

佐幌ダム再生事業 —非常用洪水吐き切削形状について—

北海道帯広建設管理部 事業室事業課 ○藤原 拓海

佐幌ダム再生事業は、堤高46.6m、総貯水容量1,040万 m^3 の既設ダムを2.9m嵩上げし、堤高49.5mにすることで、総貯水容量1,200万 m^3 を確保し、洪水調節能力を増強する事業である。

非常用洪水吐き越流部の嵩上げコンクリート施工にあたり、安定性確保・ひび割れ防止等検討のため応力解析を実施し、既設越流部の切削形状を決定した。

キーワード：ダム再生事業、非常用洪水吐き、切削形状、応力解析

1. はじめに

佐幌ダムは、一級河川十勝川水系佐幌川の北海道上川郡新得町に建設された洪水調節を目的とした治水専用ダムである。昭和42年から予備調査、昭和45年に実施計画調査、昭和52年にダム本体工事着手した。ダムは高さ46.6m、堤頂長255m、総貯水容量10,400千 m^3 （内洪水調節容量）8,000千 m^3 ）の重力式コンクリートダムとして昭和59年に竣工した。

昭和48年、昭和54年に発生したオイルショックを契機に、代替エネルギー確保を目的とした管理用発電を備えている。

また、建設費の国庫補助を受ける地方自治体管理のダムとしては、全国で初となるダム湖活用促進（レイクリゾート）事業を実施しており、ダム湖周辺でキャンプ場やカヌー乗り場などの親水レクリエーション施設が整備されている。

完成から40年が経過するが、現在までに堰堤改良事業等を実施しながら適切な管理を続けている。

2. 佐幌ダムの概要

佐幌ダムの位置を図-1に、諸元を表-1に、ダムの全景写真を写真-1に示す。



図-1 ダムの位置

FUJIWARA Takumi

表-1 既設ダムの諸元

ダム諸元	型式	重力式コンクリート	放流設備	非常用洪水吐	自由越流型 2.00mX13.50m～6門
	堤高	46.6 m		常用洪水吐	自由越流型 2.50mX4.00m～1門
	堤頂長	255 m		非常用放流設備	ジェットフローゲート φ800mm
	堤体積	199,300 m^3		調節方式	自然調節
貯水地諸元	非越流部標高	297.60 m	計画概要	治水安全度	1/50
	集水面積	78.0 km^2		計画高水流量	450 m^3/s → 85 m^3/s
	湛水面積	0.64 km^2		設計洪水流量	650 m^3/s
	総貯水容量	10,400,000 m^3		最大使用水量	3.50 m^3/s
	有効貯水容量	8,000,000 m^3		最大出力	320 kW
	洪水調節容量	8,000,000 m^3		年間発生電力量	1,943 MWh/年
	サーチャージ水位	294.50 m		R4実績発電量（余剰電力量）	1,693 MWh/年 (1,582 MWh/年)



写真-1 ダムの全景

3. 佐幌ダム再生事業

(1) ダム再生事業の契機

平成28年（2016年）8月、北海道に3つの台風が相次いで上陸し記録的な大雨をもたらした。加えて8月29日には台風10号が接近し北海道では暖かく湿った空気の流れによって雨が続いた。この大雨の影響で、多くの河川が氾濫し、十勝地方では住宅の床上・床下浸水が多数発生、JR橋の流出、国道・道道は通行止めとなった。浸水面積

50ha以上、浸水家屋数は100戸以上に及んだ。（写真-2）

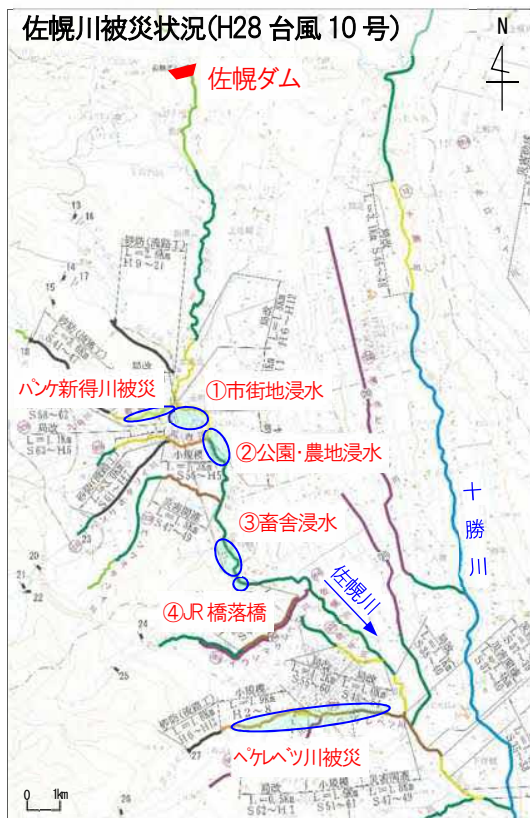


写真-2 佐幌川周辺被災状況

台風10号がもたらした豪雨では現行計画の確率規模1/50を超える被災流量が確認された。このことから、佐幌ダムでは計画規模を1/100として設定し、堤体嵩上げにより有効貯水容量を2割増やす佐幌ダム再生事業が計画された。

FUJIWARA Takumi

なお、佐幌ダム再生事業は平成29年に策定された「ダム再生ビジョン」を踏まえ、平成30年度より創設された「ダム再生計画策定事業」を活用し、十勝川右岸圏域河川整備計画を変更し、佐幌ダムを新たに優先整備施設として位置づけた。本事業はダム再生ビジョン策定後、補助ダムとして初めて事業採択され実施計画調査に着手、令和4年度から建設段階に移行した。

(2) ダム再生事業の概要

再生事業案として、下流軸新設案や堆砂容量を洪水調節容量に振り替える案なども検討したが、運用中のダムであることを踏まえ、経済性や施工性を比較した結果同軸嵩上げ案を採用した。

治水容量は平成28年の降雨波形で流出解析し増強量を決定した。新たに洪水調節容量1,600千 m^3 追加することで貯水位の高さが2.0m、その他の付加高を見直し0.9m、全体で2.9mの嵩上げを実施し、堤高49.5m、総貯水容量12,000千 m^3 となる。

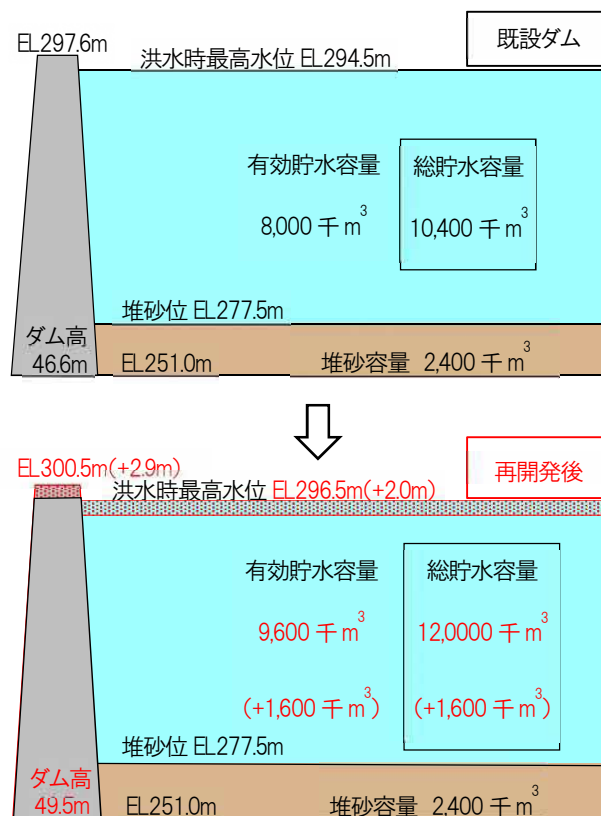


図-2 佐幌ダム再生事業概念図

4. 非常用洪水吐き切削形状

(1) 越流部嵩上げの施工事例調査

越流部の嵩上げ形状においては、嵩上げに関する設計基準がないことから、全国の直轄ダム・補助ダムの設計・施工方法について照会をかけて事例収集を行った。

収集した11ダムの内5ダムで階段状の段切り形状、3ダムで段切りを設けない形状（以降、クレスト形状という）、残り3ダムがその他の形状であった。

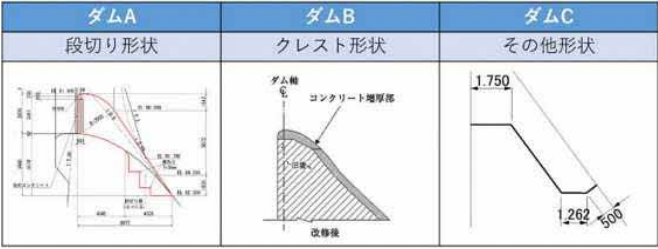


図-3 他ダム事例

切削後の新コンクリート最小部材厚は1.0m～2.0m程度で、類似先行事例を参考としているダムが多数であった。設計・施工上で留意している点として、新旧コンクリートの一体化のため差し筋やひび割れ防止筋を設置する事例が多く、施工後ひび割れが発生していないとの回答が多く見られた。

(2) 検討方針・断面の設定

事例が多い段切り形状とクレスト形状に対して、検討断面を設定したのち、応力変形解析及び温度応力解析を実施し発生応力に対する安全性を確認した。越流部先行事例の調査結果を踏まえ、佐幌ダムと同規模のダムを参考に抽出し整理した結果、各ダムの平均値である最小コンクリート厚1.2m以上、段切り最下段の水平幅1.7m以上となるよう設定した。（図-4）

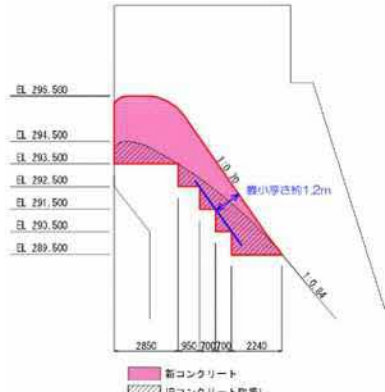


図-4 越流部切削形状案

(3) 嵩上げに対する応力変形解析

設定した形状について新コンクリートの安定性の確認を目的に応力解析を実施した。応力解析条件については、工事誌等に記載のある品質管理データやコンクリート標準示方書などから選定した。

表-2 応力解析条件

項 目		単位	採用値	採用根拠	
物 性 値	旧堤体 コンクリート	単位体積重量	kN/m ³	23.25	コンクリートの品質管理データ
		ポアソン比	—	0.20	一般値 (コンクリート標準示方書)
		弾性係数	N/mm ²	28,000	推定式より
	新堤体 コンクリート	単位体積重量	kN/m ³	24.50	鉄筋コンクリートの一般値 (河川砂防技術基準 設計編〔Ⅰ〕)
		ポアソン比	—	0.20	一般値 (コンクリート標準示方書)
		弾性係数	N/mm ²	25,000	一般値 (河川砂防技術基準 設計編〔Ⅰ〕)
	岩盤	単位体積重量	kN/m ³	26.39	室内岩石試験の平均値
		ポアソン比	—	0.30	一般値 (コンクリート標準示方書)
		弾性係数	N/mm ²	19,000	弾性波測定速度の換算式より (佐幌ダム工事誌より)

応力解析は設定した段切り形状に加え、参考比較としてクレスト形状も二次元FEMにより実施した。なお、クレスト形状モデルは階段の凹部（コンクリート表面から深い方の隅角部）を結び作成した。モデル底面（岩盤底面）のX,Y軸方向の2自由度およびモデル側面（岩盤側面）のX軸方向の1自由度を拘束し、静水圧は常時満水位（NWL277.5m）とし、26.5mの水深を条件とした。また、地震時慣性力と動水圧は、設計水平震度0.12として载荷した。（図-5）

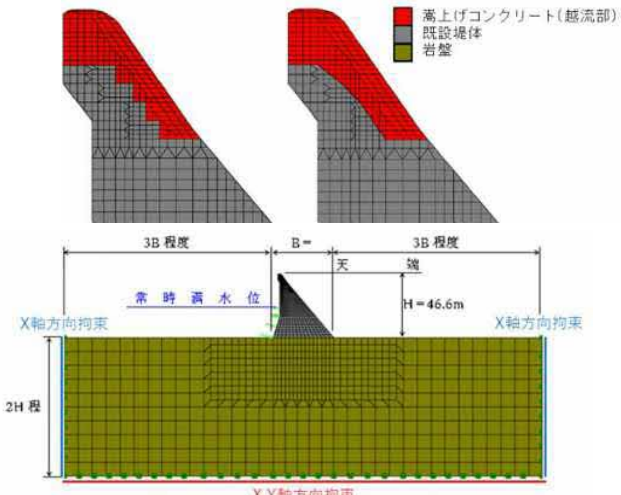


図-5 解析条件モデル

各解析時点で得られる応力を初期条件として付加し、次の時点の解析を行っていく「ステップ解析」として行った。ケースⅠの解析結果を図-6～図-10に示す。

- ① 既設形状+自重のみ（図-6）
- ② 既設形状+静水圧のみ（図-7）
- ③ 切削形状+自重+静水圧（図-8）
- ④ 嵩上げ形状+自重+静水圧（図-9）
- ⑤ 嵩上げ形状+自重+静水圧+動水圧+地震時慣性力（下方）（図-10）

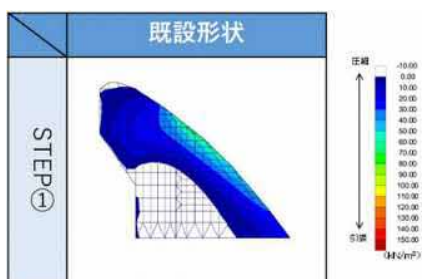


図-6 ステップ①解析結果

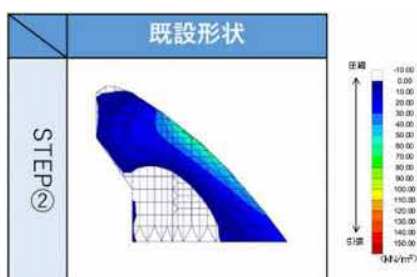


図-7 ステップ②解析結果

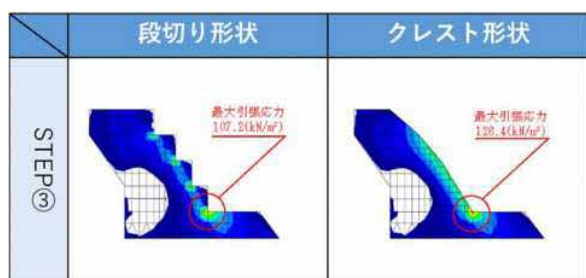


図-8 ステップ③解析結果

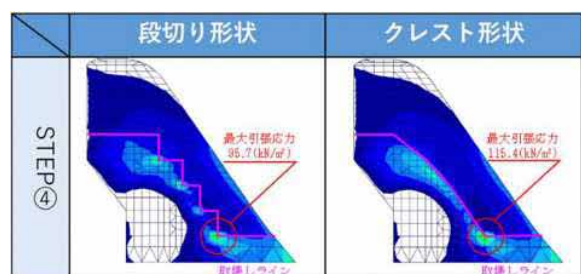


図-9 ステップ④解析結果

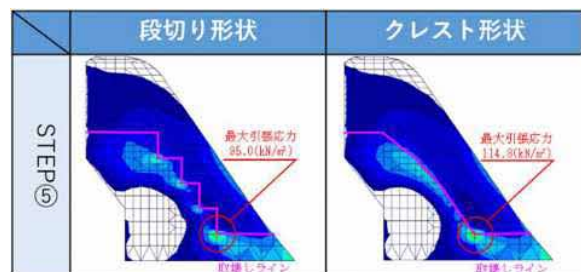


図-10 ステップ⑤解析結果

ステップ③において最も大きな引張応力が発生したが、その値は段切り形状で 0.11N/mm^2 、クレスト形状で 0.13N/mm^2 であり既設コンクリートの圧縮強度と比較し引張強度に対し十分に小さいことから安定上問題となるこ

とはないと考えられる。

なお、佐幌ダムの越流部は上流側に張り出す形状となっており、ステップ③時には一時的に肉薄な形状となる。参考として切削完了時に地震力を与えた場合についても検証した。

ケースⅡ：切削形状＋自重＋静水圧＋動水圧＋地震時慣性力（下流向き）

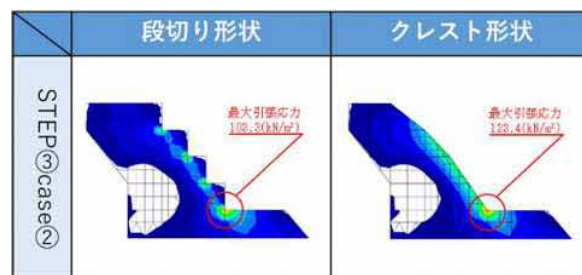


図-11 ステップ③ケースⅡ解析結果

ケースⅢ：切削形状＋自重＋静水圧＋地震時慣性力（上流向き）

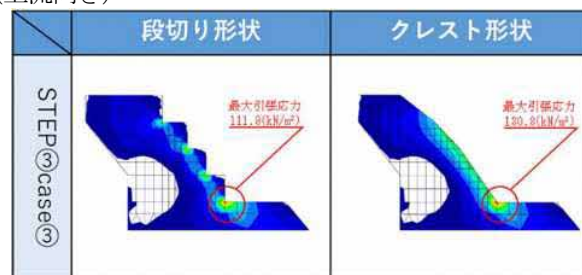


図-12 ステップ③ケースⅢ解析結果

ケースⅢの上流向きに地震慣性力が作用した場合において最も大きな引張応力が発生した。その値でも既設堤体コンクリートの引張強度に対し、十分に小さいことから堤体の安定上問題になることはないと考えられる。

切削形状の違いによる応力解析上の大きな差は認められないが段切り形状の方がクレスト形状より有利な結果となった。

(4) 温度応力解析

既設越流部切削後の新越流部構築にあたり、コンクリートの温度応力の影響を確認するため三次元FEMによる温度解析を実施した。

評価方法として、コンクリート標準示方書〔設計編〕(2017) を参考にひび割れ指数を用いた。

表-3 ひび割れ発生確率と安全係数の参考値

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_s
ひび割れを防止したい場合	5 (%)	1.85 以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15 (%)	1.40 以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50 (%)	1.0 以上

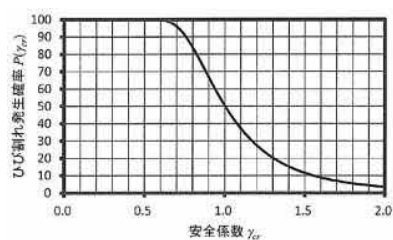


図-13 安全係数とひび割れ発生確率

解析断面は天端橋梁の橋脚を含む越流部断面と非越流部断面の2箇所を対象とした。なお、本解析における着目箇所は越流部の嵩上げコンクリートまたはその周辺部であり堤体断面全体における一部であり比較的小規模である。

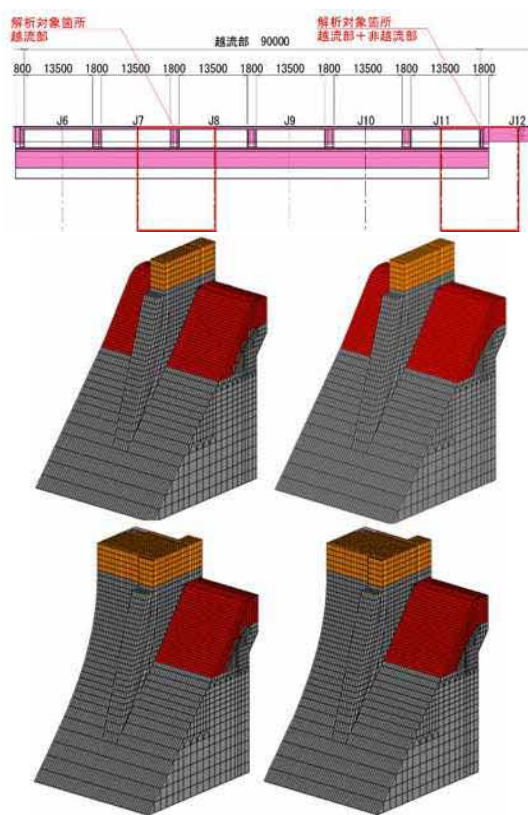


図-14 温度応力解析モデル

佐幌ダムは常時満水位が低いため、当該着目箇所との標高差があり貯水池の水温は影響しないものとした。

a) 旧堤体との接合部付近の温度応力解析

全ケースともに橋脚や非越流部との接合部付近、越流部旧堤体との接合部付近において旧コンクリートの拘束を受け引張応力が発生する。

ひび割れ指数は、橋脚を含む越流ブロックでは最小1.2程度、非越流部を含むブロックでは最小1.0程度と非越流部堤体との接合付近の方が温度応力上やや厳しい結果であった。ただし、これらの範囲は局所的であった。なお、切削形状の違いによる温度応力上の差はほとんど

認められない。

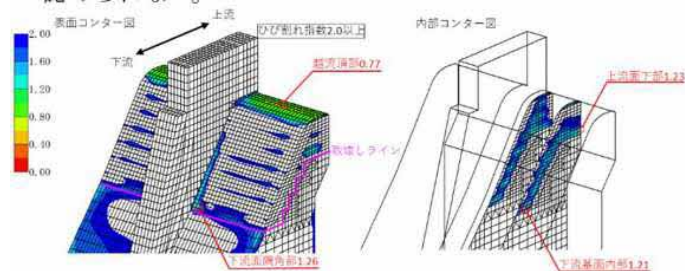


図-15 越流部解析結果（段切り形状）

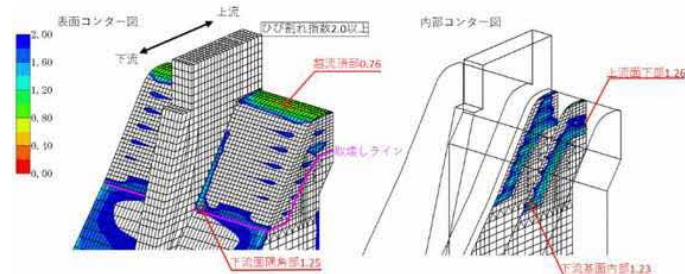


図-16 越流部解析結果（クレスト形状）

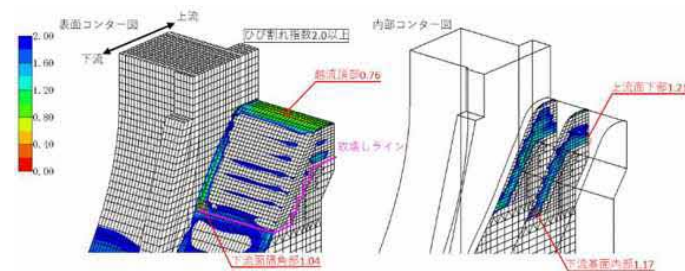


図-17 越流部+非越流部解析結果（段切り形状）

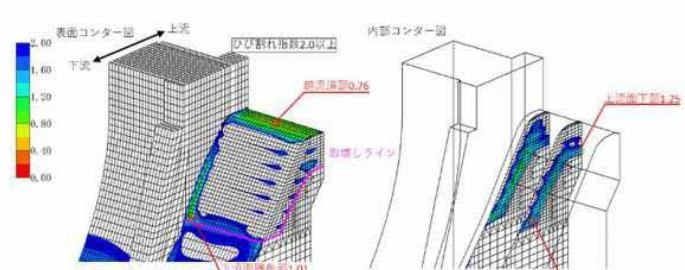


図-18 越流部+非越流部解析結果（クレスト形状）

b) 越流部頂部の温度応力解析結果

越流部頂部でひび割れ指数が低くなる傾向が見られるが、履歴図（図-19～22）赤線で示すように、ひび割れ指数が低下するのは打設直後の1～2日でその後は全く問題がないことがわかる。このような打設直後のコンクリート表面付近における温度応力発生は、コンクリート断面内における内部の水和熱における温度上昇と表面の熱放散による冷却と温度勾配によって起こる。このような短期的な温度応力問題は、一般に、ひび割れ震度がコンクリート表面の数cm程度と浅く、構造的に問題となるようなひび割れとなることは少ないと考えられる。

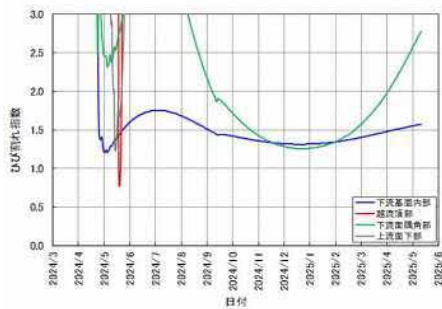


図-19 越流部履歴図（段切り形状）

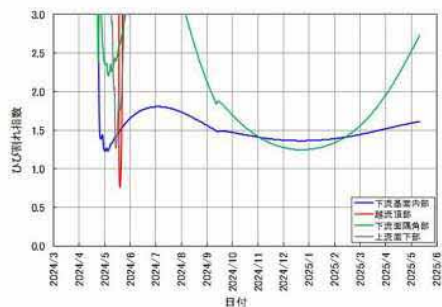


図-20 越流部履歴図（クレスト形状）

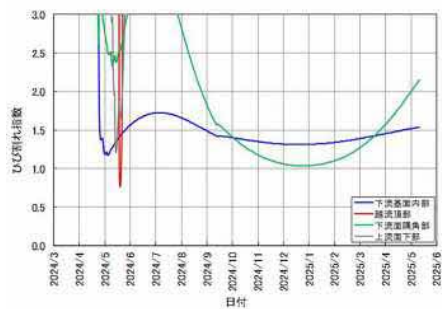


図-21 越流部+非越流部履歴図（段切り形状）

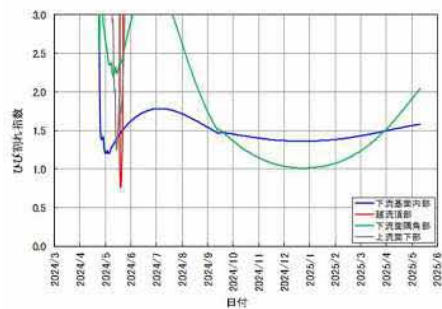


図-22 越流部+非越流部履歴図（クレスト形状）

c) 越流部嵩上げに対する温度応力上の評価

本解析は鉄筋を考慮しておらず、ひび割れ指数は引張応力に対する材齢に応じたコンクリートの引張強度で評価した。

ひび割れ防止鉄筋の配置や打設間隔やリフト高の工夫により、ひび割れ抑制は可能と考えられ、温度応力上の大きな問題はないと考えられる。ただし、気温の日変化が大きくなる秋口から冬期には断熱マット等による確実な越冬養生を行うとともに、打設後初期の乾燥収縮による微細ひび割れに誘発された温度ひび割れの発生を防止するため、散水養生等も十分に行うように留意する必要があると考える。

5. まとめ

各応力解析とも堤体の安定性に問題がある結果とはならなかった。切削形状の違いによる応力解析上の大きな差が認められなかったため、解析上有利であった段切り形状とした。

また、洪水時の越流面という特性上、洪水流下の影響で微細なひび割れがより大きな損傷に進展することから、ひび割れ防止鉄筋の配置をし、佐幌ダムの越流部切削形状は図-23に示すとおりとした。

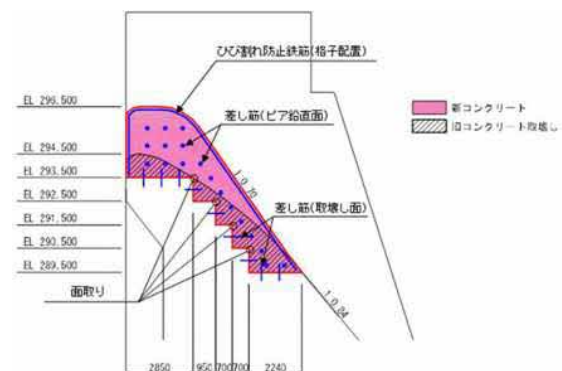


図-23 佐幌ダムの越流部切削形状

現在、佐幌ダムではこの検討結果を踏まえ、詳細な打設計画や越冬養生等を検討し、ダム本体工事着手に向け施工計画立案業務を進めている。

謝辞： 本検討にあたり、事例や資料の提供等ご協力いただいた北海道開発局、各地方整備局、自治体ならびに、指導助言をいただいた（一財）ダム技術センターにこの場を借りて御礼申し上げます。