

夕張スーパーパロダム試験湛水中間報告

—コンクリートダムのダム試験湛水における事象と対応—

札幌開発建設部 夕張スーパーパロダム総合建設事務所 計画班 ○西本 学
田代 隆志
森川 真彦

夕張スーパーパロダムは、平成26年3月より試験湛水を開始し、同年11月にサーチャージ水位に到達した。試験湛水では種々の計測・観測を行いダムの安全性を確認した。全排水量の最大は約260 $\frac{m^3}{min}$ であり100m級のダムとしては特に多くないものの、局部的には排水が顕著な箇所や揚圧力が高い箇所が認められた。これらの箇所に対して、多面的な調査を行い止水対策を実施した。本報告では、ダムの排水挙動と排水に対する調査と対応策について報告する。

キーワード：試験湛水、計測、排水、揚圧力、トレーサー試験、止水対策

1. ダムの概要

夕張スーパーパロダムは、石狩川水系夕張川上流に位置し、昭和37年に竣工した大夕張ダムの約150m下流に建設する再開発ダムである。

堤高110.6m、堤頂長390m、堤体積94万 m^3 、湛水面積15.0 km^2 、有効貯水量3億6千7百万 m^3 の国内有数の大規模ダムである。ダムの工事経緯は、平成19年9月14日から本体コンクリート打設を開始し、平成24年10月3日に最終打設を迎えた。平成26年3月4日より試験湛水を開始し、同年11月13日にサーチャージ水位に到達し、ダムの安全性を確認した後に、現在は貯水位を低下させている状況（最終的には最高経験水位EL264.5mまで低下）である。

当ダムの止水構造は以下のとおりである。

【堤体】横継ぎ目の上流1m地点に止水板を2枚配置し、基礎岩盤には深さ0.5mの定着部を設ける（図-1、2）。

【基礎岩盤】堤体上流のフーチング位置にてカーテングラウチング（単列1.5mピッチ）を実施すると共に、堤体上流面～基礎排水孔周辺にコンソリデーショングラ

ウチング（L=5m）を実施。

2. 試験湛水中の堤体計測

試験湛水中の堤体計測は以下のとおりである。堤体観測設備配置図を図-3に示す。

表-1 堤体計測設備

区分	項目	数量	計測手法
排水	全排水量	4箇所	三角堰（自動）
	基礎排水孔	71孔	ドレーン孔（自動）
	継目排水孔	24孔	継目排水管（手動）
	監査廊内漏水	適宜	手動
揚圧力		76孔	ブルドン管（自動）
地下水位		7孔	水位計（自動）
変形	ダム天端及び基礎	2基	ノーマル・リバーズプラムライン（自動）
	ダム天端	5箇所	測量（手動）
	基礎水平変位	10箇所	孔内傾斜計（手動、自動）

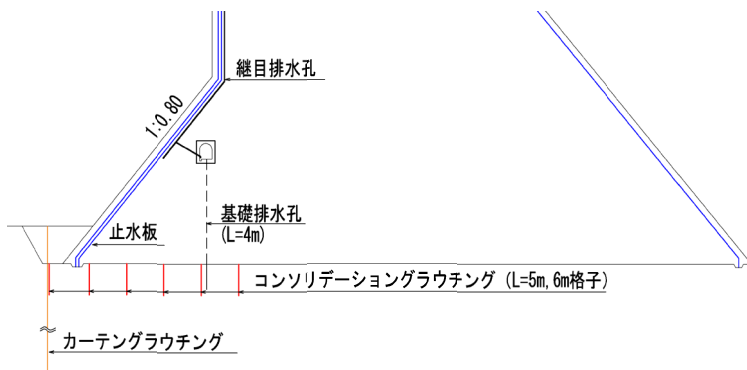


図-1 ダム横断図（止水構造図）

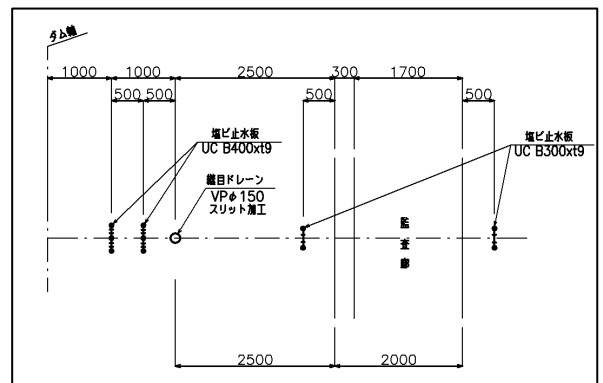


図-2 横継目止水構造図（平面図）

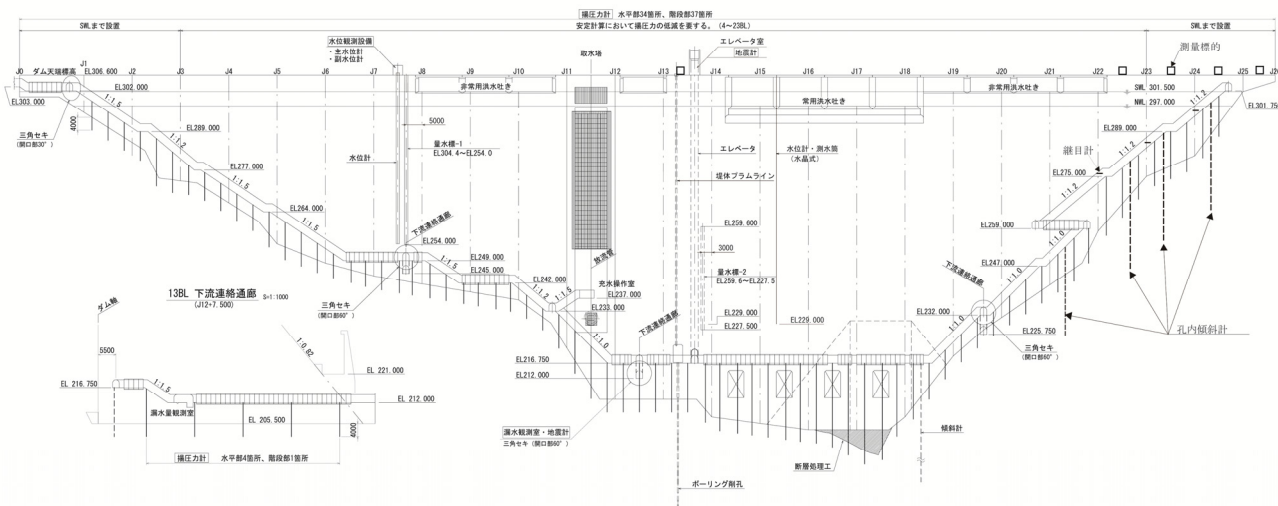


図-3 堤体観測設備配置図

3. 排水挙動

(1) 全排水量

a) 経時変化

全排水量は、試験湛水開始後、貯水位の上昇と共に5月中旬に最大 (2630 l/min) となった (図-4)。

5月中旬以降、8月上旬までは貯水位の僅かな低下と外気温の上昇に伴い全排水量は減少傾向を示した。

8月上旬～8月末は台風の影響で貯水位が上昇し全排水量は増大したが、それ以降、サーチャージ水位に向けた貯水位上昇期においても継目排水対策工等の実施により全排水量は約100 l/min程度まで減少した。

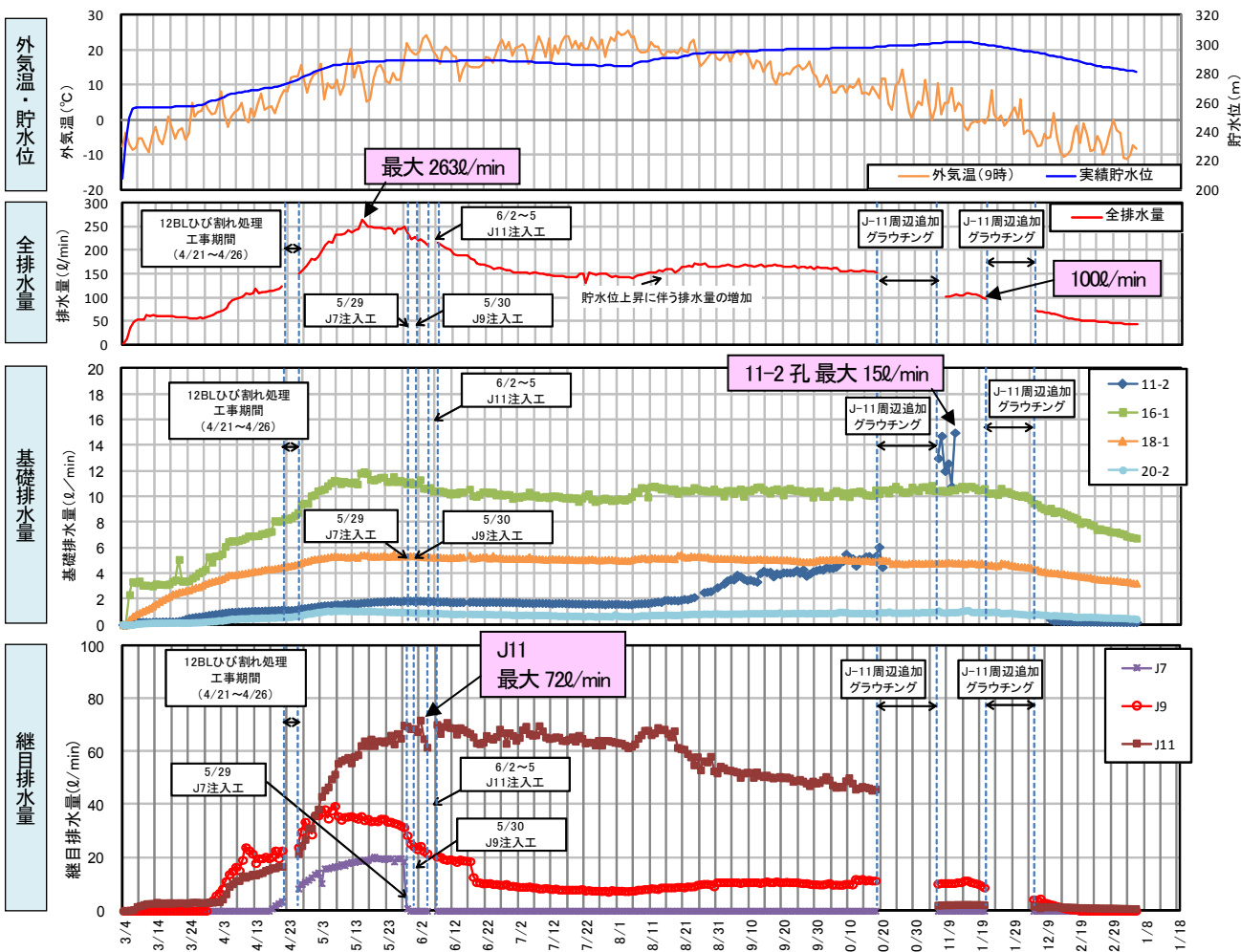


図-4 夕張シューパロダム試験湛水状況図

b) 貯水位との相関

対策工の影響が無い5月中旬を対象に見た場合、LWL259.6m付近に変曲点が認められるものの、貯水位と比例して増大する正常な挙動を示した(図-5)。

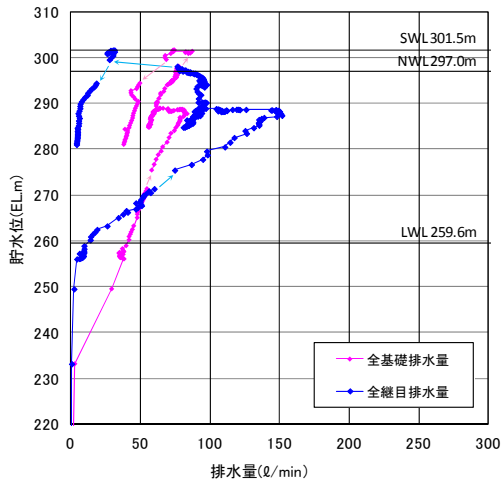


図-5 排水量と貯水位の相関図

(2) 基礎排水量

基礎排水量は、全般的には100 /min以下と少ない(管理基準値20/min)。ただし、BL11, 12の基礎排水は揚圧力が高い孔があり、サーチャージ水位到達後、BL11-2では最大約150 /minまで増大したことから、周辺に追加グラウチングを行い排水量が減少したことを確認した上で閉塞した(BL11-2孔は代替孔を設置した)(図-4)。

貯水位との相関について、BL11-2孔は急増する現象が認められたものの、全般的には比例して増加する正常な挙動を示した。

(3) 継目排水量

継目排水量は、全般的には400 /min以下である。河床左岸部で堤敷が急傾斜な箇所(J-9, 11)で継目排水量が多くなる傾向にある(図-7)。

J-11は6月上旬に最大720 /minまで増大したため、トレーサー試験を行い止水対策工を実施した。

(4) 監査廊内漏水

監査廊内のジョイントやクラックから排出される漏水は、顕著な箇所に“とい”等を設けて量を計測した。

試験湛水開始後、貯水位の上昇と共に増大し、全体で最大約520 /minとなった(図-6)。最も漏水量が多かったのは、水位計を配置したBL8下流連絡通廊におけるクラックに起因するものであり、最大約140 /minとなった。当該箇所については、水位計から注入して止水対策工を実施した。

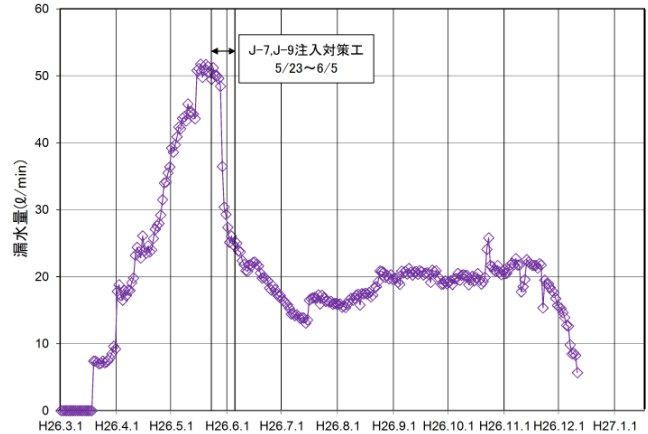


図-6 廊内漏水量の経時変化

4. 排水量増大箇所の調査と止水対策

(1) 概要

排水量が多い表-2の部位に対して、原因・浸透経路の検討を行い止水対策を実施した。

表-2 止水対策の対象

部位	最大排水量	調査・対策時期
8BL下流連絡通廊ク ラック漏水	約140 /min (5月中旬)	5月下旬 ~6月中旬
J-11継目排水	約720 /min (6月上旬)	5月下旬 ~8月下旬
J-11周辺基礎排水	約150 /min (11月中旬)	8月中旬 ~11月下旬

(2) 8BL下流連絡通廊クラック漏水

a) 漏水状況

下流連絡通廊の現場打ちとプレキャストコンクリートの接合部付近に生じたクラックから漏水が生じた。漏水の水質分析結果から、水温2.9℃、pH8.7(4月4日時点)であった。

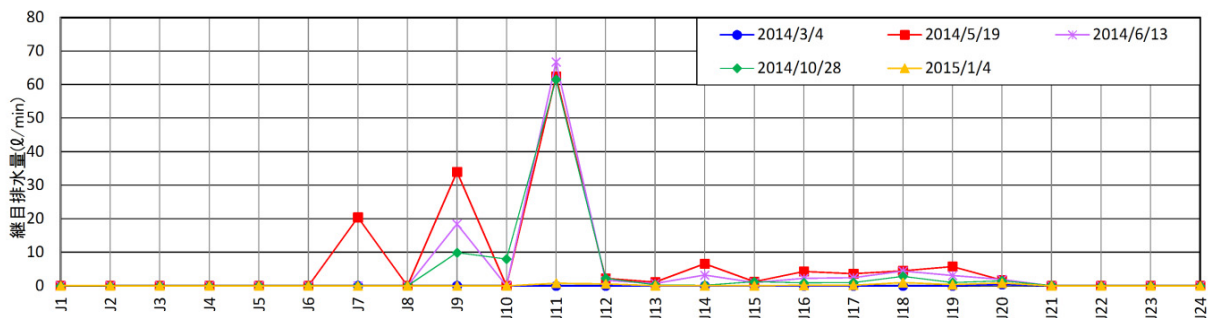


図-7 継目排水量の縦断分布

b) 浸透経路の仮説

水質分析の結果、水温が低く貯水と類似しており、pHがそれ程高くないことから、比較的短時間で堤体内を通過していると考えられる。また、当該地点の直上には水位計の円筒管があり、監査廊までの部材厚が約2.7mと薄くクラックが連続している可能性があることから、水位計円筒管底から貯水がクラックを経由して排出されていると推定した。

c) 止水対策

止水対策は、水位計円筒管内の底面からセメント系止水材を注入した。この結果、漏水量は140 ℓ/minから0 ℓ/minに減少した。

(3) J-11継目排水と横継目周辺の基礎排水

排水量・揚圧力が増大したJ-11及びその周辺の基礎排水孔に関する挙動と一連の対策工は以下のとおりである。

a) 排水状況

- ①**継目排水**：J-11の継目排水は5月7日に500 ℓ/minを超過した。水温6.2℃、電気伝導度11.6ms/m、pH9.5（5月30日）。
- ②**基礎排水**：J-11近傍のBL12-1基礎排水孔は5月下旬で約40 ℓ/minと少ないものの、観測揚圧力は0.54MPa、揚圧力係数は約0.9と非常に高い。水温5.9℃、電気伝導度9.9ms/m、pH9.1（5月30日）なお、BL12監査廊インバートには施工時に生じたダム軸方向のクラックから漏水が生じ、4月下旬にクラックのボーリング調査を行い、岩盤まで連続していることを確認し、クラック注入を実施している。

b) 対策の必要性

継目排水量に対しては、特に管理基準値を設定していなかったが、既往文献1)では”20~50 ℓ/minを超えると止水板の機能が損なわれたものとして何らかの対策を講じることが必要”とされていること、及びJ-11周辺の基礎排水孔の揚圧力が高く、堤体の安定性に影響を及ぼすことから、継目の止水対策と基礎岩盤の揚圧力軽減対策を併せて行う方針とした（ただし、BL12の平均揚圧力係数を用いた堤体安定計算では所要の安全性は満足している）。

c) 浸透箇所と揚圧力が高い原因の仮説

上記の計測・調査結果に基づき、浸透箇所と継目排水量が多く・揚圧力が高い要因の仮説を次のように考えた。

①浸透箇所（入り口）の仮説

- ・**浸透箇所仮説1**：J-11上流面の越冬標高付近。
- ・**浸透箇所仮説2**：J-11周辺基礎岩盤浅部。～基礎岩盤は、透水性の高い砂岩層（Ss5⑮層）であり、上下流に連続する断層も分布する。カーテン及びコンソリデーショングラウチングにおいて、断層を捉えて所定の改良目標に到達しているが、一部未充填の亀裂が存在する可能性がある。

②揚圧力が高い要因の仮説

- ・**要因仮説A**：J-11排水とBL12-1基礎排水の水質が類似していることから、継目管で集水できない継目浸透水が横継目⇒基礎岩盤に浸透し、揚圧力を高めている。
- ・**要因仮説B**：基礎浅部からの浸透水により揚圧力が高まっている。
- ・**要因仮説C**：地層を上下流方向で見た場合、BL12-1孔周辺は透水性の高い砂岩層（Ss5⑮層）であるが、堤敷中央付近には透水性の低い頁岩層（Sh⑯層）が分布するため、揚圧力が抜けにくい構造となっている（図-12）。

d) 対応策

■ステップ1：浸透箇所仮説1の検証

（5月下旬～6月上旬）

浸透箇所を把握する目的で始めに「仮説1」に対して、J-11の上流面からトレーサー試験を実施した。

トレーサー試験は、専用の器具と台船を用いて貯水面からJ-11継目沿いにトレーサー溶液（起泡剤＋ペントナイト）を注入し、監査廊内の継目排水孔にてトレーサー溶液の確認を行った（図-8）。この結果、打設3年目の越冬面（EL263m）の直下約7.5m区間において明瞭な吸込み（トレーサー溶液の排出）が確認されたことから、当該区間を対象としてセメント系止水材を注入した。

⇒排水量は最大約72 ℓ/minから約67 ℓ/minに減少する程度で大きな低減は認められなかった。

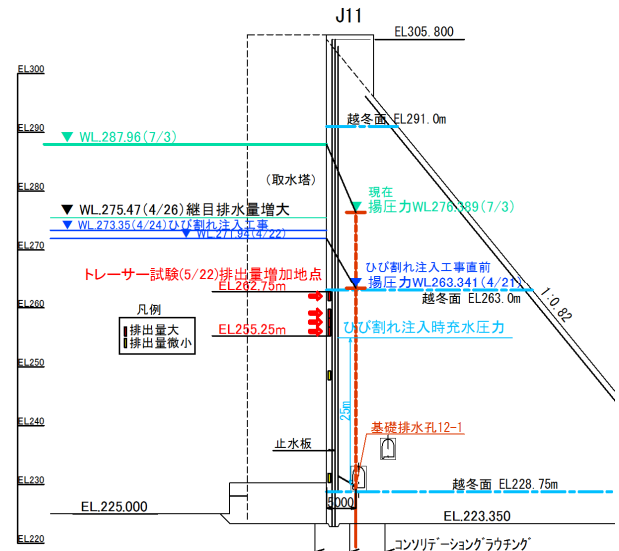


図-8 J-11横継目の浸透箇所調査結果

■ステップ2：浸透箇所仮説2の検証

（8月下旬, 10月上旬）

J-11横継目以外の浸透箇所と揚圧力増大要因を究明するため、J-11周辺基礎岩盤～止水板定着部付近の調査を実施した。具体的には、J-11近傍の基礎排水孔

(BL12-1、BL11-3) 付近の透水性・揚圧力を調査すると共に、監査廊より下方のJ-11横継目の飽和状況（作用水圧）を把握する目的で調査孔BL12-1'、BL11-3'、J-11水圧観測孔を実施した（図-9）。この結果

より、BL12-1' 付近の基礎岩盤（浅部）に浸透箇所が存在し、J-11の排水は一部横継目の着岩部から上昇してきたものが混在することが分かった（図-10）。調査孔施工による他孔への影響（連関性）を図-11に示す。

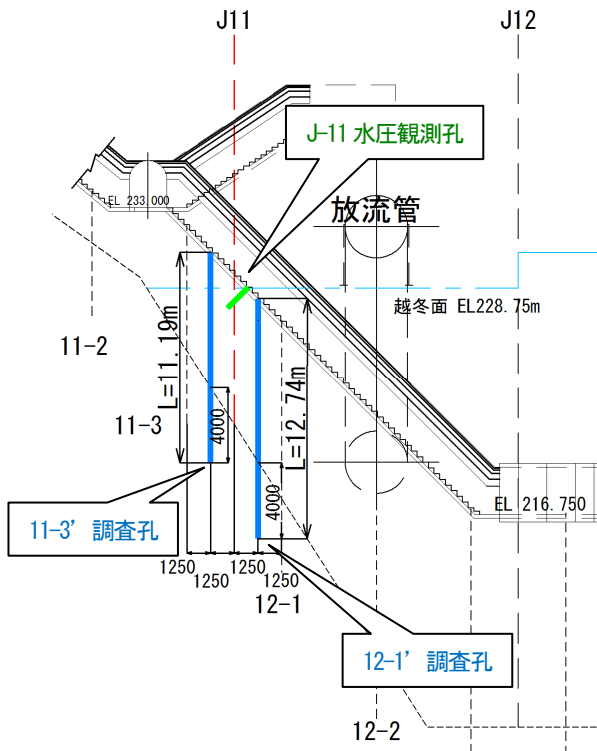


図-9 J-11 周辺調査孔位置図

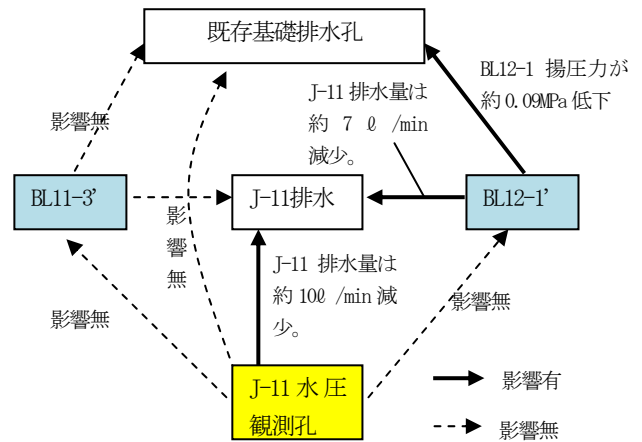


図-10 J-11 水圧観測孔施工による周辺孔への影響

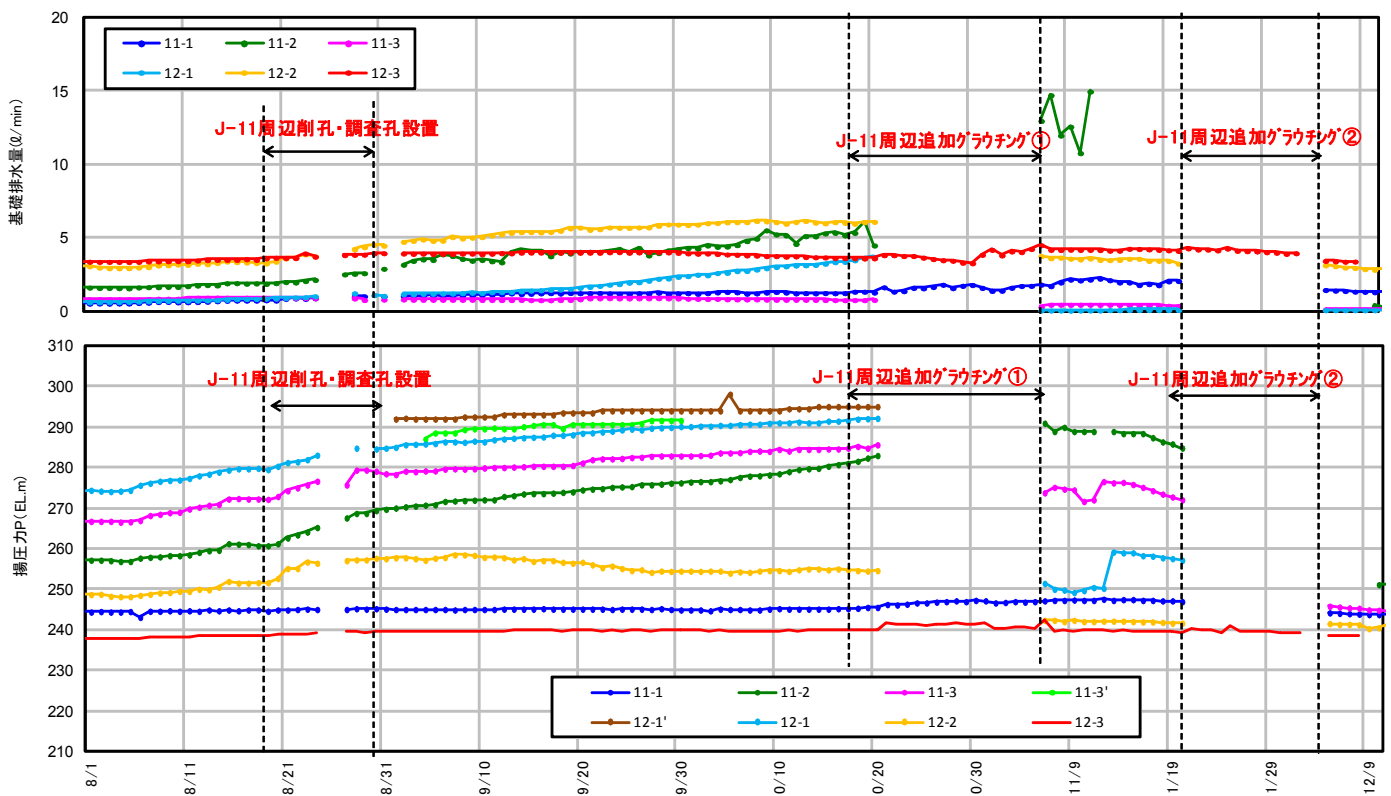


図-11 J-11周辺調査孔施工時の揚圧力・排水量経時変化

■ステップ3：止水対策と要因仮説A, Bの検証

(10月中旬～11月初旬)

ステップ1～2の調査結果を踏まえて、BL12-1'で確認された透水部を対象として監査廊内から遮水グラウチングを実施した(BL12-1'含めて6孔/図-12)。一連のグラウチング注入の結果、次のような効果が確認された。

- ・J-11排水量が約45ℓ/min⇒約2ℓ/minに低減
- ・BL12-1孔の揚圧力が0.64MPa⇒約0.23MPaに低減
- ・一方、BL11-2孔の排水量が約5ℓ/minから最大約15ℓ/minまで増加した。

以上より、J-11継目排水が多く、J-11周辺基礎岩盤の揚圧力が高い要因は、主に基礎岩盤からの浸透(要因仮説B)であると評価した(要因仮説Cで想定した下流側の低透水層の影響は小さい)。また、BL11-2孔の排水量が増大した要因は、透水性の高い砂岩層(Ss5⑮層)の河床部側(水頭が大きくなる側)が難透水となったことから、砂岩層(Ss5⑮層)山側に浸透が集中したためと推定した。

なお、基礎岩盤からの浸透は、J-11水圧観測孔を解放したのみではJ-11排水量の低減は約10ℓ/minであったことから、堤体コンクリート着岩部付近のクラックからJ-11に繋がる水みちの存在も否定できないと考えた。

■ステップ4：追加止水対策(11月中旬～下旬)

排水量が増大したBL11-2孔は、基礎排水量の管理基準値(20ℓ/min)未満であるものの、サーチャージ水位への上昇時における排水量増加の可能性やダム維持管理を考慮して次の対策を講じた。

※BL11-2孔周辺の砂岩層(Ss5⑮層)を通る断層系の遮水改良(グラウチング)を行った上で、BL11-2孔は閉塞して1.5m離れた地点に基礎排水孔(代替孔)を新設する。

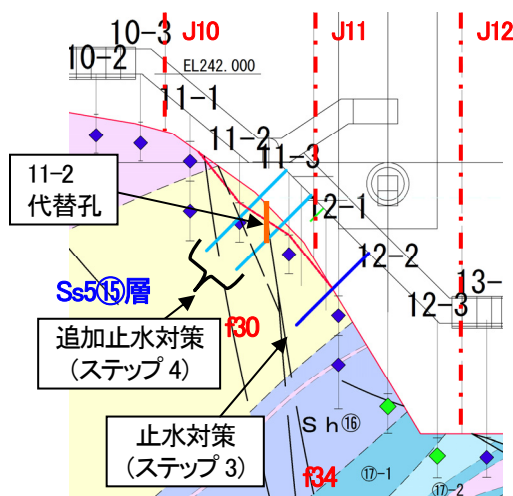


図-12 J-11周辺基礎岩盤の遮水グラウチング配置図(正面図)

上記の追加グラウチングの結果、BL11-2代替孔の排水量は0.4ℓ/min、揚圧力は0.17MPaに低減した。

5. まとめ

試験湛水中に排水量や揚圧力が増大箇所について、トレーサー試験や水質分析を行い、止水対策を実施した。

①BL下流連絡通廊クラック漏水の原因、②J-11継目排水が多くJ-11周辺基礎岩盤の揚圧力が高い原因とその対策は以下のように要約される。

【8BL下流連絡通廊クラック漏水】：当該地点の直上には水位計の円筒管があり部材厚が約2.7mと薄いことからクラックが監査廊まで連続して水位計内の貯水が漏水した。この対策は、水位計円筒管内の底面を対象を絞り専用の器具を用いてセメント系止水材を注入し、漏水量は10ℓ/min以下とした。

【J-11継目排水、J-11付近基礎岩盤の揚圧力】：J-11の横継目は、越冬標高付近の止水板周りに僅かな水みちが生じていた。また、当該地点の基礎は、透水性の高い砂岩層(Ss5⑮層)が分布し、一部グラウト未充填の亀裂が残存したことから、基礎浅部を通る水みちが形成されており、揚圧力が高い傾向にあり、着岩部から横継目に浸透が生じていた。J-11横継目止水板周りの対策は、堤体上流面からセメント系止水材を注入した。基礎浸透の対策は、遮水グラウチング(セメントミルク)を行い、継目排水量は10ℓ/min以下、揚圧力は約1/3以下に低減した。

6. 今後の予定

今後、試験湛水終了に向けて、最高経験水位EL264.5mまで貯水位を下降させ、ダム本体、基礎岩盤および貯水池周辺地山の安全性を確認するため、引き続き計測、監視を行う。

最後に試験湛水実施にあたり、計画段階を含めてご助言、ご協力を頂いた関係機関の方々に謝意を表するとともに、本報告が今後実施される他ダムの試験湛水に生かされることを期待したい。

参考文献

1)財団法人ダム技術センター 多目的ダムの建設 第7巻