

天ヶ瀬ダム of 老朽化に関する点検結果及び点検計画について

中嶋 聡

近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 管理課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10-1) .

近年、社会のインフラ施設の老朽化に対して事故が大きく報じられるなど関心が高まってきている。ダムは、多様な機能を持っており、社会的にも重要な施設であり、長期に渡り有効活用するためには、必要な維持管理を継続して行っていく必要がある。

天ヶ瀬ダムは、淀川水系にかかる多目的ダム第1号として1964年に完成し、半世紀近く経過しており、また、上流には日本最大の琵琶湖がありコンジットゲートからの放流は年間約50日と長期間に及び、操作による貯水位の変動等によりダム本体及び貯水池機能への影響が大きいダムである。

本論は、天ヶ瀬ダムの老朽化に関してこれまでに行ったダム本体及び貯水池機能の点検結果及び点検計画を紹介するものである。

キーワード ダム, 漏水量, 揚圧力, 変形, 堆砂測量

1. はじめに

河川管理施設等構造令第13条には、ダムの種類、ダムの高さの区分に応じて、当該ダムに設置すべき計測装置（計測事項）が規程されている。また、ダム構造物管理基準（日本大ダム会議）には、ダム管理期間の区分に応じた測定項目ごとの測定頻度が示されている。

天ヶ瀬ダムはアーチ式コンクリートダムで、基礎地盤から堤頂までの高さが73mあり、計測事項は漏水量、揚圧量、変形となっている。管理区分はダムの挙動が定常状態である第Ⅲ期のダムであり、漏水量は1回/月、揚圧力1回/3月、変形は1回/月以上の観測、それに加えてダム本体の日点検、月点検、6ヶ月点検を行っている。また、1986年に総合点検、1995年に兵庫県南部地震時に詳細点検、3年/1回毎にダムの定期検査を行ってきており、適切な維持管理に努めてきている。

東日本大震災及び笹子トンネルの事故によりインフラ施設の老朽化について関心が高まってきており、また、ダムは多様な機能を持っており、社会的にも重要な施設であり、その影響は広範囲に及ぶとともに、他の施設による機能の代替には限度があるため、長期的に渡り有効活用するためには、必要な維持管理を継続して行っていく必要がある。

一方、貯水池機能維持の観点から堆砂測量を1回/年実施しているが、今回、2012年の8月14日未明に管理開始以降、経験のない集中豪雨（天ヶ瀬ダム

地点：71mm/時間）に襲われ、大量の土砂が貯水池へ流入している状況であり、貯水池機能の把握及び必要に応じてはその対策の実施が急務となる。

本報告は、ダムの長期寿命化を念頭においてこれまで実施したダム本体及び貯水池機能の点検結果及び点検計画を例示して紹介するものである。

2. 天ヶ瀬ダムの諸元及び堆砂の推移

2.1 天ヶ瀬ダムの諸元

2.1.1 諸元

天ヶ瀬ダムは、淀川水系淀川（宇治川）の京都府宇治市に建設され1965年4月に管理開始してから本年で49年を迎える多目的ダムであり、諸元は以下のとおりである。

諸元

型式	ドーム型アーチ式
堤頂長、堤高	254m、73m
総貯水容量	26,280,000m ³
有効貯水容量	20,000,000m ³
計画堆砂量	600,000m ³

2.1.2 既往洪水

既往洪水については、以下のとおりである。洪水流量(840m³/s)以上には計画高水量以上が2回も含まれており、平均すると1回/3年の頻度で洪水流量が流入している。

洪水流量以上	18回
計画放流量	6回
常時満水位-0.5以上	9回

2.2 堆砂の推移

天ヶ瀬ダムは計画堆砂量は年間6万 m^3 とし、100年間で600万 m^3 、堆砂面E.L57.0mとなっている。平成23年末では堆砂量は430万 m^3 に達し(図-1)、堆砂率は約72%、計画堆砂量に対して約1.6倍の速度で堆砂が進行しているが、一般的にダムの完成後5~10年程度以降は堆砂傾向が安定すると言われており、天ヶ瀬ダムにおいても、1980年以降同様の傾向が見られる。また、有効容量内の堆砂量は、洪水調節容量の5%相当にしか過ぎない。

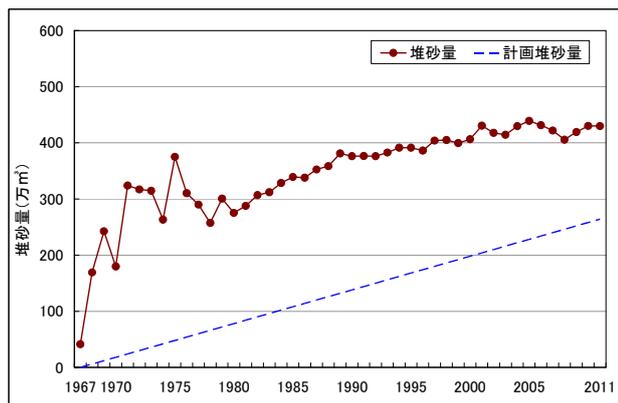


図-1 天ヶ瀬ダムにおける堆砂計画と堆砂量の推移(1967-2011)

3. 老朽化に関する点検の必要性

3.1 ダム本体の観点

天ヶ瀬ダムは管理開始以降半世紀近く経過しており、その果たしている役割は治水、利水、発電と多岐に渡り、社会に大きく貢献している施設である。そのため、ダム本体の機能が損なわれると社会に大きな影響を与えるとともにその影響は広範囲に渡る。ダムの施設の重要度から、長期寿命化に向けた老朽化に関する点検は重要となり、ダム管理者として機能を維持することは当然の責務である。今回、ダムの長寿命化を念頭において通常の日常点検の記録の分析及び日常点検外の点検を実施した。

3.2 貯水池機能の観点

前述のとおり、計画堆砂量に対して約1.6倍の速度で堆砂量が進行している。また、2012年8月14日に今まで、経験したことのない集中豪雨により大量の土砂が流入したため、定期的を実施している堆砂測定の結果を注意していく必要がある。

3.3 老朽化をとりまく近年の様々な意見

笹子トンネルは1960年代に整備され、2012年のトンネル事故に伴い、9人が死亡し衝撃的なニュースであった。その後も、引き続き、紀見トンネルで

も事故が発生しており、1960年代の高度経済成長期のコンクリート構造物に対して、不安視されている。

天ヶ瀬ダムは、淀川全川にわたり周辺の治水、利水、発電、河川空間の利用による社会環境に寄与している、一方、1960年代に建設され、同様に地元住民、市民団体等各方面の方々から天ヶ瀬ダムの安全性を危惧されており、また、ダム下流2kmには人口約19万人の宇治市があり、さらに下流に大阪市などの大都市圏が広がっており、コンクリートの劣化等について様々な意見が寄せられている。このため、ダム管理者として正確な情報を発信して、理解を深めていくことは重要である。

4. 老朽化に関する点検計画立案のための調査

4.1 ダム本体の観点

4.1.1 調査方法

試験湛水(初期状態)から現在までの長期的な視点からダムの状態を正確に把握する必要があり、それらの資料に基づき、現在のダムの安全性を確認することができる。そのため、点検計画立案のために、調査項目(漏水量、揚圧力、変形)及び日常点検記録、定期検査記録を整理し、事象等(出水、地震、ダム本体に損傷を及ぼす事象)で確認し、長期に渡ってダムの維持管理を行っていくための課題の問題点を抽出するものとする。

4.1.2 調査項目の設定

○漏水量、揚圧力(基礎排水孔)

基礎排水孔は、ダム堤体に作用する揚圧力を減じる目的として設置している。それに加えて、排水の濁りの有無を観察して、基礎岩盤中のパイピング、貯水位との相関を把握しダムの安全性を判断することができる。また、一般的に漏水量20L/min以上を超えるようであれば、十分注意が必要であり、新たな濁りが発見された場合も注意が必要である。

○変形

変形はプラムラインを用いて把握しており、変形の要因は、貯水池の水圧荷重、堤体の温度変化によって生じる。堤体下流面の温度が下がればダムは下流側にたわみ、堤体下流面の温度が上がればダムは上流側にたわみ、変形量から安全性を評価するためには、温度変化による影響を考慮する必要がある。

○巡視等による確認

ダムの安全性は、各種計器を用いた計測によって定量的に判断することができるが、計器を用いた計測では必ずしもダム本体の安全性を確認できないため、直接的に確認するためには巡視及び現地調査が欠かせない。

(1) 下流面漏水

堤体下流面の継目からの漏水であり、コンクリートの収縮によって、冬期に漏水量が大きくなる。場合によっては、止水板の機能が損なわれている可能性があるため注意が必要である。

また、漏水に錆汁が含まれているようであれば、ダム本体の鉄筋の腐食も心配される。

(2) コンクリートの健全性

コアリングによる強度試験、中性化試験、堤体のクラック調査等を行うものであり、コンクリートの劣化状況を把握するためには有効な手段である。

4.1.3 事象の区分

天ヶ瀬ダムは、兵庫県南部地震で基礎底部の地震計で95galを記録し大きな事象であったことから、それを踏まえて期間の設定を下記のとおり整理した。

- ①試験湛水中から兵庫県南部地震
- ②兵庫県南部地震
- ③兵庫県南部地震から現在

4.1.4 調査結果

○漏水量

試験湛水中一部の孔については80L/min～120L/min と漏水量が多かったことから、3ヶ年にかけて追加グラウトを実施。その後、経年的に減少し安定している。兵庫県南部地震前は全漏水量7L/min程度まで低下し、地震後12L/minまで増加したが、1995年中に地震前の値程度まで低下し、増加は一時的であった。その後、基礎排水孔の交換を実施し、一時的に増加したが、減少し現在の全漏水量は10L/min以下で漏水量は安定している。

○揚圧力

試験湛水中から一部記録が欠損しているが、いずれの孔も1kgf/cm²で推移している。兵庫県南部地震前は一部の孔は0.8kgf/cm²であり、地震後1.8kgf/cm²に一時的に増加したが、1995年中に地震前の値程度まで低下し、増加は一時的であった。その後、基礎排水孔の交換を実施し、一時的に増加したが、減少し揚圧力は安定している。

○変形

堤体の上下流方向の振幅は年間に上位標高10～20mm、中位標高では20mm程度、下位標高では10mm程度であり、経年的な変化はなく一方向への累積な変位も見られない。左右岸方向は季節変化はなく、一方向へ累積な変位は見られない。

兵庫県南部地震では、最大約7mmの下流方向の変位を確認した。

○下流面漏水

1981年11月から1987年末までの間及び2010年1月から9月までの間で、下流面漏水の面積について確認した。下流面の漏水面積は夏期に少なく

冬期に多い、堤体の温度に伴い変化しているが、面積は大きな変化が生じていない。

○コンクリートの健全性

1995年兵庫県南部地震後に堤体下流面のクラック調査を実施している。地震に伴って発生したクラックは認められず、温度収縮、乾燥収縮に起因すると考えられる比較的古い微細なヘアクラック及び剥離箇所を確認している。また、2000年にはコアリングによる強度試験を実施しており、設計基準強度32.4N/mm²に対して約51.2N/mm²と同等以上以上の強度を確認している。

4.2 貯水池機能の観点

4.2.1 調査方法

貯水池機能の点検を行うため、現在までの堆砂量の推移、2012年8月14日の土砂の流入状況を調査した。

4.2.2 調査結果

○堆砂量の推移

管理開始以降の年最大堆砂量は、144万m³(1971年)であるが、砂防事業等の効果が推察され、近年は少ない状況である(図-2)。

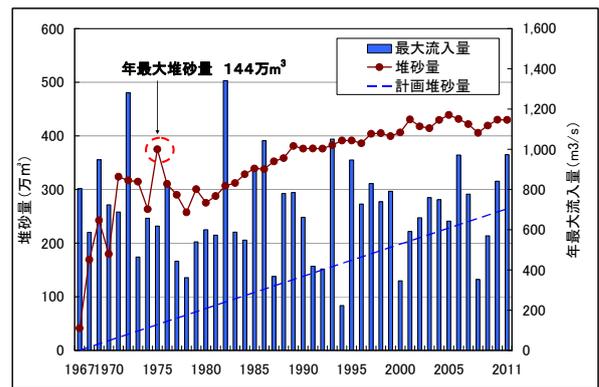


図-2 天ヶ瀬ダムにおける堆砂計画と堆砂量、最大流入量の推移(1967-2011)

○8月14日による土砂の流入状況

2012年8月14日の降雨の影響により、貯水池に流入してくる沢及び貯水池法面の至るところから土砂の流入を確認し、相当量の堆砂が懸念された(図-3)。



図-3 天ヶ瀬ダムの貯水池への土砂の流入状況(2012)

5. 老朽化に関する点検計画及び結果

5.1 ダム本体の観点

点検計画立案のための調査により、現在のダム堤体の安全性は確認できたため、中長期的なダムの安全性の観点から踏まえて、点検計画を立案し点検を行った。

5.1.1 漏水量・揚圧力

現地計器の状態及び計測方法の信頼性が確保されていることが中長期的に管理を行っていくためには重要であることから、調査を行った。

基礎排水孔22孔のうち現在、7孔計測を行っている。観測の役目を終えた孔、ダムからの放流により計器が流失し測定困難になっている孔も存在(図-4)するが、ダムの機能に影響を与えるものではない。今後、よりダムの状態を把握するために、管理する上で必要な孔を選定し、リボーリング孔を検討していく必要がある。

揚圧力の計測にあたっては、現在、各孔5分間閉栓して測定を行っているが、漏水量が確認されている孔でも揚圧力が確認できていない孔があるため、揚圧力の閉栓試験を実施した(図-5)。5分間の閉栓時間では、圧力を測定できていない孔があったため、今後、より計測の信頼性を確保するために圧力測定のための適切な閉栓時間を設定していく必要がある。



図-4 基礎排水孔の流失状況

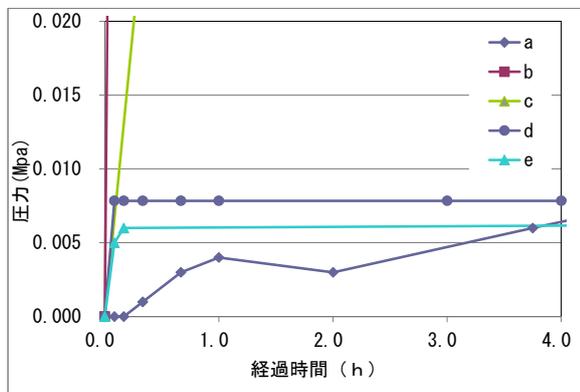


図-5 揚圧力試験結果

5.1.2 変形

現地計測機器の状態の信頼性の確保、貯水位と気温からダムの挙動が定常状態になっているかの中長期的に管理を行っていくために重要なため現地調査、重回帰分析により確認を行う。

今回、1994年の兵庫県南部地震時に用いた重回帰分析の式を用いて、1993年～2012年の実動挙動の再現性の確認を行い、概ね再現性があることを確認し、堤体の挙動は安定していることを確認した(図-6)。

プラムラインは、1997年に更新して以来15年経過している。計器の機能は問題ないが、障害時の対応の部品を考慮し、今後更新が必要と思われる。

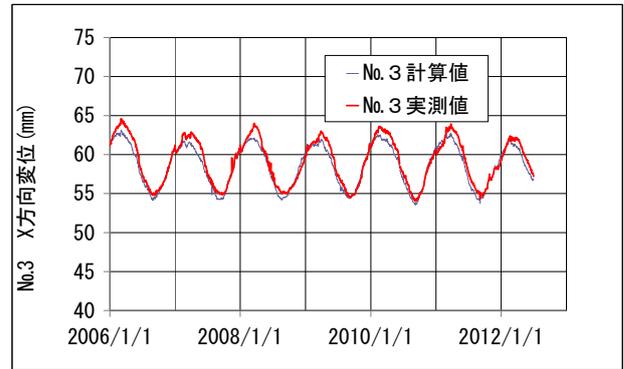


図-6 重回帰分析結果(2006～2012)

5.1.3 巡視等による確認

コンクリートダムのクラック、剥離はダムの安全性に直ちに影響を与えるものではないものの、中長期的な観点からダム維持管理上支障となる場合もあるため確認を行う。

また、2000年以降コンクリートの強度試験を行っていないため、今回、シュミットハンマーによるコンクリート強度確認(図-7)、中性化試験(図-8)も行うものとする。中性化試験は、無筋構造物のコンクリートの場合は中性化は問題ないが、鉄筋構造物の場合は、コンクリートの表面から中性化が進行し鉄筋位置に達すると鋼材を腐食させ、コンクリートのひび割れ・剥離を引き起こし、構造物の性能低下を生じるため実施した。



図-7 シュミットハンマーによる試験



図-8 中性化試験 (ドリル法)



図-9 剥離箇所

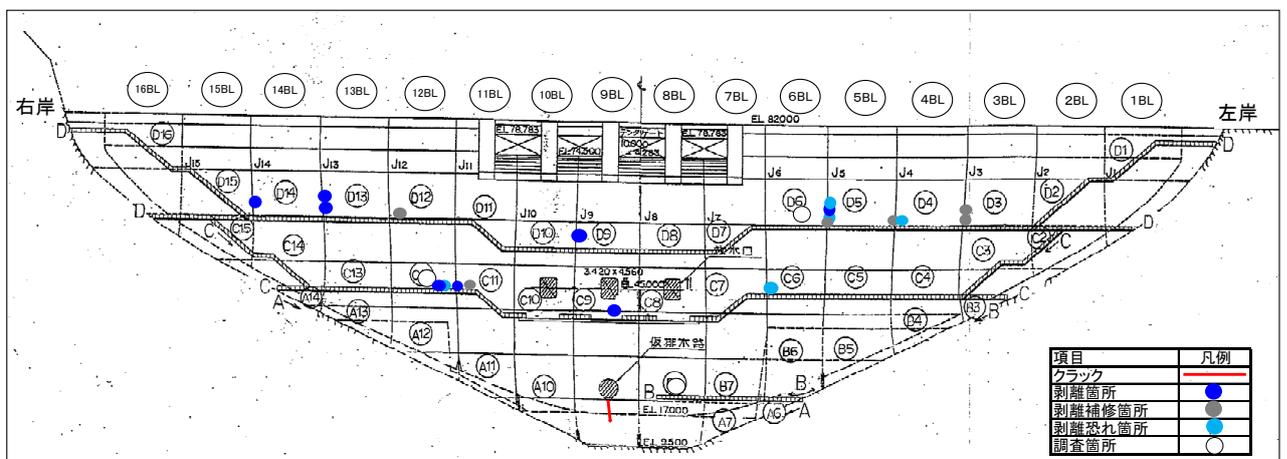


図-10 堤体下流面のクラック調査状況

コンクリートの強度は設計基準強度 32.4N/mm^2 に対して約 43.1N/mm^2 と同等以上の強度を確認している。2000年の強度と比較し、低下しているが、試験時の状態、測定誤差等も含まれているため、一概に低下しているとは判断できない。今後、継続的に実施する必要がある。

中性化試験は、中性化深さは約 3.0mm (平均)程度で、健全であることを確認することができた。

コンクリートクラック等は打継面、ジョイントなどで剥離8箇所、剥離恐れ5箇所、剥離補修6箇所確認したが表面上の剥離であり、コンクリート自体は健全であることを確認することができた(図-9、図-10)。

5.2 貯水池機能の観点

5.2.1 調査方法

貯水池機能への影響が懸念されることから、通常実施する線的に把握する深浅測量ではなく、面的に詳細に把握できるナロマルチビームによる深浅測量(水中)及び航空レーザー測量(陸上)を実施し、貯水池の堆砂量を把握する(図-11)。また、貯水池末端部分は水深が浅いため、通常は地形データ把握

のためTS単点法を行うが、より密な情報の取得及び作業の効率化を考えミラー帽による測量も試みた。(図-12)。ヘルメットにミラーを設置し、自動追尾TSを用いて、ミラー帽を被った観測者の位置データを収録する方法である。採用にあたり、精度検証を行い、歩き、早歩き、小走り、かけ足で検証を行った結果、早歩き程度が実際の運用に望ましいことを確認した。

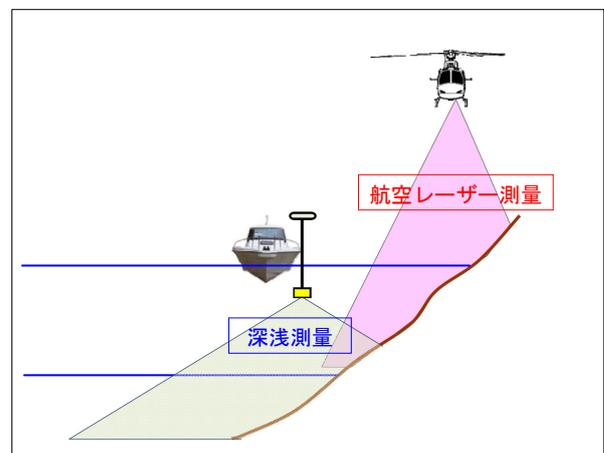


図-11 深浅測量及び航空レーザー測量の概念図



図-12 ミラー帽による測量状況

5.2.2 調査結果

2012年の年堆砂量は約29万 m^3 であり、計画堆砂量6万 m^3 の約5倍程度、堆砂率は76%、ダム地点で最大5mの堆砂を確認した。

しかし、貯水池機能に影響はなく、また、ゲート敷高より低い位置の堆砂面であったため、貯水池機能の安全性及びゲート放流に支障にならないことを確認した。

通常平均断面法による堆砂量の算出と今回の測量による面的に堆砂量を算出したが、数万の誤差に留まり、測線の設置位置の妥当性も確認することができた。ただし、区間毎の堆砂状況を調査するには、横断測量では精度不足であり、ナロマルチビームによる深淺測量は有効であることが分かった。

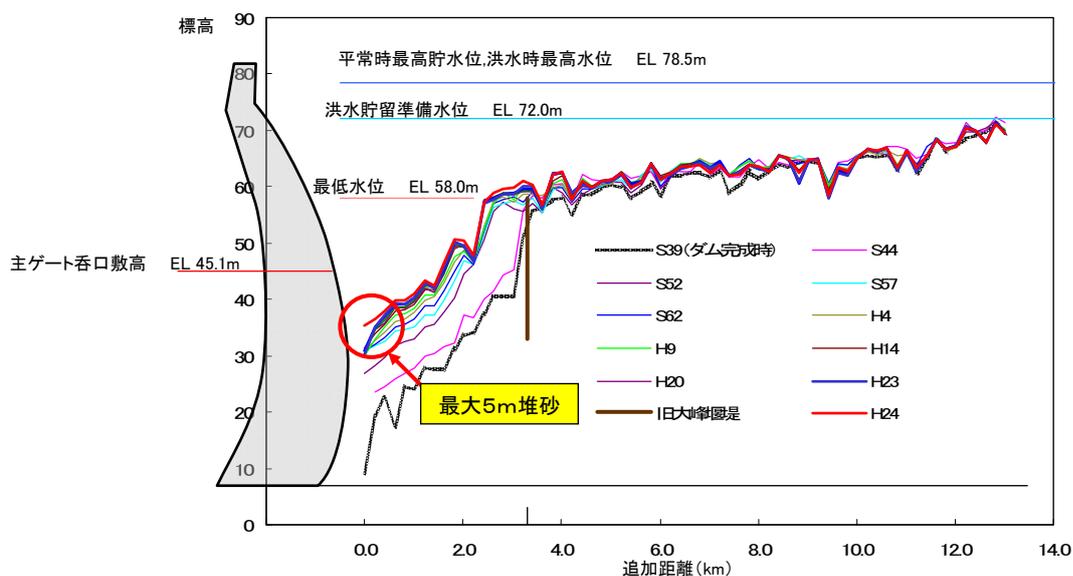


図-14 河床高変化図

6. まとめ

6.1 ダム本体の観点

今回の点検により、ダム本体の安全性は確認した。一部計器の不具合はあったが、今後、計器の必要性を検討し、更新を行って行く予定である。

また、ダム管理は、各種計器による計測及び巡視等による直接確認が基本であるが、それ以上に過去のデータの蓄積が重要な判断材料となるため、ダム堤体は、画像等により広範囲にダムクラック調査を詳細に定期的実施し蓄積するとともに、さらにはデータの蓄積活用が容易にできるよう、システムを構築していくことを検討し、ダム管理に万全に期したい。

6.2 貯水池機能の観点

今回の点検により、貯水池機能は8月14日の降雨による大きな影響はなく、安全性を確認することができた。また、貯水池に流入していない土砂の存在の可能性もあるため、今後も十分監視を続けていき、必要に応じ、対策を検討していきたい。

7. おわりに

天ヶ瀬ダムの目的である治水、利水、発電の役割を果たしていくために、適切な維持管理を確実に実施していくとともに、今後、より効果的・効率的なダム管理を行えるよう、今後、さらに取り組んでいきたい。

1)(財)ダム水源地環境整備センター：ダム管理の実務