

道路機械設備の効率的なメンテナンスに向けて ～新たな維持管理手法の提案～

松尾久美子¹・桜田明彦²

¹名古屋国道事務所 工務課 (〒467-0833名古屋市瑞穂区鍵田町2-30)
²沼津河川国道事務所 品質確保課 (〒410-8567静岡県沼津市下香貫外原3244-2)

名古屋国道事務所では、9種類、台数にしておよそ約1600台の多種多様な道路機械設備を維持管理しているが、老朽化が進行しており、より効率的な維持管理が必要となっている。そこで、道路機械設備のほとんどは「日々稼働している」という特徴に着目して信頼性解析を行った結果を報告し、道路機械設備の新しい維持管理手法を提案する。

キーワード：維持管理，道路機械設備，信頼性解析，設備保全，点検

1. はじめに

名古屋国道事務所は、愛知県内の直轄国道8路線436.8kmの道路を管理し、道路利用者へ安全で安心な道路を提供し円滑な道路交通を確保している。

道路には、橋梁やトンネルなど土木構造物だけでなく、立体交差における地下道路の排水設備やトンネルの消火設備、共同溝の排水設備や換気設備など、道路の機能を維持するための多種多様な機械設備（以下「道路機械設備」という）が設置されている。これらの道路機械設備は運転することでその目的が達せられることから、土木構造物とは異なる手法により点検及び維持管理するための「道路関係設備(機械設備)点検・整備・更新マニュアル(案)」及び「道路管理施設等点検整備標準要領(案)」(以下「点検基準等」)が定められておりこれに基づき維持管理し機能の確保を図っている。

しかし、点検と整備や修繕の実施にあたっては「点検基準等」と現場実態が乖離している事例があり、結果として道路機械設備としての機能が確保されているとは言い難い状況も発生している。

そこで、現場実態に即した道路機械設備の効率的・効果的なメンテナンスを目指して信頼性工学を用いた検討を行い、新たな維持管理手法をとりまとめた。

本稿ではその新たな維持管理手法について紹介する。

2. 現状と課題

(1) 名古屋国道事務所における維持管理の現状

名古屋国道事務所が管理する国道は都市部から山間部まで様々で管理延長も長いことから、多種多様な道路機械設備を管理しており、その数は9種類1600台にも及ぶ(表-1, 写真-1)。

これら設備は昭和の時代に設置されたものが多く存在し老朽化が進行している状況である(図-1)。また、「点検基準等」に基づき維持管理を実施しているが、老朽化により多くの不具合が発生しており、すべてに対応が出来ていない現状がある(図-2, 写真-2)。これまで、不具合発生に対して設備の設置環境や稼働状況等を経験的に判断し対応しており機能停止による重大

表-1 名古屋国道事務所が管理する道路機械設備

道路機械設備名	設備概要	箇所数	台数
トンネル非常用設備 (トンネル消火設備)	トンネル内の消火設備。	1	2
共同溝附帯設備 (換気設備)	共同溝内で発生する有害ガスの排除、除湿及び温度の上昇を防止する設備。	425	795
共同溝附帯設備 (排水設備)	共同溝内の滞水を排除する設備。	385	796
道路排水設備	道路の雨水、融雪水、地下水などを強制的に排出するための設備。	10	29
道路排水設備 (地下横断歩道)		19	37
車両重量計設備	一般的制限値を超える車両の総重量等を停止状態で計測する設備。	4	4
車両計測設備	一般的制限値を超える車両の総重量等を走行状態で計測する設備。	4	4
昇降設備 (エレベータ)	横断歩道橋や地下横断歩道等に設置される設備。	6	11
ホイストクレーン	凍結防止剤散布車に薬剤を積載するための設備。	4	4
植樹帯散水設備	植樹された土地に水を撒くことを目的として設置されている設備。	2	2

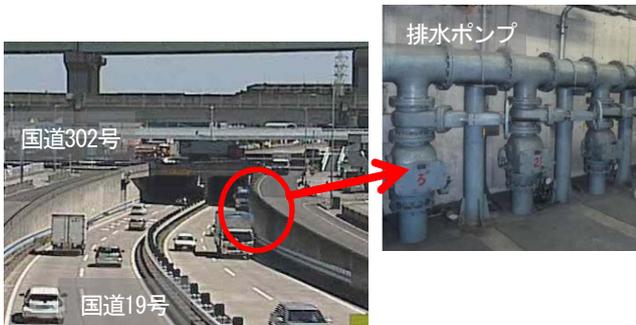


写真-1 道路排水設備 (国道19号と国道302号の交差点)

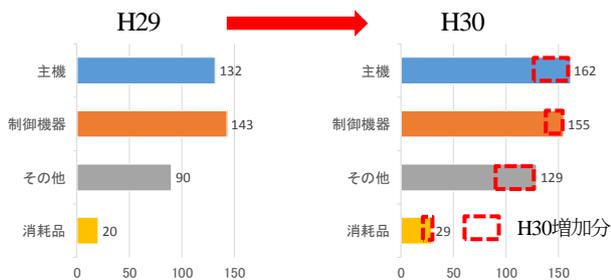


図-2 名古屋国道事務所道路機械設備の不具合状況

な事象は発生させていないが、今後さらに老朽化が進行し不具合に対しての修繕等がますます追いつかなくなるという看過できない状況に陥ることが予想される。

(2) 名古屋国道事務所における維持管理の課題

道路機械設備は「点検基準等」に基づき実施しており、その内容は、①定期的点検（月点検と年点検）による不具合箇所の把握、②不具合箇所の傾向管理（機能評価のための計測）の実施、③計測結果による機能評価、④機能評価により使用不可と判断された機器的の修繕・更新という保全サイクルとなっている（図-3）。

しかし、名古屋国道事務所においては管理する設備数が多く仮に全設備の月点検を実施しようとすると年間645日が必要となり、またコストも多大となることから、年点検1回に加え年1～3回程度（設備で異なる）の月点検相当の点検を実施している現状にある。

このため不具合箇所を発見しても修繕や機器更新を判断するためのデータが不十分となり「点検基準等」に基づく傾向管理が行えないことから経過観察を継続しており不具合傾向のある設備が解消されず存置されている状況になっている。

さらに、設備数が多いため年間の点検データは膨大で資料の取り纏めにも多大な労力を要しており保全サイクルを妨げる要因となっている。

また、現行の「点検基準等」は河川の排水ポンプやダムの水門扉などと同様の点検や管理の手法が定められており、稼働形態や設備規模等が異なる道路機械設備と河川・ダム等の機械設備で定期点検の頻度などが同じでなければならないのかという機械工学面からの疑問もある。

このように名古屋国道事務所の道路機械設備の維持

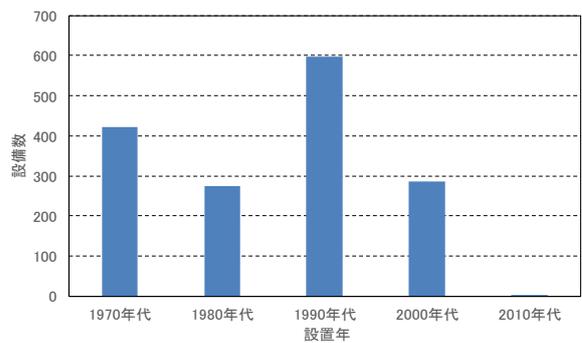


図-1 名古屋国道事務所の管理する設備設置年度



写真-2 共同溝付帯設備の不具合状況

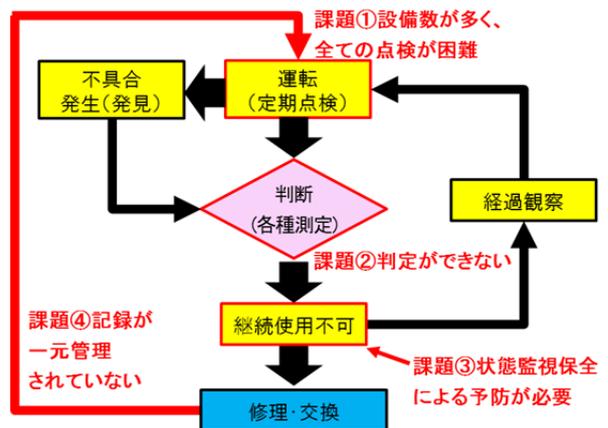


図-3 道路機械設備の保全サイクル図と課題

管理の現状は、点検回数や内容及びその点検結果の扱いにおいて「点検基準等」との乖離が大きいことに気付く。

この問題を解消し、名古屋国道事務所でも管理する道路機械設備をより合理的に維持管理する方法を検討するため、第一の問題点である点検について再整理することとした。

3. 点検項目の検討

(1) 道路機械設備の特徴

点検について再整理するにあたり、まず道路機械設備の特徴に着目した。

道路機械設備は河川・ダム用の機械設備と比べると、①規模が小さい、②常時動いている、という点が大きく異なっている。

たとえばポンプを事例とすると表-2のようにその特徴が異なることがわかる。

河川の内水排除用ポンプは洪水時の内水被害を防止する時以外は運転しないことから、毎月の点検で運転し動作と機能を確認することが定期点検の目的となっている。また、点検対象のポンプは大きいため羽根車や軸など内部部品のレベルで点検する基準となっている。一方、道路排水ポンプは、常に運転しており確認はいつでも可能である。また、ポンプは小型であり内部部品レベルで点検するには分解を伴い非効率といえる。

こういった特徴をふまえ名古屋国道事務所管理するすべての道路機械設備について最適な点検項目を設定するための検討を行うこととした。

(2) FMEA解析による機器の分析

点検項目の検討にあたっては客観的な分析を行う必

表-2 河川と道路におけるポンプ設備の比較

	河川用設備	道路機械設備
運転条件	洪水時	常時
ポンプ口径	1000~2000mm	100~200mm
操作方法	操作員による操作	水位計による自動操作

要があることから信頼性解析に利用されるFMEA解析を実施した。

FMEA解析とは、重大故障の抽出を目的とする信頼性解析として一般的に広く活用されている手法で、分解された設備の構成要素（機器・部品）ごとに、故障モードを抽出し、その故障が設備にあたる影響度合を相対的に定量評価するものである（図-4）。つまりこの解析を行うことにより、「設備に重大な影響を及ぼす部品（致命部品）か否か」を判断することができる。

今回の解析の前提として、各道路機械設備の稼働状態やこれまでの故障形態と修繕方法等も踏まえ、致命部品を設定することとし、やみくもに構成部品すべてに展開しないこととした。解析結果のうちポンプの致命部品の一部事例を図-5に示すが河川の内水排除用ポンプと道路排水ポンプでは致命部品数（点検対象）が大きく変化したことがわかる。

4. 保全方法の検討

(1) RCM解析による保全項目の検討

FMEA解析により道路機械設備の維持管理対象と

FMEA解析シート								
機器(サブシステム)名: ○○○○		装置名: △△△△△△		冗長性(予備機械): □□□□□□				
機器・部品名	機能	故障モード	故障原因	故障影響		致命度(故障等級)	対策	備考
				サブシステム	設備(システム)			
① 設備(システム)を構成する機器・部品とその機能を記述。	→	② 機器・部品に発生する、故障の形態・発生原因を記述。	→	③ 故障による機器・部品(サブシステム)及び設備全体(システム)への影響を解析し、致命度(設備機能への影響度)を記述。 システム全体への影響が大きいと致命度が高く評価されることになる。		→	④ 致命度の高い機器・部品について、システム全体への影響を与えないための方法(保全対策)を記述。	

図-4 FMEA解析シートと解析手順

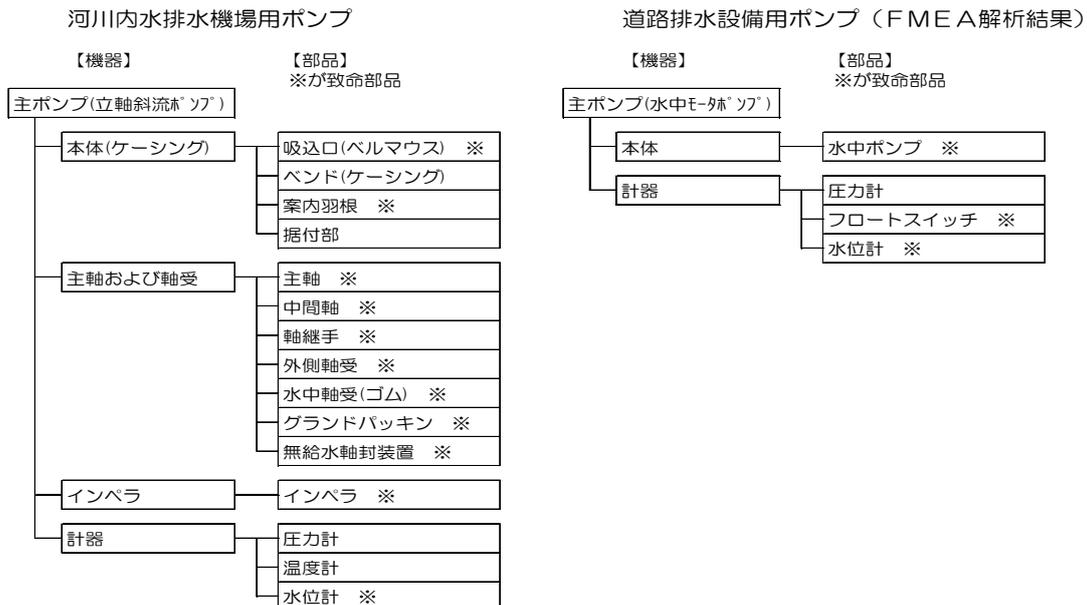


図-5 河川用設備と道路用設備の致命部品比較

する致命部品を明確にできたが、これらをどのように維持管理するのかを整理する必要がある。

致命部品まで分析した機器類の保全方法（点検、修繕の手法）の検討ファクターは、稼働形態、故障形態、故障頻度、耐用寿命、コストなど様々なものがあるが、これらを一括して分析する信頼性解析手法としてRCM解析がある。

RCM解析とは信頼性向上保全性作業計画手法とも呼ばれ、FMEA解析を用いて抽出した致命部品について、信頼性の確保に着目しながらその致命部品に対しての保全方式と保全周期を検討する手法で、航空、発電をはじめとする多くの産業分野で活用されている。

今回は、道路機械設備の特性を考慮した図-6に示すRCMロジックツリーといわれる検討フローにより、点検区分と保全区分を整理することとした。

a) 故障形態

維持管理手法は、図-7に示すように予防保全と事後保全に分類され、河川・ダム用機械、道路機械設備とも「点検基準等」により状態監視保全による予防保全が実施されている。

しかし、そもそも突発的に故障する機器や部品は故障したら交換する事後保全とすることで点検を省略できるため、FMEAで抽出した致命部品の故障モードに基づき分類することとした。

b) 稼働形態の反映

機械の稼働とは機能を発揮している運転状態（主た

る機械が運転している状態）と考えるのが一般的でこれまで河川・ダムや道路に設置される機械設備のほとんどは「非」常用として考え、常時は機械が休止状態にあるという前提で維持管理がなされている。しかし、道路機械設備は、常時無人で規定の水位や温度、時間になった場合ただちに運転を開始しなければならないため、FMEA解析において致命部品と評価した水位計やタイマーなど監視・制御装置は常に稼働している。

したがって、主機械は停止していても運転のための条件を常時監視している時間を「ホットスタンバイ」と定義し、設備の稼働中として各道路機械設備の稼働形態を評価し点検区分を分類することとした。

道路機械設備の稼働状況の整理結果を表-5に示す。

c) 点検区分の整理

「点検基準等」では定期点検は「月点検」「年点検」が設定されているが、月点検は洪水時のみに稼働する河川・ダム用機械設備の試運転と点検を行うために設定されているもので、常時稼働状態にある道路機械設備で試運転を目的に月点検を実施する必要性は薄いと考えられる。

道路機械設備は、出張所における道路の巡視やCCTVによる監視で異常の発見がしやすく、また従来から名古屋国道事務所においては8カ所の道路排水設備の遠方監視システムを導入し、機械係において日常の監視を行っている（写真-3）。そこでこれら日常の確認行為を新たな点検区分「運転確認」として設定し、従来からの定

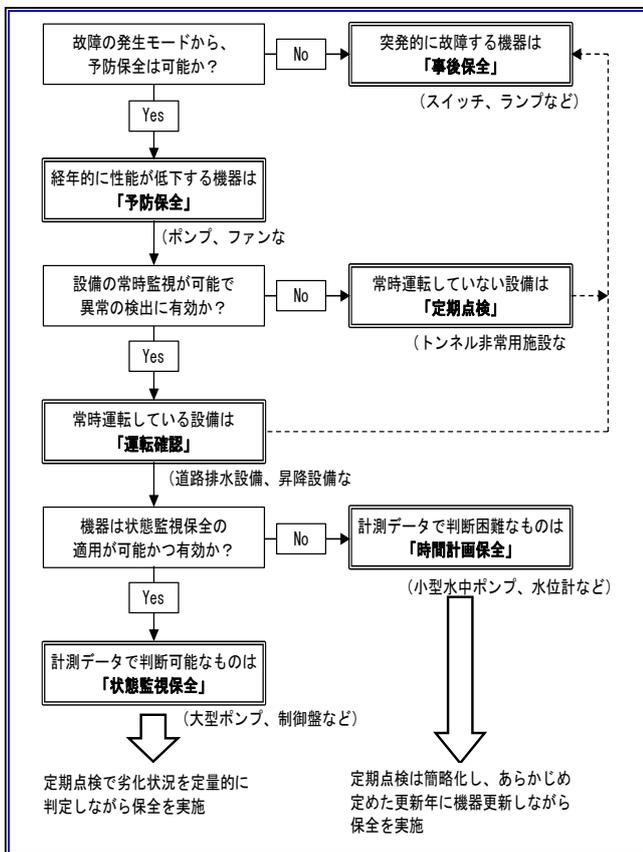


図-6 RCMロジックツリー

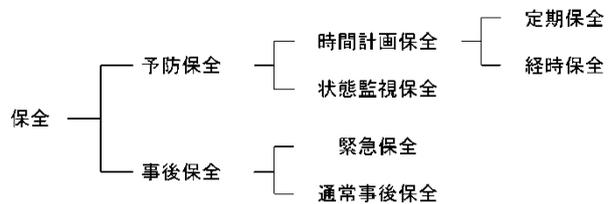


図-7 保全方式の分類

表-5 稼働形態区分

待機系設備	常用系設備
日常の大半は待機状態で稼働しておらず、必要な時に稼働する機械設備	常にホットスタンバイの状態を維持し、日常的に稼働している機械設備
トンネル非常用施設	道路排水設備 共同溝付帯設備 車両計測設備 駐車場設備 車両重量計設備 道路用昇降設備 植樹帯散水設備 雪害基地荷役設備



写真-3 名古屋国道事務所工務課の監視システム

表-6 今回設定した道路機械設備の更新年数

設備	項目	標準年数	考え方
道路排水設備	水中ポンプ	18	名古屋国道事務所管内の水中ポンプ（共同溝附帯設備（排水）含む）の取替実績
	逆止弁	28	汎用品であり、河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）における「逆流防止弁：弁体」更新年数を参照
	配管	40	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：主配管」更新年数を参照
	取付ボルトナット	—	小修繕対応により定期的な整備は計画しない。
	操作盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	PLC	10	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：PLC本体」取替年数を参照
	盤内配線	—	小修繕対応により定期的な整備は計画しない。
	フリクトスイッチ	14	名古屋国道事務所管内のフロートスイッチ（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	投込み式スイッチ	14	名古屋国道事務所管内のフロートスイッチ（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	伝送盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	分電盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	配線用遮断器	10	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：電磁接点器」取替年数を参照

期点検と区分しRCM解析で有効性を判断することとした。

d) 保全手法の整理

FMEA解析により致命部品は小型水中ポンプなどの機器単位で抽出されることがわかった。これらは汎用機械であり経過年数により寿命が定まるものがほとんどで故障時には機器を一体で交換するため、傾向管理ではなく時間管理による予防保全（経時保全）も取り入れRCM解析で有効性を判断することとした。

なお、経時保全の前提となる道路機械設備の機器寿命は定められたものが無いため、今回名古屋国道事務所におけるこれまでの更新実施年数により定めることとし、汎用部品については河川・ダム用機械の基準に準じて設定した（表-6）。

また、時間管理による予防保全を基本とするものの日常的に「運転確認」による突発の異常発見がされた際は、緊急事後保全を実施することで機能を確保することとした。

現行の点検項目表

区分	点検整備		点検・整備周期と点検方法				点検条件	良否の判定方法および判定基準
	点検項目	点検内容	トレンド管理		定期点検	臨時点検		
			月点検	年点検				
道路排水設備	水中ポンプ	清掃状態	E	E			休	汚れが付着していないこと。
		外観	E	E			休	汚損、塗装の剥離、劣化がないこと。
	ボルト	緩み・腐食・脱落	-	E, H			休	緩み・腐食・脱落のないこと。
	羽根車	状態	-	E, H			休	損傷・磨耗がないこと。
	軸受	状態	-	E, H, S			休	異常のないこと。
	潤滑油	油量	-	E			休	規定量であること。
		油質	-	E, H			休	変質していないこと。
	水中ケーブル	絶縁抵抗	-	M			休	規定値以上であること。
	モーター	絶縁抵抗	-	M			休	規定値以上であること。
	浸水検知器	絶縁抵抗	-	M			休	規定値以上であること。
	運転	振動・騒音	E, H	E, H			運	異常のないこと。
	電流値	正常確認	E	E			運	規定値であること。
電圧値	正常確認	E	E			運	規定値であること。	
吐出圧	正常確認	E	E			運	規定値であること。	
排出量	正常確認	E	E			運	規定値であること。	
ガイドパイプ	状態	-	E			休	緩みがないこと。	

表-7 RCM解析結果（道路排水設備）

稼働形態	設備名	機器形式	機器名	機能	故障モード	致命度(故障等級)	劣化モード	保全タイプ	予防保全作業の内容				
									運転確認	わんだいん保全		経時保全	
										安全作業(定期点検)	作業の周期		安全作業
常用系設備	道路排水設備	ポンプ設備	主ポンプ	降雨等による滞水の排水	動作不良	II	B	予防保全	監視・巡回	排水状況確認	1年	取替	18年
										電流値測定			
										電圧値測定			
										排水状況確認			
					固着	II	B	予防保全					
					振動・異音	II	A	予防保全					
					絶縁不良	II	A	予防保全					

(2) RCM解析結果

上記(a)から(d)のポイントに着目しRCM解析を実施した結果のうち、道路排水設備のポンプの事例を表-7に示す。

道路機械設備の特性を踏まえて設定した検討項目のほとんどが適用でき点検をはじめとする維持管理方法の見直しに効果が期待できることがわかった。

5. 新たな維持管理手法

(1) 新たな点検方法

FMEA解析及びRCM解析の結果、道路機械設備の点検方法と内容を大きく見直しできることがわかった。

そこで、常時稼働している設備については、月点検は実施せず日々の「運転確認」で異常の有無を点検することとし、点検項目（箇所）も機器単位を基本とするなど大幅な合理化を図ることとした。道路排水設備（ポンプ）の点検項目表の対比を図-8に示す。

(2) 新たな修繕、機器更新方法

従来の部品レベルの傾向管理に基づく機能評価結果に

検討の結果合理化された点検項目表

区分	点検整備		点検方法				点検条件	良否の判定方法および判定基準	
	点検項目	点検内容	運転確認	定期点検		臨時点検			
				月点検	年点検				
道路排水設備	全設排水設備	清掃状態		-	E		休	ひどい汚れ、油等の付着がないこと。	
		外観		-	E		休	変形、損傷がないこと。	
	ポンプ設備	水中ポンプ	振動・騒音		-	E, H, S		運	異常のないこと。
			電流値		-	M		運	規定値であること。
			電圧値		-	E		運	規定値であること。
			吐出圧		-	E		運	規定値であること。
			絶縁抵抗		-	M		休	基準値以上であること。
			排出状況		-	E		運	正常に排水していること。

図-8 RCM解析結果に基づく点検項目表の改善

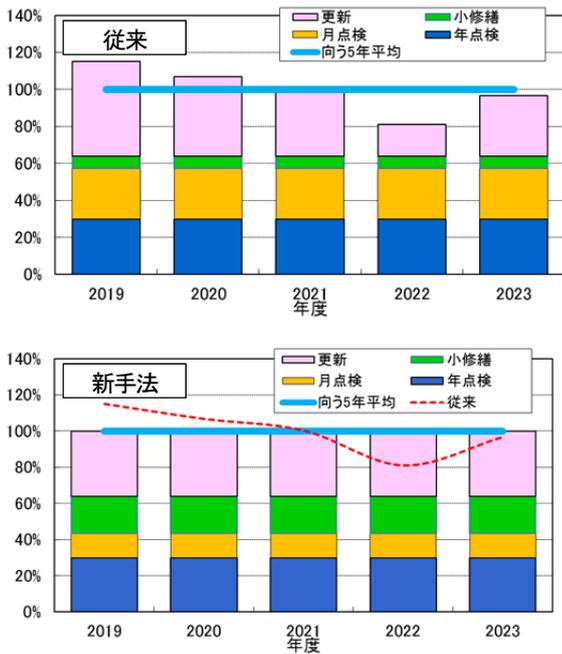


図-9 維持管理計画コストの比較

よる修繕や更新（状態監視保全）では時期の見極めが困難で最適な時期に対応できていなかったことから、機器単位で経過年数により更新する時間計画保全を取り入れることとした。なお、予定の年次より早い時期での故障等が発生した場合は緊急事後保全を実施し機器更新するとともに更新年を見直すこととする。逆に予定年次より早い故障が発生しない場合はさらに更新年を伸ばすことが可能と考えられるので統計処理により更新年を定期的に見直すことで適切な保全を実施することとする。

(3) 新しい維持管理手法の効果（維持管理計画）

新しい維持管理手法による維持管理を行う維持管理計画を策定しコスト効果を検証した結果を図-9に示す。

特に、月点検を日々の運転確認に変更することで、月点検のコストをこれまで後回しとなっていた部品交換に安定して活用できることから、緊急事後保全の確実な実施の担保となることがわかった。

また、機器更新の年数を定めたことで計画的に機器更新できるため、年間の維持管理費の平準化も図られる。

このように、機能の確保の確実性の向上が経済的に実現できる。

(4) 業務の効率化を進めるための取り組み

今回の検討により、維持管理（特に点検）の合理化が図られるが、名古屋国道事務所において維持管理する設備数そのものは変わらないため、点検結果の整理や維持管理計画の立案と見直しなどには多大な労力を要することは変わらないといえる。

このため、今回すべての設備の信頼性解析を実施し新しい点検項目を整理したのに合わせ、点検結果を電子

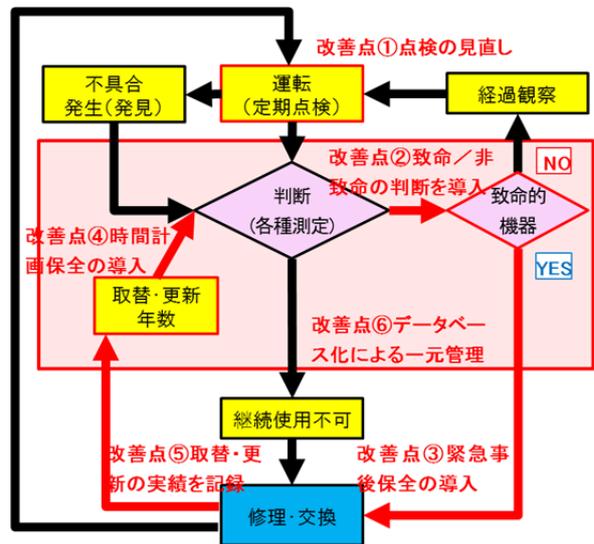


図-10 名古屋国道事務所道路機械設備の保全サイクル図

化して保存することで、設備や機器の履歴の管理や、機器更新年の定期的な見直しなどを行うデータベースシステムも整理した。

これによりこれまで時間を要していた点検結果がペーパーレスで即時に点検者から事務所担当課へ送付されるため点検作業そのものも効率化できる。

また、このデータベースも含む今回の検討成果を用いて既存の「点検基準等」を補足する「名古屋国道事務所道路関係設備(機械設備)点検・整備・更新マニュアル(案)」を策定して、事務所担当者または保守点検や維持修繕受注者が変わっても同一思想で維持管理を続けていけるような体制作りも行った。

図-10に今回の検討結果に基づく維持管理手法による保全サイクルを示す。

6. おわりに

今回名古屋国道事務所の道路機械設備をより効率的に維持管理していくための検討を行った結果に基づき新しい維持管理手法をとりまとめることができた。

すでに新しい手法による点検や維持管理を始めており、効果の確認や新たな問題点の有無等を確認しながら、維持管理の合理化を進めていきたい。

名古屋国道事務所は多数の設備を管理していることから新たな取り組みによる改善の効果は大きいものと考えられるが、道路機械設備がもつ特徴は共通していることから、本報告が他事務所における維持管理業務の改善の参考になれば幸いである。

謝辞：本検討にあたり現場調査の実施には名古屋国道事務所各維持出張所の皆様及び維持管理工事・業務等受注者の皆様のご協力があったことを記し謝意を表します。