

ダム再開発事業における転流工 呑口部の構造について

吉川敦師¹・林日向²

^{1,2}新丸山ダム工事事務所（〒505-0301岐阜県加茂郡八百津町八百津3351）

新丸山ダム建設事業は、木曽川本川中流部に位置する（既設）丸山ダムの下流47.5mの位置に、20.2m嵩上げして機能アップを図る再開発事業である。

木曽川のような大河川で、既設ダムの機能を維持しながら実施する大規模なダムの嵩上げ工事は、国内では前例がなく、設計や施工方法など技術的に先駆的なダム建設といえる。

新丸山ダムの転流工は、現丸山ダムの機能を保持するため、ゲートを有する構造となっており、施工に際しても貯水位の影響を受けるため、呑口部施工時の仮締切法について紹介するものである。

キーワード：岩盤性状と透水性、立坑NATM方式

1. はじめに

(1) 新丸山ダムの概要

新丸山ダムは、木曽川の河口より約90 km 上流にある既設の丸山ダムの下流側47.5mの地点に既設の丸山ダムを20.2mかさ上げする再開発事業である。

○新丸山ダムの諸元

河川名：木曽川水系木曽川

位置：左岸：岐阜県可児郡御嵩町小和沢

右岸：岐阜県加茂郡八百津町八百津

集水面積：2,409Km²

湛水面積：3.68Km²

型式：重力式コンクリートダム

堤高：127.2m

堤頂長：378m

堤体積：約1,025,000m³（減勢工含む。）

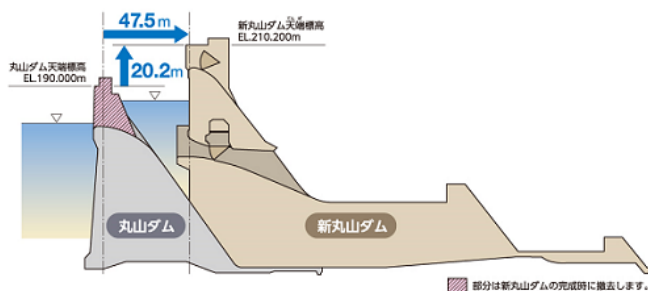


図-1 ダム側面図

○ダムの目的（多目的ダム）

- ①洪水調節
- ②流水の正常な機能の維持
- ③発電

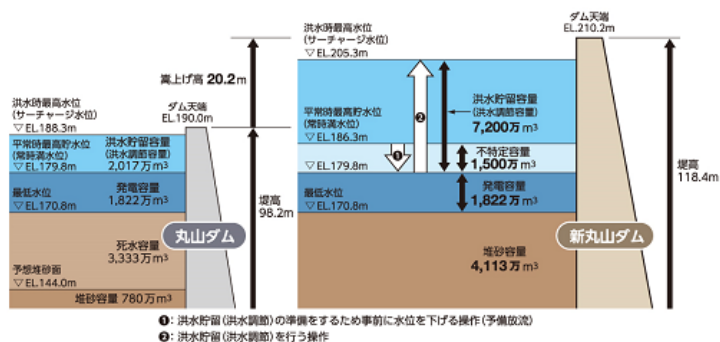


図-2 貯水池容量配分図

新丸山ダム全体の総貯水容量(1億3,500万m³)は、丸山ダムの約1.6倍、洪水調節容量(7,200万m³)は約3.6倍の量を確保する計画となっており、洪水調節容量を確保するために、不特定容量である1,500万m³を対象として「洪水貯留準備操作」方式を採用している。

(2) 事業の進捗

現在、新丸山ダムは早期のダム本体工事発注に向け、地質調査、堤体設計や施工計画及の検討及び転流工工事に着手している段階であり、今回はその工事において、施工中の安全確保を目的に、呑口部の構造検討及び仮締切工法を紹介するものである。

2. 新丸山ダム工事中の操作

転流工とは、ダム本体工事を安全・円滑に進めるため、洪水時の水を迂回させるための施設である。

新丸山ダムの転流工はダム左岸にあり、対象流量（ $Q=900\text{m}^3/\text{s}$ ）、トンネル構造（ $L=427\text{m}$ ）をしており、特徴として、丸山ダムを管理運用しながら行う再開発工事であるため、ゲート設備を有していることである。



図-3 転流工イメージ図

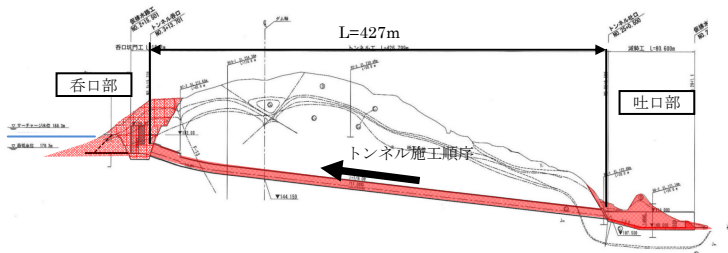


図-4 転流工断面図

丸山ダムには、常時満水位程度まで発電を目的とした水が貯まっており、本体工事中に降雨によりダムへの流入量が増加した場合は、転流工ゲートを操作しその後に丸山ダムのゲートを操作し洪水調節を行う。

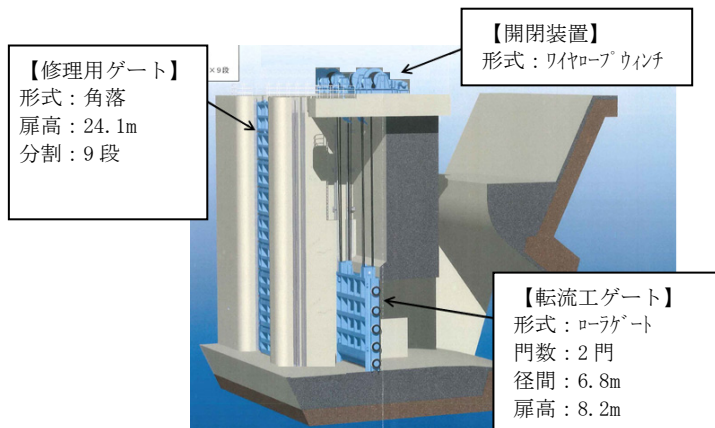


図-5 転流工ゲートイメージ図

3. ダムサイトの地質

(1) 地質の概要

ダムサイト周辺は、前期三畳紀の珪質粘土岩、三畳紀から前期ジュラ紀のチャート、前～中期ジュラ紀の珪質泥岩、中～後期ジュラ紀の混在岩等から構成されている。大局的には、左岸から河床部には混在岩、右岸には珪質粘土岩及びチャートが分布し、ほぼ東西走向で、南に 60° から 90° 傾斜を有して分布している。

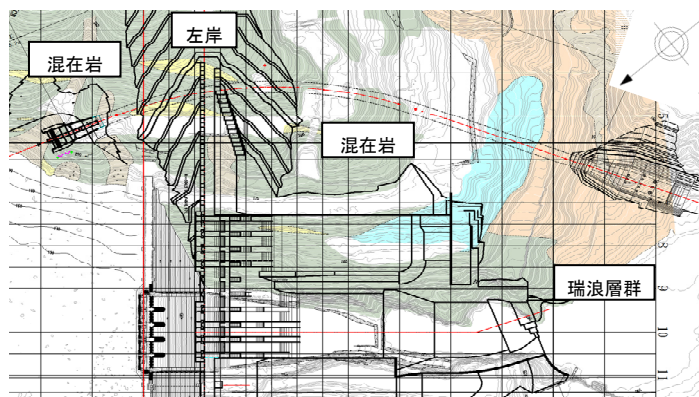


図-6 新丸山ダムサイトの地質平面図

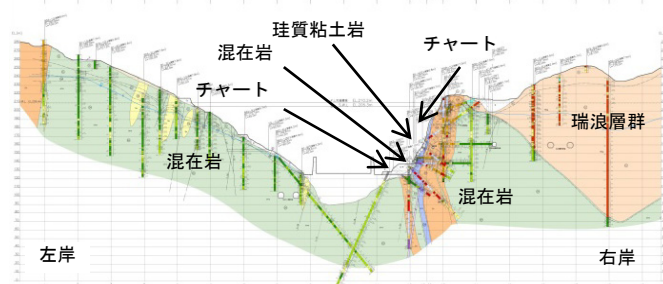


図-7 新丸山ダムサイトの地質断面図

(2) ダムサイト左岸における岩盤性状と透水性

新丸山ダムの地質ダムサイト左岸の高位標高部には、やや軟質化した泥質混在岩が分布し、砂岩がブロック状に分布している。両地質ともに流入粘土を伴う割れ目や開口気味の割れ目を伴うなど、岩盤の緩みの兆候を示している。

T55L-1 坑 35m 付近 下流壁 T1L-1 坑 20m 付近 上流壁

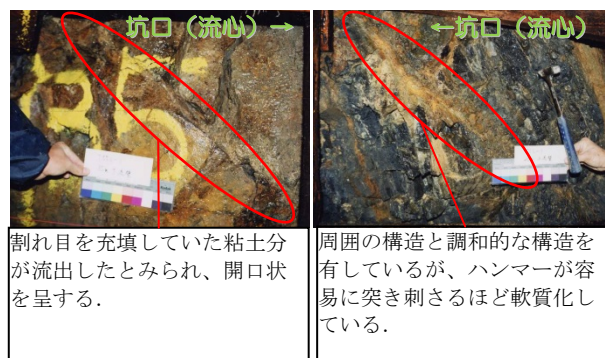


図-8 左岸の岩盤緩み状況

ダム本体の設計を進める中、有識者等で構成される「基本設計会議」において、左岸の高位標高部の地盤の緩みによる呑口部の法面安定性、仮締切工の漏水による床掘面の崩壊の危険性が指摘され、岩盤緩みの分布範囲と詳細な岩盤性状の把握が必要となり追加地質調査を実施した。

追加調査では、品質の高いボーリングコアの観察が必要であったため、高品質ボーリング工法を採用した。

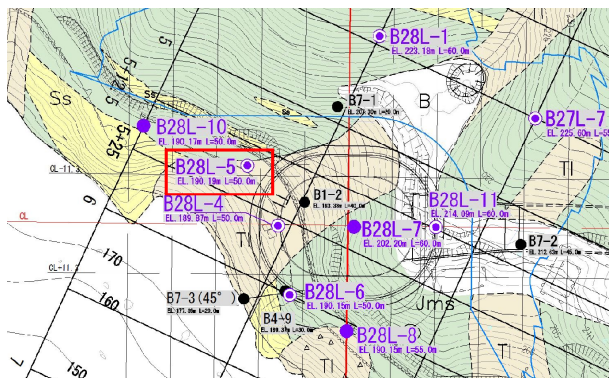


図-9 ボーリング位置図

ボーリング調査の結果、高透水性を示す岩盤は、表層のD 級やCL 級の分布範囲から、CM 級やCH 級の堅岩部まで及んでおり、これは、基盤岩中に発達する酸化した高角度割れ目や、やや開口气味の低角度割れ目に起因したものと考えられる。

呑口部（5+12.5 測線～6 測線付近）において、EL. 160m 付近より上位標高部の斜面部で20 ルジオン以上の高透水性を示しており、EL. 160m 付近を境に急速にルジオン値が良好となり概ね2～5 ルジオン程度以下の難透水性を示している。

高透水の要因は開口割れ目の存在によるもので、表層部に近い領域では、岩盤中の割れ目は酸化、流入粘土を挟在し開口している。

なお、呑口部周辺の地下水位分布は、貯水池の水位と連動しており、ほぼ一定の水位を示している。

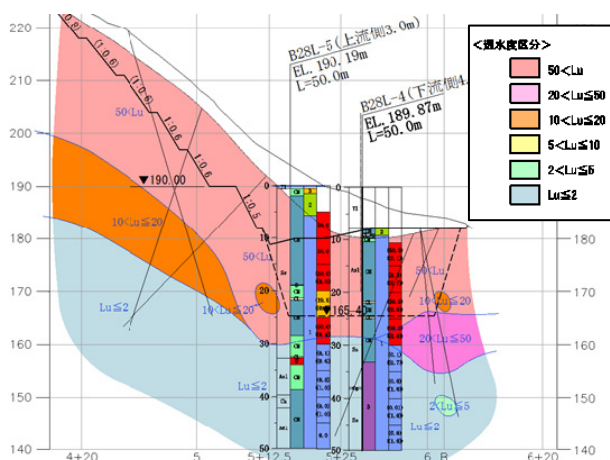


図-10 B28L-5ルジオンマップ

4. 呑口部の構造

(1) 地山仮締切工法（当初）

呑口部の構造は、丸山ダムの常時満水位 EL. 179.8mより掘り下げることから、地山岩盤を利用した仮締切工にカーテングラウチングを施工し止水する構造で計画されていた。

なお、ボーリング調査をH18年度に実施しているが、ルジオン試験は実施していない状況である。

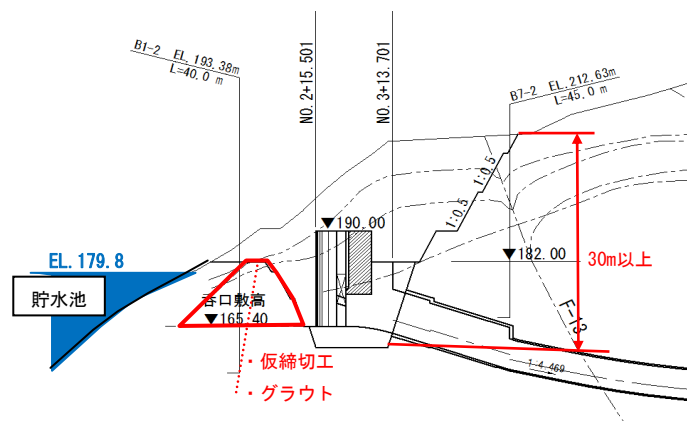


図-11 仮締切工概念図

地質調査の結果から、呑口部の構造について、施工中の安全確保を目的に、次の項目で再度検討を行う。

- ① 止水・水圧を受ける地山安定性の確保
 - ・50ルジオンと高透水であるため、カーテングラウチングを復列配置とし、難透水層（EL.150m）まで施工する必要がある。
 - ・カーテングラウチングで止水することにより、貯水池から止水ラインに水圧が作用して、地山の安定性が確保できない可能性がある。
- ② 掘削高30mに対する掘削勾配
 - ・掘削勾配がCH級岩盤（中硬岩）として、1:0.3で計画されているが、高透水性及び貯水池からの水圧を考慮する。

(2) 立坑NATM工法（変更）

施工中の安全性確保の観点から、他ダムの施工実績があり、カーテングラウチングを復列に見直すことにより止水出来、貯水池からの水圧及び施工ステップ毎の安定解析が出来る立坑NATM工法を選定した。

立坑NATM工法は、トンネルNATM工法の考え方を立坑に応用したものであり、鉛直に掘削する坑壁に吹付コンクリート及びロックボルトによって、安定を図るものである。

ただし、吹付コンクリートが機能するまで地山が自立することが条件であり堅硬な岩盤であることが条件である。

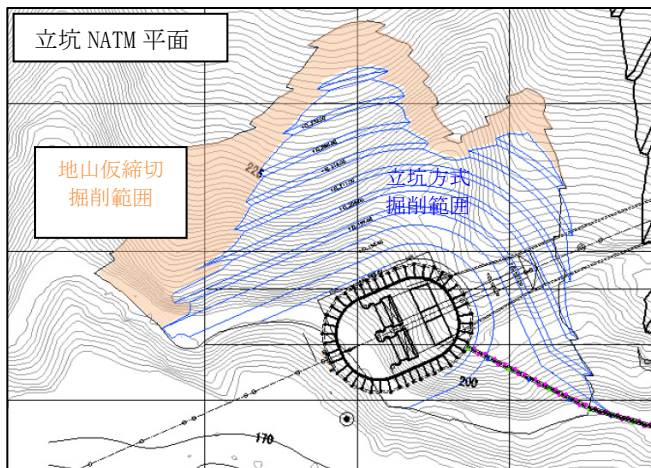


図-12 立坑NATM平面図

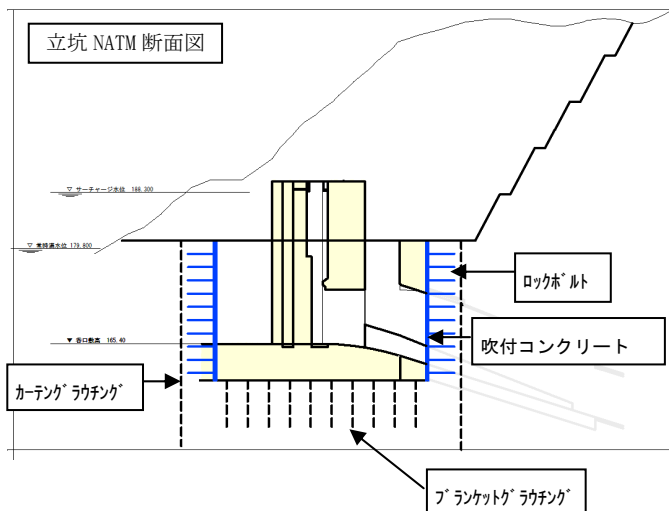


図-13立坑NATM断面図

(3) 立坑NATM工法（構造検討）

立坑掘削は、吹付コンクリート+ロックボルトにより坑壁を安定させながら掘進を行い、この時、丸山ダム貯水池からの水圧はグラウチングにより、立坑周辺の岩盤にかかることになる。

そのため、引張破壊、せん断破壊、立坑内面の引張応力について、F E M解析を実施し確認する。

○設計条件の整理

呑口部立坑は、幅=30m、23m、高さ=30.1mと大規模であり、貯水池にも近いことから岩盤の厚みも変化するため、二次元解析では正確な評価が出来ないため、三次元F E M解析による安定性評価を行い、立坑配置、施工順序、支保パターンを設計を実施する。なお、評価方法としては、①せん断破壊条件、②引張破壊条件の小さい値で安全率を算定して評価する。

- ① 施工時水位：常時満水位EL. 179.8m
- ② 地下水位：地質調査結果よりEL. 179.8m
- ③ 岩盤条件：CH級が主体であるが、安全側のCM級岩盤一様とする。

○検討フロー

(1) 1次検討（一様岩盤モデル）

岩盤を一様（CM級）とした三次元概略モデルで、施工段階を考慮した立坑の安定性について解析を行い、断面規模等を決定する。

立坑の平面位置、規模を決定

施工段階を考慮した応力状態の確認

(2) 2次検討（詳細地質モデル）

(1)を踏まえ、岩盤分布、断層分布、貯水池側の地形形状等を反映した詳細モデルによりF E M解析を行い、支保構造を決定する。

支保構造(ロックボルト、吹付コンクリート)を決定

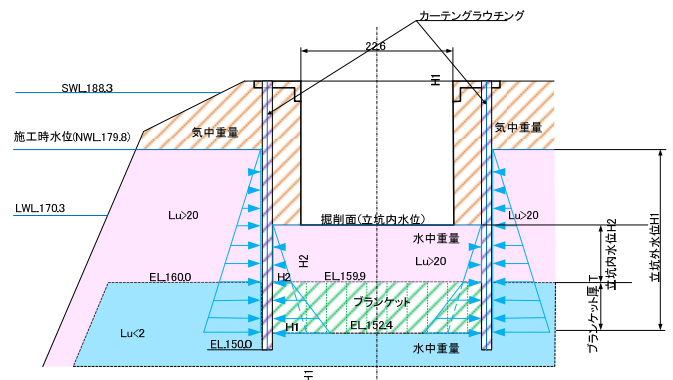


図-14 坑解析モデル模式図

○一次検討結果

立坑構造が成立することを確認するため、岩盤を一様（CM級）とした三次元FEM解析を行い、立坑の配置（岩盤の厚み）、規模について設定する。

解析は施工段階を考慮し、2.0mの掘進毎に応力状態を整理して立坑坑壁の安定性を確認する。

- ①最大引張応力は、最低基礎標高の掘削面で発生し、短軸方向で最大119.8kN/m²、長軸方向で最大97.2kN/m²であり、いずれも許容引張強度330kN/m²以下であり、安全率は3程度である。
- ②せん断に対する最小点安全率は山側の掘削面の隅角部に発生し、短軸方向で最小2.177、長軸方向で最小2.204である。

最小点安全率の目安は2.0以上であり、せん断に対しても所要の安全率を有している。

- ③立坑掘削時の岩盤の安定性は、引張・せん断に対して所要の安全率を有している。

しかし、不均質な岩盤、割れ目等の不連続面を考慮すると、吹付コンクリートとロックボルトは必要と考えられる。ロックボルトの長さは、せん

断応力の分布から立坑壁面から4m程度が必要である。

④立坑完成後のサーチャージ水位：EL. 188. 3mに
対しても安全率2. 0以上は確保されている。

表-1 一次検討計算結果

掘削面標高 H(EL.m)	短軸方向			長軸方向		
	σ max-短	τ max-短	Fs-短	σ max-長	τ max-長	Fs-長
	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
188.0	19.5	248.8	5.263	20.0	248.4	5.301
186.0	39.4	345.0	4.069	36.3	336.5	4.169
184.0	48.8	420.0	3.518	42.9	404.6	3.632
182.0	55.7	482.2	3.190	47.8	463.6	3.294
180.0	61.4	536.8	2.964	52.0	517.1	3.053
178.0	66.2	579.2	2.819	55.4	559.2	2.897
176.0	70.6	616.7	2.708	58.5	596.9	2.777
174.0	74.8	651.5	2.617	61.6	631.7	2.678
172.0	78.9	685.0	2.538	64.6	664.9	2.594
170.0	83.2	718.3	2.467	67.7	697.4	2.520
168.0	87.5	752.1	2.402	70.9	730.0	2.452
166.0	92.0	787.3	2.340	74.2	763.4	2.389
164.0	96.6	824.4	2.318	77.7	798.3	2.341
162.0	101.4	864.9	2.242	81.3	836.2	2.267
159.9	119.8	889.6	2.177	97.2	859.8	2.204

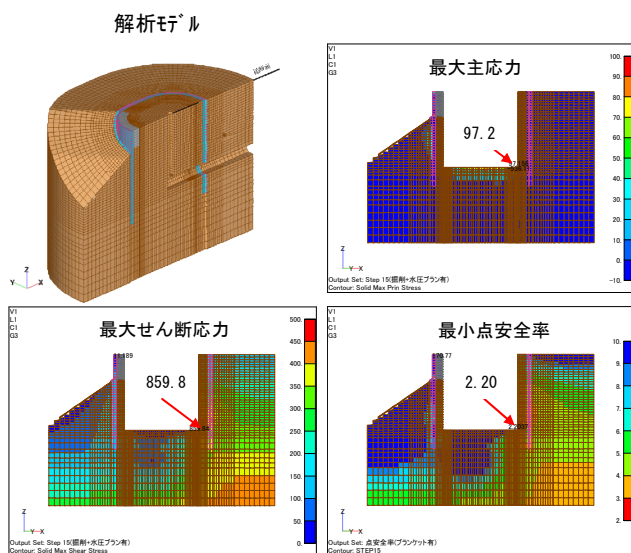


図-15 一次検討解析結果図

○二次検討結果

一次検討では岩盤を一様として設定した概略モデルにより解析を進めたが、二次検討では以下の事項を考慮し、支保構造の確認を行う。

- ・岩盤分布（CM 級、CH 級）
- ・断層分布（高角度、低角度）
- ・貯水池側の地形形状（水中部分）

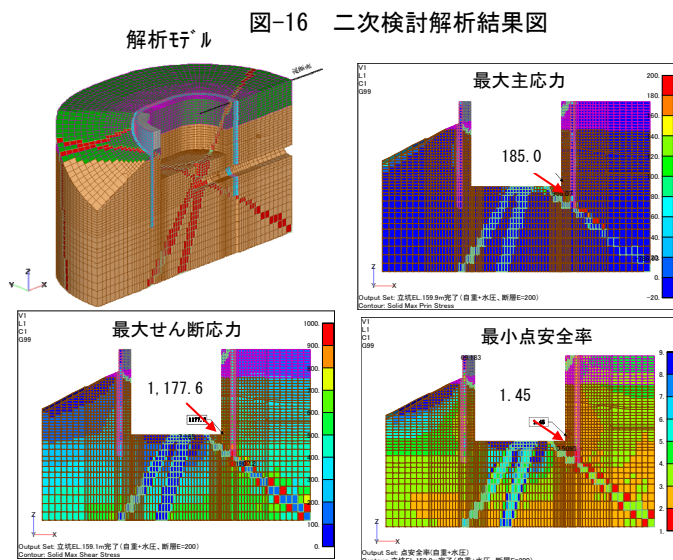
- ①最大引張応力は、最低基礎標高の掘削面発生し、短軸方向で最大185.0kN/m²、長軸方向で最大100.5kN/m²であり、いずれも許容引張強度330kN/m²以下であり、安全率は1.6程度である。
- ②せん断に対する最小点安全率は山側の掘削面の隅角部に発生し、短軸方向で最小1.6、長軸方向で最小1.45であり、1.0以上は確保している。
- ③立坑掘削時の岩盤の安定性は引張・せん断に対して所要の安全率を有している。

しかし、断層沿いに安全率の低下がみられるた

め、断層分布にあわせてロックボルトを配置し、長さは、せん断応力の分布から立坑壁面から4m程度が必要である。

表-2 二次検討計算結果

掘削面H (EL.m)	短軸方向			短軸方向		
	最大引張応力 σ 1max	最大せん断応力 τ max	最小点安全率 fsmin	最大引張力 σ 1max	最大せん断力 τ max	最小点安全率 fsmin
	(kN/m ²)	(kN/m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	
188.0	53.3	222.0	2.630	20.0	248.4	2.150
186.0	53.6	277.7	2.330	36.3	336.5	2.000
184.0	53.9	309.2	2.240	42.9	269.5	2.490
182.0	54.3	325.6	2.120	47.8	364.3	2.200
180.0	54.6	332.0	1.950	52.0	397.9	2.060
178.0	54.7	331.8	2.080	55.4	545.5	2.140
176.0	54.6	327.4	2.010	58.5	666.3	2.050
174.0	54.4	321.1	1.880	61.6	744.6	1.920
172.0	57.9	314.2	1.800	67.7	742.0	1.570
170.0	61.9	307.5	1.740	113.1	893.0	1.700
168.0	66.0	302.4	1.700	120.8	963.5	1.650
166.0	67.8	298.6	1.700	132.1	1,040.8	1.590
164.0	78.5	294.5	1.720	117.4	1,140.0	1.570
162.0	89.4	304.7	1.600	156.5	1,161.0	1.500
159.9	100.5	308.1	1.600	185.0	1,177.6	1.450



5. まとめ

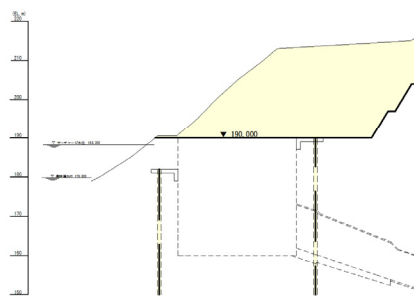
新丸山ダムでは、本体設計にあわせて高品質ボーリングを実施し地質解析を行っており、転流工呑口部の構造（仮設）について、施工中の安全性確保の観点から見直しを行った。

大規模な構造物の施工方法については、1 つ間違えると大きな事故に繋がるため、地質情報を正確に把握し構造解析等を行うことが必要である。

今後、施工が始まりますが、より安全に工事を行う為に、施工中は計測機器等を設置し変状に注意しながら工事の進捗を図る。

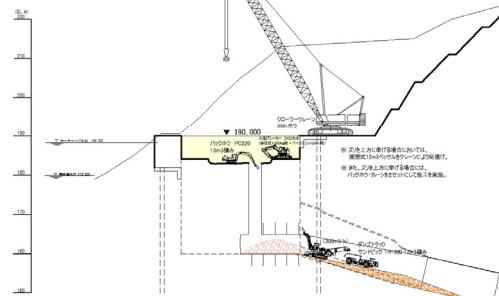
【参考】 呑口部施工順序

①上部掘削＋カーテンラウチング



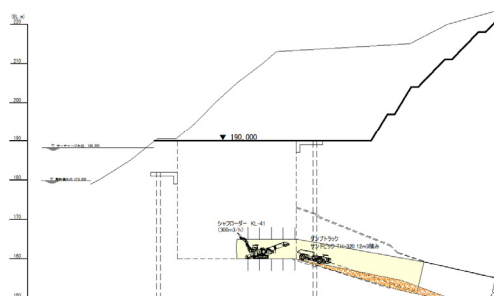
- ・ 呑口部上部 EL. 190m 以上を掘削後に、立坑周りのカーテンラウチングを施工する。

④立坑部掘削



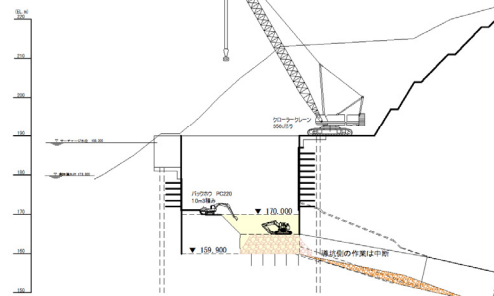
- ・ 立坑上部を掘削しながら掘削ズリを、リーミング孔に落としトンネル部より搬出する。
- ・ 一定の高さを施工後、コンクリート吹付を施工後にロックルトを施工する。

②トンネル部より掘削



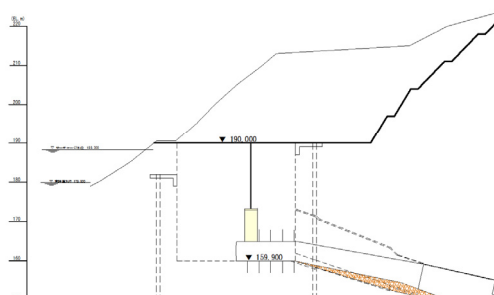
- ・ トンネル部下流より、導坑を掘削し、支保工により補強を行う。

⑤立坑部掘削＋ロックルト



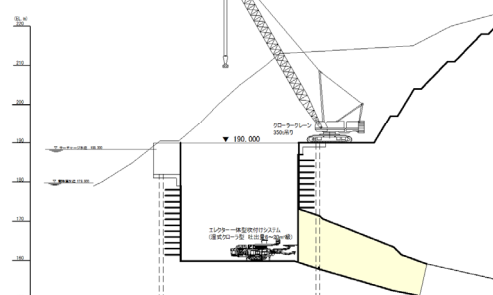
- ・ 立坑を順次切り下げながら、コンクリート吹付及びロックルトを施工し補強を行い、導坑に対して 5m になった場合 (EL. 170m) は、上下作業を中断し掘削・ズリ搬出を順番に施工する。

③リーミング坑切り拡げ



- ・ パイロットリーミングを削孔し、導坑側からリーミング孔の切り拡げを行う。

⑥接続トンネル拡幅



- ・ 立坑を切り下げ後、接続トンネル部の拡幅する掘削を行う。