

河川機械設備のあり方について

答申

令和4年7月

社会資本整備審議会

目次

1. はじめに	1
2. 河川機械設備の整備状況等	3
2.1. 設備の整備状況	3
2.2. 保全手法の現状	3
2.3. 運転操作の現状	4
2.4. 市場の動向	4
3. 河川機械設備の課題	5
3.1. 施設の老朽化に伴う大更新時代の到来	5
(1) 故障の増加と対応の長期化	5
(2) トラブルや故障に関する情報共有の不足	6
(3) 維持管理費・更新費の増大	7
3.2. 担い手（機械技術者・操作員）不足の深刻化	7
(1) 機械技術者の高齢化・不足	7
(2) 操作員の高齢化・不足	7
(3) 市場規模の縮小、企業の技術継承機会の減少	7
3.3. 気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化	8
(1) 水害の激甚化・頻発化に対応した施設の整備・運用	8
(2) 水防機能継続のための操作時の危機管理	9
4. 河川機械設備のあり方について	10
4.1. システム全体の信頼性の確保	10
4.1.1. 設計思想の転換	10
(1) 総合信頼性の概念の導入	10
(2) 機械設備のマスプロダクツ化	12
(3) 気候変動に対応した運用と手戻りのない設計	13
4.1.2. 長寿命化のためのメンテナンスサイクルの確立	14
(1) 定期的な診断のための技術者・体制の確保	14
(2) 維持管理の効率化（BIM/CIMの活用）	15
4.1.3. 危機管理のあり方	15

4.2.	担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行	16
4.2.1.	遠隔監視操作システムに関する基準の策定	17
(1)	遠隔監視操作機器類の設置基準	17
(2)	遠隔監視操作システムのインターフェース等の標準化	18
(3)	サイバーセキュリティ確保	18
4.2.2.	遠隔操作の運用体制	18
(1)	遠隔操作の操作規則への位置づけ	18
(2)	遠隔操作の実施拠点の設置	19
(3)	バックアップ体制の構築	19
4.2.3.	広域的な集中管理の導入	19
4.3.	技術力の維持向上	20
4.3.1.	地方公共団体・企業の技術力の維持向上	20
(1)	地方公共団体への支援	20
(2)	企業の技術力の維持向上	20
4.3.2.	技術研究開発の推進	21
(1)	新たな技術研究開発手法の導入	21
(2)	性能規定の導入	22
(3)	今後のニーズに応える民間開発技術の導入促進	23
4.3.3.	知識・情報の共有	24
(1)	故障・誤操作事例の蓄積・管理・分析（データベースの整備）	24
(2)	実施体制の構築	24
5.	おわりに	27
	審議会経緯等	30

1. はじめに

河川ポンプ設備や河川ゲート設備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が今後急増する。河川機械設備は、複数の装置が連動して機能を発揮するプラント設備であり、設置後の経過年数を考えると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。また、激甚化・頻発化する水害により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）¹⁾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。このように、老朽化や気候変動の影響から河川機械設備における更新・増強等への対応は加速化していく状況となっている。

河川機械設備は出水等の際にその設置目的に応じた機能を確実に発揮することが求められているが、老朽化の進行に伴い、インシデントの発生や故障等による機能の停止が懸念される。

従来、河川機械設備は、維持管理の充実による個々の設備の高い信頼性の確保を前提に、予備機を設置しないことを標準としているが、これを構成する個々の設備は、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。さらに、故障等に伴う部品供給に長期間を要するなど、メンテナンス性の確保にも課題があることから、信頼性を確保しつつ効率的・効果的な更新手法が必要となっている。このような状況を踏まえ、河川機械設備には、個々の設備の故障のリスクや操作上のリスクを考慮した上で、設備全体の信頼性を確保する考え方への転換が求められており、新たな考えの下に性能の確保、保守体制の確保、非常時の危機管理対策に取り組む必要がある。また更新・増設に伴う設計に際しても、これらの前提条件に基づいて計画する必要がある。

加えて、国内の少子高齢化の現状などを踏まえ、河川機械設備に関わる官民の機械技術者や操作員の確保が今後一層厳しくなることや、気候変動の影響に伴う水害の発生頻度が増加することが想定されることから、機側操作を基本としてきた河川機械設備の運用においても、気象や水位観測等に基づく水位予測技術も活用した遠隔監視操作技術・自動化技術による集中管理を念頭に、信頼性を確保した上での省人化が必要不可欠な状況となっている。

さらに、進歩が著しい ICT 等を活用した効率的な維持管理や、将来を担う若手機械技術者への技術力の継承や研鑽のための支援体制が必要であり、これらを支える企業が培ってきた技術力を発揮する機会の確保や、技術研究開発を通じた技術力の維持向上が求められる。

以上のような状況を踏まえ、令和 3 年 2 月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、同会長より河川分科会長あてに付託された。これを受け、河川分科会は、「社会資本整備審議会 河川分科会 河川機

械設備小委員会」を令和3年3月に設置した。これまで、計8回の小委員会を開催し、河川機械設備のあり方について基本的な考え方を示し、答申をとりまとめた。

本答申では、大更新時代を迎える河川機械設備の整備・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・安心と危機対応力の向上を目指すために、「システム全体の信頼性の確保」、「担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行」、「技術力の維持向上」の3つの視点から、今後の河川機械設備のあり方について提言する。

-
- 1) 国土交通省 社会資本審議会 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 気候変動を踏まえた水害対策のあり方について 答申（令和2年7月）
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou_suigai/pdf/03_honbun.pdf

2. 河川機械設備の整備状況等

河川ポンプ設備や河川ゲート設備等の河川機械設備は、洪水、内水や高潮等による堤内地の浸水の防止・軽減を目的として設置され、国民の安全と社会経済活動を支える重要な役割を有している。そのため、万一その機能が失われた場合には、周辺地域に社会経済的影響を与えることとなり、さらには、住民の生命や財産に甚大な被害をもたらす可能性もある。

これらの設備の多くは常時待機状態で稼働していないが、出水時等には確実に機能しなければならないことから、日常の適切な維持管理が重要である。

2.1. 設備の整備状況

河川ポンプ設備は、国土交通省が管理する河川排水機場が約 440 箇所、総排水量約 5,700 m³/s、都道府県等が管理する河川排水機場が約 420 箇所、総排水量約 4,300 m³/s であり、国土交通省と都道府県管理を合わせると、合計約 860 箇所、10,000 m³/s を超える総排水量となっている¹⁾。

施設規模別（総排水量）の施設数では、総排水量が 10 m³/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 m³/s 未満の中規模排水機場が約 3 割、30 m³/s 以上の大規模排水機場は 1 割に満たない状況である。

駆動機関別に見ると、河川ポンプ設備は停電などによる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。さらに、1 台あたりの排水量が 1 m³/s 前後の小規模なポンプでは、内燃機関ではなく、主に電動機で駆動する水中モーターポンプを設置している。

また、河川ゲート設備は、国土交通省が管理する水門等（可動堰、水門、樋門・樋管、閘門）の施設数が約 8,800 施設あるが、その 9 割以上が「樋門・樋管」である。さらに、都道府県等では、国土交通省管理施設の 2 倍以上の約 19,400 施設を管理しており、国土交通省管理施設と同様に、その 9 割以上が「樋門・樋管」である¹⁾。

規模別には、施設数の大半を占める「樋門・樋管」では、全数の 9 割以上が扉体面積 10 m²未満の小型ゲートとなっており、「可動堰」や「水門」では、扉体面積 50 m²以上の大型ゲートが 6 割以上を占めている。

2.2. 保全手法の現状

河川機械設備の保全手法は「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）」²⁾ 及び「河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル（案）（平成 27 年 3 月）」³⁾（以下、両マニュアルを合わせて「点検・整備・更新マニュアル」という）において基本方針が規定されており、「設備の維持管理は、当該

設備の設置目的、装置、機器等の特性、設置条件、稼働形態等を考慮して内容の最適化に努め、かつ効果的に予防保全と事後保全を使い分け、計画的に実施しなければならない。」とされている。

2.3. 運転操作の現状

排水機場や水門、樋門、樋管等の数多くある河川管理施設の運転操作は、河川管理者自らが実施する場合のほか、多くの施設ではその地域の地方公共団体や住民、民間企業等への委託により、運転操作員を現地に配置し、機側で実施している。

近年、高齢化等により地域住民からの操作員の確保が困難な地域も存在し、また、今後の河川整備の進捗に伴う河川管理施設の増加を考慮すると、操作員の確保はさらに困難になることが想定されることから、国土交通省では河川管理施設に、遠隔地からの監視操作が可能となる遠隔監視操作システムの導入や、人による操作を必要とせず、水位によって開閉する無動力ゲートの整備を進めてきている。

遠隔化の整備状況としては、令和2年3月時点で、河川ポンプ設備では約4割が遠隔監視操作の整備がされており、河川ゲート設備では約3割が遠隔監視操作又は無動力化の整備がされている¹⁾。

2.4. 市場の動向

ポンプ設備の建設市場は、1998年(約1,500億円)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。そのうち治水分野では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。

ゲート設備の建設市場は、2001年に約800億円あったものが、2020年には約320億円に半減している。また、ゲート設備を製作・据付する企業は、統廃合により減少傾向にある。

1) 令和2年3月末時点 国土交通省調べ

2) 国土交通省 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)
<https://www.mlit.go.jp/common/001097060.pdf>

3) 国土交通省 河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)(平成27年3月)
<https://www.mlit.go.jp/common/001104406.pdf>

3. 河川機械設備の課題

3.1. 施設の老朽化に伴う大更新時代の到来

河川ポンプ設備は、高度経済成長に伴い全国規模で整備が促進されており、国土交通省、都道府県等管理を合わせた約 860 施設のうち、設置後 40 年経過している施設は約 3 割、10 年後には約 5 割、20 年後には約 8 割を占める¹⁾。また、規模別には設置後 40 年経過している施設は小規模機場では 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。

河川ゲート設備についても、河川ポンプ設備と同様に、高度経済成長期に整備が促進され、5 割近くの施設が設置後 40 年を経過しており、10 年後には約 7 割、20 年後には 9 割近くに達する¹⁾。

河川機械設備の更新サイクルは 40 年程度であるため、現在運用している多くの施設が更新時期を迎える大更新時代が到来している。施設の長寿命化とあわせ、計画的な更新も並行し検討する必要がある。

(1) 故障の増加と対応の長期化

河川法および同施行令では、河川管理施設等を良好な状態に保つように維持修繕することが定められており（法第 15 条の 2 および令第 9 条の 3）、点検その他の方法により河川管理施設等の損傷、腐食その他の劣化その他の異状があることを把握したときは、河川管理施設等の効率的な維持及び修繕が図られるよう、必要な措置を講ずること（法第 15 条の 2 および令第 9 条の 3 第 4 項）と定められている。

機械設備の故障率の変化は、バスタブ曲線（故障率曲線）に示されるように、一般的には設置当初に初期故障が発生する「初期故障期」、その後、ごく稀にしか故障しない安定した時期である「偶発故障期」、最後には摩耗して再び故障が発生する「摩耗故障期」の 3 つに分類される。初期故障期には、設計や製造における潜在的な欠陥などによって故障が発生するが、一般的には修理や調整によって時間の経過とともに故障率は減少していく傾向にある。その後、安定的な稼働に入ってから、故障は起こりにくいとされるが、維持管理を怠れば機能停止を招く可能性は残る。さらに長期間の稼働を経て、内部部品の摩耗や疲労、腐食の進行により故障が増加する時期を「摩耗故障期」と呼ぶが、この期間が来る前に消耗品や機器の更新を行うなど適切に措置することで「偶発故障期」を延伸することが可能である。

河川ポンプ設備では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にある。また、河川ポンプ設備の故障実態を装置別に整理すると、主ポンプと主原動機の故障件数が全数の約 6 割を占めている。なお、近年の故障事例では、致命的機器（部品）の損傷も多く発生しており、部品調達等で出水期間中にありながら数十日間にわたり機能

が喪失するケースも見受けられる。

一方、河川ゲート設備の故障実態を装置別に整理すると、開閉装置の故障件数が全数の約7割を占める。また、直ちに機能を喪失する（開閉操作不能となる）故障件数は全数の3割程度となっている。これら河川機械設備は、ひとたび機能を失うと甚大な被害を招くことから、定期点検や計画的な修繕等を実施し信頼性を確保することとされている。

従来、河川機械設備は、計画的な点検と適切かつ迅速なメンテナンス・保全措置による個々の設備の高い信頼性の確保を前提に、原則として予備機を設けないこととしており、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。

しかしながら、ストックしている部品を用いて交換により修理できるような故障以外は、復旧までに数週間程度の長期間を要している場合もある。これは、特注・受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。

現在、河川機械設備の老朽化が進んでおり、今後は、多くの設備において健全度が低下し、修繕等に伴う維持管理費の増大が懸念されることから、近年では低コストで効果的な維持管理を行うことが求められている。

そのため、状態監視型予防保全の推進を目的として改定された点検・整備・更新マニュアルにおいて、「点検の結果、異常の傾向が認められる場合、あるいは信頼性による取替・更新の標準年数を超えた場合必要に応じて診断を実施する」とされているが、必ずしも専門技術者による診断がなされているとは言いがたく、常時没水部等の点検が困難な部位などにおいて、突然に機能を喪失するような故障が発生している。

また現在、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、改修を重ねるたびに図面による全体の的確な把握が難しくなっている。さらに、機器・部品毎の点検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、点検後の確認が困難であり、不具合が生じた場合等において履歴の確認や対応に時間を要している。

(2) トラブルや故障に関する情報共有の不足

河川機械設備にトラブルが発生した場合、当該設備の管理者は原因究明を行い、再発防止に努めるが、原因究明が必ずしも十分なされていない場合もある。また、異なる設備の管理者間で、これらの情報が十分に共有されているとは言い難い。このため類似のトラブルが生じる可能性がある設備であっても事前に情報がなく、必要な予防措置がとられないために同様の事態が発生する懸念がある。

(3) 維持管理費・更新費の増大

直近 10 年で河川の維持管理に関する予算は、令和 3 年度時点で約 3 割増加している。そのうち機械設備の維持管理にかかる予算は、約 230 億円前後で推移している。

河川機械設備の老朽化を踏まえると、整備・更新を必要とする施設が今後急増することが想定され、多額の維持管理費・更新費が必要となる。

3.2. 担い手（機械技術者・操作員）不足の深刻化

(1) 機械技術者の高齢化・不足

官・民の河川機械設備に従事する技術者はいずれも 40 歳代、50 歳代が多く、30 歳代以下が急激に減少する年齢構成となっており、10～20 年後には大きく減少すると想定される。

機械設備の機能を維持するためには、専門知識を持つ技術者等による年点検の実施、さらにその結果に基づく診断での判断を踏まえた適切な修繕等が必要不可欠である。このような点検から診断・修繕までのメンテナンスサイクルを実施できる体制を確保するためにも、国や地方公共団体の技術職員や民間の技術者の担い手を育成する必要がある。特に、設備の老朽化に伴い、専門知識が必要な「年点検」や「健全性の診断」、「修繕の判断」などを実施可能な人材の確保が課題である。

また、河川機械設備の機械操作の多くが地域住民によって支えられているものの、操作員の多くは専門知識を有さないため、故障等のトラブル対応においても専門知識を持つ機械技術者によるバックアップが必要となる。

(2) 操作員の高齢化・不足

国土交通省が管理する多くの河川管理施設の運転操作は、地方公共団体や住民、民間企業等への委託により、運転操作員を現地に配置し、機側で実施している。

これらの運転操作員については、平成 21 年度から平成 27 年度にかけて 60 歳以上の操作員の割合が約 5 割から約 6 割に増えており、高齢化の進行等に伴い、今後の操作員確保が課題となっている。

(3) 市場規模の縮小、企業の技術継承機会の減少

河川機械設備は、エンジン等の駆動装置、動力伝達装置、制御システムといった複数の装置が連動して機能を発揮するプラント設備であり、その設計・製造・施工・維持管理・更新においては、機械設備のトータルバランスを考慮したシステムを構築する高いエンジニアリング技術が求められる。

また、河川機械設備は長期間にわたり供用されるため、その修繕・更新にあたっては、建設当時の設計思想・技術基準を踏まえつつ、最適なエンジニアリ

ング技術を用いることが必要である。

したがって、これらのエンジニアリング技術は機械設備の設計・製造・据付・修繕等に携わる民間技術者によって支えられている。民間技術者は受注した河川機械設備工事での OJT 等を通じ、その技術力を継承し切磋琢磨するとともに、それらの実績の積み重ねにより企業に知的財産を遺し研究開発力を涵養している。

しかし過去 20 年間継続した市場規模の縮小により、企業の技術の継承機会が減少し、技術者の世代交代とともに設計・製作・据付に関する技術力の低下が危惧される。さらに公共工事では入札時に配置予定技術者の実績を求めているため、企業において技術者の減少は、受注機会の減少に直結することから技術者育成は企業の事業継続上も重要課題であるといえる。今後の更なる全体事業量の減少は、機械技術者の他分野への流出を招くことになり、結果的にエンジニアリング技術力の低下に繋がることになる。

大更新時代の到来にあたり、激甚化・頻発化する災害への対応等、河川機械設備を支える新技術の開発と導入促進が期待される中、市場規模の縮小に伴い、民間企業の技術研究開発に対する機運の低下が課題となっている。

3.3. 気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化

(1) 水害の激甚化・頻発化に対応した施設の整備・運用

社会資本整備審議会答申「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について（令和 2 年 7 月）」²⁾では、気候変動の状況として「近年、豪雨により氾濫危険水位を超過した河川数及び河川整備の目標とする計画規模を超過した河川数は増加傾向にあり、降雨量の増加等の気候変動による影響が河川整備の進捗を上回る新たなフェーズに突入した可能性がある」とされており、「今後も気候変動により水災害が激甚化・頻発化をすることを踏まえ、計画の目標とする時期や施設の耐用期間等を見据え、洪水、内水、土砂災害、高潮、高波等の自然現象が気候変動によってどの程度激化するかについて将来予測を行って、治水計画、下水道計画、海岸保全の計画や砂防計画の目標や施設設計の対象とする外力に反映させていくべきである」とされている。

このことは、河川機械設備の設計において、過去に経験した洪水・内水パターンだけでなく、気候変動予測モデルを踏まえた今後の気候変動で想定される洪水・内水パターンの組合せにおいても、施設の機能が損なわれず確実に発揮されるよう、設計外力の想定や操作方法を十分に検討することが必要であることを意味するものである。

その上で、今後の「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、効率的な更新に対応しつつ、気候変動の影響による災害の激甚化・頻発化に対応するための計画、設計、建設・更新や施設の運用が課題となっている。

(2) 水防機能継続のための操作時の危機管理

「ゲート設備の危機管理対策の推進について（提言）（平成 19 年 8 月）」³⁾では、ゲート設備が最小限確保すべき機能を確実に果たすために、事前に設計段階で配慮すべき事項や管理運用段階で配慮すべき事項、さらには、ゲートが操作不能に陥った場合の次善の対策について検討され、具体的な対策として予備電力や予備動力の確保、設備仕様の標準化による汎用品等の活用、小規模な樋門等設備でのフラップゲートの採用などが提言としてとりまとめられている。

また「河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン（平成 23 年 6 月）」⁴⁾では、想定される危機に対し、操作員及び職員自らが緊急的に適切な操作、運用（初期対応）できるよう、機械設備の故障等が発生した際の施設操作や応急復旧方針等の危機管理行動をあらかじめ定めておくことが明記されている。

しかし近年、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化により、施設自体が浸水して機能停止する場合や施設周辺が浸水して施設に到着できない事態、また、令和元年の台風 15 号では、千葉県で 2 週間にも及ぶ長期間の大規模停電が発生している。このような状況における危機管理対策として、施設の耐水化や燃料供給、電力、通信等が長期間遮断される状況下でも機能を確保することが求められている。

-
- 1) 令和 2 年 3 月末時点 国土交通省調べ
 - 2) 国土交通省 社会資本審議会 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 気候変動を踏まえた水害対策のあり方について 答申（令和 2 年 7 月）
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou_suigai/pdf/03_honbun.pdf
 - 3) 国土交通省 ゲート設備の危機管理対策の推進について（提言）（平成 19 年 8 月）
<https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010821/02.pdf>
 - 4) 国土交通省 河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン（平成 23 年 6 月）
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/kouzoubutsu_jumyou_h230623.pdf

4. 河川機械設備のあり方について

本答申では、これらの課題に対して「システム全体の信頼性の確保」、「担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行」、「技術力の維持向上」の各視点から今後の河川機械設備のあり方について提言する。

4.1. システム全体の信頼性の確保

4.1.1. 設計思想の転換

河川機械設備が施設全体として機能を発揮することを目的に、個々の機械設備の信頼性の確保だけでなく、機能喪失リスクを考慮した総合信頼性に基づく設計思想への転換が必要である。

また、今後の気候変動による影響への対応においては、将来予測を踏まえて手戻りを最小化する設計思想も必要である。

(1) 総合信頼性の概念の導入

従来、河川機械設備は維持管理の充実による個々の設備の高い信頼性の確保を前提に予備機を設置しないことを標準としているが、機能損失時の社会経済的損失に鑑みれば、冗長性（リダンダンシー）の確保に課題があるといえる。さらに、これまで整備されてきた設備の多くは特注・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、故障等に伴う部品供給に長期間を要するなど、メンテナンス性の確保にも課題がある。

このため、故障等による機能喪失リスクを考慮した上で信頼性を確保するには、個々の機器の信頼性の確保だけでなく、設備全体としての信頼性を確保することを目的に、総合信頼性（ディペンダビリティ）の概念を導入すべきである。

総合信頼性とは、JIS規格（JIS Z8115：2019）において「アイテム（対象となるシステムなど）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」と定義されているが、河川機械設備の総合信頼性においては、そのうち信頼性、保全性、保全支援性能を位置付ける。

①信頼性

信頼性（JIS Z8115 192-01-24）は、「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」と定義される。

河川ポンプ設備において、故障によりポンプが稼働しない期待値を用いて定量的に評価した場合、計画排水量に対して小口化されたポンプを複数台整備することにより、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。

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」（N+1：必

要台数Nよりも1台多く設置すること)をもとに、計画排水量に対するポンプ台数に+1台を設けることで、仮に故障等に伴い機能損失が生じた場合でも計画排水量を確保できる確率は高くなる。

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機能損失に至る確率は低くなり、さらにN+1による+1台を整備することにより、計画排水量を確保できる確率は高くなり、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に鑑みれば、排水機場の規模等を踏まえつつマस्प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。

なお、ポンプ台数と吸込管の増加によって、吸水槽にポンプ運転を阻害する渦が新たに発生する可能性がある。そのため、各ポンプの運転計画や吸水槽の設計においては、このようなポンプ間の干渉にも十分留意する必要がある。

②保全性

保全性 (JIS Z8115 192-01-27) は、「与えられた運用及び保全条件の下で、システムやその構成機器などが、要求どおりに遂行できる状態に保持されるか、または修復される能力」と定義される。

現状の河川ポンプ設備は、その操作手順、メンテナンスの手法などについて、建設年度、地域特性、製造したメーカーの特徴により排水機場毎に特異性があり、その運転操作や維持管理においては、設備毎に特性を踏まえた習熟が必要となっている。

マस्पロダクツ化等により共通化・規格化が進展すれば、これらの特異性が緩和され、保全性の向上が見込まれる。

一方、小口化されたポンプを複数台整備することにより、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。

③保全支援性能

保全支援性能 (JIS Z8115 192-01-29) は、「システムやその構成機器などが機能を維持するために必要な資源の供給に関する組織の有効性」と定義される。

河川機械設備においては、故障時の部品調達や修理交換に必要な技術者の確保の観点から、マस्पロダクツ化が図られた設備ほど優れていると言える。一方、製造終了後の部品の調達については、適切な代替品に切り替えるなど、特に留意すべきである。

保全手法については、一般的な保全体系に基づき、予防保全と事後保全を使い分けて実施してきたところであるが、保全内容を冗長化する新たな保全手法として、サブシステムの交換により迅速な機能回復を可能とする「交換保全」と、必要台数に+1を組み込み故障等発生時にも必要な機能を確保する「N+1保全」から成る「冗長化保全」の導入を検討すべきである。

(2) 機械設備のマスプロダクツ化

河川機械設備はその多くを特注・受注生産により整備してきたことから整備年代・メーカー毎に操作制御方法や保全方法が異なり、維持管理・更新時の迅速な部品供給や技術者確保を困難にしている。これら特注・受注生産品の維持管理や更新時に発生す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。例えば排水ポンプの場合、小規模ポンプの駆動機関にマスプロダクツの車両用ディーゼルエンジンを導入することにより、コストダウン・部品供給体制の確保・自動車整備工を活用するメンテナンス・小規模ポンプを複数台設置する小口分散化を図ることができる。これにより、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が向上する。

なお、マスプロダクツ化によりコストダウンが図られれば、サブシステム自体を予備品としてストックすることが可能となり、サブシステム自体を交換することにより迅速な機能回復を図ることができる。

また、小口分散化に加えて、N+1を整備することで、故障により機能損失した場合においても計画上必要な機能は確保できるため、総合信頼性の向上に繋がることから、N+1による冗長性確保を検討すべきである。

河川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、土木構造物、建屋、用地なども含めたライフサイクルコスト及び総合信頼性の観点から総合的に判断することが必要である。

なお、マスプロダクツ型排水ポンプについては、小口分散化による総合信頼性の向上が期待できることから、実証試験を通じて土木構造物、建屋など、排水機場全体としてのコストについて明らかにし、経済性に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優先的に検討することが考えられる。また、これより大規模なポンプ設備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、マスプロダクツ型排水ポンプについては、現在は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に向けた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、当該動力源の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。

(3) 気候変動に対応した運用と手戻りのない設計

気候変動の影響については、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」¹⁾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。

気象庁によれば、「日本沿岸の海面水位は、十年規模の変動が卓越するものの、1980年代以降、上昇傾向が見られる（1993～2015年の上昇率は+2.8[1.7～4.0]mm/年）」とされており、気象研究所による最新の研究成果によれば、「日本沿岸の海面水位は、21世紀中に上昇する可能性が高い」²⁾とされている。

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。

これらを踏まえ、河川機械設備の耐用寿命を考えた場合、今後、新設・更新する施設については、2040年を超えて稼働することから、新設・更新時点で、原則として、2℃上昇に対応した治水計画の目標流量に対応すべきである。

また、2℃を超える気温上昇に対しては、将来的な河川機械設備の改修を前提とし手戻りなく対応できるよう今後の新設・更新時点で検討する必要がある。

例えば、河川ポンプ設備においては、手戻りなく排水能力の増強が可能となるよう増設スペースの確保などについて予め具体的対策について検討すべきである。また、河川ポンプ設備の多くは海に近い低平な地域に設置される場合が多いことから、海面水位の上昇や高潮外力の増大に対応することも必要である。

さらに、河川ゲート設備では、海面水位の上昇や高潮外力の増大等により扉体の補強・改造が必要となる場合、扉体重量が増加するとともに、開閉装置も能力増強が必要になることから、門柱や基礎などの土木構造物についても必要な強度や構造が求められる。そのため、気温上昇に伴う改修に際しては、土木構造物に極力手を加えることなく能力の増強が可能となるよう、具体的対策を

講じる必要がある。

なお、施設設計にあたっては、単に造り替えるのではなく、機械設備のマスプロダクツ化やポンプ高流速化等の高性能化とライフサイクルコストも考慮したポンプ設備の高効率化による河川ポンプの技術革新を進めるべきである。また、ポンプ設備の排水能力の計画においては、今後の整備による支川や流域の持つ貯留機能や遊水機能等を考慮し、全体計画の中での整合性を確認することが必要である。

さらには、過去に経験した洪水・内水パターンだけでなく、気候変動予測モデルを踏まえた今後の気候変動で想定される洪水・内水パターンの組合せにおいても、施設の機能が損なわれず確実に発揮されるよう、操作方法を十分に検討し、運用の見直しと施設設計への反映が必要である。

4.1.2. 長寿命化のためのメンテナンスサイクルの確立

機械設備の健全度の評価は、定期点検の結果に基づいて施設管理者が評価しているが、近年、老朽化に伴う故障により、突然機能が喪失する事象が発生していることを踏まえると、施設の特성에応じたリスクについて十分な評価がされているとは言い難い。

そのため、老朽化が進行する設備の故障リスクに対応するには、必要な知識と技術力を有する「診断技術者」による「診断」の実施、さらには診断技術者の担い手確保に向けて、診断の実施体制、診断技術者の育成支援策や資格制度活用についても検討しつつ、診断要領を策定すべきである。

また、河川機械設備に関しても BIM/CIM の活用を推進し、3次元モデルに維持管理情報を蓄積することにより、効果的なメンテナンスサイクル（点検～診断～措置～記録の維持管理のサイクル）を確立すべきである。

さらに、古い機械設備の中には更新が行われず、最新の技術基準に適合しない施設（旧基準に対応した施設）も残っていることから、施設情報のデータベース化を進めるとともに、施設管理者は、必要に応じて診断技術者による修繕の必要性の判断も踏まえつつ、重要度や緊急度に応じて計画的に更新していくことをメンテナンスサイクルの中に位置付けることが必要である。加えて、超過洪水時に機能に支障が生じる可能性のある施設については、できるだけ速やかに超過洪水時にも機能が発揮できるような対策を講じていく必要がある。

(1) 定期的な診断のための技術者・体制の確保

河川機械設備の機能を維持し、突然の機能喪失を防止するためには、部品等の損傷や劣化に対し適切なタイミングで修繕を行い機能回復することが必要である。機械設備には、定期点検では確認することが困難な不可視部分も存在することから、重要な部品のボルトの腐食進行などの従来のメンテナンスサイクルでは把握できない損傷に起因する機能喪失リスクがある。このような機能喪失

失に直結する重要部材の損傷に留意し、その劣化要因等を特定することが必要である。このためには、過去の点検データから得られる部材の劣化傾向等から、故障メカニズムや因果関係を分析評価することができる者（以下、「診断技術者」という）が、設計思想や損傷状況等を踏まえ、適切に修繕の要否を判断すること（以下、「診断」という）が重要である。

「診断」を定期的に行うことにより、設備の劣化傾向をより適正に把握でき、劣化が顕著な部分をいち早く措置することで機能喪失を防止し、設備の信頼性向上を図ることができる。また、劣化や故障が見られない部分については、修繕時期の最適化が図られ、設備の信頼性を担保しつつ、長寿命化によるライフサイクルコスト面での負荷を低減させる効果も期待できる。

なお、診断技術者による「診断の結果」および「修繕の必要性」の評価・判定については、第三者委員会において客観的かつ公平な判断を経て実施することにより、適切なメンテナンスサイクルを構築するべきである。その際、毎年の点検結果を踏まえ、緊急的な措置の必要性や施設の重要度に応じ優先順位をつけて計画的に診断が行える体制とすることが必要である。

また将来的には、デジタル技術やAI技術を診断の補完技術として活用すべきである。

(2) 維持管理の効率化 (BIM/CIM の活用)

機械設備の状態把握の効率化を目的としてBIM/CIMを導入し、最新の3次元データを整備するとともに、点検結果や不具合に関する記録を属性情報として蓄積すべきである。これにより、機械設備の情報が可視化され、緊急時の状況把握、部品の特定等が容易になり、対応及び情報共有の迅速化を図ることが可能となる。

また、点検日や不具合の発生日、部品の交換日、稼働日等の時間情報を属性データとして管理することにより、劣化や腐食、故障の過程を分析することが可能となり、点検や修繕の効率化に繋がるとともに、河川機械設備の技術開発の潜在的なニーズを把握することが可能となることから、BIM/CIMの属性情報整備にあたっては、時間軸も含めたデータ整備を行うことを原則とすべきである。

4.1.3. 危機管理のあり方

気候変動による影響に伴う近年の激甚な水災害や大規模停電を踏まえると、長期間の燃料供給途絶や、大規模停電などによる電力、動力、通信が遮断される状況下においても、被害の拡大を最小化するための機能を確保する必要がある。特に、排水機場の耐水化については超過洪水を考慮するとともに、大規模に浸水した場合の燃料補給ルート（アクセス路）を予め確保すべきである。

また、河川ゲート設備についても、大規模停電時に閉操作を行う必要に備えて

自重降下機能を付加することは、確実にゲート設備を閉鎖するための冗長性確保の観点から有効な手段である。加えて、本川の水位が下がり、氾濫の危険が去った後も燃料や電力、動力、通信などの途絶が長期間継続した場合においても、支川から本川に排水する手段として、ゲート設備にフラップ機能や手動の油圧ジャッキ機能を付加することにより、応急的に必要最小限の開操作を可能とする技術の導入も必要性に応じて進めるべきである。

4.2. 担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行

水門、樋門・樋管（以下、「水門等」という）などの河川管理施設の運転操作は、河川管理者自らが実施する場合のほか、多くの施設では地域の地方公共団体や住民、民間企業等への委託により運転操作員を現地に配置し、機側で実施している。

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。

水門等の操作は、河川管理者が定めた操作規則に則り、操作員が現地で操作を実施している。そのため、操作員は支川合流部において本川・支川の水位状況や流向を現地で確認のうえ、水門等の開閉操作を適切に行う必要がある。また、水門等が故障等のトラブルにより操作不能になった場合の対処（軽微な修理や予備動力への切替え）は現地で行う必要があることから水門等の主たる操作方法は現地での「機側操作」が主流となっている。

そのため、操作員は早朝深夜に関わらず、操作のタイミングまでに現地に到着し、待機する必要があるが、近年は、ゲリラ豪雨や線状降水帯による降雨等に伴う急激な水位上昇により、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現地から退避する場合もある。

東日本大震災では、津波により現地の操作員が被災したことから、機側操作を安全に行えないと判断される場合に、操作員を退避させることや、さらにそのような状況下においても自動的に、又は遠隔操作によりゲートの開閉を行うことの必要性が明らかになった。

このような観点から、操作員の高齢化に伴う担い手不足への対応や危機管理対策の充実を図るため、少人数で一か所の拠点から複数施設の操作が可能となる「遠隔操作」に段階的に移行すべきである。

河川ゲート設備については、比較的小規模な樋門・樋管等に対して、フラップゲート等の採用による無動力化を推進するとともに、操作が必要な施設に対しては、遠隔監視操作システムの整備を推進することで、操作員による「機側操作」から脱却し、現場試行・検証を経て「遠隔操作・集中管理」の本格的な導入について地域の状況を踏まえ推進すべきである。

さらに、「操作」の定義の見直しを行った上で、通常の実行規則どおりの操作を行う場合には、遠隔からの監視体制や、現場周辺の安全確保を前提とした不測事

態のバックアップ体制を確保しつつ、水門等操作の自動化（フルオートメーション化）の現場試行・検証を実施し、導入すべきである。

一方、河川ポンプ設備については、機能停止が地域に与える影響や、システムの複雑さ、故障・トラブル時等に人による対応が必要なことを考えると、人を現地に配置することが必要である。したがって、遠隔操作の本格導入については、トラブルへの対応等含め確実な操作環境が整うまでは、引き続き現場の操作員による操作を併用し検証を行うなど、施設のおかれた地域の状況も配慮した移行期間をもちながら導入する必要がある。但し、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後などの操作手段として活用できるよう整備は着実に進める必要がある。

また、遠隔操作・自動化は極めて近い将来に主体とならざるを得ないことが想定されることから、これらの導入について段階的に推進する必要がある。

4.2.1. 遠隔監視操作システムに関する基準の策定

(1) 遠隔監視操作機器類の設置基準

水門等の操作・制御に際しては、施設周辺の安全確認や警告を確実に行う必要がある。遠隔操作においても、現場の操作員による機側操作の場合と同様に安全かつ確実な操作ができるよう、操作に必要な監視機器類の配備について検討すべきである。

具体的にはこれまで導入してきた遠隔監視操作システムを参考に、標準的な監視項目等を設定し機器故障時の冗長性（リダンダンシー）を確保した上で、必要な機能や機器を抽出し、遠隔監視操作システムの標準化を検討し、水位計、順流・逆流が判断できるセンサー、夜間でも確認可能な監視カメラ（暗視カメラ等）、操作を告知する放送設備、夜間でも視認性の高い量水板（蛍光・蓄光仕様等）など、遠隔監視操作のための監視機器類の仕様や必要台数等の設置基準を定める必要がある。

また、複数の施設を集中管理する場合には、ゲリラ豪雨などによる急激な水位上昇により、複数設備の遠隔操作を短時間で集中して行うことが想定される。そのような状況においても操作前には監視機器（CCTVカメラ、水位計等）を用いた水位・流向の監視、安全確認等の操作判断を行い、安全で確実に操作する必要がある。よって、遠隔監視操作システムの導入にあたっては、過去に経験した実際の洪水・内水パターンだけでなく、気候変動予測モデルの実験結果を踏まえた洪水・内水パターンも参考にして安全確認や操作のシミュレーションを行うなどし、監視機器類、操作端末の台数等を検討するとともに、遠隔操作員の人数等が管理する施設数に見合ったものであることを確認する必要がある。その上で、急激な気象状況の変動に際しても、安全かつ確実な操作が担保され、誤作動が起きにくい設備を設計する必要がある。

さらに、施設の重要度に応じて、電力等が遮断されても遠隔操作を継続でき

るように複数の手法による電源・通信の多重化等のハード対策についてもあわせて検討する必要がある。

(2) 遠隔監視操作システムのインターフェース等の標準化

現状、遠隔監視操作システムは、操作監視画面上の監視項目や操作方法などの仕様が統一されておらず、システムを一部導入した施設においては、施設管理者や製造したメーカーにより仕様が異なっている。今後、遠隔操作化・集中管理の推進にあたり、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、重大な操作ミスを招く危険があると同時に、操作員育成においても非効率である。施設管理者や操作員であれば、誰でも安全かつ確実に操作できるよう、遠隔監視操作システムのインターフェースについて、仕様の標準化、操作画面への表示方法や操作方法の標準化を進めるべきである。

なお、インターフェース標準化の検討に際しては、操作する者に対して操作対象設備ごとに適切な操作タイミングを知らせるガイダンス表示機能や、警告音等による危険事象の注意喚起など、各操作対象施設における操作遅れの防止や、誤操作防止といったヒューマンエラー対策を講じるべきである。なお、これらの遠隔化・集中管理に伴って蓄積される観測データは、収集、分析することにより、AI等による遠隔監視操作・判断の支援システムや、操作の自動化（フルオートメーション）などの技術研究開発での活用が期待できる。

(3) サイバーセキュリティ確保

機側操作から遠隔操作・集中管理への移行に際しては、従前通信している監視画像などのデータに加えて、機械設備の制御に使用する操作信号をネットワーク上で通信する必要がある。遠隔監視操作システムの導入にあたっては、外部からの不正操作を排除するため、インターネットから隔離された国土交通省のクローズドネットワークで監視・操作を行っているが、マルウェア等による河川機械設備への不正アクセスにも配慮したサイバーセキュリティを確保すべきである。

4.2.2. 遠隔操作の運用体制

(1) 遠隔操作の操作規則への位置づけ

これまでの操作規則では機側操作を基本としているが、遠隔操作の導入にあたっては、操作に必要な状況判断を行う者が、責任をもって遠隔地において必要な安全確認、運転条件を確認する必要がある。現場の被災等により操作員が退避した後の操作継続といったシチュエーション等も想定した操作規則を定める必要がある。例えば、遠隔操作を行う条件や、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。特に、河川ゲート設備において複数のゲート設備の開閉操作を遠隔地から確実にを行うために、安全確認方法等の手順に

について検討し確認事項を施設毎に明確に示したうえで、遠隔操作を主たる操作として各施設の操作規則に位置付けるべきである。

また、操作規則に遠隔操作を位置付けることにより、将来的には、気候変動を想定した降雨量の時間分布・地域分布に対応した操作シミュレーションや、リアルタイムの降雨量の時間分布・地域分布のデータに基づいて、排水機場や水門等を集中管理の下で運用することで、より効率的・効果的な施設操作を実現できる可能性もある。

(2) 遠隔操作の実施拠点の設置

遠隔監視操作を実施する拠点は、洪水時において速やかに遠隔監視操作体制を構築できる必要がある。そのため、拠点設置数や選定にあたっては、浸水リスクを考慮した立地条件、河川管理施設へのアクセス、電源や光ケーブル等設備の整備状況、行政区域、地域特性等を踏まえて、冗長性を確保し設定する必要がある。

(3) バックアップ体制の構築

遠隔操作化にあたっては、遠隔操作の対象施設に何らかの不具合や異常が発生した場合に備え、遠隔操作の実施拠点からの現地支援体制を構築することに加え、対象施設の機器故障等による遠隔操作不能時に、速やかに現地で復旧・機側操作するための人員の派遣を含むバックアップ体制を構築することが必要である。

これらバックアップ体制の構築にあたっては、遠隔操作実施拠点毎に操作対象となる施設数や移動距離などを考慮したエリア分けを行い、遠隔操作のバックアップに必要な支援体制や、対象施設に派遣する現地対応者の安全確保を徹底した体制を検討することが必要である。加えて、遠隔操作の実施拠点が被災し機能喪失した場合に備え、同時に被災しない他の遠隔操作拠点からの操作代行の方法についても検討しておく必要がある。

4.2.3. 広域的な集中管理の導入

地方公共団体が避難指示等を的確に発令するためには、各施設管理者が管理する機械設備の運転状況を把握する必要がある。特に河川ゲート設備は堤防の一部であり、氾濫防止のためには確実な閉鎖が必要なことから、開閉情報の集約が必要である。流域や地域の河川機械設備の運転状況に関する情報集約を実現するためには、電源喪失時も稼働可能な一元監視システムを活用した集中管理が有効であり、導入に向けた開発を推進すべきである。

現在、内閣府の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）³⁾ において国が技術研究開発を行っている危機管理型水門管理システムは、LPWA [Low Power Wide Area]（低消費電力で長距離の通信ができる無線通信技術）による通信フォ

ーマットの標準化を目指しており、電池で年単位の稼働が可能となることから、一元監視システムとして期待され、実証試験が行われているところである。これらの技術動向も踏まえて、特に国土交通省管理河川においては一元監視を先行して進めるべきである。また、国土交通省が管理する河川ゲート設備への導入、普及にあわせて、地方公共団体等への導入も支援すべきである。

4.3. 技術力の維持向上

地方公共団体を含めた官民それぞれの技術力の維持・向上を図るためには、民間企業の持つ技術力の継承や技術研究開発に対する支援、官主導による新技術の開発体制の構築、官民相互の故障や劣化状況などの技術情報の共有化と定期的な診断のための診断技術者の育成などを進める必要がある

4.3.1. 地方公共団体・企業の技術力の維持向上

(1) 地方公共団体への支援

予算や人員の不足等から計画的なメンテナンスサイクルの維持や機械技術者の育成が課題となっている地方公共団体に対しては、施設の維持管理に必要な技術の継承を支援すべきである。

地方公共団体など専門技術を有する職員のない施設管理者においては、施設の操作や定期点検、診断、修繕計画立案などが課題となっており、例えば、機械設備に対応する技術者を育成するため、機械設備分野のME（メンテナンスエキスパート）の養成講座や民間の技術研修センターの活用、国や地方公共団体を越えて若手技術者を点検診断業務や修繕計画立案に立会わせる機会を設けるなどの支援策も有効であると考えられる。

また、操作員不足への対応として、今後は地方公共団体においても、フラップゲートの整備や、複数の施設を一カ所から集約して操作を行う「操作の遠隔化・自動化・集中管理」の導入の必要性が高まる。そのため、フラップゲートの整備に向けた設計手法に関する指導・助言や、国土交通省が検討する遠隔操作のためのシステム構築手法などの情報提供をすべきである。

(2) 企業の技術力の維持向上

河川機械設備は、エンジン等の駆動装置、動力伝達装置、制御システムといった複数の装置が連動して機能を発揮するプラント設備であり、機械設備全体のバランスを考慮した総合信頼性の高いシステムを構築するためには企業のエンジニアリング技術が必要である。さらに、河川機械設備の維持管理・修繕・更新にあたっては、当初の設計思想を踏まえつつ最適なエンジニアリング技術力を用いることが必要である。

とりわけ、河川ポンプ設備や大規模な堰などに採用されているシェル構造ゲートなど、高度な設計・製造・据付技術を必要とする機械設備は、案件自体が

希少であることもあり、技術継承する機会を得ることが困難となっている。そのため、熟練技術者の大量退職の前に、災害時に「地域の守り手」となる機械技術者の担う社会的役割について積極的に広報することも含め志望者の確保を図ることに加え、若手技術者への技術継承とその育成が急務であることから、熟練技術者の下に若手技術者を配置し、若手技術者の育成を図る必要がある。

その際、今後増大が見込まれる機械設備の新設・更新事業について平準化を図りつつ、計画的に推進することで、結果的に企業経営・人材育成の観点からも、企業により培われたエンジニアリング技術の継承・維持・向上に繋がることが期待できる。

また、現在は大規模な堰や特殊設備の修繕工事等においても、一般競争入札を行っているが、設備の修繕や更新にあたり、当該設備の設計・製造や据付時の施工を行った元施工メーカーのみが有するエンジニアリング技術力の活用が必要不可欠であると判断される場合には、民間企業の技術力維持の観点も踏まえ、公募手続きを経た公平性・透明性の確保を前提に、技術力を持った元施工メーカーとの特命随意契約方式の活用を検討すべきである。さらに企業の技術力の維持向上には、新しい技術の開発、導入を促進することも必要であり、入札方式についても企業からの技術提案に積極的に対応する姿勢が求められる。

4.3.2. 技術研究開発の推進

(1) 新たな技術研究開発手法の導入

インフラの技術研究開発については、一般的にニーズがあっても、従来の発想を超えた新技術の研究開発・社会実装を民間企業単独で実施するには、多大なリスクを伴う。このような状況を打破し、民間の技術研究開発を推進するには、ニーズを持った官の主導により、研究開発に伴う民間企業のリスクを低減し、その技術開発力を引き出す新たな技術研究開発手法の導入が必要である。

例えば、官の責任の下で技術検証（PoC:Proof of Concept）を実施し、有効性が確認された場合に必要な技術基準、標準設計等を定めることで、民間企業は技術検証後の製品化に専念することが可能となることから、通常ならば民間企業が負うべき実用化までのリスクを軽減することができ、新しい発想での技術研究開発の促進が期待できる。

技術研究開発や技術実証を官主導で行う場合、研究開発過程の公正性・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）段階における後発技術への配慮が必要である。その際に技術研究開発段階において導入に伴うリスクについて可能な限り明らかにする必要がある。

さらに国において実施した新しい有用な技術の現場実証評価結果等を地方公共団体に展開することで、企業側にとっても研究開発した技術が活用される機

会が増えることで、企業による技術改良がさらに促進されるという好循環が期待される。

(2) 性能規定の導入

河川機械設備の技術基準には、「揚排水ポンプ設備技術基準」⁴⁾、「ダム・堰施設技術基準(案)」⁵⁾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)⁶⁾、「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)⁷⁾において仕様を規定する基準と解説が合わせて発刊され、事実上運用されている。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となるように受発注者双方の共通認識として規定したもので、設計・施工が容易に進むだけでなく、信頼性確保の観点からも大きな役割を果たしてきたといえる。一方で技術基準により標準仕様が決定され、技術提案を伴わない入札が多数となっている現状では、仕様外の新たな技術の導入を妨げてきたことも否めない。

よって、他分野における性能規定化の取組も参考に、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、民間企業のもつ新技術の導入を促進するために性能規定化について検討する必要がある。

性能規定化も、その採用方法(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、構成部材・装置への適用)、目的などにより様々なパターンが考えられる。

これまでのPFI事業においては、性能規定化の範囲を大きく設定することで、提案の自由度が増すと同時に、民間企業側が多くの権限と責任を負うことになるが、河川機械設備に災害時の故障や機能停止等が生じた場合の影響や責任を民間企業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、長期の信頼性など不確実性の伴う過大な責任を国が民間企業側に委ねることは、民間企業側の提案や開発意欲を引き出せないばかりか、結果として信頼性の確立した従来技術からの技術革新が進まずに留まる可能性を含んでおり、国が性能規定化を通じて目指す技術革新への迅速かつ柔軟な対応、民間の創意工夫の促進、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的に性能規定化を図るためには要求する性能(機能)とその検証・照査技術の確立に努めるとともに、「例示仕様の提示」「一般的な検証方法の提示」を行うことが望ましい。さらに発注者による検証が困難と想定される「高度な検証」が必要な場合においても、性能評価機関を設けるなどし、性能が確認された場合には、当該性能に係る受注者の責任を一定程度免除するなど、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。

性能規定の導入は、民間企業に対して使用材料や使用機器に関する選択の自由度を拡げ、挑戦の機会を与えることを企図するものであり、性能規定化によ

る技術研究開発の促進のためには、目的・対象に合わせ、官が主体となりフィールドの提供や実証試験の実施を意思表示するなど、開発プロセスの入口段階において、民間が負うべきリスクを限定できることが重要となる。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を構築することにより、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る。

さらに、性能規定化においては技術の進歩、性能規定の目的、対象に応じて適切に運用し、画一的な運用とならないように留意すべきである。

例えば、河川機械設備においては摩擦低減材料の採用などにより小型・軽量化された駆動装置の導入などが期待できるが、建築基準法に導入された性能規定のように優れた性能を追求する観点から、制振・免震ダンパーなど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指定性能評価機関などのスキームを構築し、リスクヘッジを行っている事例なども参考にすべきである。

(3) 今後のニーズに応える民間開発技術の導入促進

河川機械設備には、防食性や耐候性などの性能向上に対するニーズや、カーボンニュートラルに対応した駆動装置、メンテナンス性向上に資するモニタリング機構や運用時の周辺監視技術などの機能面での開発ニーズ等、技術研究開発に対する様々なニーズがあることから、技術研究開発では、管理者のニーズと企業や研究機関の有する新技術・新素材などのシーズとのマッチングを進めることにより、積極的に民間開発技術の導入を促進すべきである。

民間企業が開発した新しい技術が現行の技術基準類から逸脱する新しい技術の場合は、そのまま導入することができないことから、民間開発技術の導入を促進するためには、国が現場ニーズを踏まえた技術公募を行い、応募のあった企業の技術に対して機能検証のために必要な実証現場を積極的に提供すべきである。なお、河川機械設備では新技術の評価に際して耐久性など長期間の検証を必要とするものもあり、こうした技術の導入を促進する観点からも、新技術導入に伴う企業側のリスクに配慮し、河川管理者として官の責任の下で必要な実証現場を提供し、十分な時間を費やして機能検証（技術評価）することが必要な場合もある。

さらに現場実証により有用性が確認できた技術に対して技術基準類を改定する等の仕組みを構築する必要がある。

4.3.3. 知識・情報の共有

(1) 故障・誤操作事例の蓄積・管理・分析（データベースの整備）

河川機械設備の故障情報や操作時のトラブル情報は、類似トラブルの再発防止や予防保全の観点から、設計・運用・維持管理の各フェーズにおいて有益な情報である。さらに各施設管理者は、様々な形式の設備について、年1回以上の頻度で定期点検を実施し、設備を構成する部品機器の損傷や劣化状況を記録し、膨大な点検データとして保管している。

機械設備の修繕や部品交換は、これまで定期点検の結果に基づき行われることから、データベース化された点検データを分析することで使用条件の違い等による劣化傾向や部品交換時期を検証することも可能になると期待される。

また、故障やトラブルの原因究明を適切に行うためには、施設の設計思想を踏まえつつ、過去の点検データから得られる部材等の劣化傾向に照らし、故障メカニズムや因果関係を分析評価する必要がある。このため、管理者は日頃から過去の点検履歴のデータベース化を行い、トラブル発生時には、原因究明のために故障等に関する正確な情報の提供、点検履歴等を提供できるようにすべきである。

さらに、情報収集に過度な負担が生じないように、収集すべき情報について将来のデータベース化を考慮しつつ、定期的な情報収集において、損傷や補修部位の位置特定や、部品・機器類の交換時期を特定出来るよう、収集した情報と3次元情報・時間情報を関連付けて定形化を図るなどの工夫が必要である。収集したデータの取扱いについては、故障原因の究明の過程で得られた技術情報の守秘にも配慮しつつ、施設名称を伏せるなど基本原則を示した上で、情報提供を受けることが考えられる。

そのため、河川機械設備を適切に管理するために、管理者間で故障や不具合事例などの維持管理に役立つ情報については、国主導で適切な情報管理下でのデータベース化を進め、それらの分析を行ったうえで、情報の共有を図り、水平展開が必要な再発防止策等については、技術基準等へ反映させるべきである。

(2) 実施体制の構築

情報のデータベース化と共有にあたっては、国が管理する河川管理施設に限らず、同種・類似の機械設備も対象とし、その維持管理を行っている河川管理者や許可工作物の管理者である地方公共団体等も含めて体制を整えるべきである。

今後の老朽化の進行・集中を見据えれば、類似する設備トラブルの管理者間の垣根を超えた情報共有を図れる仕組みを構築しておくことは、各管理者にとって有意義なものとなることは明らかである。本来なら十分措置できる機械設備の不具合やトラブル防止の機会を逸失しないようにするためにも、国、地方公共団体等の設備トラブルの事例や定期的な点検記録等を収集し、そのデータ

から得られる知見を踏まえた対策や様々な改善措置等について、施設の管理者に加え、メーカー等にまで共有し、技術レベルの維持向上や技術基準等への反映につなげる必要がある。

体制づくりにおいては、実際に経験した設備トラブルの原因究明や再発防止の対応に関し情報を集めることが重要である。

国土交通省では管理する河川機械設備に重大なトラブル等が発生した場合、管理者である地方整備局において「故障調査検討会」を開催し、専門の学識者やメーカーの参画のもとで原因究明を行い、再発防止に努めている。

都道府県管理の河川管理施設や許可工作物等においても、重大なトラブル等が発生した場合には、河川管理者、学識者やメーカー等の参画のもとで検討会等を開催して原因究明を行い、再発防止に努めるような体制を構築することが望まれる。

これらの情報の集約と共有には、国が主導し、適切な情報管理の下で地方公共団体などの異なる管理者間とも情報共有を進めることで、予防保全への理解が深まり、メンテナンスサイクルがより充実したものとなることが期待できる。

ただし、集めた情報の利用にあたっては、国がそれぞれの守秘義務に留意しつつ適正な情報管理の下で分析などを行い、技術基準等に反映するとともに、再発防止のための注意喚起に使用すべきである。

さらに、社会的影響が大きいと考えられる重大事故・インシデントに係る情報については、産官学の連携体制において公平中立な専門家による調査を実施し、必要な対応策を講じる必要がある。

また、収集した情報は、適切な情報管理の下で、関係機関やメーカー、設計者等への情報共有、維持管理に携わる管理者・操作者等の人材育成にも活用すべきである。

-
- 1) 国土交通省 社会資本審議会 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 気候変動を踏まえた水害対策のあり方について 答申 (令和2年7月)
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou_suigai/pdf/03_honbun.pdf
 - 2) 国土交通省 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言 (令和2年7月)
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hozen/teigen.pdf
 - 3) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 国家レジリエンス (防災・減災) の強化 研究開発計画
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/9_resilience_1.pdf
 - 4) 国土交通省 揚排水ポンプ設備技術基準 (平成26年3月)
<https://www.mlit.go.jp/common/001037879.pdf>
 - 5) 国土交通省 ダム・堰施設技術基準 (案) (平成28年3月)
<https://www.mlit.go.jp/common/001126025.pdf>
 - 6) (一社) 河川ポンプ施設技術協会 揚排水ポンプ設備技術基準・同解説 (令和2年1月版)
<http://www.pump.or.jp/filename95.html>
 - 7) (一社) ダム・堰施設技術協会 ダム・堰施設技術基準 (案) 基準解説編・マニュアル編 (令和2年7月版)
<http://dam777.ec-net.jp/book/syoseki/kaisei.htm>

5. おわりに

本答申では、気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化や、少子高齢化に伴う担い手不足が深刻化する現在の社会情勢下において、経済成長期に整備されたインフラの大更新時代の到来を迎える河川機械設備のあり方について提言をまとめた。

審議は、新型コロナウイルス感染が拡大するなか、第1回小委員会を除き、感染防止対策として定着した計7回のオンライン会議で行われ、機械工学、土木工学、法学分野の各専門家、河川機械設備に民間企業団体の代表らが参画した。

3万施設を超える全国の河川機械設備の運用実態を踏まえ、その設計思想や運用体制、維持管理体制について、さらには河川機械設備を支える企業のエンジニアリング技術、施設管理者の技術力、線状降水帯やゲリラ豪雨に伴う急激な状況変化に晒される操作員の安全確保にも目を向け、河川機械設備の総合信頼性向上を実現するための方策について、計8回の議論を重ねた。

河川管理施設は、国土交通省や地方公共団体といった河川管理者の下で整備されるものと、河川管理者以外が管理する許可工作物も含まれ、これらの施設についても機能が損なわれることで甚大な被害を招くことから、国土交通省が管理する河川管理施設の課題については、地方公共団体など他の管理者にも及ぶ重要な課題であることから、提言の取りまとめにあたって、知識・情報の共有に際しては、国土交通省以外の管理者も含めた枠組みを提案した。

提言には、3つの柱として(1)システム全体の信頼性の確保、(2)担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行、(3)技術力の維持向上、を掲げ、今後の河川機械設備のあり方として、運用体制、設計思想、操作、保全、技術開発の各段階について提案を行い、設備全体における総合信頼性の向上を目指した。

少子高齢化に伴う河川管理施設の操作員不足に対応するため、水門等の操作に対し、これまでの機側操作から脱却して、段階的に遠隔操作に移行し、遠隔化・自動化・集中管理の本格的な導入を推進することの必要性を示した。これらの遠隔化・自動化・集中管理への移行については、急激に増加するサイバーテロなどの社会情勢を踏まえ、サイバーセキュリティ対策についても触れた。また、今後の担い手不足に備え、地方公共団体や企業に対する技術者育成や技術力の維持向上、新技術導入のための取組も示した。

さらに、現在の国際社会は、気候変動による自然災害の増加、地球規模でエネルギーセキュリティをはじめ、様々な分野においてリスクを抱えており、日々変化する脅威への柔軟かつ迅速な対応が求められている。

このような社会情勢の中、河川機械設備には、水害や地震等の自然災害に伴う停電や通信停止、燃料途絶などが発生した場合においても操作を継続し、その機能を発揮できる総合信頼性が求められており、そのため設計・施工・維持管理・運用の各段階において総合信頼性向上につながる大きな転換が求められている。これを推進するためには、他の産業分野の先進技術や動向を積極的に取り込み、実証を通じて河川機械

設備の技術研究開発に展開する姿勢が重要である。現在開発中の「マスプロダクツ型排水ポンプ」や「危機管理型水門管理システム」についても、様々な分野の技術が活用されているが、これらの開発を参考として、技術研究開発を持続的に行う必要がある。

また、老朽化が進む河川機械設備の信頼性を維持するため、診断技術者による診断を位置付けたメンテナンスサイクルの実現にむけて、診断結果に基づく適切なタイミングでの修繕・更新の実施や、技術的判断に基づく部材交換など診断の必要性を示した。さらに、新技術の導入や、施設の長寿命化に向けた故障事例等の情報収集体制については、故障や修繕履歴、点検結果などの情報を集約し活用するための体制づくりも必要となる。

なお、本答申では河川機械設備のあり方について審議したが、今後、ダム用ゲート設備などに議論を展開することが望ましい。

本答申にとりまとめた内容については、施設の老朽化・担い手不足・気候変動などの様々な重要課題に対して、国は手遅れとならないよう速やかに取り組む必要があり、機を逸することなく計画的に推進することが望まれる。そのために必要な基準類の策定、体制の整備に速やかに着手するとともに、施設整備については保全措置としての修繕や更新などを各々適切な範囲とタイミングにおいて着実に進めることが望まれる。また、社会情勢の変化や最新の技術動向等を踏まえ、実施内容について定期的にフォローアップする体制を構築する必要がある。

本答申に基づく技術研究開発や体制、制度づくりが、国土の保全と国民の生命・財産を守るための河川機械設備の総合信頼性を向上させ、今後の河川機械設備のあり方に資することを期待する。

社会資本整備審議会 河川分科会
河川機械設備小委員会

委員名簿

伊賀由佳	東北大学流体科学研究所 教授
池内幸司	東京大学大学院工学系研究科 教授
有働恵子	東北大学大学院工学研究科 教授
喜田明裕	一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会 顧問
首藤祐司	一般社団法人 ダム・堰施設技術協会 企画委員長
戸田祐嗣	名古屋大学大学院工学研究科 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

審議会経緯等

- 令和3年 2月18日 国土交通大臣より社会資本整備審議会長に諮問
- 2月25日 社会資本整備審議会長より河川分科会長に付託
- 3月22日 第1回小委員会
- ・河川機械設備における現状と課題
 - ・マスプロダクツ型排水ポンプの開発に向けて
 - ・河川機械設備のあり方にかかる論点（案）
- 5月21日 第2回小委員会
- ・マスプロダクツ型排水ポンプの進捗状況について
 - ・河川機械設備小委員会中間報告案について
- 6月29日 第3回小委員会
- ・河川機械設備小委員会中間報告案について
- 7月30日 第4回小委員会
- ・河川機械設備のあり方について（中間とりまとめ（案））
 - ・今後検討すべき主要論点の再整理
- 11月 2日 第5回小委員会
- ・河川用ゲート設備の現状
 - ・河川用ゲート設備を含めた論点再整理
 - ・マスプロダクツ型排水ポンプ開発の進捗状況
- 令和4年 3月 3日 第6回小委員会
- ・マスプロダクツ型排水ポンプ開発の進捗状況
 - ・河川用ゲート設備を含めた論点の対応方針
- 5月30日 第7回小委員会
- ・答申の骨子案について
- 6月24日 第8回小委員会
- ・答申案について