

戦 - 6 土木機械設備のライフサイクルマネジメントに関する研究

研究予算：運営費交付金（戦略研究費）

研究期間：平 21～平 24

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：藤野 健一、田中 義光

石松 豊

【要旨】

本研究は、機械設備の信頼性を重視しながら効率的な維持管理を実現するマネジメント手法に関し、ライフサイクルの視点により研究するものである。平成 22 年度は、平成 21 年度に作成したデータベースを用いて、トンネル換気設備・道路排水設備・水質浄化施設のモデル施設に関する維持管理情報を集約し、信頼性と経済性の関係を明らかにした。また、多くの設備に導入されている自動制御設備の信頼性を評価するために、直轄管理設備における過去の故障データを解析し、故障率を解析した。

キーワード：FMEA,FTA、信頼性、維持管理、データベース

1. はじめに

土木機械設備は、社会資本の機能を果たすために必要なときに必ず稼働することが求められるため、信頼性を確保することは非常に重要である。しかしながら、民間プラントのように常用で連続運転を行う機械は少なく、その効率的なマネジメント手法は未確立である。

本研究は、各種土木機械設備の目的、種類、設置環境などの個別要件に適合し、かつ信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法を提案するものである。

対象設備は、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、道路排水設備等とする。

2. 研究目的

本研究は、対象設備について最も費用対効果の高くなる維持管理手法を、次の区分によって提案することを目的とする。

①マネジメントの実施体制

国土交通省の現管理体制と課題を勘案し、将来的にどのような管理体制が必要か検討する。

②情報管理手法

各対象設備の維持管理情報を集約し、信頼性評価、経済性評価が可能となるデータベース（以後「DB」）項目をまとめる。

③信頼性評価手法

信頼性評価の基本ツールである FMEA、及び FTA を用いて各対象設備の稼働に対するリスクを評価する。また、既存データの解析及び新しい状態監視保全技術による健全度評価手法を提案する。

④経済性管理手法

各対象設備に要する維持管理費を年経費ベースで解析し、得られた信頼性との関係を明らかにする。

⑤安全管理手法

②で提案した項目に基づく DB を用い、故障時の危機管理対応、効果的な予備品計画立案法を提案する。

3. 研究方法

本年度の実施計画に基づき、その研究方法及び内容を以下に示す。

3.1 維持管理情報の解析

維持管理情報を DB 化した場合の大きなメリットは、過去の情報を統計的に処理し、これからの維持管理手法に役立てることである。平成 21 年度に作成した DB フォーマットを用いて、トンネル換気設備、道路排水設備、河川水質浄化施設の維持管理情報を格納し、故障情報や維持管理費用の集約及び解析を行った。

故障情報から構成機器の故障率を求めるとともに、既存の信頼度予測モデル（MIL-HDBK-217 及び NPRD95）を用いて、FMEA 及び FTA を実施し、信頼性を評価した。

3.2 主要機器の劣化傾向に関する解析

時間計画保全の手法として、過去の分解整備時における構成機器の摩耗データを解析し、大きな費用を要する分解整備の時期を予測することができれば合理的である。機械設備の定期整備時に計測した構成機器・部品の摩耗量等を情報として蓄積・解析すれば、供用年数や運転時間に伴う劣化状況を統計的に予測できる可能性がある。

本年度は、情報が比較的集めやすい河川ポンプ設備の構成機器について、集中的に整備情報を集約し、摩耗係数を試算した。

3.3 安全管理手法の検討

本年度は、道路排水設備、トンネル換気設備の故障情報に基づいて、システム上の弱点を明らかにし、関連する部品を抽出して予備品管理に反映させる手法を検討した。

3.4 自動制御システムの信頼性解析

排水機場などの待機系施設において、ある程度の規模からは主ポンプ設備以外の系統機器が多くなることから、確実かつ迅速な操作を実現するため、必要な機器を自動的に連動させて運転する「連動運転」を採用することが多い。

排水機場では、非常時に排水するという施設の目的を勘案して「連動運転」が不可能になっても、設備が機能する最低限の構成要素全てを単独で運転する「機側単独運転」が可能なように設計されている。

しかしながら、トンネル換気設備などの常用系機械設備や待機系施設・設備であっても、操作の省力化や迅速な稼働、危機管理（故障対応）を考慮してさまざまな自動制御システムが不可欠になりつつあり、これらの自動制御システムの信頼性が施設全体の機能確保に与える影響は大きい。

本年度は、河川ポンプ設備、ゲート設備などの待機系と、トンネル換気設備などの常用系各設備の自動制御システムに関連する機器の故障率を、過去の故障データを調査して算定した。

3.5 目的と本年度研究の関係

研究目的と、前項までに示した本年度研究の関係を図-1に示す。

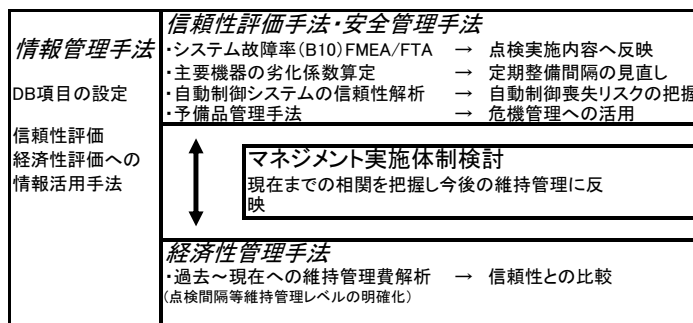


図-1 目的と本年度研究の関係

4. 研究結果

4.1 維持管理情報の解析

4.1.1 対象施設の概要

各地方整備局に対し、下記の条件で解析のモデルとなる施設を調査した。

- ①対象設備は、道路排水設備及びトンネル換気設備
- ②設置後10年以上経過している施設
- ③比較的長い期間の維持管理情報が保存されている。

各地方整備局から、対象設備として道路排水設備22箇所、トンネル換気設備25箇所の候補があった。

全ての情報収集を行う労力は膨大となることから、ヒアリングを実施して、解析に適する情報を有していると判断した設備のみ、担当地方整備局から情報の提供を受けるものとした。

その結果、道路排水設備については、「FM排水設備」「A排水ポンプ設備」「J道路排水設備」「K道路排水設備」、トンネル換気設備については、「ABトンネル換気設備」「KWトンネル換気設備」「Iトンネル換気設備」「KUトンネル換気設備」「INトンネル換気設備」「TAトンネル換気設備」をモデルとして解析することとした。

また、水質浄化施設は対象施設数が少ないため、当所が各管理事務所へ維持管理情報の保存状態についてヒアリングした結果、維持管理情報の提供を受けることが可能であったKG浄化施設をモデルとして選定した。

表-1 道路排水設備のモデル施設候補

施設名	設置年度	形式	台数	情報保存年数	
				点検整備	維持修繕
NBアンダーパス排水設備	S45	水中	2	4	0
KZアンダーパス排水設備	H8	水中	3	4	0
SM排水機場排水設備	S62	水中	3	12	6
ON排水設備	H10	水中	2	7	7
KD排水設備	H9	水中	4	4	8
ID排水設備	H9	水中	3	4	8
SU排水設備	H9	水中	3	4	8
FM排水設備	S62	水中	3	10	22
A排水ポンプ設備	S60	水中	3	10	8
KK排水機場	H7	水中	4	12	なし
SP排水機場	H10	水中	4	5	7
KS排水機場	S63	水中	3	5	11
HS排水ポンプ	H9	水中	2	8	0
HJ地下排水ポンプ	H9	水中	2	8	0
MKアンダーパス排水設備	H9	水中	2	7	7
KAポンプ場	S54	水中	2	5	10
〃	H8	水中	2	5	10
WTポンプ場	H5	水中	3	11	1
J道路排水設備	H3	水中	3	15	15
SZ道路排水設備	H11	水中	3	5	8
TD排水設備	H4	水中	2	6	10
K道路排水設備	不明	水中	2	7	9
SH道路排水設備	H12	水中	3	5	8

表-2 トンネル換気設備のモデル施設候補

施設名	設置年度	形式	台数	情報保存年数	
				点検整備	維持修繕
STンネル換気設備	S45	JF	4	6	6
IHTンネル換気設備	S53	JF	16	6	6
HTンネル換気設備	H3	JF	15	1	4
ISTンネル換気設備	H3	JF	28	1	3
ABTンネル換気設備	S62	JF	10	22	22
KWTンネル換気設備	S56	JF	4	21	21
KKTンネル換気設備	H4	JF	18	8	0
"	H4	軸	6	8	0
ITンネル換気設備	H2	JF	3	16	12
MTンネル換気設備	S54	JF	14	6	30
OTンネル換気設備	S61	JF	6	9	8
"	H4	JF	6	9	8
KUTンネル換気設備	S61	JF	6	9	20
"	H2	JF	6	9	19
MWTンネル換気設備	H1	JF	17	6	12
HTンネル換気設備	S56	JF	4	6	12
FTンネル換気設備	H8	JF	6	14	0
WCTンネル換気設備	H9	JF	2	10	0
TTンネル換気設備	H8	JF	4	5	0
FSTンネル換気設備	S44	JF	6	4	11
BTンネル換気設備	S56	JF	不明	8	28
INTンネル換気設備	S48	JF	4	14	30
TSTンネル換気設備	H7	JF	不明	9	15
TATンネル換気設備	S61	軸	2	8	15
"	H6	軸	1	8	15
"	S62	JF	4	8	15
TGTンネル換気設備	S50	JF	4	8	15
GHTンネル換気設備	H3	JF	2	8	15
KYTンネル換気設備	H6	JF	2	6	6
SATンネル換気設備	S56	軸	2	5	5

JF:ジェットファン 軸:軸流送風機

4.1.2 維持管理情報の整理

1)情報の収集と課題及び対応方針

前項において抽出した道路排水設備4施設、トンネル換気設備6施設の経済性に関する情報、点検整備に関する情報、維持修繕に関する情報の提供を国土交通省に依頼し、収集した。

解析上必要な情報は、建設費、維持修理費(点検費・修繕費)、故障情報、更新情報、運転時間であるが、得られた情報の概要を表-3に示す。一般的に、故障情報・運転時間は点検整備を外部委託した場合に報告書が現存していれば得ることができる。

しかし、経済性に関する情報や更新情報は、現段階で整理されていない場合、過去の情報が欠落して既に得ることができないか、記録があっても抽出・精査することに大きな労力を要するため、得ることが困難な場合が多い。特に点検費については、複数施設をまとめて点検業務を発注している例が多く、事後数年経過すると内訳を追跡することが非常に難しくなる。

平成19年度に実施した河川ポンプ設備の維持管理情報収集においても同様の傾向であった。3)

本研究では、比較的情報の揃っているFM排水設備(道路排水設備)、KUトンネル換気設備(トンネル換気設備)及びKG浄化施設(水質浄化施設)について信頼性と経済性の解析を行い、その他の施設の

情報については、故障率などの横断的な解析に用いるものとした。

表-3 各設備の維持管理情報項目

施設名 / 項目	建設費	点検費	修繕費	故障情報	更新情報	運転時間
{道路排水設備}						
FM排水設備	○	△	△	△	○	○
A排水ポンプ設備	○	×	×	○	○	○
J道路排水設備	○	△	×	○	○	×
K道路排水設備	○	×	×	○	○	○
{トンネル換気設備}						
ABTンネル換気設備	○	△	×	△	○	○
KWTンネル換気設備	○	△	×	×	○	○
ITンネル換気設備	○	△	△	△	○	○
KUTンネル換気設備	△	△	△	○	○	○
INTンネル換気設備	○	×	×	○	○	×
TATンネル換気設備	○	×	△	○	△	○
{河川浄化施設}						
KG浄化施設	○	△	○	○	△	△

○:情報あり、△:一部あり、×:迅速に調達不可

2)FM排水設備の維持管理情報

a)構成機器の故障情報

FM排水設備の主な設備構成は下記のとおりである。

ポンプ:着脱式水中ポンプφ150mm 3台

常用2台

主配管:1式(吐出弁・逆流防止弁含む)

除塵設備:スクリーン1式

電源設備:受電設備1式(常用受電)

非常用発電設備1式

操作制御設備1式

比較的小規模な設備であるが、都市部の主要国道を横断するアンダーパスの排水を行う非常に重要な施設になっている。ポンプは地下の排水ピット内に納められ、ピット内の水位による自動交互運転で制御されている。

設備の信頼性を評価するために、点検結果や運転情報から故障情報をピックアップした。表-4に故障情報を示す。

また、表-5に4件の道路排水ポンプ設備の運転時間(運転情報が得られた期間の平均運転時間)を示す。FM排水設備については、1台当たり年間10時間程度の比較的時間が短い設備であり、20年間の故障情報においても殆ど故障がない。(20年の供用年数から損耗部品の交換はあったと推定するが、細かな記録はない。)

主ポンプについては、各号機とも劣化によって機能が低下したため更新されており、その3件を故障として計上した。

維持管理レベルは高く、年点検1回、月点検を11回実施(近年は4回へ削減)しており、点検中に腐食などの故障モードを発見すれば速やかに対処し故

障を回避する内容となっている。

表-4 FM 排水設備の故障情報

構成機器名	数量	供用年数	故障度数	平均故障率
ポンプ本体	3	20	3	0.050
主配管	1	20	0	0.000
受電設備	1	20	0	0.000
制御盤	1	20	0	0.000
直流電源設備	1	20	0	0.000
発電機盤	1	20	0	0.000
発電機本体	1	20	0	0.000
発電機用エンジン	1	20	0	0.000
配線	1	20	0	0.000
燃料タンク	1	20	0	0.000
除塵設備(スクリーン)	1	20	0	0.000

表-5 道路排水ポンプ設備の稼働時間

施設名／ 号機	(H)		
	1号	2号	3号
FM排水設備※	10	10	10
A排水ポンプ設備	35	61	54
J道路排水設備	記録無し		
K道路排水設備	129	130	

※:FMIは3台の平均時間

b)維持修理費

FM 排水設備は、前述のとおり設備の重要度を考慮し、年点検 1 回と月点検 11 回という高い維持管理レベルで対応してきた。

維持修理費の傾向を把握するために、維持修理費の集計結果から年間累計維持修理費率を求める。維持修理費の集計に当たっては、長年にわたる積み上げ値を計算に用いるため、単純合算ではなく物価変動を見込んだデフレータを年度毎に乗じる。

建設費についても同様に取り扱う。デフレータは、建設事業に関する各指標のうち、「道路総合」を活用するものとした。

各年別年間維持管理費率は、当該年度の維持修理費を建設費に対する比率で示したものである。

各年別維持修理費率＝当該年度の維持修理費／当該年度までの建設費

累計年間維持修理費率＝当該年度までの維持修理費合計

／(当該年度までの建設費×維持管理年数)

表-6 及び図-2 に、FM 排水設備の維持修理費の推移を示す。

表-6 FM排水設備の建設費・維持修理費

建設履歴	デフレータ 1/d	建設費			維持修理費				維持修理費率(%)	
		建設費	改造費	小計	点検費	補修費	小計	累計	各年	累計年間
1987 S. 62 設置	1.160	46,397	0	46,397			0	0	0.0%	
1988 S. 63 維持管理開始	1.135	0	0	46,397	1,712	0	1,712	1,712	3.7%	3.7%
1989 H. 1	1.078	0	0	46,397	1,627	0	1,627	3,339	3.5%	3.6%
1990 H. 2	1.038	0	0	46,397	1,567	0	1,567	4,906	3.4%	3.5%
1991 H. 3	1.010	0	0	46,397	1,524	0	1,524	6,430	3.3%	3.5%
1992 H. 4	0.996	0	0	46,397	1,504	0	1,504	7,934	3.2%	3.4%
1993 H. 5	0.995	0	0	46,397	1,502	0	1,502	9,436	3.2%	3.4%
1994 H. 6	0.990	0	0	46,397	1,494	0	1,494	10,930	3.2%	3.4%
1995 H. 7	0.985	0	0	46,397	1,487	0	1,487	12,417	3.2%	3.3%
1996 H. 8	0.985	0	0	46,397	1,486	0	1,486	13,903	3.2%	3.3%
1997 H. 9	0.977	0	0	46,397	1,474	0	1,474	15,377	3.2%	3.3%
1998 H. 10	0.994	0	0	46,397	1,191	0	1,191	16,568	2.6%	3.2%
1999 H. 11 ポンプ2台更新	1.004	0	0	46,397	1,203	3,013	4,215	20,783	9.1%	3.7%
2000 H. 12	1.000	0	0	46,397	1,309	0	1,309	22,092	2.8%	3.7%
2001 H. 13	1.018	0	0	46,397	1,504	0	1,504	23,595	3.2%	3.6%
2002 H. 14 ポンプ1台更新	1.029	0	0	46,397	1,676	1,543	3,219	26,814	6.9%	3.9%
2003 H. 15	1.021	0	0	46,397	1,293	0	1,293	28,107	2.8%	3.8%
2004 H. 16	1.008	0	0	46,397	1,309	0	1,309	29,416	2.8%	3.7%
2005 H. 17	0.992	0	0	46,397	1,356	0	1,356	30,772	2.9%	3.7%
2006 H. 18	0.974	0	0	46,397	1,414	0	1,414	32,187	3.0%	3.7%
2007 H. 19	0.951	0	0	46,397	1,674	0	1,674	33,860	3.6%	3.6%
2008 H. 20	0.920	0	0	46,397	1,679	0	1,679	35,540	3.6%	3.6%
2009 H. 21	0.948	0	0	46,397	1,730	0	1,730	37,270	3.7%	3.7%

デフレータ：2000年＝1.000

一部点検整備費は点検内容から逆算した推計を採用。

補修費は、修理内容から逆算。

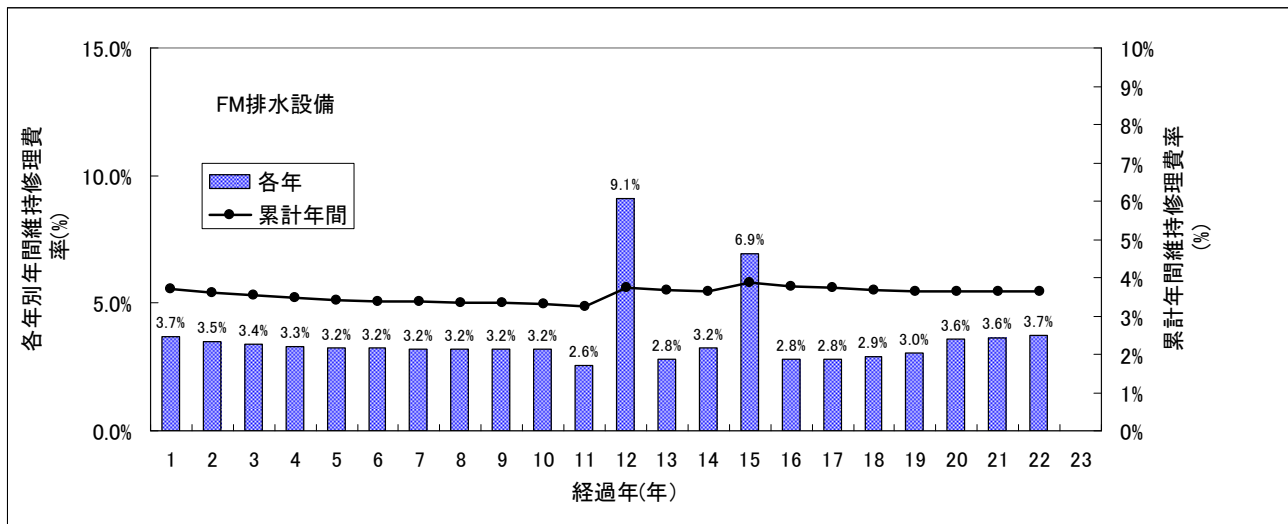


図-2 FM排水設備維持修理費の推移

図-2において、12年目と15年目の維持修理費が突出しているのは、各々ポンプ2台、及び1台を更新しているためである。

維持管理22年目における累計年間維持修理費率は3.7%であり、平成19年度に集計した排水機場の集計事例と比較すると、小形排水機場の2.3%に対

し、約 1.6 倍になる。

3)KU トンネル換気設備の維持管理情報

a)構成機器の故障情報

KU トンネル換気設備の主な設備構成は下記のとおりである。

換気方式：縦流式

換気設備：φ630 ジェットファン 12 台

動力設備：低圧動力盤 1 面

制御設備：換気自動制御盤 1 式

計装設備：VI 計 2 組、風速計 2 台

CO 濃度計 2 台

当該トンネルは、地方都市を結ぶ国道の峠に建設された延長 957m、片側 1 車線の構造であり、内空断面内に 12 台のジェットファンを設置した路上式換気所である。

本設備についても信頼性を評価するために、点検結果や運転情報から故障情報をピックアップした。表-7 に故障情報を示す。

また、表-8 に今回集計した 5 件のトンネル換気設備の運転時間（運転情報が得られた期間の号機毎平均運転時間）を示す。KU 換気設備については、今回集計した 5 件の中では比較的運転時間が長い方であり、概ね 1 台当たり年間 700～1100 時間程度(10 号機は 436 時間)稼働している。維持管理レベルは、平成 11 年度までは年点検 1 回、以後は年点検 1 回、月点検を 3 回実施（近年は月点検 1 回へ削減）している。

故障は、各設備に平均的に発生している。その中でも制御系統に 10 件の故障が発生しているが、運転記録系統、制御用基盤、補助継電器などの故障が記録されており、ペースとしては 1 年に 1 回程度何らかの不具合が発生している計算になる。基板や、リレーなどは、運転に伴うスイッチングによるストレスによって故障率が上昇すると考えられる。

また、風速計、VI 計、CO 濃度計の故障も比較的多く、現場の環境に影響を受けているものと考えられる。ジェットファン本体は、運転時間の割に不具合は少ない。

表-7 KU トンネル換気設備の故障情報(単位 1/y)

構成機器名	数量	供用年数	故障度数	平均故障率
JF 本体	12	9	3	0.028
風速計	2	9	11	0.611
VI 計	2	9	6	0.333
CO 濃度計	2	9	5	0.278
動力設備	1	9	3	0.333
制御盤	1	9	10	1.111
直流電源設備	1	9	2	0.222
計装盤	1	9	1	0.111

表-8 トンネル換気設備の稼働時間

施設名 号機/種別	(H/年)				
	ITトンネル JF	KUTトンネル JF	INTトンネル JF	TATトンネル JF	TATトンネル 軸流
1	640	1001	記録無し	955	2311
2	671	938	記録無し	801	2184
3	552	984	記録無し	549	2435
4		914	記録無し	423	
5		1098			
6		879			
7		912			
8		937			
9		705			
10		436			
11		920			
12		908			

種別 JF:ジェットファン 軸流:軸流送風機(排風機)

b)維持修理費

維持修理費の傾向を把握するために、維持修理費の集計結果から年間累計維持修理費率を求める。集計方法は、道路排水設備と同様である。

デフレータは、建設事業に関する各指標のうち、「道路総合」を活用するものとした。

表-9 及び図-3 に、KU トンネル換気設備の維持修理費の推移を示す。

図-3 において、7 年目に大きな維持修理費が計上されているが、これは電源設備の更新が行われているためである。また、12 年目には全てのジェットファンについて分解整備が実施されている。

14 年目に建設費が増加しているのは、遠隔監視制御設備を増設しているためであり、以後当該設備が点検の対象となっているため、15 年目から点検費が若干上昇しているが、各年の維持修理費率は、概ね 1.5%程度で変動はない。

この結果、維持管理 20 年目における累計年間維持修理費率は、3.1%となった。KU トンネル換気設備においては、定常的な点検費は非常に低く抑えられており、設備更新と分解整備の維持修理費に占める割合が高い。

本設備のように、定常的に運転が行われている設備では、動作確認を主体とする月点検の重要度が低下すると考えられ、14 年目に導入された遠隔監視制御設備によって、通常の運転時に設備の異常をモニタリングすることで月点検の代役となっている。

表-9 KU トンネル換気設備の建設費・維持修理費

建設履歴	デフレータ 1/d	建設費			維持修理費				維持修理费率(%)	
		建設費	改造費	小計	点検費	補修費	小計	累計	各年	累計年間
1987 S. 62 電源操作制御	1.160	121,791	0	121,791			0	0	0.0%	
1988 S. 63	1.135	0	0	121,791	0	0	0	0	0.0%	0.0%
1989 H. 1 JF6台	1.078	43,859	0	165,650	0	0	0	0	0.0%	0.0%
1990 H. 2 JF6台	1.038	38,494	0	204,143	0	0	0	0	0.0%	0.0%
1991 H. 3	1.010	0	0	204,143	2,854	0	2,854	2,854	1.4%	0.3%
1992 H. 4	0.996	0	0	204,143	2,778	0	2,778	5,633	1.4%	0.6%
1993 H. 5	0.995	0	0	204,143	2,773	0	2,773	8,405	1.4%	0.7%
1994 H. 6 電源設備更新	0.990	0	0	204,143	2,741	73,233	75,974	84,379	37.2%	5.9%
1995 H. 7	0.985	0	0	204,143	2,715	0	2,715	87,095	1.3%	5.3%
1996 H. 8	0.985	0	0	204,143	2,714	81	2,795	89,890	1.4%	4.9%
1997 H. 9	0.977	0	0	204,143	2,670	0	2,670	92,560	1.3%	4.5%
1998 H. 10	0.994	0	0	204,143	2,800	0	2,800	95,360	1.4%	4.2%
1999 H. 11 JF12台OH	1.004	0	2,860	207,003	1,187	31,675	32,862	128,222	15.9%	5.2%
2000 H. 12	1.000	0	0	207,003	2,981	0	2,981	131,203	1.4%	4.9%
2001 H. 13 遠隔監視操作設備	1.018	50,121	0	257,124	3,091	0	3,091	134,294	1.2%	3.7%
2002 H. 14	1.029	0	0	257,124	3,477	0	3,477	137,771	1.4%	3.6%
2003 H. 15	1.021	0	0	257,124	3,401	0	3,401	141,173	1.3%	3.4%
2004 H. 16	1.008	0	0	257,124	3,710	58	3,768	144,941	1.5%	3.3%
2005 H. 17	0.992	0	0	257,124	3,800	305	4,104	149,045	1.6%	3.2%
2006 H. 18	0.974	0	0	257,124	4,479	1,584	6,063	155,108	2.4%	3.2%
2007 H. 19	0.951	0	0	257,124	4,929	0	4,929	160,037	1.9%	3.1%

デフレータ：2000年=1.000

電源設備の建設費と更新費は、設備内容を基に類似実績から推計。

一部点検整備費は点検内容から逆算した推計を採用。

補修費は、修理内容から逆算

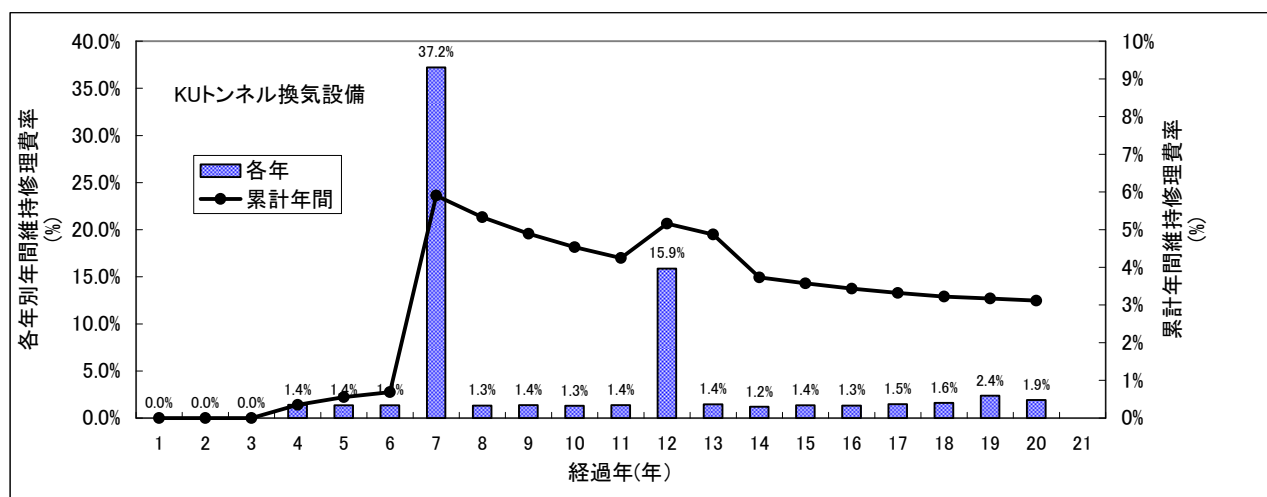


図-3 KU トンネル換気設備維持修理費の推移

4)KG 浄化施設の維持管理情報

a)構成機器の故障情報

KG 浄化施設の主な設備仕様は下記のとおりである。

浄化方式：礫間接触酸化方式

処理水量：4m³/s

取水ゲート設備：ラバーダム 1 門

流入ゲート設備：ラバーダム 3 門

ゲート用ブローア：ルーツブローア 3 台

取水設備：φ800mm着脱式水中ポンプ 3 台
流量調整弁 5 台

給気設備：φ350mm電動給気ブローア 3 台

換気設備：スプリット型サイレンサ付ファン 1 台

潤滑油系統：φ25mm潤滑油ポンプ 1 台
油冷却器 1 基

冷却水系統：φ32mm冷却水ポンプ 2 台
冷却塔 2 基

除塵設備：自動ネットスクリーン 1 基
流入ゲートスクリーン 3 基

動力設備：受電設備 1 式

配電設備 1 式

操作制御設備：制御盤 1 式

機側操作盤 1 式

運転支援装置 1 式

計装設備：水位計 6 基

水質計 1 基

本浄化施設は、首都圏の直轄河川に合流する支川の水質を改善するもので、洪水等の非常時以外は、定常的に稼働している常用系設備である。

支川の合流部に設けた取水ゲートで水位をかさ上げし、施設内に河川水を流入させ、取水設備（水中ポンプ）で礫槽へ供給する。流入ゲートは、各取水用水中ポンプの吸水槽前に設置されており、バルブの役割を果たす。礫槽には、給気設備によって空気が供給され、礫及び礫間のバクテリアにより水質を改善する。

当該施設は、常用系であるが、各設備の稼働時間は各々異なる。今回入手した維持管理記録からは、給気設備(給気ブローア)の稼働時間を得られた。2 台ある給気ブローア 1 台当たりの稼働時間は、1997 年 1 月～2006 年 4 月までに 34000 時間余りであり、1 台当たりの平均稼働時間は、約 3700 時間/年となる。よって、2 台交互に運転して施設稼働時間は 2 倍となるので、年間 7400 時間(308 日)余りと考えられる。

表-10 に、2005 年度～2009 年度(5 年間)における

施設の故障情報を示す。故障傾向を見ると、ネットスクリーンの故障度数が最も高い。住宅地を流れる支川は植物等の塵芥のみならず、生活ゴミも多く浮遊しており、常時取水していることから自動ネットスクリーンの負荷が高いと考えられる。故障内容では、塵芥を捉えるネット部材の摩耗、駆動系軸受の摩耗が故障モードになっており、現状において年間 1 回以上のペースで故障していることから、抜本的な整備の時期に来ていると考えられる。排水機場の除塵機では腐食が主な故障モードであり、常用系においては大きな差異が認められる。

その他の構成機器では、礫槽へ支川の河川水を揚水する水中ポンプ、礫槽へ空気を供給する給気ファンが重要な機器となるが、これらの故障率は 0.3(1/y)程度でほぼ同じレベルにある。水中ポンプについては、シール部分からの漏洩、電気系統の絶縁抵抗低下などが故障モードとして挙げられ、給気ファンについては、稼働中の異常振動が発生しており、殆どの事象で可動部分の摩耗が原因となっていた。

表-10 KG 浄化施設故障情報 (単位：1/y)

構成機器名	数量	供用年数	故障度数	平均故障率
ラバーダム	4	5	1	0.050
ルーツブローア	3	5	0	0.000
水中ポンプ	3	5	5	0.333
流量調整弁	5	5	1	0.040
給気ブローア	2	5	3	0.300
換気ファン	1	5	1	0.200
潤滑油ポンプ	1	5	0	0.000
油冷却器	1	5	0	0.000
潤滑油槽	1	5	1	0.200
冷却水ポンプ	2	5	2	0.200
冷却塔	2	5	0	0.000
冷却水槽	1	5	0	0.000
自動ネットスクリーン	1	5	7	1.400
動力設備	1	5	0	0.000
制御盤	1	5	1	0.200
運転支援装置	1	5	1	0.200
計装設備	1	5	0	0.000

b) 維持修理費

河川浄化施設の維持管理費の集計におけるデフレータは、建設事業に関する各指標のうち、「治水総合」を活用するものとした。

表-11 及び図-4 に、KG 浄化施設の維持修理費の推移を示す。

浄化礫槽など土木構造とともに流入ゲートから着手し、取水設備や給気設備などの施工を行って、1997 年から管理が始まっている。KG 浄化施設は、年点検 1 回、月点検 8 回の維持管理レベルであり、年点検については、各部の詳細点検を、月点検においては動作上の確認を主に行っている。年間累計維持修理費率は、概ね 4.9%程度である。

表-11 KG 浄化施設の建設費・維持修理費

建設履歴	デフレータ 1/d	建設費			維持修理費				維持修理费率(%)	
		建設費	改造費	小計	点検費	補修費	小計	累計	各年	累計年間
1991 H.3 流入ゲート設置	0.988	12,848	0	12,848	0	0				
1992 H.4	1.004	0	0	12,848	0	0				
1993 H.5	1.007	0	0	12,848	0	0				
1994 H.6	1.009	0	0	12,848	0	0				
1995 H.7 浄化用ポンプ設置	1.014	278,912	0	291,760	0	0				
1996 H.8 浄化用付属設備設置	1.015	88,814	0	380,574	0	0				
1997 H.9 維持管理開始	1.024	0	0	380,574	19,796	0	19,796	19,796	5.2%	5.2%
1998 H.10	1.007	0	0	380,574	19,471	0	19,471	39,267	5.1%	5.2%
1999 H.11	0.998	0	0	380,574	19,294	0	19,294	58,561	5.1%	5.1%
2000 H.12	1.000	0	0	380,574	19,336	0	19,336	77,897	5.1%	5.1%
2001 H.13	0.979	0	0	380,574	18,930	0	18,930	96,828	5.0%	5.1%
2002 H.14	0.966	0	0	380,574	18,679	0	18,679	115,507	4.9%	5.1%
2003 H.15 3号水中ポンプ分解整備	0.970	0	0	380,574	18,756	9,215	27,971	143,478	7.3%	5.4%
2004 H.16 1号水中ポンプ分解整備	0.976	0	0	380,574	18,872	8,711	27,583	171,061	7.2%	5.6%
2005 H.17	0.987	0	0	380,574	19,085	0	19,085	190,146	5.0%	5.6%
2006 H.18	0.998	0	0	380,574	19,298	0	19,298	209,444	5.1%	5.5%
2007 H.19	1.016	0	0	380,574	19,646	0	19,646	229,090	5.2%	5.5%
2008 H.20 運転管理員2名→1名	1.044	0	0	380,574	11,376	0	11,376	240,466	3.0%	5.3%
2009 H.21	1.017	0	0	380,574	9,897	0	9,897	250,363	2.6%	5.1%
2010 H.22	1.017	0	0	380,574	10,240	0	10,240	260,604	2.7%	4.9%

デフレータ：2000 年＝1.000

点検費は、各年度の実施内容から 2006 年度の実績額を用いて逆算。

運転管理員がおり、その費用は点検費に含まれる。

運転管理員は H19 年度まで 2 名、H20 年度以降 1 名。

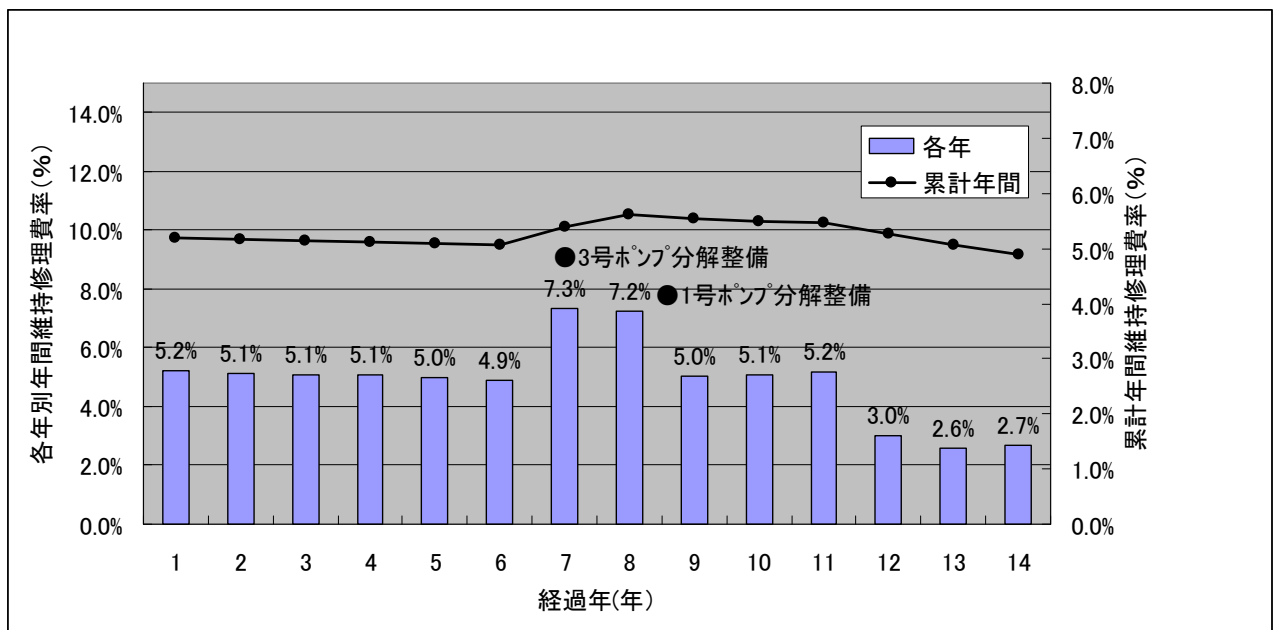


図-4 KG 浄化施設維持修理費の推移

KG 浄化施設においては管理員が常駐しており、維持修理費のうち当該人件費の占める割合は、約 2.4%（累計年間維持修理費ベース）である。つまり、管理員の費用を除く維持修理費は約 2.5%になり、待機系施設である排水機場の小規模機場と同等レベルである。

しかし、維持管理費の推移において、排水機場とは別の特徴が見られる。排水機場は、主ポンプ、減速機、主原動機などの主要機器を分解整備することで維持管理費が増大するが、水中ポンプやブローなど比較的規模の小さい構成機器が多い水質浄化施設においては、年点検・月点検などの定常的な維持管理のみの年と、合わせて機器の更新等を行った年とで、維持修繕費に排水機場ほどの差異が現れない。この傾向は、構成機器の設備費が比較的安価な道路排水設備と同様であることがわかった。

4.1.3 道路排水設備の FMEA

本年度は、道路排水設備の FMEA 及び FTA を実施し、信頼性を評価するものとした。

「FM 排水設備」「A 排水ポンプ設備」「J 道路排水設備」「K 道路排水設備」のうち、最も道路排水設備として標準的な設備構成（主ポンプが着脱式水中ポンプで予備機が 1 台あり、常用受電＋非常用発電機 1 台で運用されているもの）であり、維持管理情報も比較的揃っている FM 排水設備を対象として実施する。

FM 排水設備の FMEA 及び FTA は、設備を管理している地整で既に試みられているが、維持管理情報が十分に蓄積されていない現段階では、構成機器の故障率、或いは FTA における各事象の発生確率を求めることができないため、本研究では以下に示す方法を提案するものである。

1)設備構成

FM 排水設備の設備構成は、完成図書、点検表などから機器単位に抽出した。

2)故障、故障モード

抽出した構成機器に対して想定される故障モード、当該故障モードによって引き起こされる故障内容と故障モードを発生させる原因についてまとめる。本研究では、実際の維持管理において発生していない故障モード、故障についても、科学的根拠が明確なものを合わせて抽出するものとした。

3)故障モードの検出方法

各構成機器において列記した故障モードを、維持管理上どのような方法で検出するかを明記する。具体的には、「目視」「〇〇測定」などの内容とした。

4)評価項目

FMEA の評価項目は、H19 年度に実施した河川ポンプ設備に関するものを準用する。すなわち、「システムへの影響度」「故障モード発見の容易性」「故障発生頻度」である。各々、4 段階評価を行う。

「システムへの影響度」は、当該機器に故障が発生した場合にシステムへどの程度影響を与えるか、という評価指標であり、道路排水設備においては下記のとおりとした。

評価 4：当該故障によってシステムが停止する

評価 3：当面は運転可。または運転はできるが機能が低下する状態。

評価 2：システムへの影響が軽微である

評価 1：システムへの影響がない、或いは二重化など冗長化された機器の故障

「故障モード発見の容易性」は、当該機器に想定される故障モードの発見しやすさである。機器に発生する故障モードを発見するために、どのような作業が必要であるか評価基準とする。具体的には、下記のとおりとした。

評価 4：発見することが困難

評価 3：主要機器の分解整備レベルで発見可能

評価 2：年点検レベルで発見可能

評価 1：月点検レベルで発見可能

「故障発生頻度」は、当該機器に起こる想定した故障の発生頻度をいう。故障発生頻度を正確に求めるためには、過去の類似設備の故障データベースが必要であるが、国土交通省においては、道路排水設備の故障情報を蓄積中であり、現段階で FMEA に採用できる情報を有するに至っていない。また、FM 排水設備の維持管理情報を紐解いても、表-4 から明らかなように故障記録が少なく FMEA の評価を行うことは難しい。

本研究では、既存の信頼度予測モデル（MIL-HDBK-217 及び NPRD95）を用いて、FMEA 及び FTA を活用し、機器の故障発生頻度を想定するものとした。常用系設備のアンアベイラビリティは、故障修復時間が主たるパラメータになる。しかし、年中稼働である設備は一部のトンネル換気設備、水質浄化施設など限られるほか、構成機器の故障修復時間はメーカーによって大きく異なるため、一般的な常用土木機械設備の信頼性評価を行うにあたって、本研究では「不信頼度（ $\bar{A}$ ）」を活用する。不信頼度は、次式で表す。

$$\bar{A} = 1 - A$$

式中 A は、「信頼度」であり、JIS Z 8115 において、

「アイ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確率」と定義されている。常用品系では、稼働時間が長いために、信頼度は運転時間をベースに評価され、「規定の時間中」という条件が必要となる。

本研究では、MIL-HDBK-217 及び NPRD95 のデータを基に、当該構成機器の故障が発生する運転時間を評価した。FMEA の評価基準は、現状実施されている点検間隔を考慮して、下記のとおりとした。

評価 4 : 6 ヶ月未満

評価 3 : 6 ヶ月以上 1 年未満

評価 2 : 1 年以上 3 年未満

評価 1 : 3 年以上

なお、NPRD95 には同名機器・部品について、複数の故障情報が存在する。故障率は、下記条件を優先して選定し、FTA の事象発生確率にも同じ数値を採用した。

- ・商用機器(軍用でない)
- ・固定設備(移動用でない)
- ・その他条件が設定されているものは使用環境が類似しているもの

「致命度」は、「システムへの影響度」、「故障モード発見の容易性」、「故障発生頻度」の各評価値を乗じてその三乗根で示す。従って、致命度も他の指標と同様に、1~4 の範囲での指標として表すことができる。

本 FMEA では、河川ポンプ設備で実施した FMEA と同様に、「2.5 以上」となる機器・部品については、致命度が高いものとして取り扱い、必ず当該機器を FTA に反映させるものとした。

5) 実施事例

前項の評価基準を用いて、FM 排水設備の設備構成、操作制御内容に基づいて FMEA を実施した。

実施事例を、表-12 に示す。

道路排水設備の水中ポンプは、着脱式の水中ポンプを用いる場合が多いため、河川系のポンプ設備より単価は著しく安価である。現設計の FM 排水設備においては、計画排水量を 2 台の水中ポンプで排水できる能力を有し、1 台の予備機を有する。従って、河川ポンプ設備に比べ、主ポンプ系統の致命度は非常に低くなる。

また、冷却水系統や潤滑油系統など複雑な系統機器は殆どなく、システムも電源供給及び制御系統と配水管系統にほぼ集約することができ、着脱式水中ポンプのシステムにおいては非常に簡素である。配管系統においては、逆止弁、吐出弁、主配管などが構成部品で

ある。これらが故障した場合には、排水機能に著しい影響を与えるので、故障モードの発見容易性と発生頻度の評価がポイントになる。

一方、故障発生頻度は、既存データベースから引用して評価を行ったが、想定以上に構成部品の故障率が小さく、主ポンプ以外の構成部品・機器については殆ど全てが年点検間隔以上の故障発生間隔であることがわかった。

以上のことから、一般的な道路排水設備においては、主ポンプ（着脱式水中ポンプ）の故障に関して維持管理上重要視すべきであるが、予備機がある FM 排水設備においては、システムへの影響度は低い。

従って、今後は維持管理上のデータから「共通原因故障」発生の有無を確認していく必要がある。例えば、スクリーンの捕捉限界を超えた細かな塵芥が大量に流入したときに、2 台同時に羽根車閉塞に至る可能性などが考えられる。このような事実が明らかになった場合、FMEA におけるシステムへの影響度に関する評価を変更する必要がある。

4.1.4 道路排水設備の FTA

1) FTA のアプローチ

道路排水設備は、横断的な故障情報の解析データが十分に整備されていない。本研究では、既存の信頼度予測モデル (MIL-HDBK-217 及び NPRD95) システムの単純な故障率にあたる「不信頼度」を求めることとした。この不信頼度は、各構成部品の実フィールドでの故障データに基づく故障率により得られている。

本年度は、FM 排水設備を対象とした FT 図を作成し、既存の信頼度予測モデルを用いてトップ事象であるシステムの「不信頼度」を求めるものとした。

図-5 に示すとおり、信頼度予測モデルによる不信頼度は、将来的に母集団の実データから求めた事象発生確率に基づくアンアベイラビリティあるいは不信頼度と比較し、相関を評価することができる。

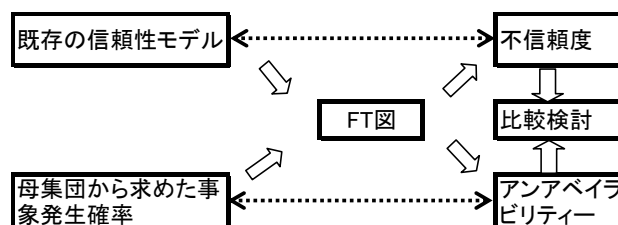


図-5 信頼性評価のアプローチ

2) FM 排水設備の FTA

平成 21 年度に、標準的な設備構成の道路排水設備を想定し、1 台の水中ポンプを駆動するケースの不信頼度を試算した。不信頼度は、システム全体の故障確

率が 10%に至るまでの稼働時間(B10)で評価した。(図-6 参照)

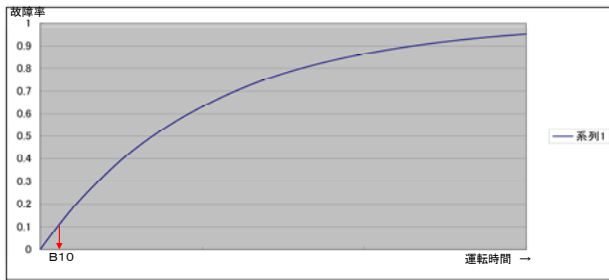


図-6 B10 のイメージ図

B10 は、航空機等で時間計画保全の指針となっているほか、「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」及び「河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(国土交通省：2008.3)において信頼性を考慮した構成機器・部品の取替・更新年数として採用されている。

本年度は、前項で実施した FMEA の結果を参照し、実際の FM 排水設備の設備構成に基づいた FT 図を作成し、その不信頼度を計算した。

FT 図(一部抜粋)を、図-7 に示す。

不信頼度(トップ事象：排水機能低下)が 10%に至る運転時間は、計算の結果 6,436 時間となった。昨年度の標準的な設備構成による FTA で求めた 411 時間との差異は、実際の道路排水設備では主ポンプに 1 台予備機が設置されていることと、電源系統が二重化(商用電源+自家用発電設備)されていることによる。この結果から、設備の主要機器を二重化することで、飛躍的に信頼性が向上することを定量的に示すことができた。

表-4 に示す故障データ、表-5 に示す運転時間の実態と、B10 の計算結果を考慮すると、当該施設については運転時間実績に対して、不信頼度がかなり低い(信頼度が高い)ことから、運点検間隔や内容を再検討できる余地があることを示している。つまり、故障モードが「摩耗」にあたるような故障については発生する可能性が低い設備であり、経年劣化に伴う「腐食」などの発生実態を確認することに重点化した点検計画が妥当であると考えられる。

ただし、非常に交通上重要な路線の排水設備であることから、過去の故障情報の欠落の有無、正確な運転時間の把握が必要であり、これらを総合的に判断したマネジメントを行う必要がある。

表-12 FM 排水設備 FMEA (主ポンプ設備抜粋)

主ポンプ設備

機器区分	部品名	故障	故障モード	原因	検出方法	システム	発見の可能性 の評価水準	故障発生頻度	故障等級 (致命度)	対策		備考
										復旧までの 所要時間	内容	
主ポンプ	ポンプ本体	排水能力低下	腐食	長期運転・水質	目視	1	3	3	2.1		取替	
			閉塞	設計の誤り(キャビ)	吐出圧測定						取替	
			摩耗・折損・欠損	異物閉塞・衝突								
			振動	施工調整不良	振動測定						取替	
	キー	羽根車回転不良	はずれ	経年劣化	目視	1	2	1	1.3		取替	
			腐食	水質	目視						取替	
			変形	異物衝突	目視						取替	
水中モータ(電動機)	電動機	回転不能	巻き線損傷(断線)	経年劣化	電流測定	1	3	1	1.4	5ヶ月	取替	
			過電流	想定外の外力	電流測定					5ヶ月	取替	
			短絡・地絡	雷・経年劣化	電流測定					5ヶ月	取替	
			絶縁不良	経年劣化・メカニカルシール不良	絶縁抵抗測定					5ヶ月	取替	
	キャブタイヤケーブル	絶縁不良	変形・損傷	異物衝突・経年劣化	絶縁抵抗測定	1	2	1	1.3	5ヶ月	取替	
			ゆるみ		絶縁抵抗測定					5ヶ月	取替	
		断線	損傷	異物衝突	電流測定					5ヶ月	取替	
										5ヶ月	取替	
メカニカルシール	メカニカルシール	漏水・漏油	異常摩耗	想定外の外力	目視	1	3	1	1.4	3ヶ月	取替	
				水質	目視					3ヶ月	取替	
										3ヶ月	取替	
										3ヶ月	取替	
	ボルト・ナット		腐食	経年劣化	目視	1	2	1	1.3	3ヶ月	取替	
			破断	設計・施工の誤り						3ヶ月	取替	
			はずれ							3ヶ月	取替	
着脱装置	本体	漏れ	腐食	水質	目視	1	1	1	1.0	3ヶ月	取替	
		支持力低下	コンクリートクラック(変形	不適切な管理								
		ポンプ位置のずれ	基礎ボルト破損(変形)	設計の誤り(強度不足)	目視					3ヶ月	取替	
										3ヶ月	取替	
	ガイドパイプ	固定能力の低下	緩み	経年劣化	目視	1	1	1	1.0	3ヶ月	取替	
			変形	設計の誤り(強度不足)	目視					3ヶ月	取替	
			腐食	設計・施工の誤り	目視					3ヶ月	取替	

4.2 主要機器劣化傾向の解析

平成 22 年 5 月国土交通省は当所の提案に基づき、所管する直轄管理の揚排水ポンプ設備の整備・修繕情報を収集した。

本研究では、当該情報を用いて、使用後の主要機器に関する計測データを解析し、劣化係数(摩耗係数)を解析したものである。

4.2.1 解析の考え方

1)対象となるデータ群

解析対象となるデータ群は次のとおりである。

対象設備：主ポンプ、減速機、ディーゼル機関、ガスタービン

データ規模：163 施設

654 件（整備・修繕件数）

対象整備情報 A4 版 4027 枚

各整備・修繕毎に、機器仕様、計測項目が異なっているため、対象設備毎に横断的に類似計測項目を抽出・集約した。

また、摩耗量との関係を把握するため、整備・修繕データと合わせて設備毎の稼働時間及び供用年数を整理した。

2)摩耗量の算定方法

摩耗量を算定する上での課題は、当該部品の新品時の寸法が不明である場合が多いことである。

今回の解析では、製作時初期値の記録があるものはそれを採用し、ない場合は製作管理値の中央値(あるいは設計値)を初期値とした。

従って、摩耗量は分解整備時の実測値と初期値の差である。

3)劣化係数の算定

集約したデータのうち、稼働時間を変数として有意な解析が行えた主ポンプ水中軸受、羽根車(インペラ)厚さ、減速機歯車歯当たり面、ディーゼルエンジンクランクピンについての摩耗係数を試算した。表-13 に結果を示す。

表-13 摩耗係数事例(単位: mm/h)

機械・形式	機器・部品	材質	部品・項目	平均	標準偏差	備考
立軸ポンプ	水中軸受	セラミック	水中軸受-隙間	0.000354	0.000411	最大側
立軸ポンプ	水中軸受	セラミック	水中軸受-隙間	0.000443	0.000672	最大側
立軸ポンプ	水中軸受	ゴム	水中軸受-隙間	0.0010879	0.001417	最大側
立軸ポンプ	水中軸受	ゴム	水中軸受-隙間	0.001000	0.001331	最小側
横軸ポンプ	水中軸受	ホワイテタル	水中軸受-隙間	0.001537	0.002714	最大側
横軸ポンプ	水中軸受	ホワイテタル	水中軸受-隙間	0.000992	0.001620	最小側
立軸・横軸ポンプ	インペラ	—	インペラ厚さ	0.013007	0.017015	
減速機	歯車	—	歯車-歯当たり	0.74691	0.743418	
ディーゼルエンジン	クランクピン	—	クランクピン内径	0.000116	0.000119	

4)劣化係数の活用

整備・修繕情報で得られる主要機器の摩耗データは、通常の年点検レベルで得ることが出来ない情報が多い。運用時に不可視部分にあるこのようなデータを正確に

統計処理することで、時間計画保全における定期整備の実施タイミングを最適化することが可能になる。

これらの機器に対する新たな状態監視保全技術が確立すれば、一部の主要機器は「定期」でなく、個々の状態に合わせた整備タイミングを得ることができるが、それまでは時間計画保全の精度を実績値から高める必要がある。

表-14 測定点数に占める異常データの割合

設備名	構成機器	測定項目	総測定点数	異常データ点数	異常データ占有率
主ポンプ	ケーシング	寸法/厚さ	208	0	0.00%
	外部軸受け	寸法/厚さ	44	0	0.00%
	インペラ	釣り合い	40	6	15.00%
	インペラ	厚さ	625	2	0.32%
	インペラ	隙間	193	14	7.25%
	水中軸受	寸法	281	22	7.83%
	パッキンスリーブ	寸法	74	3	4.05%
	主軸	釣り合い	10	1	10.00%
	主軸	振れ	592	35	5.91%
	主軸	寸法	230	4	1.74%
	主軸用スリーブ	寸法	243	9	3.70%
減速機	ケーシング	寸法/厚さ	6	0	0.00%
	ギアケース	寸法/厚さ	62	0	0.00%
	入力軸	寸法	54	0	0.00%
	中間軸	寸法	13	0	0.00%
	出力軸	寸法	132	0	0.00%
	歯車	寸法/歯当たり	170	0	0.00%
	軸受	寸法等	350	1	0.29%
ディーゼル機関	デフレクション	計測値	1510	8	0.53%
	クランクピン	寸法	1050	6	0.57%
	クランクピンメタル	寸法	1257	44	3.50%
	過給機	隙間	38	17	44.74%
	排気弁	隙間	87	2	2.30%
	吸気弁	隙間	91	3	3.30%
	ピストンピン	内外径	2710	20	0.74%
	ピストンピンメタル	内外径	239	1	0.42%
	ピストンリング	溝/隙間	1621	6	0.37%
	ピストン	寸法	1528	70	4.58%
	ロータ軸	寸法	38	1	2.63%
	シリンダライナ	寸法	2480	30	1.21%
ガスタービン機関	圧縮機	圧力	113	0	0.00%
	動翼	隙間	13	0	0.00%
	減速機	振動値	44	0	0.00%
	タービン(エンジン)	振動値	63	0	0.00%
	潤滑油圧力	圧力/温度	231	8	3.46%
	台床	振動値	18	0	0.00%
	排気ガス	温度	126	0	0.00%

異常データとは、各整備データにおいてポンプメーカー規定に入らなかったデータをいう

表-14 は、実際の整備データ(総測定点数)において、使用品の摩耗量(あるいは劣化度合い)がメーカー規定値を超えていた異常データ点数の占有割合を示す。

メーカー規定値の考え方を、使用者側で全て把握することは困難であるが、製品の品質を担保するために必要な規定として施工時に承認されていることを考えると、時間計画保全における指標として重要視せざるを得ない。従って、状態監視保全が困難な不可視部分にある機器・部品の整備タイミングは、メーカー規定値の限界に近いタイミングが最善となる。

表-14 において、メーカー規定値を超えた占有率が 5%を超える機器が最も多い設備は主ポンプ設備であり、次にディーゼルエンジンである。メーカー規定値を超えた使用時の故障発生率については、別の解析を必要とするが、減速機などのように、使用部品の軸受以外全くメーカー規定を超えた機器がない設備は、全般的に整備実施間隔については延伸する方向で検討すべきものとする。

また、逆にメーカー規定値を超えてしまった個々の設

備については、摩耗率をひとつの参考指標として実施間隔を適宜調整するという方法が考えられる。

今回の解析は、河川ポンプ設備を対象として実施したが、運転時間をパラメータとしたこれらの劣化係数は、類似の機器を使用する他の設備への準用も可能であると考える。

4.3 安全管理手法

本年度は、道路排水設備、トンネル換気設備の故障情報に基づいて、システム上の弱点を明らかにするとともに、関連する部品を抽出して予備品管理に反映させる手法を検討した。

予備品として、現場施設に用意しておくべき機器・部品の概念は、下記のとおりである。

- ・故障が発生したときに現場作業で交換できる。
- ・現場に保管することで調達時間を縮減できる。
- ・保管が容易で品質が劣化しにくい。

その他に、経済性も重要な指標になるが、設備の設計によって、高価なものを現場に確保しなければならないケースもあり得る。

待機系設備においては、管理運転時などの故障発生に迅速に復旧でき、常用系設備においてはMTTR（平均修復時間）を縮減することで、アンアベイラビリティを低下させる効果を期待できる。

この予備品を抽出するアプローチとして、故障実態から明らかとなった機器・部品を抽出する方法と、FTA上でポイントとなる重要な機器・部品を抽出する方法を提案する。

4.3.1 故障実態からのアプローチ

表-2に示すトンネル換気設備のうち、故障情報を得ることができたものについて解析した結果を表-15に示す。

表-15 トンネル換気設備構成機器の故障率(単位: 1/y)

構成機器名	延べ供用年数	故障度数	平均故障率
JF本体	464	14	0.030
風速計	78	11	0.141
VI計	146	10	0.068
CO濃度計	110	8	0.073
動力設備	69	3	0.043
制御盤	69	15	0.217
直流電源設備	39	2	0.051
計装盤	69	1	0.014

表-15から、台数の多いJF本体より、制御盤風速計、VI計、CO計などの故障率が高いことがわかる。このうち、制御盤内の補助継電器などの部品は比較的安価であり、交換も容易である。これに対し、近年自動制御に多く使われるPLCは高価な機器であり、基板交換が必要になるような場合は修理費も高い。

故障実態を見ると、トンネル換気設備においては制

御盤内PLCの故障事例は少なく、殆どがリレーやディスプレイの劣化等であった。ディスプレイは、使用上劣化傾向が非常に把握しやすい製品であり、予備品として保持する必要性は低い。

一方、リレー類は、比較的安価な製品であるが故障すればシステムに与える影響が大きい。リレー類の偶発故障に関する対応として、現場の故障実績に基づき予備品を準備しておくことが得策であると考えられる。

次に、風速計、VI計、CO計の故障率が高い。これらの故障においても、殆どが構成部品の交換で対応される。VI計やCO計は機器が非常に高価であり、自動制御機器として用いる場合、調整項目(キャリブレーション)も多い。故障内容としては、センサ自身の故障よりも防塵チューブの破損、キャリブレーションのずれ、CO計透過膜の破損などの部品故障・調整不足などであり、これらの部品交換・調整などで対応される。

設備の故障実績に基づき、これらの部品を予備品で確保することによって、MTTRを著しく短縮できる。

4.3.2 FTAからのアプローチ

FTAにおいて、トップ事象を含む基本事象の集合をカットセットという。つまり、カットセットに含まれる事象が全てそろってトップ事象が発生する。通常のFT図では、カットセットが複数存在する。これらのうちで、トップ事象を発生させるのに必要にして十分なカットセットを最小カットセットという。4)

この最小カットセットあるいはこれに準じて発生確率の高いカットセットに含まれる事象に関連する部品を、予備品として管理する方法を提案する。

昨年度作成したジェットファンのFT図から、最小カットセットを求めると、ジェットファン内の軸受損傷のみで成立するカットセットになった。しかし、この軸受交換は現場修理で対応できないので、予備品としての意義は低い。その次に確率の高いカットセットは、ジェットファン駆動系統における電磁接触器、漏電遮断器を含むカットセットである。これらの部品は安価で現場での交換が可能であることから予備品として揃えるべき部品であるといえる。ただし、このFTAは既存の信頼性予測モデルを用いた解析であり、ジェットファンの軸受は、固定設備ファンの故障率を準用したものである。

4.4 自動制御システムの信頼性解析

4.4.1 調査対象件数

自動制御システムに関連する信頼性解析は、平成22年度に国土交通省が全地方整備局、北海道開発局から収集した情報に基づき実施した。

表-16 に調査対象となった施設数を示す。

表-16 調査対象施設数

施設区分	施設数
揚排水ポンプ設備	79
水質浄化設備	4
ゲート設備	26
トンネル換気設備	30
消融雪設備	4
事務所・出張所	23
計	166

4.4.2 信頼性評価の方法

本年度は、各案件の故障内容を精査し、自動制御に影響を与えると推定できる件数を特定するとともに、その内容から施設区分を整理し、各々の故障率を算定した。

自動制御システムは、常時通電していつでも起動できる状態を保持していると考えられることから、故障率を算定するパラメータは供用時間とする。

表-17 に結果を示す。

施設区分は、CCTV、遠方監視操作系、監視盤、計器(センサ)、計装盤、運転支援装置、制御盤、無停電電源装置とした。これらの区分は、施設の規模を考慮せず、同一区分で計算している。

その結果、各施設区分とも概ね 0.1~0.4(1/y)の範囲であることがわかった。

これらの故障率は、今後自動制御システムを含む FTA を実施する際に必要な事象発生確率に準用できる。

5. まとめ

平成 22 年度は、道路系設備、水質浄化施設のモデル施設を対象とした維持管理情報の収集・解析と中心として、経済性評価、信頼性評価を行い、マネジメントの基本パターンを示した。

また、これまでデータの無かった主要機器の劣化傾向に関する解析、自動制御システムの信頼性解析を実施した。

今年度明らかとなった事項をまとめると下記のとおりである。

表-17 設備区分毎の故障率解析結果

施設	施設数	施設区分	延べ故障件数	延べ供用年数	故障率(1/y)	故障率(1/h)
揚排水ポンプ設備	79	CCTV	19	62	0.3065	3.49831E-05
		遠方監視操作系	20	121	0.1653	1.88686E-05
		監視盤	16	101	0.1584	1.8084E-05
		計器	5	44	0.1136	1.29722E-05
		計装盤	0	0	0.0000	0
		運転支援装置	82	351	0.2336	2.66687E-05
		制御盤	89	452	0.1969	2.24775E-05
		無停電電源装置	11	78	0.1410	1.60988E-05
水質浄化設備	4	遠方監視操作系	1	10	0.1000	1.14155E-05
		監視盤	2	20	0.1000	1.14155E-05
		運転支援装置	1	10	0.1000	1.14155E-05
		制御盤	2	20	0.1000	1.14155E-05
ゲート設備	26	遠方監視操作系	13	95	0.1368	1.56212E-05
		計器	3	30	0.1000	1.14155E-05
		計装盤	3	30	0.1000	1.14155E-05
		運転支援装置	1	10	0.1000	1.14155E-05
		制御盤	11	104	0.1058	1.20741E-05
		無停電電源装置	3	19	0.1579	1.80245E-05
トンネル換気設備	30	遠方監視操作系	5	41	0.1220	1.39214E-05
		監視盤	1	10	0.1000	1.14155E-05
		計器	11	71	0.1549	1.7686E-05
		計装盤	12	110	0.1091	1.24533E-05
		運転支援装置	3	16	0.1875	2.14041E-05
		制御盤	20	136	0.1471	1.67875E-05
		無停電電源装置	5	35	0.1429	1.63079E-05
消融雪設備	4	計器	1	10	0.1000	1.14155E-05
		運転支援装置	9	20	0.4500	5.13699E-05
		制御盤	3	13	0.2308	2.63435E-05
		無停電電源装置	3	20	0.1500	1.71233E-05
事務所・出張所	23	遠方監視操作系	37	184	0.2011	2.29551E-05
		無停電電源装置	4	37	0.1081	1.23411E-05

- 1) 維持管理情報のうち、経済性に関する情報は非常に収集しにくい。(表-3 参照)
解析上は、維持管理内容などから推計せざるを得ない。
- 2) 今回調査したモデル施設における経済性の傾向は、次のとおりである。
 - ・ FM 道路排水設備：維持修理費に占める点検費の割合が高い。累計年間維持修理費率 3.7%
 - ・ KU トンネル換気設備：JF 等主要機器の整備・更新費が占める割合が高い。累計年間維持修理費率 3.1%
 - ・ KG 水質浄化施設：常駐する管理員及び点検費が占める割合が高い。累計年間維持修理費率 4.9%
- 3) 既存の信頼性予測モデルを用いた道路排水設備の FMEA の結果から、現設計において大きな問題となる構成機器を見いだすことは無かった。
- 4) 既存の信頼性予測モデルを用いた道路排水設備の FTA の結果から、故障率 10%となる運転時間 (B10)を算出し、当該設備の運転時間と比較することで点検間隔などの調整が可能であることを示した。
- 5) 河川ポンプ設備を対象とした主要機器の劣化傾向を解析した。主要機器の分解整備・更新に関する時間計画保全の精度向上に役立つ可能性があることがわかった。
- 6) 安全管理手法として、過去の設備の故障実績や FTA におけるカットセットに着眼し、予備品計画を立てる手法を提案した。
- 7) 自動制御システムに関する機器の故障率を算定することができた。今後の FTA に活用できる。

参考文献

- 1)長健次他 5 名：「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
- 2)藤野健一、田中義光：「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」平成 21 年度国土技術研究会報文 2009
- 3)藤野健一他 4 名：「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
- 4)清水久二、佐野昭：「設備信頼性工学」海文堂出版 1987
pp53-57

**RESERCH OF MANAGEMENT METHODS OF MECHANICAL EQUIPMENT FOR INFRASTRUCTURE
THAT CONSIDER THE RELIABILITY AND LIFE CYCLE COST**

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2012

Research Team : Construction Technology Research
Department (Advanced
Technology Research Team)

Author : FUJINO Kenichi
TANAKA Yoshimitsu
ISHIMATSU Yutaka

Abstract: The present study researches the management methods for achieving an efficient operation and maintenance while valuing the reliability of the mechanical equipment by the aspect at the life cycle. Fiscal year 2010, the maintenance administrative information concerning the model facilities of the waste water pump of road, ventilating installation of tunnel and water quality purification facilities was consolidated, and the relation between reliability and the economy was clarified. The data base that had been made in the previous year was used for this analysis. Moreover, the past failure data was analyzed to evaluate the reliability of the automatic control equipment that had been introduced into the equipment of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and the failure rate was analyzed.

Key word: FMEA、FTA、reliability、maintenance、data base