

4.1 重力式コンクリートダム単小規模嵩上げの限界に関する検討

研究年度：令和元年度

研究分野：ダムの改造・再開発に関する調査研究

調査研究名：重力式コンクリートダム単小規模嵩上げの限界に関する検討

研究者：山口嘉一*、山下武宣、樋口俊光、横田裕輝

【要約】

ダムの再開発事業において、重力式コンクリートダムの堤頂部をその断面幅のまま単純に嵩上げをする単小規模嵩上げの検討事例がみられる。ここでは、構造安定性の観点からの基礎的な検討として、重力式コンクリートダム単小規模嵩上げを対象として、現行のダムの設計基準である河川管理施設等構造令・同施行規則に準拠して設計した場合の嵩上げ高さの限界について検討した結果について報告する。

【キーワード】

再開発、重力式コンクリートダム、嵩上げ、河川管理施設等構造令

1. はじめに

近年、洪水・渇水被害の頻発化や気候変動の影響の顕在化する中、我が国の厳しい財政状況や生産年齢人口の減少等を踏まえると、既存ストックを有効活用し、より効果的に洪水調節能力を高めることが社会的に求められている。

このような社会的状況を踏まえ、国土交通省水管理・国土保全局により既設ダムを運用しながら有効活用する「ダム再生」の推進方策を提案するために「ダム再生ビジョン（平成29年6月）」¹⁾がとりまとめられ、ダムの長寿命化、高機能化のための施設改良、気候変動への適応等への課題についての考え方が明確化されている。また、翌年には「ダム再生ガイドライン（平成30年3月）」²⁾が作成され、「ダム再生」の円滑な推進のために必要な既往事例に関する知見（ダム再生事業を実施する上での具体的方策、留意点等）が整理されている。さらに、平成30年度には、都道府県事業におけるダム再生の検討を支援するため、「ダム再生計画策定事業」が創設され、今後、ダム再生はより一層推進されるものと考えられる。

ダムの再開発事業におけるダムの機能向上を想定した場合、水系全体の治水計画、流域全体の水利利用計画などを総合的に検討したうえで、当該の再開発事業において最も効果的かつ効率的な方策を選択する必要がある。いま、ダムの再開発の中で重力式コンクリートダムの嵩上げを例にとると、堤頂部をその断面幅のまま単純に嵩上げをする単小規模嵩上げを採用しているダムがみられる。上記の観点から

は、個別の再開発事業にかかわる工費、工期等も踏まえて、重力式コンクリートダム単小規模嵩上げの効果を詳細に分析することは極めて重要であると考えられる。しかし、ここでは構造安定性の観点からの基礎的な検討として、重力式コンクリートダム単小規模嵩上げを、現行のダムの設計基準である河川管理施設等構造令・同施行規則（以下、「構造令」と呼ぶ。）に準拠して設計した場合の嵩上げ高さの限界について検討することとした。

2. 重力式コンクリートダム単小規模嵩上げ事例と嵩上げ型式の区分

わが国における重力式コンクリートダムの嵩上げ事例を表-1に示すととともに、ダムの嵩上げ前後の堤高の関係を図-1に整理する。これらの図表から明らかのように、20m以上の嵩上げ事例もあれば2m程度以下の小規模な嵩上げ事例もある。

上記のような嵩上げ高さのほか、嵩上げのための新設コンクリートの打設パターンを踏まえ、嵩上げの型式を図-2に示すように、以下の3型式に区分した。

【タイプ①】 既設堤体の下流面全体を増厚する嵩上げ

*最も事例が多い型式。以下「従来の嵩上げ（タイプ①）」と称する

【タイプ②】 既設堤体の下流面の一部を増厚する嵩上げ

*笠堀ダムで採用された型式。以下「笠堀の嵩上げ（タイプ②）」と称する。

【タイプ③】既設堤体の下流面に増厚を行わない、堤頂部のみを嵩上げ
 *単純小規模な嵩上げ型式。以下「単純小規模嵩上げ（タイプ③）」と称する。

これら3型式のうち、今回の調査研究では、【タイプ③】の単純小規模嵩上げを対象として、その上限かさ上げ規模を構造令に基づく安定計算により明らかにする。

表-1 わが国における重力式コンクリートダムの嵩上げ事例

	ダム名	堤高 (かさ上げ前)	堤高 (かさ上げ後)	竣工年	機関
1	川上ダム	46.5m	63.0m	1980年	山口県
2	新中野ダム	53.0m	74.9m	1985年	北海道
3	萱瀬ダム	51.0m	65.5m	2000年	長崎県
4	三高ダム	32.6m	44.0m	2004年	中四国農政局
5	下の原ダム	30.6m	36.5m	2006年	佐世保市
6	氷川ダム	56.5m	58.5m	2010年	熊本県
7	菅生ダム	55.0m	55.7m	2010年	兵庫県
8	笠堀ダム	74.5m	78.5m	2018年	新潟県
9	新桂沢ダム	63.6m	75.5m	施工中	国土交通省北海道開発局

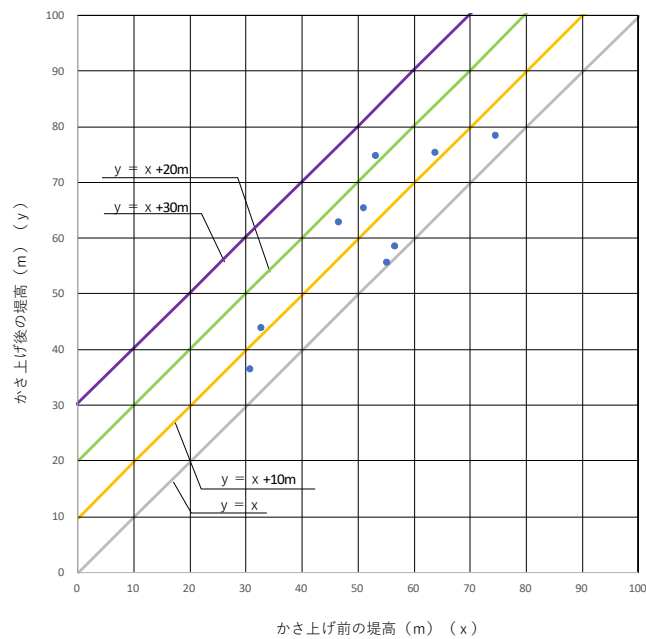


図-1 重力式コンクリートダムの嵩上げ前後の堤高の関係

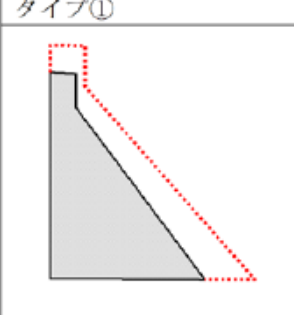
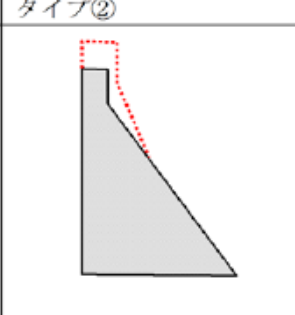
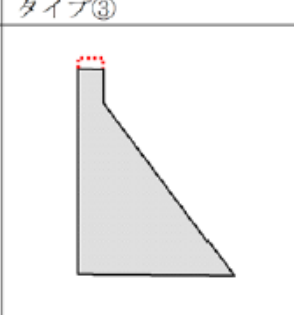
タイプ①	タイプ②	タイプ③
		
従来のかさ上げ型式	笠堀ダム等のかさ上げ型式	単純小規模かさ上げ型式

図-2 重力式コンクリートダムの嵩上げパターンの分類

3. モデルダムによる検討

3.1 概要と検討条件

2章で紹介した重力式コンクリートダムの嵩上げ事例のうち、「単純小規模嵩上げ」事例としては、氷川ダム（熊本県：嵩上げ前の堤高 56.5m）非越流部ブロックの 2.0m、菅生ダム（兵庫県：嵩上げ前の堤高 55.0m）の 0.7m とその規模は極めて小さい。また、両ダムとも堤高 50m 級のダムである。

ここでは、堤高 50m 級と 100m 級の実ダムをモデルとして、単純小規模嵩上げ高の限界について検討する。解析モデルと解析条件の概要を以下に示す。

3.2 解析モデルと解析条件

(1) 堤高 50m モデル (A ダムモデル)

解析モデルの概要を図-3(a)に示す。

A ダムの堤高は 47.0m (天端幅 5.0m) で、ダム天端 (TD) から、設計洪水水位 (HWL)、サーチャージ水位 (SWL)、常時満水位 (NWL) までの標高差は、それぞれ 1.5m、4.0m、17.5m である。

また、地震係数は強震帯の 0.12 で、基礎岩盤における揚圧力係数は基礎排水孔地点で 1/5 としている。さらにコンクリートの単位体積重量は 23.5kN/m³ である。

図-3(a)に示すように、嵩上げ高 H を変化させ、HWL や SWL などの設計にかかわる貯水位については嵩上げ高分上昇させて設定している。

安定計算は最大断面の堤敷面 (I) と堤頂部の勾配折点面 (II) を対象に実施した。なお、II 断面の安定解析にあたっては、揚圧力を考慮しない場合と上流端で 1/3 の揚圧力係数を考慮する場合の二通りで解析している。また、せん断安全率を計算する場合のせん断強度は I 断面形状のアバットメント部断面が存在すること、安定計算上安全側の対応となることなど考慮し、せん断強度 1200kN/m²、内部摩擦角 40° とした。

(2) 堤高 100m モデル (B ダムモデル)

解析モデルの概要を図-3(b)に示す。

B ダムの堤高は 110.6m (天端幅 8.0m) で、ダム天端 (TD) から、設計洪水水位 (HWL)、サーチャージ水位 (SWL)、常時満水位 (NWL) までの標高差は、それぞれ 2.2m、5.1m、4.6m である。

また、地震係数は中震帯の 0.12 で、基礎岩盤における揚圧力係数は基礎排水孔地点で 1/5 としている。さらに、コンクリートの単位体積重量は 23.0kN/m³ で、せん断強度 1960kN/m²、内部摩擦角 45° とした。

その他の解析条件は、A ダムモデルの場合と同じである。

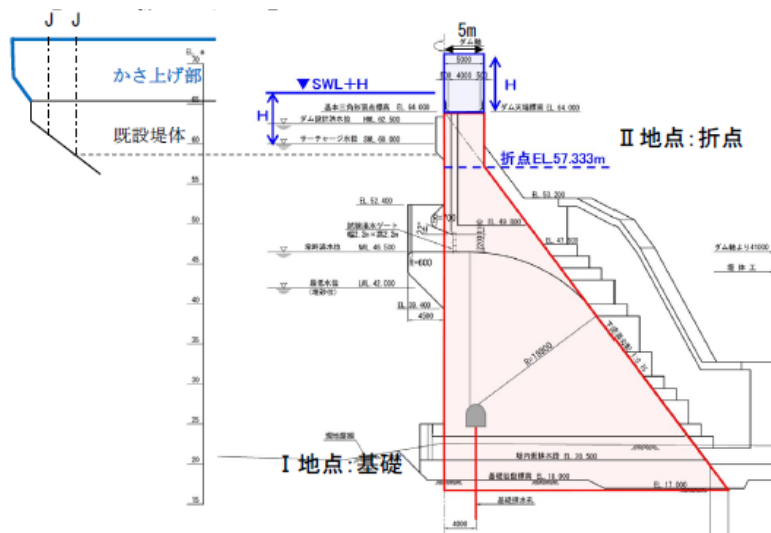


図-3(a) Aダムモデル（堤高50m級モデル）

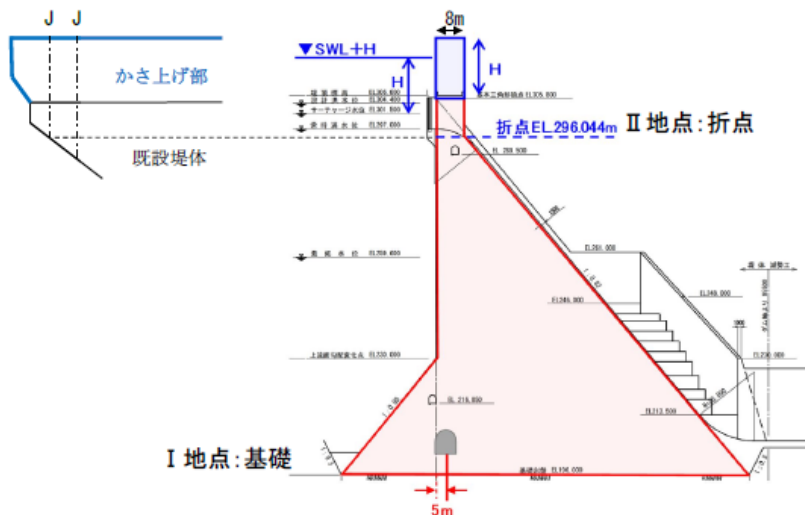


図-3(b) Bダムモデル（堤高100m級モデル）

3.3 解析結果

解析結果として得られた嵩上げ高Hと、I、II断面の上流端応力とせん断安全率の関係について整理したものを、AモデルおよびBモデルについてそれぞれ図-4と図-5に示す。

なお、以降のII断面の結果の考察にあたっては揚圧力を作用させた結果を採用する。

まず、堤高50m級のAモデルダムの解析結果である図-4については、個別ダムにおける安定計算上の余裕が、岩盤状況、堤体の規模、形状などによっても異なるため厳密な議論は難しいが、上流端応力について、I断面(HWL、SWLともに)およびII断面(HWL、揚圧力考慮)において嵩上げ高1.5m程度以上になると上流端応力が引張に転じることがわかる。一方、

せん断安全率に関してI断面はかなりの余裕があり、本来設計時においてそれほど大きな安全率の余裕がないII断面においても、上記の1.5m程度の嵩上げでは所要安全率の4.0を下回ることがないことがわかる。

また、堤高100m級のBモデルダムの解析結果である図-5については、Aダムモデルと同様の課題はあるが、上流端応力については、II断面(HWL、揚圧力考慮)の条件が最も厳しく、嵩上げ高2.0m程度以上になると上流端応力が引張に転じることがわかる。一方、せん断安全率については、Aモデルダムと同様の傾向である。

以上より、かなり限定された条件下での検討ではあるが、単純小規模嵩上げに関して、堤頂部の折点

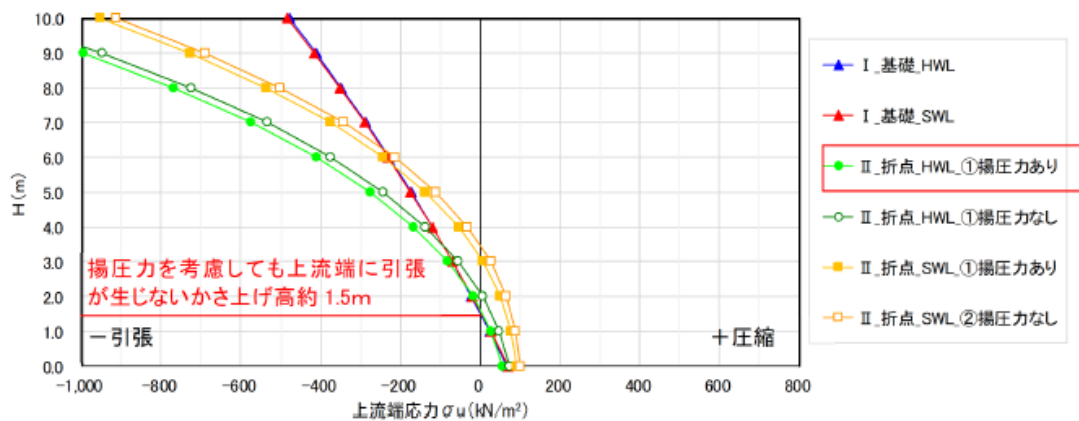
面における上流端応力が安全性上のクリティカルとなり、表-2に示すような嵩上げ高限界があることがわかる。

この限界嵩上げ高の規模は、既往の単純小規模嵩上げ規模の最大規模事例2.0m（氷川ダム）に近い

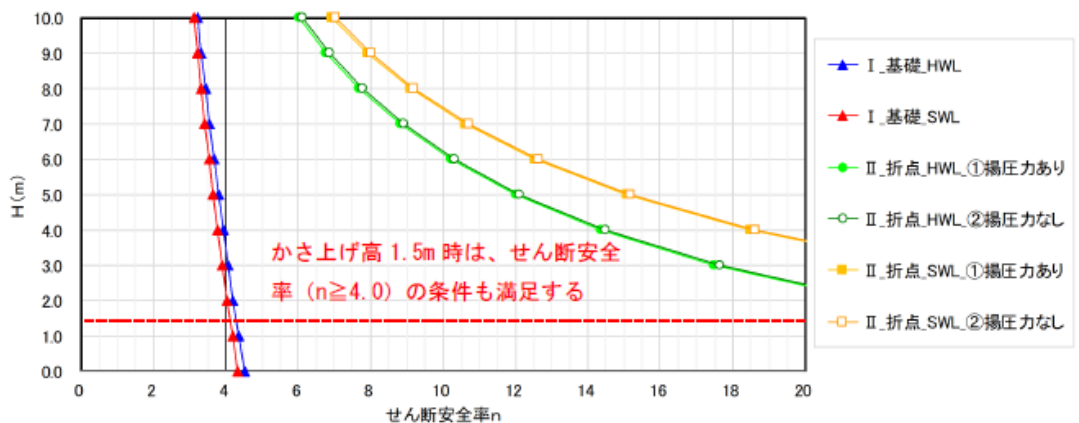
値になっていることがわかる。また、2モデルによる限界嵩上げ高さの差は大きなものではないが、この差が天端幅の違いによっているのか、天端から各種設計水位との標高差によっているのかは明確にはわからない。

表-2 モデルダムを用いた限界嵩上げ高さの検討結果

堤高 (m) 【モデル】	天端幅 (m)	限界嵩上げ高 (m)
47.0 【A ダムモデル】	5.0	1.5m 程度
110.6m 【B ダムモデル】	8.0	2.0m 程度

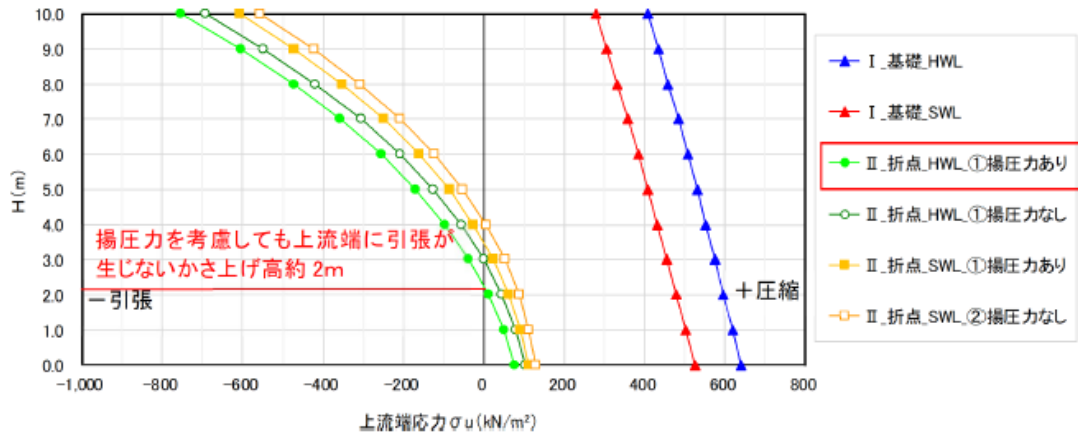


(a) 嵩上げ高さ と 上流端応力 と の 関 係

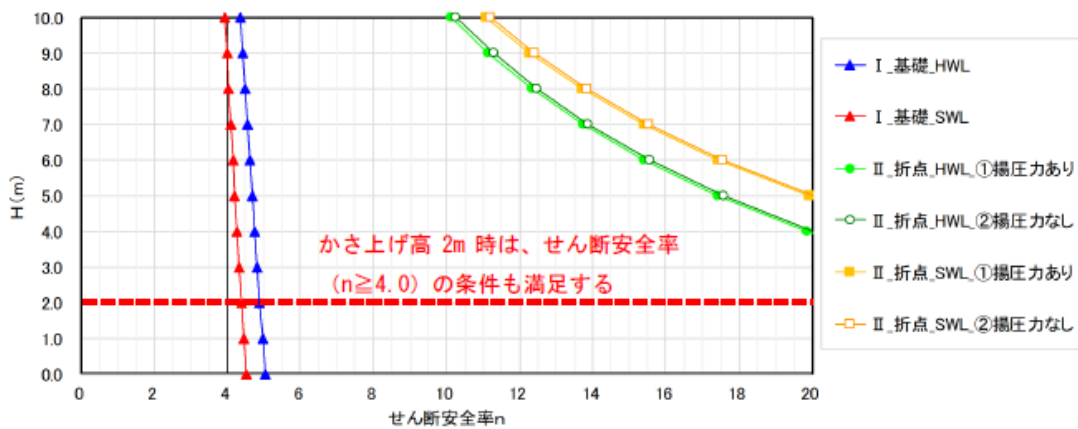


(b) 嵩上げ高さ と せん断安全率 の 関 係

図-4 Aモデルダム（堤高50m級モデル）に対する検討結果



(a) 嵩上げ高さと上流端応力との関係



(b) 嵩上げ高さとせん断安全率の関係

図-5 Bモデルダム（堤高 100m 級モデル）に対する検討結果

4. 堤頂部モデルを用いた詳細検討

4.1 概要と検討条件

3章では、堤高 50m 級と 100m 級の実ダムをモデルとして、単純小規模嵩上げの限界高さについて検討した。その結果、単純小規模嵩上げに関して、堤頂部の折点面における上流端応力が安全性上のクリティカルとなることがわかった。一方で、限界嵩上げ高の違いが天端幅の違いによるのか、天端からの各種設計水位との標高差によっているのかは明確にすることはできなかった。そこで、本章では、堤頂部のみを抽出したモデルダムについて、「ゲート有りダム」と「ゲート無しダム」を想定し、両者には「構造令」に基づく非越流部高さの算定方法に+0.5mの違いがあることに着目して、それぞれ天端幅を変えて単純かさ上げした場合の安定計算を行い、上流端に引張が生じない限界嵩上げ高を検討した。計算断面は、3章の検討結果を踏まえ堤頂折点面とした。

4.2 解析モデルと解析条件

解析モデルとして、図-6に示す、ゲートなしダムの「タイプA」とゲートありダムの「タイプB」を設定した。また、設計水位条件をそれぞれのモデルに対して(HWL=TD-1.0m, SWL=TD-4.0m)、(HWL=TD-1.5m, SWL=TD-4.5m)とした。

また、図-6に示すように、下流面勾配は1:0.8としたうえで、天端幅を4m、6m、8mと変化させた。なお、近年の重力式コンクリートダムの天端幅は、5.0~11.5mとなっているが、その中で8.0mの幅は規模の大きなダムにおいても採用されている比較的広い幅であるといえる。

また、地震係数は0.12とし、揚圧力係数は上流端で1/3としている。さらに、コンクリートの単位体積重量は23.0kN/m³である。

4.3 解析結果

解析結果として、両タイプモデルの嵩上げ高Hと上流端応力の関係を整理したものを図-7と図-8に示す。

これらの図から、全ケースについてHWLの方がSWLよりも上流端応力の条件が厳しいことがわかる。これらの解析結果から得られた限界嵩上げ高は表-3に示すとおりである。

以上の結果より、天端幅が広いほど、また天端から各設計水位までの標高差が大きいほど限界嵩上げ高が高くなる。しかし、その規模は最大でも2m強であることがわかる。このことは、3章で行ったモデルダムによる検討結果とも概ね整合することがわかる。

表-3 堤顶部モデルを用いた限界嵩上げ高の検討結果

タイプ	天端幅 (m)	限界嵩上げ高 (m)
A (HWL=TD-x (m)) x=1.0m <各水位 : B+0.5m>	4	1.0
	6	1.3
	8	1.7
B (HWL=TD-x (m)) x=1.5m	4	1.8
	6	2.2
	8	2.4

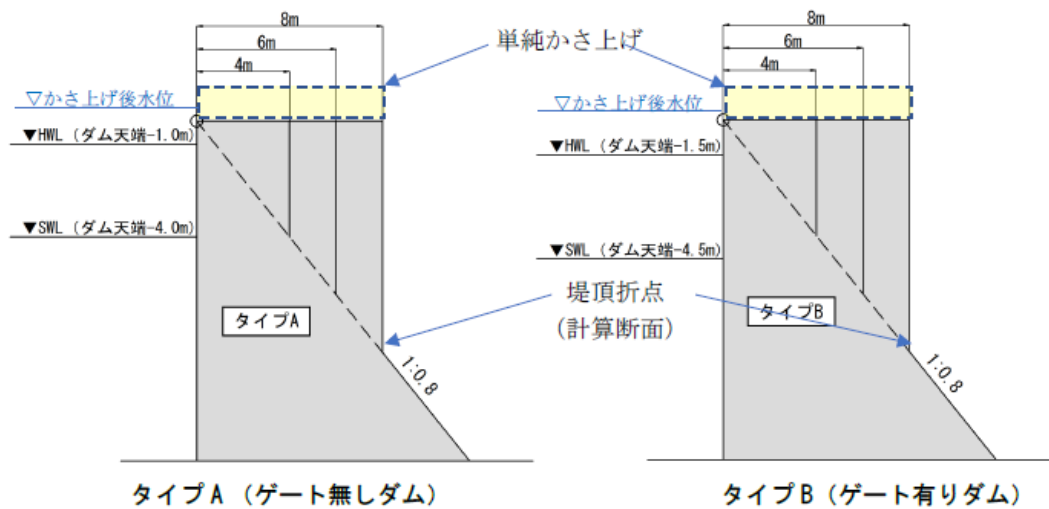


図-6 頂部モデル

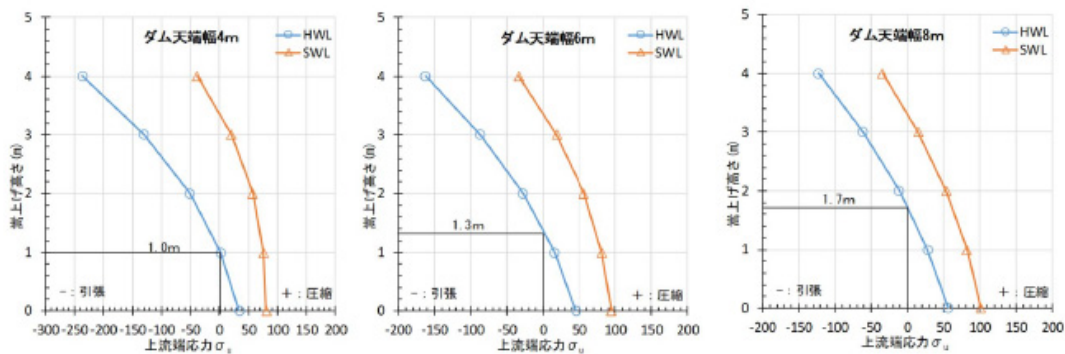


図-7 ゲートなしダム (タイプ A) の検討結果 (嵩上げ高と上流端応力の関係)

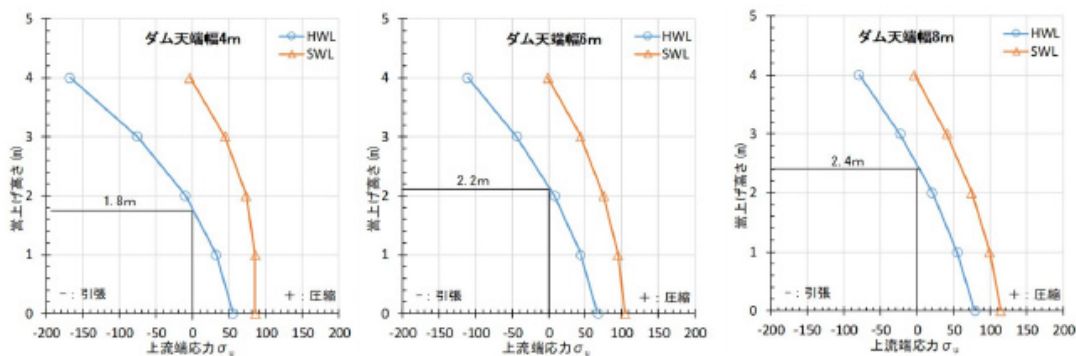


図-8 ゲートありダム（タイプB）の検討結果（嵩上げ高と上流端応力の関係）

5. まとめ

本調査研究においては、重力式コンクリートダムの単純小規模嵩上げを対象とした構造安定性の観点からの基礎的検討として、現行のダムの設計基準である構造令に準拠した安定計算を行い、限界嵩上げ高について検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 堤高 50m 級と 100m 級の実ダムモデル（それぞれ A ダムモデル（堤頂幅 5.0m）、B ダムモデル（堤頂幅 8.0m））を用いた検討の結果、堤頂部の勾配折点面（断面Ⅱ）における上流端応力の条件がクリティカルとなること、限界嵩上げ高がそれぞれ 1.5m 程度、2.0m 程度となった。これらの限界嵩上げ高は、既往の単純小規模嵩上げの最大規模事例 2.0m（氷川ダム）に近い値になっている。
- (2) さらに詳細な検討を進めるため、堤頂部のみを抽出したモデルダムについて、「ゲート有りダム」と「ゲート無しダム」を想定（「構造令」に基づく非越流部高さの算定方法に+0.5m の違いがある）して、それぞれ天端幅を 4.0、6.0、8.0m と変えて単純かさ上げにおける限界嵩上げ高を検討した結果、天端幅が広いほど、また天端から各設計水位までの標高差が大きいほど限界嵩上げ高が高くなるが、その規模は最大でも 2m 強であることがわかった。

以上の検討結果は、ダムごとの設計条件には若干の差異があることまで考慮したうえで得られたものではないが、構造令に基づく安定性を満足することを前提とすると、重力式コンクリートダムの単純小

規模嵩上げの限界は 2m 程度と見込まれることがわかった。今後、重力式コンクリートダムの単純小規模嵩上げの予備的検討を行う場合に有効な情報になると考える。また、安定性検討のクリティカルとなった堤頂部の勾配折点面は、「大規模地震に対する耐震性能照査」³⁾においても、堤体の応答により堤頂部付近では地震動が大きく増幅され、勾配変化点においては応力が集中しやすいことなどから、耐震性能照査上のクリティカルとなる可能性も高いため単純小規模嵩上げを検討する場合には注意が必要である。

【謝辞】

本報告の検討内容は、「令和元年度 大規模構造物の再生技術に関する検討業務」（国土交通省中国地方整備局）における検討内容の一部を編集・構成したものである。検討結果の公表についてご承認いただいた発注者には心より御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：ダム再生ビジョン、平成 29 年 6 月。
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：ダム再生ガイドライン、平成 30 年 3 月。
- 3) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説、平成 17 年 3 月。