

水中部点検におけるロボット活用マニュアル（案）

【ダム放流設備編】

平成31年2月

国土交通省総合政策局公共事業企画調整課

次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会
水中維持管理部会委員

委員名簿

部会長	角 哲也	京都大学防災研究所 教授
委員	浦 環	九州工業大学 特任教授
委員	松野 文俊	京都大学 教授
委員	油田 信一	芝浦工業大学 SIT 総合研究所 特任教授
委員	柏木 順	(一社)ダム・堰施設技術協会 参与
委員	小林 裕	(一社)建設コンサルタンツ協会 前ダム・発電専門委員長
委員	宮武 一郎	国土交通省総合政策局公共事業企画調整課 施工安全企画室長
委員	丸山 準	国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 流水管理室長
委員	佐藤 寿延	国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 河川保全企画室長
委員	佐々木 隆	国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部 河川構造物管理研究官
委員	森川 博邦	国土交通省国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究 センター 社会資本施工高度化研究室 室長
委員	西崎 到	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グル ープ 上席研究員
委員	古賀 裕久	(国研)土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員
委員	梶田 洋規	(国研)土木研究所 技術推進本部 上席研究員
委員	石田 智樹	経済産業省製造産業局産業機械課 ロボット政策室 室長補佐
委員	加藤 晋	(国研)産業技術総合研究所 知能システム部門 グループ長
委員	長野 紘之	(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI 部 主査

(敬称略)

※(国研)は、「国立研究開発法人」を示す。

平成 29 年 7 月 1 日現在

はじめに

我が国の社会インフラを巡っては、多くの施設で老朽化に伴う点検需要が増大している。また、昨今の人口減少や少子高齢化等の社会情勢は、点検実施者の減少を招いており、ICT等を活用した効率的かつ効果的な技術を開発・導入することが求められている。

産業ロボットは、ICT等の活用により、めざましい発展を遂げている。

このような現状を踏まえ、国土交通省と経済産業省は、平成25年7月に設置した「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」において、維持管理および災害対応技術の開発・導入対象を協議した。そこで、5つの重点分野を策定し水中構造物の点検・調査技術（ダム、河川）を重点項目の一つとして位置づけた。

水中構造物の点検・調査（ダム・河川）のうち、国土交通省直轄ダムにおけるダム放流設備については、ダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル(案)（国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課 平成30年3月）、ダム用ゲート設備等点検・整備標準要領（案）（国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室 平成30年3月）に基づき、維持管理が実施されている。また、土木構造物とダムゲート設備等の境界部分（堤体に埋設されているゲートのアンカーや戸当り部分）については、ダム総合点検要領・同解説（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課）や関連する要領・マニュアル等に基づいた維持管理方針をとりまとめることとされている。

水中構造物のうち、ダム放流設備の常時水没部分の点検に着目し、この点検が実施可能なロボット技術について、平成26年度から2カ年にわたり、現場検証を実施した。平成28年度には、実現場での試行的導入を実施し、ロボットが実務面で点検・調査に十分に耐えうる能力等を有することが確認された。

水中部点検におけるロボット活用マニュアル（案）（ダム放流設備編）は、この結果をもとに整理し、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会水中維持管理部会」を経て、策定したものである。今後、本マニュアル（案）を使用した点検が実施され、社会インフラ点検の効率化と高度化はもとより、ロボット技術の普及促進や更なる技術革新が図られることを期待する。

【用語の定義】

本マニュアル（案）で使用する主な用語の定義は以下による。

点検：設備の異常又は損傷の発見、機能の良否の判定のために実施する目視、計測、作動テスト等の作業をいう。

定期検査：ダム管理者により、「ダム施設及び貯水池が適切に維持管理され、良好な状態に保持されているか」、また、「流水管理が適切に行われているか」を確認するため、維持管理状況、ダム施設・貯水池の状態について、ダム管理者以外の視点から定期的に検査するものである。

保全：設備、装置、機器、部品が必要な機能を発揮できるようにするための、点検、整備更新をいう。

予防保全：故障発生を未然に防止するために実施する保全をいう。

事後保全：故障した設備、装置、機器、部品の機能を復旧するための保全をいう。

設備：装置、機器の集合体であり、ゲート等設備の施設機能を発揮する構成要素をいう。

ダム総合点検：ダム管理者が長期的にダムの健全度を確保しつつ、効果的・効率的な維持管理を実現するために実施するものであり、特に長期的な経年変化の状況や構造物の内部の状態等に着目し、ダムの健全性を総合的に調査及び評価するものをいう。

ROV (Remotely Operated Vehicle)：遠隔操作によって動く無人探査機の通称。おもに深海を調査するシステムのビークル部分をさす名称で、Remotely Operated Vehicleの略である。

GNSS (Global Navigation Satellite System)：GNSS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星 (QZSS) 等の衛星測位システムの総称である。

TS (Total Station)：測量器械のひとつ。距離を測る光波測距儀と角度を測る経緯儀を組み合わせたもの。測量結果を自動的に記録でき、測量・面積計算・地図作成に用いられる。

モザイク図：連続的に撮影された写真を接合する処理をモザイクといい、作成された図をモザイク図という。

目 次

第1章 総則	1
1.1 目的	1
1.2 適用の範囲	1
1.3 水中部点検におけるロボット活用の意義等	2
1.4 ロボットを活用した点検における事前確認項目等	2
1.5 関係する基準・要領等	3
第2章 点検対象と手法	5
2.1 ロボットによる水中部の点検対象	5
2.2 ロボットを活用した点検手法	6
2.3 ロボットを活用した点検の作業区分および順序	9
2.4 ロボットを活用した水中部点検成果の範囲	10
第3章 ロボットの種類やロボットの選定	14
3.1 ロボットの種類・特徴	14
3.2 点検手法別で求める機能等	16
3.3 ロボットの選定	18
第4章 ロボットを活用した水中部点検	24
4.1 要旨	24
4.2 事前準備	24
4.3 点検準備	28
4.4 ロボットを活用した水中部点検	29
4.5 点検時の管理	32
4.6 成果物	36

参考資料	40
1. 水中部点検に使用する機器類	41
1. 1 機器構成	41
1. 2 各種点検時における必要な機能・要求性能等	42
1. 3 ロボットの例（参考）	45
1. 4 自動追尾 TS・GNSS の性能	48
1. 5 ロボットの機能等（ROV）	49
1. 6 システムの構成（ROV）	50
2. 人員構成	51
3. 仮設備等	51
4. 水中での測定精度確認（キャリブレーション）	52
5. ロボットによる取得画像例	53
6. その他の利用場面（ダム貯水池堆砂状況調査）	66

第1章 総則

1. 1 目的

本マニュアル(案)は、ロボットを用いた水中部点検を実施する際の点検項目や調査手法、点検方法等の基本的な事項について取りまとめ、水中部点検の品質・効率・安全性の向上に資することを目的とする。

【解説】

本マニュアル(案)では、2017年度に実施した、ロボットを使用した複数の実現場での試行的導入の成果を踏まえ、点検項目や調査手法、測定精度等を含む水中部点検方法等の基本的な事項について策定した。

気中部における点検は、設備の信頼性の確保と機能の保全を図ることを目的として専門技術者により実施され、目視、触診、聴診等、幅広く実施可能である。

一方、水中部の点検においては潜水土等に頼らざるを得ず、安全性の問題や、調査時間(潜水時間)・潜水深度の制約等の問題があるため、ロボットの活用が効果的である。

ただし、ロボットによる水中部点検では取得する映像・画像が主体となり、点検方法は限られる。本マニュアル(案)は、ロボットによる水中部点検の点検手法や測定精度等について記載した。

1. 2 適用の範囲

本マニュアル(案)は、ダム放流設備等の水中部におけるロボットを用いた点検・定期検査等に適用する。

【解説】

ダム放流設備等における維持管理は、実操作を通じて、定期点検、運転時点検および臨時点検に区分され、法令に係る点検も含めて実施される。定期点検には、年点検、月点検がある。

本マニュアル(案)で示す点検方法等は、これまでの水中部点検事例を踏まえ、水中部点検におけるロボットの活用にかかる事項を整理したものであり、定期点検での適用を基本とする。また、水中部で実施する点検項目は、点検に合わせて実施することを基本とする。

水中部点検におけるロボット活用の要否およびロボットによる点検対象等の決定に際しては、過去の定期点検等の結果等を踏まえ、ロボットの特性を踏まえて効果的な点検に努めること。

水中部点検は、過去の定期点検等で得られたダム放流設備の状況やロボットの優位性等を踏まえ、ロボット活用を判断し、ロボットによる点検を実施する際の点検対象・項目等について検討する必要がある。

1. 3 水中部点検におけるロボット活用の意義等

水中部点検においてロボットを活用することにより、これまでの潜水士による点検に比べ「安全性の向上」、「点検効率の改善」、「成果の均一性」などの効果が得られる。

【解説】

定期点検等において、ロボットを活用した水中部点検を実施する意義は、通常では確認できない箇所の異常の有無を把握するだけでなく、現在、異常が見られなくても、現時点での基礎データ（外観の映像データ）を取得しておくことも含む。これは、複数年後の点検に向けて、劣化の進行状況の確認、経過観察および交換時期等の判断に利用出来る。

また、ダム放流設備に関しては個々の設備を取り巻く種々の条件を合理的に勘案し、計画的に優先度の高い設備の維持管理を進めることで、信頼性に見合った効率的な維持管理かつ維持管理コストの平準化が可能となる。

放流設備等におけるロボットを用いた水中部点検については、設備の性質上の観点（凹凸による引っ掛かりや緊急放流の可能性等）、点検時のリスク管理（および安全管理）上の観点、および潜水士でなければできない内容（例：打音や触診）があるため、点検中は、潜水士の常駐または潜水士をすぐに手配可能な体制構築が求められる場合がある。これらを踏まえ、潜水士への支援も含めた点検手法等を検討し、決定する。

1. 4 ロボットを活用した点検における事前確認項目等

水中部におけるロボットを活用した点検を適用し、効果的に運用するためには、点検現場の水中部・気中部の現地条件、点検時の条件等を考慮した準備・検討を行わなければならない。

【解説】

（1）水中部点検実施前の検討事項

取水設備など常時放流している設備での点検の際には、吸い込まれ事故防止のため確実に放流が停止（ゲート全閉）した事を確認する。その上で、水中部の状況のみならず、気中部の状況も把握する必要がある。詳細については後述する（4章）。

①水中部の状況把握

- ・点検計画立案やロボットを安全に運用するための安全対策等のために、ダム上流部の形状や構造（位置、寸法等）、施設状況が把握できる図面等が必要である。
- ・点検予定時期の水位（および水深）や水質（濁度）等がわかる資料が必要である。特に濁度については、点検能力や成果の品質に大きな影響を及ぼすため、同時期の過去3年程度の計測値を準備することが望ましい。

また、同時期の水位（最深部の水深）も、準備する仮設備（参照：参考1、揚重機の要否等）等に影響を及ぼす可能性があるため、準備が必要である。

- ・水中部点検予定時期における制約条件（電力会社等の共同管理者の作業など）について確認しておく必要がある。

②気中部の状況把握

- ・ロボットの水中位置把握のため、地上に TS や GNSS を設置する場合が多い。そのため、ロボットの位置把握に必要な基準点等を確認、整理しておく必要がある。発注者が管理している基準点等が地形や距離等の関係で、TS や GNSS に支障がある場合、点検実施者が堤体上に管理点を設置する。この管理点設置のもとになるのは、発注者が管理している基準点等となる。
- ・ロボットの入水位置、仮係留場所、ロボット操作位置および仮設備設置場所等について、確認しておく必要がある。特に入水位置、仮係留場所は、点検実施箇所から遠いほど移動時間を要するため、点検作業時間に大きな影響を及ぼす。
- ・水中部点検予定時期における制約条件（点検実施場所付近の工事、電力会社等の共同管理者の作業など）について確認しておく必要がある。

（２）水中部点検実施のための準備・検討事項

ロボットを活用した点検実施時には、下記の準備や検討を行う必要がある。詳細については後述する（４章）。

- ①対象設備に関する各種資料収集
- ②現地踏査による現地状況確認（上記（１）含む）
- ③現地踏査に基づく点検計画立案
- ④点検計画に基づく点検の実施
 - ・点検管理（点検内容、日作業量、工程、発注者確認等）
 - ・品質管理（点検成果物質の確保、成果についての発注者確認等）
 - ・写真管理（一般写真、品質写真等）
 - ・安全管理（安全対策、資格関係、天候、緊急時の体制や措置等）
 - ・環境管理（水質、騒音、振動等）
- ⑤点検後の撤収および現地復旧等

1. 5 関係する基準・要領等

ロボットを活用した水中部点検を行う際には、ダム放流設備等の点検に関係する基準・要領等について、内容を確認すること。その他関係する基準・要領等についても事前に調査・検討しておく必要がある。

【解説】

本マニュアル（案）に関係する基準・要領等は多岐に渡り、ダム放流設備の点検に関する基準・要領等について確認する必要がある。代表的な基準、要領等について下記に示す。

また、ロボットを用いた点検作業においては、ロボットは重量物となることから、水中への投入（揚重作業やボートからの投入）に際しても安全に配慮する必要がある、下記に示す安全規則等についても十分把握する必要がある。

これ以外で関係が想定される基準・要領等については、発注者と確認のうえ、適切に対応する必要がある。

《ダムの点検に関する基準・要領等》

- ・ダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル（案）（平成30年3月）
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課
国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課
- ・ダム用ゲート設備等点検・整備標準要領（案）（平成30年3月）
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 施工安全企画室
- ・河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）（平成28年3月）
国土交通省 水管理・国土保全局
- ・国土交通省所管ダムにおける定期検査の実施について
（平成13年11月28日国河環第80号）
- ・ダム定期検査の手引き〔河川管理施設のダム版〕（平成28年3月）
国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課
- ・ダム定期検査の手引き〔許可工作物のダム版〕（平成28年3月）
国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課
- ・ダム総合点検実施要領・同解説（平成25年10月）
国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課

《点検の実施に関する基準・要領等》

- ・労働安全衛生規則（昭和47年9月30日労働省令第32号）
最終改正：平成30年2月9日厚生労働省令第14号
- ・クレーン等安全規則（昭和47年9月30日労働省令第34号）
最終改正：平成26年11月28日厚生労働省令第131号
- ・高気圧作業安全衛生規則（昭和47年9月30日労働省令第40号）
最終改正：平成29年3月29日厚生労働省令第29号
- ・河川法（昭和39年7月10日法律第167号）
最終改正：平成29年6月2日法律第45号
- ・河川管理施設等構造令（昭和51年7月20日政令第199号）
最終改正：平成25年7月5日政令第214号
- ・デジタル写真管理情報基準（平成28年3月） 国土交通省
- ・土木設計業務等の電子納品要領 機械設備工事編（平成28年3月） 国土交通省

第2章 点検対象と手法

2. 1 ロボットによる水中部の点検対象

ロボットを活用した水中部点検の対象は、常時水没している設備のうち、経年劣化等による腐食や異物による損傷が懸念される箇所となる。点検対象は各ダムの放流設備等に応じて検討する。

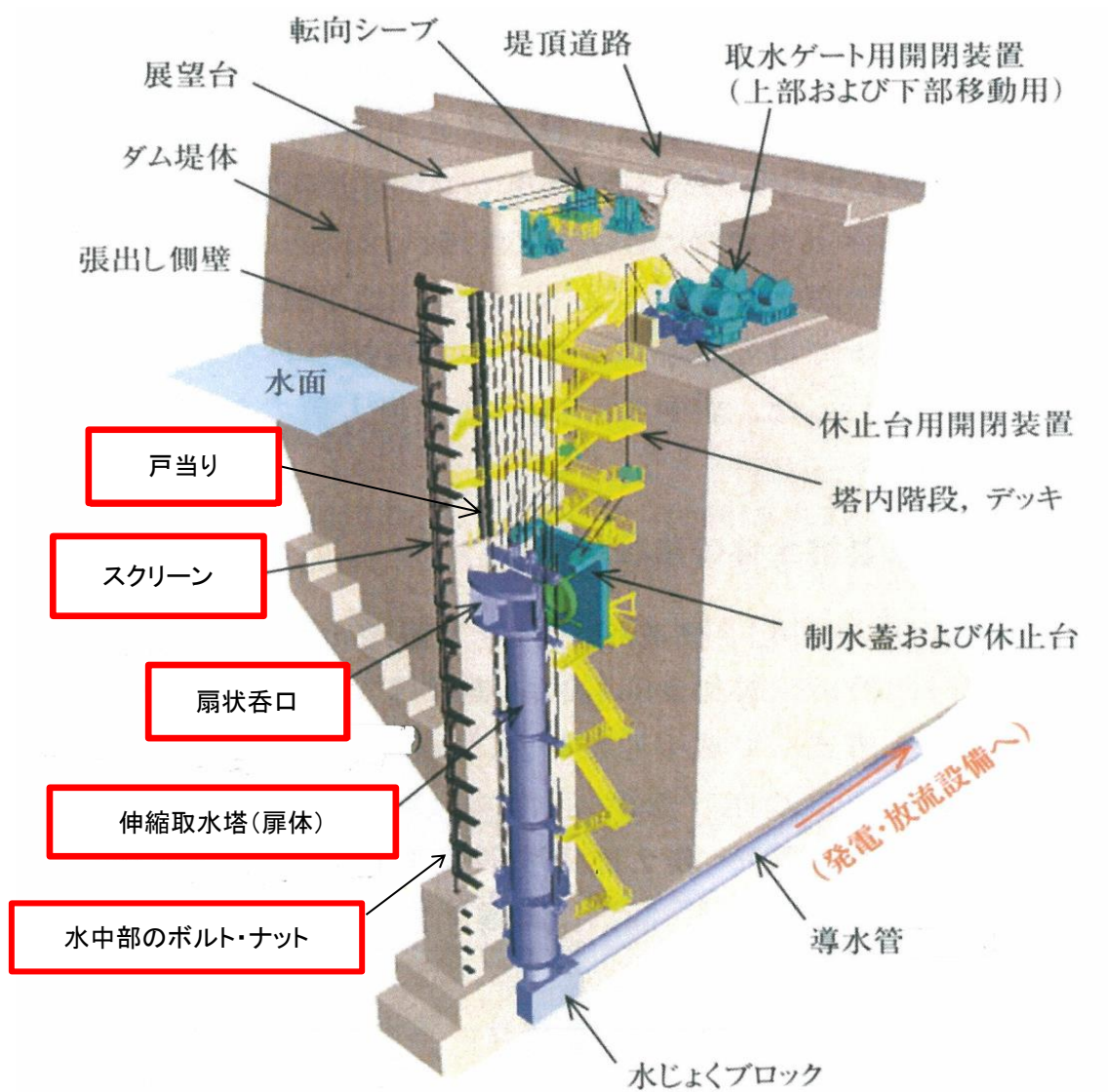
【解説】

ダム放流設備の点検においては、扉体等は基本的には吊り上げて気中部にて点検を実施する。そのため、ゲート戸当りや放流管呑口部等の常時水中部となる設備をロボットによる水中部点検の対象とする。経年劣化等による腐食や異物による損傷は、ダム放流設備の運用や維持管理に支障をきたすものである。点検対象の代表例について表 2.1.1 に示す。表 2.1.1 は一例であり、点検対象については、各ダムの放流設備等に応じて検討する必要がある。

表 2.1.1 ロボットによる点検対象の代表例*

対象設備	点検箇所	点検内容
洪水吐設備	ゲート戸当り ガイドレール	損傷・腐食状況等の確認
	呑口部	腐食状況等の確認
	ゲートの水密ゴム	漏水の有無等の確認 損傷・腐食状態等の確認
	充水管（呑口部）	損傷・腐食・目詰まり状況等の確認
	扉体	損傷・腐食状況等の確認
取水設備	スクリーン	損傷・腐食状況等の確認 目詰まり状況の確認 ボルト緩み有無の確認
	ゲート戸当り ガイドレール	損傷・腐食状況等の確認
	底部取水スクリーン 排泥設備等	堆砂状況の確認
	ゲートの水密ゴム	漏水の有無等の確認 損傷・腐食状態等の確認
	扉体	損傷・腐食状況等の確認
	ワイヤーロープ	損傷・腐食状況等の確認
流木止め設備	網場ネット	状況の確認
	係留索	状況の確認
係船設備	インクラインレール	損傷・腐食状況等の確認
曝気装置	装置本体、配管等	損傷・腐食状況等の確認

※直轄ダム施設管理者への点検要望箇所調査結果より



【凡例】 : ロボットによる水中部点検対象 (例)

図 2. 1. 1 ダム放流設備 (例: 半円形多段式スライドゲート) における水中部点検対象 (例)

2. 2 ロボットを活用した点検手法

水中部点検ロボットを活用した点検手法は、損傷の有無や、その位置把握を行う「概査」と、付属装置（ケレン装置、漏水検知装置等）を用いた点検や詳細画像取得（変状寸法確認等）を行う「精査」とする。

【解説】

(1) 概査

映像を取得し損傷の有無や、その位置把握を行うことを概査とする。

概査は、一定速度で移動し映像を取得することで、現況把握が可能であるため、異常等がない場合においても、基礎データ（外観の映像データ）を記録する目的を持つ。また、

潜水士による点検前に点検箇所周辺の状況調査を行う場合等も概査となる。

点検対象および点検内容等については、費用対効果等を考慮して決定することが必要である。

(2) 精査

付属装置（ケレン装置、漏水検知装置等）を用いた点検や詳細画像取得（変状寸法確認等）を行うことを「精査」とする。

ロボットには、ダム堤体面（壁面）を清掃するケレン装置や、漏水調査のための漏水検知装置等の付属装置がある。ケレン装置はロボットにブラシを装着し、壁面に押し付けながらブラシを回転させることにより壁面の清掃が可能となる。漏水検知装置では、流速計を用いて水流を測定する方法と、色水を放出しその動向を観察する方法等がある。

ダム放流設備の腐食状況確認の場合、点検対象物への塵芥の付着が予想され、部材の詳細確認のためにはケレン装置を使用する必要がある。また、ダム放流設備等の水中部点検は、ダム堤体と比べると点検範囲はある程度絞られるため、概査実施時に発見した腐食などの懸念箇所について、概査完了後または概査中に精査を実施する場合もある。

代表的な点検内容としては、ダム放流設備の腐食状況等の特定箇所でも静止して詳細画像を取得することやケレン装置を使用する点検、ダム放流設備の扉体水密部からの漏水の確認（漏水検知装置使用）等の点検が精査となる。

また、潜水士による点検後に、ロボットによる記録として活用する場合も、特定箇所の鮮明画像取得という意味合いから精査と位置付ける。

これらの内容から、概査を行わず精査を実施するケースとしては、過去の点検結果等により腐食等の懸念箇所が特定されており、その箇所の詳細点検を実施する場合や、ゲート水密部からの漏水確認を行う場合となる。

なお、漏水がある場合には、漏水量等の計測等が可能であることが望ましいが、現段階では、計測方法や精度は未確認のため、参考程度のものである。

(3) 水中部点検フロー

水中部点検フローを図 2.2.1 に示す。このフローによらない場合については、受発注者間で確認を行い、発注者は実施計画書の提出を受ける。

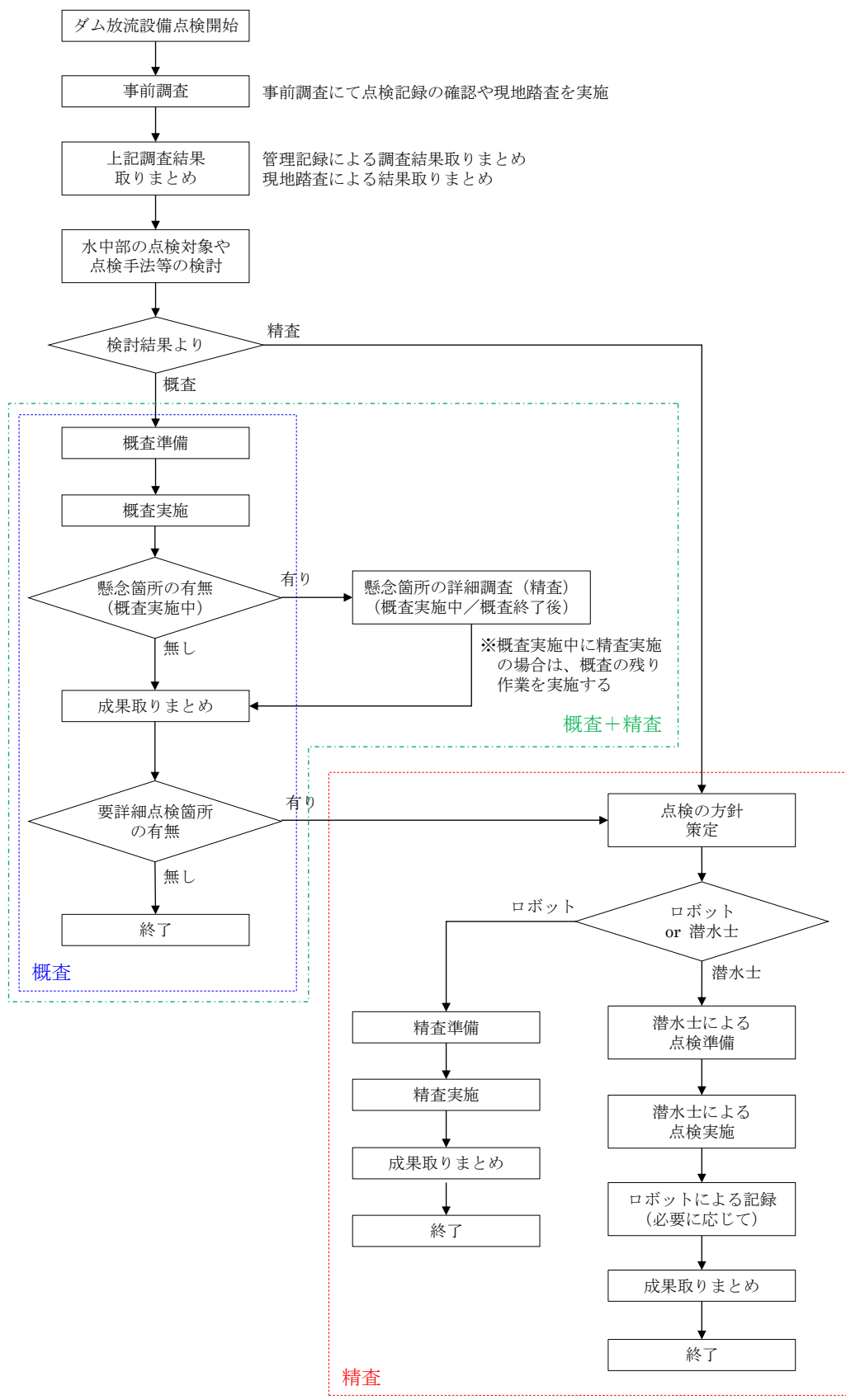


図 2.2.1 ロボットを活用した水中部点検フロー

2. 3 ロボットを活用した点検の作業区分および順序

ロボットを活用した水中部点検の作業区分は、事前準備、点検準備、点検（概査・精査）、映像解析、点検成果確認・報告、報告書作成、完了検査とする。

【解説】

ロボットを活用した水中部点検の作業区分および順序を図 2.3.1 に示す。

事前準備においては、ロボットを活用した水中部点検に必要となる資料（参照：1. 4（1）①、4. 2（2））を収集・整理するとともに現地踏査（参照：1. 4（1）②）を実施する。それらを踏まえ、実施計画書を作成し、発注者等と作業内容等の確認を行う。点検準備として、位置計測のための基準点設置や点検のための仮設物等の設置を行う。

水中部点検に際して、試運転調整を行い、ロボットの動作確認や通信機器類等の通信確認等を行う。また、現地の濁度に応じて設定した離隔距離で仮撮影および解析を行い、目標とする精度確保が可能であるかどうかを確認する。この解析結果等を発注者に報告し、確認を受けた後、点検を実施する。

点検時には、安全管理を含む各種管理を行う。点検終了後には、仮設物撤去および現地復旧を行い、状況について発注者の確認を受ける。また、点検の途中段階で、概査の結果を踏まえ精査範囲等を確認する必要がある。

ダム放流設備においては、概査の途中段階で、精査の必要箇所が発見され、概査実施後や、概査実施中に精査を実施する場合がある。そのため、作業途中段階で点検内容等について発注者と確認することが重要となる。

映像解析においては、点検時の映像により異常箇所の有無や、受発注者間で取り決めた成果物の作成を行った後、その成果物について報告・提出する。

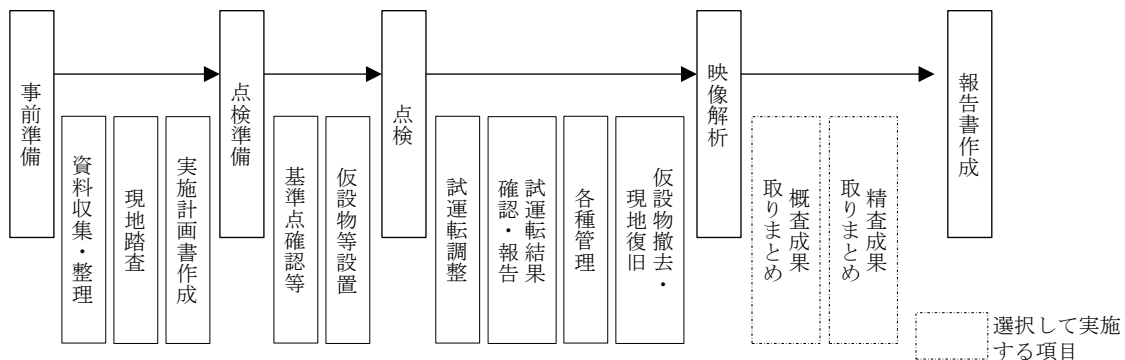


図 2.3.1 ロボットを活用した水中部点検の作業区分および順序

2. 4 ロボットを活用した水中部点検成果の範囲

ロボットを活用した水中部点検による記録等を行い、成果物として、異常の位置やその大きさ等を取りまとめるまでを成果の範囲とする。

【解説】

ロボットを活用した水中部点検の成果等は、水中部の点検対象物の現況について、あくまでも客観的な視点に立った記録等を行った後、成果物として、異常の位置やその大きさ等を取りまとめるものである。これらの成果物を用いた、健全度評価および整備や取替・更新、維持管理方針等の総合的な判断については、ダム放流設備全体の点検を実施する事業者が行う範囲とする。

(1) 定期点検におけるロボットの活用

ダム放流設備の定期点検におけるロボットを活用した点検は、扉体・戸当り目視確認等の後、または管理運転結果に伴う調整後に実施することを基本とする。

【解説】

ダム放流設備の定期点検におけるロボットを活用した点検は、年点検実施フロー例（ダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル(案)p.50）では、「周辺確認、仮設置」後、または「管理運転結果に伴う調整等」後に実施を基本とする。

定期点検では、目視、触診、聴診など設備を停止させた状態で確認する項目の実施後、管理運転をしながらの目視、触診等に加えて、作業状況確認が実施される。この点検の流れにおいて、常時水没している部位等のロボットを活用した点検を管理運転前に実施することにより、異物噛込みや異常等を防止することが出来る。

また、管理運転において発見された懸念事項や不具合を水中部にて確認する場合においても、水中部点検にロボットを適用する。

図 2.4.1 にダム放流設備の定期点検におけるロボットを活用した水中部点検の適用範囲を示す。

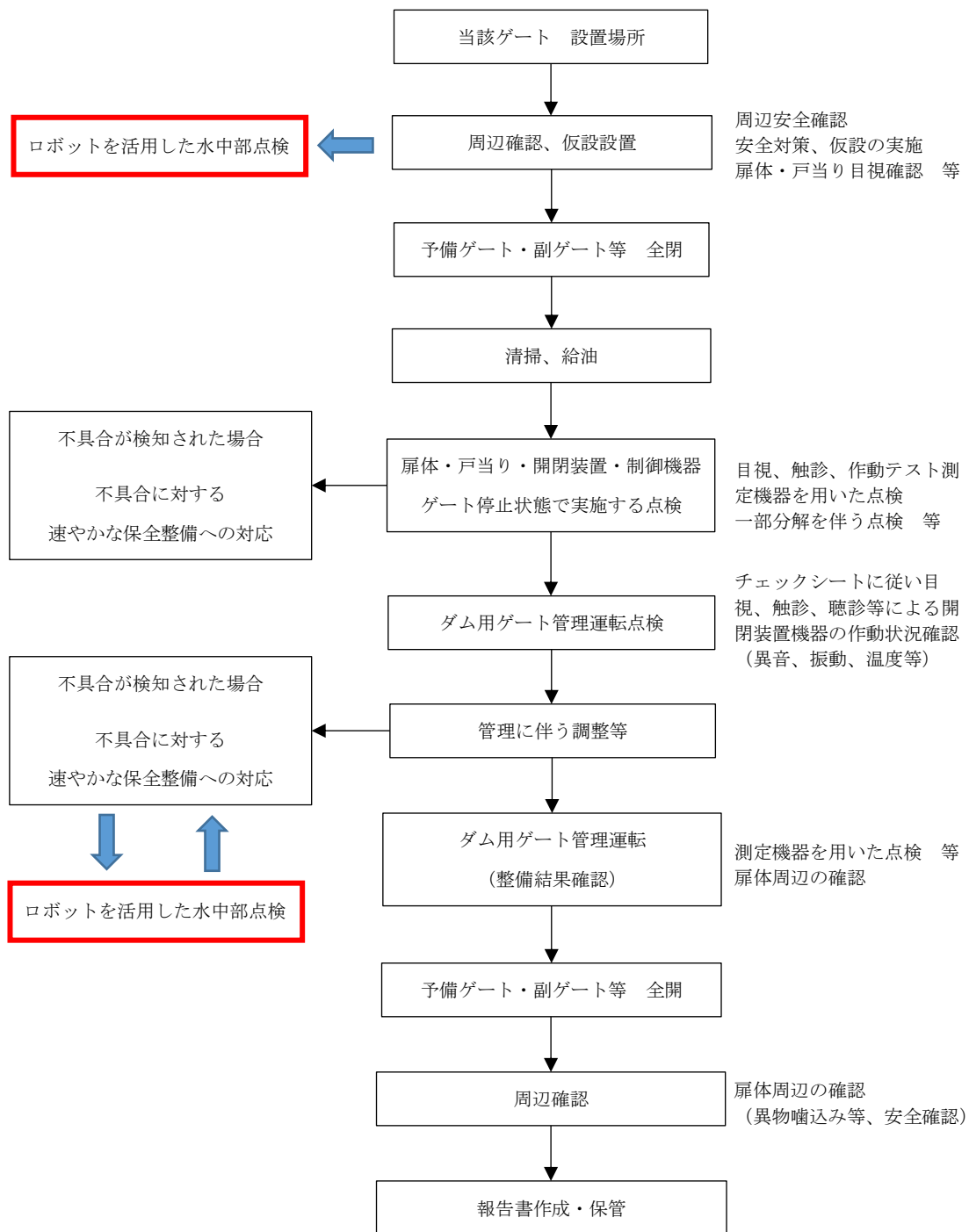


図 2.4.1 ダム放流設備 定期点検におけるロボットを活用した水中部点検の適用範囲※

※ダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル(案) 平成30年3月 p.50 より引用

(2) 臨時点検におけるロボットの活用

臨時点検は、地震時と洪水時に実施するものであり、地震時臨時点検におけるロボットを活用した水中部点検は、二次点検の結果を踏まえた上で実施を検討する。洪水時臨時点検は、一定の規模以上の洪水又は降雨発生後、必要に応じて実施を検討する。

【解説】

地震時臨時点検は、ダム基礎地盤または堤体底部に設置した地震計により観測された地震動の最大加速度が 25 ガル以上である地震、または気象台で発表されたダム地点最寄りの観測点における気象庁震度階級が 4 以上である地震が発生した場合に実施する。

点検内容は、主に目視による外観点検（一次点検）および一次点検後の詳細な外観点検と計測による点検（二次点検）に区分して行うことが基本とされている。二次点検の結果、ダム堤体へのクラック発生等の変状があり、ダム放流設備にも変状発生恐れがある場合等にロボットを活用した水中部点検を検討する。

洪水時臨時点検は、一定の規模以上の洪水または降雨発生後に、ダム放流設備、ダム堤体周辺斜面および貯水池周辺斜面等の異常の有無を確認するために実施する。

(3) 定期検査等におけるロボットの活用

定期検査の指摘事項を踏まえて、ロボットを用いた水中部点検を実施する場合は、受発注者間で確認を行う。

【解説】

ダム放流設備の点検については、国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（ダム編）において、機械設備の機能を保持するため、通常点検である巡視・日常点検にて留意すべき事項が下記のように例示されている。

- ①各ダム放流設備等の取付け状況、回転・摺動部の作動状況、塗装の劣化状況、戸当りへの土砂の堆積状況、水門扉の開閉に対する障害物や支障の有無、関連設備の状態、開閉操作の機能及び安全の確保状況、水密部の漏水、放流時の振動・異常音の有無等
- ②機側操作盤での機器の電流値、電圧値、作動状況、機器の表示についての異常の有無等
- ③安全装置及び保護装置の作動状況

これらの日常点検および定期点検の管理記録は、3年に1回以上の頻度で実施される定期検査において、維持管理状況検査のうちの検査項目1-2（ダム施設の維持管理状況）の検査事項となっている。参考に表2.4.1に検査項目の内容を示す。なお、臨時点検（参照：(2)）も検査事項である。

巡視・日常点検すべき確認事項のうち、①については、水中部も適用の範囲に含まれる。これより、3年に1回以上の頻度で実施される定期検査の間で、必要に応じて実施する。水中部の確認事項について、点検項目や点検手法は、本マニュアル（案）に示す内容で適用可能である。

定期検査の指摘事項等へのロボット活用による対応は、上記の水中部の確認事項、臨時点検（地震、洪水）のうちの水中部点検が適用範囲である。ただし、指摘事項等がダムにより異なるため、水中部点検ロボットの活用を視野に入れた点検手法を検討する。

表 2.4.1 ダム施設・貯水池の状態（検査項目 2）の検査事項および検査箇所等（抜粋）

検査項目	検査箇所	検査の着眼点	検査方法
機械設備の状態	ダム放流設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ダムの安全性及び機能に影響を及ぼすようなダム放流設備の劣化・損傷等がないか ・ゲートの作動に異常がないか、ゲート損傷がないか ・開閉装置の作動に異常がないか ・給油脂の状態、規定電流値（機械式）、設定油圧値（油圧式）に異常がないか 	<ul style="list-style-type: none"> ・定期点検等の記録の確認 ・目視や動作確認による設備状態の確認
	常用放流設備		
	非常用放流設備		
	利水放流設備		
	水位低下放流設備等		

ダム定期点検の手引き [河川管理施設のダム版] P13 より

第3章 ロボットの種類やロボットの選定

3. 1 ロボットの種類・特徴

ロボットの種類は、ROV、懸垂式ロボット、ボート型ロボットの3種類に大別される。

【解説】

ロボットの種類は、ロボットの機構等により分類すると、ROV、懸垂式ロボット、ボート型ロボットの3種類に大別され、ダム放流設備の点検に用いられるものは、ROV、懸垂式ロボットとなる。ボート型ロボットについてはダム貯水池等の測深に活用可能なものであるため、参考として記載する。

これらのロボットは、機構等のロボット特性が異なるため、各点検目的に対する適性がある（表3.1.1）。各ロボットの特徴等について以降に示す。

表 3.1.1 ロボットの種類と点検目的の適性*

点検目的	ロボットの種類		
	ROV	懸垂式ロボット	ボート型ロボット
(1) 概査	○	△	×
(2) 精査	○	△	×
(3) 堆砂測量 (参考)	×	×	○

※3. 2にて後述する、点検目的別の機能を有する場合として判断する

○：試行的導入で確認済み、または、ロボット特性による適性判断

△：試行的導入では未確認であり、ロボット特性による適性判断

×：ロボット特性による適性判断

(1) ROV (Global Positioning System)

ROVは、移動装置（スラスタ）を搭載しておりROV自体が上下左右前後の6方向へ自由に移動可能である。操作については、有線ケーブルを介して操作する。ROVの機器構成等の詳細については後述（参考資料）する。

(2) 懸垂式ロボット

作業船から吊下げて点検するロボットや、水上機+水中機の構成で水中機が吊下げ式のロボットである。搭載機器等（映像・照明等）については、参考資料（ROVの構成）に記載したものと類似したものとなるため省略する。なお、懸垂式ロボットの特性上、点検箇所の上直上（水中・水面部）にダム堤体以外の突起物等がある場合には、その直下部分の点検が困難となる可能性がある。ROVと同様に、懸垂式ロボットの代表例（参考）について、仕様（サイズ・重量・潜水能力等）や保有機能等を参考資料に示す。

i) 懸垂式ロボット（水中機単体）

図3.1.1に示すような作業船から吊下げて点検を行うロボットである。水中機にはスラスタが搭載されており、堤体面との離隔調整等の前後左右移動が可能である。上下移

動はケーブル懸垂により行い、水平移動については作業船により行う。基本的な動作としては上下移動となるため、横継目の点検を主目的に開発されたものである。



図 3.1.1 懸垂ロボット（水中機単体）概要図（例）

ii) 懸垂式ロボット（水上機+水中機）

図 3.1.2 に示すような水上機+水中機の構成となっている。水上機・水中機ともにスラスターを搭載しており、全体的な水平移動や前後移動は水上機・水中機が同期して移動する。水中機の上下移動は水上機・水中機間のケーブル懸垂で行う。また、水中機単体で、堤体面との離隔距離調整等の前後移動も可能である。水上機と水中機の機体間は通信ケーブルで連結されているが、水上機とコントローラー・映像通信等は無線通信となっているため、遠隔操作が可能である。

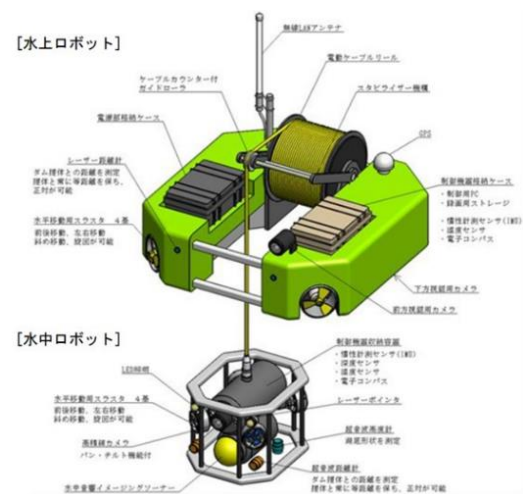


図 3.1.2 懸垂式ロボット（水上機+水中機）概要図（例）

(3) ボート型ロボット (参考)

ダム放流設備の点検ではないが、ダム湖内の堆砂測量を行うロボットとして、ボート型ロボットがある。

測深については、ロボットがダム湖内を移動しながら、搭載した音響測深器による測深を実施する。音響測深器の測定幅は種類や水深等にもよるが、120°程度の測定幅があるため、水深が深いほどより広範囲の測深が可能である。位置情報取得は、ロボットに搭載しているGNSS装置等を用いて行う。また、ロボットの揺れや回転等を検知する動揺センサーを装備しており、計測データと連動して補正を行う。ボート型ロボットについても代表例(参考)について、仕様(サイズ・重量・潜水能力等)や保有機能等を参考資料に示す。

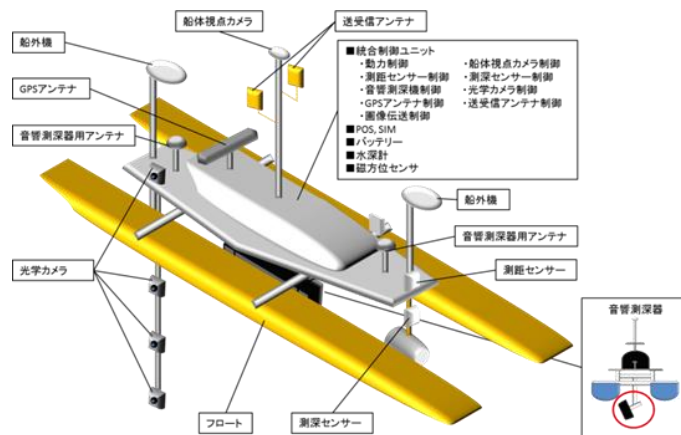


図 3.1.3 ボート型ロボット (例)

3. 2 点検手法別で求める機能等

水中部点検やその成果物のとりまとめを効率よく実施するため、各点検手法別(概査、精査)に、ロボットに求める機能等を検討する。

【解説】

水中部点検を実施するにあたり、成果物の品質やコスト等を考慮すると、水中部点検およびその成果物のとりまとめをより効率よく実施することが重要である。また、各ロボットの保有機能のうち、有効な機能等は、点検手法別(概査、精査)で異なるため、より効率的な点検が可能となる機能等について、各点検手法別に以降に示す。また、参考として各点検における要求性能を参考資料に示す。

(1) 概査

概査は広範囲の映像データ取得を行い、現況の把握や、変状の有無・位置等を把握する目的で実施する。また、点検対象設備にもよるが、成果物として取得した映像データからモザイク図を取りまとめる。

広範囲の点検を効率良く実施し、成果物となるモザイク図の作成をより容易にする機能（参考）として、下記機能のうち点検内容に適した機能を具備したロボットを使用すること。

- ・浮遊物、ノイズを取り除く等の画像鮮明化装置：高濁度時の点検能力低下防止
- ・点検対象面と正対する機能：画像歪み・ブレ防止
- ・一定の離隔距離保持機能：点検漏れ防止、画像ブレ防止
- ・一定の移動速度保持機能：成果物の一様な品質確保
- ・照度均一機能：成果物の一様な品質確保
- ・点検位置情報精度として±10cm 程度
（成果物提出時、変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
- ・概略寸法計測装置等の機能
- ・その他点検に必要な機能

(2) 精査

精査はある特定箇所の鮮明な映像を取得することや、清掃機能（ケレン装置）による付着物除去、漏水検知装置による漏水箇所の特定等の付属装置を用いる。

精査の点検目的は様々であり、各点検目的別に必要な機能が異なる。精査時に活用できる機能・付属装置として下記機能のうち点検内容に適した機能を具備したロボットを使用すること。

- ・濁水対応装置（画像鮮明化装置）：濁水中でも明細な画像取得
（例）映像から浮遊物除去・ノイズ除去等の手法
箱メガネ（カメラ前方へ清水注入）を用いた鮮明画像取得方法 等
- ・堤体面と正対する機能：画像歪み・ブレ防止
- ・その場に留まる姿勢制御機能：画像歪み・ブレ防止
- ・点検箇所清掃機能：付着物除去による明細な画像取得
- ・寸法計測装置：詳細な寸法取得
- ・漏水検知装置：色水や流速計等を用いた漏水箇所の特定
- ・点検位置情報精度として±10cm 程度
（成果物提出時、変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
- ・その他点検に必要な機能

3. 3 ロボットの選定

ロボットを選定するにあたり、発注者は、点検目的や点検箇所、求める成果物等を明確にしたロボット技術による点検内容の提示を行い、受注者は、点検に適した水中部点検ロボットを選定すること。

【解説】

ロボットは、それぞれ保有機能や仕様・性能等が異なる。水中部点検を効率的に行うためには、点検内容に適したロボットを選定することが重要である。そのため、発注者は各点検目的や点検箇所の環境（深度、濁度、流速や障害物の有無等）、求める点検結果（成果物等）について明確にし、各ロボットの適否の判断材料とする必要がある。また、実際に水中部点検を実施するためには駐車・作業スペースや入水位置等の、その他詳細条件等について受発注者間で確認を行う必要がある（参照：1. 4、4. 2）。

これらの水中部点検を実施する際の選定のフローについて、参考として図 3.3.1 に示す。ロボットによる水中部点検の発注から選定、活用に至る手順として、下記の3段階があり、各段階で確認すべき事項のチェックリストを参考として、表 3.3.2 ～ 表 3.3.5 に示す。これら図 3.3.1 及び表 3.3.1～3.3.5 は参考例であり、選定方法等を限定するものではない。

(1) 点検条件取りまとめ（発注前）

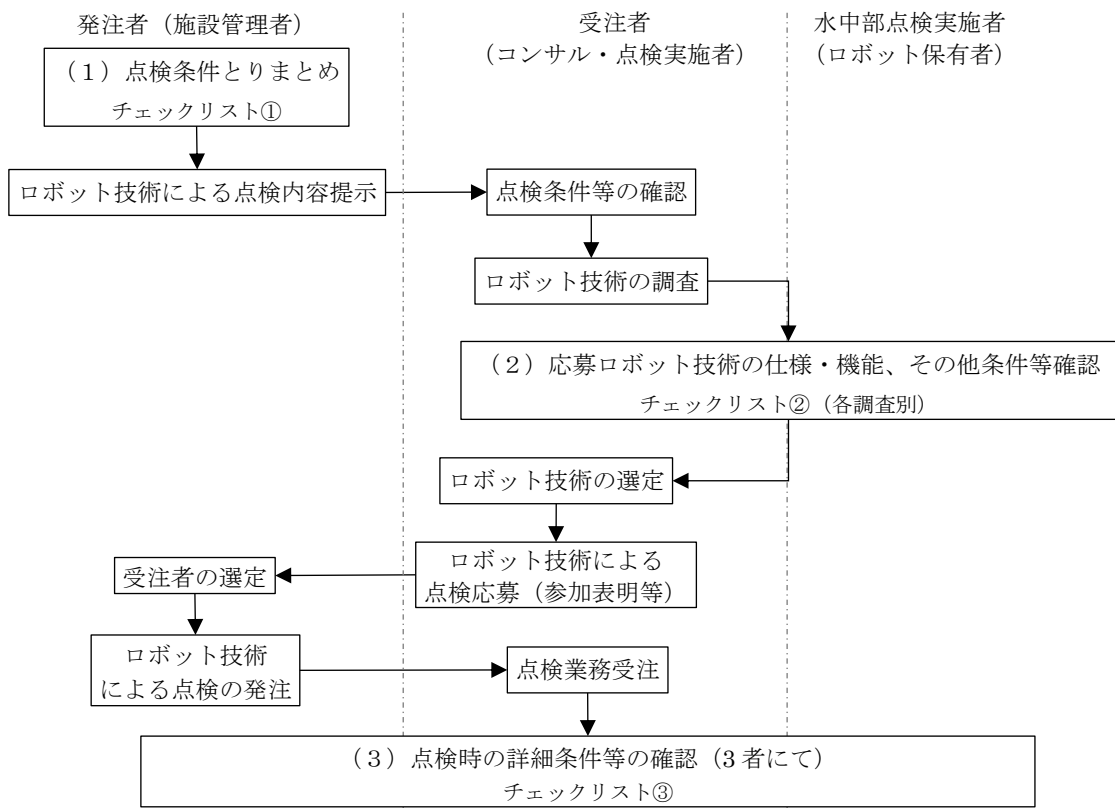
発注者が明確にする諸条件であり、点検目的や点検範囲、水深等の基本的条件となるもの。また、ロボットによる点検が実施可能かどうか、ロボット使用者の判断材料となるもの。

(2) ロボットの仕様等確認（発注後、ロボット技術の適応確認時）

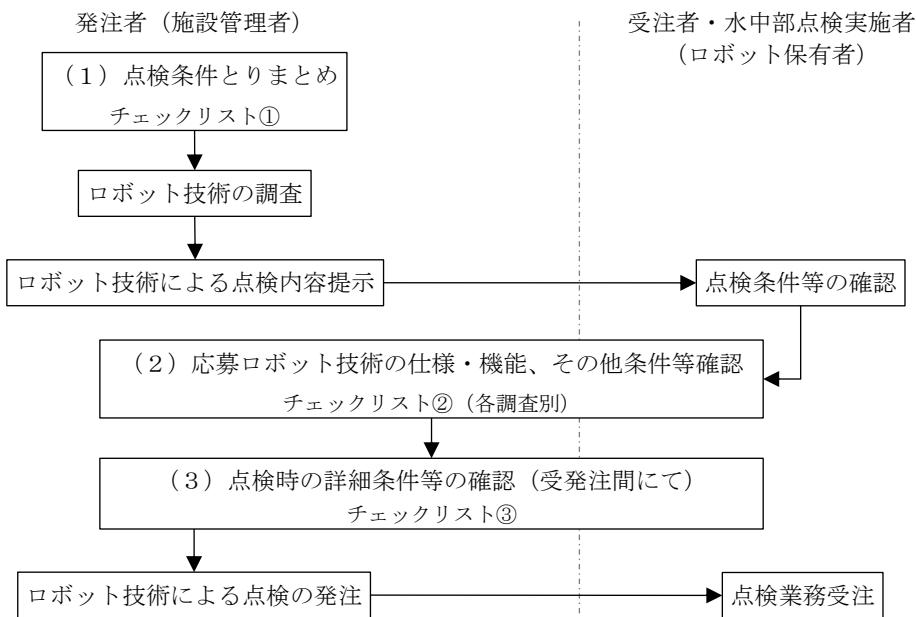
ロボットによる点検が可能か、ロボット技術選定者が確認すべき基本事項等であり、仕様・性能や機能等、その他点検日数やコスト等の確認すべき項目。ロボット技術の候補が複数の場合、ロボット技術の選択を行う際の指標となるもの。

(3) 点検実施時の諸条件・注意事項等（発注後、点検実施前）

点検業務を発注後、受発注者間の相互で確認すべき詳細事項となるもの。点検計画立案や、準備作業等に係る項目等。



(i) 総合点検や定期点検等の点検業務として発注する場合 (例)
(※受注者=ロボット保有者の場合もある)



(ii) 発注者がロボット保有者へ依頼の場合 (例)
(※緊急時等によりロボット保有者へ直接依頼の場合等)

図 3.3.1 ロボットの選定フロー (例)

表 3.3.1 チェックリスト①

水中点検ロボット選定のチェックリスト①（発注者が明確にする点検時基本条件等）

No.	項目	選択・記入	備考
1	点検目的	概査・精査・その他： 概査： 精査： その他：	別添図面等にて図示
2	点検対象範囲・箇所	概査：モサイク図・動画・静止画・他（ ） 精査：モサイク図・動画・静止画・他（ ） その他：	
3	成果物	概査：モサイク図・動画・静止画・他（ ） 精査：モサイク図・動画・静止画・他（ ） その他：	
	必要な付属装置等はあるか	クレーン装置・漏水検知装置・他（ ）	
4	点検予算【※記載は発注形式による】	概査： 精査： その他： EL＝（ ）m	
5	点検時の予定水位		
6	点検箇所の水深(最深部)		
7	点検箇所の濁度		過年度データを参考
8	水中部点検の作業時期		
9	水中部点検の作業期間		
10	水中部点検の作業施不可日(期間)の有無		
11	点検箇所近辺における突起物(阻害物)の有無	無・有：	有の場合、別添図面等にて図示すること
12	ダム湖内で水流発生場所の有無(放流予定の有無等)	無・有：	有の場合、別添図面等にて図示すること
13	作業船の貸与の可否	可・否・要調整：	
14	インクライン使用(貸与)の可否	可・否・要調整：	
15	インクライン以外の仮係留場所(休憩時、夜間時)の有無	無・有：	
16	ロボットのダム湖投入場所	スロープ・インクライン・堤体臨(揚重) その他：	候補地の列挙、別添平面図等で図示すること
17	ロボットのダム湖投入方法の制限等	特に無し・クレーン付アークは可・その他： 否・片側交互通行規制可・通行止可 その他：	
18	揚重機使用等による、ダム堤体道路の規制の可否		
19	構築等の準備作業として利用可能場所	無・有：	候補地の列挙、別添平面図等で図示すること
20	点検時間の制約(開始時間、終了時間)の有無	降雨量： 風速： 地震時： その他：	
21	点検作業の中止条件・基準等		

表 3.3.2 チェックリスト② (概査)

水中点検ロボット選定のチェックリスト② (ロボットの仕様、適用条件等の確認) : 概査

No.	項目	設定条件等	確認結果	評価	備考
1	調査能力	約1,000m ² /日程度(濁度による)			
2	点検対象範囲・箇所の点検可能範囲				
	測定精度	-			
3	位置精度(成果物上)	±10cm程度以内			再確認可能な精度
	変状度合いの精度	変状が確認できる程度			
	調査能力を担保する機能の有無	-			
	画像鮮明化技術装置				
4	堤体面と正対する機能				
	一定の離隔保持機能				
	一定の移動速度保持機能				
	照度均一機能				
5	点検箇所への対水深性	水深:	耐水深:		
6	点検実施時期の濁度への対応	濁度:			
7	ロボットのケーブル延長の確認		延長:		
8	点検実施時期				
9	点検日数(想定)				
10	ダム堤体の阻害物等の問題の有無と対応				
11	ダム湖内の流速への対応	流速: 場所:			
12	作業船の貸与可否への対応				
13	ロボットの運搬方法・台数				
14	ロボット艀装場所				
15	ロボットのダム湖内投入場所				
16	ロボットのダム湖内投入方法				
17	揚重機使用の場合のダム堤体道路等の規制(通行止/片側交互通行等)への対応				
18	水質汚濁物質の有無	油脂類未使用/生分解性使用			
19	ロボット操作不可時(故障/ケーブル掛かり等)の安全対策(ケーブルによる引揚げ/ダイバー投入)状況				
20	点検コストの見積もり				

表 3.3.3 チェックリスト② (精査)

水中点検ロボット選定のチェックリスト② (ロボットの仕様、適用条件等の確認) : 精査

No.	項目	設定条件等	確認結果	評価	備考
1	調査能力	約500m ² /日程度(濁度による)			
2	点検対象範囲・箇所の点検可能範囲				
	測定精度	-			
3	位置精度(成果物上)	±10cm程度以内			再確認可能な精度
	変状度合いの精度	変状が確認できる程度			
	調査能力を担保する機能の有無	-			
	濁水対応装置				
	堤体面と正対する機能				
4	その場に留まる姿勢制御装置				
	清掃装置(ケレン装置)				
	漏水検知装置				
	寸法計測装置				
5	点検箇所への対水深性	水深 :	水深 :		耐水深 :
6	点検実施時期の濁度への対応	濁度 :	濁度 :		
7	ロボットのケーブル延長の確認				延長 :
8	点検実施時期				
9	点検日数(想定)				
10	ダム堤体の障害物等の問題の有無と対応				
11	ダム湖内の流速への対応	流速 :			
		場所 :			
12	作業船の貸与可否への対応				
13	ロボットの運搬方法・台数				
14	ロボット積載場所				
15	ロボットのダム湖内投入場所				
16	ロボットのダム湖内投入方法				
17	揚重機使用の場合のダム堤体道路等の規制(通行止/片側交互通行等)への対応				
18	水質汚濁物質の有無	油脂類未使用/生分解性使用			
19	ロボット操作不可時(故障/ケーブル掛かり等)の安全対策(ケーブルによる引揚げ/ハイ投入)状況				
20	点検コストの見積もり				

表 3.3.4 チェックリスト③

水中心検ロボット選定のチェックリスト③（受発注後の詳細条件確認）

No.	項 目	協議結果等
1	ダム図面（平面図、ダム本体、ダム放流設備等）の貸与	
2	作業船貸与の有無	
3	インクライン使用（貸与）の有無	
4	インクライン設備の操作方法（貸与の場合）	
5	網場通船ゲートの操作方法	
6	インクライン以外の仮係留場所（休憩時、夜間時）	
7	ダム天端道路の使用状況（通行量等）	
8	ロボット・作業員等の車両の駐車場所	
9	機装等の準備作業として利用可能場所	
10	点検実施時の基地局／仮設ハウス設置可能場所	
11	点検場所周辺の通行量（第三者の有無）等	
12	第三者への作業明示の要否やその方法等	
13	土日祝日の作業可否	
14	主ゲートから放流する際の確認手段・連絡体制等	
15	各種届出等の必要書類の有無	
16	緊急時の連絡体制・連絡先	
17	作業実施日の、作業予定等の打合せ方法（朝礼等参加、作業前報告等）	

※詳細はマニュアル内参照

第4章 ロボットを活用した水中部点検

4. 1 要旨

ロボットを活用した水中部点検とは、ROV等に搭載したビデオカメラおよび付属装置により、水中部にて撮影した動画をもとに成果物を作成し、安全性の向上、点検効率の改善や成果の均一性を図るものである。

【解説】

ロボットを活用した水中部点検の成果物は、ROV等に搭載したビデオカメラおよび付属装置により、水中にて撮影した動画をもとに作成する。また、成果の範囲は、異常や変状程度を客観的に取りまとめるまでとする（参照：2. 4）。

4. 2 事前準備

(1) 概要

事前準備では、資料収集・整理、現地踏査を行い、それらをもとに実施計画書を作成する。実施計画書の内容について、発注者と確認し、提出する必要がある。

【解説】

各ダムには、固有条件等があり、それらを確認するために、資料収集・整理および現地踏査を行うことが重要である。これらをもとに、点検計画や点検管理などを含む実施計画書を作成する。

実施計画書の内容については、発注者に対して、業務の範囲や内容、工程、点検管理内容や成果受渡し等の共有が必要であり、また、貸与・借用品、日々の運用体制、周辺環境等について共有や理解を求める必要があるため、発注者と確認し、提出する必要がある。

実施計画書の作成や確認時期は現地作業の実施前に行う必要があり、点検実施までの早い時期に行うことが望ましい。なお、周辺に関係する工事等がある場合には、承認を受けた内容について、関係する部分について周知や調整することも重要である。

(2) 資料収集・整理および現地踏査

事前準備において、資料収集・整理および現地調査を実施し、ロボットや船の入水位置、貸与品の有無、ダムの状況等について発注者と確認を行う。

【解説】

発注者から提供すべき資料や、発注者と確認すべき事項として、基本的なものを下記に示す。なお、ダムの構造や状況に応じ、その他必要な事項については、別途、受発注者間で確認する必要がある。

<必要な資料等>

- ①ダム本体の構造図
- ②ダム放流設備の構造、配置および寸法の記載がある図面
- ③ダム放流設備の日常および定期点検結果

④水中部点検時のダムの水位、水温および濁度等の環境情報（過年度同時期等）

<確認項目>

- ①水中部点検時のダムの点検状況や近傍の工事状況
- ②水中部点検時のダム放流設備の稼働状況、流量および流速
- ③水中部点検時の点検不可日（観光・定期放流、各種イベント、土日祝日状況等）の有無
- ④基準点位置（左右岸1箇所ずつ）
- ⑤ダム天端道路の使用状況、通行量等
- ⑥作業スペース、駐車場および管理局設置箇所等の状況
- ⑦作業船貸与の可否、近隣業者からのレンタル可否等
- ⑧インクラインの使用可否、仮係留場所情報
- ⑨ダム湖への入水位置情報
- ⑩事前確認または調整が必要な組織、団体等（隣接工事、関係部署等）の有無
- ⑪事前提出が必要な書類（道路一時使用許可願等）の有無
- ⑫緊急時連絡先（施設管理者）の確認
- ⑬その他必要事項

(3) 貸与・使用品等

施設管理者が管理する施設等を貸与・使用する場合には、事前に受発注者間で確認し、貸与・使用の可否を確認するとともに、貸与・使用時の運用体制を決定する。
貸与・使用に伴う書類等が必要なものは事前に貸与・使用者が提出する。

【解説】

施設管理者が管理する施設等の貸与・使用の代表例として、下記が挙げられる。

- ①作業船
- ②インクライン
- ③常設されている作業船の係留場所
- ④作業スペース、駐車場等
- ⑤ダム天端道路や管理用道路
- ⑥完成図書や管理記録等の書類
- ⑦直近の堆砂調査結果

インクラインについては、作業船の駐機、昼食時およびトラブル時の作業船の仮係留に使用することが多い。常設されている作業船の係留場所についても、ダム近傍であれば、インクラインと同様である。これらの施設は、関係者以外が立ち入らないように施錠がされている。貸与が可能な場合は、鍵の受渡し方法や運用方法等について、発注者や施設管理者と確認すること。

水中部点検時には、作業スペースが必要であり、具体的には、基準局や管理局等のスペースである。また、作業に伴う車両や揚重機械の駐車場等も必要となる。特に、管理局は、

作業全体の管理面からも作業全体が見渡せるダムに隣接した場所に設置することが望ましい。これらのスペースは必ず確保する必要があるため、受発注者間で十分に協議し、適切な場所を決定する必要がある。場所の選定については、第三者や近傍の工事への配慮も必要である。

ダム天端道路や管理用道路についても、資機材の搬入・搬出での使用の他、揚重機械による資機材の搬入・搬出やロボット投入作業を行う可能性もある。ダム天端道路は一般市民が使用していることもあり、揚重作業等の一時的な片側通行規制／通行止めの可否を確認する必要がある。管理用道路は、別途工事等を実施している場合の調整等が必要となるため、利用方法も含めた確認、調整が必要である。

完成図書や管理記録等の書類については、点検作業計画立案のため、点検場所の確認や点検時の濁度等の環境条件の確認等に必要となる。

その他、点検作業中のトイレや水道等の作業環境に係るものや、点検時の仮設備である椅子・机等や、打合せ用としての会議室等、必要に応じて発注者と確認を行うこととする。



写真 4.2.1 作業船

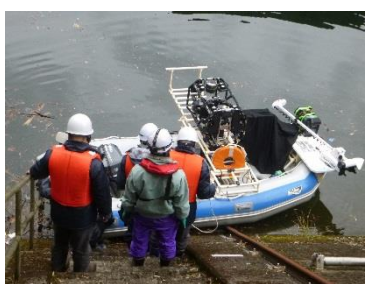


写真 4.2.2 インフレーション上の作業

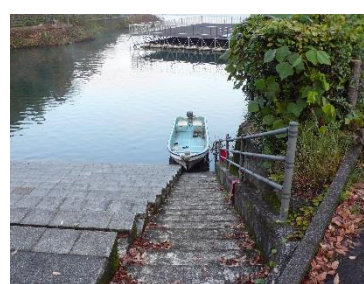


写真 4.2.3 仮係留



写真 4.2.4 入水位置での積込



写真 4.2.5 堤体上管理局



写真 4.2.6 堤体協管理局

(4) 利水設備への留意事項【重要事項】

利水設備や取水設備近傍での作業を計画する場合には、事前に各設備の管理者と協議を行い、承諾を得なければならない。

【解説】

利水設備の点検を行うときは、管理者と調整を行い、利水放流が完全に停止していることを条件に実施する。

また、ダムは下記の機能を有する。

- ①洪水調節
- ②河川維持流量の供給（舟運、漁業、地下水の維持等を正常に維持するための流量）
- ③利水補給（上水、農業用水、工業用水等）
- ④発電

このうち、②③④が該当するのが、利水設備である。発電用の利水設備管理者は、ダム施設管理者ではなく、電力事業者（電力会社等）であることも多い。このため、利水設備の近傍で作業を計画する場合には、利水設備管理者と協議し、承諾を得ることが必要である。

また、点検箇所の確実な止水確認、特定の範囲内への侵入禁止、誤操作防止にも留意すること。

(5) 落下物対策

水中部点検の実施前に、水中や船上で使用する資機材等の落下物対策について、確認し、緊急時の対応策を含め、承諾を得る必要がある。

決定した内容は、実施計画書に記載する。

【解説】

水中部点検においてロボットを活用する場合、船上に操作機器、管理機器類および通信機器類が搭載される。これらの機器類が水没した場合、利水設備、取水設備等の故障等につながる恐れがある。そのため、水中や船上で使用する資機材等の日々の管理方法等について、事前に確認しておくこと。また、決定した内容は、実施計画書の「緊急時の体制および対応」（後述）に記載する。

(6) 実施計画書

実施計画書には、点検に際し、必要な事項を記載し、点検計画のほか、管理計画や緊急時の体制等についても示すものとする。この他、必要事項は、適宜、記載する。

【解説】

実施計画書作成の目的は、点検仕様書等に定められた点検を実施するために必要な手順や方法、点検中の各種管理等について定めるものであり、業務の実施・管理の最も基本となる。この実施計画書に記載すべき基本的な事項を下記に示す。なお、この他必要な事項については、適宜記載する。また、変更が生じた場合には、適宜修正を行い、発注者等

への提出が必要である。修正の方法、書類作成方法、承諾方法等については、発注者との協議を行う。承諾された実施計画書は、管理局等に常備し、発注者等の要請に応じて、速やかに内容の確認ができるようにしておく必要がある。

- ①業務概要（業務名、業務内容、位置、業務数量、工期、発注者、点検実施者等）
- ②図面等
- ③計画工程表（横棒式工程表等）
- ④現場組織表（現場組織、業務体系図等）
- ⑤主要機械・設備（主要機械、主要設備、システム構成、通信設備、貸与・借用品等）
- ⑥主要資材類（主要資材）
- ⑦点検方法（試運転調整、測定精度確認、概査、精査等）
- ⑧点検管理計画（工程管理、品質管理、写真管理等）
- ⑨安全管理（基本的安全管理、安全衛生管理計画、具体的安全管理等）
- ⑩緊急時の体制および対応（事故発生時の（ロボットの脱落、水質事故等）連絡系統図、対応策（潜水土による回収方法等）、災害発生時の体制）
- ⑪交通管理（交通管理、交通処理）
- ⑫環境管理（大気汚染、水質汚濁・振動・騒音対策）
- ⑬打合せ計画（打合せ時期、回数、場所等）
- ⑭成果物の品質を確保するための計画（品質計画、成果確認方法等）
- ⑮成果物の内容、部数（成果物内容、納品方法、部数等）

4. 3 点検準備

水中部点検の実施準備として、管理局等の仮設設置や基準点確認等の作業を行う必要がある。

【解説】

水中部点検を行う場合、ロボットの操作や点検時のデータ管理として、管理局（仮設ハウスやテント、その他モニタ等の必要資機材）を設置する必要がある。管理局は、ロボットで取得している映像、水深や位置等の情報を確認してロボットの操作を行い、水中部点検の実施、水中部点検のデータ管理・記録を同時に行う。また、点検状況の確認（立会）として、取得映像確認等もこの管理局にて実施する。その他、点検実施中の使用資機材等の保管場所として、現場に倉庫等の設置を行う場合もある。

ロボットの位置情報取得方法として、GNSS やトータルステーション、トランスポンダー（超音波を利用した水中での位置情報取得装置）等を用いて絶対位置を取得する方法がある。このような位置情報取得を実施する場合には、堤体上流部の点検実施場所付近を見通せる場所に基準点を設置する必要がある。基準点の確認や設置に伴う測量等は、水中部点検を実施する前に、準備しておくこと。

4. 4 ロボットを活用した水中部点検

(1) 試運転調整

水中部点検の実施前には、試運転調整を行う。試運転調整では、通信機器類等の動作確認および水中での測定精度確認を行う。

【解説】

ロボット等を含む点検用機器は、点検実施者の保管場所等で事前に動作確認等を行い、不具合等がないことを確認したうえで現場に搬出される。

試運転調整は、通信機器類等について、点検現場における陸上で動作確認等を実施し、その後実環境下において最終調整する。また、消耗部品やそれらに類する部品等については、予備品を準備し万が一の事態に備えることが望ましい。

(2) 水中での測定精度確認（キャリブレーション）

水中部点検の実施前には、水中での測定精度確認を行う。測定精度確認方法については、受発注者間で確認する必要があるため、決定した内容は、実施計画書に記載する。

【解説】

水中での測定精度確認には、単純に測定精度を確認する手法と、ある基準値を計測し較正（キャリブレーション）する方法がある。また、ロボットで使用される計測装置も様々なものが存在する（複数本のラインレーザー照射により、レーザー間隔や1本のレーザー幅からの画像解析による寸法推定、画像解析のみの寸法推定等）。これより、測定精度確認は、その方法も含めて確認事項とする。確認の際には、計測装置の原理や測定精度が確保できる理由等の根拠や測定精度確認方法等について、資料をとりまとめ、決定した内容は、実施計画書に記載する。

測定精度確認方法の一例を参考資料（第4項）に示す。

(3) 水中部点検時に実施する環境計測

水中部点検実施時には、環境計測を実施する。また、ダム固有条件により、その他の環境計測が必要な場合は、発注者等との確認により実施する。

【解説】

水中部の環境（濁度、流速）は、点検精度等に影響を及ぼす。このため、安全管理や品質管理面から表4.4.1に示す環境計測を実施すること。ただし、測定器については発注者が保有している場合の借用や、施設管理者側で管理している計測値の適用等、適宜確認の上、決定する。

また、ダム固有条件によりその他の環境計測が必要になる場合があり、具体的には、振動および騒音等である。水中部点検で振動や騒音が問題となる資機材はないと考えるが、施設管理者と近隣住民との取決めなどで環境計測の必要性がある場合、手配も含めて、発注者等と確認し、適切な措置をとる必要がある。

表 4.4.1 環境計測項目と内容

計測項目	計測器	単位等	計測箇所等
気温	温度計	℃	船上 1 箇所
水温	水温計 (濁度計で計測可)	℃	水深 10m, 30m 等
天候	目 視	—	船上周辺 1 箇所
濁度	濁度計	Mg/L、NTU	水深 10m, 30m 等
風速	簡易風速計	m/s	船上 1 箇所
流速	流速計	m/s	水深 1m～10m の箇所



写真 4.4.1 濁度計



写真 4.4.2 流速計



写真 4.4.3 簡易風速計

(4) 概査

概査は、ロボットによる映像取得およびその映像による確認等の、各点検対象の現況確認等を行うものである。点検方法は、点検対象物に対して、一定の離隔にて撮影しその映像による確認を行う。点検の管理単位は各点検対象設備・箇所毎とする。

【解説】

概査は、点検対象設備の損傷・腐食等の変状の有無、沈木状況や堆砂状況確認、スクリーン等の目詰まり状況確認といった、現況確認等の点検を行う。また、潜水士による点検を実施予定の場合に、事前に点検箇所周辺の状況調査を行う場合等も概査とする。

点検方法は、ロボットに搭載したデジタルビデオカメラ等により、点検対象物と一定の離隔を保持しながら一定速度で移動して動画を撮影する。なお、点検対象物は立体であることも多く、正面からのみの 1 映像では、全容が把握できないこともあるため、点検対象物によっては、2 方向以上からの映像取得を行う。点検の管理単位は、その点検対象物設備・箇所毎とする。

調査能力は、点検対象物の構造等の関係上、対象物に対して正面 1 方向から撮影した場合、目安として 1,000m²/日（日 6h 換算）とする。点検に際しては、移動速度は約 0.15 m/s 程度、離隔距離は 60 (cm) (濁度 4mg/L 以下での実績) 程度での実施を標準とする。



写真 4. 4. 4 概査実施状況（充水管流入口点検状況）

概査の開始前に、測定精度確認で使用する試験体を水中へ投入し、点検前に撮影することにより、日々の精度補正や精度確認をすること。

概査で必要とする測定精度等を表 4. 4. 2 に示す。

表 4. 4. 2 概査で必要とする測定精度等【参考】

点検目的		変状の有無等の現況確認のために実施するもの
点検対象		点検対象物全般
測定精度	位置精度	±10 (cm) 以内 (成果物上、変状箇所等の位置を再確認可能な精度)
	変状度合いの精度	変状が確認できる程度

(5) 精査

精査は、詳細な映像取得や寸法計測等を行うために、ケレン装置や漏水検知装置等のロボットの付随機能を用いた点検や、特定箇所では静止して鮮明な映像を取得する等の点検を実施するものである。点検の管理単位は、各点検対象設備・箇所毎とする。

【解説】

精査は、ケレン装置や漏水検知装置等のロボットの付随機能を用いた点検や、特定箇所（概査で発見した変状箇所等）で静止して詳細な映像取得や寸法計測等を行う点検を実施する。また、潜水土による点検（精査）後にロボットによる映像記録を実施するものも精査とする。

付随機能を用いる点検では、扉体周辺の漏水の有無の確認や、ダム放流設備の腐食状況確認（塵芥の付着が予想されるためケレン装置使用）等である。

詳細映像取得については、ロボットに搭載したデジタルビデオカメラ等により、ピンポイントで動画を撮影する。

調査能力は、精査の性質上、ピンポイントでの映像取得や付随装置を用いた点検となり、また、正面からの1映像のみの場合を目安として、500m²/日（日6h換算）とする。概査と同様に濁度の影響を受け、作業条件等による点検作業時間等の制限がある場合等、作業

時間や点検能力等について、発注者と確認すること。

精査の開始前に、測定精度確認で使用する試験体を水中へ投入し、点検前に撮影することにより、日々の精度補正や精度確認をすることが望ましい。

寸法計測は、一定の間隔でレーザーを照射することにより、寸法（長さ）計測の基準とするラインレーザー装置、クラックスケールをレンズに表示し、接写による寸法計測を行う寸法計測装置がある。

精査で必要とする測定精度等を表 4.4.3 に示す。



図 4.4.1 戸当りレール固定金物精査状況

表 4.4.3 精査で必要とする測定精度等【参考】

点検目的		①付随装置（ケレン装置、漏水検知装置等）を用いた点検を実施するもの ②変状箇所の詳細な寸法測定を行うもの ③潜水土による点検（精査）後に客観的な画像記録取得を実施するもの
点検対象		①②必要な点検箇所 ③潜水土による点検が実施された場所
測定精度	位置精度	①②③ともに±10（cm）以内 （成果物上、変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
	変状等計測精度	②の場合※ 長さ・大きさ等は±5（cm）以内 幅等は0.2（mm）以上が計測可能

4.5 点検時の管理

（1）点検管理

点検時の管理として、実施計画書で承諾された工程管理、品質管理、写真管理等を適切に実施し、成果の品質を確保すること。

【解説】

点検時の管理として、工程管理、品質管理、出来形管理および写真管理等が挙げられる。また、点検途中段階で実施する点検対象範囲と点検の範囲確認（参照：2.4）も点検管理の一種といえる。

工程管理については、下記に示す事項を考慮して工程を立案・実施する。

- ①準備日数および後片付け日数
- ②点検日数および全体のクリティカルパス等
- ③天候不良（雨天等）、休日、その他制約条件等

特に天候不良等による作業中止日数は予想できない。このため、工程は、余裕を見込む必要があり、また、工程管理を行う際には、これを考慮して実施することが重要である。

表 4.5.1 に天候不良等の作業中止基準例を示す。これらの中止基準値については、施設管理者と確認して作業時の安全確保に努める必要がある。

表 4.5.1 作業中止基準例

種類	状況
強風	悪天候のため、作業の実施について危険が予想されるときは、作業を中止すること。
暴風	悪天候のため、作業の実施について危険が予想されるときは、作業を中止すること。
大雨	悪天候のため、作業の実施について危険が予想されるときは、作業を中止すること。
大雪	悪天候のため、作業の実施について危険が予想されるときは、作業を中止すること。
地震	震度 4 以上

品質管理について、特に留意すべき事項は測定精度である。前項等にも記載したが、各点検の開始前には、測定精度確認で使用する試験体を水中へ投入し、点検前に撮影することにより、日々の精度補正や精度確認をすることが望ましい。また、品質管理の一環として実施すべき事項は、発注者等に対する成果の受渡し方法と途中段階での確認および承諾である。例えば、各点検開始前に実施する測定精度確認を発注者等と点検実施者が「立会」という形で確認することで成果品質の担保や確保につながる。なお、この方法は一例であるため、品質担保や確保の方法は、受発注者間で確認する必要がある。

出来形管理は、日々の点検実績（面積等）を把握し、当初工程と照らし合わせ、工程管理とともに、進捗状況等について管理する必要がある。

写真管理は、「デジタル写真管理情報基準（平成 28 年 3 月）」に基づき、行うことが望ましい。写真管理には、一般管理写真と出来形および品質管理写真がある。それぞれ内容を定め、適切な管理を実施する。表 4.5.2 に一般管理写真例を示す。

表 4.5.2 一般写真管理一覧表例

番号	区分	工種	写真管理項目			提出 要否
			撮影項目	撮影時期	撮影頻度	
1	着手前	着手前	着手前写真	着手前	着手前1回	要
	完了	完了	完了時写真	完了後	完了後1回	要
2	点検状況	点検実施中	点検進捗状況	毎日	毎日1回	不要
			点検の写真	点検中毎日	種別ごとに1回	不要
		仮設物	使用材料・仮設状況 形状寸法	点検前後	1設置箇所 に1回	要
		図面との 不一致	図面と現地との不一致 の写真	発生時	必要時適宜	要
3	安全管理	安全管理	各種標識類の設置状況	設置後	各種類で1回	要
			各種保安施設の設置状況	設置後	各種類で1回	要
			監視員交通整理状況	作業中	各1回	要
4	災害	被災状況	被災状況および 被災規模等	発生前 発生直後 発生後	適宜	要
5	事故	事故報告	事故の状況	発生前 発生直後 発生後	適宜	要
6	その他	補償関係	被害または損害状況等	発生前 発生直後 発生後	適宜	要
		共通仮設	仮設物	設置後	各種類で1回	不要
		環境対策	各施設設置状況	設置後	各種類で1回	要

(2) 安全管理

水中部点検時は、労働安全衛生法等の関係法令を遵守し、労働災害防止に努める。点検に必要な有資格者を適正に配置し、安全管理を行う。

【解説】

安全管理には、基本的安全管理と点検作業ごとの具体的安全管理がある。また、ダムによっては固有の安全管理が存在する場合がある。

基本的安全管理は、安全管理体制の運営、責任体制の明確化、朝礼やKYK（危険予知活動）および安全サイクル等、実施計画書に記載された内容に基づき管理を実施する。特に資格等を必要とする作業については、資格証等で資格保有者であることや期限等を確認することが重要である。表 4.5.3 に必要となる資格一覧表を示す。

具体的安全管理は、各点検内容における具体的な内容について、管理を実施する。

なお、点検作業時は、ヘルメットを着用し、高所作業時には安全帯を使用する。また、水際や船上での作業時には、救命胴衣（容易に外れないもの）を着用し、作業を実施しなければならない。その他、作業者の労働環境として、作業現場が環境の変化を受けやすい地域等を想定して、労働安全衛生法に準拠した快適な作業環境を整備することも重要である。

表 4.5.3 資格を必要とする作業内容等一覧表

作業内容	資格の種類	適用
車 両	大型免許	車両総重量が 11 t 以上車の運転
	中型免許	車両総重量が 11 t 未満車の運転
	準中型免許	車両総重量が 7.5t 未満車の運転
	普通免許	車両総重量が 3.5 t 未満車の運転
揚重機	移動式クレーン運転士	吊上げ荷重が 5t 以上の機械の運転
	移動式クレーン技能講習修了者	吊上げ荷重が 5t 未満の機械の運転
	移動式クレーン運転者特別教育修了者	吊上げ荷重が 1t 未満の機械の運転
玉掛作業	玉掛者技能講習修了者	吊上げ荷重 1t 以上の玉掛け作業
	玉掛者特別教育修了者	吊上げ荷重 1t 未満の玉掛け作業
作業船	1 級小型船舶操縦士	総トン数 20t 未満の船舶の運転
	2 級小型船舶操縦士	総トン数 20t 未満、かつ 5 海里未満の船舶の運転
	2 級小型船舶操縦士 (湖川限定)	総トン数 5t 未満、かつ電動機が 15kW 未満の船舶の運転
	免許不要	船舶の長さが 3m 未満、かつ電動機が 1.5kW 以下の船舶の運転
発電機	電気主任技術者 可搬形発電設備専門技術者	10kW 以上の発電機の運転
電気工事	第 2 種電気工事士	600V 以下の電気工作物に従事する作業 (小型の発電機の配線等も該当する。コンセント等での接続が対象外)
潜水作業	潜水士免許	「潜水士免許」とは、労働安全衛生法第 6 1 条に規定する免許のことをいう。

(3) 緊急時の措置および体制

事故あるいは災害発生時には、関係機関等と連絡を密に行い、必要な対策を適切に講じなければならない。

【解説】

事故や災害が発生した場合に備え、事前に関係機関の連絡先を記載した緊急時の連絡体制表や緊急体制組織表を作成する。なお、休日等に対応する必要がある場合には、必要に応じて記載する。

《緊急時の連絡体制表に記載すべき関係機関》

- ①施設管理者
- ②発注者（施設管理者と異なる場合：点検実施者等）
- ③警察署
- ④消防署
- ⑤労働基準監督署
- ⑥医療機関
- ⑦その他必要な機関（電力会社、NTT、ガス会社等）

⑧自社の関係者（総務、安全担当、点検担当部署等）

また、ロボットの異常時の対応として、操作ケーブル等を利用したの引揚げや、クレーンを使用しての揚重、潜水土を活用したの救済等、施設管理者と必要な対応について事前に確認しておく必要がある（参照：4. 2（7））。

（4）環境管理

水質保全対策として、水質汚濁防止法を遵守すると共に、油脂等の流出の無いように留意する必要がある。その他、騒音・振動等、各種法令を遵守しなければならない。

【解説】

環境管理として留意する事項を下記に示す。

- ①必要以上に濁水を発生させないようにすること。
- ②油脂類を使用しない、または生分解性のものを使用すること。万が一油脂類が流出した場合には必要な対処・処置（油吸着材による回収等）を迅速かつ確実に行うとともに、施設管理者へ報告を行うこと。
- ③騒音については、環境基準値に照らし合わせ、地域の区分や時間帯に応じて定められた値を超えないようにすること。
- ④振動については、環境基準値に照らし合わせ、地域の区分や時間帯に応じて定められた値を超えないようにすること。
- ⑤大気汚染に関しては、大気汚染に係る環境基準値を超えないようにすること。

4. 6 成果物

（1）概査

概査の成果物は、点検対象範囲の静止画およびその根拠となる動画とする。点検対象物によって、モザイク図も対象とする（確認事項）。モザイク図は、解析・処理およびその後の運用を考え、解像度を落とすもよい。しかし、静止画と動画は解像度を落とすはならない。

【解説】

概査の成果物は、点検対象物の静止画およびその動画とする。

モザイク図は、成果物のとりまとめ作業時間や、ロボットの機体性能等に係るもので、費用に影響する。また、設備の種類によってはモザイク図作成が困難なこと等もあるため、モザイク図作成は発注者と確認の上、決定する。

モザイク図作成については、点検時に記録した動画から静止画を書き出し、つなぎ合わせて作成することを想定している。この際、静止画に原画^{*}を使用するとデータ容量が膨大となる。そのため、モザイク図は、点検を実施した範囲全体を示す記録であり、この図で点検対象の状態を判断するものではないことから、モザイク図については、解像度を落とすもよいが、モザイク図に点検対象範囲の漏れがあってはならない。

一方で、点検対象範囲の静止画は、点検対象の状態把握に使用するため、原画とする。動画も成果物として提出し、解像度は落とさず、記録したままの状態とする。なお、この

動画は、データに点検箇所的位置データが表記されると良いが、対応ができない場合には、撮影時、記録を設備や部位ごとに行い、提出時や発注者が映像を確認する際に点検箇所がわかるようにしておく必要がある。

水中での動画撮影は、使用するビデオカメラの性能等により色調が変わる（緑がかったり、青みがかったりする）ことがある。この色調について、ビデオカメラで調整できる場合は、自然色に近づけて撮影するのが望ましい。事前の色調調整ができない場合、モザイク図と静止画については色調調整をしてもよいが、動画については、色調調整をせず、取得した生データのままとする。

※原画：撮影条件に関する情報（絞り値、画素数、ISO感度、色空間等）を追加して保存している画像ファイル（Exifファイル）が付属した状態の画像

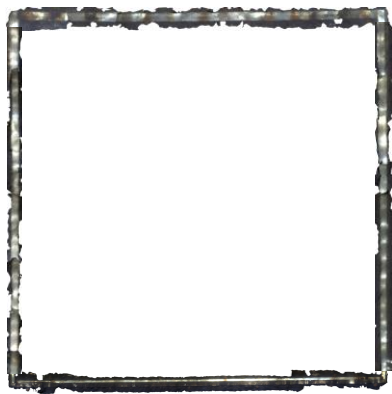


図 4.6.1 戸当りモザイク図（例）

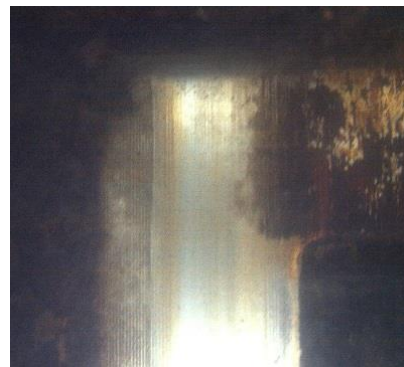


図 4.6.2 原画（例）

（2）精査

精査の成果物は、点検対象範囲の損傷や変状の静止画、その損傷度合い等を担保するための根拠データおよび動画とする。損傷度合い等をわかりやすく説明するためにモザイク図を作成する場合は、解析・処理およびその後の運用を考え、解像度を落としてもよい。しかし、静止画と動画は解像度を落としてはならない。

【解説】

精査の成果物は、概査と同様に点検対象物の静止画およびその動画とし、モザイク図作成は、発注者と確認の上、決定する。

モザイク図作成時の解像度は、概査と同様に、解像度を落としても良い。

一方で、点検対象物の損傷部等の静止画は、原画とする。なお、損傷範囲が静止画の複数枚に及ぶ場合は、前後の静止画を用いて漏れがないようにすること。動画も成果物として提出し、解像度は落とさず、原画の状態とする。なお、この動画は、データに点検箇所的位置データが表記されると良いが、対応ができない場合には、撮影時、記録を設備や部位単位ごとで行い、点検箇所がわかるようにしておく必要がある。

漏水検知装置を用いた場合については、測定結果に関する資料およびその根拠も成果物とする。漏水検知装置については、色水による場合と流速計による場合がある（マニュアル【ダム堤体編】参照）が、いずれの方法についても事前に発注者等と確認し、方

法や成果等について承諾を得るものとする。

水中での動画撮影は、使用するビデオカメラの性能等により色調が変わる（緑がかったり、青みがかったりする）ことがある。この色調について、ビデオカメラで調整できる場合は、自然色に近づけて撮影するのが望ましい。また、事前の色調調整ができない場合には、モザイク図と静止画については、色調調整をしてもよいが動画については、色調調整をせず、取得した生データとする。

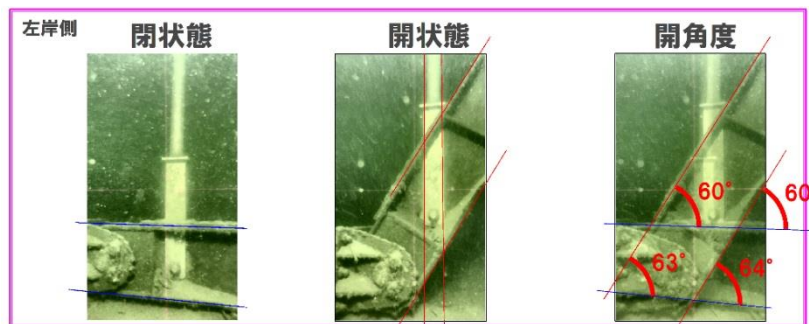


写真 4.6.1 静止画上に記載された可動範囲例（休止金物）



写真 4.6.2 部材損傷部の静止画例

（3）成果物の提出

成果物の提出については、提出形態、媒体および部数等を受発注者間で事前に確認し、定めておく必要がある。

【解説】

水中部点検の成果物は、点検結果の概要をとりまとめたものを電子納品要領に沿った形式で提出させ、画像・動画の生データについては成果物の添付資料として別途提出する。

画像・動画の生データは、点検面積が大きい場合にデータ容量が膨大になり、DVD (Digital Versatile Disc) での提出が困難となるため、HDD (Hard Disk Drive) での提出になる場合がある。HDD での提出は、「土木設計業務等の電子納品要領」に記載がない電子化の提出となるため、留意が必要である。

水中部点検は、定期点検等で実施されることを主眼としているため、水中部点検の成果

は、定期点検の報告書の一部として記載される。そのため、発注者が定期点検実施者等の施設管理者以外の場合には、提出形態なども確認しておくことが重要である。また、臨時点検等の場合においても、発注者等と提出形態等について確認する必要がある。

施設管理者の今後の維持管理・運用の効率化のため、専用閲覧ソフト等でのデータ運用も考えられる。これらについても、発注者等を含め、事前に確認しておくこと。

参考資料

試行的導入に基づく機器構成、システム構成、人員配置等

1. 水中部点検に使用する機器類

1. 1 機器構成

ロボットを使用する水中部点検では、位置座標の基準となる基準局、水中局の操作や水上での管理を行う船上局、水中部点検を実施する水中局および全体管理を行う管理局から構成する。

基準局は、基準点と基準点上に自動追尾式トータルステーション（以後：自動追尾 TS）や GNSS などの位置計測機器類が設置される。また、基準局で計測した座標やデータを船上局と送受信するための無線機器類も設置される。基準局は、毎回の点検前に設置され、準備ができた後は、基本的に無人で運用される。

船上局は、水中局の操作や管理を行う機器類、ケーブル類、ミラーや GNSS などの機器が設置される。また、基準局や管理局と各種データを送受信するための無線機器類も設置される。水中局の電源容量や稼働時間に応じて、発動発電機やバッテリーも搭載される。

水中局は、船上局とケーブルで接続されているロボットである ROV から構成される。

管理局は、全体管理を行うための機器類から構成される。取得画像等は、船上局で記録されているが、管理局へは、操作画面等が送信される。記録員は、その操作画面等を見ながら点検時の対象範囲、時間、水深等を記録する。また、全体管理者が、全体の指揮や管理を行う。管理局では、発注者等と水中部点検実施者が、点検の途中段階で点検の範囲（参照：2. 3）を確認する。これより、これらが確認できる機器類の設置と環境を整えておくことが重要である。なお、表-1.1 に示す機器構成は代表例である。

表-1.1 ロボットを使用する水中部点検の機器構成

局名	構成機器
基準局	<ul style="list-style-type: none">・自動追尾 TS または GNSS・データ通信用無線機器類・電源装置（発電機またはバッテリー）
船上局	<ul style="list-style-type: none">・ROV 操作機器類（操作器、操作用モニタ等）・モニタ類および記録機器・操作通信ケーブルおよびケーブルドラム・データ通信用無線機器類・電源装置（発電機またはバッテリー）
水中局	<ul style="list-style-type: none">・ROV・操作通信ケーブル（船上局と接続状態）
管理局	<ul style="list-style-type: none">・モニタ類・データ通信用無線機器類・電源装置（発電機）

1. 2 各種点検時における必要な機能・要求性能等

試行的導入の実施結果や、施設管理者等のヒアリング結果による、各点検（概査、精査）の要求性能等について参考として表-1.2、表-1.3 に示す。要求性能として定める項目について下記に示し、点検項目別に求める要求性能について以降に示す。

要求性能については、施設管理者等のユーザー側が求める内容と、ロボット開発者側の指標となる内容の両面があり、下記要求性能が、ロボット開発者への指標となることを想定している。そのため、表-1.2、表-1.3 に示す性能は必須ではないが、指標として、表-1.2、表-1.3 内の性能を有することが望ましい。

(1) ロボット自体の性能（参考）

- ・点検能力

点検能力として、試行的導入の結果を参考に、最低限求める点検能力を示す。

- ・運動性能、機能等

点検ロボット自体に関するもので、移動方向、映像取得、位置把握、照明装置、寸法計測方法等の基本的な装置と、各点検をより効率的に実施するために有効となる機能等について示す。

- ・運搬性

運搬性として、点検ロボットの運搬方法について示す。運搬性は準備時間やコスト等に係る項目となる。

- ・作業性、効率性

点検ロボットによる日点検能力向上＝点検作業時間増加という観点から、点検ロボットの動力や点検作業時間、また、コストに係る点検ロボットの揚重方法や作業人員等について示す。

- ・環境条件

各ダムや点検箇所毎に、点検時の濁度や水深が異なるため、点検ロボットの設計条件として必要なものとなる。また、環境対策として油成分の有無についても示す。

- ・安全対策

点検時のトラブル等に対する対策として示す。

(2) ロボットによる成果物

- ・管理基準値

点検ロボットにより得られる成果物の管理基準値として求める、位置精度や寸法計測能力・精度等について示す。

- ・成果物

成果物の種類、形式等について示す。

表-1.2 ロボットの要求性能（ダム放流設備概査）（参考）

要求性能		利用場面	ダム放流設備（概査）
ロボット本体	調査能力		目安として、1,000m ² /日程度 ※ロボット性能としての要求数値（離隔距離60cm、移動速度0.15m/sでの調査を想定） ※濁度や作業条件（実点検時間）の影響を受けるため、実能力は受発注者間で協議
	運動性能・機能等	移動	全方向（上下左右前後）への移動が可能であること
		位置把握	ある点を起点とした相対的な位置情報、または、GNSS/TS、トランスポンガー等により絶対的な位置情報の取得が可能であること（※成果物等での位置精度が10cm程度以内：変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
		映像/データ取得	映像や音響測深器等により点検対象の状況の把握が可能であること 取得した映像/データ等をリアルタイムで確認可能であること
		照明装置	点検対象物や周辺状況の確認として映像取得するには照明装置が必要であり、取得映像が均一な明るさであること。明るさの目安として100ルクス程度（点検対象面の被写体や変状等がはっきり確認できる程度の明るさ）とする。
		寸法計測	映像解析やラインレーザー等により、損傷等の寸法計測が可能であること
		補助機能・付属機能	点検作業及びモザイク図作成作業を効率的に行うための補助機能・付属装置として、下記が挙げられる ・浮遊物等を取り除く画像鮮明化装置 ・点検対象面（堤体面）と正対する機能 ・一定の離隔距離保持機能 ・一定の移動速度保持機能 これらの機能・装置は点検成果物の品質確保に繋がるものであり、また、姿勢制御に係るものについては、成果物（モザイク図）作成の効率化に繋がるものである。 その他、画像鮮明化は視認性向上、姿勢制御は操作性向上にも繋がるものであり、ロボット操作時の疲労等の軽減にも繋がるものとなる。
		操作性	ロボットの操作性が容易であること（熟練度を要さないこと）が望ましい 補助機能等により、操作時の疲労度が少ないことが望ましい
	耐久性		ダム土木構造物や機械設備、沈木等への偶発的な接触が起きても壊れないこと 実現現場の環境下において問題なく作業可能であること
	運搬性	運搬方法	運搬が容易であること（ワンボックスや2tトラック等）
	作業性・効率性	動力	発電機/バッテリー等は問わないが、半日作業の連続運転が可能であること バッテリーの場合は交換作業が容易であり、電池残量が確認出来ること
		揚重作業	人力/クレーン付トラック等で安全に作業可能であること
		準備撤去作業	準備・撤去作業が容易に可能であること
点検作業時間		6時間/日程度の点検作業時間を確保できること	
作業人員		作業人員として適正な人員配置とすること（5名程度）	
環境条件	濁度	対応濁度については問わない（高濁度でも対応可能であると良い）	
	水深	対応水深は問わない（設計水深までの能力は担保すること）	
	油成分	油成分の流出防止対策がなされていること （油成分不使用、もしくは生分解性のものを使用する等）	
安全対策		非常時の対策として、ロボット自体に浮力があること ケーブルでの引揚げが可能であること（引張強度800kg程度を有すること）等	
ロボットによる成果物	管理基準値	位置精度	±10cm程度の精度で成果物が作成可能であること （再確認可能な程度の位置精度を有すること）
		変状度合いの精度	変状が確認できる程度の精度を有すること
	成果物	・動画データ（200万画素程度） 点検対象設備、部位、箇所等ごとに分割したもの ・静止画（原画：解像度の変更なし） ・モザイク図（設備等によるため、作成の可否は協議による） 調査範囲全体や損傷箇所等を明示したもの（解像度を落して良い）	

表-1.3 ロボットの要求性能（ダム放流設備精査）（参考）

要求性能		利用場面	ダム放流設備（精査）	
ロボット本体	調査能力		目安として、500m ² /日 ※ロボット性能としての要求数値 ※濁度や作業条件（実点検時間）の影響を受けるため、実能力は受発注者間で協議	
	運動性能・機能等	移動		全方向（上下左右前後）への移動が可能であること
		位置把握		ある点を起点とした相対的な位置情報、または、GNSS/TS、トランスポンダ等により絶対的な位置情報の取得が可能であること（※成果物等での位置精度が10cm程度以内：変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
		映像/データ取得		映像や音響測深器等により点検対象の状況の把握が可能であること 取得した映像/データ等をリアルタイムで確認可能であること
		照明装置		点検対象物や周辺状況の確認として映像取得するには照明装置が必要であり、取得映像が均一な明るさであること。明るさの目安として100ルクス程度（点検対象面の被写体や変状等がはっきり確認できる程度の明るさ）とする。
		寸法計測		映像解析やラインレーザー等により、損傷等の寸法計測が可能であること
		補助機能・付属機能		放流設備精査で活用できる補助機能・付属装置として、下記が挙げられる 浮遊物等を取り除く画像鮮明化装置 停止（その場に留まる）姿勢制御機能 点検箇所を清掃するケレン機能 漏水の有無を確認する漏水検知装置 これらの機能・装置は点検成果物の品質確保に繋がるものである。 その他、画像鮮明化は視認性向上、姿勢制御は操作性向上にも繋がるものであり、ロボット操作時の疲労等の軽減にも繋がるものとなる。
		操作性		ロボットの操作性が容易であること（熟練度を要さないこと）が望ましい 補助機能等により、操作時の疲労度が少ないことが望ましい
	耐久性			ダム土木構造物や機械設備、沈木等への偶発的な接触が起きても壊れないこと 実現場での環境下において問題なく作業可能であること
	運搬性	運搬方法		運搬が容易であること（ワンボックスや2tトラック等）
	作業性・効率性	動力		発電機/バッテリー等は問わないが、半日作業の連続運転が可能であること バッテリーの場合は交換作業が容易であり、電池残量が確認出来ること
		揚重作業		人力/クレーン付トラック等で安全に作業可能であること
		準備撤去作業		準備・撤去作業が容易に可能であること
		点検作業時間		6時間/日程度の点検作業時間を確保できること
		作業人員		作業人員として適正な人員配置とすること（5名程度）
環境条件	濁度		対応濁度については問わない（高濁度でも対応可能であると良い）	
	水深		対応水深は問わない（設計水深までの能力は担保すること）	
	油成分		油成分の流出防止対策がなされていること （油成分不使用、もしくは生分解性のものを使用する等）	
安全対策			非常時の対策として、ロボット自体に浮力があること ケーブルでの引揚げが可能であること（引張強度800kg程度を有すること） 等	
ロボットによる成果物	管理基準値	位置精度	±10cm程度の精度で成果物が作成可能であること （再確認可能な程度の位置精度を有すること）	
		変状度合いの精度	変状が確認できる程度の精度を有すること	
	成果物		・動画データ（200万画素程度） 点検対象設備、部位、箇所等ごとに分割したもの ・静止画（原画：解像度の変更なし） ・モザイク図（設備等によるため、作成の要否は協議による） 調査範囲全体や損傷箇所等を明示したもの（解像度を落して良い）	

1. 3 ロボットの例（参考）

国土交通省総合政策局（次世代社会インフラ用ロボット開発・導入）において実施した、H28年度の試行的導入や、H26年度、H27年度の現場検証に参加したロボット技術について、仕様・機能等を以降に示す。なお、これらのロボット以外でも実際の点検業務に活用されているロボットもあるため、一例として示す。

（1）ROV

ROVの例として、H28年度の試行的導入において活用されたロボットを表-1.4に示す。

表-1.4 ROVの代表例（試行的導入実施ロボット）

会社名	パナソニック（株）	（株）大林組	五洋建設（株）	
仕様	サイズ	L620mm×W550mm×H780mm	L1,508mm×W780mm×H710mm	L1,000mm×W700mm×H770mm
	重量	40 kg	130 kg	80 kg
	動力	充電式バッテリー	発電機	発電機
	潜水能力	水深200m	水深100m	水深150m
特長・機能	①位置情報取得	・ある場所を基準点とした相対位置	・トータルステーション、トランスポンダーによる絶対位置	・GNSS（トータルステーション）、トランスポンダーによる絶対位置
	②映像取得	・面均一照射レンズ技術 画面全体を一樣輝度で均一化	・濁水中撮影装置 主カメラ前部にある箱メガネ内に清水を封入することにより、近接撮影時に鮮明画像取得可能	・濁水対応装置（別途装着） 主カメラ前部に、清水を封入した箱メガネを装着して、近接撮影時に鮮明画像取得可能
	③画像鮮明化	・取得映像から浮遊物を除去（要数日）し、鮮明映像に処理可能	・画像詳細強化装置：受信データからノイズ等（白光）を除去し、リアルタイムで鮮明映像に処理	-
	④姿勢制御、周囲確認等	・壁面に正対する姿勢制御機能有 ・壁面との離隔距離を一定に保持可能な制御機能有 ・一定速度での並行移動可能な制御機能有	・アクアジャスター機能 姿勢制御として一定時間その場に留まる事が可能 ・ソナー（超音波）により、構造物との離隔確認可能	・深度・方位（向き）を一定に保持可能な装置有 ・全周囲ソナー（超音波）により、構造物との離隔等確認可能
	⑤漏水検査	・漏水検査液（赤色）の吐出及びその流れ確認により漏水の有無が確認可能	-	・流速計を使用して漏水の有無を確認可能
	⑥ケレン装置	-	・壁面に付着している汚れ等の清掃が可能	・壁面に付着している汚れ等の清掃が可能
	⑦寸法計測等	・画像解析による寸法測定	・ラインレーザーを用いた寸法計測	・ラインレーザーを用いた寸法計測
	⑧その他	・撮影した映像を画像へ切出し・接合して、モザイク図の作成可能 ・得られた画像情報をもとに点検箇所損傷を抽出可能。 ・損傷の位置・サイズを図示した2次元マップ作成可能。（専用ソフト）	-	・音響カメラ（別途装着） 音響カメラにより濁水中でも形状等の確認可能 （試行的導入時にはφ7のロープ確認出来た） ・肉厚計による肉厚測定可能
備考	試行的導入実施技術 (H27年度の現場検証において「試行的導入」を推薦する★★★★と判定したもの)	試行的導入実施技術 (H27年度の現場検証において「試行的導入」を推薦する★★★★と判定したもの)	試行的導入実施技術 (H27年度の現場検証において「試行的導入」を推薦する★★★★と判定したもの)	

※試行的導入実施当時の仕様

(2) 懸垂式ロボット

懸垂式ロボットの例として、H26年度、H27年度に現場検証を実施したロボットについて、表-1.5に示す。

表-1.5 懸垂式ロボットの例（現場検証実施ロボット）

会社名	(株) 建設技術研究所	(株) キュー・アイ	
仕様	サイズ	L 1,200mm×W450mm×H1,200mm	水上機：L 1,000mm×W700mm×H500mm 水中機：L 400mm×W350mm×H300mm
	重量	25 kg	水上機：60 kg、水中機：20kg
	動力	発電機	充電式バッテリー
	潜水能力	水深 100m	水深 100m
			
特長・機能	①位置情報取得	・作業船位置情報と水深（ケーブル長・深度計）による位置把握	・水上機の GPS 情報と水深（ケーブル長）による位置把握
	②映像取得	・濁水中撮影装置 主カメラ前部にあるウォータールーペ内に透明水を充水することにより、鮮明画像取得可能	・浮遊物映り込み、ハレーションを提言した水中撮影 P/T 機能付高精細カメラと角度可変式廃坑照明により対応可能
	③画像鮮明化	-	-
	④姿勢制御、周囲確認等	・下方確認用小型カメラ搭載	・水中機、水上機ともに壁面と隔離距離一定保持機能有 ・GPS、慣性計測センサを用いた半自律航行可能
	⑤漏水検査	-	・オプションとして開発予定
	⑥ケレン装置	・機体上下にあるブラシを使用し、機体を堤体面に押し付けながら降下することで点検面の清掃可能	・オプションとして作業用アタッチメント（回転ブラシ付）を装着することにより点検面の清掃可能
	⑦寸法計測等	・クラックスケールを用いた寸法測定可能	・レーザーによるマーカーを用いた簡易な寸法計測可能
	⑧その他	-	・オプションとしてマニピュレーターを装着し、土砂サンプリング等が可能である
備考	現場検証参加（H26、H27年度）	現場検証参加（H26、H27年度）	

※現場検証実施当時の仕様

(3) ボート型ロボット

ボート型ロボットの例として、H28年度の試行的導入（河川）や、H26年度の現場検証（ダム貯水池調査）に参加したロボットについて、表-1.6に示す。

表-1.6 ボート型ロボットの例（現場検証、試行的導入（河川）実施ロボット）

会社名	東亜建設工業（株）	（株）アーク・ジオ・サポート	朝日航洋（株）	
仕様	サイズ	約 L4.5m×W2.3m×H1.2m	約 L4.0m×W0.75m×H0.7m (7人用カヌー使用時)	約 L4.5m×W1.8m×H1.5m
	重量	約 80 kg	約 200 kg	約 320 kg
	動力	充電式バッテリー	充電式バッテリー	充電式バッテリー
	最大船速	約 1.0m/s	約 1.5m/s	約 2.0m/s
				
特長・機能	①位置情報	・GNSS 装置による絶対位置	・GNSS 装置による絶対位置	・GNSS 装置による絶対位置
	②地形データ取得	・音響測深器による地形3次元データ取得 ・リアルタイムで確認可能	・音響測深器による地形3次元データ取得 ・リアルタイムで確認可能	・音響測深器による地形3次元データ取得 ・リアルタイムで確認可能
	③ノイズ処理	・データ処理としてノイズ処理実施	・データ処理としてノイズ処理実施	・データ処理としてノイズ処理実施
	④周囲確認等	-	-	・測距センサーにより周囲 270°の障害物感知可能 ・前方視点の映像をリアルタイムに確認可能
	⑤自動航行	・自動航行可能である（見通し等の条件有）	・自動航行可能である	・開発中
	⑥その他	・陸上部法面等の測量を、レーザーミラースキャナーにて同時に計測可能	・音響カメラによる護岸水中部、光学カメラによる護岸水上部の確認可能（モザイク図作成）	・光学カメラによる護岸水上部、水中部（濁度に影響）の確認可能（モザイク図作成）
備考	現場検証参加（H26年度）	試行的導入（河川）実施技術（H27年度の現場検証において「試行的導入」を推薦する★★★と判定したもの）	試行的導入（河川）実施技術（H27年度の現場検証において「試行的導入」を推薦する★★★と判定したもの）	

※現場検証および試行的導入実施当時の仕様

1. 4 自動追尾 TS・GNSS の性能

座標管理に使用する自動追尾 TS・GNSS は、以下の性能を有するものが使用されている。

自動追尾 TS：距離精度 $\pm(5\text{mm}+10\text{ppm}\times D)$ 角度精度 15"以下

GNSS：水平(x y)／垂直(z) $\pm(20\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$

注 1) D 値は、基準局と移動局との間の距離(mm)。

2) ppm は 10^{-6} (2ppm の誤差の場合、距離 1km=1,000,000mm で 2mm の誤差)。

性能とは、各測量機器が有する公称測定精度を示す。なお、点検管理に用いる自動追尾 TS・GNSS については、事前に機器点検を行い、測量機器の機能・性能を確認しなければならない。また、機器メーカー等が発行する有効な検定書あるいは校正証明書がある場合は、この証明書を現場に準備し、発注者等に提示し、確認を受けることとする。

下記に、現場等において精度確認を行う際の方法例を示す。なお、比較基線を設定した点検許容精度が本文で示す精度と異なっているが、これは比較基線を設定する際の測量誤差を考慮したものである。

(1) 自動追尾 TS について

現場に 20m以上の比較基線を設定し、次の内容の測定を行い、許容値以内の精度であることを確認する。

距離：比較基線上で、 $\pm 15\text{mm}$ 以下

水平角：3対回3セットを行い、倍角差 60"、観測差 40"、セット間較差 20" 以下

鉛直角：水平付近及び 30° 以上の仰角において正反観測を行い、

高度定数差 60" 以下、零点誤差 30"以下

(2) GNSS について

GNSS の場合、次に示す2種類の測定方法のうち、どちらの方法を用いてもよい。

①比較基線を設定した点検

現場に 20m以上の比較基線を設定し、次の内容の測定を行い、許容値以内の精度であることを確認する。

- ・比較基線上で、リアルタイム測量（データ取得間隔 1 秒、10 秒以上の観測）を実施し、基線長と高低差が 30mm 以内であることを確認する。

②任意の地点を利用した点検

現場の等の任意の地点において、リアルタイム測量（データ取得間隔 1 秒、5 分間の観測）を実施し、平均値に対するそれぞれの差を算出し、本文で示す、水平(x y)／垂直(z)が、 $\pm(20\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$ の範囲に含まれていることを確認する。

1. 5 ロボットの機能等 (ROV)

ROV の機器類は、すべて防水対策と耐水圧対策がされており、機種によっては、100m 以上の水深に対応可能なものもある。

ROV は、操作通信ケーブルを含めて、浮力±0 より若干軽めに設計されるのが一般的である。これは、移動装置が故障した場合等に、自重で自然に水面まで上昇させるための安全対策の一環である。ROV の重量は、その機能にもよるが 40～150kg 程度である。ROV と接続する操作通信ケーブルは、引張強度 800kg 程度を有するものも多い。これは、ROV が障害物等に引っかかり、自力で浮上ができなくなった場合の措置であり、ケーブルごと引っ張るために高強度になっている。ROV の重量にもよるが、ROV 重量の 5～6 倍の引張強度は有している。スラスタは、6 方向（上下左右前後）に移動できるよう、6～12 基程度搭載されている。また、スラスタのスクリューは砂等の巻上げ防止対策として、下向きに動作しないようになっている。浮上する際には、浮力で上がり、潜行する際には、下向きに押さえつける。この機構より、ROV は、一定水深で左右方向の移動は比較的得意であるが、一定位置を保持した上下方向の移動は不得意とされる。

ROV の構成例を下記に示す。

- ・ 移動装置：スラスタ等の推進機、浮力体等
- ・ 映像取得装置：カメラ等
- ・ 照明装置：暗部を照らすための照明器具
- ・ 計測装置：ラインレーザー等
- ・ 通信装置：ROV の操作および取得映像を伝送する操作通信ケーブル
- ・ 付属装置：詳細点検に必要なケレン装置、漏水を検知するための漏水検知装置等

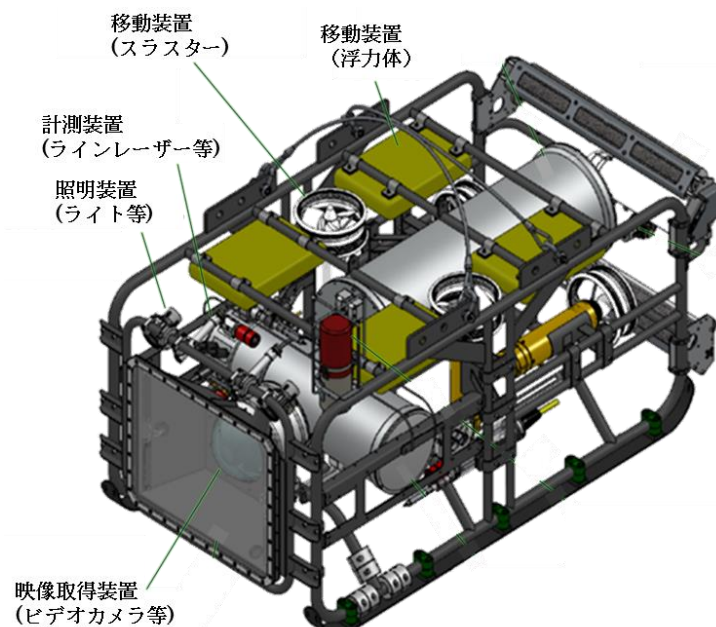


図-1.1 ロボットの機能等

1. 6 システムの構成 (ROV)

水中部点検実施時のデータの管理は基本的に陸上で行うものであるが、ROV の操作場所として、船上の場合と陸上の場合がある。ROV 操作場所が違ると、点検の効率等が異なるので、現場条件等や作業内容等に応じて適切に選択することとする。

ROV 操作を船上で行う場合は、ROV 本体と ROV 操作装置を繋いでいるケーブルの取り回しが容易で、ケーブルに関するトラブルが少ない。ただし、ROV 操作者と全体管理者・記録者が同じ場所にいないため、無線機等を使用して指示等の意思伝達を的確に行う必要がある。

ROV 操作を陸上で行う場合は、ケーブルの取回しを基地局～船～ROV とする必要があり長くなるため、取り回し作業に時間を要する。しかし、陸上の同じ場所に ROV 操作者と全体管理者・記録者がいることになり、隣接して指示等の意思伝達を行うことが出来るため、点検作業は速やかに行える。

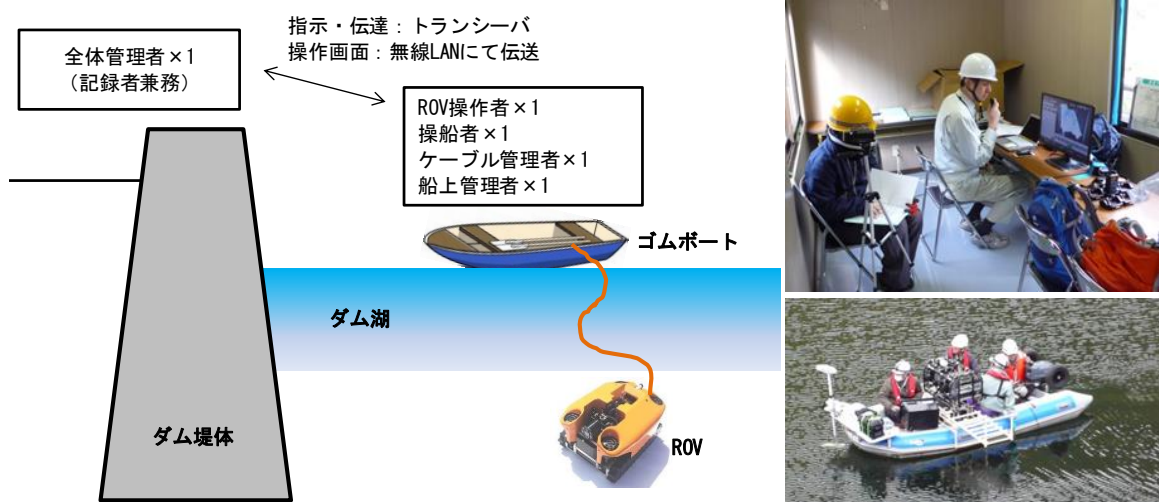


図-1.2 船上操作時システム構成 (例) および実施状況写真

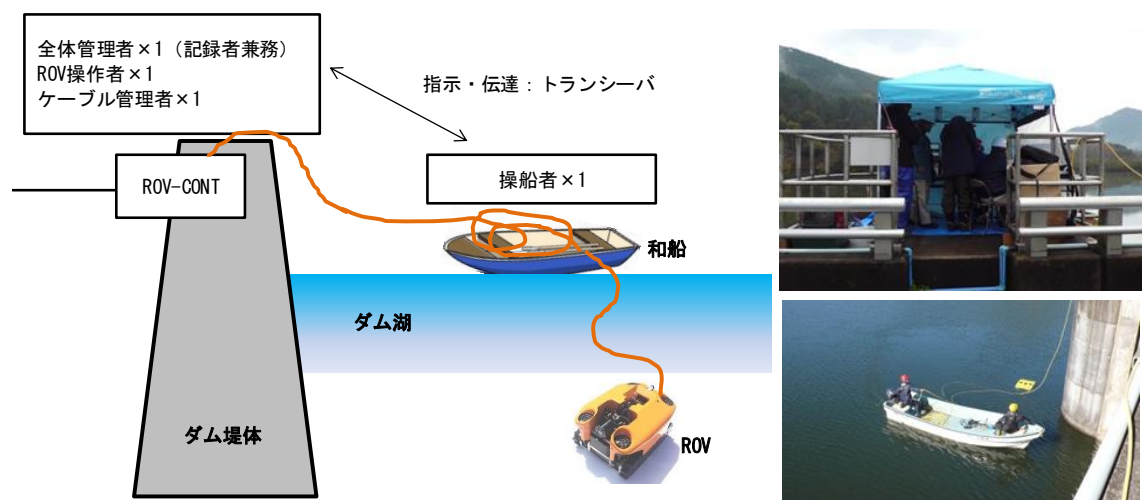


図-1.3 陸上操作時システム構成 (例) および実施状況写真

2. 人員構成

点検人員構成として、ロボット操作者×1名、操船者×1名、船上管理者兼ケーブル操作者×1名、記録者×1名、全体管理者×1名の計5名が標準的な人員構成となる。点検人員の役割内容を以下に示す。

- ・ロボット操作者：ロボットを操作する作業員。
- ・操船者：点検に伴い、点検を補助する作業船の操作を行う作業員。
- ・船上管理者：船上で作業を行う点検実施者の安全を管理する作業員。
- ・ケーブル操作者：ロボットと操作室間のケーブルが湖底の流木や他の構造物等と接触することを防止するために、専属にケーブルの取り回しを行う作業員。
- ・記録者：ロボットで撮影した記録を確認し、また、ロボット移動の指示を行う作業員。
- ・全体管理者：点検に関する全ての人員の安全確保を行い、各人に指示を送る作業員。

なお、ロボット操作を陸上で実施するか船上で実施するかにより、人員配置も変わることとなる。システム構成の違いによる人員配置の例を下表に示すが、あくまで試行的導入実施時での結果による参考であり、点検時の作業効率等を勘案して適切な人員配置を行うこと。

表-2.1 人員配置（例）

点検方式	ロボット船上操作	ロボット陸上操作
人員配置	<p>【陸上】 全体管理者(兼記録者) × 1名</p> <p>【船上】 ロボット操作者 × 1名 操船者 × 1名 ケーブル操作者 × 1名 船上管理者 × 1名</p>	<p>【陸上】 全体管理者(兼記録者) × 1名 ロボット操作者 × 1名</p> <p>【船上】 操船者 × 1名 ケーブル操作者 × 1名</p>

3. 仮設備等

ロボットを使用した点検を実施するにあたり、ロボットに関するもの以外に仮設備が必要になる。必要な仮設備等については、立地条件および各ロボット技術に応じて異なるが、試行的導入を実施した時の必要仮設備として、参考として下記に挙げる。

- ・管理室 (2K×3K) × 1 棟
- ・コンテナ倉庫 (資機材収納用) × 1 棟
- ・発電機 (13/15kVA : 操作用管理室用) × 1 台
- ・発電機 (2kVA、計測用) × 1 台
- ・計測船 (FRP 製、5 人乗り) × 1 艇
- ・作業車 (1.5Lクラス、5 人乗り) × 1 台
- ・クレーン付トラック (2.9 t 吊、積載 4 t) × 1 台

その他、必要な仮設備等については、施設管理者等と確認して決定する。

4. 水中での測定精度確認（キャリブレーション）

水中部点検の実施前には、水中での測定精度確認を行うこと。測定精度確認方法の一例を下記に示す。この確認方法については、発注者等と確認すること。

陸上における各種点検の精度確認は、現地で容易に実施可能である。しかし、水中部点検は、発注者等はおろか点検実施者も現地で測定精度を確認することが難しい。

そこで、一例としてコンクリート面のひび割れ（クラック）調査で使用される「クラックスケール」による測定精度確認の方法を示す。この方法は、数枚のクラックスケールを貼り付けた木板等に重り等をつけ、ロープ等で水中へ投入する。なお、クラックスケールのゲージ（数値）は隠しておく。このクラックスケールをロボットで撮影し、その解析結果を比較する方法である。

【確認方法例】

- ・測定精度確認手法：クラックスケール2枚を使用した確認
- ・方法：クラックスケールのゲージおよびスケール間距離から精度を補正する。
- ・測定回数：測定を3回実施し、その平均値を補正值とする。
- ・位置、水深等：任意とする。

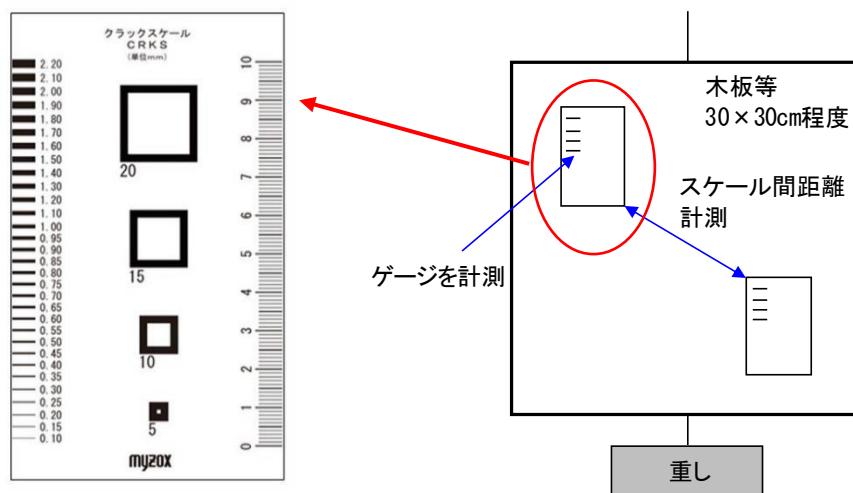


図-4.1 クラックスケールおよび精度確認試験体例

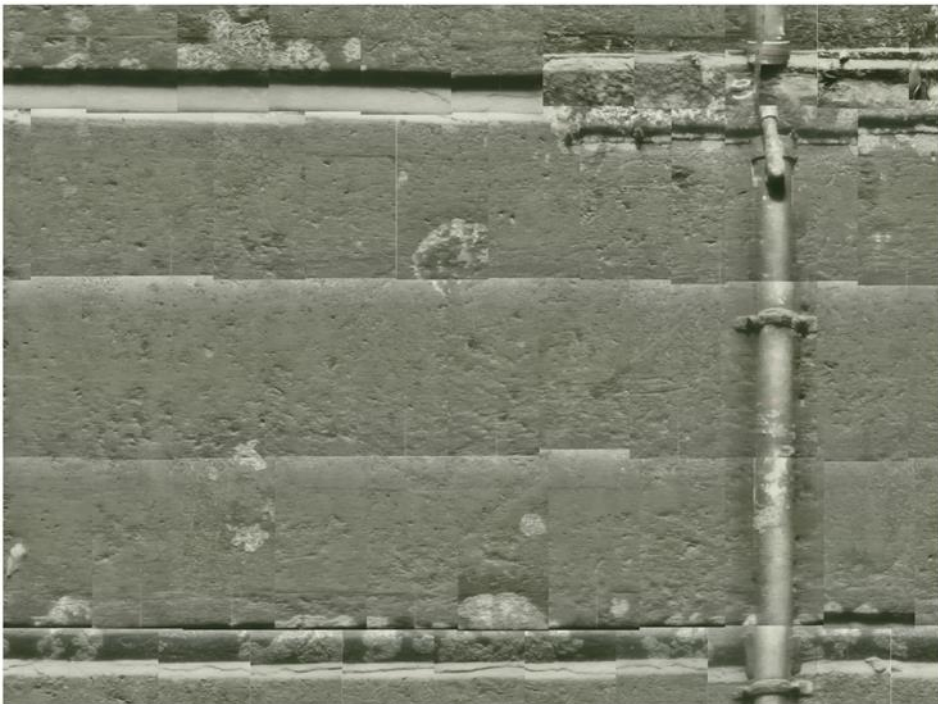
なお、ひび割れ（クラック）等の計測にラインレーザー等の計測装置をしないロボットや上記手法での補正ができない場合には、その他の確認方法（補正方法）を行う必要がある。その場合、水中部点検実施者は、その他の確認方法（補正方法）について、方法や補正が可能な理由等を取りまとめた資料を作成し、発注者等と確認を行うこと。

5. ロボットによる取得画像例

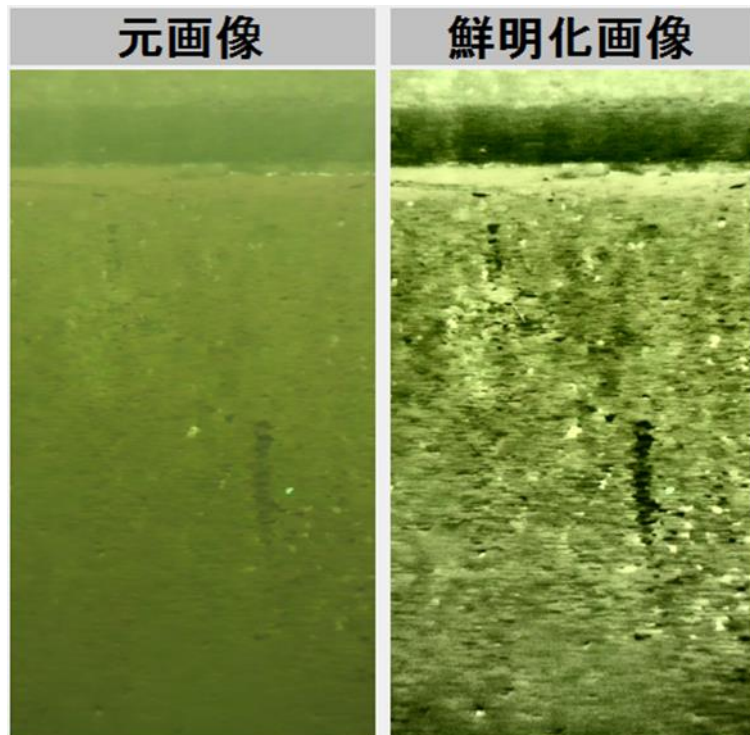
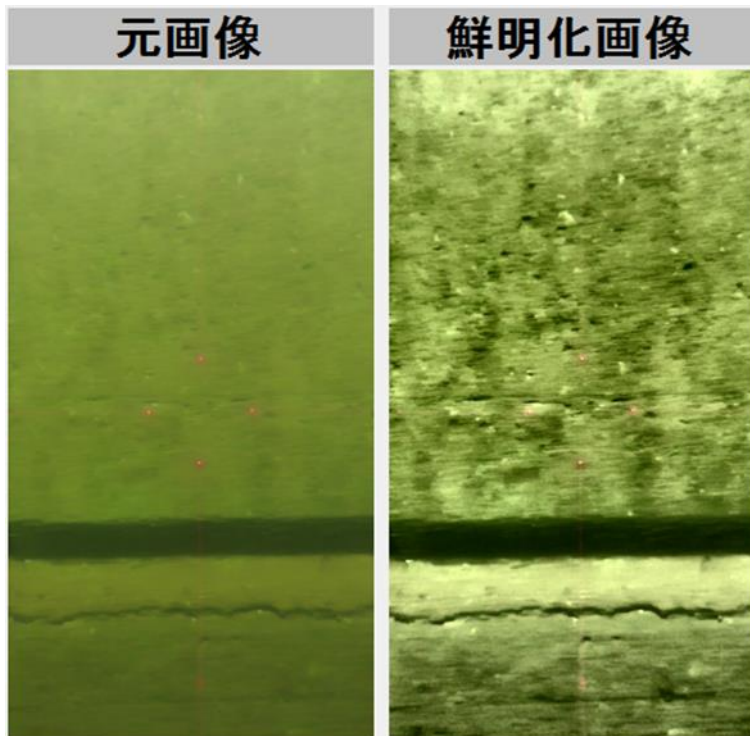
水中部点検ロボットにより取得可能な画像例として、参考として以降に示す。



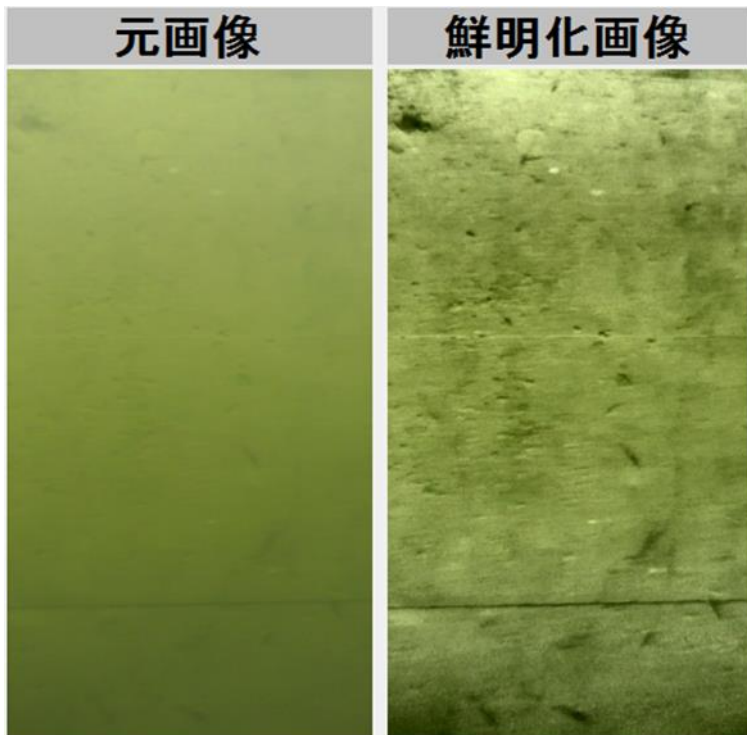
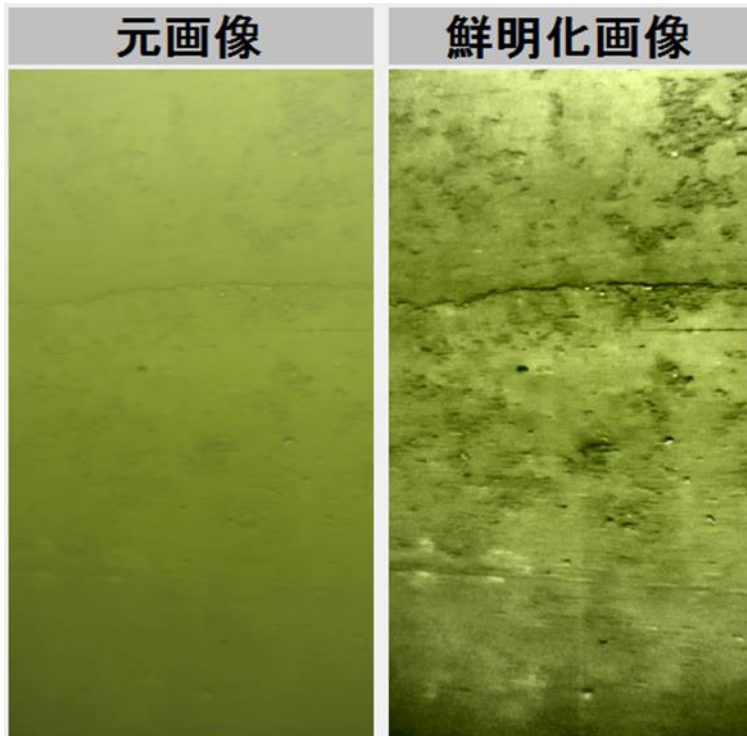
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 1.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	モザイク図



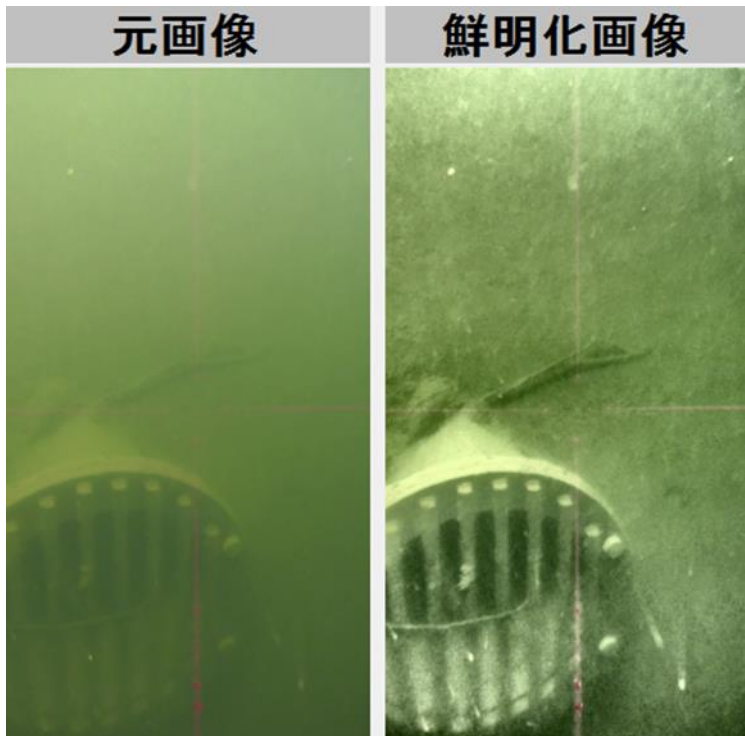
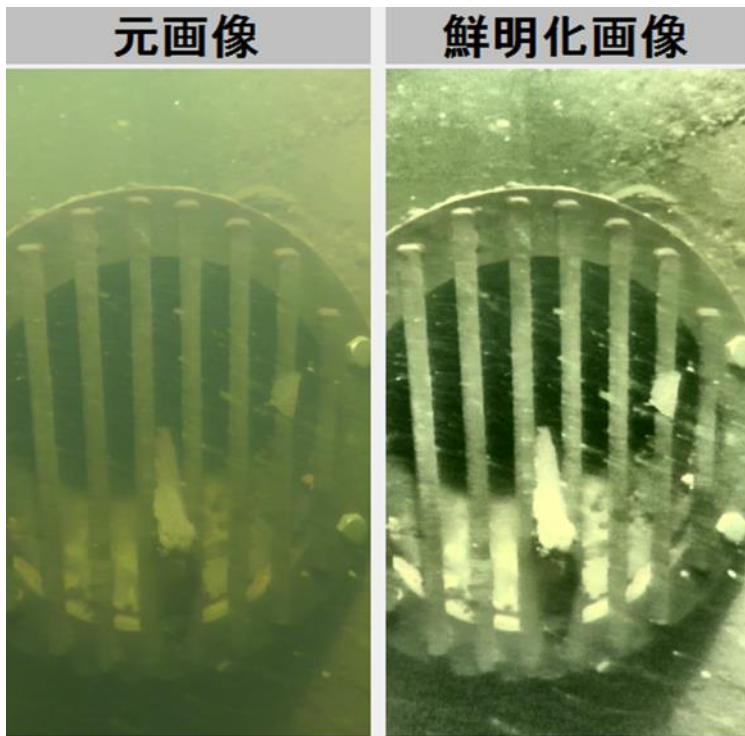
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 2.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	モザイク図



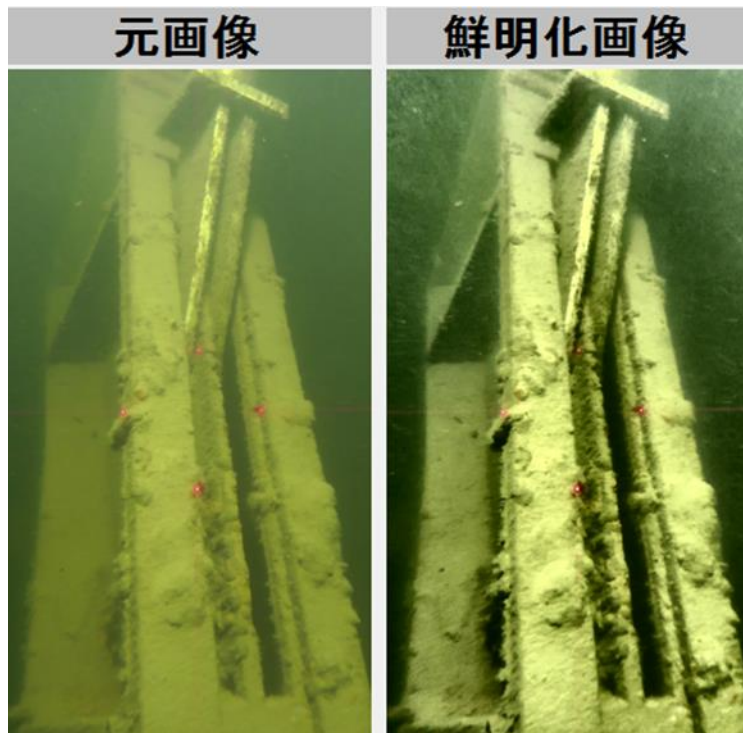
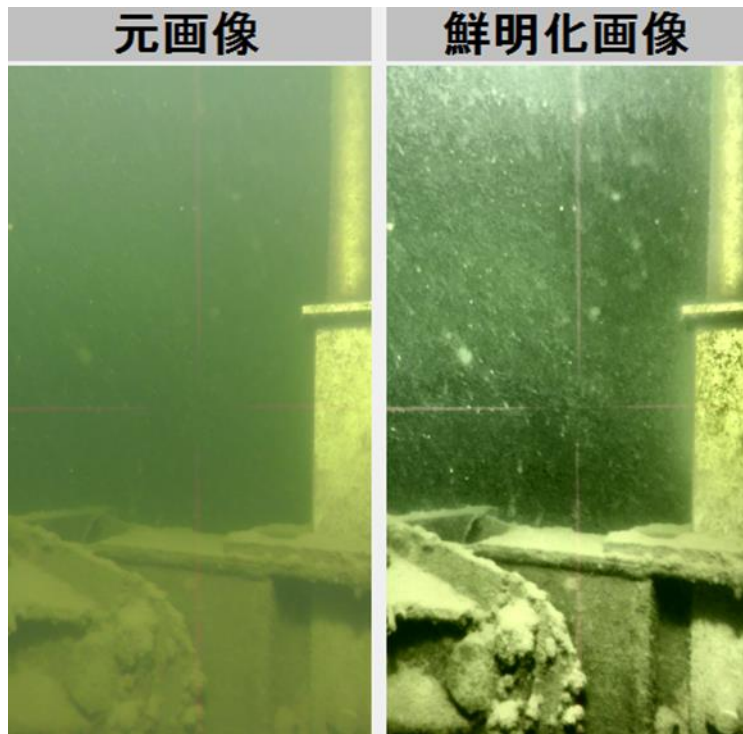
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 1.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	画像 (取得動画から切出し) ※パナソニック測定濁度： 0.0[NTU]



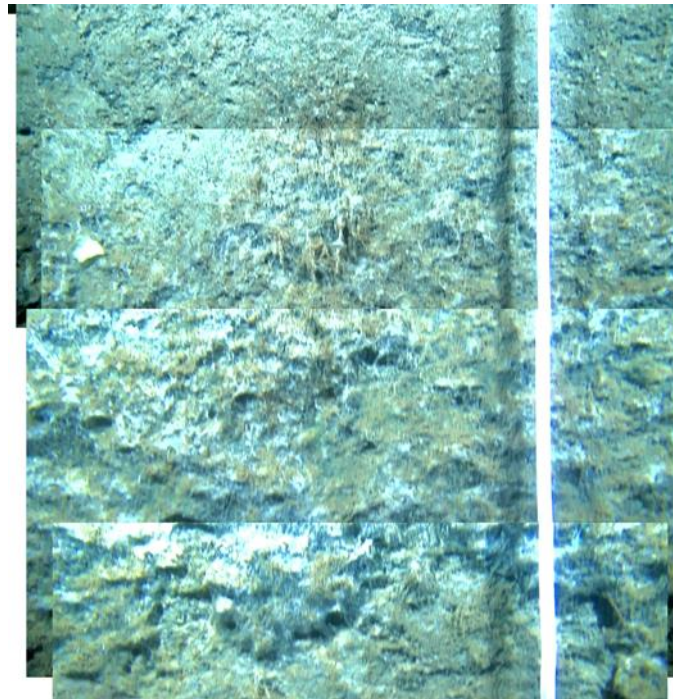
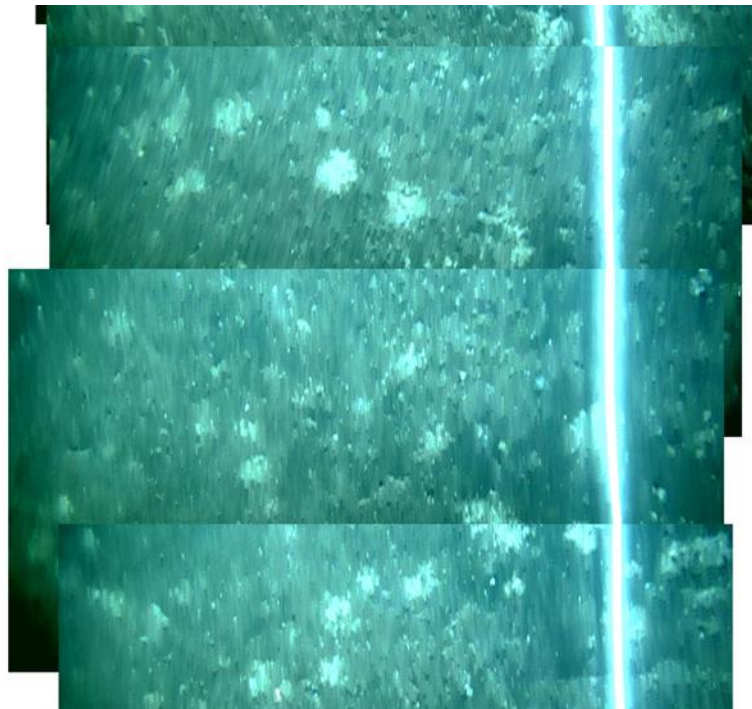
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 1.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	画像 (取得動画から切出し) ※パナソニック測定濁度： 約 3.5[NTU]



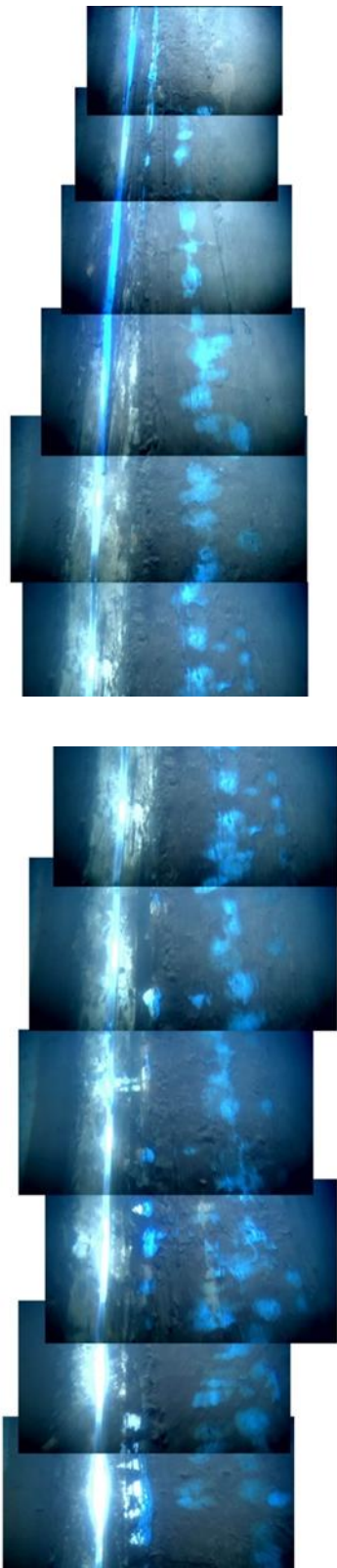
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 2.5mg/L	約 70cm ※堤体壁面からの距離	0m/s ※停止状態で撮影	有り ※要数日	画像 (取得動画から切出し) ※パナソニック測定濁度： 約 2.2[NTU]



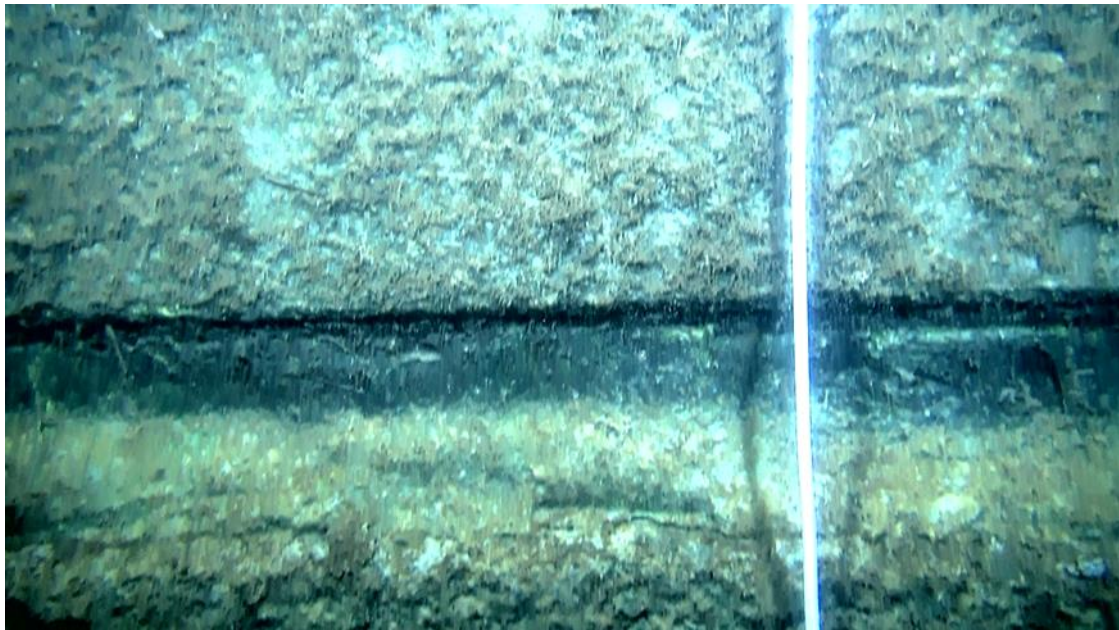
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 2.0mg/L	約 90cm	0m/s ※停止状態で撮影	有り ※要数日	画像 (取得動画から切出し) ※パナソニック測定濁度： 約 1.6[NTU]



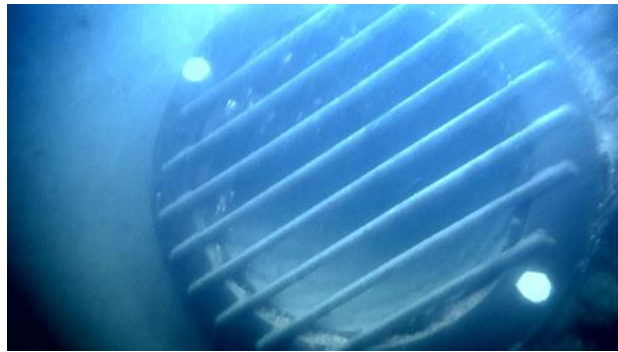
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
(株) 大林組	約 4.0mg/L	約 60cm ※箱メガネ: 30cm 分含む	約 0.1m/s	有り ※リアルタイム ※箱メガネ使用	モザイク図



画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
(株) 大林組	約 1.0mg/L	約 60cm ※箱メガネ:30cm 分含む	約 0.1m/s	有り ※リアルタイム ※箱メガネ使用	モザイク図



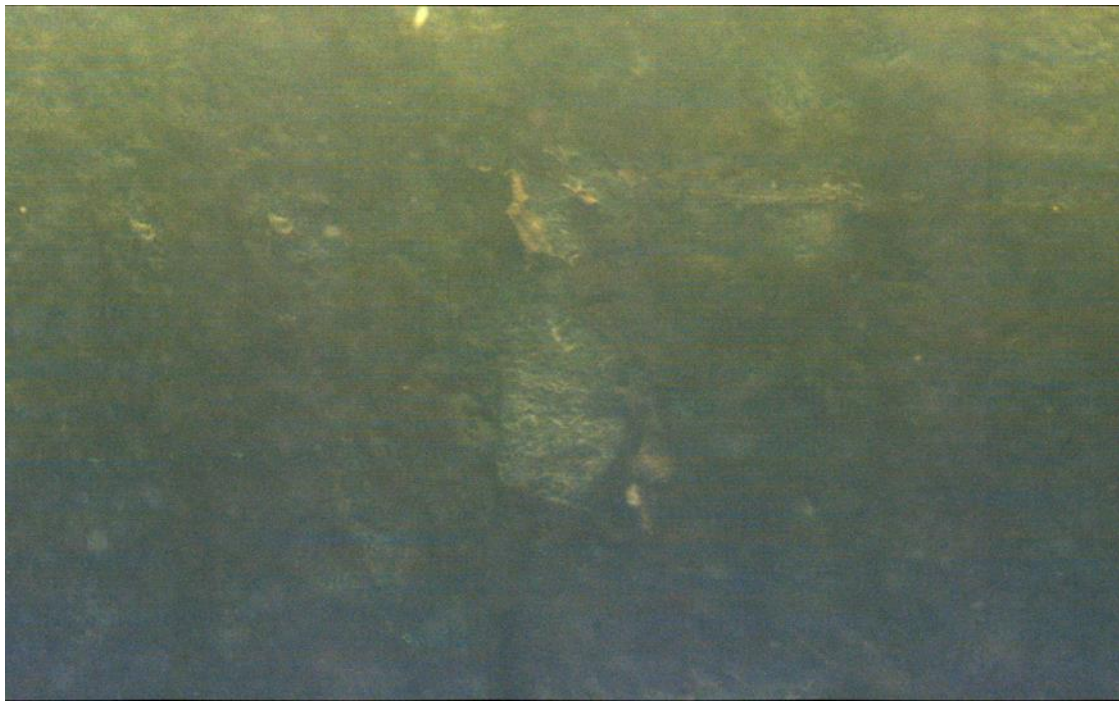
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
(株) 大林組	約 4.0mg/L	約 40cm ※箱メガネ: 30cm 分含む	約 0.1m/s	有り ※リアルタイム ※箱メガネ使用	画像 (取得動画から切出し)



画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
(株) 大林組	約 1.0mg/L ※水深 2m	約 60cm ※箱メガネ: 30cm 分含む ※ズーム使用 (2, 4 枚目)	0m/s ※停止状態で撮影	有り ※リアルタイム ※箱メガネ使用	画像 (取得動画から切出し) 水深約 20m



画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
(株) 大林組	約 1.0mg/L ※水深 2m	約 60cm ※箱メガネ: 30cm 分含む	0m/s ※停止状態で撮影	有り ※リアルタイム ※箱メガネ使用	画像 (取得動画から切出し) 水深約 17m



画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
五洋建設 (株)	約 4.0mg/L	約 60cm	約 0.2m/s	無し	上：モザイク図 下：画像 (取得動画から切出し) 水深約 3m



画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
五洋建設 (株)	約 4.0mg/L	約 60cm	約 0.2m/s	無し	上：モザイク図 下：画像 (取得動画から切出し) 水深約 5m

6. その他の利用場面（ダム貯水池堆砂状況調査）

（1）点検目的

ダム貯水池の堆砂状況について、貯水池に計画以上の土砂が堆積すると、貯水池容量の減少に加え、上下流の河川に対して影響を与える可能性がある。また、ダム放流設備の維持管理面においては、放流ゲート付近まで堆砂が溜まっている場合、沈木を含んだ堆砂も巻き込んで放流することとなり、沈木等のゲートへの噛み込み等の恐れがある。そのため、ダム貯水池の堆砂状況等の調査として、堆砂量や沈木の有無を調査する事は非常に重要となる。

ダム貯水池における堆砂状況調査は、基本的に年1回実施されている（定期縦横断測量）が、この堆砂状況調査は線的な測量となっているため、ダム直上流部の状況確認や、貯水池内の面的な管理をしたいという要望がある。ダム堤体直上流部の堆砂測量に、有人スワス測量を実施しているダム貯水池もあるが、縦横断測量や有人スワス測量の代替としてロボットが活用されることは非常に効果的である。

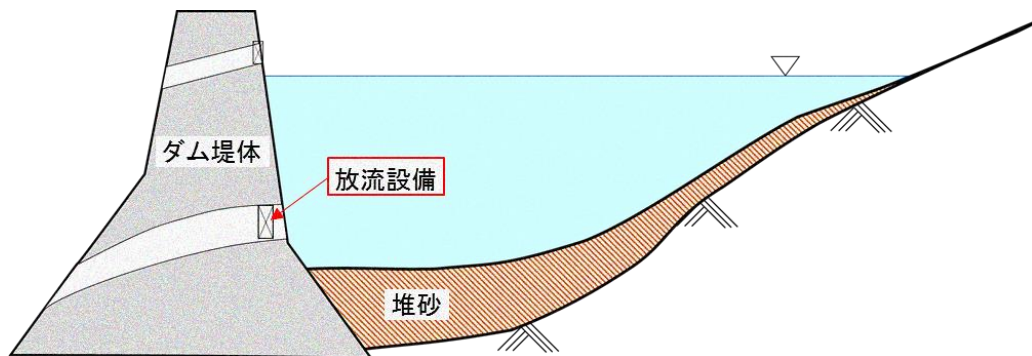


図-6.1 ダム貯水池の概要図

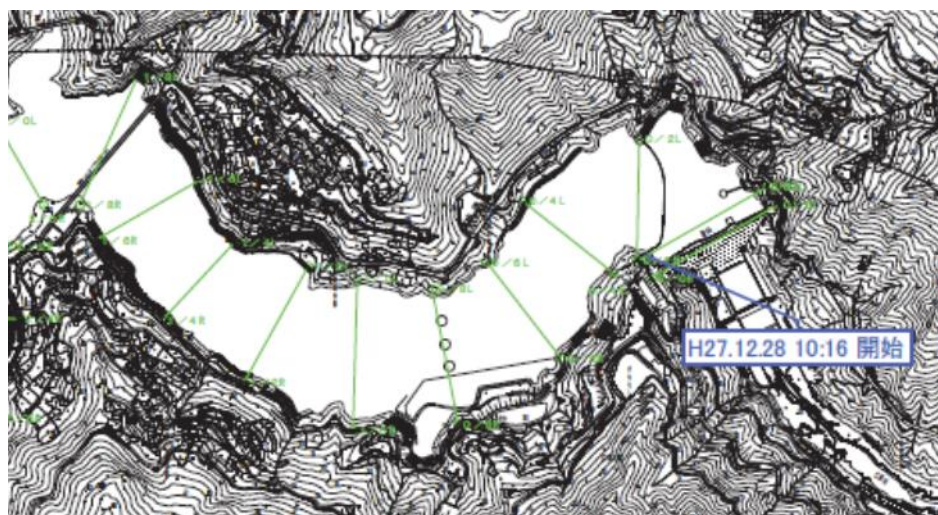


図-6.2 ダム貯水池横断測量実施図（参考：大渡ダム）

(2) 適用ロボット技術

ダム貯水池の堆砂状況確認については、横断測量や有人スワス測量の代替として、河川用ロボットであるボート型ロボットの活用が有効である。ダム貯水池は高深度となっているが、ボート型ロボットに搭載している音響測深器で対応可能である（音響測深器本体を取替える場合もある）。また、測深幅は約 120° 程度あり、水深が深い方がより広範囲の測深が可能となるため、高深度であるダム貯水池においては、より効率良く測量が可能となる。