

河川機械設備小委員会中間報告（たたき台案）
～河川排水ポンプにかかる考察～

1. 中間報告の趣旨

河川機械設備にかかる大更新時代の到来が必然である中、また、気候変動の影響への対応が求められる中、これらの課題に対応するため、従来の考え方からのパラダイムシフトを図った上で、整備・更新を加速化させる「河川機械設備のあり方」について、令和3年2月18日付で、国土交通大臣より、社会資本整備審議会に諮問があり、これについて、同審議会から河川分科会に付託され、本小委員会において審議を行ってきたところ。

国土交通省において進めている「マスプロダクツ型排水ポンプ」の開発を踏まえ、第一回委員会における「河川機械設備のあり方に関する論点（案）」のうち、「I. 河川機械設備のあり方にかかるパラダイムシフト」にかかる部分について開発を踏まえ先行して審議を行い、中間報告としてとりまとめた。

なお、本中間報告及び開発における実証試験の結果等も踏まえ、今後「河川機械設備のあり方」全般について審議を行い、令和4年夏頃に最終的なとりまとめを行う予定である。

今回の中間報告では、河川機械設備においてシステム全体として、より高い信頼性を確保するため、新たに「総合信頼性」の概念の導入を提示するとともに、排水ポンプのマスプロダクツ化の実証試験の開始を端緒に、排水システムへの「N+1」（リダンダンシー）の導入、「交換保全」、「N+1保全」を前提とした「省力化保全」といった新たな保全手法の提示を行った。

さらに、気候変動のシナリオへの対応について、整備・更新の機会に取り組むことを提示した。

これら新たな概念の導入等により、河川機械設備のあり方のパラダイムシフトを図るべきであり、今後、最終的なとりまとめに向け、議論の深化を図る。

なお、マスプロダクツ型排水ポンプは、既存のポンプの更新だけではなく、頻発する内水被害等に対するポンプ整備のハードルを下げると想定され、水害の激甚化・頻発化への対応が期待される。

2. 河川排水ポンプの現状について

戦後の国土復興は昭和23年の建設省設置法公布（現国土交通省）により一段と加速し、国民の生命や財産を河川の洪水から軽減するための河川排水

ポンプ施設は九州地方を中心として各地に設置されていった。

国土交通省直轄の排水機場は昭和25年に設置された九州地方整備局寒水川（しょうずがわ）排水機場が最初である。翌年には同じ九州地方整備局に山ノ井下流排水機場など4機場が相次いで設置された。なお、これ以前の排水機場として九州地方整備局轟木排水機場（昭和22年）、関東地方整備局谷田川第一排水機場（昭和23年）、谷田川第二排水機場（昭和24年）があるが、これらの機場は地方自治体（県）によって設置され、その後、国に移管されたものである。

（1）排水ポンプの整備状況（資料4_別紙1）

高度成長期を中心に整備が進められ、令和3年6月時点では、国が管理する河川排水機場は444箇所、総排水量約5,700 m^3/s 、都道府県が管理する河川排水機場は421箇所、総排水量約4,300 m^3/s 、国と都道府県管理を合わせると、合計865箇所、10,000 m^3/s を超える総排水量となっている。

地域的には国が管理する施設では、施設数で九州地方が全国の約28%を占めており、排水量では関東地方が全国の約25%を占めている。

一方、都道府県が管理する施設では、施設数で佐賀県、埼玉県、兵庫県の間で多く、排水量では愛知県、埼玉県、兵庫県の間で多くなっている。

（2）排水ポンプ種別

1）設置年度別（資料4_別紙1）

高度経済成長に伴い、昭和40年代から全国規模で排水機場の整備が促進。令和2年3月時点で、国、都道府県管理を合わせた865施設のうち、設置後40年経過している施設は約30%、10年後には約50%、20年後には約80%を占め、今後、整備・更新を必要とする施設が急増することが想定される。

2）ポンプ排水量別（資料4_別紙2）

施設規模別（総排水量）では、総排水量が10 m^3/s 未満の小規模な排水機場が全体の6割以上を占めており、10～30 m^3/s 未満の中規模排水機場が約3割、30 m^3/s 以上の大規模排水機場は1割に満たない状況である。また、設置後40年以上経過する施設規模別の割合は、小規模機場では2割程度であるのに対して、中規模、大規模では5割程度と高くなっている。

3) 駆動機関別（資料4_別紙3）

ポンプを駆動する機関別は全体の約半数でディーゼル機関が採用されている。排水ポンプは台風などの出水時に運転するものであり、確実な運転が要求されており、停電などの不測の運転中断を回避するため内燃機関を標準としている。また、近年では大型ポンプにガスタービンエンジンを採用する施設が増加している。

1台あたりの排水量が $1\text{ m}^3/\text{s}$ 前後のポンプでは、内燃機関・電動機ではなく、主に水中モーターポンプを設置している。

(3) ポンプの市場（資料4_別紙4）

ポンプ建設市場は、1998年（約1500億円）をピークに縮減傾向にあり、2020年（約600億円）には半減している。また、治水分野は1998年（約400億円）をピークに2020年（約100億円）には大幅に低減している。

(4) 排水ポンプの管理実態

河川ポンプ施設は、国土の保全と国民の生命・財産を守る根幹的な役割を果たす河川管理施設の一つである。内水排除用ポンプ設備は、通常はほとんど運転されることはなく、その稼働時間は短いですが、一旦出水となると確実に機能することが要求され、また、機械の設置される環境は極めて厳しく、装置・機器には高い信頼性が要求される。

1) 維持管理にかかる予算推移（資料4_別紙5）

（河川維持修繕費）

直近10年で維持修繕費全体は毎年増加しており、平成24年度基準で約25%増となっている。そのうち機械設備の維持管理にかかる予算は、約150億円前後で推移。

（河川工作物応急対策事業費）

直近10年で応急対策事業費は平成24年度基準で約2倍に増加している。そのうち機械設備関係の予算は、約80億円程度で推移。（全体の約9割が機械設備関係）

2) 維持管理のあり方

河川ポンプ設備がその使命を十分に果たしていくためには、常に信頼性の高い状態にあることが必要となる。

まず、設備自体は信頼性が高く、運転操作・維持管理を行い易いものでなければならない。また、故障発生を未然に防止するための機能維持や機能回復（保全）を目的とした日常の点検整備が必要となる。

3) 現状の点検整備（資料4_別紙6）

現状の点検整備は「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）（平成27年3月）」により、その目的別に区分して設備及び機器等の保全方式や特性に合った点検の種類と方法を適用している。

4) 現状の保全方式（資料4_別紙7）

保全方式は予防保全（定期的な整備および劣化兆候を監視する等）と事後保全（緊急保全および通常事後保全）の使い分けを行っている。

5) 技術者の状況（資料4_別紙8）

国土交通省の機械工学を専攻した職員、民間側の河川ポンプ事業に従事する職員数いずれも40歳代、50歳代が多く、30歳代以下が急激に減少する人員構成となっており、10～20年後に技術者数が大きく減少すると想定される。

6) 運転操作員の実態（資料4_別紙9）

国が管理する排水機場の約8割が自治体に委託されており、また運転操作員の約5割が60歳以上で、今後更なる高齢化が想定される。

7) 排水機場個々の特異性（資料4_別紙10）

排水機場の設備構成、機器構成、運転操作方式などは建設年度や地域特性等によって異なり、施設毎に特異がある。

そのため、点検員・運転操作員の育成は施設毎に必要となり、特に操作設備の相違は運転操作員の負担となっており、標準化に向けた検討が必要である。

8) 河川ポンプ設備の故障データ（資料4_別紙11）

河川ポンプ設備の近年の点検結果において、「○（正常）」評価の施設は減少し、「△（要整備）」評価の施設が増加傾向である。また、部品単位で故障割合を整理すると、主ポンプと主原動機で約6割を占め

ている。ポンプ関連の工事件数では「修繕」や「機器取替」といった工事が9割以上を占めている状況である。

近年の故障事例としては、致命的機器（部品）の損傷が多く、部品調達等で出水期間中に数十日機能損失している状況である。

9) 訴訟等事例（資料4_別紙12）

平成25年9月台風18号の豪雨で、京都市が管理する排水機場ポンプが停止し浸水被害が発生。

浸水被害検証委員会では、浸水被害の原因はポンプ停止という検証結果が出され、京都市が操作委託業者に対し、被害者への損害賠償など市が負担した額を京都地裁へ提訴した事例などがある。

3. 河川排水ポンプのあり方について

マスプロダクツ型排水ポンプの開発を踏まえ、「河川機械設備のあり方にかかるパラダイムシフト」について審議を行い、とりまとめた。

なお、マスプロダクツ型排水ポンプについては、今年度末を目途に実証試験に取り組んでいるところであり、本小委員会における議論と現場実証を相互に関連させながら、河川機械設備におけるパラダイムシフトの実現を目指すものとする。

(1) 総合信頼性 (dependability) の導入について

- ・ 論点1 「余裕」の採用によりリダンダンシーを確保し信頼性を向上
- ・ 論点2 小ロット化により停止時の機能低下を最小限に抑え信頼性を向上を統合

ポイント

- ・ 個々の機械設備の信頼性の確保だけでなく、システム全体として信頼性を確保
- ・ 総合信頼性 (dependability) を新たに位置づけ
- ・ 小口化により、小規模な機能損失の可能性は高まるが、システム全体に影響を及ぼすような機能損失に至る可能性はかなり小さくなり信頼性は向上
- ・ 小口化に加え、N+1をもとに整備することにより、信頼性はさらに向上することから、N+1を検討することが適切
- ・ リダンダンシーについても同様
- ・ 共通化・規格化により保全性、保全支援性能を向上

- ・ マスプロダクツ化により大幅にコストダウンが図られたポンプについては、中小規模の排水機場に第一優先的に検討
- ・ 当面の間、マスプロダクツ型の場合はN+1をもとに整備することが望ましい

○現在の状況及び課題

現行の揚排水ポンプ設備技術基準（平成26年3月）において、揚排水ポンプの設置台数は、「維持管理性、信頼性、関連施設、用地等を含めた経済性により決定する」とし、ポンプ容量は「同じポンプ形式であれば吐出し量を大きくして設備台数を減らした方が機場本体や上屋の建設費、設備の点検・整備費を含めコスト的に有利となる。」としていることから、原則として、吐出し量を大きくして設置台数を減らす方向で整備が行われている。

また、「排水ポンプ設備においては、維持管理の充実による信頼性の確保を前提に、主ポンプには予備機を設置しないことを標準とする。」としており、設備能力には余裕がない場合がほとんどである。

このような整備手法により設置された排水機場においては、設備の停止が施設全体の能力の大幅な低下をもたらす危険性を内在している。

河川機械設備が、水害時において稼働できないことは、人命・財産を危うくすることに直結する。

今後の機械設備の大更新時代を機に、従来の個々の設備の信頼性の確保を前提とした機械設備のあり方から、壊れることを考慮し、排水機場のシステム全体としてより高い信頼性の確保に向けパラダイムシフトを図るべきである。

一方、マスプロダクツ型排水ポンプの開発により、従前のものより大幅にコストダウンを図ったポンプ設備の導入の実証が進められており、経済性についても過去の状況と大きく異なってくる可能性があることも踏まえるべきである。

○対応方針の考え方

個々の機械設備の信頼性の向上を対象とするだけでなく、システム全体として信頼性について考えるべき。

その際、品質管理における総合信頼性（ディペンダビリティ）の考え方をもとに、これらを検討する。

JIS規格の品質管理において「総合信頼性」は、アベイラビリティ、信頼性、回復性、保全性等を含む品質特性に関する包括的な用語として定義され

ている。

アベイラビリティについては、信頼性、回復性、保全性を組み合わせた特性として定義されていること、回復性は、故障時に事後保全を実施せずに回復する能力として定義されていることから、ポンプについては、これらを除き以下の表のように、特に①信頼性、②保全性、③保全支援性能が関連する項目となると考えられる。

このうち、信頼性については、定量的な評価を試みた。

排水ポンプの設置における検討項目（案）

| | | 評価手法 | 評価結果 | 対応方策 |
|------------------------|---|---------------------------|--|--------------------------------|
| 総合信頼性 dependability | 信頼性 reliability | 故障により稼働しない期待値及び排水規模別の確率分布 | 総排水規模に対しては故障確率 p により決定、小口の方が大機能損失の可能性が低い | 小口化による機能損失回避 N + 1による増強 |
| | 保全性 maintainability | 定性的に評価 | マスプロダクツ化した方が保全性には優れるが、台数（保全対象）が増加することも留意 | 台数の増加も含め総合的に判断 |
| | 保全支援性能 maintenance support performance | 定性的に評価 | マスプロダクツ化した方が支援体制は充実する | できるだけマスプロダクツ化を図る |

用語の定義

総合信頼性 (dependability) : JIS Z8115 192-01-22 ※分類 192-01 : 基本概念

アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに遂行するための能力

注記 1 : ディペンダビリティすなわち総合信頼性は、“アベイラビリティ” (192-01-23)、“信頼性” (192-01-24)、“回復性” (192-01-25)、“保全性” (192-01-27)、及び“保全支援性能” (192-01-21)を含む。適用によっては“耐久性” (192-01-21)、安全性及びセキュリティーのような他の特性を含むことがある。

信頼性 (reliability) : JIS Z8511 192-01-24

アイテムが、与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行する能力

保全性 (maintainability) : JIS Z8511 192-01-27

与えられた運用及び保全条件の下で、アイテムが要求どおりに遂行できる状態に保持されるか、又は修復される能力

保全支援 (maintenance support) : JIS Z8511 192-01-28

アイテムを維持するための資源の供給

保全支援性能、保全支援能力 : JIS Z8511 192-01-29

保全支援に関する組織の有効性

冗長 : JIS Z8511 192-10-02 ※分類 192-10 : 信頼性設計

システムにおいて、機能を達成するために複数の手段を用意すること

注記3 冗長で、手段の一部が故障してもシステムは故障とならない性質を特に“冗長性”という

二項分布 : JIS Z8511 192J-13-117 ※分類 192-13 : 信頼性評価

1回の試行で、ある事象の実現する確率が p であるとき、試行を独立に n 回繰り返し、この事象が k 回実現する確率が

$$P_r(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n - k}$$

① 信頼性 (reliability)

信頼性については、故障によりポンプが稼働しない期待値を用い定量的に評価することを試みた。この数値が小さいほどよい。

n 台のポンプの稼働についてそれぞれ独立事象として二項分布により確率評価を行った。

具体的に総排水規模 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ のポンプ場を想定し、2台分割、10台分割、1台追加した10台分割+1台追加整備の3ケースについて評価した。

| ポンプ配置イメージ | ポンプシステム | 設定故障確率 |
|-----------|---------|-----------------------------|
| | 2 | 0.5 0.1 0.01 0.005 |
| | 10 | 0.5 0.1 0.01 0.005 |
| | 11 | 0.5 0.1 0.01 0.005 |

結果として、システム全体についての故障により稼働しない期待値は、 n （総排水規模＝機数×個々の排水容量）× p （故障確率）になり、ポンプ容量と台数の組み合わせにかかわらず、総排水規模の期待値はポンプの故障率のみで決まる。すなわち、総排水規模に対する期待値は設置台数割とは無関係に、故障確率のみで決まる。

確率分布については、故障率について定量的な知見は乏しいが、ポンプ規模にかかわらず仮に一定として、 p （故障確率）＝ 0.01 （ 1% ）を仮定した場合、前者においては、 1 機停止し $5\text{ m}^3/\text{s}$ の機能を喪失する期待値が約 2% に対して、後者の場合は、 1 機停止し $1\text{ m}^3/\text{s}$ 機能を損失する期待値が 9% 、 2 機停止の期待値は 0.4% 、それ以上の機能停止では、 0.1% 以下と極めて小さくなる。

すなわち、小口化することにより、小規模な機能損失の可能性は高くなるが、システム全体に影響を及ぼすような機能損失に至る可能性は極めて低くなる。リダンダンシーについても同様である。

また、通信設備や原子力の分野で採用されている「 $N+1$ 冗長」をもとに、排水規模に対して $+1$ を設けることにより、例えば、 $1\text{ m}^3/\text{s} \times 11$ と 10% 増し（ 1 台追加）の場合、 $10\text{ m}^3/\text{s}$ を下回る確率は、 0.5% と 10 機の場合の 9% の $1/20$ となり、計画排水規模を下回る確率は極めて小さくなる。 $+1$ を設けずに故障確率を下げることで同様の安全性を担保するためには故障確率を $1/20$ （ $p=0.0005$ ）に下げる必要がある。

この試算から、総排水量が同じ場合、小口化すれば、 1 台稼働しない確率は高くなるが、大規模な能力損失に至る確率は低くなり、さらに $N+1$ による $+1$ 分を整備することにより、計画排水規模を下回る確率も大きく低下し、信頼性は格段に向上する。

緊急時において確実に稼働することが求められる排水機場の役割、また、後述する気候変動への対応を鑑みれば、排水機場の規模等を踏まえつつ $N+1$ を検討することが適切である。また、機能損失は故障だけでなく、機場全体が浸水するような大規模水害、燃料補給の途絶など様々な外的要因により発生する可能性もあることから、これらについても検討し、対応することが重要である。

② 保全性 (maintainability)

保全性及び保全支援能力については、定性的に評価をおこなった。

現在のポンプ施設は、操作手順、メンテナンスの手法などについて、建

設年度、地域特性、メーカーの特徴により機場毎に特異性があり、その伝承や習熟が必要となっている。

共通化・規格化した場合には、これらが共通となり、保全性の向上が見込める。

特に、マスプロダクツ化により、サブシステム自体をストックし、交換することが現実的に可能となることから、機能の回復の迅速化が期待でき、保全の省力化を図ることも可能である。

一方、小口化に伴い台数が増えることにより、保全対象、操作対象が増え操作等の負担が増すこととのトレードオフ関係にも留意する必要があり、保全性について総合的に判断する必要がある。

なお、マスプロダクツ化については、今後、実証実験を行う予定であり、具体的な保全手法については、これを踏まえることとする。

| | 小口化・規格化(マスプロダクツ型) | 一品・特注生産(従来型) |
|--------------|--|--|
| 考え方 | 特徴：マスプロダクツ化 ポンプ能力(固定)×台数 予防保全に加え交換前提の保全も可 | 特徴：一品毎に設計・製作・据付 施設毎に設計・製作・据付 予防保全が原則 |
| 全体システム | ◎故障時等の代替機・部品調達容易 △設置台数が増え保全が煩雑 △多数の制御が必要な場合もある | ×故障時等の代替機・部品調達に難 ○大規模化すれば保全対象が限定 ○大規模化すれば制御対象が限定 |
| 整備性(メンテナンス性) | 特徴：車両用エンジンを流用等 ○使用台数多(ノウハウ共通) ○故障時の復旧の迅速性が期待できるのであれば保全内容を省力化可能 | 特徴：船舶用エンジンを改造 △使用台数少(機械毎にノウハウ) △故障しないように厳格な維持管理が必要(オーバーホール等) |
| 交換 | エンジン：短時間で交換可能 | エンジン：交換は長期を要する |

③ 保全支援性能 (maintenance support performance)

保全支援性能については、部品の供給といったサプライチェーンの確保、技術者の確保等を踏まえれば、マスプロダクツ化を図ったものほど優れていると言えるが、製造終了後の部品などの供給についてはよく確認しておく必要がある。

| | 小口化・規格化(マスプロダクツ型) | 一品・特注生産(従来型) |
|---------|------------------------------|---------------|
| 代替機供給体制 | ○生産中は対応可能、後継機種で代替 | ×生産に長期を有する |
| 部品供給体制 | ○部品供給期間内は迅速 | ×特注生産部品の入手は困難 |
| 人材確保 | ○エンジン：自動車整備士可能 △ポンプ：専門技術者 | △専門技術者 |

④ まとめ

以上より、今後、個々の排水設備の信頼性の確保だけでなく、システム全体としての信頼性の確保について目指すべきであり、これについて、総合信頼性（ディペンダビリティ）の概念を新たに導入すべきである。

ポンプ設備の設置台数等の検討にあたっては、維持管理性、用地なども含めたライフサイクルの観点からの経済性等を考慮しつつ、総合信頼性（ディペンダビリティ）の観点、特に小口化を図る方が総合信頼性の観点からも優れていることを踏まえつつ総合的に判断することが必要である。

特に、マスプロダクツ型については、建屋、吸水槽など、排水機場全体としてのコストについて実証実験を通じて明らかにし、経済性に大きく優れている場合には、中小規模の排水機場については、マスプロダクツ型の採用を第一優先的に検討することが考えられる。

その際、1台分（ $1\text{ m}^3/\text{s}$ ）の+1を加えることが、総合信頼性の向上に大きく寄与すること、また、マスプロダクツ型については、運転実績が乏しく故障率等の知見の蓄積が乏しいことから、定量的なデータが蓄積される当面の間は排水機場の規模にもよるが1台分（ $1\text{ m}^3/\text{s}$ ）のN+1を検討することが適切である。

さらに、現在は $1\text{ m}^3/\text{s}$ のポンプを対象に実証実験に取り組んでいるが、これより大規模なポンプについてもマスプロダクツの採用が可能かどうか検討・実証することも重要である。

なお、排水規模、揚程によりどの規模のポンプが経済的かなどを検討・判断できるように、整備・更新事例の蓄積・分析を行うための情報収集・分析体制を構築すべきである。

(2) 気候変動の影響を考慮した計画・設計（論点2）

ポイント

- ・ 2°C 上昇分については、整備・更新時点で対応
- ・ 2°C 以上上昇分については、将来の施設の増強で対応可能とする

- ・ポンプ排水量の増量だけでなく、揚程、湛水量の増大なども含め総合的に対応
- ・N+1の+1分を気候変動対応分としても活用

○現在の状況と課題

気候変動については、社会資本整備審議会答申（令和2年7月）「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について」において、「産業革命以前と比べて世界の平均地上気温を2℃に抑えるシナリオ（パリ協定が目標としているもの）でも、20世紀末と比べて2040年頃には、全国の一級水系で治水計画の対象とする降雨量の変化倍率が1.1倍、治水計画の目標とする規模の洪水の流量の平均値は1.2倍になり、洪水の発生頻度の平均値は約2倍と試算された」とし、河川整備計画の目標流量の見直しについて、「気候変動予測に関する何れのシナリオでも、2040～2050年には産業革命前と比べて気温が2℃上昇することとなっている。今後、20～30年程度の当面の河川整備の内容を定める河川整備計画を策定する場合には、その目標とする期間内に気温が2℃上昇することとなるため、目標とする治水安全度を確保するためには、気候変動による降雨量の増加を考慮した目標流量に見直す必要があり、事業効果の早期発現が可能な施設の整備や既存施設の活用など、整備メニューの充実を図る必要がある」とされているところである。

○対応方針の考え方

排水設備の耐用寿命を考えても、今後、整備・更新する施設については、2040～2050年を超えて稼働することとなるものであることから、原則として、2℃上昇に対応した目標流量について今後の整備・更新時点で対応するとともに、これを超える気候変動の進展にともなう変化については、能力の増強できることを前提に整備・更新を行うことを原則とする必要がある。

この際、排水設備の規模を洪水流量見合いで増加させるのではなく、排水設備の目的が、湛水側（内水側）の最高水位を下げ、湛水を防御することにあることから、ポンプの揚程が高くなると吐出し量が小さくなり、揚程が低くなると吐出し量が大きくなるポンプの特性を踏まえ、想定する降雨規模に対して適切な排水設備の規模、揚程を設定することが重要である。

特に、排水ポンプの多くは海に近い低平な地域に設置されている場合が多く、海面上昇、高潮外力の増大による影響を受けることに対応する必要がある。

さらに、ポンプの排水設備の増強以外にも、湛水貯留量を増加させるこ

と、例えば遊水機能の確保、河道拡幅等により対応する手法について検討することも重要である。

あわせて、整備・更新時点において、気候変動がさらに進んだ場合に、どのような手法で能力の増強が可能なのか具体的に検討し、対応できるようにしておくこととする。

以上について、具体的手法についてさらに検討を行い、技術基準等に定めるべきである。

なお、気候変動が進展する途上においては、気候変動に対応して確保する排水設備と総合信頼性向上のためのN+1を兼ねて取り扱うことが適切である。

(3) 効率的な更新を行うための設計・整備（論点3）

ポイント

- ・単純更新でなく、マスプロダクツ化、技術革新の導入を検討
- ・サブシステム毎に更新の必要性を検討するが、使えるサブシステムでも使い続けることが適切かどうか検討
- ・将来の手戻りがないように検討

○現在の状況と課題

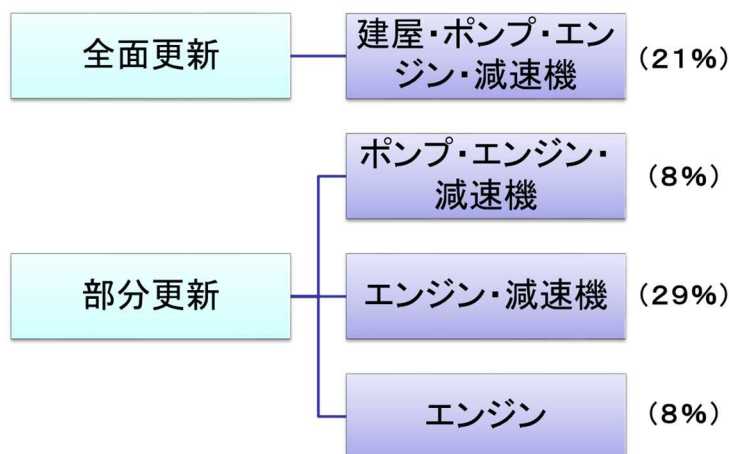
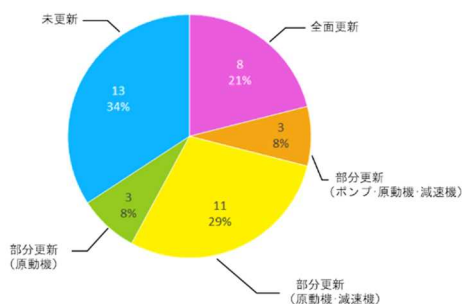
河川機械設備は、昭和50年代をピークに昭和期に整備されたものが多く、整備後50年以上経過した施設の急増が今後見込まれる。河川機械設備は、長寿命化を第一としつつも、橋梁等の構造物とは違い、その長寿命化にも限度があり、老朽化した施設の急増に伴い、一斉に更新が必要となる「大更新時代」が到来する。

気候変動の影響による災害の激甚化・頻発化に対応しつつ、「大更新時代」に対応していくため、施設更新ピークの平準化、効率的な更新を行うための計画、設計、整備手法が必要である。

国が管理する機場のうち、既に70年を経過した排水機場は5機場、60年を経過したものは8機場、50年を経過した機場は25機場となっている。

これら整備後50年を経過した排水機場について、更新実績などを整理すると以下の通りとなる。

排水機場の更新実態
(設置後50年以上経過 N=38)



※未着手: 34%

このうち、1件は、建屋は現状の施設を活用しながら、ポンプ・エンジン・減速機の更新にあたって、内部の高流速化を図ることにより、外形的な規模を変えずに、約40%の排水量の増加を図っている。

○対応方針の考え方

災害の激甚化・頻発化に対応しつつ大更新時代に対応するため、総合信頼性の確保、気候変動への対応等の観点を踏まえつつ、単に造り替えるのではなく、パラダイムシフトを図った設備や高流速化等の技術革新の導入検討をライフサイクルコスト等の観点も含め進めるべきである。

大更新時代の到来が想定される中、できるだけ既存設備の有効活用を図ることも考えるべきであるが、一方、マスプロダクツ型排水ポンプ等のパラダイムシフトを図った機械設備については、大幅なコストダウンにより有効活用可能なサブシステムも含めてこれを採用した方が、コスト的にも総合信頼性の観点からも有利となる場合が想定される。

具体的には、内燃機関のみ従来型のものに更新するのに対し、ポンプも含めてマスプロダクツ型に更新した方がライフサイクルコスト、総合信頼性において優位な場合も想定され、使い続けるべきかどうか、総合的な視点から検討することが必要である。

このため、実証においては、単に当該サブシステムだけでなく、システム全体のコストダウン効果について、明らかにするように取り組むべきである。

また、更新したサブシステムと更新を行わなかったサブシステムについて将来手戻りが生じないように、残耐用年数等の整合性を確認する必要がある。

(4) 機械設備のマスプロダクツ化、規格化（論点4）

ポイント

- ・サブシステム毎にマスプロダクツ化を検討
- ・規格・仕様の統一により、生産ロットの拡大を図ることも有効
- ・BIM/CIMの導入による3次元データを用いたにより整備

○現況と課題

機械設備の多くは、それぞれの仕様に合わせて特注・受注生産により整備を行ってきており、コストがかかっているとともに、部品供給、技術者確保を困難にしている。

また、整備年代、メーカー毎にポンプの操作制御方法、保全方法が違うことから、操作員は施設毎に習熟が必要であり、運用・保全面でも負担となっている。

一方、排水機場の91%は総排水量 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 以下の中小規模排水機場であり、上述の総合信頼性の確保を考えると、同一排水量のポンプを基本に小口化することも可能である。

現在、機械設備に関しては、竣工時の完成図書をもとに、その後の改修等においてこれを部分的に修正して活用しているが、改修を経る毎に図面による全体の的確な把握が難しくなっている。また、点検においては、機器・部品毎の確認結果を表形式で整理しており、位置情報を伴わないことから、点検後の再現が困難であり、不具合が生じた場合等において確認、対応に時間を要している。

○対応方針の考え方

特注生産による課題を解決するためには、単に、規格・仕様を統一するだけでなく、各サブシステムについてマスプロダクツ化された製品を導入し、コストダウン、部品等のサプライチェーンの確保、技術者の確保を図ることを目指すべきである。

1～ $2\text{ m}^3/\text{s}$ 規模の排水ポンプの駆動機関には100kw前後の原動機を使用している例が多く、これは、2000cc～3000ccの車のディーゼルエンジンに相当する。起動トルクの確保等の課題があるが、技術的課題が解決できれば、大幅コストダウン、部品補給体制の確保、自動車整備工等によるメンテナンスの実施等を図ることが期待できる。

このように、マスプロダクツが採用可能なサブシステムについては、実用可能かどうか、コスト削減効果はどの程度か等実証の上、導入を進めるべき

である。

その際、エンジンの始動、クラッチの操作の手順などの操作・制御方法についてできるだけ統一を図るべきである。

マスプロダクツ型の排水ポンプについては、使用する車のエンジンのタイプが明らかなことから回転数も決まっており、例えば、減速機の減速比も事前に固定でき、マスプロダクツは存在しないとしても、規格・仕様の統一により生産ロットの拡大が見込めるサブシステムもあり、コストダウン等が見込めるため、積極的に取り組むべきである。

実証においては、当該サブシステムだけでなく、小口化に伴う、例えば吸い込み等、設計において考慮すべき事項、機械設備に加え、土木、建築等も含むシステムトータルとしてのコスト等についても検討すべきである。

このようにマスプロダクツ型排水ポンプについては、これまでの技術基準とは異なり、計画、整備、操作・制御、維持管理、更新まで一連のものとして、いくつかのケースを想定しつつ新たに技術基準を設けるべきである。

その際、製造過程における検査等についても、例えば現在全数のポンプ性能試験を求めているが、同一設計については1台に減らすなど、必要性を吟味し、検査過程等についてもパラダイムシフトを図る必要がある。

さらに、機械設備についても、BIM/CIMを導入し、常に最新の3次元データを整備するとともに、点検結果や不具合箇所等と位置情報を紐付けることにより、緊急時の状況把握、部品の特定等を容易にし、対応及び情報共有の迅速化を図るべきである。

(5) マスプロダクツ化を踏まえた新たな保全手法（論点5）

ポイント

- ・ マスプロダクツ化したサブシステム自体をストックし、故障時には交換することにより迅速に復旧（交換保全）
- ・ N+1により、故障時でも必要な機能が確保され対応に時間的余裕（緊急復旧を行わない）
- ・ これらを前提に、保全内容の省力化（省力化保全）を導入
- ・ マスプロダクツの保全内容と同じとする（保全のマスプロダクツ化）

○現況と課題

現在の機械設備については、維持管理の充実による信頼性の確保を前提に、原則として予備機を設けないなどしてきたところ。

保全については、一般的な保全体系に基づき、予防保全と事後保全とを使

い分けて実施してきたところ。

その前提の一方で設備の故障は、昭和57年以降38年間で確認できただけでも334件発生しており、かつ、ストックしている部品と交換できるような故障以外は、復旧まで1週間から数週間等の長期間を要している。これは、一品、特注生産が故に部品供給に時間がかかる、部品がない場合にはその製作から必要となっているなど、サプライチェーンにかかる問題が主な原因となっている。

また、ポンプの主原動機にかかる故障が43%、発電設備の原動機にかかる故障が14%と故障の6割が内燃機関に関わるものとなっており、特定のサブシステムにおける故障が多い。

ポンプにかかる技術者数の減少も今後見込まれており、現在の保全体制を維持し続けることが困難になることも想定される。

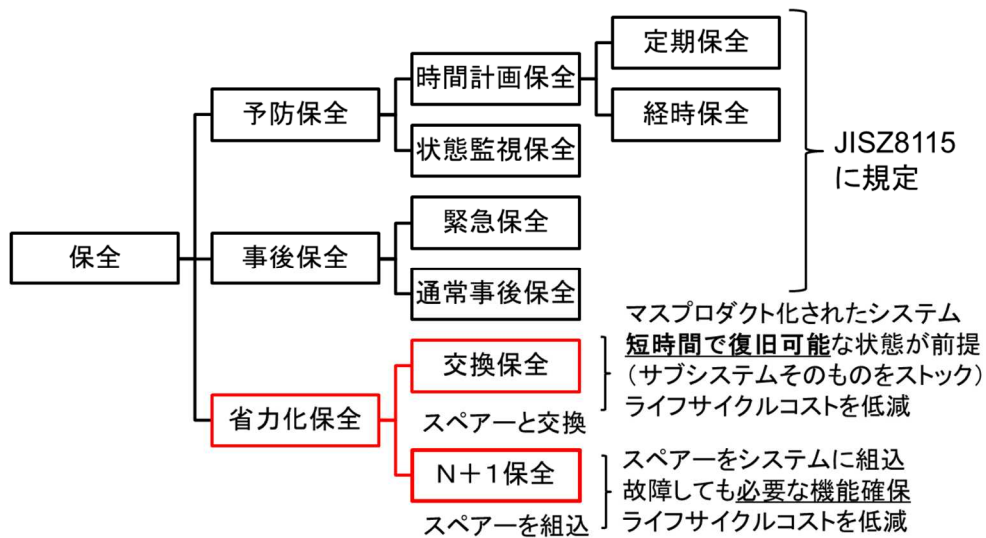
○対応方針の考え方

マスプロダクツ化により、製造停止後どの程度の期間部品が供給されるかという課題はあるが、供給される期間内においては部品の供給を迅速に受けることが可能となる。

また、マスプロダクツ化による大幅なコストダウンが図れれば、サブシステム自体を予備パーツとしてストックすることが可能となる。故障した場合、修理・補修を行うのではなく、サブシステム自体を交換することにより迅速に機能回復を図ることが可能となる。

これにより、今までの故障しないことを前提として行ってきた保全に対し、保全にかかるコストと長寿命化により更新時期を先送りできるコストを比較し、迅速な「交換保全」を前提に省力化を図った保全を行う、いわゆる「省力化保全」を行うことが可能となる。

マスプロダクツの特徴を活かす観点からも、整備時点だけでなく、保全段階においても、マスプロダクツとして行われている保全と同様とすることを検討すべきである。



さらにN+1により+1を整備した機場では、故障により機能が損なわれた場合でも、計画上必要な機能は確保できており、緊急的な復旧を要せず、補修、交換等の対応にも時間的余裕が生じる。N+1をシステムに組み込むことにより、計画規模の能力の確保を確実にする「N+1保全」によっても、「省力化保全」を行うことが可能となる。

具体的には車のエンジンにおいてはセンサーで監視をしており、これによる通常の車のエンジンの保全と同じレベルの保全で問題ないかどうか、マスプロダクツ型排水ポンプの実証試験で検討するものとする。また、マスプロダクツを採用したサブシステムについては、マスプロダクツ側の技術者を活用し、保全支援体制の強化を図るべきである。

マスプロダクツ化されたサブシステムであること、交換により迅速な機能回復が可能なこと（「交換保全」）、N+1をシステム上組み込むことにより故障等が生じたとしても必要な機能が確保されること（「N+1」）を前提に、従来の保全の概念とは異なる「省力化保全」の導入を検討すべきである。

これらの概念をもとに、「点検・整備・更新マニュアル」について改定を検討すべきである。