

## 13.1 土木機械設備のストックマネジメントに関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：技術推進本部（先端技術）

研究担当者：藤野健一、田中義光、山尾昭、  
上野仁士、竹田英之、伊藤圭、  
石松豊

### 【要旨】

土木施設に導入されている各種の機械設備は、河川・道路において非常に重要な役割を果たしているが、施設数の増大と老朽化の進行に伴い、ライフサイクルマネジメントの導入が進められている。しかしながら、限られた予算で管理を行っていくためには、個々の施設の評価だけではなく、関連する複数の施設についても社会的な影響度と設備のコンディションを総合評価し、効果的に更新や整備を行っていく必要がある。本研究では、機械設備の管理技術の高度化及びライフサイクルコストの縮減を図ることを目的として、複数施設を対象とした維持管理計画策定手法と、更新・整備時における設計の最適化手法をとりまとめた。

キーワード：土木機械設備、維持管理、ネットワーク型河川、CommonMP、シミュレーション

### 1. はじめに

昭和30年代以降の高度経済成長期において、社会資本として急速に設置されてきた多くの河川用ポンプ設備や河川用ゲート設備等の土木機械設備は、近年老朽化の時期を迎えるとともに設備数が増大しており、今後更新費や維持管理費の増大が予想されている。一方で社会情勢から限られた予算のなかで管理せざるを得ない状況となっており、一層の維持管理コストの縮減のため、個々の管理についてはライフサイクルマネジメントの導入が進められているところである。

これら土木機械設備は、常時頻りに運転しなくても必要とされる時には必ず機能することが求められるため、信頼性評価に基づく経済的かつ合理的な維持管理が重要となる。

しかしながら、財政的・体制的な制約等より、全ての土木機械設備を画一的な管理水準で維持管理することが今後困難となることが推測されることから、従来型の維持管理手法からの転換が必要となる。したがって、複数施設を対象とした健全度評価に基づく機能保全対策を通じて、既存施設（ストック）の有効活用や長寿命化を図り、もってライフサイクルコストを低減する、いわゆる「ストックマネジメント」の導入が急務となっている。

このため、土木機械設備に求められる管理水準を社会的な重要度等に応じて合理的・体系的に差別化し、管理水準に応じたストックマネジメントを支える要素技術及びそれらを組み合わせたマネジメント手法の提案を行う

ものである。

### 2. 研究目的

#### 2.1 研究目的

土木機械設備におけるストックマネジメントは、維持管理対象を個々の設備ではなく施設群として捉え、ライフサイクルコストの低減や、整備・更新に係る費用の発生時期の集中緩和を図ることが目的となる。

具体的な維持管理面におけるニーズとしては、主に国土交通省直轄施設の機械設備を対象として、以下のとおりとして整理した。

#### 1) 管理技術の高度化

設備数の増大と老朽化が進む中で、各種の設備が求められる機能を発揮するための高度な管理技術が必要である。このため、非常用設備あるいは常用設備など個別の設備特性に合わせた、適切な信頼性評価、経済性評価手法の確立、及び連携して機能する施設を施設群として最適な維持管理計画を立案する手法が求められている。

#### 2) 安全性の確保・向上

技術革新によって新技術の導入が進む反面、不具合や故障のパターンも多様化しており、新しい保全技術の採用や過去の維持管理データを活用した安全管理手法が求められている。

#### 3) コスト縮減・維持管理の効率化

一般的に実施されている画一的な維持管理レベルの確保だけではなく、設備の目的・設置環境・仕様などの要

因に合わせ「メリハリ」の効いた経済的かつ効率的な維持管理手法が求められている。

## 2. 2 達成目標

本研究では、限られた予算で設備の管理を行っていくために、個々の施設の評価だけでなく、関連する複数の施設についても社会影響度と設備のコンディションを総合評価し、効果的に更新や整備を行っていくための手法として、以下の達成目標を設定した。

### 1) 個別の土木機械設備維持管理手法

信頼性評価手法（故障リスクの評価、システムの安全性評価手法）、経済性管理手法（設備経済性評価（便益評価）手法、保全手法、技術改善手法）、安全管理手法（緊急時の危機管理手法）、実施体制について提案する。

### 2) 複数施設を考慮した維持管理手法

水系等の複数施設による相互補完等を念頭に置いた施設グループに対する信頼性評価手法、社会影響度を加味し地域の便益を考慮した維持管理計画の立案手法について提案する。

### 3) 総合的な維持管理計画立案手法

適正な維持管理計画の立案と御予算要求理由の明確化、維持管理に視点を置いた技術改善、設備改良（保全予防）、維持管理計画立案手法の運用方法と実施体制について提案する。

## 3. 研究の成果

### 3. 1 個別の土木機械設備維持管理手法

#### 3. 1. 1 基本方針の整理

国土交通省では、平成 27 年 3 月に「河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)」(以下「河 G マニュアル」という)、「河川ポンプ設備点検・整備更新マニュアル(案)」(以下「河 P マニュアル」という)を策定している。この 2 つのマニュアルでは、各管理対象の設備において、構成装置・機器等の特性(致命・非致命)を踏まえ、機器・部品レベルでの健全度評価を行うこととしており、それによって画一的な維持管理手法から脱却し、効率的な維持管理の実現を目指している。1)2)

両マニュアルの運用においては、構成装置・機器の特性評価と健全度評価を合理的に行うことが不可欠であり、管理者が責任をもって判断できる手法が必要となる。

河川ポンプ設備については、当チームが過去にとりまとめた「河川ポンプ設備の維持管理手法」において、FMEA (Failure Mode Effects Analysis) と FTA(Fault Tree Analysis)を採用し、この解析結果を健全度評価に活用できることを示した。3)

図-1 に河 P マニュアルの「効率的な維持管理の考え方」と当チームが示した維持管理手法(信頼性評価及び経済性評価手法)の関係を示す。赤枠で囲った箇所

効率的な維持管理の方針の考え方

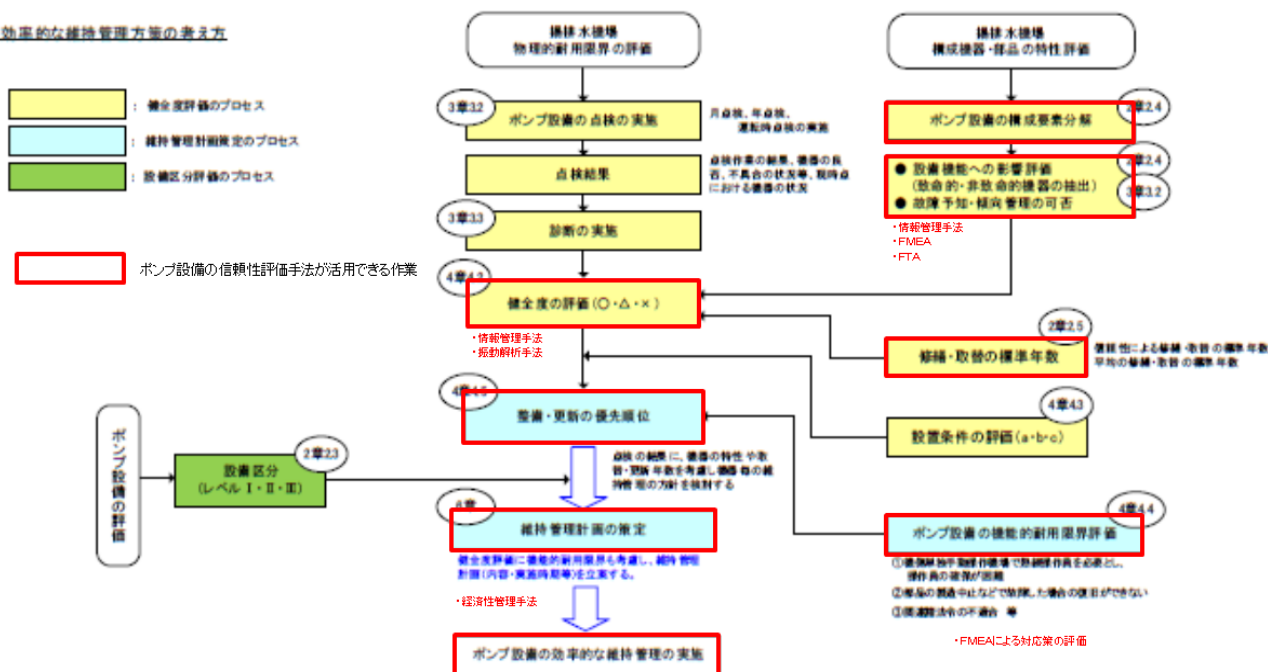


図-1 河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)における効率的な維持管理の考え方

個別(設備別)マネジメントイメージ(案)

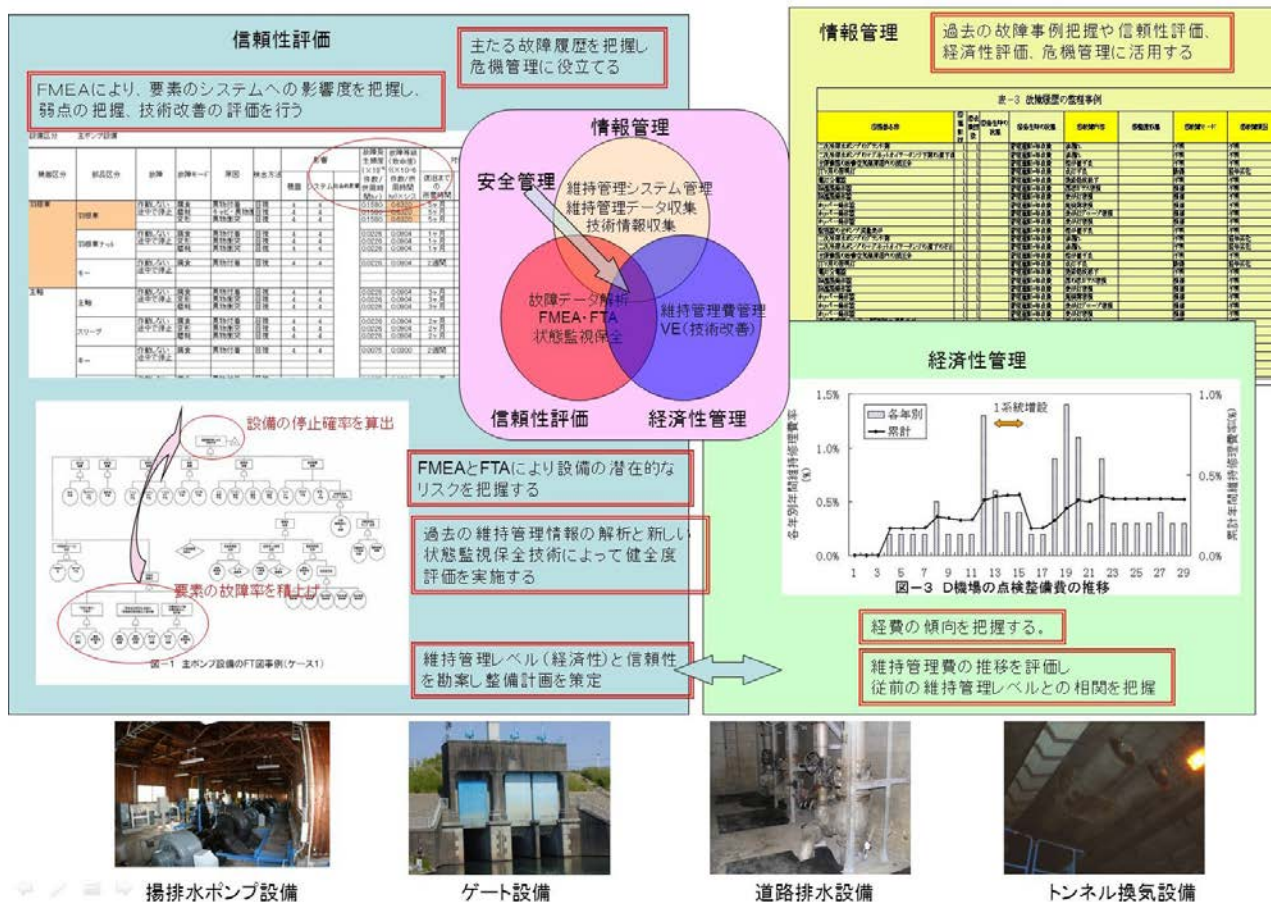


図-2 個別設備のマネジメント概念図

果を反映されることができ、具体的なツールを赤字で付記した。また、各ツールの相関関係を図-2に示す。

これらのマニュアルには、一般的なシステムにおけるFTA から得られた致命的機器が示されているが、実際の管理において各管理者は、個々の設備特性・状況を勘案して致命的機器を抽出しなければならない。このため、他の機械設備についても、その適用手法として FMEA と FTA を具体化するとともに、点検時における重点項目の設定や時間計画保全を主体とする修理・更新作業の優先順位付けなどの方法を示す必要がある。また、過去の維持管理情報から運転・故障・更新・修繕・整備に係る情報を適切に抽出し、信頼性評価、経済性評価及び安全管理に活用する手法を提案する必要がある。

3. 1. 2 信頼性評価手法

1) 河川・ダムゲート設備の維持管理情報

河川・ダム用ゲート設備においては、維持管理情報は現在のところ十分解析されているものとは言えない。国土交通省では平成26年度より機械設備維持管理情報デ

ータベース(以下、「維持管理システム」という)の本格運用を開始しており、実際に発生している具体の故障内容や構成機器の故障率、更新年数などの実態はこの維持管理システムの活用により今後明らかになってくる情報となる。

このため、別途、河川用ゲート設備及びダム用ゲート設備の故障データをそれぞれ収集し、ゲート設備別の故障状況の分析を行った。なお、故障データは各設備の設置年から2014年までの実績データである。

(1) ゲート設備の故障情報

河川用ゲート設備の故障261事例及びダム用ゲート設備の故障325事例について、設備別・故障機器(部位)別に集計した結果を表-1及び表-2に示す。

故障が多い機器(部位)では、河川用ゲート設備・ダム用ゲート設備とも「開閉装置」が最も多く、続いて「扉体」または「操作制御設備」の順であった。

これら上位3機器(部位)の故障件数の合計は、河川用ゲート設備で93%、ダム用ゲート設備で84%を占めることがわかった。故障を減らすためには、これら3機器

(部位) に対する対策が重要となる。

特に、河川用ゲート設備では、「開閉装置」の故障件数が半数以上を占め、故障対策上改善余地が大きいことがわかる。また、ダム用ゲート設備では、河川用ゲート設備に比べて「操作制御設備」の故障が全体に占める割合が大きく、特に取水ゲートでは故障の約半数近くを占めており、大規模な設備を複雑な制御により稼働させている実態が現れている。

表一 河川用ゲート設備の故障状況

設備名 機種(部位)名	洪水吐・流量	土砂吐	開門	魚道	防潮	計	
	調節ゲート	ゲート	ゲート	ゲート	ゲート	件数	割合(%)
扉体	37	1	1	5	3	47	18.0
戸当り	6			1	1	8	3.1
固定部	1					1	0.4
開閉装置	120	5	11	7	9	152	58.2
操作制御設備	36		3	3	2	44	16.9
電源設備	5					5	1.9
休止装置	3		1			4	1.5
計	208	6	16	16	15	261	
割合(%)	79.7	2.3	6.1	6.1	5.7		

表二 ダム用ゲート設備の故障状況

設備名 機種(部位)名	クレスト	オリフィス	コンジット	取水	小容量放流	計	
	ゲート	ゲート(主・副)	ゲート(主・副)	ゲート	ゲート(主・副)	件数	割合(%)
扉体	12	4	18	10	19	63	19.4
戸当り		2	5	2	3	12	3.7
固定部					3	3	0.9
放流管			1		5	6	1.8
給排気管		1	3	1	8	13	4.0
整流板・整流管				2		2	0.6
開閉装置	14	9	44	18	31	116	35.7
操作制御設備	11	4	25	29	25	94	28.9
電源設備					2	2	0.6
凍結防止装置				4		4	1.2
休止装置		2	4	2	2	10	3.1
計	37	22	100	68	98	325	
割合(%)	11.4	6.8	30.8	20.9	30.2		

(2) 開閉装置の故障内容

故障件数が最も多い「開閉装置」について、その故障機器(部位)の内訳を集計した結果を表一3及び表一4に示す。

「開閉装置」で故障が多い機器(部位)は、河川用ゲート設備では「油圧配管」「油圧シリンダ」「油圧ユニット」の順に多く、ダム用ゲート設備では「油圧ユニット」「油圧シリンダ」「リミットスイッチ」の順に多かった。

これら上位3機器(部位)の故障件数の合計は、河川用ゲート設備で45%、ダム用ゲート設備で47%を占め、いずれの設備でも油圧機器の故障が大きな部分を占めていることがわかった。

特に、河川用ゲート設備では「油圧配管」の故障が多

い実態が見られ、ダムでの配管敷設に比べ、河川内における配管敷設の環境の厳しさが影響しているのではないかと考えられる。いずれの設備でも開閉装置の故障を減らすためには、油圧機器への対策が重要となる。

表一3 開閉装置の故障箇所の内訳(河川用ゲート設備)

	洪水吐・流量	土砂吐	開門	魚道	防潮	計	
	調節ゲート	ゲート	ゲート	ゲート	ゲート	件数	割合(%)
本体		1				1	0.7
電動機	4	1	1			6	3.9
開度計	8	1	2	1		12	7.9
制動装置	8		1		1	10	6.6
減速機	4		2			6	3.9
軸受	4					4	2.6
ワイヤロープ	4	1	1		1	7	4.6
ロープ端末装置	2					2	1.3
切換装置	1		1			2	1.3
倒伏装置	10			1		11	7.2
スピンドル					1	1	0.7
油圧シリンダ	19			1	1	21	13.8
油圧モータ			1			1	0.7
油圧ユニット	16		1	4		21	13.8
油圧ポンプ	2		1		1	4	2.6
油圧配管	24	1			2	27	17.8
フレキシブルチューブ	1					1	0.7
予備動力	1					1	0.7
リミットスイッチ	7				2	9	5.9
その他	5					5	3.3
計	120	5	11	7	9	152	
割合(%)	78.9	1.9	4.2	2.7	3.4		

表一4 開閉装置の故障箇所の内訳(ダム用ゲート設備)

	クレスト	オリフィス	コンジット	取水	小容量放流	計	
	ゲート	ゲート(主・副)	ゲート(主・副)	ゲート	ゲート(主・副)	件数	割合(%)
本体			3		2	5	4.3
電動機	1		1	3	1	6	5.2
開度計		1	2		2	5	4.3
制限開閉器		1		2		3	2.6
制動装置	2		2			4	3.4
減速機	5		1			6	5.2
解放歯車				1		1	0.9
軸継手				1		1	0.9
軸受			1			1	0.9
ワイヤロープ			1	7		8	6.9
ロープ端末装置				1		1	0.9
切換装置	1		1			2	1.7
スピンドル				1	6	7	6.0
油圧シリンダ			10		6	16	13.8
油圧ユニット	1	4	18		5	28	24.1
作動油					1	1	0.9
油圧ポンプ			1		1	2	1.7
油圧配管		1	1		1	3	2.6
予備動力	1					1	0.9
リミットスイッチ	3	2	1	1	4	11	9.5
その他			1	1	2	4	3.4
計	14	9	44	18	31	116	
割合(%)	12.1	7.8	37.9	15.5	26.7		

(3) 故障率の算出

故障率は機器毎に以下により求める。

$$x = \Sigma a / \Sigma c$$

- x : 故障率
- a : 故障件数
- c : 設備の供用時間

故障率を算出するにあたって、分母となる設備の供用時間を算出した。供用時間は、設置年から故障情報整理期間の2014年までで計算し、ゲート形式及び開閉形式毎に表-5により整理し故障率を求める分母とした。

表-5 供用時間算出にかかる分類

分類	河川用ゲート	ダム用ゲート
ゲート形式	I. 起伏ゲート	I. ラジアルゲート
	II. シェル構造ゲート	II. パルプ類
	III. プレートガーダ構造ゲート	III. ローラゲート
	IV. 2段式ローラゲート	IV. スライドゲート
	V. ゴム引布製起伏式ゲート	V. 取水設備
開閉装置	I. 油圧シリンダ式	I. 電動油圧シリンダ式
	II. ワイヤロープウインチ式	II. ワイヤロープウインチ式
	III. ラック・スピンドル式	III. ラック・スピンドル式
	IV. 空気式起立装置	

なお、収集した故障データには、故障記録がない機器が存在する。この故障件数が「0件」の機器については、故障率が0%では矛盾があるため、当該機器について供用時間の3倍にあたる延供用時間で故障が発生するという仮定で故障率を算出した。この仮定は、当チームが過去にとりまとめた「河川ポンプ設備の維持管理手法」と同様としている。

算出した故障率は巻末に掲げる。FMEAの実施にあたっては、故障発生頻度を4段階評価する必要があることから、今回算出した故障率を基にしきい値を求めた。故障率の大きさ順に並べ整理したグラフを図-3及び図-4に示す。

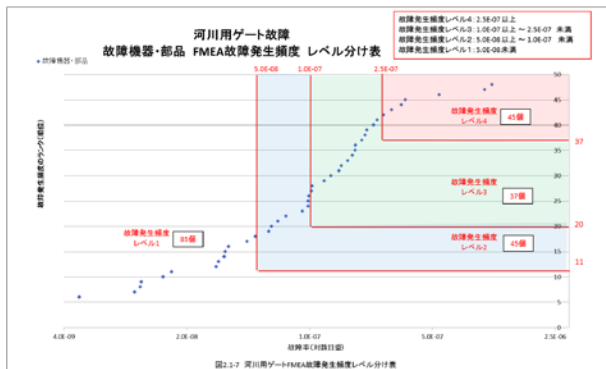


図-3 河川用ゲート故障発生頻度レベル分け表

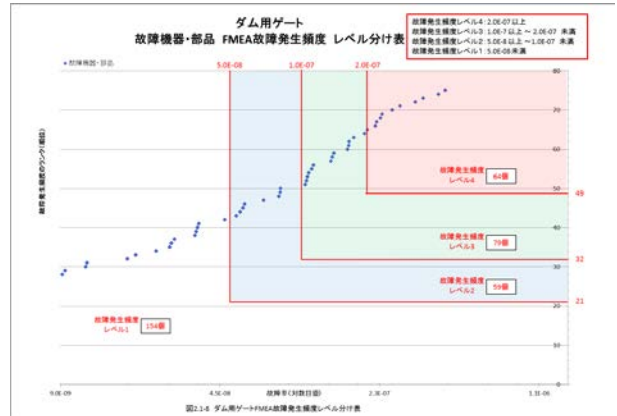


図-4 ダム用ゲート故障発生頻度レベル分け表

今回の故障率算出においては、全国のゲート施設ではなく、故障情報の得られた設備の合計供用時間であり、分類した各形式の設備数により大きく供用時間が変化することから、採用した供用時間の精度が十分とはいえない。極力、類似形式や構造で統合したもの、故障情報の少ない形式は故障率が高くなる結果が出ている。特に開閉装置におけるラック・スピンドル方式については、全国での設置数が多い割に故障情報が少ないため顕著である。このため、故障率の精度を上げるためには、より多くの故障情報を収集する必要があるとあり、国土交通省で運用を始めている維持管理システムの今後の故障情報の集約に期待されることである。

2) ゲート設備におけるFMEA

河川用ゲート設備及びダム用ゲート設備の信頼性を評価するためFMEAを実施した。FMEAの実施にあたっては、機器一部品毎の故障要因を整理し、システムへの影響度、発見の容易性、故障発生頻度を設定し、これにより故障等級（致命度）を算出し解析を行った。

実施した対象施設は、ゲート設備の代表的な仕様として考えられる表-6に示す4施設とした。

表-6 FMEA実施対象設備

区分	設備名	主仕様
河川用	K大堰	ワイヤロープ式ローラゲート
	A排水樋管ゲート	電動ラック式ローラゲート
ダム用	Kダムクレストゲート	ワイヤロープ式ローラゲート
	Tダムコンジットゲート	電動油圧シリンダ式ラジアルゲート

それぞれの設備の機器構成を表-7及び表-8に示す。

表-7 河川用ゲート設備機器構成比較表

項目	K大堰（メインゲート）				K大堰（サイドゲート）			
	名称	数量	備考		名称	数量	備考	
扉体形式	鋼製ローラゲート	3	門		鋼製ローラゲート	3	門	
扉体構造形式	フラップ付シェル構造	〃	〃		シェル構造	〃	〃	
扉体寸法	径間5.0m×扉高6.1m	〃	〃		径間3.8m×扉高2.9m	〃	〃	
水密方式	3方及びフラップゲートゴム水密	〃	〃		前面3方ゴム水密	〃	〃	
開閉装置形式	2M2Dワイヤロープウインチ式	3	台		2M2Dワイヤロープウインチ式	6	台	
動力部	電動機：37kW、30kW（フラップ）	12	台 4台/1門		電動機：30kW	6	台 2台/1門	
動力部（予備）	予備エンジン有り	3	台 1台/1門		予備エンジン有り	0	台 メインゲートと共有	
制動機	電動機付電磁ブレーキ	12	台 4台/1門		電動機付電磁ブレーキ	6	台 2台/1門	
	油圧押し上げブレーキ	3	台 1台/1門		油圧押し上げブレーキ	3	台 1台/1門	
減速装置	サイクロ減速機	12	台 4台/1門		サイクロ減速機	6	台 2台/1門	

項目	A排水樋管ゲート（川表）				A排水樋管ゲート（川裏）			
	名称	数量	備考		名称	数量	備考	
扉体形式	鋼製ローラゲート	2	門		鋼製ローラゲート	2	門	
扉体構造形式	プレートガーダ構造				プレートガーダ構造			
扉体寸法	径間3.6m×扉高2.1m				径間3.6m×扉高2.1m			
水密方式	後面4方水密	6	個		後面4方水密	6	個	
開閉装置形式	電動2ラック式	6	台		電動2ラック式	6	台	
動力部	電動機：0.64kW	6	台		電動機：0.64kW	6	台	
動力部（予備）	無し	6	台		無し	6	台	
制動機	遠心ブレーキ	6	台		遠心ブレーキ	6	台	
	メカニカルブレーキ				メカニカルブレーキ			
減速装置	-	6	台 ラック式内臓		-	6	台 ラック式内臓	

表-8 ダム用ゲート設備機器構成比較表

項目	Kダムクレストゲート				Tダムコンジットゲート			
	名称	数量	備考		名称	数量	備考	
扉体形式	鋼製ローラゲート	6	門		ステンレス製 高圧ラジアルゲート	2	門	
扉体構造形式	プレートガーダ構造	〃	〃			〃	〃	
扉体寸法	径間6m×扉高3.8m	〃	〃		径間2.9m×扉高3.0m	〃	〃	
水密方式	3方ゴム水密	〃	〃		4方ゴム水密	〃	〃	
開閉装置形式	1M1Dワイヤロープウインチ式	6	台		油圧シリンダ式	2	台	
動力部	電動機：15kW	〃	〃		電動機：11kW	〃	〃 油圧ユニット	
動力部（予備）	無し	〃	〃		無し	〃	〃 油圧ユニット	
制動機	電動機付電磁ブレーキ	〃	〃		-	〃	〃 油圧ユニット	
	ウォーム減速機セルフロック	〃	〃		-	〃	〃 油圧ユニット	
減速装置	ウォーム減速機・中間ギア	〃	〃		-	〃	〃 油圧ユニット	

FMEA 結果の例を表-9に示す。

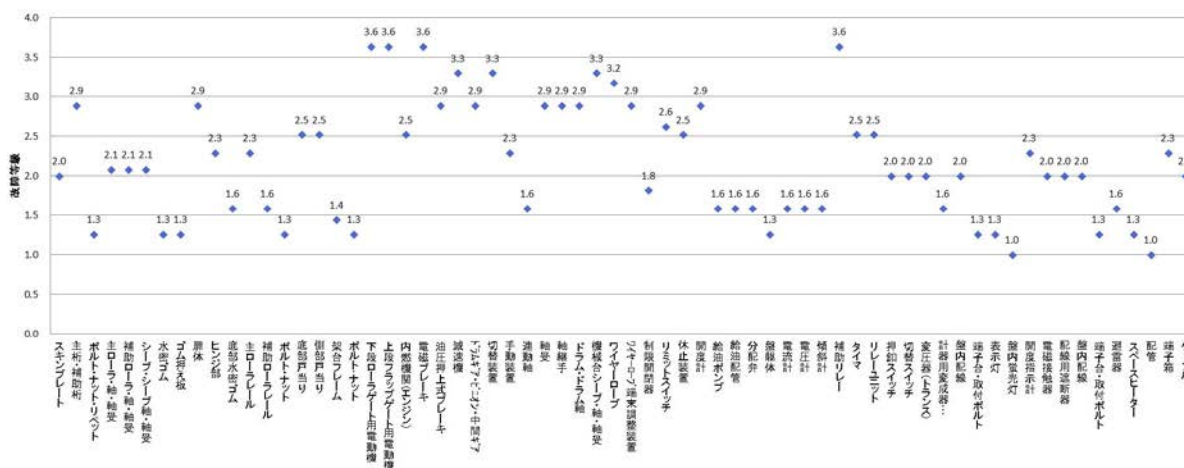
ゲート設備のFMEA結果を、各施設毎の機器構成部品と故障等級の関係を見るために、部品と故障等級で散布図により確認した。

ゲート設備は、扉体、開閉装置と共にシステムへの影響度がどれも高い結果となった。しかし、故障モード発見の容易性は、分解せずとも故障モード発見できる機器が多く、開閉装置の一部（電動機・減速機等）を除いて

表-9 河川用ゲート設備FMEA実施結果例 (K大堰)

機器区分	部品名	故障	故障モード	原因	検出方法	システムへの影響度	故障モード発見の容易性	故障発生頻度	故障等級 (致命度)	対策		備考		
										復旧までの所要時間	内容			
構造部	スキンプレート	止水機能低下	破壊・損傷・破断	経年変化	目視	4	2	1	2.0					
		止水不良	変形・伸び	想定外の外力	振厚測定									
			腐食	使用環境・水質										
	主桁・補助桁	水圧支持能力低下	破壊・損傷・破断	経年変化	目視	4	2	3	2.9					
		止水不良	亀裂・ひび・割れ	想定外の外力	振厚測定									
			変形・伸び	使用環境・水質										
	ボルト・ナット・リベット	水圧支持能力低下	破壊・損傷・破断	経年変化	目視	2	1	1	1.3					
		主桁・補助桁固定不良	腐食	想定外の外力	テストハンマ									
			ゆるみ・脱落	使用環境・水質										
ローラ部	主ローラ・軸・軸受	回転不良	破壊・損傷・破断	経年変化	目視	3	3	1	2.1					
		ゲート動作不良	摩耗	異物増み込み・異物混入	作動確認									
			腐食	外れ防止部固定ボルト緩み										
	補助ローラ・軸・軸受	ゲート動作不良	破壊・損傷・破断	経年変化	目視	3	3	1	2.1					
		回転不良	摩耗	想定外の外力	作動確認									
			腐食	異物増み込み・異物混入										

K大堰(メインゲート) 故障等級散布図



A排水樋管 故障等級散布図

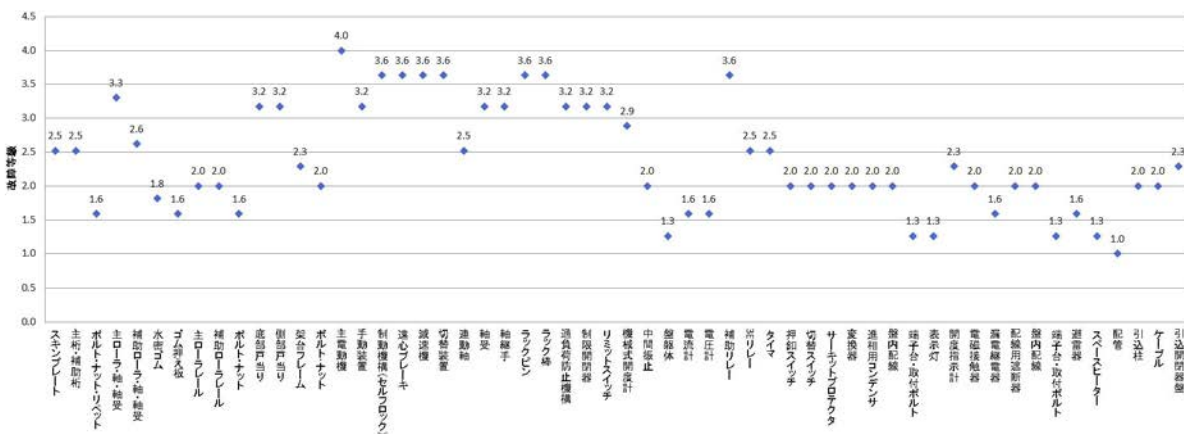


図-5 河川用ゲート故障等級散布図

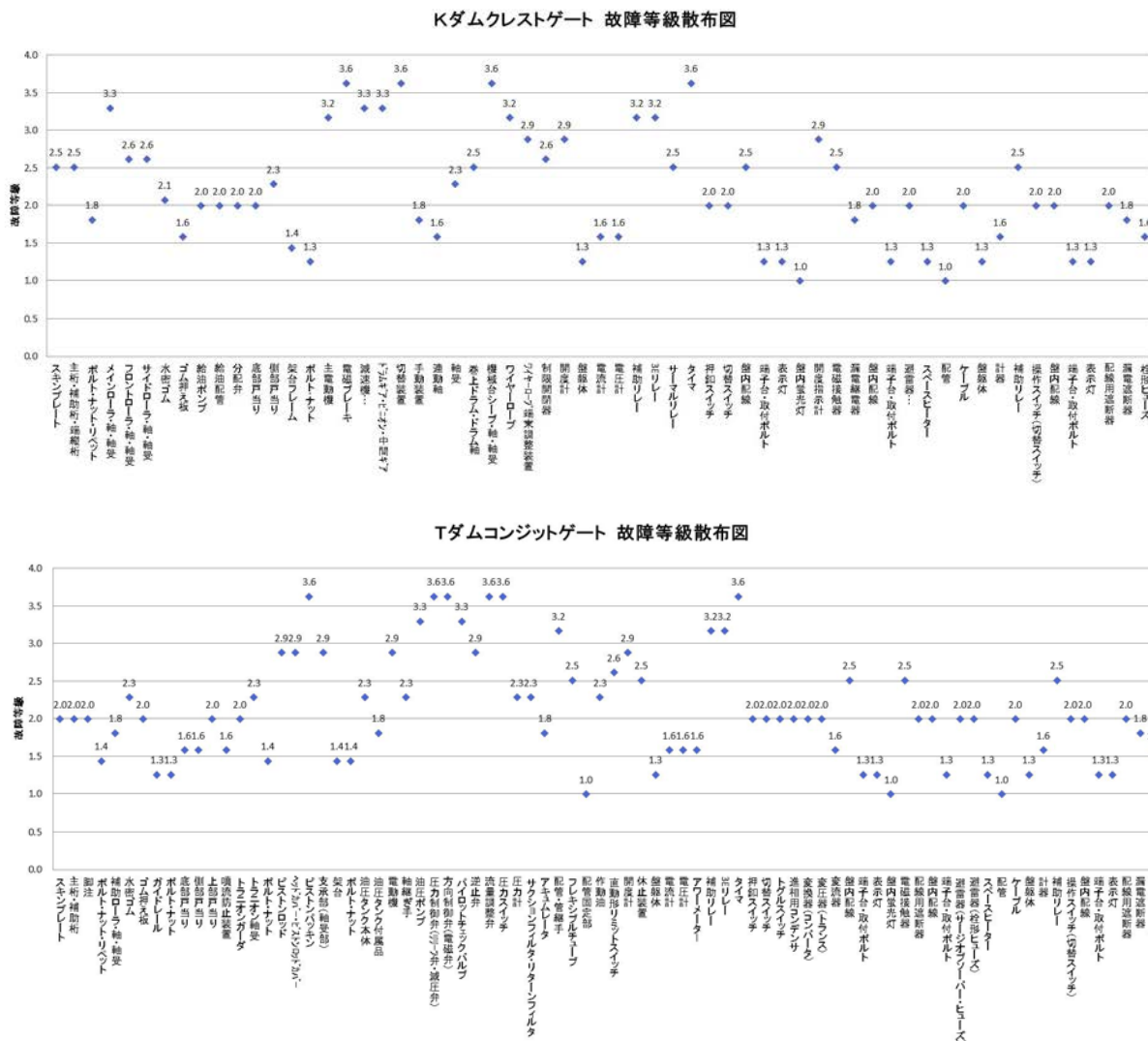


図-6 ダム用ゲート故障等級散布図

は低い値となっている。これはゲート設備の機器構成・構造がポンプ設備等に比べてシンプルであるからだと考えられる。

扉体としては、ローラゲート、ラジアルゲートの形式による故障等級（致命度）に大きな差は見られなかった。

また、開閉装置については、どの施設でも故障等級は高い値であり、重要な機器であると共に、故障が見つかりやすく故障も発生しやすい機器であることが分かった。

故障等級（致命度）は、故障発生頻度が前述の故障率の算出結果を用いて行っていることから、機器毎の差が大きく、機器毎の故障等級に比較が困難である。今後、故障率の精度を向上させていくことで、さらに正確に重大な故障となる部品や機器の抽出が可能であると考えられる。

### 3) ゲート設備における F T A

前述の故障率を用い、FTA を実施した。FTA の実施にあたっては、河川 G マニュアル及びダム G マニュアルに準じた設備構成要素により構築した。

トップ事象をゲート設備機能停止とした FTA の結果例を図-7 に示す。

各施設の FTA に基づくアンアベイラビリティ算定結果を表-10 に示す。また各設備の門数の違いから、設備間の比較ができないため、電気設備を除いた機械設備（扉体・戸当り・開閉装置）の 1 門分で FTA を作成しアンアベイラビリティを比較した。



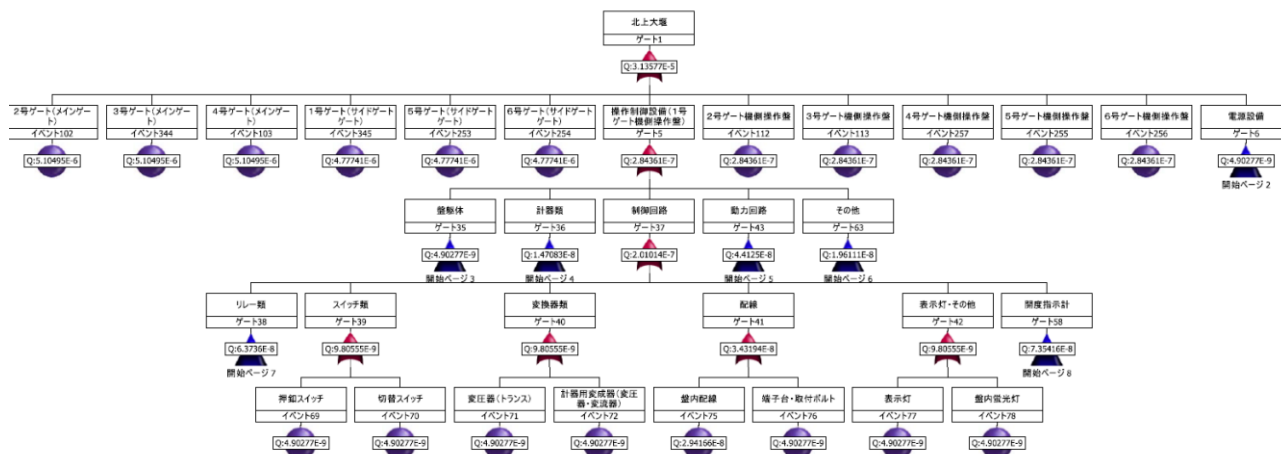


図-7 河川用ゲート設備 FTA 実施結果例 (K大堰)

表-10 ゲート設備 FTA に基づくアンペアバリエーション算定結果

区分	施設名	アンペアバリエーション <sup>※1</sup> (1/h)	発生間隔 (年)	備考
ダム用	Kダムクレストゲート	2.13649 × 10 <sup>-6</sup>	5.3 <sup>※2</sup>	6門合計
	↳1門あたり	3.10428 × 10 <sup>-6</sup>	36.8	1門分
	Tダムコンジットゲート	5.64849 × 10 <sup>-6</sup>	20.2	2門合計
	↳1門あたり	2.48725 × 10 <sup>-6</sup>	45.9	1門分
河川用	K大堰	3.13677 × 10 <sup>-6</sup>	3.6	4台, 4台, 6門合計
	↳ゲートゲート 1門あたり	4.77741 × 10 <sup>-6</sup>	23.9	1門分
	↳メインゲート 1門あたり	5.10495 × 10 <sup>-6</sup>	22.4	1門分
	A排水涵管ゲート	1.93919 × 10 <sup>-6</sup>	5.9	表裏4門合計
	↳1門あたり	4.68265 × 10 <sup>-6</sup>	24.4	1門分

Tダムコンジットゲートのアンペアバリエーションが低い値となったのは、他施設が4~6門であるが、2門であることが理由だと考えられる。門数が増える事で、扉体、開閉装置、操作制御設備等が増えることから、故障率は高い。各施設について故障率が高い機器を追うと、開閉装置がトップ事象に一番効いてくる故障(弱点)ということが分かる。

これは、開閉装置が動力機構であることから部品の故障率が高い。また、扉体や戸当りと違い部品数が多く、機構が複雑であるため故障率が高い値になっている。

K大堰のワイヤロープウインチ式開閉装置が、Kダムクレストゲートのワイヤロープウインチ式開閉装置より故障率が大きく高いのは、K大堰のワイヤロープウインチ式開閉装置は2M2Dであり、1M1Dと違い機器・部品がほぼ2倍あることが理由である。また、K大堰のメインゲートはフラップ付ゲートであり、フラップ用としても電動機・減速機の機器があることから、1門に対し電動機減速機が4台ずつあるため、故障率が高い値となった。

作成したFTAの故障率が最も高いミニマルカットセットを表-11に示す。算出したところ、開度計が一番多い結果となった。開度計は故障率が高く、ゲート設備のFTAがほぼORゲートで構成されていることから、故障

率が高い開度計がミニマルカットセットとなったと考えられる。

表-11 ゲート設備 FTA に基づくミニマルカットセット

施設名	ミニマルカットセット	ミニマルカットセットの故障率
Kダムクレストゲート	川俣ダムクレストゲート-1号ゲート(メインゲート)-開閉装置-ワイヤロープウインチ式開閉装置-開度計-開度計	1.69E-06
Tダムコンジットゲート	玉川ダムコンジットゲート-1号ゲート-扉体-水密部-水密ゴム	3.50E-07
K大堰	北上大堰-2号(メインゲート)-開閉装置-ワイヤロープウインチ式開閉装置-左岸側開閉装置-開度計-開度計	3.35E-07
A排水涵管ゲート	阿久戸排水涵管-川俣涵管1号ゲート-開閉装置-ラック式開閉装置-開閉装置ユニット-制動部-重心ブレーキ	5.49E-07

故障等級(致命度)は、故障発生頻度が前述の故障率の算出結果を用いていることから、機器毎の故障率差が大きく、施設毎の比較が困難である。今後、故障率の精度を向上させていくことで、形式や機器構成毎のTOP事象における故障率の比較や、対策を講じるべき、部品が見えてくると考えられる。

また、最も高い故障率のミニマルカットセットが開度計となってしまっているが、ゲート設備において最もクリティカルな機器が開度計とは考えにくい。今後故障率の精度向上により再設定されると考えられる。

4) 仕様変更における信頼性比較

設備更新に伴い、大幅な仕様変更による信頼性向上を図った排水ポンプ設備事例の更新前後における信頼性を比較評価するためFMEA・FTAを実施した。

主な仕様変更内容を表-12に示す。

表-12 仕様変更内容

施設名	区分	主仕様
O排水機場	更新前	立軸斜流ポンプ: 3台 総排水量: 3.3 m <sup>3</sup> /s × 3台
	更新後	コラム式水中モータポンプ: 1.0 m <sup>3</sup> /s × 10台

表-13 設備更新前後における構成機器比較表

項目	O排水機場(更新前)			O排水機場(更新後)			
	名称	数量	備考	名称	数量	備考	
主ポンプ形式	立軸斜流ポンプ	3 台		コラム式水中モータポンプ	10 台		
軸受形式	ゴム軸受	3 個		-	10 個		
減速機形式	水冷減速機	3 台	流体継手内臓	-	10 台		
主原動機形式	水冷式DE	3 台	空気始動	乾式水中三相誘導電動機	10 台		
吐出弁	電動蝶形弁	3 台		電動蝶形弁	10 台		
逆止弁	フラップ弁	3 台		フラップ弁	10 台		
冷却方式	クーリングタワー	1 台		-	-		
冷却水系統	冷却水ポンプ	2 台		-	-		
燃料系統	屋外タンク	1 式	20kℓ	地下タンク	1 式	20kℓ	
	小出槽	1 槽	600ℓ	小出槽	1 槽	990ℓ	
	移送ポンプ	2 台		移送ポンプ	2 台	自家発電	
空気系統	空気槽	6 組		-	-		
	空気圧縮機	2 台		-	-		
自家発電形式	ガスタービンエンジン	1 台	375KVA	ディーゼルエンジン	5 台	293KVA	
	空冷式	1 台		水冷式	5 台		
受電方式	低圧受電	1 式		低圧受電	1 式		
電源設備	動力受電盤	1 面		動力受電盤	1 面	GT増設分共通	
	照明受電盤	1 面		照明受電盤	1 面		
	直流制御用直流電源装置	1 面		動力・照明盤	1 面		
	制御用直流電源盤	1 面		直流電源盤	1 面		制御電源用
	直流電源装置	1 面		直流電源盤	1 面		エンジン始動用
	蓄電池設備	1 面	自家発始動用	無停電電源装置	1 面		
操作制御設備	電源監視盤	1 面		コントロールセンタ	4 面		
	共通補機盤	1 面		補助継電器盤	4 面		
	中央ポンプ制御盤	3 面		CCTV装置	1 式		
	機側操作盤	9 面		機側操作盤	16 面		
	計装盤	1 面		中央監視操作盤 (運転支援システム)	1 面		
	遠方操作盤	2 面	ゲート、除塵機	PC盤	1 面		
	-	-		縮小形中央監視操作盤	1 面		
	-	-		水位測定装置	1 面		
除塵設備	定置式除塵機	3 台		定置式除塵機	5 台		
	水平コンベヤ	1 基		水平コンベヤ	2 基	水平1機+傾斜1機	

FMEA をするにあたっては機器構成を把握する必要があるため、表-13 のとおり機器構成比較を実施した。

立軸斜流ポンプは、コラム式水中モータポンプに比べ構造が複雑であり機器部品数が多い。また、水冷式ディーゼル機関を使用していることから、系統機器設備についても機器数が多い。これに比べ、新機場では系統機器を必要とする機器が少ない。また、コラム式水中モータポンプは構造上、回転部だけでなく主原動機（モータ部）や軸受等も吊り上げないと点検が困難な構造であることから、故障モード発見の容易性は全体的に低いものとなる。

しかしながら、旧機場に比べ新機場は、システムへの影響度が高い系統機器設備が少ないことから、重大な故障となる機器（致命的機器）を多く排除でき、これにより信頼性が向上したと考えられる。

なお、ポンプ設備の故障率は、故障情報が十分でないことから、ポンプ形式毎に算出できていないため、ポンプ形式が違っても同故障率を使用している。このため、故障発生頻度のレベル区分の差が出ないことから、形式による故障等級（致命度）の差が出づらい。

さらに故障率の精度の向上、機器や形式の細分化を行

うことができれば、重大な故障となる部品や機器の抽出が可能となると考えられる。

あわせて実施した FTA 結果より得られたアンアベイラビリティ表-14 に示す。なお、トップ事象は排水機能低下としている。

表-14 更新前後におけるアンアベイラビリティ

施設名	区分	アンアベイラビリティ (1/h)	発生間隔 (年)	備考
O排水機場	更新前	$1.25925 \times 10^{-4}$	0.9	立軸斜流×3台
	更新後	$4.34717 \times 10^{-5}$	2.6	コラム式水中モータ×10台

O排水機場の更新後ではコラム式水中モータポンプになったことで、ポンプの台数は増えたが、ポンプ本体、主原動機、系統機器設備の機器数・部品数が大幅に削減された。このことで、故障率は下がったと考えられる。

ポンプ設備については、故障率の高いディーゼル機関が無くなったことで、ポンプ設備故障の故障率が1/3程度に下がっている。また、系統機器設備についても、燃料系統だけになったことで故障率が1/4程度に下がった。

これに対し更新前では、発電機にガスタービンエンジンを使用しておりガスタービンエンジンの故障率が高い

ことから、トップ事象の故障率が高いものとなっている。  
作成したFTAの故障率が最も高いミニマルカットセットを表-15に示す。算出した。更新後のミニマルカットセットは、水中モータポンプであることから、自家発電設備が起動に必要であり、重要な機器として最高故障率のミニマルカットセットに現れたと考えられる。

旧機場では、発電機にガスタービンエンジンを使用しておりガスタービンエンジンの故障率が高いことで最も故障率の高いミニマルカットセットとなった。

表-15 更新前後におけるミニマルカットセット

施設名	区分	ミニマルカットセット	ミニマルカットセットの故障率
O排水機場	更新前	排水機能低下-電源設備故障-交流電源喪失-系統機器用動力電源喪失-共通機器用電源供給不能-動力電源故障-自家発電系統故障-1号発電装置故障-発電装置故障-発電機用エンジン機能喪失-エンジン本体部不良-回転部不良-クランク軸部故障-クランク軸故障-クランク軸受故障-潤滑油系統故障-配管故障	1.94E-07
	更新後	排水機能低下-電源設備故障-交流電源喪失-系統機器用動力電源喪失-共通機器用電源供給不能-動力電源故障-自家発電系統故障-発電装置故障-発電機用GTエンジン機能喪失-ガスタービン故障-燃料系統故障-噴射弁本体故障	4.57E-06

しかしながら、このガスタービンの故障率については、採用した値が平成13年算出値であり、現在の故障傾向と違う可能性があり、上記のような結果となった。今後、精度の高い故障率が得られれば、よりの確に信頼性比較が可能となるものとする。

今回のFTAでは、トップ事象を機能低下としているが、この場合トップ事象につながる機器がORゲートとなるため、求められるアンアベイラビリティは高くなる傾向がある。

本事例ではポンプ台数を3台から10台に増やすことよりリスク分散を図り全機能停止に至る可能性を低くしている。このため、FTAを活用した信頼性評価を行うにあたりリスク低減を考慮した評価手法の検討が今後の課題であるといえる。

3. 1. 3 経済性管理手法

(1) 更新・整備における設計の最適化手法

設備をより効果的に維持管理を図っていくうえで、設備の信頼性の確保・向上を考慮しながら、経済的な予防保全や技術改善、冗長化を検討する必要がある。そこで、更新・整備における設計の最適化手法を検討するため、中規模機場でモデルケースとなりやすい考えられる表-16に示すK排水機場をモデルとして、信頼性向上を図った場合における経済性を評価した。

1) 機器の抽出・分類

評価にあたっては、FMEA・FTAを用い、機能不全に対する寄与度が大きい機器を抽出し、以下に分類した。

表-16 K排水機場基本仕様

ポンプ基数	2基
ポンプ形式	立軸斜流ポンプ
吐出量(m <sup>3</sup> /s)	7.5
口径(mm)	1,800
主原動機形式	ディーゼル機関
主原動機出力(kw)	530
(PS)	(720)

(ア) 予防保全対象機器：時間管理又は状態管理に基づき予防保全を行うことにより、信頼性が向上する機器

(イ) 技術改善対象機器：技術改善を行うことにより、上記(ア)より信頼性が向上する機器

(ウ) 安全管理対象機器：二重化、保護装置の追加又は予備品の設置により、上記(イ)より信頼性が向上する機器

機能不全に対する寄与度が大きい機器の抽出方法は、表-17に示すFMEAにおける故障等級の重み付けで抽出するものとした。故障等級は、「故障発生頻度(故障率)」および「システムの影響度」、「故障モード発見の容易性」から決まる致命度であるため、機能不全に対する寄与度としても相関関係がある。

K排水機場のFMEAの結果を用い、「システムへの影響度」、「故障モード発見の容易性」、「故障発生頻度」より算出される故障等級が2.5以上の機器を機能不全に対する寄与度が大きい機器として抽出し、故障等級の重み付け順に整理した結果を表-18に示す。

表-17 FMEAの判別表

機器区分	部品名	故障	故障モード	原因	検出方法	レベル	システムへの影響度	レベル	故障モード発見の容易性	レベル	故障発生頻度(平成13年度版報告書またはFT全国平均より)	故障等級(致命度)
		止水不能・回転不能	腐食・変形・摩耗	経年劣化・過負荷	目視	4	重故障・現場対応困難	4	検出困難	4	0.1以上(E-6)	3√(システムレベル×発見難易度×故障発生頻度レベル)
		停止・不良・焼付	伸び・振動・温度	高温・高湿度	聴覚	3	重故障現場対応可・軽故障	3	整備レベル	3	0.066~0.099(E-6)	
		性能低下・漏洩	緩み・脱落・漏れ	異物付着・混入	測定	2	軽微な影響	2	年点検レベル	2	0.033~0.066(E-6)	
		作動せず・異常	劣化・作動・抵抗	水質・汚損	作動確認	1	影響なし(事後保全対応)	1	月点検レベル	1	0~0.033(E-6)	
		通電しない・放熱	短絡・亀裂等									

※故障等級(致命度) = 3√(システムレベル×発見の容易性×故障発生頻度)

表-18 寄与度の大きい機器・部品の分類表（抜粋）

設備区分	機器区分	部品名	故障等級 (致命度)順位	(ア)	(イ)	(ウ)
操作制御設備	補助継電器盤PLC盤	PLC	1	○	○	×
主ポンプ設備	インペラ	羽根車	2	○	○	×
主ポンプ設備	主軸及び軸受	軸継手	3	○	○	×
主原動機	機関本体関係	吸・排気弁	4	○	×	○
主原動機	機関本体関係	ピストン	5	○	×	×
主原動機	機関本体関係	ピストンリング	6	○	×	×
主原動機	機関本体関係	ピストンピン	7	○	×	×
主原動機	冷却装置	インタークーラ	8	○	×	×
吐出弁	吐出弁	本体	9	○	×	×
系統機器設備	燃料系統	配管	10	○	×	○

寄与度が大きいと思われる、機器・部品は 92 種となり、これらを前述の(ア)～(ウ)毎に表-19 に示す判別方法・故障率の設定により整理した。なお、故障率は仮定としている。

表-19 判別方法及び故障率の設定

分類	判別方法	故障率の設定(仮定)
(ア)予防保全対象機器 時間管理又は状態管理に基づき予防保全を行うことにより、信頼性が向上する機器	河川用ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)(H27.3)により「予防保全機器」と「事後保全機器」の区分けにより判別	従前故障率と同
(イ)技術改善対象機器 技術改善を行うことにより、上記(ア)より信頼性が向上する機器	材質変更や他方式への変更の余地がある機器部品を判別	従前故障率×3/4 【(ア)と(ウ)の中間値】
(ウ)安全管理対象機器 二重化、保護装置の追加又は予備品の設置により、上記(イ)より信頼性が向上する機器	二重化や予備品の対象となり得る機器部品を判別	従前故障率×1/2 【二重化等のため従前故障率の半分と仮定】

FTA により、従前の故障率で算出した結果と、新故障率を反映させた結果を表-20 に示す。

抽出した機能不全に対する寄与度が大きい機器に対して、(イ)、(ウ)の対策を行うことでアンアベイラビリティは約  $5 \times 10^{-5}$  減少 (20%) する結果となった。また発生間隔としては、1.2 年延長された。

表-20 アンアベイラビリティ比較

施設名	区分	アンアベイラビリティ <sup>※1</sup> (1/h)	発生間隔(年)
K 排水機場	信頼性向上前	$2.44275 \times 10^{-5}$	4.7
	信頼性向上後	$1.93507 \times 10^{-5}$	5.9

## 2) 整備・更新の最適化モデルの作成

これらの結果を基に経済性評価を、信頼性向上前・後それぞれの中長期保全計画(資金計画)を設定し、コスト比較による経済性評価モデルを作成した。取替・更新年数は、「河P マニュアル」に準ずるものとしている。

「信頼性向上前」における計画は、「信頼性による取替・更新の標準年数」で更新する計画とし、「信頼性向上後」における計画は、前述で抽出した寄与度の大きい機器で信頼性向上が期待できる機器を以下により設定した計画とした。なお、各機器の更新整備費用は実績等を考慮した想定概算費として算出する。

(ア)に属する機器部品：標準案と同じ「信頼性による取替・更新の標準年数」とし設定とする。

(イ)に属する機器部品：(ア)(ウ)の中間案とし「信頼性による取替・更新の標準年数」の 1.5 倍の年数を設定する。

(ウ)に属する機器部品：「平均の取替・更新の標準年数」とし設定とする。

信頼性向上前と向上後の経済性比較結果を図-8 に示す。

信頼性向上後では、初期投資、更新金額は大きいのが 50 年間の LCC (ライフサイクルコスト) を比較すると、信頼性向上前に比べ約 800 百万円削減する結果となった。ただし、設定した取替・更新年数は期待値として設定したものであるため、今後精度の確認が必要といえる。

なお、今回モデルとした K 排水機場では、冷却系統が既に二重化等が図られており、大きな仕様変更は無かったが、他の排水機場において冷却方式を大きく変更した場合は系統機器設備の簡素化が図られることから、信頼性の向上だけでなくコスト削減の効果も期待できると考えられる。

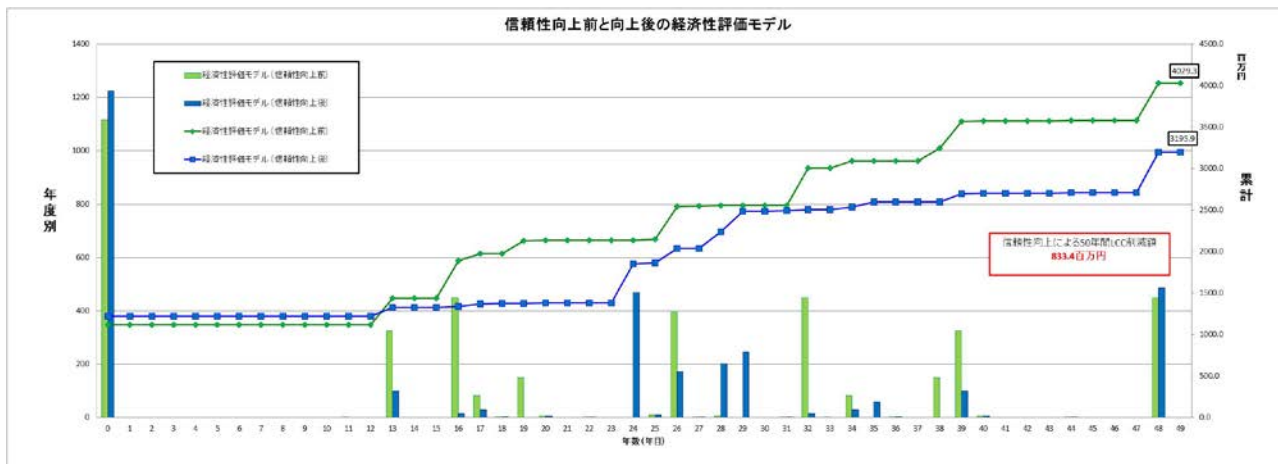


図-8 信頼性向上前と向上後の経済性比較

(2) 社会影響度による経済性評価手法

限られた予算の中で機械設備の整備優先度を検討するにあたっては、その設備が有する社会的影響度が重要な要素となる。この社会的影響度は、機械設備が機能低下した場合の逸失便益を代表値として評価することができるものとする。

そこで、道路管理用機械設備の社会影響度について検討した。なお、河川管理用機械設備については、設備が相互に関連する例があることから、「3. 2 複数施設を考慮した維持管理手法」において述べる。

1) 道路管理用機械設備の故障による影響事例

道路管理用機械設備のうち、道路排水設備、トンネル換気設備、消融雪設備の3設備を対象として、過去15年程度の間に、日本国内においてそれら設備の機能停止・能力不足等が道路交通または地域社会生活に対し影響を与えた主な事例に関し、新聞、インターネット等の公表資料を元に調査した結果は以下のとおりであった。

- 道路排水設備 : 17 事例
- トンネル換気設備 : 9 事例
- 消融雪設備 : 23 事例

上記の結果は、公表資料を基に、これらの設備が存在する場所を含む道路が、何らかの原因で通行止め等の措置を行った事例であり、明確に「機械設備の故障または機能不足等によるもの」と判断できた例はほとんどなかった。

なお、通行止め等の主な原因としては、以下のとおりであった。

- 道路排水設備 : 集中豪雨、ゲリラ豪雨
- トンネル換気設備 : 交通事故
- 消融雪設備 : 積雪・凍結、スリップ事故

2) 道路管理用機械設備が沿道及び地域社会生活に対して与える影響

事例調査では、公表資料を基にしたこともあり、道路管理用機械設備の故障が原因の事例はほとんど見つけられなかった。

しかし、道路管理用機械設備が故障した場合の最も大きな影響は、「道路の通行止め」と同等と考えられるため、調査事例を基にして沿道及び地域社会生活に対して与える影響について、道路排水設備を例とし表-21 のとおり整理した。

表-21 道路排水設備の故障による影響

事象	影響項目	事例	指標
冠水による通行止め	自動車交通の途絶による迂回	全事例	時間損失
	歩行者の途絶による迂回	全事例	
	迂回交通による周辺道路の混雑	全事例	
	物流交通(トラック)の途絶による迂回	01.東京都秩羅駅ガード下	時間損失 生産活動の停滞
	渋滞による環境負荷	全事例	環境負荷軽減
	緊急搬送時の迂回	07.岐阜県多治見市	人的損害額
	緊急対応車(警察・消防等)の迂回	11.愛知県新居浜市	車両等の物的被害額
	送迎車両(企業送迎等)の迂回	-	時間損失 生産活動の停滞
	送迎車両(スクールバス等)の迂回	13.広島県広島市安芸区 14.京都府向日市	時間損失
	生産活動の停滞	-	生産活動の停滞
消費活動の停滞(世帯の孤立)	-	消費活動の停滞	
冠水による車両の水没	車両の故障	02.福岡県北九州市 04.栃木県鹿沼市 06.東京都足立区 15.岐阜県可児市 16.愛媛県西条市	車両等の物的被害額
		04.栃木県鹿沼市 15.岐阜県可児市 16.愛媛県西条市	人的損害額 車両等の物的被害額
排水対応	排水コストの発生	全事例	作業経費の軽減
被害発生に対する不安	冠水発生やそれによる道路遮断への不安	-	不安感の増加

上記の影響について、計測可能性、定量評価の可能性、定性的な評価の別を表-22 のとおり整理した。

表-22 影響と評価内容

発現する効果	便益・定量・定性的評価の別	評価項目
1. 時間損失	便益評価	1-1 自動車の時間損失の軽減効果
		1-2 自動車の走行経費の軽減効果
		1-3 歩行者・自転車の時間損失の軽減効果
2. 人的損害額	便益評価	2-1 死亡事故人的損害額・負傷損害額の軽減効果
		2-2 救急搬送の遅延による死亡・負傷等の人的損失の軽減効果
3. 車両等の物的被害額	便益評価	3 故障・事故による物的損失額の軽減効果
4. 環境負荷軽減	便益評価	4 環境負荷軽減の軽減効果
5. 不安感の増加	便益評価	5 周辺住民の不安感の解消
		・利用者、住民の満足度向上
6. 作業経費の発生	便益評価	6 作業経費の軽減 ・設備を整備しない場合、冠水や積雪の除去費用が発生するが、設備整備によりこれら費用が必要となくなるため、この費用の減少を代替財として評価する。
		・便益計測方法は確立されていない。
7. 生産活動の停滞	定量評価	・定量的な評価方法として、被害額の積み上げによる効果の計測、経済波及効果の計測等の方法が考えられるが、規定の方法が確立されていない。
8. 消費活動の停滞	定量評価	

3) ケーススタディ

道路管理用機械設備の故障による影響を表す評価項目として適切な項目を選定するため、道路排水設備を例にケーススタディを実施した。

表-23 に、ケーススタディの結果（例）を示す。

表-23 ケーススタディ結果（例）

便益額		多治見市	和歌山市	北九州市
自動車	時間短縮便益	30.5	17.0	75.5
	走行経費減少便益	1.9	1.6	3.9
歩行者	歩行者の迂回解消便益	0.03	0.10	0.04
自転車	自転車の迂回解消便益	0.01	0.11	0.03
合計		32.5	18.8	79.7

便益増減率		多治見市	和歌山市	北九州市
自動車	時間短縮便益	84.0%	90.2%	85.1%
	走行経費減少便益	5.5%	8.5%	4.8%
歩行者	歩行者の迂回解消便益	0.08%	0.51%	0.06%
自転車	自転車の迂回解消便益	0.03%	0.6%	0.03%
合計		100.0%	100.0%	100.0%

影響評価項目の内訳をみると、自動車の移動時間短縮便益が 9 割以上を占め高いシェアを占める結果となった。

一方、歩行者、自転車交通量の迂回便益については、迂回路の設定として自動車利用と同様の条件を設定して試算を行ったが、結果、便益のオーダーとしてはシェア 1%にも満たず、大きなものとはならなかった。

これは、対象道路の交通量が冠水により迂回道路に転換することになるが、対象道路の交通量が各地区ともに日交通量 1 万台を超えているため、結果、迂回路の交通量が大幅に増加、混雑度が大幅に上昇し、旅行速度が低下することが大きく関係している。

以上の結果より、今後の排水設備の影響検討にあたっては、その影響の大きさから、自動車の時間短縮便益をベースに評価を行っていくことが考えられる。

3. 1. 4 実施体制の提案

前述のとおり信頼性評価手法や経済性評価手法について述べたが、これらを大小さまざまな設備全般に適用することは、労力または予算的にも困難な面がある。

このため、排水機場や堰等の特に重要度の高い施設を主として実施していくことが現実的である。

しかしながら、故障率や機器寿命といった基本的データが重要となることから、維持管理システムを活用し適宜これらの評価を行っていく体制が必要である。またあわせて、樋管ゲートのような中小規模設備については、故障情報が十分な状況とはいえないため、国土交通省のみならず地方自治体等の他の河川管理者の設備についても情報を共有していくことが重要となると考える。

3. 2 複数施設を考慮した維持管理手法

河Gマニュアル、河Pマニュアル等に基づく維持管理では、各施設の構成機器・部品毎の特性（致命・非致命）を踏まえ健全度（物理的耐用限界）を評価し、さらに使用条件・環境条件等の健全度に影響する設置条件の評価を加味し、総合的な整備・更新の優先度の評価を行うことになっている。

しかしながら、今後老朽化施設が増大していくと、同じ治水機能を有する設備においては、使用条件・環境条件や設備の大小という区分だけでは差別化が難しくなることが予想される。本質的には、個別設備の絶対的評価だけでなく、関連する施設群でその重要度を評価することができれば、さらに優先順位付けの根拠が明確になる。

本研究では、排水機場を中心とした河川の機械設備に関連する流域でグルーピングし、各々の機能の補完性を検討するとともに、機能が喪失した場合に毀損される便益の算定をもって、社会への影響度のある程度定量的に評価する手法を検討・提案した。

3. 2. 1 評価フロー

河川Gマニュアル、河川Pマニュアルの運用における課題は、大きく 2 点推察される。

- ① 確度の高い信頼性評価の具体的な方法が未確立。
- ② 管理レベルの評価を行うと、治水設備についての差異がつきにくい。

上記①については、点検情報等を基にした評価手法として FTA と FMEA を提案しているが、別途研究においては振動解析手法、潤滑油の診断に基づく手法（SOAP 及びフェログラフィ）を提案しており、さらに他手法による診

断技術を研究しているところである。

今後の維持管理を取り巻く老朽化と予算縮減という環境を考慮すると上記②については非常に重要な課題となるため、管理レベルの判断指標の1つとして、各施設が有する便益（社会影響度）に着目した。

特に排水機場は、計画時にあるレベルの出水に対して排水能力が決定されているが、実際には計画点以外の運転ケースが多いと考えられる。例えば確率降雨強度 1/50 で計画されていても、毎年のように排水運転する機場は多く存在する。しかしながら、洪水から流域を守ったことによる便益を集計しているケースは少ない。この便益は、個々の施設の社会的必要性を示す大きな指標であることは明らかであり、立地環境などの定性的な判断指標に合わせることで、より信頼性の高い評価ができる。

また、ある流域でネットワークを構成している水路に複数の排水機場が設置されているケースは、平野部で見られものであり、比較的水路勾配が小さい。このような平野部にネットワーク型の水路がある場合は、一般的に人工水路を整備することによって治水利水に役立っているケースが多く、人口密集地帯や工業地帯が存在し、資

産額も大きい。さらに排水先は大きな河川であるケースが多く、本川の水位が一旦上昇すると、出水によっては流域の許容湛水位を下回るまで排水機場は稼働させる必要が出てくる。

さらには、各水路が繋がっており、なおかつ勾配が小さいことから、1つの機場の機能が低下しても、出水によっては他の機場が低下分を補完することも想定される。

このような考えから、複数の施設群で評価するモデルケースとして、次の条件を設定し、現場選定を行った。

- 流域の水路のうちいくつかの水路は繋がっている
- 水路の流末に排水機場及び本川(吐きだし先)からの逆流防止ゲートがある
- 水路勾配が小さい
- 流域が都市部または郊外住宅地

本モデルケースによって、実際の維持管理手法の改善や長寿命化計画（長期にわたる各施設の整備・更新計画）策定に活用する評価フローを図-9に示す。また、以下に各評価の概論を示す。

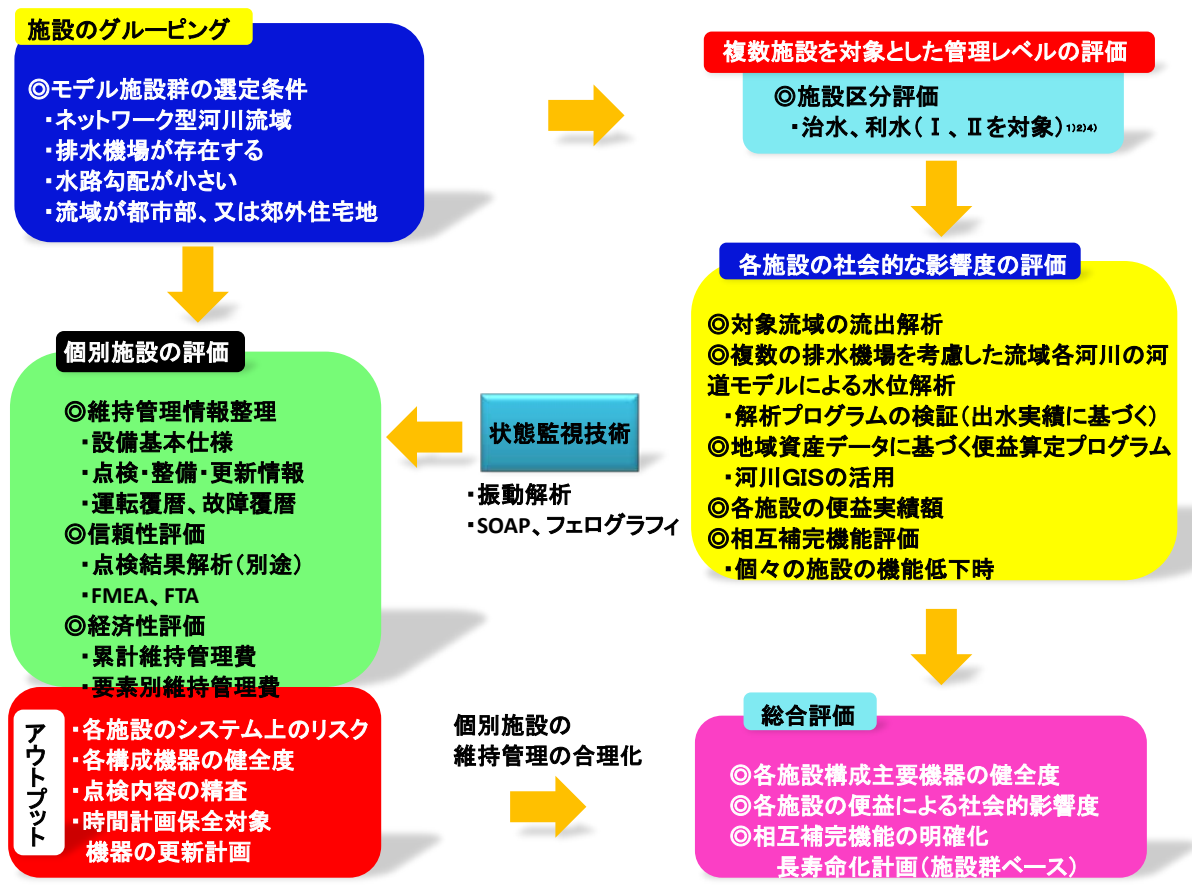


図-9 複数施設における評価フロー

## 1) 個別施設の評価

対象となる揚排水設備、ゲート設備（水門・樋管）の維持管理情報を集約する。集約した情報は信頼性評価及び健全度評価に活用するため、下記の内容が必要となる。

- ・設備台帳情報(工事完成図書情報を含む)
- ・運転情報
- ・故障履歴
- ・修繕更新情報
- ・経済性情報（建設費・維持修理費）

設備台帳情報や故障履歴からは、システム内容や故障事象の内容を把握することができるので、FMEA、FTA に活用できる。運転情報は、便益評価における基礎資料の1つとなる。修繕情報からは、将来的に構成機器の寿命算定を行うための基礎資料であるとともに、各施設の弱点や「くせ」を読み取ることができる。

経済性情報については、大きく建設費と維持修理費に区分し、維持修理費については建設時から年度を追って積み上げて集計していく。相対的な経済性評価を行うために、年単位で要する維持修理費を建設費に対する割合で示す累計年間維持修理費率を整理する。

累計年間維持修理費率は、以下のとおりとする。

$$\text{累計年間維持修理費率} = \frac{\text{当該年度までの維持修理費合計}}{\text{当該年度までの建設費} \times \text{維持管理年数}}$$

個別施設レベルの評価結果からは、次のアウトプットを得るよう実施する必要がある。

- ・各施設におけるシステム上のリスク抽出
- ・構成機器毎の健全度（劣化の度合い）
- ・定常的に実施していく点検内容の精査
- ・時間計画保全対象機器の更新計画

## 2) 複数施設を対象とした設備区分の評価

設備区分の評価は、その内容が河 G マニュアル等に規定があり、設備を設置目的で区分するものである。具体的には、洪水から流域を守る治水系の設備と、水理用に供する利水系の設備に区分する作業であり、本項については当該マニュアルに基づいて実施するものとする。

## 3) 各施設の社会的な影響度の評価

社会的な影響度の評価は、設備の機能が喪失した場合の社会へ与える影響度を評価する作業である。社会的影響度の評価については、施設の流域にある公共重要施設の有無や人口などの指標に加えて、便益を評価する。

実際に各施設が稼働したときの便益を計算するために、ネットワーク型水路における流域からの流出解析、水路の水位解析を行うソフトウェアとして「河川 GIS モデル」を構築した。詳細は後述するが、この河川 GIS モデルは、過去の出水事例における各施設の稼働状況及び水文データと照合・調整することにより精度を高め、各々の施設が機能を失った場合の内水側湛水状況を予測できるものである。この解析結果と地域の資産情報を重ね合わせることで、出水事例毎に施設がカバーした内水側湛水域の資産額を積み上げ、便益とすることができる。

また、排水機場については、河川 GIS モデルを用いて他の排水機場の補完機能があるかどうかを模擬的に検証することができるので、便益と合わせて補完機能の大小などの評価から、施設群の中における社会的な影響度を評価することができる。

## 4) 総合評価

個別施設の評価において、過去の維持管理情報から主要構成機器の更新時期実績を洗い出すことで、時間計画保全間隔の適正化を図るとともに、点検情報から得られる定量的な計測値の傾向管理と新しい状態監視保全技術による健全度評価を実施する。これによって、まずは構成機器レベルの劣化度合いを把握する。

## 3. 2. 2 モデル施設群の選定

## 1) 流域の選定

維持管理情報の提供を受ける国土交通省と協議の結果、モデル施設群の条件を満足する現場として、図-10 に示すネットワーク型水路を有する流域を選定した。

選定の根拠としては下記のとおりである。

- ・本川に合流する主に 4 本の支川（水路）がネットワークを構成している。
- ・4 本の水路の流末に排水機場及び逆流防止ゲートが設置されている。
- ・平野部にあり、水路勾配は緩やかである。
  - ・関東域内にあり、流域は商用地・宅地・工業地・農地などに活用されていて資産額が高い。

図-10 に示す範囲の流域面積は、約 51.4km<sup>2</sup>であり、図中の水路に記載のある数値は、計画流量(m<sup>3</sup>/s)である。

## 2) 施設と設備の概要

表-24~32 に、各水路に設置されている主な機械設備の基本仕様を示す。



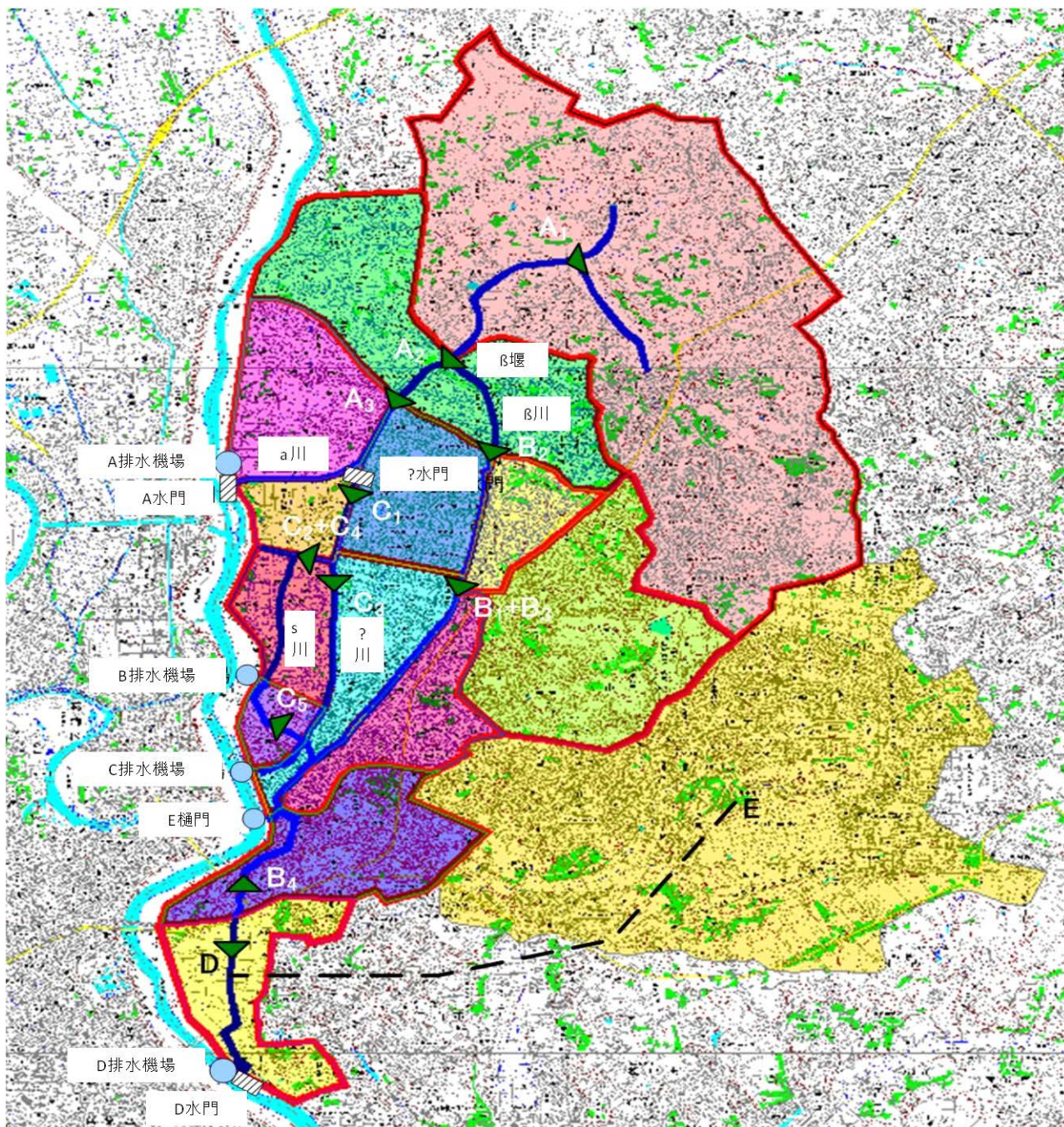


図-10 モデル流域図

表-24 A排水機場基本仕様

A排水機場	1、2号	3号
ポンプ形式	立軸斜流渦巻ポンプ (コンクリートケーシング)	
吐出量m <sup>3</sup> /秒	25	50
口径 mm	3300	4600
主原動機形式	ディーゼル機関	
主原動機出力 kw(PS)	1986 (2700)	4119 (5600)

表-25 B排水機場基本仕様

B排水機場	1、2号
ポンプ形式	立軸斜流ポンプ
吐出量m <sup>3</sup> /秒	7.5
口径 mm	1,800
主原動機形式	ディーゼル機関
主原動機出力 kw(PS)	530 (720)

表-26 C排水機場基本仕様

C排水機場	1、2号	3号
ポンプ形式	横軸斜流ポンプ	立軸斜流ポンプ
吐出量m <sup>3</sup> /秒	2.5	10
口径 mm	1000	2000
主原動機形式	ディーゼル機関	
主原動機出力 kw(PS)	147 (200)	920 (1250)

表-27 D排水機場基本仕様

D排水機場	1号	2、3号
ポンプ形式	立軸斜流ポンプ	立軸斜流ポンプ
吐出量m <sup>3</sup> /秒	4.5	4.5
口径 mm	2000	2000
主原動機形式	ディーゼル+電動機	ディーゼル機関
主原動機出力 kw(PS)	589+200 (800)	589 (800)

表-28 A水門基本仕様

A水門	鋼製ローラゲート	
純径間	19.100m	
扉高	13.760m	
門数	2	
敷高	Y.P.-1.800	
設計水位	外水側	内水側
case1	Y.P.9.460m	Y.P.1.000m
case2	Y.P.0.870m	Y.P.2.500m
操作水位	Y.P.2.416m	Y.P.3.416m
水密方式	外水側および内水側下部に対して前面三方ゴム水密	
巻上方式	電動(手動)巻上機ワイヤーロープによる片側巻き取り方式とし、手動装置にはユニハンドラーまたはオイルハンドラーが取付可能な構造	
揚程	10.860m	
操作方式	機側優先による中央操作	

表-29 β堰基本仕様

β堰	ゴム引布製起伏堰
門数	1
有効河床幅	8.9m
計画堰高	1.4m
法勾配	1:0.3(左右岸)
膨張方式	空気膨張式
給気方式	ロータリーブロー式
駆動方式	電動機駆動
膨張時間	15分以内
倒伏時間	15分以内

表-30 E樋門基本仕様

E樋門	鋼製スライドゲート
門数	3
純径間	2.5m(1門)、2.4m(2門)
扉高	4.275m(1門)、5.275m(2門)
水密方式	後面4方木材水密
開閉速度	0.3m/min
開閉装置方式	電動ラック方式(チェーン式カウンターウエイト付)
操作方法	機側押釦操作および遠方押釦操作
揚程	4m(1門)、5m(2門)

表-31 γ水門基本仕様

γ水門	溶接構造鋼製ローラゲート(小型水門)
門数	2門
純径間	6.0m
呑口高	3.8m
水密方式	後面両面4方ゴム水密
巻上方式	電動(手動)巻上機ワイヤーロープによる両側巻き取り方式
揚程	3.9m
巻上速度	0.3m/s(電動)
操作方法	機側優先による遠方操作
電動機	1.5KW 6p 1時間定格

表-32 D水門基本仕様

D水門	鋼製プレートゲータローラゲート	
門数	1門	
純径間	10.060m	
扉高	12.526m	
設計水深(外水側)	10.526m(Y.P.7.046)	
設計水深(内水側)	4.080m(Y.P.0.600)	
操作水深	開時	外水側 Y.P.2.400
		内水側 Y.P.3.400
	閉時	外水側 Y.P.3.400
		内水側 Y.P.2.400
水密方式	前面3方ゴム水密	
扉体天端	Y.P.+9.546	
扉体敷高	Y.P.-2.980	
	(地盤沈下後 Y.P.-3.480)	
開閉方式	ワイヤーロープウインチ方式	
開閉速度	0.3m/min(主モーター)0.1m/min(予備モーター)	
揚程	10.630m	
電源	200V 50Hz	
操作方式	機側操作および遠方操作	

2) モデル施設群の治水機能概要

図-11 に、モデル施設群流域の排水系統図を示す。モデル施設群流域は、近隣台地を水源とする流域面積は 51.4km<sup>2</sup> の河川であり、流域の大半は市街地化されている。

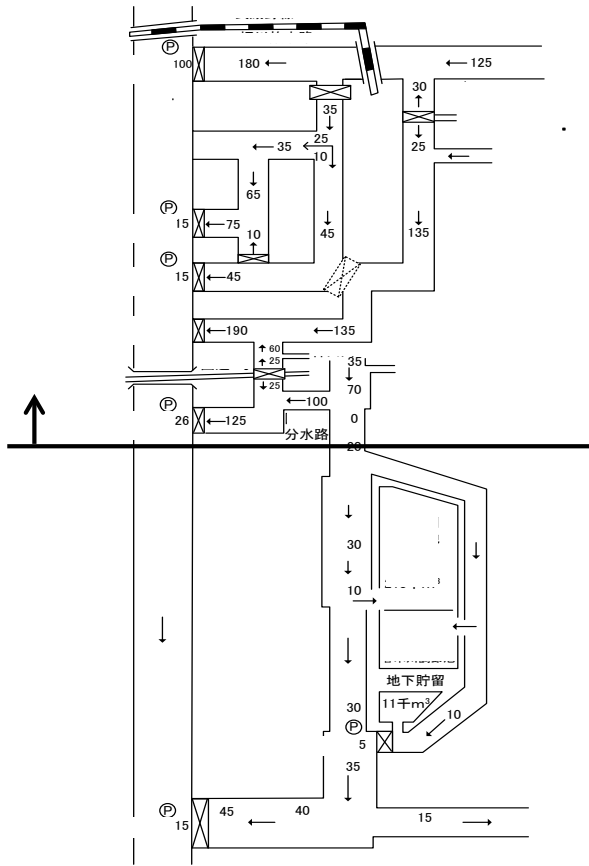


図-11 モデル施設群の排水系統図

昭和 40 年代後半において、流域の開発の進捗状況と比較し、現況のγ川の流下能力は極めて小さいうえ、市街地を通過することから、拡幅などの河道改修が難しい状況であった。また、流域の低平地部は古くから本川(α川が合流する大河川)の氾濫地域であったが、本川の河川改修事業に伴い、堤防が築造され、大々的な氾濫被害の防御が可能となった。一方で本川の水位上昇に伴うα川の自然排水阻害は免れず、内水流域へと変化した。

B 排水機場は、モデル施設群のうち最初に建設された。想定流域である地域は、β川およびγ川及び本川に囲まれた低平地である。α川は、γ川の放水路として昭和 50 年代前半に整備したもので、流末にモデル施設群の基幹施設である排水量 100m<sup>3</sup>/s の A 排水機場がある。

また、γ川とβ川の合流部から約 800mにわたって本川に合流する別水路の内水排除を受け持つ C 排水機場

は、昭和 36 年に 10m<sup>3</sup>/s の暫定排水量で運用し、平成 7 年より 15m<sup>3</sup>/s に増強された。

β川の流末には、排水量 26m<sup>3</sup>/s の D 排水機場が設置されている。当該排水機場には、β川以外にも、モデル施設群以外の流域から別途分水路が合流して排水しており、基幹排水機場となっている。A・B 排水機場は直轄管理、C・D 排水機場は流域の自治体管理である。

表-33 にモデル施設群エリアの流域面積と排水系統を示す。

表-33 流域面積

流域名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	地覆状況		排水系統
		市街化区域 (km <sup>2</sup> )	調整区域 (km <sup>2</sup> )	
A	28.3	19.9	8.4	A水門、A排水機場
B	12.8	12.0	0.8	γ川→E樋門
C	7.9	6.6	1.3	γ川、σ川→B排水機場、C排水機場
D	2.4	0.6	1.8	β川→D排水機場
計	51.4	39.1	12.3	

3) 点検整備情報・故障情報・経済性情報

表-24～32 に示す各機械設備について、点検整備情報、故障情報、経済性情報を個別に収集した。表-34 に示すとおり、建設後全ての情報を得られるわけではないので、得られた情報を基に定常的な点検費用などについては、実績に基づく帰納的な手法を用いた。情報収集及び解析については、「河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法」3)に基づいて実施するものとした。

これの収集した情報を基に、個別排水機場の FMEA 及び FTA による信頼性評価と、経済性評価を実施した。

表一34 収集した維持管理情報の概要

施設名称	運転記録																										
	S60年度 1985年	S61年度 1986年	S62年度 1987年	S63年度 1988年	H1年度 1989年	H2年度 1990年	H3年度 1991年	H4年度 1992年	H5年度 1993年	H6年度 1994年	H7年度 1995年	H8年度 1996年	H9年度 1997年	H10年度 1998年	H11年度 1999年	H12年度 2000年	H13年度 2001年	H14年度 2002年	H15年度 2003年	H16年度 2004年	H17年度 2005年	H18年度 2006年	H19年度 2007年	H20年度 2008年	H21年度 2009年	H22年度 2010年	
A排水機場																											
B排水機場																											
C排水機場																											
D排水機場																											
γ分派機場																											
β取水施設																											
σ排水機場																											
A水門																											
β堰																											
γ水門																											
δ排水涵管																											
E樋門																											
ε堰																											
D水門																											

施設名称	点検整備記録																										
	S60年度 1985年	S61年度 1986年	S62年度 1987年	S63年度 1988年	H1年度 1989年	H2年度 1990年	H3年度 1991年	H4年度 1992年	H5年度 1993年	H6年度 1994年	H7年度 1995年	H8年度 1996年	H9年度 1997年	H10年度 1998年	H11年度 1999年	H12年度 2000年	H13年度 2001年	H14年度 2002年	H15年度 2003年	H16年度 2004年	H17年度 2005年	H18年度 2006年	H19年度 2007年	H20年度 2008年	H21年度 2009年	H22年度 2010年	
A排水機場																											
B排水機場																											
C排水機場																											
D排水機場																											
γ分派機場																											
β取水施設																											
σ排水機場																											
A水門																											
β堰																											
γ水門																											
δ排水涵管																											
E樋門																											
ε堰																											
D水門																											

表

3. 2. 3 個別施設の信頼性解析

流域の排水を司るA～D排水機場の信頼性をシステム構成に基づき試算するため、各排水機場の FTA を実施した。表一35 に各排水機場 FTA 上重要な構成機器を示す。

「排水機能の低下」を頂上事象としたアンアベイラビリティを算定するものであるが、各基本事象の生起確率は、土木研究所が平成 13 年にまとめた構成機器の故障率データを採用した。

表一36 に各排水機場のアンアベイラビリティ算定結果を示す。また、A機場とB機場の FT 図（集計部）を図一12、13 に示す。

表一35 各排水機場 FTA 上重要な構成機器

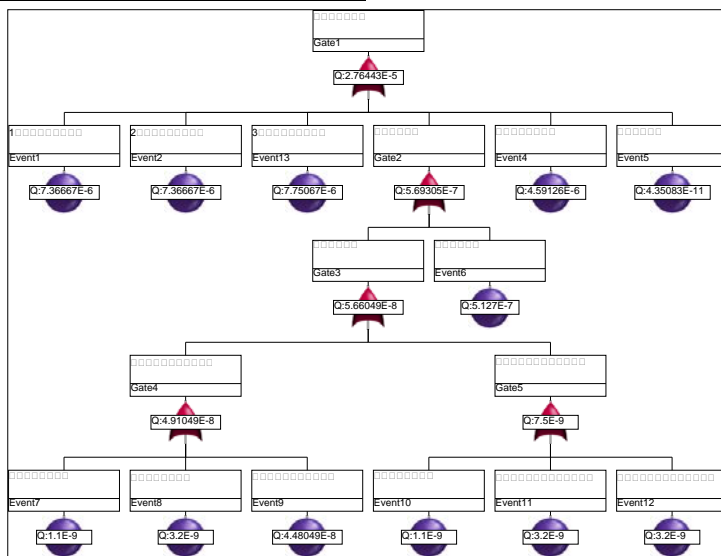
施設名	主ポンプ形式	台数	主原動機冷却方式	減速機冷却方式
A排水機場	立軸渦巻斜流	3	水槽内クーラ	水槽内クーラ
B排水機場	立軸斜流	2	管内クーラ	管内クーラ
C-1排水機場	横軸斜流	1	二次冷却	二次冷却
C-2排水機場	立軸斜流	2	管内クーラ	管内クーラ
D排水機場	立軸斜流	3	管内クーラ	管内クーラ

表一36 各排水機場のアンアベイラビリティ

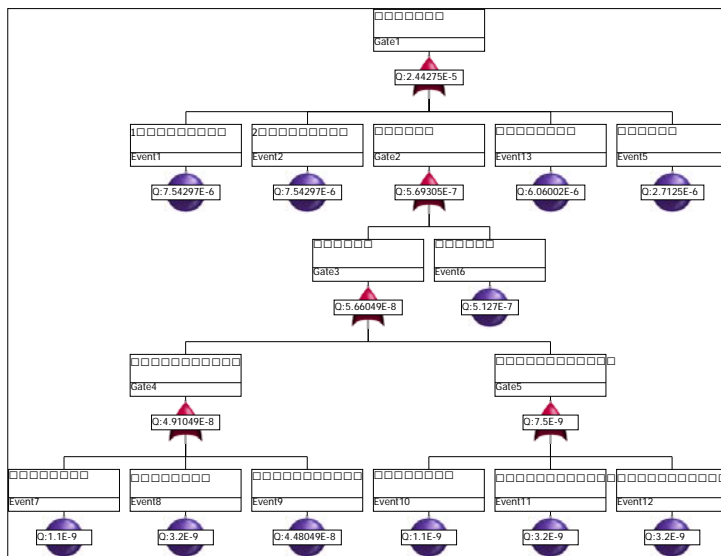
施設名	アンアベイラビリティ(1/h)	発生間隔(年)
A排水機場	$2.76 \times 10^{-5}$	4.1
B排水機場	$2.44 \times 10^{-5}$	4.7
C-1排水機場	$1.38 \times 10^{-5}$	8.3
C-2排水機場	$2.25 \times 10^{-5}$	5.1
D排水機場	$3.18 \times 10^{-5}$	3.6

排水機場の設計では主ポンプに予備機がないため、台数が多くなるほど、また、系統機器を含め致命的機器の個数が増えるほど全台稼働を前提とした排水機能の低下リスクは高まる。

現状のシステム構成において、各排水機場が計画上の排水量を確保できなくなる可能性は、D、A、B、C-2、C-1の順に高く、信頼性の高さはこの逆順になる。しかしながら、この評価は設備の劣化度合いを考慮していないため、健全度評価としては、点検結果や状態監視結果の解析を付加する必要がある。



図一12 A排水機場 FT 図



図一13 B排水機場 FT 図

### 3. 2. 5 設備群の信頼性評価

相互に関連する河川ポンプ設備群は、全体で1つの機能を有するものと捉えられるため、設備群の信頼性を各設備のFTAを総合したアンアベイラビリティを算出し評価する。

算出にあたって、次の2通りにより行い比較した。

- ①河川ポンプ設備群の排水機能低下をTOP 事象に置き、排水機場が1つでも機能を満足しない場合の確率を算出した。(図-14)
- ②相互の補完性を考慮した河川ポンプ設備群のFTAを作成し算出する。対象4施設を見るとA排水機場の排水能力が大きく、他の機場の排水量は13.5~15 m<sup>3</sup>/s となっている。河川ポンプ設備群として見た時に、B排水機場、C排水機場、D排水機場は補完可能であるが、A排水機場は排水能力が高いことから支配的になると推察しFTAの作成を行う。(図-15)

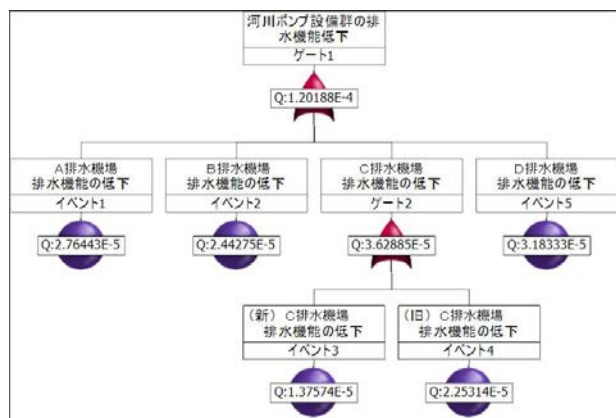


図-14 河川ポンプ設備群のFTA

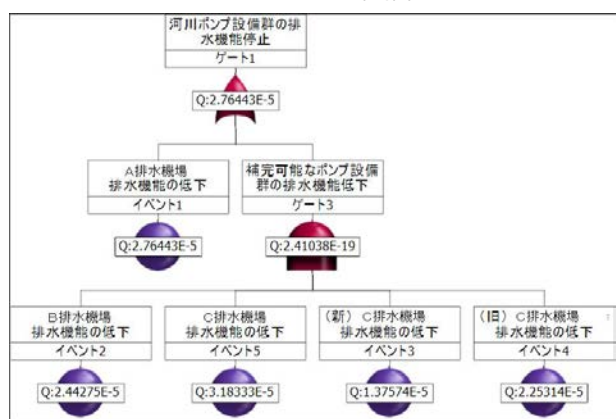


図-15 河川ポンプ設備群のFTA (補完性を考慮)

4施設とも、故障率は2.4~3.2E-5 辺りの数値であり、約4年~3年間隔で故障が起きる故障率になっている。上記2通りの算出結果を表-37に示す。

表-37 河川ポンプ設備群のアンアベイラビリティ算定結果表

No	施設名	アンアベイラビリティ (1/h)	発生間隔 (年)	備考
①	河川ポンプ設備群	1.20188 × 10 <sup>-4</sup>	0.9	1つでも機能を満足しない
②	河川ポンプ設備群 (補完性考慮)	2.76443 × 10 <sup>-5</sup>	4.1	補完性を考慮した河川ポンプ設備群FTA

河川ポンプ設備群として、ポンプ設備1つでも機能を満足しない時に河川ポンプ設備群の排水機能低下とした場合、故障の発生間隔0.9年、約1年で河川ポンプ設備群の排水機能低下となるという結果になった。

補完性を考慮した河川ポンプ設備群のFTAの結果、A排水機場が支配的になっていることからA排水機場のアンアベイラビリティと同じ値となり、A排水機場が重要な施設と評価できる。

### 3. 2. 6 個別施設の経済性解析

表-34に示す収集データの範囲において算定したA~D各排水機場の累計年間維持修理費率を表-38に示す。

情報が収集できた範囲での解析であり、施設建設時からの全ての経費を盛り込むことは難しいため、維持管理情報から逆算できるデータなども含め、維持管理費を計上できた対象期間を供用年数として示した。

これまでの解析で、施設の規模が大きいほど建設費に対する維持修理費の比率は小さくなる傾向がある。

また、維持修繕費のうち、主ポンプ、減速機、主原動機などの大型機器を分解整備する費用の占める割合が高く、これを実施すると累計年間維持修繕費率も上昇するが、特にこの傾向は総排水量100m<sup>3</sup>/s以下の排水機場で顕著になる。これまで、大型機器の分解整備はA・B機場では実施されているが、C-1・D機場では実施されていないため、経費の傾向に違いが生じている。

今後、C-1及びD機場においても、分解整備を実施すると累計年間維持修理費率は上昇し、供用年数が長くなると同規模であるB排水機場と同等レベルになる可能性がある。

表-38 累計年間維持修理費率

施設名	累計年間維持修理費率(%)	対象供用年数
A排水機場	0.3	26
B排水機場	2.1	33
C-1排水機場	0.8	15
D排水機場	0.7	15

### 3. 2. 7 水門・水理プログラムの構築

本研究では、流域にある排水機場を中心とする施設群の便益を評価するための水文・水理プログラムとしてネ

ットワーク型河川GISモデル（以下、「河川GISモデル」という）を作成した。図-16 に構築フローを示す。

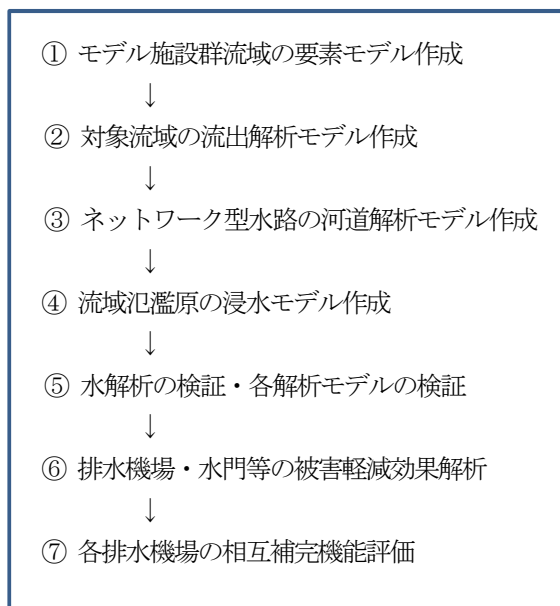


図-16 プログラム構築フロー

図-11 に示す流域の各水路、排水機場、水門等の配置を考慮し、流域の水文・水理解析用要素モデルを作成する。

次に、降雨に対する各水路への流出解析モデルを作成するとともに、水路への流出量を基に、ネットワークを形成している各水路の水位勾配を解析するモデルを構築する。

次に、排水機場が本川へ排水することによって得られる便益を評価するため、氾濫原の浸水モデルを作成する。

この段階で、実際に過去に発生した出水時の水文データによる各解析モデルの検証を実施する。

検証によって調整された解析モデルを用いて、排水機場や水門の機能が喪失した場合の浸水区域の拡大を評価するとともに、1つの機場の排水機能が他の排水能力を補完することができるか評価する。

また、解析結果を用い、GIS機能によって地域の資産情報と連結動作させ、便益算定を行う。

### 1) 河川GISモデルの条件

河川GISモデルの構築条件を整理すると下記のとおりである。

- ・使用するソフトウェアの改良を自由にできること。
- ・モデル施設群の解析結果を基に、他の施設群へ応用が可能となること

- ・将来的な拡張機能の増強が可能であること

河川管理に用いる水文・水理プログラムは、管理区間の土木構造や施設構成に合わせて作成するが、その作業は建設コンサルタント等が実施するのが一般的である。当該プログラムの著作権は管理者が有していても、ソフトウェアのソースは変更できないため、実質的に管理者側で調整や変更を行うことが難しい。

よって、本研究ではモデル施設群における適用性を確認したのちに、機械設備維持管理への普及を考慮して前述の条件を明確化した。

その条件に対し、最も活用効果が高い解析プログラムを検討した結果、CommonMPを採用することとした。

CommonMPとは、水文・水理などの複合現象を解析するために、異なった機能を有する要素モデルを一体的に協調・稼働させるためのプラットフォームである。特徴として、必要となる要素モデルを組み合わせることによって、容易にシミュレーションモデルを構築・実行できることである。現在、国土交通省・国土技術政策総合研究所・土木学会・建設コンサルタンツ協会・全国上下水道コンサルタント協会が連携し、技術開発・普及を推進しているものであり、GIS機能とも連携させてソフトウェアを作り込みできることから、流域資産の評価など拡張性が高い。

### 2) 要素モデルの作成

CommonMPにおける要素モデルは「要素モデル開発要求書」の規約に基づき作成する必要がある、これによって要素モデル間のデータ入出力が可能となる。河川GISモデルにおける要素モデルの作成にあたり、各要素モデルに必要な主な機能を表-39に示す。このうち既存要素モデルにない要素モデルを作成した。

表-39 各要素モデルの主な機能

要素モデル名	主な機能
一次元不定流	①河道内の水面形(水位・流量)の追跡が可能である。 ②上下流の区別が無く河道内の流向が1方向に限定されない機能。 ③複数河川の分派と合流が可能である。 ④設備要素モデル(水門、排水機場、堰)が接続できる。 ⑤越水・破堤モデルが接続できる。
Niim 氾濫解析	①氾濫源における浸水深の追跡。 ②河道破堤地点と氾濫源の接続関係の指示。 ③氾濫源の接続地点の水位の出力。
越水・破堤	①越水と破堤の選択。 ②横越流時及び正面越流時の越流量の算出。 ③破堤開始と破堤幅。
排水機場	①一定量の排水の設定。 ②内水位・外水位によって、排水開始と停止を制御する設定。
水門	①水門からの流量を算出(潜り流出、中間流出、自由流出)。 ②上流側水位・下流側水位によって、水門の開閉を制御する設定。 ③水門の河床高の設定。
可動堰	①越流公式による越流量の算出。 ②上流側及び下流側水位によって敷高を制御する設定。

(1) 1次元不定流モデル

一次元不定流モデルは、河道の水位と流量の値を算出できるものとし、また、河道における水の流れが上流から下流の順流の時だけでなく、排水ポンプの機能が喪失した場合などに発生することが考えられる逆流（下流から上流）も想定して対応可能なモデルとした。

(2) 越水・破堤モデル

越水・破堤モデルは、横越流及び正面越流の両方に対応できるものとし、また、越水と破堤を選択できるものとした。ここで、越水と破堤の考え方については、「治水経済調査マニュアル（案）平成17年4月 国土交通省河川局」に基づいて作成するものとした。

(3) 排水機場モデル

排水機場要素モデルは、「内・外水位によって、放流の開始・停止を制御する設定」及び「一定量の放流の設定」機能を有するものとし、各ポンプの実際の諸元及び操作規則に準じて設定した。機能概念図を図-17に示す。排水機場に排水ポンプが複数台ある場合は、ポンプ1台に対して排水機場要素モデル1つを割付ける方法とした。

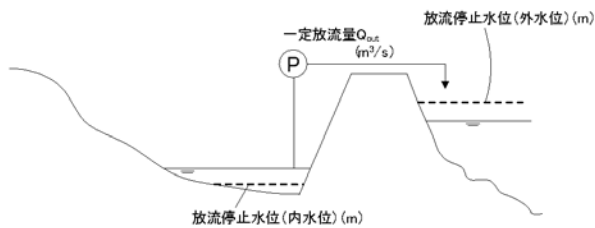


図-17 排水機場の機能概念図

プログラムフロー上は、内外水位と水門の開閉状態からポンプの稼働状態を判定し、稼働中であれば入力で設定した一定流量を放流する。図-18に他の要素モデルとの接続概念図を示す。

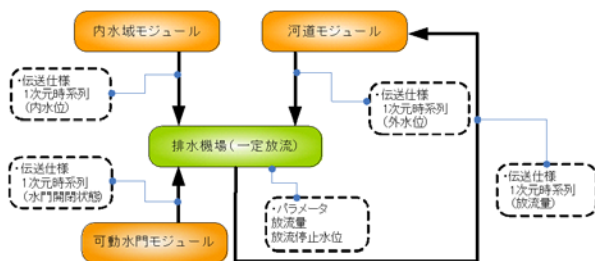
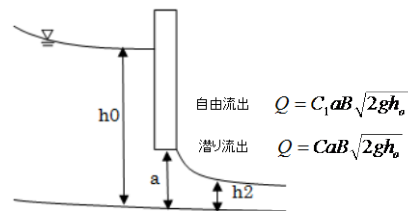


図-18 排水機場要素モデル接続概念図

(4) 水門モデル

水門モデルは、水門からの流出量の算出と、内外水位によって水門の高さを制御する機能を有するものとし、実際の設備諸元と操作規則に準じて設定した。モデルの概念図を、図-19に示す。流量計算については、自由流出と潜り流出の2パターンの基礎式に対応するものとした。7)

プログラムフロー上は、水位から水門の開閉状態を判定し、水門が開状態かつ半開であれば基礎式より流出量を算出する。ただし、全開の場合は下流端流量を流出量として処理するものとした。図-20に、水門要素モデルと他のモデルとの接続概念を示す。



Q: 流出量(m³/s) a: ゲートの開き高さ(m) B: 流出幅(m) h0: 上流水深(m)  
 C: 流出係数(自由流出)  
 C1: 流出係数(潜り流出) h2: 下流水深 h2 aによって与えられる係数

図-19 水門の機能概念図

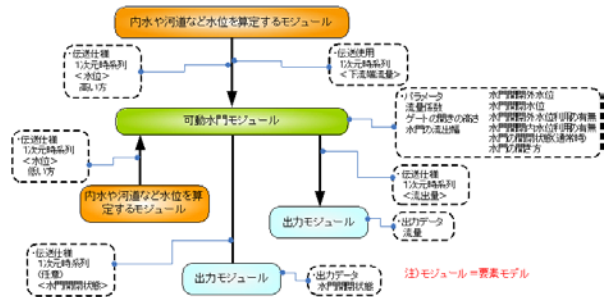


図-20 水門要素モデル接続概念図

(5) 堰モデル

水路に設置された堰（起伏堰）については、越流公式によって流量を算定するものとするが、出水時に堰下流川の水位が堰構造物の上端を超えるケースも想定できるよう、完全越流だけでなく潜り越流も想定した。堰高は、上下流水位によって制御する設定とした。図-21に堰の機能の概念図を示す。

プログラムフロー上は、堰上下流の水位から堰の倒伏状態を判定し、起立状態であるときは越流公式により流量を算定し、倒伏しているときは下流端流量を出力値とした。図-22に他要素との接続概念を示す。



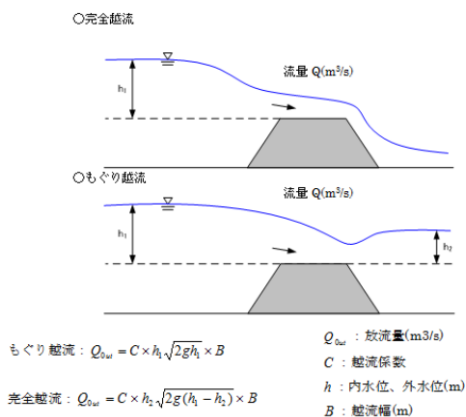


図-21 堰の機能概念図



図-22 堰要素モデル接続概念図

3) ネットワーク型河川GISモデルの作成

ネットワーク型河川モデルは、図-10 に示した実際の河川の流域に基づいて、作成した1次元不定流要素モデル、水門要素モデル、堰要素モデル及び排水機場要素モデルを組み合わせることでネットワーク型河川モデルを作成した。作成したネットワーク型河川モデルを図-23 に示す。表-40 に排水機場の主要諸元を示す。

表-40 排水機場主要諸元

排水機場名	A		B		C		D	
排水ポンプ号機	1, 2	3	1, 2	1, 2	3	1	2, 3	
排水ポンプ	吐出量 ( $m^3/秒$ )	25	50	7.5	2.5	10	8.7	8.7
	口径 (mm)	3,300	4,600	1,800	1,000	2,000	2,000	2,000
主原動機	出力 (PS)	2,700	5,600	720	200	1,250	800	800
	形式	ディーゼル機関					ディーゼル機関 + 電動機	ディーゼル機関

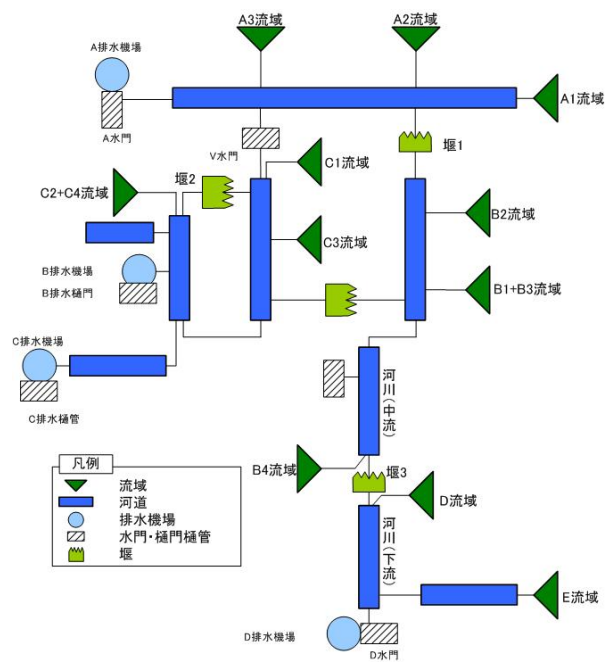


図-23 ネットワーク型河川モデル図

4) 氾濫モデルの作成

要素モデルを組み合わせることで構築したネットワーク型河川モデルと2次元不定流はん濫解析モデルを組み合わせ、流域における河道からの越水はん濫のシミュレーションを行った。ここで、はん濫域はCommonMP-GISを使用した。

(1)はん濫範囲の設定

はん濫計算を実施するにあたり予め想定されるはん濫範囲を設定する必要があるため、図-24 に示すはん濫範囲を設定した。

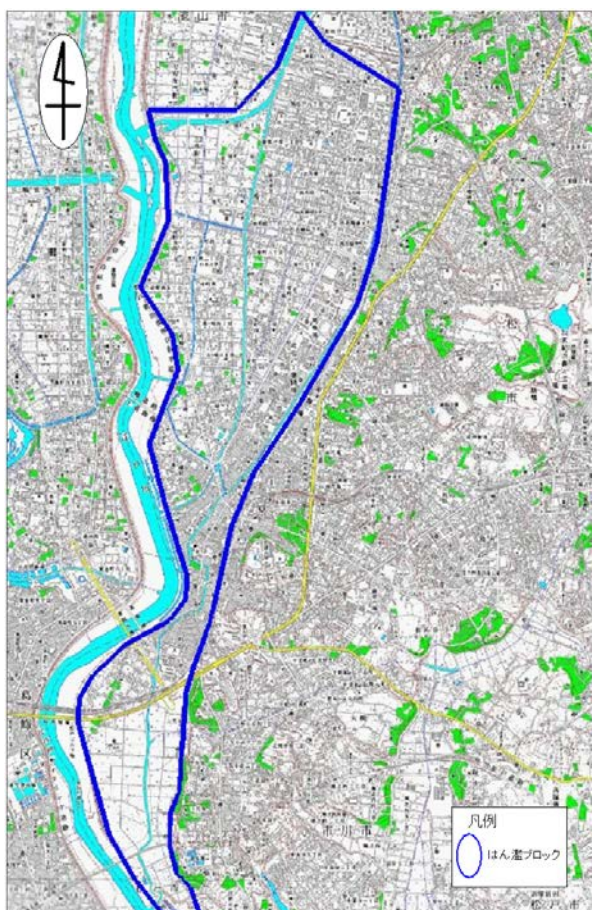


図-24 設定した氾濫範囲

### (2) 地盤メッシュデータの作成

はん濫計算を行うために、はん濫メッシュデータを作成した。メッシュデータの大きさは、50m×50m（標準地域メッシュで定めている3次メッシュの各辺を20分割したもの）とした（以後、50mメッシュと記す）。メッシュ範囲は2次メッシュ範囲とした。地盤高は、国土交通省国土地理院より提供されている基盤地図情報数値標高モデルの5mメッシュデータ（標高）を元に、50mメッシュに合わせて変換したものを利用し、粗度係数は、はん濫計算範囲は標高差が小さく高速流が発生しづらいことを考慮し、氾濫シミュレーションマニュアル(案)（土木研究所資料 平成8年2月）に基づいて、一律0.05とした。4)

### (3) はん濫メッシュの作成

CommonMP-GIS上に地盤メッシュデータを用いて50m形式のはん濫メッシュを作成した。使用したデータを次に示す。

- ・メッシュ内座標
- ・地盤高さ
- ・粗度係数 (=0.05)

- ・メッシュ左下及び右上の緯度及び経度
- ・縦、横方向のメッシュ個数

※粗度係数は対象地域が低地で高速流が発生しないことから、氾濫シミュレーションマニュアル(案)に基づいた。

### 4) はん濫モデルの構築

はん濫モデルは、NILIM 氾濫解析モデルに作成したはん濫メッシュを組み込み構築した。作成した CommonMP プロジェクト図を図-25に示す。

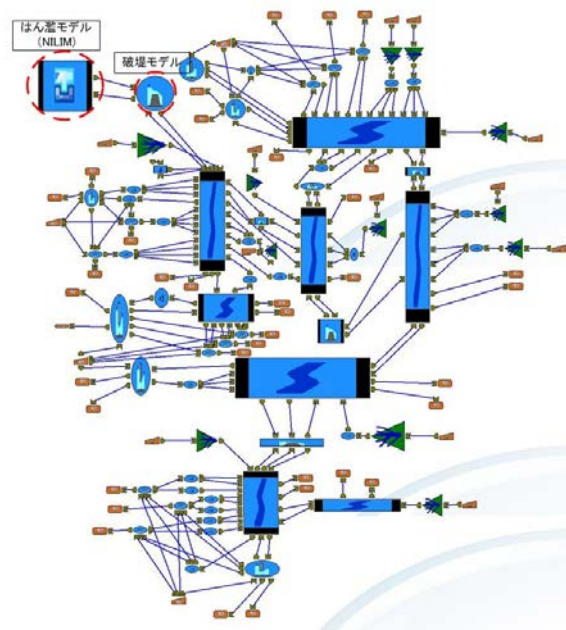


図-25 CommonMP プロジェクト

### 5) モデルの精度確認

#### (1) 精度の確認

シミュレーションで算出された値の精度は、観測地点でデータが揃っており分合流の影響の少ない1地点において、実際に現場で測定された値と比較して確認した。排水機場についてはデータが揃っている排水機場で、流量はデータが得られた河川でそれぞれ確認した。

#### (2) 流量精度の確認とパラメータの設定

精度の検証は、まず始めに流量について実績流量と計算流量を比較し、その結果に基づいて流域パラメータである1次流出率を推定・調整した。その後に水位及び流向を比較する手順で実施した。

流量を検証した結果、計算結果が大きく振動する傾向が見られた。位相は概ね揃っており、また、計算流量と実績流量の比較により、概して降雨に対する流出傾向は再現出来ているとした。流域定数の1次流出率を調整し、流域全体で0.5とした。



7) 社会影響度評価 (氾濫による被害想定算出)

作成したはん濫モデルによるシミュレーション結果より、浸水深及び浸水メッシュ数を算定した。被害算出は、「治水経済調査マニュアル (案) (平成 17 年 4 月)」に準じて、対象となる資産項目ごとに資産数を調査し、調査対象資産をそれぞれ 50m メッシュ形式に整理することにより浸水メッシュ数より求めることとした。

5)

なお、家屋、家庭用品、事業所償却在庫資産及び農漁家償却在庫資産については階数分布を考慮した。被害の算出基準となる各種単価は「治水経済調査マニュアル (案) 各種単価及びデフレクター (平成 25 年 2 月 国土交通省)」に基づいて設定した。6)

その結果、シミュレーション対象期間が平成 16 年 10 月 8~11 日の時において、A排水機場の 3 台全ての排水ポンプの排水機能が喪失した場合 (検討ケース H16①-1-4 : 図-27) と 2 号ポンプ (25m<sup>3</sup>/s) 1 台のみ稼働していた場合 (検討ケース H16①-1-3 : 図-26) のシミュレーション結果を比較すると、表-44 より床下及び床上を合わせた浸水面積比で約 48 倍、面積で約 199 万m<sup>2</sup>程度、表-45 より浸水による被害では約 160 倍程度の差が生じることなども分かる。

また、図-22 の V 水門を操作のルールとは別に開門状態とした場合 (検討ケース H16①-1-4 (V 水門開) : 図-28) と操作ルール通り操作した場合 (検討ケース H16①-1-4 : 図-27) を比較すると、浸水箇所を示す青色のメッシュ数が減り、被害算定結果の数値も相当小さくなるのがわかる。ただし、この結果の内容は、雨域の降雨分布や降雨量により変わってくるのが容易に想定される。

今回は社会的影響度の評価手法の開発に重点をおいているため、実際に観測された 3 つの期間のデータに基づいた場合について検討した。この社会的影響度の評価にある程度の目処がつけば、いろいろな条件の降雨による社会的影響度をシミュレーションすることにより、受ける影響度の降雨による差の有無や大小をある程度把握することも可能であると思われる。

表-44 氾濫による浸水メッシュ数の比較

検討ケース番号	メッシュ数					
	はん濫無し	床下浸水	床上			
			50cm以下	50-100cm	100-150cm	150cm以上
H13-1-4	39,635	319	46	0	0	0
H16①-1-3	39,983	17	0	0	0	0
H16①-1-4	39,187	648	165	0	0	0
H16①-1-4 (V水門開)	39,938	49	13	0	0	0

表-45 被害算定結果 (参考)

	H16①-1-3	H16①-1-4	H16①-1-4 (V水門開時)
直接被害			
一般被害計	69.6	14,239.5	19.4
農作物被害(水稲)	0.0	0.2	2.5
農作物被害(畑作)	0.0	2.7	0.0
公共土木被害	117.8	24,121.7	32.8
間接被害			
営業停止損失	15.0	824.3	3.8
清掃労働対価	15.3	683.1	0.5
代替活動等の出費	29.4	1,291.4	1.0
事務所代替活動	8.0	411.8	2.3
合計	255.1	41,574.7	62.3



図-26 はん濫計算結果(検討ケースH16①-1-3)

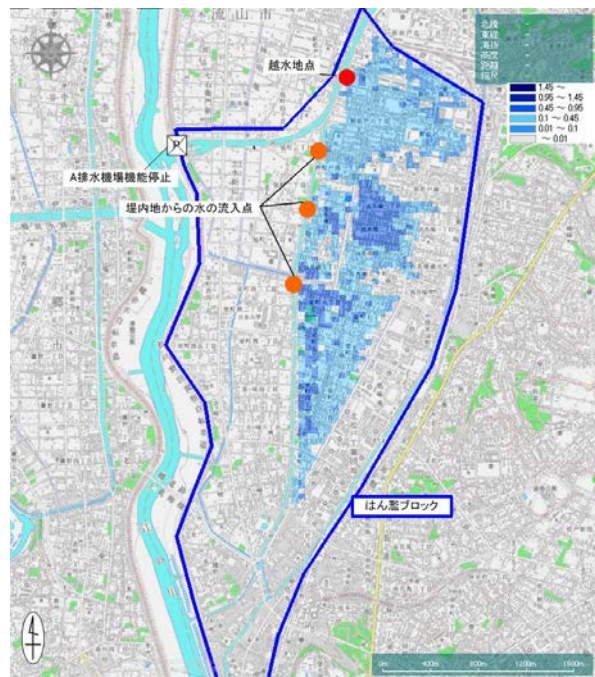


図-27 はん濫計算結果(検討ケースH16①-1-4)



図-28 はん濫計算結果  
(検サ-スH16①-1-4 V水門開時)

8) モデルの改良

モデルの課題と対応シミュレーション結果より、以下の課題が確認されたため、改良等の対応を図った。

- ・ 流量と水位の計算結果が不安定である
- ・ 要素モデルと河道モデルが複雑である
- ・ 他の流域で活用を促進させるため、操作性・汎用性を向上する必要がある

(1) 流量と水位の計算結果が不安定となる例

①課題となった事象

シミュレーション計算の結果、水門付近における大きな流量の変動(図-29)や排水機場の排水後に起きる大きな水位の変動(図-30)などが見られる。



図-29 流量の変動の例

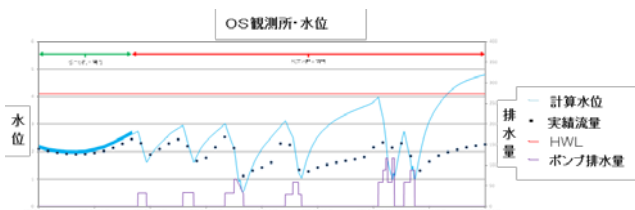


図-30 水位の変動の例

②発生要因

ネットワーク型河川GISモデルにおいて不安定な演算結果が出現する部分は、主に水門や排水機場などにより河道に横流入等の接続がある場合であり、その接続断面付近において流量の変動や水位の急激な上昇・下降などの水理特性として不自然な現象が起きていることが分かった。

計算結果が不安定になる要因としては、河道の流量・水位の数値計算方法、流域貯留関数におけるパラメータの設定、排水機場モデルや水門・堰モデルにおける施設諸元等の設定などの影響が考えられるが、これらのうち、一次元河道不定流モデルの数値計算方法の特性が河道の流量と水位の計算に最も大きく影響するため、数値計算方法を見直した。

③一次元河道不定流モデルの改良

建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編には、「差分法(陽形式あるいは陰形式)、特性曲線法を用いて数値計算により解くのが不定流計算の基本である」旨の記載がある7)。

一次元河道不定流モデルの数値計方法は、当初のモデルにおいては差分法を用いていたので、これを特性曲線法に変更した。特性曲線法はこれまでも実河川において適用実績が豊富な方法であり、本モデルにおける基礎式を参考までに以下に示す。

※基礎式(参考)

開水路流れの基礎式は以下のとおり要約される。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{dv}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = s_o - s_f \quad \dots \dots (1)$$

ここに、A：流水断面積

Q：流量

q：横流入量

θ：水路床と水平線のなす角

v：断面平均流速

h：水深

g：重力加速度

s<sub>o</sub>：水路勾配

$$s_f : \text{摩擦勾配} = s_f = n^2 v^2 / R^{4/3}$$

α, β：流速分布形による補正係数、

λ：圧力補正係数、である。

(2)式に次の全エネルギー水頭Ht

$$H_t = z + \lambda h \cos \theta + \frac{av^2}{2g} = H + \frac{av^2}{2g}$$

を導入すれば

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H_t}{\partial x} = -S_f \dots \dots \dots (3)$$

ここに、z：基準面から河床までの高さ、

$$H = z + \lambda h \cos \theta \quad \text{：水位}$$

(1)～(3)式によって構成される系は双曲型であるから、次のように特性曲線による表示に改められる。

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\pm} = \frac{\alpha+\beta}{2\beta} v \pm c \cong v \pm c \dots \dots (4)$$

④検証

一次元河道不定流モデルの数値計算方法を差分法から特性曲線法に変更したことによる河川GISモデルの妥当性を検証するため、前回同様に実際の出水時のデータを用いてシミュレーション計算を行うとともに、流域時留関数におけるパラメータの設定や排水機場モデル・水門モデル・堰モデル等における施設諸元等の設定などについて検証した。

特性曲線法に変更した一次元河道不定流モデルについて、河道モデルを直列接続した場合、二本の河道モデルが一本の河道モデルに接続する場合または一本の河道モデルが二本の河道モデルに分岐する場合、河道モデルに横流入がある場合の各々について仮想のハイドロケースを入力して計算した結果、正しく計算できることが分かり、特性曲線法においてもモデルが構築できることが確認できた。

この改良モデルを用い、課題であった不安定現象の発現について、表-41 に示した3ケースの実際の出水時のデータを用いて確認した。

その結果、水門付近における流量の変動は概ね解消された(図-31)。また、排水機場による排水後の急激な水位上昇は、昨年度までのモデルに比べて低減した(図-32)。

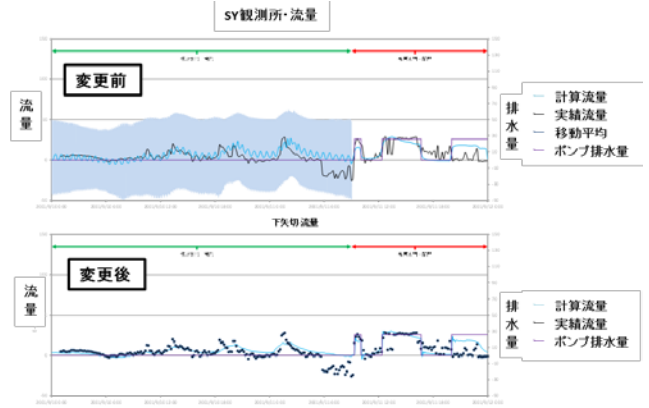


図-31 流量変動の低減例

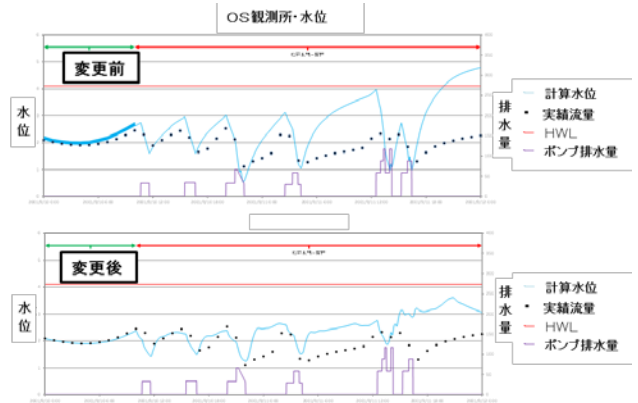


図-32 水位上昇の低減例

また、改善程度を確認するため、以下の指標に基づき比較した。

比較結果を表-46～表-48 に示す。

- ①最高水位における実績値と計算値の差(cm)
- ②ピーク流量における実績値と計算値の差(%)
- ③ピーク流量生起時刻の実績値と計算値の差 (min)

表-46 最高水位における実績値と計算値の差 (cm)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
沈砂池	209	-45	140	-46	197	-8
OS	224	-43	142	-38	199	-18
SM	115	-64	---	---	---	---
U	58	-20	-20	30	109	5
B(堤内)	138	20	-25	70	157	52
N	98	-27	-2	22	61	36
D内水位	156	27	10	-2	82	-8

表-47 ピーク流量における実績値と計算値の差 (%)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
Nトンネル	9	5	-1	-7	-11	-13

表-48 ピーク流量生起時刻の実績値と計算値の差 (min)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
Nトネル	50	40	30	-20	20	-10

代表観測所の実績値と計算値の比較結果より、最高水位の差及びピーク流量の生起時刻については大きく改善された。また、ピーク流量については改善部分があるが若干差が広がっている部分もあった。

なお、No.2出水時のU観測所、B(堤内)観測所及びN観測所の最高水位については改善後の方が実績値との差は広がっている。しかしながら、ピーク流量の生起時刻の差を見てみると、表-49のように大きく改善されている。シミュレーション計算では、最高水位の差だけでなく、出水波形やピーク流量生起時刻等も含め、総合的に精度が向上するようにパラメータ等の調整が必要である。

表-49 ピーク水位の生起時刻における実績値と計算値の差 (min)

観測所	No.2出水	
	変更前	変更後
U	240	20
B(堤内)	240	30
N	210	30

(2) 要素モデルと河道モデルが複雑な例

現状のモデルで河道に横流入を与える場合、要素モデル間に多数の接続線を設定しており、図-33 のとおりモデル設定が煩雑となっている。

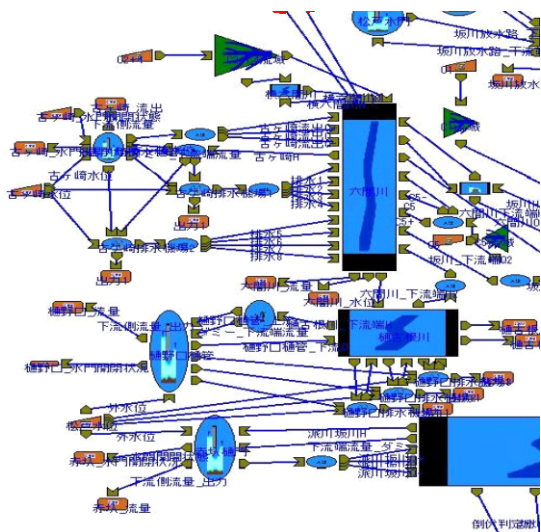


図-33 複雑な接続線の例

前述の一次元河道不定流モデルの改良に伴い、要素モ

デルの変更を実施した。変更点は以下のとおりである。  
(下記番号は図-34内の番号に対応)

- ①水位の振動を抑制し水面形を連続させるためにγ川-σ川間に堰モデルを設定していたが、一次元不定流モデルの改良により水位の振動が起らなくなったため省略した。(現実には堰は存在しないので実態に即した形になった)
- ②γ川とε川について、既往検討ではσ川およびβ川との合流により水面形が不連続となっていたため別の河道としてモデル化していたが、一次元不定流モデルの改良により水面形が連続するようになったため結合して1つの河道モデルとした。
- ③既往検討では水位の振動を抑えるため可動水門モデルの水門幅を小さく設定していたが、一次元不定流モデルの改良により振動が抑制されたため水門幅を実態に即して設定した(表-50)
- ④η川の上流で急激に河床勾配が変化し、水面形が不連続となる箇所があったため、水面形の連続性を維持するためにη川上流側の断面を一部削除し、モデル化する範囲を狭めた。
- ⑤既往検討では水位の振動を抑え水面形の連続性を維持するために、γ川及びγ川(中流)~γ川(下流)間の堰(堰1)の幅を小さく設定していたが、一次元不定流モデルの改良により水位の振動が抑制されたため幅を実態に即して設定した。(表-50)

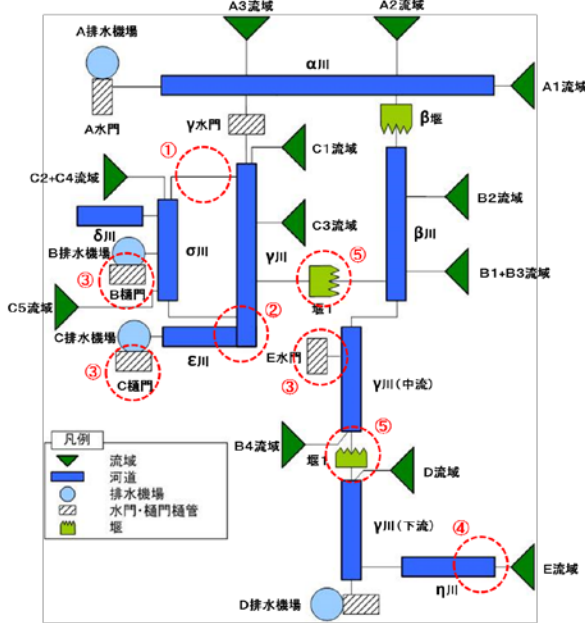


図-34 変更後のモデル図

表-50 水門・堰モデルの幅の設定

名称	変更前	変更後	備考
B樋門	1m	5.3m	実寸法
C樋門	2m	5.0m	実寸法
E樋門	1m	7.5m	実寸法
堰1	2m	20.0m	実寸法
γ川	1m	20.0m	実寸法

以上の一次元河道不定流モデルの改良及び要素モデルの設定等の変更により、モデル上での接続線の数を減らすことが可能になり、図-35 に示すのとおりモデルの構築を簡素化することができた。

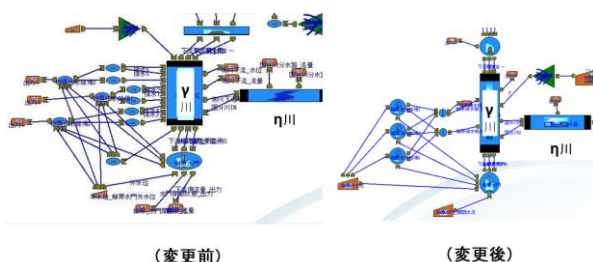


図-35 接続線の数の減少例（同一部分の比較）

(3) 操作性・汎用性の向上

河川 GIS モデルの操作性を向上するため、シミュレーションを実施する場合に必要ないずれかの雨量観測所において欠測となった場合に、近隣観測所雨量で補完する要素モデルを追加した。

また、河川 GIS モデルを様々な流域で活用する場合に、施設の機能として必要な要素モデル（引き上げ式の堰及びポンプ（可変排水量型））を追加した。

① 雨量観測所が欠測した場合の雨量の設定

既往モデルでは、「いずれかの雨量観測所において欠測となっている場合は、再度ティーセン分割を行って降雨を作成する」ことになるが、個々にティーセン分割をすることは作業の支障となるため、観測所雨量を入力データとして、CommonMP プロジェクト内で観測所雨量の欠測処理、流域平均雨量の作成、流域平均雨量を用いた演算を一括で行うことができるように以下の2つのモデルを作成した。

- ・流域平均雨量算出モデル：観測所雨量をもとに、ティーセン法により流域平均雨量を算出する（図-36）
- ・欠測補完モデル：いずれかの観測所が欠測となった場合に、近傍観測所雨量で補完。

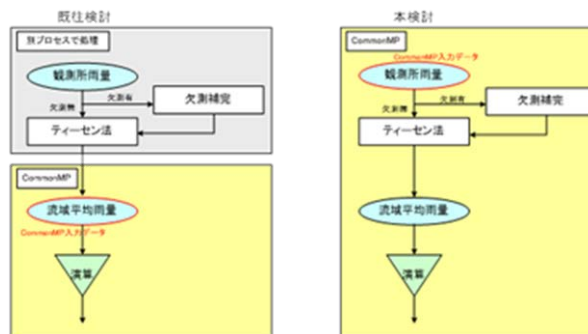


図-36 流域平均雨量の作成イメージ

流域平均雨量を算出する際にいずれかの観測所に欠測があった場合、最も近隣の観測所における観測値を欠測のあった観測所の観測値として用いることとした。

たとえば、図-37 において観測所 B が欠測の場合、最も近い観測所 A の観測値を用いる。

もし、観測所 A も欠測となっている場合、次に近い観測所 C の観測値を用いる。

表-51 に、観測所が欠測した場合の補完の順序を示す。

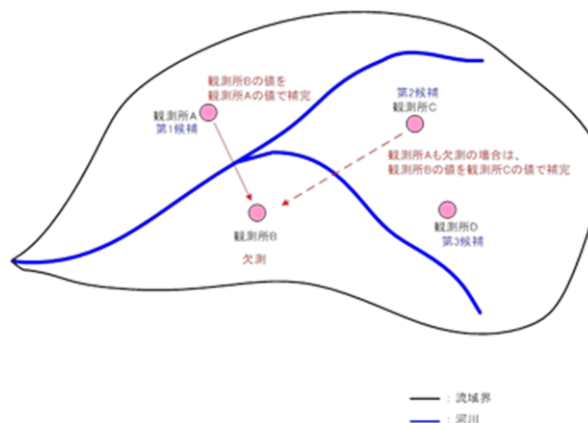


図-37 欠測補完のイメージ

表-51 欠測補完の順序

観測所No.	観測所名	優先順位			
		A	B	C	D
1	A	—	2	1	3
2	B	3	—	2	1
3	C	3	1	—	2
4	D	3	1	2	—

計算結果を、図-38～図-40 に示す。

観測所が欠測の場合に、適切に処理されていることがわかる。



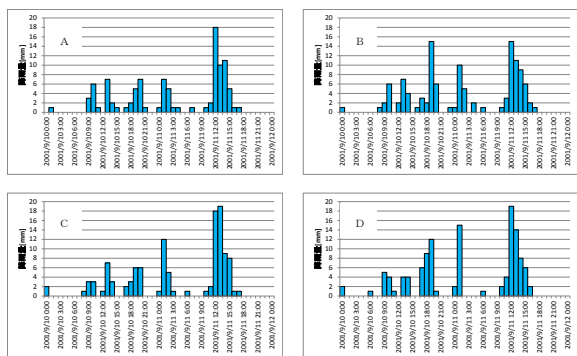


図-38 欠測なしの場合

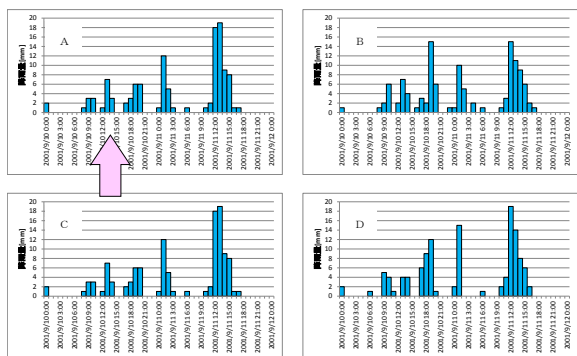


図-39 1カ所欠測の場合

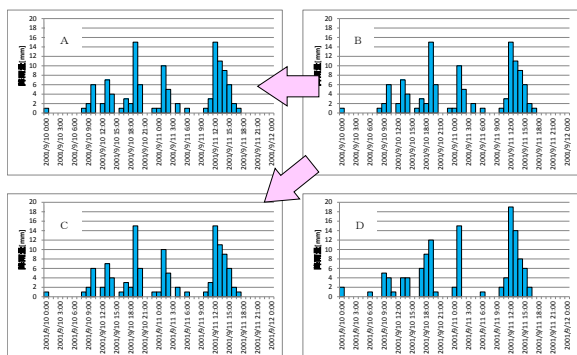


図-40 2カ所欠測の場合

① 引き上げ式の堰モデル

CommonMP 上で引き上げ式の堰を表現することのできる要素モデルの作成を行った。引き上げ式の堰の動作は以下のとおりとした。(図-41)

- ・平水時は堰が存在することにより上流側への堰上げが発生する。
- ・洪水時は堰が引き上げられることにより自由水面で流下する。

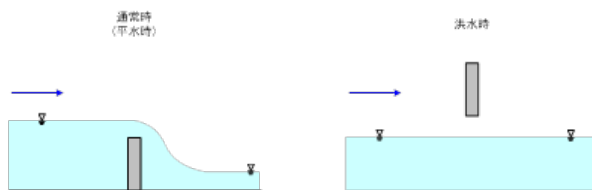


図-41 引き上げ式堰の動作イメージ

堰(引き上げ式)要素モデルの基礎式は、原則として「治水経済調査マニュアル(案)平成17年4月国土交通省河川局」に基づいて選定した。

通常時は、正面越流となるため、図-42に示すとおり本間の越流公式を用いる。

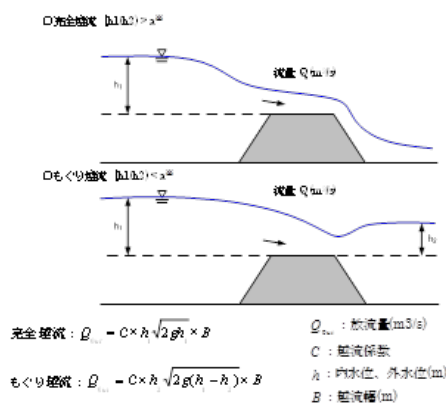


図-42 通常時

洪水時は、はん濫シミュレーションマニュアルに記載されている樋管・カルバートの式のうち、自由流出の式を用いる。(図-43及び表-52)

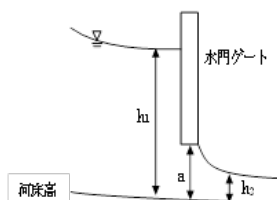


図-43 洪水時

表-52 計算式

No	水位の関係	計算式	流出係数 C
1	$h_2 \geq a$	潜り流出: $Q = C_1 a B \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$	0.75
2	$h_1 \geq \frac{3}{2}a$	中間流出: $Q = C_2 a B \sqrt{2gh_2}$	0.51
3	$h_2 < a$ $h_1 < \frac{3}{2}a$	自由流出: $Q = C B h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ ただし、 $\frac{h_1}{h_2} \geq \frac{3}{2}$ の場合は $h_2 = \frac{2}{3}h_1$ に置き換える	0.79

Q: 流出量(m<sup>3</sup>/s)、a: ゲートの開き高さ(m)、B: 流出幅(m)  
 $h_1$ : 高い方の水深(m)、 $h_2$ : 低い方の水深(m)  
 C: 流出係数(自由流出)、 $C_1$ : 流出係数(潜り流出)、  
 $C_2$ : 流出係数(中間流出)

引き上げ式堰の要素モデルの機能は図-44 のとおりである。

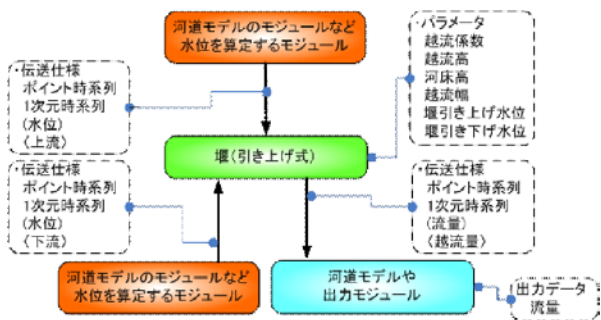


図-44 引き上げ式堰モデルの機能

③ポンプ (可変排水量型) モデル

CommonMP 上で可変排水量型のポンプを表現することのできる要素モデルの作成を行った。

排水ポンプ (可変排水量型) の動作は以下のとおりとした。(図 - 45)

なおポンプ稼働開始水位、ポンプ停止水位及び内外水位差に対する排水量は操作規則及びポンプ諸元に従うものとした。

- ・内水位がポンプ稼働開始水位を超過した場合、内外水位差に応じて排水を行う (ポンプ性能曲線による)。
- ・内水位あるいは外水位がポンプ停止水位に到達した場合、ポンプの運転を停止する。
- ・水門あるいは樋門・樋管と連動している箇所においては、水門あるいは樋門・樋管が閉じている状態においてのみ稼働を行う。
- ・可変翼排水機の場合については、翼角や回転数に応じて複数のポンプ性能曲線が存在する。

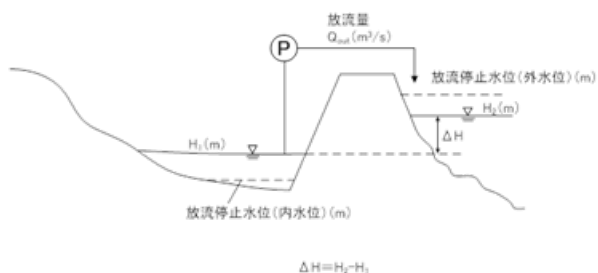


図-45 排水ポンプ (可変排水量型) の動作イメージ

なお、モデル化の際に考慮すべき事項として以下の事項を考慮した。

- ・可変翼ポンプ  
曲線を持つものがあるので、この場合、翼角による

排水量の制御については必ずしも明確にルール化されていないが、運用実績などをもとに内水位との対応などによってモデル上で再現できるように設定する。

・水門 (樋門・樋管) との連携

排水機場は水門 (または樋門・樋管) と同時に運用されていることがあり、その際には排水機場を稼働する際に水門 (または樋門・樋管) が閉門状態であることなどの条件が付されている場合がある。そのためモデル化の際には既往検討で作成した水門モデル等のモデルと連携できること。

ポンプ (可変排水量型) モデルの機能は図-46 のとおりである。

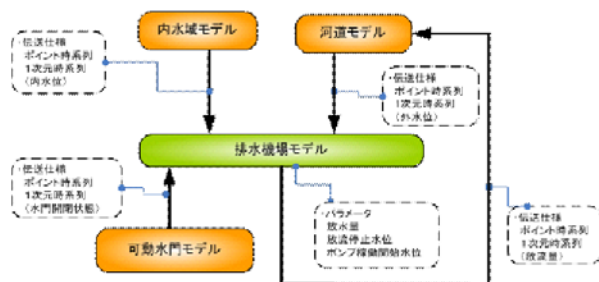


図-46 ポンプ (可変排水量型) モデルの機能

9) 相互補完性

(1) 相互補完性に基づく優先度

前述のとおり今回検討したモデルにおいて、各排水機場の補完性は認められるが、実際の出水時の雨量データを用いていることから各観測所雨量がまちまちであるため、相互補完性を定量的に把握することは困難である。

このため、各観測所の雨量を一定としてシミュレーションを行い、相互補完性を確認した。なお、このとき与えた雨量は、2004/10/08~10/11 の出水時におけるピーク流量が最大となる降雨とした。

また検討ケースとしては、それぞれの排水機場が機能停止に至った場合における他の排水機場の排水量を求めるものとした。(表-53, 54)

表-53 各ケースにおける排水量

CaseNo.	排水量[百万m3]				合計 [百万m3]
	A排水機場	B排水機場	C排水機場	D排水機場	
Case0	3.65	1.26	0.99	0.11	6.00
Case1	—	2.06	1.83	0.11	4.00
Case2	3.75	—	1.76	0.11	5.62
Case3	3.83	1.80	—	0.11	5.73
Case4	3.59	1.32	1.06	—	5.97

表-54 各ケースにおける排水量の変化割合

CaseNo.	排水量変化割合			
	A排水機場	B排水機場	C排水機場	D排水機場
Case0	-	-	-	-
Case1	-	+64%	+84%	+0%
Case2	+3%	-	+77%	+0%
Case3	+5%	+43%	-	+0%
Case4	-2%	+5%	+7%	-

上表の結果から、各ケース毎に以下が推察される。

- Case 1 : A排水機場が機能停止した場合、B及びC排水機場である程度補完されるが、総排水量としては70%程度となる。これは $\gamma$ 川放水路から氾濫し、堤内地に多くの氾濫水が貯留されるためと考えられる。
- Case 2 : B排水機場が機能停止した場合、A及びC排水機場で補完することにより、総排水量としては90%強となる。特にC排水機場の排水量の増加はCase 0（全機場運転時）に対し70%以上増の排水運転となっている。
- Case 3 : C排水機場が機能停止した場合、A及びB排水機場で補完することにより、総排水量としては90%強となる。B排水機場の排水量の増加はCase 0（全機場運転時）に対し40%以上増の排水運転となっている。
- Case 4 : D排水機場が機能停止した場合、B及びC排水機場で排水量がやや増加する。他のケースと比較して排水量の補完が小さいのは、D水門の開門時間が長いこと、D排水機場における機能停止の影響をこの水門からの排水で補完しているためと考えられる。

以上の結果から、各排水機場の相互補完性を総括すると表-55のとおり整理される。

表-55 相互補完性

排水機場名	相互補完性	優先度判定
A排水機場	・機能停止した場合、他の排水機場での補完は十分受けられない ・他の排水機場への補完性はそれほど高くない	1
B排水機場	・機能停止した場合、主にC排水機場により補完される(約70%増の排水運転) ・他の排水機場への補完性は高い	3
C排水機場	・機能停止した場合、主にB排水機場により補完される(約40%増の排水運転) ・他の排水機場への補完性は高い	2
D排水機場	・機能停止した場合、他の排水機場によりほぼ補完される ・他の排水機場への補完性は低い	4

なお、これらのケースにおいて、排水能力が他と比較して相当大きいA排水機場の補完の割合3~5%程度と小さい結果となった原因として、以下の理由が考えられ

る。

- ・ A排水機場の操作規則によるもの

各排水機場は、排水機場が接続している地点の水位が運転停止水位になると運転を停止し、その後再度運転開始水位になると運転を再開する。運転開始水位は表に示すとおりA排水機場が2.5Y.P.mであるのに対し、B及びC排水機場は2.2Y.P.mである。このため、B及びC排水機場の運転時間が長くなり、これにより水位の上昇速度が低下するため、A排水機場の運転時間が短くなる。

- ・  $\gamma$ 水門の影響

A排水機場による $\gamma$ 川放水路の水位が低下した場合、 $\gamma$ 川及び $\sigma$ 川の水は水門（ $\gamma$ 川放水路から $\gamma$ 川への逆流を防止する水門）を通じて、 $\gamma$ 川放水路に流入する。 $\gamma$ 川放水路の操作規則では、通常は閉門状態にあり、 $\gamma$ 川側の水位が2.7Y.P.mを超過した場合に開門し、 $\gamma$ 川放水路へ排水することとなっている。しかし $\gamma$ 水門の開門水位（2.7Y.P.m）から $\sigma$ 川等からの越水開始水位までに余り猶予がないため、ピークの洪水時においては、水位の上昇にA排水機場での排水が追いつかず越水してしまうと考えられる。

## (2) 運転条件変更による氾濫低減の検討

前述の検討結果では、各排水機場の補完による総排水量では氾濫低減に対し十分とは言えない算出結果であり、特に最も排水能力が大きいA排水機場による補完度が小さい結果となった。

そこで、B排水機場が停止したケース（Case2）及びC排水機場が停止したケース（Case3）において、A排水機場及び $\gamma$ 水門の運転条件を前述の原因を踏まえ変更した場合におけるシミュレーションを行い、各排水機場の補完性を検討した。

なお、A排水機場及び $\gamma$ 水門の変更運転条件は、以下のとおりとした。

- ・ A排水機場の運転開始水位を、B排水機場及びC口排水機場と統一し、2.2Y.P.mとした。（表-56）
- ・  $\gamma$ 水門の開閉水位を、B排水機場が機能している際には、 $\gamma$ 川及び $\sigma$ 川の水を効率よく $\gamma$ 川放水路へ導水する必要があると考え、常時開門できるような水位として1.6Y.P.mとした。（表-57）

上記条件による氾濫計算のシミュレーション結果を図-47及び図-48に示す。

表-56 変更後の排水機場運転条件

名称	排水量 [m <sup>3</sup> /s]	放流停止水位		判定	ポンプ稼働開始水位		
		外水位[m]	内水位[m]		水位[m]		
					元	変更後	
A排水機場	1号機	25.0	9.20	1.00	内水位	2.5	2.2
	2号機					2.6	2.2
	3号機	50.0	2.7	2.2			

赤字:変更箇所

表-57 変更後の水門運転条件

名称	水門の諸元		水門開閉水位		通常時の 水門開閉 状態	
	水門流出幅[m]	河床高[m]	外水位[m]	内水位[m]		
				元		変更後
γ水門	6.00	-0.496	—	2.7	1.6	閉

赤字:変更箇所

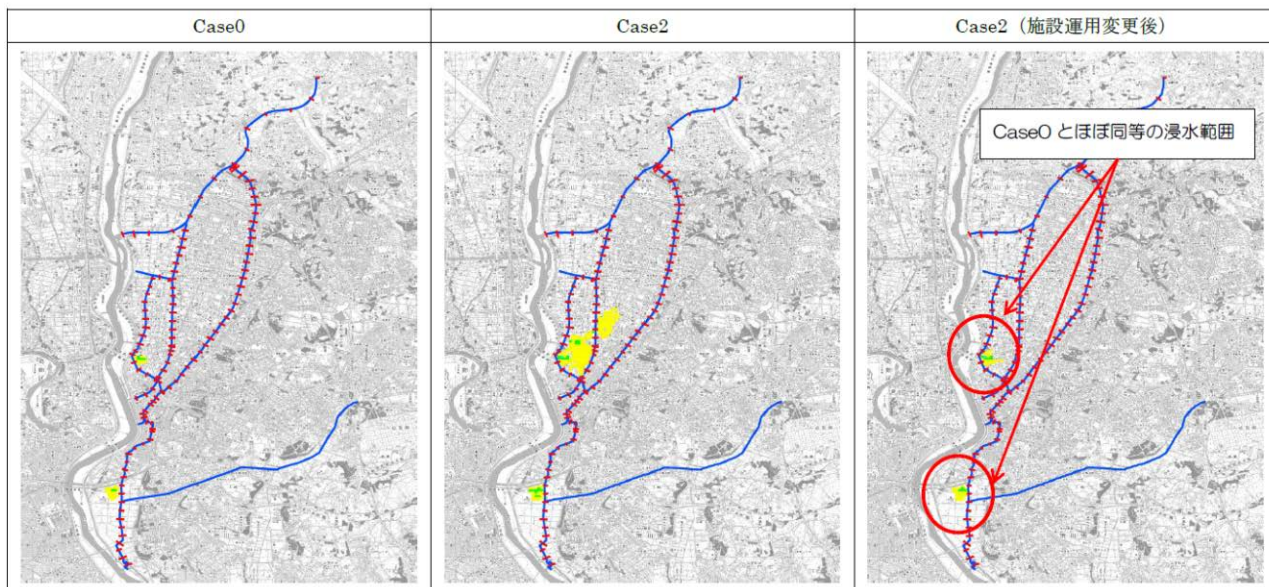


図-47 浸水図の比較 (B排水機場停止)

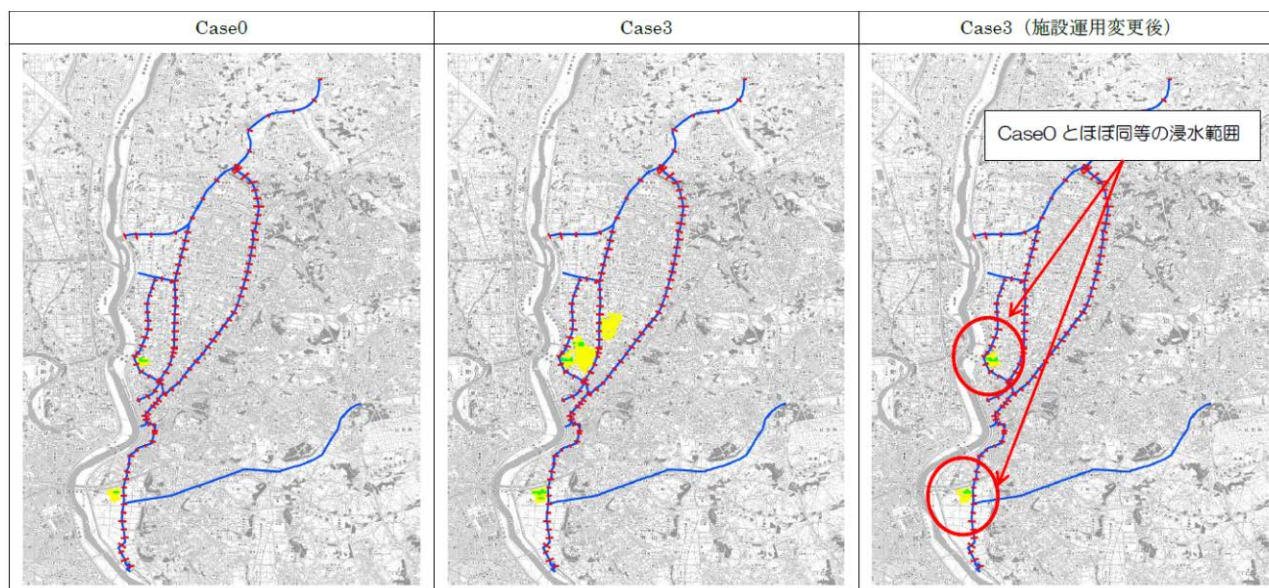


図-48 浸水図の比較 (C排水機場停止)

以上のとおり、排水機場1箇所が全停止となる非常時においては、操作水位を一時的に変更することにより、残る他の排水機場の補完によりほぼ同等の機能を持たせることが可能と推察される。排水機場が全停止となるような非常時における対応検討としても、本手法を用いることが有効であると推察できる。

9) 河川GISモデルの作成・利用マニュアル

本研究において作成した河川GISモデルは、ある地域の河川用土木機械設備の配置を参考に作成したものであり、その作成目的は土木機械設備が故障した場合の社会的影響度を評価するためであるので、河川管理者自らが土木機械設備の配置に基づき、同様に河川GISモデルを作成し、作成したモデルにより社会的影響度の評価

を行うことができるようになるのが最善と考えられる。

しかし、CommonMP を使用してモデルを構築し、様々なデータからモデルの精度を検証して妥当性のあるモデルを作成するためには水理学の専門的な知識を要し、また多くの工程を要することから、河川管理者自らがすべてを行うのは現実的ではない。そのため本研究でまとめた河川用GISモデルを適用する場合のマニュアルとして、河川用土木機械設備の配置に基づき河川GISモデルを作成するための「実務者向けマニュアル」と、作成したモデルを使って実際にシミュレーションを行う「利用者向けマニュアル」を作成した。

#### ①実務者向けマニュアル

対象者は、CommonMP 及び河川計画の知識を有する者（建設コンサルタント等）としている。

内容は、河川GISモデルを構築し、現場の水理現象が概ね再現可能となるよう調整を完了するものとしている。

#### ②利用者向けマニュアル

対象者は、土木機械設備の社会的影響度評価を必要とする者（河川管理者、設備管理者等）としている。

内容は、作成したモデルを使用して、または、簡易な条件変更（土木機械設備の停止など）を付加してシミュレーションを実施するものとしている。

河川GISモデルの作成・利用の流れを図-49に示す。

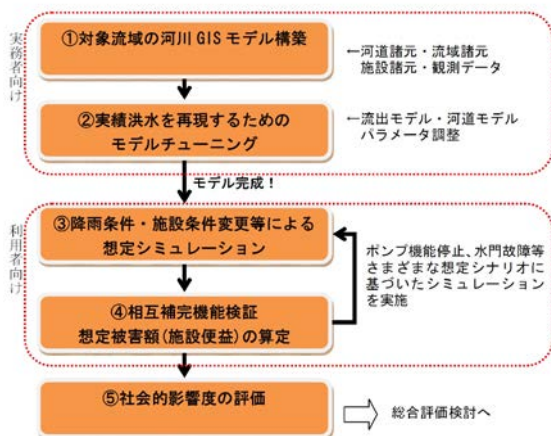


図-49 河川GISモデルの作成・利用の流れ

### 3.3 総合的な維持管理計画立案手法

#### 3.3.1 維持管理計画の立案手法

##### 1) 維持管理計画立案手法の構成

効果的な維持管理を実現するためには、具体的な管理目標を設定したうえで、維持管理情報に基づく維持管理計画を策定し、この計画に基づく整備・更新を進めるとともに、維持管理計画の評価・見直しを図っていく必要がある。これまで述べてきた信頼性評価や社会影響度等を勘案した総合的な維持管理計画の立案手法における実施フローを図-50に示す。

##### ①維持管理情報の収集・蓄積

維持管理計画の策定に必要な維持管理情報を収集・整理するとともに、継続的に蓄積・活用していく。

##### ②設備管理目標の設定

信頼性を確保したうえで、長寿命化及びLCC低減を目標とする。

##### ③施設評価（整備・更新優先度の評価）

複数設備における整備・更新の優先度を評価するため、健全度・信頼性・経済性・社会影響度・相互補完性について総合評価を行う。

なお、信頼性の評価にあつては、設備固有の弱点、技術改善要素を把握し、技術改善・設備改良（保全予防）に反映させる。

##### ④点検・診断の計画

設備毎に各機器の致命度等を勘案し、点検・診断方法及び実施サイクル等を計画する。

##### ⑤整備・更新の計画

機器毎の管理レベル（時間計画保全、状態監視保全、事後保全）を設定し、技術改善・設備改良（保全予防）を考慮したLCC低減策を検討する。

また、機器の健全度・致命度等より整備・更新の優先度を評価し、予算の平準化を考慮した実施時期を検討する。

##### ⑥計画の評価・見直し

維持管理計画に基づいた整備・更新の実施により、得られた実績値と計画値を比較し、乖離が見られた場合は維持管理計画の見直しを図る。

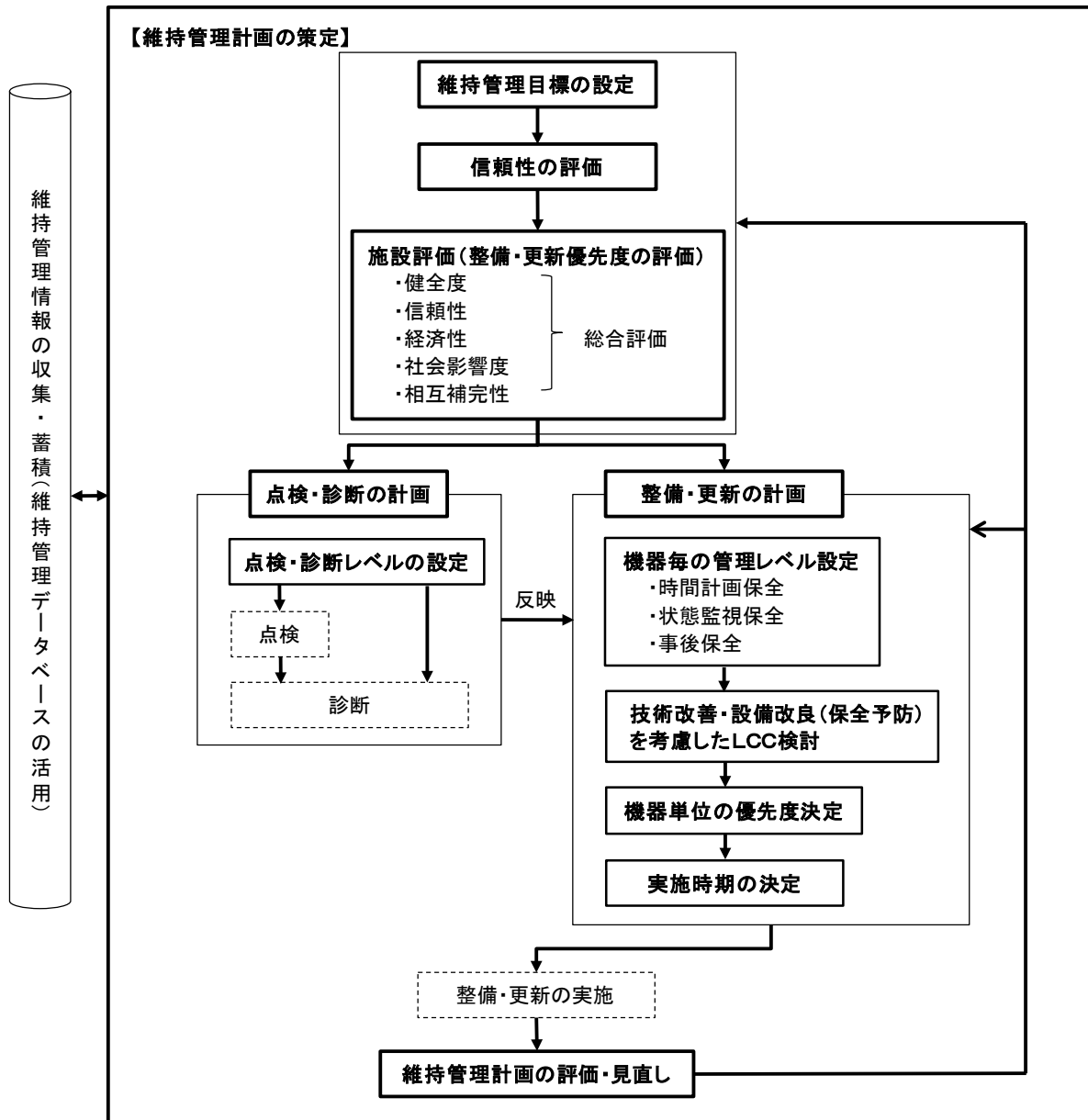


図-50 維持管理計画立案手法の実施フロー

## 2) 予算要求理由の明確化

前述のように各設備の健全度や信頼性と社会影響度等による総合的な評価により、優先度を評価することができるため、予算要求時における修繕等の実施理由の1つとして明確化することができる。また、この優先度評価に基づき、複数の所管設備に対して、より効果的な維持管理計画を作成することができる。

## 3. 3. 2 維持管理計画立案手法の運用方法と実施体制

### 1) 維持管理計画立案手法の運用方法

前述の維持管理計画立案手法により計画を作成するためには、優先度の検討方法や修繕実施時期の検討方法を

具体化する必要がある。

一般的に機械設備の維持修繕を実施する場合、様々な要素を勘案して維持修繕の時期、修繕内容等を決定する。勘案する要素としては、以下のような項目が考えられる。

- ①設備の現在の状態
- ②設備の故障しやすさ
- ③設備が故障した場合の影響
- ④設備の機能を維持するための費用

また、複数の機械設備が存在し、それらが互いに関連するような場合（たとえば、ある設備の機能が減少したり喪失したりした場合に、他の設備によってその機能が補われるような場合）には、上記4項目に加え、以下の

項目についても検討する必要がある。

⑤設備の機能を代替する設備の有無

これらの5つの要素を用いて維持修繕の優先順位を総合的に評価する方法について検討した。

(1) 維持修繕にあたって勘案する要素を表現する指標

機械設備の維持修繕を実施する場合、勘案する各要素は以下の指標での評価が可能である。

①設備の現在の状態：点検結果に基づく健全度

設備の状態は、毎年（または毎月）実施する点検によって目視または振動等の計測を行うことによって把握され、その結果を基に設備ごとに「健全度」を判定するので、その指標を活用する。

特に、計測値がある場合には、これまでの計測値の傾向から今後の設備状態の予測が可能ながある。

②設備の故障しやすさ：故障率（信頼性）

設備の故障しやすさ（または故障しにくさ）は、当該設備または同形式・同機器構成の他設備におけるこれまでの故障・不具合事例による信頼性評価により算定可能である。

また、河川ポンプ設備、河川用ゲート設備またはダム用ゲート設備においては、各設備の「点検・整備・更新マニュアル（案）」に、標準的な寿命の記載がある機器・部品があるため、その寿命を参考に故障率が算定可能である。

③設備が故障した場合の影響：社会的影響度

設備が故障した場合の社会的影響度は、設備が故障した場合の被害額として、算定可能である。

河川ポンプ設備や河川ゲート設備では、本研究で作成した河川 GIS モデルを使用して、道路管理用設備では自動車の時間便益・走行便益で代表させることが可能である。

④設備の機能を維持するための費用：維持修繕費

設備の維持修繕費は、これまでの点検・整備・修繕実績または見積もり等により算定可能である。

⑤設備の機能を代替する設備の有無

複数の機械設備が存在し、それらが互いに関連する場合の代替機能の程度＝相互補完性を求めることにより、反映できる。

(2) 維持修繕の優先順位検討方法の例

以上の検討結果を基に、設備単位での維持修繕の優先順位の考え方として、以下のような例が考えられる。

①修繕実施時期：健全度から推定

各設備ごとの修繕実施時期を健全度から推定し、維持修繕の優先順位を求める。

点検等で得られる測定値を設置後の経過時間（年数）により管理し、整備基準値に至るまでの時間を推定する。概念図を図-51に示す。

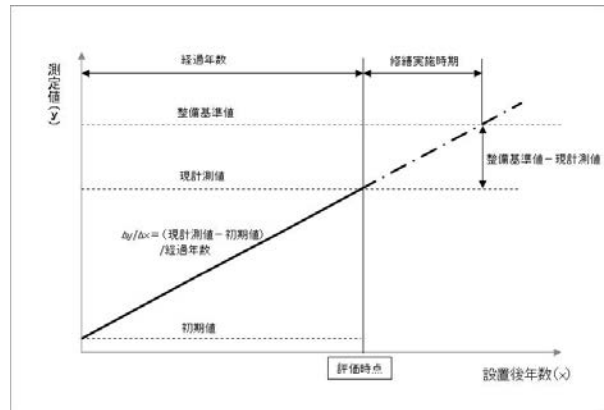


図-51 測定値と設置後年数との関係概念図

劣化進行が設置後の年数に比例するものとする、比例式の傾き（ $\Delta y / \Delta x$ ）は、次式に表せられる。

$$\Delta y / \Delta x = (\text{原計測値} - \text{初期値}) / \text{経過年数}$$

これにより修繕実施時期を求めると、

$$(\text{整備基準値} - \text{現計測値}) = (\text{原計測値} - \text{初期値}) / \text{経過年数} \times \text{修繕実施時期}$$

よって、

$$\text{修繕実施時期} = (\text{整備基準値} - \text{現計測値}) / (\text{原計測値} - \text{初期値}) \times \text{経過年数}$$

しかしながら、各機器の劣化は1つの測定値のみで評価しきれるものではなく、他の故障モード（腐食、摩耗等）も有することから、点検において評価した健全度の評価を加味する必要がある。

そこで、健全度による補正を以下により行うことが考えられる。

$$\text{修繕実施時期} = \frac{\text{整備基準値} - \text{現計測値}}{\text{現計測値} - \text{初期値}} \times \text{経過年数} \times \text{健全度}$$

修繕実施時期：維持修繕を実施する時期までの現時点からの年数

整備基準値：維持修繕が必要となる計測値

現計測値：現時点の計測値

初期値：設置当初の計測値

健全度の範囲（例）：  $0 \leq \text{健全度} \leq 1$

健全度 = 0：修繕が必要な状態  
(健全度評価 = ×)

健全度 = 1：健全な状態 (健全度評価 = ○)

※健全度評価 = △の場合は、0～1の間で設定する

## ②危険度

限られた予算のなかで更新・修繕等の優先順位を設定するにあたって、その設備が有する危険度を評価することが有効である。危険度は、「影響：社会影響度」と「発生確率：故障率」によって評価できる。

機械設備における「影響」は、設備設置により期待できる設備便益に置き換えることができ、社会影響度（設備機能停止における損害）に対する設備コスト（建設費＋累計維持修繕費）の比の「設備便益」で評価できる。

また「発生確率」は、設備機能停止に至る故障率を乗じることにより、設備機能停止における時間あたりの危険度の期待値とすることができ、FTA より求めることができる。

この「影響：社会影響度」と「発生確率：故障率」の積を「危険度」と定義し、評価指標とする。

$$\text{危険度} = \text{故障率} \times \text{設備便益} = \text{故障率} \times \left( \frac{\text{社会影響度}}{\text{建設費} + \text{累計維持修繕費}} \right)$$

以下に前述のモデルケースを対象とした試算結果を表-58 に示す。なお、各機場の累計維持修繕費は 50 年分として試算している。また表中の社会影響度は、前述の河川 GIS モデルを用い、過去の比較の大きい出水実績を基に流域全域で一定の雨量（累加雨量の大きい観測所データを全流域で採用）として求めた一つの出水時の損害額である。これは、50 年分の累計社会影響度（損害額）を想定したシミュレーションを行うのは現実的ではないことと、優先度を決定するには相対的な評価で足るものと考えられるため、これにより試算したものである。また、この社会影響度は機能停止排水機場以外の排水機場により補完がされた値である。

この「危険度」を相対的に評価することにより、優先度判定の指標の一つとすることが可能である。

表-58 危険度の試算

機場名	発生確率	影響				危険度
	故障率 (1/h) ①	社会影響度 (百万円) ②	建設費 (百万円) ③	累計維持修繕費 (百万円) ④	設備便益 ⑤=②/(③+④)	
A排水機場	2.76E-05	184,074	7,436	1,291	21.1	5.83E-04
B排水機場	2.44E-05	3,653	1,154	1,202	1.6	3.79E-05
C排水機場	3.63E-05	2,893	1,436	551	1.5	5.29E-05
D排水機場	3.18E-05	408	1,734	551	0.2	5.68E-06

## ③設備便益

関連する他の設備の相互補完を期待できる設備における便益は、相互補完率を単独での設備便益に乗じること

によって評価することができる。

$$\begin{aligned} \text{設備便益} &= \text{設備便益(単独)} \times \text{相互補完率} \\ \text{相互補完率} &= 1 \quad (\text{相互補完無し}) \\ \text{相互補完率} &< 1 \quad (\text{相互補完有り}) \end{aligned}$$

## 2) 維持管理計画立案手法の実施体制

これまで述べた維持管理計画立案手法は、点検・診断結果や故障実績などの維持管理情報に依るところが大きい。また、故障率については、この故障実績を集約し求めているものであるため、精度を高めるためにはデータの充実が必須となる。

このため、維持管理計画立案手法の実施にあたっては、データベース化による維持管理情報の収集・蓄積が重要となる。

国土交通省では、維持管理システムを構築し運用が図られており、一層のデータの拡充に期待するところである。

## 3. 3. 3 維持管理に視点を置いた技術改善、設備改良（保全予防）

## 1) 保全予防

保全予防とは、過去の維持管理情報を基に、信頼性、安全性、操作性、安全性を総合的に勘案した設備仕様、運用形態、保全形態を計画し、特に設備については更新時にこれらを勘案した新たな仕様のものに変更していく総合的な保全方式である。つまり、整備・更新段階で単なる原形復旧を図るのではなく、設備設計に関し従前の保全活動の結果に基づき、基本仕様の変更、新技術の採用、構造や材質の見直しなどを具体的に実施し、信頼性・安全性を向上させていく保全活動である。

特に河川ポンプ設備においては、昭和年代における冷却水系統の不具合事例を基に、標準的であった原動機の二次冷却方式から二次冷却水を要しない管内クーラの導入、水中軸受のセラミック化による無水給水化などが進められてきた。このような技術基準に反映するレベルの保全予防でなくても、個別設備の「くせ」から改善点を見いだす余地はある。

主に活用する過去の維持管理情報は、構成機器の更新実績及び運用上発生する故障や不具合に関する情報である。

河川ポンプ設備及びゲート設備を対象とした個別設備における保全予防採用への検討フローを図-52 に示す。



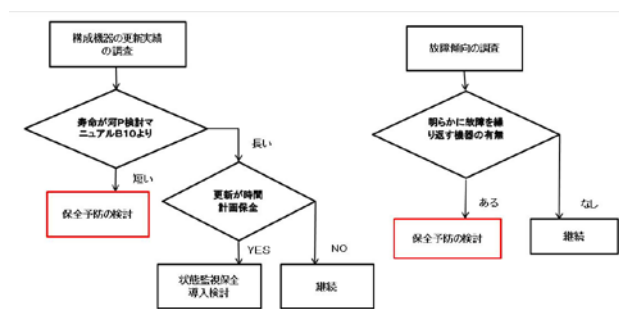


図-52 予防保全採用の検討フロー

まず、構成機器の更新実績に基づく検討であるが、河Gマニュアル、河Pマニュアル、ダムG 検討マニュアルにおいて、これまでの横断的統計データに基づく「信頼性による取替・更新年数」（以後「B10」という。）が示されているので、各施設の更新実績と当該数値を比較する。既にこれより長い機器については時間計画保全を採用しているものから可能な範囲で状態監視保全の導入を検討していけばよい。しかし、B10より更新実績が短い構成機器については、更新時の理由を明らかにした上で、故障から事後保全に至っていたケースなどは抜本的な仕様変更や、故障に至らしめた故障モード及びその原因の排除を行う必要がある。

また、構成機器について発生した故障に着目し、設備毎に累計していくと、明らかに繰り返し発生している故障項目を認めるケースがある。

2) 排水機場における保全予防の検討

これらの視点で、A～Dの排水機場について検討した結果、B10を下回るサイクルで更新している機器はないことがわかった。

次に故障情報に着目する。表-59に4箇所の排水機場の故障件数を示す。各々供用年数は異なるが、表-34に示す情報内での件数である。

表-59 故障件数

設備区分	A排水機場	B排水機場	C排水機場	D排水機場
主ポンプ	4	2		7
減速機	3	10		7
主原動機	29	13		6
吐出弁	7	1		0
逆流防止弁	0	0		0
電源設備	13	19		16
系統機器設備	18	23		25
除塵設備	14	6		2
操作制御設備	9	4		※ 123
計	97	78	データなし	186

※：消耗品交換レベルの情報を含む

C 排水機場については、点検及び運転情報から有意な故障情報を得ることができなかった。また、D 排水機場

の操作制御設備の故障件数には、遠方監視制御設備の故障が70件含まれている。また、消耗品交換レベルの故障も全て記録があったため件数が多いが、実排水に影響のあったと思われる情報はなかった。

A 排水機場では、明らかな特徴として主原動機と除塵設備に故障が多い。主原動機の故障は、点検時に発見されているもので、細かな調整で修正された案件が殆どである。除塵設備については、α川の塵芥が多いことから設備規模が大きく、部品点数が非常に多い。故障内容では、ボルトナットに関するもの、ベルトなどゴム製品の劣化、腐食に関するものが殆どであり、実排水時に停止した事例はない。

これに対して、D 排水機場の除塵設備の故障は非常に少ない。詳細に故障情報を解析する必要はあるが、D 排水機場の除塵設備は、建屋に納められている。これによって、風雨による鉄部の腐食やゴムなどの劣化が抑制されている可能性が高い。環境による構成部品の劣化については、建屋などの防護設備費用と修繕費用との比較によって最終的に対策を決定する必要があるが、設備規模が大きいため、劣化が激しい箇所の部分的な防護を検討すべきである。その他、劣化の進行要因として塵芥量の比較も必要となるが、現状では定量的な比較はできなかった。

A 排水機場の3台のディーゼル機関については、潤滑油系統における各部のシール材からの「漏れ」が近年増加傾向にある。また、冷却水系統についても配管からの水漏れが認められる。3台とも過去に分解整備を実施しているが、10年以上経過しており、シール部の劣化が進行している可能性がある。当該エンジンは、大型でありポンプの排水量も大きいため、分解整備は非常に多額の費用を要するため、他の主要機器の劣化を総合的に評価した上での整備実施になるが、次回の整備時には、劣化が激しい箇所のシール方法について改善検討を行う必要がある。

保全予防活動における課題として、維持管理情報の保存方法の改善をあげることができる。

特に故障情報においては、どのような時に発生又は発見したか（特に点検中、実運転中の別）、故障内容、故障モード、故障原因が明確である必要がある。今回調査した故障情報においては、これらの情報を把握できない事例が多かった。的確な保全予防活動を図るには、これらの情報を適切に保存することが重要である。

3) 技術改善・設備改良による信頼性向上

「3. 1. 3 経済性管理手法」において、更新・整備

における設計の最適化手法を示した。この手法は、機能不全に対する寄与度により機器を抽出し、技術改善等を図ることにより信頼性向上が見込まれるものを三段階に分類し評価するものである。

したがって、整備・更新の計画段階において、保全予防を具体的に検討するうえでも活用できるものとする。

#### 4) グルーピングした施設群における保全予防の考え方

河川ポンプ設備やゲート設備では、致命度が高い部品や重要な消耗品については、経済性を考慮したうえで、予備品として確保している場合が多い。しかし、予備品として全ての機器・部品を揃えることは不可能であり、各機場の故障履歴やシステム構成に基づいて管理者が決定しているのが実態である。従って、近隣にある機場同士でも、主ポンプ、主原動機、電源操作制御設備などのメーカーが異なると、規格が決まっている盤内機器などを除き異なる予備品を用意しなければならず、一般的には融通ができない。

近隣機場における予備品の共用化を実現できれば、故障発生時の MTTR(平均修理時間)の短縮、手法の統一(運用方法、点検方法の部分的な統一)による保全活動自体の信頼性向上が望める。

具体的な対象機器としては、同類の部品点数が多い主要部品として PLC、機側操作盤類、系統機器用電動機、軸受、冷却水、潤滑油、始動系統における弁類などが考えられるが、共有化を図ることの有効性や技術的な課題は今後の課題である。

## 4. まとめ

### 1) 個別の土木機械設備維持管理手法

ゲート設備の健全度評価に活用できる FMEA 及び FTA による信頼性評価手法を提案した。また、設備の信頼性の確保・向上を考慮した信頼性評価手法の活用による経済性評価手法と、あわせて社会影響度の評価手法を提案した。

FMEA 及び FTA を用いた土木機械設備の信頼性評価は、各部品・機器ごとの致命度の評価、故障率の算定、時間計画保全の精度向上、保全予防(更新時の仕様改善)に資することができ、維持管理計画を検討するにあたって有効な手段である。

しかしながら、これらの評価のベースとなるデータは過去事例から主に求められることになるため、機械設備維持管理データベースの活用が必須といえる。

### 2) 複数施設を考慮した維持管理手法

河川管理用機械設備を対象として、機能喪失した場合の社会影響度(被害総定額)を求めるため、CommonMP を用いた河川 GIS モデルを構築し、氾濫シミュレーションを行い、流域資産より求める手法を提案した。また、現場での試行を踏まえ、要素モデルの追加・改良を図ることにより、活用性・汎用性を向上させた。

複数の機械設備を管理するうえで、社会的影響度を考慮した優先度付けは、限られた予算のなかでの管理において、非常に有効なものになると思われる。

なお、本研究において開発した各要素モデルは、CommonMP の HP (<http://framework.nilim.go.jp/>) で公開しており、他の流域でも本モデルの自由な活用が可能となる。

### 3) 総合的な維持管理計画立案手法

総合的な維持管理計画の立案手法として、複数ある所管感施設間の優先度を健全度や信頼性、社会影響度、補完性等により評価し、次に施設毎の整備計画について技術改善・保全予防を考慮した LCC 検討を行ったうえで機器単位の優先度・実施時期を検討する手法を提案した。

この手法は、限られた予算のなかでより有効な維持管理を図るとともに、コスト削減・長寿命化に寄与できるものと思料する。

### 4) 今後の課題

河川ポンプ設備等の「非」常用設備は、稼働すべき時に必ず稼働しなければならない設備であることから、災害時での機能確保や故障時における迅速な機能回復が求められる。本研究では蓄積された維持管理情報により信頼性評価を行っており、これらについては考慮に含まれていない。このため、設備の信頼性をより向上するためには、故障等のリスクや機能回復の遅速を考慮した信頼性評価や各設備に最適な保全方法の検討が必要と考える。

一方、健全度評価を的確に行うにあたっては、状態監視技術は非常に有効な手段となるものと推察されるが、設備構造が障害となりその技術が十分に適用できない事例がある。このため、設備構造と状態監視技術の融和を図った「管理しやすい設備」に改善・改良していくことにより、低コスト・労力の低減と信頼性の高い維持管理が期待できる。

これらは、設備の信頼性を確保していくうえで非常に重要な課題といえるため、信頼性や点検コストの最適化に向けたマネジメントの実現に向け今後取り組んでいくこととしている。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル（案）、平成27年3月
- 2) 国土交通省：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）、平成27年3月
- 3) 藤野健一 他：河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究、土木研究所報告No217、平成23年2月
- 4) 土木研究所：氾濫シミュレーションマニュアル（案）、平成8年2月
- 5) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案）、平成17年4月
- 6) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案）各種単価及びデフレーター、平成25年2月
- 7) 国土交通省監修：建設省河川砂防技術基準（案）同解説 調査編、平成20年7月

## RESEARCH ON THE SYSTEMATIC TECHNIQUE OF UTILIZING THE EXISTING MACHINE PLANTS EFFECTIVELY AND ATTAINING EXTENSION OF LIFE-SPAN

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Advanced Technology Research Team

**Author** : KENICHI Fujino

YOSHIMITSU Tanaka

HIDEYUKI Takeda

AKIRA Yamao

KEI Ito

HITOSHI Ueno

YUTAKA Ishimatsu

**Abstract** : The machine plants of rivers and roads(water pumps, gates, jet-fans, etc) take very important role. Those are increasing in number and getting older in Japan. Therefore, the life cycle management is needed more.

In order to manage within limited budget for maintenance, we must perform the effective update and maintenance method that should contain total analysis about evaluation not only single plant but also two or more related plants and to be based on the social influence degree.

This research is intended sophistication of management and Life-Cycle Cost reduction of the machine plants. We have compiled the optimization method of design in the update and maintenance and development method of maintenance management plan that targets two or more of the plants.

**Key words** : Stock Management, Maintenance-Management, River Network, CommonMP, Simulation