

ダム再生の技術的留意点(2) ～貯水池斜面管理、堆砂、流木・沈木、水質～

梶山敦司・石神孝之・高田翔也

1. はじめに

「ダム再生の技術的留意点(1)」¹⁾では主として、常用洪水吐放流能力増強による洪水調節能力向上、同軸嵩上げによる洪水調節容量増大を念頭に、洪水吐や堤体改造を中心に技術的留意点を述べた。

本報文「ダム再生の技術的留意点(2)」では主に貯水池管理に関する事項を対象とし、土木研究所での関連した研究成果等は技術指針・手引き等に反映させているが、ダム再生にあたっての必要な留意点に絞って述べる。

具体的には、再生による水位運用範囲の拡大や水位低下速度の増加等より影響を受ける可能性がある貯水池斜面管理、再設定が必要になる堆砂等の容量設定に関する技術的留意点について述べる。堆砂進行による課題対応の再生では、流木・沈木による支障発生が懸念されるので、3.2において流木・沈木に関する留意事項を整理する。さらに、ダム再生特有の水質の課題について3.3で整理を試みた。

なお、「2.貯水池斜面管理」の観点では、再生工事後の試験湛水も本報文の適用範囲に含まれるが、「ダム再生の技術的留意点(1)」で述べたので、本報文では割愛する。

2. 貯水池斜面管理

貯水池斜面管理では、ダムの水位上昇と水位低下に伴う貯水池斜面の不安定化を評価する必要がある。貯水位の上昇時は貯水地斜面に浮力（間隙水圧の増大）が生じ斜面の安定性を低下させ、貯水位低下時は貯水池斜面に貯水の残留（残留間隙水圧）が生じ斜面の安定性を低下させる。貯水池周辺地すべり等は、貯水位の急速な下降に地下水位が追従できず滑動することが多く、その検討では地すべり等の土塊に作用する残留間隙水圧の残

留率を用いた安定性の評価が行われる²⁾。

ダム再生では、堤体の嵩上げや放流設備の増設、容量の転用、洪水調節方式の見直し等によって水位変動範囲が変更される場合や水位低下速度が上昇する場合がある。貯水位変動範囲が変更される場合は残留間隙水圧の残留率の検討範囲が変化することになり、水位低下速度が変更される場合は残留間隙水圧の残留率が変化することになる。この水位の変更や水位低下速度の変更に伴う残留間隙水圧の残留率の変化によって、これまで安定だった斜面が不安定になる恐れがある。この影響を踏まえた安定性の検討を行うために、H31.3に改定された「貯水池周辺の地すべり等に係る調査と対策に関する技術指針・同解説」³⁾では、ダム再生における調査と評価の取り扱いについて記述が追加された。

ダム再生における貯水池周辺斜面の調査・検討の流れは新設ダムの場合と大きく変わる点はないが技術指針³⁾に示されている概査、精査、解析、対策工の計画及び湛水時の斜面管理の調査や検討において、特に留意が必要な点を以下に述べる。

2.1 ダム再生における概査方法

ダム再生において既設ダム建設時の調査資料が残されていない場合、新設ダムと同様に概査を実施する必要がある。概査の流れは、新設ダムの場合と大きく変わる点はないが、ダム再生において留意が必要な点を以下に記載する。

(1) 資料収集・整理

資料収集・整理のうち地形図の収集では、地すべり等のブロック（以下「ブロック」という。）の形状や湛水の影響を正確に評価するために、高精度な地形図を取得する必要がある。また、水面下を含めた高精細な地形を取得するためには、音響測深やグリーンレーザを用いた航空レーザ測深等を併用することが望ましい。

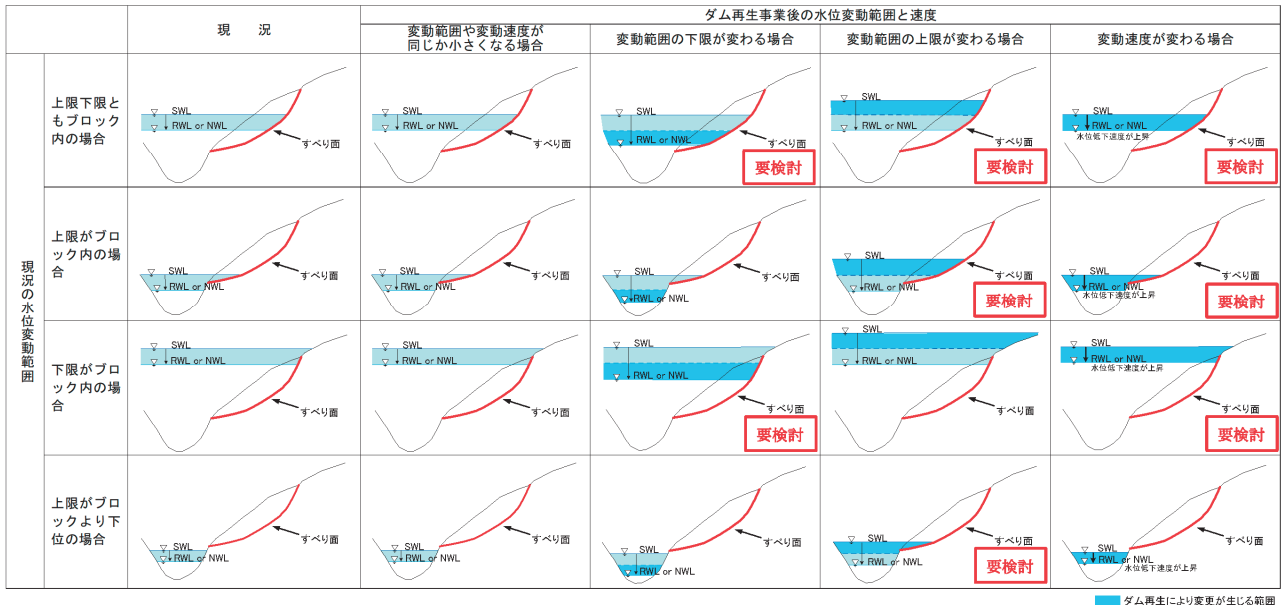


図-1 ダム再生において精査が必要となるブロック形状と貯水位変動の関係の例

(2) 地形図・空中写真の判読

地形判読では、ブロックの形状や湛水の影響を把握するために、資料収集・整理において収集あるいは作成した水面下を含む地形図や既設ダム湛水前の空中写真を用いる必要がある。

(3) 現地踏査

現地踏査では、ブロック末端部の位置を確認するために、可能な限り貯水位の低い時期に行う必要がある。小型船舶を用いた水面上からの現地調査も有効である。

2.2 ダム再生における精査の必要性評価方法

概査を実施した地すべり等のブロックを対象として、精査（地質調査、地下水調査、移動量調査等）の必要性評価を行う。新設ダムでは貯水の影響を受ける斜面を対象として、地すべりの規模、保全対象への影響等をもとに精査の必要性評価を実施する。ダム再生においても同じであるが、既に湛水の影響を受けているため、湛水範囲や速度に変更が無い場合は追加で検討をする必要がない場合がある。

ダム再生によって運用貯水位の変動範囲や変動速度に変更がある場合は、精査の必要性を次のように考える。

(1) 地すべり等の変動がなく運用貯水位の変動範囲及び変動速度が同じか小さくなる場合

既往資料によってブロック形状や末端部の範囲が把握されており、変更後の運用貯水位の変動範囲と変動速度による影響が現状と同じ又は小さく

なる場合には、精査する必要はない。ただし、地すべり等が変動していないことの判断は、現状の運用貯水位の変動範囲や変動速度において、孔内傾斜計等によって複数年観測した上で行う必要がある。また、ブロック形状や末端部の範囲が不明な場合は、新設ダムと同様の精査の必要性評価を実施する。

(2) 地すべり等の変動がなく運用貯水位の変動範囲及び変動速度が現状よりも大きくなる場合

図-1 の要検討と示した例のように、ダム再生後の運用貯水位の変動範囲と変動速度が現状よりも大きくなる場合には、新設ダムの場合と同様に、精査の必要性を評価する。なお、現状の運用貯水位の変動範囲や変動速度とは、渇水時の放流、洪水調節時の貯留や放流、事前放流等により実際に経験している運用貯水位の変動範囲や変動速度のことを示す。地すべり等が変動していないことの判断は、現状の運用貯水位の変動範囲や変動速度において、孔内傾斜計等によって複数年観測した実績をもとに行う必要がある。

2.3 ダム再生における精査方法

ダム再生における精査の流れも新設ダムの場合と大きく変わる点はないが、特に留意が必要な点を以下に記載する。

(1) ボーリング調査

ボーリング調査では、地すべり等の末端部が水没していたとしても、ブロック形状を把握できる

ようにボーリングを配置するのはもちろんのこと、ダム再生後のモニタリング実施を考慮して配置を検討する必要がある。

(2) 地下水調査

地下水調査では、ブロックの安定性を評価するために、貯水位や降雨、融雪とブロック内の地下水位変動及びブロックの変動との関係を整理する必要がある。これらの関係が把握できるよう、ボーリングの位置や深度、計測機器及びその設置位置並びに計測間隔を設定する必要がある。

2.4 安定性の評価方法

新設ダムの場合には、湛水前の地すべり等の安定度をもとに湛水による影響を判定するが、ダム再生の場合では、既設ダムの水位運用の実績をもとにして新たな水位変動条件に対する安定度を評価する必要がある。

土質試験等によって地すべり等の土質強度定数を求める場合は、新設ダムと同様の手法で評価する。しかし、一般的に用いられる逆算法によって土質強度定数を求める場合は、ダムの貯水位の影響範囲にある地すべり等について、現況の安全率をどう設定するかが問題となる。既設ダムの水位運用が行われている状態では、地すべり変動の有無に関わらず、現行の貯水位や地下水位の変動の影響を考慮して、実現象と矛盾のないように現況安全率を設定する必要がある。安全率の設定の考え方については技術指針³⁾も参考にされたい。

安定性検討に用いる残留間隙水圧の残留率は、新設ダムと同様に、安全側の判断として50%が一般的に利用され、一部の条件の下では30%にすることが可能となっている³⁾。ダム再生では現行の貯水位や地下水位の観測結果が存在することから、浸透流解析等を行い残留間隙水圧の残留率を推定することも行われている。今後、ダム再生における残留間隙水圧の残留率の設定手法については、多くの事例に基づいた手法の確立が必要である。

3. 堆砂、流木・沈木、水質保全

3.1 堆砂

既設ダムで堆砂が進行し、洪水調節容量の安定的確保に懸念が生じる状態になると、ダム再生を検討することになる。堆砂による問題・課題がなくとも堤体嵩上げや常用洪水吐能力増強・容量振替による再生を行う際にも計画堆砂量及び堆砂容

量の設定を行う必要がある。

ダム再生における堆砂検討のポイントは、堆砂実績を反映した堆砂予測に基づく、計画堆砂量の再設定、堆砂形状予測を反映した洪水調節容量の合理的な設定、堆砂抑制対策の併用である。

(1) 堆砂実績の整理・考察

堆砂検討を行う際に新設に比較してダム再生が有利な点は、実際の堆砂実績データが得られている点である。洪水流とともに流入した土砂は貯水池内で分級堆積する。堆積地形の縦断形状は流砂が分級堆積した結果なので、縦断図の経年変化図を作成することが基本となる。

礫分の粒径集団は貯水池湛水域の上流側に供給される流砂量と平衡する平衡河床勾配を形成しつつ堆積する。なお、礫分の粒径集団の土砂流入量が多いダム貯水池上流側では河床が上昇していくので、貯水池上流河道沿川に浸水の可能性がある可住地がある場合には、特に河床の上昇・縦断形変化に注意を払い、必要に応じて掘削等の対策を講じる必要がある。

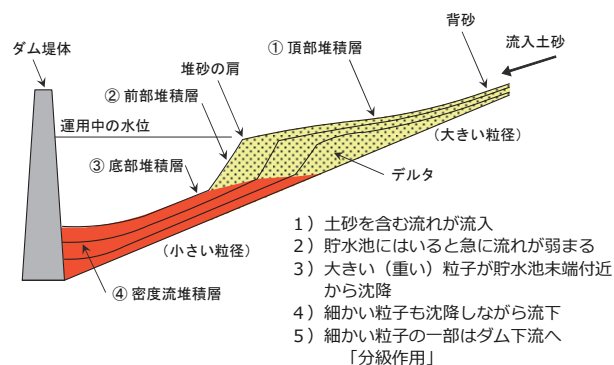


図-2 貯水池における土砂の分級・堆積

貯水池湛水域内には、砂分を中心とする粒径集団の土砂が供給土砂量に平衡する平衡勾配でデルタ上面を形成しつつ堆積が進行する(図-2の①)。砂分の粒径集団が形成するデルタ先端(下流端)部には水中安息角に近い急勾配が形成される(図-2の②)。

シルト・粘土の粒径集団の土砂は、沈降速度が小さく貯水池内に混合・拡散するので放流水とともに貯水池下流に流下するとともに残りは貯水池全域に堆積する(図-2の③、④)。

分級堆積の各粒径集団が堆積する部分の勾配やデルタの大きさ等の形状は、貯水池に供給される土砂の粒径集団別割合や量、貯水池内の流れ(洪水流量と貯水池の流下断面積・湛水域長)によっ

て変化する。検討対象ダム毎に縦断形を解釈し、堆積土砂の粒径集団を材料調査や水中ボーリング調査等によって裏付けをとって確認することが重要である。

縦断形と堆積量の経年変化と経年的な洪水実績を比較できるように整理すれば、恒常的な洪水イベントによる堆積（計画年堆砂量に相当するもの）と大規模堆積（異常洪水による堆積に相当するもの）の区分・解釈に活用できる。

なお、貯水池等における土砂の分級・堆積のおおまかなメカニズム（粒径集団別の流砂運動形態と分級堆積の関係）については、特集報文：「流砂の連続性確保(1)～土砂還元・通砂実現事例の考察～」の2.4)を参照されたい。

(2) 計画堆砂量の再設定

ダム再生の検討では、再生前のダム貯水池で設定していた堆砂容量の設定の根拠の1つである計画年堆砂量について、そのまま用いるのか・見直すのか確認・検討する必要がある。

(1)で整理・考察した堆砂実績から確認・検討することになるが、その際ポイントとなるのは、実績堆砂に大規模堆砂・異常洪水堆砂が含まれているのか、含まれている場合の恒常的な堆砂と大規模堆砂・異常洪水堆砂の区分、大規模堆砂・異常洪水堆砂が生じる際の対応整理である。

大規模堆砂・異常洪水堆砂と恒常的堆砂の区分については、ダム貯水池土砂管理の手引き（案）⁵⁾が援用できる。手引きでは参考において、① $15 < \text{最大年堆砂量} / \text{計画年堆砂量}$ 、②堆砂に係る災害復旧の採択条件から「総貯水容量内の堆砂の程度が年計画堆砂量の3倍」を大規模堆砂の判断の目安として示している。手引き参考に盲従するのではなく、実態を合理的に解釈し設定することが重要である。大規模堆砂が生じる際の対応は、ダム操作や洪水調節機能発揮に支障を生じる堆積土砂を応急対策として緊急的に除去することができることを事前に確認することが重要である。

(3) 洪水調節容量の合理的設定

(1)と(2)をもとに、再生後の堆砂容量を合理的に設定する。繰り返しになるがダム再生では、実際のサイトにおける堆砂実績データが得られる。

(1)の実績縦断形状変化を再現できる河床変動計算等地形変化予測モデルを用いて、(2)の計画堆砂量を入力条件として堆砂形状の将来予測を行い、

洪水調節容量が安定的に確保できるよう、再生後の洪水調節容量、堆砂容量（事業実施後の100年間の推定堆砂量を確保）を決定する。

なお、(1)の実績堆砂の整理・考察で、湛水面より上に堆積する貯水池において、堤体の嵩上げなどにより洪水時の運用水位が高くなる再生を行う場合には、上流河川の河床上昇による影響が、氾濫被害を助長しないか確認することが重要である。

(4) 堆砂対策の併用

既施設の制約等から堆砂容量の設定だけでは洪水調節容量の安定的な確保が難しい場合には、堆砂対策を併用する必要がある。

堆砂対策を図-3に示す（貯砂ダム、土砂バイパス、水上部掘削、浚渫、排砂ゲート、下流への土砂還元）。これら手法を、貯水池の特性を踏まえた適用性、適用に当たっての制約条件、社会・自然環境への影響、経済性等を勘案して選定することが必要になる。また、下流河川の環境改善を含む総合土砂管理の観点から、堆砂の量や性状について考慮した上で、下流河川への還元に努めることが重要である。

近年、堆砂対策として土砂を通過させる土砂バイパスの設置事例も増えつつある。新たにトンネルを掘削するため、イニシャルコストが大きいというデメリットがある。このため、堤体嵩上げや洪水吐きの増設等の洪水調節容量の増大と貯水容量の維持のための土砂バイパスを合わせてダム再生事業として検討を進めている事例もある。土砂バイパスの移動方法にも、洪水流とともに自然流下させる方法、ベルコンにより運搬する方法、重機により運搬する方法がある。

対策の検討では、(3)の予測で用いた堆砂シミュレーションを用いることで、堆砂量だけではなく堆砂形状や場所ごとの土砂粒径等も予測が可能となり、掘削場所・貯砂ダム設置位置等の効果的な対策場所・方法等の検討も行える。

3.2 流木・沈木

3.2.1 流木

ダム及び貯水池の流木対策は、ダム貯水池流木対策の手引き(案)⁶⁾にまとめられている。手引きに従えば、流木流入量の推定、網場等の流木捕捉施設と回収・陸揚げ施設の配置、集積箇所の設定、処理方法の検討を一連で行うことができる。ここ

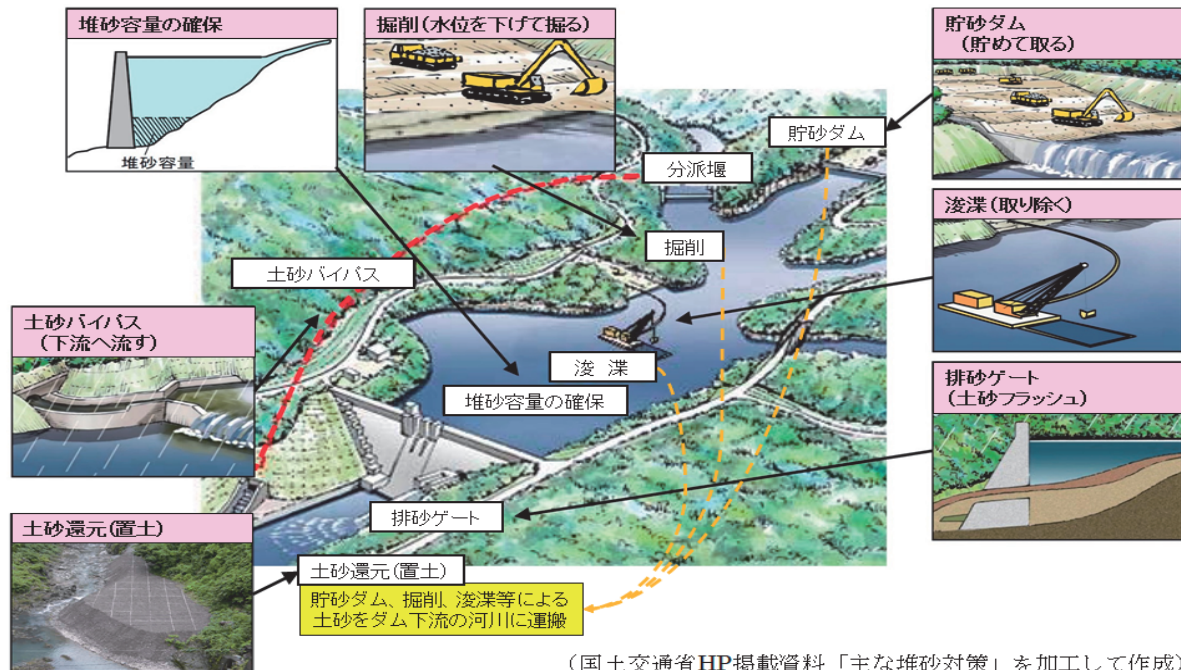


図-3 主な堆砂対策

で注意が必要なのは、土砂堆積と同じように流木にも「通年規模の洪水による流木量」と「大規模洪水による流木量」がある点である。

大規模な流木流入が起きる事例を見ると、その量は通年規模の流木量に比べて桁違いに大きい。大規模な流木流入が発生するイベントでは山地部の斜面崩壊が多発している場合が多く、貯水池への土砂流入量も多いので、その対応は3.1(2)における大規模堆砂・異常洪水堆砂と一緒に検討することが合理的といえる。なお、豪雨があればすべての流域で同じように大規模堆砂・異常洪水堆砂と大規模流木流入が生じる訳ではなく、大規模堆砂・異常洪水堆砂が生じる場合に必ず桁違いの流木量が発生するとは限らない。当該ダム貯水池上流の山地部の地形・地質によって異なるので、その発生や同時生起の有無については個別に精査する必要がある。

また、大規模な流木流入時に貯留型ダムは流木捕捉効果を発揮し、下流の被害を軽減する副次効果を持っていることはもっと認識されるべきである。

3.2.2 沈木

ダム貯水池の維持管理上の課題として流木については、洪水時の大量の流木流入に対して網場で捕捉しきれなかった流木が放流設備の閉塞や損傷につながった事例もあるが、その多くは網場等で大量に捕捉した流木の回収や流木処理に多大な労

力や費用を要することが着目されている。

近年発生した事例として貯水池に沈んでいた流木（沈木）が洪水吐きのゲート開口部に挟み込み、ゲートの開閉操作が実施できなくなった事例もある。この事例は、堤体上流の堆砂面が洪水吐き敷高に達し、土砂と沈木がゲート開口部に流下したために生じたものと考えられる。洪水吐ゲートの敷高と堤体上流側の堆砂面標高に差（クリアランス）を適切に確保できるよう設計することが重要である。仮に、堆砂が進行してクリアランスの確保に懸念が残る場合は、洪水吐周辺の3次元測量で点検・診断し、維持浚渫等の機能維持対策ができる構台を用意しておくことが考えられる。

3.3 水質

ダム貯水池における水質の課題としては、洪水後の濁水放流長期化、冷水・温水放流による影響、貯水池の富栄養化等がある。大規模な堤体嵩上げを伴うダム再生においては、貯水池内の水環境が大きく変化する可能性があるため、新設ダムで実施すると同様に環境影響予測を行い、必要に応じて対策を講じることになる⁷⁾。手法・内容は、新設ダムのそれを参考にできるのでここでは割愛する。本節は放流設備新設・増設、ダム再生特有の工事中における水質影響について述べる。

(1) 濁質（SS）放流

ダム再生では既設ダムを運用しつつ工事を行うために工事箇所からの濁質等の発生が考えられる

が、工事箇所を囲う濁水防止フェンス・濁水処理施設等を設置し、処理後の水を下流河川に放流する対応等がとられており大きな問題はない。

一方、水中での工事に対する作業環境改善、工事コスト低減等のために工事期間中の貯水位を低下させた場合に濁水等に留意が必要となる。水位低下時に貯水池上流側に堆積していた土砂を引き込む可能性があり、特に微細な粒子の土砂は浮遊して貯水池全体に広がる可能性がある。これはダム再生事業後の運用時においても生じる可能性がある。予備放流による水位低下は前述の工事中水位低下よりも早い速度で低下させるものとなり、より多くの濁質が発生し、さらには放流設備からの放流水の濁質の上昇につながる可能性がある。

(2) 温水・冷水放流

既存洪水吐きより低標高に新設する洪水吐により予備放流を行う場合には、これまでより水深の大きなところの水を放流することとなり、水温も低い放流水となり得る可能性がある。貯水池内の水温の実態を把握しておくことでその影響を予測できる。

(3) その他

既存ストックの有効活用であるダム再生においては、電力等の利水ダムに洪水調節容量を持たせる再生が考えられる。再生事業対象の既設ダム貯水池で、洪水終了後の濁水放流の長期化や貯水池内の温度躍層形成時期に冷水・温水放流が見られる場合には、ダム再生に併せて影響軽減の工夫を検討するチャンスと考えることもできる。

既設ダムで下流河川の濁度が流入水に比べて高い期間が長い、冷水・温水放流の期間が長い場合で、自然流下の土砂バイパス水路を設ける再生事業であれば、土砂バイパス水路を清水バイパスとして有効活用することで影響を軽減できる可能性がある。

4. まとめ

本報文では、貯水池管理にまつわる以下2つのテーマについて、ダム再生を進めるにあたっての留意点と今後の方向を紹介した。1つめは、水位操作変更に伴い検討が必要となる貯水池に着目し、周辺斜面地すべり対策としての斜面調査等について2.で記載した。2つめは、貯水容量維持のための堆砂対策、堆砂と同様に流入する流木・沈木の影響、ダム再生特有の水質影響等の貯水池管理について3.で記載した。

ダム再生事業では、貯水池等の周辺への影響も存在するが、ダム堤体や洪水吐きなどの治水機能の向上等を図るための施設に対する技術的課題や対応のみが着目される傾向がある。本報文が、貯水池管理の検討も十分に踏まえた合理的・効果的な施設設計等によるコスト縮減や、より安全・長期的に機能を維持できるダム再生の一助となることを期待したい。

参考文献

- 1) 佐藤弘行、矢島良紀、石神孝之：ダム再生の技術的留意点(1)～放流能力増強・同軸嵩上げ～、土木技術資料、第64巻、第2号、pp.10～15、2022
- 2) 一般財団法人ダム工学会編：総説 岩盤の地質調査と評価、古今書院、2012
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局：貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針・同解説、2019
- 4) 宮川仁、高田翔也、石神孝之：流砂の連続性確保(1)～土砂還元・通砂の実現事例の考察～、土木技術資料、第64巻、第2号、pp.22～27、2022
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き（案）、2018
- 6) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池流木対策の手引き（案）、2018
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：ダム貯水池水質改善の手引き、2018

梶山敦司



土木研究所地質・地盤研究
グループ地質チーム 主任
研究員
KAJIYAMA Atsushi

石神孝之



土木研究所水工研究グループ
水理チーム 上席研究員
ISHIGAMI Takayuki

高田翔也



土木研究所水工研究グループ
水理チーム 研究員
TAKATA Shoya