

土 木 研 究 所 資 料

ダム用ゲート開閉装置(油圧式) の信頼性評価に関する調査研究

平成3年3月

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ダム用ゲート開閉装置の信頼性評価 に関する調査研究

機械研究室 室 長 長 健次*
研究員 岩見吉輝**
研究員 出原 浩***
北嶋公生

- * 現 中国地方建設局中国技術事務所長
** 現 北陸地方建設局黒部工事事務所機械課機械係長
***現 九州地方建設局道路部機械課業務第一係長

要 旨

ダムの管理施設として重要な役割を担っている、ゲート(放流設備)のより確実な機能確保を目的として、これに信頼性工学を導入してその信頼性を定量的に評価する手法の開発を行ったものである。また、開閉装置の構成機器の更新時期に関して、いくつかのケースについて、信頼性の向上効果の評価を試みた。一方故障事例の原因分析も行った。

キーワード：ダム用ゲート，FTA，信頼性工学，フィールドデータ，
アンアベイラビリティ，寄与率，更新時期，故障原因分析

ま え が き

建設事業の推進により年々整備が進む河川管理施設や道路施設の中で、機械設備は重要な役割を担って設置されている。例えば、ゲート設備や排水ポンプ設備は、河川構造物そのものの一部となり洪水の安全な流下や内水排除等の機能を発揮している。特にダム用ゲートは、洪水時のピーク流量の低減に欠かせないものであり、その重要度も高い。また、トンネル換気設備や散水融雪設備は、道路空間や路面の状態を良好に保持し、安全かつ円滑な道路交通の確保に寄与している。

これら機械設備の大きな特徴は、作動して始めて要求される機能を発揮する点であり、このため、故障が発生する可能性も潜在している。操作盤のパイロットランプから設備機械本体に至るまで、その本来の機能が喪失または低下することはすべて“故障”と考えられるが、万一設備本体の故障が発生した場合、周囲の地域社会へ与える影響は甚大である。

建設省では、これら機械設備の機能の確保を図るため、各設備の設計、維持管理についての技術基準や要領等の整備を進めている。また、治水事業、道路整備事業等の進歩に伴い、ゲート設備や排水ポンプ設備、トンネル換気設備等が増加し、効率的かつ効果的な実施による維持管理の充実が重要な課題となってきた。

機械設備の信頼性を向上するための設計や維持管理の方法の検討に当たっては、関係技術者のノウハウや経験の積み重ねに基づいた定性的な評価に頼っているのが現状である。

一方、他分野においては定量的な評価が試みられており、原子力発電所や航空機などのように故障の発生が致命的な影響を与える設備などをはじめとして、「信頼性工学」を応用した定量的な信頼性管理が一般化している。

このような情勢をふまえ建設省が所管する機械設備の信頼性確保方策を検討するために、信頼性工学の導入に対する試みが行われ、実態調査等を中心として地方建設局の協力の下に実施された。

昭和59年度から62年度にかけては、機械設備の信頼性に対する定量的評価手法の調査研究が行われ、排水機場及びトンネル換気設備について、手法が開発され、定量的評価に基づく、計画、設計、維持、管理の合理的な実施方法や、新技術の導入の信頼性向上効果の評価を行った。

今回、この調査研究の成果を継承し、昭和62年度から平成元年度にかけて行った、ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の信頼性評価に関する調査研究について、その取りまとめを行うものである。

昭和62年度は予備調査として、ダム用ゲート開閉装置（油圧式）に信頼性工学を適用する上での理論調査を行い、排水機場やトンネル換気設備と同様FTAを用いることとした。

昭和63年度は、モデルダム用ゲート（3タイプ）に対するFT図を作成し、フィールドデータの収集を行い、アンアベイラビリティおよび故障寄与率の算出を行った。

平成元年度は、故障事例の原因分析、構成機器の更新時期に対するシミュレーション計算を行った。この成果が、機械設備の合理的な設計・維持管理手法の検討に役立てば幸いである。

目 次

まえがき

1. 概 要	1
1.1 調査研究の位置づけと目的	1
1.2 信頼性の検討体系と本調査の範囲	1
2. 信頼性解析の基礎理論	3
2.1 信頼性の定量化	3
2.2 信頼性データの収集	9
2.3 信頼性評価尺度の検討	10
3. F T Aの実施	13
3.1 モデルダム用ゲートの設定	13
3.2 F T 図作成の前提	13
3.3 F T 図の作成	16
4. 信頼性データ	17
4.1 フィールドデータの収集	17
4.2 信頼性データブックによる信頼性データ	19
4.3 今回のダム用ゲートの F T A に用いた故障率	20
5. 信頼性の定量化	22
5.1 信頼性評価の前提条件	22
5.2 ダム用ゲート開閉装置のアンアベイラビリティ	22
5.3 アンアベイラビリティ寄与率	27
6. 故障事例調査	29
6.1 故障事例の原因分析調査	29
6.2 故障事例の原因分析に対する考察	29
7. F T A と設計・維持管理	53
7.1 F T A と設計	53
7.2 F T A と維持管理	53
7.3 機器更新時期の F T A による検討	53

ま と め	63
参考文献	65
参考	
資料 1. ダム用ゲート信頼性調査票（ダム管理事務所依頼）	69
2. " （ゲート製作会社依頼）	83
3. 調査対象設備一覧	93

1. 概 要

1.1 調査研究の位置付けと目的

建設省が管理している機械設備は、河川、ダム、道路などが本来の機能を発揮できるように設置されているものであり、その性能は永久的に維持されなければならない。特にダム用ゲートは、台風、集中豪雨、融雪による大量の出水に対応し、多大なる被害を防止すべく的確な操作が要求されており、そのためには万全なる信頼性を持たなければならない。

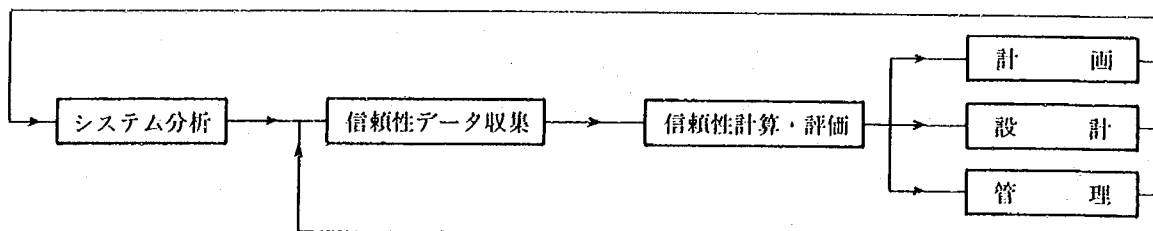
機械設備の信頼性を定量的に評価するための調査研究は、昭和 59 年度から 61 年度にかけて建設省技術研究会共通部門指定課題として実施された。これは、建設省建設経済局建設機械課を主務として、土木研究所が中心となって、大臣官房技術調査室、河川局、道路局等の関係部局の意見を踏まえつつ、各地方建設局と共同して行ったものであり、その成果は、土木研究所資料第 2870 号「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」（平成 2 年 3 月発行）にもまとめられている。この調査では、評価する機械設備の具体的対象として、排水機場及びトンネル換気設備を挙げて実施し、定量的評価手法を確立させ、定量的評価に基づく、計画、設計、維持、管理の合理的な実施方法や、新技術の導入に対する信頼性向上効果の評価を行った。

本調査は、同様の手法（F T A）をダム用ゲート開閉装置に試みるものであり、以下のことを目的とし、高い信頼性をもたせて機械設備を維持管理するための合理的な設計、点検、整備に関わる基準、要領などの作成に資するものである。

- ① ダム用ゲート開閉装置（油圧式）における信頼性の定量的評価手法の確立
- ② ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の信頼性を支配する（故障に寄与する度合の大きい）装置・機器の抽出
- ③ 故障事例の原因分析
- ④ 構成機器の更新時期の検討に対する F T A の応用

1.2 信頼性の検討体系と本調査の範囲

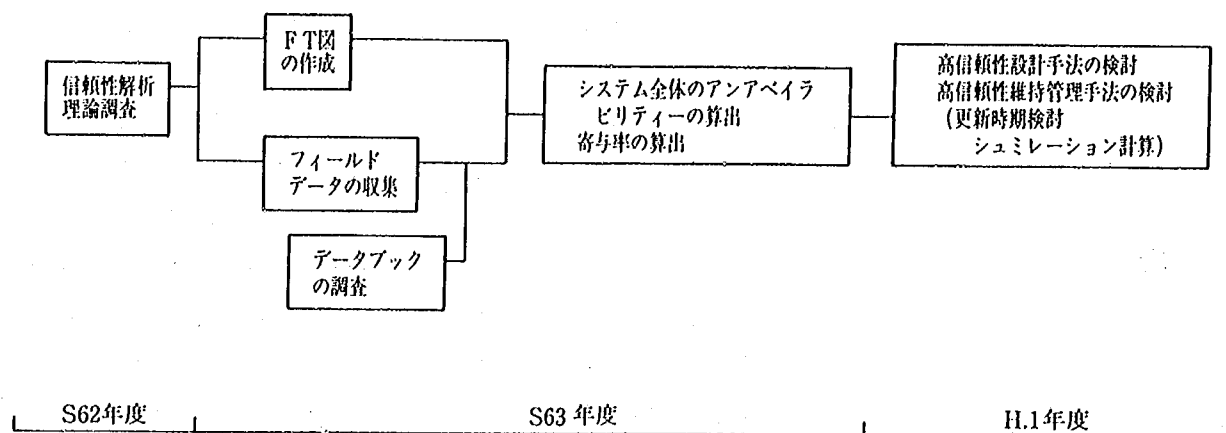
信頼性の検討に係る作業の一般的な工程は、図－ 1.1 に示すような体系になる。この中で、信頼性データを蓄積すべき要素分割レベルを規定するシステム分析と、要素毎に正確な信頼性データを蓄積することが最も重要である。



図－ 1.1 信頼性検討のフロー

特に、信頼性データの蓄積には長期間を要するのが一般的である。これは、ある部品の故障率（信頼性）を統計的に把握するには少なくとも10回以上の故障データを必要としているためである。しかし、多くの部品は一般的に他の分野でも使用されていることから、他分野での信頼性データを活用することも可能である。

本調査では、図－1.2に示すフローによって調査研究を進めることとした。すなわち、図－1.1に示すフローの中で“システム分析”（既設置のゲート）から“信頼性計算・評価”までに該当する。



図－1.2 調査研究フロー図

2. 信頼性解析の基礎理論

本調査研究の実施に先立ち、信頼性工学の基礎的な考え方をまとめておくことにする。

(土木研究所資料第 2870 号「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」より抜粋)

2.1 信頼性の定量化

2.1.1 システムの信頼性

いま、ある固有の機能を持つ機械システムを考えることとする。このシステムの信頼性とは、JISによる定義に従えば、“システムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすることができる性質”ということになる。わかりやすくいえば、信頼できるかどうかというのは、システムがある使用状態におかれたとき、あるコストの制限内で使用者が要求し期待する時間、満足している状態にあるかどうかということである。この信頼性は、修理を前提とする自動車や計算機と、故障すれば修理をしないで捨ててしまう電球のような消耗品とは少し考え方が違ってくる(図-2.1 参照)。信頼性を正常と故障という状態間の推移としてとらえると“信頼度”と“保全度”の2つの概念が考えられ、時間をパラメータとする確率過程として定量化される。電球のような消耗品では、“信頼度”をはじめから高めておく必要があり、“保全度”は考えない。しかし、修理を前提とするシステム(修復系)では“信頼度”のほかに“保全度”が重要となる。

ここで、信頼度が対象とする事象は、システムに外部から加わるストレスを低減化すること、システム自体の強度を向上させ故障源となる欠陥を取り除くこと、さらに一部がこわれたり誤動作を起こしても全体に影響しない配置や構造にすること、あるいは故障が起こる前に予防保全を行うことである。これに対して保全を対象とする事象は、故障が生じた後でスペアに切り替えたり、故障を早く見つけて満足な状態に修復すること、すなわち事後保全となる。

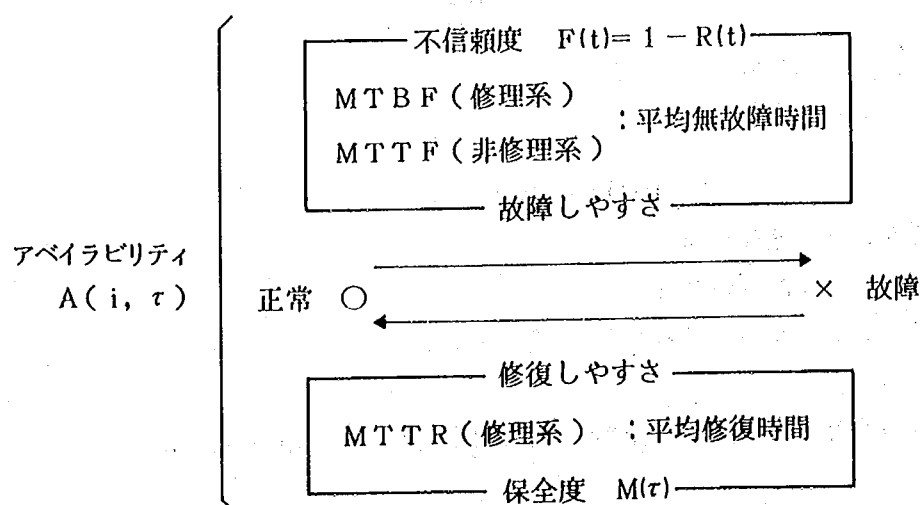


図-2.1 信頼度 $R(t)$ 、保全度 $M(\tau)$ 、アベイラビリティ $A(i, \tau)$

〔MTBF, MTTFは正常から故障への平均移行時間, MTTRはその逆で、修理回復までの平均故障時間を示す。〕

広義の信頼性は、以上の“信頼度”と“保全度”の2つの概念を含む“アベイラビリティ”という概念で、一般に確率として定量的に評価される。

人が操作し保全を行いながら使用するシステム、たとえば計算機、車両などでは故障しないことももちろん大切であるが、“保全度”が対象とする修理やサービスの機能を始めから“信頼度”と結びついた形でシステムに織り込むことが大切である。しかし、無人の人工衛星や修理できない構造の製品や部品では事後保全に頼る訳にはいかないから、はじめから“信頼度”を高めておくことになる。

表-2.1 信頼度と保全度の比較

	信 頼 度	保 全 度
累 積 分 布 関 数	信頼度関数: $R(t)$	$1 - M(\tau)$
	不信頼度関数: $F(t) = 1 - R(t)$	保全度関数: $M(\tau)$
	故障状態にある確率, 故障しやすさ	保全で正常状態に戻る率, 修理しやすさ
密 度 関 数	$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$	$m(\tau) = \frac{dM(\tau)}{d\tau}$
率 (時間当り)	故障率 $\lambda(t) = f(t)/R(t)$	修復率: $\mu(t) = m(t)/(1 - M(\tau))$
指数分布の場合の 累積分布と平均時間	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ $MTBF (MTTF) = 1/\lambda$	$M(\tau) = 1 - e^{-\mu \tau}$ $MTTF = 1/\mu$

この信頼度 $R(t)$ は、一般に指数分布、正規分布の積分型、ワイブル分布となり、保全度 $M(\tau)$ は、対数正規分布で表記される。他に関係の深い尺度として“故障率 $\lambda(t)$ ”、“修復率 $\mu(\tau)$ ”などがあり、これらの関連は表-2.1に示す通りである。つぎに、アベイラビリティ $A(t, \tau)$ については、対象とするシステムの使命に応じて最適な尺度を検討しなければならないが、一般によく用いられる形式として、例えば、

$$A = \frac{\text{平均故障間隔 (MTBF)}}{\text{平均故障間隔 (MTBF)} + \text{平均修復時間 (NTTR)}}$$

$$= \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{指数分布の場合}) \quad (2.1)$$

あるいは、

$$A(t, \tau) = R(t) + (1 - R(t)) \cdot M(\tau) \quad (2.2)$$

ここに、 t : 使命時間

τ : 許容修復時間

などの形で表わされるものが提案されている。なお、

$$\bar{A} = 1 - A \quad (2.3)$$

をアンアベイラビリティと称し不信頼性の評価尺度としてよく用いられる。

2.1.2 信頼性の定量化手法⁽³⁾

システム全体の信頼性の評価に際しては、FMEAならびにFTAという手法が採用されることが多い。FMEAは定性的な評価方法であり、定量的評価方法であるFTAに先立つ準備作業として実施される。

(1) FMEA

FMEAは、システムを構成する各々の部品がどのような故障モードを有しており、さらにこれらの構成部品に故障が起きたとき、それが上位レベルの装置やシステムの使命、機能、信頼性あるいは安全性にどのような影響を与えるかを解析し設計上の問題点を事前に発見する、あるいは、ある設計上の改善策が採られた時にそれがシステムの信頼性改善にどの程度寄与するかを予測するためのものであり、故障モード影響解析とも呼ばれている。後述のFTAがシステムの呈する現象から順に下位レベルの要素へ下っていく方法を採用のに対し、FMEAでは、上位レベルのシステムへと逆上っていく方法を採用することとなる。

実際の作業は、図-2.2に示すワークシートを各構成部品について埋めてゆく作業となる。

システム _____		FMEA記入用紙				Date _____					
サブシステム _____						作成者 _____					
						所 属 _____					
構成品名 識別番号	機 能	故 障 モード	故障の 原 因	故 障 検知法	故障の影響		評 価 点				処 置 内 容 処置担当課
					サブ システム	システム	発生 度合	影響 度合	検出 度合	重 要度	

図-2.2 FMEAのワークシートの例

(2) FTA

FTAは、故障の木解析とも称され、システムの特定故障の発生原因を下位レベルに樹木のように展開していき、最下位レベルの要素故障の発生確率値から理論的に逆上ってシステムの特定故障の発生確率を求める方法である。この解析の中心はFT図（故障の木）の作成にあるが、FT図とは、“解析しようとする現象（本調査では、「ゲート流量調節機能の喪失」）が生ずるためには何が起これなければならないか？”という素朴な質問をして、その事象の原因となる事象をすべてあげ、それらの間の因果関係を論理記号を用いて結合する。さらにその原因となる事象は、というように論理記号を駆使して上から下へと逆トーナメント式に組み立てていき、すべての事象がもうこれ以上分解できないところ—基本事象—まで続けていき、できあがった論理図である。

このようにFTAは結果と原因をAND、ORなどの論理記号で結び上位レベルから下位レベルの要素故障にいたるまで論理的に整合のとれた樹木図の形に展開していく方法をとるため、各構成要素のアンアベイラビリティ等がデータブック等により与えられればシステム全体の故障確

率や故障発生経路をブール代数(巻末資料参照)を用いて数学的に求めることができる。表-2.2にFTAで使用する主な記号を紹介する。

ここで、ごく簡単な例として芝刈機のエンジンを対象として信頼性解析例によるFTAの実施手順を示す。⁽³⁾

① 解析対象エンジン

この芝刈機の動力は空冷2サイクル小型エンジンで、出力は約4馬力である。燃料としてはガソリンとオイルの混合した燃料を使用する。

また燃料タンクは上部にあり、重力給油方式により燃料を燃焼室に供給する。したがって、燃料ポンプはない。

始動は、通常は電気式スタータを使用して行うが、もしスタータが使用できない場合はプル・コードを引張ることにより手動による始動もできるようになっている。スタータの電源はバッテリーである。また、電流断続による高電圧発生機(バッテリー点火装置又はマグネット点装置)があり、点火プラグに高圧電気を供給する。

② トップ事象の選定

トップ事象の候補として、1)エンジン始動せず。2)エンジン連続運転できない。があげられたが、このエンジンのスタート失敗の確率がどの程度なのか知るため、まず1)をトップ事象として取り上げ解析することにする。

③ F T図の作成

「エンジンが始動しない」というトップ事象に対して、その原因となる事象を考えるには、まずエンジンが始動するためにはどのような機能が必要であるかを考える。そしてトップ事象の起こる原因はその裏返しの事象であると考えれば良い。このためには、システムの機能ブロック図や信頼性ブロック図を利用する。機能ブロック図から各機能別、サブシステムごとにエンジン始動に果たす役割を考えていくと抜けや見落としが防止できる。この際細かい原因がいろいろ出てくるが、それらをまとめて、事象記号 $\square$ に記すようにする。

エンジンが始動しない原因は、まず燃焼室に燃料が到達していないことがあげられる。また、燃料がきていても、シリンダ内の圧縮圧力が不足しては始動できない。あるいは十分な規定圧力まで混合気が圧縮されていても、電気系統の故障で点火プラグのアーキが飛ばなかったり、アーキに圧縮混合ガスを点火するエネルギーが不足しているときもエンジンはスタートしない。エンジンは大別して、これらの事象のどれか一つ存在しても始動できない。したがって、トップ事象に対する第1次の原因事象としてこれらの3つを取り上げてORゲート結合する。

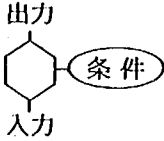
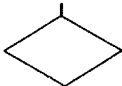
次にこれらの3つの原因事象のそれぞれに対して、順次同様な方法でさらに解析を進め、ツリーを発展させていく。このようにして描いたFT図を図-2.3に示す。

④ 信頼性の計算

トップ事象の発生確率を計算するためには、基本事象の発生確率データまたは故障率データが必要である。これらのデータは、データブック、信頼性試験結果、フィールドデータの収集などによって得られるものであり、故障解析上の関数としては不信頼度あるいはアンアベイラビリティの形で与えられる。

図-2.3には多くの文字記号がある。 P_1 から P_7 までは出力のそれぞれのレベルを示し、 C_1

表-2.2 FTAに用いる論理記号(基本的なもの)⁽³⁾

No	記 号	名 称	説 明
1		事 象 EVENT	基本事象などの組み合わせにより起こる個々の事象
2		基 本 事 象 BASIC EVENT	これ以上は展開されない基本的な事象または発生確率が単独に得られる最も低いレベルでの基本的な事象
3		AND ゲート "AND" GAUE	すべての入力事象が共存するときのみ出力事象が発生する。論理積。
4		OR ゲート "OR" GATE	入力事象のうち、いずれか一つが存在するとき出力事象が発生する。論理和。
5		制 止 ゲート INHIBIT FATE	入力事象について、このゲートで示す条件が満足する場合のみ出力事象が発生する。条件付き確率。
6		否 展 開 事 象 UNDEVELOPPED GVENT	情報不足、解析技術の不十分により、これ以上展開できない事象をあらわす。ただし作業の進行によりさらに解析が可能となったときは、再び展開を続行する。
7		家 型 HOUSE GATE	通常発生すると思われる事象を示す。たとえば火災について解析しているとすれば、"空気の存在" がこれにあたる。
8		移 行 記 号 CONNECTING SYMBOL	FT図上の関連する部分への移行または連結を示す。 三角形の頂上からの線のものは入る移行を示す。
8'		移 行 記 号 CONNECTING SYMBOL	8と同じ。 三角形の横からの線は出ていく移行を示す。

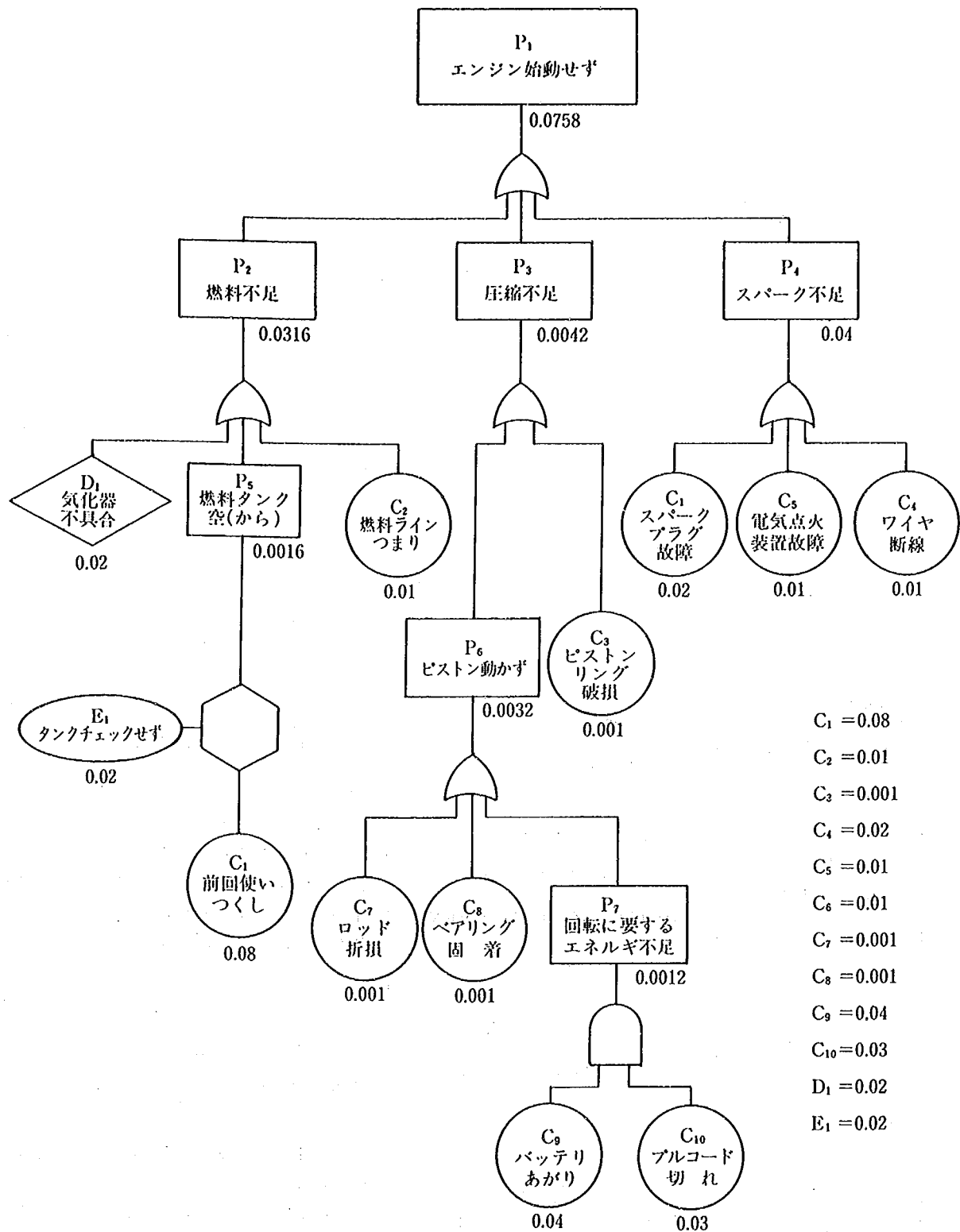


図- 2.3 動力芝刈機エンジンのFT図

～ C_{10} は基本欠陥事象を， D_1 は否展開事象を，また E_1 は制止条件を示している。これらの文字の選択はまったく自由である。

次の故障発生確率が各文字に与えられた（簡単のため定数として与える）とする。

$$\begin{array}{llll}
C_1 = 0.08 & C_4 = 0.02 & C_7 = 0.001 & C_{10} = 0.03 \\
C_2 = 0.01 & C_5 = 0.01 & C_8 = 0.001 & D_1 = 0.02 \\
C_3 = 0.001 & C_6 = 0.01 & C_9 = 0.04 & E_1 = 0.02
\end{array}$$

基本事象○，否展開事象◇と制止条件事象—○に数値が与えられ，出力事象□はそれらの値から計算により得られるものであり，数値の割当てではない。

AND，ORおよび制止ゲートは，ハードウェアでも機能品目でもなく，確率計算の“オペレータ”として，論理の鎖に方向を与えるものである。

上記の数字を使用して，ブール代数の法則に従って下から上に向かって計算を進める。

$$P_7 = C_9 \cdot C_{10} = 0.04 \times 0.03 = 0.0012$$

$$P_6 = C_7 + C_8 + P_7 = 0.001 + 0.001 + 0.0012 = 0.0032$$

$$P_3 = P_6 + C_3 = 0.0032 + 0.001 = 0.0042$$

$$P_4 = C_4 + C_5 + C_6 = 0.02 + 0.01 + 0.01 = 0.04$$

$$P_5 = C_1 \cdot E_1 = 0.08 \times 0.02 = 0.0016$$

$$P_2 = D_1 + P_5 + C_2 = 0.02 + 0.0016 + 0.01 = 0.0316$$

$$P_1 = P_2 + P_3 + P_4 = 0.036 + 0.0042 + 0.04 = 0.0758$$

したがって，この芝刈機エンジンの「始動しない」という事象発生の確率は7.58%または約13回に1回起こる。

⑤ 成果の活用

F T Aの最後のステップは結果を評価して，トップ事象の生起に最も寄与している欠陥事象または故障を識別して，効果的な改善対策を検討することである。

図-2.3をみると P_4 の“スパーク不足”が始動不良の53%を占めており，最も大きく，トップ事象の発生に影響を与えていることがわかった。

したがって，始動の問題を改善するためには，まず点火プラグと電気点火装置に対して設計改善を行う必要がある。次は P_2 であり，特に基本事象の“燃料ラインのつまり”について調査し対策を講ずべきであるといえる。

なお，この例では，基本事象の発生確率としては簡単のため定数を与えたが，経過時間 t ，保全時間 τ の関数であるアンアベイラビリティ $A(t, \tau)$ の形で発生確率を与えれば，維持・管理の影響まで定量的に考慮することが可能となる。

2.2 信頼性データの収集

一般にあるシステムの故障特性を論ずるには，まずそのシステムを信頼性の観点からいくつかの構成要素に分割し，各構成要素の信頼性を2.1で述べたような関数で表現してやらなければならない。具体的な関数形を決定する方法としては，既存のデータブックより情報を得る方法，信頼性試験を実施しデータを得る方法，フィールドテストからデータを集積し解析する方法などがある。

2.2.1 データブックの利用

近年，アメリカの軍事機器の信頼性データブックに端を発し，特に故障率が一定である電気電子部品を中心に，信頼性データが充実しつつある。これらを利用するのが最も手軽な方法である。

一般的に、部品の信頼性はその使用環境により大きく左右されるため、データブックの基礎となった部品の作動環境と実際に信頼性を評価しようとしている部品の使用条件が異なる場合、データブックのデータはそのままでは使用できなくなる。そこで、作動環境による補正係数なるものが、各種提案されており、これらデータブックの利用に際しては、あらかじめ検討の対象となる機器類の設置環境を調査しておく必要がある。

2.2.2 信頼性試験

信頼性データを既存のデータブックに求められないときは、実験的に故障特性を明らかにする方法がとられる。このような、製品やシステムの故障とその効果に関して製品の信頼性を明らかにするために行われる試験を総称して「信頼性試験」という。試験は、実施場所、方法、加えるストレスの特性、信頼性計画上の位置づけなどの立場から次に例示するような方法が提案されているが、どの様な方法で試験するかは、目的によって使い分けられる。⁽¹⁾

実施場所：実験室等（開発・試作段階で、固有の信頼度を求める。）

実地、現場（製品の使用状態での動作信頼度を求める。）

ストレスの程度：正常動作試験、オーバーストレス試験、破壊までの試験、限界試験

加速寿命試験、強制劣化試験、促進試験

定ストレス試験、負荷スペクトラム印加試験

ステップストレス試験、ストレス増加試験

サイクリックストレス試験

間欠動作試験、無負荷放置試験

試験対象：全数試験、抜取り試験

材料、部品、サブアッセンブリ、ユニット、サブシステム、システム

製品信頼性確認：型式認定試験

受け入れ試験

2.2.3 フィールドテスト

2.2.2のような信頼性試験を体系的に実施するには、一般に多大な費用、人員、時間を要するため、故障時の影響が非常に大きいものや広く使用されるもので行われるのが一般的である。そこで、日常の設備の保全活動を通じて、対象となるシステムや要素の信頼性データを蓄積しようとするものがフィールドテストである。これらのデータ収集は、信頼性活動を総合的に推進するための組織を作って、設備の維持・管理などと一体とな行われることが多い。収集されたデータは、その目的に応じて整理され、要素毎の信頼度あるいは故障率などとして蓄積される。

2.3 信頼性評価尺度の検討

信頼性を定量化するための尺度であるアベイラビリティの定義付けは検討対象設備の使命、機能を十分検討した上で行わなければならない。このとき、常用系と非常用系では信頼性の考え方が異なる（2.1.1参照）。本調査の対象設備であるダム用ゲート開閉装置は、非常用系であるため、非常用系のアベイラビリティの定義付けについて以下述べる。

2.3.1 非常用系接備のアベイラビリティ

非常用系設備は、常時は比較的長期間にわたって待機状態にあるが、ひとたび要求があった場合その運転機能に高い信頼性が要求される。また、電球のように故障すれば捨ててしまう非修理系と異なり、システムに故障が発生しても修理を施して（すなわち保全）使用を継続していくことを前提として設計された修理系である。

以上のことがらを考慮して、常時待機状態にある非常用設備の信頼性（アベイラビリティ）は次式で表わすこととした。

$$A_T = A_1 \cdot A_2 \quad (2.4)$$

ここに、 A_T ：システムのトータルアベイラビリティ

A_1 ：起動に対するシステムのアベイラビリティ

A_2 ：連続運転に対するシステムのアベイラビリティ

システムの信頼性は A_T で表わしてもよいが、後述のFT図が故障という事象に着目しているのでシステムの評価も A_T と表裏一体の関係にある不信頼性を示すトータルアンアベビリティ $\bar{A}_T$ で表わす方がよい。

$$\begin{aligned} \bar{A}_T &= 1 - A_T = 1 - A_1 \cdot A_2 \\ &= \bar{A}_1 + \bar{A}_2 - \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

通常、 $\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2$ は微少であるので省略する。したがって、

$$\bar{A}_T = \bar{A}_1 + \bar{A}_2 \quad (\ll 1.0) \quad (2.6)$$

ここに、 $\bar{A}_T$ ：システムのトータルアンアベイラビリティ

$\bar{A}_1$ ：起動に対するシステムのアンアベイラビリティ

$\bar{A}_2$ ：連続運転に対するシステムのアンアベイラビリティ

となる。

ここで(2.6)式 $\bar{A}_1$ は、必要とした時にシステムに対して起動指令を発したが、システムが正常に起動できない事態が生じる確率であり、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 &= \frac{1}{T} \int_0^T (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t}) dt \\ &= \frac{1}{2} \lambda_1 \cdot T - \frac{1}{6} (\lambda_1 \cdot T)^2 + \dots \\ &\approx \frac{1}{2} \lambda_1 \cdot T \quad (\ll 1.0) \end{aligned} \quad (2.7)$$

ここに、 λ_1 ：待機状態におけるシステムの故障率

T ：点検周期

$\bar{A}_2$ は、システムが正常に起動した後、稼働の必要がなくなるまでの一定の時間内でシステムが故障する確率であり、次式で示される。

$$\begin{aligned} \bar{A}_2 &= 1 - e^{-\lambda_2 \cdot t} \\ &= \lambda_2 \cdot t - \frac{1}{2} (\lambda_2 \cdot t)^2 + \dots \\ &\approx \lambda_2 \cdot t \quad (\ll 1.0) \end{aligned} \quad (2.8)$$

ここに、 λ_2 ：運転状態におけるシステムの故障率

t ：連続運転時間

ここまではシステムを検討の対象として議論がなされてきたわけであるが、このシステムを構成する個々の要素（部品）の信頼性の定量化についても同様の議論が当てはまる。すなわち、ある要素 n についても、起動に対するアンアベイラビリティ $\bar{a}_{1n}$ と連続運転に対するアンアベイラビリティ $\bar{a}_{2n}$ を考える必要があり、 $\bar{a}_{1n}$ 、 $\bar{a}_{2n}$ はそれぞれ次式で示される。

$$\bar{a}_{1n} = \frac{1}{2} \lambda_{1n} \cdot T \quad (2.9)$$

$$\bar{a}_{2n} = \lambda_{2n} \cdot t \quad (2.10)$$

ここに、 $\bar{a}_{1n}$ ：起動に対する要素 n のアンアベイラビリティ

$\bar{a}_{2n}$ ：連続運転に対する要素 n のアンアベイラビリティ

λ_{1n} ：待機状態における要素 n の故障率

λ_{2n} ：運転状態における要素 n の故障率

T ：点検周期

t ：連続運転時間

F T 図による信頼性計算においては、基本事象の発生確率を F T 図の扱う事象（起動か連続運転か）に応じて $\bar{a}_{1n}$ あるいは $\bar{a}_{2n}$ で与えることとなる。

ここで、式（2.7）および（2.9）は、点検周期 T のとり方により、信頼性が左右されることを示しており、すなわち定期保全による保全性の概念が組み込まれているといえることができる。

3. F T Aの実施

3.1 モデルダム用ゲートの設定

本調査研究における、F T Aによる信頼性解析を実施するに際して、モデルダム用ゲートを設定し、同モデルについて信頼性評価手法を用いて検討を進めていくこととした。

モデル設備は、高圧ゲート（油圧式）とするが、ゲート形式、水密方式に違いがあるため、施工実績の多い次の3タイプを設定し、それぞれについてF T図を作成することにした。

- ① 高圧ローラゲート（水密方式：ゴム圧着式A₂）
- ② 高圧ラジアルゲート（水密方式：扉体圧着式A₁）
- ③ 高圧ラジアルゲート（水密方式：摺動式B）

運転操作方式は、機側操作を設定した。

図-3.1にモデルダム用ゲートの設備構成図を、図-3.2にモデルダム用ゲートのうち、②高圧ラジアルゲート（扉体圧着式）の外観図を示す。

3.2 F T図作成の前提

3.2.1 前提条件

1) ダム用ゲートに要求される機能

今回、ダム用ゲートに要求される機能を次のように規定した。「通常時待機状態にあるダム用ゲートが、放流を要求されたときに、確実に始動することができ、かつ必要開度まで連続して運転でき、必要時間必要開度を保持することができること」

2) 操作方式は、機側、単独、押しボタン操作とする。

3) 複数門で相互にバックアップシステムを構成している場合でも、1門ごとに独立したものとす

る。

4) 機能消失に直接影響を与えない電流計・電圧計・開度計・表示灯等監視機能は展開しない。

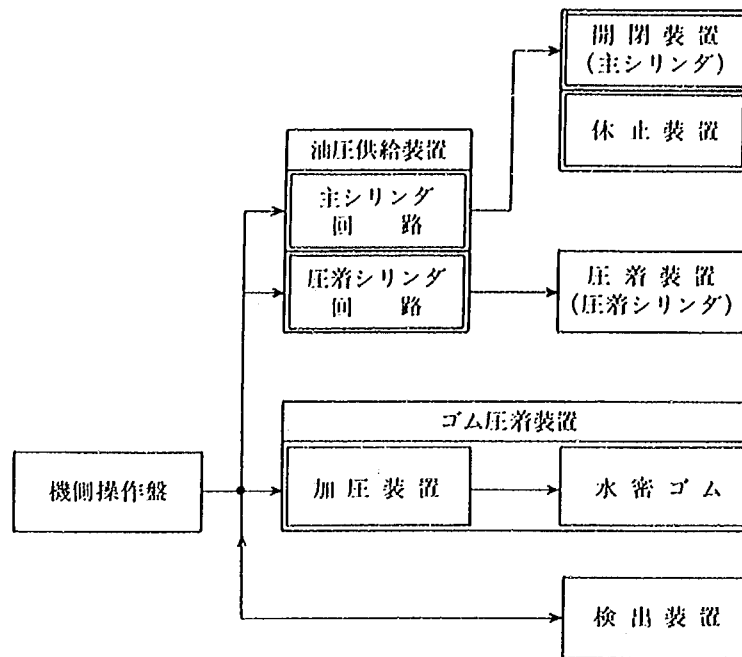
5) 電源、扉体、戸当りの故障は展開しない。

6) 手動操作設備（手動ポンプ等）は、バックアップ設備とはみなさない。

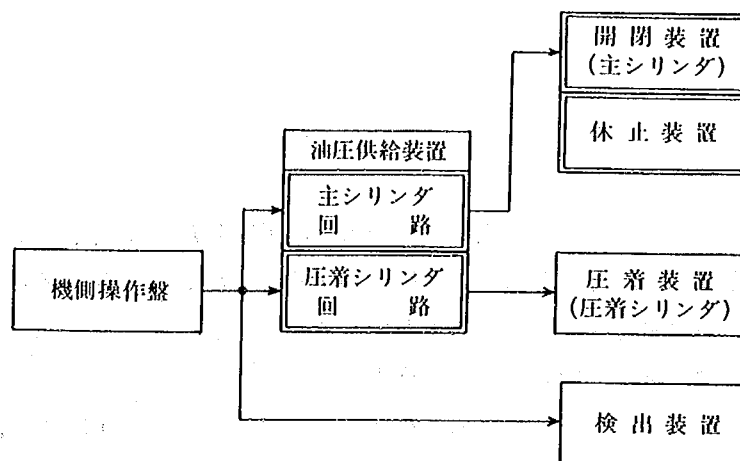
3.2.2 F T図トップ事象

F T A法におけるF T図は、システム（ダム用ゲート開閉装置）にとって望ましくない事象をトップ事象として取り上げ、それを引き起こす因果関係を、システム→サブシステム→アッセンブリ→コンポーネント（最小要素）まで順次掘り下げ、その過程を論理記号を用いて表したものである。したがって、トップ事象が信頼性評価目的に合わせて正しく設定されなかった場合には、できあがったF T図は意図にそぐわないものとなり、それをを用いて信頼性評価計算を行っても意味のないものになってしまう。

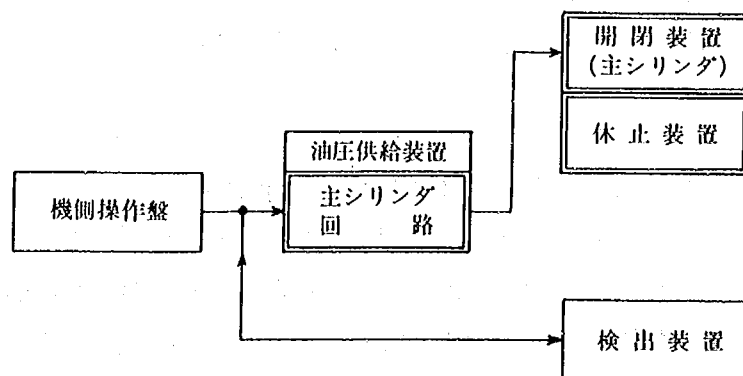
本調査では、ダム用ゲート設備に要求される機能から、「ゲート流量調節機能の喪失」とする。



(1) 高圧ローラゲート（ゴム圧着式A₂）

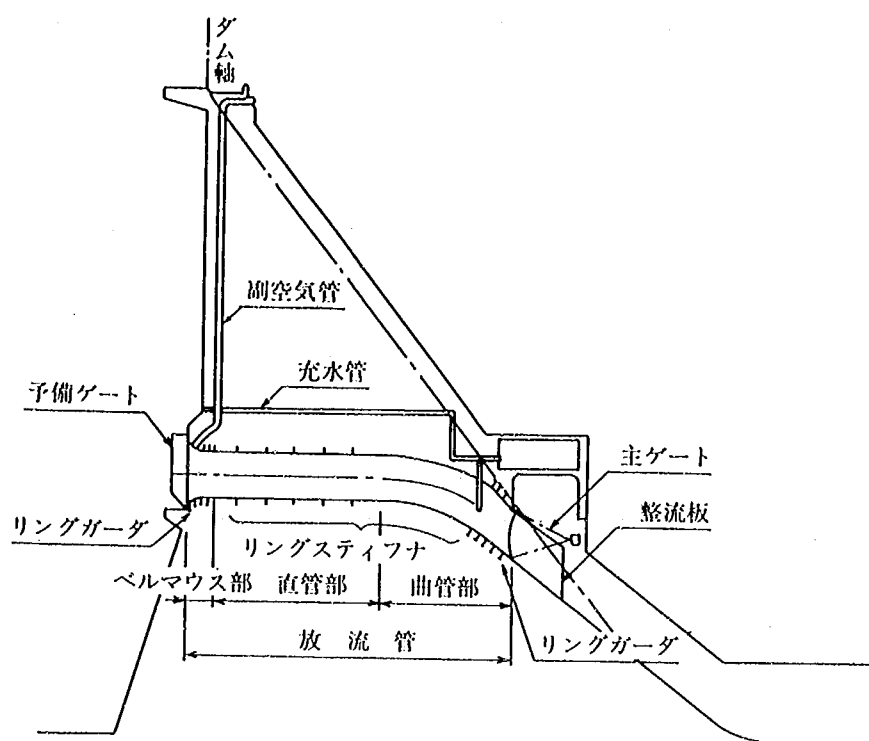


(2) 高圧ラジアルゲート（扉体圧着式A₁）

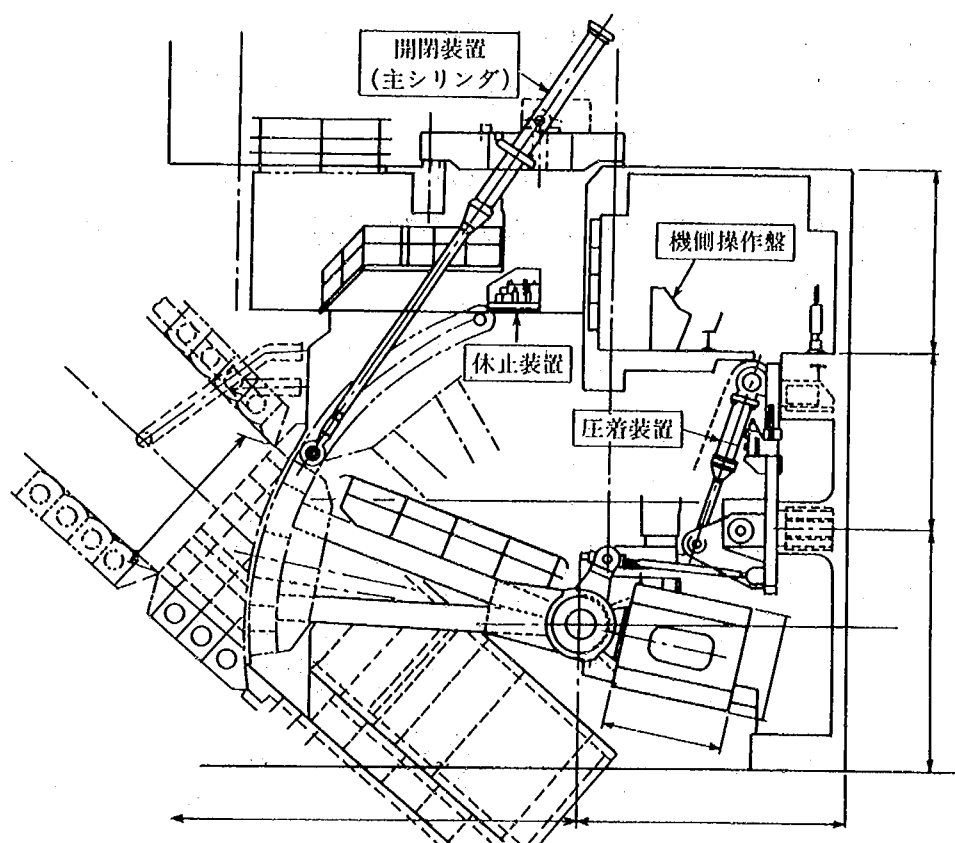


(3) 高圧ラジアルゲート（摺動式B）

図-3.1 モデルダム用ゲートの設備構成図



(1) ダムにおける位置 (I 型管) の例



(2) 油圧式高圧ラジアルゲート (扉体圧着式) の例

図-3.2 高圧ラジアルゲート (主ゲート) の外観図

すなわち、ダム用ゲートは、始動機能と連続運転機能の両者が同時に満足されなければならない設備である。

3.2.3 信頼性評価尺度

今回の調査では、FTA法というシステムにとって望ましくない事象に着目した解析手法を採用しているので、システム（ダム用ゲート開閉装置）の信頼性評価尺度としてアンアベイラビリティを用いることとした。具体的には前述のダム用ゲート開閉装置に要求される機能を考慮し、次に示す二つの信頼性評価尺度を規定した。

① 始動失敗に関するアンアベイラビリティ…………… $\bar{A}_1$

② 連続運転失敗に関するアンアベイラビリティ…………… $\bar{A}_2$

排水ポンプ設備としてのトータルアンアベイラビリティ ($\bar{A}_T$) は、これら $\bar{A}_1$ 、 $\bar{A}_2$ を含めて次式で評価することとした。

$$\bar{A}_T = \bar{A}_1 + \bar{A}_2 \quad (\ll 1.0)$$

3.3 F T 図の作成

前項で示したように、F T 図は全部で3タイプ分作成したが、それらの一つ一つは大変膨大なものであるためにこの報告書で1種類だけでも完全に載せることは難しい。そこでここでは、ゴム圧着式タイプのF T 図の一部を図-3.3～図-3.6に示す。

ここで挙げたF T 図は、今回調査で故障頻度の高かった、油圧供給装置について展開したものである。油圧供給装置のリリーフ弁のポペットがかみ込んだために油圧異常が起こり、インタロック回路が働いて、運転不能になったケースを表している。

このようにF T 図は、大変に複雑でかつ膨大なものであるが、事象を引き起こす因果関係が論理的に表現されているものである。また、後述するようにE T 図を用いて、システムの信頼性を定量的に求めることが可能となる。

4. 信頼性データ

F T Aによる信頼性の定量的評価を行うためには、F T図の一番末端に位置する構成機器の故障率を与える必要がある。

故障率を与えるためのデータとしては、2.2にあるように、フィールドデータの収集や、データブックの活用などにより得ることが考えられる。本調査においてもその両方を調査してみることとする。

4.1 フィールドデータの収集

4.1.1 調査の概要

調査の対象とする設備は、建設省地方建設局及び水資源開発公団の管理するダムの油圧式高圧ラジアルゲート、ローラゲート及びバルブとした。調査対象設備数は95(門)である。調査期間は、各ダムの竣工から、昭和63年8月までとした。

本調査における「故障」とは、「各機器が本来の機能を失うこと、あるいは低下したこと」をいう。ただし、機能の損失や低下には、潤滑油・グリスの交換及び補給、フィルタの目詰まりや清掃、錆の発生や汚れ、ボルトの緩みや脱落、水抜きその他通常の点検、管理に係わるものがある。このような管理項目あるいは故障とは判断しがたい項目は除くこととするが、これら管理項目を怠ったことによってシステムの機能に障害が発生したような場合は「故障」と考えることとした。

調査内容は、調査期間中に報告された機器の故障情報(機器名、故障の程度、故障原因、故障時の運転状態、故障に対する処置、等)としたが、更新した機器についても、定期的更新(定期的な交換の時期がきたため更新したもの)、劣化更新(劣化していて故障を予知したため更新したもの)に分けて、またそれぞれ何年目に更新したのかも合わせて調査した。

調査は、ダム管理所およびゲート製作会社に対して行った。調査票を巻末に調査票-1、調査票-2に示す。

また、これら収集した故障情報は、実際の放流操作のみならず、年点検等点検時に発見されたものも当然含まれている。

4.1.2 フィールドデータの概要

フィールドデータの概要を図-4.1~4.4に示す。

故障の発生は、特定の機器に集中する傾向があることがわかる。

4.1.3 機器故障率の算出

ダム用ゲート開閉装置の各構成機器の故障率

フィールドデータによる各構成機器の故障率の算出については、基本的には供用時間当りの故障回数を求めるわけであり、次のようにして求めることとした。

まず、各構成機器毎に調査期間中に1件以上の故障の報告されたものについては、

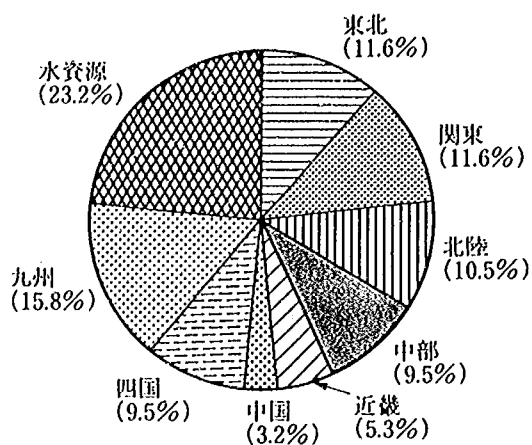


図 4 - 1 地建別調査対象ゲート
(対象門数：95 門)

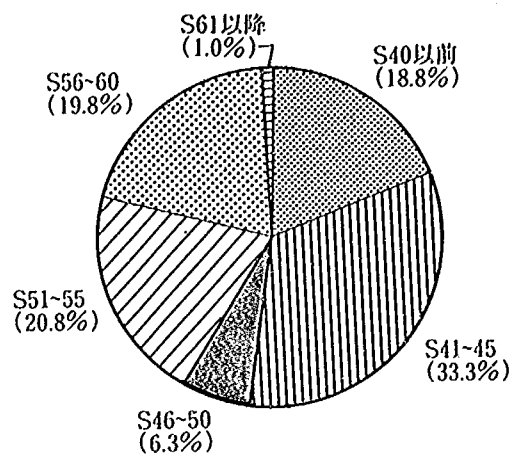


図 - 4. 2 設置年別調査対象ゲート
(対象門数：95 門)

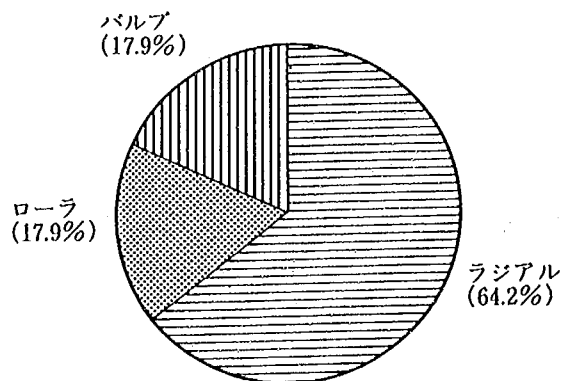


図 - 4. 3 形式別調査対象ゲート
(対象門数：95 門)

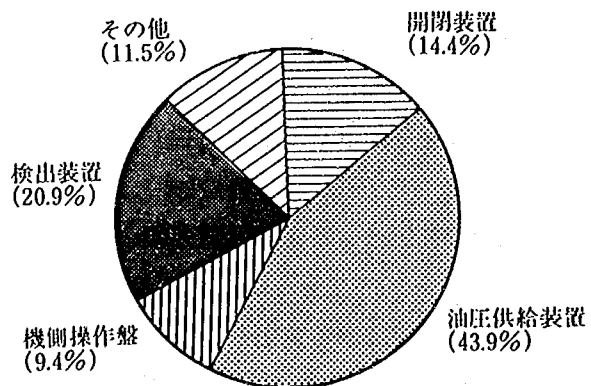


図 - 4. 4 故障の装置別内訳
(全件数：139 件)

$$\lambda_{1n} = \frac{\text{調査期間中の当該構成機器の延故障回数 (台・回)}}{\text{調査期間中の当該構成機器の延供用時間 (台・hr)}}$$

$$= \frac{\text{全設備における調査期間中の当該構成機器の故障件数 (台・回)}}{\sum \{ (\text{機器 } k \text{ の当該構成機器の数量}) \times (\text{機器 } k \text{ の調査日数}) \times 24 \} (\text{台・hr})}$$

で示される λ_{1n} を当該構成機器の故障率と定義して、各構成機器毎に算出した。

例えば、油圧ポンプを例に取れば、調査期間中の故障件数は 2 件、延供用時間は 2.2864970×10^7 時間であったので、

$$\lambda_{1n} = \frac{2 (\text{台・回})}{2.2864970 \times 10^7 (\text{台・hr})}$$

$$= 0.08747 \times 10^{-6} (1/\text{hr})$$

と計算された。このことは、本調査期間の大部分は待機状態であるから、油圧ポンプ 1 個当たり、100 万時間の待機時間に対して 0.087 回の割合で故障が発生することを示しているといえる。

また、調査期間中 1 件も故障が報告されなかった構成機器については、上式に従えば $\lambda_{1n} = 0$ と算出されるが、故障物理上、故障率 0 ということとはあり得ない。このような統計学上故障率が 0 と計算される場合は、真の故障率の 60% 信頼率による推定区間の上端値に相当する値を採用する方式が提案されている⁽¹⁶⁾ ため、本調査研究でもこの方式によることとした。これによれば λ_{1n} は、

$$\lambda_{1n} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{\text{調査期間中の当該構成機器の延供用時間}}$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{1}{\sum \{ (\text{機器 } k \text{ の当該構成機器の数量}) \times (\text{機器 } k \text{ の調査日数}) \times 24 \}}$$

として与えられる。

例えば、トラニオン軸の場合、故障件数は 0 件、延供用時間は 6.327552×10^6 時間であったので、

$$\lambda_{1n} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{6.327552 \times 10^6}$$

$$= 0.053 \times 10^{-6}$$

と計算される。

4.2 信頼性データブックによる信頼性データ

今回のフィールドデータによる調査で、不十分なデータが発生した場合、市販の信頼性データブックから故障率を得ることとするが、ダム用ゲート開閉装置の構成機器に適用するふさわしいデータブックを選定する必要がある。

市販されているデータブックの主なものは、

- ① MIL-HDBK-2170
- ② IEEE-Std.-500
- ③ RADC 信頼性ノートブック, NPRDS, WASH-1400, など
- ④ Earles の規準故障率

などを挙げることができる。このうち、

- ①は軍用電子機器を対象とした製品規格に基づくものに適用されるもので、本調査の対象となる設備の制御系統においてあまり使用されていないので適用に限界がある。
- ②は広く強電と弱電の機器を対象としており、本調査対象に当てはめるのに都合がよい。
- ③は原子力発電所の非常に限定された範囲を対象にしており適用に限界がある。
- ④はデータとして古く数が少ないため、適用に限界がある。

したがって、本調査研究では、主に IEEE-Std.-500 の収録機器の中から必要とされる基本的な信頼性データ（故障率）を得ることとした。

IEEE-Std.-500 では、表-4.1 に例示するように、故障モード等によって故障の発現率が異なることが示されているので、この中のどの値を採用するかが問題になる。本調査では、標準（REC）に相当する故障率を基準故障率として採用することとした。また、故障モード別にデータが示されているものについては、本調査が設備としての機能を損なわないことを主たる対象に考えていることから、致命（CATASTROPHIC）に相当するものを採用し、特に区分がなされていないものについては、オールモード（ALL MODE）を採用した。

また今回の調査では、環境的に特に違いがないと判断し、IEEE掲載の故障率に対し、環境の違いによる補正はかけていない。

例えば、遮断器について表-4.1 に示す様なデータシートが作成され収められている。この表から、遮断器については、 $0.07/10^6$ hr の故障率と求められる。

表-4.1 IEEE-Std.-500 の故障率掲載例

(Composite of 3.1.x and Ref 15)

CHAPTER: 3 Circuit Breakers,
Interrupters, Relays

SECTION: 3.1 Circuit Breakers

SUBSECTION:

ITEM OR EQUIPMENT DESCRIPTION												
FAILURE MODE	FAILURE RATE								(*)OUT OF SERVICE (†)REPAIR TIME OR (\$) RESTORE(HOURS)			
	FAILURES/ 10^6 HOURS				FAILURES/ 10^6 CYCLES							
	LOW	REC	HIGH	REF	LOW	REC	HIGH	REF	LOW	REC	HIGH	REF
ALL MODES	0.02	0.23	567		50.0	414	203.E3		0 *	135	3.41E3	
CATASTROPHIC	0.01	0.07	182		18.5	153	75.1E3		0.2 †	9.29	894	

4.3 今回のダム用ゲート開閉装置のFTAに用いた故障率

今回、ダム用ゲート開閉装置の構成機器の故障率を与えるに当たって、今回の調査は、過去の記録を調査することにしたため、故障・更新の当時の状況に対する情報が十分とはいえず、明確なデータの収集が難しかったため、次のような問題点が発生した。

- (1) すべての故障が故障としてあげられたとは限らず、不定期な更新は故障が起こっていた可能性が考えられる。
- (2) 補助リレーなど、いわゆる消耗品については、ほとんど記録が残っていない。（記録に残りにくいものだと考えられる。）
- (3) 致命故障、重故障、軽故障、部分故障の区別が明確につかないものが多数あった。
- (4) 油圧ユニット等サブシステムの中のどの機器が故障したかの特定が明確に行われないものが少なくなかった。

従って、今回故障率の決定に当たっては次のようなルールを設定した。

(1) 本来の故障のほかに、劣化による更新（定期的な更新でない）も故障とみなした。

(2) 補助リレー等、いわゆる消耗品については、データブックの故障率を適用した。データブックは、4.2にあるように、ダム用ゲート開閉装置における補助リレー等消耗品に適するものと

して、IEEEを使用した。IEEEの故障率を採用した機器とその故障率を表-4.2に示す。

(3) 部分故障、軽故障、重故障、致命故障のデータ上の差別化は行わない。

(4) 油圧ユニット等サブシステムの中のどの機器が故障したかの特定が明確でないものについては、そのユニット内の各機器について致命・重故障の発生件数の多い機器を挙げその件数によって重量配分して全体が1になるように割り振った。

表-4.2 IEEEの故障率を採用した機器とその故障率

機 器 名	機器故障率
電 磁 開 閉 器	0.27×10^{-6}
補 助 継 電 器	0.43×10^{-6}
遮 断 器	0.07×10^{-6}
切 換 ス イ ッ チ	0.84×10^{-6}
漏 電 継 電 器	0.07×10^{-6}

5. 信頼性の定量化

5.1 信頼性評価の前提条件

ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の定量的信頼性評価計算は、F T Aの手法を用いて以下に示す条件の下で計算した。

- ① 故障は機器のみに発生するものとする。すなわち、運転員により操作ミスはないものとする。
- ② 機器の故障率は一定とする。すなわち、機器は偶発故障のパターンに従うものと仮定する。
（寿命の初期や末期特有のものを含めると故障率が時間の関数になるなど、一般的でなくなる。）
- ③ 機器は待機中にも故障する。
- ④ 機器の故障は、点検によって完全に検出することができ、故障していた機器は修理によって正常に復帰しているものとする。
- ⑤ 起動に対する最小要素機器のアンアベイラビリティは、次式で与える。

$$\bar{a}_{1n} = \frac{1}{2} \lambda_{1n} \cdot T \quad (5.1)$$

ここで、 $\bar{a}_{1n}$ ：起動に対する機器のアンアベイラビリティ

λ_{1n} ：待機状態における機器の故障率

T ：点検間隔

点検間隔については、30日、180日、360日の3種類の値を代入した。

- ⑥ 連続運転に対する最小要素機器のアンアベイラビリティは、必要運転継続時間の間で故障する確率として次式で与える。

$$\bar{a}_{2n} = \lambda_{2n} \cdot t \quad (5.2)$$

ここで、 $\bar{a}_{2n}$ ：連続運転に対する機器のアンアベイラビリティ

λ_{2n} ：運転状態における機器の故障率

t ：必要運転継続時間

必要運転継続時間 t については、各タイプのモデルとなったダムの、放流実績から設定した。

また、待機状態における機器の故障率 λ_{1n} 、運転状態における機器の故障率 λ_{2n} については、今回の調査では、 $\lambda_{1n} = \lambda_{2n}$ とし、4.3で定めたものを使用した。

5.2 ダム用ゲート開閉装置のアンアベイラビリティ

ダム用ゲート開閉装置の定量的な信頼性は、F T図とF T図に現れた最小要素の機器故障率を用いて計算を行ったが、その方法は、本報告書の巻末資料に詳しく記述してあるのでここでは省略する。概略次に示す手順で計算を実施した。

- ① F T図に現れた最小要素である各構成機器の故障率を信頼性データにより決定する($\lambda_{1n}, \lambda_{2n}$)。
- ② 各構成機器のアンアベイラビリティを算出する($\bar{a}_{1n}, \bar{a}_{2n}$)。
- ③ F T図に機器のアンアベイラビリティを代入し、ブール代数による論理演算を行ってシステムのアンアベイラビリティを算出する($\bar{A}_1, \bar{A}_2$)。

④ ダム用ゲート開閉装置のトータルアンアベイラビリティを算出する($\bar{A}_T$)。

したがって、ダム用ゲート開閉装置のトータルアンアベイラビリティは、始動失敗に関するシステムのアンアベイラビリティ($\bar{A}_1$)と連続運転失敗に関するシステムのアンアベイラビリティ($\bar{A}_2$)の和として求められる。図-5.1に①～④の手順をブロック図で示す。

前述した前提条件の下で行ったダム用ゲート開閉装置の信頼性評価計算結果を表-5.1及び表-5.2に示す。表-5.1は各タイプ毎に点検間隔T別の起動に対するシステムのアンアベイラビリティと必要運転継続時間t毎の連続運転に対するシステムのアンアベイラビリティを示したものである。表-5.2は起動に対するシステムのアンアベイラビリティ $\bar{A}_1$ と連続運転に対するシステムのアンアベイラビリティ $\bar{A}_2$ を合わせて、ダム用ゲート開閉装置のトータルアンアベイラビリティ $\bar{A}_T$ として示したものである。ここで故障発生頻度とあるのは、例えば1/132ならば、132回に1回故障が発生することを意味する。

表-5.1は、ダム用ゲート開閉装置の点検間隔と故障出現間隔の関係をグラフに表したものである。ここでいう点検とは、それを行うことによって故障機器をトータルに検出でき、その箇所を修理できるような点検を想定する。

今回の調査は、特定のモデルで信頼性計算を行ったが、一般のダム用ゲート開閉装置についても以下の議論が当てはまるものと考えられる。

① ダム用ゲート開閉装置の故障発生は、連続運転失敗による故障よりも始動失敗による故障にほとんど支配される。

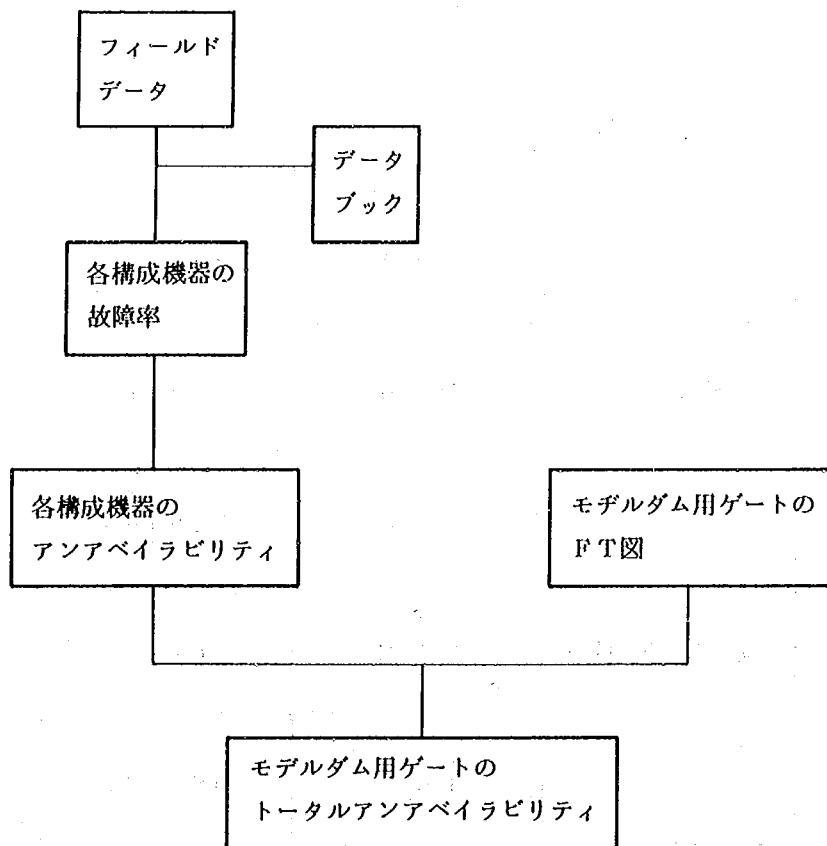


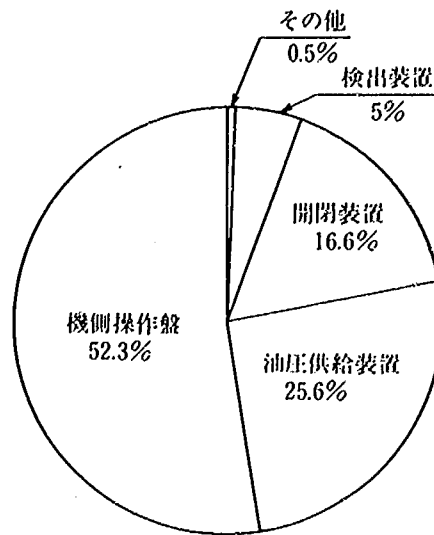
図-5.1 アンアベイラビリティ計算手順

表-5.1 故障モード毎のアンアベイラビリティ一覧表

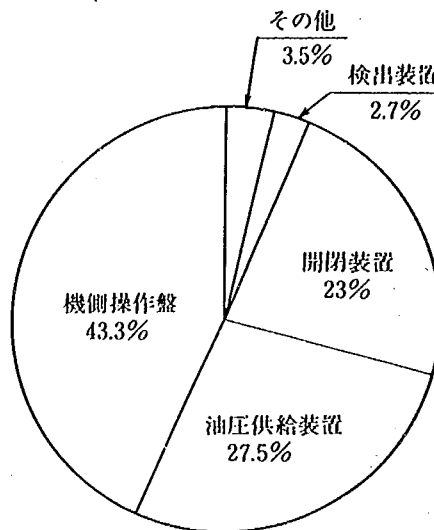
設備名	故 障 モ ー ド			アンアベイラビリティ	故障発生頻度
	ケース	モ ー ド	運転時間又は点検間隔		
A ダム (ゴム圧着式ローラゲート)	①	連続運転失敗	30 H	0.00067	$\frac{1}{1493}$
	②	始 動 失 敗	1 ケ 月	0.00692	$\frac{1}{145}$
	③		6 ケ 月	0.04154	$\frac{1}{24}$
	④		1 ケ 年	0.08310	$\frac{1}{12}$
B ダム (扉体圧着式ラジアルゲート)	①	連続運転失敗	55 H	0.00116	$\frac{1}{862}$
	②	始 動 失 敗	1 ケ 月	0.00639	$\frac{1}{156}$
	③		6 ケ 月	0.03835	$\frac{1}{26}$
	④		1 ケ 年	0.07671	$\frac{1}{13}$
C ダム (摺動式ラジアルゲート)	①	連続運転失敗	10 H	0.00015	$\frac{1}{6667}$
	②	始 動 失 敗	1 ケ 月	0.00406	$\frac{1}{246}$
	③		6 ケ 月	0.02438	$\frac{1}{41}$
	④		1 ケ 年	0.04877	$\frac{1}{21}$

表-5.2 トータルアンアベイラビリティ一覧表

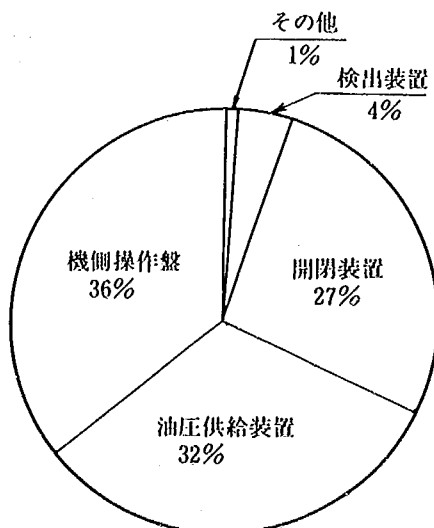
設備名	故 障 モ ー ド			トータル アンアベイラ ビリティ	故障発生頻度
	ケース	点 検 間 隔	連続運転時間		
(ゴム圧着式ローラゲート) Aダム	①	1 ケ月	30 H	0.00759	$\frac{1}{132}$
	②	6 ケ月		0.04221	$\frac{1}{24}$
	③	1 ケ年		0.08377	$\frac{1}{12}$
(扉体圧着式ラジアルゲート) Bダム	①	1 ケ月	55 H	0.00755	$\frac{1}{132}$
	②	6 ケ月		0.03951	$\frac{1}{25}$
	③	1 ケ年		0.07787	$\frac{1}{13}$
(摺動式ラジアルゲート) Cダム	①	1 ケ月	10 H	0.00421	$\frac{1}{238}$
	②	6 ケ月		0.02453	$\frac{1}{41}$
	③	1 ケ年		0.04892	$\frac{1}{20}$



A ゲム
(ゴム圧着式ローラゲート)



B ゲム
(原体圧着式ラジアルゲート)



C ゲム
(摺動式ラジアルゲート)

図-5.3 装置別寄与率分布図
(始動失敗の場合)

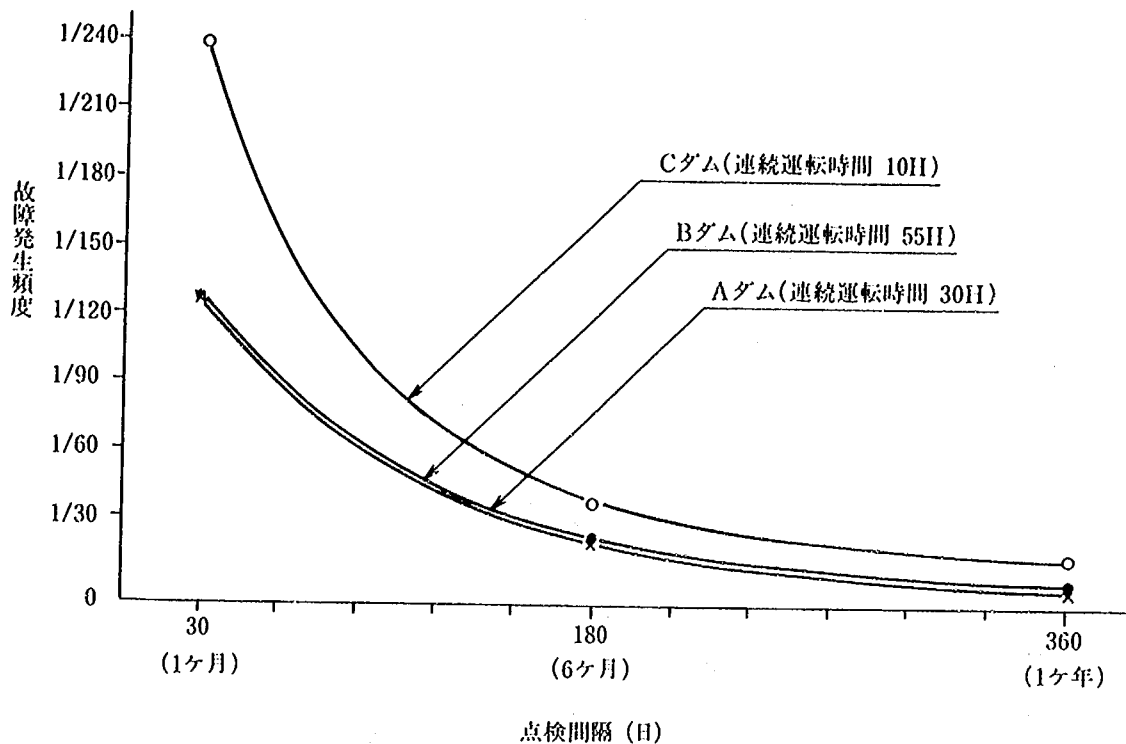


図- 5.2 点検間隔と故障頻度の関係

② 始動失敗によるアンアベイラビリティは、点検間隔に比例して増大する。言い換えれば点検間隔を短くすればするほどシステムのアンアベイラビリティは減少し、信頼性は向上する。これは、点検によって故障機器を検出し修理が行われるために、点検間隔を短くするほど機器のアンアベイラビリティが小さくなるからである。

5.3 アンアベイラビリティ寄与率

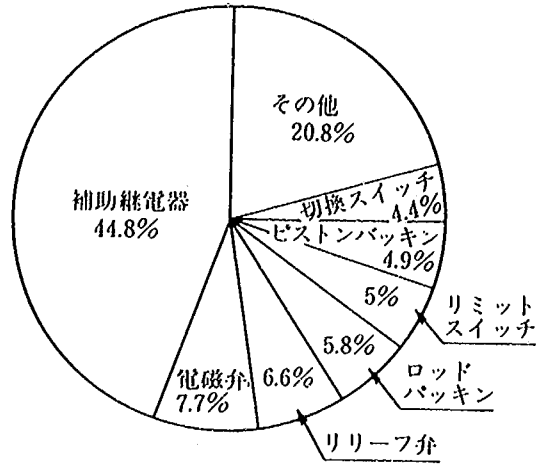
ダム用ゲートのアンアベイラビリティに大きな影響を及ぼすサブシステムまたは機器を特定できれば、信頼性の高いシステムの設計・維持管理を行うための着目点を与えることができる。この、システム全体の故障に対する影響度を表す尺度としては、次式で定義するアンアベイラビリティ寄与率を用いることにする。

$$\text{アンアベイラビリティ寄与率} = \frac{\text{当該サブシステムのアンアベイラビリティ}}{\text{システム全体のアンアベイラビリティ}} \times 100 (\%)$$

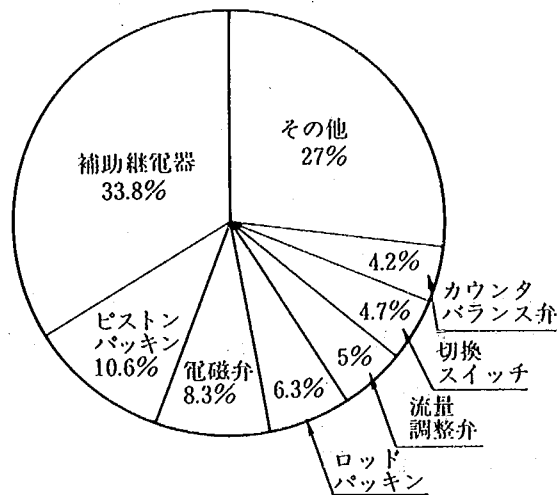
図- 5.2, 図 5.3 に、始動失敗の場合のサブシステム及び構成機器の寄与率を示す。

図- 5.2 に示すように、サブシステムでみると機側操作盤で 36 ~ 52 %, 油圧供給装置で 25 ~ 32 %, 開閉装置で 16 ~ 27 % を占めており、これら装置の信頼性向上が、全体システムの信頼性向上に大きく寄与することが理解できる。

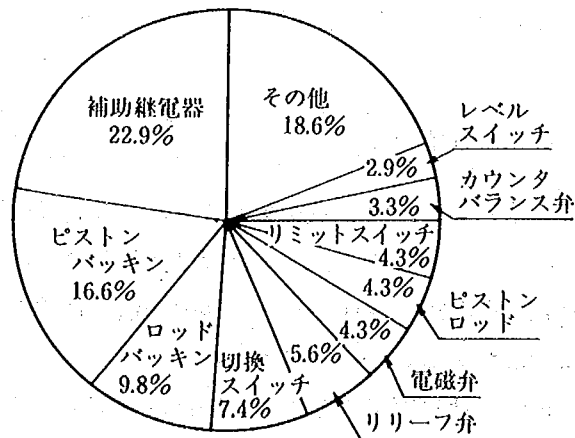
図- 5.3 に示すように、構成機器でみた場合、補助継電器の占める割合が 23 ~ 45 % と大きく、また上位を占める 7 種類ほどの機器で、全体の約 70 ~ 80 % を占めており、寄与率の大きい機器は、ゲート形式にあまり関係されずにかなり特定されると考えられる。



A デ ム
(ゴム圧着式ローラゲート)



B デ ム
(原体圧着式ラジアルゲート)



C デ ム
(摺動式ラジアルゲート)

図-5.4 機器別寄与率分布図
(始動失敗の場合)

6. 故障事例調査

6.1 故障事例の原因分析調査

ダム用ゲート開閉装置の故障に寄与する度合の大きい装置・機器の抽出は、5.3で行ったが、今後これらの装置・機器に特に着目して設計・維持管理を検討していけばよいわけである。

しかし、FTAは、あくまで信頼性の定量的評価手法でしかなく、FTAを行うことのみで高い信頼性を持つ設計や維持管理がおのずと生まれるものではない。

従って、高信頼性設計・維持管理を検討するために、故障した各機器について、これら機器はどういう故障をしているのか、その原因は何かを調べる必要があると考えられる。

そこで、4.1で収集したフィールドデータに対し、故障事例の具体的内容、原因について追跡調査を行いその内容を明らかにした。しかし、フィールドデータは、過去のものであるため、追跡調査は不能である事例も多数存在した（特に機側操作盤内の機器）。調査表の様式を巻末に調査票－3に示す。

調査結果を表－6.1に示す。ここで各項目についての説明は以下の通り。

- (1) 機器名：故障，不具合を起こした機器の名称
- (2) 故障内容：故障，不具合を起こした機器の故障の内容
- (3) 故障程度：その機器の故障による，システム全体に与えた影響
 - ① 致命故障 開閉装置の機能を失うもの
 - ② 重故障 運転を継続すると致命故障に至るもの
 - ③ 軽故障 しばらくの間運転を継続しても支障のないもの
 - ④ 部分故障 運転にほとんど支障のないもの
- (4) 一次要因：その故障の直接の原因
- (5) 二次要因：直接の原因となる事象を引き起こした原因
- (6) 三次要因：原因となる事象を引き起こした背景となる要因。想定（その事例では考えられなくても、仮にこうであればその原因事象が発生すると考えられているもの）を含む。
- (7) 対処法：原因事象，要因事象を起こさせないために，考えられること。
- (8) 不良発見の直接要因・故障に至るまでの経緯：

その故障を発見した直接の要因，またはその事例に対する，故障が発生するまでの，経緯・状況。
- (9) 点検内容改善案：

その故障事例を踏まえ，維持管理に対して考えられること。提言という表現はやめたほうがいい。

6.2 故障事例の原因分析に対する考察

故障事例の原因分析の取りまとめとして，故障原因により，故障事例を次に示す3つに大きく分類することにした。

- ① 先天的故障：製造・据付時の不良，設計の不良
- ② 偶発的故障：管理不十分，誤操作，後天的偶発事象発生
- ③ 劣化故障：腐食・摩耗等経年劣化による故障

これらの故障は，一般的な故障の時間的分布を最もよく表わしているとされるワイブル分布における，形状パラメータを，それぞれ $m < 1$ ， $m = 1$ ， $m > 1$ として得られる分布で対応づけされる初期故障，偶発故障，摩耗故障に近い分類であるが，今回分類したものは，時間的分布とは関係なく，原因のみで分類したものである。

具体的には，

① 先天的故障

・製造・据付時の不良

製造・組み立て時に発生した部品不良。寸法不良やＯリング，パッキンの組み込み不良による作動油漏洩，据え付け精度不良による主シリンダのビビリ現象等。

・設計不良

ゲート設備の設置環境（湿度が高い，温度差がある，水しぶきがかかる等）に対する理解不足による設計不良。

純粋な油圧回路や仕様機器に対する設計不良，選定不良。

経年による各部負荷増大に対する考慮不足。

② 偶発的故障

・管理不十分

作動油の管理不十分による，各種油圧制御弁やシリンダパッキンへの異物かみ込み等。作動油管理不十分の中には，ピストンロッドに付着するゴミ，サンドブラスト作業の砂，塗装粉の誤侵入，管路内の錆発生，等の作動油へのゴミ侵入対策の不徹底も含まれる。

・誤操作

手動バルブ等の操作間違い。事例はたいへん少ない。

・後天的偶発事象発生

流木のかみ込み，落雷，その他多様な偶発的原因。今回の故障事例には，報告されたものはなかった。

③ 劣化故障

・腐食・摩耗

腐食や摩耗など機器が劣化して故障する。機器の寿命による故障。

この３つの分類結果を表－6.1中の「故障内容」の項目内に示す。また，信頼性計算で寄与率の高かった，開閉装置，油圧供給装置，検出装置・機側操作盤について，この３つの分類の内訳を表－6.2に示す。

この３つの分類に基づいて，それぞれに対する対応策を以下述べる。

① 先天的故障

・故障事例のフィードバック

故障事例の設計へのフィードバック。これにより最適な設計に標準化されていくと思われる。

製造組み立て，据え付け方法へのフィードバック。

表 6.1 故障原因分析結果

設 備 区 分		油 圧 供 給 装 置		No. 1				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
油 圧 ポンプ	ベーン羽根等回転部分が焼き付いた。 (偶発故障) (油-1)	重故障	潤滑不良 (油切れ)	作動油の吸込不良	・サクションフィルターの目詰 ・温度が低くて粘度が高過ぎる ・作動油自身の粘度が高過ぎる	・フィルタ・の清掃 ・アンロードによる吸気運転 ・適正な作動油の使用 ・分解整備によるパッキン類の交換 ・手で廻してから電動運転する	・運転音が異常であった ・定期的に運転していない ・アンロード運転しかしていない	
	始動時エアーの吸込み (劣化故障) (油-3)	軽故障	経年劣化		・シール部 (シャフトシール合せ面等) から air の吸込 ・長期間放置による air の分離 ・油面の低下	・エアー抜き弁の設置 ・運転前の油面確認 (ゲート位置も確認)		
	ベーン羽根カムリング等の摩耗 (劣化故障) (油-2)	軽故障	経年摩耗		・運転頻度大 ・粘度が低過ぎる ・異物の混入が多い ・作動油の不適	・油温の管理 ・クーラーの設置 ・作動油の分析 ・タンク容量の増加 ・使用圧力を下げる		
電 磁 弁	電磁弁のスプールが切換らない (偶発故障) (油-9) (油-8)	部分故障	スプールに異物の噛込み (油-9) (油-8)	作動油中に異物が混在	・摩耗粉 ・タンク内面塗料の剥離粉 ・錆粉 ・添加剤の分離 ・フラッシング不良 ・パッキン粉	・作動油の分析 ・定期的な作動油の交換とフラッシング実施 ・ラインフィルターの設置 ・クリーナの設置 ・SUSパイプ, SUSタンク	・長期間作動油の交換及びフラッシングが行われていない ・長期間分解整備が行われていない ・塗装工事時のサンドブラスト粉が混入した	・定期的な作動油交換とフラッシング ・定期的な分解, 整備 ・油圧ユニット室の除湿
	スプールの錆付 (油-8)		作動油中に水分が存在	・長期間運転していないため油中の水分分離 ・結露水の混入 ・室内の湿気が高い	・定期的な循環運転 ・定期的な分解, 整備 ・ドレーン口よりの排水 ・作動油の色相チェック			

設 備 区 分		油 圧 供 給 装 置		No. 3				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
流 量 調 整 弁	流量調整不良が生じた (劣化/偶発故障) (油-14)	軽故障	経年劣化による作動不良	・圧力、温度補償機構の作動不良 ・主調整オリフィス操作部の不良	・異物の噛込み ・錆付による固着 ・作動油劣化物の固着	・定期的な分解、整備 ・作動油の分析 ・定期的な循環運転 ・定期的な作動油交換とフラッシング実施	_____	_____
カウンターバランス弁 (含むシーケンス弁等)	シーケンス弁作動規定圧で開かずゲート降下できない (劣化故障) (油-19)	軽故障	スプールが錆で固着、詰まっていた	配管内で発生した錆粉が詰まった	・据付後長期間放置による水分の混入 ・室内の湿度が高い	・定期的な作動油の循環 ・ドレーンより水分の排除 ・除湿装置の設置 ・磁石による錆粉の除去	・据付以来2年近く使用状態になかった	・稼動前でも月毎の管理運転 ・稼動前の分解、清掃と作動油の分析 ・フラッシングの確実な実施
	シーケンスバルブのリークによりゲートがずり落ちた (先天的故障) (油-18)	軽故障	ユニットメーカーの部品組立時の不良	_____	・シーケンスバルブではリークは避けられない ・異物噛込みによる作動不良	・回路構成の検討 ・同 上	_____	_____
	弁を分解したらOリングの損傷が発見された (先天的故障) (油-17)	部分故障	ユニットメーカーでの製造時のミスか？	_____	_____	・定期的な分解による早期発見	_____	_____
リリーフバルブ	リリーフバルブからの騒音が増大した (先天的故障) (油-20)	部分故障	リリーフ流量が極端に少なく弁の作動が過敏となった	流量調整弁を追加装備したため	_____	・調整スプリングのクラッキング圧の変更 ・シート面の損傷確認	_____	_____
	異常圧 (高圧 or 低圧) 異音等が発生した (偶発故障) (油-26) (油-25) (油-22)	軽故障	ボベットの、スプールの作動不良	異物を噛込んだ	・摩耗粉、錆粉、バッキング粉 ・タンク内面塗料の剥離粉 ・添加剤の分離 ・塗装、ブラスト粉 ・フラッシング不良	・定期的な分解、整備 ・作動油の分析 ・定期的な作動油交換とフラッシングの実施 ・ラインフィルターの設置 ・クリーナーの設置	_____	_____

設 備 区 分		油 圧 供 給 装 置		No. 4					
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案	
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)				
リリーフバルブ	ポンプが起動しても油圧が確立せず操作不能となった (偶発故障) (油-23)	致命故障	ポベット, スプールの作動不良	異物の噛込み (アンロード運転中に噛込んだ)	・摩耗粉, 錆粉, バッキン粉 ・タンク内面塗料の剥離粉 ・添加剤の分離 ・塗装, プラスト粉 ・フラッシング不良	・定期的な分解, 整備 ・作動油の分析 ・定期的な作動油交換とフラッシングの実施 ・ラインフィルターの設置 ・クリーナーの設置			
	リリーフバルブの作動不良 (劣化故障) (油-24)	軽故障	圧力設定スプリングの劣化		・経年使用による劣化 ・腐食による劣化 ・過調整による劣化	・スプリング力の測定 ・分解による調査 ・スプリング力の変更 ・定期的な部品交換			
	圧力異常が発生し, 操作不能となった (劣化故障) (油-27) (油-26) (油-25)	重故障	ポベット部が作動不良となった	ポベットのシート面が摩耗しにくい込んだ	・微小流量時の振動 ・腐食による減肉 ・異物の噛込み	・スプリング力の測定と変更 ・定期的循環運動 ・作動油の性状分析			
スロットルチェック弁 (絞り弁)	スロットル弁以降に圧力が伝達されない (偶発故障) (油-28)	軽故障	流路が遮断されている	配管内で発生した錆粉が詰まった	・据付後長期放置による水分の混入 ・室内の湿度が高い	・定期的な作動油の循環 ・ドレインより水分の排除 ・除湿装置の設置 ・SUSパイプ, SUSタンクの設置	・据付以来2年近く使用状態になかった	・稼動前でも月毎の管理運転実施 ・稼動前の分解, 清掃と作動油の分析 ・フラッシングの確実な実施	
ストップバルブ	油圧ユニット相互連絡配管ラインのストップバルブから漏油が発生 (偶発故障) (油-29)	部分故障	グランドバッキンの締付けナットの弛み	設置部操作橋の振動	・配管ルート設置場所による問題 ・ナットの廻り止め不良 ・廻り止め施工不良 ・経年劣化による締代不足	・配管系の振動防止対策 ・ロックナット付バルブの使用 ・定期的な増締め ・定期的なバッキンの交換			
	急降下用ストップバルブのリークによりゲートがずれ落ちる (初期故障) (先天的故障) (油-30)	軽故障	製作, 組立時の製品不良		・寸法精度不良 ・シート面に傷がある ・シート面に異物の噛込み ・締付不足	・シリンダーのずり落ち量チェック ・反圧力側配管を取り外し直接点検 ・品質管理を強化			

No. 5

設備区分	油圧供給装置		要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
油 圧 計	圧力計の指示が不良である (劣化故障) (油-31)	部分故障	圧力変換部(ブルドン管)が不良	自然劣化	・異常圧の作用 ・脈動による疲労 ・エアーの滞留 ・増巾部機構の噛合不良	・定期的な精度確認 ・エアー抜きの実施 ・定期的な交換		
圧力スイッチ	圧力スイッチがサージ圧をひろい作動してしまう (先天的故障) (油-38) (油-37) (油-36) (油-33) (油-32)	軽故障	電磁弁切換時にサージ圧が発生する	・電磁弁固有の現象 ・マニホールド等は減衰部分がない	・電磁弁と圧力スイッチの設置位置が近すぎる ・スプリングの共振	・回路構成の検討		
油圧スイッチ	油圧スイッチの圧力設定用スプリングが腐食した (先天的故障) (油-34)	部分故障	設備環境が高湿度である	防水構造になっていない		・室内の換気、除湿を行う ・絶縁抵抗値のチェック ・シールバックキンの交換		
	油圧スイッチの絶縁が0MΩである (劣化/先天的故障) (油-35)	軽故障	接点、コイルが腐食している		・湿度が高い ・温度変化が激しい ・室内が密閉されている ・腐食性ガスがある ・防水構造になっていない	同 上		
レベルスイッチ	油面は低下していないのに油面低下スイッチが作動した (先天/偶発故障) (油-39)	部分故障	浮き子式で斜めに引っ掛かかり浮いていた	製品の取付不良	・メーカー自主検査 ・検査しにくい箇所	・品質保証体制の強化 ・設計時の検討 ・点検時の取付状態のチェック		
	レベルスイッチの絶縁が0MΩである (劣化/先天的故障) (油-40)	軽故障	接点に水滴、錆が付着している		・湿度が高い ・温度変化が激しい ・室内が密閉されている ・腐食性ガスがある ・通電されていない ・防水構造になっていない	・室内の換気、除湿を行う ・絶縁抵抗値のチェック ・シールバックキンの交換 ・ドライヤーによる乾燥 ・通電による乾燥		

No. 6

設備区分		油圧供給装置						
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
油 圧 配 管	No.1, No.2を相互運転したら一方が溜油し, 他方は油面低下が作動した (先天的故障) (油-41)	部分故障	送油した分の油が戻って来ない	戻り管の管径が小さい	・設計検討不十分 ・作動油の粘度が高い ・高低差がある ストップバルブ閉	・設計段階における検討 ・季節毎の実機による運転確認	_____	_____
	油圧配管の接続フランジ又はユニオン部から漏油した (先天/偶発故障) (油-42)	部分故障	フランジ締付ボルト又はユニオンナットの弛み	操作橋上設置のため振動による弛み	_____	・配管系の振動対策 ・定期的な増締め ・耐圧試験によるチェック	_____	_____
	油圧配管接続ネジ部より漏油した (偶発故障) (油-43)	部分故障	接続ネジ部の弛み	使用頻度が高くなつ振動を受ける	_____	同 上	_____	_____
	ユニット相互を連絡している戻り管のフランジ部から漏油した (偶発故障) (油-45)	部分故障	管とフランジ溶接部に亀裂発生	操作橋上設置で振動, 撓みを受ける	_____	・配管系の振動対策 ・耐圧試験によるチェック	_____	_____
油圧機器Oリング	油圧機器分解整備した際, 全Oリングを交換した (劣化故障) (油-46)	-	_____	_____	_____	・分解したら必ず新替 ・Oリングの予備品化	_____	_____

設 備 区 分		開閉装置(主シリンダ)		No. 7				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
油 圧 シ リ ン ダ	ゲート開閉時主シリンダ他から異常音、振動が発生した (先天的故障) (シー-2)	重故障	・製作精度不良 ・据付時の芯狂い	_____	・嵌合が強過ぎる ・内面の仕上げ精度の不良 ・バックイン形状の不適合 ・作動油の不適合 ・油圧回路の不適合	・設計段階での検討 ・バックインの締め過ぎ (Vバックイン) ・添加剤の注入 ・芯出し状態確認 ・作動油の性状分析	_____	_____
	ゲート開閉時主シリンダからビビリが発生した (先天/偶発故障) (シー-6)	軽故障	主シリンダのバックイン抵抗	_____	・ゲート側の抵抗変動 ・バックイン形式 (U, V) ・ピストンスピード ・内面仕上状態 ・偏荷重 (片当り) ・油の性状不適合 ・油の性状劣化	・air 抜きの実施 ・油温の上り過ぎ	_____	_____
	シリンダ内面、ロッド、ピストンに線状の傷が発生していた (シー-4)	軽故障	シリンダ内に異物 (切粉) が混入している	フラッシングの不良	・切削粉の混入 ・溶接粉の混入 ・塵埃の混入 ・錆粉の混入	・定期的な分解、清掃及びフラッシング ・ラインフィルター、オイルクリーナーの設置 ・作動油の分析	_____	_____
	シリンダ内面、ピストンリング、バックイン等が偏摩耗、損傷 (偶発故障) (シー-5)	軽故障	シリンダ内面、ピストンリング、バックインが偏摩耗損傷している	揺動式シリンダのため曲げモーメントを受ける	・曲げモーメントを受ける部分 (スタフィングボックス等) の不具合 ・揺動に対する回転抵抗の増大	・シリンダー構造の設計的検討 ・回転揺動部の分解整備、給油 ・内部リークの計測 ・定期的な、バックイン交換	・ゲートのずり落ち量が多くなった ・ダストシールが劣化していた	_____
	シリンダスタンピングボックス部ボルト部分より漏油が認められる (先天的故障)	軽故障	ボルトのコーキング不完全のため	_____	・漏油する可能性のある構造である	・シリンダ構造の設計的検討	_____	_____
	シリンダをロッド方向に運転したら、異常圧が発生し、シリンダチューブが変形した (偶発故障) (シー-7)	致命故障	ロッド側面積とヘッド側面積の比によって圧力が増大された	ロッド側出口のストップバルブを閉めたまま運転した	・点検時の安全確認不備 ・操作のインターロックが無い ・異常圧の逃し回路が無い ・うっかりミスによる誤操作	・操作手順を全員で確認し合う ・誤操作をしない機器の配置 ・異常圧の発生しない油圧回路の構成	・同じバルブが3個1列に並んでおり間違いやすい配列であった	_____

設備区分		開閉装置(主シリンダ)						
機器名	故障内容	故障程度	要因分析			対処法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点検内容 改善案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
ピストンロッド	SUS 50 B ピストンロッド表面に微細な孔食が無数に発生した (偶発/先天的故障) (シー 8)	部分故障	—	—	・ロッドに異物の付着 ・ロッドに降雨, 湿気の付着 ・ロッドに油気が無い ・防錆処置が施されていない	・材質及び防錆処置の検討 ・点検時の清掃と防錆油の塗布 ・全ストロークの運転少ない	—	—
	ピストンロッドに傷が発生した (偶発故障) (シー 9)	部分故障	バックリン押えとの接触及びロッドに付着した砂, 塵芥の噛込み	・バックリン押えの材質の問題 ・ダストシールが抜け落ちてしまった	・湿気, 結露水の付着 ・油気がなくなった ・ダストシールの機能低下	同上	—	—
	ピストンロッドのメッキが剥離し, 小豆大程度の腐食が多数発生した (偶発/先天的故障) (シー 10)	軽故障	Cr メッキのピンホールから水分が浸入し腐食させた	Cr メッキが 20μ 一層である	・メッキ仕様, 層数, 厚さ ・母材の材質 ・湿気, 結露水の付着 ・鳥の糞, 虫などの付着 ・油気が無くなっている	—	—	—
ピストンバックリン	ヘッド側ピストンバックリンの破損, バックリン押えの変形, ボルトの破断が発生した (偶発故障) (シー 11)	致命故障	ロッド側バックリンが異物を噛込み, ヘッド側バックリンが逆圧を受けた	作動油中に異物が混入していた	・鉄粉, 溶接粉, 錆粉の混入 ・バックリンとシリンダの接触圧の増大 ・作動油の潤滑性能の劣化	・作動油の分析 ・定期的な分解, 清掃 ・定期的な作動油の交換とフラッシングの実施	自重降下が生じた	—
	・ゲートの上昇速度が遅く開度 1 m からは上昇しなくなった ・自重降下が激しい (劣化故障) (シー 13) (シー 12)	重故障	バックリンが変質し破損していた	加水分解による損傷	・バックリン材料の不適合 ・作動油中に水分の混入 ・バックリンへの偏荷重 ・作動油の劣化	・加水分解の無いバックリン材料の選定 ・定期的な作動油の交換とフラッシングの実施 ・作動油の分析	—	—
	ピストンロッドの整備に併せピストンバックリンも交換した (劣化故障) (シー 14)	—	9 年 3 ヶ月を経過し取替時期と判断した	—	—	・定期的なバックリン交換 ・点検時の自重降下量の確認 ・作動油中のバックリン粉の分析	—	—
	ロッドバックリンに加水分解が発生, 交換に併せピストンバックリンも交換した。 (劣化故障) (シー 15)	—	ロッドバックリンと同材質のため取替ることとした	—	・バックリン材料の不適合 ・作動油中に水分の混入 ・バックリンへの偏荷重 ・異常圧の発生	同上	—	—

設備区分		開閉装置(主シリンダ)						
機器名	故障内容	故障程度	要因分析			対処法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点検内容 改善案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
ロッドバッキン	ピストンロッドの整備に併せ ロッドバッキンも交換した (劣化故障) (シー14)	—	9年3ヶ月を経過 し取替磁気と判断 した	—	同 上	同 上	—	—
	ロッドバッキンが加水分解に より損傷し漏油が発生した (劣化故障) (シー17) (シー15)	軽 故 障	ウレタン系バッキ ンが水分により加 水分解した	作動油中の水分が 分離した	・バッキン材料の不 適 ・長期間使用しないた めの水分の分離、蓄 積 ・作動油の劣化	・加水分解のしないバ ッキン材料の選定 ・定期的な作動油の交 換とフラッシングの実 施 ・作動油の分析	—	—
	ピストンバッキンが異物と噛 込みシリンダ内にも浸入した (偶発故障) (シー16)	軽 故 障	ピストンロッドに 付着した塗料を噛 込んだ	塗装工事のマス キング等養生不備	—	・シリンダーロッド等 摺動部の養生実施 ・点検時付着物の除 去	—	塗装施工はゲートメ ーカの指導を受ける
	ロッドバッキンがまくれ込み 破損した (偶発故障) (シー18)	重 故 障	ピストンロッドと バッキンの摺動抵 抗が増大した	ロッドに鳥の糞が 付着し、発錆した	—	・点検時付着物の除 去 ・ジャバラ等のロッド 保護の設置	—	・洪水期の稼働前に 点検を実施する ・ロッド清掃器の装 備
	水平シリンダのロッドバッキ ンが偏摩耗する (劣化故障) (シー19)	軽 故 障	ロッド先端が重く 垂れる	水平シリンダのた め	—	・定期的なバッキン 交換 ・外部リーク、内部 リークの測定 ・ガイド構造の検討	点検毎に漏洩量の変 化を確認していた	—
ダストシール	ダストシールの損傷 (偶発故障) (シー18)	部 分 故 障	ロッドに鳥の糞が 付着し発錆してい る	—	—	・点検時付着物の除 去 ・ジャバラ等のロッド 保護の設置	—	・洪水期の稼働前に 点検を実施する ・ロッド清掃器の装 備
	ロッドバッキンの新替に併 せて交換した (劣化故障) (シー14) (シー16) (シー15) (シー17)	—	—	—	—	・定期的なバッキン 交換	—	—

設備区分		開閉装置(主シリンダ)						
機器名	故障内容	故障程度	要因分析			対処法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点検内容 改善案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
O リ ン グ	シリンダーヘッドカバーの合 わせ面より漏油した (先天的故障) (シー-20)		Oリング挿入のV 溝の寸法精度が悪い	V溝の寸法が小さい	_____	・設計段階での検討	_____	_____
	シリンダーヘッドカバーの合 わせ面より漏油した (先天/偶発故障) (シー-21)		Oリングが溝内に 正しくセットされて いない	_____	・Oリング又は溝が適正にな っていない ・取付けにくい構造	・グリース等粘着性剤で仮止 めし取付ける ・耐圧テストで確認する	_____	_____

No 11

設備区分		開閉緊定装置						
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
増 速 機	オイルシール部分から漏洩が発生した (劣化故障) (開口-1)	軽故障	オイルシールの自然劣化	_____	・潤滑油の性状 ・軸との接触面の汚れ、発錆 ・発熱による劣化 ・塗料、異物の付着、噛込み ・寒冷による性状変化	・潤滑油の性状分析 ・軸の清掃、整備 ・発熱の有無確認 ・塗装時のマスキング	_____	定期的な交換

No 12

設 備 区 分		圧 着 緊 定 装 置		要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)				
ロック用 バリカン爪	圧着緊定装置が過トルクとなり過圧着警報が出た (先天的故障) (ロ-1)	致命故障	ロック用バリカン爪の山同士が当たって噛み合っていない	バリカン爪の機構の精度と検出装置の精度が合っていない		- 機械品の精度に合った検出装置の検討 - 製作据付時の作動試験の定期的な実施、確認 - 摩耗品の正規型によるチェック	機構的に複雑で高精度を要求されるものであった		
ロック用ネジ棒	圧着ロック装置のネジ棒にヒビ割れが入り、作動不良になった (劣化故障) (ロ-3)	部分故障	- 長期間使用によるネジの摩耗 - ネジに異物を噛込んだ	塗装工事のサンドブラスト粉が付着した		- 塗装時のマスキングを完全に - 点検時付着物の清掃 - ネジ部のカラーチェック - 正規型による摩耗度のチェック			
油 圧 モ ー タ	圧着ロック装置が作動不良となった (先天的故障) (ロ-2)	致命故障	油圧モータが始動トルク不足である	- ロックスピンドルに設計荷重以上がかかる - スピンドルの回転抵抗の増大	- 圧着シリンダのリークによる全水圧が作用する - スピンドルねじ面の摩耗、腐食 - スピンドル潤滑油の粘度硬化	- シリンダの内部リークのチェック - シリンダ発生圧力及び駆動圧力のチェック - スピンドルは同上			
シーケンス回路	圧着ロック装置が作動不良となった (先天的故障) (ロ-4)	部分故障	制御回路の不具合		設計時の検討不良	シーケンスチェックにより機能を確認する			

設 備 区 分		圧 着 装 置		No. 13				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因（含む想定）			
圧着シリンダー	ゲートのずり落ちが生じた （劣化故障） （圧-1）	軽故障	圧着シリンダに内部リーク、漏油が発生した	ピストンパッキン、ロッドパッキン、ダストシール等の劣化	・長期間使用による経年劣化 ・シリンダー内面の腐食 ・ピストンロッドの摩耗、損傷	・パッキン類の定期的交換 ・シリンダの定期的分解、整備 ・シリンダ内の水分の抜き取り（作動油の交換） ・ロッドの油気を補給	内部リークによるゲートのずり落ち、ダストシールの劣化があった	・内部リーク量の計測
	圧着シリンダが作動不能となる （劣化／偶発故障） （圧-2）	重故障	内部リークが多過ぎる	パッキンの損傷、破損	・化学変化による損傷 ・作動油中の異物の噛込み	同 上	_____	同 上
油 圧 モ ー タ ー	油圧モータに油漏れが生じた （先天的故障） （圧-4）（圧-3）	軽故障	誤手配による設計仕様以外の形式のものが取付いていた	受入検査の不徹底	_____	・品質保証体制の確立	_____	_____
	油圧モータに油漏れが生じた （先天的故障） （圧-5）	軽故障	モーターのカートリッジが設計仕様のもものと異なっていた	受入検査の不徹底	_____	同 上	_____	_____
傘歯車減速機	減速機箱内に水分が混入した （先天的故障） （圧-6）（圧-7）	部分故障	軸貫通部より混入した	屋外仕様になっていない （オイルシール無し）	・結露水の混入 ・パッキン、シール等の劣化 ・ドレーン口が無い	・設計標準化 ・潤滑油の性状分析 ・点検毎の排水 ・潤滑油の色相観察	_____	・年点検時毎年潤滑油を交換する
モーター内蔵 ブレーキ	ブレーキが解放せず運転不能となる （先天／劣化故障） （圧-8）	致命故障	ブレーキ機構が腐食し固着している	湿気が浸入した	・運転頻度が少ない ・シール、パッキンの劣化 ・湿気、降雨時の解放	・定期的に作動、通電する ・定期的分解確認とパッキン類の交換 ・ヒーター又は除湿剤の設置	設置環境が悪いのに防水仕様になっていない	・定期的な分解、整備

設備区分		ゴム圧着装置		No. 14				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
水 密 ゴ ム	水密ゴムの表面に亀裂が生じた (先天的故障) (ゴ-1)	軽故障	・水密ゴムが強く当たっている ・摺動抵抗が大きい	ゴム取付ベース及び水密板に不陸がある	・漏水止めに力点をおいた調整がされている	・歪の発生しない水密板構造又は機械加工 ・据付時変形しない構造及び据付治具の使用	 <	

設備区分		機 側 操 作 盤		No. 16				
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
遮 断 器	遮断器をONにしたら火花を 発し、難落し、運転不能とな った (偶発/先天的故障) (盤-1)	致命 故障	接点が荒れていて 両面がしっくり密 着しない	・接点に湿気が付 着している ・運転頻度が高い	・長期間休止の時もあり湿気 が付着 ・運転停止が多く、起動電流 が流れる ・運転頻度が高くカーボンが 付着する	・長期停止から最初に使用す る場合、接点の清掃をする ・点検整備時接点の荒れ、異 物の付着確認 ・室内の換気。除湿を行う ・接点容量の検討 ・湿気。降雨時は解放しない	春、秋頃は自動運転がさ れ頻繁に起動→停止を繰 り返す	・点検は稼動前に実施す る ・解放時は室内を乾燥状 態として実施
圧着量受信器	開度計が異常である (偶発故障) (盤-2)	部 分 故障	異物が混入した	盤内加工中の切粉 が混入した	・電気部品が磁性化する	・機器をマスキングして作業 する	盤内の照明工事を行った 際の切粉が混入した	

設備区分	検出装置		要因分析			対処法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点検内容 改善案
	故障内容	故障程度	1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
リミットスイッチ	ゲート下限リミットスイッチが絶縁不良となった (先天的/劣化故障) (検-7) (検-1)	軽故障	リミットスイッチ内部に湿気が浸入した	可撓電線管とケーブルの隙間から浸入した	・電線管とケーブル間がコーキングされていない ・経年による被覆材の劣化	・ケーブル挿部のシール状態確認 ・リミットスイッチ内部の熱風による乾燥 ・水浸入しにくい構造のチェック	_____	_____
	圧着ロック装置リミットスイッチが故障した (先天的/劣化故障) (検-2)	部分故障	内部の劣化と絶縁不良	設置環境の湿度が高い	同 上	・絶縁抵抗値の計測 ・通電による乾燥	_____	_____
	ゲート下限リミットスイッチの下限検出の調整が難しい (先天的故障) (検-3)	-	場所的に調整難しい	設計時の検討不足	_____	・設計時機上におけるシュミレーション ・専門家の意見聴取 ・点検時実機で調整してみる	定期点検が行われていない	_____
	上・下限リミットスイッチ部分から漏電した (先天的故障) (検-4)	部分故障	プルボックス内に冠水した水が電線管を通してリミットスイッチ内部に浸入した	水密調整中の噴流がプルボックスに浸入した	・リミットスイッチがプルボックスより下にある ・電線管のコーキング不十分 ・電線管の水抜不良	・U字型配管とし底部に水抜穴を設ける ・噴流防止カバーの設置 ・プルボックスの水抜穴と点検時の確認 ・ケーブル挿入部のシール状態確認	_____	・噴流調整時の電気品の保護
	下限リミットスイッチがONのままOFFとならない (劣化/先天的故障) (検-5)	致命故障	回転部等の固着又は異物の噛み込み	_____	・湿度が高いための錆付 ・操作頻度が低いための固着(塵埃等の固着) ・復元スプリング力が弱い ・形式選定不良	・シールの定期的確認 ・熱風による乾燥 ・回転軸部の清掃と防錆処置 ・最適型式の選定	_____	_____
	リミットスイッチの作動点が季節によって変化する (先天的故障)	重故障	・メッセンジャーロープが伸縮する ・カム板が小さく誤差が大きい	温度変化による伸縮	・日光。風よけのカバーが無い ・ロープ張力が小さい	・日光。風よけカバーの設置 ・ウェイトの見直し ・回転部の給油。整備 ・コイルスプリングの点検 ・潤滑油の交換 ・装置としての精度確認	_____	・全閉は油圧力で検出する

設備区分	検出装置							
機器名	故障内容	故障程度	要因分析			対処法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点検内容 改善案
			1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)			
開度発信器	開度が発信されない (先天的故障) (検-11) (検-8)	部分故障	絶縁不良	・発信器内に水が浸入した ・発信器にカバーを取付たためカバー内に水が溜り浸入した	・据付直後上屋が無い ・操作盤位置より下方にある ・電線管とのコーキングがされていない ・水抜穴が無い ・電線巻の取付形状不良 ・発信管カバーの水抜穴不良	・稼働迄の期間が長い場合取外し保管 ・定期的に通電し模擬運転する ・U字配管とし底部に水抜穴を設ける ・ケーブル挿入部のシール状態確認 ・熱風による乾燥と絶縁抵抗チェック	・工事完成後しばらく上屋が無かった ・操作盤より3m下に設置されている	・工事中も雨水が入らないようにする
	遠方に開度出力がされない (先天/偶発故障) (検-13)	軽故障	遠方出力回路の接点不良	線路出力避雷器の損傷	・誘雷による損傷	・落雷時は全機器チェック ・シールド線の使用	_____	_____
	開度発信器に水しぶきが当たる (先天的故障) (検-14)	—	圧着解除時の噴流水のしぶきが当たる	設置場所主軸受部	_____	・噴流防止カバーの設置 ・設置場所の検討	_____	_____
	圧着指示計が圧着量を指示しなくなった (偶発故障) (検-15)	部分故障	圧着装置の回転が発信器軸に伝達されない	スプロケットの止めネジが弛んでいた	・振動による緩み、抜出し ・負荷増大による締付抵抗不足 ・止めネジの接触部の摩耗。損傷	・点検時の増締め ・止めネジの廻り止め加工 ・稼働時振動の有無の確認	_____	_____
	ゲート開運転時開度が正確に検出されない (先天的故障) (検-16)	軽故障	開時開度計駆動力が減少する	ロッド自重が軸受部分の抵抗で消滅してしまう。	・ロッド摺動部のクリアランスが小さい ・軸受メタルが無給油である	・自重駆動の場合は自重を増加できる構造とする ・給油構造とする ・嵌合は最適寸法とする ・点検時潤滑油を流し込む	建設当初から動きが悪かった	・他方式(ワイヤーリール式)も検討する
	開度量がコンスタントでなく飛んでしまう (先天的故障) (検-18)	部分故障	開度計駆動のラックとピニオンの噛合わせが悪い	・歯のモジコールが大きく精度が悪い ・増速しているため精度が悪い	・開度計単位と機構の精度が合っていない	・設計段階から機構の見直し	_____	_____

No. 19

設備区分		検出装置		要 因 分 析			対 処 法	不良発見の直接要因 故障に至る迄の経緯	点 検 内 容 改 善 案
機 器 名	故 障 内 容	故障程度	1 次 要 因	2 次 要 因	3 次 要 因 (含む想定)				
開 度 発 信 器	ゲート開度を変化させても開度計の2桁目の数字が変化しない (先天/劣化故障) (検-19)	部分故障	発信器の磁石部分の不良 (シャフトエンコーダ)	_____	- 製品の環境不適 - 結露水による接点の腐食 - リード線取付部不良	- 室内の換気。除湿を行う - 配線接続部のチェック	- 室内の換気。除湿を行う - 配線接続部のチェック	点検には開度計製作メーカーも参画させる	
	磁気スケール式開度計の1bitが作動不良となった (先天的故障) (検-17)	部分故障	故障部分は作動しOFFとならない	低温域で作動が不安定	_____	- 設置環境の温度の記録を取る - 模擬テスト装置による確認	- 設置環境の温度の記録を取る - 模擬テスト装置による確認	同 上	
	機械式開度計のみであったが電気式のものに新替、又は追加した (先天的故障) (検-10) (検-9)	-	遠方への開度表示	_____	_____	_____	_____	_____	_____
開 度 受 信 器	開度計受信器に内蔵された圧着量検出スイッチが接点不良となった (劣化故障) (検-20)	重故障	長期間使用による経年劣化	_____	- 接点の摩耗 - 接点の腐食 - 異物の付着による変質 - 駆動機構部の摩耗。劣化 - リード線接続部の劣化	- 室内の換気と除湿 - 摩耗。腐食等のチェック - ヒステリシスのチェック - 絶縁抵抗値のチェック	_____	定期的の新替えする	

試運転等の徹底による、潜在している先天故障の供用開始前発見。

② 偶発的故障

・点検の徹底化

従来管理で手の届きにくかったところを事例をもとにフィードバックし、従来管理と合わせ徹底化する。特に作動油の管理方法に配慮すべきである。

・故障しにくい構造・操作しやすい構造

寄与率の高かった油圧ユニット、機側操作盤を主に、簡素化を図ることにより構成機器の数を減らす、また二重化を図ることによりシステムの完全なダウンを回避する。これは、各構成機器の故障率を下げるのではなく、システム全体としての信頼性を上げることである。

また、各装置を標準化する事により、特に緊急時における対応を取りやすくする必要がある。

・緊急時対応策

放流すべき時に、故障、不具合が発生したときを想定した設計。バックアップ等の復旧性を考えたものと、機械の安全よりも放流機能を優先させるとき、放流を維持できるような機器の耐久性を考えたものが必要と思われる。

③ 劣化故障

・適正な更新時期の制定

更新時期を決めて、故障の起こる前に取り替える。これは、経済性も考慮した適正な時期を制定する必要がある。

・機器の寿命設計

ライフサイクル的経済性、メンテナンスの容易さを考慮した。寿命設計が必要な機器も考えらえる。

以上については、それぞれがバラバラになることなく、ダムゲートの操作方法も含めて統一された思想のもとに行われる必要がある。

これらについて、簡単に図－6.2に示す。

表－6.2 主要装置における故障原因による分類内訳

① 開閉装置の分類内訳

	先 天 的 故 障			偶 発 的 故 障	劣 化 故 障	
	先 天	先天/偶発	先天/劣化		劣化/偶発	劣 化
開閉装置 (主シリンダ) 27件 (100%)	3	4	0	8 (30%)	0	12
	7 (26%)				12 (44%)	
特 徴	・据付精度不良、片当りによる シリンダのビビリ振動 ・ピストンロッドの腐食発錆			・作動油中の異物噛込みによる 発傷 ・異物噛込みによるパッキン の損傷 ・ピストンロッドへの付着物 によるパッキン類の損傷、 まくれ込み ・誤操作による変形、破損	・パッキン材の変質による損 傷、破損 ・パッキン、Oリング等の長 期間使用による経年劣化 ・パッキン関係の故障がほと んど	

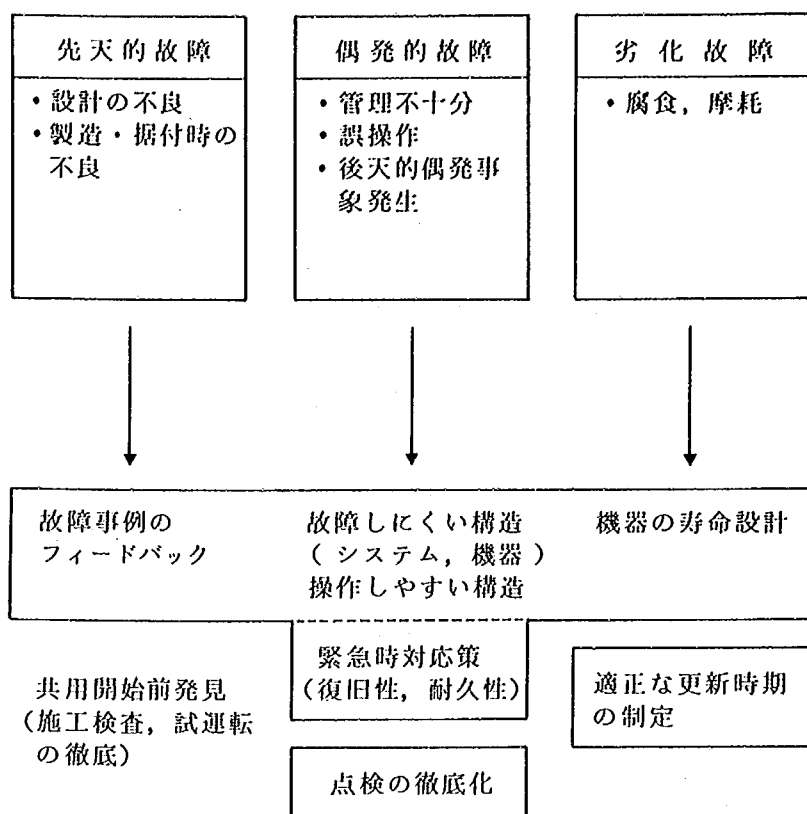
・供用開始前発見

② 油圧供給装置の分類内訳

	先 天 的 故 障			偶 発 的 故 障	劣 化 故 障	
	先 天	先天/偶発	先天/劣化		劣化/偶発	劣 化
油圧供給装置	14	2	2		2	10
42件 (100%)	18 (42%)			12 (29%)	12 (29%)	
特 徴	・流量調整弁等の回路構成の不具合 ・カウンタバランス弁等のメーカーの組立製作不良 ・圧力スイッチ等の回路構成取付不良、及び環境不適 ・油圧配管等の管径不適、振動対策不適			・作動油中の異物の噛み込み ・フィルタ目詰まりによる吸込不良 ・弛みによる漏油 ・作動油の劣化汚れによる故障がほとんど	・運転頻度が多いため回転、摺動部の摩耗 ・長期間運転しないための回転、摺動部の固着錆付 ・パッキンOリングの経年劣化による漏油	

③ 検出装置（含機側操作盤）の分類内訳

	先 天 的 故 障			偶 発 的 故 障	劣 化 故 障	
	先 天	先天/偶発	先天/劣化		劣化/偶発	劣 化
件出装置	10	1	5		0	1
20件 (100%)	16 (80%)			3 (15%)	1 (5%)	
特 徴	・リミットスイッチ、開度発信器共、湿気環境における絶縁不良、接点不良が多い ・開度発信器の駆動の伝達部不良 ・手入・調整が難しい構造 ・環境と機器仕様が適合していないため			・異物の噛み込みによる作動不良 ・ネジの弛みによる回転力の伝達不良	・劣化故障に至る前に他の故障、定期交換されている	



図－6.2 故障原因の分類と対策

7. F T A と設計・維持管理

7.1 F T A と設計

モデルダム用ゲートのアンアベイラビリティは、5.2で算出したが、6章で述べた故障事例等を踏まえ、今後改善したダム用ゲート開閉装置に対し、F T 図を作成し、F T Aを行うことにより、信頼性の定量的な比較等の評価が可能になる。

ここで、設計に対する信頼性向上の基本的な検討案である、次の3つの項目について、すなわち寄与率の高い装置・機器について

- ① 使用材料等のグレードアップ
- ② システム等の簡素化
- ③ システムや要素の予備系

を図る場合のF T Aによる意味合いを考えてみる。

- ①は、該当構成機器そのものの故障率を下げることで、システム全体のアンアベイラビリティを小さくするものである。
- ②は、該当部分についてF T 図そのものの簡素化を図る。本報告書の巻末資料にある、F T Aの演算法から明らかなように、F T 図が簡素化され基本構成機器点数やF T 図の階層数が減れば、それだけシステム全体のアンアベイラビリティが小さくなることになる。
- ③は、F T 図におけるA N Dゲートの数を増やすことになる。F T Aの演算法では、A N Dゲートは、各事象の発生確率の積であるからそれより上位システムのアンアベイラビリティは小さくなることになる。

7.2 F T A と維持管理

5.2の図-5.1にあるとおり、点検の間隔を、短くしていくほど、設備の信頼性が論理的には向上する。しかし、ここでいう点検とは5.2で述べたようにそれを行うことによって故障機器をトータルに検出でき、その箇所を修理できるような点検を想定したものである。今後そういった点検手法や、修理・更新が出来るような手法、点検間隔を含めた体制等の改善に、F T Aによる評価が可能であると考えられる。

従来より実施している点検手法では、全ての部品の機能をチェックするには多大の労力を要し、また非常に困難を伴ったわけであるが、ここで、実際に運転を実施しシステムが機能を発揮することを確認できれば、少なくともその運転に必要な役割を持つ部分については機能が保持されており、故障が発生していないことがわかるわけである。こういう「管理運転」という管理方法も今後検討していく必要がある。

7.3 機器更新時期のF T Aによる検討

今回の調査では、各構成機器の故障率の計算において、偶発故障のみならず、初期故障、劣化故障も含めている。この中で劣化による故障、更新は少なくない。したがって、これらの機器に対し、も

もう少し早く予防的に更新することができれば、その機器の故障率は下がり、したがって設備全体の信頼性は向上すると考えられる。今回いくつかのケースに分けて、信頼性がどのくらい向上するかについてF T Aに基づくシミュレーションを試みることにし、適正な更新時期設定のための資料とする。

7.3.1 各機器の故障・更新時期の分布

今回収集した、フィールドデータを用いて、各機器が、機器設置後何年目に故障・更新したのかについて、機器毎にグラフを作成した。図-7.1に示す。

7.3.2 シミュレーション計算

シミュレーション計算の考え方は、以下のとおりである。

前述の故障・更新時期分布グラフにおいて、ある機器について、その機器をN年で更新したとすれば、N年以後はその機器が設置されないことになるから、N年以後発生した故障・劣化更新は発生しないと考えられる。しかし、N-1年以前の故障・劣化更新はそのまま発生したと考えられる。また、機器の設置時間もN年まで設置されていたとする。

この考え方で、各構成機器の故障率を計算し直す。

また、各機器の更新年数の設定ケースとしては、次の6通りとした。

- ① 全機器：10年
- ② 全機器：12年
- ③ 全機器：20年
- ④ 機械式作動スイッチ（油圧スイッチ、リミットスイッチ等）：5年
その他の機器：10年
- ⑤ 機械式作動スイッチ：6年
その他の機器：12年
- ⑥ 機械式作動スイッチ及び機側操作盤内各機器：5年
その他の機器：10年

計算結果を図-7.2に示す。また、点検間隔と故障出現間隔を図-7.3に示す。

7.3.3 シミュレーション計算結果に対する考察

各タイプのダムとも、シミュレーション前（現状）に比べ、更新時期を小さくするほど、全体の信頼性が向上することがわかる。例えば、全機器更新時期を10年または12年とした場合、信頼性は現状に比べ40%～50%程度向上することになる。しかし更新時期の決定には、この信頼性に対する評価の他に経済性に対する評価も加えて、検討していく必要がある。

今回シミュレーション計算に用いた、更新年数の設定ケースは、図-7.1に示す各機器の故障・更新時期の分布から、故障・劣化更新が増え始める時期を勘案して定めたものであるが、故障・劣化更新の実態を見ると、純粹たる劣化によるもののほかに、油圧作動油の管理不良等他の要因による劣化促進の効果も見受けられる。これらの機器に対しては、より安全側すなわち更新時期を短く取ることとも考えられるが、機器のグレードアップや、劣化を促進する要因を取り除くなどのトータルでみた維持管理手法の中で考えていく必要もあると考えられる。さらに、各機器毎にバラバラな

更新時期では実運用時に問題があるため、実運用を考慮した検討も必要である。

いずれにしても、更新時期の設定に当たっては、信頼性と経済性というトレードオフの関係にある2者を定量的に検討する必要がある。その検討時にFTAという手法が可能であると考えられる。

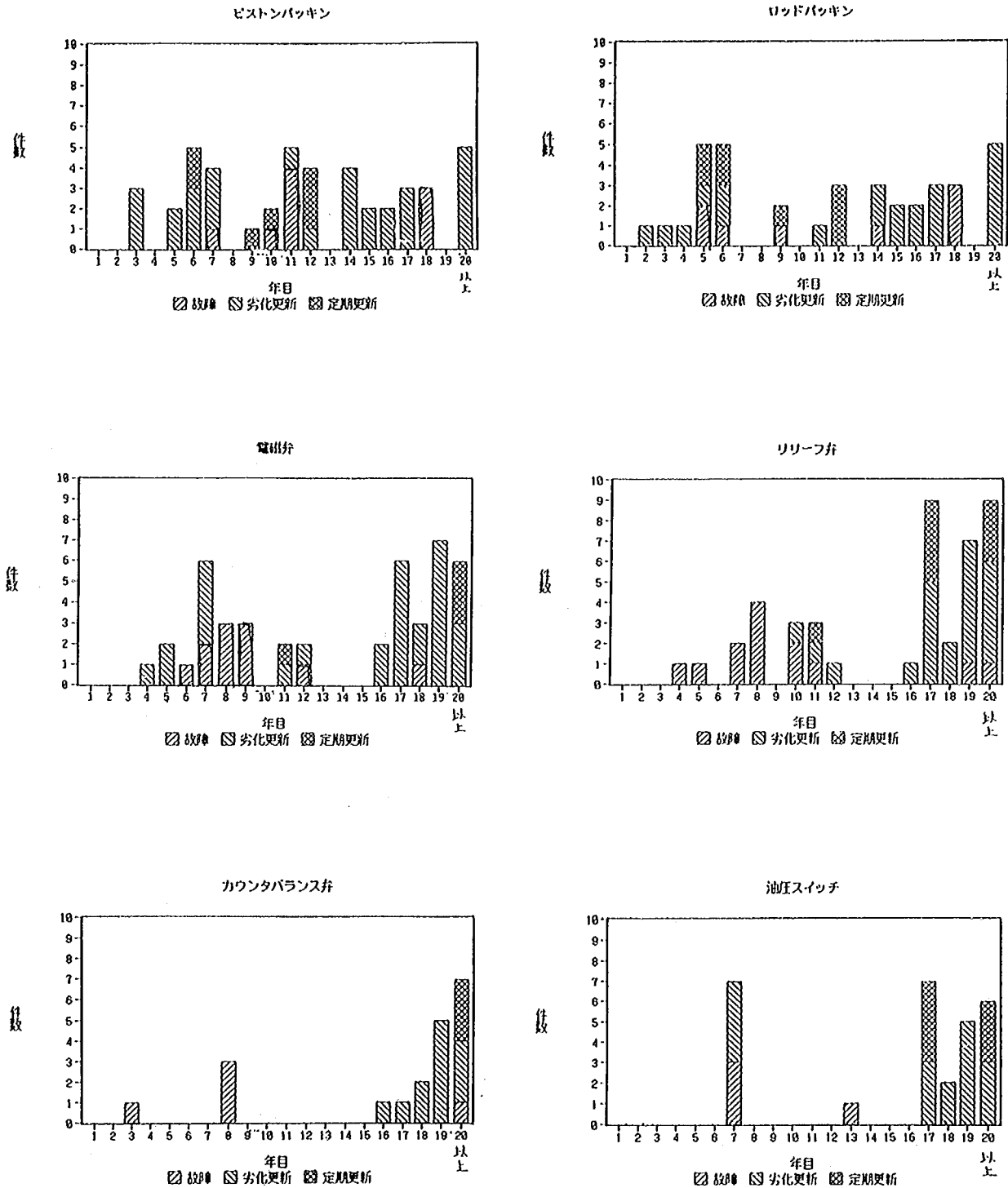


図-7.1(1) 各機器・故障・更新時期分布

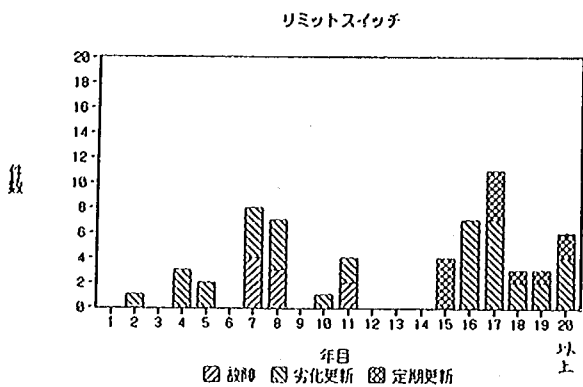
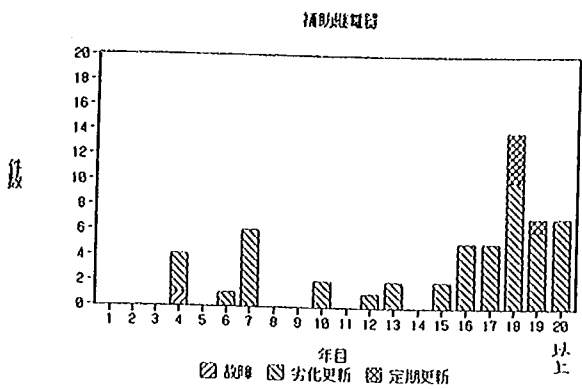
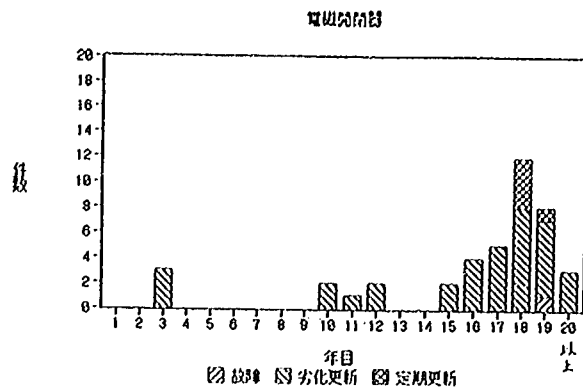
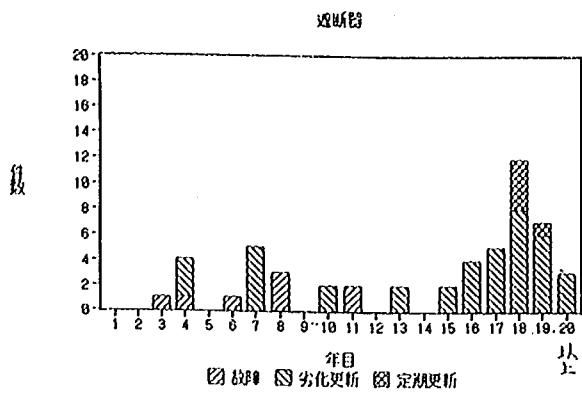


図-7.1(2) 各機器・故障・更新時期分布

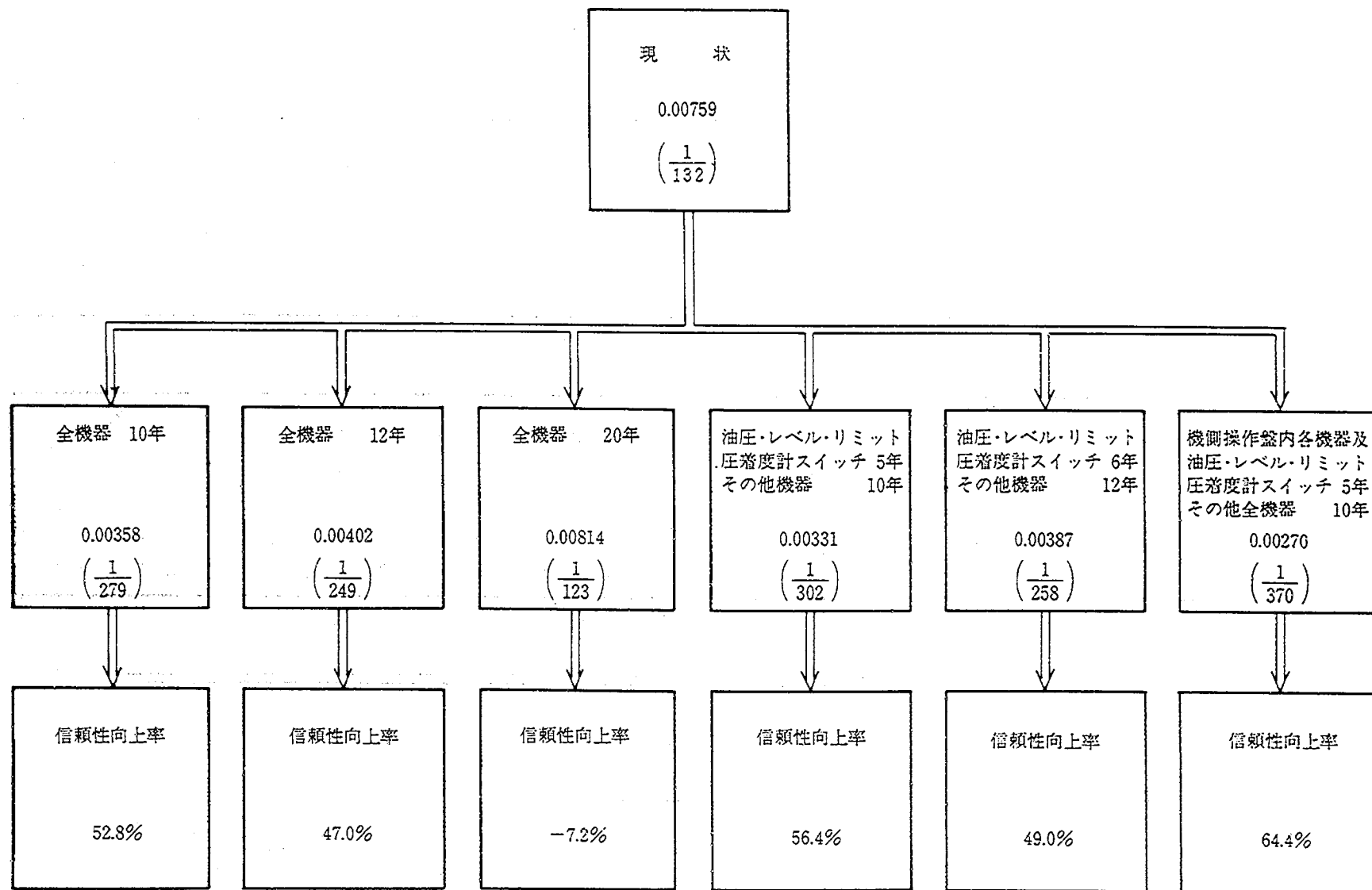
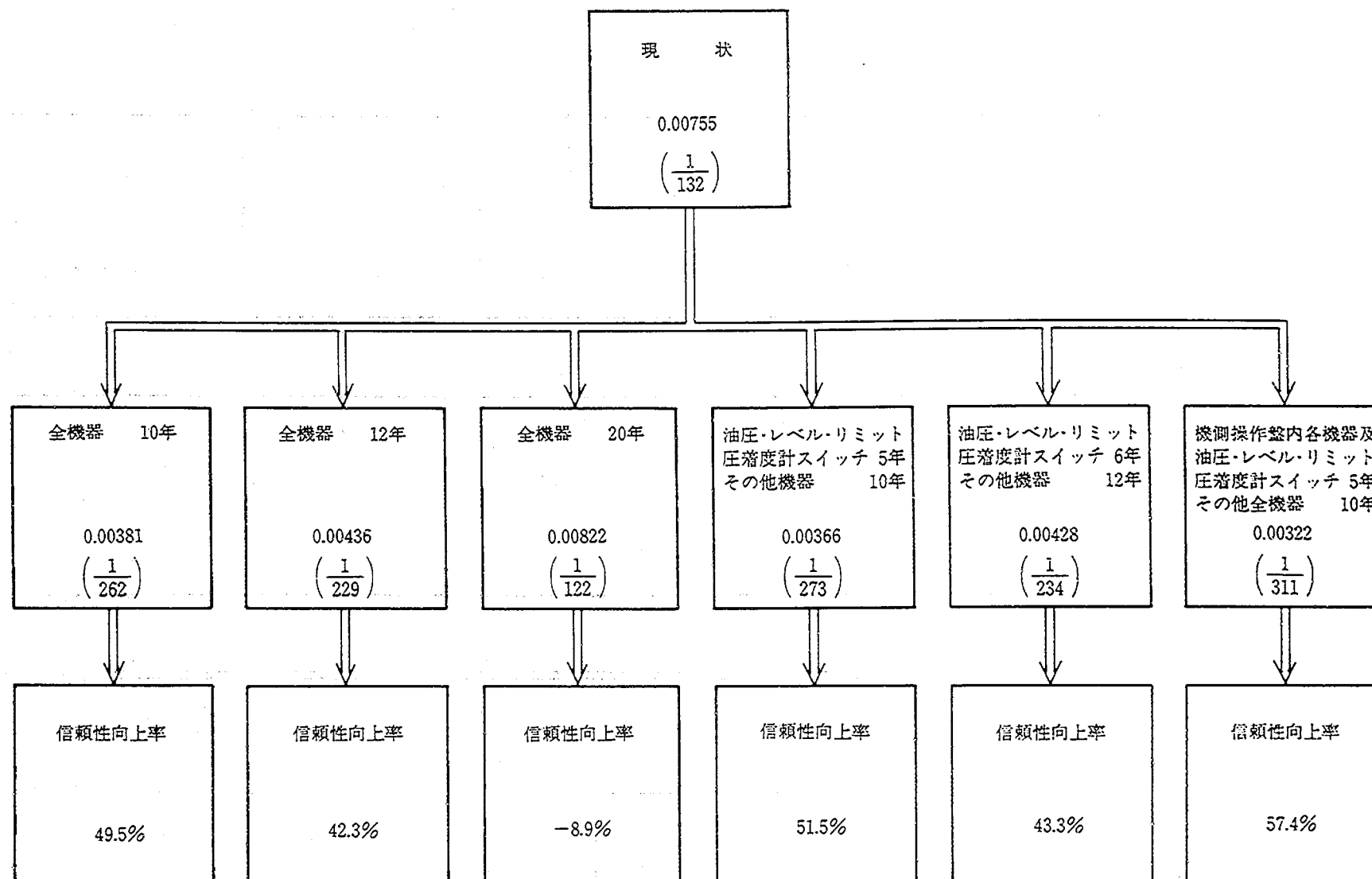
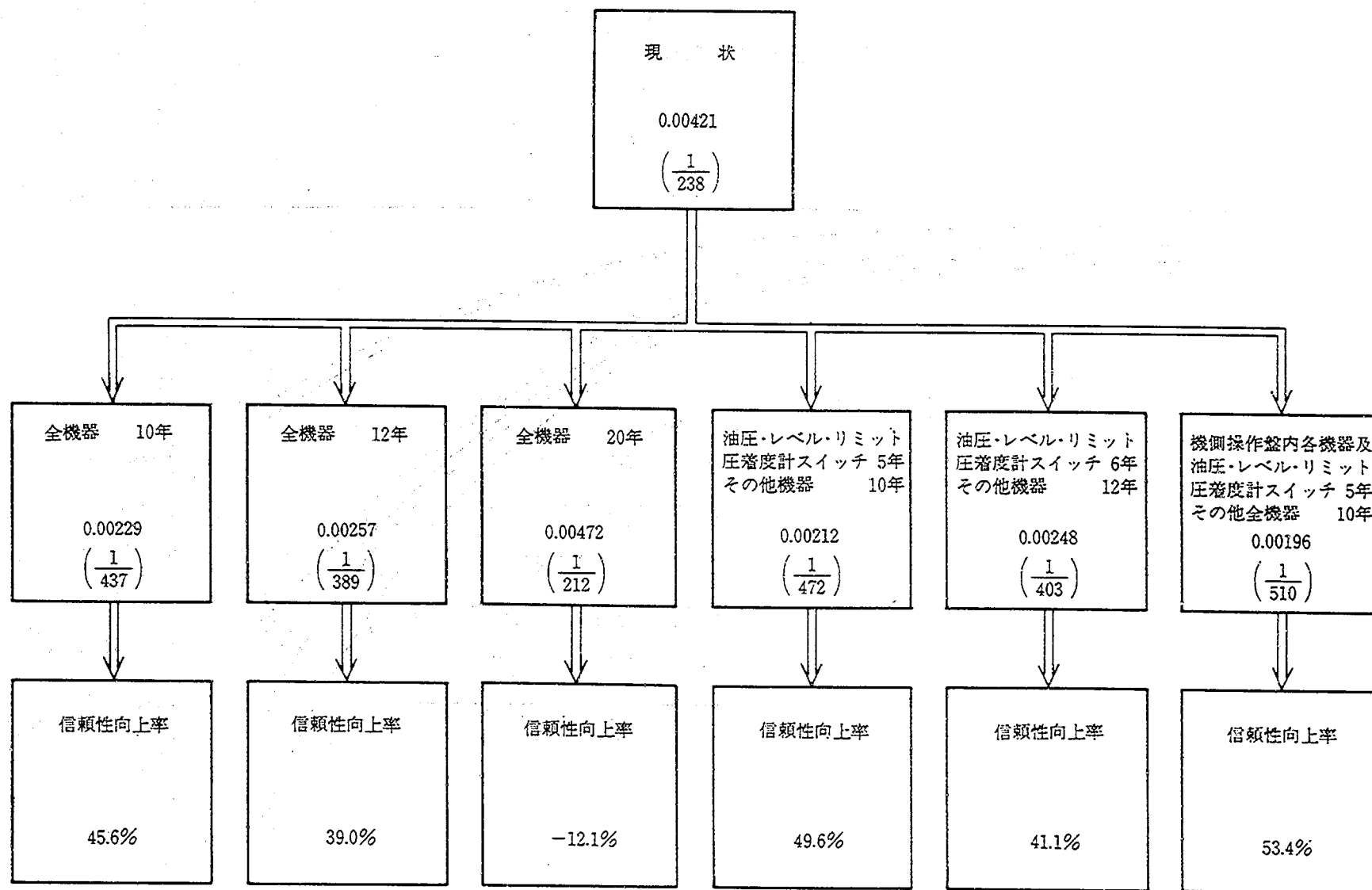


図-7.2 シミュレーション計算結果
 (1) Aダム(ゴム圧着式ローラゲート)(運転間隔1ヶ月)



(2) Bダム（扉体圧着式ラジアルゲート）（運転間隔1ヶ月）



(3) Cダム(摺動式ラジアルゲート)(運転間隔1ヶ月)

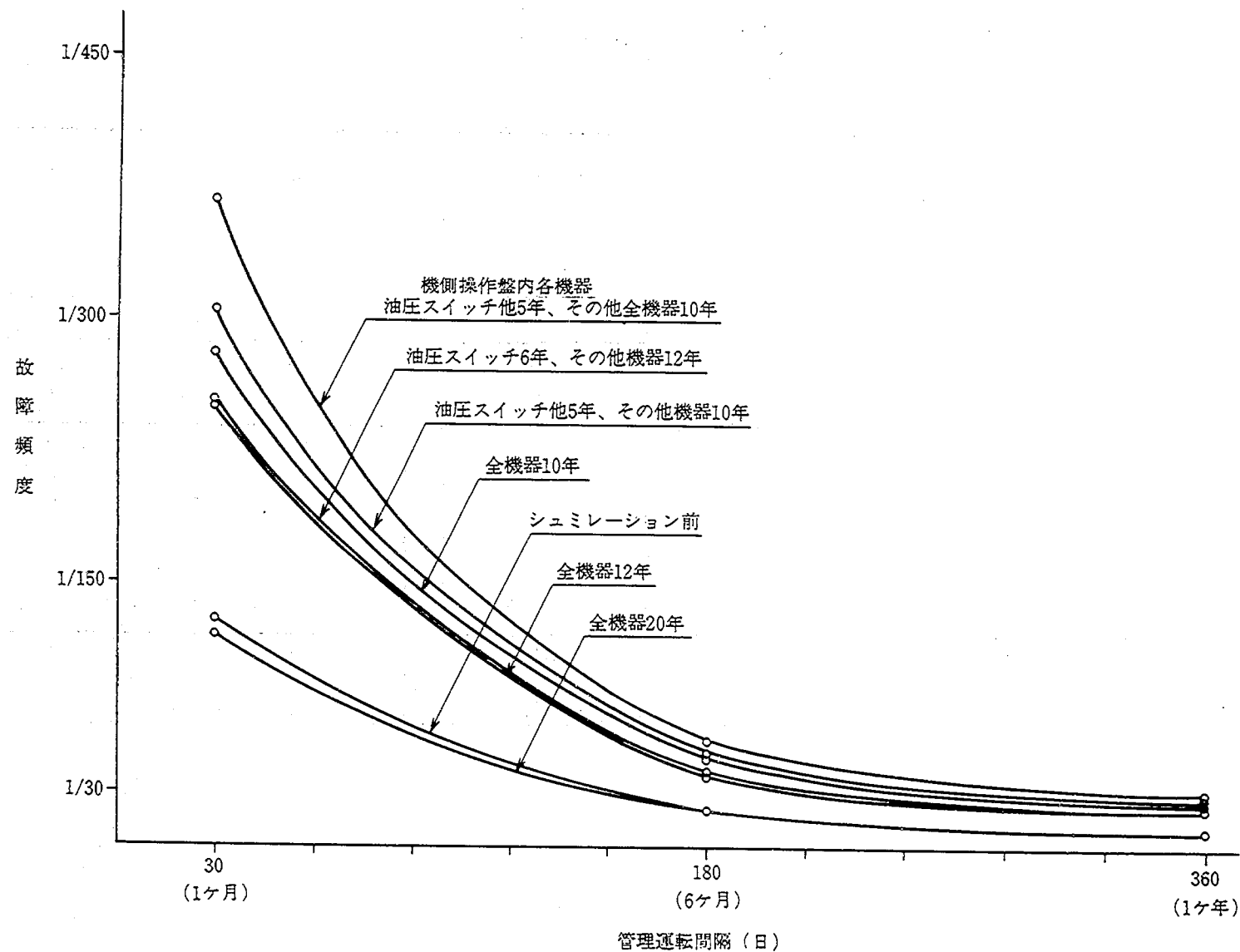
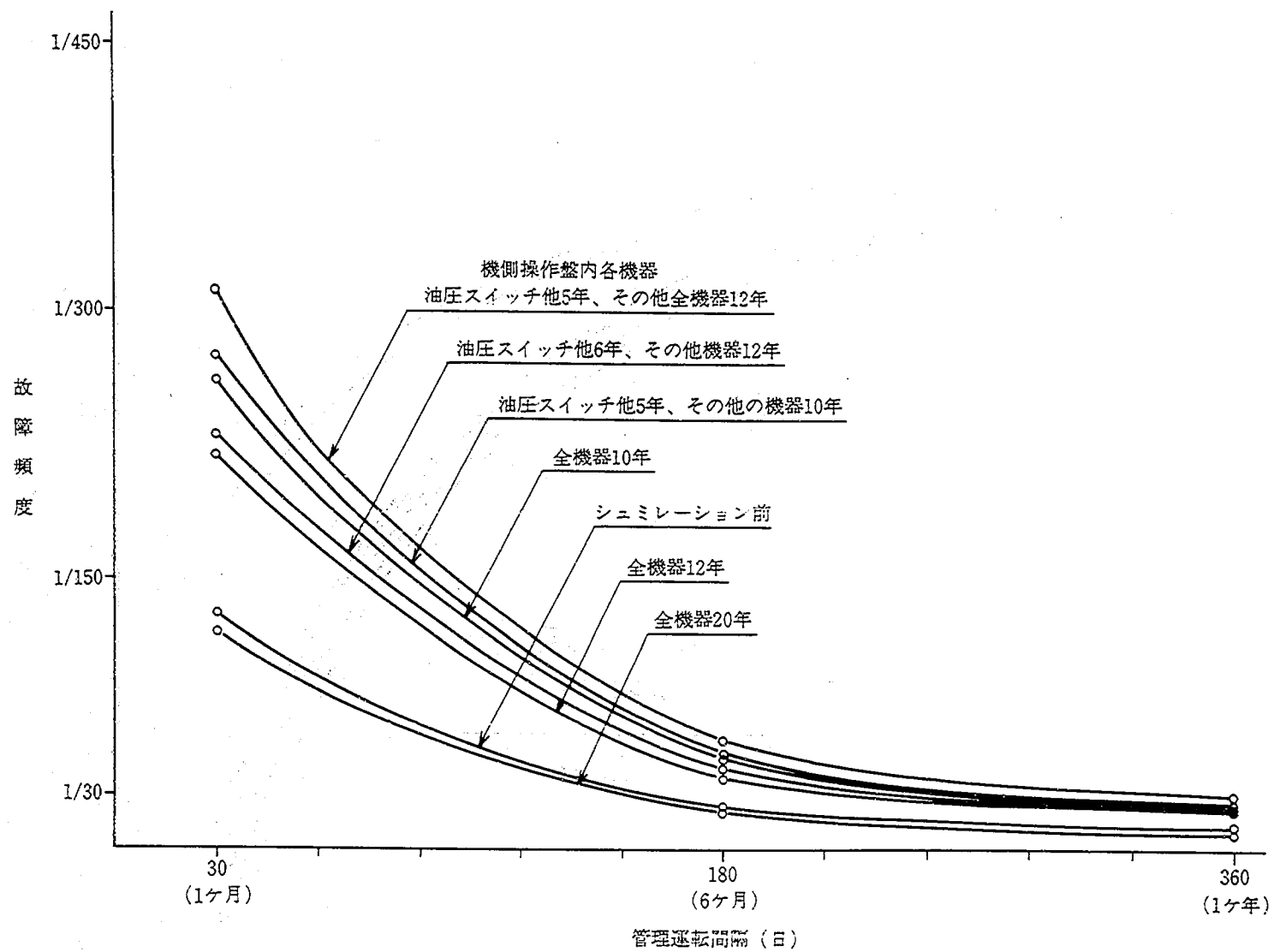
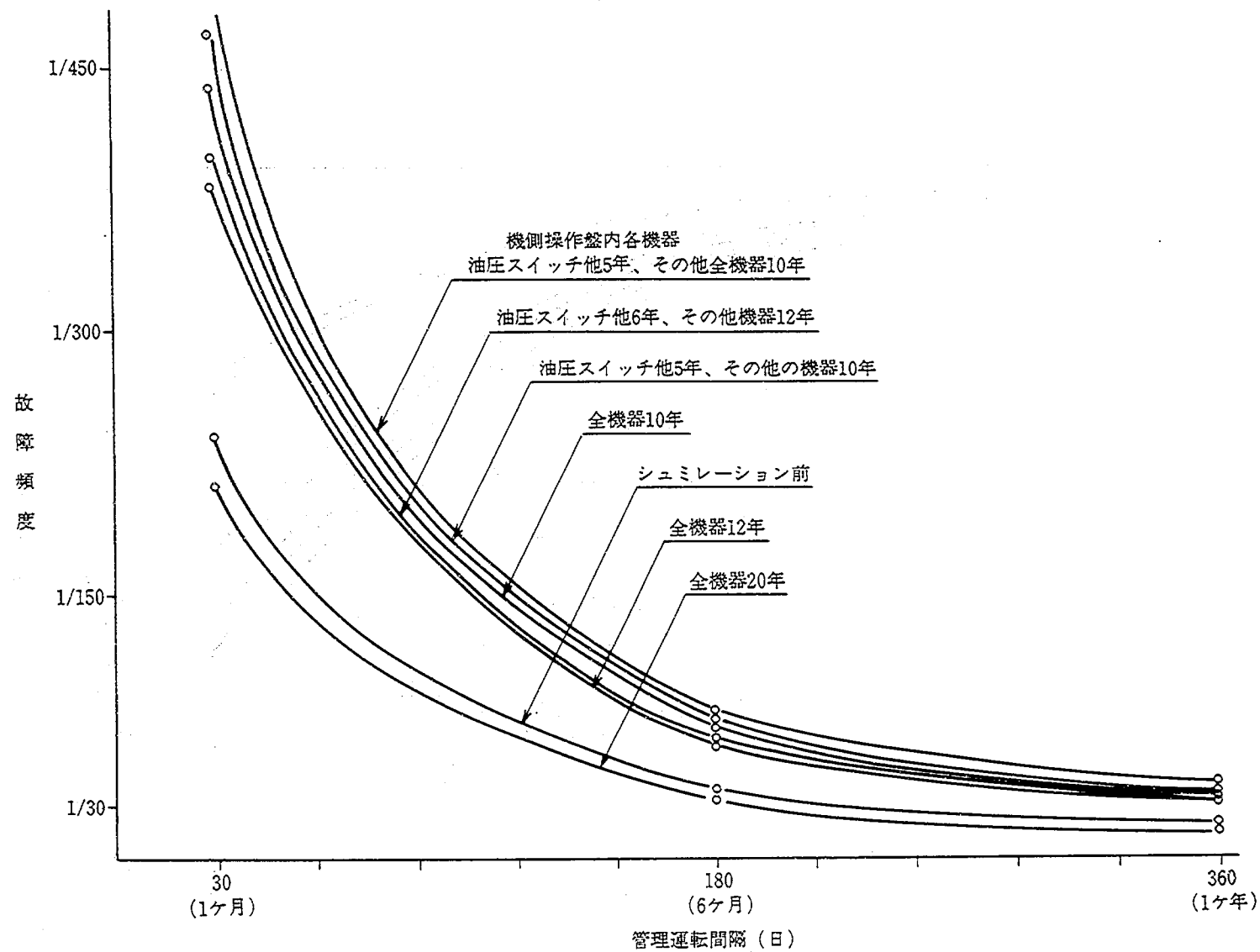


図-7.3 シミュレーション計算後の点検間隔と故障頻度の関係

(1) Aダム



(2) Bダム



(3) C ダム

ま と め

この報告書は、昭和 59 年度から 62 年度にわたって行われた「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」の後を受け、非常用系であるダム用ゲートについて、その信頼性を定量的に評価する際に必要なアベイラビリティ尺度の構成方法、F T A の適用手法、信頼性データの収集及びこれらに基づく定量的な評価方法について、調査研究したものをまとめたものである。

機械設備は様々な機器によってシステムが構成されているが、故障機器の種類、システムの中の位置付けあるいは故障モードによってシステムの目的に対する影響の度合が異なってくる。F T A は、システムを構成する要素機器の故障が、トップ事象とどのように関わってくるのかを分析し、トップ事象への各機器の故障の影響経路を総合的に表現できるものである。そして、各構成機器の故障の発生頻度とこの関係の程度によって定量的にトップ事象の発生頻度を算出することとした。

各機器の故障とトップ事象の関係については、システムを構成する要素の故障から出発して、どのような経路でその故障が上部要素に影響していくかを定性的に解析する手法である F M E A があり、「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」では排水機場の構成が非常に複雑で構成機器の規模も大きいので、F T A に先駆けて実施されているが、今回のダム用ゲートについては、排水機場に比べて、それほど構成が複雑でないので省略することとした。

今回の調査研究の目的で挙げた事項に対する結論は以下の通りである。

1. ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の信頼性を定量的に評価する手法が確立したと考えられる。
すなわち、信頼性の定量的な算定が可能になったことから、高信頼性設計、維持管理改善効果等が定量的に評価でき、この結果とコストとの比較検討も可能になったと思われる。
2. ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の故障に寄与する度合の大きい機器の抽出を行い、信頼性を効率的に確保する上での着目点を与えることができた。特に、いくつかの構成機器の故障がシステムの信頼性寄与率の多くを占めていることから、今後の改善のターゲットを絞ることができたと思われる。
3. 故障事例の原因分析は、個別機器に対して行ったが、現段階では、満足な対応策は打ち出せていない。今後ダム用ゲートの設計・維持管理は、トータルなものとして考え最適なものの標準化することが重要である。そのときの検討に資するものではあると思われる。
4. 構成機器の更新時期の検討に対する F T A の応用について、すなわち、機器の劣化故障を防ぐことにより全体の信頼性がどのくらい向上するかに対する定量的な検討については、定量的比較が具体的に行われ、更新時期いかんによって、信頼性が大きく変動することがわかった。今後は機器の更新時期の適正化に向けて経済性も含めた検討を進めていく必要がある。

今回の調査は、フィールドデータの収集において過去のデータを調査したためデータの質の鋭さが十分なものとはいえない難い面があった。今後、長期間にわたって故障データの蓄積を行い、十分な件数のデータに基づいた見直しを行う必要がある。また、より合理的な設計・維持管理を目指した設備の標準化には、これら蓄積されたフィールドデータをフィードバックしていくことが必要であろう。

システムが十分に機能を発揮することを目的とした設計、維持・管理については、本研究で行ったような故障解析が従来行われており、ダム用ゲート開閉装置に対して適用することによって効果的な

設計と維持を実現できるだろうことが示された。しかし、ダム用ゲートのように、建設省が管理する機械設備には、たとえその設備の一部が破壊されても限界までその機能を発揮することが要求されることがある。そこで、従来の故障か停止かの2状態に分ける表現に代わって、システムの一部が故障しても部分的に機能を継続していくような場合も評価することが必要になってくる。そこで、実行された仕事がどの程度正しく行われているかを明らかにするための品質を示すものとして DEPENDABILITY（機能に関する信頼性）が RELIABILITY（作動に関する信頼性）の代わりに使われつつあるようである。従来の信頼性が故障を避けることを目的としているのに対し、このような考え方の中では、故障をある程度容認しその影響を最小限にすることに努力することになる。また、機械設備においても、運転に対する要求の程度（出水の状況）に応じて、回復可能な範囲で故障をおして運転できるシステム設計といった形で、フォールトトレランスの考え方を取り入れることによってより合理的かつ頼れる（DEPENDABLE）設備とすることが可能になろう。このことは、故障原因分析の章でも少しふれたが、こういった検討も今後必要となるであろう。

最後に、今回のフィールドデータ収集においては、各ダム管理所の方々にご協力をいただいた。本調査研究を進める上でご協力ご指導いただいた方々と共にここに感謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 高木, 塩見, 市田他 / 信頼性工学講座 1 ~ 5 / 東京電気大学出版局
- (2) 塩見 / 信頼性工学入門 / 丸善
- (3) 機械系信頼性部会 / FMEA・FTA の解説 / 日科技連
- (4) 菅野 / 保全と信頼性 / 日本機械学会誌 Vol. 74, No. 633.
- (5) 米納, 中村他 / 原子力発電所の予防保全活動 / 日立評論 Vol. 64, No. 8.
- (6) 小川原, 高見他 / システムの信頼性設計手法の開発 / 三菱重工技報 Vol. 18, No. 2.
- (7) IEEE-Std-500 / 米国電気・電子学会
- (8) 沢田, 太田, 前田 / 揚排水ポンプ設備保全実態調査報告書 (第 1 報) 土研資料 1842 号
- (9) 伊藤, 太田, 前田 / 揚排水ポンプ設備保全実態調査報告書 (第 2 報) 土研資料 2031 号
- (10) 建設省 / 機械設備の信頼性評価に関する調査研究 / 第 38 回建設省技術研究会論文集
- (11) 建設省 / 機械設備の信頼性評価に関する調査研究 / 第 39 回建設省技術研究会論文集
- (12) 建設省 / 機械設備の信頼性評価に関する調査研究 / 第 40 回建設省技術研究会論文集
- (13) 近藤 / 安全を設計する / 講談社
- (14) 向殿 / フォールト・トレラント・コンピューティング (Maruren Advanced Technology <電子・情報・通信編>) / 丸善
- (15) 長, 樋下, 村松, 多田, 大沢, 斉藤 / 機械設備の信頼性評価に関する調査資料集 / 土木研究所部内資料第 56 号
- (16) Everett L. Welker, et al. / Estimating the Exponential Failure Rate from Data With No Failure Events
- (17) 長, 樋下, 村松, 多田, 大沢, 斉藤 / 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
- (18) 北川賢司 / 信頼性管理の知識 / 日刊工業新聞社 / S56 年

(1) 定量化の基本則(論理演算)

F T Aは定性的解析手法として大いに有用であるが、さらに基本事象の発生確率が既知または推定できるときは、論理ゲートの示す確率計算法則を用いてトップ事象の発生する確率を求めることができる。

F T Aは次の2つの仮定が前提となっている。

- ① 各事象は正常と異常の2つの状態しか取り得ない。すなわち互いに排反である。
- ② 基本事象は相互に独立である。

しかし実際には同じF T図の中に、

- ① 外部からの強制ストレスによって複数の基本事象が同時に発生する場合
- ② ひとつの故障が環境ストレスを変動させて他の故障を発生し易くする場合

などのように基本事象が相関を持つ場合もあり、独立性を仮定して得られる量と実際と相違がでてくる原因ともなる。

F T図に描かれたロジック・ダイアグラムを定量化するにはまずブール代数(Boolean Algebra)による論理演算を行う。ブール代数は、以前はリレー回路、最近では特に電子計算機回路の発達とともに、その設計に有用な手法として発達してきたが、その基本は集合論に発している。したがって集合の結び(和集合)と交わり(積集合)とについては、ちょうど代数における四則演算のような基本法則が、ブール代数にも存在する、この基本法則を次に示す。

要素 x , y , z が属する集合がブール代数であれば、ブール変数について次の式が成立する。

- ① 交換律 $x + y = y + x$, $xy = yx$
- ② 結合律 $x + (y + z) = (x + y) + z$, $x(yz) = (xy)z$
- ③ 吸収律 $x(x + y) = x$, $x + xy = x$
- ④ 分配律 $x(y + z) = xy + xz$
- ⑤ べき等律 $x + x = x$, $xx = x$
- ⑥ 相補性 $x + \bar{x} = 1$, $x\bar{x} = 0$
- ⑦ ドウ・モルガンの定理

$$x + y = x y, \quad x y = x + y$$

(2) 計算方法(確率演算)

基本事象が独立であって、その故障モードのデータが発生確率で与えられると、ANDゲート、ORゲートの出力はそれぞれ、

ANDゲートの出力

Prob{A発生およびB発生}

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(A/B) \cdot \Pr(B) \quad (\text{参-1})$$

$$= \Pr(B/A) \cdot \Pr(A) \quad (\text{参-2})$$

ORゲートの出力

Prob{A発生またはB発生}

$$\Pr(A \cup B) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A \cap B) \quad (\text{参-3})$$

の形で与えられる。ところで入力事象AとBは互いに独立であるから、
(参-1), (参-2)式の条件付確率は、

$$\Pr(A/B) = \Pr(A), \Pr(B/A) = \Pr(B)$$

となるので、

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(A) \cdot \Pr(B) \quad (\text{参-4})$$

また(参-3)式は、

$$\Pr(A \cup B) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A) \cdot \Pr(B) \quad (\text{参-5})$$

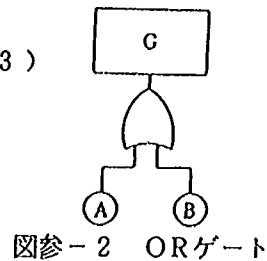
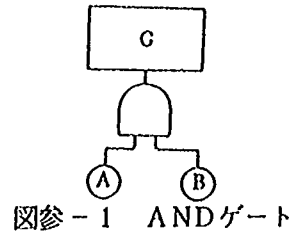
もし、 $\Pr(A)$, $\Pr(B)$ が0.1以下であるならば、(参-5)式は近似的に

$$\Pr(A \cup B) = \Pr(A) + \Pr(B) \quad (\text{参-6})$$

これらの関係は入力がn個になっても成立する。

したがって、一般に

ANDゲート	⇨	入力事象の発生確率の積
ORゲート	⇨	入力事象の発生確率の和 (ただし各確率の値は0.1以下)
制止ゲート	⇨	入力事象と条件事象の発生確率の積



として計算することが多い。

なお、基本事象の発生確率として、確率過程で示される故障の発生確率である不信頼度やアンアベイラビリティ(またはアベイラビリティ)尺度の決定には、解析の対象としたシステムの使命を念頭に置いた十分な検討が必要となる。

(3) 計算例

FT図の枝に同一の事象が複数回またがって現れることがなければ、(1)の論理演算は形式的には不要となり、(2)の確率演算のみ行えば十分であるが、一般には同一事象が複数の枝にまたがって出現することが多い。この時は、FT図の簡素化、計算の効率化に、ブール代数による論理演算が不可欠となる。

このような場合の例として図参-3に示す簡単なFT図を考えることとする。出力事象の発生確率 a を求めるには、まずブール代数による論理演算を行なう。始めに、

$$\begin{array}{l} b = w + x \\ c = w + y \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} b = w + x \\ c = w + y \end{array}} \right\} \text{ORゲート}$$

次に、

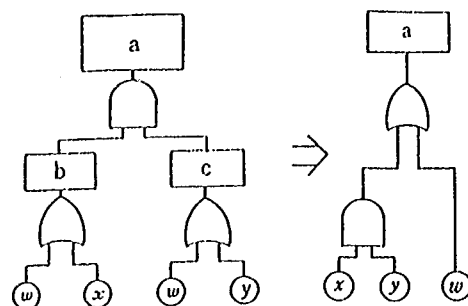
$$\begin{aligned} a &= b \cdot c && \text{ANDゲート} \\ &= (w + x)(w + y) \\ &= w \cdot w + w \cdot x + w \cdot y + x \cdot y && (\text{参-7}) \end{aligned}$$

この式をブール代数の基本則(1)①～⑧参照)で変換すると、

$$\text{まず, } w \cdot w = w \text{ (べき等律)} \quad \therefore w + w x + w y + x y$$

$$\text{また, } w + w x = w \text{ (吸収率)} \quad \therefore w + w y + x y$$

$$\text{さらに, } w + w y = w \text{ (吸収率)} \quad \therefore w + x y \quad (\text{参-8})$$



図参-3 FT図の例

したがって(参-7)式は、論理演算により

$$a = w + x y \quad (\text{参-9})$$

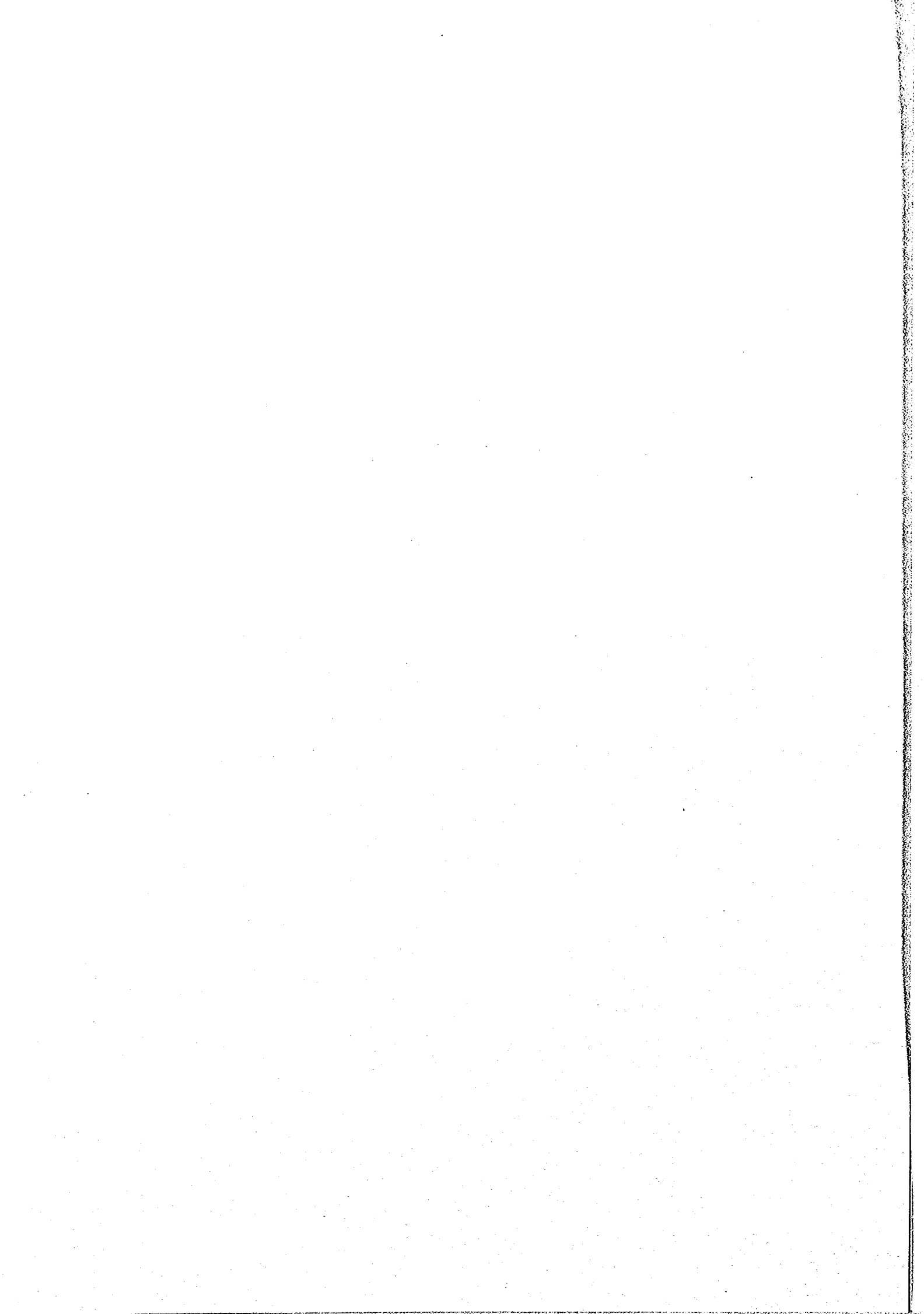
という形に帰着する。

つぎに、式(参-9)に基き確率演算を行う。いま基本事象の発生の確率を、簡単のために $Pw = Px = Py = 0.01$ として図参-1のトップ事象 a の発生確率を計算してみると、

$$Pa = Pw + Px \cdot Py = 0.0101 \quad (\text{参-10})$$

として、トップ事象の発生確率が求められる。

資料・1 ダム用ゲート信頼性調査票
(ダム管理事務所依頼)



ダム用ゲート信頼性調査票

1. 調査の主旨及び目的

ご承知の通り、ダムに設置されるゲート設備は、洪水調節あるいは水資源開発を目的とした設備でありその放流調節機能が停止した場合、地域社会に与える被害は甚大であり、ゲート設備の維持管理には最善の努力を払う必要がある。

現状に於ける設備の維持管理は、これまでの経験に基づいて点検整備を行っているが、今後ゲート設備が累積的に増大してゆくのに対し、経験の深い管理職員が少なくなることを考えると、ゲート設備の信頼性をたかめることにより一層合理的な維持管理を行っていく必要がある。そのために今回、信頼性工学の手法を用いて、ゲート設備における信頼性の定量的な評価を行うことにする。

さて、ゲート設備の中でも開閉装置の信頼性は、設備全体の信頼性に大きく影響することが過去の経験的知識から推察される。そこでゲート設備における信頼性の定量的な評価を行う上では、開閉装置を構成する機器の故障等を把握することが必要である。しかし、機器の故障率については、各方面において集積されつつあるものの、信頼性工学の発展した今日でも未だ不十分である。そこでフィールドデータが必要になってくるのであるが、実際の現場での使用に基づくこのフィールドデータこそ、信頼性解析を行う上で最も価値のあるデータである。ご承知のとおり、データはその数が多ければ多い程、その解析は正しいものとなっていきます。当然今回の調査もこのフィールドデータの量と質がキーポイントになります。そこで主旨をご理解のうえご協力下さるようよろしくお願い致します。この信頼性解析の結果をもとに、より信頼度の高い設計手法の指針を与え、またより合理的かつ経済的で信頼度の高い維持管理手法の指針を与えていくことになります。

2. 記入要領

調査票は、様式－1、様式－2、様式－3の三種類あります。

様式－1は、ダムの概要をご記入願います。

様式－2は、完成より現在にいたるまでの期間について、その中で発生したすべての故障・不具合箇所についてご記入願います。しかしながら完成より現在までのすべての記録が残っていないことも十分考えられます、それに該当するダムについては、記録が残っている範囲でご記入願います。記録が残っている範囲については、すべてご記入願います。

様式－3については、様式－2同様に、記録が残っている範囲で、機器を更新したものについて全て一つ一つご記入願います。

多忙の中、面倒な作業になると思いますが、よろしくご協力くださるようお願い致します。

3. 調査対象とするゲート

- ① 主放流設備の油圧式高圧ラジアルゲートおよびローラーゲート (主対象)
- ② 油圧式バルブおよび高圧スライドゲート (データの補填が目的)

ここで、油圧式バルブ（ジェットフローゲート、ホロージェットバルブ等）および高圧スライドゲートについては、油圧系統に関するデータを補うために調査を行ないます。したがって様式-2・様式-3は、油圧関係についてのみご記入願います。

5. 送付先および期限

送付先は、土木研究所機械研究室長宛にてお願いいたします。

期限は、九月末日とします。

なお、記入に際して不明な点があれば、下記に連絡願います。

土木研究所 機械研究室

マイクロ 93-423 岩見
93-423 北島
93-420 長

記入に際して、様式-1, 2, 3を問わず、記録が残っていないために記入できないものについては、記入欄に"なし"と記入して下さい。

様式-1

ダムの概要

この様式-1は、信頼性データを集計するときに参考資料とするものです。記入欄に必要な数値および事項を記入して下さい。

1. ダム名

_____ダム

2. 管轄事務所および記入担当者（後で不明な点を問い合わせるため）

事務所名

ダム管理支所名

担当者 _____マイケル() , 担当者 _____マイケル()

3. ダム竣工年月日

_____年____月____日

4. 年間主ゲート操作概数（年間で概ね何回開閉するのか、点検も含む）

平均一年当り _____回

そのうち融雪期、洪水期のもの _____回

5. 故障、更新記録は何年からのものが残っているか

故障記録 昭和_____年____月____日から

その時の累積放流時間_____時間

更新記録 昭和_____年____月____日から

その時の累積放流時間_____時間

6. ゲート開閉時刻自動記録計の有無（○で囲む）

有 無

7. 昭和63年9月1日現在の累積放流時間

_____時間

点検あるいは操作時に発生、発見した故障、不具合について本調査表に記入して下さい。
記入は故障、不具合の機器1件につき本様式1枚に記入して下さい。
(本様式を複写して使用して下さい。)

1. ダム名 _____ ダム
2. 故障発生ゲート _____
ゲートNo. _____
3. 故障発生日(発見日)
故障・不具合が発生した年月日
故障発生日 昭和 年 月 日
4. 累積放流時間 _____ 時間
5. 故障発生時の運転状況
故障・不具合が発生あるいは発見されたときの状況について該当する番号を○で囲んで下さい。
また、記述欄に、故障により困ったこと、あるいはどのような処置をしたか記述して下さい。
(記述欄は右下にもあります)

④ 運転の種類: 1. ゲート操作 2. 日・月点検 3. 年点検 4. 放流を伴わない部分運転
⑤ 運転の状態: 1. 全閉停止時 2. 始動時 3. 動作時 4. 中間開度保持時 5. 全開休止時
記述欄

6. 故障の程度
発生した故障・不具合などが開閉装置に及ぼす影響を次の中から選び○で囲んで下さい。

1. 致命故障(開閉装置の機能を失うもの)
2. 重故障(運転を継続すると致命故障に至るもの)
3. 軽故障(暫くの間運転を継続しても支障のないもの)
4. 部分故障(運転に殆ど支障のないもの)

7. 故障の影響
運転を継続するための対応策について次の中から選び番号を○で囲んで下さい。

1. そのまま運転可能
2. 予備機にて運転
3. インターロック解除にて運転
4. 機側にて運転
5. 手動にて運転
6. 運転不可能

8. 完全復旧時間(故障発生・発見時から復旧するまでの時間、部品調達的时间も含む)
(6. で致命故障、重故障と答えたもののみ)

9. 前回交換日(前回その機器を取り換えた日)
昭和 年 月 日

10. 設備区分

故障・不具合が発生した機器を構成する設備名の番号を○で囲んで下さい。

1. 開閉装置（主シリンダ）	5. 開閉ロック装置	9. 遠方操作盤
2. 油圧供給装置	6. 休止装置	10. 検出装置
3. 扉体せり出し式圧着装置	7. ゴム圧着式圧着装置	11. その他
4. 圧着ロック装置	8. 機側操作盤	

11. 機器名

故障・不具合が発生した機器名の番号を○で囲んで下さい。

（機器名は、ほぼ設備区分の順に並んでいます。機器の中には各設備に共通して使用するものもあります）

1	シリンダ 本体	34	アクションフィルタ	67	スラスト	100	動力用電線
2	ピストン	35	シールパッキン	68	中間レバー	101	トランス
3	ピストンロッド	36	油タンク	69	休止フック	102	動力用端子
4	ピストンリング	37	油圧配管	70	休止フレーム	103	信号用電線
5	ピストンパッキン	38	フレキシブルホース	71	スライトフック	104	信号用端子
6	ロッドパッキン	39	管継手	72	スライトブロック	105	3Eリレー
7	ロッドブーツ	40	軸継手	73	カム金物	106	過電流継電機
8	パッキン押え	41	アキュムレータ	74	ブラケット	107	開度検出器
9	タフシール	42	圧着シリンダ	75	絞り弁	108	水位検出器
10	リング	43	圧着レバー	76	パワースリット	109	圧着量検出器
11	シリンダ支持軸受板	44	圧着フレーム	77	水エレクトロニクス	110	ポンプ故障検出器
12	台板支持軸受板	45	コネクターロッド	78	水圧ポンプ	111	油圧上昇検出器
13	シリンダロッドヘッド軸受	46	巻取り機	79	水用リフ弁	112	油圧確率検出器
14	ベアリング	47	油圧モーター	80	水用電磁弁	113	油面低下検出器
15	クロスヘッド	48	オイル減速機	81	水用逆止弁	114	油温上昇検出器
16	電磁ブレーキ	49	減速機	82	水用流量調整弁	115	圧着解除スイッチ
17	緊締装置	50	平歯車	83	水用フィルター	116	圧力検出スイッチ
18	モーター	51	かさ歯車	84	水用フレキシブルホース	117	ドアスイッチ
19	油圧ポンプ	52	カムキープ	85	仕切弁	118	運転インターロック
20	リフ弁	53	カムキープ	86	圧力変換シリンダ	119	限界インターロック
21	流量調整弁	54	ラック	87	圧力スイッチ	120	上下限リミットスイッチ
22	電磁弁	55	フレーム	88	遮断機	121	圧着リミットスイッチ
23	ゲート保持弁	56	主軸	89	電磁開閉機	122	圧着ロックリミットスイッチ
24	圧着保持弁	57	主軸受	90	補助継電機	123	開閉ロックリミットスイッチ
25	ロック保持弁	58	スピンドル	91	タイマー	124	休止リミットスイッチ
26	シーケンス弁	59	ロック用リンク	92	切替スイッチ	125	作動油
27	減圧弁	60	ロック用ピン	93	押釦	126	潤滑油
28	カウンターパルス弁	61	圧着シュー	94	タクトスイッチ	127	不凍液
29	パルス弁	62	スプリング	95	表示ランプ	128	水密ゴム
30	逆止弁	63	ホルダー	96	電圧計	129	ゴム押え金物
31	止弁	64	ホルダー	97	電流計	130	リイロープ
32	レバースイッチ	65	くさび	98	スピーカ	131	巻胴
33	エアブリーダ	66	ピン	99	進相コンデンサ		

12. その他

発生した故障・不具合について原因、状況等、その他各項目で十分に説明できない事項を記述下さい。

この更新機器調査票は、様式2同様、信頼性データに反映させるためのもの
 あります。したがって様式2同様、正確に記入するようお願いいたします。
 ゲート設備建設後、交換した機器について、それぞれひとつひとつ下欄に記入
 してください。
 <設備区分>、<機器名>及び<更新理由>については、それぞれ別紙から該
 当するものを選んで番号及び記号で記入してください。

ダム名 _____

	設備区分	機器名	更新理由	更新年月日	前回更新年月日
1				S 年 月 日	S 年 月 日
2				S 年 月 日	S 年 月 日
3				S 年 月 日	S 年 月 日
4				S 年 月 日	S 年 月 日
5				S 年 月 日	S 年 月 日
6				S 年 月 日	S 年 月 日
7				S 年 月 日	S 年 月 日
8				S 年 月 日	S 年 月 日
9				S 年 月 日	S 年 月 日
10				S 年 月 日	S 年 月 日
11				S 年 月 日	S 年 月 日
12				S 年 月 日	S 年 月 日
13				S 年 月 日	S 年 月 日
14				S 年 月 日	S 年 月 日
15				S 年 月 日	S 年 月 日
16				S 年 月 日	S 年 月 日
17				S 年 月 日	S 年 月 日
18				S 年 月 日	S 年 月 日
19				S 年 月 日	S 年 月 日
20				S 年 月 日	S 年 月 日
21				S 年 月 日	S 年 月 日
22				S 年 月 日	S 年 月 日

	設備区分	機器名	更新理由	更新年月日	前回更新年月日
23				S 年 月 日	S 年 月 日
24				S 年 月 日	S 年 月 日
25				S 年 月 日	S 年 月 日
26				S 年 月 日	S 年 月 日
27				S 年 月 日	S 年 月 日
28				S 年 月 日	S 年 月 日
29				S 年 月 日	S 年 月 日
30				S 年 月 日	S 年 月 日
31				S 年 月 日	S 年 月 日
32				S 年 月 日	S 年 月 日
33				S 年 月 日	S 年 月 日
34				S 年 月 日	S 年 月 日
35				S 年 月 日	S 年 月 日
36				S 年 月 日	S 年 月 日
37				S 年 月 日	S 年 月 日
38				S 年 月 日	S 年 月 日
39				S 年 月 日	S 年 月 日
40				S 年 月 日	S 年 月 日
41				S 年 月 日	S 年 月 日
42				S 年 月 日	S 年 月 日
43				S 年 月 日	S 年 月 日
44				S 年 月 日	S 年 月 日
45				S 年 月 日	S 年 月 日
46				S 年 月 日	S 年 月 日
47				S 年 月 日	S 年 月 日
48				S 年 月 日	S 年 月 日
49				S 年 月 日	S 年 月 日
50				S 年 月 日	S 年 月 日

更新機器調査票別紙

様式 - 3 用

<設備区分>

A	開閉装置(主シリンダ)	B	油圧供給装置	C	圧着装置
D	圧着ロック装置	E	開閉ロック装置	F	凍結防止装置
G	休止装置	H	機側操作盤	I	遠方操作盤
J	検出装置				

<機器名>

	機 器 名 (番号)
駆動機器	1.電動機 2.制動機 3.内燃機関 4.スラスト 5.パワーシリンダ 6.バルブコントロール
油圧シリンダ	10.油圧シリンダ全体 11.チューブ 12.ピストン 13.ピストンロッド 14.パッキン(ピストン) 15.パッキン(ロッド貫通部) 16.パッキン押え(ピストン) 17.パッキン押え(ロッド貫通部) 18.オリング 19.ダストシール 20.すべり軸受 21.転がり軸受 22.クロスヘッド 23.クロスヘッドピン 24.クロスヘッドガイド 25.コネクティングロッド
その他油圧機械	30.油圧モータ 31.油圧ポンプ 32.手動ポンプ
油圧ユニット 関係 (除く電動機 ポンプ)	40.電磁弁 41.リリーフ弁 42.流量調整弁 43.各種シーケンス弁 44.逆止弁 45.ストップ弁 46.アキュムレータ 47.油タンク 50.油圧計 51.油面計 52.油温計 53.サクションフィルタ 54.ストレーナ 55.エアブリーザ 56.圧力スイッチ 57.レベルスイッチ 58.ヒータ 59.サーモスタット 60.マグネットセパレータ 61.作動油
油圧配管系統	70.油圧配管(ユニット内) 71.油圧配管(ユニット ~各機器) 72.管継手(ユニット内) 73.管継手(ユニット ~各機器) 74.フレキシブルホース 75.仕切弁

右頁に続く

	機 器 名 (番 号)	
機 械 部 品	80. サイクロ減速機 82. 平歯車減速機 84. ビニオン 86. ラック 88. 軸継手 90. ラジアル軸受 (転がり) 92. スラスト軸受 (転がり) 94. ボールナット 96. チェーン 98. ベルト	81. ウォーム減速機 83. ベベルギア 85. スパーギア 87. スピンドル 89. ラジアル軸受 (すべり) 91. スラスト軸受 (すべり) 93. ボールネジ 95. ワイヤロープ 97. スプロケット
鋼 構 造 部 品	110. 各種架台 113. 各種ロッド	111. 各種レバー 114. 休止フック 112. 各種軸
電 装 品 (盤 関 係)	120. 開度計 122. 変圧器 124. 電磁開閉器 126. 3Eリレー 128. 漏電リレー 130. 漏電ブレーカ 132. 切換スイッチ 134. ドアスイッチ 136. 栓型ヒューズ 138. スペースヒータ 140. 表示灯 142. 盤本体 (ボディのみ)	121. 変流器 123. 遮断器 125. 補助継電器 127. 過電流継電器 129. タイマ 131. 進相コンデンサ 133. 押釦スイッチ 135. スナップスイッチ 137. 蛍光灯 139. 電流計 141. 電圧計 143. 端子
検 出 用 機 器	160. 開度検出装置	161. 各種リミットスイッチ
配 線 関 係	170. 動力線 (盤内) 172. 制御線 (盤内) 174. プルボックス	171. 動力線 (盤外) 173. 制御線 (盤外)
給 油 装 置	180. 給油ポンプ 183. 給油配管	181. ストレーナ 184. 給油配管継手 182. 分配器 185. グリス

< 更新理由 >

ア	定期的な交換の時期が来た為
イ	劣化していて故障を予知した為

様式 - 1

故障機器調査票 (第2回調査)

本調査表はS63年度ダムゲート開閉装置の信頼性向上検討において依頼したものについての追跡・詳細調査を行うものです。1～10項の記入要領はS63年度調査の様式-1を参照下さい。

この調査はダムゲート開閉装置の点検、管理手法、設備、機器の更新手法等についての検討の基礎資料とするものです。11項記述欄は出来るだけ詳細に記述して下さい。

1. 会社名

2. ダム名

3. 故障発生ゲート

ゲート No _____

ゲートの種類 _____

4. 故障発生・更新年月日

_____ 年 _____ 月 _____ 日 (経過年数 _____ 年 _____ ヶ月)

5. 故障、不具合が発生した機器名

6. 設備区分

(故障の影響)

7. 故障の程度

8. 故障のモード

9. 故障原因

10. 処置

11. 記述欄

(1) 故障をひき起こした二次的要因、間接的要因等について記述して下さい。

(2) 上記の二次的要因等の影響で、他に故障をひきおこす可能性があるものがあれば記述して下さい。

(3) 今回の故障に至る背景、経過等について記述して下さい。

(4) 今後機器(装置)の点検をどのように行えば故障が防げると考えておりますか現状と合せて記述して下さい。

(5) その他どういふことをすれば今回のような事が起きなくなるか記述して下さい。(直接的なことでなくても結構です)

資料・2 ダム用ゲート信頼性調査票
(ゲート製作会社依頼)

[1] 故障機器調査票

点検或いは操作時に発生、発見した故障・不具合等、調査を行った機器について
本調査票に記入して下さい。

記入は故障・不具合の機器1件につき本様式1枚毎に記入して下さい。
(本様式を複写して使用して下さい。)

1. 会社名

2. ダム名

_____ダム

3. 故障発生ゲート

ゲートNo. _____ ゲートの種類 _____

4. 故障発生日(発見日)

故障・不具合が発生した年月日及び故障に至る迄の経過時間について記入して下さい。

故障発生日	昭和	年	月	日	
経過時間	昭和	年	月	日	設置(故障迄の時間 約 日間)

5. 故障発生時の運転状況

故障・不具合が発生或いは発見された時の状況について該当する番号を○で囲んで下さい。
状況等、不明の場合は記入不要です。

- ① 運転の種類 : 1.ゲート操作 2.普通休止時点検 3.年点検 4.単体運転
② 運転の状態 : 1.全開停止時 2.始動時 3.動作時 4.中間開度保持時 5.全開休止時

6. 故障の程度

発生した故障・不具合などが開閉装置に及ぼす影響を次の中から選び番号を
○で囲んで下さい。

1. 致命故障(開閉装置の機能を失うもの)
2. 重故障(運転を継続すると致命故障に至るもの)
3. 軽故障(暫くの間運転を継続しても支障のないもの)
4. 部分故障(運転にほとんど支障のないもの)

7. 故障の影響

運転を継続する為の対応策について次の中から選び番号を○で囲んで下さい。

1. そのまま運転可能
2. 予備機にて運転
3. インターロック解除にて運転
4. 機側にて運転
5. 手動にて運転
6. 運転不可能

8. 設備区分

故障・不具合が発生した機器を構成する設備名の番号を○で囲んで下さい。

- | | | |
|-----------------|------------|---------------------|
| 1. 開閉装置 (主シリング) | 2. 油圧供給装置 | 3. 圧着装置 |
| 4. 圧着ロック装置 | 5. 開閉ロック装置 | 6. 水密ゴム加圧装置 (ゴム圧着式) |
| 7. 休止装置 | 8. 機側操作盤 | 9. 遠方操作盤 |
| 10. 検出装置 | 11. その他 | |

9. 機器名

機器名は別添機器名集から選択し、名称を記入して下さい。

故障・不具合が発生した機器名 ;

10. 故障モード

故障・不具合が発生した機器名の故障モードを次の中から選び番号を○で囲んで下さい。

- | | | | |
|---------------|----------------|---------------|---------------|
| 1. 摩耗 | 2. 腐食 | 3. 弛み | 4. 脱落 |
| 5. 変形 | 6. 亀裂 | 7. 破損 | 8. 剥離 |
| 9. 漏洩 | 10. 詰まり | 11. 汚損 | 12. 焼損 |
| 13. 焼付 | 14. 異音 | 15. 振動 | 16. 移動 |
| 17. 発熱 | 18. 油切れ | 19. 調整不良 | 20. 作動不良 |
| 21. 接点不良 | 22. 漏電 | 23. 短絡 | 24. 絶縁不良 |
| 25. 接地不良 | 26. 断線 | 27. 経年劣化 | 28. 基準異常 (圧力) |
| 29. 基準異常 (温度) | 30. 基準異常 (電流) | 31. 基準異常 (差圧) | 32. 基準異常 (振動) |
| 33. 基準異常 (音) | 34. 基準異常 (その他) | 35. 油漏れ | 36. 油劣化 |
| 37. 水分混入 | 38. 異常 (ゴミ) 混入 | 39. 凍結 | 40. 不明 |

11. 故障原因

故障・不具合の原因と考えられるものを次の中から1つ選び番号を○で囲んで下さい。

- | | | | | |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| 1. 設計 | 2. 材質 | 3. 製作 | 4. 据付 | 5. 検査 |
| 6. 保守点検 | 7. 修理 | 8. 自然劣化 | 9. 環境不良 | 10. 過負荷 |
| 11. 不可抗力 | 12. 誤操作 | 13. 不明 | | |

12. 故障に対する処置

故障した機器の処置について次の中から選び番号を○で囲んで下さい。

- | | |
|----------------------|------------|
| 1. 整備・調整し再使用した。(復元時間 | H) |
| 2. 故障機器のみ新替した。(復元時間 | H) |
| 3. 周辺機器も含め新替した。(機器数 | 個, 復元時間 H) |
| 4. 装置全体を新替した。(復元時間 | H) |
| 5. その他 (自由記述欄) | |

様式-2 更新機器調査票はゲート設備建設後、交換した機器について記入していただくものです。
 従って故障していなくとも取替を行った機器も含め記入して下さい。

1. 会社名

2. ダム名

_____ ダム

3. 調査対象ゲート

ゲート No. _____ ゲートの種類 _____

4. 記入要領

右棟の調査票は下記に従って記入して下さい。

4-1 設備区分

更新した機器を構成する設備区分を次の中から選んで番号を記入して下さい。

1. 開閉装置 (主シリンダ)	2. 油圧供給装置	3. 圧着装置
4. 圧着ロック装置	5. 開閉ロック装置	6. 水密ゴム加圧装置 (ゴム圧着式)
7. 休止装置	8. 機側操作盤	9. 遠方操作盤
10. 検出装置	11. その他	

4-2 機器名

更新した機器名を記入して下さい。機器名は別添機器名集から選択し、名称を記入して下さい。

4-3 更新個数

同時に交換した機器の個数を記入して下さい。

4-4 更新理由

該当する更新理由を記号で記入して下さい。

ア	定期的な交換の時期が来たため
イ	劣化していて故障を予知したもの

4-5 更新年月日

更新した年月日を記入、併せて前回更新年月日も記入して下さい。

4-6 記入例

番号	設備区分	機 器 名	交換個数	更新理由	更新年月日	前回更新年月日
1	8	補助継電器	5	7	S 63年 10月 10日	S 53年 10月 10日

(1) 機器名が同一でも設備区分が異なる場合は行を改める。

(2) 設備区分、機器名が同一でも更新理由が異なる場合は行を改める。

(3) 設備区分、機器名、更新理由が同一でも更新年月日が異なる場合は行を改める。

番号	設備区分	機 器 名	交換個数	更新理由	更新年月日	前回更新年月日
1					S 年 月 日	S 年 月 日
2					S 年 月 日	S 年 月 日
3					S 年 月 日	S 年 月 日
4					S 年 月 日	S 年 月 日
5					S 年 月 日	S 年 月 日
6					S 年 月 日	S 年 月 日
7					S 年 月 日	S 年 月 日
8					S 年 月 日	S 年 月 日
9					S 年 月 日	S 年 月 日
10					S 年 月 日	S 年 月 日
11					S 年 月 日	S 年 月 日
12					S 年 月 日	S 年 月 日
13					S 年 月 日	S 年 月 日
14					S 年 月 日	S 年 月 日
15					S 年 月 日	S 年 月 日
16					S 年 月 日	S 年 月 日
17					S 年 月 日	S 年 月 日
18					S 年 月 日	S 年 月 日
19					S 年 月 日	S 年 月 日
20					S 年 月 日	S 年 月 日
21					S 年 月 日	S 年 月 日
22					S 年 月 日	S 年 月 日
23					S 年 月 日	S 年 月 日
24					S 年 月 日	S 年 月 日
25					S 年 月 日	S 年 月 日
26					S 年 月 日	S 年 月 日

[3] 故障率計算用調査票

機器の故障率計算のためのデータなるものであり、[1] 故障機器調査票ならびに[2] 更新機器調査票の故障に関する機器について調査結果を整理のうえ、右表に記入して下さい。

尚、故障以外の機器については記入不要です。

1. 会社名

2. ダム名

_____ ダム

3. 調査対象ゲート

_____ ゲートの種類

4. 調査期間

_____ S 年 月 日 ~ S (年 月 日 (日間)

4-1 記録が残っている日から現在迄を調査期間として下さい。

4-2 設置から記録が残っている場合は設置日から記入して下さい。

5. 延べ時間

_____ 時間

5-1 調査期間日数×24^Hとして延べ時間を計算し記入して下さい。

6. 記入要領

6-1 設備区分

故障・不具合の発生した機器を構成する設備名を[1]-8項で区分した番号で記入して下さい。

6-2 機器名

故障・不具合の発生した機器の名称を別添機器名集から選び、設備区分別に記入して下さい。

6-3 機器数量

該当設備区分内で使用されている機器の設置数量(全使用数)を記入して下さい。

6-4 故障・不具合発生件数

調査期間内に故障・不具合発生した機器の件数を記入して下さい。

6-5 故障・不具合発生件数+更新件数

前項の故障・不具合発生件数に更新件数を加えた数量を記入して下さい。

6-6 記入例

設備区分	機 器 名	該当機器数量	故障・不具合発生件数	故障件数+更新件数	備 考
8	補助燃電器	80	15	30	S55年10月 機側盤全体新替

→機器名集から選んで記入
 (1)・8項から機側操作盤を示す
 設備区分が変わったら行を改める
 →機器数量記入票から転記
 同一設備区分内の同一機器
 +更新件数15
 全体取替年度等

機器数量調査票

会社名: _____

ゲートの種類: _____

① 数量は1門あたり、但し複数門交通のものは1組あたり。

② 用途が異なっても機能的、構造的に同じものならまとめる。

ゲート名: _____

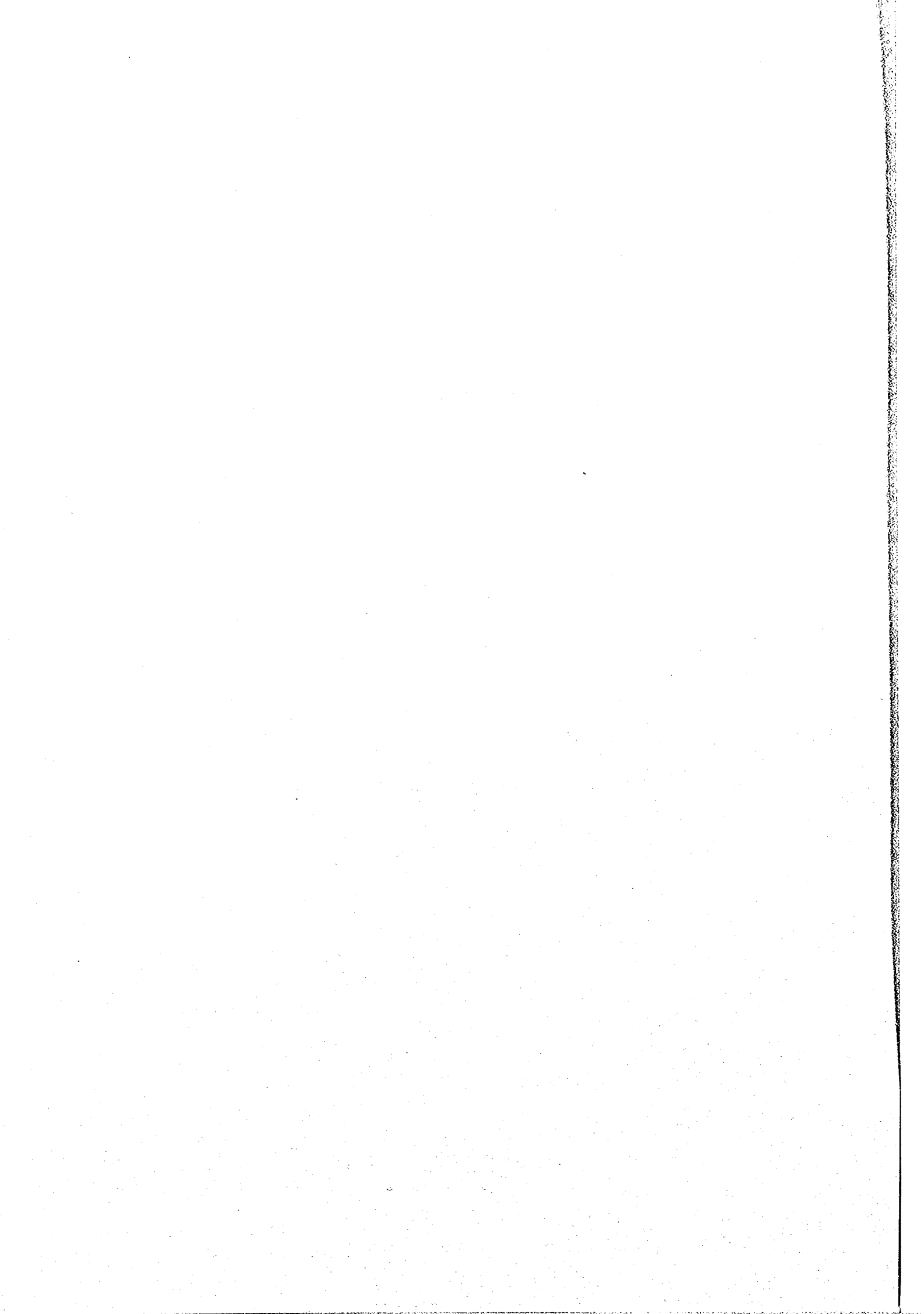
内 数: _____

③ 小まな軸類・ピン・各種部品等は省略のこと。④ 表中にない機器は空欄に記入のこと、但し後力表中から選定のこと

区分	機器名	数量	記 事	区分	機器名	数量	記 事	区分	機器名	数量	記 事	区分	機器名	数量	記 事
南 内 装 置 (主 シ リ ン ダ)	シリンダ本体		シリンダチューブ	油 圧 供 給 装 置	予備エンジン			凍 結 防 止 及 び グ ム 用 油 油 圧 油 圧	水空ダム			機 械 側 操 作 盤	電機用回線		
	フランジ		792番		油圧配管 (油)		ユニバロ〜各種 (体)		ゴム押え金物				補助電線		
	ピストン				管継手		" " (鋼鉄)		圧力受検シリンダ				ブレーキ		有線 (NEB, MCB)
	ピストンリング				フレキシブルホース		" "		水圧ポンプ				トランス		
	ロッドパッキング								水用電磁弁				3Fリレー		
	ピストンロッド								止弁				ポンプ電磁弁		
	ピストンパッキング		Vパッキング						フルダウ				送電線電線		
	ロッドパッキング		"						止切弁				送電線電線		
	ダストシール								圧力センサー				送電線電線		
	パッキング押え								送電線電線				サーマルリレー		
	オリング				圧力用シリンダ		細分化は不要		液面計				SEリレー		
	トランス軸				レバー				ユニバロ				タイマー		
	シリンダ基台				ピン		ロッドレバーの連結ピン		シリンダ				押ボタン		各種押ボタン
	シリンダ軸受		すべり、ころがり		圧力フレーム				配管				ドアスイッチ		
	フレーム軸受		" "		ホース取付リール				管継手				切替スイッチ		各種切替スイッチ
油 圧 供 給 装 置	フタクレンジロッド			圧 着 装 置	モータ			休 止 装 置	フレキシブル			機 械 側 操 作 盤	動力用電線		機側盤〜各種電線
	クロスヘッド				軸継手				モータ				" 端子		" " " "
	連結ピン		クロスヘッドピン		シャフトキー				軸継手				羽切用電線		" " " "
									シャフトキー				" 端子		" " " "
									不凍液				センサー用電線		" " " "
													" 端子		" " " "
油 圧 供 給 装 置	モータ			圧 着 装 置	バルブコントロール			休 止 装 置	フタ用回線		バルブコントロール、スラスラ	機 械 側 操 作 盤	リミットスイッチ		各種多用途のリミットスイッチ
	油圧ポンプ		(内1台はエンジン用)		スポンジ				レバー				回線電線		各種多用途のリミットスイッチ
	シャフトキー		" "		マイタギヤボック				ハンドル				力用圧力センサー		
	軸継手		各種カマリング		取付フレーム				休止フック				圧力計スイッチ		
	電磁弁		ソリッドバルブ						フック軸						
	流量調整弁		フローコントロールバルブ						軸受		すべり、ころがり				
	カウンタバランズ		カウンタバランズバルブ						軸継手						
	ハイパス弁								休止フレーム						
	ハイパス弁7#		ゲート保持弁 (内4台)						休止用シリンダ		細分化は不要				
	リリーフ弁								休止ポン		断体スラムピン				
	チェック弁		逆止弁		モータ				アラーム						
	スロートバルブ7#		逆止弁		ブレーキ				スライドロック						
	止切弁		止め弁		減速機		各種減速機		ガイド金物						
	パイロット配管				軸継手		各種カマリング		ハンカーステム						
	アキュムレータ				シャフトキー				スプリング						
油 圧 供 給 装 置	サージンバルブ			南 内 装 置 圧 着 装 置	ボールネジ			休 止 装 置	アラームバルブ			機 械 側 操 作 盤			
	エアアライナー				ボールナット				アイセローブ						
	排油弁				ボールネジ用軸受										
	油タンク				バルブ										
	パッキング														
	圧着保持弁														
	油圧検知スイッチ		サーモスイッチ												
	レベルスイッチ		フロースイッチ												
	油圧スイッチ		フローリヤススイッチ												

注) 177キエ-7、スリ、Z本とす。

資料・3 調査対象設備一覧



調査対象ゲート一覧表
(水資源開発公団)

管理事務所名	ダ ム 名	ゲ ー ト 形 式	門数	設備完成年度	請 負 会 社
名張川総合管理所	高 山 ダ ム	高圧ラジアル	4	43. 3	田 原 製 作 所
		ホロージェット	1	43. 3	三 菱 重 工
草木ダム管理所	草 木 ダ ム	高圧ラジアル	2	51. 3	石川島播磨重工
		ホロージェット	1	51. 3	三 菱 重 工
		(非) リングホロワ	1	51. 3	三 菱 重 工
矢木沢ダム管理所	矢 木 沢 ダ ム	ホロージェット	1	42. 9	三 菱 重 工
岩屋ダム管理所	岩 屋 ダ ム	リングホロワ	1	51. 3	栗 本 鉄 工
		ジェットフロー	1	51. 3	栗 本 鉄 工
池田総合管理所	早 明 浦 ダ ム	ホロージェット	2	44	三 菱 重 工
		リングホロワ	2	44	三 菱 重 工
(寺内ダム管理所)	寺 内 ダ ム	高圧ラジアル	1	51	田 原 製 作 所
下久保ダム管理所	下 久 保 ダ ム	ラジアル	2	42	石川島播磨重工

調査対象ゲート一覧表
(建設省直轄)

地建名	管 理 事 務 所 名	ダ ム 名	ゲート形式	門数	設備完成年	請 負 会 社
東 北	北上川ダム統合管理事務所	湯田ダム	高圧ラジアル	2	38	石川島播磨重工
		御所ダム	高圧ラジアル	3	55	石川島播磨重工
		四十四田ダム	高圧ラジアル	2	42	田 原 製 作 所
	釜房ダム管理所	釜房ダム	高圧ラジアル	3	44	石川島播磨重工
	白川ダム管理所	白川ダム	高圧ラジアル	1	53	田 原 製 作 所
関 東	利根川ダム統合管理事務所	關原ダム	高圧ラジアル	3	40	石川島播磨重工
	二瀬ダム管理所	二瀬ダム	高圧ラジアル	2	35	石川島播磨重工
	鬼怒川ダム統合管理事務所	川俣ダム	高圧ローラ	2	39	三 菱 重 工
		川治ダム	高圧ローラ	2	58	三 菱 重 工
			ジェットフロー	2	58	石川島播磨重工
北 陸	大町ダム管理所	大町ダム	高圧ラジアル	2	58	栗 本 鉄 工
			ジェットフロー	1	58	三 菱 重 工
			高圧スライド	1	58	三 菱 重 工
	羽越工事事務所	大石ダム	高圧ラジアル	1	52	日 立 造 船
	阿賀川工事事務所	大川ダム	高圧ラジアル	5	58	日 立 造 船
中 部	矢作ダム管理所	矢作ダム	高圧ローラ	3	45	石川島播磨重工
	横山ダム管理所	横山ダム	高圧ラジアル	3	38	田 原 製 作 所
	天竜川ダム統合管理事務所	小波ダム	高圧ローラ	2	43	三 菱 重 工
	浜松工事事務所	新豊根ダム	高圧ローラ	1	48	三 菱 重 工
近 畿	淀川ダム統合管理事務所	天ヶ瀬ダム	高圧ローラ	3	39	石川島播磨重工
	九頭竜川ダム統合管理事務所	真名川ダム	高圧ローラ	2	53	日 立 造 船
中 国	菅沢ダム管理所	菅沢ダム	高圧ラジアル	1	42	石川島播磨重工
	土師ダム管理所	土師ダム	高圧ラジアル	2	49	栗 本 鉄 工
四 国	大渡ダム管理所	大渡ダム	高圧ラジアル	5	54	石川島播磨重工
	松山工事事務所	石手川ダム	高圧ラジアル	1	47	田 原 製 作 所
			ホロージェット	1	47	三 菱 重 工
			リングホロー	1	47	田 原 製 作 所
	野村ダム管理所	野村ダム	高圧ラジアル	1	54	田 原 製 作 所
九 州	筑後川ダム統合管理事務所	下釜ダム	高圧ローラ	2	43	石川島播磨重工
		松原ダム	高圧ラジアル	3	43	日 立 造 船
	耶馬溪ダム管理所	耶馬溪ダム	高圧ラジアル	2	57	石川島播磨重工
			高圧ラジアル	1	57	三 菱 重 工
	厳木ダム管理所	厳木ダム	高圧ラジアル	2	60	田 原 製 作 所
			高圧ラジアル	1	61	栗 本 鉄 工
	鶴田ダム管理所	鶴田ダム	高圧ラジアル	3	39	日 立 造 船
	緑川ダム管理所	緑川ダム	高圧ラジアル	3	45	三 菱 重 工

ダム用ゲート開閉装置の
信頼性評価に関する調査研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2988号
平成3年3月(1991)

機械研究室 室長 長 健次*
研究員 岩見吉輝**
研究員 出原 浩***
北嶋公生

- * 現 中国地方建設局中国技術事務所長
- ** 現 北陸地方建設局黒部工事事務所機械課機械係長
- *** 現 九州地方建設局道路部機械課業務第一係長

要 旨 ダムの管理施設として重要な役割を担っている、ゲート(放流設備)のより確実な機能確保を目的として、これに信頼性工学を導入してその信頼性を定量的に評価する手法の開発を行ったものである。また、開閉装置の構成機器の更新時期に関して、いくつかのケースについて、信頼性の向上効果の評価を試みた。一方、故障事例の原因分析も行った。

キーワード：ダム用ゲート、FTA、信頼性工学、フィールドデータ、アンアベイラビリティ、寄与率、更新時期、故障原因分析

郵便はがき

は41円
切手
を
貼
下
さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

機械施工部機械研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 5

No. 5

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2988号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印

土木研究所資料第2988号