

水閘門・排水機場設備維持管理計画の策定

PLANNING MAINTENANCE PROGRAM FOR RIVER FLOOD GATES AND PUMPS

桜田明彦 *・鈴木祥博 **・鈴木敬典 **・石川紳二 ***・舟橋修徳 ****・涌井 健 ***

Akihiko SAKURADA, Yoshihiro SUZUKI, Takanori SUZUKI, Shinji ISHIKAWA, Osanori HUNAHASHI, and Takeshi WAKUI

Most flood gates and pump equipment built 30 to 40 years ago are in need of maintenance. Equipment replacement should be guided by the service period recommended by the manufacturer. However, gates and pumps have not been maintained according to such prescriptions due to insufficient provision of budget for maintenance or replacement. But these facilities are indispensable to safeguard neighboring communities from floods. Therefore, it is essential to establish an approach to rational maintenance planning that lowers maintenance costs while not reducing reliability. This article presents a new approach to maintenance planning for 191 flood gates and 21 pumping stations operated by the Chubu Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Keywords : gate, pump equipment, maintenance program, management, planning, cost reduction, cost equalization

1. まえがき

国土交通省や地方自治体が管理する水閘門・排水機場の多くは、建設後 30 年から 40 年が経過し、老朽化への対応が急務となっている。しかしながら、その膨大な老朽化ストック量に対し、従来から考えられてきた、故障する前に取り替える予防保全の考え方を適用していくと、今後の維持管理コストは増大するばかりで、限られた予算に対し成り立たない。

水閘門・排水機場は、台風や出水に対して確実に稼働しなければならない重要な治水施設であり、これらの施設に要求される機能や信頼性を低下させることはあってはならない。

このため、老朽化施設に対し、建設当初から要求されている機能や信頼性を低下させることなく、維持管理コストの適正化を図る新たな維持管理計画の確立が強く求められている。

本論文にて紹介する施設維持管理計画手法は、木曽三川（木曽川・長良川・揖斐川）を管理している中部地方整備局木曽川上流河川事務所（所在地：岐阜県岐阜市）管内の水閘門施設 191 施設（ゲート門数 255 門）、排水機場 21 施設（ポンプ台数 65 台）を対象として、維持管理コストの適正化、今後 30 年間の維持管理コスト平準化を図る目

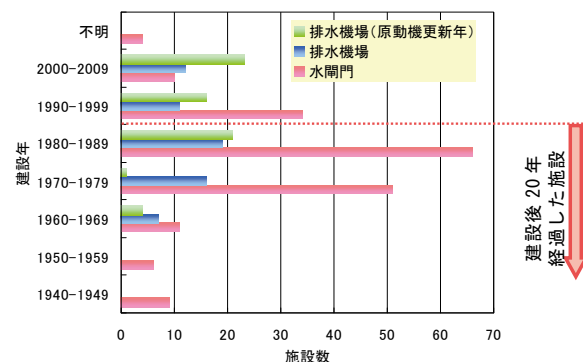
的で新たな維持管理手法を検討したものである。

2. 管内水閘門・排水機場施設の概要

(1) 管内施設数と建設年

水閘門（191 施設）は図－1 に示すとおり、1970 年から 1990 年にかけて建設されたものが多く、20 年以上経過する施設が全体の 75% を占める。排水機場（21 施設；ポンプ 65 台）についても建設後 20 年以上経過する施設が全体の 65% を占める。今後 10 年間では、建設後 30 年以上経過する水閘門・排水機場施設が全体の 80% 以上を占める。

排水機場を構成する装置の内、主原動機は 2000 年代に入って予防保全として取替更新が積極的に進められているが管内全体の 30% 程度にすぎず、主原動機平均取替年数が約 30 年であることを踏まえると、今後 10 年間で取替・更新のピークを迎える。



図－1 水閘門・排水機場施設の建設年と数量

* 国土交通省 中部地方整備局 企画部 工事検査官
(前 木曽川上流河川事務所 管理課 建設監督官)
** 国土交通省 中部地方整備局 木曽川上流河川事務所 管理課
*** 日本工営株式会社 プラント事業部 機械・情報通信技術部
**** 日本工営株式会社 交通運輸事業部 インフラマネジメント部

(2) 維持管理の現況

1) 点検実施状況

水閘門・排水機場は、表－1に示すスケジュールで定期点検・整備が行われている。点検・整備の頻度は、基準等を参考に設定されるが、取替・更新に予算の多くが注ぎ込まれ、点検・整備予算に配分できないことや、施設数が膨大であること等から、水閘門の専門業者への委託点検については規定の点検・整備頻度（出水期毎月実施）を省略している。

表－1 水閘門・排水機場定期点検実施スケジュール

年：年点検 月：月点検	非出水期		出水期						非出水期				
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
水閘門	ワイロフ・ワイゲ式開閉装置		年				月		月			月	
	ワイロフ・ワイゲ式開閉装置以外		年										
排水機場	年		月	月	月	月	月	月					

※表中の「年」は年点検、「月」は月点検を意味する。

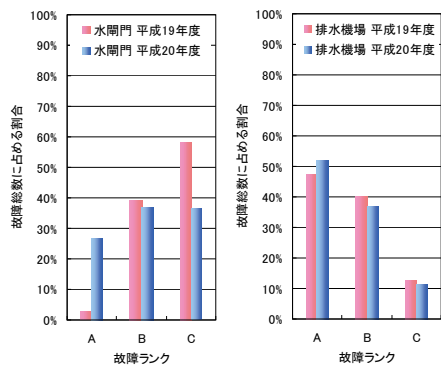
2) 管内施設の故障発生状況

点検により検出した不具合は、表－2に示す故障ランクA、B、Cの3区分を基本に評価判定を水閘門；9ランク、排水機場；4ランクに分類している。

表－2 水閘門・排水機場点検結果の評価

	故障 ランク	評価内容	判定内容
水 閘 門	A1	現在支障が生じており、緊急に対策を講じないと、ゲート等の安全性、機能が確保できないもの、および日常管理業務に支障が生じるもの。	更新が必要である。
	A2		整備が必要である。
	B1	現状では支障が生じていないが、早急に対策を講じないと、数年の内にゲート等の安全性や機能に支障が生じるおそれのあるもの、および数年の内に日常管理業務に支障が生じるおそれもあるもの。	調整が必要である。
	B2		給油が必要である。
	B3		塗装が必要である。
	B4		場合によっては更新が必要である。
	B5		場合によっては整備が必要である。
	C1	現状では支障が生じていないが、このまま放置すると、将来、ゲート等の安全性や機能および日常管理業務に直接または間接的に影響を及ぼすと思われるもの。	整備が望ましい。
	C2		清掃することが望ましい。
			清掃することが望ましい。
排 水 機 場	A1	現在、機器・部品の機能に支障が生じており、緊急に対応（取替、更新、整備）が必要である。	緊急に整備必要（最優先）
	A2		緊急に整備必要
	B	現在、機器・部品の機能に支障が生じていないが、早急に対策を講じないと数年のうちに支障が生じる恐れがある。	緊急は、要しないが整備必要
	C	正常であり現在支障は生じていない。もしくは清掃に対応できるもの。	今後の推移を観察し検討する

管内施設故障ランク分布は、図－2に示すとおりである。水閘門全体（191施設）の不具合数は平成19年度540点、平成20年度625点であり、全体的に増加している。



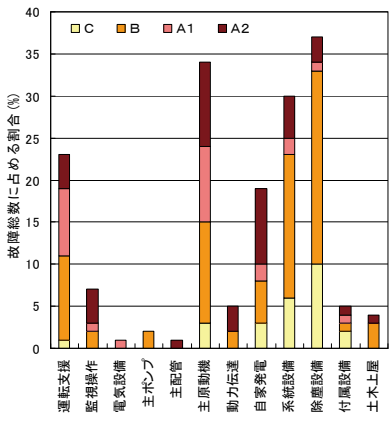
図－2 水閘門・排水機場施設の故障ランク分布

特にAランク数量が増加しているが、これは、表－2に示す評価基準が明確ではなく、施設管理者や点検技術者の判断に委ねられている部分が多いためと考えられる。

排水機場（21施設）については、平成19年度及び平成20年度ともに約230点の不具合数である。

水閘門及び排水機場のいずれにおいても、Aランク及びBランクで評価された機器・部品が全体の多くを占め、緊急な取替・更新が必要な状況にあることを意味している。

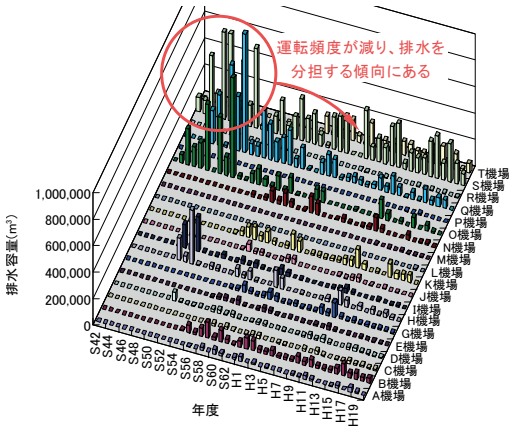
また、排水機場構成装置の故障ランク分布を図－3に示す。装置毎の寿命は、それぞれ異なるため、施設全体を長期間にわたって維持管理していくには、短寿命の装置と長寿命の装置が混在することを踏まえていなければならない。



図－3 排水機場装置別の故障ランク分布

(3) 施設特性の変遷

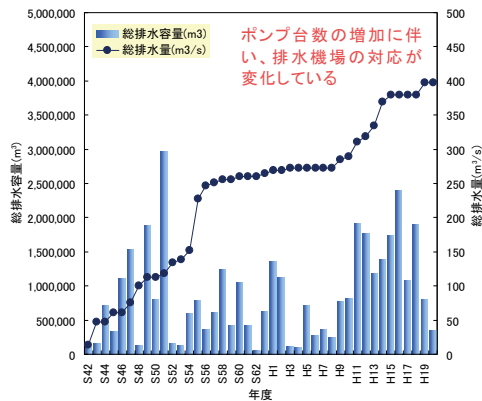
管内排水機場は、1970年代から1980年代に集中して整備が進められ、支川を共有する排水機場群では、古くから存在する排水機場の運転頻度が減り、新しく整備された機場と排水処理を分担するようになった。



図－4 管内排水機場の年間総排水量の推移

これは、図－5に示す総排水容量（実際に排水機場が排水した量）と総排水量（ポンプ吐出量の合計）の関係からも、近年の排水機場負担の状況が、河川整備や排水機場整備が進んだことにより30年～40年以前から変化してい

ることが分かる。



図－5 年間総排水容量と総排水量

3. 施設評価手法

施設の取替・更新を判定する手法は、具体的に確立されたものがなく、上述の不具合状況や建設されてからの経過年が主体となって評価され、予算との兼ね合いを踏まえ施設管理者が判断を行ってきた。しかしながら、老朽化施設が膨大になった現在においては、さらなる優先順位付けを行う合理的な施設評価手法の確立が強く求められている。

(1) 施設評価パラメータ

老朽化施設について整備実施の優先度を評価するには、個々の施設を取り巻く様々な条件を網羅的に把握し、合理的に整理して維持管理計画の最適化を図る必要がある。

このため、管内水閘門・排水機場の特性を整理し、既往のマニュアル^{1)・2)}を参照して施設評価パラメータを抽出した。

1) 管内地域特性及び施設特性

管内全般の地域特性は、表－3に示すとおりである。

表－3 管内全般の地域特性（代表例）

	管内全般の地域特性
人口	管内流域市町の殆どが県全体の人口密度より高い木曽川水系流域に人口が集中している
土地利用	流域全体の宅地離城面積は広くないが、木曽川水系の氾濫地域に宅地が集中している。
地盤	管内中流域、下流域の市町は、濃尾平野地盤沈下対策地域である
気象	年間降水量は2,500mmで国内有数の雷多発地帯
重要水防箇所	管内流域には平成20年度時点で、重点区間70区間、要注意区間338区間がある

また、水閘門・排水機場が置かれている特性は、表－4及び表－5に示すとおりである。

表－4 管内水閘門の特性（代表例）

	水閘門施設の特性
水質	塩分濃上や飛来塩分の影響を受ける施設はない
堆積土砂	堆積土砂が大量に溜まり、操作の支障になる施設がある
流木ゴミ	出水後、大量の流木ゴミが流れ込み、操作の支障になる施設がある
常時の状態	ゲート扉体が常時接水している場合と、常時接水しない場合に分類される
使用頻度	干満によって毎日開閉する施設があるが、大半は待機系設備で使用頻度は極めて少ない

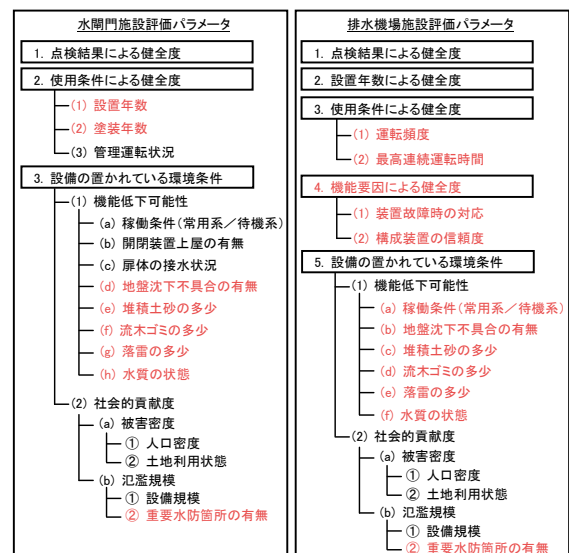
表－5 管内排水機場の特性（代表例）

	排水機場施設の特性
水質	生活污水が流入するため、自然排水を促し環境改善を図る施設がある 下流域水質改善を目的として稼働する施設がある
堆積土砂	出水後、土砂が大量に堆積する施設がある
流木ゴミ	出水後、流木ゴミが大量に流れ込み、操作の支障になる施設がある
運転頻度	運転頻度の高い施設(約75回/年)施設がある
運転時間	長良川、伊自良川水系の施設は短く、木曽川、揖斐川、牧田川水系施設は長い
連続運転時間	18日間連続運転した施設がある

2) 施設評価パラメータの設定

管内地域特性や施設特性を踏まえ、図－6に示すとおり施設の健全度評価パラメータを設定した。図中の黒色パラメータは既往のマニュアルを参照しているものであり、赤色パラメータは管内独自に設定したものである。

これは、現地調査を行った結果、管内施設については、管内特有の設置環境条件や施設劣化条件があり、これらを独自の評価パラメータを用いて評価することで、維持管理の適正化を図ることができると考えたからである。



図－6 施設評価パラメータ

4. 施設健全度評価手法

(1) 水閘門施設健全度評価手法の検討

水閘門施設健全度を評価するにあたっては、『点検結果による健全度』を重視することを前提とした。これは、不

具合を検出し、修繕するというライフサイクルにおいて、『点検』は、施設の健全度を評価し、維持管理を適正化していく重要な過程であり、『点検』と『修繕』を繰り返すライフサイクルを充実させる必要があったためである。

点検結果による健全度評価結果によって、優先度が同位となる場合、『使用条件による健全度』を評価し、次いで『設備の置かれている環境条件』を再評価して、水閘門施設健全度の順位付けを行った。

評価単位は施設ごととし、同一形式のゲートが複数門設置されている施設の評価単位は1施設とした。設置目的、形式や機能等が異なる場合には、施設を区分して評価した。

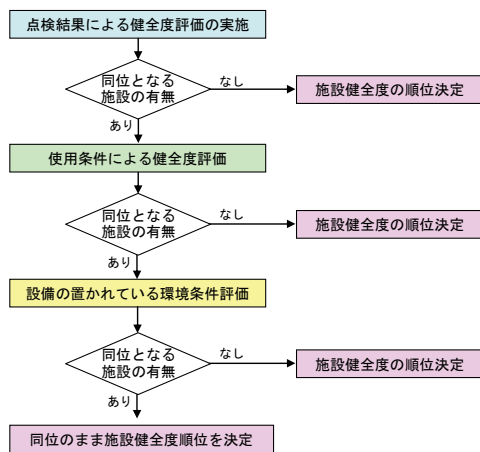


図-7 水閘門施設健全度評価フロー

1) 点検結果による健全度評価

点検結果による健全度評価は、装置毎に点検結果から判定される故障ランクを表-6に示すとおり重み付けし、施設全体合計点数により健全度レベルの優先度を決定した。

なお、対象施設評価を便宜的に3分類するため、20点以上を「A」、10点以上19点未満を「B」、10点未満を「C」と評価した。

表-6 水閘門施設点検結果による健全度評価例

施設名 (仮称)	扉体	開閉装置	機側操作盤	管理橋	土木構造	合計点	健全度 ランク	健全度 レベル
	戸当り							優先度
	(A=10点、B=3点、C=1点)					A: 20点以上 B: 10点以上20点未満 C: 10点未満		
Hゲート	B	A	A	C	—	24	A	1
Jゲート	A	A	—	—	B	23	A	2
Uゲート	A	A	—	—	B	23	A	2
Sゲート	B	B	A	B	B	22	A	3
Zゲート	—	A	A	C	B	21	A	4
Kゲート	A	A	A	—	—	20	A	5
Fゲート	A	A	—	—	—	20	A	5
Cゲート	B	A	A	—	C	17	B	6
Dゲート	B	A	—	—	B	17	B	6
Vゲート	A	B	—	—	C	17	B	6
Bゲート	A	B	A	—	C	17	B	6
Nゲート	A	—	—	B	B	16	B	7
Lゲート	A	—	—	B	—	16	B	7
Eゲート	A	B	—	—	B	16	B	7
F扉閘	B	A	B	—	B	16	B	7
Aゲート	B	—	—	B	B	9	C	16
Yゲート	B	—	—	B	B	9	C	16
Mゲート	B	—	—	B	B	9	C	16
Wゲート	B	—	—	B	B	9	C	16

2) 使用条件による健全度評価

点検結果による健全度評価のみでは同位となる施設が多数あり更に差別化するため、使用条件による健全度評価に

より、順位付けを行った。

評価は、施設の構造あるいは運用上の理由により、要求機能に対する信頼性を確保し難い使用条件にあるかを、表-7に示す評価パラメータと評価基準による加点法で行い、健全度レベルの優先度に反映した。

表-7 水閘門施設使用条件による健全度評価例

評価 パラメータ	評価項目	評価基準	適用			
			扉体 戸当り	開閉 装置	機側 操作盤	管理橋
使用条件 による 健全度評価	管理運転の 実施	1 運用上、規定の管理運転が実施できない	○	○	○	×
		0 規定の管理運転が実施できる				
	設置年数	1 信頼性による取替・更新年数を超過	○	○	○	○
		0 信頼性による取替・更新年数に達しない				
	塗装年数	1 信頼性による取替・更新年数を超過	○	○	×	○
		0 信頼性による取替・更新年数に達しない				

評価軸	健全度 ランク	判定基準	
		a	b
使用条件による 健全度	a	評価基準合計点が3点	
	b	評価基準合計点が2点	
	c	評価基準合計点が1点以下	

※「信頼性による取替・更新年数」はマニュアル¹⁾、²⁾及び機械設備管理指針³⁾を参照した。

3) 設備の置かれている環境条件による健全度評価

点検結果及び使用条件による健全度評価でも同位となる施設は、さらに設備の置かれている環境条件を評価し、健全度レベルの優先度を決定した。

設備の置かれている環境条件とは、施設が社会に対して貢献している程度や建設されてからの時間経過に伴う施設を取り巻く環境変化の程度を意味しており、管内施設においては、この条件が必ずしも一律でないことに着目し、健全度レベルの優先度を評価する新たなパラメータとした。

評価は、図-8の被害密度と氾濫規模のマトリックス評価により社会的貢献度を定量評価した結果と、表-10および表-11に示すとおり、加点法による設備の機能低下可能性を、図-9に示すとおり、マトリックス評価した。

表-8 設備の社会的貢献度評価基準

評価指標	評価項目	評価基準
被害密度	人口密度	2 背後地の人口密度が1千人/km ² 以上かつ、DID地区がある
		1 背後地の人口密度が1千人/km ² 未満かつ、DID地区がある
		0 背後地にDID地区はない
	土地利用状態	2 背後地の住宅地域の割合が30%以上
		1 背後地の住宅地域の割合が10%以上30%未満
		0 背後地の住宅地域の割合が10%未満
氾濫規模	設備規模	2 扉体の総面積が50m ² 以上
		1 扉体の総面積が10m ² 以上50m ² 未満
		0 扉体の総面積が10m ² 未満
	重要水防箇所	1 設備近隣に重要水防箇所がある
		0 設備近隣に重要水防箇所がない

表-9 評価軸の判定基準

評価軸	判定基準	被害密度		
		3	2	1
被害密度	3 評価基準合計点が4点	2	3	3
	2 評価基準合計点が2点～3点	1	2	3
	1 評価基準合計点が1点以下	1	1	2
氾濫規模	3 評価基準合計点が3点			
	2 評価基準合計点が1点～2点			
	1 評価基準合計点が0点			

		1	2	3
	3	2	3	3
	2	1	2	3
	1	1	1	2

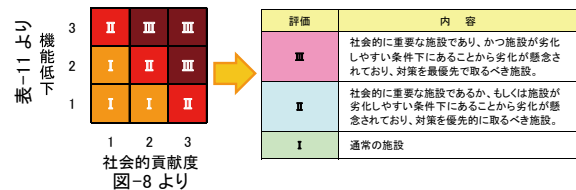
図-8 設備の社会的貢献度評価マトリックス

表－10 設備の機能低下可能性評価基準

評価指標	評価項目	評価基準
設備・周辺環境	稼働条件	1 常用系の設備である
		0 待機系の設備である
	開閉装置の上屋	1 開閉装置の上屋なし
		0 開閉装置の上屋あり
	原水の取水状況	1 常時取水している
		0 洪水時のみ取水する
	地盤沈下	1 地盤沈下による劣化がみられる(または、設備設置場所が濃尾平野地盤沈下防止等対策地域である)
		0 地盤沈下による劣化はみられない(または、設備設置場所が濃尾平野地盤沈下防止等対策地域でない)
	堆積土砂	1 設備に影響を与える堆積土砂が多い
		0 設備に影響を与える堆積土砂は少ない
	流木・ゴミ	1 流木・ゴミが多い
		0 流木・ゴミが少ない
水質	落雷被害がある	1 落雷被害がある
		0 落雷被害がない
	水質が悪い(飽和指数(SD)＜-1)	1 水質が悪い(飽和指数(SD)＜-1)
		0 水質は悪くない(飽和指数(SD)≥-1)

表－11 設備の機能低下可能性判定基準

	評価点	判定基準
設備の機能低下の可能性	3 通常より損傷・変状が進行する可能性が高い	評価基準合計点が 6 点以上
	2 損傷・変状の進行は標準的である	評価基準合計点が 3 点～5 点
	1 通常より損傷・変状が進行する可能性が低い	評価基準合計点が 2 点以下



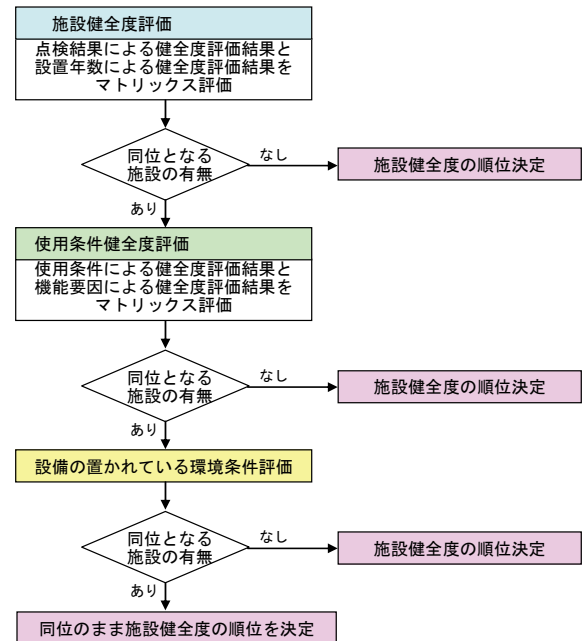
図－9 設備の置かれている環境条件評価マトリックス

(2) 排水機場施設健全度評価手法の検討

排水機場施設健全度の評価は、『点検結果による健全度』及び『設置年数による健全度』によってマトリックス評価し、評価結果が同位となる場合に、『使用条件による健全度』と『機能要因による健全度』によってマトリックス評価した。次いで『設備の置かれている環境条件』によってさらなる評価を行って順位付けを行った(図－10)。なお、評価単位は排水機場1箇所を1施設とした。

排水機場施設の評価は水閘門施設とは異なり、以下の理由により、『点検結果による健全度』及び『設置年数による健全度』を重視して評価した。

- 排水機場施設は、機器・部品点数が多いため、点検結果による健全度のみを評価すると、致命的な不具合に至っていないに関わらず、その不具合の多さによって評価される可能性があった。
- 近年になって主原動機等の取替更新が進められた施設と、未だに取替更新が進められていない施設を差別化するパラメータとして、設置年度による健全度評価が必要になった。



図－10 排水機場施設健全度評価フロー

1) 施設健全度評価

点検結果による健全度評価は、構成する各装置について点検結果から判定される故障ランクを表－12に示すとおり重み付けし、施設全体合計点数を表－13に示す評価基準によって3ランクに配点した。

表－12 排水機場点検結果による健全度評価基準と内容

点検結果による健全度評価	評価基準及び評価内容	配点
A (A1・A2)	現在、機器・部品の機能に支障が生じており、 緊急に対応 (取替、更新、整備)が必要である。	10点
B	現在、機器・部品の機能に支障は生じていないが、 早急に対策 を講じないと数年のうちに支障が生じる恐れがある。	3点
C	正常であり 現在支障は生じていない 。もしくは 清掃にて対応 できる。 経過観察 で対応できるもの。	1点

表－13 排水機場点検結果による健全度評価

	評価点	評価基準
点検結果による健全度評価	3 著しい機能低下を引き起こしている可能性が高い	評価基準合計点が30点以上
	2 機能低下を引き起こしている可能性が高い	評価基準合計点が10点～29点
	1 施設の機能低下を引き起こす可能性は低い	評価基準合計点が9点以下

続いて、設置年数による健全度評価は、表－14に示すとおり、設置されてからの経過年数がマニュアル等の取替年数を超過している場合を加算評価し、表－15に示す評価基準によって3ランクに配点した。

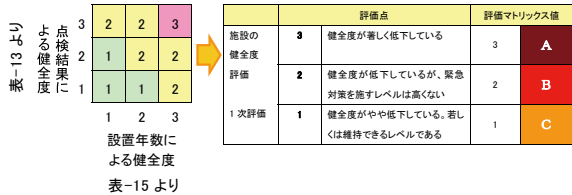
表－14 排水機場設置年数による健全度評価と内容

評価 パラメータ	評価項目	評価基準	適用
設置年数 による 健全度評価	監視制御設備	1 経過年数が22年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「機械操作盤」を使用
		0 経過年数が22年未満	
	主ポンプ設備	1 経過年数が16年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「インペラ」、「主軸」を使用
		0 経過年数が16年未満	
	吐出弁	1 経過年数が24年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「減速機構部およびスピンドル」を使用
		0 経過年数が24年未満	
	原動機	1 経過年数が13年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「過給機」を使用。形式の違いは考慮しない
		0 経過年数が13年未満	
	減速機	1 経過年数が17年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「潤滑油ポンプ」を使用
		0 経過年数が17年未満	
	系統設備 (燃料系統)	1 経過年数が15年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「燃料移送ポンプ」を使用
		0 経過年数が15年未満	
	系統設備 (始動系統)	1 経過年数が9年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「空気圧縮機」を使用
		0 経過年数が9年未満	
	系統設備 (冷却水系統)	1 経過年数が6年を超過	マニュアル 信頼性による修繕・取替年数の標準年 数「冷却水ポンプ(水中ポンプ)」を使用
		0 経過年数が6年未満	
	自家発電装置	1 経過年数が20年を超過	機械設備管理指針「発電機」を使用
		0 経過年数が20年未満	
	電気設備	1 経過年数が20年を超過	機械設備管理指針「低圧配電盤類」を使用
		0 経過年数が20年未満	
	除塵設備	1 経過年数が20年を超過	機械設備管理指針「定式除塵機」を使用
		0 経過年数が20年未満	
	付属設備	1 経過年数が40年を超過	機械設備管理指針「天井クレーン」を使用
		0 経過年数が40年未満	

表－15 排水機場設置年数による健全度評価

設置年数 による 健全度 評価	評価点	評価基準
3	施設の機能低下を引き起こす可能性が高い	評価基準合計点が15点以上
	2	施設の機能低下を引き起こす可能性はあるが、緊急度は高くない
	1	施設の機能低下を引き起こす可能性は低い。

点検結果による健全度評価結果と設置年数による健全度評価を図－11に示すとおりマトリックス評価して、施設ごとに健全度レベルの順位付けを行った。



図－11 排水機場施設健全度評価マトリックス

2) 使用条件による健全度評価

管内排水機場施設は、水系や排水機場に要求されている機能（湛水防除／水質改善／内水排除）によって、運転頻度や運転時間が異なる。また、部品供給が停止しており、万一の不具合発生に対応できない施設や、系統設備が複雑で、施設全体の信頼性を低下させている施設があったため、2次評価として、使用条件による健全度評価結果と、機能要因による健全度評価結果を反映したマトリックス評価を行い、施設健全度評価で同位となる施設の順位付けを行った（図－12）。

なお、使用条件による健全度評価方法、機能要因による健全度評価方法は、表－16～表－18及び図－12に示すとおりである。

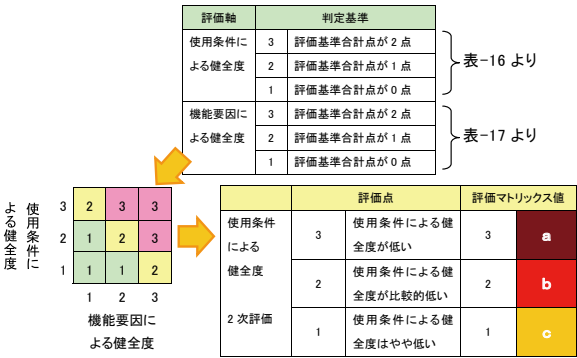
表－16 排水機場使用条件による健全度評価

評価 パラメータ	評価項目	評価基準	適用
使用条件 による	運転頻度	1 管理運転を含む年間運転頻度が20回以上である	監視操作制御設備 主ポンプ設備 系統機器設備 電源設備 除塵設備 付属設備
		0 管理運転を含む年間運転頻度が20回未満である	
健全度評価	運転時間	1 最大連続運転時間が24時間以上である	

表－17 排水機場機能要因による健全度評価

評価 パラメータ	評価項目	評価基準	適用
機能要因 による 健全度評価	装置故障時の 対応	1 万一の装置故障時に、対応が困難な機能要因がある	メーカー部品供給が停止し、万一の故障において交換部品が用意できない等、外的要因によって機能低下を招いている装置を評価する。
		0 万一の装置故障において、対応が可能である	
	構成装置の 信頼度	1 不具合を引き起こしやすい構成装置がある	冷却水系統に二次冷却方式、クーリングタワー方式、清水循環方式等を採用している排水機場は、管内クーラ方式、ラジエータ方式を採用している排水機場に比べて、始動系統設備が複雑で、部品点数が多く、不具合を引き起こしやすい。装置の機能要因により、施設全体の健全度を低下させているものを評価する。
		0 構成装置は、他機場同等の信頼性を有している	

表－18 使用条件による健全度評価軸の判定基準



図－12 排水機場2次評価マトリックス

3) 設備の置かれている環境条件による健全度評価

使用条件による健全度評価でも同位となる施設は、さらに設備の置かれている環境条件を評価し、健全度レベルの優先度を決定した。

評価は水閘門同様に被害密度と氾濫規模のマトリックス評価により社会的貢献度を評価した結果と、加点法による設備の機能低下可能性を、マトリックス評価した。なお、評価マトリックスと評価基準は、表－19及び表－20に示すとおりである。

表－19 設備の社会的貢献度評価基準及び判定基準

評価指標	評価項目	評価基準
被害密度	人口密度	2 背後地の人口密度が1千人/km ² 以上かつ、DID地区がある
		1 背後地の人口密度が1千人/km ² 未満かつ、DID地区がある
		0 背後地にDID地区はない
	土地利用状態	2 背後地の住宅地域の割合が30%以上
		1 背後地の住宅地域の割合が10%以上30%未満
		0 背後地の住宅地域の割合が10%未満
氾濫規模	設備規模	2 機場の計画総排水量が25m ³ /s以上
		1 機場の計画総排水量が15m ³ /s以上25m ³ /s未満
		0 機場の計画総排水量が15m ³ /s未満
	重要水防衛所	1 設備近隣に重要水防衛所がある
		0 設備近隣に重要水防衛所がない
評価軸	判定基準	
被害密度	3 評価基準合計点が4点	
	2 評価基準合計点が2点～3点	
	1 評価基準合計点が1点以下	
氾濫規模	3 評価基準合計点が3点	
	2 評価基準合計点が1点～2点	
	1 評価基準合計点が0点	

表－20 設備の機能低下可能性評価基準

評価指標	評価項目	評価基準
設備特性	稼働条件	1 常用系の設備である
		0 待機系の設備である
設置・周辺環境	地盤沈下	1 地盤沈下による劣化はみられる(または、設備設置場所が遺尾平野地盤沈下防止等対策地域である)
		0 地盤沈下による劣化はみられない(または、設備設置場所が遺尾平野地盤沈下防止等対策地域でない)
	堆積土砂	1 設備に影響を与える堆積土砂が多い
		0 設備に影響を与える堆積土砂は少ない
	流木・ゴミ	1 流木・ゴミが多い
		0 流木・ゴミが少ない
	落雷	1 落雷被害がある
		0 落雷被害がない
	水質	1 水質が悪い(飽和指数(SD)＜-1)
		0 水質は悪くない(飽和指数(SD)≥-1)

評価点			評価基準
設備の機能低下の可能性	3	通常より損傷・変状が進行する可能性が高い	評価基準合計点が5点以上
	2	損傷・変状の進行は標準的である	評価基準合計点が3点～4点
	1	通常より損傷・変状が進行する可能性が低い	評価基準合計点が2点以下

5. 施設整備プライオリティ付与手法

(1) 水閘門施設整備のプライオリティ付与手法

水閘門施設(191施設)について、上記の評価手法により、緊急に対策しなければならない施設を順位付けした。上位10位となる施設は、表－21に示すとおりであり、これらは施設管理者が緊急に対策すべき施設選定の目安になる。

表－21 水閘門施設健全度評価結果

順位	施設名	点検結果による健全度評価	点検結果による健全度ランク	使用条件による健全度ランク	設備置かれている環境条件
1	Hひ管	24	A	a	I
2	Jひ管	23	A	a	I
2	Uひ管	23	A	a	I
4	Sひ管	22	A	b	III
5	Zゲート	21	A	b	I
6	Fひ管	20	A	b	III
7	Kひ管	20	A	b	II
8	Dひ管	17	B	a	I
9	Cひ管	17	B	b	III
10	V水門	17	B	b	II

表-6 評価から、使用条件による健全度評価や設備の置かれている環境条件評価により、優先順位が入れ替わる。

(2) 排水機場施設整備のプライオリティ付与手法

排水機場施設(21施設)についても水閘門同様、上記の評価手法により、緊急に対策しなければならない施設を順位付けした。上位10位となる施設は、表－22のとおりである。

表－22 排水機場施設健全度評価結果

順位	施設名	施設健全度評価結果	使用条件による健全度評価結果	設備の置かれている環境条件
1	Q排水機場	A	b	III
2	C排水機場	A	b	I
2	E排水機場	A	b	I
2	J排水機場	A	b	I
5	S排水機場	B	a	I
6	K排水機場	B	b	II
6	D排水機場	B	b	II
8	T排水機場	B	b	I
8	B排水機場	B	b	I
10	N排水機場	B	c	III

Q排水機場はC排水機場よりも設備の置かれている環境条件評価結果がⅢであるため、優先順位が第1位になる。

6. 維持管理水準

管内水閘門・排水機場施設は、治水対策を目的として建設されたものであり、施設ごとに社会的貢献度(河川管理

施設として社会に貢献している程度の意であり、一般に使われている社会的重要度と同義。)を評価することは困難である。しかしながら、老朽化ストック量が膨大となった現在においては、管内施設を差別化して、社会的に重要かつ劣化しやすい環境下におかれている施設を優先的に対策し、常に高い信頼性を確保するよう計画しなければならない。

一方、社会的貢献度が低く設置条件が比較的良好な施設は、機能の確保を条件に可能な延命化を試み、維持管理上の対策時期を延ばすことで、施設の費用対効果を最大限に引き延ばすことが可能である。

このような考えに基づき、施設健全度評価で用いた『設備の置かれている環境条件評価』を、『維持管理水準』に置き換えて、各施設を以下3ランクに分類した。

設備の置かれている環境条件＝維持管理水準
(Ⅲ＞Ⅱ＞Ⅰ) (Ⅲ＞Ⅱ＞Ⅰ)

7. 施設維持管理計画の概略案

(1) 維持管理の基本方針

施設に要求されている機能に対して、致命的な影響を与える不具合の発生を回避するような維持管理を実施することで、施設全体の致命的なダメージを回避することが可能である。

施設機能に与える影響度合いの高いもの(致命的部品)をより重要なものとし、重点的に維持管理し、影響度合いの低いもの(非致命的部品)の維持管理を簡素化し、維持管理コストの最適化を図るという考え方^{3) 4)}を適用する。

表－23 維持管理の基本方針

	維持管理基本方針	基本方針の考え方
致命的部品	予防保全	傾向管理が可能なものは状態監視保全により延命化を図る。傾向管理ができないものは、経過年数に伴い定期的に取替・更新する。
非致命的部品	事後保全	可能な限り、継続使用し、機能低下、不具合発生した時点で対応し、費用対効果を最大限引き出す。

(2) 劣化特性に適した維持管理内容

機器・部品の劣化特性は、腐食・経時劣化タイプ、脆化タイプ、突発タイプの3種があり、腐食・経時劣化タイプ及び脆化タイプの機器・部品は傾向管理が可能で、状態監視保全が適用できる。

一方、コンピュータ故障、リレー故障等の突発タイプについては、傾向管理が困難であるため、時間計画保全(定期的更新・取替)が主体となる⁴⁾。

(3) 整備手法の類型化

水閘門施設の致命的機器・部品について、状態監視保全あるいは時間計画保全で対応できるものは、表－24に示

すとおりであり、整備パターンを5つに類型化し、点検結果による健全度評価ランクの適用を整理した。

表－24 水閘門施設 整備手法の類型化例

装置別	致命的 機器例	劣化特性	整備パターン					
			整備	塗替	修繕	取替	更新	
			A	A	A	A	A	
			点検結果による 健全度評価ランク		B <td>B<td>B<td>A</td></td></td>	B <td>B<td>A</td></td>	B <td>A</td>	A
			C	C				
扉体	構造部	変状	腐食 塗装劣化	—	○	○	○	○
	ロープ部	作動 不良	自重降下 不良	○	—	○	○	○
戸当り	走行部	変状	腐食 摩耗	—	○	○	○	○
開閉 装置	動力部	変状	腐食 摩耗	—	○	○	○	—
	制動部 伝達部	作動 不良	振動 異常音	○	—	○	○	○
操作盤	制御回路 動力回路	作動 不良	表示異常 操作異常	○	—	○	○	○

排水機場施設については、多くの機器・備品が突発タイプの劣化特性であるため、構成装置ごとに整備パターンを類型化し、表－25に示すように点検結果による健全度評価ランクの適用を整理した。

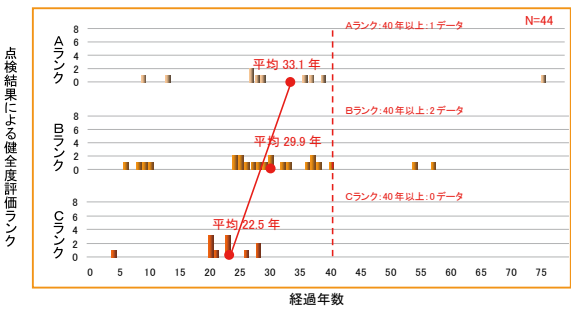
表－25 排水機場施設 整備手法の類型化例

装置別		整備パターン				
		保守 点検	定期 整備	修繕	取替	更新
点検結果による 健全度評価ランク				A	A	A
			B	B	B	
		C	C			
監視操作 制御設備	操作盤	○	○	○	○	○
	コントロールセンタ	○	○	○	○	○
	系統機器盤	○	○	○	○	○
	入出力装置	○	○	○	○	○
ポンプ	主ポンプ	○	○	○	○	○
	吐出弁	○	○	○	○	○
駆動装置	主原動機	○	○	○	○	○
	減速機	○	○	○	○	○
系統機器設備	燃料系統設備	○	○	○	○	○
	冷却水系統設備	○	○	○	○	○

(4) 最適整備手法の適用時期

1) 水閘門施設整備手法の適用時期

水閘門施設整備手法の適用時期は、点検結果による故障ランク（A、B、C）に至るまでの経過年を整理し、各ランクの平均経過年をとらえ、傾向管理の目安となる年数を割り出し、当該年数までの耐用を許容できるものと考え、取替・更新の適用時期に一致させた。図－13は戸当り変状の劣化特性を図示しており、戸当りの耐用年数は33年（≒33.1年）とした。



図－13 戸当り変状の平均的な劣化特性

一方、突発的に故障してしまう操作制御設備等の傾向管理が適さない装置については、マニュアル²⁾を参照して取替・更新時期を設定した。

2) 排水機場施設整備手法の適用時期

排水機場施設は、予防保全として取替更新が積極的に進められ、水閘門施設のような劣化特性を統計的に分析することができなかったため、マニュアル¹⁾を参照して取替更新時期を設定した。

3) 維持管理水準に応じた適用時期の設定

従来の維持管理は、設備の置かれている環境条件に関係なく画一的に規定周期によって取替・更新が行われてきたが、維持管理水準に応じた取替・更新周期を装置別に設定することで、従来からの信頼性を維持しつつ、維持管理費を平準化することが可能と考えられる。

今回の検討では、取替・更新時期は、維持管理水準Ⅲについて上記平均耐用年数若しくはマニュアル^{1) 2)}の取替更新年数最小値（＝信頼性における取替・更新年数）を適用し、維持管理水準Ⅰは、マニュアルに示される平均取替更新年数を適用した（表－26、表－27）。

マニュアルでは、経過年実績データを集計し得られた平均寿命の予測値を“平均取替・更新年数”とし、取替・更新の実施率が当初稼働していた数の10%を越えた時点の年数を“信頼性による取替・更新年数”としている。

表－26 水閘門施設維持管理周期

内 容	ゲート 区分	維持水準別 実施周期		
		Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
スライドゲート フラップ・マイタ 扉体更新	小形	33年	45年	56年
	中形	33年	45年	56年
ローラゲート 横引きゲート 扉体更新	小形	33年	45年	56年
	中形	33年	45年	56年
戸当り更新	小形	33年	45年	56年
	中形	33年	45年	56年
電動ラック式 開閉装置更新	小形	27年	35年	43年
	中形	27年	35年	43年
ワイロープ・ライン開閉装置 動力部（電動機）取替	中・大形	27年	35年	43年
ワイロープ・ライン開閉装置 動力伝達部（減速機）取替	中・大形	29年	35年	41年
機側操作盤取替 （含む制限開閉装置）	小形	19年	32年	32年
	中形	19年	32年	32年
	大形	19年	32年	32年
扉体・戸当り塗替塗装	小形	20年	20年	20年
	中形	20年	20年	20年
	大形	20年	20年	20年

扉体・戸当り塗替塗装年数は機械設備管理指針³⁾による。

表－27 排水機場施設維持管理周期

内 容	維持管理 区分	維持水準別 実施周期		
		Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
監視操作制御設備	取替	18 年	37 年	37 年
主ポンプ	10 年整備	10 年	10 年	10 年
主配管	取替	40 年	45 年	50 年
主原動機(D/E)	10 年整備	10 年	10 年	10 年
	取替	32 年	37 年	42 年
動力伝達装置(D/E)	取替	32 年	37 年	42 年
主原動機(G/T)	10 年整備	10 年	10 年	10 年
	取替	32 年	37 年	42 年
動力伝達装置(G/T)	取替	32 年	37 年	42 年
主原動機(電動機)	10 年整備	10 年	10 年	10 年
	取替	32 年	37 年	42 年
動力伝達装置(電動機)	取替	32 年	37 年	42 年
系統設備	取替	20 年	25 年	30 年
自家発電装置	10 年整備	10 年	10 年	10 年
	取替	20 年	25 年	30 年
電気設備	取替	40 年	45 年	50 年
除塵設備	塗替塗装	12 年	12 年	12 年
	取替	19 年	32 年	32 年

8. 施設維持管理計画策定手法

(1) 計画条件

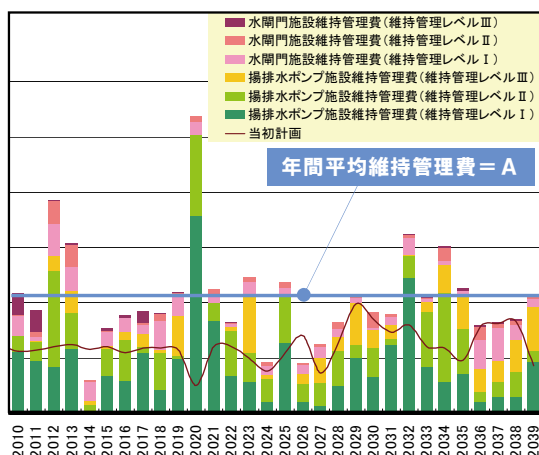
水閘門・排水機場施設の維持管理計画を策定するにあたり、以下に示す計画条件を設定した。

- 維持管理計画期間は、今後 30 年を想定する。
- 水閘門施設及び排水機場施設に要求される機能を低下或いは停止させない維持管理計画とする。
- 今後の維持管理費を平準化する計画とする。
- 今後の維持管理費を縮減する計画とする。
- 水閘門 191 施設、排水機場 21 施設を対象とする。

(2) 手法の検証

1) 現状の維持管理手法によるコストシミュレーション

水閘門・排水機場施設の維持管理水準を全てⅢにしてコストシミュレーションを行った結果、図－14 のとおりとなった。この時の年間平均維持管理費を A とする。

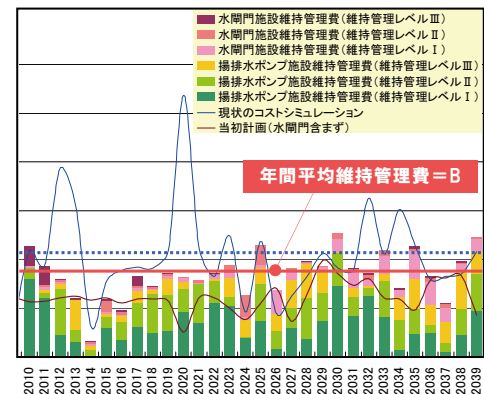


図－14 現状の維持管理手法によるコストシミュレーション

2) 施設維持管理計画策定手法によるコストシミュレーション

水閘門・排水機場施設について、維持管理水準を適用し、コストシミュレーションを行った結果、図－15 のとおりとなった。この時の年間平均維持管理費を B とする。

年間平均維持管理費縮減効果は、約 20% (= (A - B) / A) であり、大幅なコストダウンになる。

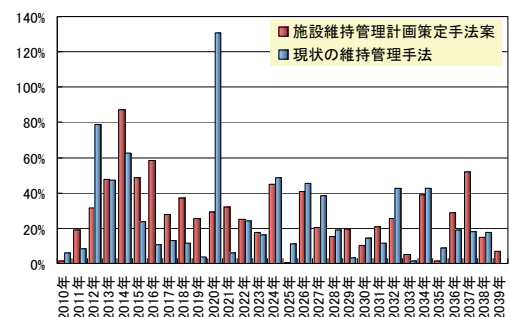


図－15 施設維持管理計画策定手法によるコストシミュレーション

3) コスト平準化効果

年間平均維持管理費とのバラツキを比較すると、図－16 に示すとおりである。現状の維持管理手法は、平均値に対して 2 倍以上になる年（2020 年）があり、維持管理予算が手当てできない可能性がある。

一方、施設維持管理計画手法は誤差が小さく、ある一定の維持管理費を維持しながら、老朽化施設を順序立てて手当てし、機能低下を引き起こさない維持管理水準に保つことができるものと考えられる。従って、提案した施設維持管理計画手法は、計画条件を満足する有効な計画方法といえる。



図－16 平準化効果検証

(3) 評価パラメータ活用による維持管理計画の改善

1) 計画初期のバラツキ

図－15 に示す施設維持管理計画手法は、計画初期の 2010 年及び 2011 年に年間平均維持管理費を超過し、2014 年に急激に落ち込む。これは、1980 年前後に建設さ

れた排水機場の取替時期が計画初期に重なるとともに、対策時期を延ばした維持管理水準Ⅰ施設の維持管理費の谷間期が2014年に発生する。

2) 緊急に対策すべき施設の抽出と改善手法

取替・更新時期が集中したり、空白化する場合は、施設健全度評価により、各施設の優先度を定めた結果を反映する。

表－28に示すとおり、2010年から2011年に8機場が取替・更新時期が集中しているが、この内、C機場、E機場、K機場は上記検討より、対策実施の優先度が高い。この他の機場は、施設健全度評価及び維持管理水準を参考に対策時期を延ばすことができ、谷間になっていた2014年に意図的にシフトして、更なる平準化改善を図ることができる。

表－28 計画初期に集中する取替・更新時期の改善手法

経過年数	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
I A排水機場	115,100	31,570	23,900					3,080
I B排水機場	106,600	96,550	4,040					0
I C排水機場	169,470	95,670	0					3,080
II D排水機場	0	17,870	0	93,080	0	0	13,700	0
I E排水機場	0	194,950	66,150	0				0
III F排水機場	0	0	93,080					0
I G排水機場	105,220	59,710	0					3,080
III H排水機場	0	0	50,950					5,980
I I排水機場	60,270	17,870	0					0
I J排水機場	0	0	125,150					0
II K排水機場	59,940	0	17,870					3,080
II L排水機場	0	0	0					0
I M排水機場	69,800	0	8,080					0
III N排水機場	60,380	0	329,000					0
III O排水機場	0	20,200	0					7,560
I P排水機場	0	0	0	0	0	0	0	0
II Q排水機場	0	42,800	9,420	0	39,000	1,780	0	53,460
I R排水機場	44,320	0	0					0
I S排水機場	95,880	77,040	0					0,800
I T排水機場	29,650	0	0					0
II U排水機場	0	0	21,920					0

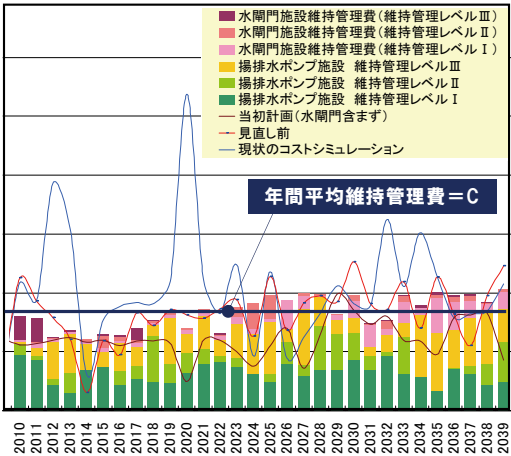
ピンク着色した取替・更新が集中するため、優先順位をつけて計画する。

健全度評価結果による優先順位は以下のとおりである。

2位 C機場、E機場
5位 S機場
6位 K機場
8位 B機場
10位 N機場
12位 G機場
15位 A機場
18位 M機場

C機場、E機場、K機場は優先順位が高いため、早急に修繕し、他の機場は先送りにする。

再度、コストシミュレーションを行うと図－17の通りになり、平準化された計画に改善することができる。また、優先度の低い施設の取替・更新時期の延伸により、年間平均維持管理費を約23% (= (A - C) / A) まで縮減できる。



図－17 施設維持管理計画策定手法によるコストシミュレーション（見直し案）

9. 老朽化施設に関する修繕計画の提案

上記の検討結果より、緊急に対策が必要と評価された水閘門1施設（S 樋門）、排水機場1施設（C 排水機場）について、修繕計画の提案を行ったので一部を紹介する。

(1) S 樋門修繕計画の提案

表－21の健全度評価結果より、上位3位までの施設は既に取替更新の計画が進められていたが、第4位であるS 樋門は計画が進められていなかったため、既設の状況を踏まえた合理的な修繕計画を検討した。

1) S 樋門の現状と課題

S 樋門は、建設以降30年以上が経過しており、施設維持管理計画上、扉体の取替・更新時期（表－24 取替パターンに該当）であった。この他に、点検結果より開閉装置に不具合が生じていたり、機側操作盤が耐用寿命を超過しているなど施設の大半が、取替・更新しなければならない状況であった。

2) S 樋門の修繕計画検討結果

既設扉体主桁・スキンプレートの劣化状況を確認するため、板厚測定を行い強度検証を行った。



写真－1 S 樋門板厚測定状況

この結果、主桁平均板厚は設計計算板厚を上回っており、強度的な問題がないことが判明した。また、スキンプレートは平均板厚が若干設計計算板厚を下回っていたが、使用鋼材の降伏点応力に対して安全率2以上が確保されているため、強度的な問題はないと考えられた。

したが、扉体については取替・更新時期を迎えていたが、調査結果を踏まえ塗替塗装による延命化対策を施す修繕計画とし、維持管理計画上のコストに対して約30%のコスト縮減効果が期待できる。

(2) C 排水機場修繕計画の提案

表－22の健全度評価結果より、第2位のC 排水機場は施設維持管理計画上、エンジン、操作制御設備、その他設備の取替・更新時期（表－25 取替パターンに該当）を迎えており、取替・更新の計画が進められていたが、現地状況から適切な手当てを施すことが可能と考えられたため、合理的な修繕計画を検討した。

1) 原動機改良による整備計画

C 排水機場は、1 号機から 3 号機で構成されており、建設年の新しい 3 号エンジンのみ、冷却方式に管内クーラが採用されている。1 号及び 2 号の冷却方式は循環型直接冷却方式で、機場内に小配管が複雑に入り組んでいる。

管内クーラ方式は、ポンプ吐出水を利用して冷却水を得ることができるため、場内小配管を少なくできる利点がある。C 排水機場は、3 号機のみが小配管系統をコンパクトにしている一方で、1 号機及び 2 号機の小配管が複雑なままであるため、施設全体としては、冷却系統設備が複雑で機器・部品構成が多く、要求機能に対する信頼性の低下を招きかねない状況にある。このため、施設維持管理計画において取替・更新時期である 1 号及び 2 号エンジンをそのまま使い、3 号同様の管内クーラ方式に修繕して、全体の系統設備簡略化を図る計画とした。

2) 除塵設備修繕計画

除塵設備は、維持管理計画上、取替・更新時期に達していたが修繕計画の最適化を図るため、目視を中心とした現地調査を行った。除塵機の構成装置の一部に著しい発錆が認められるものの、全体としては致命的な劣化がなく健全であるため、塗替塗装による延命化対策を施す修繕計画とした。



写真 2 C 排水機場 除塵設備劣化状況

3) C 排水機場の修繕計画検討結果

1 号及び 2 号主原動機はディーゼル機関であり、ガスタービン機関に更新する計画があった。点検結果や現地調査結果を踏まえると、既設ディーゼル機関は今後も使用できると考えられたため、管内クーラによる冷却方式に改造して、3 台全てを同一システムとして信頼性を確保する計画に変更した。

また、除塵設備についても機械的な不具合は検出されていないため、塗替塗装による延命化計画に見直し、機器の現状を踏まえた計画を立案するなどして、約 10% のコスト縮減効果が期待できる。

(3) 老朽化施設に対する修繕計画の留意点

S 樋門及び C 排水機場の修繕計画例を紹介したとおり、施設維持管理計画上、取替・更新時期を迎えていても、簡易調査により取替・更新の判断材料を得て、対策の最適化を図ることができる。この結果、更なる維持管理費の縮減に貢献することも可能である。

施設維持管理計画において設定した取替・更新周期は、統計データに基づく耐用年数の平均値であることを踏まえ、維持管理予算を有効に活用する観点から、維持管理計画による評価にリンクして、様々な視点から老朽化施設に対する修繕計画の最適化を図ることが重要である。

10. あとがき

従来の水閘門・排水機場施設の取替・更新は、経過年数や故障の有無のみを判断材料として計画されてきた。このような考え方が主流になっている背景には、取替・更新による保全手法により最新の機器となることで、機能維持や信頼性確保が確実であるためである。しかしながら、適切な修繕を施すことで、信頼性を低下させることなく、機能維持することが可能な施設は少なくない。

また、取替・更新は、必ずしも経過年数や不具合の有無によって判断されるわけではなく、様々な観点から設定した評価パラメータによって適切な判断が実現できる。

本稿にて紹介した『施設維持管理計画の策定手法』は、維持管理費の適正化と平準化を図る上で合理的かつ効果的な手法といえ、老朽化施設の増大に対し、取替・更新など優先度の決定方法や、評価パラメータを活用した維持管理計画策定手法について参考にしていただきたい。

謝辞：本計画の検討にあたり、御指導頂きました中部地方整備局木曽川上流河川事務所の皆様ならびに御協力並びに御指導を頂きました株式会社施設技術研究所奥田様、株式会社荏原由倉ハイドロテック川脇様、渡辺様、長尾様の各氏をはじめ関係各位に対し心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局建設施工企画課 河川局治水課、河川ポンプ設備 点検・整備・更新検討マニュアル（案）、平成 20 年 3 月
- 2) 国土交通省総合政策局建設施工企画課 河川局治水課、河川用ゲート設備 点検・整備・更新検討マニュアル（案）、平成 20 年 3 月
- 3) 独立行政法人水資源機構、機械設備管理指針、平成 15 年 11 月
- 4) ダム技術 No.235、新たな手法を導入した機械設備維持管理の合理化、改田将一、桜田明彦、平成 18 年 4 月