

真名川ダム主放水ゲート油圧シリンダー の更新検討について

宮川 昌樹¹

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 管理課（〒912-0021 福井県大野市中野 29-28）

九頭竜川ダム統合管理事務所が管理する真名川ダムの主放水設備主ゲート油圧シリンダーの維持管理および修繕手法を構築するにあたり、劣化状況の把握手法と健全度評価方法及び更新に向けた課題について検討を行った。大規模土木機械設備の維持管理及び修繕手法構築の一事例として紹介を行う。

キーワード 維持管理，ダムゲート，油圧シリンダー，健全度評価，更新検討

1. はじめに

真名川ダム主放水設備主ゲートは、大型の油圧シリンダー式の高圧ローラーゲートであり、昭和51年3月に設置後、41年が経過している。

当該設備の維持管理は、設備管理者による日常点検と専門技術者による定期点検が実施されているが、設置後41年を迎え経年劣化による不具合発生リスクが高まっていると考えられる。

「ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル」による標準的な取替・更新年数は下記のとおり示されている。

- ・ゲート扉体（扉体構造部） 93年
- ・油圧式開閉装置（油圧シリンダー本体） 48年

一般的に、コンクリート構造物の耐用年数はおおよそ100年と言われており、ゲート本体は適切に塗装塗替を実施すれば100年程度の耐用年数となる。

同マニュアルから考えると、真名川ダム主放水主ゲート用開閉装置の油圧シリンダーに関しては、向こう10年以内に更新時期を迎えることから、早急に劣化状況を把握したうえで、健全度評価を行い延命化および大規模修繕・更新等の検討を実施する必要がある。

今回、当該設備について、計画的な維持管理を行うため、更新時期の判断となる劣化状況の把握手法及び健全度評価方法、更新に向けての課題について検討を行った。

2. 真名川ダム概要

① 真名川ダムの概要

河川名：九頭竜川水系真名川
所在地：福井県大野市下若生子
型式：不等厚アーチ式コンクリートダム
堤高：127.5 m 堤頂長：357.0 m

総貯水容量： 115,000 千m³

有効貯水容量： 95,000 千m³



図-1 位置図

② 事業の経緯

昭和40年10月 実施計画調査着手
昭和42年4月 建設着手
昭和51年12月～昭和53年4月 試験湛水
昭和52年10月 竣工
昭和54年4月 管理開始

③ 主放水設備概要

【主放水ゲート】

型式：高圧ローラーゲート（扉体圧着装置付）
ゲート寸法：全幅8.5m×有効高4.8m 2門
放流能力：1,000m³/s（500m³/s・門）
開閉装置：油圧シリンダー式
昭和51年3月 設置



図-2 全体写真



写真-1 主放水ゲート正面



写真-2 主放水ゲート放流状況

3. 主放水油圧シリンダ概要

【油圧シリンダ】

倒立油圧シリンダ 直径 507mm ロッド径 320mm
揚程 5.269m 全長 15.2m 開閉荷重 129.6tf

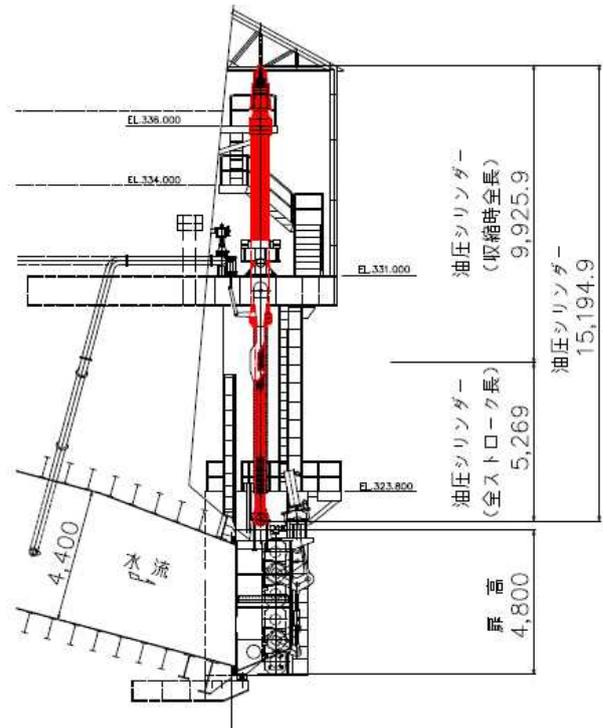


図-3 油圧シリンダ立面図

(1) 扉体の動き

油圧シリンダにより扉体を上下させ、扉体をダム堤体側に圧着させることで止水する。

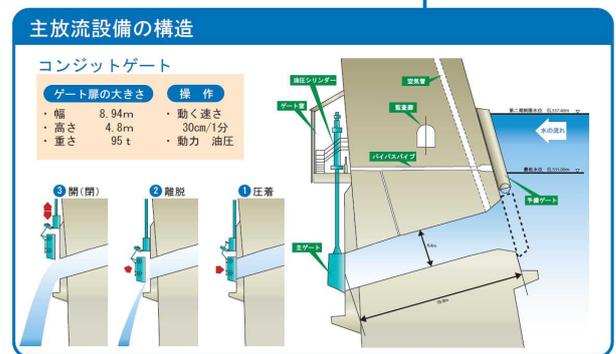


図-4 開閉動作イメージ

(2) 扉体圧着・離脱の動き

扉体の圧着及び離脱は、油圧モータで駆動されるスピンドルとレバーにより、主ローラのロッカービームの偏心軸を回転し、扉体を約 18mm 上下流方向に移動する方式となっている。

当該設備の油圧シリンダは、1本のシリンダで扉体の上昇・下降操作と扉体の離脱・圧着操作機能を制御するもので、シリンダ内に送油を受け持たせる2重構造の特殊な送油方法が採用されている。また、シリンダのずり落ち防止のために、シリンダ内部にボールネジを有する特殊な構造が採用されており他に類を見ない、日本で一つしかない構造となっている。

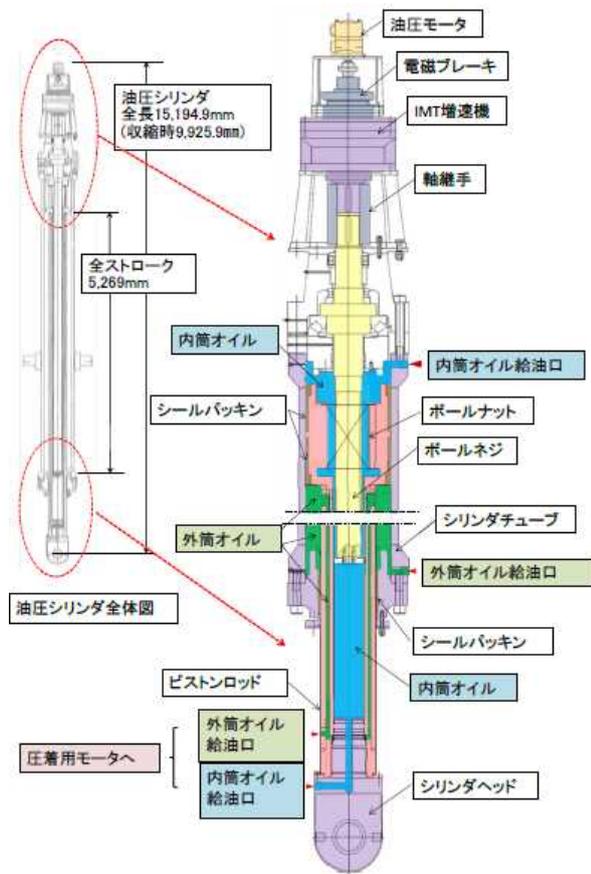


図-5-1 油圧シリンダ構造図

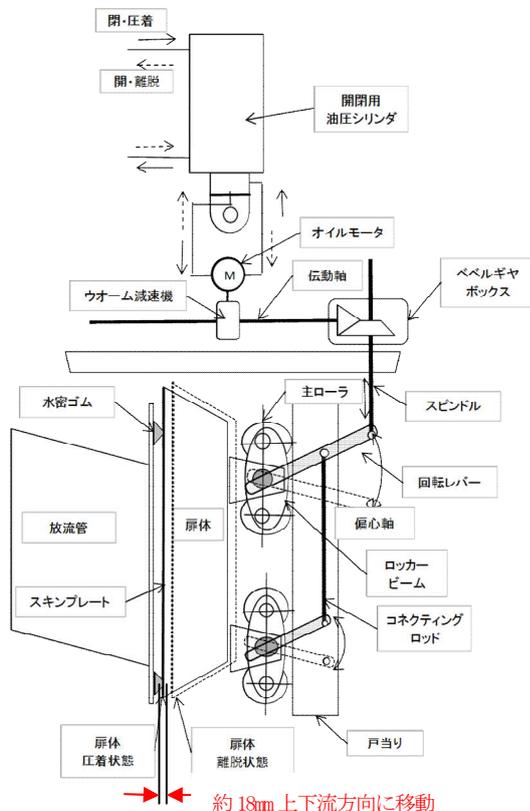


図-5-2 圧着機構動作イメージ

4. 現況設備の課題

(1) 劣化状況把握の課題

- ・劣化診断のためのデータ（評価手法）

油圧シリンダの劣化状況把握にあつては、シリンダからの漏油や摺動痕の有無などが想定されるが、大型で複雑な構造から分解・整備が困難であり、不可視部分が多い。このため、従来の点検では劣化状況の把握が困難である。

(2) 構造的課題

- ・特殊なシリンダの再現性（新品製作の可能性）

当該設備の油圧シリンダは、1本のシリンダで扉体の上昇・下降操作と扉体の離脱・圧着操作機能を制御するため、開閉シリンダに送油を受け持たせる2重構造の特殊な送油方法が採用されている。大型で・複雑な構造から、メーカーからは再度組み上げることは困難であるといわれており、更新となつても、再製作が可能なのか不明確である。

(3) 更新方法の課題

- ・機能の分離（圧着装置を分離した構造等）

- ・シリンダの撤去・据付のための仮設方法

現状設備の構造（機構）で更新が出来ない場合、油圧シリンダの更新にあつては、昇降と圧着機能の分離について検討課題である。

(1)から(3)の課題について、類似ダムの調査を含め検討を行う事とした。

5. 検討

国内にある53のアーチダムの中から、真名川ダムと同形式の扉体圧着式ローラゲートが設置されている、天ヶ瀬ダム（近畿地整）・小渋ダム（中部地整）2つのダムを選定し、異なる圧着方式のダムとして、川治ダム（関東地整）・青蓮寺ダム（水資源機構）の2つのダムの施設を対象にその構造・機能の特徴について比較（表-1）した。

同じ扉体圧着方式を採用する2つのダムは、扉体の上下動作に対応するため、扉体圧着に必要な動力供給方法に、ドラムリールに電源ケーブルや油圧ホースを巻き取り送り出す方法を採用している。それに対して、真名川ダムは、扉体圧着装置の油圧モータへの油圧供給方法をシリンダロッドの内部を通してしているため、扉体の上下動作に関係なく動力を供給できる。2重構造の特殊な送油方法の油圧シリンダであるが、その分合理的な利点もあることが判ってきた。

真名川ダムの更新検討に当たっては、**ケース1**として、4. (1)の課題である健全度評価に必要な劣化状況を把握する手法を整理し、健全度の評価行いながら延命化をはかる方法。**ケース2**として、4. (2)の課題である特殊なシリンダの再現性について、現状設備の構造

表-1 類似ダム設備の圧着方式比較

	真名川ダム 主ゲート 扉体圧着方式	天ヶ瀬ダム 主ゲート 扉体圧着方式	小洗ダム 主ゲート 扉体圧着方式	川治ダム 主ゲート ゴム圧着方式	青蓮寺ダム 主ゲート 戸当り圧着方式
圧着方式略図					
圧着機構概要説明	油圧シリンダのピストンロッドを二重円筒とし、ロッド内に油を満ち、扉体上部に接続されたオイルモータを駆動させる。オイルモータ以降の駆動機構は、右記天ヶ瀬ダムに同じである。	扉体最上段中央の電動モータ・減速機により、平歯車・傘歯車・スピナルを介してロータリー軸に取り付けたシリンダを駆動する。この軸を約60°回転することにより、軸の傾斜を利用して扉体を水密ゴム面に移動圧着させる方式である。	左記天ヶ瀬ダムとほぼ同じ圧着機構。動力を油圧シリンダ直動式としている。	ゴム圧着方式は、扉体スキャット面に對して水密ゴムを巻掛、圧着させて水密を図る方式で、戸当り側に機械的に設けた水密ゴムを、加圧装置を用いて強制的に圧着させる。加圧装置には貯留水池の水を導き入れるが、寒冷地では貯留水が凍結する恐れがあるため不凍液を用いて機械的に加圧している。	戸当り圧着方式は、ゴムを取り付けている戸当りを機械的にスキャット面に押し出し圧着させるものである。水密装置は、放流管の外周に置かれた球座状の水密ゴムとその裏面に設けた球座状圧着支持部(戸当り)からなる。支持部を偏心軸を用いて前後に動かすことにより加圧・減圧を行う。

(機構)を踏襲した設備での更新方法。**ケース3**として、4.(3)の課題である機能の分離(圧着装置の分離した構造等)として、類似施設の技術で更新を概略検討する方法。3つのケースを、図-6の更新検討フローに基づき検討を行うこととした。

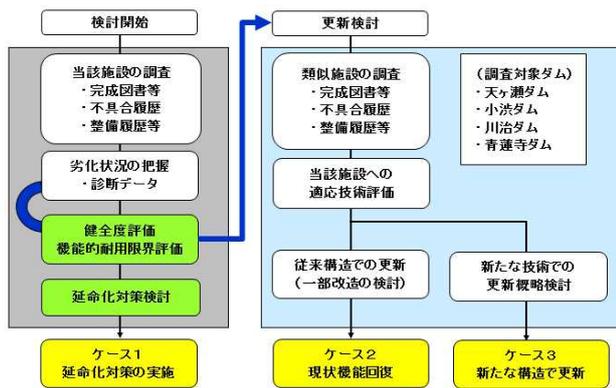


図-6 検討フロー

(1) ケース1 健全度評価を行うための手法検討

健全度評価の手法を検討するため、過去の点検・整備報告書・修繕履歴から油圧シリンダの現状を把握し、問題点を整理分析した。また、不具合履歴から構造的な問題がないか整理分析した。

①既設設備の点検・整備報告書および修繕履歴を調査し、不具合対応状況を時系列で整理し分析した結果、点検結果に基づき適切な処置がとられている。しかし特殊な構造を有する油圧シリンダについては、設置場所の制約や機器構成から分解整備ができず、これまで一度も劣化状況を把握できていないことが最大の問題であり、今後の維持管理上の着目点である。油圧シリンダの内部漏油の確認や作動油のサンプリングによる成分分析ができるように改造すべきと考えられる。

②設備が設置されて以降の不具合の履歴を整理し調査を行った。全24件あった不具合の中で、操作不可が発生した不具合は2件であった。平成22年3月に1号ゲートで放流運転時に「圧着異常」が発生した事象は、傘歯車、ステムナットのかみこみが原因で発生したもので、その後、1号・2号ゲートとも分解整備工事にて対応している。平成24年5月に1号ゲートで「離脱油圧異常」が発生した事象は、離脱リミットの動作位置が原因で発生したもので、動作位置の再調整で対応している。その後、点検時において調整・確認をおこなっている。いずれも、原因が判明しており、その対策も実施している。その後の現在に至るまで不具合は発生していない。このことから、構造的に大きな問題は無いものと考えられる。

①の対策として、シリンダ内の状況を把握できるように、油圧シリンダ入口の既設配管に3方弁を設置することで、開閉シリンダの実負荷による漏油チェック機構の設置およびシリンダ内作動油を採取することにより油圧シリンダの劣化診断が可能となる。

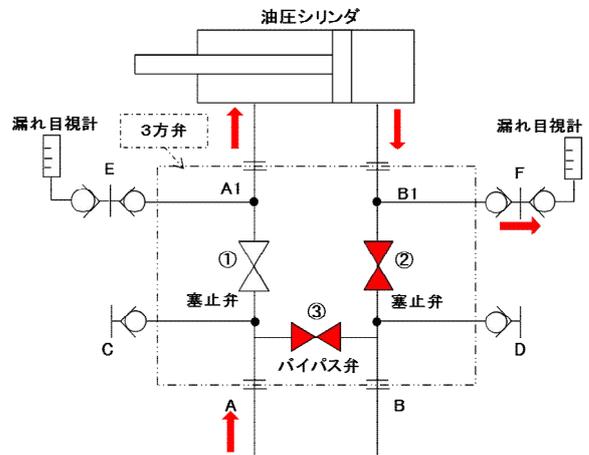


図-7-1 漏油診断及び作動油の採取方法

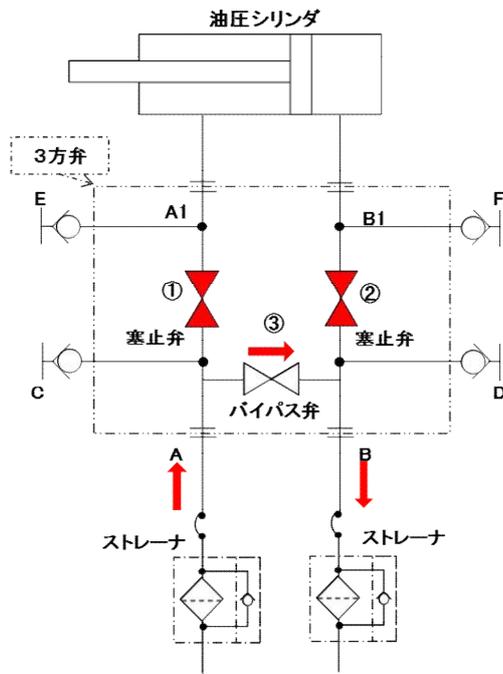


図-7-2 漏油診断及び作動油の採取方法

また、3方弁を作動油循環回路として使用し作動油に混入している異物等を除去するストレーナを設置することにより、シリンダ内への異物の混入がなくなり、シリンダ劣化の低減が図れる。

これにより、従来どおり適切に維持管理を継続すれば、建設以降致命的な故障が発生していないことも踏まえ、建設後48年の耐用年数は全うできると判断する。

以下に、油圧シリンダの健全度評価を実施するうえで、必要となるデータ収集項目について示す。

表-2 劣化データ収集項目

劣化項目	実施に際しての課題	劣化取得データ
バックインの劣化や摺動痕による内部リークおよび漏油の発生状況	<ul style="list-style-type: none"> シリンダを現場で分解あるいは、取り外すことが容易でないためこれまでに分解して点検されたことはない。 漏油チェックは、目視等によりシリンダロッドからの漏油をチェックしているが、摺動傷やバックインの劣化による内部リークに関して、漏れ量等の定量的な確認はできない シリンダ内の作動油の採取ができないためタンク内の作動油で分析していることから、シリンダ内の摩耗粉や異物等の発生状況等の確認ができない 	<ul style="list-style-type: none"> ① 油圧シリンダ内部リーク量 ② シリンダ内の作動油分析 ・計数法による汚染度測定 ・混入した異物の分析(ゴム等の混入分析) ★漏油診断及び作動油の採取方法参照(図-7-1)
ずり落ち防止用のボールネジの劣化状況	<ul style="list-style-type: none"> 油圧シリンダ内のボールネジの摩耗状態等の確認は分解が必要 油圧シリンダ内の作動油分析により摩耗粉等の定量的な把握を行いたいのが、前述のとおりシリンダ内の作動油の採取ができない 	<ul style="list-style-type: none"> ① シリンダ内の作動油分析 ・計数法による汚染度測定 ・異物及び金属摩耗粉等の分析 ★漏油診断及び作動油の採取方法参照(図-7-2)

(2) ケース2 特殊なシリンダの再現性について

現状設備の構造(機構)を踏襲した設備での更新について検討を行った。

総重量が約10tになる油圧シリンダについて、更新時の設備仕様変更箇所は最小限に留め、既存の真名川ダムの特徴を残した設備とし、既存の開閉シリンダと同構造のシリンダの製作可否について調査を行った。

油圧シリンダ製作時は、大きく以下の部位に分業して製作されていた。

- ・シリンダ組立
- ・シリンダチューブ
- ・ピストンロッド
- ・ボールネジ

製作する上でネックとなるボールネジの構造については、製作当時のメーカーヒアリング結果から、同じ規模での再製作は、製作を行った当時の大型の加工機械がないため、再度製作することはできないが、現在の加工技術であれば、ボールネジは小型化が可能であるとの回答であった。また、シリンダの組立については、当時シリンダを組み上げた工場が廃止されているため、当社では組み上げできないとの回答があった。

いずれも、加工機械・組み立て設備の問題からの回答であったため、加工機械・組み立て設備を有するメーカーが他にないのかについても調査を行った。

同種の工事実績等の調査を行い、実際の製作・加工を行ったメーカーへの調査も進めた結果、最長20m・最大重量30tまでのシリンダを製作可能で、ボールネジについても同規模の製作が可能でメーカーがあることが分かった。既存のシリンダと同構造のシリンダの製作は可能であると判明した。

(3) ケース3 類似施設の技術で更新の概略検討

類似する4つのダムの圧着方式を真名川ダムに適用した場合の課題について整理(表-3)を行った。

結果、同じ扉体圧着方式への改造は、機構がほぼ同じであるため可能であると考えられるが、現状とほぼ変わることが無いため、得られる効果は少ない。

ゴム圧着及び戸当り圧着方式は、大きな水圧荷重を受ける扉体を上流側に移動させる必要がないため、それに費やすエネルギーが不要となる。離脱・圧着の時間が大幅に短縮されることから、操作時間の短縮につながるなどのメリットがあることが分かった。しかし、ゴム圧着及び戸当り圧着方式は、放流管末端部の堤体を大きく改造する必要があることから、十分な検討が必要である。

表-3 類似ダムの圧着方式を適用する場合の課題

	天ヶ瀬ダム 主ゲート 扉体圧着方式	小浜ダム 主ゲート 扉体圧着方式	川治ダム 主ゲート ゴム圧着方式	青蓮寺ダム 主ゲート 戸当り圧着方式
圧着方式略図				
課題の説明	<ul style="list-style-type: none"> 真名川ダムの現状に最も近い案で、機構変更は4案の中で最も少ない分、得られる効果は4案中最も少ない。 水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ多大なエネルギーが必要な機構は変わらない。 圧着装置は、既設油圧モーター方式を電動モーター方式に変更するのみであるが、電動モーターの容量(55kw)に見合う圧着用機枠の大幅改造が必要となる。 この方式を採用しても、堤体への影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 真名川ダムの現状に近い案で、扉体天端上の圧着機構(油圧モーター、ペベルキヤ等)が必要となるが、得られる効果は天ヶ瀬ダムと大差はない。 水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ多大なエネルギーが必要な機構は変わらない。 圧着機構は大幅に簡素化できるが、操作時間の短縮効果は期待できない。 本方式は、真名川ダム主ゲートへの対応は可能であるが、新設装置の配置スペースのための既存機枠の改造が必要となり、堤体への影響が生じることになる。 	<ul style="list-style-type: none"> 真名川ダムの現状からの変更は4案の中で中程度であるが、得られる効果は4案中最も大きい。 大きな水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ必要がなくそれに買やすエネルギーも不要になる。 ゲート開閉操作前に必要な圧着・離脱に要する時間が大幅に短縮され、迅速な操作が可能になる。 この方式を採用する場合、放流管未端部への改造が必要となる。 本方式は、真名川ダムの本体(堤体)への影響が発生するため、設備の更新にあたっては十分な検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 真名川ダムの現状からの変更は4案の中で最も大きい分、得られる効果は左案と大差はない。 大きな水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ必要がなくそれに買やすエネルギーも不要になる。 開閉操作前に必要な圧着解除と圧着に要する時間が短縮され迅速な操作が可能になる効果が大きい。 この方式を採用する場合、放流管未端部だけでなく、堤体の大幅な改造が必要となる。 本方式は、真名川ダムの本体(堤体)への影響が非常に大きく対応は不可能であると判断する。

6. まとめ

真名川ダム主放水ゲート油圧シリンダにおいては設置後41年程度経過しており、「ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル」でいう、標準的な更新実施時期までの期間において総合診断、延命化対策、更新の方向性の検討、仮設概略設計、詳細設計付き工事発注というスケジュールを想定しておく必要があることから、今回の検討は適切な開始時期と言える。

特殊な油圧シリンダの機構から、健全度評価の手法及

び油圧シリンダの再現性が不透明な状況であったが、今回の検討で、更新に向けての手順が明らかとなった。

今後は、健全性評価を行うための、油圧シリンダの漏油量の確認、作動油分析のデータを傾向管理を行うとともに、再製作が可能と分かったシリンダについて、現地での撤去・据付に係る仮設計書の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 国土交通省：ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル

表-4 今後の工程表

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34 2022	H35 2023	H36 2024	H37 2025	H38 2026		
経過年数	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
発注等	<ul style="list-style-type: none"> □油圧シリンダ更新検討 ・現状課題の整理 ・不具合履歴、修繕履歴の整理 ・他ダムの同型設備の事例調査 ・油圧シリンダの健全度評価手法の検討 		<ul style="list-style-type: none"> □仮設概略設計 ・仮設据付方法 ・概算金額の算出 					<ul style="list-style-type: none"> ★総合診断 	<ul style="list-style-type: none"> ●予算要求(設計費・工事費) 	<ul style="list-style-type: none"> ◎設計施工一括発注方式による発注 	<ul style="list-style-type: none"> ◎詳細設計(油圧シリンダ) 		
現場			<ul style="list-style-type: none"> ○漏油チェック機構の追加 	以後、状態監視、健全度評価									製作・据付