

水中部点検におけるロボット活用マニュアル（案）
【ダム堤体編】

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)建設コンサルタント協会 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、踏まえ平成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堤体については、ダム総合点検実施要領・同解説（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 平成25年10月）の制定前より、国土交通省直轄ダムにおいては、管理開始後30年を目途に総合点検を実施してきた。しかし、コンクリートダム堤体上流の水中部については、潜水士による点検の困難性や過酷性があり、水中部の点検実績はあまり多くはない。

また、水中構造物のうち、コンクリートダム堤体上流の水中部の点検に着目し、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ヵ年にわたり、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）（ダム堤体編）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、水中部点検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。

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。

定期点検：ダム構造物の機能を検証するために、各種資料の整理・解析を実施すること、現地において施設・設備の劣化や損傷等に対して目視観察・機器等による計測等を、ダム管理者が定期的に実施することをいう。

定期検査：ダムの定期検査は、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。

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。

GPS (Global Positioning System)：衛星測位システム（GNSS）のひとつ。米国国防総省が軍事用に開発。1990年代から民生用途での利用が可能になり、航空機や船舶の測位のほか、自動車のカーナビゲーションシステムや地理測量など、広く利用されるようになった。

GNSS (Global Navigation Satellite System)：GPS、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。

横継目：コンクリートダムでは、セメントの水和反応による温度ひび割れを防止するため、またはコンクリートの打止めをするために継目を設置する必要がある。ダム軸に直交する方向に設置する継目を横継目という。横継目には、貯水池からの漏水を防止するために止水処理を行う必要がある。

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 調査対象と手法	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 水中部点検におけるロボット活用の範囲	9
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	25
4.1 要旨	25
4.2 事前準備	25
4.3 点検準備	29
4.4 ロボットを活用した水中部点検	30
4.5 点検時の管理	34
4.6 成果物	38

参考資料	44
1. 水中部点検ロボット等	45
1. 1 機器構成	45
1. 2 ロボットの機能等	46
1. 3 各種点検時における必要な機能・要求性能等	50
1. 4 ロボットの例（参考）	53
1. 5 自動追尾 TS・GNSS の性能	54
1. 6 システムの構成	55
2. 人員構成	56
3. 仮設備等	56
4. 水中での測定精度確認（キャリブレーション）	57
5. ロボットによる取得画像例	58
6. その他の利用場面	71
6. 1 減勢工への利用	71
6. 2 貯水池の堆砂状況調査への利用	73
6. 3 貯水池の周辺斜面調査への利用	74

第1章 総則

1. 1 目的

本マニュアル（案）は、コンクリートダム堤体等の水中部において、ロボットを用いた水中部点検を実施する際の調査項目や調査手法、点検方法等の基本的な事項について取りまとめ、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、専門知識を有する点検実施者により実施され、コンクリート面については、ひび割れ（クラック）の寸法（長さ、幅）と分布状況、遊離石灰、剥離やうき等の外観点検に加え、アルカリ骨材反応や中性化などの幅広い点検項目の確認が可能である。

一方、水中部の点検においては潜水士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、ダム堤体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】

ダム施設の維持管理における点検・定期検査等は、ダム管理者が行う日常管理における巡視・点検、ダム管理者が専門家の意見を聴いて長期的観点から行うダム総合点検、ダム管理者以外の専門家等が行う定期検査により構成される。

また、貯水池の維持管理における調査・評価等は、巡視、観測・調査等、ダムの管理に係るフォローアップ、ダム総合点検等により構成される。

本マニュアル（案）で示す水中部の点検方法等は、これまでの水中部点検事例を踏まえ、ダム総合点検を代表例とし、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、ダム総合点検以外として、定期検査や臨時点検等においても活用を想定したものである。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可否およびロボットによる調査対象等の決定に際しては、ダム総合点検等の目的を十分理解するとともに、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、過去のダム総合点検や日常点検で得られたダム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調査対象・調査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「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】

ダム総合点検は、管理開始後30年までに着手し、以降30年程度に1回の頻度で実施する。ロボットを活用した水中部点検の意義は、水中部の異常を把握するだけでなく、現在、異常が見られなくても、30年後の点検に向けて、劣化の進行状況の確認や経過観察のために、現時点での基礎データを取得しておくことを含む。また、不可視部である水中部は、補修等の形跡は見えず、場合によってはその内容や記録等が引き継がれていないことも予想される。水中部点検におけるロボットの活用は、そのようなものも含めた意義を有しており、これは定期点検や臨時点検にも当てはまる。

ダムの管理期間は、湛水開始から満水以後所要時間が経過するまでの第1期、第1期経過以後ダムの挙動が定常状態に達するまでの第2期、そして、第2期経過移行の第3期に分けられる。ロボットを活用した水中部点検は、ダムの挙動が安定する第2期から第3期への移行の際、初期値の取得への活用が想定される。

一般的に清水（および静水）中のコンクリートは、気中部に曝される場合に比べて劣化の進行が遅いといわれる。ダム堤体コンクリートについても、気中部の詳細な調査結果で異常等が見られない場合、ロボットを活用した水中部点検については、調査項目の優先度や全体コスト等を鑑み、取捨選択をすべきである。しかし、不可視部である水中部について、現段階での正確かつ客観的な状況を確認するという意義を考慮し、現況を後世に引き継ぐためにも、本マニュアル（案）を活用されたい。

1. 4 ロボットを活用した点検における事前確認項目等

水中部点検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

取水塔など常時放流している設備の点検の際には、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のために、ダム上流部の形状や構造等が把握できる図面等が必要である。特にダム放流設備の施設状況、位置および寸法は必須である。
- ・点検予定時期の水位（および水深）や水質（濁度）等がわかる資料の準備が必要である。特に濁度については、調査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、準備する仮設備等（揚重機の要否等）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、協議しておく必要がある。特に入水位置、仮係留場所は、点検実施場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対象構造物の各種資料収集

②現地踏査による現地状況確認

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、発注者協議等）
- ・品質管理（点検成果品質の確保、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

ロボットを用いた水中部点検を行う際に、ダム施設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、ダム施設等の点検に関係する基準・要領等について確認する必要がある。代表的な基準・要領等について以下に示す。

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、以下に

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協議のうえ、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
- ・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
- ・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

《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（平成28年3月） 国土交通省

第2章 調査対象と手法

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、「損傷調査」と「漏水調査」とする。各項目の実施の有無は、現地状況により検討して決定する。

【解説】

(1) 損傷調査

損傷調査は、横継目を除く管理上懸念されるコンクリート面の損傷状況を記録し、把握するものである。損傷としては、ひび割れ（クラック）、遊離石灰および剥離・剥落などがある。これらを把握し、現時点での堤体の安全性を確認するとともに河川管理施設等構造令で定められている性能要件が長期にわたり保持されるように維持管理するための判断材料の一つとして使用することを目的とする。



図 2.1.1 表面の損傷状況参考例（損傷例はいずれも下流面）

(2) 漏水調査

漏水調査は、横継目の状況等に着目し、横継目からの漏水箇所の特特定または推定を行うものである。ダム堤体は、コンクリートにより築造されており、コンクリートは、水和反応の促進と終了に伴い、体積が収縮する。この収縮がひび割れの原因となるため、ダム堤体には、対策として継目（横継目、縦継目、水平打継目等）が作られる。横継目は、ダム軸と直交（上下流）方向に作るものであり、堤体の止水性を確保するために止水板を設置する。漏水調査は、この横継目の状況（開きや異常等）や水の吸込みの有無も確認し、漏水箇所の特特定等を行う漏水調査は、堤体下流面や監査廊表面へ水の染み出しや漏水が確認された場合、監査廊内の計器類の異常値が計測された場合に実施が検討される。しかし、これらの兆候がない場合においても、異常がないことを確認することで漏水対策の健全性を証明することも想定される。

なお、水平打継目（堤体リフト間の継目）からの漏水は、堤体の一体性や安全性の観点における問題であるため、必要に応じて実施を検討する。

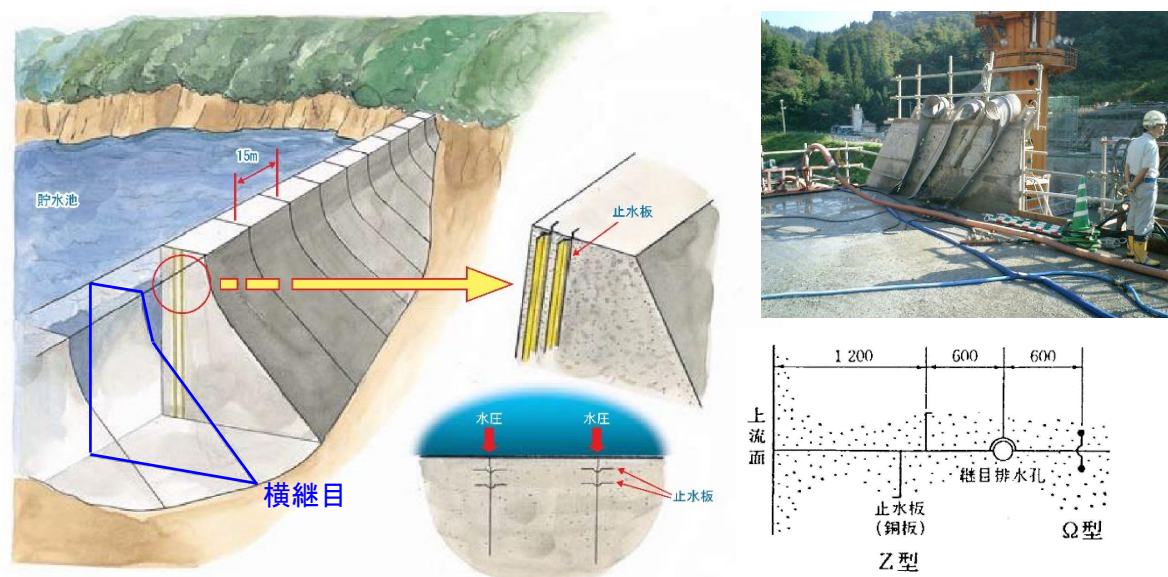


図 2.1.2 横継目および止水板の設置例等

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

概査は、堤体水中部の損傷等の有無を確認し、その位置を把握するために行うものである。概査の結果、損傷等が見つからない場合においても、次回点検時のための基礎データを記録するためのものという目的を持つ。概査は、堤体面や横継目なども含むある範囲全面が対象となり、損傷調査と漏水調査を兼ねたものである。

概査における損傷調査は、損傷の有無を確認するとともに、損傷があった場合は、その概略位置・寸法等を把握する。概査における漏水調査は、横継目の開きや異常等の有無を確認するまでを行う。この成果に基づき、精査（損傷調査、漏水調査）の可否を判断する。

概査の調査対象範囲は、ダム堤体（コンクリート部）全面が基本であるが、調査範囲を限定する場合は、費用対効果や有識者等の意見などを踏まえ決定する必要がある。

（２）精査

精査は、概査の結果、堤体水中部に何らかの損傷等が発見された場合、堤体下流面や監査廊表面へ水の染み出しや漏水が確認されている場合、監査廊内の計器類の異常値が計測されている場合などにおいて、その要因の詳細な把握や今後の対策の立案のため、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）を行うものである。なお、概査で取得した詳細な画像データの解析による分析等についても精査に含める。

精査は、調査の性質上、対象範囲が特定箇所となる。また、調査項目は、概査と異なり、調査目的に対して必要なものを実施する。

精査における損傷調査は、概査で発見した損傷の概略位置・寸法等を、より詳細に確認することが目的であるため、求める計測精度等は、概査より高くする必要がある。

精査における漏水調査は、概査で発見した横継目の開きや異常、監査廊内等の水中部以外で確認された要因に基づき、該当箇所での漏水の有無を確認するものである。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。漏水の要因となる横継目の開きや異常の状況把握については、損傷調査と同様に、求める計測精度等は、概査より高くする必要がある。

精査における損傷調査と漏水調査は、気中部調査や計器類による計測結果との相関の有無により、調査に至るまでの過程が異なる。水中部の損傷（水中部のコンクリート面の状態）は、堤体下流側のコンクリート面の状態との相関はないと推測ができる。その一方で、漏水調査は、横継目が上下流で貫通していること、その継目間（ブロック）単位で計器類による管理を行っていることから、上下流方向の同様の位置における相関があると推測でき、試行的導入においても、この傾向は確認されている。

上記から、損傷調査は、概査の状況により可否を決定するため、概査を実施せず、精査を決定することはほとんどない。一方で、漏水調査は、概査の状況で可否を決定する場合だけでなく、監査廊内等の水中部以外で確認された要因で精査の可否を決定する場合がある。

（３）水中部点検フロー

前項までに示した内容をもとに点検フローを図 2.2.1 に取りまとめた。図 2.2.1 のフローによらない場合については、発注者と協議を行い、受注者は実施計画書を提出する。

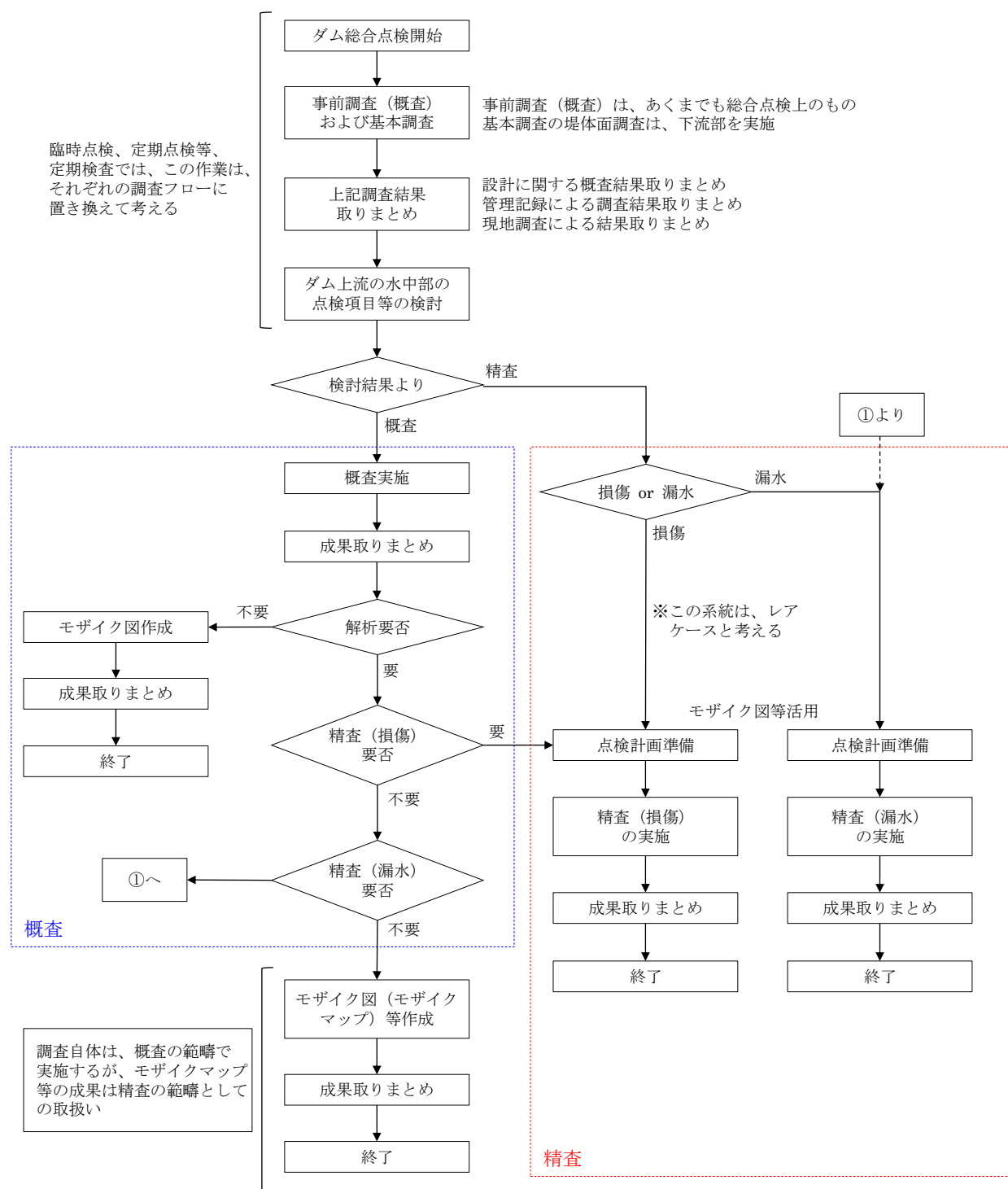


図 2.2.1 水中部点検フロー

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下記に示す。

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。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。

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。

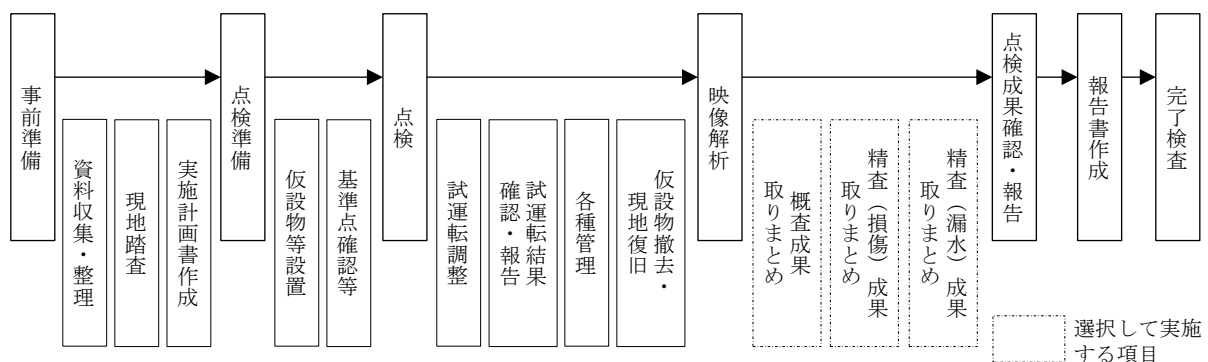


図 2.3.1 ロボットを活用した点検区分および順序

2. 4 水中部点検におけるロボット活用の範囲

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、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。

この成果物を作成するまでをロボットを活用した水中部点検成果の範囲とする。

【解説】

これらの成果物を用いた、損傷程度の評価や健全度評価および維持管理方針等の総合的な判断は、気中部の点検を実施する事業者（総合点検等を実施するコンサルタント等）の業務範囲とする。

(1) ダム総合点検におけるロボットの活用

ダム総合点検におけるロボットを活用した水中部点検は、概査を「基本調査」で実施し、精査を「追加調査」で実施することを基本とする。

ただし、「基本調査」での水中部点検を実施しない場合等においては、「基本調査」での結果を考慮したうえで、「追加調査」にて水中部点検（概査・精査）の実施を検討する。

【解説】

ダム総合点検における基本調査は、点検計画立案時に抽出された留意すべき課題やダム総合点検で定められている全項目の調査を行う。また、追加調査は、基本調査の結果、専門家からの意見聴取および助言を受け、堤体および基礎部の経年的な劣化・損傷に着目し、必要に応じた点検を実施する。このことから、概査は「基本調査」の範疇で実施し、精査は「追加調査」の範疇で実施することが想定される。

しかし、水中部点検におけるロボットの活用がまだ普及していないことや、ダム総合点検では基本調査の結果を踏まえ、専門家からの意見聴取により追加調査の調査項目が決定されることから、「基本調査」において水中部点検を実施していない場合においては、「基本調査」の調査結果を踏まえた「追加調査」にて水中部点検（概査および精査）の実施を検討する。

なお、ダム総合点検は、2ヵ年にわたり実施される場合が多く、初年度は、点検計画立案、基本調査が実施され、その結果を踏まえ、専門家からの意見聴取および追加調査の方針決定がされる。2年目は、追加調査を実施し、それまでの成果を踏まえ、健全度評価および維持管理方針が示され、最終的な方針として取りまとめられる。この実施手順を水中部点検に適用すれば、点検実施から成果報告までの時間を十分に確保できる。図 2.4.1 にダム総合点検におけるロボットの適用範囲を示す。

(ダム土木構造物)

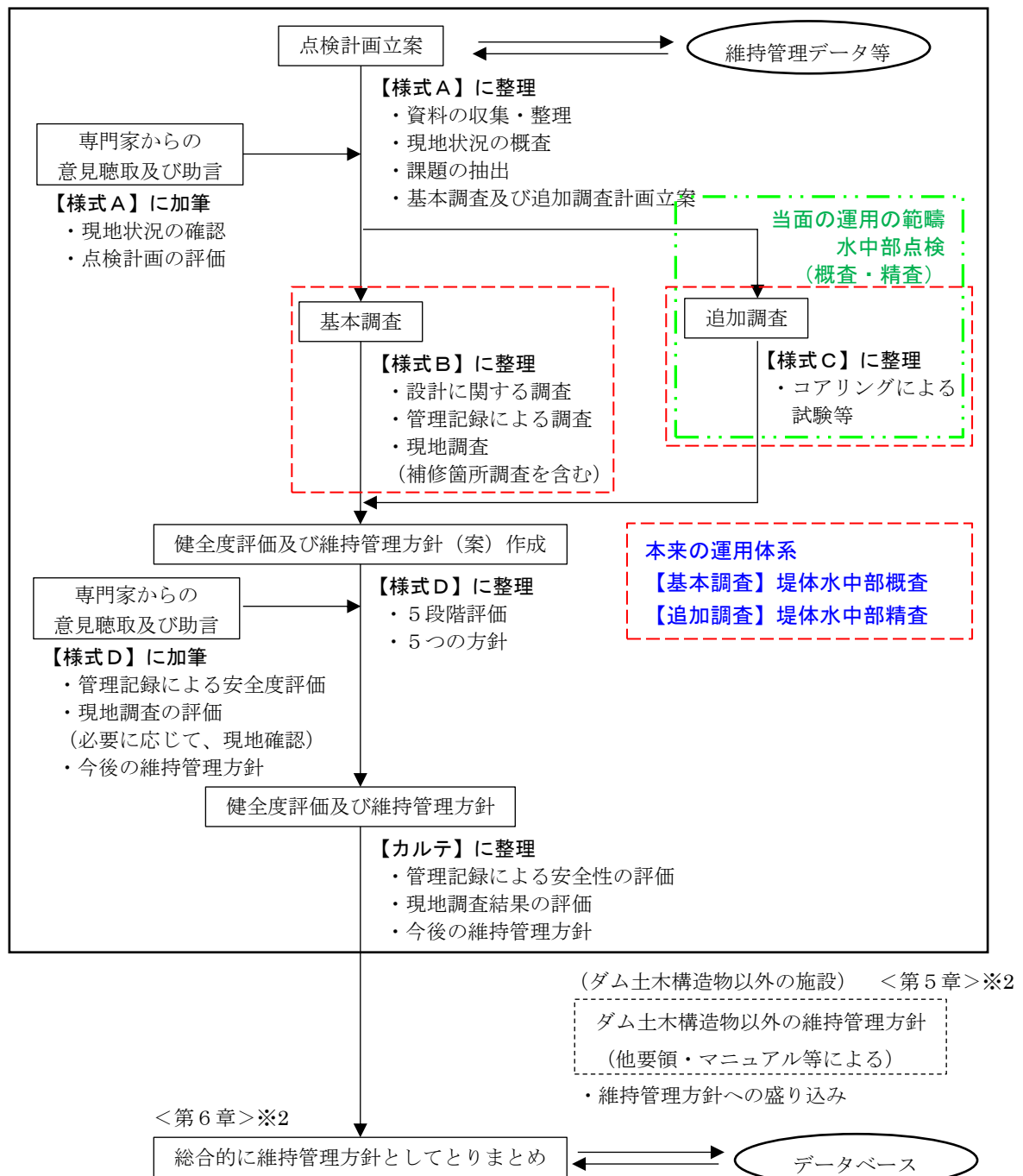


図 2.4.1 ダム総合点検における水中部点検の適用範囲※1

※1 ダム総合点検実施要領・同解説 P20 より引用

(平成25年10月 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課)

※2 図中の第5章、第6章は、ダム総合点検実施要領・同解説の章を示す

(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等の変状発生のある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、ダム施設の異常の有無を確認するために実施するものである。点検対象は、ダム堤体周辺斜面および貯水池周辺斜面が主とされている。本マニュアル（案）では、参考としてダム堤体周辺斜面や貯水池周辺斜面の水中部の状況確認を行うロボットを参考資料に示した。

(3) 定期点検および定期検査等におけるロボットの活用

定期点検等におけるロボットを用いた水中部点検は、必要に応じて実施を検討することとする。

定期検査での指摘事項を踏まえて実施する場合は、発注者と協議を行う。

【解説】

ダム堤体、洪水吐き等の点検については、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、通常点検である巡視・日常点検にて留意すべきダム施設の安全性に関する確認事項が下記のように例示されている。

《巡視》

- ① 監査廊、堤体の上下流面や天端における継目の開き、ひび割れ、コンクリートの剥離・剥落等の有無
- ② 監査廊、堤体のひび割れや継目、水平打継目からの漏水、エフロレッセンスの有無
- ③ 堤体の堤趾部や両岸の基礎地盤からの漏水の有無
- ④ 洪水吐き（越流部、導流壁、減勢工等）コンクリート部の異常の有無

《日常点検》

- ① 基礎排水孔や浸透流観測孔からの排水、漏水の濁りの有無
- ② 下流河川の急激な河床洗掘の有無

定期点検については、年に 1 回、目視等により水叩き部の洗掘状況の確認が例示されている。

これらの通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。なお、臨時点検（参照：（2））も検査事項である。

巡視すべき確認事項のうち、①②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、点検対象や点検手法は、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、またはダム施設・貯水池の状態検査のうちの貯水池周辺斜面の水中部の状態などが適用範囲であるため、河川用のボート型ロボットも利用可能である。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 ダム施設の維持管理状況（検査項目 1－2）の検査事項等（抜粋）

検査事項	検査の着眼点	検査方法
巡視・日常点検の実施状況	・巡視、目視や計測等による日常点検が、ダム点検整備基準に定められた項目、頻度により実施されているか	・巡視・日常点検の記録の確認 ・計測の記録の確認
地震時臨時点検の実施状況	・地震時臨時点検が、適時・適切に実施されているか ・緊急の措置が必要と判断された場合に、直ちに対策が実施されているか	・地震時臨時点検とその後の対応に関する記録の確認
洪水時臨時点検の実施状況	・洪水時臨時点検が、適時・適切に実施されているか ・緊急の措置が必要と判断された場合に、直ちに対策が実施されているか	・洪水時臨時点検とその後の対応に関する記録の確認

ダム定期点検の手引き [河川管理施設のダム版] P7 より
(平成28年3月 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課)

表 2.4.2 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
貯水池周辺斜面の状態	斜面对策工	・ダムの安定性及び機能に影響を及ぼすような対策工の構造物等の劣化・損傷等による機能低下がないか ・構造物の状態に異常がないか	・注意が必要な斜面の地形・地質状況、対策工、変動履歴、挙動等の斜面情報、巡視 ・点検の記録等の確認 ・目視等による斜面状態の確認
	自然斜面	・貯水池周辺の地山の状態に異常がないか ・監視等の注意を要する斜面に異常がないか ・変状が生じている場合は、ダムの安全性及び機能に影響を及ぼさないか	
	その他周辺施設	・貯水池周辺の護岸や周辺道路等の状態に異常がないか	
	護岸		
	周辺道路		

ダム定期点検の手引き [河川管理施設のダム版] P14 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、ダム堤体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) 損傷調査（精査）	○	△	×
(3) 漏水調査（精査）	○	○	×
(4) 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、または、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（スラスター）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、点検箇所の直上部（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。

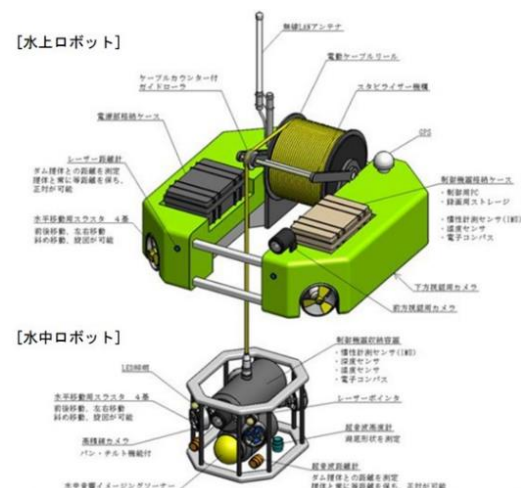


図 3.1.2 懸垂式ロボット（水上機＋水中機）概要図（例）

(3) ボート型ロボット（参考）

ダム堤体の点検ではないが、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。

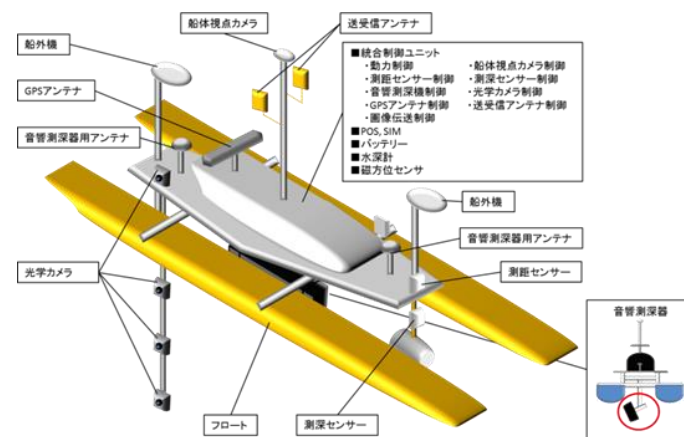


図 3.1.3 ボート型ロボット（例）

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、損傷調査、漏水調査）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、損傷調査、漏水調査）に異なるため、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、現状状況の把握や、変化の有無等を把握する目的で実施する。また、点検対象設備によるが、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：高濁度時の調査能低下防止
- ・堤体面と正対する機能：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
- ・一定の深度保持機能：点検漏れ防止
- ・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) 損傷調査(精査)

損傷調査(精査)は概査で発見した損傷等の変状について、鮮明な映像(画像)取得や寸法計測を目的に実施する。

詳細な画像取得・寸法計測のための機能・付属装置(参考)として下記が挙げられる。

- ・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
- ・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)の機能
- ・その他点検に必要な機能

(3) 漏水調査(精査)

漏水調査(精査)は漏水箇所特定を目的に実施する。ロボットを使用して漏水の有無を確認する場合は、漏水検知装置を有する必要がある。さらに、漏水箇所の要因把握として、水密部の損傷等の寸法計測も必要な場合は対応したロボットを選定する。

漏水検知装置の種類として、流速計による計測、色水の吐出・観察等がある。漏水量推定については、流速計による測定の場合には、流速から流量への換算(実験による換算式)、色水の場合にはその吸い込み時の映像解析により漏水量の推定値を算出可能である(ただし、推定値の精度については未検証である)。

その他、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）、寸法計測装置等の機能を有する必要がある。

（４）ダム貯水池堆砂量調査（参考）

ダム貯水池の堆砂量調査は、音響測深器等を用いてダム貯水池内の測深を行うものであり、前述（前章 2.4 (3) 参照）している通り河川用ロボットであるボート型ロボットを用いる調査となる。

求める機能・装置は、点検位置情報把握、音響測深器等の計測器である。ダム貯水池においては、一般的な河川と比べて水深が深くなる事が考えられるため、対象となるダム貯水池の水深に対応する音響測深器を用いる必要がある。また、ダム貯水池ではあまり流速は無いと考えられるが、性能として点検箇所の流速に耐え得る船速を有する必要がある。

3. 3 ロボットの選定

ロボットを選定するにあたり、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提示を行い、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 3.3.1 ～ 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

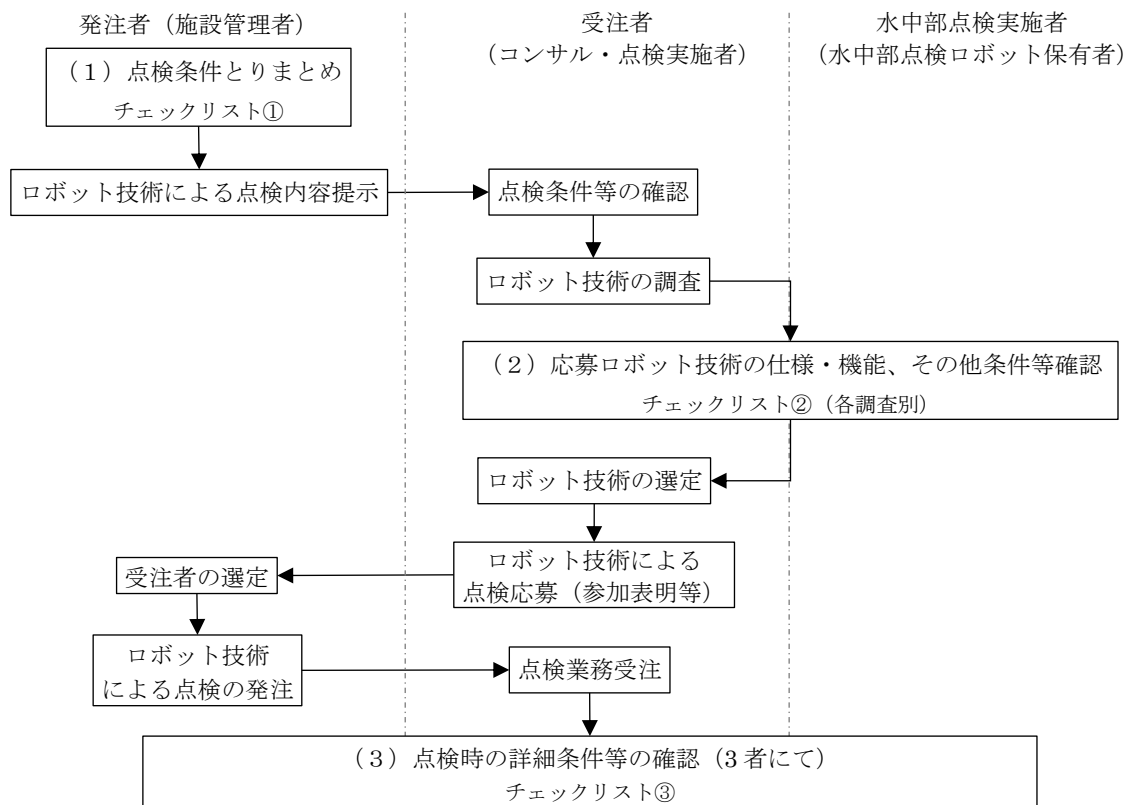
発注者が明確にする諸条件であり、点検目的や点検範囲、水深等の基本的条件のもの。また、ロボットによる点検が実施可能かどうか、ロボット使用者の判断材料となるもの。

（2）ロボットの仕様等確認（発注後、応募ロボット技術の適応確認時）

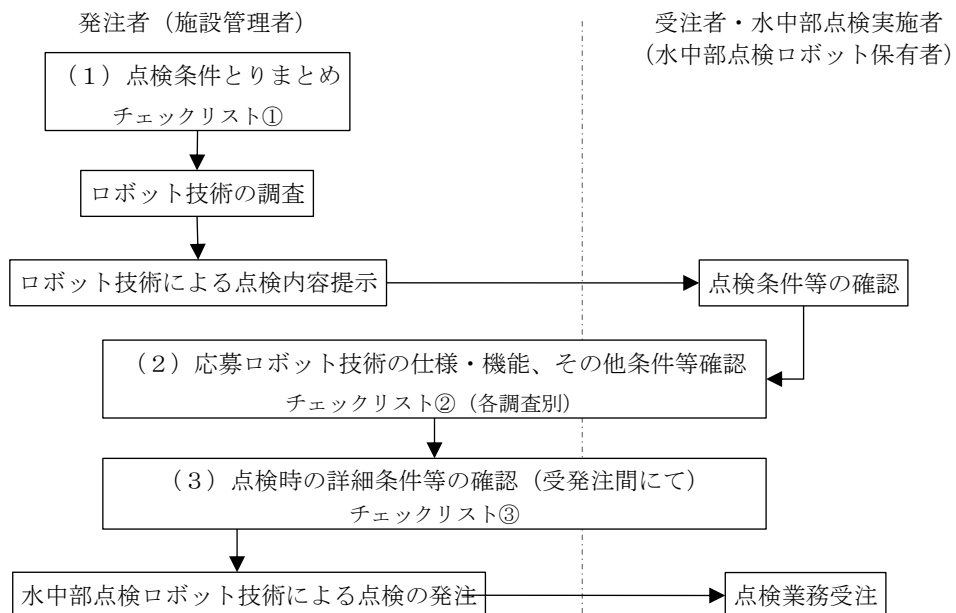
ロボットによる点検が可能か、ロボット技術選定者が確認すべき基本事項等であり、仕様・性能や機能等、その他点検日数やコスト等の確認すべき項目。応募者が複数の場合、応募ロボット技術の選択を行う際の指標となるもの。

（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のもの。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) 発注者が水中部点検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・損傷調査・漏水調査・その他：	
2	点検対象範囲・箇所	概査： 損傷調査： 漏水調査： その他：	別途図面等にて図示すること
3	成果物	概査：モザイク図・動画・静止画・他（ ） 損傷調査：モザイク図・損傷マップ・動画・静止画・他（ ） 漏水調査：モザイク図・損傷マップ・動画・静止画・他（ ） その他：	
4	点検予算【※記載は発注形式による】	概査： 損傷調査： 漏水調査： その他：	
5	点検時の予定水位	EL＝（ ）m	
6	点検箇所の水深（最深部）		
7	点検箇所の通深		通年度データを参考とすること
8	水中部点検の作業時期はいつ頃を想定しているか		
9	水中部点検の作業期間		
10	水中部点検の作業実施不可日（期間）の有無		
11	ダム堤体面における変起物（阻害物）の有無	無・有：	有の場合、別途図面等にて図示すること
12	ダム湖内で流連発生場所があるか（放流予定の有無等）	無・有：	有の場合、別途図面等にて図示すること
13	作業船の貸与可否	可・否・要調整：	
14	インクラン使用（貸与）可否	可・否・要調整：	
15	インクラ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・インクラン・堤体脇（揚重） その他：	候補地の列挙、別途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・クレーン付トラグは可・その他：	
18	揚重機使用等による、ダム堤体道路の規制可否	否・片側交互通行規制可・通行止可 その他：	
19	艀装等の準備作業として利用可能場所		候補地の列挙、別途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	無・有：	
21	点検作業の中止条件・基準等	降雨量： 風速： 地震時： その他：	

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	-			
	位置精度(成果物上)	±10cm程度以内			再確認可能な精度
3	変状度合いの精度	±10cm以内			
	ひび割れ幅	1mm程度以上が測定可能			高濁度の場合は要協議
	横継目	1mm程度以上が測定可能			高濁度の場合は要協議
	調査能力を担保する機能の有無	-			
	画像鮮明化技術装置	有すること			
4	堤体面と正対する機能	有すること			
	一定の離隔保持機能	有すること			
	一定の移動速度保持機能	有すること			
	一定の深度保持機能	有すること			
	照度均一機能	有すること			
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				
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	ロボット積装場所				
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（損傷調査）

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）：損傷調査

No.	項 目	設定条件等	確認結果	評価	備考
1	調査能力	約500m2／日程度(濁度による)			
2	点検対象範囲・箇所の点検可能範囲				
3	測定精度	-			
	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	±5cm以内			
	ひび割れ幅	0.2mm程度以上が測定可能			高濁度の場合は要協議
	横継目	0.2mm程度以上が測定可能			高濁度の場合は要協議
4	調査能力を担保する機能の有無	-			
	濁水対応装置	有すること			
	堤体面と正対する機能	有すること			
	その場に留まる姿勢制御装置	有すること			
	清掃装置(ケレン装置)	有すること			
	寸法計測装置	有すること			
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				
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 3.3.4 チェックリスト②（漏水調査）

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）：漏水調査

No.	項 目	設定条件等	確認結果	評価	備考
1	調査能力	約100m／日程度（目安）			
2	点検対象範囲・箇所の点検可能範囲				
3	測定精度	-			
	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	±5cm以内			
	横継目	0.2mm程度以上が測定可能			高濁度の場合は要協議
4	調査能力を担保する機能の有無	-			
	濁水対応装置				
	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：	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				
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 3.3.5 チェックリスト③

水中点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
1	ダム図面（平面図、ダム本体、ダム放流設備等）は貸与したか	
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	
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、安全性の向上や点検効率の改善、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（参照：用語の定義）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作成する。参考として、ロボットによる取得画像の一例を参考資料5に示す。

また、成果の範囲は、損傷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、発注者と協議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・借用品や日々の運用体制、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、発注者と協議し、提出する必要がある。

実施計画書の作成や協議時期は現地作業の実施前に実施する必要があるため、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協議を行う。

【解説】

発注者から提供すべき資料や、発注者と協議すべき事項として、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、発注者と協議する必要がある。

<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）

<協議・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事前協議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）借用品等

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

【解説】

施設管理者が管理する施設等の借用の代表例として、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、発注者と十分に協議し、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協議・確認を行うこととする。



写真 4.2.1 作業船

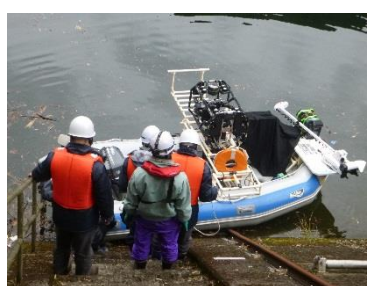


写真 4.2.2 インフラ上での作業

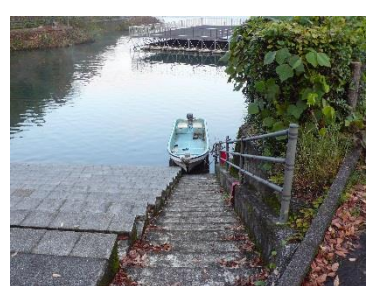


写真 4.2.3 仮係留



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 堤体脇管理局

（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。

ダムは下記の機能を有する。

- ①洪水調節機能
- 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、協議し、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、事前に協議しておくこと。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。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、ロボットから取得している映像、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TS、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、通信機器等の動作確認および水中での測定精度確認等を行う。

【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協議する必要がある、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校正（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る測定：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、その方法も含めて協議事項とする。協議の際には、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、発注者等との協議により実施する。

【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、発注者側が測定器を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、適宜協議の上、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計測の必要性がある場合、手配も含めて、発注者等と協議し、適切な措置をとる。

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
天候	目 視	—	船上周辺 1 箇所
濁度	濁度計	Mg/L、NTU	水深 10m, 30m
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、堤体面を一定の離隔にて撮影し、その映像による確認を行うものである。点検の管理単位は、1ブロック（15m）を基本とする。

【解説】

概査は、水中部点検ロボットに搭載したデジタルビデオカメラ等により、堤体面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。点検調査の管理単位は、ダム堤体のジョイント間である1ブロック（15m）を基本とする。

ROVを使用した点検方法としては、水深の浅い箇所から開始し、同一水深を水平方向に移動して点検を行い、15m分（1ブロック分）である継目～継目間の点検を終えると1段分（約50cm程度）潜降して、潜降した水深で再度水平移動して15m分の点検を実施する。この水平移動と潜降を繰り返して、深度が浅い箇所から深い方向への調査を実施する。なお、湖底部では、継目～岩盤部となり、岩盤部での潜降は出来ないため、継目まで戻って潜降、再度継目～岩盤部の点検後、継目へ戻り潜降の点検の繰り返しとする。

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が望ましい。

調査能力は、試行的導入の結果を踏まえ、1,000 (m²/日) (日6h換算) とし、移動速度は約 0.15 (m/s) 程度、離隔距離は 60 (cm) (濁度 4mg/L 度以下での実績) 程度での実施が標準的である。

濁度が高い場合には離隔距離が短くなるため、資料収集・整理の結果、濁度が高いと想定される場合や、作業条件 (係留箇所～点検箇所の移動時間、時期による日照時間等) により点検作業時間に制限がある場合等、作業時間や調査能力等については事前に発注者等と協議することが重要である。

概査で必要とする測定精度等を表 4.4.2 に示す。

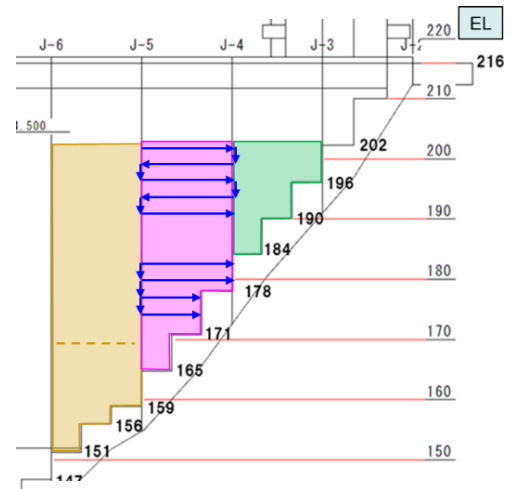


図 4.4.1 概査の点検方法

表 4.4.2 概査で必要とする測定精度等【参考】

点検目的		①記録的意味合い ②損傷や漏水が懸念される場合のその要因の有無
調査項目		①－ ②損傷、漏水 (成果兼用)
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	±10 (cm) 以内
	ひび割れ幅	1 (mm) 以上が計測可能※
	横継目	1 (mm) 以上が計測可能※

(5) 損傷調査 (精査)

損傷調査 (精査) は、堤体面の損傷箇所を詳細に撮影するものである。点検の管理単位は、特に定めない。

【解説】

損傷調査 (精査) は、概査にて発見された損傷箇所等について、ロボットに搭載したデジタルビデオカメラ等により、動画を撮影する。

調査能力は、損傷調査 (精査) の性質上、高精細な計測であるため、目安として、500 (m²/日) (日6h換算) とする。また、概査と同様に濁度の影響を受けるため、濁度が高い場合には、調査能力等について、発注者等と協議することが重要である。

損傷調査 (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。

損傷調査（精査）で必要とする測定精度等を表 4.4.3 に示す。

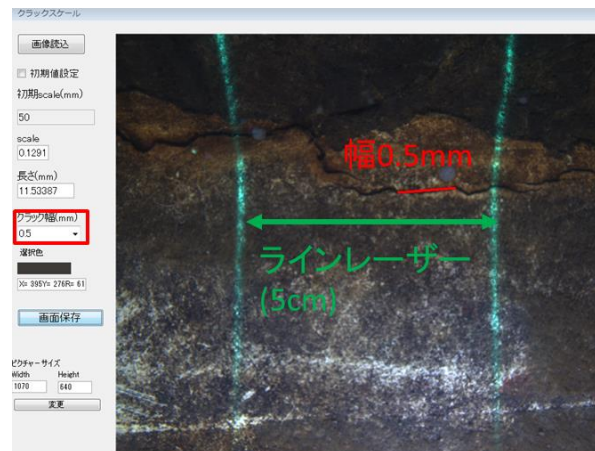


図 4.4.2 損傷調査状況（例）

表 4.4.3 損傷調査（精査）で必要とする測定精度等【参考】

点検目的		損傷の要因を把握または特定する
調査項目		堤体面の詳細な損傷調査
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	±5（cm）以内
	ひび割れ幅	0.2（mm）以上が計測可能※
	横継目	0.2（mm）以上が計測可能※

（6）漏水調査（精査）

漏水調査（精査）は、横継目からの漏水箇所および状況を詳細に撮影するものである。点検の管理単位は、1 ジョイントを基本とする。また、漏水箇所における漏水量の測定も可能であれば実施する。

【解説】

漏水調査（精査）は、横継目からの漏水箇所および状況について、ロボットに搭載したデジタルビデオカメラと漏水検知装置等により、動画の撮影と計測を行う。

横継目は、ジョイントごと設置されており、監査廊内には、漏水量計等の管理計器がこれに応じて設置されている。漏水は、継目が設置される関係上、上下流方向に相関があると考えられる。管理計器のデータ、監査廊測部のコンクリート面の変状や染み出しおよび堤体下流面からの染み出し等で、ある程度の漏水原因箇所の推測が可能と考えられ、その範囲における原因箇所を特定する。

漏水箇所の特定手法としては、流速計を用いた漏水検知装置や色水等の放出による動向観察がある。調査は、横継目を水位が浅い箇所から深い方へ向かい実施する。一定間隔（試行的導入では約 50cm 間隔）ごとに一旦停止し、その位置にて漏水の有無を確認後、再度、潜降し、調査を続けていく。また、横継目の左右 1 m 範囲（中心から 50cm ずつ）

の位置にあるクラックについても、漏水の可能性があるので、点検を実施することが望ましい。なお、漏水箇所が判明した場合、横継目の開きや変状度合い等を計測する。また、可能であれば、その箇所での漏水量測定等も実施する。

漏水調査（精査）の調査能力は、目安として、100（m/日）（日 6h 換算）とする。また、概査と同様に濁度の影響を受けるため、濁度が高い場合には、調査能力等について発注者等と協議することが重要である。

漏水調査（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。

漏水調査（精査）で必要とする測定精度等を表 4.4.4 に示す。



写真 4.4.4 漏水検知装置使用状況



写真 4.4.5 色水放出状況

表 4.4.4 漏水調査（精査）で必要とする測定精度等【参考】

点検目的		①漏水位置を特定する ②漏水量を計測する
調査項目		横継目の開き等の状況調査、漏水量計測 （水平打継目は、任意・協議事項）
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	±5（cm）以内
	横継目	0.2（mm）以上が計測可能※
	漏水量	要否や方法も含め、協議事項

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例を示す。これらの中止基準値については、施設管理者と協議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、各調査の開始前には、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、各調査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、発注者等と点検実施者で協議するものとする。

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 完了	着手前	着手前写真	着手前	着手前 1 回	要
		完了	完了時写真	完了後	完了後 1 回	要
2	調査状況	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。その他作業状況に応じて、関係法令に準じた必要な有資格者を配置しなければならない。

【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。

基本的安全管理では、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。具体的安全管理では、それぞれの点検内容それぞれ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
玉掛け作業	玉掛け技能講習修了者	吊上げ荷重 1t 以上の玉掛け作業
	玉掛け特別教育修了者	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：点検実施業者等）
- 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協議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、点検対象範囲のモザイク図、堤体面の静止画およびその根拠となる動画とする。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】

概査の成果物は、点検対象範囲のモザイク図、堤体面の静止画およびその根拠となる動画とする。ただし、成果物とりまとめ作業や機体性能等に係り、費用にも影響することから、発注者と協議の上、決定する。成果物となるモザイク図・画像の一例として、ロボットによる取得画像の例を参考資料5に示す。

モザイク図作成については、点検調査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、この図で堤体面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、解像度を落としてもよいが、点検対象範囲に漏れがあってはならない。

一方で、堤体面の静止画は、堤体面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、記録をブロック単位や同ブロックである深度範囲で行い、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

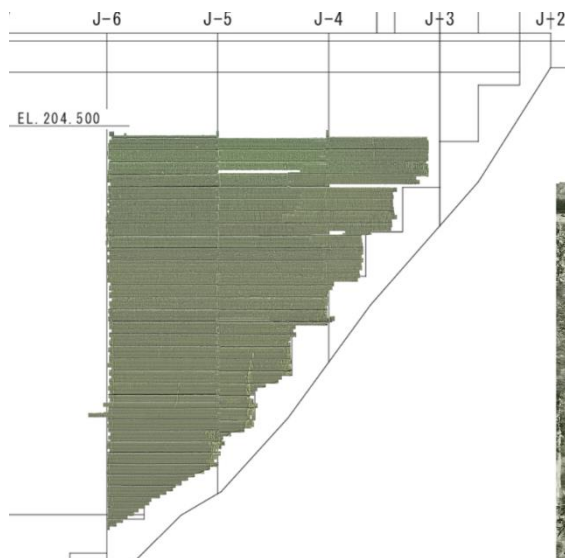


図 4.6.1 モザイク図（例）



図 4.6.2 写真データ（例）

（２）損傷調査（精査）

損傷調査（精査）の成果物は、点検対象範囲のクラックマップ、堤体損傷部の静止画（クラック等凡例有と無）、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。クラックマップの背景図としてモザイク図を使用する場合は、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】

損傷調査（精査）の成果物は、概査と同様に点検調査時に記録した動画とすることが多い。クラックマップは図面上に示す場合と、画像上に示す場合が考えられる。画像上に示す場合、動画から静止画を書き出し、この静止画をつなぎ合わせてクラックマップの背景図を作成する。また、別途、クラック解析をし、その結果を背景図に合成する。また、クラックマップの背景図は、クラックの位置や分布状態を示す記録であり、この図でクラック等の詳細を判断するものではないため、クラックマップの背景図については、解像度を落としてもよい。

一方で、堤体損傷部の静止画（クラック等の凡例付）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、記録したままの原画の状態とする。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、記録をブロック単位や損傷部1箇所ごとで行い、点検箇所がわかるようにしておく必要がある。

水中での動画撮影では、使用するビデオカメラの性能等により色調が変わる（緑がかつたり、青みがかつたりする）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。

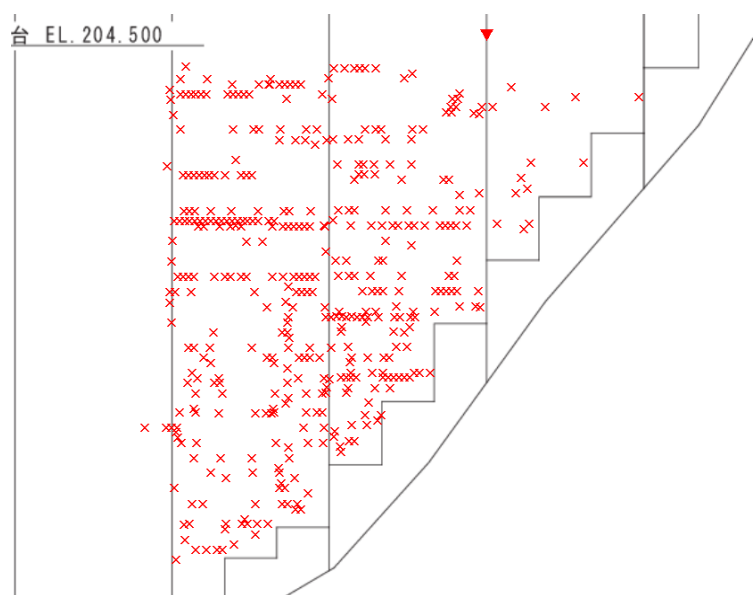


図 4.6.3 図面上に記載されたクラックマップ例

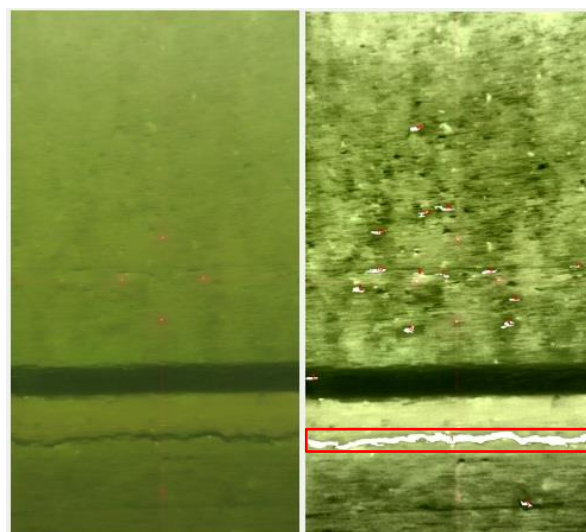


図 4.6.4 堤体損傷部の静止画例（クラック等凡例付 写真データ）

(3) 漏水調査（精査）

漏水調査（精査）の成果物は、漏水特定根拠となる静止画、吸込み箇所的位置や寸法等を示す資料、位置寸法等の精度を担保するための根拠データおよび動画とする。

漏水量計測ができる場合には、それらに関する資料および算出根拠を提出するものとする。

漏水特定根拠となる静止画および動画は、解像度を落としてはならない。

【解説】

漏水調査（精査）における漏水測定方法には、様々な手法がある。その代表として、色水放出によるものと漏水検知装置によるものがある。それぞれ、成果が異なるため、下記に解説する。

色水放出手法は、色水を当該箇所で放出し、その吸い込み状況を動画で撮影し、その動画自体、または別途解析により漏水の有無を判断するものである。この手法では、漏水の有無は判断できるが、漏水量は計測できないのが一般的である。

漏水検知装置による手法は、リング状の計測部を当該箇所に押し当て、リング内の水流を計測し、漏水の有無を判断する。この手法は、漏水の有無とともに、相関計算に基づき、漏水量の確認が可能である。

いずれの手法においても、吸込み箇所的位置や寸法等については、動画を元とすることが多い。漏水部の静止画（漏水範囲等の凡例付）は、漏水状態の把握に使用するため、解像度を落していない原画とする。動画も成果物として提出するものとし、解像度は落とさず、記録したままの原画の状態とする。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ことが望ましい。しかし、対応ができない場合には、撮影時、記録をジョイント単位等で行い、提出時や発注者が映像を確認する際に点検箇所を明確にしておく必要がある。

漏水位置寸法等は、現段階で、様々な測定方法があり、採用した測定手法が、一定の精度を有していることを証明するための根拠データが必要である。

漏水状況の成果物としては、色水の場合、吸込み部の動画や解析結果およびその根拠とし、漏水検知装置の場合は、測定結果に関する資料およびその根拠とする。

いずれの方法についても事前に発注者等と協議し、方法や成果等について承諾を得るものとする。

水中での動画撮影では、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。ただし、静止画については、解像度を落とさないこととする。動画については、色調調整をせず、原画のままとする。

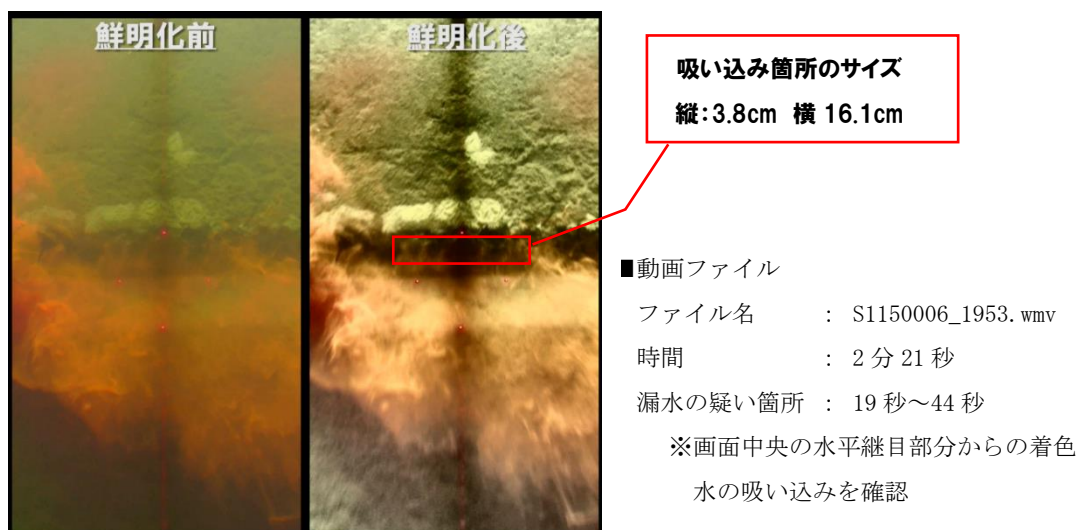


図 4.6.5 色水による漏水特定例（サイズ等凡例付 写真データ）

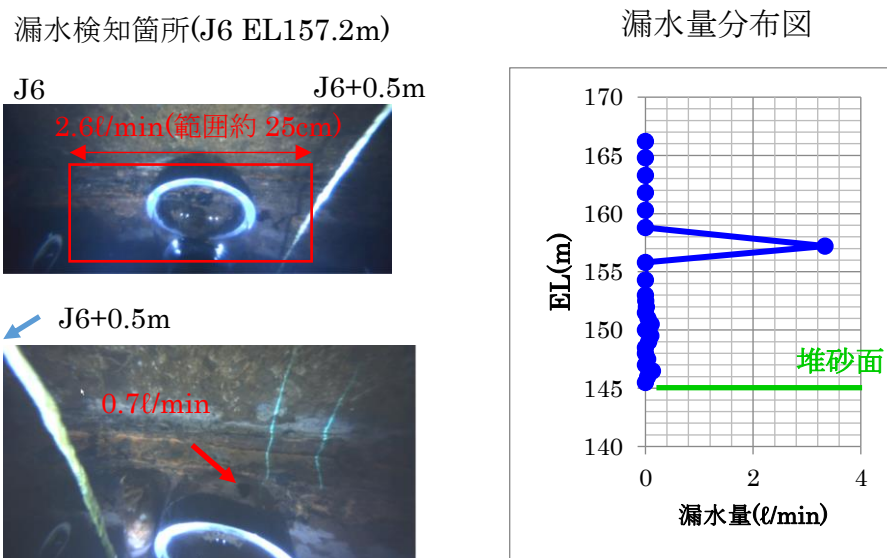


図 4.6.6 漏水検知装置による漏水特定例

(4) 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協議し、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、ダム総合点検の一環として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、ダム総合点検の報告書の一部として記載される。これより、発注者が、ダム総合点検事業者である場合には、提出形態なども協議しておくことが重要である。また、定期点検や臨時点検の場合は、発注者等と提出形態等について協議した上で決定するものとする。

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、事前に協議しておくこと。

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. 水中部点検ロボット等

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	・ 自動追尾 TS または GPS ・ 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	・ 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	・ ROV ・ 操作通信ケーブル（船上局と接続状態）
管理局	・ 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（堤体概査、損傷調査、漏水調査）の要求性能等について参考として表-1.2～表-1.4 に示す。要求性能として定める項目について下記に示し、調査手法別等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-1.4 に示す性能は必須ではないが、指標として、表-1.2～表-1.4 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）

- ・調査能力

調査能力として、試行的導入の結果を参考に、最低限求める調査能力を示す。

- ・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調査能力向上＝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違うため、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（ダム堤体（概査））（参考）

要求性能			利用場面	ダム堤体（概査）
ロボット本体	調査能力			目安として、1, 0 0 0 m ² /日程度 ※ロボット性能としての要求数値（離隔距離60 c m、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 左右方向／上下方向への移動速度が0.15m/s程度の出力を有すること
		映像／データ取得		ビデオカメラやデジタルカメラ、音響カメラ等を搭載し、映像／画像／データ等による点検対象物の状況の把握が可能であり、その記録が可能であること 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 その他モニター等で、位置や深度等のデータが確認可能であること
		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、トランスデューサ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10 c m程度以内：変状箇所等の位置を再確認可能な精度）
		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 ・一定の深度保持機能 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2 t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		±1 0 c m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		±1 0 c m以内の計測が可能であること
		クラックの大きさ		1 mm程度以上が計測可能であること
		横継目の開き		1 mm程度以上が計測可能であること
	成果物			・動画データ（200万画素程度） ブロック毎及び深度毎（5mもしくは10m程度）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 調査範囲全体を明示したもの（解像度を落して良い） 1 B L（15m）×10m程度に分割したもの（解像度の変更なし）

表-1.3 ロボットの要求性能（ダム堤体損傷調査（精査））（参考）

要求性能		利用場面	損傷調査（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ponder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	ビデオカメラやデジタルカメラ、音響カメラ等を搭載し、映像/画像/データ等による点検対象物の状況の把握が可能であり、その記録が可能であること 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 その他モニター等で、位置や深度等のデータが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	詳細・鮮明な堤体面を確認するための機能・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 ・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 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 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2トトラック等）
	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	±5cm以内の計測が可能であること
		クラックの大きさ	0.2mm程度以上が計測可能であること
		横継目の開き	0.2mm程度以上が計測可能であること
	成果物		・動画データ（200万画素程度） ブロック毎及び深度毎（5mもしくは10m程度）に分割したもの ・静止画（原画：解像度の変更なし） ・変状マップ（各変状について、図面もしくは全体モザイク図上に図示したもの） ・モザイク図 各変状毎に、変状全体を表示したもの（解像度の変更なし）

表-1.4 ロボットの要求性能（ダム堤体漏水調査（精査））（参考）

要求性能		利用場面	漏水調査（精査）
ロボット本体	調査能力		目安として、100m/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ponder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	ビデオカメラやデジタルカメラ、音響カメラ等を搭載し、映像/画像/データ等による点検対象物の状況の把握が可能であり、その記録が可能であること 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 その他モニター等で、位置や深度等のデータが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
		漏水検知装置	漏水量計測装置（色水噴出装置/流速計等）を有すること
		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 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	±5cm以内の計測が可能であること
		クラックの大きさ	0.2mm程度以上が計測可能であること
		横継目の開き	0.2mm程度以上が計測可能であること
		漏水量	漏水量測定については問わないが、漏水量（目安）の算出が可能であると良い
	成果物		・動画データ（200万画素程度） 横継目毎等に分割したもの ・静止画（原画：解像度の変更なし） ・漏水マップ（漏水箇所について、図面もしくは全体モザイク図上に図示したもの） ・モザイク図 各変状毎に、変状全体を表示したもの（解像度の変更なし）

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て活用されたロボット技術を表-1.5に示す。

表-1.5 ROVの例（試行的導入対象技術）

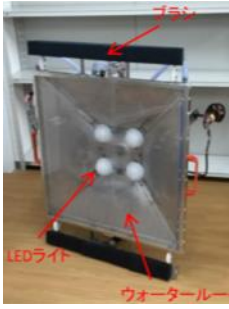
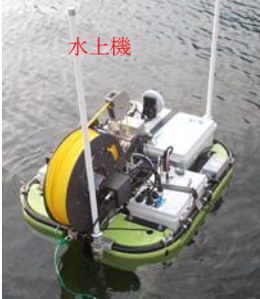
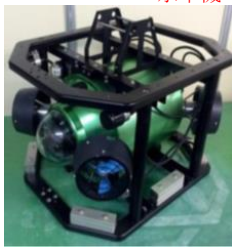
会社名		パナソニック（株）	（株）大林組	五洋建設（株）
仕様	サイズ	L620mm×W550mm×H780mm	L1,508mm×W780mm×H710mm	L1,000mm×W700mm×H770mm
	重量	40 kg	130 kg	80 kg
	動力	充電式バッテリー	発電機	発電機
	潜水能力	水深 200m	水深 100m	水深 150m
				
特長・機能	①位置情報取得	・ある場所を基準点とした相対位置	・トータルステーション、トランスポンダーによる絶対位置	・GNSS（トータルステーション）、トランスポンダーによる絶対位置
	②映像取得	・面均一照射レンズ技術 画面全体を一樣輝度で均一化	・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の損傷を抽出可能。 ・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-1.6 に示す。

表-1.6 懸垂式ロボットの例（現場検証参加ロボット）

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離隔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-1.7 に示す。

表-1.7 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 L 4.5m × W 2.3m × H 1.2m	約 L 4.0m × W 0.75m × H 0.7m (7人用カヌー使用時)	約 L 4.5m × W 1.8m × H 1.5m
	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位置情報取得	・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・装置類は、すべて防水対策と耐水压対策がされており、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。スラスターは、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、スラスターのスクリュウ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：スラスター等の推進機、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

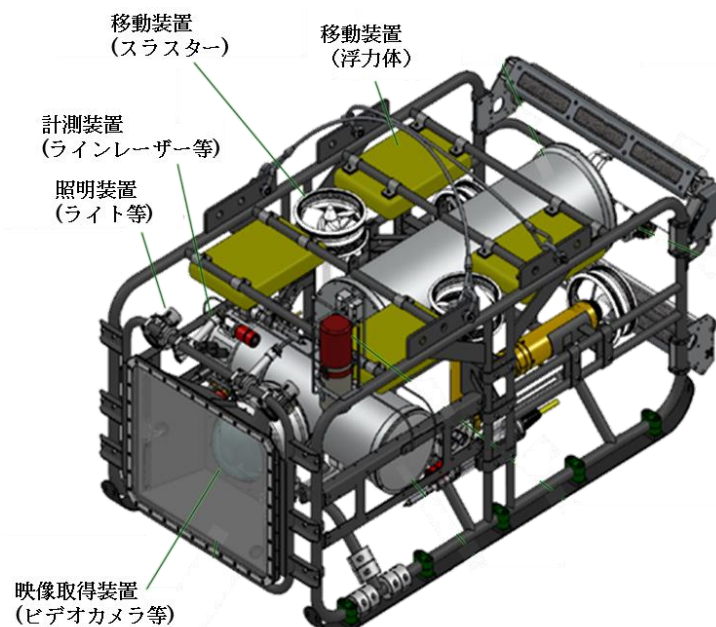


図-1.1 ロボットの機能等

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 操作場所が違うと、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。

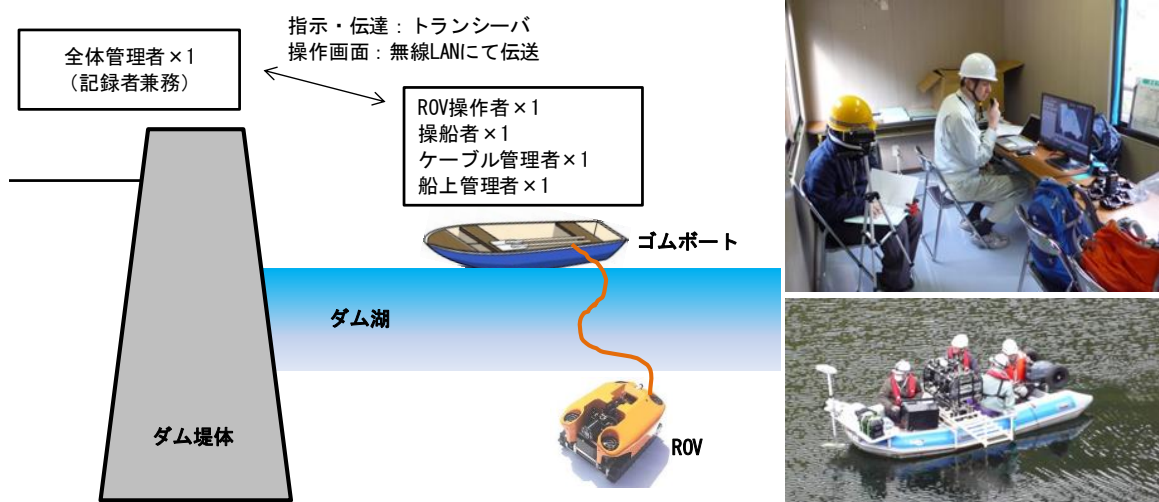


図-1.2 船上操作時システム構成（例）および実施状況写真

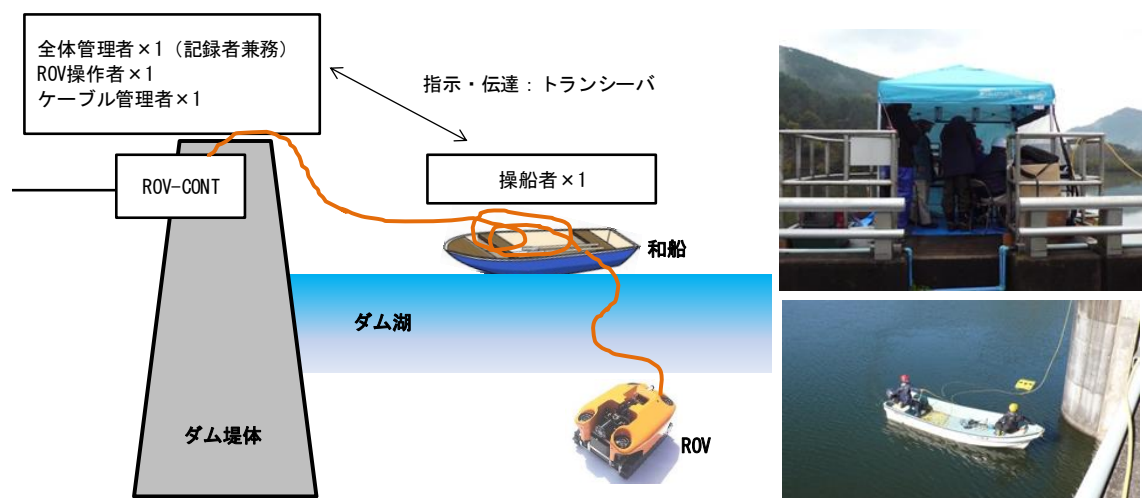


図-1.3 陸上操作時システム構成（例）および実施状況写真

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者。
- ・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者。
- ・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者。
- ・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、専属にケーブルの取り回しを行う作業者。
- ・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者。
- ・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者。

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）

調査方式	ロボット船上操作	ロボット陸上操作
人員配置	【陸上】 全体管理者(兼記録者) × 1名 【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	【陸上】 全体管理者(兼記録者) × 1名 ロボット操作者 × 1名 【船上】 操船者 × 1名 ケーブル操作者 × 1名

3. 仮設備等

水中部点検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、立地条件およびロボット開発者の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（2.9t吊、積載4t）×1台

その他、必要な仮設備等については、施設管理者等と協議して決定する。

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、発注者等と協議すること。

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。

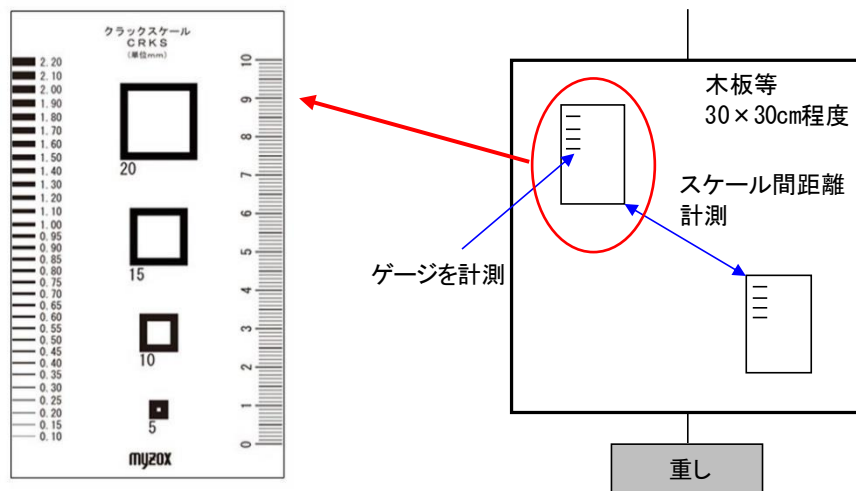


図-4.1 クラックスケールおよび精度確認試験体例

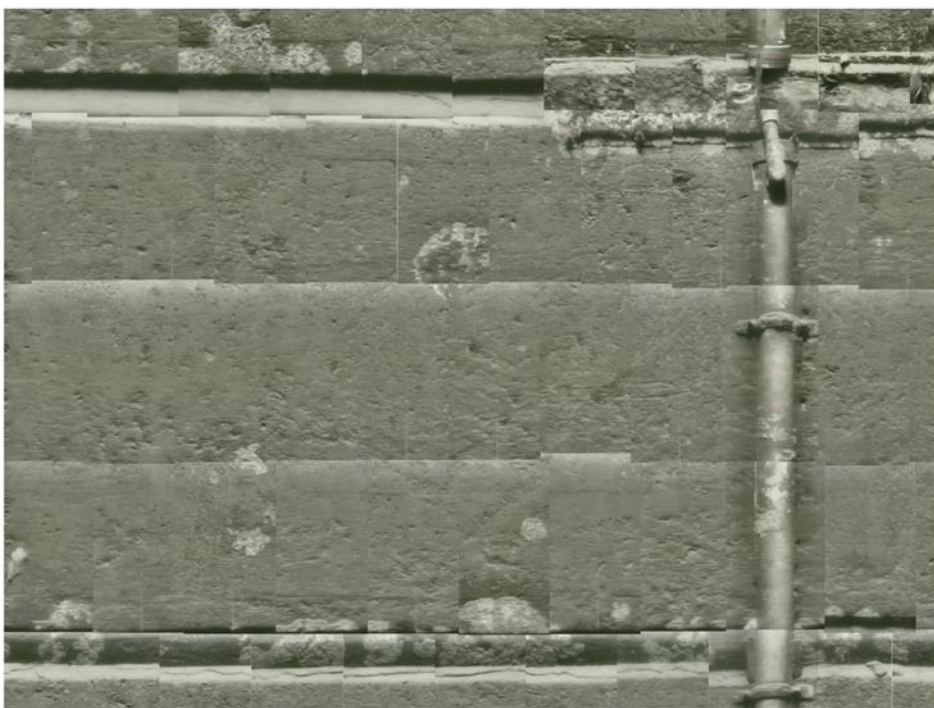
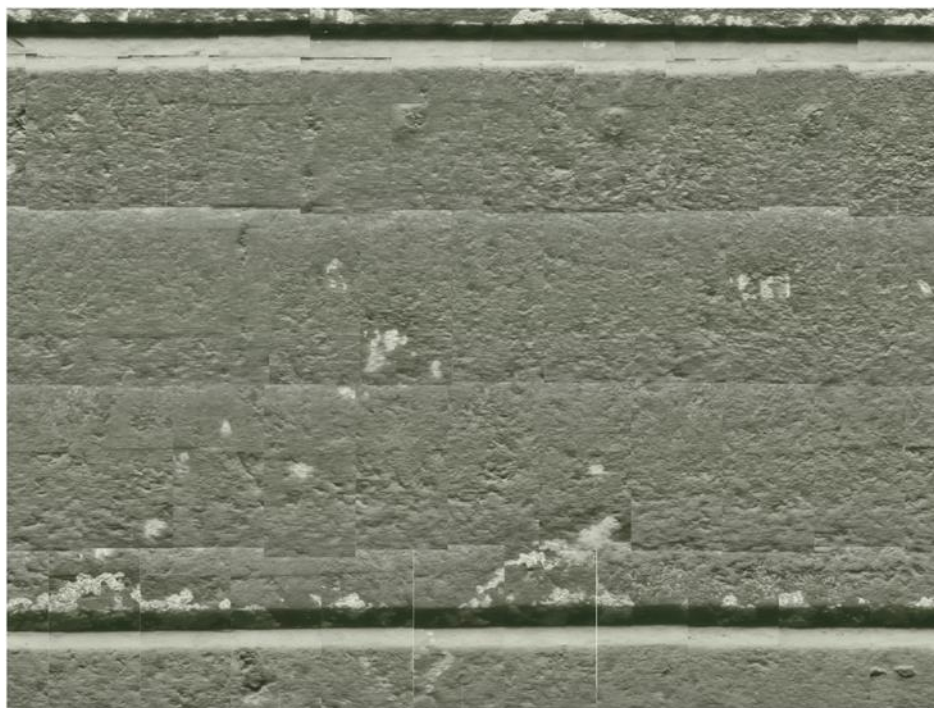
なお、ひび割れ（クラック）等の計測にラインレーザー等の計測装置をしないロボットや上記手法での補正ができない場合には、その他の確認方法（補正方法）を行う必要がある。その場合、水中部点検実施者は、その他の確認方法（補正方法）について、方法や補正が可能な理由等を取りまとめた資料を作成し、発注者等と協議を行うこと。

5. ロボットによる取得画像例

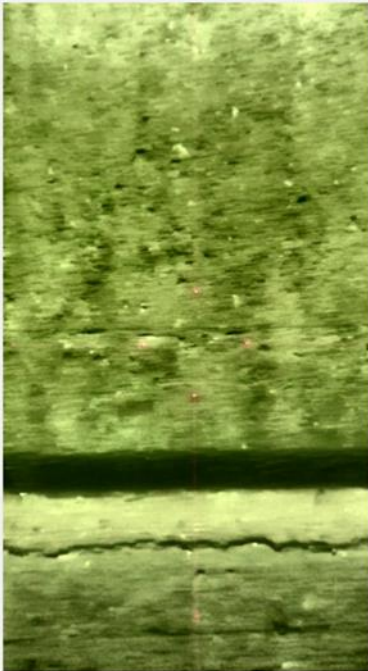
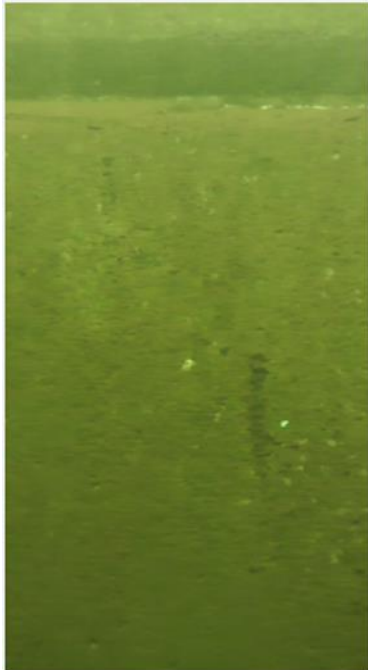
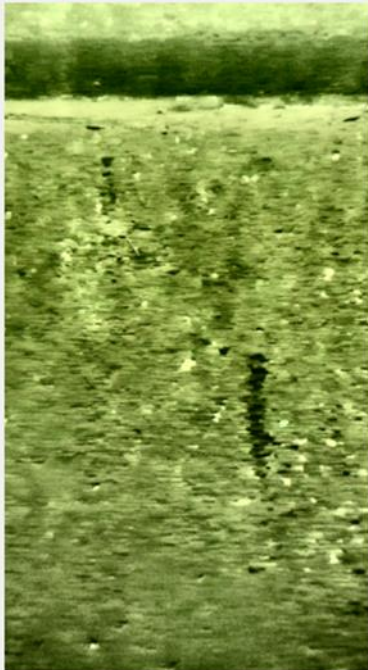
水中部点検ロボットにより取得可能な画像例として、参考として以降に示す。

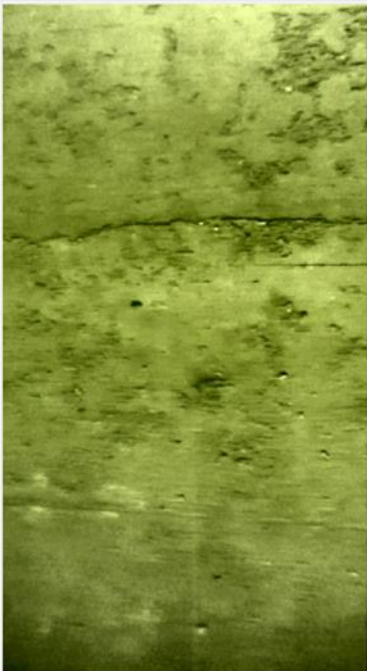
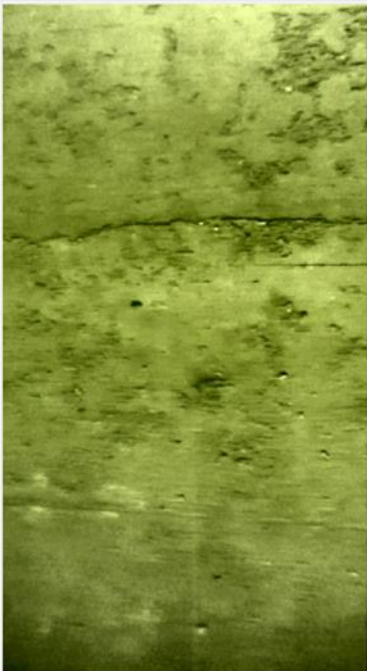
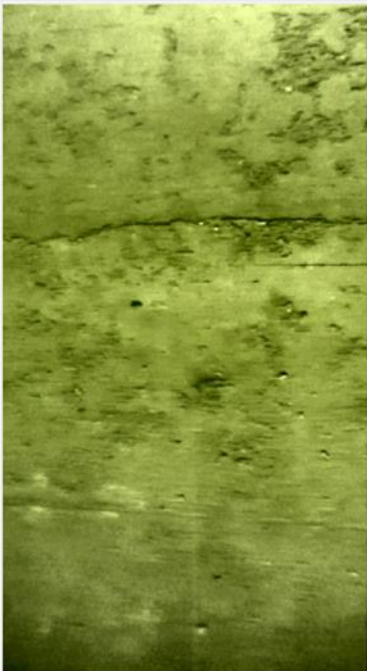


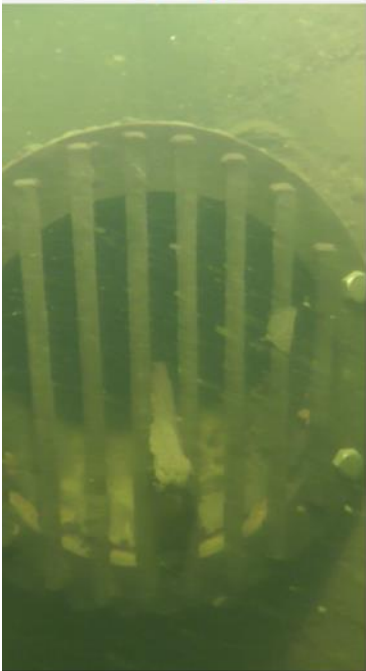
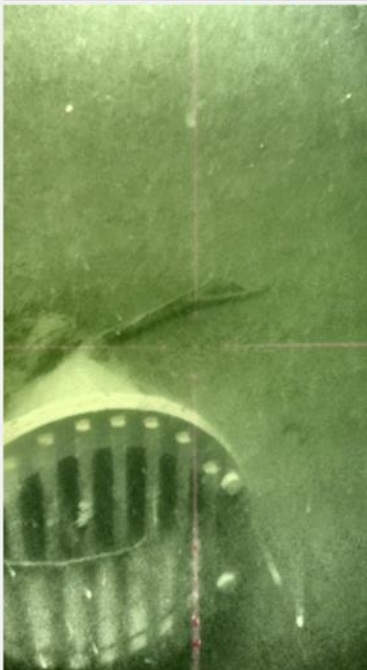
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 1.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	モザイク図

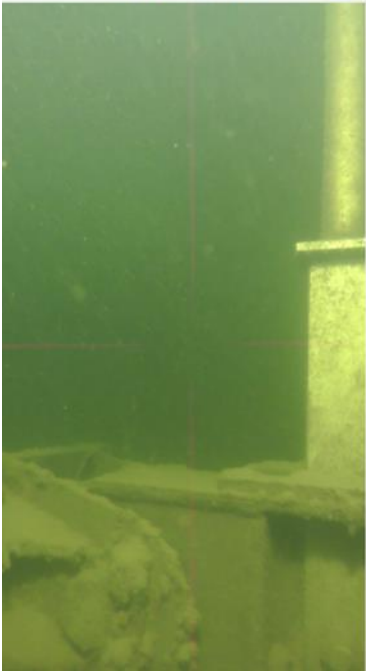
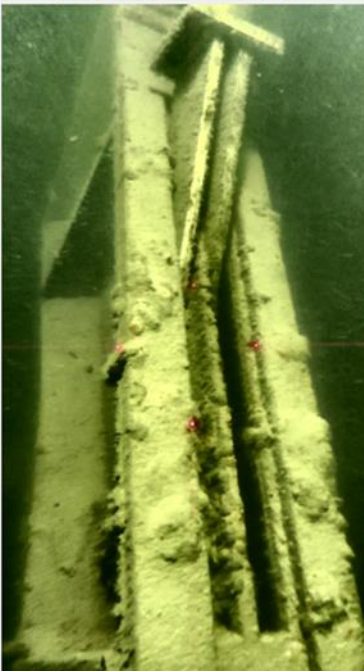


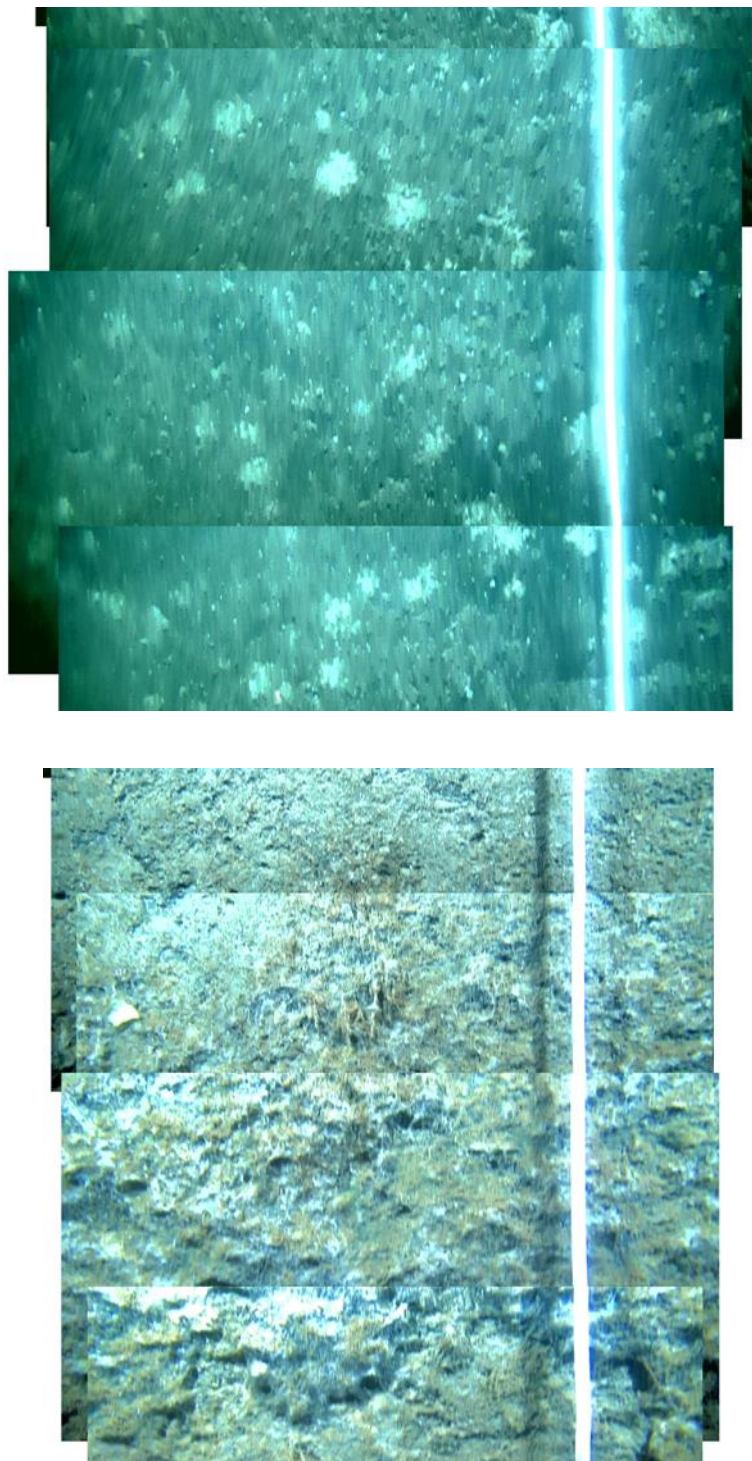
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 2.0mg/L	約 60cm	約 0.15m/s	有り ※要数日	モザイク図

元画像  鮮明化画像 					
元画像  鮮明化画像 					
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]

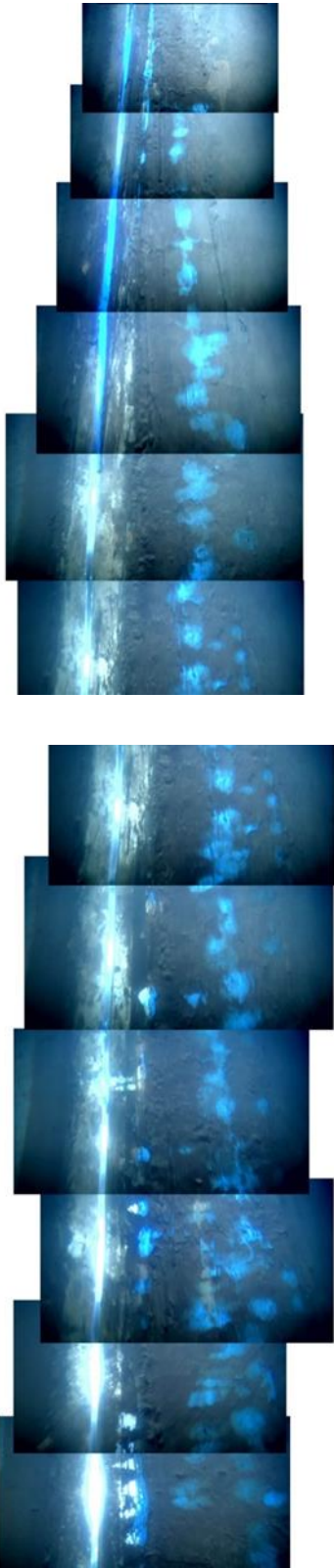
<table><tr><th colspan="2">元画像</th><th colspan="2">鮮明化画像</th></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr></table>						元画像		鮮明化画像					
元画像		鮮明化画像											
													
<table><tr><th colspan="2">元画像</th><th colspan="2">鮮明化画像</th></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr></table>						元画像		鮮明化画像					
元画像		鮮明化画像											
													
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]								

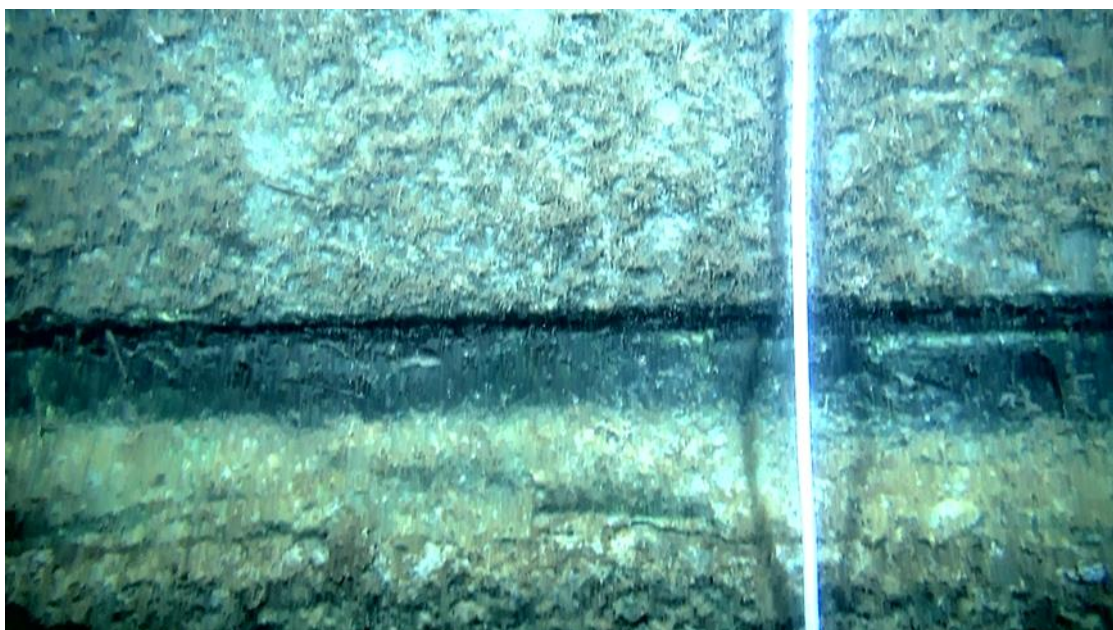
元画像  鮮明化画像 					
元画像  鮮明化画像 					
画像取得者	濁度	離隔距離	ROV 移動速度	画像鮮明化	備考
パナソニック(株)	約 2.5mg/L	約 70cm ※堤体壁面からの距離	0m/s ※停止状態で撮影	有り ※要数日	画像 (取得動画から切出し) ※パナソニック測定濁度 : 約 2.2[NTU]

元画像  鮮明化画像 					
元画像  鮮明化画像 					
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

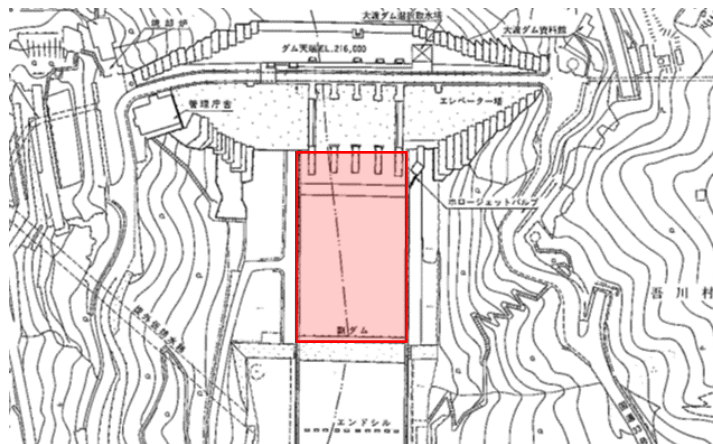
6. その他の利用場面

6. 1 減勢工への利用

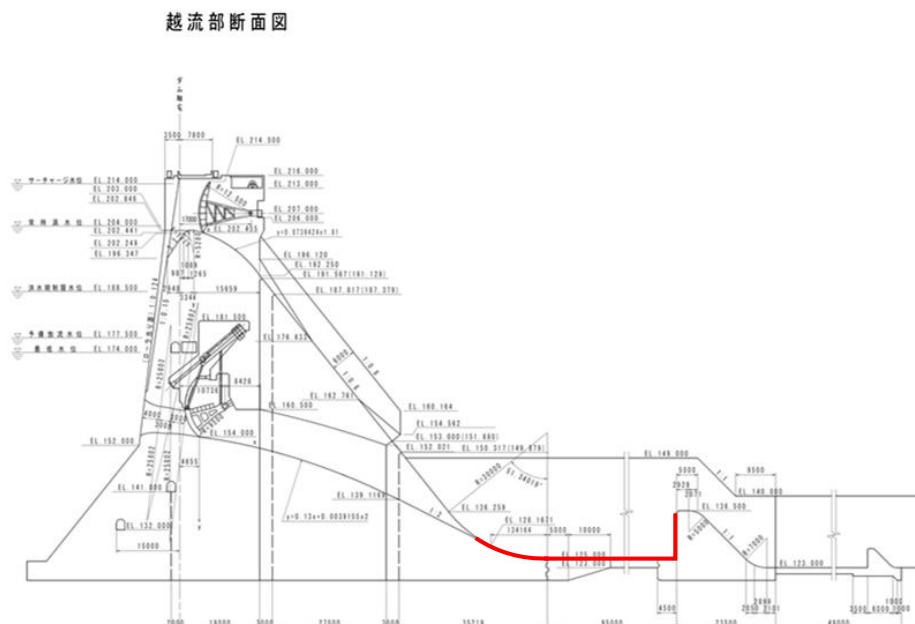
(1) 点検目的

ダム総合点検において、点検を実施するダム土木構造物として、堤体のほか、洪水吐き、基礎地盤や堤体周辺斜面について各種点検を実施することとなっている。洪水吐きのうち、減勢工については、基本的に常時水中部であるため、抜水して気中状態にする、もしくはダイバーによる点検を行う必要があり、より安全に点検が出来るロボット技術の活用が期待される。

減勢工（図-6.1 参照）での点検目的は、水叩き部である床板コンクリートの剥離・剥落や洗掘の発生の有無、状態確認が想定される。



(i) 平面図



(ii) 断面図

図-6.1 ダム減勢工点検箇所（参考：大渡ダム）

（２）適用ロボット技術

ROV は、側面方向の映像取得であり、直下の映像取得には不向きである。そのため、減勢工の点検にはボート型ロボットが適している。

これは、点検目的が床板コンクリートの剥離・剥落や洗掘の有無、状態確認であるため、河川等の河床調査に用いられる 3 次元地形データを取得し、竣工時の形状と比較することにより、洗掘等の変状有無の確認が可能なためである。

ただし、対応可能最少水深については、ロボット技術にもよるが、喫水等の関係上、最低でも 0.5m～2.0m 程度の水深が必要となるため、減勢池の水深については確認および条件として明確にしておく必要がある。また、ボート型ロボットによる測深は、測深幅（約 120°）があるため、より水深が深い方が地形データ取得範囲もより広範囲となる（図-6.2 参照）。

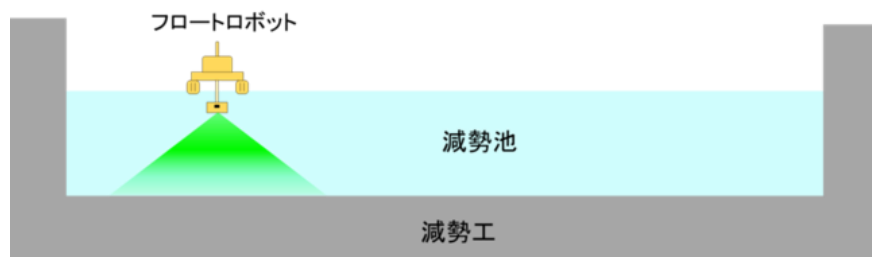


図-6.2 点検概要図（ボート型ロボット）

6. 2 貯水池の堆砂状況調査への利用

(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ため、基本的に年1回の調査が実施されている（定期縦横断測量）。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。これらについては、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が非常に効果的である。

また、ダム貯水池内の曝気設備等の湖底にある設備等について、詳細な位置が不明な場合等の位置確認や形状把握にも活用可能である。

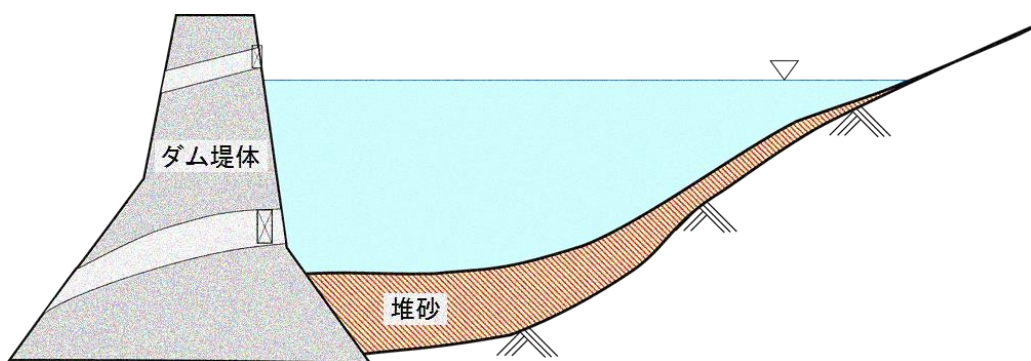


図-6.3 ダム貯水池の概要図

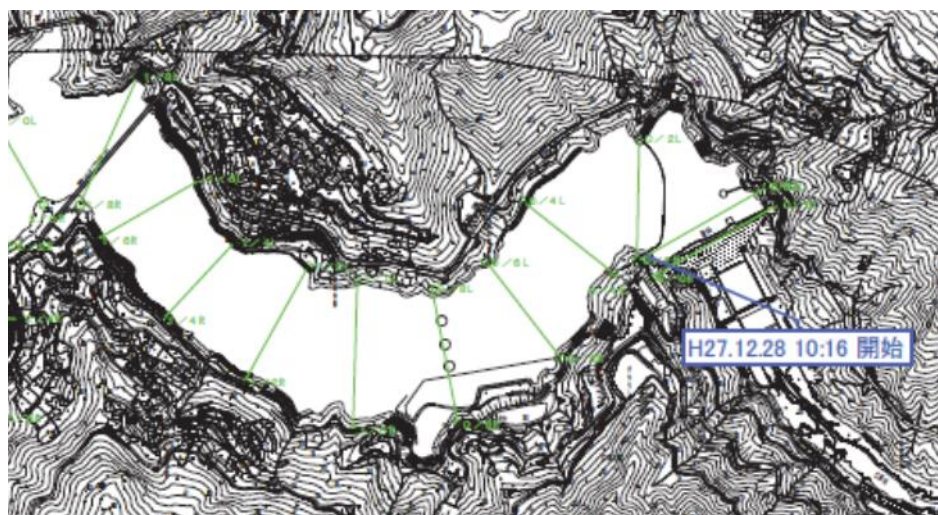


図-6.4 ダム貯水池横断測量実施図（参考：大渡ダム）

（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。

6. 3 貯水池の周辺斜面調査への利用

（１）点検目的

ダム貯水池周辺斜面として、崩落している部分の確認や水中のアンカー部分の健全性確認という要望がある。現状、貯水池周辺斜面については、気中部の確認を実施しているが、水中部については、あまり実施されていないため、貯水池斜面の水中部点検にロボット技術を活用する。



写真-6.1 貯水池法面崩落状況

（２）適用ロボット技術

ダム貯水池周辺斜面の確認としては、大きな崩落等の形状把握は可能なため、ダム堆砂面等と同様、ボート型ロボットの活用が考えられる。ただし、点検結果は地形の把握であるため、小さなひび割れ等のアンカー部分等の崩落の兆候の確認には不向きである。

小さなひび割れ等の確認は、目視点検の代替となり得る ROV を用いた映像取得による確認が有効であるため、点検目的によりロボットの選定を行うことが必要である。

（３）点検方法

ボート型ロボットを用いた点検については、前述の通り、斜面沿いに航行して音響測深器による地形データの取得を行う。

ROV を用いた点検については、周辺斜面の崩落箇所における気中部での変状有無により、場所の特定が可能であり、当該箇所における映像確認を行う。

アンカー部の点検は、気中部に変状の兆候が無い場合、変状箇所の推定が困難である。

そのため、アンカー施工箇所のうち、ランダムに選択した箇所・範囲について点検を実施する。アンカー施工箇所はある程度広範囲であり、ROVによる点検は、ボート型ロボットと比較して調査能力も低くなることから、点検箇所・範囲等についてコスト等を考慮し、発注者と協議した上で決定する。

(4) 調査能力・点検精度

ボート型ロボットを利用した点検での調査能力及び点検精度について、参考として表-6.3に示す。

これらの能力等はロボットによる護岸点検時の能力および河道点検時の精度とする。

表-6.3 ボート型ロボットによる調査能力・点検精度等

調査能力（護岸点検参考）		2 k m / h
点検精度（河道点検参考）	位置精度	±30 (cm) 程度
	変状計測精度	±15 (cm) 程度

(5) 成果物

ボート型ロボットによる成果物は、3次元点群データ及び、データを用いた段彩図、縦横断面図、経年変化図（設計との比較）等とし、その他必要な成果物を含め、発注者と協議するものとする。参考として、図-6.8に成果物例を示す。

ROVによる成果物は、点検時の映像データとそれにより切出した個別の画像データとする。貯水池周辺斜面は、地形上、ROVの離隔距離保持機能や正対機能等の活用は困難と予想され、モザイク図作成は作業量が膨大となる可能性があるため、成果物に含めない。

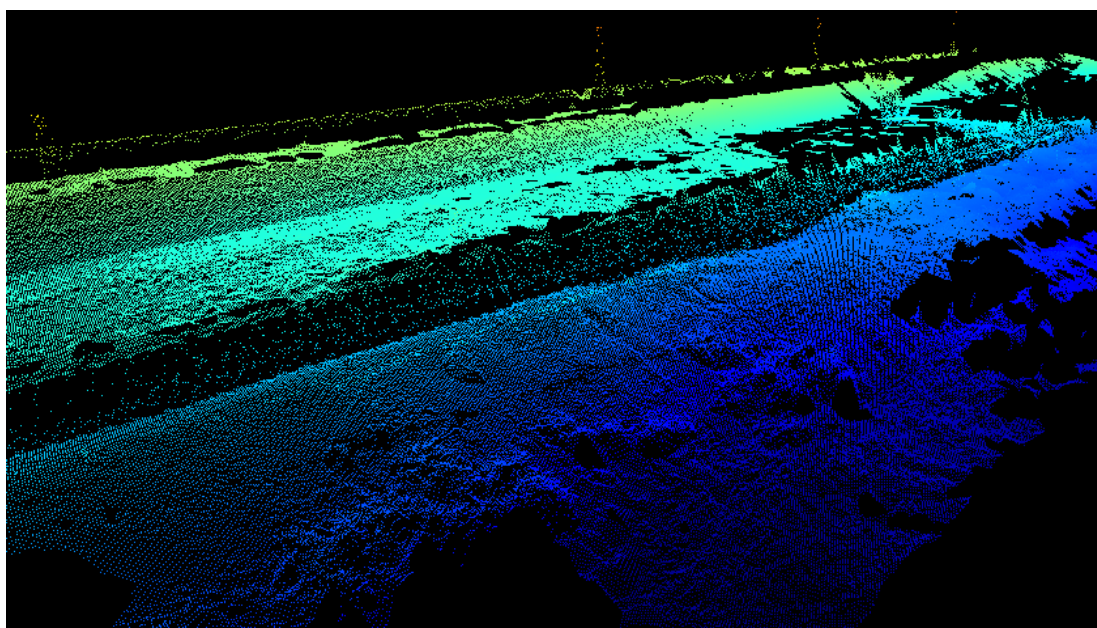


図-6.5 ダム貯水池斜面成果物イメージ
(参考：河川護岸鳥瞰図)