

## 4.2 ゾーン型フィルダムの頂部嵩上げに関する研究

研究年度：令和4年度～

研究分野：フィルダムに関する研究

調査研究名：ゾーン型フィルダムの頂部嵩上げに関する研究

研究者：川崎秀明

### 【要約】

将来洪水流量の増、治水機能強化、耐震性向上等のダム再生への需要が増す中で、既設ダム嵩上げの重要性は今後一層増すと予想される。一方、全国的に治水目的を持つゾーン型フィルダムの数は多いが、ゾーン型フィルダムの嵩上げはこれまで難しいとされており、嵩上げ実績もごく僅かである。そこで当論文では、より合理的なゾーン型フィルダム嵩上げ手法としてコスト的に安価で済む頂部嵩上げに焦点を当てて、既往事例と検討手法について整理した。

なお、ダム再生を行う場合、構造令制定以前の建設時期の古いダムでは、構造令上の余裕高、安定性、耐震性等に適合させる必要があり、嵩上げにおいてはそれらを満足させることも必要である。本論文ではそのような場合の検討手法についても考慮した。

### 【キーワード】

ゾーン型フィルダム、頂部嵩上げ、構造令、非越流部高さ、福地ダム再開発

### 【背景・目的】

国内におけるフィルダムの嵩上げ事例は、均一型のアースダムでは数多くあるが、ゾーン型のフィルダムはごく少ない（表1参照）。

その理由として、ゾーン型フィルダムの場合、コア幅を含む天端の必要幅確保の面から嵩上げ高が制約されることがある（図1）。また、嵩上げによって堤体安定性が低下するために、嵩上げ高が数mになると上流面や下流面への大規模な腹付けが必要となり、これに伴って左右岸止水ラインの接続や洪水吐きの改造等も必要となり、その結果、工事費と工期が大きく増大する可能性が高い。耐震性確保の面からも、嵩上げ高が増すほど大規模な腹付けが必要となる。

一方、嵩上げを頂部に限定して上流面または下流面への腹付けを無くした場合（以下、頂部嵩上げ）、嵩上げ高は小さくなるが施工上の対応は各段に容易

となり、工事費と工期は大きく低減される（図2）。即ち、頂部嵩上げは大きな貯水容量増は見込めないが、小規模ダムや貯水池表面積の大きなダムの洪水調節において、有効な手段となる可能性がある。

ただし、嵩上げ高が小さいため、構造令制定以前に建設されたダムの場合には付加高さ等の現基準への対応だけで嵩上げ可能高の大半を費やすことになり、有効な嵩上げ高があまり残らない可能性も高いので注意が必要である。実際のところ、1.5mの頂部嵩上げが可能であっても、古いフィルダムは、構造令の付加高さで1m程度不足するケースが多いので、これを差し引くと0.5mしか残らないことになる。

頂部嵩上げは、沖縄の福地ダム（嵩上げ施工1984年）で開発された再開発手法である。特徴は、貯水池運用方法の見直しと併せて頂部嵩上げをすることで、構造令に適合させた上で小規模の貯水容量増大を低コストで実現できることである。以下、嵩上げ事例の全体像を示した上で当手法を紹介する。

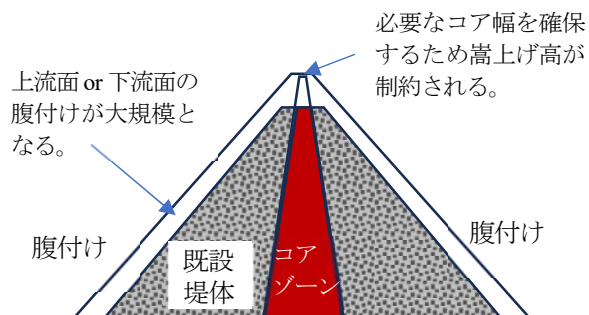


図1 ゾーン型フィルダムの嵩上げ

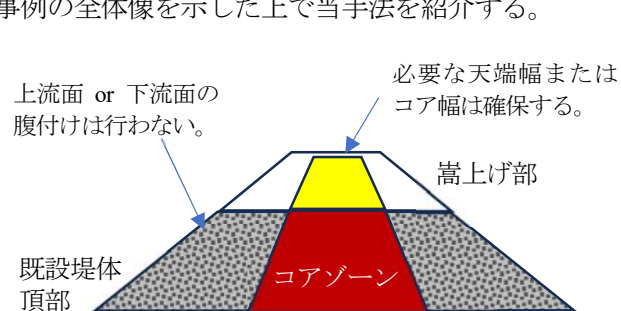


図2 頂部嵩上げのモデル図（頂部拡大）

### (1) フィルダム嵩上げの国内事例

国内のフィルダム嵩上げ事例（堤高 15m 以上）について表 1 に示す。均一型フィルダム（アースダム）の嵩上げ事例として農業ダムが 4 ダムあり、治水を目的に含むダムは白川ダムと狭山池である。

ゾーン型フィルダムは 3 ダムだけであり、うち大川ダムは嵩上げというよりも計画的な段階盛土、山王海ダムは堤体ごとの下流移設であり、福地ダムは小規模な頂部嵩上げである。

このほか、嵩上げではないが大規模な増厚による堤体補強例としては、東京都の山口貯水池、村山貯水池等がある。以下に代表的な事例を記す。

#### ① 狭山池の事例

治水機能を付加するために農業用の狭山池（アースダム、堤高 15m）の堤体を 3.5m 嵩上げし、旧堤体の上流面と下流面に新堤体を載せた形で築堤し、工事は 2002 年に完成した。図 3 に狭山池の嵩上げ断面を示すが、堤敷下流側にブランケットを敷いた止水構造が特徴的である。

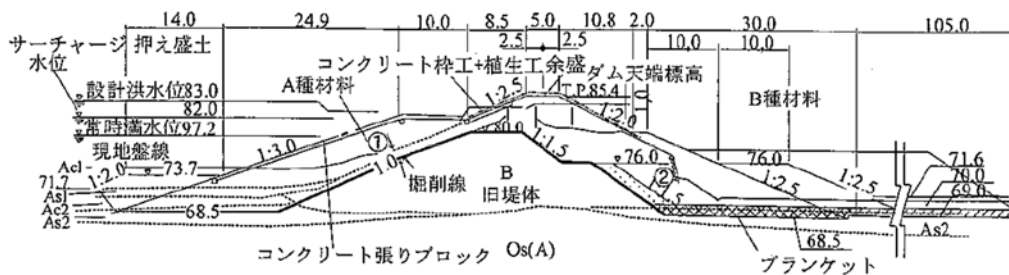


図 3 狭山池嵩上げ断面図

表 1 フィルダム嵩上げの国内実績（堤高 15m 以上）

ダム（貯水池）名	所在地	嵩上げ完成年	旧堤体完成年	堤高 m（旧→新）	ダム型式	再開発の目的	対応内容
井川イカワ	秋田県	1978	1971	19.9m → 23.7m	均一型	農業容量増	堤体下流面盛土、洪水吐き改造等
大川オオカワ	鹿児島県	1988	1980	33.7m → 49.2m	傾斜コア型	水道容量増	計画的嵩上げ、堤体下流面盛土、洪水吐き 3m 嵩上げの改造
福地 フクチ (次節詳述)	沖縄県	1990	1974	0.5m 嵩上げ → 91.7m	中央コア型	水道容量増	頂部嵩上げ、洪水吐き増設及び改造、取水放流設備等
大谷内オオヤチ	新潟県	1991	1953	15.0m → 23.2m	均一型	農業容量増	堤体下流面盛土、洪水吐き改造等
永池ナガイケ	佐賀県	1997	?	17 m → 34.8m	均一型	農業容量増	堤体下流面盛土（旧堤体を仮締切利用）、洪水吐き改造等
白川シラカワ	奈良県	1996	1933	25.5m → 30.0m	均一型	治水容量増	堤体下流面盛土、貯水池掘削、洪水吐き改造、取水工等
山王海サンノウカイ	岩手県	2001	1953	37.4m → 61.5m	中央コア型	農業容量増	ダム軸を下流に大きく移しての下流面盛土、洪水吐き改造等
狭山池サヤマイケ	大阪府	2002	奈良時代	15.0m → 18.5m	均一型	治水容量増	堤体上流面及び下流面盛土、洪水吐き改造、池内掘削
宿の沢シユクノサワ	宮城県	2003	1952	? → 26.0m	均一型	農業容量増	堤体上流面及び下流面盛土、洪水吐き改造等

### ② 白川ダムの事例

治水機能を付加するために農業用の白川溜池（アースダム、堤高 25.5m）の堤体を 4.5m 嵩上げし、旧堤体下流面に旧堤体を取り込んだ形で築堤し、工事は 1996 年に完成した。図 4 に白川ダムの横断面を示すが、典型的なアースダム嵩上げ手法である。

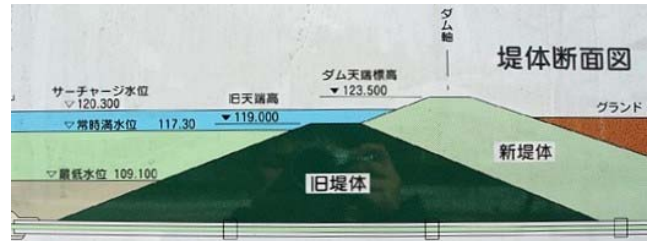


図 4 白川ダム嵩上げ断面図

### ③ 山王海ダムの事例

既設の山王海ダムは、1953 年に完成した農業用ダムである。農業用水への対応のためにその直下流に新ダムが建設されることとなり 2001 年に完成した。旧堤体を仮締切として直下流にロックフィルダムが築造された。

(2) 福地ダムの頂部嵩上げ事例

① 計画

福地ダム再開発（1978～91年、嵩上げ0.5m→現堤高91.7m）の主要目的は、余裕高やダム設計洪水流量を米国基準から構造令へ適合させた上で、「洪水吐き能力増による治水容量の減量と嵩上げで容量を補うことによる水道容量の増大」である（現断面図：図5）。

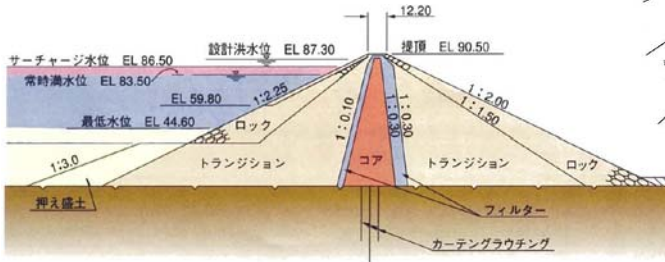
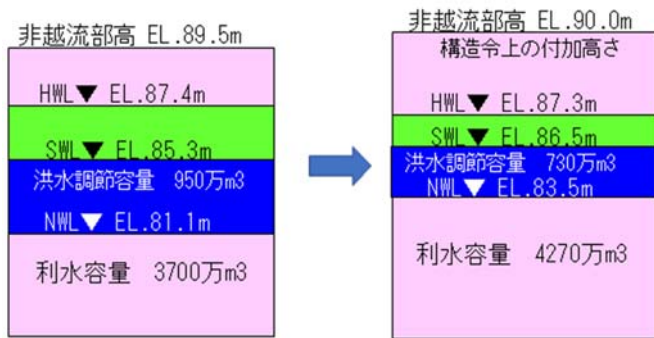


図5 福地ダムの現在断面図

このため、福地ダム再開発では「既設洪水吐きのゲート化+上流洪水吐き増設+堤体嵩上げ0.5m」によって、以下の容量配分変更が行われた。

- a. 水道容量の増大のため、NWLをEL. 81.1m → 83.5mに2.4m拡大した。
- b. ダム設計洪水流量810m<sup>3</sup>/s（貯留効果考慮）を構造令を適用し1600m<sup>3</sup>/sに増加した。既設洪水吐きのゲート化と上流への増設によって、SWLをEL. 85.3m→86.5mにし、SWLとNWLの差を4.2m→3.0mに1.1m縮小した。
- c. HWLをEL. 87.4m→87.3mにし、HWLとSWLの差を2.1m → 0.8mに1.3m縮小した。
- d. 堤体非越流部標高をEL. 89.5m→90.0mに0.5m嵩上げし、非越標高とHWLの差を2.1m→2.7mに0.6m拡大した。（構造令の付加高さ（ゲートなし）を適用した）
- e. 余盛の天端標高をEL. 90.3m→90.5mに上げた。容量配分が図6であり、結果として余裕高が確保された上で水道容量570万m<sup>3</sup>が増加された。



当初 再開発後  
図6 福地ダム再開発による容量再編成

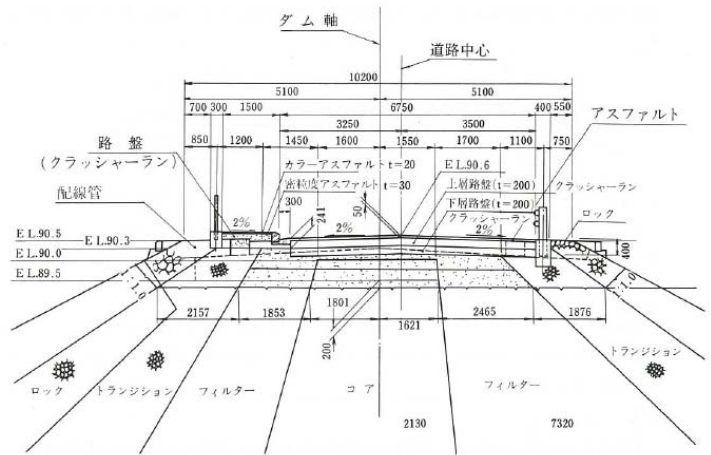


図7 堤頂詳細標準断面図（余盛0.5m）<sup>1)</sup>

② 設計（福地ダム工事誌から抽出）

福地ダム再開発では容量配分の計画変更と上流洪水吐きの設置に伴って、常時満水位を2.4m、SWLを1.2m上げることとなり、非越流部標高（コア高さ）は嵩上げ0.5mのEL.90.0m（ダム設計洪水位EL.87.3m+付加高さ2.7m）となった（余盛を入れてEL.90.5m）。断面図と諸値を図7に記す。

嵩上げ方法は、検討の結果、既設堤体の上下流面勾配を嵩上げ分だけ延長するゾーニング延長案となった。このため、堤頂幅は従前の12.2mから1.3m程度狭い10.9mとなり、道路幅が若干狭くなった。

③ 施工（福地ダム工事誌から抽出）

コア部は、旧非越流部標高EL. 89.5mよりも0.2m低いEL. 89.3mまで切削され、その上に新たなコア



コア材の搬入敷均し<sup>1)</sup>



コア材の転圧<sup>1)</sup>

図8 福地ダム頂部嵩上げ施工状況

材が敷均し・転圧されて、新非越流部標高は EL. 90.0m となった。嵩上げ 0.5m は非越流部高さの増分である（図 8）。

工事誌<sup>2)</sup>によると、「工事期間中は悪天候のため、土取場の自然含水比が規定の含水比より高く、現場でもばっ気をくり返し、また、火災による強制乾燥を行って含水比調整を行いコアの盛立を実施した。

フィルター材は含水比の調整をほとんど必要としなかったが、転圧後、重機、トラック、車などによる自然転圧で密度が高くなり透水係数が小さくなるため、かき起して再転圧した部分もあった。トランジション、ロック部の盛立については特に問題なく施工できた。」とある。堤体左岸天端からの現況写真を図 9 に示す。



図 9 福地ダム堤体（下流側）

#### ④ まとめ

1984 年に施工された福地ダム再開発による嵩上げは、国内唯一のゾーン型フィルダムの頂部嵩上げであり、構造令（余裕高、ダム設計洪水流量）を適用させた上に最小限の工事費と工費でもって所要の容量を確保したという点で着目すべき手法である。

特に注目すべきは、「HWL と SWL の間の余裕の活用（ただし書き操作の運用）」と「洪水放流能力の倍増による治水容量の節減」の計画論であり、これと 0.5m の嵩上げとの組合せによって所要の貯水容量増が達成された。これらの手法は運用法を含む計画論として整理中であるので別途機会に詳述したい。

なお、福地ダム再開発の嵩上げ高は 0.2m と記されていることが多いが、これは天端道路面の嵩上げ前後の標高差であり、実際の嵩上げ高は非越流部高さ（コア天端高に相当）の標高差である 0.5m である。表 1 も含めて嵩上げ高の定義が混在しているので、非越流部高さで統一する必要がある。

#### (3) 頂部嵩上げと現行基準類適用上の留意点

頂部嵩上げは大規模な貯水容量増はできないが、既設ダムの上流面と下流面の勾配を変えずに嵩上げを行うため、他のダム再生手法と比べて工事費を最

少化できる手法である。ただし、余裕高との関係、必要天端幅、堤体安定性等についても十分検討する必要がある。以下に、これらにおける構造令や河川砂防技術基準との関係について考察する。

#### ① 堤体の非越流部高さ

構造令第 5 条において、堤体の非越流部高さは、表 2 の常時満水位、洪水時最高水位、設計洪水位のそれぞれに所要の付加高さを加え、このうち最も高い値に、さらにフィルダムの場合は 1.0m を加えることとなっている。

構造令制定以前に建設されたダムは、付加高さが不足することが多く、ダム再生における基本条件として、非越流部高さを現行基準に満足させる必要がある。

表 2 構造令規定の非越流部高さ<sup>2)</sup>

構造令規定の貯水位	非越流部高さの式 (構造令第 5 条第 2 項)
常時満水位 Hn	$H_n + h_w + h_e/2 + 0.5$ ( $h_w + h_e < 1.5$ のときは $H_n + 2.0$ )
洪水時最高水位 Hs	$H_s + h_w + h_e/2 + 0.5$ ( $h_w + h_e / 2 < 1.5$ のとき $H_s + 2.0$ )
設計洪水位 Hd	$H_d + h_w + 0.5$ ( $h_w < 0.5$ のときは $H_d + 1.0$ )

#### ② フィルダム堤頂幅

河川砂防技術基準条文におけるフィルダム堤頂幅に関する規定は、施工上の必要幅、完成後の使用目的、堤体の安全性を考慮すべきとあるが、規定値はない。ダム再生の場合は、道路等の現況の堤頂使用条件によって必要幅を設定することになる。

（河川砂防技術基準 設計編 技術資料第 2 章 第 5 節—42）  
 <標準>フィルダムの堤頂幅は、施工にあたっての必要幅、完成後の使用目的とともに堤体の安全性等も考慮して定めることを基本とする。<sup>3)</sup>

一方、河川砂防技術基準の「表 2-5-2 ゾーン型フィルダムの国内事例（堤体構造）<sup>3)</sup>」から遮水ゾーンの実績最小幅が 3m であることから、一般的な転圧方法を採用する限りは堤頂部におけるコア部も 3m 以上確保すべきと考えられる。

#### ③ 地震に対する安全性

河川砂防技術基準（設計編 技術資料第 2 章 第 5 節—31）において、「フィルダムでは、構造令で示された震度法により耐震性を確認しているが、地震時の堤体応答を考慮した照査法である修正震度法によっても堤体の耐震性を確認することが基本である。」<sup>3)</sup>とある。また、修正震度法について、「指数近似曲線

等の曲線近似式（ $\phi_0$ 法、もしくはAb法）によるせん断強さを採用し、低拘束圧条件下での強度を適切に評価して耐震性の確認を行う。」とあり、堤高100m程度以下のフィルダムを対象に構造令の設計震度と比べるとかなり大きめの堤体震力係数が図2-5-16に比標高別に設定されている。なお、堤高100mを超える場合の堤体震力係数は、「堤体の固有周期が長くなり、地震加速度の周波数特性などを考慮すると修正震度法で示した堤体震力は減ずることができる可能性がある。」として、減衰を考慮して値を適宜減らしてよいこととしている。

#### ④ ロック材における拘束圧と内部摩擦角の関係

拘束圧（ $\sigma$ ）が小さいほど内部摩擦角（ $\phi$ ）が大きくなるというロック材の特性を活かすことによって、経済的かつ合理的なフィルダムの設計を行うことができる。この観点から図10 Mohrの応力円模式図のように従来 $\phi_0$ 法に対してAb法や $\phi A \phi B$ 法が提案されており、現在は耐震性能照査等において用いられている。

フィルダム頂部嵩上げの場合も、嵩上げ部を含む堤体全体において安定性を検討することになるが、その時の安定性解析においては、Ab法等の拘束圧が小さいほど内部摩擦角が大きくなるロック材の特性を考慮した手法を用いるべきである。そして、嵩上げ高の上限は、前述の堤頂使用条件以外に、この安定計算結果からも決まることが予想される。

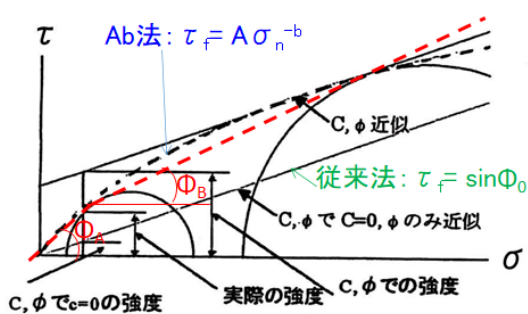


図10 Mohrの応力円模式図

#### (4) おわりに

本稿においては、過去のフィルダム嵩上げ手法について難しさを含めて述べるとともに、頂部嵩上げ手法の有望性について整理した。

ただし、建設年代の古いダムの場合、頂部嵩上げは構造令の非越流部高さを満足するために嵩上げ高の大半が費やされてしまうこともあるため、福地ダム再開発のように別途の貯水容量増大策と組み合わせることが望ましい。

そこで福地ダム方式を継承すべく、大型ロックフィルダムにおける頂部嵩上げ計画について運用法も含めて検討中であるが、福地ダム方式を改良した新手法であるので、その事業計画が公表された後に、計画論・運用法も含めた検討手法をより具体的に解説したいと考える。

#### 参考資料

- 1) 沖縄総合事務局北部ダム事務所、「福地ダム工事誌」、1991年3月
- 2) 国土技術研究センター編集、「改定 解説・河川管理施設等構造令」、河川協会1999年11月
- 3) 国土交通省、「河川砂防技術基準 設計編」2021年版、2021年10月