

特集：既設ダムの有効活用

ダム堤体嵩上げに関する技術的課題

榎村康史・金銅将史・佐藤弘行・小堀俊秀

1. はじめに

近年、自然環境の保全および公共事業費の削減等の要請を背景に、既設ダムの有効活用が求められている。既設ダム有効活用方策の一つとして、貯水容量を増やすためのダム堤体の嵩上げがある。

ダム堤体の嵩上げ方法を大別すると、既設ダムの堤体上に新堤体を構築する方法と、既設ダムと分離して新堤体を構築する方法がある。どちらの嵩上げ方法を選択するかは、嵩上げの規模、既設ダム堤体の状態、ダムサイトの地形地質条件等から総合的に判断されるが、既設ダム堤体上に嵩上げを行う場合、既設ダムを運用しながらの施工となることが多く、新設ダムとは異なる制約条件や技術的課題が多く存在する。

本稿では既設ダム堤体上に新堤体を構築する方式の堤体嵩上げについて、これまでの実施事例を紹介し、設計・施工にあたっての技術的課題を述べるとともに、嵩上ダムの構造設計手法の確立を目指した土木研究所における既往の研究成果について概要を報告する。

2. ダム堤体嵩上げの実施事例

本章では重力式コンクリートダム及びフィルダムの堤体嵩上げの代表事例として、萱瀬ダム、山王海ダムを紹介する。

2.1 萱瀬ダム（長崎県）¹⁾

萱瀬ダムは、長崎県大村市の郡川上流に1961年に長崎県初の多目的ダムとして建設された堤高51.0mの重力式コンクリートダムであった。その後、郡川下流の大村市の急速な都市化に対応した治水安全度の向上および都市域の新たな用水を確保するため、既設ダムを14.5m嵩上げする再開発事業が実施され、2000年に完成した。

嵩上げ形式としては、① 既設ダム軸と同一軸での嵩上げ、② 既設ダム軸の下流軸での嵩上げ、③ 既設ダム軸の上流軸での嵩上げについて、地

形・地質条件、経済性、既存貯水池を湛水した状態での嵩上げという条件を考慮して比較検討がなされ、最終的に、既設ダム軸と同一軸での嵩上げが採用された。嵩上げ後の標準断面を図-1に示す。また、嵩上げ工事の状況を写真-1に示す。

嵩上げダムの断面形状は、垣谷²⁾による「嵩上げ公式」を用いて設定した結果、図-1に示すように下流面勾配は既設ダムの1:0.76に対して、嵩上げダムでは1:0.94となった。

本ダムの嵩上げでは、既設ダムの下流面に新堤体のコンクリートを打ち足すことから、その打設時の水和熱に起因した新旧堤体のひび割れ発生の可能性や、新旧堤体の一体性に及ぼす打継目の影響を詳細に検討するため、リフトスケジュールを考慮した温度応力解析が実施された。解析の結果、新旧堤体のコンクリートに発生する最大引張応力は許容引張応力以下にあり、温度ひび割れが発生する可能性はないと判断された。また、新旧堤体

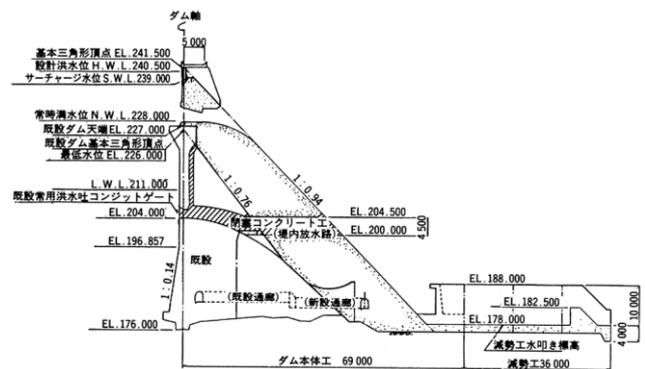


図-1 萱瀬ダムの嵩上げ後の標準断面図¹⁾

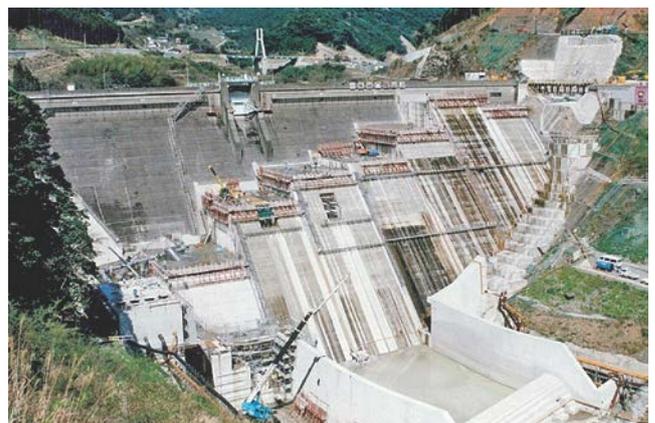


写真-1 萱瀬ダムの嵩上げ工事の状況

¹⁾ Technical problems about raising existing dam.

の打継目に沿って発生するせん断応力についても許容応力以下であることが確認されている。

2.2 山王海ダム（東北農政局）³⁾

山王海ダムは、農業用水の供給を目的として、岩手県紫波町を流下する北上川水系滝名川に1952年に建設された堤高37.4mの中央コア型アースダムであった。その後、畑から水田への転換や水田の圃場整備が進み、農業用水の安定供給を図るため、嵩上げが行われることになった。嵩上げ高さは24.1mと世界的に見ても大規模なフィルダムの嵩上げ事例であり、この再開発事業により2001年に、山王海ダムは堤高61.5mの中央コア型ロックフィルダムに生まれ変わった。

嵩上げ方式については、①新たに堤体の遮水ゾーンを形成する中央コア型ロックフィルダム型式と②既設堤体の遮水ゾーンと新設堤体の遮水ゾーンを接続させる傾斜コア型ロックフィルダム型式について、安全性、施工性、経済性、付帯構造物の設置などに関して比較検討がなされ、①の中央コア型ロックフィルダム型式が採用された。嵩上げ後の標準断面を図-2に示す。

嵩上げダムの設計にあたっては、すべりに対する安定性の検討に加え、既設堤体のN値が10～20程度で軟らかいことを考慮し、有限要素法による応力変形解析を行い、発生応力、変形量の観点から安全性の検討が行われた。

施工にあたっては、既設堤体内に地中変位計、間隙水圧計、土圧計などの観測計器を配置し、工事期間中を通じて24時間体制で自動計測を行い、既設堤体の挙動を把握しながら工事が進められた。

3. ダム堤体嵩上げにおける技術的課題

ダム堤体嵩上げは、治水利水の機能強化の要請から実施されるものであるため、嵩上げ施工中

であっても既設ダムの機能が損なわれることが社会的に許容されない場合が多い。したがって、多くの場合ダム堤体嵩上げにあたっては、既設ダムを運用しながら作業を行うことになる。このため以下に示すような新設ダムとは異なる設計・施工上の課題がある。

3.1 設計上の課題

3.1.1 既設ダムの状態把握

嵩上げダムの設計を行う上では、その基となる既設ダムの堤体及び基礎地盤の状態を精度良く知る必要がある。このためには既設ダムの設計・施工時点の資料、ダム管理における記録を可能な限り収集し、収集した情報では足りない部分については、既設ダムの基礎地盤のボーリング調査等を行い総合的に既設ダムの状態を把握する必要がある。

3.1.2 合理的な基本断面設計法の検討

重力式コンクリートダムの嵩上げ設計に用いられる垣谷の嵩上げ公式は、簡便に嵩上げダムの堤体設計が可能である一方、実際の荷重条件とは異なった仮定をしていることにより、条件によっては下流面勾配が著しく緩くなり合理的な設計とならない場合がある。

またフィルダムの嵩上げ設計にあたっては、遮水ゾーン（コアゾーン）をどのように配置するか堤体の浸透破壊に対する安全確保上重要となる。

土木研究所ではこれらの課題を踏まえ、合理的な嵩上げ設計手法の提案を行っており、その概要を次章で述べる。

3.1.3 耐震照査手法の確立

2005年に国土交通省河川局より「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」が公表されたが、再開発ダムにおいても大規模地震に対する耐震性能を確認していくことが求められる。特

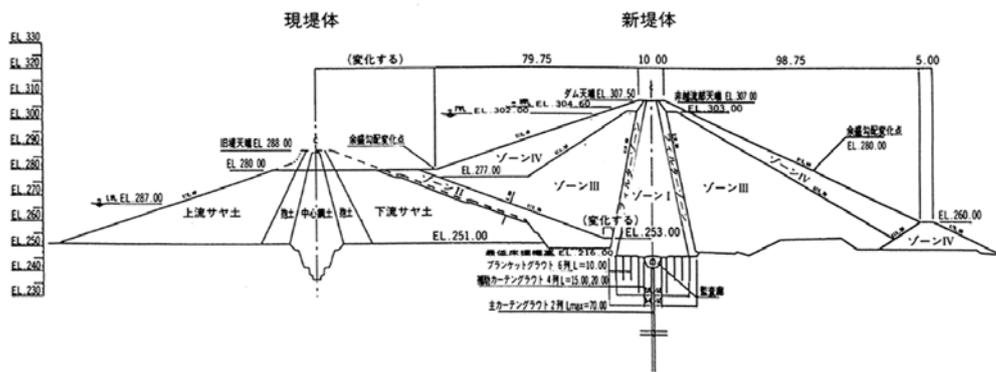


図-2 山王海ダムの嵩上げ後の標準断面図³⁾

にコンクリートダムでは、新旧堤体コンクリートの物性値の相違や施工時の水位条件等により、新設ダムとは堤体内の応力状態が異なることから、その特有な構造や施工条件を踏まえた上で耐震性能を照査する必要がある。現在土木研究所においては合理的な照査を行う手法について検討を行っているところであり、別報文にて詳述する。

3.2 施工上の課題

3.2.1 既設ダムへの施工時の影響低減

嵩上げ施工時に、基礎地盤の掘削やコンクリートダムにおける既設ダム堤体のはつり等を行うにあたっては、施工上発生する振動が既設ダム堤体に与える影響を最小限にとどめるため、極力振動が発生しない工法を選択する必要がある。また、既設ダム堤体及び基礎地盤の変位等の挙動について、計測や巡視により監視することも重要である。

3.2.2 新旧堤体接合面の対策

嵩上げダムの堤体安定性を確保するためには、新旧堤体を一体化させる必要があるが、コンクリートダムの場合、新堤体コンクリート打設時に発生する水和熱に伴う温度応力対策が重要になる。新旧堤体接合面において大きな温度応力が発生すると、それに起因するクラックが発生し新旧堤体の一体化を阻害する可能性がある。これを防止するためには、事前にFEMを用いた温度解析を行い必要に応じ補強鉄筋やアンカー工等の温度応力対策を検討するとともに、施工時の接合部処理や温度管理を適切に実施する必要がある。

4. 土木研究所における既往研究

4.1 コンクリートダムの再開発技術に関する調査⁴⁾

重力式コンクリートダムの嵩上げ設計には、従来、垣谷が提案した「嵩上げ公式」が用いられて

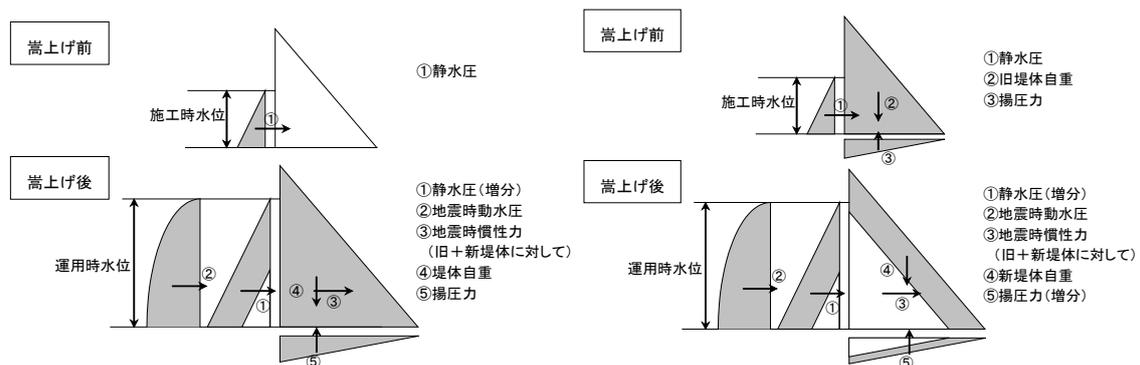
きた。この公式は嵩上げダム堤体断面を三角形の片持ち梁とみなして堤体底面にかかる応力を算出する方法である。この公式を用いた場合の荷重条件は、図-3(a)に示すように嵩上げ前の既設堤体に作用する荷重は貯水による静水圧のみとし、嵩上げ後の堤体に作用する荷重は水位上昇に伴う静水圧の増分、地震時慣性力、地震時動水圧、堤体自重及び揚圧力としている。しかし、堤体自重及び揚圧力は、実際には既設堤体での断面及び水位相当分は嵩上げ前に作用していることから、この荷重条件は実際とは異なる仮定となっており、「嵩上げ公式」によって求めた断面形状は、条件によっては同じ堤高の新規ダムを設計する場合に比べ下流面勾配が著しく緩くなる場合がある。

そこで、図-3(b)に示すように、嵩上げ前及び嵩上げ後の堤体に作用する荷重をより実際的な荷重条件とする合理的な設計方法について検討を行った。堤体断面決定時及び大規模地震時の堤体安定性についてモデルケースにより比較検討を行った結果、新規ダムと同等の安全性を確保しつつ堤体断面を縮小でき、より経済的な断面設計が可能となった。

ここで検討された設計手法は、現在事業実施中の新桂沢ダム（北海道開発局）や笠堀ダム（新潟県）の嵩上げ設計に採用されている。

4.2 フィルダムの嵩上げ技術に関する調査⁵⁾

フィルダムの嵩上げにおいては、特に遮水上重要なコアゾーンをどのように配置するかが重要となる。本研究課題においては、図-4に示す形式1から形式3のフィルダムの嵩上げ形式について、ロックフィルダム、アースダムにおける一般的な物性を用いて、震度法・修正震度法による安定解析、築堤解析、湛水解析、動的解析による地震時



(a) 一般に用いられる荷重条件（従来法） (b) より実際的な荷重条件を考慮した方法

図-3 嵩上げダムの断面設計法⁴⁾

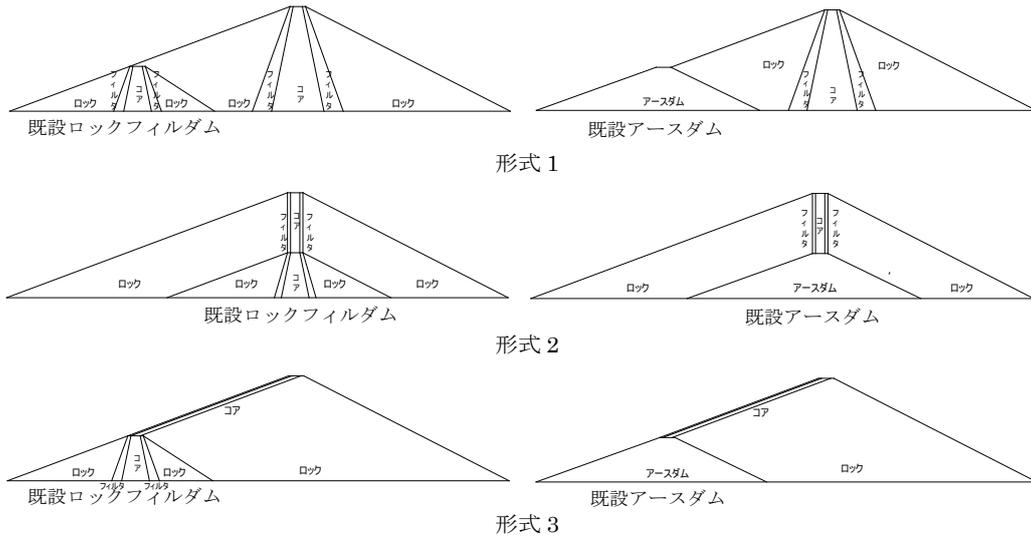


図-4 検討の対象とした嵩上げ形式⁵⁾

の安全性の検討を行った。その結果、形式3は、上流面に強度の低いコアが配置されているため、震度法・修正震度法による安定解析では上流面勾配がかなり緩勾配でないと所要の安全率を満足しないことから現実的な嵩上げとは考えられないため以降の検討では除外した。築堤解析による安全性については形式1および形式2ともに局所安全率が1を下回る部分はないこと、湛水解析による安全性については形式2はコアゾーンに勾配変化点があることから水圧破碎について留意が必要なこと、動的解析による地震時の安全性については形式1において既設堤体がアースダムの場合には耐震性について留意が必要なこと、などを明らかにした。以上より明らかとなった嵩上げ形式に応じた設計上の留意点に適切に対処することにより、既設堤体を有効活用したフィルダムの嵩上げが可能となると考えられる。

5. おわりに

土木研究所におけるこれまでの研究により、安

全性を確保しつつより合理的な嵩上ダムの設計が可能となった。ダム堤体の嵩上げに関する技術は、既設ダムの有効活用に対する需要の増大に伴って今後一層その必要性が高まると考えられる。このため、土木研究所においても引き続き技術的課題の解決に向けた研究開発に積極的に取り組んでいく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 村川康孝：萱瀬ダムの再開発工事について、ダム日本、No.624、1996.10.
- 2) 垣谷正道：嵩上げ堰堤の安定計算について、日本発送電工、第1202号、1946.
- 3) 豊島弘三、森山信弘：山王海ダムの再開発ーロックフィルダムの嵩上げー、ダム日本、No.629、1997.3.
- 4) 山口嘉一、佐々木隆、金縄健一、石橋正義：コンクリートダムの再開発技術に関する調査、平成16年度土木研究所成果報告書、2005.
- 5) 山口嘉一、富田尚樹、佐藤弘行、小堀俊秀：フィルダムの嵩上げ技術に関する調査、平成16年度土木研究所成果報告書、2005.

榎村康史



(独)土木研究所つくば中央
研究所水工研究グループ水
工構造物チーム 上席研究
員
Yasufumi ENOMURA

金銅将史



(独)土木研究所つくば中央
研究所水工研究グループ水
工構造物チーム 総括主任
研究員
Masafumi KONDO

佐藤弘行



(独)土木研究所つくば中央
研究所水工研究グループ水
工構造物チーム 主任研究
員
Hiroyuki SATO

小堀俊秀



(独)土木研究所つくば中央
研究所水工研究グループ水
工構造物チーム 研究員
Toshihide KOBORI