欄は、劣化の認められた施設総数を示す。

・割合の欄は、アンケートの対象となった処理場の各施設の総数に占める劣化の認められる施設の割合を示す。

表-3 修繕された施設の劣化原因別整理

項目	総計	No 1	割合	No 2	割合	No 3	割合	No 4	割合	No 5	割合
硫化水素	103	消化槽(嫌気)	40.2%	濃縮槽(重力)	15.2%	最初沈殿池	5.5%	貯留槽	13.6%	沈砂池ポンプ棟(土木) 洗浄槽	1.4% 5.6%
温度応力・乾燥収縮	73	管理棟(建築)	28.8%	消化槽(嫌気)	19.5%	汚泥処理棟(建築)	25.0%	沈砂池ポンプ棟(建築)	14.0%	水処理施設(建築)	4.7%
中性化	17	エアタン 管理棟(建築)	1.0% 4.5%	消化槽(嫌気)	2.3%	濃縮槽(重力) 沈砂池ポンプ棟(建築) 水処理施設(建築) 汚泥処理棟(建築)	0.8% 1.8% 1.2% 2.1%	その他	14.3%		
塩害	16	沈砂池ポンプ棟(建築) 汚泥処理棟(建築)	7.0% 8.3%	水処理施設(建築) 管理棟(建築)	2.3% 3.0%	その他	11.4%				
化学的腐食	13	消化槽(嫌気) 管理棟(建築)	4.6% 6.1%	エアタン	0.7%	貯留槽 汚泥処理棟(建築)	1.5% 2.1%	その他	2.9%		
侵食性炭酸	8	エアタン	1.0%	最終沈殿池	0.7%	消化槽(嫌気) 貯留槽 水処理施設(建築)	1.1% 1.5% 1.2%				
アルカリ骨材反応	7	管理棟(建築)	6.1%	水処理施設(建築)	2.3%	汚泥処理棟(建築)	2.1%				
凍害(凍結融解)	5	消化槽(嫌気) 貯留槽 管理棟(建築)	1.1% 1.5% 1.5%								
損食不明	1	その他	2.9%								
その他	27	最初沈殿池	2.1%	エアタン 最終沈殿池	1.4% 1.4%	管理棟(建築)	4.5%	水処理施設(建築)	2.3%	濃縮槽(重力) 汚泥処理棟(建築)	0.8% 2.1%
不明	26	最初沈殿池 管理棟(建築)	1.7% 7.6%	エアタン 最終沈殿池	1.4% 1.4%	消化槽(嫌気) 汚泥処理棟(建築)	2.3% 4.2%	その他	11.4%		

注)・総計欄は、劣化の認められた施設総数を示す。

・割合の欄は、アンケートの対象となった処理場の各施設の総数に占める修繕を行った施設の割合を示す。

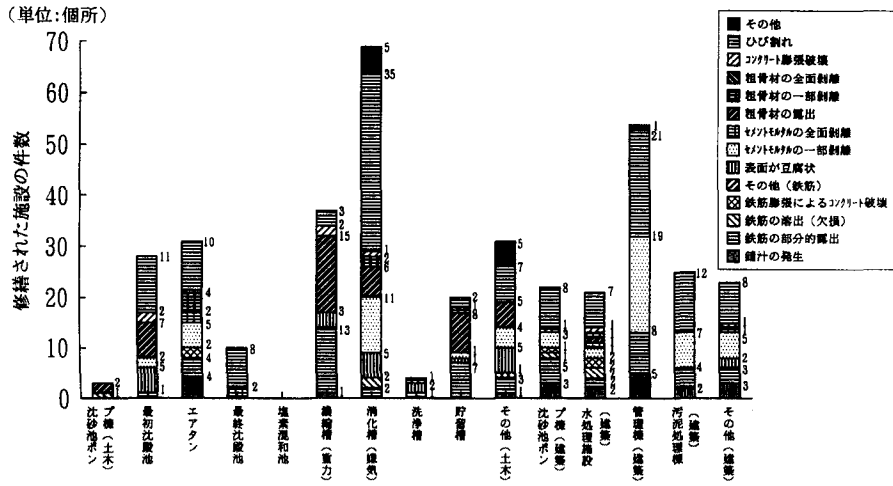


図-4 施設別の劣化状況

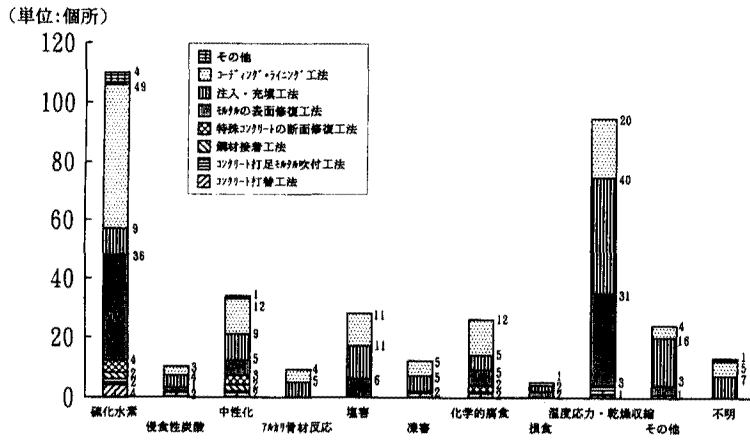


図-5 劣化原因別修繕方法の件数

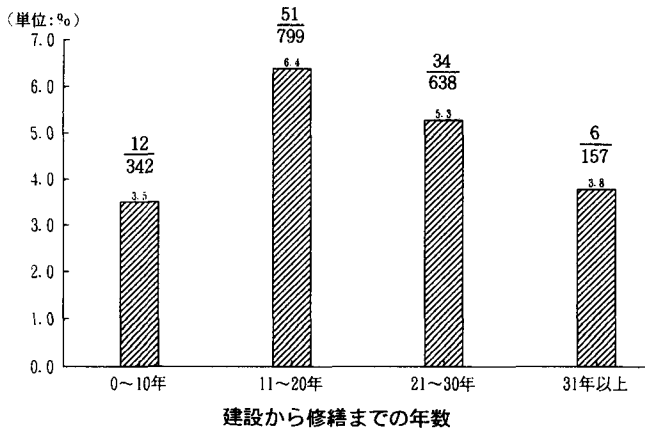


図-6 建設からの年数別の修繕施設の割合 (硫化水素)

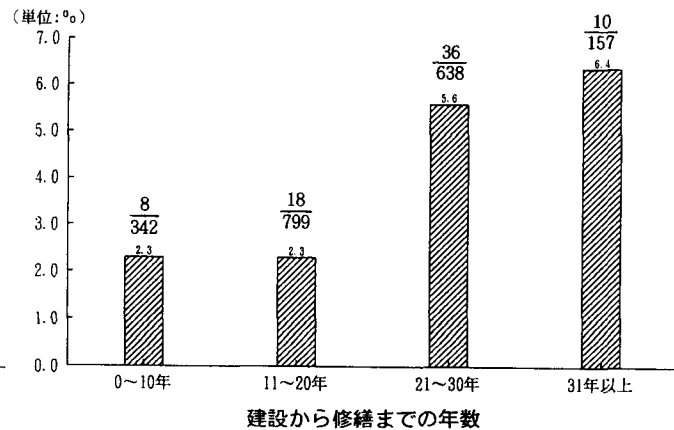


図-7 建設からの年数別の修繕施設の割合 (温度応力・乾燥収縮)

#### 4. 劣化原因別のコンクリート構造物の診断方法、修繕・改築方法等の文献調査

これまでみてきた劣化原因と劣化現象、劣化症状との相関について文献より調べると、表-4のように示すことができる。

文献調査の結果は、劣化原因別に次の各項目について整理した。

- a) 劣化の原因とメカニズム
- b) 診断方法について
- c) 劣化速度について
- d) 既設施設の劣化の対策と修繕・改築方法
- e) 新規施設の劣化の対応について

なお、本文献調査でまとめた劣化原因は、次のとおりである。

- (1) アルカリ骨材反応による劣化
- (2) 塩害による劣化
- (3) 侵食性炭酸による劣化
- (4) 中性化による劣化
- (5) 凍害による劣化

硫化水素による劣化については既往調査が多くあ

るため、本調査では文献調査は行わなかった。

#### 5. まとめ

本調査では、13大都市を対象としたアンケート調査により、下水処理場のコンクリート構造物の劣化状況や修繕・改築の実態についてある程度把握することができた。また、これらの劣化に対しての修繕・改築方法等について、劣化原因別に文献調査からまとめた。

##### <参考文献>

- 1) 建設省、コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書 <第1編> 昭和63年11月
- 2) (財) 土木研究センター、コンクリートの耐久性向上技術の開発(土木構造物に関する研究成果) 平成元年5月
- 3) 建設大臣官房技術調査室、鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術 1987.12.20

他

表-4 劣化の原因、現象、症状の相関

症 状	現 象	原 因
ひび割れの発生	①無筋の場合120°に交わる亀甲状になる。 ②鉄筋やプレストレストによる拘束化では、これと平行に発生する。 ③雨水のあたる箇所で大きくなりやすい。 ④長期的に伸展するなどの特徴がある。 ⑤柱、梁については軸方向に生じる。	アルカリ骨材反応
	①面的に見て配筋の位置と思われる箇所に発生するひび割れ	中性化、塩害
	①壁面の開口の隅角部に発生する斜めひび割れ ②壁面の八の字、または逆八の字形のひび割れ	温度応力・乾燥収縮
	①構造物の隅角部や水平部の斜めひび割れや長手方向のひび割れ	凍害
	①コンクリートの沈降によるひび割れ ②部分的な小さなひび割れあるいは小さな網目状のひび割れ	施工性(練り混ぜ時間、混和材の均一性、急速な打設など)
浮き・剥離	①仕上材の浮きや剥離	温度応力・乾燥収縮、施工性
	①躯体コンクリートの鉄筋に沿っての浮きや剥離	塩害、中性化、アルカリ骨材反応
	①躯体コンクリートの隅角部などの浮きや剥離(凍結による体積膨張)	凍害
さび汚れ	①鉄筋のさびがコンクリート表面に流出する状態で、ひび割れ面に多い	ほとんどの原因であるひび割れから、特に塩害、中性化、凍害、アルカリ骨材反応
エフロレッセンス	①コンクリートのひび割れ面や打継面に石灰などが水に溶けてしみ出す。	中性化、侵食性炭酸など
脆弱化した表面	①コンクリートの表面のすり減り ②コンクリートの表面の粉末状化	物理的侵食、損食、化学的侵食
異常体感	①梁の中央のたわみ、ひび割れ ②床のたわみ、振動	設計時点の設定、材料の強度不足、疲労

- 
- この調査に関する問い合わせは
- |               |    |    |
|---------------|----|----|
| 建設省土木研究所下水道部  |    |    |
| 下水道研究室長       | 田中 | 修司 |
| 主任研究員         | 北川 | 三夫 |
| (財)下水道新技術推進機構 |    |    |
| 研究第一部長        | 佐藤 | 和明 |
| 技術部長          | 村上 | 忠弘 |
| 技術部技術課長       | 村上 | 孝雄 |
| 研究第一部研究員      | 深尾 | 忠司 |