

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 上野仁士
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、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、施設の目的、種類、設置環境などの個別要件に適合したマネジメント手法を確立し、その上で複数施設を対象とした維持管理計画策定手法の構築と、更新・整備時における設計の最適化手法を提案する。

平成 23 年度は、当チームがこれまで実施してきた河川ポンプ設備を中心とした維持管理手法の研究結果を基に、他の土木機械設備に対する個別施設の健全度評価について過去の維持管理データから推定する手法を検討するとともに、河川系土木機械設備を対象とした複数施設の社会的影響度の評価手法について、モデル施設群を用いた検討を行った。

キーワード：ストックマネジメント、維持管理、健全度評価

1. はじめに

土木研究所において、これまで実施してきた機械設備の維持管理手法に関する研究は、主に河川ポンプ設備を対象とした個別施設の信頼性評価及び経済性評価に基づくものである。当該研究においては、設備の信頼性を FMEA や FTA によって評価し、点検、修繕及び定期整備に要している費用を勘案した維持管理手法を提案した。

当該手法は、特に非常用(待機系)設備における信頼性を示す「稼働すべきときに稼働できないリスク」（以後、「アンアベイラビリティ」という）と、その信頼性を得るために必要な経費を明らかにし、月点検や年点検の実施方法や費用の大きい分解整備の実施タイミングの考え方について明確化したものである。

本研究では、これらの成果を基に、河川用・ダム用ゲート設備、水質浄化施設、トンネル換気設備、道路排水設備の効率的かつ効果的な維持管理手法を確立するとともに、最終的には関連する複数の施設群をグルーピングし、社会的な影響度と設備の状態を総合評価したうえで、最適な維持管理方法を決定していくプロセスを具体化していく。

2. 研究目的

2. 1 研究目的

本研究は、主に国土交通省直轄施設の機械設備における維持管理面でのニーズに基づき、下記の目的で実施するものである。

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求められている。待機系設備あるいは常用系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グルーピング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。

なお、本研究における対象施設は、河川用・ダム用ゲート設備、排水機場、水質浄化施設、トンネル換気設備、道路排水設備を想定する。

2. 2 目標とする成果

2.2.1 個別の土木機械設備の維持管理手法

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、技術改善手法を含む）、安全管理手法（緊急時の危機管理手法）についてとりまとめる。

当チームでは、平成 20 年度に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を提案しており、本研究において他の対象設備における維持管理手法へ拡充を図る。当該項目の実施は、平成 23 年度から 25 年度までを計画しており、平成 23 年度はダム用ゲート設備の信頼性評価手法について検討を行った。

2.2.2 複数施設を考慮した維持管理手法

河川においては、水系等で相関関係がある複数の施設をグルーピングし、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総合的な信頼性評価方法と、これに社会的影響度の評価を加味した維持管理計画の立案手法についてとりまとめる。社会的影響度の定量的な一指標として、設備の便益を取り入れる。

道路においては、町や集落を結ぶ現道あるいは改築されたバイパスに整備されている道路排水設備やトンネル換気設備の機能が低下した場合の逸失便益を評価する方法を検討し、複数施設を対象とした社会的影響度の評価手法及び合理的な維持管理レベルの設定方法について立案する。

当該項目の実施は、平成 23 年度から 26 年度までを計画しており、平成 23 年度は複数施設を考慮した社会的影響度の評価フローを提案するとともに、モデル施設群を選定し、個別施設の便益評価や相互の補完機能の評価に活用できる河川 GIS 及び水理・水文解析用の要素モデルの作成に着手した。

2.2.3 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予算要求理由の明確化を図るとともに、維持管理に視点を置いた設技術改善策、設備改良（保全予防）を実現する。また、当該手法の運用方法と実施体制についても提案する。

当該項目については、平成 23 年度成果を受け、平成 24 年度より取り組む。

3. 研究結果

3. 1 個別の土木機械設備の維持管理手法

3.1.1 基本方針の整理

国土交通省では、平成 20 年 3 月に「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(以下「河 G 検討マニュアル」という)、「河川ポンプ設備点検・整備更新検討マニュアル(案)」(以下「河 P 検討マニュアル」という)を策定した。この 2 つのマニュアルでは、各管理対象の設備において、構成機器毎の健全度評価、設備毎の管理レベル評価（故障影響度評価）、機能的・社会的耐用限界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、設備毎の健全度評価と設備毎の管理レベルの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を確立する必要がある。当チームが河川ポンプ設備を対象としてまとめた維持管理手法においては、FMEA (Failure Mode Effects Analysis) と FTA (Fault Tree Analysis) を採用しており、この解析結果を河 P 検討マニュアルにおける健全度評価に活用できることを示した。3)

図-1 に河 P ポンプ検討マニュアル案の運用フロー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。網掛けした箇所は成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について図-2 に示す。

河 P 検討マニュアルには、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。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した。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した。

本研究では、河川ポンプ設備における研究成果を他の機械設備へ適用拡大する。

国土交通省では、平成 23 年 4 月に「ダム用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(以下「ダム G 検討マニュアル」という)を策定し運用を開始した。4)

本年度は、ダム G 検討マニュアルの運用で行う健全度評価に活用できる FTA（故障木解析）を提案した。

3.1.2 ダム用ゲート設備の信頼性評価手法

ダム用ゲート設備においては、国土交通省直轄施設の

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

河川ポンプ設備 点検・整備・更新検討マニュアル(案)概要

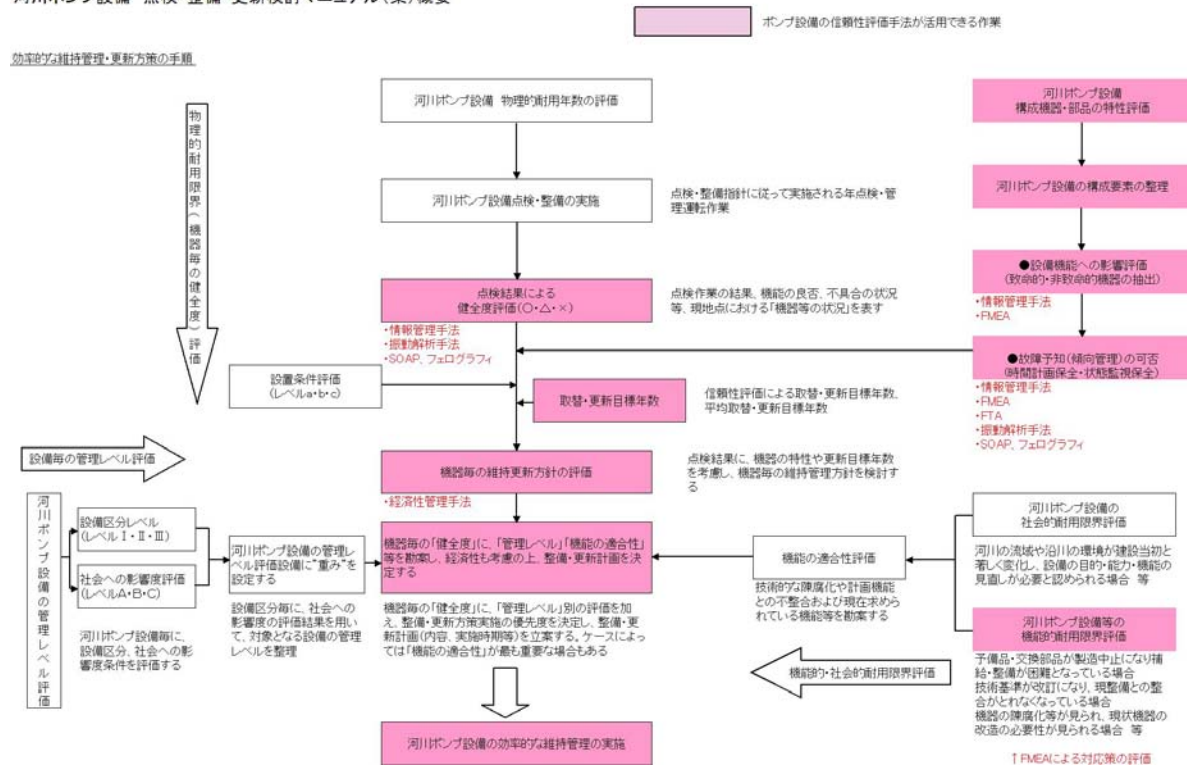


図-1 河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)の概要

個別(設備別)マネジメントイメージ(案)

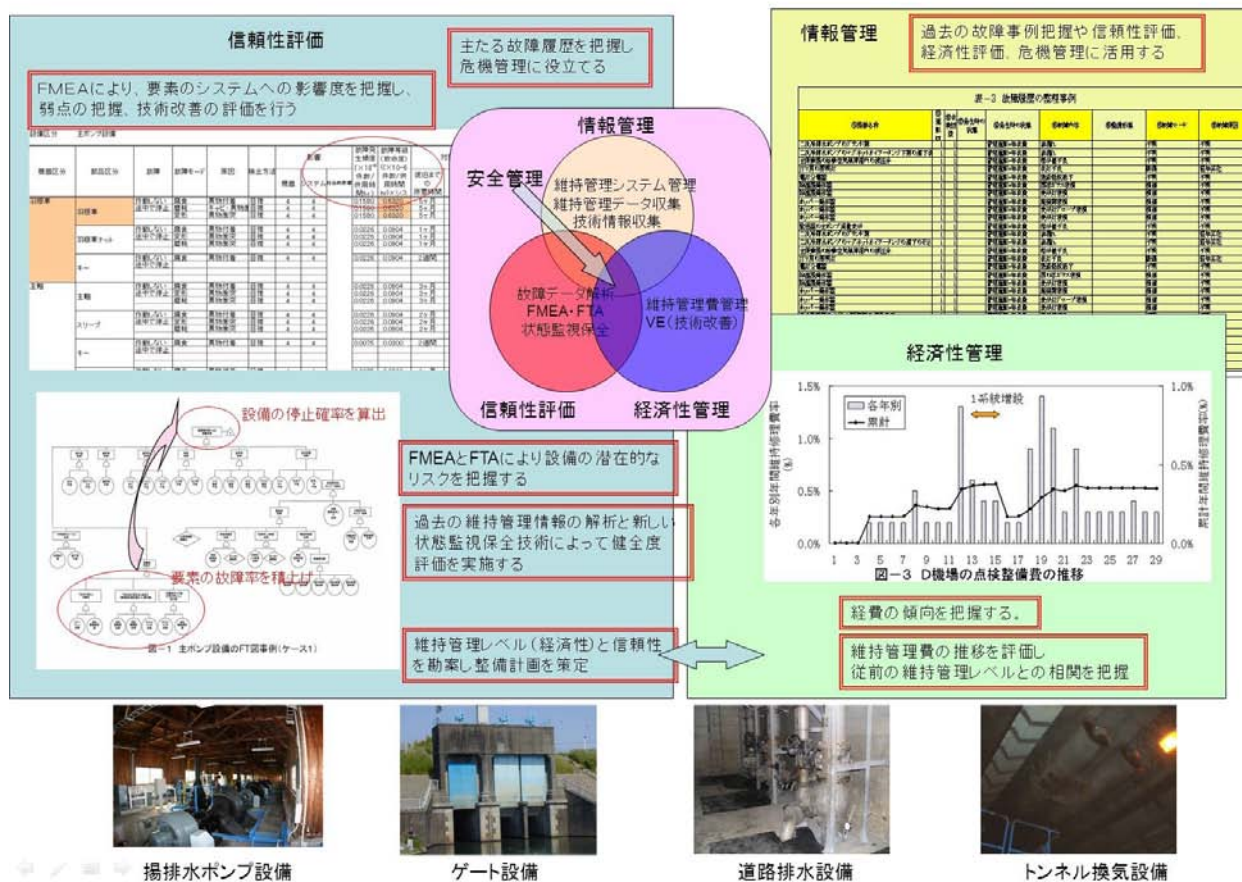


図-2 個別設備のマネジメント概念図

維持管理情報は横断的に十分解析されておらず、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今後明らかになってくる情報である。

国土交通省が現在進めている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)の運用も途についたばかりであり、本研究ではこれらの進捗に合わせて遅滞なく活用できる管理手法を検討していく。

本年度は、ダムG 検討マニュアルに示された構成機器の取替更新年数を用いて、構成機器の故障率を算定し、FTA を実施した。また、並行して平成10年度から平成19年度までの国土交通省直轄ダムゲートにおける故障データを基に算定したアンアベイラビリティ(推計値)との比較検討を行った。

FTA の適用が可能になると、維持管理システムの運用に伴って、機器の故障率の把握、個別システムの信頼度、個別システムにおけるミニマルカットセット(頂上事象を引き起こす基本事象の最小組み合わせ)を知ることができ、時間計画保全の精度向上や保全予防(更新時の仕様改善)に資することができる。

1) FTA

第36回大ダム会議(平成16年3月)において、ダム用ゲート設備の操作不能を頂上事象としたFTAの実施事例が報告されている。5)

本研究では、当該FTAにおいて各事象の発生確率を構成機器の寿命から逆算した手法を用い、機械設備及び電気設備の故障に限定したFT図を作成したうえで各基本事象の生起確立に採用した。また、構成機器の寿命は、ダムG 検討マニュアルに示される「信頼性による取替更新年数」を用いて算定しなおし、FT図(故障木)は機械設備、電気設備の故障に限定して表した。以下にFTAの条件を示す。

- ・ダム用ゲートは、待機系と常用系の設備があるが、待機系を対象とする。
- ・ゲート形式はワイヤーロープウインチ式とする。
- ・頂上事象はゲート設備の操作不能とする。操作を要するタイミングはいつ来るかわからない状態で、操作すべきときに操作できないリスクを表す。
- ・FT図は、基本事象とAND、ORゲートを採用して構成し、抑止ゲート、否展開事象は極力用いない。受電システムの故障確率は、河川ポンプ設備の故障率を準用する。
- ・作成するFT図においては、予備電源を考慮しない。
- ・維持管理における人為的失敗は事象として考慮しない。
- ・電源設備の故障率は、河川ポンプ設備における解析結果から引用する。

このFTAは、現段階で得られる情報を用いて、信頼性評価に対する適応性を検討するために実施する。従って、定量的な結果が得られる範囲を条件として付与した。

対象設備はワイヤーロープウインチ式とする。最も実績が多く、ダムG 検討マニュアルに掲載される機器の寿命データも充実している。頂上事象は、操作不能に限定する。実際の故障データにおいて、操作不能となった事例がはっきりしており、比較が容易である。

人為的失敗などの不確定要因については、無数に考慮できるうえ、生起確率の裏付けがないため範囲外であることを明確にした。また、機器の寿命データから故障率を逆算するため、交換機器レベル以下の詳細なFT図は構成しないこととした。まず、本解析において適用性を評価したのち、実績から得られる事象の生起確率を用いたFTAが必要になり、構成個別設備を対象とした詳細のFT図はそのときに用いるべきものである。

なお、電源系統の耐用年数については、ダムG 検討マニュアルに掲載がないため、別途解析済の河川ポンプ設備における実績を引用した。

図-3にFT図を示す。解析は専用ソフトウェア relexを用いた。

頂上事象にあわせて、各事象はダムG 検討マニュアルに示される致命的機器に関連するものに絞った。各事象の生起確率に用いた機器の故障率についての計算結果を表-1に示す。

機器の信頼度0.9は、構成機器・部品の母集団において、供用年数 t が経過したときに、全体の10%が更新を迎えていることを示す。ダムG 検討マニュアルでは、この年数を「信頼性による取替更新年数」と定義している。

この信頼度 $R(t)$ は、次式で表すことができる。

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

ここに t : 供用時間

λ : 故障率

故障率を一定(偶発故障期にある)とすれば、 $R(t)=0.9$ として故障率は次式により求めることができる。

$$\lambda = -(1/t) \cdot \ln 0.9$$

表-1を用いてFTAを行った結果、頂上事象の生起確率は、 8.04407×10^{-6} (1/h) (約14.2年に1回の割合)となった。

この頂上事象の生起確率は、表-1における各機器・部品の信頼性による取替更新年数より短い周期であり、システム上二重化している機器は制動装置・電動機などに限られていることを勘案すると、FT図構成は妥当であると思料する。

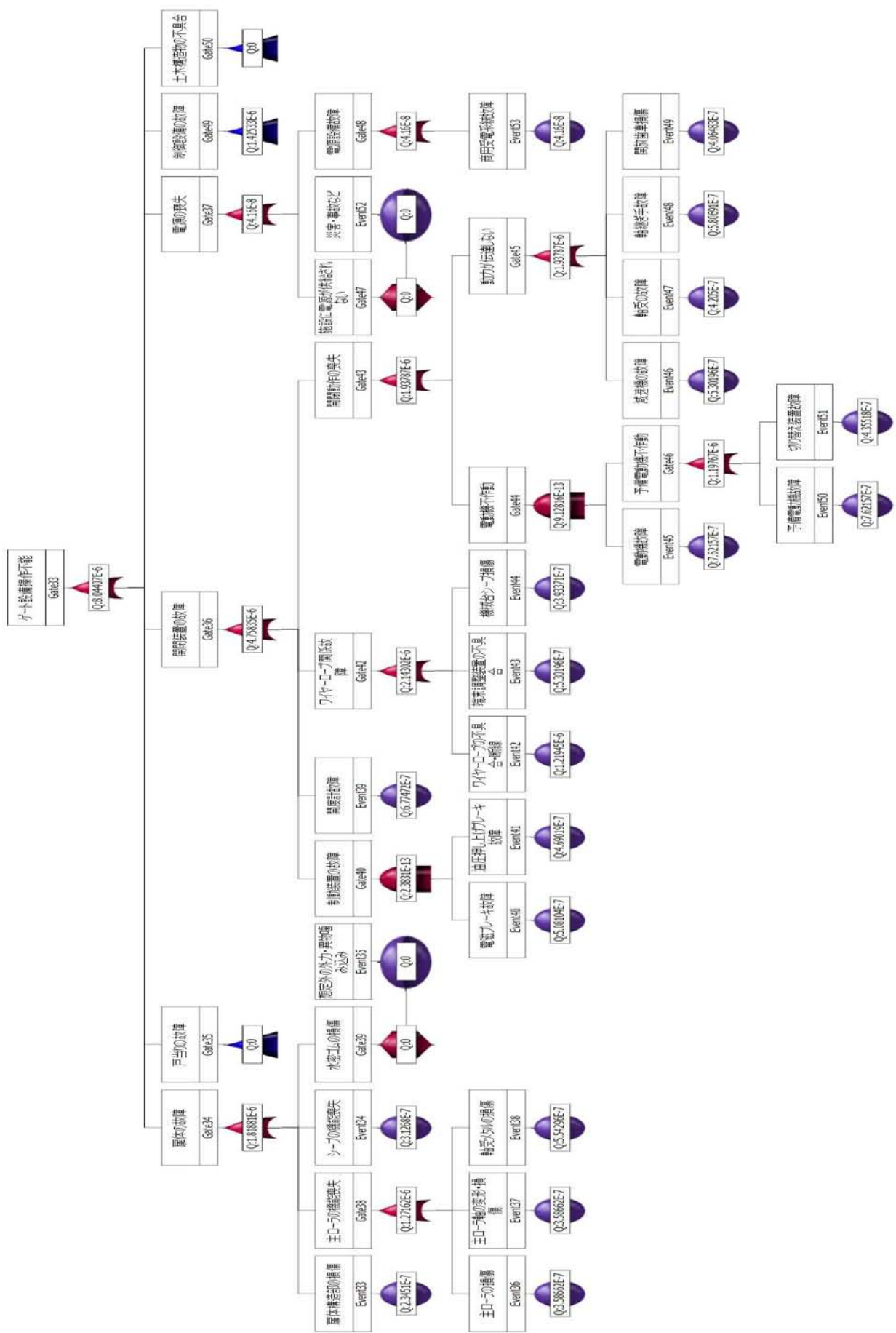


図-3 ダム用ゲートFT図(ワイヤーロプウインチ式)

表-1 信頼性による取替更新年数から算定した故障率

構成機器・部品	信頼性による取替更新年数	機器信頼度	故障率(1/h)
扉体構造部	52	0.9	2.3451E-07
主ローラ	34	0.9	3.58662E-07
ローラ軸	34	0.9	3.58662E-07
軸受メタル	22	0.9	5.54296E-07
補助ローラ	28	0.9	4.35518E-07
扉体シーブ	39	0.9	3.1268E-07
水密ゴム	非対象		
開閉装置全体	33	0.9	3.6953E-07
主電動機	16	0.9	7.62157E-07
電磁ブレーキ	24	0.9	5.08104E-07
油圧押し式ブレーキ	26	0.9	4.69019E-07
切換装置	28	0.9	4.35518E-07
減速機	23	0.9	5.30196E-07
開放歯車	30	0.9	4.06483E-07
機械台シーブ	31	0.9	3.93371E-07
軸受	29	0.9	4.205E-07
軸継ぎ手	21	0.9	5.80691E-07
ワイヤーロープ	10	0.9	1.21945E-06
同上端末調整装置	23	0.9	5.30196E-07
油圧シリンダ本体	32	0.9	3.81078E-07
油圧ユニット本体	15	0.9	8.12967E-07
制限開閉器	22	0.9	5.54296E-07
リミットスイッチ	非対象		
開度計	18	0.9	6.77472E-07
機側操作盤1式	14	0.9	8.71036E-07
リレー類	12	0.9	1.01621E-06
開閉器類(電気)	12	0.9	1.01621E-06
インクライン	29	0.9	4.205E-07
流木止設備	18	0.9	6.77472E-07

2) 故障情報によるアンアベイラビリティの推計

FTA の結果を検証するため、下記のとおりダム用ゲート設備において近年発生した故障情報の収集を行った。

- ・対象設備：国土交通省直轄ダム施設のワイヤーロープ式ゲート
- ・対象期間：調査が可能であった平成 10 年度から平成 19 年度の 10 年間
- ・調査対象：調査対象とする事象は、実操作に影響のあった不具合及び故障

調査対象については、FTA の検証に用いるため、実際の操作において影響のあった事象に限定した。

表-2 に調査結果を示す。件数には、実操作において不具合や故障が発生したものと、点検時に発見した故障のうち修復時間が点検間隔より長いと判断されるものを含めた。なお、これらの不具合・故障時には他ゲートの運用や操作方法の変更、臨機の措置によって全て対処されている。また、水密ゴムの故障については、原因が判明したものは全て異物の噛み込みによるものである。

この結果を基に、ワイヤーロープウインチ式ダム用ゲート設備の標準値としてのアンアベイラビリティを算定する。平成 19 年度までに運用されていたダム用ゲート設備のうち、ワイヤーロープウインチ式ゲートは 482 門で

あり、対象となる不具合・故障は 13 件であった。故障等が発生していた対象機器は 5 区分しかないが、その他の機器・部品の故障率を 0 とすることは信頼性工学上あり得ない。当チームでは、限定された条件で収集された故障情報において、故障実績がない機器・部品の故障率算定では、当該供用時間の 3 倍の運用で 1 回の不具合・故障が発生すると想定して求めている。6)

以上の考え方で実故障件数に想定故障を加味した計算結果を表-3 に示す。なお、アンアベイラビリティは次式によって求めたものである。

$$\text{アンアベイラビリティ} = (N_r + N_i) / T$$

ここに、 N_r ：実故障件数(頂上事象ベース)

N_i ：推計故障件数(頂上事象ベース)

T ：推計延べ供用時間

表-2 故障件数

機器・部品	故障件数
扉体シーブ	1
水密ゴム	4
開閉装置	5
ワイヤーロープ	1
操作制御設備	2
計	13

表-3 アンアベイラビリティの推計値

対象門数	推計延べ供用時間	実故障件数	推計故障件数	アンアベイラビリティ
482	118,522,800	13	469	4.06673E-06
	(h)	計	482	(1/h)

※調査対象期間：10 年間
故障のなかった門扉については 3 倍の供用時間で 1 回の故障が発生すると推計

さらに、表-3 の結果と、信頼性による更新年数より求めた FTA の結果を比較検討する。

FTA によって求めたアンアベイラビリティが約 8.04×10^{-6} (1/h) (約 14.2 年に 1 回) であるのに対し、実績から求めた推計値は、約 4.07×10^{-6} (1/h) (約 28.0 年に 1 回) であり、FTA の方が発生間隔はかなり短くなっている。

この要因の考察をまとめると以下のとおりである。

- ・信頼性による更新年数は、更新実績から算定している。これまでの更新は時間計画保全を主体として実施されてきており、物理的な耐用限界より早めに更新されている事例が多いと推定される。従って、当該年数を用いて機械的に算定した故障率は実態より大きい可能性がある。
- ・ダム G 検討マニュアルによると、ダム用ゲート設備の扉体構造部の平均寿命は、93 年にも及ぶ。長いスパンで

使用する設備に対し、調査対象期間が非常に短い。また、母集団には新しいゲート設備も多く、更新を対象とした年数から算定した故障率と実績の故障率に階差が生じた。

さらに、構成機器・部品毎の故障実績と FTA 結果を比較したものを表-4 に示す。実際に故障が発生した機器・部品に着目し、件数ベースの構成比と FTA における同事象の寄与率とを比較すると、水密ゴム、ワイヤーロープ以外は概ね近い値を示している。

表-4 機器別故障構成比と同事象 FTA 寄与率の比較

区分	故障実績(10年間)		ダムG検討マニュアルによるFTA(推計)	
	故障件数	構成比(%)	事象生起確率(1/h)	寄与率(%)
扉体シーブ	1	7.69	3.1268E-07	4
水密ゴム	4	30.77	-	-
開閉装置	5	38.46	2.61533E-06	34.1
ワイヤーロープ	1	7.69	1.92357E-06	25.1
操作制御設備	2	15.38	1.42533E-06	18.6
計	13	100.00		
頂上事象(1/h)	4.0667E-06		7.67681E-06	100

水密ゴムについては、ダムG検討マニュアルにおいて突発的な損傷によって更新されることが多いとされ、信頼性による取替更新年数が設定されていない。今回の調査内容においても、2 件については異物の噛み込みによって水密の確保が難しくなった事例である。よって、水密ゴムの維持管理においては、個別の条件による不具合の発生実態を調査する必要があり、単なる更新ではなく、仕様面での改善が必要な設備があることを裏付けている。

また、ワイヤーロープについては、外面の素線切れや損傷は目視で確認することができるが、内部の疲労や断線は定常的な目視点検で発見することが難しい。よって、伸び率などによる傾向管理も行われているが、故障が発生すると甚大な被害をもたらす可能性が高い構成部品であり、早めの年数で更新される傾向が強い。表-1 に示される更新年数が 10 年と短いのはその影響であると考えられる。

3) FTA の適用性及び今後の課題

限られた故障情報から推計したアンアベイラビリティと信頼性による更新年数から求めた機器の故障率をもって解析した FTA の結果を比較したが、定量的な評価は難しかった。しかしながら、構成機器・部品レベルで比較すると、少ない情報ながら、故障情報が存在する開閉装置や操作制御設備ではこれらの相関が認められ、逆に階差が大きいワイヤーロープ等については、新たな状態監視技術が導入されれば、交換年数実績が延びて、実態に

近接していく可能性がある。

また、今回実施した FTA のミニマルカットセットは、基本事象が、「ワイヤーロープの不具合/切断」→「開閉装置の故障」に至るセットである。個別設備において FTA を行えば、ミニマルカットセットによる点検作業の重み付けも可能になる。今後、維持管理システムのデータ蓄積が進捗し、故障情報に基づく個別施設の FTA 及び FMEA を実施することで、より詳細な維持管理レベルの設定も行うことができると思料する。

平成 10 年度から平成 19 年度までの故障実績から推定すると、普段実施している年点検及び管理運転点検（月点検）において相当数の不具合を抽出し、未然に復旧していると考えられる。この不具合の傾向を把握することで各個別施設の「くせ」を掴むことになり、その発生間隔を把握できれば、より適切な定常時点検間隔の検討材料になる。

また、個別施設毎に点検・整備・修繕・更新に要した費用を統計すれば、どの要因に多くの費用を要しているか把握できるため、より効率的な維持管理方法の実現に資することができる。

3. 2 複数施設を考慮した維持管理手法

河 G 検討マニュアル、ダム G 検討マニュアル、河 P 検討マニュアルに基づく維持管理では、各施設の構成機器・部品毎に健全度(物理的耐用限界)を評価し、施設毎に設備区分の評価（機能を喪失した場合の社会への影響度）を行うことになっている。そして事後保全となってしまう緊急的な対応を除けば、各要素を総合評価して対処の優先順位を決定していく。

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、大都市、郊外、農村部といった地域特性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を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、社会への影響度をある程度定量的に評価する手法を検討・提案する。

3.2.1 評価フロー

これまで明らかになっている河 G 検討マニュアル、河 P 検討マニュアルの運用における課題は、大きく 2 点ある。

- 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。

①については、点検情報等を基にした評価手法を構築中であり、当チームではFTAとFMEAの導入を提案しているが、さらに振動解析手法、潤滑油の診断に基づく手法(SOAP及びフェログラフィ)の研究を別途実施している。

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、②については非常に重要な課題となるため、本研究の主要課題として取り組む。管理レベルの判断指標の1つとして、各施設が産み出す便益に着目する。

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、比較的水路勾配が小さい。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。

また、各水路が繋がっておりなおかつ勾配が小さいので、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-4に示す。以下に各論の概要を示す。

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管理レベルの評価

管理レベルの評価は、その内容が河川G検討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、便益を評価するフローを検討する。

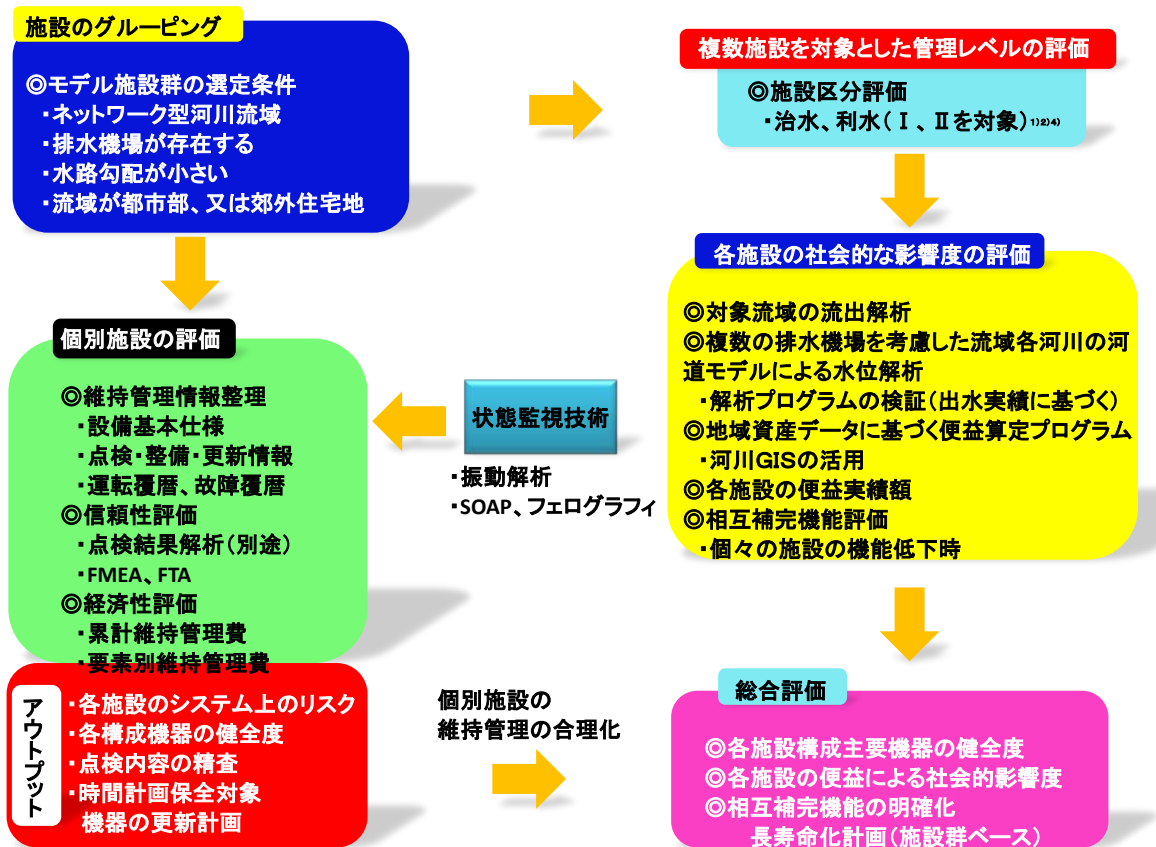


図-4 本研究の活用フロー図

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河川GISソフトウェアを作成する。当該ソフトウェアは、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・調整し、精度を高めるとともに、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する用途にまで発展させる。河川GISに、地域の資産情報を重合させて、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、当該ソフト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していく計画である。

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。

前項における施設毎の社会的な影響度と総合評価し、構成機器レベルの長寿命化計画を立案する。なお、長寿命化計画立案フローにおいては、機器の更新時における保全予防のアプローチを盛り込む。FMEA等の結果に基づいて、より高い信頼性の仕様を検討するものである。

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-5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-5に示す範囲の流域面積は、約51.4km²であり、図中の水路に記載のある数値は、計画流量(m³/s)である。

2) 施設と設備の概要

表-5～13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。

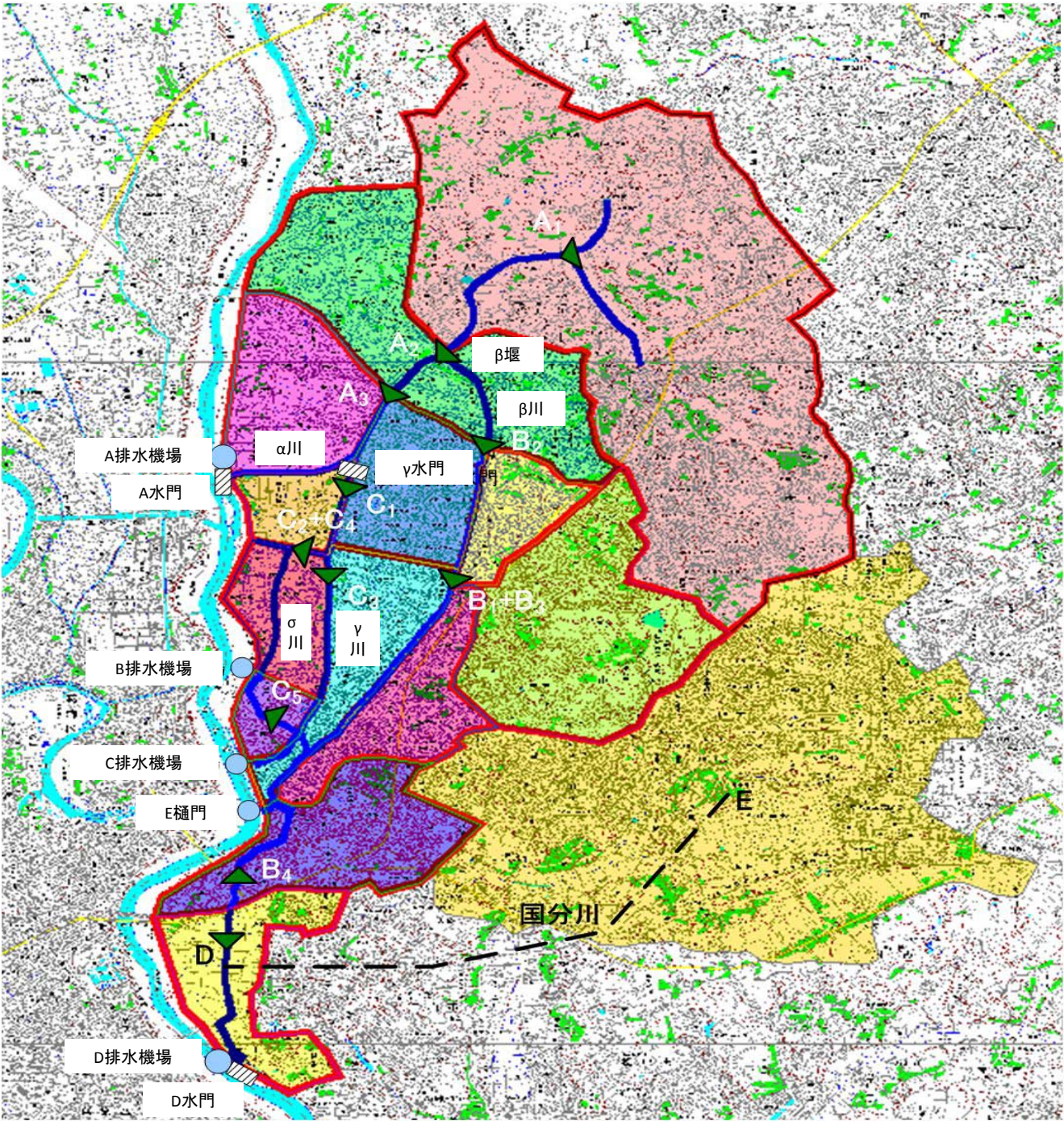


図-5 モデル流域図

表-5 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m³/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-6 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m³/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-7 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 ³ /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-8 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 ³ /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-9 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-10 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-11 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-12 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-13 D水門基本仕様

D水門		鋼製プレートゲートローラゲート	
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)0.1m/min(予備モータ)	
揚程		10.630m	
電源		200V 50Hz	
操作方式		機側操作および遠方操作	

3.2.3 維持管理情報管理(情報の収集)

1) 収集情報の概要

今回収集した情報は、設備の基本仕様・機器構成などの基本情報と、運転情報、点検整備情報など維持管理情報であり、維持管理情報として収集できたものは表-14に示すとおりである。

2) モデル施設群の治水機能

図-6 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51.4km²の河川であり、流域の大半は市街地化されている。

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、拡張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。一方で江戸川の水位上昇に伴う坂川の自然排水阻害は免れず、内流域へと変化した。

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100m³/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 $10\text{m}^3/\text{s}$ の暫定排水量で運用し、平成 7 年より $15\text{m}^3/\text{s}$ に増強された。

β川の流末には、排水量 26m³/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-15 にモデル施設群エリアの流域面積と排水系統を示す。

3) 点検整備情報・故障情報・経済性情報

表-5～13 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-14 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。

今年度は、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。

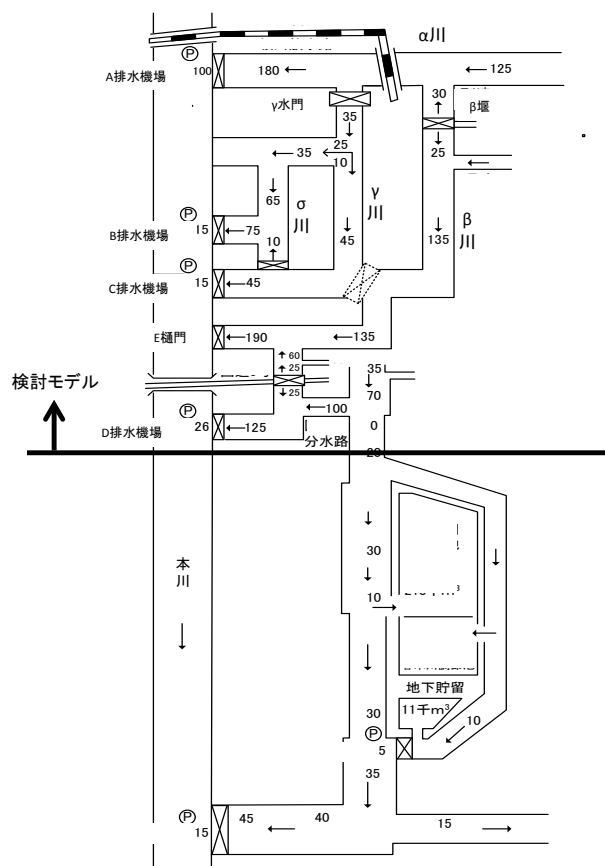


図-6 モデル施設群の排水系統図

表-15 流域面積

流域名	流域面積 (km ²)	地覆狀況		排水系統
		市街化区域 (km ²)	調整区域 (km ²)	
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	

3.2.4 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-16 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-17 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、C-1 機場と D 機場の FT 図（集計部）を図-7, 8 に示す。

表一14 収集した維持管理情報の概要

運転記録																											
施設名称	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																●	●	●	●	●	●	●	●				
C排水涵管																●	●	●	●	●	●	●	●				
E樋門														●		●	●	●	●	●	●	●	●				
δ堰														●		●	●	●	●	●	●	●	●				
D水門																											

点検整備記録																											
施設名称	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																											
C排水涵管																											
E樋門																											
δ堰																											
D水門																											

表-16 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-17 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	2.98×10^{-5}	3年10ヶ月
B排水機場	2.35×10^{-5}	4年10ヶ月
C-1排水機場	1.55×10^{-5}	7年4ヶ月
C-2排水機場	2.34×10^{-5}	4年11ヶ月
D排水機場	3.18×10^{-5}	3年7ヶ月

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2)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。

しかし、今後ネットワーク型水路における信頼性を評価するため、1つの機場が他の機場の代替機能を有すると仮定した場合、排水量ベースでのアンアベイラビリティが大きな意味を有する。

今後、補完機能が明らかになった段階で、当該排水量を確保できない事象を頂上事象としたFTAを実施していく必要がある。

3.2.5 個別施設の経済性解析

表-14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-18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費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 $100\text{m}^3/\text{s}$ 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。最初に老朽化が進むB及びA排水機場の維持管理手法の検討が優先事項になるが、今後各機場の障傾向を明らかにし、全般的な維持修理費用の低減方策を具体的に検討する。

表-18 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

3.2.6 水文・水理プログラムの作成

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・水理プログラムの作成を行う。図-9に構築フローを示す。

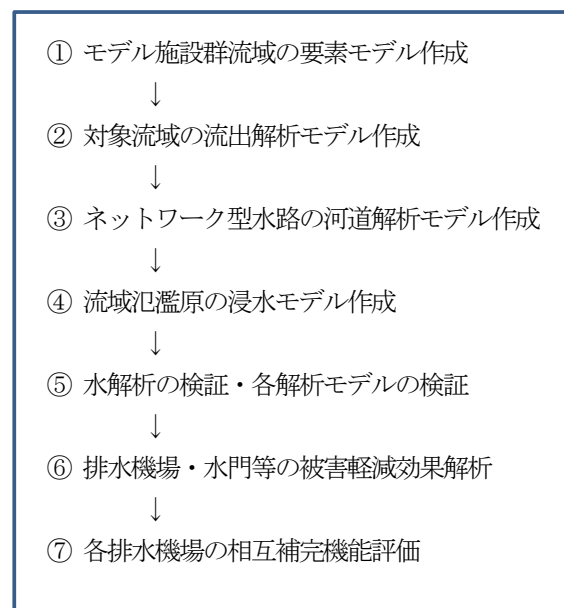
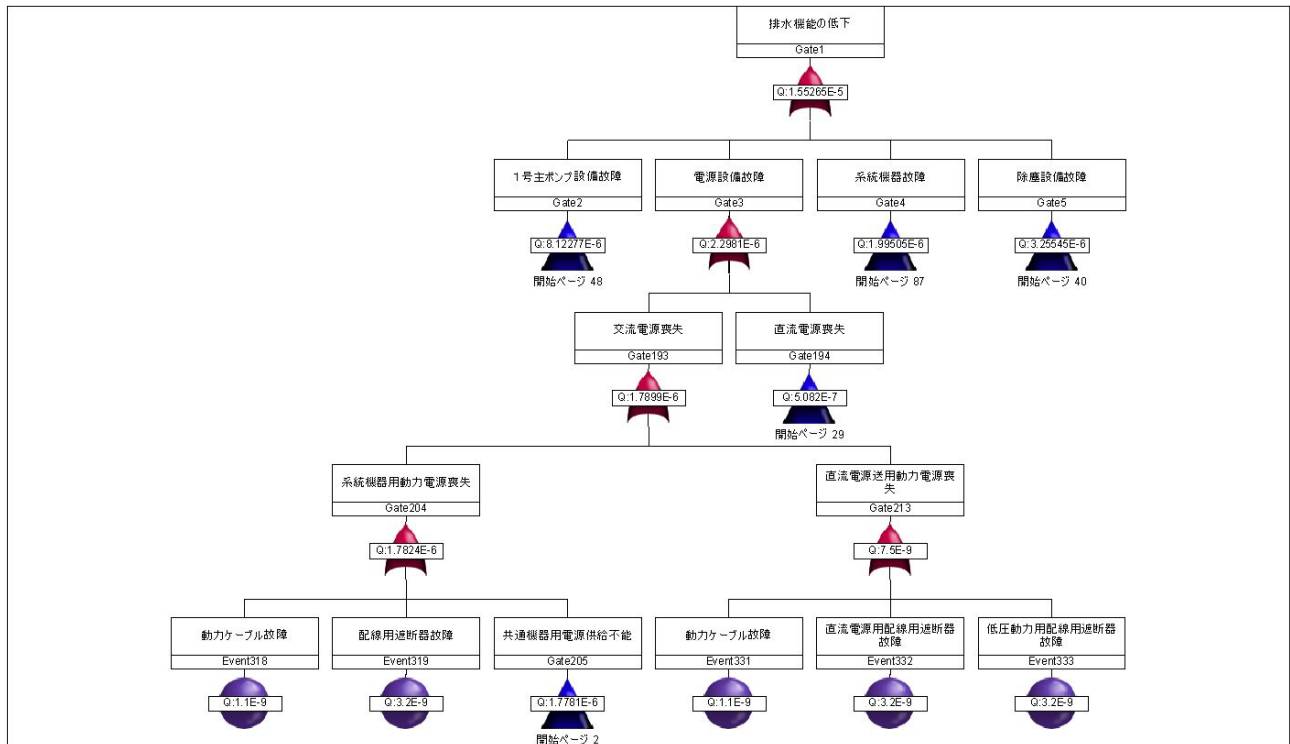


図-9 プログラム構築フロー

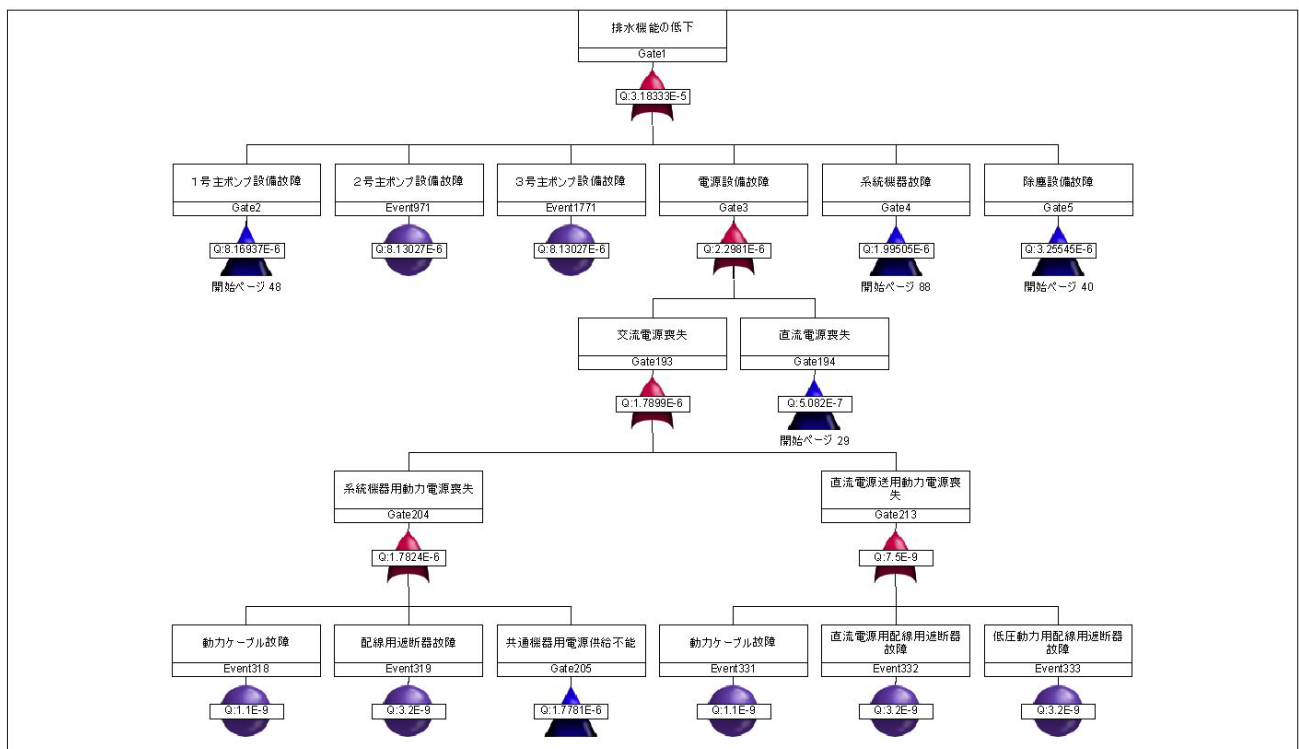
図-6に示す流域の各水路、排水機場、水門等の配置を考慮し、まず流域の水文・水理解析用要素モデルを考案する。

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



図－7 C-1機場のFT図



図－8 D機場のFT図

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具体的に検討していく。

本水文・水理プログラムは、将来的にGIS機能によって地域の資産情報と連結動作させ、便益算定に活用する。

平成23年度は、構築フローにおける①～③まで実施した。

1) 水文・水理プログラムの条件 6)

本研究で作成する水文・水理プログラムの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、他の施設群へ追うようが可能となること
- ・ 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改変できないため、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(CommonMPでは、要素モデルを組み合わせたシミュレーションモデル1式を「プロジェクト」という。)を構築・実行できることである(図-10 参照)。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。

このような、水理・水文に関するモデリングシステムは、これまでもいくつかのソフトウェアが開発されている。日本においては、京都大学で開発されたOHyMoS(Object-oriented Hydrological Modeling System)がある。CommonMPは、OHyMoSの開発思想を基盤にしているうえ、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。

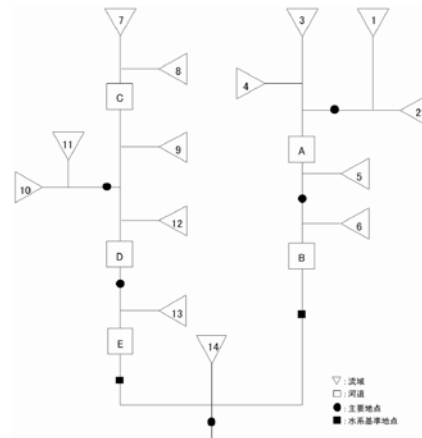


図-10 CommonMP 要素モデル接続イメージ

2) 要素モデルの検討

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。本研究においては、まず図-5に示す流域のプロジェクトを表すことのできる要素モデルを検討し、既存モデルにない要素モデルは作成することとした。

まず、流出解析モデルは、一級河川の流出解析において実績の多い貯留関数法を用いるが、これについては既存モデルを準用できる。

河道解析については、精度の確保を考慮し一次元不定

表-19 要素モデルの要求機能

要素モデル	要求仕様	適用箇所
一次元不定流モデル	・ 開水路の水面形の追跡 ・ 管路の水面形の追跡 ・ 下流端水位境界の設定 ・ 下流端流量境界の設定 (水門等で流れが堰き止められている、ポンプ等で排水されていることを表現する) ・ 下流端境界を外部要素モデルからの制御で切り替える設定 (本川水位による水門の開閉などを表現する) ・ 分派・合流の設定	・ 各水路の河道
排水機場モデル	・ 一定量の放流の設定 ・ 内水位・外水位によって、放流の開始・停止を制御する設定	・ A排水機場 ・ B排水機場 ・ C排水機場 ・ D排水機場
水門モデル	・ 内水位・外水位によって、水門の高さを制御する設定	・ γ水門 ・ A水門 ・ D水門
堤モデル	・ 越流公式により越流量を算 ・ 内水位・外水位によって、堰体頂部を制御する設定	・ β堰 ・ 各水路中の可動堰

流モデルを採用する。また、ネットワーク型水路及び施設群の機能を盛り込むため、排水機場モデル、水門モデル、堰モデルが必要になる。これらの要素モデルに対する要求機能を表-19に示す。

一次元不定流については既存モデルがあるが、ネットワーク型水路に対応していない。一次元不定流モデルにおける要求機能と既存モデルの適用性について表-20にまとめた。検討の結果、ネットワーク水路の一部に存在する管路、水路の下流端境界の設定、分派の設定について既存モデルの機能では不十分であることがわかった。

対応策として、管路の水面形の追跡については既存モデルの開水路を準用(満管とならないと想定)、下流端流量境界の設定、下流端境界を外部の要素モデルからの制御で切り替える設定、水路の分派の設定については、当該機能などを新たに実装することとした。

下流端流量境界の設定とは、単純に水位で境界を示すのではなく、ポンプ等で排水されていることを表現するもの(モデル流域においては、A～D排水機場が該当)であったり、あるいは水門の開閉などによって、流れが堰き

表-20 既存モデルの適用性

要求仕様	既存要素モデルの機能	対応方法
・開水路の水面形の追跡	可	—
・管路の水面形の追跡	不可	開水路として簡略化
・下流端流出境界の設定	可	可
・下流端流量境界の設定	不可	当該機能を実装する
・下流端境界を外部要素モデルからの制御で切り替える設定	不可	当該機能を実装する
・分派の設定	不可	分派率を設定する要素モデルを使用する
・合流の設定	可	—

止められたり、本川へ流出することを表現するものである。排水機場モデルについては、既存モデルを準用できる。

水門の既存モデルについては、内水位・外水位によって、水門の高さを制御する機能を満足できないため、当該機能を実装した。

また、堰の既存モデルは、越流量の算定については適用できるが、内・外水位によって扉体頂部(起伏堰である場合、堰の高さが変化する)を制御する機能については適用できないため、これについても新たに作成した。

3) 流出解析モデルの作成

モデルとなる流域の要素モデルの配置・接続の検討を行うと共に、ネットワーク型河道モデルに流域からの流出量を受け渡すための流出解析モデルの CommonMP プロジェクトを作成した。

4) モデル図の作成

流域分割に係る情報及び排水機場等の施設情報に基づき、要素モデルの配置・接続の検討を行い、モデル図の作成を行った。図-11に作成したモデル図を示す。

流域からの流出量については、貯留関数法を想定するものとし、解析モデル単位は計算結果によって変更が可能なものとした。

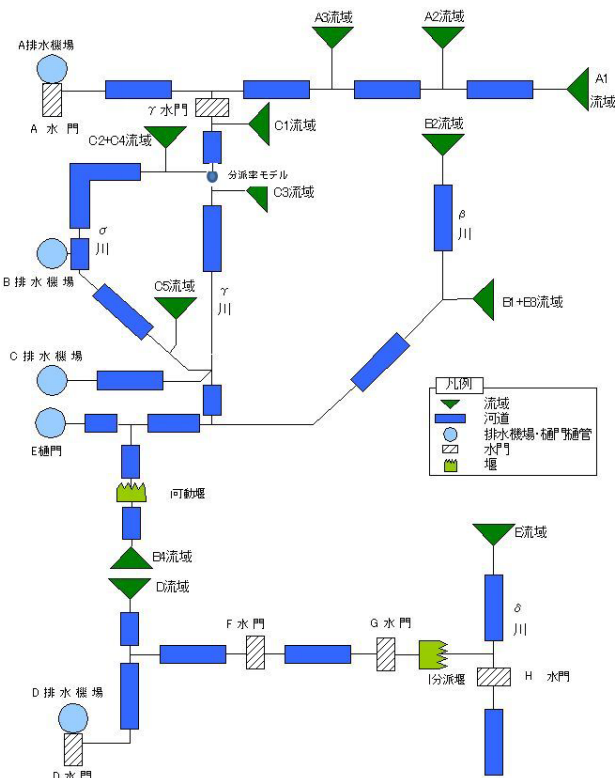


図-11 流域モデル図

5) ネットワーク型河道解析

水路の一次元不定流解析の既存要素モデルでは、下流端境界として、水位境界、HQ式境界のみ対応している。本解析では、排水機場の機能を盛り込むため、下流端は閉じてポンプで流出量を掃き出す表現が必要となる。

具体的な実装方法として、以下の方法が考えられる。

- ① 流端境界処理において、下流端流出量（ポンプ掃き出し量）をインプットとし、現時刻の下流端水位とポンプ掃き出し量から、次時刻の下流端水位を算出する。
- ② 最下流端河道区間の処理において、横流入量（排水になるので数値としては負値で与える）を考慮できるモデルに改良する。

上記について、実装上の安定性を検討した結果、より安定性の高い①案を採用することとした。

6) 排水機場要素モデルの作成

要求機能である「一定量の放流の設定」及び「内外水位・外水位によって、放流の開始・停止を制御する設定」を示す機能概念図を図-12に示す。

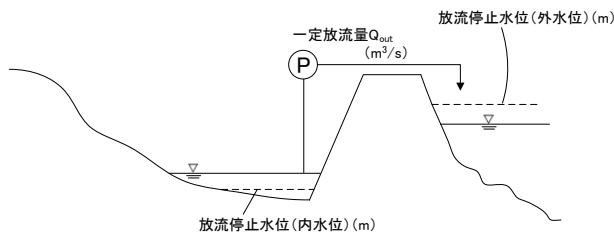


図-12 排水機場の機能概念図

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-13に他の要素モデルとの接続概念図を示す。

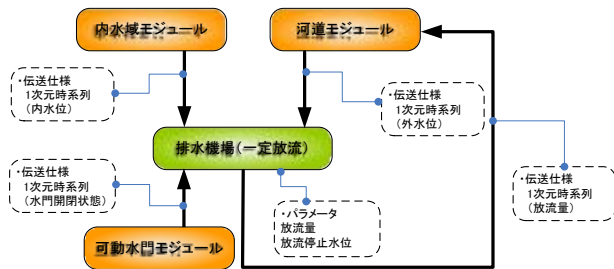


図-13 排水機場要素モデル接続概念図

7) 水門要素モデルの作成

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モデルの概念図を、図-14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-15に、水門要素モデルと他のモデルとの接続概念を示す。図-16 堰の機能概念

$$\text{自由流出} \quad Q = C_1 a B \sqrt{2gh_0}$$

$$\text{潜り流出} \quad Q = C a B \sqrt{2gh_0}$$

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 h₀、下流水深h₂、aによって与えられる係数)

図-14 水門の機能概念図

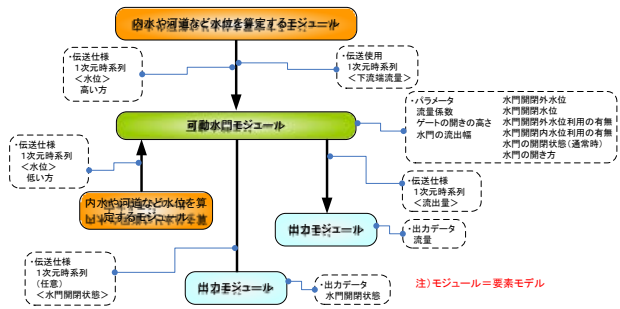


図-15 水門要素モデル接続概念図

8) 堰要素モデルの作成

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する。図-16に堰の機能の概念図を示す。

図-16 堰の機能概念図

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

する。図-17 に他要素との接続概念を示す。

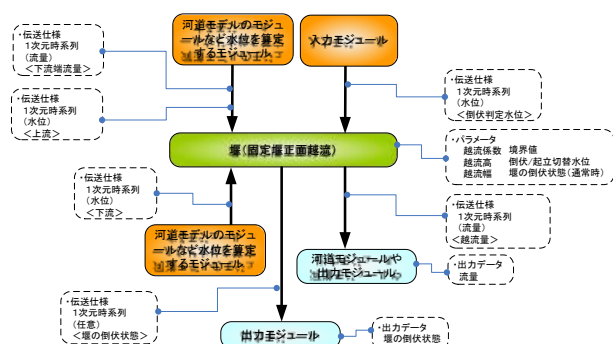


図-17 堰要素モデル接続概念図

9) モデル流域のプロジェクト

各要素モデルを図-11 に示すモデル構成に組み合わせて、流域のプロジェクトを作成した。図-18 にプロジェクト図を示す。

今後、実際の出水時水文データ及び設備の稼働記録を活用し、プロジェクトの機能を確認し、精度を高めるため各要素モデルのセッティングを実施する必要がある。当該作業において、プロジェクトに以下の設定を反映させることとした。

- ・A・B・D 排水機場については、実績から排水量を入力できるものとする。
- ・ γ 水門は、実績水位と操作規則から水門は閉じたものとして取り扱う。
- ・ α 川と γ 川の分派部分から B2 流域の流入部までの河道区間については、実質的に A1 流域の流出分に含まれると判断し、当面省略して作業を進める。
- ・ α 川と σ 川の分派部分については、分派モデルを適用する。
- ・水路に設けられている起伏堰のうち、操作規則上洪水時に倒伏するものはモデル化しない。
- ・当面 B4 と D 流域は分水嶺として流向を逆向きとして取り扱う（河道の縁切りを行う）。
- ・対象流域の外部にある堰・水門で構造が不明なものは省略してモデル化する。H 水文は閉状態とし、 δ 川の香水は D 排水機場方面へ流入すると仮定する。
- ・水路のうち、トンネル区間については開水路として設定する。

ただし、これらの設定は機能確認や精度向上の作業で必要な改訂を実施すべき事項であり、そのために充実した過去の水文データを入手し解析を行う必要がある。

10) 課題の整理

今年度は、モデルとした流域を対象に、流出解析・河

道解析を行うことができるネットワーク型水路の CommonMP プロジェクトを作成したが、今後の技術的な課題について以下にまとめる。

① 分派の計算可能な河道モデルの構築

流域モデルの分派部（ α 川と σ 川に分派）は、分派率を入力するモデルとなっており、現状は整備計画で示された分派率を入力している。本来は流況によってその都度分派が決定されるため、今後は分派の計算可能な河道モデルを構築する必要がある。

② 境界条件によって流下方向が決定される河道モデルの構築

構築した α 川流域モデルの河道モデルは、境界条件の制約のため予め決定した方向にのみ流下するものとなっている。今後の α 川流域の排水機場等の補完機能を検討するためには、予め流下方向を決定することができないため、モデルの境界条件によって流下方向が決定される河道モデルを構築する必要がある。

③ モデルの精度向上

- ・河道断面データの更新

河道モデルに用いている断面データは、より近年のものを使用することで現況の流況の特性を再現し易くなるため、近年の断面データ（堆積物の影響など）を把握する方法を検討する必要がある。

- ・観測データの追加収集

対象流域で、実際の水位観測点が少ないことから、現在収集したもの以外の観測データの追加収集を検討し、各要素モデルのパラメータ同定上の精度を高める必要がある。

- ・下流域のモデル化（対象範囲の拡大）

現状は、H 水門より下流部分はモデル化を実施していないが、今後実施する機能確認及び各パラメータ同定の状況によっては、CommonMP プロジェクトの対象範囲を拡大する検討も必要となる。

3.2.7 排水機場における保全予防の検討

1) 個別設備の保全予防

保全予防とは、過去の維持管理情報を基に、信頼性、保全性、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ていく保全活動である。

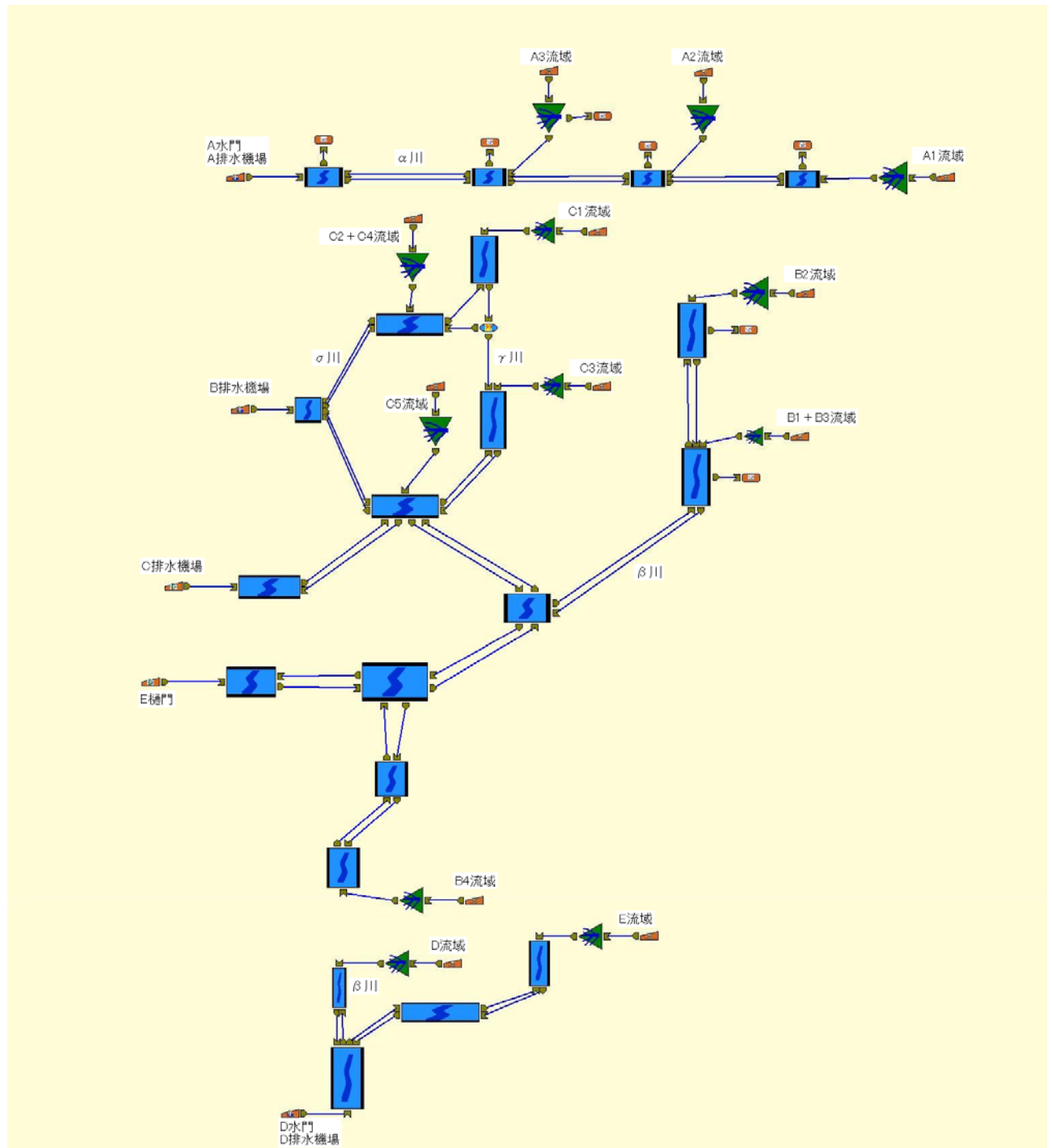


図-18 作成したプロジェクト

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或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-19に示す。

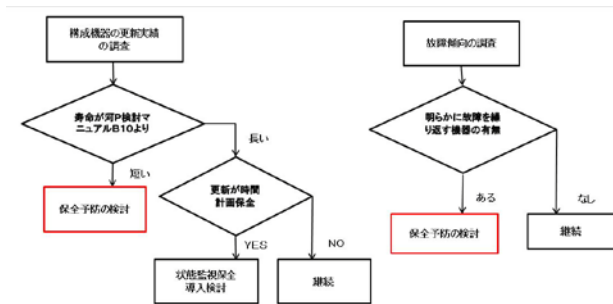


図-19 保全予防採用の検討フロー

まず、構成機器の更新実績に基づく検討であるが、河G検討マニュアル、河P検討マニュアル、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。

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-21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-14に示す情報内での件数である。

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

表-21 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

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があるが、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。本年度調査した故障情報においても、これらの情報を把握できない事例が多かった。

2) 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。

今後研究では、グルーピングした施設群における構成機器や主要部品（同類の部品点数が多い品目）について、分解整備や更新時に他の近隣機場との共有化を図ることの有効性や技術的な課題について検討を行っていく。具体的な対象機器として、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。

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。

4. まとめ

1) 個別の機械設備の維持管理手法

ダム用ゲート設備の健全度評価に活用できるFTA（故障木解析）を提案した。10年間の故障実績とダムG検討マニュアルから得られるFTA結果を比較し、故障傾向を解析した。個別施設の実データを収集し、故障情報を整理するとともに、点検・整備・修繕・更新に要した費用を統計することができれば、どの要因に多くの費用を要しているか把握できると考えられる。今後検証が必要である。

2) 複数施設を考慮した維持管理手法

H23年度は、個別の維持管理手法を発展させ、複数施設を対象とした維持管理手法の考え方を示した。河川で

は、ポンプ設備やゲート設備の信頼性と経済性を把握した上で、各設備の便益、相互の補完機能の有無、健全度を総合的に評価する手法を目標として設定した。

河川の機械設備関連として、実在する排水機場とゲート設備群を含むネットワーク型水路をモデルとして選定し、便益の実績値算定と排水機場の相互補完性を評価するための水文・水理ソフトウェア（CommonMP）作成に着手した。

3) 今後の課題

水文・水理ソフトウェアを完成させるためには、CommonMPの要素モデル（河道モデル）の高度化を図ったうえで、流域氾濫原モデルの構築以降へ進む必要がある。

また、水理解析の精度向上においては、河道に関する実態に近い断面情報や欠落している水文情報の補充が必要である。

河川においては、CommonMPを河川GISに実装し、地域の試算情報を重合させて便益算定手法の確立を図る。

道路においては、道路排水設備、トンネル換気設備の稼働が交通に影響を与える状況を特定化し、3便益（走行時間短縮・走行経費減少・交通事故減少）を評価する手法を検討する。道路においてもモデルとしてある道路網を限定し、存在する道路排水、トンネル換気設備が機能を喪失した場合の毀損便益を評価する方法を検討していく。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)、2008.3
- 2) 国土交通省：河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)、2008.3
- 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 No. 217, 2011.2
- 4) 国土交通省：ダム用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)、2011.4
- 5) 大ダム会議
- 6) 長健次 他：機械設備の信頼性評価に関する調査研究、土木研究所資料、第2870号、1990.3
- 7) 土木学会：水理公式集、p.254、1999.11

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

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Advanced Technology Research Team

Author : KENICHI Fujino

YOSHIMITSU Tanaka

HITOSHI Ueno

YUTAKA Ishimatsu

Abstract : The machine plants of the river and the road(water pumps, gates, jet-fans, etc) take very important role. In Japan there are many such kinds of plants, those are getting older and its number is increasing. The life cycle management is needed more.

In order to manage within limited budget, 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 to establish this management method. First step is for single plant based on its plants needs or purpose, types and circumference environments. Second step is for two or more related plants. Finally, we would like to propose the optimization design method of plants which will be used in updating and maintenance.

In fiscal year 2011, we investigated the estimation method of the plant soundness degree using its past maintenance data. This is based on our research-team previous findings about the management method of the river drainage pump station. And we also investigated the multiple plants social influence degree evaluation method using the one real model and condition.

Key words : Stock Management, Maintenance-Management, Soundness Degree Evaluation