

<論文>

下水道主要設備の機能診断と改築計画の策定

渡邊 晃¹, 仲元寺宣明¹, 松浦将行¹

財団法人下水道新技術推進機構 研究第二部(〒162-0081 東京都新宿区水道橋 3-1 E-mail:a-watanabe@jiwet.or.jp)¹

概要

下水道普及率は平成18年度末で69.3%に達しており、普及率の上昇にともなって下水処理施設のストックは膨大なものとなっている。この施設を維持し、更なるレベルアップを目指すには処理施設の適切な維持管理と計画的な改善が必要である。本研究では、従来から行われていた個々の機器診断だけでなく、下水処理施設の主要設備に対してプロセス機能診断および設備機能診断を併用する診断方法を研究し、改築優先度の明確化や、経済性、効率化等の視点を加えた設備改築計画を策定する一連の手法を提示した。

キーワード: 改築, 修繕, 下水道主要設備機能診断, 設備機能診断, プロセス機能診断

1. はじめに

全国の下水道普及率は、平成18年度末で69.3%に達しており、平成19年度の整備目標値72%に着実に近づきつつある。一方、普及率の上昇にともなって処理施設のストックは膨大なものとなっており、そのため、施設を維持し、更なるレベルアップを目指すためには、処理施設の適切な維持管理と計画的な改築が必要である。

また、環境保全に対する取組みの一翼を担っている下水処理施設は、下水道法施行令への対応など、単に老朽化した施設を単純更新するのではなく、処理機能や設備機能を診断し、物理的な劣化や能力の低下を評価するとともに、最新の技術に照らし、機能性、維持管理性、省エネルギー性、環境負荷削減への貢献度等を検討したうえで、最適な機能を有するものに計画的に改築を行っていくことが求められている。

本研究では、下水処理場における主要設備の適正かつ効率的な改築に向けた下水道主要設備診断方法を研究し、下水処理場の改築事業計画の策定手法を提示した。

2. 主要設備機能診断の概要

2.1 主要設備機能診断の特長

下水処理場の設備改築策定に関する手法として、「下水道施設改築・修繕マニュアル(案)-1998年度版-」(社団法人日本下水道協会)¹⁾があるが、個々の機器・設備に対しての物理的診断が主体であり、必ずしも処理機能や設備機能に重点を置いたものではなかった。

主要設備機能診断は、従来行われていた個々の機器の診断から改築事業の実施へ展開する手法だけでなく、処理状況からみた機能低下要因の把握を目的とした「プロセス機能診断」を行い、設備単位の機能低下を定量評価する「設備機能診断」を併用することで、改築優先度を明確化し、経済性や効率化等の視点を加えて設備改築事業計画を策定につなげる一連の手法を

特長としている。従来手法と主要設備機能診断をもちいた手法を Fig.1 に示す。

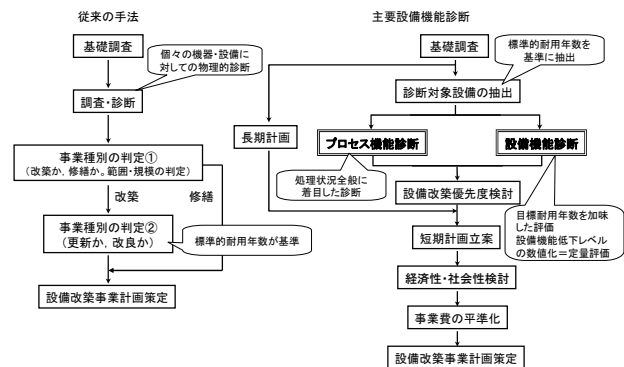


Fig.1 Functional diagnosis technique

2.2 主要設備機能診断の構成

主要設備機能診断は、処理施設の診断業務と、設備改築事業計画策定より構成する。

診断業務では、既存情報を整理した後、プロセス機能診断により機能低下要因となっている設備を特定もしくは推定する。また設備機能診断では、設備を構成する主要機器について物理・耐用年数・機能の診断を行い、各項目に重み付けを行うことにより定量評価を行う。この2つの診断結果より、機能低下や劣化の程度、設備の重要度を考慮して設備の改築優先度を評価する。

設備改築事業計画では、既存情報および目標耐用年数から設備改築長期計画を立案し、そのうち、直近の5ヵ年程度の設備改築事業費と、診断業務より得られた設備改築優先度を考慮して短期計画を立案する。立案された短期・長期計画は、改築時の設備機能維持対策や、設備改築における経済性・社会性を加味して事業費を算出し、予算・投資可能額に合わせた事業費の平準化検討を行い、再調整を行いながら策定する。主要設備機能診断全体の手順を Fig.2 に示す。また、各構成要素に対する検討事項については、次章にて説明する。

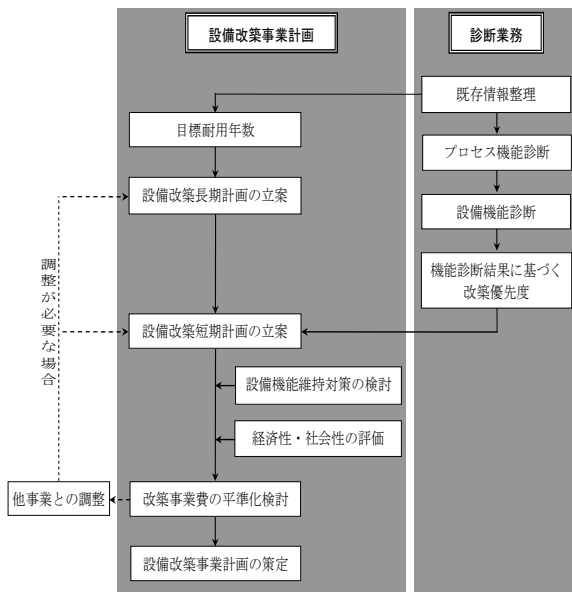


Fig.2 Procedure for functional diagnosis of major sewage treatment equipment

3. 主要設備機能診断の検討項目

3.1 既存情報整理

既存情報の整理は、機械・電気設備および処理施設全体に対して行うものとし、設備台帳等の既存資料を基に、診断対象設備の抽出および診断に必要な設備の現況等を把握する。

3.2 目標耐用年数

下水道施設の運転実績が長い大都市では、プラント設備が既に標準耐用年数を超過していることが多く、設備の延命化を行うことや、実績に基づいた経験により寿命を想定している例がある。この標準的耐用年数や、各自治体の改築の実態を調査・把握し、機器・設備を取り替えるまでの期間を設定したものを新たに目標耐用年数と定義し、主要設備機能診断の診断項目とする。

目標耐用年数は、適正な維持管理を行い、「概ねこの程度の期間は重大な故障にならない」という一種のリスク評価を含んでいることを前提に次のように考える。

$$\text{目標耐用年数} = \text{標準的耐用年数} \times \alpha$$

ここに α : 延命化率(1.0~3.5)

3.3 設備改築長期計画の立案

既存情報および目標耐用年数を用いて、設備改築の長期計画を立案し、事業の集中時期、事業費の概要を把握する。原則として目標耐用年数に達する年の次年度に改築が開始するように立案するが、この方法では、年度ごとに設備改築事業費にばらつきがあったり、既に多くの設備で目標耐用年数を超過しているため初年度に改築時期が集中してしまう等、計画として成り立たない場合が多い。このため、以降に記述する診断評価による改築優先度等を持ちいて、事業費の平準化や改築時期の調整を行う必要がある。

3.4 プロセス機能診断

プロセス機能診断は、処理プロセス内の一連の工程が適正に

働いているかを診断するものであり、処理場運転データ等を基に機能低下項目の抽出とその要因特定を行う。

診断では、運転管理情報・維持管理情報・水質管理情報等の処理場運転関連データを基に、各プロセスが既定の機能を有しているかを評価し、機能低下のある場合には、その要因が何であるかを特定する。また、処理プロセスに潜在する不具合や設備構成における不具合等、機能低下を誘発する項目も抽出する。このことにより、従来は設備の物理的劣化により改築更新の緊急度を区分していたが、本手法にてプロセス全体を機能診断することにより、処理機能、施設機能を考慮した改築更新計画を立案することが可能となる。

プロセス機能診断のイメージを Fig.3 に示す。

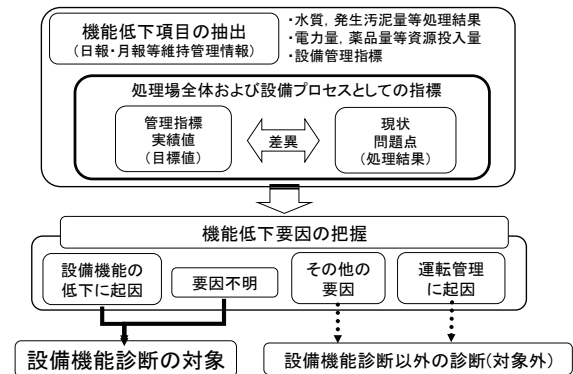


Fig.3 Functional diagnosis of treatment process

プロセス機能診断は、処理場全体を対象とし、以下の手順で行う。

(1) プロセス機能診断項目の整理

① プロセスからの出力に対する診断項目

水質や汚泥含水率に代表される各プロセスに期待される出力を評価する診断項目である。プロセスが正常に働いているかを判断するための直接的診断項目であり、プロセスが適正な出力をしているかを判定する指標である。これらは対象プロセスの設計値、基準値、これまでの運転における実績平均値等を用いる。代表的な診断項目を以下に示す。

- ・量的項目: 水量, 発生汚泥量 等
- ・質的項目: 水質, 含水率, 汚泥性状 等

② プロセスの動作に必要な入力に対する診断項目

消費エネルギーに代表されるプロセスの動作に必要な入力を評価する診断項目や動作に必要な時間等を評価する診断項目である。プロセスの出力が正常値であっても、そのための消費エネルギーが期待値より大きい等、プロセスの動作のための入力や必要時間をチェックする必要がある。

- ・エネルギー項目 : 電力, ガス, 重油使用量 等
- ・添加物項目 : 薬品注入率, 空気量, 水量 等
- ・時間等の項目 : 沈殿時間, 消化日数 等

③ プロセスからの副次的出力に対する診断項目

プロセスによってその目的とは別に副次的に発生される出力を評価する診断項目であり、音・臭気・煤煙(および構成物)・水・熱・ガス・泡等である。

④ その他

各プロセスにおいては、種々の設備・機器がそれぞれの機能を発揮してプロセス全体として期待される能力を発揮することが求められている。

しかし、設備自体の機能には問題が無い場合においても、設備間の能力レベルや制御レベルにアンバランス等を生じている場合もある。また、通常運転時にはプロセス機能上の不具合が表面化しないが、なんらかの外的要因による一部の設備の動作状況が、プロセス全体に影響を及ぼす事例も見られる。このような、処理プロセスに潜在する不具合や設備構成における不具合等の機能低下を誘発する項目もプロセス機能診断の対象とする。

(2) プロセス機能低下項目の抽出

プロセス機能低下項目の抽出は、プロセス機能診断項目について基準値を設定し、処理場運転関連データ等を基に対象プロセスの現状を把握して、基準値と現状を比較・照合することにより行う。

① プロセス診断項目の基準値の設定

プロセス機能診断項目の基準値は、各種規制・規準や計画・設計値、あるいは実績値等によって定める。

② プロセス機能項目の現状把握

プロセス機能診断項目に対して、診断プロセス機能が現在どのような状況にあるかを、維持管理情報、運転管理情報、水質管理情報等の処理場関連データの分析により求める。

③ プロセス機能低下項目の抽出

プロセス機能低下項目の抽出は、基準値と現状を比較・照合することで行う。

機能低下の抽出に対しては、処理場固有の特徴を有している場合も少なくないため、基準値と現状の比較・照合に先立ち、処理場維持管理部門へのヒアリング等によって、処理場固有の特徴や状況、問題プロセスの存在などを確認しておくのが望ましい。

また、処理プロセスに潜在する不具合や機能構成における不具合等の機能低下を誘発する項目も、処理場維持管理部門へのヒアリング等によって抽出する。

(3) プロセス機能低下要因の把握

抽出されたプロセス機能診断項目について、機能低下の要因を把握し、その要因が設備の劣化等に起因するものは設備機能診断の対象とする。

機能低下の要因は、対象プロセスの上流側に位置するプロセスの状態変化(対象プロセスのインプット条件)に起因するもの、運転管理に起因するもの、設備の劣化等に起因するものが考えられる。このため、要因の把握では、まずインプット条件の変化の有無、運転管理上の問題の有無について検証し、それらが要因でないかと判断された場合には設備の劣化に起因する機能低下と判断する。設備機能に起因する機能低下と判断された場合には、設備機能診断の対象とする。プロセス機能低下要因の把握手順を Fig.4 に示す。

それ以外の要因についても原因分析・改善策検討を行って改

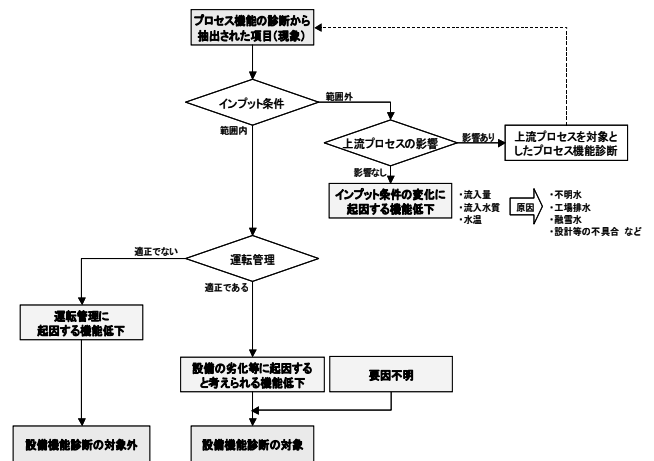


Fig.4 A grasp procedure of a process functional decline factor
 築の基本設計・詳細設計に反映させることが重要である。なお、プロセス機能の低下は複合要因による等、要因特定が困難な場合も多く、これらはプロセス機能の低下要因となる設備と同様に設備機能診断の対象とすることが望ましい。

3.5 設備機能診断

設備機能診断は、設備を構成する主要機器について、物理診断、機能診断、耐用年数の3つの項目について診断を行い、各評価について評価点数付けや診断項目間について重み付けを行うことにより、設備機能全体を定量評価するものである。設備機能診断のイメージを Fig.5 に示す。本診断結果による総合評価を基に、先のプロセス機能診断結果および設備の重要度を加味して、改築優先度決定する。

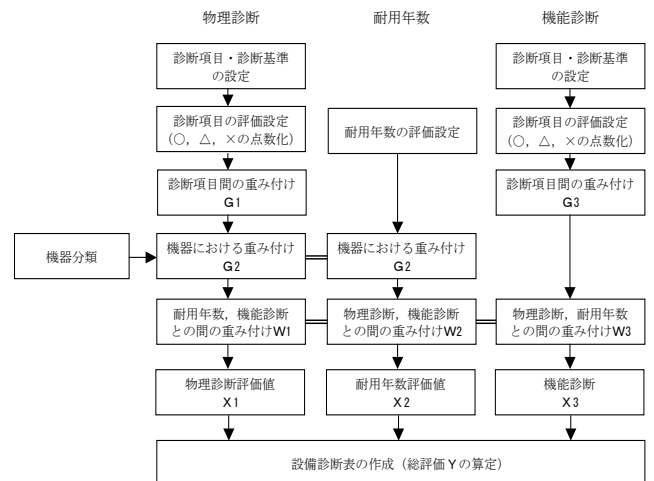


Fig.5 Functional diagnosis of treatment equipment

設備機能診断は以下の手順で行う。

(1) 設備機能診断のための機器分類

設備機能診断は、「下水道施設の改築について」(国都下事第77号、平成15年6月19日)の別表(以下、別表という)に記載されている分類を基本に、号数または系列を考慮した分類をひとつの単位として行う。また各機器について機能上から主機、補機等に区分し、これを物理診断評価および耐用年数評価を行う上での最小単位とする。

① 別表の分類に基づく区分

別表における分類は、設備・機器を大分類、中分類、小分

類の3つに区分しているが、本診断では、設備改築が号機または系列の単位で行われている場合が多いことを考慮し、中分類の区分の下に、号数または系列を考慮した分類を追加し、全部で4区分の機器に分類する。

②機器の機能による分類

設備機能診断の物理的評価および耐用年数評価では、区分全ての機器を対象に行う必要はなく、各設備における機能上の観点に応じて、主機、補機1、補機2、その他補機の4つに分類する。

(2) 設備機能診断の対象設備の抽出

設備機能診断で対象とする設備は、

- ①プロセス機能診断において機能低下要因が設備にあることが判明した設備
- ②設備短期計画期間の最終年度までに標準耐用年数を経過する設備

とし、特にプロセス機能低下に陥っている設備を診断に含めることにより、処理施設の機能維持を目的とした改築・更新が可能となる。

(3) 設備機能評価

機能設備評価は以下の手順で行い、機能評価値を算定する。

①診断項目・診断基準の選定

設備機能診断は、物理診断、耐用年数、機能診断等の診断毎に、「下水道施設改築・修繕マニュアル(案)-1998年度版-」(社団法人日本下水道協会)¹⁾を参考に、各処理場の特性や維持管理状況を勘案し、診断項目・診断基準を設定する。

②診断項目の評価

物理診断、機能診断の診断項目の評価は、調査員が判断する際に基準として、できるだけ評価の差が出にくいこと、感覚的に捉えやすいことなどを考慮し、○、△、×による3段階の評価とする。

③重みの設定

診断や機能評価においての評価基準は定性的な判断が多く含まれるため、リスクの相対評価結果を定量化できるように重みを考慮した点数付けを行う。このため、計画・管理の数理的

手法としての階層分析法(AHP: Analytical hierarchy Process)等も参考にし、処理場の維持管理方針等に応じて適宜補正を行いながら以下の項目に対して重み付けを行う。

- a) 物理的診断項目
 - 動作状況、塗装・グリス状況、発錆・腐食状況等
- b) 主機・補機等の機器の重要度
 - 主機、補機、その他補機等
- c) 機能診断項目
 - 能力、高度化安全対策、効率的運用等
- d) 物理、耐用年数、機能の各項目
 - 物理診断、耐用年数、機能診断

本研究では、下水処理場の維持管理者や機器製造メーカーに対し物理診断の評価項目の重要度(動作状況、塗装・グリス状況など)の重要度についてアンケート調査を実施し、評価項目間の重みを、AHP法を用いて設定した。設定数値例をTable 1に示す。

Table 1 An example of level of importance of treatment equipment

重み付け	項目	点数
G 1	変形、亀裂、損傷、各部磨耗	1.0
	塗装、グリス状況、発錆、腐食	0.8
	動作状況	1.0
	振動、異音	0.8
G 2	主機	1.0
	補機 1	0.8
	補機 2	0.6
	その他補機	0.2
	診断対象外	-
G 3	能力	1.0
	高度化安全対策	0.8
	効率的運用	0.6
W 1	物理診断	0.8
W 2	耐用年数	1.0
W 3	機能診断	1.0

④設備機能評価値の算定

設備機能診断結果について、設備診断表を用いて、評価基準による評価項目の点数化、重み付けを考慮した診断項目毎の評価点算定し、設備機能評価値を数値化する。設備機能評価数値化の例をFig.6に示す。



Fig.6 An example of determining the value of functional assessment of treatment equipment

3.6 機能診断結果に基づく改築優先度

設備機能診断によって得られる総評価値(Y)は、値が大きいほど劣化が進んでいることを示しており、設備機能診断の結果のみを用いても機械的に改築優先度が数値化される。

しかしながら、下水処理場に設置されている機器は数千点にもおよぶため、設備機能診断結果のみから設備改築事業計画を立案しても改築機器が単年度に集中するが多い。また、施設は複数の設備(プロセス)で構成されており、設備機能診断によって把握できなかった設備上の問題が、プロセス機能診断によって抽出される場合もある。このような設備については、早急な措置を必要とする場合が多い。

したがって、設備の改築優先度は、プロセス機能診断および設備機能診断の結果を総合的に勘案して決定する必要がある。

改築優先度決定にあたっては、設備診断評価値(Y)に、プロセス機能低下の有無による重みを考慮する。また、施設整備の上位計画に基づき、Table 2に示すような設備の重要度を考慮した重み付けを行って総合評価を行うことも考えられる。

Table 2 An example of level of importance in facilities

重要度	改築の優先度の考え方	重み
AA	設備機能が停止する事によって、汚水・雨水の送水機能停止および処理機能が停止する。	1.0
A	設備機能が停止する事によって、処理機能が停止、または大きなダメージを受ける。	0.8
B	設備の機能が停止することによって、処理機能が低下する。	0.6
C	設備の機能が停止しても、維持管理上の短期的な対応が可能。	0.4
D	設備機能が短期間停止しても処理機能に大きな影響は無い。	0.2

したがって、最終的な総評価(Y)は、次式により算定する。
総合評価(Y)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{設備診断の総合評価}(Y)) \\
 &\times (\text{プロセス機能診断による重み付け}) \\
 &\times (\text{設備の重要度の重み付け})
 \end{aligned}$$

3.7 設備改築短期計画の立案

設備改築短期計画は、プロセス機能診断・設備機能診断結果に基づく改築優先度を基に、直近の5~10ヵ年程度について、改築優先順位を反映した設備改築計画を立案する。

改築優先度の高い順に改築対象設備を分配し、年次投資予定額でくくることにより、ある程度の事業費平準化が可能である。

3.8 設備機能維持対策の検討

設備改築事業を行う際には、一時的に改築対象設備やそれに関連する設備の機能が停止したり、能力の減少が生じたりする。改築中においても一定の処理機能を確保しながら改築事業を行うため、具体的な設備機能維持対策方法を検討し、設備改築事業計画に取り込む必要がある。検討事項は以下のとおりである。

- a) 予備機による機能維持対策の検討
- b) 代替案による機能維持対策の検討
複数の処理系列がある場合等
- c) その他の手法による機能維持対策の検討

渇水期による改築工事、仮施設等

3.9 経済性・社会性の評価

改築設備の優先度検討等において、新技術の導入効果や経済性の比較により改築設備の機種や改築時期を決定するが、さらに社会性として、環境負荷削減効果や温室効果ガス排出量を加えて評価が必要になる場合もある。経済性・社会性の評価は、経済性評価に温室効果ガス発生量とその貨幣価値換算を加えることにより、総合的に判断を行う。

3.10 改築事業費の平準化検討

設備改築計画を立案する場合には、改築事業費が単年度に集中することがあるため、投資可能額等に合わせて事業費を平準化することが必要である。

改築事業費の平準化を行うためには、設備ごとに改築時期の先送りや前倒しを行う必要が生じるため、設備の延命化や、ライフサイクルコストを考慮した設備更新等の検討を行う。

3.11 設備改築事業計画の策定

設備改築事業計画は、設備改築長期計画と設備改築短期計画に分けて策定する。

(1) 設備改築事業短期計画

設備改築事業短期計画は、直近5ヵ年程度の範囲で、設備機能診断の結果を踏まえ、設備の重要度・優先度、経済性・社会性の評価等を基に、年度ごとの投資可能金額や予算に合わせて、事業費の平準化を行い策定する。これは、3.7に立案した設備改築短期計画を見直すものである。

なお、計画策定の際には、設備改築事業による処理機能が低下しないよう、十分な対策を行う必要がある。

また、必要に応じて、処理施設の増設計画や高度化計画を盛り込んで実施順位や事業費の平準化等の検討により最適計画を策定する。

(2) 設備改築事業長期計画

設備改築事業長期計画は、概ね20~50年程度の範囲で、設備の目標耐用年数や設備改築事業短期計画を基に作成する。これは、設備改築事業短期計画に基づき、先に立案した設備改築長期計画を見直すものである。

また、必要に応じて処理施設の増設計画や高度化計画を盛り込んで策定する。

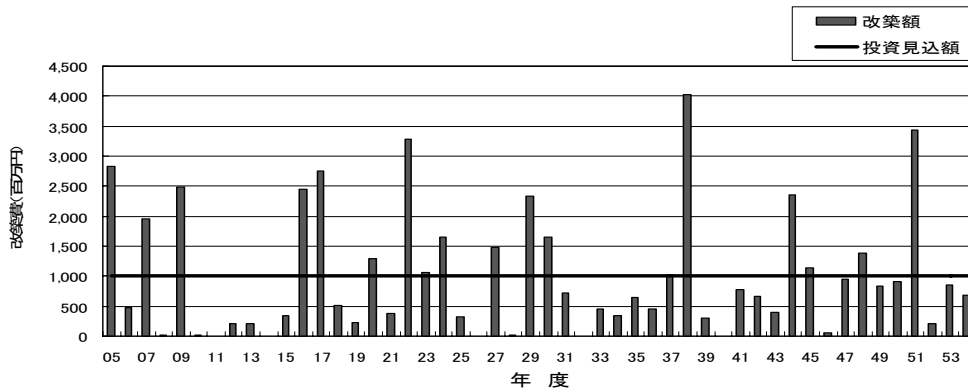


Fig.7 Reconstruction business expense

4. 設備機能診断の適用例

プロセス機能診断と設備機能診断を用いた改築事業計画策定手法について、策定手順の妥当性を検証するため、ケーススタディを実施した。

(1) ケーススタディ処理場(A処理場)概要

A処理場の概要を Table 3 に示す。

また、機器台帳および耐用年数を基に設備改築長期計画を立案し、その年度別改築事業費の推移について、算出した結果を Fig.7 に示す。

A処理場では、改築事業費が年間 10 億円程度見込まれているが、耐用年数のみを基準とした場合は、計画の初年度に投資可能額を大幅に突出してしまうことになる。

Table 3 “A” sewage treatment plant

流入水量	(A系) 112,453m ³ /日 (日平均) (B系) 109,371m ³ /日 (日平均) (平成15年度)
処理能力	(A系) 160,000m ³ /日, (B系) 140,000m ³ /日
供用開始年月	1966年7月 (38年経過)
処理方式	水処理 嫌気好気活性汚泥法
	汚泥処理 (余剰汚泥) 機械濃縮+脱水 (生汚泥) 消化+洗浄+脱水
供用施設	水処理 (A系) 4系列 (生物反応槽5系列) (B系) 8系列
	汚泥処理 遠心濃縮機 105m ³ /h×3台 消化槽 (2段消化) 3系列 横型加圧脱水機 ろ過面積 130m ² ×3台 遠心脱水機 25m ³ /h×3台

(2) 主要設備機能診断

A処理場に対し、プロセス機能診断と設備機能診断を実施して、得られた改築優先順位の一覧を Table 4 に示す。プロセス機能診断で機能低下された汚泥脱水設備を最優先の改築設備としている。

設備機能診断の調整結果および既定計画から、設備改築短期計画を立案し、5カ年で事業費を平滑化した。結果を Fig.8 に示す。平滑化した結果、5カ年計画において年平均約 15.5 億円の改築修繕額となった。

本手法を用いることにより、改築優先順位が明確化となり、その優先順位を基準として事業費を投資可能額まで平滑化した改築事業計画を策定することが確認された。

Table 4 Reconstruction priority

設備名称	プロセス機能診断結果*1	設備機能診断*2				優先順位
		物理診断	耐用年数	機能診断	総評価点	
汚泥脱水設備	有	1.42	0.88	1.60	1.93	1
A系初沈No1池	無	0.89	2.00	0.27	2.00	2
A系初沈No3池	無	0.89	2.00	0.27	2.00	3
監視制御設備6	無	0.00	1.60	0.80	1.76	4
自家発電設備	無	1.30	1.00	0.47	1.73	5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
受変電設備	無	0.07	0.20	1.07	1.19	18
B系ブロワNo.4	無	0.35	1.00	0.00	1.17	19
B系ブロワNo.6	無	0.35	1.00	0.00	1.17	20

*1 プロセス機能診断で抽出された設備は、最優先で改築する。
*2 総評価点が同点の場合、物理、機能、耐用年数の得点順とする。

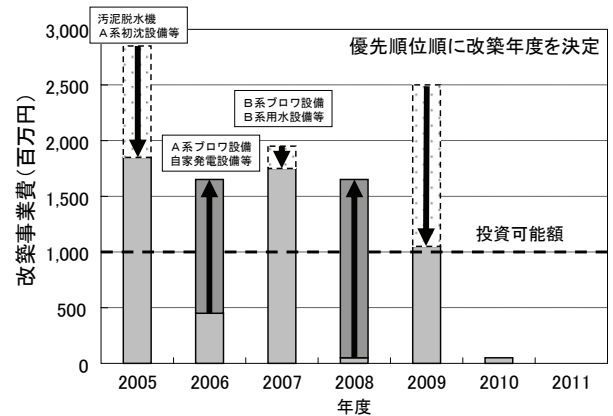


Fig.8 Reconstruction business expense (review of functional diagnosis)

5. まとめ

本研究では、プロセス機能診断と設備機能診断からなる「主要設備機能診断」手法を提案するとともに、本手法を用いて効率的な改築事業計画を策定する考え方を示した。本手法が多くの自治体で活用され、自治体毎の特性に応じたシステムとして発展し、下水道事業の効率的な運営に貢献できることを期待している。

[参考文献]

1)「下水道施設改築・修繕マニュアル(案)」(社)日本下水道協会(1998年)
(受付 2007.4.27)
(受理 2007.7.14)

Functional Diagnosis of Major Sewage Treatment Equipment and Formulation of Reconstruction Plan

Akira Watanabe, Nobuaki Chuganji, Masayuki Matsuura

Japan Institute of Wastewater Engineering Technology

Abstract

The diffusion rate of sewer reaches 69.3% at the end of 2006 fiscal year, and the stock of sewage treatment plants is huge along with rise diffusion. An appropriate control of maintenance in the treatment plants and a premeditated reconstruction are necessary to maintain these treatment plants, and to aim at a further improvement. On this study, the diagnosis method of using the functional diagnosis of treatment process and treatment equipment together with not only the individual equipment diagnosis done so far but also the main equipment of the sewage treatment plant was researched, and a series of technique for settling on the equipment reconstruction plan that added the viewpoints such as the clarification of reconstruction priority, the economy, the efficiency was presented.

KeyWords:

Reconstruction, repair, functional diagnosis of major treatment equipment, functional diagnosis of treatment equipment, functional diagnosis of treatment process