## (3) 特異値データの要因分析

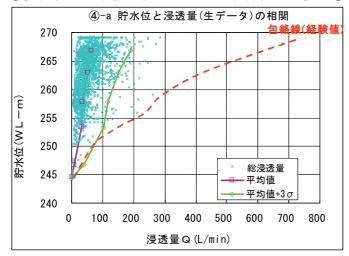
浸透量は、降雨による影響、また寒冷地においては春先の融雪の影響を強く受けて変動する場合があります。特に大雨直後などは、一時的に計測値が急増する場合がある。

日常管理においては、このような通常時と異なる特異な値が発生した場合の対応を予め想定した上で安全性評価指標を設定しておくことが重要となる。

## 【検討手法】

以下の手順により「既往計測データ」にもとづく分析例を示す。

- ①貯水位と浸透量(生データ)の相関図を作成し、有効水深(常時満水位~最低水位の標高差)を $5\sim6$ 分割した区間毎の浸透量データの平均、標準偏差 $(\sigma)$ を求め、各区間の平均、平均+3 $\sigma$ を相関図上にプロットする。
- ②データの分布範囲を全てカバーする範囲(経験値)を"包絡線"として相関図にプロットする(この線は手動で描いている)。包絡線(経験値)の描画についてはP26~28 参照。
- ③現在管理基準値を設定している場合、その値を①②で検討した図上にプロットする。



標高	区	間	毎	の	値
----	---	---	---	---	---

WL.(m)	平均	平均+3σ			
WL.(III)	(L/min)	(L/min)			
265~	105.5	189.8			
260~265	85.3	151.0			
255~260	61.2	116.6			
250~255	56.4	104.1			
245~250	18.9	39.9			
240~245	1.4	1.4			

図-Ⅲ.2.1-6 Aダムの浸透量データの分析結果

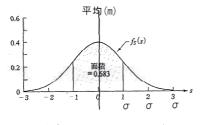
有効水深 (FWL. 269. 1-LWL. 246. 7=22. 4m) を 5 分割し、区間毎平均、平均+3  $\sigma$ 、包絡線 (経験値) を表記している。

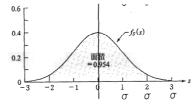
※本データは、事例として 2000 年以降の測定データを表示しているが、(1) 浸透量の長期傾向分析により、適切な分析期間を定めた場合は、当該期間で検討する。

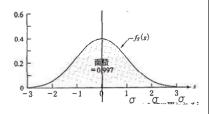
- この結果は以下のように評価できる。
- ①標高区間毎の平均浸透量は、貯水位の上昇にともなってほぼ直線形で増加する。
- ②ばらつきを考慮した「平均+3σ」を超えるデータも一定の数出現している。
- ③全データの「包絡線(経験値)」は「平均+3σ」に対し最大 3.5 倍(満水位付近で 700L/min に対し 190L/min) である。

## (解説)「平均+3σ」のもつ意味

自然現象や確率的な現象の表わす正規分布では、平均(m)と標準偏差の倍数  $(1 \sigma, 2 \sigma, 3 \sigma)$  で囲まれる範囲の面積はそれぞれ以下のようになる。







平均+1 σ:68.3%

平均  $+ 2 \sigma : 95.4\%$ 

平均+3 σ:99.7%

平均 $+3\sigma$ の範囲内のデータは、確率的に 1000 個のデータのうち 997 個が含まれることを意味する。よって、計測データの「平均 $+3\sigma$ 」を超える場合というのは滅多に起こらないことであるため、注意深く挙動を監視する目安値(注意領域境界値)としている。

「平均+3 $\sigma$ 」は、特異な影響が無ければほぼ全てのデータがその範囲に含まれるものである。このため、この範囲から大きく外れた値には、その原因として例えば、浸透量に豪雨や融雪が影響する等、統計処理による予測式では反映できない特異な要因が存在する可能性がある。

このことから、特異値が観測された場合には、その前後の降雨量、融雪の状況、地下水位などの観測データから要因分析を行う。次項に分析事例を示す。

## 【特異挙動の要因分析(例)】

ここでは、「平均 $+3\sigma$ 」を超える浸透量を計測したケースの要因分析を行う。まず、 浸透量(生データ)をもとに特異値の要因を評価する。

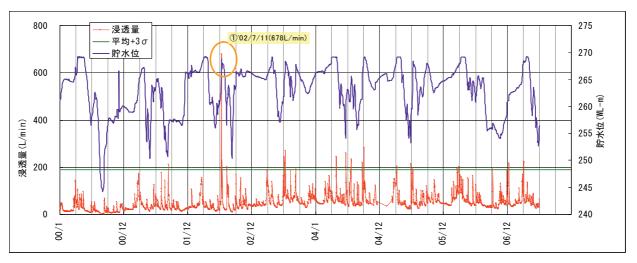


図-Ⅲ.2.1-7 Aダム 浸透量経年変化(生データ)と特異値

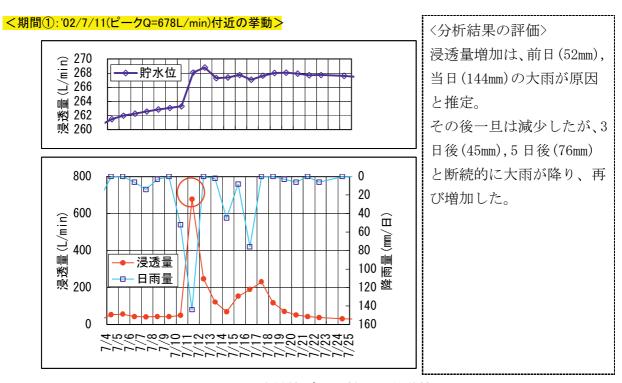
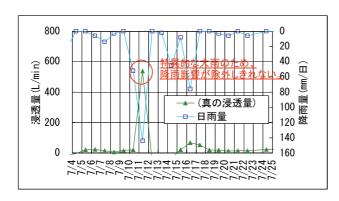


図-Ⅲ.2.1-8 特異値データ付近の挙動検証

次に、降雨影響日数検討から求めた重回帰予測式から、真の浸透量を用いた場合の評価を行う。



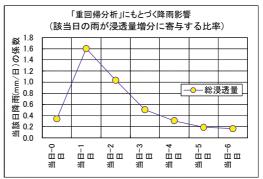


図-Ⅲ.2.1-9 降雨影響を除外した浸透量に関する分析

## 〈分析結果の評価〉

重回帰分析は、全ての降雨データを対象に統計処理するため、変数(降雨量)が特異な値の場合、予測値の再現性が劣ることがある。例えば上記の降雨影響(当該日の降雨量による漏水量にかかる係数)を適用すると、2002年7月11日の「降雨影響: ΔQ」は、

\_ΔQ(Rain)=144(当日雨 mm)\*0.342(係数)+52(1日前雨)\*1.603(係数)+0\*1.036

+3\*0.506+14\*0.307+6\*0.190+0\*0.166 =140(L/min)

となり、実測浸透量 678L/min のため、降雨影響として 140L/min を差し引くと、堤体、基礎地盤及び地山からの浸透量は 538L/min となる。しかし、降雨前の 7月 10 日や降雨後の 7月 14 日は 160L/min 程度であり、この量が降雨影響を除いた浸透量と考えられるため、統計処理による算定式は、全ての降雨(本ダムでは 100mm を超える場合)には対応できないことに留意する必要がある。

これらの検討より、特異値と判断したデータは、統計処理による予測式では反映しきれなかった大雨による一時的な増加で、その後、短期間で従前の水準に回復する傾向を示したことから、安全上問題ないと判断できる。

なお、寒冷地においては冬期の積雪が春先に融雪した際、一時的に浸透量が増加することがある。この場合も大雨時と同様に計測データを分析し、評価(一定期間経過後に元の水準に戻っているか)を行うことが望ましい。

## (4) 安全性評価指標の設定

1) 分析結果にもとづく指標設定の条件

前項、(1)  $\sim$  (3) の分析結果にもとづき、安全性評価指標の設定の条件を以下のように区分する。

# ①浸透量の長期傾向にもとづく条件 《(1)浸透量の長期傾向分析》 ・満水時の浸透量 ->年毎の相関図から求めた直線回帰式より設定する。 [検討手法の概要]

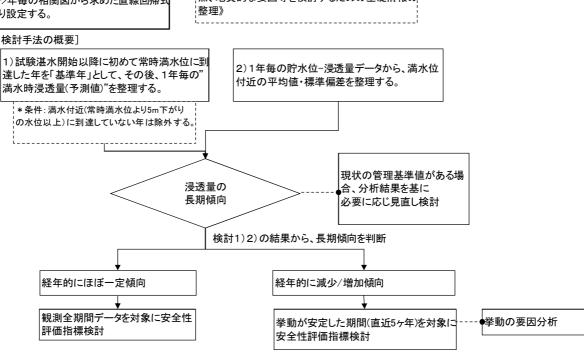


図-Ⅲ.2.1-10 浸透量の長期傾向分析

#### ②降雨影響評価にもとづく条件 《目的:降雨影響を除外した「真の浸透量(貯水位の変 《(2)降雨影響の評価》 化より、堤体・基盤内を浸透する量)」にもとづく安全性 重回帰分析により、降雨影響日数を評 評価のための分析処理》 価する。 ▼「重相関係数R」の値により適合度(再現性)を 左記3条件を満たすか 評価する。(最低でもR=0.2以上) 影響日数が評価 ▼説明変数の有用性として、Excelの分析結果 Νo できるか。 表のt値≥2以上であること ▼降雨の説明変数にかかる係数が(+)であるこ یے Yes

図-Ⅲ.2.1-11 降雨影響評価

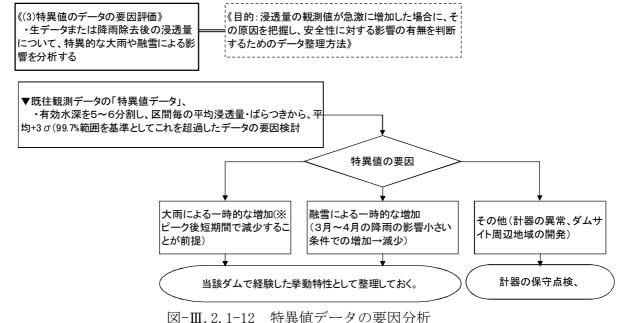
による管理とする。

降雨影響を除外した、真の浸透量

降雨影響を除外しない生デ-

タによる管理とする。

## ③特異値データの要因評価にもとづく条件



## 2) 注意領域境界値の設定

フィルダムの浸透量における安全性評価指標の設定については、設計、ダム供用開始 後の挙動特性、降雨・融雪等の気象条件を踏まえて行う必要がある。

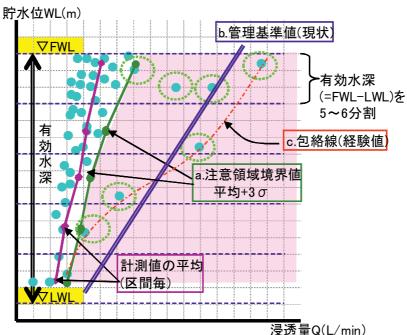
本ツールにおいては、安全性評価指標の標準的な考え方を以下のように定める。

## 【注意領域境界値の設定について】

①「生データ」または「降雨影響を除外したデータ」のいずれのケースを適用する場合で も、日常管理において、《注意領域境界値<sup>(\*1)</sup>》として用いる値は、原則として

有効水深(=常時満水位-最低水位)を5~6分割した区間毎の平均+3σを結んだ線 とする。

- ②ただし、①で設定した線が「包絡線(経験値)」を超える場合はその標高範囲においては 「包絡線(経験値)」を《注意領域境界値》と定める。
- ③ダム管理者に対しては、国の技術職員等が本ツールで分析を行った結果をもとに、《注 意領域境界値》を設定し、この値を安全性評価指標として計測データの評価を行う。
- ④《注意領域境界値》を超過する浸透量を計測した場合は、その後の経過を観察するとと もに、以下の対応をとる。
  - ○浸透量の減少状況の確認(⇒《注意領域境界値》を超過した場合、農政局に連絡)
  - ○浸透水の濁り有無の確認(⇒濁りが生じて継続する場合、農政局に連絡)
  - ○間隙水圧の挙動確認(⇒従来と異なる傾向が見られる場合、農政局に連絡)
  - なお、観察期間は、《注意領域境界値》を下回るまでとする。
  - ※1) 《注意領域境界値》の解説は図-Ⅲ.2.1-13 参照。



a.注意領域境界値:観測値の平均値にばらつき(+3σ)を考慮した値 b.管理基準値 : 設計段階(または試験湛水後)に設定した値

c.包絡線(経験値):計測データの経験値をカバーする包絡線

: 特異値(a.注意領域境界値を超過したデータ)

→注意深く挙動監視

図-Ⅲ.2.1-13 浸透量の安全性評価指標の概念図

計測データにもとづく安全性評価指標の設定は、以下のように区分して行う。

## 表-III. 2.1-6 安全性評価指標の設定

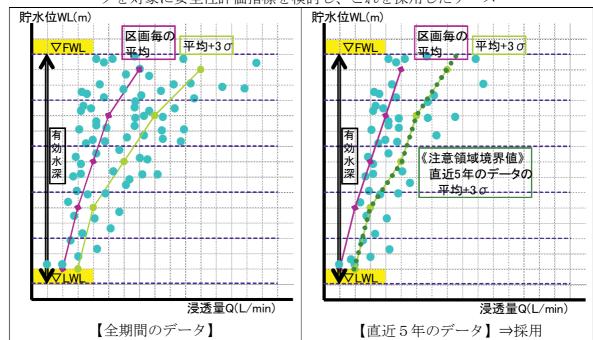
# 

なお、以下のケースのように、統計処理の結果のみからは適切に《注意領域境界値》 が設定できない場合がある。このような場合の考え方を以下に例示する。

実際には複数のケースを組み合わせて適用していくことになると考えられる。

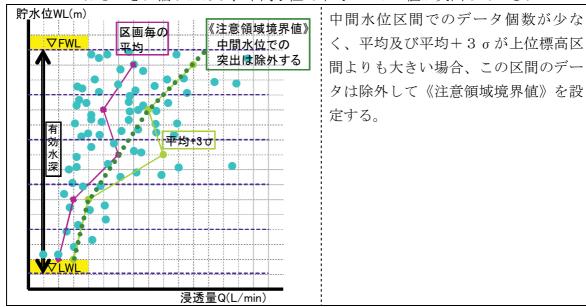
なお、以下に示すパターンに適合せず、注意領域境界値の設定が困難と判断される場合、農政局を通じて本省に照会するか、専門技術者の技術的判断により決定してもよい。

■ケース1:長期的に浸透量が減少傾向を示しており、挙動が安定した直近5年のデータを対象に安全性評価指標を検討し、これを採用したケース



長期的に浸透量が減少しているダムの場合、全期間のデータではなく、概ね一定傾向を示した直近 5 年のデータより「平均 + 3  $\sigma$ 」を算定し、《注意領域境界値》を設定する。長期的に浸透量が増大している場合もこのケースに準ずる。

■ケース2:貯水位の変動サイクルが年によって異なるなど、標高区間毎のデータ個数・ ばらつきに偏りがあり、中間水位で平均+3 σ の値が突出しているケース



■ケース3:ほぼ通年満水位付近で保持しているため、直近年での低水位標高区間のデータが不足しているケース

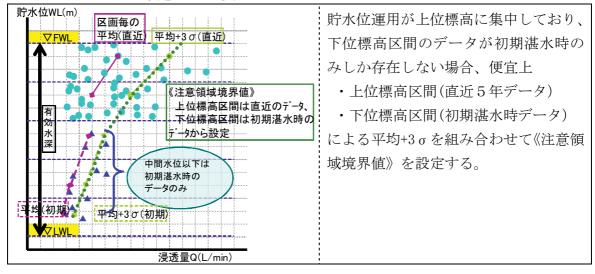


図-Ⅲ.2.1-14 《注意領域境界値》の設定例

## 《参考資料:浸透量管理基準値としてタンクモデルによる検討事例》

一般的に浸透量が増減する要因として、「貯水影響」「基底流量の季節変化」「降雨・融雪影響」「計測機器等の測定誤差」などがある。これらの各要因に対して、それぞれ定量的に評価し、それらの合計値を管理基準値として設定する。

○浸透量管理基準値=「貯水影響量」+「降雨・融雪影響量」+「誤差成分」+「基底流量」 ここで、降雨・融雪影響量を計算する流出モデルとして、「タンクモデル解析法」を用いた 事例を以下に紹介する。

#### (a)流出成分の検討

一般的に降雨により地中に浸透した雨水が河川等に流出する主要な経路して、下記の3つの経路があるとされている。

- ①地表面あるいは土壌層を浸透する表面流出成分(短期流出)
- ②地中に浸透して浸透域から流出する中間流出成分(中期流出)
- ③地下水面まで浸透して流出する基底成分(長期流出)

上記の各流出成分は、降雨影響により浸透水量が増加し、その時のピークからの低減期間の観測値を「経過日数」と「 $\ell n(y0/y)$ ; y は観測流量、y0 はピーク流量」の相関図として描いた時の勾配から確認することができる。

貯水位上昇試験以後の観測値から、降雨影響による増加ピークから流量低減までに複数の降雨影響を受けていないこと、基底流出段階まで浸透量が減少していることなどを条件として3波形を選択(融雪波形はピークから何日かは融雪影響が残っている可能性があるため除外)して、上記の方法により相関図を描いたところ、3つの勾配区間が確認されたことから、浸透水には、「表面流出」「中間流出」「基底流出」の3つの流出成分が含まれていると判断される。

流量低減性状の検討

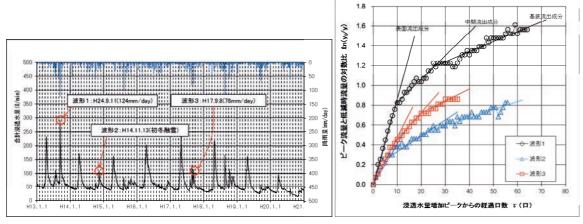


図-Ⅲ.2.1-15 浸透量履歴図および相関図より流出成分の抽出

#### (b) タンクモデルの検討

タンクモデルは、流出成分に応じた仮想タンクを作成して、タンク内の水位と水位に応じた流出孔からの流出量を計算して総流出量を求める手法である。

該当ダムの流出成分は3成分であり、特に特殊な流出経路は存在していないことから、直列3段タンクとし、タンクモデルの係数については、実測浸透量に一致するようにパラメータを修正しながらトライアル計算を行ってモデルを作成している(実測値と計算値の相関図を描き、回帰式の勾配が1.0に近いこと、相関係数が0.75以上であることを目安としてトライアル計算)。

なお、融雪期における融雪量は、日最高気温と日最低気温の平均を日平均気温とし、積雪期間について、日平均気温に融雪量換算係数を乗じ、地熱による融雪量を加算して求めている。また、積雪期間においても日平均気温がプラスの場合は、降水量を雨と判断して加算している。

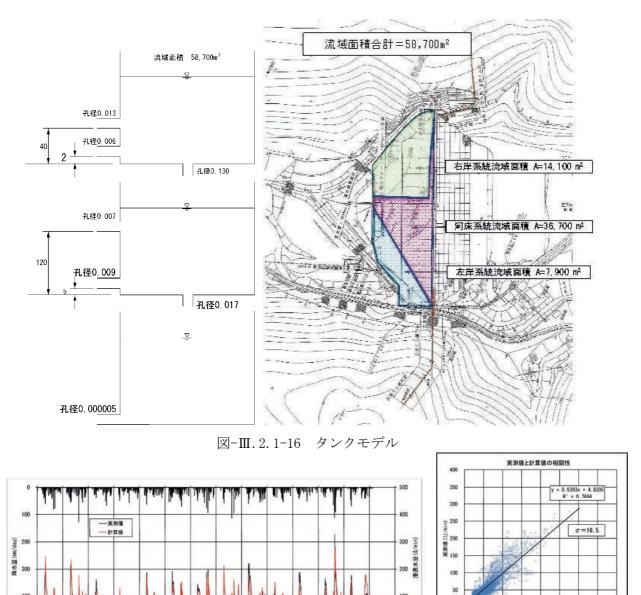


図-Ⅲ.2.1-16 実測値と計算値の相関図によるトライアル計算

## 2. 2 間隙水圧の分析・安全性評価指標の検討

間隙水圧のデータ整理・分析に際しては、①長期的な変化を確認する必要があること、②堤体上下流方向の圧力分布を確認する必要があること、③貯水圧に対する発生率を確認する必要があること、を踏まえ以下のフローに従い実施する。

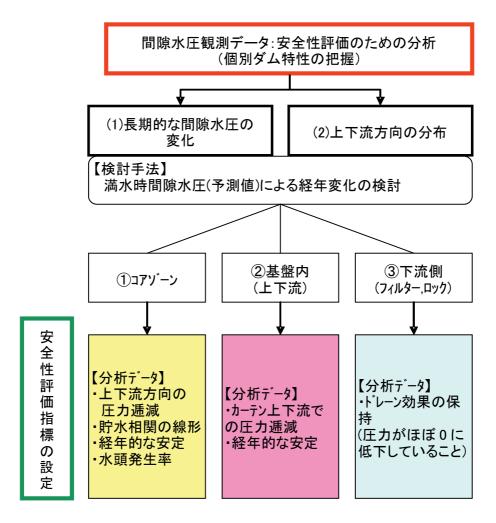


図-Ⅱ.2.2-1 安全性評価指標設定のフロー

各作業の手順について以下に示す。

## (1) 長期的な間隙水圧の変化

堤体材料・基礎地盤内の浸透状況に関する安全性を検討するために、長期的な間隙水 圧の変化を図化し評価する。

# 【検討手法】

「満水時間隙水圧(予測値)」を指標とし、経年的な間隙水圧の変化を検討する。さらに、堤体上下流方向(同一標高)に配置した間隙水圧の圧力変化(逓減傾向)を把握する。

## [定義] 満水時間隙水圧(予測値)

間隙水圧計測データを年毎に整理し、直線回帰式により貯水位一間隙水圧相関図を作成する。この時の常時満水位おける間隙水圧を「満水時間隙水圧(予測値)」とする。 ただし、「常時満水位から 5m 下がりの水位以上」を経験した年のデータのみを対象とする。

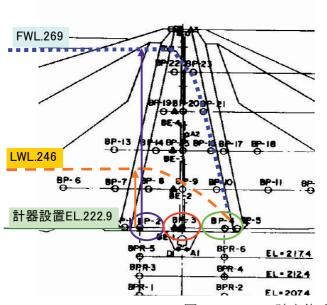
## 【検討例】

①計測期間の貯水位-間隙水圧の相関図を作成し、各年の直線回帰式を作成する。

(各年のデータは、経年変化の状況を把握するため、色を変えている。)

図化対象は、フィルダムの遮水機能の評価において最重要となる遮水ゾーン(着岩部直上)の上流・中央・下流側計器とする。

各計器について、下図のように貯水位との相関図を整理する。



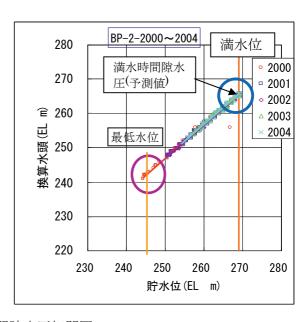


図-Ⅲ.2.2-2 貯水位-間隙水圧相関図

- ②各年の「満水時間隙水圧(予測値)」の変化 整理したデータをもとに下記のグラフを作成し、
  - a. 経年的な変化
  - b. 上下流方向の圧力分布
  - c. 貯水圧に対する間隙水圧の発生率
  - の3要素から安全性を評価する。

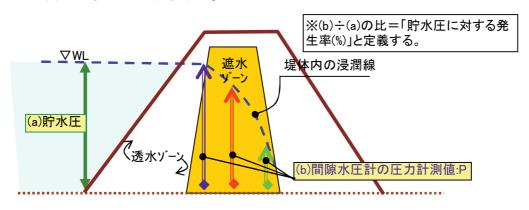


図-Ⅲ.2.2-3 「貯水圧に対する間隙水圧発生率」の概念図

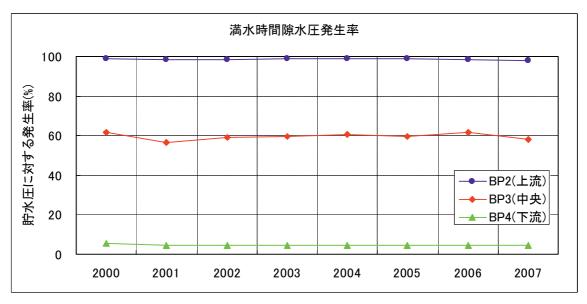


図-Ⅲ.2.2-4 満水時間隙水圧(予測値)の経年変化

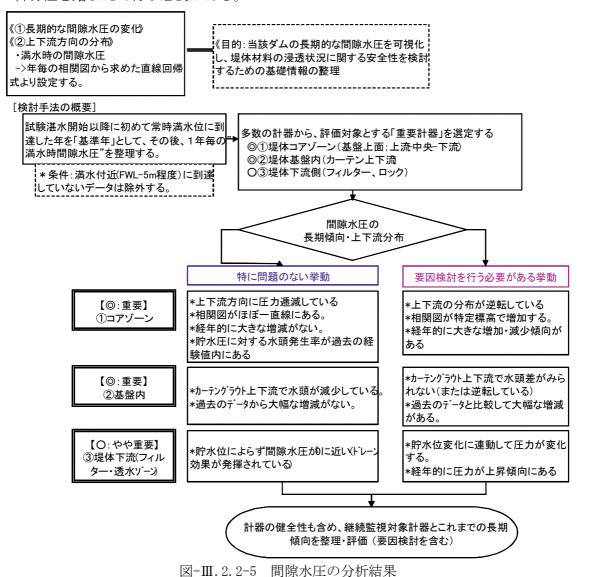
グラフから以下の事項が確認でき、間隙水圧については安全上問題ないと判断できる。

- a. コアゾーンの間隙水圧の経年的な変化(定性的・定量的)が安定傾向である。
- b. 上下流分布は上流~下流に向かって圧力逓減しており正常である。
- c. 貯水圧に対する圧力の発生率は、最上流でやや高いが、安定傾向であり問題ない。

上記の箇所以外の間隙水圧計についても、同様の整理方法が適用できる。

## (2) 安全性評価指標の検討

フィルダムの間隙水圧における安全性評価指標の設定については、ダム毎の挙動、材料特性を踏まえて行う必要がある。



安全性評価指標の設定は以下のように行う。

表-Ⅲ.2.2-1 安全性評価指標の設定

## 《経験値に基づく安全性評価指標》

間隙水圧の一般的(正常)な状態は、以下のように考えられる。

- ・長期的に「定常化」する傾向にあること。
- ・上流→下流方向に「圧力逓減」(コアゾーン、基盤内)が生じていること。

これらを踏まえ、間隙水圧は「経年変化図」、「相関図」による管理とし、過去の経験値との比較、貯水位との相関関係を把握する。

また、異常なデータの発生が疑われる場合、必要に応じてポテンシャル図、流線網を作成し、浸透状況の妥当性を確認する。

## 2. 3 表面変位の分析

フィルダムの表面変位は、大規模地震を受けた場合などは従来と異なる挙動を示す場合がある。

表面変位の計測データは、代表地点(河床部最大断面、左岸側、右岸側の3点程度)を 選定し、「沈下量」及び「水平変位量」の経年的な変化を図化する。

なお、整理方法としては、下図のように水平変位と沈下量(鉛直変位)を表示することで 2次元的な動きを把握できる。

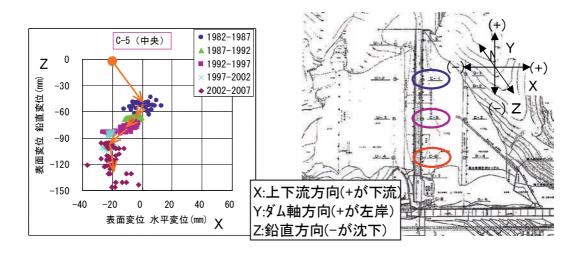


図-Ⅲ.2.3-1 表面変位の2次元的な変化状況の整理例(断面変位図)

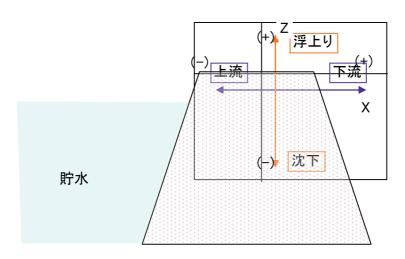


図-Ⅲ.2.3-2 断面変位図の意味

## 2. 4 地震時挙動の整理

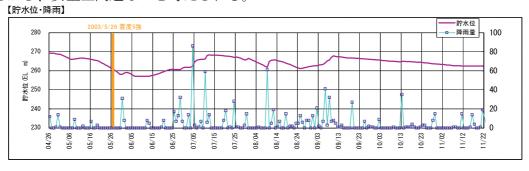
大規模地震によりダムの基盤、堤体が大きな地震動を受け、挙動に変化が生じた場合は、 収束傾向(定常状態)が確認できるまでは挙動監視する必要がある。

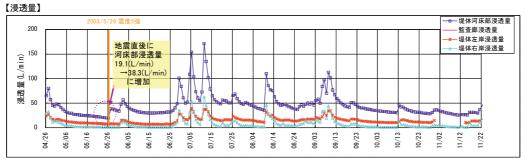
一定規模以上の地震が観測された場合(ダムの基礎地盤または堤体底部に設置した地震計により観測された地震動の最大加速度が 25gal 以上である地震、ダム地点周辺で得られる気象庁の震度観測結果が震度階 4 以上の地震)は、「土地改良施設管理基準-ダム編-平成16 年 3 月」に従い、計測、点検、監視を行う (P30「7.5 臨時の計測、点検、監視」、P173「7.5.2 地震時、洪水、大雨時の計測、点検、監視の内容」を参照)。また、この際の計測データと評価の記録についても整理しておくことが望ましい。

## 【地震後の挙動の計測例】

## (1) Aダム

地震前後で浸透量の一部系統で地震前よりも数 L/min 程度増加した状態となったが、地震後 6 ヶ月間の挙動から、貯水位との相関関係は正常であること、絶対量としては小さいことから、安全上問題ないと考えられる。





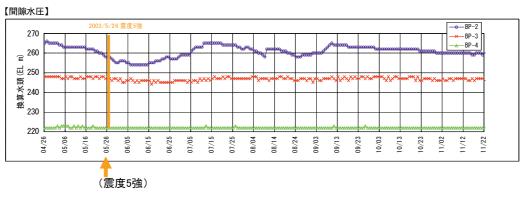
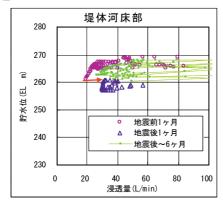
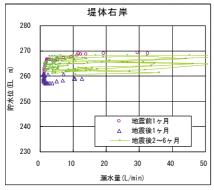


図-Ⅲ.2.4-1 地震時挙動の例(Aダム:経年変化)

## <浸透量>





・堤体河床部では、地震直後に浸透量が20L/min程度増加し、その後6ヶ月を経過した時点では、地震前と比べ数L/min程度増加しているが、概ね従前の値に戻り、貯水位との関係も定常状態にある。

浸透量(L/min)

堤体左岸

地震前1ヶ月

地震後1ヶ月

地震後~6ヶ日

50

280

270

260

250

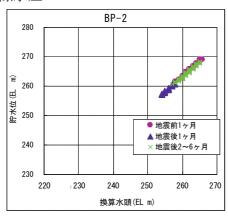
240

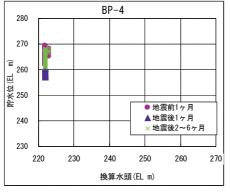
230

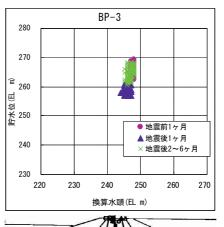
【評価】

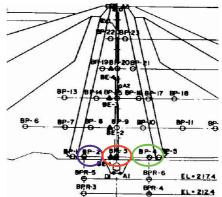
・堤体左岸・右岸は地震後早期に従前の値に戻っている。

# <間隙水圧>









【評価】コア基部の間隙水圧計は、地震による影響はほとんど認められない。 図-Ⅲ.2.4-2 地震時挙動の例(Aダム:貯水位との相関図)