

河川機械設備のあり方について
(中間とりまとめ)

令和3年8月

社会資本整備審議会 河川分科会
河川機械設備小委員会

〔目 次〕

はじめに.....	1
I. 河川機械設備を取り巻く状況.....	2
II. 中間とりまとめの趣旨.....	3
III. 河川排水ポンプの現状について.....	4
1. 排水ポンプの整備状況	4
2. 排水ポンプ種別	4
(1) 設置年度別.....	4
(2) ポンプ排水量別.....	4
(3) 駆動機関別.....	5
3. ポンプの市場	5
4. 排水ポンプの管理実態	5
(1) 維持管理にかかる予算推移.....	5
(2) 維持管理のあり方.....	6
(3) 現状の点検整備.....	6
(4) 現状の保全方式.....	6
(5) 技術者の状況.....	6
(6) 運転操作員の実態.....	6
(7) 排水機場個々の特異性.....	6
(8) 河川ポンプ設備の故障データ.....	7
(9) 訴訟等事例.....	7
IV. 河川排水ポンプのあり方について.....	8
1. 総合信頼性 (dependability) の導入について	8
2. 気候変動の影響を考慮した計画・設計	14

3. 効率的な更新を行うための設計・整備	16
4. 機械設備のマスプロダクツ化、規格化	18
5. マスプロダクツ化を踏まえた新たな保全手法	19
6. 機械設備における性能規定の導入	22
7. 新たな技術開発手法の導入	25
8. 機械設備の遠隔操作の導入	28

はじめに

令和3年2月18日に国土交通大臣から社会資本整備審議会長に「河川機械設備のあり方」について諮問がなされ、同年2月25日に同会長より河川分科会あてに付託されたところである。

本小委員会は、同諮問について審議するために設置され、同年3月22日に第1回を開催して審議を開始した。これまで計4回の委員会により審議を重ねてきており、答申案を作成する中間的な整理としてここに「中間とりまとめ」を作成したものである。

I. 河川機械設備を取り巻く状況

河川ポンプ、水門ゲート等の河川機械設備は、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、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。

激甚化・頻発化する水害により、内水排水ポンプをはじめ河川機械設備の新設・増設への要請も高まっており、かつ、社会資本整備審議会河川分科会気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会の答申（令和2年7月）においても、ポンプ等の施設について、その耐用年数経過時点の気候変動の影響を考慮して機能向上を図ることが望ましいとされているところである。

このような、老朽化や気候変動の影響から河川機械設備については、更新・増設を加速化していく状況となっている。

従来、河川機械設備の整備については、個々の設備の高いレベルでの信頼性の確保を前提に予備機を持たず大規模化することが有利であるとしていることから、1基の機能停止が能力の大幅な低下をもたらすなど機能損失時のリダンダンシーの確保に課題がある。

さらに、これらの設備は、特注・受注生産であることから、扱える技術者が限定されるとともに、故障時や老朽化に伴う部品供給等が長期化しており、緊急時の対応等のメンテナンス性の確保を困難にしている。

加えて、現在の更新手法は、現施設を存置しつつ同規模の施設を新設後、現施設を撤去しており、新設より高コストとなっている。コストを縮減しつつ、効率的・効果的な更新手法及び河川機械設備の開発が必要となっている。

以上のような状況を踏まえ、河川機械設備の大更新時代の到来、に伴う整備・更新において、確実な施設機能の確保により持続的な安全・安心と聞き対応力の向上を目指すために、従来の考え方からパラダイムシフトを図った上で、今後の河川機械設備のあり方について検討する。

II. 中間とりまとめの趣旨

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、河川機械設備の整備・更新を加速化させる必要がある。

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1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)」として以下の項目を挙げた。

- I 河川機械設備のあり方にかかるパラダイムシフト
- II 河川機械設備の諸課題への対応

本中間とりまとめでは、「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、マスプロダクツ型排水ポンプの開発を踏まえ先行して審議を行い、とりまとめた。

また、本中間とりまとめ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。

今回の中間とりまとめでは、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、マスプロダクツ化されたサブシステムのストックによる迅速な復旧体制確保（「交換保全」）と、排水システムにN+1を組み込むことによる故障時の排水機能確保（「N+1保全」）から構成される「冗長化保全」という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、新設・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の導入は、導入コストの低減、維持管理性・信頼性の向上などの効果が期待できることから、既存のポンプの更新だけではなく、今後、水害の激甚化・頻発化に対するポンプ新設の手段としても期待できる。

Ⅲ. 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

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、兵庫県の順で多く、排水量では愛知県、埼玉県、兵庫県の順で多くなっている。

2. 排水ポンプ種別

（1）設置年度別

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

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、 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 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

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ることから、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おり、全体の約半数でディーゼル機関が採用されている。また、1990年代以降、系統機器の簡素化、省スペース化の観点から、主原動機にガスタービンエンジンが採用されている施設も全体の1割程度ある。

なお、1台あたりの排水量が $1\text{ m}^3/\text{s}$ 前後の小規模なポンプでは、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

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

(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・維持管理を行いやす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

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

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

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はいずれも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

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

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

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

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。

IV. 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、令和3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

ポイント

- ・ 個々の機械設備の信頼性の確保だけでなく、排水機場の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冗長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排水機場全体の経済性が大きく優れている場合は、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」こととし、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である。

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”（192-01-29）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のような他の特性を含むことがある。

信頼性 (reliability) : JIS Z8115 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、要求どおりに遂行できる能力

保全性 (maintainability) : JIS Z8115 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 Z8115 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 Z8115 192-01-29

保全支援に関する組織の有効性

冗長：JIS Z8115 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されない性質を特に“冗長性”という

二項分布：JIS Z8115 192J-13-117 ※分類 192J-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 回繰り返して、この事象が k 回実現する確率が

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

で表される分布

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 $1/20$ （ $p=0.0005$ ）に下げることが必要である。

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マスプロダクツ化を前提とした「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、大規模水害によって排水機場が浸水するほか、排水機場が浸水しなくとも周辺が浸水することで燃料補給が途絶するなど、様々な外的要因により発生する可能性があることから、機能損失が想定される事象について広く検討し、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る、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、実証試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：量産エンジンを流用等 ○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：ポンプ駆動用エンジン △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	○生産中は速やかに対応可能、生産中止後は、供給停止までの間に代替機への切替が必要	△特注での調達は可能であるが、製造に時間を要する
部品供給体制	○生産中の供給は迅速だが、製造停止後の供給は制限あり	△特注生産部品の供給期間に制限はないが、入手には時間を要する
人材確保	○エンジン(本体)：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試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試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。

また、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、新設・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。

なお、現在はマスプロダクツ化された自動車用ディーゼルエンジンを動力源として実証を進めているが、将来においてカーボンニュートラルの対応の動向を踏まえ、他の動力源がマスプロダクツ化された時点で、ポンプ設備への導入の可能性についての検討が必要である。

2. 気候変動の影響を考慮した計画・設計

ポイント

- ・ 2°C 上昇分については、新設・更新時点に対応
- ・ 2°C 以上上昇分については、将来の施設の増強で手戻りなく対応可能となるよう、予め方針を検討する
- ・ 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

○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の上昇を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約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約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。

また、「2℃上昇相当のシナリオにおける外力の変化にも幅があること、また2℃以上の気温上昇が生じる可能性も否定できない」ことから、「4℃上昇相当のシナリオは、治水計画等における整備メニューの点検や手戻りの検討、減災対策を行うためのリスク評価、河川管理施設等の危機管理的な運用の検討の参考として活用することが適当である」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、新設・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新設・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、将来的な排水能力の増強を前提に新設・更新時に対応方針を検討すべきである。

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、新設・更新時点において、気候変動がさらに進んだ場合に備え、手戻りなく排水能力の増強が可能となるようポンプ増設スペースの確保など、予め具体的対策について検討すべきである。

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。

3. 効率的な更新を行うための設計・整備

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、ライフサイクルコスト、総合信頼性の視点から検討
- ・将来の手戻りがないように検討

○現在の状況と課題

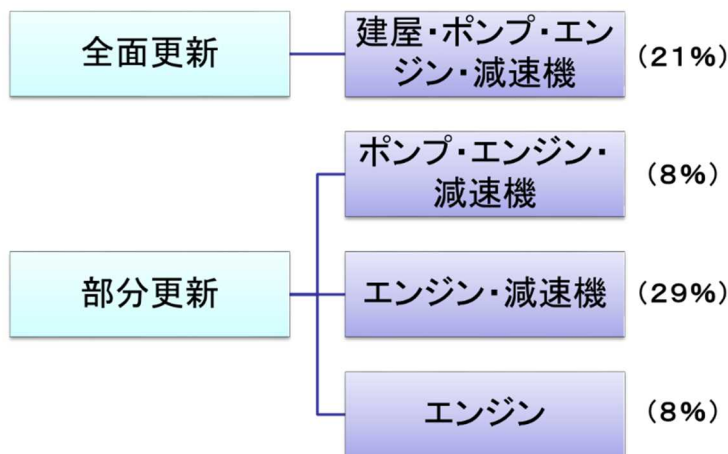
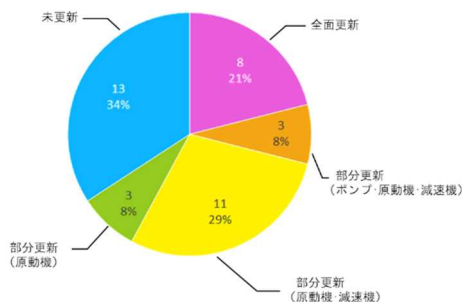
河川機械設備は、昭和50年代をピークに昭和期に整備されたものが多く、整備後50年以上経過した施設の急増が今後見込まれる。河川機械設備は、長寿命化を第一としつつも、橋梁等の構造物とは違い、その長寿命化にも限度があり、老朽化した施設の急増に伴い、一斉に更新が必要となる「大更新時代」が到来する。

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、ポンプ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、将来を見据え、予算の平準化を考慮した長期的な更新計画について検討するとともに、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、マスプロダクツ型排水ポンプの実証においては、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

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次元データ及び時間情報の整備

○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同時に、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 m^3/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を実証の上、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。

マスプロダクツ型排水ポンプの実証においては、当該サブシステムだけでなく、小口化に伴う、例えば吸い込み渦やキャビテーション等、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、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・時間情報を紐付けて、データを蓄積し可視化することにより、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

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を確保（緊急復旧を行わない）（N+1保全）
- ・ これらを前提に、保全内容の冗長化（冗長化保全）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としており、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である。

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

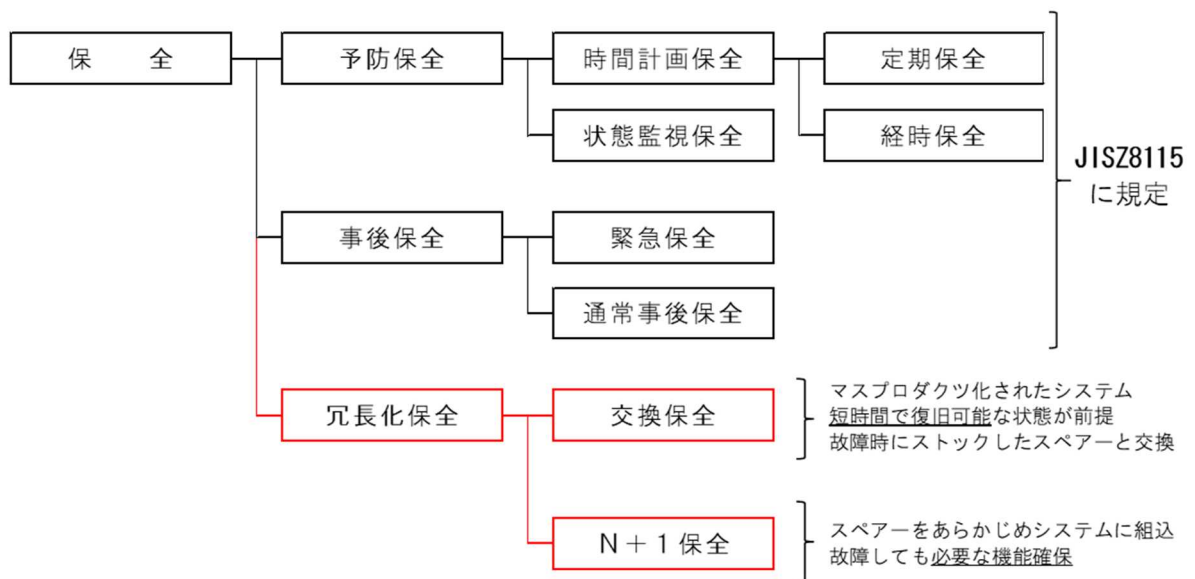
マスプロダクツ化により、製造停止後どの程度の期間部品が供給されるかという課題はあるが、供給される期間内においては部品の供給を迅速に受けることが可能となる。

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。ただし、サブシステムのストックにあたっては、使用されている電子部品の保管方法についての検討が必要である。

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」を前提に冗長化を図った保全を行う、いわゆる「冗長化保全」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。そのため、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、「冗長化保全」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証するとともに、実現場への導入後に追跡調査等による検証を行うものとする。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 保全」）を前提に、従来の保全の概念とは異なる「冗長化保全」の導入を検討すべきである。

また、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。

6. 機械設備における性能規定の導入

ポイント

- ・性能規定化により多くの責任を民間側(受注者側)に委ねることについて、河川機械設備が担う災害対応等の責任を民間側が担いきれるのか見極めが重要
- ・新技術導入を目指すためには一定程度のリスクヘッジを官側(発注者側)で担うことも検討
- ・性能規定化の目的・対象を明確にし、官側・民間側の責任の範囲を明確化する、マスプロダクツ型排水ポンプのように開発プロセスにおいて一定の責任を官側が担うなど入口段階でのリスクヘッジを検討
- ・性能規定への適合を検証方法(試験)として定めること、審査を行う等により出口段階でのリスクヘッジを検討
- ・新技術導入を図る場合は技術競争による入札方式を採用、適正に評価できる体制の構築が重要

○現況と課題

河川機械設備にかかる技術基準には、「揚排水ポンプ設備技術基準」、「ダム・堰施設技術基準(案)」等があり、それぞれ「揚排水ポンプ設備技術基準・同解説」(一社河川ポンプ施設技術協会)、「ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編マニュアル編)」(一社ダム・堰施設技術協会)において基準と解説を合わせて発刊され、事実上運用されている。

例えばポンプでは、使用部材の規格、ポンプの口径、エンジンの回転数等細かく規定されており、ポンプの発注仕様書においては、「下記に示す基準等に準じて施工しなければならない。」とし、「揚排水ポンプ設備技術基準・同解説(一社河川ポンプ施設技術協会)」等を示しており、これにより施工されるようになっている。

このような仕様規定は、受注者の設計に対する発注者の承諾行為が容易であるように双方の共通の取り決めとして整備が円滑に進むだけでなく、機械設備の信頼性の確保の面でも大きな役割を果たしてきたと言える。

一方で、仕様を細かく決め、技術提案を伴わない入札が多数となっている現状では、仕様外の技術の導入を妨げてきたことも否めない。

性能規定化については、過去、国土交通省の事業では、道路、建築、鉄道、港湾において、基準類の性能規定化がなされてきた。道路では、平成14年3月、道路橋示方書において、「性能規定型の技術基準を目指して、要求する事項とそれを満たす従来からの規定とを併記」と改訂された。その具体例として、

コンクリート橋において、従前「鋼材のかぶりは3cm以上」との記載から、「コンクリートと鋼材との付着を確保し、鋼材の腐食を防ぎ、火災に対して鋼材を保護するために、必要な被りを確保しなければならない」と改訂された。これにより、従前の規定値によらず、塗装鉄筋や電気防食、その他新技術の採用が可能となった。その他、建築基準法が平成12年6月、鉄道に関する技術基準を定める省令が平成14年3月、港湾空港の施設の技術基準を定める省令が平成18年度に改正され、性能規定が導入されている。

また、電気工作物に関しては、平成9年3月、経済産業省所管の電気事業法に係る技術基準の改正により、性能規定化がなされた。そこでは、「保安上必要な性能のみを規定。性能を実現するための材料の規格、数値、計算式等、具体の仕様は規定しない。」との基本方針により、「①技術進歩への迅速かつ柔軟な対応が可能。②資材の選択の幅が拡大。③事業者による創意工夫の増大。④規格等の国際整合化の促進。」を図ることとされた。

これらの性能規定の導入にあたっては、試験方法を定め、求める性能への適合を確認する。もしくは、発注者が行政機関の場合は、その評価を自らが、発注者が建築物のように民間主体の場合は性能評価を行う機関を指定し、これが性能への適合の確認を行っている。

河川機械設備の場合は、ほとんどが行政機関の発注であり、発注者自らが評価を行うこととなるが、地方自治体の場合、機械を専門とする職員がいない場合もあることから、こういった自治体において性能規定による発注を行う場合の評価体制をどう確立するのか課題がある。

また、基準類の性能規定化とは別に、PFI事業において性能規定化を図っている事例も散見される。

具体的な事業において、PFI方式により、ポンプの寸法、台数、形式を規定せずに、定める計画水量以上のポンプ容量となることを求め、約25年の維持管理を含む（運転含む）発注を行っているものがある。このPFI契約においては、性能規定化を理由に、瑕疵担保期間を長く取る傾向にあり、この期間内に発生した設計の瑕疵について「①要求水準書、実施設計図書及び提案書等に記載した施設の性能及び機能は、全て建設事業者の責において保証する。②引渡し後、施設の性能及び機能について、疑義が生じた場合は試験要領を作成し、市の指定する時期に性能及び機能の確認試験を事業者の負担において行う。③確認試験の結果、所定の性能及び機能を満足できなかった場合は、事業者の責任において速やかに改善する。④実施設計時に提出する実施設計図書に対して、市がこれを確認したことをもって事業者の設計の瑕疵に係る責任の全部又は一部を回避し得ないものとする。」と明記し、責任の多くを建設事業者側に

委ねている。

このような条件下では、果敢に新技術の導入を行うのか、手堅い技術（従来技術）によるのか、判断が難しいと思われる。

複数の他事業における性能規定化の取組を踏まえ、河川機械設備においても、仕様規定の果たしている役割を踏まえつつも、新技術導入を促進するための性能規定の導入について、その具体的な手法を検討すべきである。その際、課題となる事項について検討しておく必要がある。

○対応方針の考え方

性能規定化も、方法（PFIでの採用、技術基準での採用）、対象範囲（システムの構成といった基本的な設計、各部材）、目的などにより様々なパターンに分類が可能である。

PFI事業においては、性能規定の範囲を大きくとることがあるが、多くの権限と責任を民間企業側に委ねることが、災害対応に係る責任が大きい河川機械設備において、民間側に担いきれるのかどうかの見極めが重要である。

性能規定化のもと、多くの責任を民間側に委ねることは、かえって信頼性の確立した従来からの技術（いわゆる手堅い技術）に留まる可能性を意味し、本来、性能規定化が目的とする技術進歩への迅速かつ柔軟な対応、民間の創意工夫の増大、技術競争の導入などが果たせない可能性がある。

新技術の導入等技術革新を目指すために性能規定化を図るためには、例えば検証方法を定め、これに適合すれば検証側の責任にするなど、一定程度のリスクヘッジを官側で担うことについても検討が必要である。

性能規定化する目的・対象を明確にし、発注者側・受注者側の責任の範囲を明確にするマスプロダクツ型排水ポンプの開発過程のように、開発体制構築、実証試験等を官側が主導するなど、開発プロセスにおいて一定の責任を官側が担うことで、入口段階でリスクヘッジを行うことが考えられる。

また、性能規定に適合するかどうかの検証方法（試験）を定めること、性能規定への適合性を審査するスキームの構築により、性能規定の担保を民間側から官側に移し、出口段階でリスクヘッジを行うことも考えられる。

なお、性能規定化により新技術の導入を図る場合等においては、価格競争ではなく、技術競争による入札方式を採用すべきであり、その際、これを適正に評価できる体制を構築することが重要であり、特に、機械の専門家が不足している地方自治体への支援（国が率先して評価事例を示すなど）が必要である。

さらに、性能規定は、技術の進歩、性能規定の目的、対象に合わせて、基準そのものをレベルアップしていくような動的な性能規定化を目指すべきで

ある。

建築や電気工作物の性能規定のように、その施設を構成する各要素の重要度等に応じて目的・対象を定め、検証方法や技術基準の適合性を審査するスキームを構築し、リスクヘッジを行っている事例もあることから、これらも参考にすべきである。

7. 新たな技術開発手法の導入

ポイント

- ・「パラダイムシフト型技術開発（マスプロダクツ型排水ポンプ実証試験）」は、システムインテグレーション及びP○C（技術検証:Proof of concept）を官側が積極的に担う、従来とは異なる技術開発手法
- ・ニーズを熟知する官側がシステムインテグレーション、P○Cを主導的に担う「パラダイムシフト型技術開発（仮称）」は、社会実装を前提とした効率的・効果的な技術開発手法といえる
- ・技術開発→調達の一連の過程の中で、システムインテグレーションの責任と権限の所在を明確にすることは安全かつ確実なシステム構築・運用には重要
- ・システムインテグレーションの責任と権限については、発注仕様としての設計にかかる責任は官側、設計図書に基づく製造物の設計・製造にかかる責任は民間側と区分する必要がある
- ・調達においては、公正・透明な競争環境が確保され、適切な競争が行われるよう、知的財産との関係に留意しつつもP○C等にかかる情報公開、開発に参画していない企業への配慮も必要である

○現況と課題

排水機場の機械設備は、大きくポンプ、減速機、原動機等から構成されており、その技術開発は、システム全体をポンプメーカーが主体となり進められてきた。

前述の通り、仕様規定による価格競争を主体とした調達が行われており、官側からの調達の仕様の変更がない限りにおいては、新技術の開発・導入が図られることは見込まれない。

通常、民間側が開発した技術については、仕様としてまとめられてから、発注に採用されており、民間側で開発された技術をキャッチアップしながら、技術革新が進んでいるのが実態である。

河川ポンプの場合は、システムインテグレーションを担っているポンプ会社

が担当するポンプ分野では、軸受けの無水化、高流速化等の技術開発が進み、技術基準にも採用され普及しつつあるが、この他の原動機、減速機、自家発電施設等については、独自の技術革新が進んでこなかったといえる。

今回、大更新時代の到来、気候変動の進展を踏まえ、従来の考えからパラダイムシフトを図り、システム構成企業から見直しを図ったマスプロダクツ型排水ポンプの開発を進めている。

この開発過程においては、国が主導し、システムを構成する企業の組み合わせから大きく変え、今まで河川ポンプにかかわってこなかった企業の参画を促しながら、従来の発想を大きく変えたポンプの開発を進めている。

従来見られなかった開発手法であり、開発過程の公正性・透明性の確保、参加する企業相互の知的財産権・機密保持（NDA）の整理、導入するシステムに対する責任分担（システムインテグレーションの権限と責任の所在）、社会実装（調達）段階におけるP○Cに参加していない企業への配慮などが課題となっている。

○対応方針の考え方

ニーズ側主導で、従来の発想を超えて技術開発・社会実装を目指す取組を「パラダイムシフト型技術開発（仮称）」と定義した場合、マスプロダクツを採用したポンプの開発を目指す「マスプロダクツ型排水ポンプ開発」もこれに属する。また、革新的河川技術プロジェクトにより開発を行った危機管理型水位計も類似の開発手法と言える。

現在までの進捗状況と今後の開発の道筋を示すと以下の図の通りである。

① アイデア検討（R2.8月下旬～9月上旬）

国が発案したアイデアが実現可能かどうか、自動車メーカー1社とポンプ協会に加盟する企業8社と意見交換を行い、実現の可能性があることを確認

② 予備検討（フィージビリティ検討）（R2.10月下旬～R2.12月上旬）

マスプロダクツ型排水ポンプ開発に関心を持つ企業を公募し、参加を表明した企業23社との意見交換の中で、実現可能性等を精査し、P○Cを行うポンプの諸元、仕様を作成、この仕様等に基づき、P○C参画企業を公募

③ P○C参画公募・選定（R3.1.12～R3.3.10）

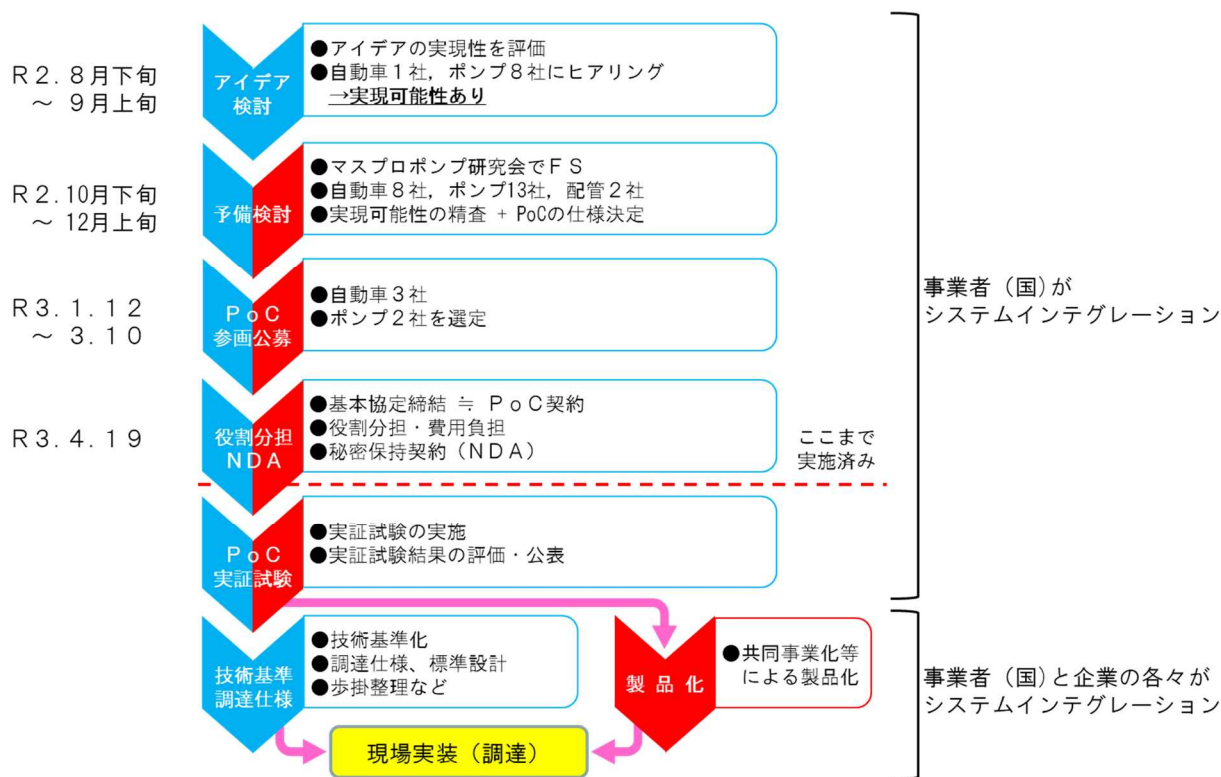
ポンプメーカー、自動車メーカーそれぞれ2社程度について公募を実施。ポンプメーカー2社、自動車メーカー3社を選定

④ 基本協定締結（R3.4.19）

国交省と各企業との間で、P o Cにおける役割分担、費用負担、知的財産権の帰属等について基本協定（≒ P o C 契約）を締結

現在は、この時点まで終了しており、協定締結5社に、減速機メーカー1社、艀装メーカー3社を加えた9社について、3グループ体制を構築し、実証試験を実施すべく調整中。今後、製造着手、現場配備、実証試験へ進む予定。

実証試験後は、事業者（国）において、技術基準化等を進め、具体的な発注図書としての標準設計、歩掛り等の準備を行うとともに、企業側は製品化を進め、社会実装を行うこととなる。



官民連携による開発においては、例えば不具合が生じた場合の責任がどちらに帰属するのか等の問題が発生することが想定される。

マスプロダクツ型排水ポンプの場合は、サブシステムの組み合わせなど、国が主導して開発を進めており、実質的にシステムインテグレーターの役割を果たしていることから、国に相当の責任があると言える。

一方、実証試験に参画していない企業からの調達を考えると、製品設計に関わる部分などは民間側の責任であり、国の責任は一定の範囲にとどまると考えられる。

今回の実証試験では、P o Cを実施し、それを踏まえた技術基準、標準設計等を定めることを想定しており、この範囲までは、国の責任の範囲とし、これに基づき具体の製品化を図る範囲については、企業の責任と解することが適切ではないか。

P o C以降の社会実装については、「次も一緒に協業したい」と思えるような関係を構築することができるかどうかにかかっており、今回の実証試験においてもこの点に留意しつつ、官民の責任範囲だけでなく、民間企業間の責任の範囲についても、実証試験を通じて明らかにしていく必要がある。

なお、個別事案において、不具合が生じた場合、発注仕様としての設計側、製品化における設計側のいずれに原因があるのか明確にする必要が生じた場合には、第三者による調査・判断といった公正・透明な手続きが必要と考える。

また、公正・透明な競争環境を構築する必要があり、P o Cで得られた知見については、知的財産の扱いにも留意しつつ公開するとともに、テストベッドの提供等を行うなど後発企業の開発環境にも配慮する必要がある。

官側が開発に強く関与し、主導する手法は、ニーズを踏まえた社会実装への道筋が明確なことから、効率的・効果的な開発手法であり、今後、新たな開発手法として積極的に取り組むべき手法と考えている。

なお、今回のマスプロダクツ型排水ポンプの開発において締結した基本協定、契約等が今後の類似の開発においてひとつの指針となる。

8. 機械設備の遠隔操作の導入

ポイント

- ・ 排水機場の役割の重要性、機械の特性から、現場の操作員による操作を原則として、遠隔操作は操作員の到着前操作、退避後操作等に活用
- ・ 機側と遠隔の操作の同一性を担保するための監視機器類の設置基準及び現場での同一性の確認が必要
- ・ 排水機場の規模、不稼働時の影響の程度を踏まえつつ、操作の同一性、サイバーセキュリティの確保を前提に、操作員を機側に配置しない完全な遠隔操作を行うことを検討
- ・ 遠隔操作における不測の事態への対応体制、操作性の向上のためのインターフェースの統一が必要
- ・ 機側と遠隔側と同時に違う指示が出た場合等も含め、遠隔操作の権限と責任の明確化を図るための操作規則が必要

○現況と課題

排水機場などの河川管理施設の運転操作は、河川管理者が実施するか、河川管理者が地方公共団体等へ委託し実施している。

近年、地域住民の高齢化により操作員の確保が困難な地域も存在し、河川整備の進捗に伴う河川管理施設の増加を踏まえると、操作員の確保はさらに困難になることが懸念される。

国が管理する河川管理施設では、これまで必要に応じて施設の新設や更新時に、遠隔地からの操作が可能となる遠隔操作システムを導入している。

現時点において国が管理する排水機場444機場のうち、185機場（41.7%）が遠隔操作・監視が可能であり、137機場（30.9%）が遠隔監視のみ可能となっており、既に多くの機場で遠隔操作が可能となっている。

水門・樋門樋管については、率が下がるものの、国が管理する水門・樋門樋管8739か所のうち、943か所（10.8%）が遠隔操作・監視が可能、480か所（5.5%）が遠隔監視のみ可能となっており、既にハードについては、一定程度の遠隔操作化が進んでいる。

洪水時に支川合流部において本川から支川に洪水が逆流する場合に、本川と支川を分離する水門を閉め、ポンプにより支川の洪水を本川に排水する。

排水機場の操作規則には、河川法に基づき河川管理者が、操作の基準となる水位、流量等を定めているが、実運用としては、逆流の開始時点を見極めて水門を閉める判断を適切に行う必要がある。特に逆流の開始については、風雨の影響で表面は逆流しているように見えても内部は順流であったりするため、条件によっては目視確認が困難であり、排水機場の運転は現地の操作員の判断に委ねているのが実態である。

一方、ポンプを操作規則通り運用することは、水害の防止・軽減の観点から極めて重要であり、操作実態を巡り訴訟となった事例もある。

また、運転中の排水機場が故障等のトラブルにより運転停止した場合の対処（軽微な修理やバックアップシステムへの切替え）は、排水機場内で機側操作により行う必要がある。

このような実態から、排水機場の運転は現地での操作によらざるを得ず、人員配置や操作規則は「機側操作」を基本とし、「遠隔操作」による運転を想定したものになっていない。

一方、気象の激甚化・頻発化を鑑みれば、急激な水位上昇等により操作員の到着が間に合わない場合や、氾濫危険水位を上回る洪水により操作員が退避した場合等、遠隔操作によらざるを得ない場合もあり、操作におけるリダンダンシーを確保する観点から、遠隔操作機能を有する排水機場の整備を進めている

ところである。

操作の種別については、以下の表のとおりに区分できるが、機側操作と遠隔操作で情報量が異なる中、遠隔操作に移行したとしても、操作の同一性が担保できることが課題といえる。

操作の種類	操作場所	操作者	必要な情報	得られる情報
機側操作	機側	操作員	・ 操作規則が示す情報	・ 観測水位(量水板目視) ・ 流向(操作員目視)
機場集中操作 (※一般的)	操作室 (機場内)	操作員	・ 操作規則が示す情報 ・ 監視員からの安全確認	・ 観測水位(データ) ・ 監視カメラ画像 ・ 流向(監視員報告)
遠隔操作	遠隔 (管理所)	オペレータ	・ 操作規則が示す情報 ・ 安全確認情報 ・ 機械状態(データ)	・ 観測水位(データ) ・ 監視カメラ画像
自動運転	—	システム	・ 機械状態(データ) ・ 安全確認情報	・ 観測水位(データ)

○対応方針の考え方

排水機場の停止が地域に与える影響、複雑なシステムである排水機場の故障・トラブル時等の即時の対応が必要なことを考えると、排水機場については、引き続き現場の操作員による操作を原則とし、遠隔操作については、操作員が到着する前や操作員が危険回避のため退避した場合などに活用するものとする。

機側操作において使用する排水機場の監視機器は、機場集中操作を前提に、水門の内外の水位を測定する水位計、各所をモニターする監視カメラ、機器の運転状況の表示装置等から構成される。

遠隔操作の場合も、機側操作と同じ監視機器を使用するが、現場の操作員が操作する場合と同一時刻に同一操作(判断)できるよう、遠隔操作のための監視機器類の配備を進める必要がある。

具体的には、水門の開閉については、順流・逆流が判断できるセンサー、ポンプ運転の始動・停止については、それを適切に観測できる場所への水位計の設置、夜間でも確認可能な監視カメラ(暗視カメラ等)、視認性の高い量水板(蛍光・蓄光仕様等)への変更など、遠隔操作のための監視機器類の設置基準を定めるべきである。

これを整備した上で、実際の洪水を再現したシミュレーションを行い、同一時刻に同一操作（判断）が担保できるか確認することが重要である。

同一時刻の同一操作（判断）が担保されると判断できる場合には、操作規則などの変更により、遠隔操作を位置付けることとする。

操作員の高齢化、なり手の確保難を考慮すれば、複数の者が相互に確認しつつ操作ができる環境である遠隔操作の方が的確な操作を行えるともいえ、操作の実績を比較しながら遠隔操作化を進めるべきである。

以上の考え方の下、遠隔操作による排水作業を確実なものとするため、既に遠隔操作・監視機能を有する機場についても、次の観点からハード・ソフト両面から十分な検討を行う必要がある。

1) 遠隔操作による排水ポンプ運用のための観測・安全監視機能の充実

ゲリラ豪雨などによる急激な水位上昇などに対処するため、遠隔操作により無人であっても、排水を開始できる初動体制を検討すべきである。遠隔操作においても、機場周辺の安全確認や警告を確実に行う必要があるため、現状の監視員の目視による「自然流下水門の全閉操作」、「吐出水門の全開操作」、「除塵機の運転」および「流入水路廻り」の安全確認を遠隔地で行う必要がある。特に、機場周辺の第三者の有無確認では、夜間や降雨条件下での運転や、支川水位が短時間で上昇するような場合もあることから、吐出側水門周辺への立入禁止措置など、必要に応じて物理的なりスク排除により遠隔操作運転が可能な条件を整えるべきである。

①遠隔操作の操作規則への位置づけ

現在、排水機場の操作規則には、ポンプの運転開始条件および停止条件、操作場所について示している。遠隔操作を行うためには、どのような状況下において遠隔操作を行うのか、操作水位などだけではなく、遠隔地からの安全確認方法等の手順についても検討すべきである。

②遠隔操作時に必要な監視機能

遠隔操作化の導入に際しては、起動前の最終安全確認（吐出水門周辺の安全確認）や不測の事態への対応を行うために必要な監視機器と配置について検討すべきである。更に将来的には、AIの活用についても検討すべきである。

2) 遠隔操作の本格的な導入の検討

将来、地域によっては担い手不足が深刻化することを見越し、排水機場の規模、不稼働時の影響の程度を踏まえつつ、操作の同一性、サイバーセキュリティの確保を前提に、操作員を機側に配置しない完全な遠隔操作を行うことを検討すべきである。

なお、不測の事態も想定した技術者の派遣等の運用体制を構築する必要がある。

3) 遠隔操作のためのインターフェースの統一

現状の遠隔監視システムは、メーカーや機器構成によって表示項目や表示方法が異なり統一されていない。遠隔操作化に伴い複数機場を集中管理する場合において、不統一なインターフェースは、操作員による誤認識や誤操作を誘発し重大な過失を招く危険がある。表示方法の共通化を進めるべきである。

4) 遠隔操作における責任の明確化

これまでの操作規則では、機側操作を基本としているが、今後、遠隔操作による排水運転を行う場合は、その操作にあたっては、遠隔地において操作に必要な状況判断を行う者が責任をもって、必要な安全確認、運転条件を確認する必要がある。

また、現在、遠隔操作を想定した操作規則は定められていない。権限と責任を明確化する上でも、機側側と遠隔側で操作の指示が異なった場合や無人でのポンプ始動、操作員退避後の操作といったシチュエーションを想定しつつ、早急に操作規則を定める必要がある。

社会資本整備審議会河川分科会
河川機械設備小委員会委員

池内幸司	東京大学大学院工学系研究科 教授
有働恵子	東北大学災害科学国際研究所 准教授
喜田明裕	一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会 会長
戸田祐嗣	名古屋大学大学院工学科研究科 教授
野口貴公美	一橋大学大学院法学研究科 教授
平山朋子	京都大学大学院工学研究科 教授
◎松井純	横浜国立大学大学院工学研究院 教授

<五十音順、敬称略>

◎：委員長