

排水機場機械設備の維持管理に関する 最近の取り組みについて

A RECENT ACTION ABOUT MAINTENANCE MANAGEMENT OF DRAINAGE PUMP STATION MACHINERY

前田 学
Manabu MAEDA

非会員 工修 社団法人河川ポンプ施設技術協会 技術部 (〒107-0052 東京都港区赤坂2-22-15)

By this report, it is reported about a recent action to relate to maintenance management of domestic drainage pump station machinery greeting deterioration in future.

The present maintenance management established a maintenance interval and the update time by time based preventive maintenance and it was carried out and there was an effect, but, on the other hand, may have included excessive maintenance and update in prevention maintenance of trouble.

It is necessary a management standard is maintained in maintenance management of a future drainage pump station by condition based preventive maintenance and for high maintenance management of an effect vs. expense to be done.

Key Words : *Drainage pump station, Asset management, Condition based preventive maintenance, Time based preventive maintenance, Tendency management technique*

1. 結 言

排水機場は、洪水などの被害から国民の生命・財産を守る重要施設であり、これを構成する機械設備（主ポンプ、主原動機、系統機器設備など）は必要ときに確実に始動でき、所要の機能を発揮できることが求められる。

そのためには、日常の維持管理が重要であるが、維持管理だけでは限界があり、設備の老朽化によりいずれは大規模な更新を迎えることになる。

排水機場機械設備の更新時期の一般的な目安は 30 ～ 40 年とされているが、現在、国内の直轄排水機場約 400 機場のうち、建設後 40 年目を迎える機場が約 20 % 程度あり、10 年後には過半数近くまで増加する見込みである。

しかし、一方で、国内の財政状況より、今後の老朽化機場の急増に対する維持管理費用の増加は期待できないため、今後の維持管理においては管理基準を保持し、かつ、費用対効果の高い維持管理を行っていくこと、すなわち、道路構造物等の維持管理に近年適用が試みられているアセット・マネジメント手法^{1), 2)}などの新しい手法を適用することによって、機械設備の延命化や、適切な設備の状態把握による更新の優先順位付けなどを可能と

する新たな維持管理・更新手法の構築が重要課題となっている。

本報では、排水機場機械設備の維持管理に関する最近の新しい取り組みについて紹介する。

2. 排水機場における現状の維持管理と課題

排水機場のように運転間隔が不定期な設備は、時間基準で保全することが一般的であり、これまでの維持管理では、月点検・年点検および 5 年・10 年の定期整備を定めて信頼性確保に努めてきた。

しかし、今後の老朽化機場が急増する背景のもとで、機械設備の管理基準を保持し、かつ、費用対効果の高い維持管理を行っていくためには、排水機場設備の状態を常に定量把握するとともに、設備の運転状態を継続的に管理し、状態変化の傾向を把握することで整備時期を決め、不調な部分のみを随時整備するといった状態基準保全方式への移行が必要である。また、これにより、設備全体の更新時期を延長、すなわち、設備の延命化を実現することが可能となると同時に、ライフサイクルコストの低減が可能になっていくものと考えられる。

(1) 排水機場機械設備における現状の維持管理の流れ

排水機場機械設備における現状の維持管理の流れを図-1に示す。

機械設備を構成する機器類は稼働部分等を有しているため、信頼性は勿論のこと、性能や機能を維持するための管理（点検・整備）が必要となる。

一般に設備を保全する方法としては、予防保全方式と事後保全方式がある。排水機場機械設備の場合は、設備の信頼性や性能・機能を維持するための保全として、定期的な点検・整備や管理運転を行い、事前に故障や事故を防ぐ予防保全方式が採用されている。

なお、予防保全方式を大別すると時間基準保全方式と状態基準保全方式に分類される。

a) 時間基準保全方式

時間基準保全とは、機器あるいは設備などの過去の故障に至るデータを分析し、平均故障間隔時間を基にして点検や整備時期を定める方式であり、定期点検や定期的な部品交換などにより、事前に故障を防止しようとするものである。身近な例としては、月点検、年点検、5年整備や10年整備などが挙げられる。

b) 状態基準保全方式

状態基準保全とは、時間基準保全方式の問題点を見直したもので、設備や機器の運転状態監視や設備診断の傾向を管理することにより異常を早期に発見し、その過程を分析することにより今後の進展を予測して適切な時期に保全を行うものである。

この方式は近年、検出器の小型化・精度向上およびコンピュータによる解析技術の向上に伴い故障予知としても採用されつつある。

なお、排水ポンプ設備の主ポンプ、主原動機や減速機などの動力系統機器で取替えが高価なものについては、ある一定の時期が来れば設備を診断し、更新のための方向付けをする総合的な診断による予防保全が必要となる場合もある。

ここで採り上げている状態基準保全方式は、一般的なアセット・マネジメントでいうところの費用管理型マネジメントに相当するものと考えられ、定期的な点検結果から、設備の状態に応じて適切な修繕や整備あるいは更新を行い、ライフサイクルコストの縮減を図るものであるが、設備に対して要求される条件や必要とする能力の変化あるいは公害防止等の施設周辺環境の変化などの社会的要因、設備の陳腐化などへの対応や運転操作方式、維持管理体制の改善といった機能的な要因を動機としての診断による評価が必要な場合もあると考えられる。

現状の排水機場機械設備の維持管理においては、一般的に時間基準保全方式を採用している。施設に寿命がある限り中長期的にその機能や性能および信頼性が物理的に低下していくことは避けられない。状態基準保全方式への移行には、機場全体や各設備の状態を定量的に把握する手法の開発が必要不可欠である。

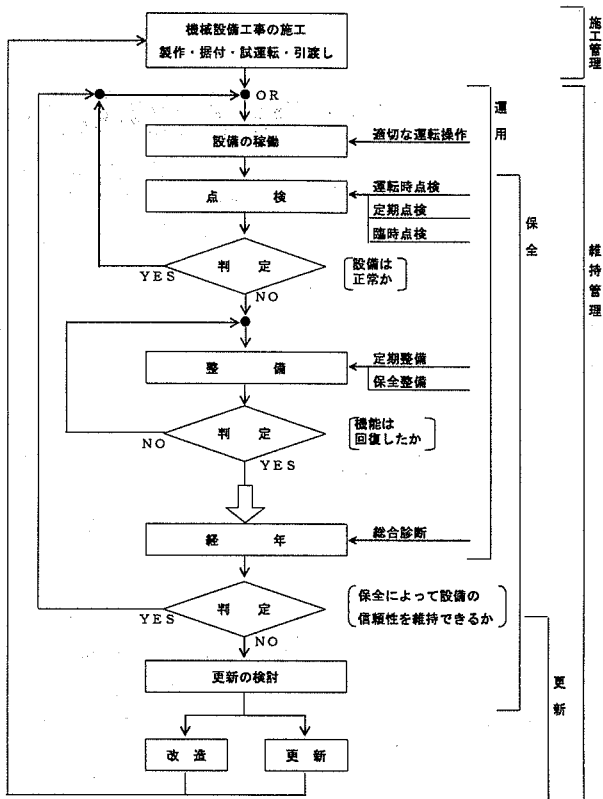


図-1 排水機場における現状の維持管理の流れ。

(2) 機械設備の特徴

機械設備は、いかに信頼性の高い形態で施工されていても経年とともに機能・性能の低下のみならず陳腐化が進行する。なかでも、設備を構成する機器類は可動部分等を有しているため、信頼性はもちろんのこと、機能や性能を維持するための管理（点検・整備）に努めなければ、設備を常に信頼性の高い状態には保持できない。

機器に与える経年的な影響の概念を図-2に、また、図-3に経年による信頼度と故障率の関係を示す。

図より明かなように、機械設備の信頼性は経年とともに低下し、故障率は増加する。現状の維持管理においては、予防保全の観点から時間基準保全に基づく整備により、機械設備の経年に係わらず、同一内容・同一項目の点検・整備を実施している。

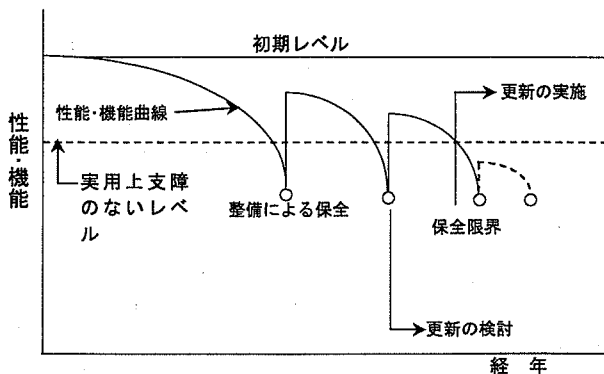


図-2 機械設備の経年による機能低下と保全の概念。

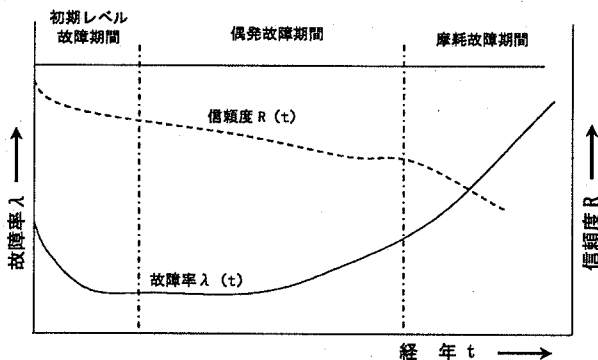


図-3 機械設備の経年による信頼度と故障率の関係。

(3) 機械設備の維持管理における現状の課題

近年、道路構造物等に適用が試みられているアセット・マネジメント手法では、データベースを基に健全度予測を行い、ライフサイクルコストの最小化を検討した上で予算制約の中での投資分析を行った後、道路管理者による管理計画の意思決定により、維持管理を遂行する仕組みを提案している。

このような手法を排水機場機械設備の維持管理に適用することは非常に有効であり、また、適用可能であると考えられる。

排水機場機械設備（河川ポンプ設備）の維持管理における現状の課題をまとめると以下の通りである。

- ・時間基準による点検を実施し、損傷や劣化あるいは故障が生じている箇所に対して対症療法的に修繕や整備を行っているが、状態保全に基づく効率的な点検・整備は行われていない。
- ・点検・整備記録の作成や新技術の開発・適用が個別に行われてきたものの、全体を網羅した維持管理の流れは構築されていない。

以上の課題を解決するため、アセット・マネジメント概念を導入した排水機場機械設備の新たな維持管理の基本的枠組みについて検討した結果を次項に示す。

3. 新たな維持管理の基本的枠組み

図-4 にアセット・マネジメント概念を導入した排水機場機械設備の維持管理の流れを示す。

上述のように、排水機場機械設備については、「揚排水機場点検・整備指針（案）同解説」³⁾による定期的な月点検や年点検あるいは管理運転が実施されており、点検・整備記録や故障記録等が残されている。これらの記録を基に排水機場全体の健全度評価や主要機器における振動等の各種の測定データを傾向管理することにより、排水機場毎の状態を定量評価し、ライフサイクルコストなどの評価を経て、整備や更新計画の立案を可能とする新たな維持管理の流れを構築できるものと考えられる。

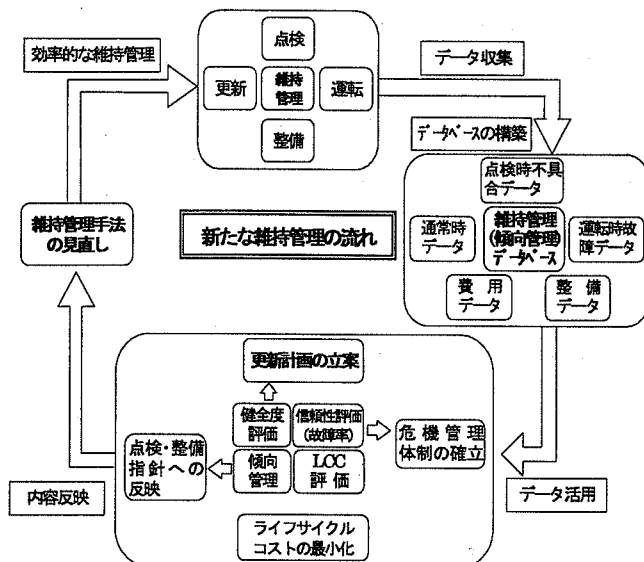


図-4 新たな維持管理の流れ。

4. 健全度評価手法

アセット・マネジメント概念を導入した維持管理を実現していくためには、個々の排水機場の状態を定量化する具体的な手法を確立することが最も重要な課題であり、データベースについてもこれに沿った構築が必要である。

ここでは、排水機場の健全性を評価する手法として、機場全体の健全度評価に用いるマトリックス法と、主要機器の状態評価に用いる傾向管理手法について述べる。

(1) マトリックス法

マトリックス法は、日常の点検・整備記録や故障・修繕記録等を基に、個々の排水機場機械設備の状態に応じて評価点を付け、最終的に機場全体の健全度をマトリックス的に評価して数値化を行う手法である。

現状の河川ポンプ設備更新マニュアル⁴⁾によれば、河川ポンプ設備の機能保全の限界には「物理的耐用限界」、「機能的耐用限界」および「社会的適用限界」があり、これらの項目が満足できなくなったときに設備は更新対象となるとされている。

したがって、排水機場全体の状態を表す健全度としては、これらの物理的劣化、機能的劣化および社会的劣化の状態をトータル評価し、数値化する方法が有効である。

具体的には、河川ポンプ設備の状態評価について、大項目を「物理的健全度」、「機能的健全度」および「社会的健全度」の3つに分類し、さらに中項目と小項目に分類してそれぞれの評価点を付け、機場全体の健全度をマトリックス的に捉えて排水機場全体の状態評価を行う。

a) 物理的健全度

設備は経過年数とともに摩耗、腐食や自然劣化などによって経年劣化し、機器類に性能低下が現われて故障率が次第に高くなり、設備としての信頼性が低下して目標

とする信頼度を維持できなくなる。

故障の現れ方としては、異常振動、異常音や異常温度あるいは、摩耗や腐食、絶縁劣化などが挙げられる。

評価点は各設備の状態から判断して、「要注意」（赤信号）、「注意」（黄信号）、「正常」（青信号）の3段階に分けて評価（数値化）する。

例えば、要注意の場合には 10 点、注意の場合には、5 点、正常の場合の場合には 0 点とする。

また、設備の重要度として重み付けが必要である。「排水に重大な影響を与える設備（主ポンプ、主原動機など）」は重みを高く、「排水に影響を与えない設備（天井クレーンなど）」は重みを低くして、最終的に「評価点×重み」として評価する。

物理的健全度の評価の一例を表-1 に示す。

表-1 物理的健全度の評価例.

評価項目		10 要処置	5 注意	0 正常
劣化	1 材料劣化	全面的	部分的	なし
	2 錆び 塗装のふくれ・ 割れ・剥がれ	全面的	部分的	なし
	3 腐食	全面的	部分的	なし
	4 傷 割れ 変形	機能に 影響あり	機能に 影響なし	なし
	5 固着 詰まり	あり	兆候あり	なし
	6 漏れ ゆるみ	機能に 影響あり	機能に 影響なし	なし
	7 絶縁低下	規定値 未満	低下傾向	なし
	8 変色 (リレー等)	機能に 影響あり	機能に 影響なし	なし
	9 ランプ切れ等	あり	明るさ低下	なし

b) 機能的健全度と評価方法

排水機場機械設備においては、操作の簡素化や信頼性の向上あるいは省力化などを目指した研究・開発が進められ、新しい技術の導入による改善が図られている。

当該設備が、このような技術改善に伴って、設備として相対的な機能低下により望ましい設備の運用に支障を

表-2 機能的健全度の評価例.

機能的健全度				
評価項目			評価点	有りの場合 10ポイント加算
A	所用能力不足	1	計画能力不足の有無	10
B	操作性	2	操作場所の分散	0
		3	操作の容易さ	0
C	安全性 信頼性	4	簡素化非対応機場	10
		5	始動性不良	0
		6	耐水構造非対策機場	0
		7	危険箇所の存在	0
		8	逆流の可能性	0
機能的健全度 合計			20	

きたした場合には対策を講じることが必要となるが、これらの機能に関する健全性を評価したのが機能的健全度である。機能的健全度の評価例を表-2 に示す。

c) 社会的健全度と評価方法

都市化などの進展によって、流出係数の増大や保水機能の低下などにより、雨水が大量、かつ急激に流下する傾向となり、排水機場設備にとって厳しい状況におかれるようになってくる。

このように、社会的要因から設備の設計上の設定条件が設置当初から大幅に変化することにより、当該設備の正常な運用に支障をきたすようになってくる。

これらの社会的な要因に対する健全性を評価したのが社会的健全度である。社会的健全度の評価例を表-3 に示す。

表-3 社会的健全度の評価例.

社会的健全度				
評価項目		評価点	有りの場合 10ポイント加算	備 考
A	法規	1 消防法の指摘の有無	0	(対象機器) ・消防用設備 ・屋外貯蔵タンク ・地下タンク
		2 労働安全衛生法の指摘の有無	0	(対象機器) ・天井クレーン ・空吊物 ・対象機器
		3 電気事業法の指摘の有無	0	・自家用電気工作物 ・カスタード発電機
		4 大気汚染防止法の指摘の有無	0	(対象機器) ・ディーゼル機関 ・カスタード
B	環境	4 振動騒音対策の必要性	0	(例) ・振動などにより民家の建具が共振 ・低周波による不眠
		5 大気汚染対策の必要性	0	(例) ・ばい煙の濃度や量が異常である
		6 臭気対策の必要性	0	(例) ・ゴミの量が多く放置されている ・吸水槽にヘドロの堆積あり
		7 排水水質対策の必要性	0	(例) ・濁度が多い
C	景観	9 周辺環境とのマッチング不良	0	
社会的健全度 合計			0	

d) マトリックス法による健全度の算出

上述のa) 項で検討した物理的健全度の小分類が各設備とどのような相関関係を持つかを数値化する。マトリックスによる物理的健全度の計算例を表-4 に示す。

表-4 物理的健全度のマトリックスによる計算例.

	重み	性能低下	固着・詰まり	破損	異常振動	くるい	合計
設備A	10	5	0	0	5	5	150
設備B	5	0	5	0	0	0	25
設備C	3	0	0	0	5	10	45
設備D	1	0	0	0	0	0	0
物理的健全度							220

e) 総合評価

物理的健全度、機能的健全度、社会的健全度のそれぞれ異なる角度の健全度を総合的に比較評価する方法として AHP 法⁵⁾を採用する。

AHP 法の詳細についてはここでは省略するが、健全度の総合評価への適用理由は以下の通りである。

AHP 法 (Analytic Hierarchy Process=段階分析法) は、複雑に絡み合ったいろいろな要素の中からできるだけ理

にかなった意思決定をすることができるので、昨今さまざまな分野で適用されている。意思決定の要素には、数多くの要素があり、これらをすべて一度に評価すると考慮すべき比重（ウェイト）を見失いがちであるが、この中の二つの比較であれば割合に妥当な相対比較ができるためである。

(2) 傾向管理手法

現状の排水機場機械設備における維持管理は、予防保全の観点から、時間基準による整備を行い、信頼性を確保してきた。

今後の効率的な維持管理に向けては、維持管理コスト削減の観点から、個々の設備の状態を的確に把握し、必要な時に必要な箇所だけを修繕・整備していくことが求められており、個々の設備の状態を定量的に把握する手法としては、図-5 に示す傾向管理手法が有効であると考えられる。

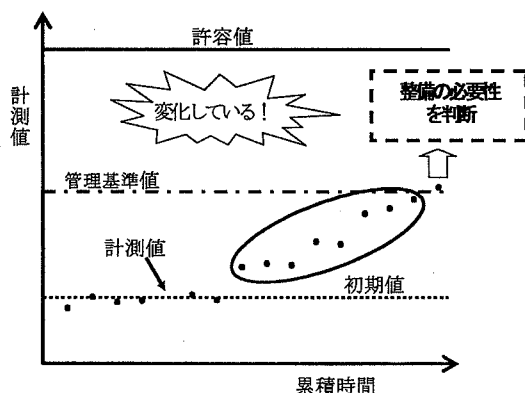


図-5 傾向管理手法のイメージ

a) 傾向管理手法の概要

定期点検等で得られる振動、温度、圧力、絶縁抵抗などの測定データを記録保存し、測定データの時間的推移を見て、現在の機器の状態が初期の状態と変わったか否かを推測する手法であり、各種の測定データを時系列で処理してグラフ化することにより視覚的に表す。

ただし、各種測定データの傾向を判断するための管理基準値やしきい値の設定が必要となる。

b) 傾向管理手法における評価指標

振動・温度・圧力・絶縁抵抗などの測定データが基本的に評価指標となるが、過去の管理運転時データの平均値や据付（整備）時の試運転でデータ等から、初期値、管理基準値および許容値の設定を行う。

排水機場での測定データには、運転条件等によるばらつきを含む可能性があるため、これらの影響に対するデータ記録方法などを取り決めておく必要がある。

c) 傾向管理手法における現状の課題

現状の維持管理では、年に1度の測定が基本とされているが、傾向管理の精度を上げるためには点検要領等の

見直しが必要である。また、現状では各種の記録・データなどは紙ベースを主体に保管されているので、今後の分析や統計処理に活用できるよう電子データ化の推進が必要である。

また、傾向管理値の設定と評価方法の確立が必要である。

d) 傾向管理手法の確立のための対策（検討項目）

- ・機付計器やポータブル計器での計測あるいは重要な箇所には増強センサー等を設置し、データの収集と蓄積を図る。
- ・各機場での点検記録を運転支援装置端末等に電子化して保存し活用をする。管理所内をオンライン化して管内データを一元管理するとより効果的である。
- ・機器の異常時の数値も含めて、評価グラフの初期値や管理基準値の設定および評価方法等の技術を並行して確立して行くステップが必要である。

5. データベースの構築

排水機場機械設備の健全度評価を行うために必要なデータベースについて以下に述べる。

(1) 健全度評価に必要なデータベース

物理的健全度については、設備・機器は故障が無く健全で正常な排水運転ができることを示すものであり、基本的に現状の点検・整備記録などを基にデータベースを構築するのが最も効率良く、また、過去の記録も有効に活用できる。

データベースの構築イメージを図-6 に示す。

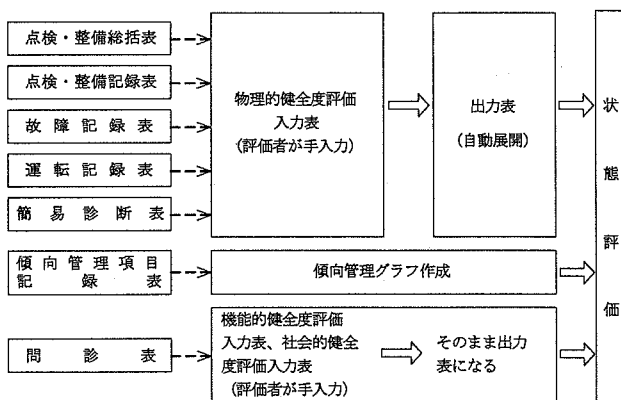


図-6 データベースの構築イメージ。

(2) 傾向管理に必要なデータベース

傾向管理手法では、定期点検で得られる振動・温度・圧力・絶縁抵抗などの測定データの時間的推移をグラフ上にプロットするものであり、これらの計測値がそのままデータベースとなる。これに加えて、機場毎に各設備の状態を評価するための管理基準値等の設定が必要である。

6. 健全度評価手法を確立するための今後の課題

(1) 機場全体の健全度評価を確立するための今後の課題

物理的健全度の評価に必要なデータは、現状の点検・整備記録表から必ずしも評価できない項目があり、今後、点検要領の見直しや点検記録の標準フォーマットの作成が必要である。

また、健全度評価における評価点および重みについては、データベースからの算出結果と実際の診断結果との照合（評価シミュレーション）を行った上で決定していく必要がある。

なお、機能的および社会的健全度評価については、現状の点検・整備記録表では評価できないため、定期点検時に現場操作員等の意見を反映するような問診表を作成し、活用することが有効であると考えられる。

(2) 傾向管理手法を確立するための今後の課題

傾向管理手法を導入するに際して、代表機場での過去のデータ評価を行ったが、各種の計測データのばらつきが顕著であり、現状では設備の状態変化を捉えるには至っていない。

今後は、測定方法の規定や、データの蓄積を継続し、機器の正常範囲内でのばらつきを統計的に評価して、主ポンプの運転状態や計測のタイミングなどの環境条件を加味した上で、ばらつきの度合の傾向を検討していく必要がある。

また、傾向管理手法の導入に際しては、初期値や管理基準値および許容値の設定が必要であり、異常時の数値も含めた設定方法および評価方法の検討が必要である。

7. あとがき

本報では、今後、老朽化を迎える国内排水機場機械設備の維持管理に関する最近の取り組み状況について報告した。

今後の維持管理においては管理基準を保持し、かつ、費用対効果の高い維持管理を行っていくことが重要であり、近年、道路構造物等の維持管理に適用が試みられているアセット・マネジメント概念を適用した新たな維持管理、更新手法の構築が急務である。

なお、排水機場機械設備の初期建設費や維持管理等から、各機場の経済的耐用年数を算出する手法は既に開発済みであり、今後は、各機場の設備毎の経済的耐用年数を考慮し、各機場での効率的な更新計画を立案するとともに、例えば、管理管内全体での優先順位等を考慮しな

がら維持管理費用に係る費用を最小化していくことも重要な課題の一つである。

現状の維持管理は、基本的に時間基準保全で一様な整備インターバルや更新時期を定めて実施されており、故障等の予防保全の観点から言えば効果的であったが、反面、過剰な整備や更新を含む可能性があった。

今後、より効率的な維持管理を行っていくためには、状態基準保全の導入（健全度評価、傾向管理手法）により、従来の5年、10年の定期整備を見直し、機械設備の状態に応じた整備に変更するとともに、整備の実施回数低減や都度必要最小限の適正な修繕を繰り返すことによって設備の延命化を図ることが必要であり、また、対象機場全体での優先順位を考慮しながら維持管理を実施していくことが有効であると考えられる。

状態基準保全化への移行による機械設備の延命化および維持管理費用の削減のイメージを図-7に示す。

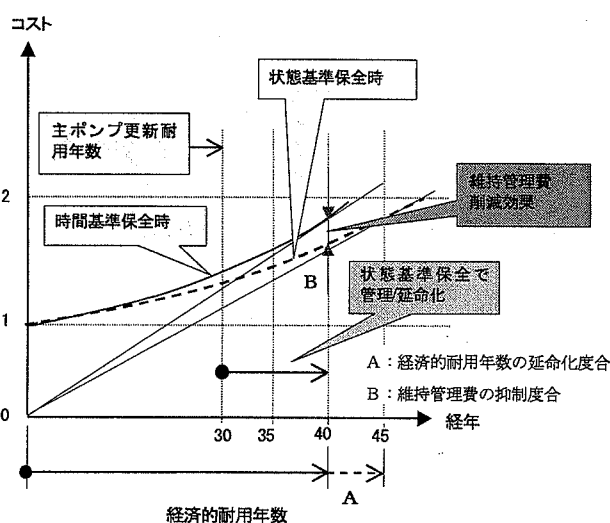


図-7 状態基準保全化への移行によるコスト削減イメージ。

参考文献

- 1) 神尾文彦：新たな段階を迎える社会資本マネジメント，知的資産創造，pp. 26-43，2003-12.
- 2) 岩崎信義：「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言」のとりまとめについて，建設マネジメント技術，pp. 26-30，2003-8.
- 3) 社団法人河川ポンプ施設技術協会編：揚排水機場点検・整備指針（案）同解説，2001.
- 4) 財団法人国土開発技術研究センター編：河川ポンプ設備更新検討マニュアル，1996.
- 5) 木下栄蔵：入門 AHP，日科技連出版社，2003.

(2005 4 7 受付)