

新丸山ダム施工時における 丸山ダムの堤体観測計画

小池 仁¹・野田 雄太²・清水 茜³

1,2,3丸山ダム管理所（〒505-0301 岐阜県加茂郡八百津町八百津1276-2）

既設丸山ダム下流に嵩上げたダムを建設することで、機能アップを図る新丸山ダム建設事業が今年度より本体工事に着手する。本体工事が開始されると丸山ダム下流の掘削や下流面に新丸山ダムが上座するなど状態が変化する。これらの状態変化に伴う丸山ダムの計測データの変化について予測を行い、その結果からダム管理に及ぼす影響を検討のうえ、各管理項目の基準値（案）及び今後さらに検討が必要となる項目について報告する。

キーワード：漏水量、揚圧力、堤体変位、管理基準値、リスク管理

1. 丸山ダムの概要

(1) 丸山ダムについて

丸山ダムは、全長229kmの木曾川の河口より約90km上流に位置する重力式コンクリートダムである。「洪水調節」と「発電」の機能を持ち、関西電力と共同管理を行っている。昭和29年にダム本体が完成、運用がされてから今年で66年目を迎える。

(2) 新丸山ダム建設事業

既設の丸山ダム下流側47.5mの地点に20.2m嵩上げされる新たなダムを建設するダム再生事業、すなわち新丸山ダム建設事業が、いよいよ今年度より本体工事に着手する。（図-1）

新丸山ダムの建設は、現丸山ダムの「洪水調節」と「発電」の機能は維持したまま行われる。嵩上げ規模やダムの機能を維持しつつかつ一部重なる工法というのは、国内ではあまり前例のない事業である。

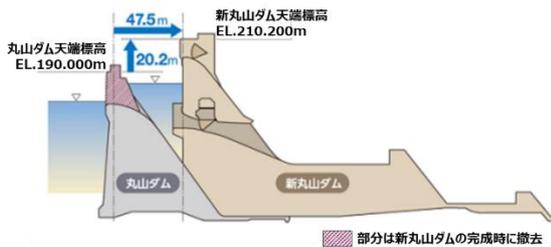


図-1 新丸山ダム断面図

2. 本体工事中の維持管理項目

今後、新丸山ダム本体工事の開始に伴い、建設するダム下流の掘削や現堤体に新丸山ダムが上座するなど、現丸山ダムの状態は日々変化することが予想され、ダム管理としても、前例のない変化への備えとして、工事の影響と計測しているデータの変化について把握し、評価しておくことが重要となる。

(1) 現状の堤体観測状況

丸山ダムにおいて、運用開始以降より計測をしている項目及びそれらの内容は、表-1に示すとおりである。全体の漏水量は100L/min程度、プラムラインによる堤体変位量は、4BL：最大4mm、8BL：最大7mm、揚圧力は建設当時より増加傾向にあるが、いずれも近年は変動も少なく、概ね安定傾向にある。

表-1 丸山ダムの堤体観測項目

区分	観測項目	
	観測箇所	観測点数
漏水量	全漏水量(9BL 三角堰)	1ヶ所
	4BL 漏水量	1ヶ所
	3BL 漏水量	—
変形量	プラムライン(4BL)	2ヶ所
	プラムライン(8BL)	2ヶ所
	天端変位(5~10BL)	6点
揚圧力	7BL	2点
	9BL	4点
地震計	断面揚圧力7~9BL	2点
	堤頂、監査廊、管理所	3点

3. 本体工事に伴う丸山ダムの状況変化の推定

新丸山ダム建設の施工計画より、代表工種をピックアップし、各工種施工中の現丸山ダムの状態を推定。表-1の計測項目について、施工段階に応じた影響及び変化を予測する。

本検討では下記4つの段階について、施工中における、計測データの変化予測を実施した。

- a) 現状の運用時
- b) 河床部の掘削時
- c) 堤体コンクリート打設時
- d) 基礎処理工（カーテングラウチング）

(1) 揚圧力の影響

揚圧力の影響予測は、観測点数も多く、実測値が得られる9BLに作用する揚圧力分布(図-2)について、段階毎に評価を行った。

a) 現状の運用時

図-3のとおり、実測値から上流側は最大で貯水位の60% (現計測値より設定)、下流側は下流水位相当が作用すると推定。

b) 河床部の掘削時

図-4のとおり、河床部の掘削により下流水位が低下するため、現状運用時よりも作用する揚圧力は低下すると推定。

c) 堤体コンクリート打設時

施工段階に応じて作用する揚圧力は変化するが、新旧堤体、減勢工、副ダムが一体化した構造物に作用する揚圧力を考慮すると、図-5のとおり、現状運用時よりも大きな揚圧力が作用すると推定される。

d) 基礎処理工（カーテングラウチング）

図-6から、上流側の貯水位60%相当の圧力が河床部のカーテングラウチング部分まで作用することが予想され、これにより現状運用時よりも大きな揚圧力が作用すると推定される。

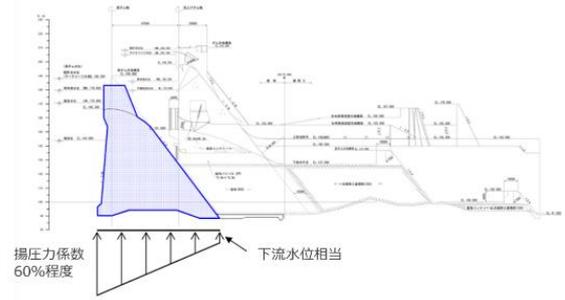


図-3 現状の丸山ダム運用時の揚圧力分布

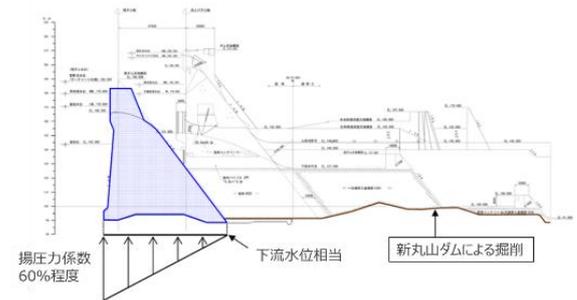


図-4 河床掘削時の丸山ダムの揚圧力分布

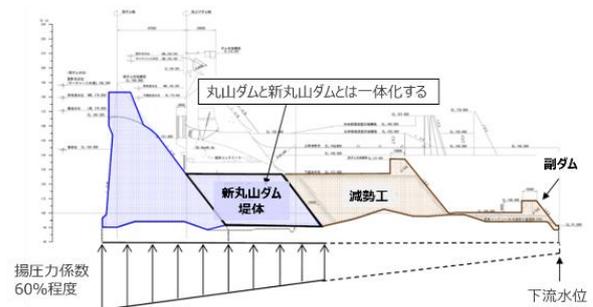


図-5 コンクリート打設時の丸山ダムの揚圧力分布

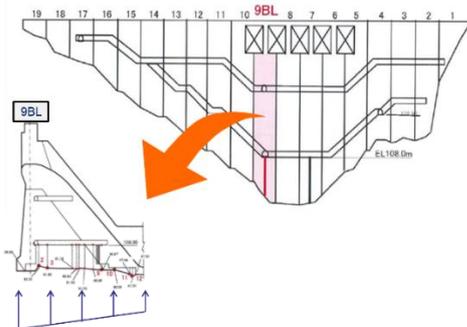


図-2 丸山ダム揚圧力算出断面

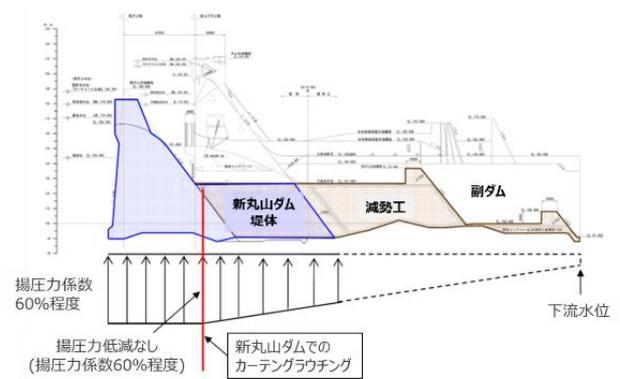


図-6 カーテングラウチング施工時の丸山ダムの揚圧力分布

(1)-1 安定計算

上記の実測値に基づく代表工種の揚圧力分布より、掘削時の発破工による振動の影響を考慮し、堤体の滑动および転倒の危険性について把握するため安定計算を実施した。結果は表-2のとおりである。

現状の上流揚圧力60%相当においては安定性に問題はないという結果となった。

その他、発破工による揚圧力の上昇を想定した検討を行った結果、転倒については、上流揚圧力係数80%・地震時の状態で安定性を損なうという結果となった。また、その他の条件においても危険状態と判定されるケースがあることから、揚圧力の変動や発破工の影響有無を早期に把握するための措置をとることが望ましいと考える。

(1)-2 1打設リフトを考慮した安定性検討

コンクリート打設時には、図-7~9に示すとおり掘削後〜堤体打設当初の段階において、最大で25mまでは新旧堤体の接合面に引張応力が作用すると推定されている。安定計算結果によると許容範囲内の数値ではあるが、クラック発生が懸念されることから、施工時においても変状有無の確認頻度を増やす等の対応が望ましいと考えられる。

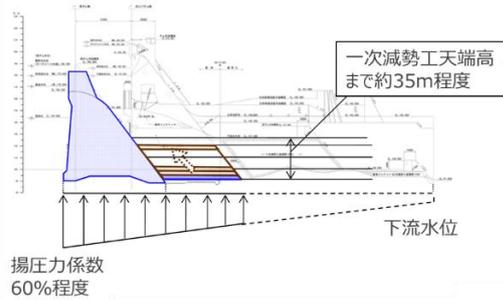


図-7 打設リフトを考慮した安定計算の概要図

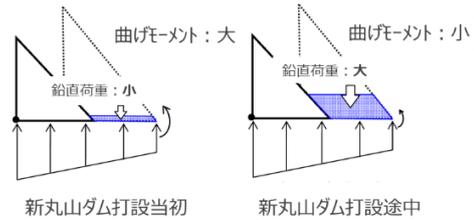


図-8 下流端に引張応力が作用する条件の概要図

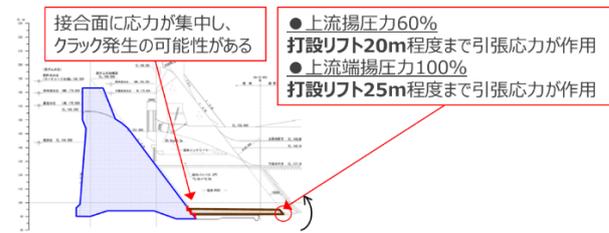


図-9 打設当初における留意点

表-2 上流揚圧力係数35%~100%の安定計算結果

上流揚圧力	常時、常時満水位			常時、サーチャージ水位			地震時、常時満水位			地震時、サーチャージ水位		
	上流端 圧縮応力度 (kN/m)	下流端 圧縮応力度 (kN/m)	安全率	上流端 圧縮応力度 (kN/m)	下流端 圧縮応力度 (kN/m)	安全率	上流端 圧縮応力度 (kN/m)	下流端 圧縮応力度 (kN/m)	安全率	上流端 圧縮応力度 (kN/m)	下流端 圧縮応力度 (kN/m)	安全率
100%												
①現状	336.13	843.64	7.48	13.36	1093.27	6.30	-112.43	1292.20	5.25	-237.89	1344.51	5.28
②掘削時	331.29	941.08	7.69	8.52	1190.71	6.47	-117.27	1389.64	5.38	-242.73	1441.96	5.41
③打設時	717.60	224.04	12.34	577.71	282.39	10.35	540.43	401.20	7.67	480.00	380.09	8.14
④基礎処理時	103.15	418.14	11.47	-111.75	499.34	9.49	-74.02	595.30	7.10	-209.46	597.05	7.44
80%												
①現状	473.57	845.26	7.74	166.84	1095.17	6.54	25.01	1293.82	5.42	-84.40	1346.42	5.47
②掘削時	486.97	943.11	8.00	180.24	1193.02	6.75	38.41	1391.67	5.58	-71.01	1444.27	5.63
③打設時	815.45	264.74	12.80	687.95	327.99	10.78	638.28	441.91	7.93	590.24	425.70	8.46
④基礎処理時	335.77	413.31	12.14	148.26	494.85	10.11	158.60	590.48	7.48	50.55	592.55	7.91
60%												
①現状	611.01	846.89	8.01	320.32	1097.08	6.79	162.45	1295.45	5.59	69.08	1348.33	5.67
②掘削時	642.64	945.14	8.31	351.96	1195.33	7.03	194.08	1393.70	5.78	100.71	1446.58	5.86
③打設時	913.30	305.45	13.27	798.19	373.60	11.21	736.13	482.61	8.19	700.48	471.31	8.78
④基礎処理時	568.38	408.48	12.81	408.27	490.35	10.74	391.22	585.65	7.87	310.56	588.06	8.39
50%												
①現状	679.73	847.70	8.15	397.07	1098.04	6.91	231.17	1296.26	5.68	145.82	1349.29	5.77
②掘削時	720.48	946.15	8.47	437.82	1196.49	7.18	271.92	1394.71	5.88	186.57	1447.73	5.98
③打設時	962.22	325.80	13.52	853.31	396.41	11.43	785.06	502.96	8.33	755.61	494.11	8.94
④基礎処理時	684.69	406.07	13.15	538.28	488.11	11.06	507.52	583.24	8.07	440.57	585.81	8.63
35%												
①現状	782.81	348.92	8.35	512.18	1099.47	7.10	334.25	1297.48	5.81	260.93	1350.72	5.92
②掘削時	837.24	947.67	8.72	566.60	1193.22	7.39	388.68	1396.23	6.04	315.36	1449.47	6.15
③打設時	1035.61	356.33	13.88	935.99	430.61	11.77	858.44	533.49	8.53	838.29	528.32	9.19
④基礎処理時	859.15	402.45	13.67	733.28	484.74	11.54	681.99	579.62	8.37	635.58	582.44	9.00

(黄色) : 引張応力の発生

(2) 堤体変位の影響

堤体変位の影響予測は、b)河床部の掘削時及び、c)堤体コンクリート打設時について挙動の確認を行った。

図-10よりいずれも、基礎掘削による応力の開放、上座するコンクリート重量により下流側へ変位する可能性があるとして推定した。

また、新丸山ダムが上座するブロックと上座しないブロックが発生するため、そのブロック間における変位の計測も今後必要となる可能性がある。

(3) 漏水量の影響

漏水量については、図-11より過年度の検討業務の中で、貯水池からの漏水（継ぎ目からの漏水）が主である（基礎排水孔から漏水を抜く構造になっていない）ことが報告されており、堤体コンクリート打設時や基礎処理工施工時における地下水の変化が与える影響はほとんどないと推測している。

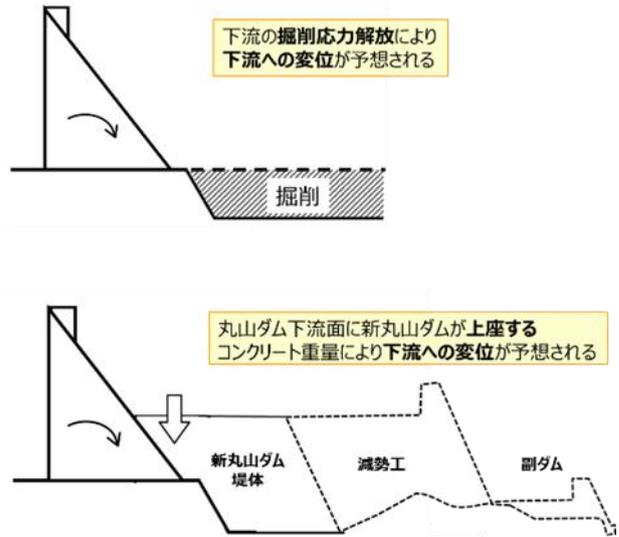


図-10 新丸山ダム工事中の推定される丸山ダム堤体挙動概要
(上段：河床部掘削時、下段：コンクリート打設時)

4. 本體工事施工中の管理基準値（案）の設定

(1) 揚圧力の管理基準値（案）

表-2の安定計算結果より、揚圧力の管理基準値は、実測の貯水位60%相当より、それ以上の係数が継続的に観測された場合は、ダム本体に異常が発生している恐れがある可能性を示しているとして、60%と設定した。また、安定計算結果から推測された不安定化する条件及び必要な対応は、表-3に示すとおり。各施工段階において、丸山ダムが不安定化する上流揚圧力係数の基準値を超過した場合には、工事の中断または中止の対応を提案したい。

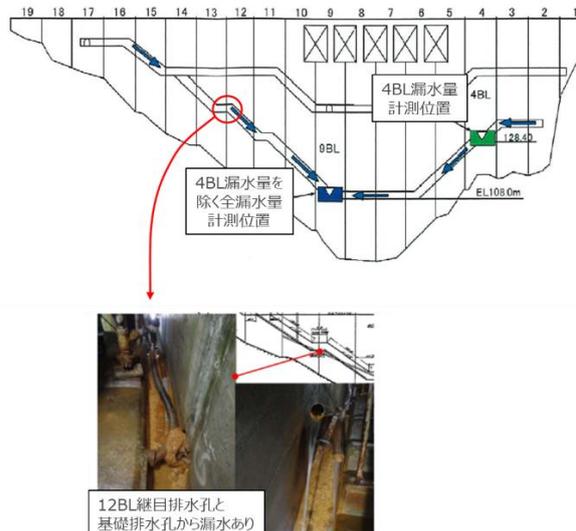


図-11 12BL継目排水孔の漏水状況
(出典：H26丸山ダム総合点検)

表-3 丸山ダムが不安定化する上流揚圧力係数の基準値（案）

施工段階 安定計算ケース	丸山ダムが不安定化する 上流揚圧力係数の 基準値	管理基準値 (案)	施工時の対応
新丸山ダム掘削時 ②	80%程度以上	60%程度	<ul style="list-style-type: none"> ・上流揚圧力係数が80%程度以上で施工中断、上流揚圧力係数が80%程度に達する前に対応が必要 ・最大引張応力は許容引張応力よりも小さいが、丸山ダムと新丸山ダムの接合面を重点的に監視する必要がある ・上流揚圧力係数が100%程度以上で施工中止、上流揚圧力係数が100%程度に達する前に対応が必要
新丸山ダム打設時 ③	60%程度以上 (打設リフト 25m程度以下)		
新丸山ダム基礎処理時 ④	100%程度以上		

(2) 堤体変位の管理基準値 (案)

図-12は、全国の堤高の異なる重力式コンクリートダム試験湛水時の事例をもとに、貯水位と堤体変位の「実績」と「管理基準値」の関係をまとめたものである。丸山ダムと同等サイズの堤高100mクラスにおいては、最大変位15mmを示した段階で警戒体制に移行するという基準を設けているダムが多いことから、15mmを管理基準値 (案) として、現状の変位を含めて今後10mm程度増加するような事態が生じた場合には、留意すべき状態と判定することとした。

各施工段階においては、図-13より時間的变化に着目し、急激な変形量の増大の有無によって安全状態を判断することとした。

これまで、丸山ダムの場合には発電容量を常時確保しているため、平常時の貯水位はほぼ一定に保たれており、堤体変位の変化は貯水位の影響をほとんど受けないと推定されていた。

今年度締結された木曾川水系治水協定^{※1}により、事前放流が実施された場合、貯水位は最高で常時満水位より約5m低下し、洪水調節操作から異常洪水時防災操作開始水位まで上昇した場合は、10m以上の水位変化が生じる可能性も考えられるため、緊急時においても計測データの変化を注視しながら、堤体変位に与える影響について今後確認が必要となる可能性がある。

(3) 漏水量の管理基準値 (案)

漏水量の管理基準値は、表-4のとおりとし、現状の安定している計測値である全体100L/min (左岸9BL三角堰) を超えてさらに増加する場合または、H26の総合点検において、全体量の8割を占める12BLの継目排水孔と基礎排水孔の漏水量が80L/minを超えてさらに増加傾向にある場合を留意すべき状態であるかの判断基準とした。

工事の影響として、掘削時の発破振動によって遮水効果が損傷した場合、貯水機能に影響を及ぼす可能性が考えられるので、発生個所の早期発見に繋げるためにも観測箇所や頻度を増やすなどの対応が望ましいと考える。

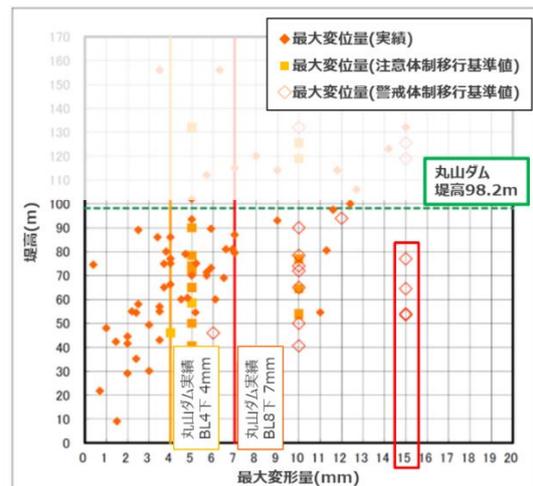


図-12 ダム高と堤体変位の関係事例

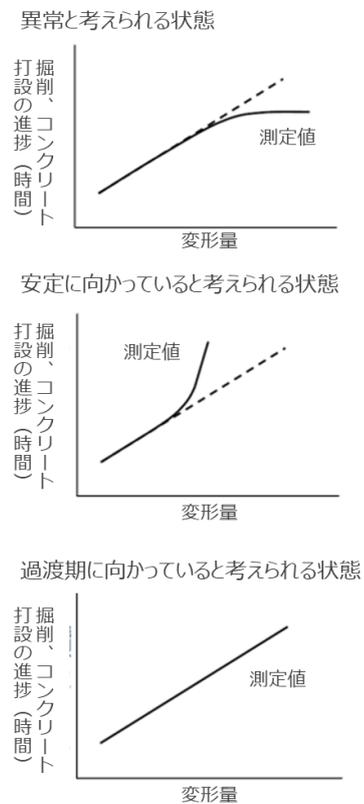


図-13 試験湛水時の堤体変位に対する判定方法

表-4 漏水量の管理基準値 (案)

項目	管理基準値 (案)	根拠
全体漏水量 (左岸9BL 三角堰)	100L/minを超えてさらに増加する傾向を示す場合	近年安定した漏水量計測値である100L/minを目安とした
12BLの継目排水孔と基礎排水孔	80L/minを超えて更に増加する傾向を示す場合	H26総合点検において、全体漏水量の80%程度の漏水割合であることから、上記の全体漏水量の80%を目安とした

5. 他事例から学ぶ嵩上げダム施工時の対策等

国内におけるコンクリートダムの嵩上げ事例として、東北地方整備局の津軽ダム（直轄：青森県）より、既設目屋ダムに与える影響評価について、施工方法及び施工中の堤体挙動の計測手法とその結果から整理した。

(1) 津軽ダムの概要

津軽ダムの諸量及び上流に位置する目屋ダムとの位置関係については表-5、図-14のとおり。津軽ダムは目屋ダムから60m下流側に隣り合うかたちで建設され図-15より離隔距離は20～32m、新丸山ダムとは異なり上流の既設ダムに上座はしていない。

(2) 津軽ダム施工時における目屋ダムへの影響評価

津軽ダム施工時において、目屋ダム下流の掘削に伴う発破振動が、基礎岩盤に与える影響から目屋ダムに生じるリスクについて評価を行っている。

理論式より得られた許容振動速度2kineを管理基準値として設定。なお、当工事においては1.6kine以下に制御することを目安に、現場条件にあった定数Kへと見直しを行うことで、制御発破計画として離隔距離区分により火薬量を設定（発破方法を策定）している。（表-6）

発破地点から目屋ダムまでの距離と振動速度の関係は反比例する傾向があり、最大値は1.4kine程度であった。

(3) 津軽ダム掘削中の挙動計測結果

発破振動速度は管理基準値2.0kineを下回り、最大でも1.4kine程度であったこと、さらに目屋ダムの漏水量、変位及び揚圧力の計測値は急増、漸増傾向は認められず安定していること等から、発破振動による悪影響はなかったものと評価されている。

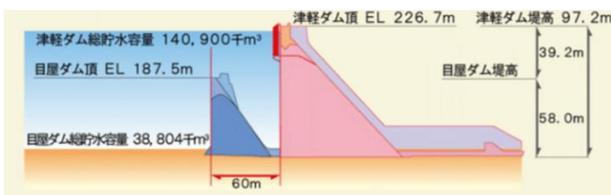


図-14 津軽ダム目屋ダム比較断面図

表-5 津軽ダム目屋ダム諸量

	目屋ダム	津軽ダム	比較
型式	重力式コンクリートダム	重力式コンクリートダム	
目的	洪水調節、かんがい、発電	洪水調節、洪水の正常な機能の維持 かんがい、水道、工業用水道、発電	
堤高	58.0m	97.2m	1.7倍
堤頂高	170.0m	342.0m	2.0倍
堤体積	118,050m³	759,000m³	6.4倍
総貯水容量	39,000,000m³	140,900,000m³	3.6倍
有効貯水容量	33,000,000m³	127,200,000m³	3.9倍
洪水面積	172.0km²	172.0km²	
洪水面積	2.09km²	5.10km²	2.5倍
完成年月	昭和35年3月	平成28年10月	

（出典：東北地方整備局 岩木川ダム統合管理事務所IP）

6. まとめ

本体工事を間近に控え、丸山ダムにおいては今後下記の事象が懸念されている。

- 揚圧力の上昇
- 堤体変位に伴うクラックの発生
- 発破振動による水みちの形成、それに伴う漏水量の増大

これらの異常状態について早期に発見するためには、観測の「設備」及び「頻度」を増やすなど、管理体制の強化が必要になってくると考えられる。丸山ダムにおいてはどのように整備していくべきか、また、工事の進捗状況に応じていつまで観測を続けることができるのか、引き続き検討及び関係者との調整をはかる。

また、4. で設定した管理基準値（案）を超過した場合の対応についても、工事の進捗との相関関係の有無についての調査や、工事を中断した場合は再開可否の判断基準の設定等について、新丸山ダム施工中～完成まで継続して検討が必要である。

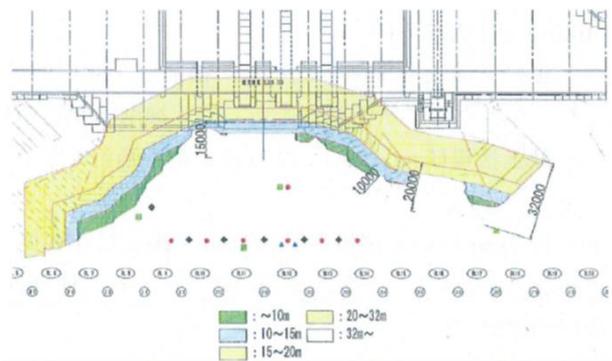


図-15 目屋ダムからの離隔距離

表-6 発破掘削施工区分

離隔距離	掘削工法区分	ベンチ高	発破方法
10 m未満	機械掘削	—	—
10～15 m	小ベンチ	2.5 m	1孔当たり段發1段
15～20 m	本ベンチ	2.5 m	分散装薬2段1段当たり装薬量2.4 kg 20段以上は、非電気式雷管使用（最大200段）
20～32 m	本ベンチ	5.0 m	1孔当たり段發1段
32 m以上	本ベンチ	5.0 m	4孔当たり段發1段

参考文献

- 谷田広樹・腰山武治：津軽ダム基礎掘削に関する（近接）目屋ダムの挙動計測事例，ダム技術，294，2011

※1 洪水調節機能の強化に向けた基本方針（木曾川水系については、令和2年5月29日に締結）