

農業用ダム機能診断マニュアル
計測データ分析用
—土地改良調査管理事務所等の技術職員向け—

平成31年3月

農林水産省農村振興局

《目 次》

I. 目的	1
II. 分析ツールの概要	1
1. 分析ツールの構成.....	1
2. 分析ツールの対象.....	2
III. 計測データの整理、分析	
1. 共通編.....	3
1. 1 計測データの蓄積及び電子データによる図化作業.....	3
1. 2 個別ダムの基本情報収集	5
1. 3 分析データの検証、報告等	10
2. フィルダム編	13
2. 1 浸透量の分析・安全性評価指標の検討	13
2. 2 間隙水圧の分析・安全性評価指標の検討	33
2. 3 表面変位の分析	37
2. 4 地震時挙動の整理	38
3. コンクリートダム編	42
3. 1 浸透量の分析・安全性評価指標の検討	42
3. 2 揚圧力の分析・安全性評価指標の検討	48
3. 3 堤体変位の分析・安全性評価指標の検討	52
3. 4 地震時挙動の整理	55
(参考)ロックフィルダムにおける浸透量管理基準の検討事例紹介	60
(参考)ダム管理マップ作成の手引き	106
◆統計用語の解説	108

I 目的

農業用ダムについては、他の農業水利施設と比べ、事故が発生した場合に、周辺地域に及ぼす影響が非常に大きく、常に十分な安全性が確保されている必要がある。

これまでダムの機能診断については、目視を中心に堤体や周辺地山等のダムの変状等を客観的に把握・評価するために、ダム管理にあたる土地改良区等の職員による日常点検（1次調査）、土地改良調査管理事務所等の技術職員が行う定期点検（2次調査）の手法をとりまとめ、平成17年度から実施しているところである。

一方で、ダムの挙動については埋設計器等により計測し、ダムの安全性を絶えず監視している。計測のデータからは、長期にダムを供用する中で時間の経過とともに構造物が劣化する兆候が異常値として現れることが考えられる。しかし、計測データの評価手法や安全性を評価する指標がないため、計測データの評価等は、各ダムの管理者の能力や経験に依存している状況にある。

このため、ダムに発生している異常を早期に察知しダムの安全性を確保することを目的とし、機能診断の一手法として、計測データを活用した機能診断手法をとりまとめた。土地改良区等のダム管理実務者向けには「計測データ管理用」、土地改良調査管理事務所等の技術職員向けには「計測データ分析用」として策定しており、相互に連携することで、計測データの管理・評価、データの分析と安全性評価指標の検討を行うものである。

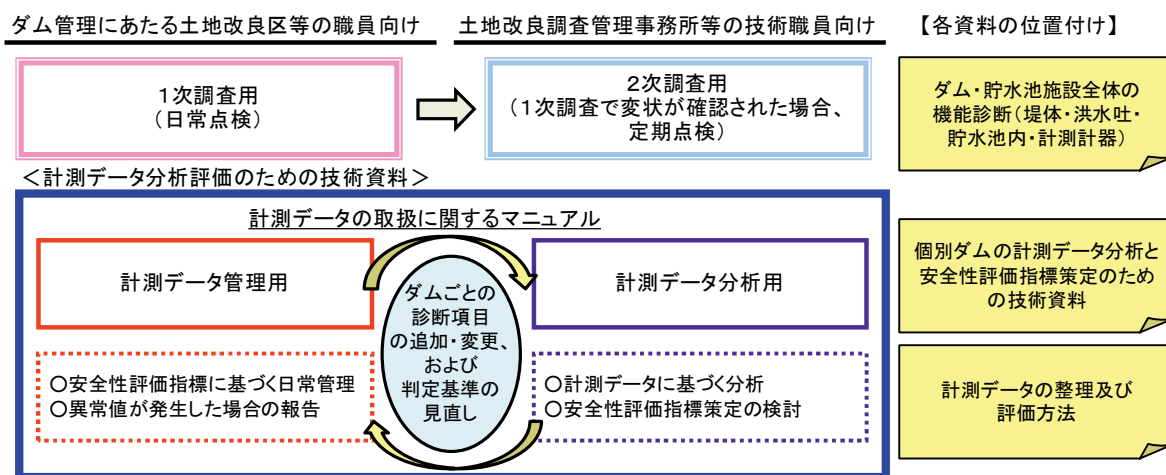


図-I-1 長期供用ダムの機能診断に関する各種資料の位置付け

II 分析ツールの概要

1. 分析ツールの構成

本分析ツールでは、計測データの整理・分析と安全性評価のための管理基準を検討するための具体的な手段として、フィルダム・コンクリートダムの基本情報の収集、フィルダムの計測データ分析方法及び管理基準の検討方法、コンクリートダムの計測データ分析方法及び管理基準の検討方法の3つの手順を具体的に説明している。

①共通編

計測データの蓄積及び図化作業、個別ダムの基本情報収集、分析結果の報告等

②フィルダム編

浸透量、浸潤線（間隙水圧※）、表面変位の分析方法と安全性評価のための管理基準の検討、地震時挙動の整理

※浸潤線観測孔の孔内水位も間隙水圧と同様に整理することが望ましい

③コンクリートダム編

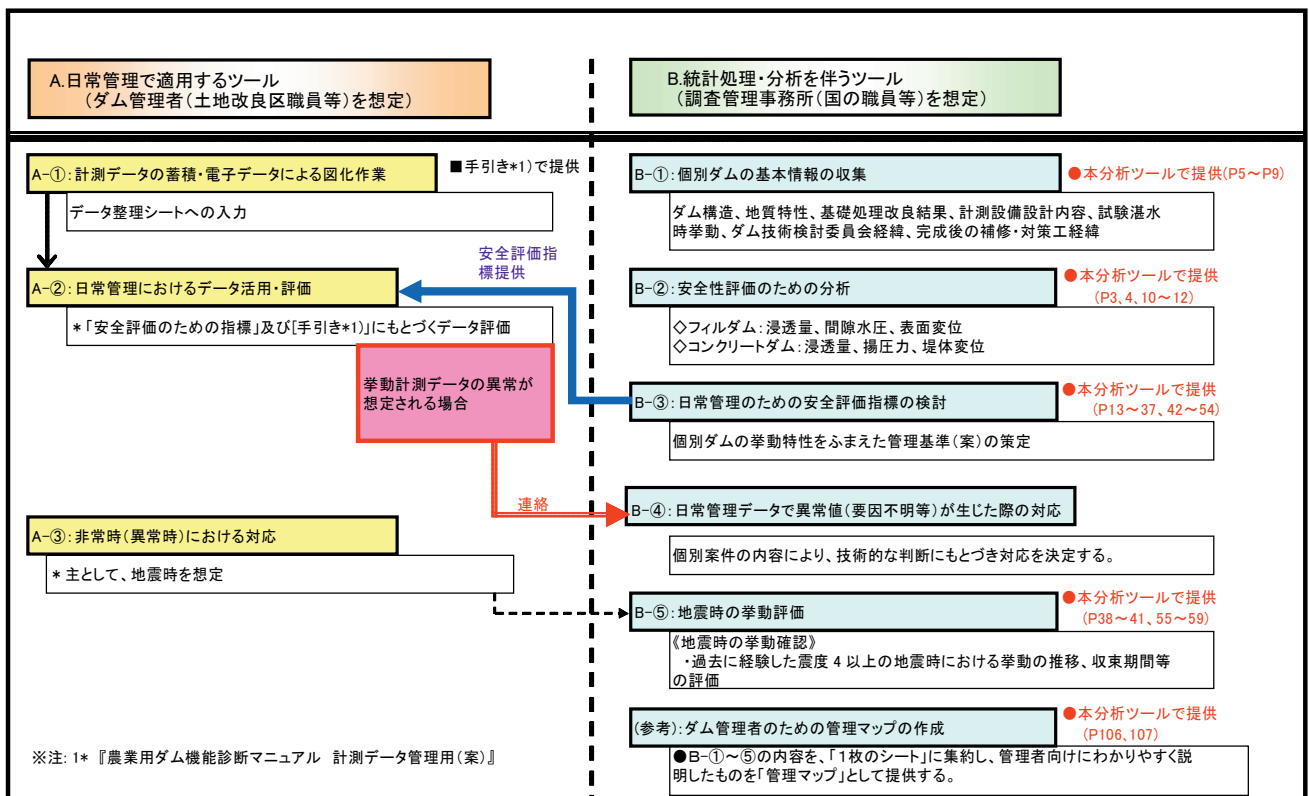
浸透量、揚圧力、堤体変位の分析方法と安全性評価のための管理基準の検討、地震時挙動の整理

2. 分析ツールの対象

農業用ダムの計測データの取り扱いについては、ダム管理者が日常管理において計測データを蓄積・整理するものと、国の技術職員が計測データをもとに統計処理・分析を行い、安全性評価指標を検討するものがある。

分析ツールに基づく作業は、以下の概要にしたがって実施することとなる。

表-Ⅱ.2-1 分析ツールの概要



Ⅲ 計測データの整理、分析

1 共通編

1. 1 計測データの蓄積及び電子データによる図化作業

計測データは、長期にわたり整理し、ダムの状態を管理者だけでなく関係機関や河川管理者等にわかりやすく示すため、電子データを蓄積し、表計算ソフトで図化作業を行なう必要がある。

計測データの蓄積及び図化作業は、手引きの添付ソフトとして提供する Microsoft[®] Excel を用いた「データ整理シート」を活用して作業を行う。

貯水位、外気温、日雨量等と、浸透量、間隙水圧などの計測データを、「データ整理シート」の[様式3]ワークシートに入力する。

表-Ⅲ. 1. 1-1 データ整理シートの入力例

Aダム															
Time	WL	Temp	Rain	浸透量					間隙水圧						
測定日時	貯水位	外気温	日雨量	WL-C	WL-K	WL-L	WL-R	総浸透量	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AP-6	AP-7
測定日時	貯水位	外気温	日雨量	堤体河床部浸透量	監査廊浸透量	堤体左岸浸透量	堤体右岸浸透量	総浸透量	間隙水圧計	間隙水圧計	間隙水圧計	間隙水圧計	間隙水圧計	間隙水圧計	間隙水圧計
日	m	℃	mm	L/min	L/min	L/min	L/min	L/min	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
2000/1/1	261.11		0	17.1	0	0	0	17.1	0.22	0.14	0.01	0.12	0.09	0.01	0.02
2000/1/2	261.15		0	15.8	0	0	0	15.8	0.22	0.14	0.01	0.12	0.09	0.01	0.02
2000/1/3	261.2		3	15.3	0	0	0	15.3	0.22	0.14	0.01	0.12	0.1	0.01	0.02
2000/1/4	261.27		6	16.5	0	0	1.1	17.6	0.22	0.14	0.01	0.12	0.1	0.01	0.02

注1：計測データは1日1データとする。

2：データが欠測・異常値の場合、セルは空白としておく。

計測データの図化は、基本的には『経年変化図』（横軸を時間、縦軸を計測値としたグラフ）及び『貯水位との相関図』（横軸を計測値、縦軸を貯水位としたグラフ）の2種類を作成する。

浸透量及び間隙水圧計の図化例を以下に示す。

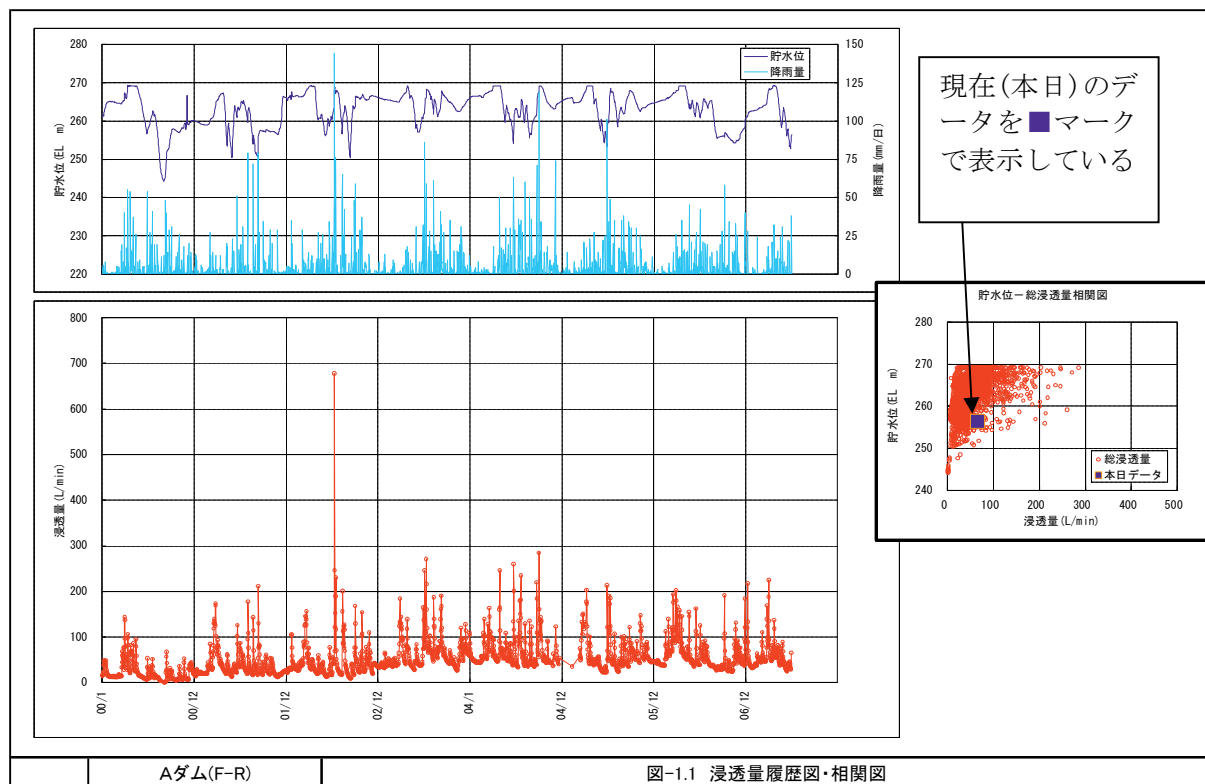


図-Ⅲ. 1. 1-1 浸透量データの図化例 (履歴図・相関図)

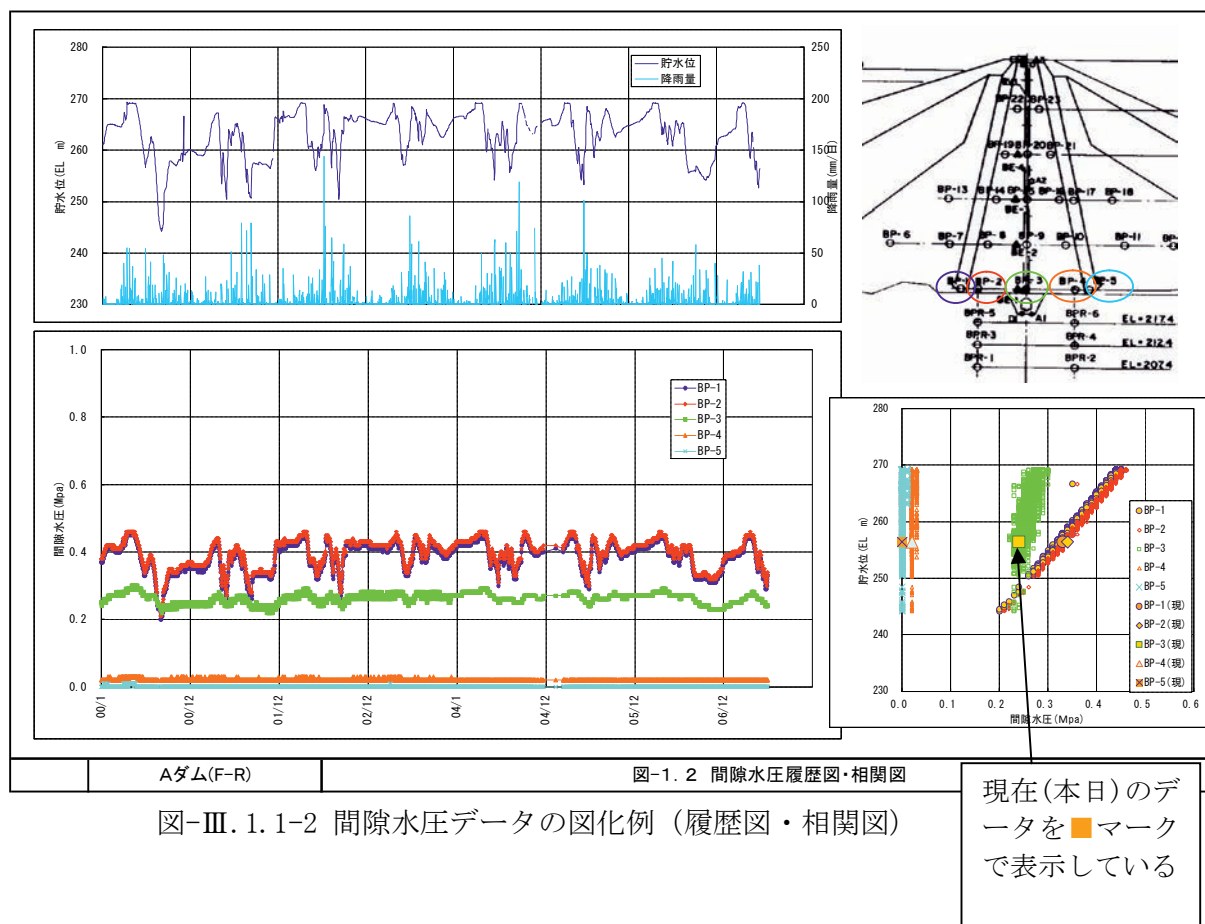


図-Ⅲ. 1. 1-2 間隙水圧データの図化例 (履歴図・相関図)

1. 2 個別ダムの基本情報収集

個別ダムの安全性評価のための管理基準の検討に当たっては、ダムの特性を把握することが不可欠であり、このために必要な基本情報を収集する必要がある。

主な情報は、「ダム技術誌、工事誌、事業誌」、「ダム技術検討委員会資料、安全性評価委員会資料」、「一部使用検査・完成検査資料」、「工事出来型図、完成図書」等から収集することになるが、工事着工後の条件変更等により、当初の設計内容が施工段階で変更されている場合があることに留意し、最終段階の資料であることを確認したうえで電子データ化することが望ましい。

収集すべき基本情報を以下のリストに示す。

表-Ⅲ. 1. 2-1 個別ダムの特性把握に必要な基本情報（チェックリスト）

区分	収集すべき資料		
ダム基本図面	☐ 計画平面図	☐ 堤体縦断面図	☐ 堤体標準断面図
	☐ 計測計器配置図		
地質関係図	☐ 地質平面図	☐ 地質縦断面図	☐ 地質横断面図
	☐ 岩級区分平面図	☐ 岩級区分縦断面図	☐ 岩級区分横断面図
	☐ 施工前 [°] の [°] ンマップ [°]	☐ 施工後 [°] の [°] ンマップ [°]	
計測計器点検	☐ 専門技術者による計器の点検記録		
ダム技術資料	☐ ダム技術誌	☐ ダム工事誌	☐ 事業誌
	☐ 完成検査図書	☐ 一部使用協議図書	☐ 河川協議図書
	☐ 実施設計報告書		
ダム委員会資料	☐ ダム技術検討委員会資料	☐ 安全性評価委員会資料	
施工記録	☐ 工事完成図書	☐ 工事出来型図	
検査資料	☐ ダム定期検査資料	☐ 地震時臨時点検結果	
計測データ	☐ 気象・水象観測データ	☐ 堆砂測量データ	☐ 水質データ
	☐ 浸透量	☐ 浸潤線、揚圧力	☐ 堤体変位
調査・補修等履歴	☐ 完成後の補修・改修記録	☐ 機能診断関連業務報告書	

注1. 入手可能なものから順次収集する。

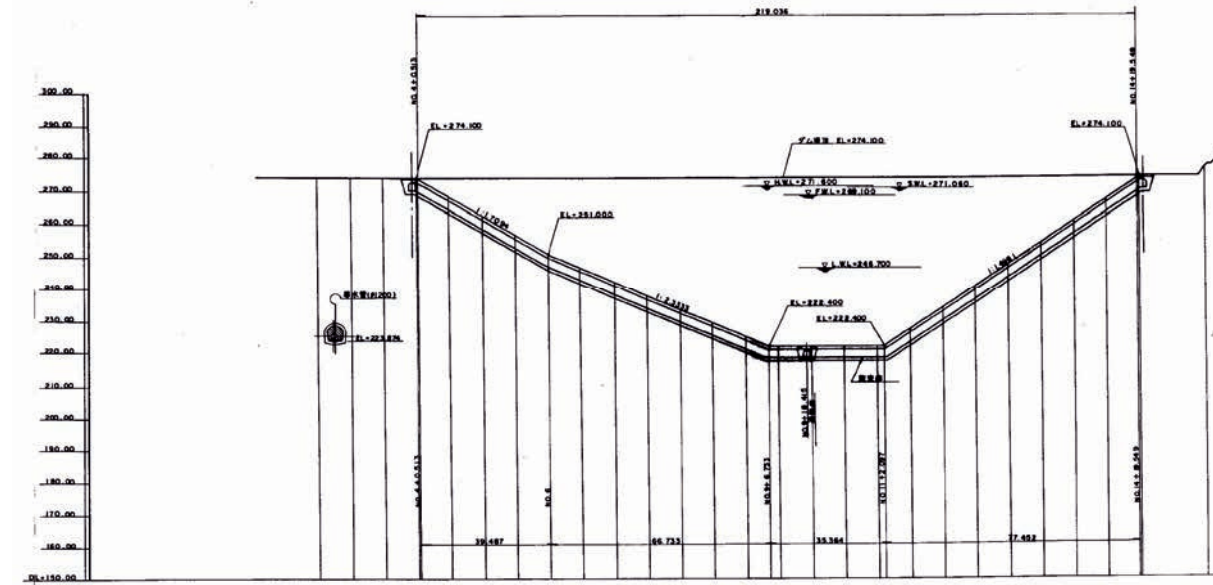
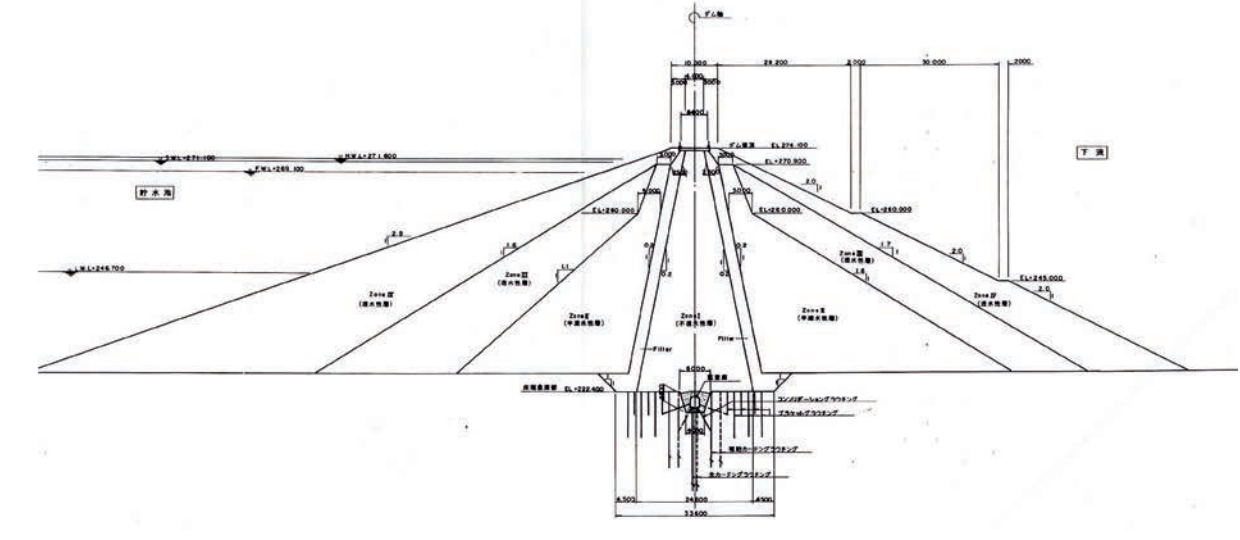
2. 収集資料は電子データ化することが望ましい。

上記の基本情報から必要最小限なものをまとめた『ダム基本データ整理様式』の例を以下に示す。

表-Ⅲ.1.2-2 『ダム基本データ整理様式』の例(その1)

		【ダム 諸元】					
一般	位置	基礎 流紋岩					
	流域面積	直接 22.49km ²	間接 — km ²	計 22.49km ²			
	満水面積	km ²					
	総貯水量	5,000,000m ³					
	有効貯水量	4,650,000m ³					
	堆砂量	350 千m ³ (100年)					
	常時満水位	EL. 269.1m					
	設計堆砂位	EL. 246.7m					
貯水池	型式	中心遮水ゾーン型ロックフィルダム					
	堤高	57.1m					
	堤長	220.0m					
	堤頂幅	10.0m					
	天端標高	EL. 274.1m					
	堤体積	678,000m ³					
	堤体材料	ゾーン名	堤体積(千m ³)	γd(tf/m ³)	φ(度)	c(tf/m ²)	K(cm/s)
		ゾーンⅠ	80,000	1.46	30°00'	4.0	1*10 ⁻⁵
		ゾーンⅡ	161,000	1.55	35°00'	0.0	
		ゾーンⅢ	143,000	1.93	40°00'	0.0	
ゾーンⅣ		252,000	1.80	42°00'	0.0		
フィルター		35,000	1.85	35°00'	0.0		
河床ドレーン		7,000					
試験湛水開始年月日		1991. 2. 22					
供用開始年月日		1992. 4. 1					
湛水開始～経過年		17年8ヶ月 ※2008年時点					
※上記はダム諸元のうち貯水池・堤体規模に関する一部の情報を示している。 詳細情報は「農業水利ストック情報データベースシステム」より入手する。							

ダム計画平面図

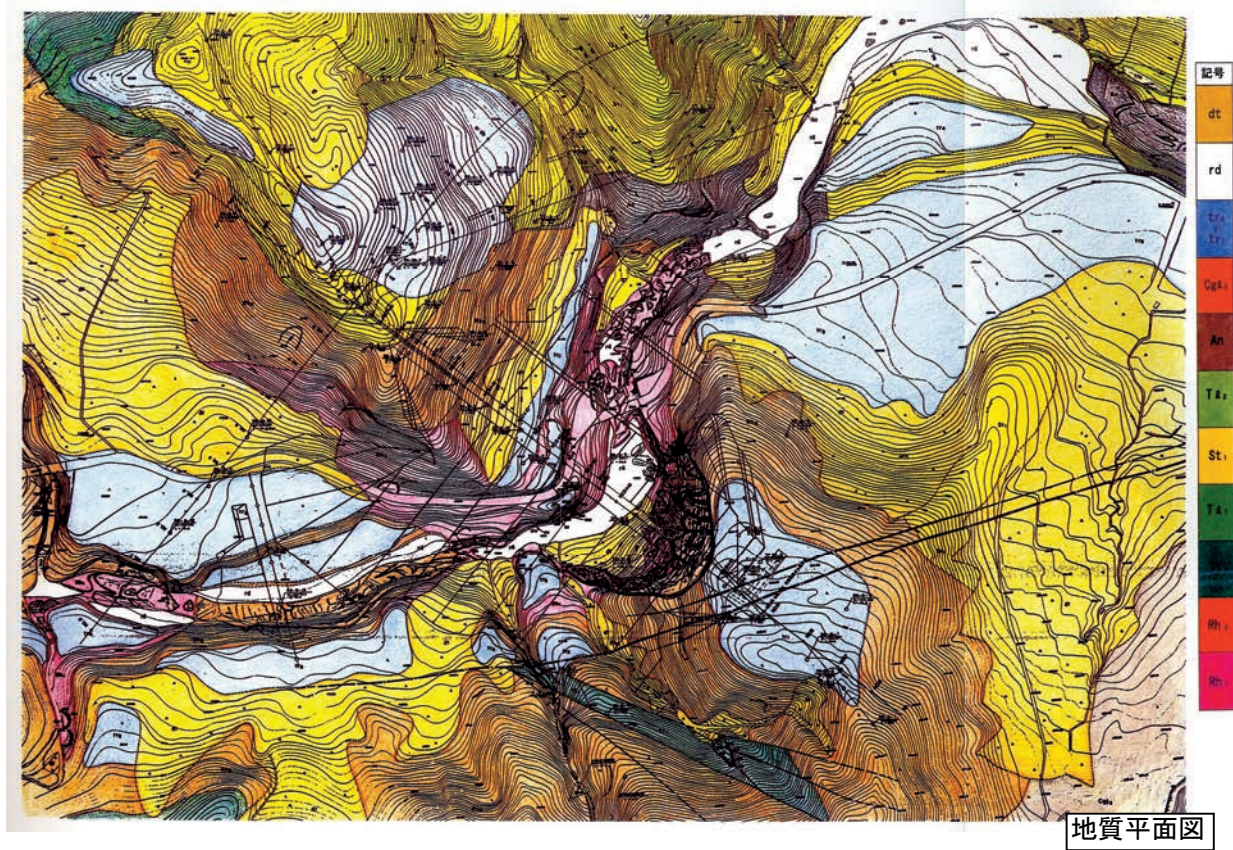
			
ダム軸縦断面図		堤体標準断面図	

Aダム(F-R)

基礎データ(その1)ダム構造諸元

※資料:Aダム技術誌(H11.10発行)から引用

表-Ⅲ. 1. 2-2 『ダム基本データ整理様式』の例(その2)



地質平面図

＜ダムサイトの地形・地質＞

○地形

ダム軸予定地点の本川はS字型に蛇行しており、常時河谷を形成している川幅20m程度である。左岸側アバットはやや緩やかで、河床よりEL250付近までは1:2.8程度、EL. 250m以上は1:1.2程度の勾配右岸側アバットは河床から連続する1:1.0程度の急峻崖をなしており、EL. 280mまで続いている。

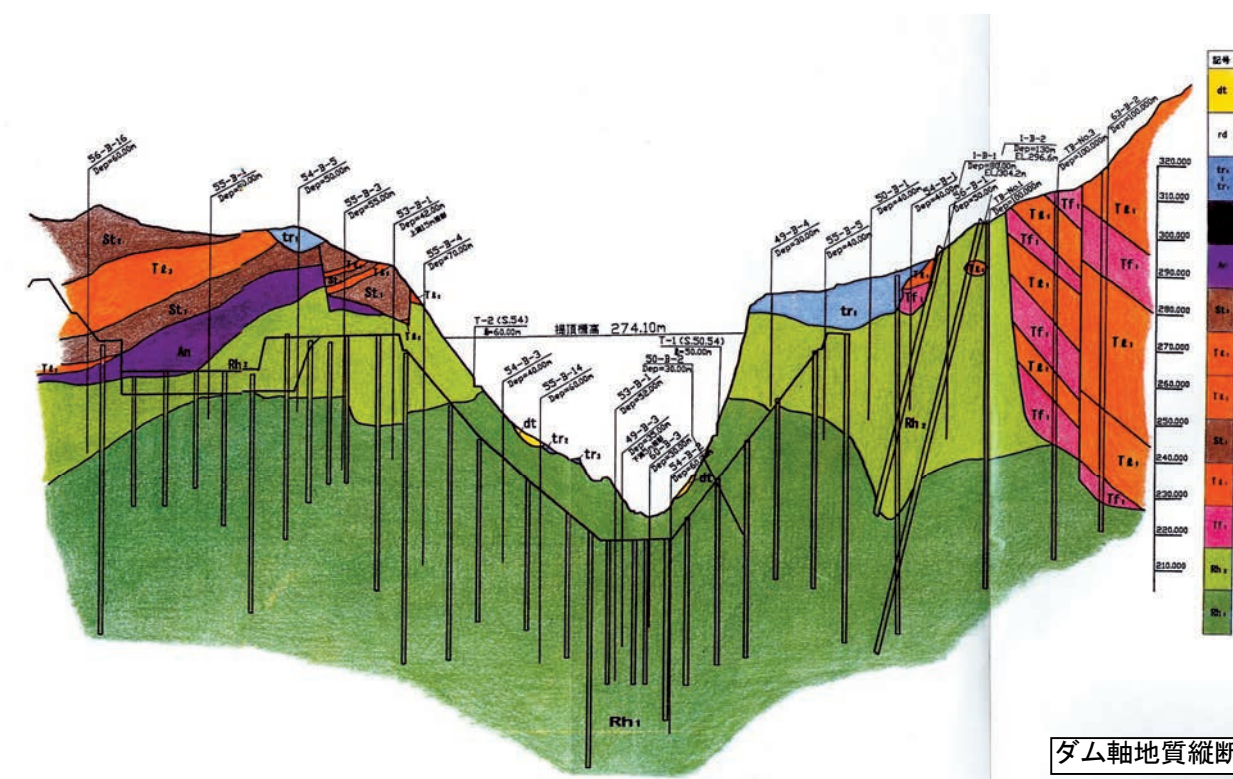
○地質

ダムサイトの基盤地質は、グリーンタフ（緑色凝灰岩類）と呼ばれる地質に属す。下位より、新第三系中新統の流紋岩1（Rh1）、流紋岩2（Rh2）、これらを不整合に覆って流紋岩質凝灰岩1（Tf1）、火山礫凝灰岩（Tl1）・凝灰質砂岩（St1）及び火山礫凝灰岩2（Tl2）が類重しそれらの地層を貫いて安山岩（An）が貫入している。これらの中新統を不整合に礫岩2層（G12）が覆っている。被覆層としては第四系洪積統段丘堆積物（Tr）、沖積統河床堆積物（rd）及び岩砕堆積物（dt）からなる。

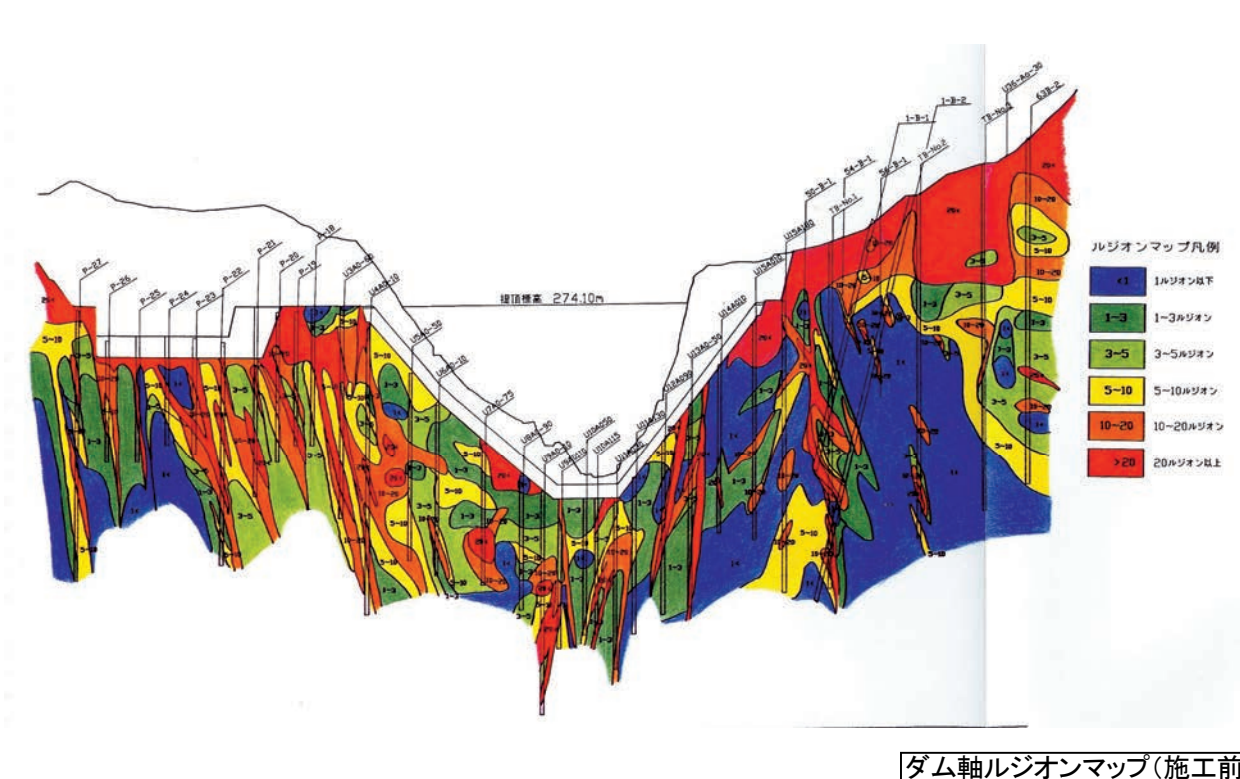
地質構造は大きく見て現河床付近を軸とする背斜構造を呈し、右岸には2条の川落ち急傾斜の断層が、左岸には数条の川落ち傾斜の小断層が見られる。

表 2.2.0 ダムサイト地質層序表

地質時代	地質名	記号	記 事	分 布 域
第四系	岩 碎 堆 積 物	dt	付近の山体を構成する地質を角礫として含む土砂。未固結。	実況沿いや山裾部に分布。
第四系	河 床 堆 積 物	rd	凝灰岩や流紋岩などの円礫～角礫を含む未固結の砂礫層、中礫層の砂礫層、シルト層を挟む。	高丸川に分布。
第三系	礫 石 堆 積 物	tr	凝灰岩や流紋岩、シルト層、花崗岩などの円礫を含む未固結の砂礫層、礫層は数m～50m程度。砂礫やシルト層を挟む。	高丸川沿いに平坦面を形成して分布。
第三系	安 山 岩	An	自説的向斜構造を呈する部分が多い。安山岩本体は堅硬緻密で輝石・長石をわずかに含む。貫入断層部で著しく岩質劣化を呈する。われ目少なく固結良好であり断層は岩質に取られない程度の硬さ。貫入断層付近は、凝灰角礫岩状。	ダム軸より下流の川沿い及び山裾に流紋岩2と凝灰質砂岩1との境界付近に断層状に分布。
第三系	火山礫凝灰岩2	Tl2	淡緑灰色安山岩、シルト岩、凝灰岩などの角礫～円礫を含み、基質が安山岩質凝灰岩より構成される。割れ目少なく、軟質でハンマーの軽打でくぼむ程度の硬さ。	凝灰質砂岩1と互層をなして分布。
第三系	凝灰質砂岩1	St1	黒色～濃緑色地質性岩質の凝灰質砂岩。砂粒は角ばっている。割れ目少なく、軟質で岩質はハンマーの軽打で容易に割れる程度の硬さ。	ダム軸より東部に主に分布する。
第三系	火山礫凝灰岩1	Tl1	淡緑灰色、緑色の輝石を多く含む。基質は淡緑灰色や灰色の細粒凝灰岩より構成される。割れ目は少なく浸透性差著。岩質は、ハンマーの軽打で容易に割れる程度の硬さ。	ダムサイトより上流側の分布。
第三系	流紋岩質凝灰岩1	Tf1	暗緑色のガラス質凝灰岩や流紋岩角礫を含む泥質や砂質の凝灰岩。割れ目は少ない。	ダムサイト右岸に断層に挟まれた形で分布。
第三系	流紋岩2	Rh2	白色～淡緑色、自影の長石輝石や粒形の石英斑晶を含む。自説的。3～20m間隔の大きな割れ目が見られる。qu=50～200kg/cm ² 程度の軟岩。	ダムサイト付近では山腹中部～山頂部に広く分布。下位のTl1を被覆岩として取り込んでいる。
第三系	流紋岩1	Rh1	緑色や黒色を呈する。ガラス質、自説的を呈する。長石や石英の斑晶を含む。割れ目見られ。5～20cm間隔の柱状節理が発達している断層と1～3m間隔の割れ目が見られる部分もある。地質断層付近では、流紋岩質。qu=150～300kg/cm ² 程度の中硬岩。	ダム軸付近の河床部～山腹中部に分布。



ダム軸地質縦断面図



ダム軸レジオンマップ(施工前)

Aダム(F-R)

基礎データ(その2)地質概要

※資料:Aダム技術誌(H11.10発行)から引用

表-Ⅲ.1.2-2 『ダム基本データ整理様式』の例(その3)

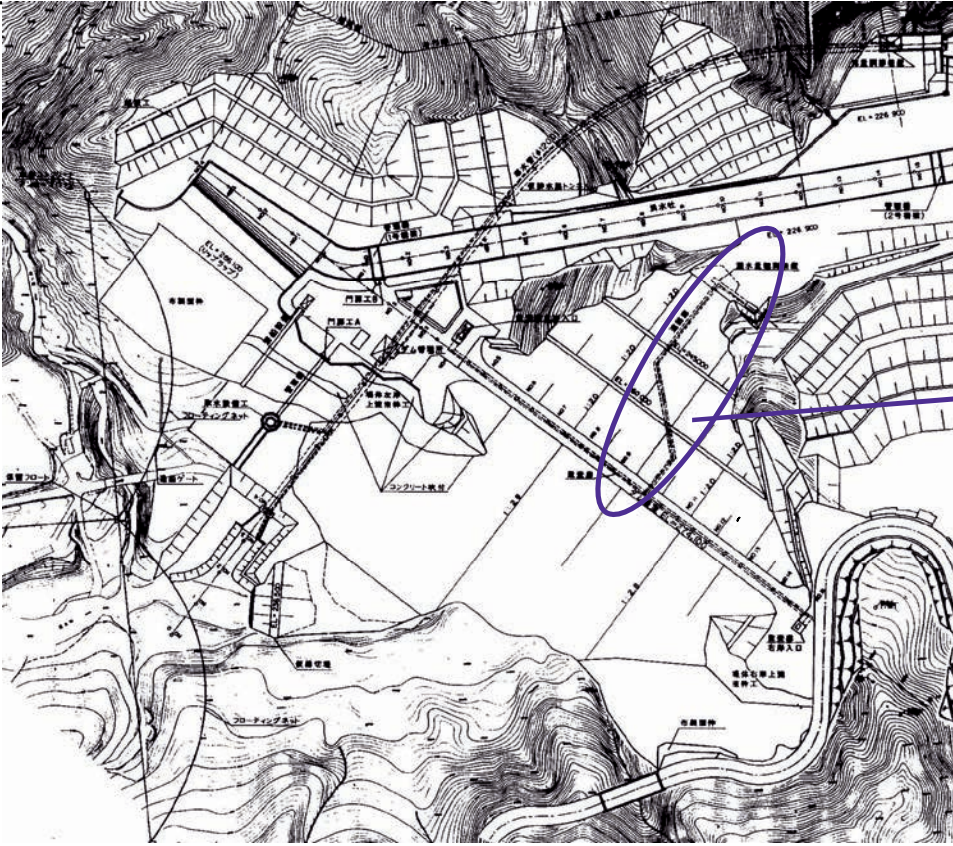
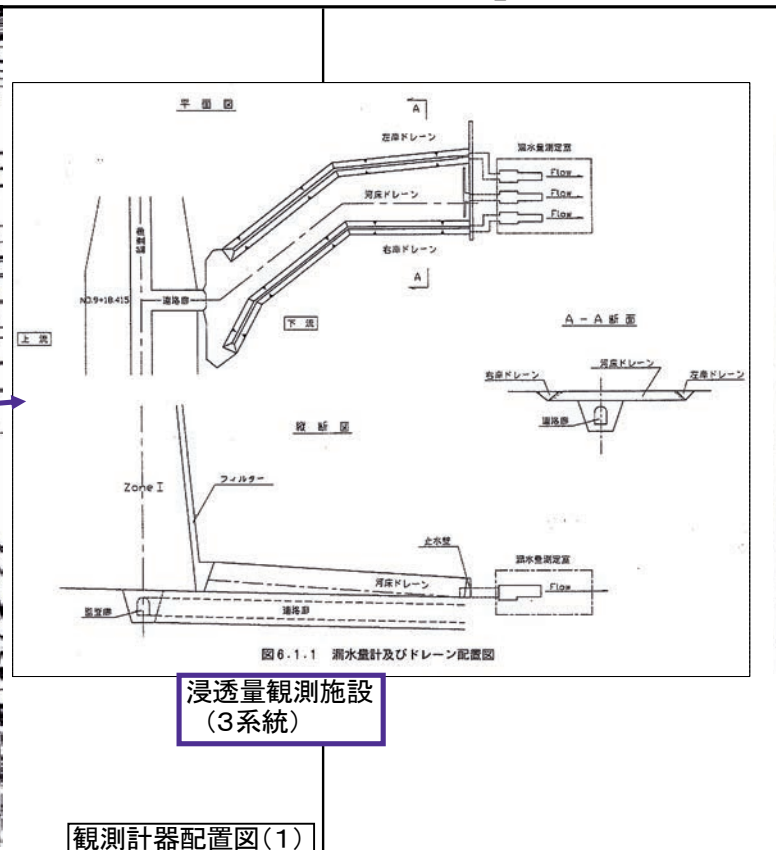
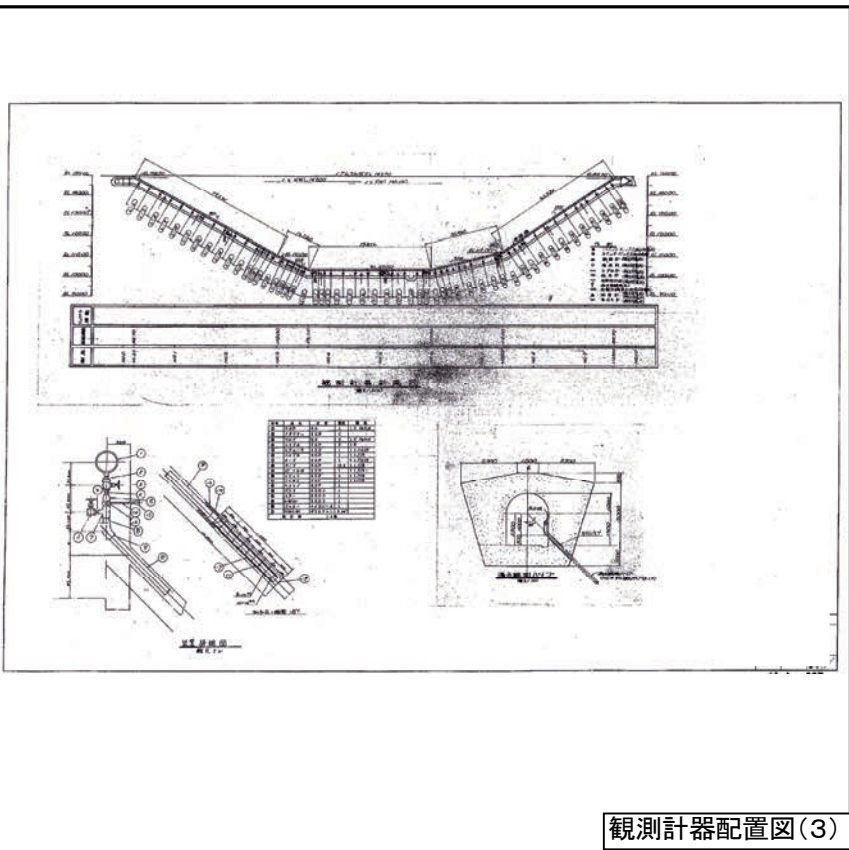
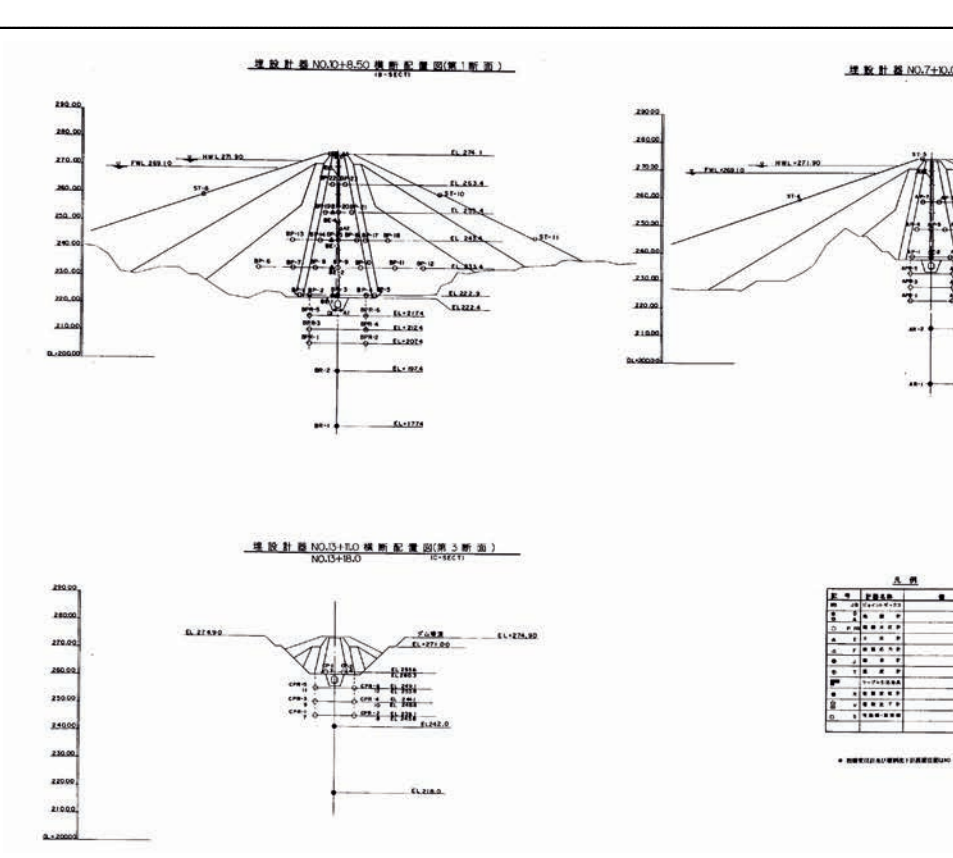
	 図 6.1.1 漏水量計及びドレーン配置図 浸透量観測施設 (3系統)	 観測計器配置図(3)																																									
 観測計器配置図(2)	【ダム観測計器】 <table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">観測項目</th><th colspan="2">観測数</th></tr><tr><th>①試験湛水時</th><th>②今回(図化対象)</th></tr></thead><tbody><tr><td>浸透量計</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>間隙水圧計</td><td>58</td><td>52</td></tr><tr><td>土圧計</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>岩盤変位計</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>層別沈下計</td><td>2本(15本)</td><td></td></tr><tr><td>地山地下水観測孔</td><td>5</td><td></td></tr><tr><td>堤体外部変位計</td><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>鉄筋計</td><td>10</td><td></td></tr><tr><td>継目計</td><td>45</td><td></td></tr><tr><td>温度計</td><td>10</td><td></td></tr><tr><td>浸透流観測孔:水圧</td><td>14</td><td></td></tr><tr><td>浸透流観測孔:水量</td><td>14</td><td></td></tr></tbody></table>	観測項目	観測数		①試験湛水時	②今回(図化対象)	浸透量計	3	3	間隙水圧計	58	52	土圧計	4		岩盤変位計	6		層別沈下計	2本(15本)		地山地下水観測孔	5		堤体外部変位計	15	15	鉄筋計	10		継目計	45		温度計	10		浸透流観測孔:水圧	14		浸透流観測孔:水量	14		
観測項目	観測数																																										
	①試験湛水時	②今回(図化対象)																																									
浸透量計	3	3																																									
間隙水圧計	58	52																																									
土圧計	4																																										
岩盤変位計	6																																										
層別沈下計	2本(15本)																																										
地山地下水観測孔	5																																										
堤体外部変位計	15	15																																									
鉄筋計	10																																										
継目計	45																																										
温度計	10																																										
浸透流観測孔:水圧	14																																										
浸透流観測孔:水量	14																																										
Aダム(F-R)	基礎データ(その3)観測計器の配置	※資料:Aダム技術誌(H11.10発行)から引用																																									

表-Ⅲ.1.2-2 『ダム基本データ整理様式』の例(その4)

1. 浸透量

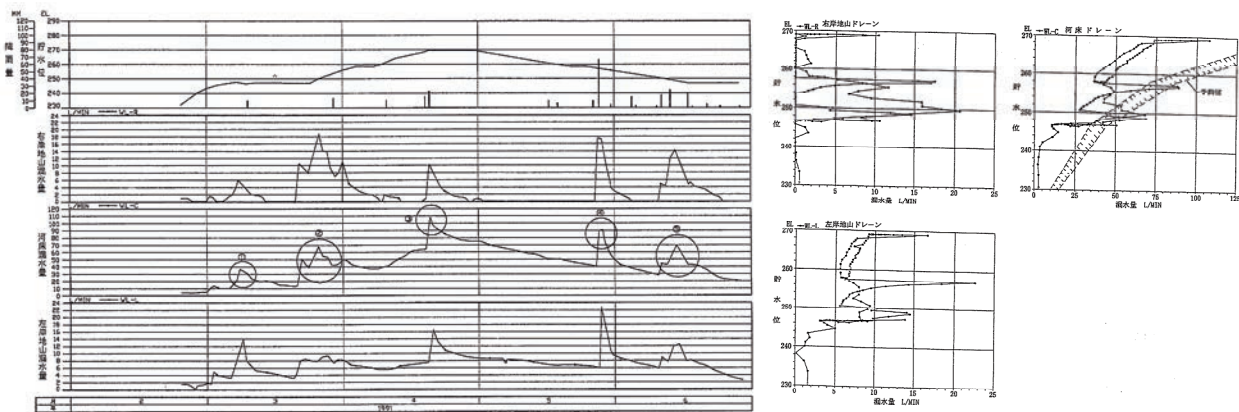


図6.2.4 浸透量経時変化図

◎降雨、融雪の影響を考慮し、これらを除いたデータで管理基準値の見直しをおこなっている。

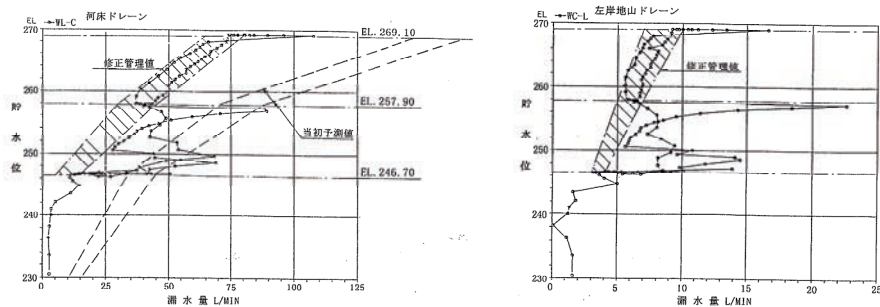


図6.2.5 貯水位～浸透量相関図

3. 変位

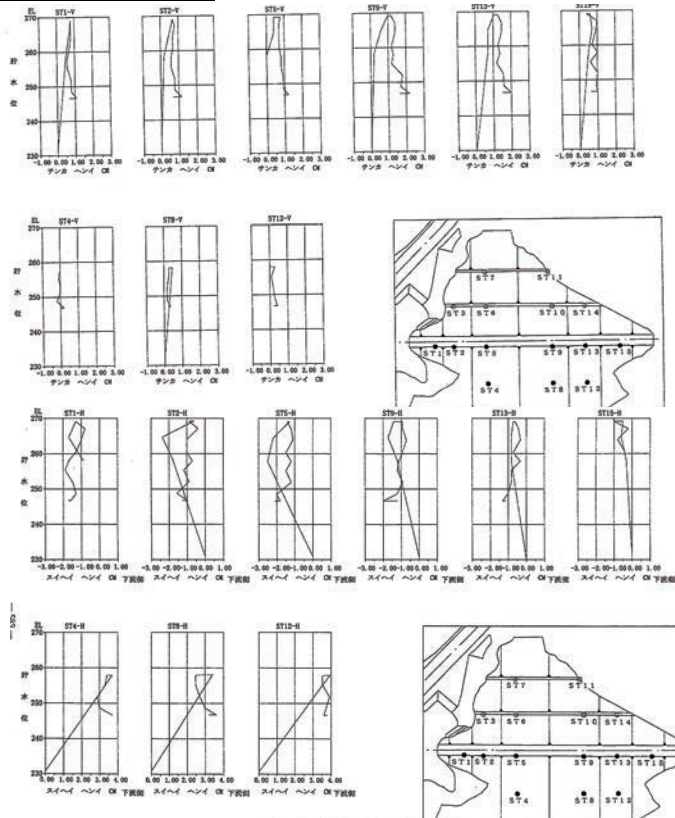


図6.2.18 貯水位～水平変位相関図(その1)

2. 間隙水圧

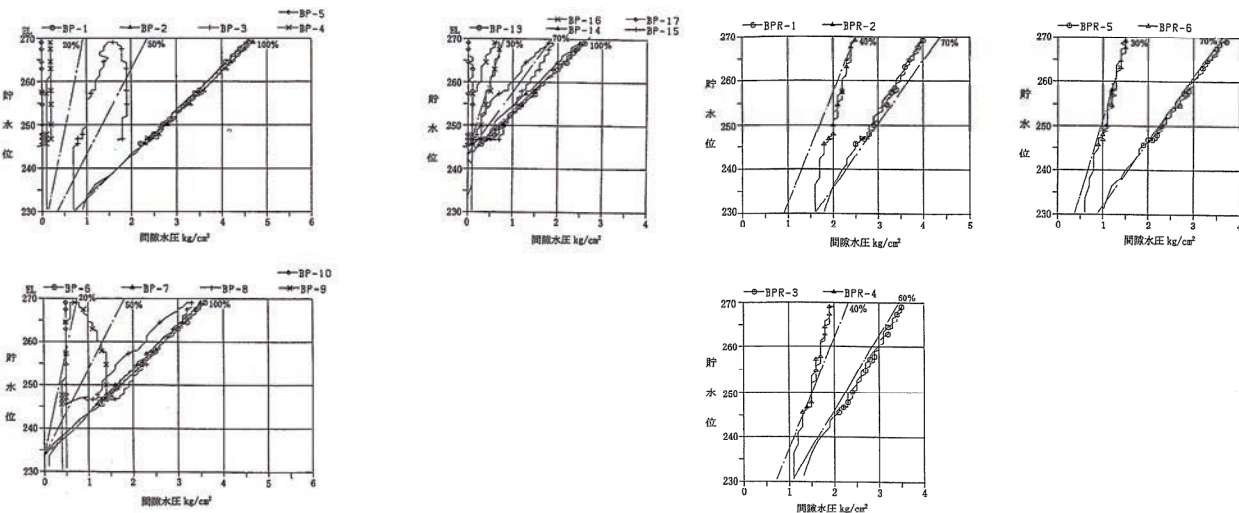


図6.2.9(1) 貯水位～間隙水圧相関図 B-sect (その1)

図6.2.9(3) 貯水位～間隙水圧相関図 B-sect (その3)

4. 総括

- (1) 浸透量
- ・降雨の影響が現れて急激に増加するが、既存のデータより降雨量に対する増分浸透量の算定は可能。設計時の浸透流解析による予測値は145～165L/min。
 - ・10mm以上の降雨時について降雨日も含めて4日間のデータを除外した結果、貯水位と浸透量の関係はほぼ線形的であることが明確に現れた。
 - ・浸透量は貯水位に伴い増加、常時満水位時でも80L/min(総和)程度。
- (2) 間隙水圧
- ・コア内及び基盤内間隙水圧測定結果より得られる間隙水圧分布図及びフーネット図より、貯水位変動に対するコア内間隙水圧変化の遅れ挙動及び基盤内カーテングラウチング上下流部での間隙水圧差等より、コアの遮水性及びカーテングラウチングの遮水効果を確認。
- (3) 変形
- ・堤体表面変位計は貯水時における沈下、水平変位はともに2～4cm程度で当初予測値(8～10cm)を大きく下回っており、ダムの安定上問題なし。岩盤変位、層別沈下計の変位量もほとんどなく、貯水荷重に伴うダム及び基盤の顕著な変形は認められない。
- (4) その他
- 1) 地下水位：左右岸アバット部の貯水位変化に対する地下水変化は少なく、右岸下流沢部の地下水位はほとんど変化していないことから、沢部への迂回浸透挙動も認められない。
 - 2) 土圧：正常に発生しており、コアは十分安全であることを確認。
 - 3) 浸透流観測孔：監査廊からの基盤内浸透圧、浸透流の多くはダム軸付近に集中、左右岸アバットはほとんど発生していない。
 - 4) 監査廊：アーチ部鉄筋計の圧縮応力増大…構造上安全側の荷重

Aダム(F-R)

基礎データ(その4)試験湛水結果概要

※資料:Aダム技術誌(H11.10発行)から引用

1. 3 分析データの検証、報告等

(1) データ検証と計器点検の必要性

計測データの挙動は年月の経過に伴って変化する場合がある。

これは、ダム堤体や基礎地盤の内部の状態が変化したことによって生じる場合と、計器（特に電気系統）自体が劣化・損傷したことによって生じる場合がある。

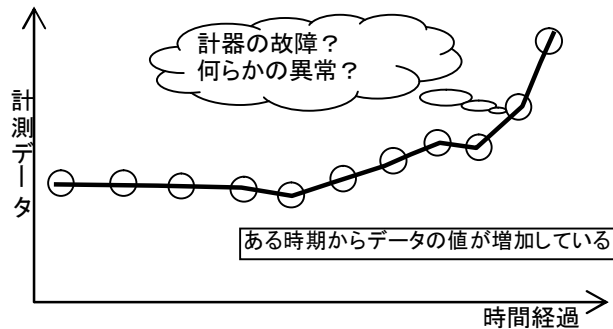


図-III. 1. 3-1 分析データの異常が疑われる例

計器の特異挙動の事例および想定される原因としては、下表に示すものが挙げられる。

表-7.2 特異挙動の要因					
整理番号	特異挙動タイプ名	経時変化模式図	特異挙動説明	対象計器	挙動の想定される原因
1	一段ずれタイプ		ある時点で瞬間的に測定値が増加あるいは減少してズレを生じる。なお、固定点より変動量を加算する計器（すべり変位計・ゾーン間沈下計）では計器群すべてがこのような挙動を示す。	すべての計器 土圧計 すべり変位計 ゾーン間沈下計	・初期値や校正係数の修正ミス ・外圧によりケーブルが引っ張られ線間抵抗値が低下 ・誘導雷により計器内リード線が断線しかり抵抗値の低下 ・水銀漏れ
2	多ズレタイプ		一段ズレタイプが何段も生じる。なお、固定点より変動量を加算する。計器（すべり変位計・ゾーン間沈下計）では計器群すべてがこのような挙動を示す。	すべり変位計 ゾーン間沈下計	・アームやセンサー一部の構造上堤体変位に追従できなく変位・沈下が蓄積されてある時期に急増
3	短時間欠如タイプ		短時間の間、計測値がゼロ又はオーバー値を示し、その後、正常な挙動に戻る。	すべての計器	・スキャナー又はロガーの故障 ・停電 ・ケーブルが切れ掛かり断線・通線の折り返し
4	短時間急変タイプ		短時間の間、計測値が急激に変動するが、その後、正常に戻る。なお、原因が絶縁抵抗値の低下による場合は、繰返して生じる。	すべての計器 土圧計 層別沈下計	・絶縁抵抗値の低下 ・スキャナー又はロガーの故障 ・計器の設置状態を含めた計器特性
5	永久欠如無変動タイプ		正常な挙動を示していた計測値がある時期からゼロ又は変動しなくなる。	すべての計器 間隙水圧（循環式）	・絶縁抵抗値の低下 ・絶縁不良 ・ケーブルの断線 ・計器のリード線の断線 ・パイプの折れ
6	常時微動タイプ		計器設置当初より、又は、ある時期より計測値が微動変動するが傾向的には正常な挙動を示す。	すべての計器 水平鉛直変位計 鉛直変位計 間隙水圧（循環式）	・絶縁抵抗値の低下 ・絶縁不良 ・気泡混入による温度の変化の影響 ・パイプに空気混入
7	常時激動タイプ		計器設置当初より、又は、ある時期より、計測値が激動変動するが傾向的には正常な挙動を示す。	すべての計器	・絶縁抵抗値の低下 ・絶縁不良
8	季節周期タイプ		計測値が季節的に周期変動する。	せん断変位計	・計器の温度特性
9	特異挙動タイプ		外的要因がないのにクリープ的な動きを示したり、ギクシャクした動きを示す。他の計器の挙動と明らかに異なる。	土圧計 層別沈下計	・設置条件を含めた計器特性

出典：土地改良施設管理基準－ダム編－（平成 16 年 3 月）p166 抜粋

最近のダムでは、試験湛水時の挙動計測結果から供用後の管理基準値を設定し、これに基づく管理を行っている。これに対し、建設年代が古く管理基準値が設定されていないダムや完成後の補修対策等により挙動が変化したダムでは、実態を踏まえた適切な安全性管理指標となっているかを検証する必要がある。

したがって、ダムのデータ検証は以下のようなサイクルで実施する。なお、前回からデータの値が変化している場合、その要因について分析を行う。

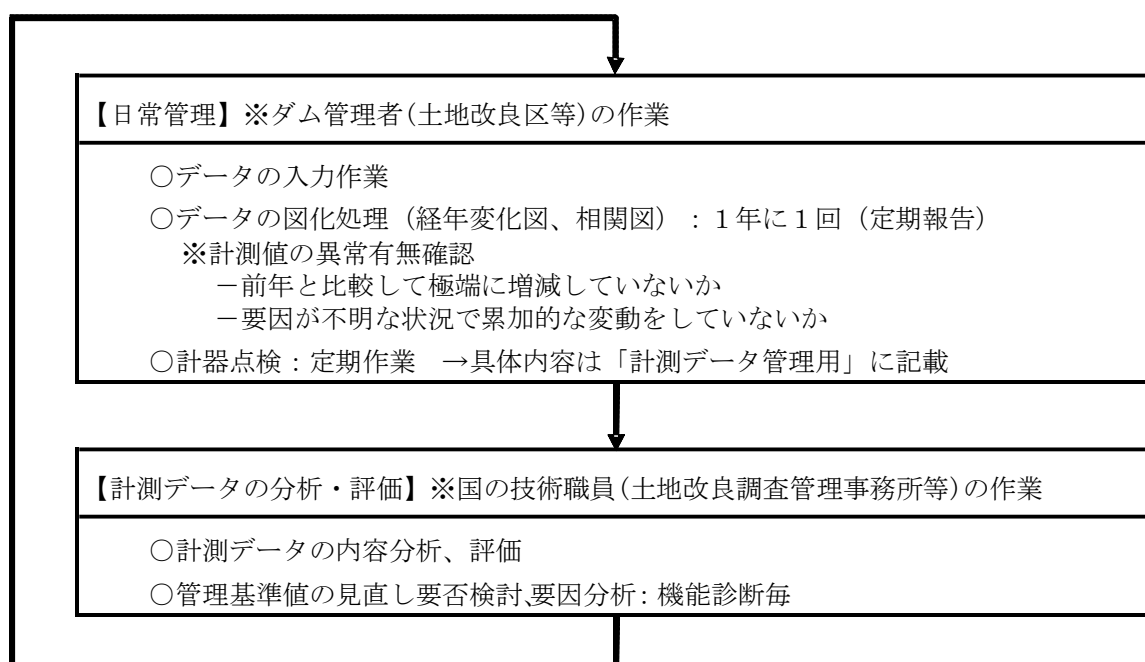


図-Ⅲ. 1.3-2 データ検証のサイクル

(2) 計測データの報告等

ダムの日常管理は、前述のとおりダム管理者（土地改良区等）が行うが、原則として1年に1回（定期報告）、及び過去のデータと異なる傾向が生じた場合や突発的な異常値が発生した場合には、ダム管理者から土地改良調査管理事務所等に報告する。なお、報告については、ダム管理者と土地改良調査管理事務所との協議によって必要に応じて変更することもある。

土地改良調査管理事務所等では、ダム管理者からの報告内容、計測データの内容を分析し、その結果を管理者に説明する。その際、高度な技術的判断を伴うと判断された場合には農政局等に報告して対応を協議し、必要に応じて専門技術者による評価検討やダム技術検討委員会の開催を検討する。

また、異常等が確認された場合、診断結果を土地改良調査管理事務所等から技術検討委員会（農政局等）に書面で報告するとともに、必要に応じ技術的な課題に関する協議を行う。

※技術検討委員会は、「農業水利施設の機能保全の手引き（平成19年3月）」P83を参照。

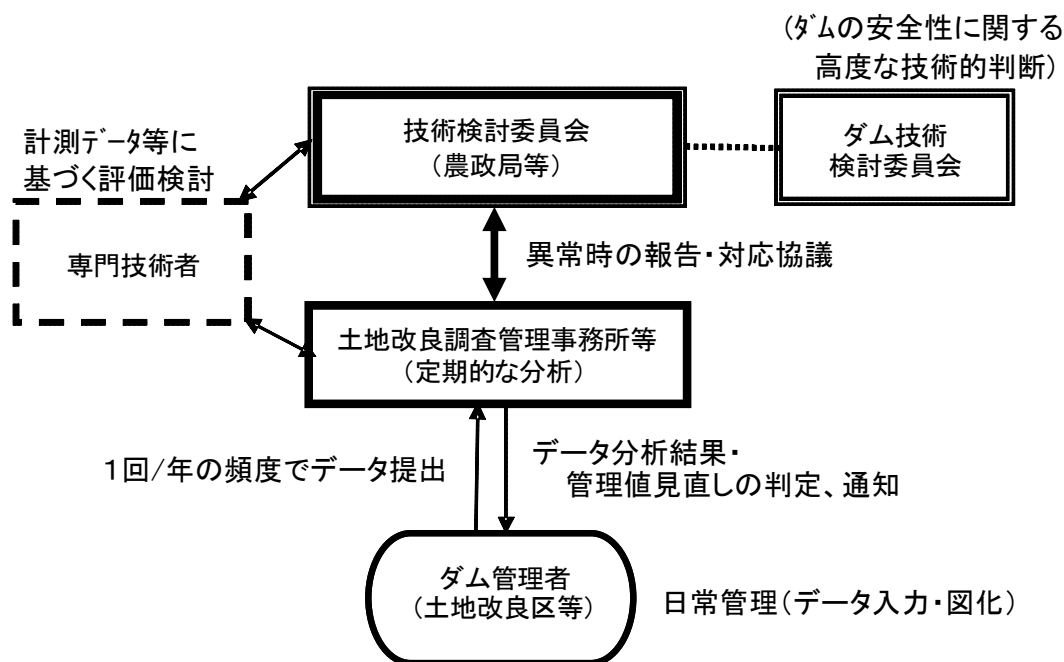


図-Ⅲ. 1. 3-3 ダム計測データ 報告の流れ

2 フィルダム編

フィルダムでは、浸透量、浸潤線（間隙水圧、浸潤線観測孔の孔内水位）の挙動把握が特に重要である。また、大規模地震発生時には、表面変位についても把握する必要がある。

2. 1 浸透量の分析・安全性評価指標の検討

フィルダムにおいては「貯水の変動による堤体内・基礎地盤の浸透量（真の浸透量）」が本来の評価対象となるが、実際には、降雨、融雪、地山地下水等の影響が複合した量を計測している。なお、試験湛水前には基礎地盤及び地山等からの浸透量を観測し基底流量を定めているが、本手引きにおける浸透量はこの基底流量を含めた水量を対象としている。

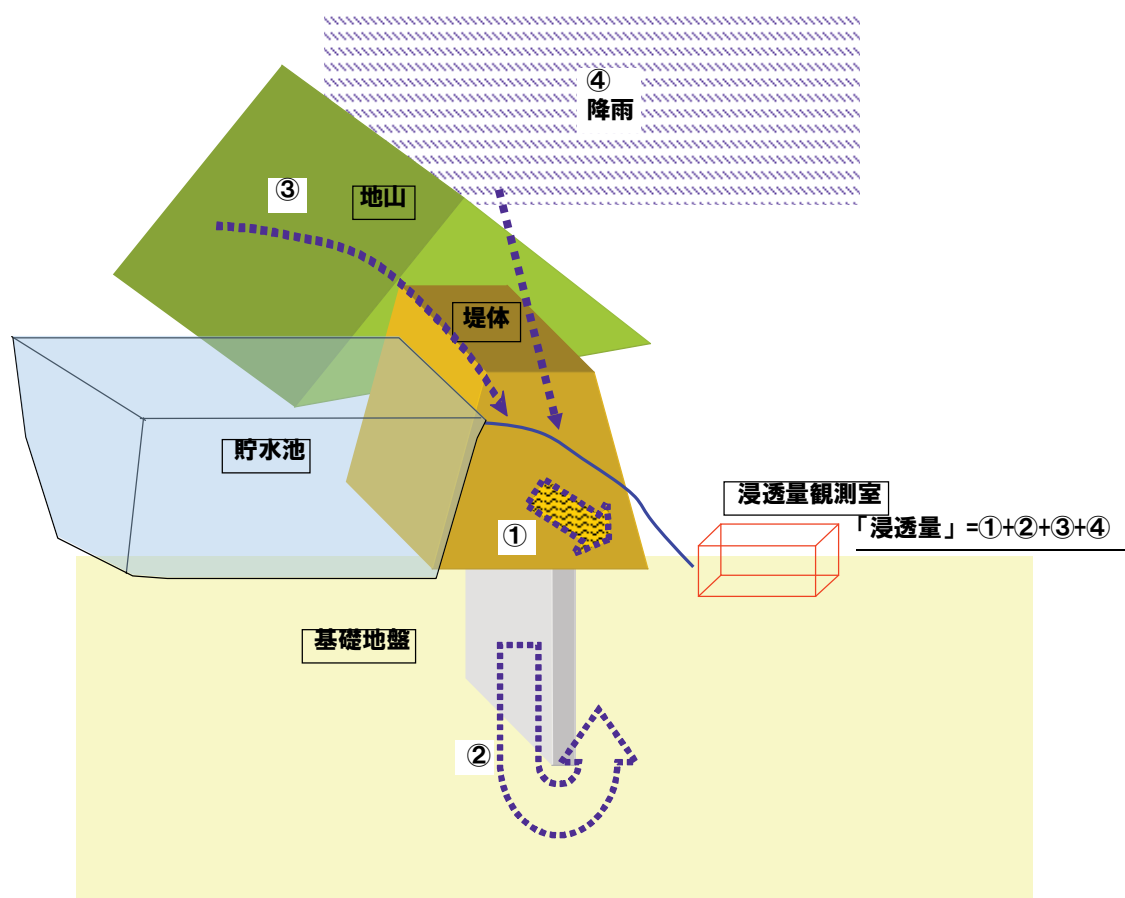


図-Ⅲ. 2. 1-1 フィルダムの浸透状況の概念図

浸透量のデータ分析は、計測されたデータをもとに、以下のフローに示す手順で分析を行い、個別ダム挙動特性を把握した上で、日常管理のための安全性評価指標を設定する（図-Ⅲ.2.1-2）。

設計時または試験湛水結果に基づいて「管理基準値」が設定されている場合、基本的にはその値を用いて評価する。ただし、経年的に増減が生じている場合などは、定期的に検証を行って、見直しの必要性を判断する。

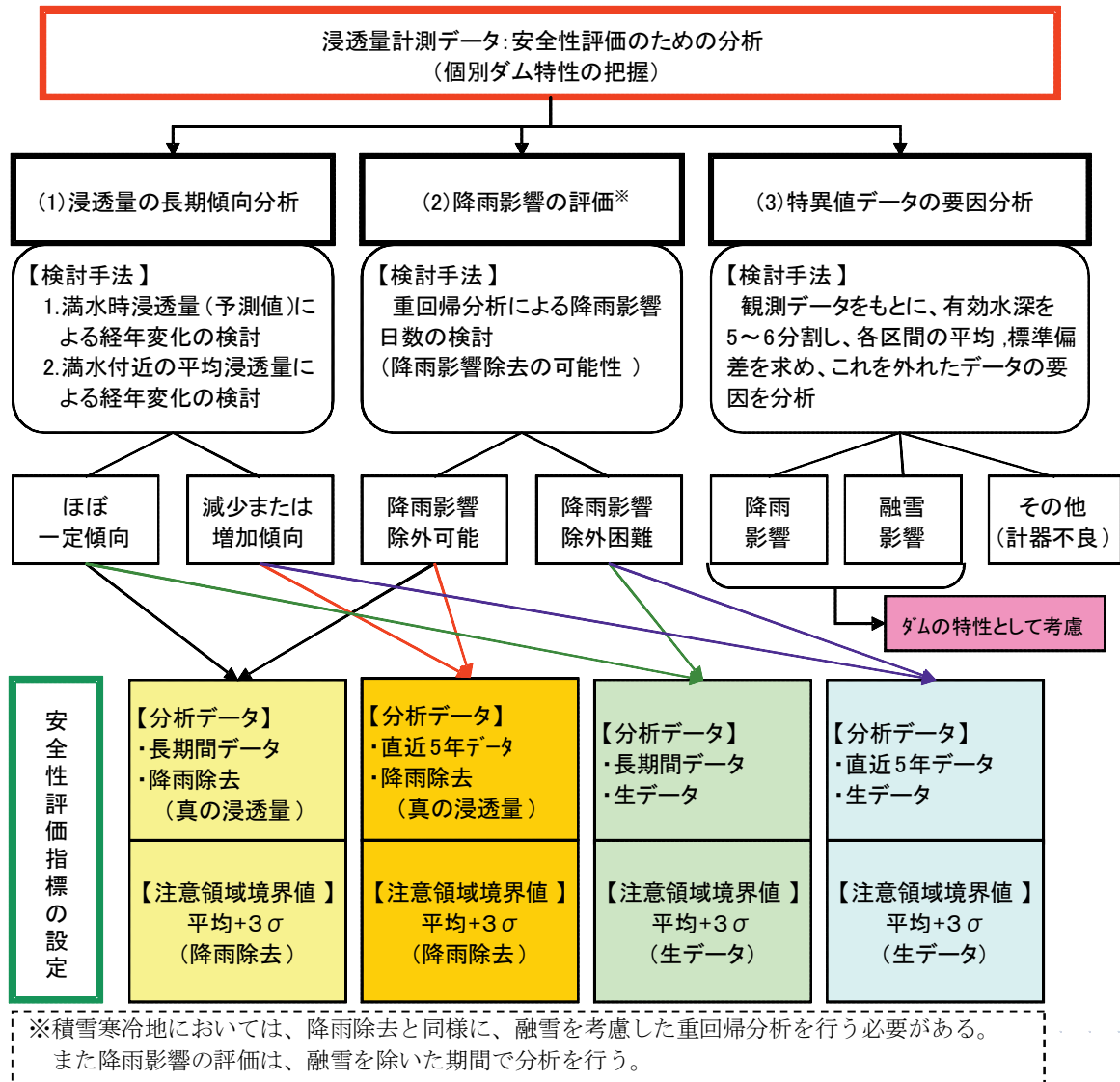


図-Ⅲ.2.1-2 安全性評価指標設定のフロー

安全性評価指標は、(1)浸透量の長期傾向分析により浸透量の経年変化を、(2)降雨影響の評価により降雨影響除去の可能性を検討し、使用する分析データ、注意領域境界値を設定する。計測データには、寒冷地における融雪期や豪雨時によって一時的に変動する場合がある。これについては、(3)特異値データの要因分析により要因を整理し、安全性を評価する際に考慮する。

なお、地震前後で観測挙動に変化が生じる場合もあることから、適宜、安全性評価指標の見直しを行う必要がある。

各作業の具体的な手順について以下に示す。

(1) 浸透量の長期傾向分析

【検討手法】

「満水時浸透量(予測値)」及び「満水位付近の浸透量(平均)」という2つの指標を用いて、経年的な浸透量変化を検討する。

【検討例】

1) 満水時浸透量(予測値)による検討

[定義]「満水時浸透量(予測値)」

浸透量計測データを年毎に整理し、直線回帰式により貯水位－浸透量相関図を作成する。この時の常時満水位における浸透量を「満水時浸透量(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。

①計測期間の貯水位-浸透量の相関図を作成し、次に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。)

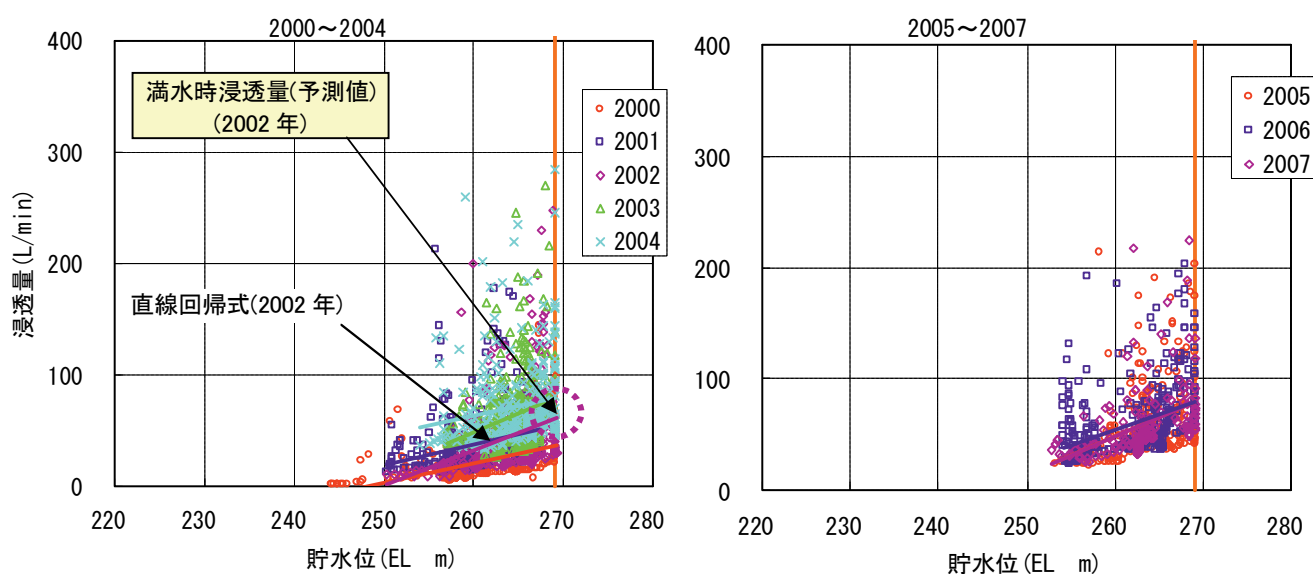


図-Ⅲ. 2. 1-3 貯水位-浸透量相関図 (表示が煩雑になるため5カ年分毎に作成)

※浸透量は、基礎地盤等を通る基底流量に加えて貯水位の上昇に伴ってほぼ直線的に増加する。このため、満水時浸透量(予測値)は直線回帰式により算定する。

なお、フィルダムにおいては、貯水位上昇時と下降時で時間遅れを伴うため、それぞれの特性を確認しておく必要がある(本マニュアルの検討においては、説明が繁雑にならないように貯水位－浸透量の関係を線形と仮定している)。

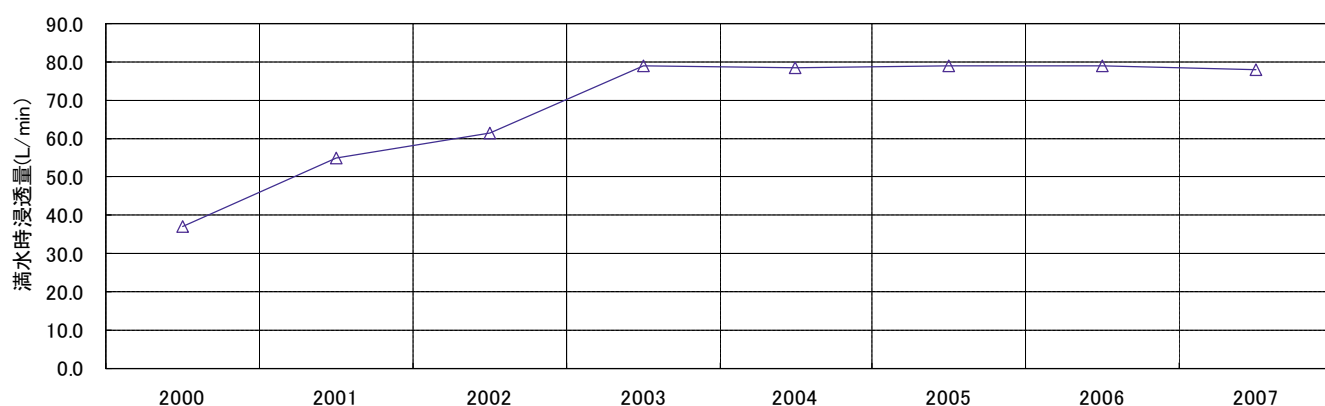
各年の浸透量の直線回帰式、満水時浸透量（予測値）等は、以下のとおりとなる。
 なお、試験湛水開始以降に初めて常時満水位に到達した年を「基準年」と表記する。

表-Ⅲ. 2. 1-1 満水時浸透量（予測値）

年	浸透量の回帰直線		満水時 (WL.269) 浸透量 (予測値) (L/min)	基準年に 対する比 率
	回帰式 Q=a × WL+b			
	a(勾配)	b(切片)		
2000	1.760	-436.62	37.1	1.000
2001	1.868	-447.57	55.0	1.481
2002	3.218	-804.65	61.3	1.651
2003	3.347	-821.88	78.9	2.124
2004	1.794	-404.07	78.6	2.118
2005	3.375	-829.43	78.9	2.124
2006	2.751	-661.05	79.2	2.133
2007	3.339	-820.52	78.0	2.100

②「満水時浸透量(予測値)」の経年変化のグラフを作成する。

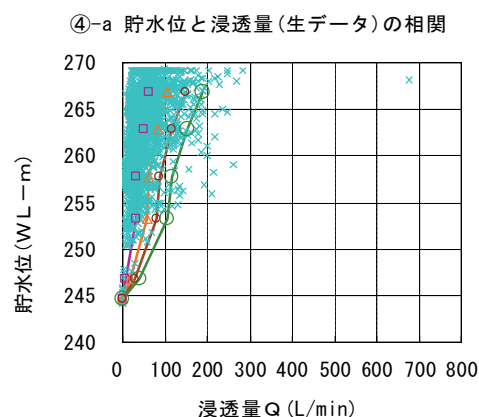
満水時浸透量：経年変化図



2) 満水位付近の浸透量による検討

「(3) 特異値データの要因分析」の項で解説する手法を用い、満水位付近の浸透量の平均とばらつき（標準偏差）の経年的な変化をグラフ化する。

- 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5～6分割した区間毎の浸透量データの平均、標準偏差(σ)を求め、各区間の平均、平均+3 σ を相関図上にプロットする。
- ②満水位に近い最上位の標高区間の「1年毎の平均、標準偏差」を求める。
- ③この結果から、1)と同様に経年変化のグラフを作成する。



検討1) 及び検討2) のデータに基づく経年変化は図-Ⅲ. 2. 1-4 のようになる。

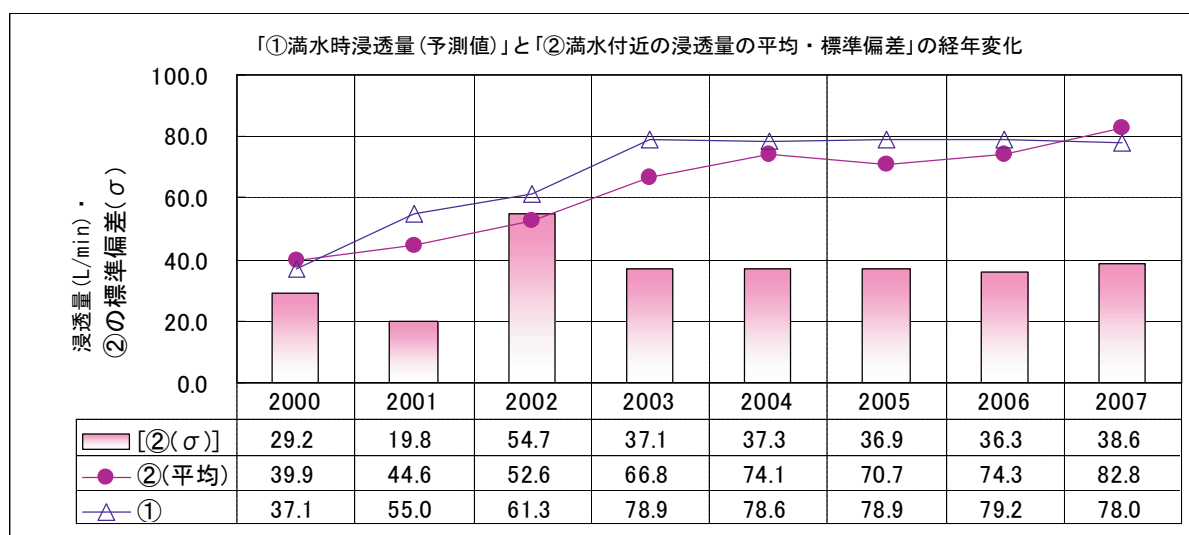


図-Ⅲ. 2. 1-4 浸透量の経年変化（検討 1，検討 2 の比較）

＜分析結果の評価＞

検討 1) で求めた「満水時浸透量（予測値）」は、基準年(2000 年)から 3 ヶ年は増加傾向で約 2 倍に増加し、その後 5 ヶ年は、ほぼ一定の値で推移していることが確認できる。

一方、検討 2) で求めた「満水位付近の浸透量の平均値」も同様な傾向を示すが、2007 年ではやや増加傾向がみられるが、ばらつきを示す標準偏差は 2003 年以降、概ね一定の範囲で推移している。

これらの結果から、2003 年以降は基準年の値と比較して約 2 倍となっているが、フィルダムは、数年にわたりコア部に貯留水が浸透するため、湛水初期の浸透量は小さく、その後増加し安定する傾向にある。また、「1.2 個別ダム基本情報の収集」で整理した設計時の浸透流解析による予測値(145～165L/min)を下回っており、その後安定していることから、特に問題となるものではないと判断できる。

ただし、検討 2) による分析でみられた 2007 年の増加傾向がその後継続するか確認する必要がある。

上記から、本ダムにおける浸透量の安全性評価指標の評価対象は、コア内部を浸透したと考えられる期間以降(2003 年以降)とすることが適当と考えられる。

なお、浸透量の安全性評価指標の評価対象は、安定した状態にある全観測データ（コア内部を浸透したと考えられる期間以降のデータとした方が良い）を対象とするが、常時満水位に達して間もないダムやコア幅が広いダムなどでは浸透量の増加傾向が継続する場合がある。また、コア内部を浸透しても完全な飽和状態なるには相当の期間を要するが、完全な飽和状態以降、堤体からの浸透量は経年的には減少傾向を示す場合がある。このような長期的な浸透量が増加若しくは減少傾向が観測されているダムでは、長期的な傾向を示す直近 5 年のデータを評価対象期間として扱う。

(2) 降雨影響の評価

【検討手法】

ダム浸透量の評価においては、降雨影響を除外した「真の浸透量」を用いることが望ましい。

このため、計測データを統計処理して浸透量に対する降雨影響の評価を行う。

本検討の手法は、複雑な作業を必要とせずかつ客観的な評価が可能な「重回帰分析」による予測モデルを適用する。

(解説)

「重回帰式」とは、複数の変数($x_1, x_2, \dots, x_p$)に基づいて、1つの変数 y を推測する式

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

である。ここで、 $x_1, x_2, \dots, x_p$ を説明変数、 y を目的変数という。

この検討においては、説明変数を「貯水位、日雨量(当日, 1 日前, 2 日前・・・・日前まで)」、目的変数を「当日の浸透量」として、最も相関性が高くなるように上記の変数 $\beta_0 \sim \beta_p$ を求める手法を重回帰分析という。

なお、この重回帰分析は計測値のばらつきは「正規分布」に従うことが前提となっていることに留意する。

重回帰分析による予測式は、Excel の統計分析ツール(回帰分析)を用いて検討する。なお、Excel での分析は説明変数の数が最大 15 個までに制限されていること、通常 2 週間以前の降雨量の影響はごくわずかであることから、日雨量は最大 13 日前までのデータで検討する。

【検討例】

1) 重回帰分析(その1: 試算)

まずは計測生データ(赤枠内)をもとに、説明変数として、「貯水位、日雨量(当日, 1 日前, 2 日前・・・・13 日前まで)」のデータを一行に並べ、重回帰分析を行う。

表-Ⅲ. 2. 1-2 重回帰分析に用いるデータ(例)

測定日時	貯水位	浸透量	日雨量	1日前	2日前	3日前	4日前	5日前	6日前	7日前	8日前	9日前	10日前	11日前	12日前	13日前
2000/1/14	263.62	38.3	1	8	0	2	2	0	0	5	0	4	6	3	0	0
2000/1/15	263.96	48.7	0	1	8	0	2	2	0	5	0	4	6	3	0	0
2000/1/16	264.23	42.3	0	0	1	8	0	2	2	0	0	5	0	4	6	3
2000/1/17	264.43	33.8	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0	5	0	4	6
2000/1/18	264.57	27.6	0	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0	5	0	4
2000/1/19	264.67	23.6	0	0	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0	5	0
2000/1/20	264.75	21.3	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0	5
2000/1/21	264.84	18.7	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0
2000/1/22	264.89	16	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2	2	0
2000/1/23	264.94	16.1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2	2
2000/1/24	264.98	16.3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2
2000/1/25	264.99	15.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0
2000/1/26	265.02	14.9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8
2000/1/27	265.03	14.3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2000/1/28	265.04	13.9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2000/1/29	265.05	13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2000/1/30	265.05	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2000/1/31	265.06	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2000/2/1	265.05	13.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2000/2/2	265.05	13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2000/2/3	265.05	13.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※本データは、事例として 2000 年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。

また、貯水位上昇時・下降時で計測データが線形関係でない場合は、より詳細な分析を行う。

重回帰分析の結果は、以下のようになる。

表-Ⅲ. 1. 2-3 重回帰分析結果（試算時）

回帰統計									
重相関 R	0.724652								
重決定 R ²	0.525121								
補正 R ²	0.522105								
標準誤差	25.18519								
観測数	2378								

分散分析表		自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰		15	1656710	110447.3	174.1264	0
残差		2362	1498202	634.294		
合計		2377	3154913			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片 (定数)	-748.851	30.39191	-24.6398	1.7E-119	-808.448	-689.253	-808.448	-689.253
X 値 1(*貯水位)	2.986388	0.115674	25.81728	1.1E-129	2.759554	3.213221	2.759554	3.213221
X 値 2(*当日)	0.335093	0.05594	5.99024	2.42E-09	0.225397	0.444789	0.225397	0.444789
X 値 3(*1 日前)	1.597283	0.05412	29.51363	3.1E-163	1.491155	1.703411	1.491155	1.703411
X 値 4(*2 日前)	1.030255	0.05439	18.94184	1.32E-74	0.923597	1.136912	0.923597	1.136912
X 値 5(*3 日前)	0.504494	0.054266	9.296671	3.19E-20	0.39808	0.610908	0.39808	0.610908
X 値 6(*4 日前)	0.309869	0.054381	5.698074	1.36E-08	0.203229	0.416509	0.203229	0.416509
X 値 7(*5 日前)	0.196897	0.054741	3.596888	0.000329	0.089552	0.304242	0.089552	0.304242
X 値 8(*6 日前)	0.156167	0.054508	2.865043	0.004206	0.049279	0.263055	0.049279	0.263055
X 値 9(*7 日前)	0.095897	0.055126	1.739581	0.082063	-0.0122	0.203998	-0.0122	0.203998
X 値 10(*8 日前)	0.048878	0.054973	0.889131	0.374023	-0.05892	0.156678	-0.05892	0.156678
X 値 11(*9 日前)	0.027401	0.055016	0.498053	0.618493	-0.08048	0.135285	-0.08048	0.135285
X 値 12(*10 日前)	-0.01181	0.055205	-0.2139	0.830647	-0.12006	0.096448	-0.12006	0.096448
X 値 13(*11 日前)	-0.01208	0.055617	-0.21725	0.828029	-0.12115	0.096981	-0.12115	0.096981
X 値 14(*12 日前)	-0.06217	0.060188	-1.03296	0.30173	-0.1802	0.055855	-0.1802	0.055855
X 値 15(*13 日前)	-0.04869	0.059746	-0.81496	0.415179	-0.16585	0.06847	-0.16585	0.06847

この結果は以下のように評価できる。

- ①相関式の適合度を示す重相関係数（R）は 0.724 と比較的高い。
- ②説明変数のうち、各日の降雨にかかる係数は、「1 日前」が最大で、日にちを遡るに従って小さくなる。さらに 10 日目以降は負の値であり、正常な相関関係ではない。
- ③各説明変数が有用であるとの判断基準となる t 値（一般に $|t| \geq 2$ ）となっているのは「当日から 6 日前降雨」までである。

上記②③の結果から、ここで得られた重回帰式は適用せず、再分析を行う必要があると判断する。

2) 重回帰分析（その 2：再分析）

重回帰分析においては有用でない変数は除外する必要があるため、前項の試算結果をもとに同じ計測データを用い、説明変数（降雨）を「当日から 6 日前まで」の 7 個に減らして再度分析を行う。この結果は以下のようになる。

表-Ⅲ. 1. 2-4 重回帰分析結果（再分析時）

回帰統計	
重相関 R	0.723713
重決定 R ²	0.523761
補正 R ²	0.522153
標準誤差	25.18394
観測数	2378

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	8	1652420	206552.5	325.6741	0
残差	2369	1502493	634.2307		
合計	2377	3154913			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%	
切片(定数)	-750.274	30.35625	-24.7156	3.5E-120	-809.802	-690.747	-809.802	-690.747	
X 値 1(*貯水位)	2.992137	0.115475	25.91163	1.5E-130	2.765695	3.218579	2.765695	3.218579	
降雨に関する係数	X 値 2(*当日)	0.342359	0.055637	6.153441	8.88E-10	0.233257	0.451461	0.233257	0.451461
	X 値 3(*1 日前)	1.603007	0.053826	29.78147	8E-166	1.497457	1.708558	1.497457	1.708558
	X 値 4(*2 日前)	1.035679	0.05405	19.16157	3.36E-76	0.929689	1.141668	0.929689	1.141668
	X 値 5(*3 日前)	0.506242	0.053959	9.381904	1.47E-20	0.40043	0.612055	0.40043	0.612055
	X 値 6(*4 日前)	0.307468	0.053979	5.696078	1.38E-08	0.201617	0.413319	0.201617	0.413319
	X 値 7(*5 日前)	0.18961	0.054376	3.487007	0.000497	0.08298	0.29624	0.08298	0.29624
	X 値 8(*6 日前)	0.166044	0.053588	3.098526	0.001968	0.06096	0.271128	0.06096	0.271128

この結果は以下のように評価できる。

- ①重相関式の適合度を示す重相関係数（R）は 0.724 と変わらない。
- ②説明変数にかかる係数も、試算段階とほぼ同一である。
- ③各説明変数の t 値は全て $|t| \geq 2$ 、また降雨に係る係数も全て正の値であり、選択した説明変数が妥当であったことが確認された。

再分析で求められた重相関式が浸透量の予測式として適用可能となる。

＜分析結果の評価＞

- ・重相関係数 R=0.723 が得られており、比較的再現性が高い
- ・重回帰予測式は下式のようなになる。

当日浸透量 $Q = -750.274 + 2.992 \times WL(\text{貯水位}) + 0.342 \times R0(\text{当日降雨量 mm})$

$+ 1.603 \times R1(1 \text{ 日前降雨量 mm}) + 1.036 \times R2 \cdots + 0.166 \times R6(6 \text{ 日前降雨量})$

- ・重回帰予測式の各項にかかる係数の値より「貯水位 1m 変化に対する浸透量変化は約 3L/min」、「1 日前の降雨量 10mm に対する浸透量変化は約 16L/min」と推定できる。

降雨の影響日数評価は、最も影響が大きい前日降雨を基準(ピーク値：100%)として、これより遡った日の降雨の影響程度を比率で評価する。

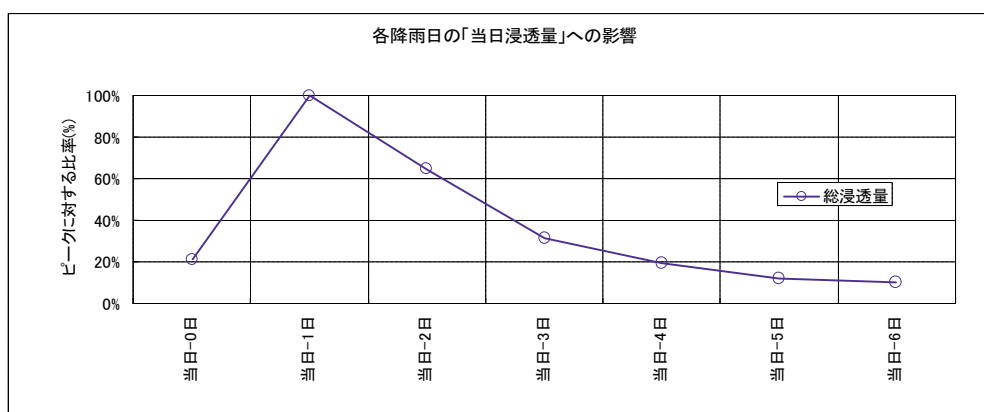


図-Ⅲ. 2. 1-5 各降雨日の浸透量への影響

この結果から、Aダムの浸透量の安全評価指標の評価対象は、降雨後6日間の降雨が浸透量に影響するため、これらの降雨を除去し、日常管理する浸透量は「この6日間の降雨影響を除去した真の浸透量」を適用することが適当と判断される。

(解説) 生データから降雨影響を除外する方法

- ①回帰分析の結果から、予測式として求められた、各降雨日にかかる係数を整理する。
- ②求めたい日(当日)の浸透量(生データ)から、次表に示すように、「当日降雨×係数(0)、1日前降雨×係数①、・・・、6日前降雨×係数⑥」を合計したものを差し引く。
- ③その値が、「降雨の影響を除去した浸透量」として見なすことができる。

表-Ⅲ. 2. 1-5 生データから降雨影響を除外する方法

測定日時	貯水位	外気温	日雨量	浸透量 (生データ)	降雨の影響を除去した浸透量	重回帰分析により求めた係数
時	m	℃	mm	L/min	(L/min)	
2000/1/1 9:00	261.11		0	17.1		定数
2000/1/2 9:00	261.15		0	15.8		-750.2742
2000/1/3 9:00	261.2		3	15.3		貯水位(WL)* 2.9921
2000/1/4 9:00	261.27		6	17.6		当日降雨(R0)* 0.3424
2000/1/5 9:00	261.41		4	23.9		1日前降雨(R1)* 1.6030
2000/1/6 9:00	261.5		0	23.9		2日前降雨(R2)* 1.0357
2000/1/7 9:00	261.72		5	38.2		3日前降雨(R3)* 0.5062
2000/1/8 9:00	262.2		0	48.7		4日前降雨(R4)* 0.3075
2000/1/9 9:00	262.49		0	40.7		5日前降雨(R5)* 0.1896
2000/1/10 9:00	262.69		2	41.9		6日前降雨(R6)* 0.1660
2000/1/11 9:00	263		2	48.2		
2000/1/12 9:00	263.23		0	41.9		
2000/1/13 9:00	263.41		8	34.4		
2000/1/14 9:00	263.62		1	38.3	23.5	(降雨除去浸透量)=(生データ)-(0)*R0+①*R1+・・・+⑥×R6)
2000/1/15 9:00	263.96		0	48.7	42.9	
2000/1/16 9:00	264.23		0	42.3	40.5	
2000/1/17 9:00	264.43		0	33.8	33.6	
2000/1/18 9:00	264.57		0	27.6	27.6	
2000/1/19 9:00	264.67		0	23.6	23.6	
2000/1/20 9:00	264.75		0	21.3	21.3	

なお、降雨影響日数との相関性が低い場合は、降雨を含めた浸透量により整理することになる。

(3) 特異値データの要因分析

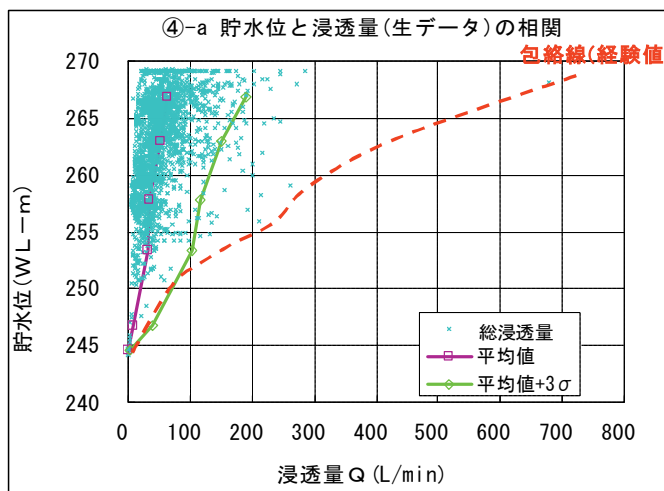
浸透量は、降雨による影響、また寒冷地においては春先の融雪の影響を強く受けて変動する場合があります。特に大雨直後などは、一時的に計測値が急増する場合があります。

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5～6分割した区間毎の浸透量データの平均、標準偏差(σ)を求め、各区間の平均、平均+3 σ 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 (L/min)	平均+3 σ (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 σ 、包絡線(経験値)を表記している。

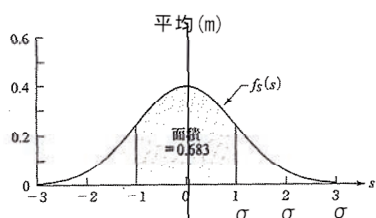
※本データは、事例として2000年以降の測定データを表示しているが、(1)浸透量の長期傾向分析により、適切な分析期間を定めた場合は、当該期間で検討する。

この結果は以下のように評価できる。

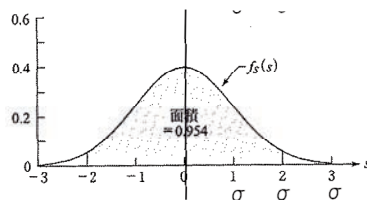
- ①標高区間毎の平均浸透量は、貯水位の上昇とともにほぼ直線形で増加する。
- ②ばらつきを考慮した「平均+3 σ 」を超えるデータも一定の数出現している。
- ③全データの「包絡線(経験値)」は「平均+3 σ 」に対し最大3.5倍（満水位付近で700L/minに対し190L/min）である。

(解説)「平均 + 3 σ 」のもつ意味

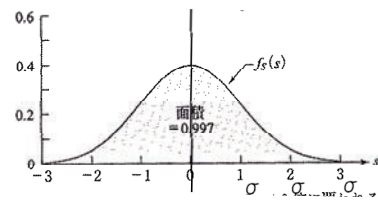
自然現象や確率的な現象の表わす正規分布では、平均(m)と標準偏差の倍数(1 σ 、2 σ 、3 σ)で囲まれる範囲の面積はそれぞれ以下ようになる。



平均 + 1 σ : 68.3%



平均 + 2 σ : 95.4%



平均 + 3 σ : 99.7%

平均 + 3 σ 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 σ 」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 σ 」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 σ 」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。

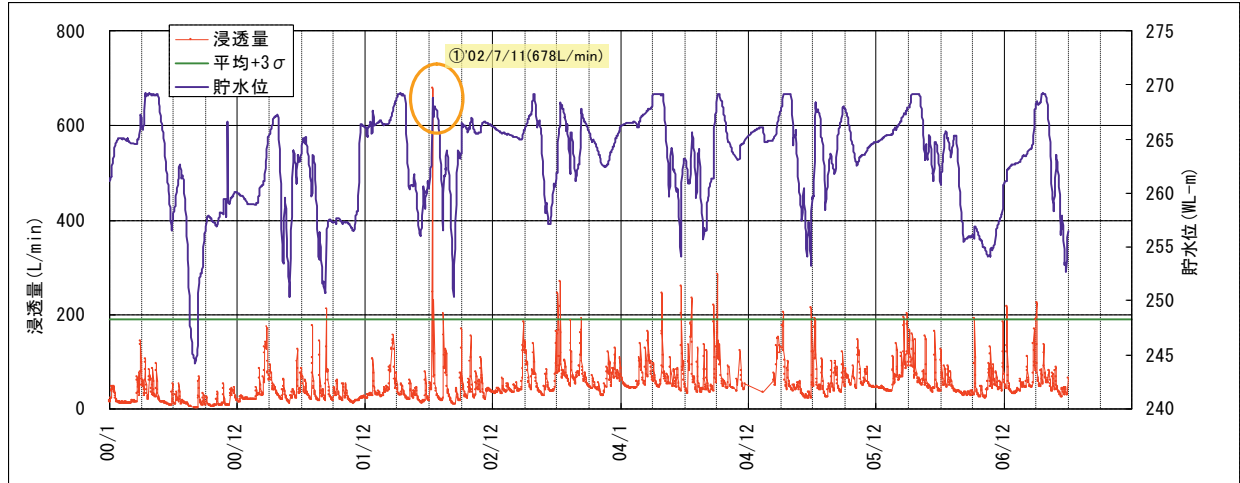
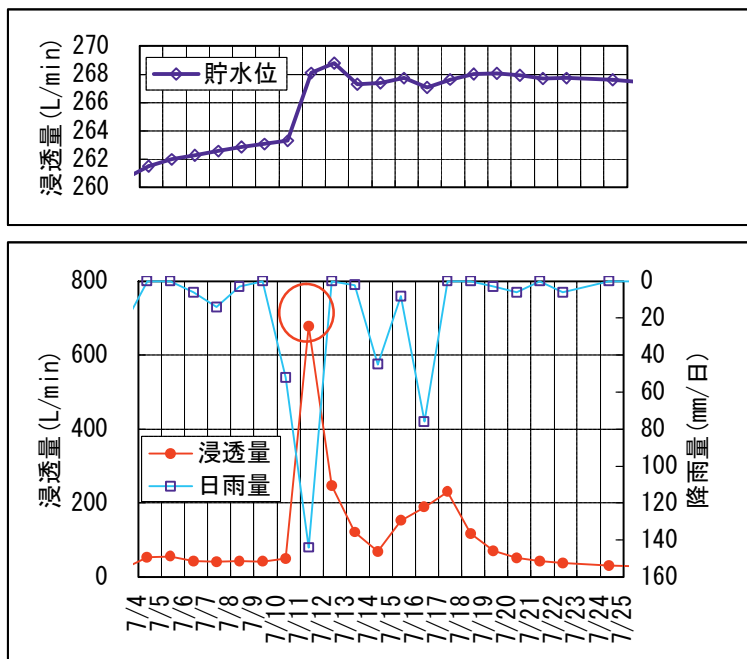


図-Ⅲ. 2. 1-7 Aダム 浸透量経年変化（生データ）と特異値

<期間①: '02/7/11(ピークQ=678L/min)付近の挙動>



<分析結果の評価>

浸透量増加は、前日 (52mm), 当日 (144mm) の大雨が原因と推定。

その後一旦は減少したが、3日後 (45mm), 5日後 (76mm) と断続的に大雨が降り、再び増加した。

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。

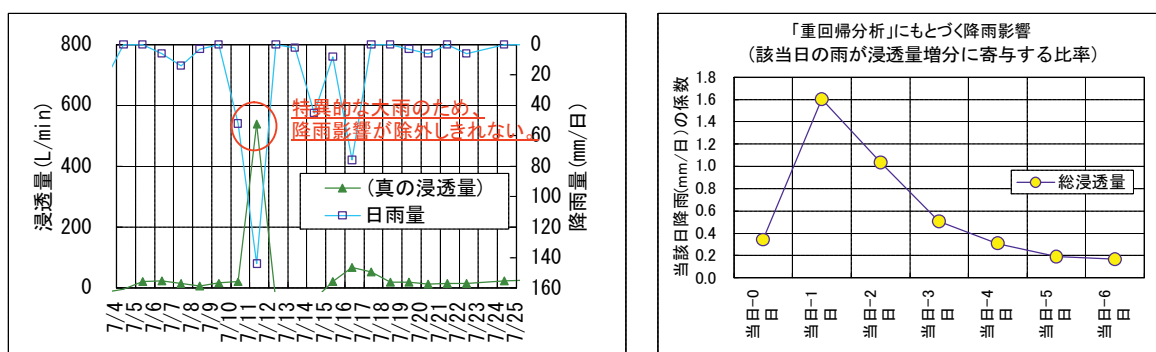


図-Ⅲ. 2. 1-9 降雨影響を除外した浸透量に関する分析

＜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、

$$\Delta Q(\text{Rain}) = 144(\text{当日雨 mm}) * 0.342(\text{係数}) + 52(1 \text{ 日前雨}) * 1.603(\text{係数}) + 0 * 1.036$$

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

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)～(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

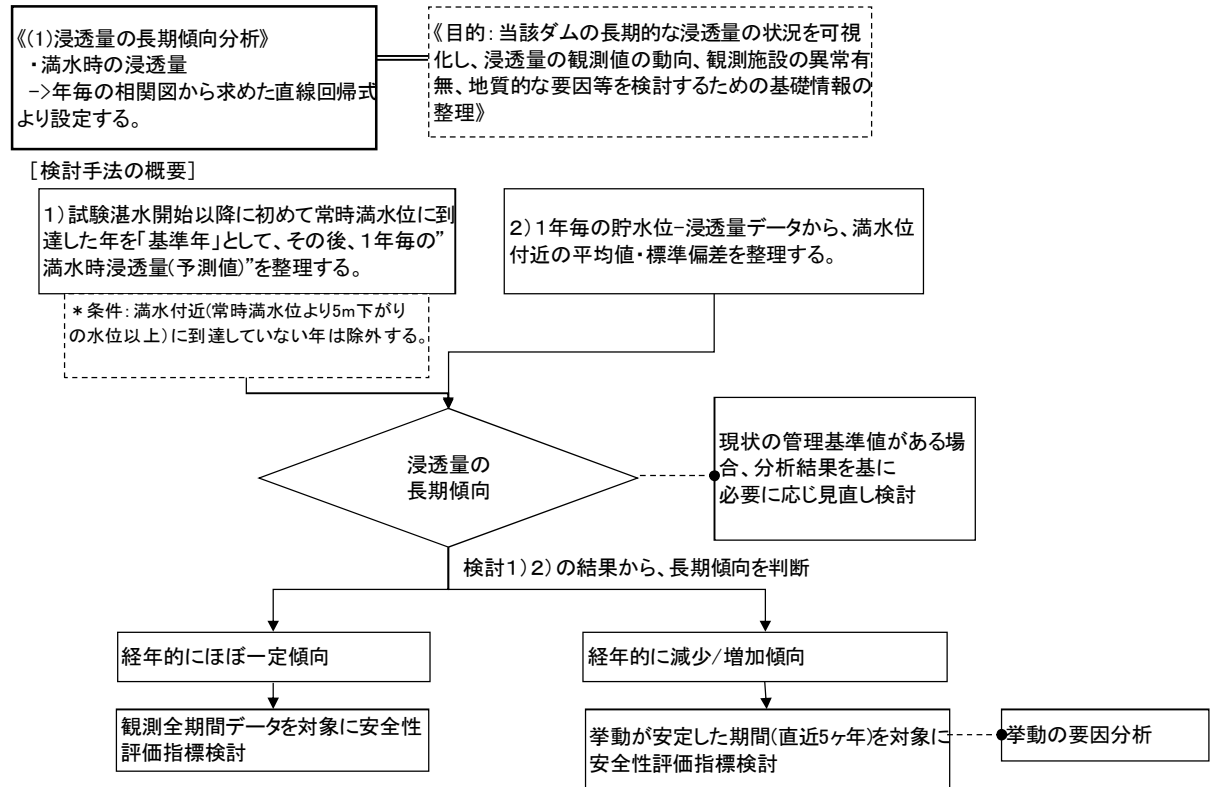


図-Ⅲ. 2. 1-10 浸透量の長期傾向分析

②降雨影響評価にもとづく条件

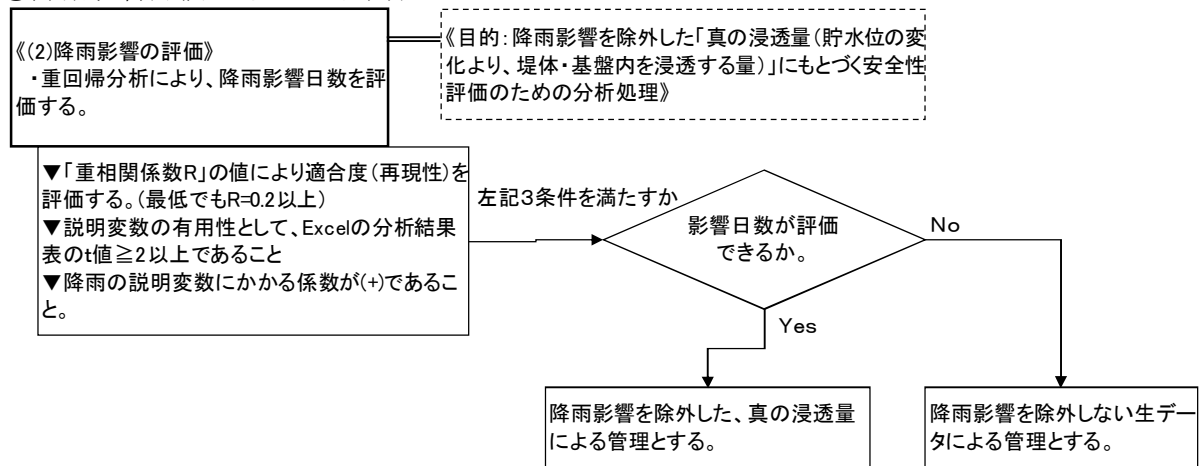


図-Ⅲ. 2. 1-11 降雨影響評価

③特異値データの要因評価にもとづく条件

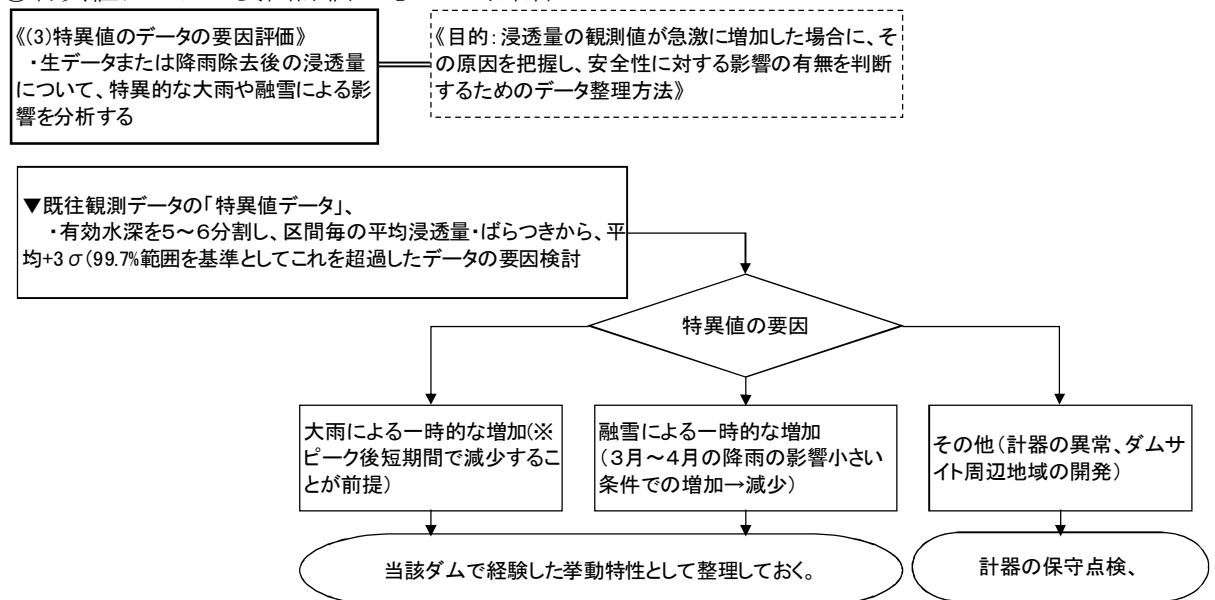


図-Ⅲ. 2. 1-12 特異値データの要因分析

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^(※1)》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。

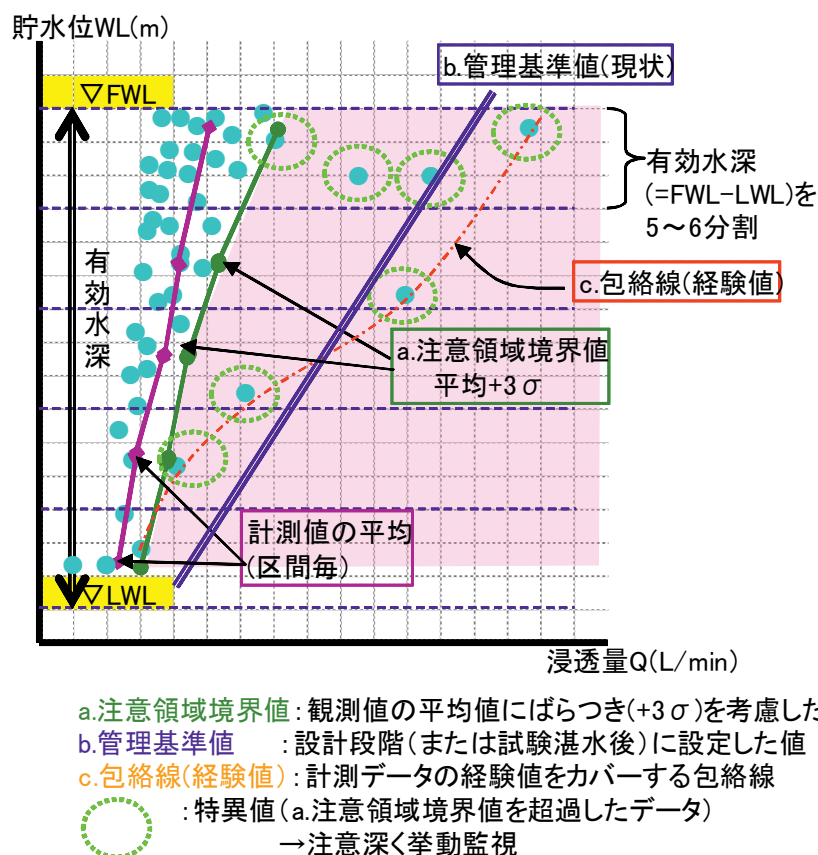


図-Ⅲ.2.1-13 浸透量の安全性評価指標の概念図

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

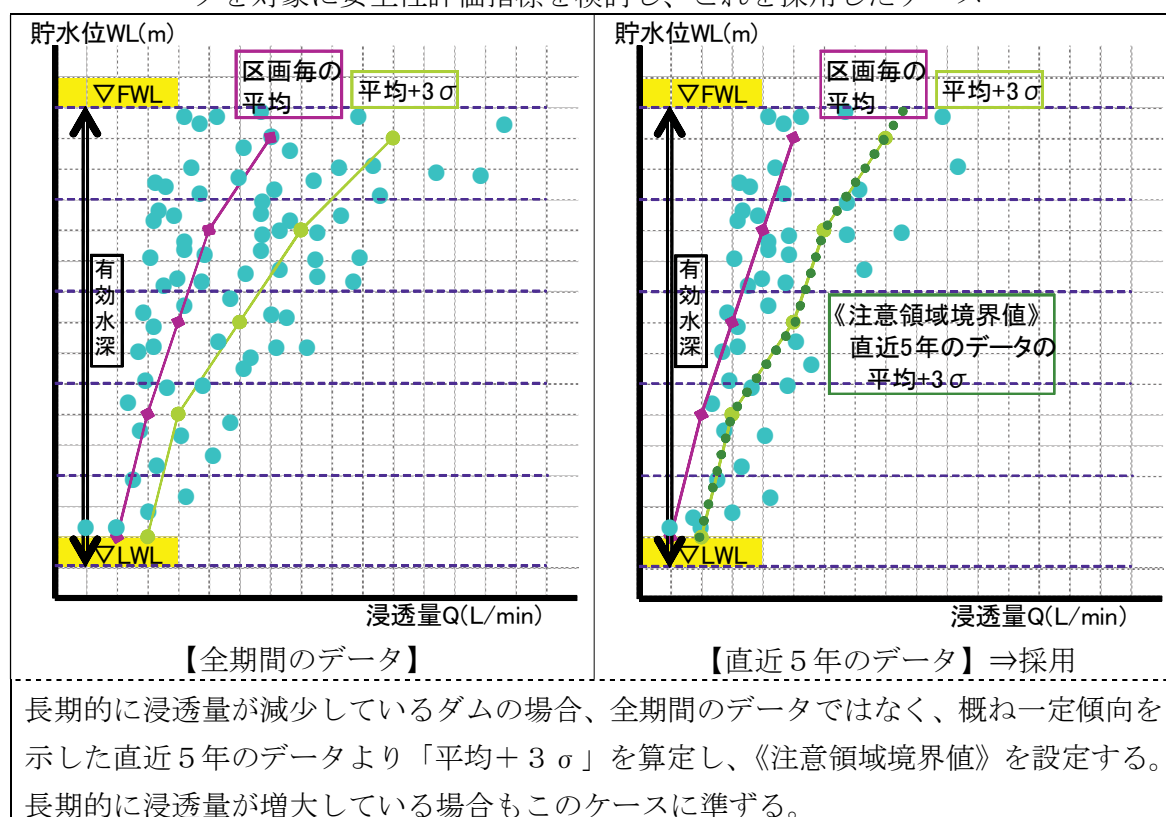
管理基準値が設定されている場合	● 設計時または試験湛水結果に基づいて「管理基準値」が設定されている場合、基本的にはその値を用いて評価する。 - ただし、経年的に増減が生じている場合などは、定期的に検証を行って、見直しの必要性を判断する。
管理基準値が設定されていない場合	● 設計時に管理基準値が設定されていないダムにおいては、計測値データに基づく評価指標を設定する。 ● 評価指標設定は、原則として「有効水深を5～6分割した区間毎の生データ（または降雨除去後のデータ）の平均と標準偏差(σ)」を求め、「平均+3σ」を相関図上にプロットした値を「a. 注意領域境界値」とし、日常管理においてはこの値を安全性評価指標として活用する。

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。

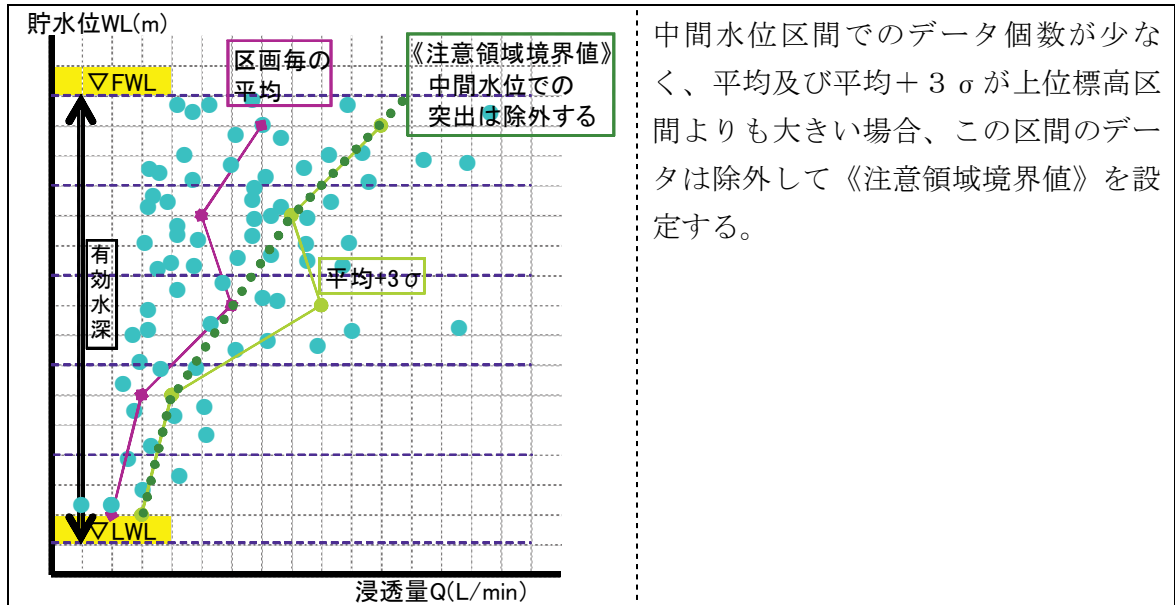
実際には複数のケースを組み合わせ適用していくことになると考えられる。

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



- 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

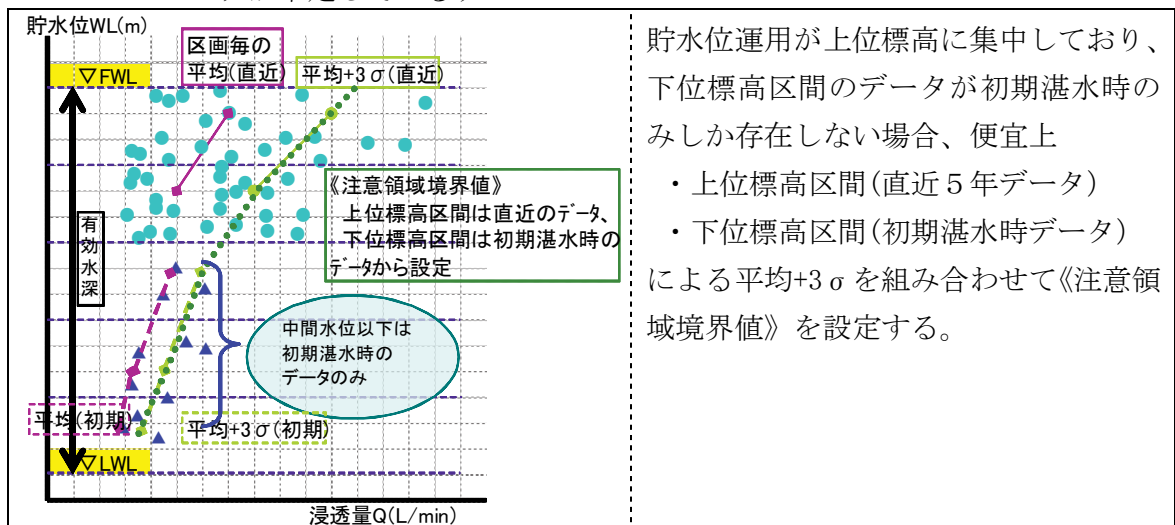


図-Ⅲ. 2. 1-14 《注意領域境界値》の設定例

《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として、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「 $\ln(y_0/y)$ ； y は観測流量、 y_0 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。

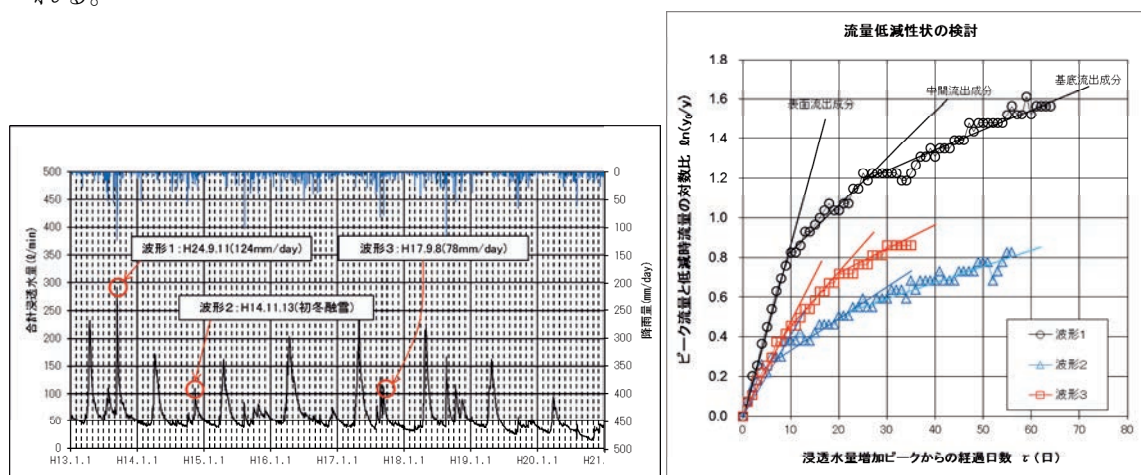


図-Ⅲ.2.1-15 浸透量履歴図および相関図より流出成分の抽出

(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。

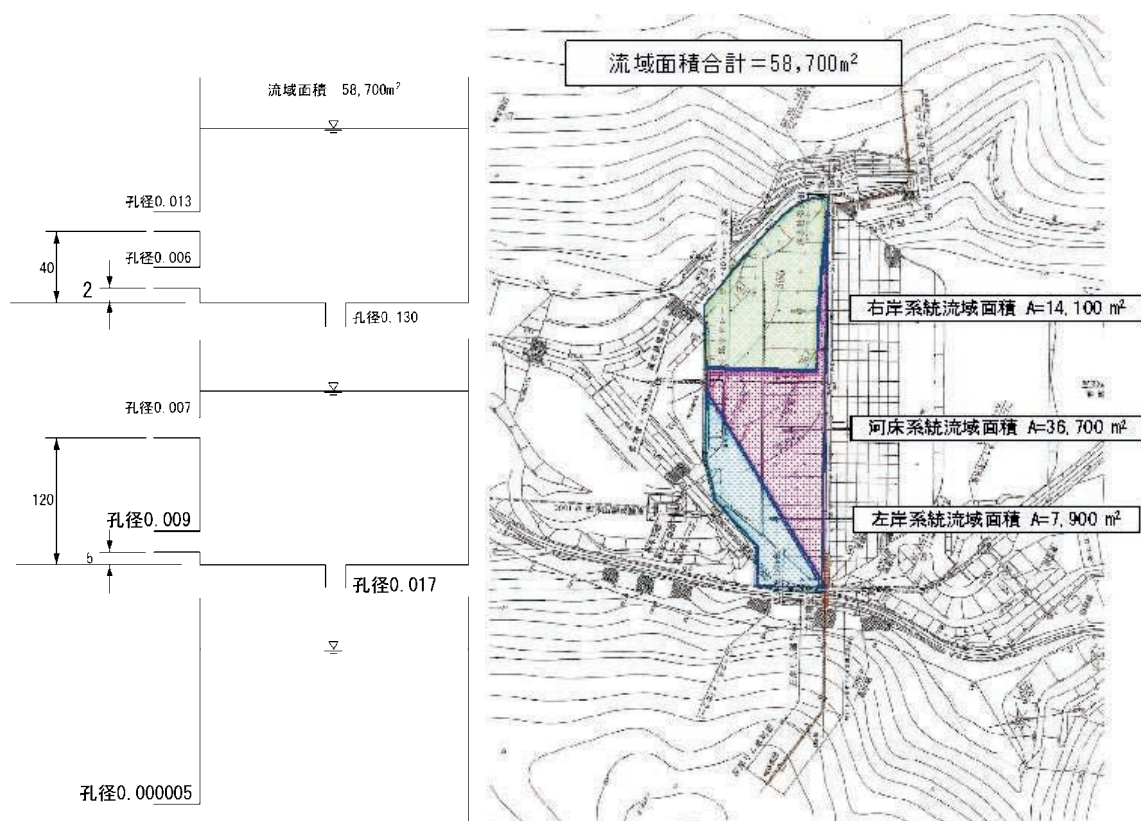


図-III. 2. 1-16 タンクモデル

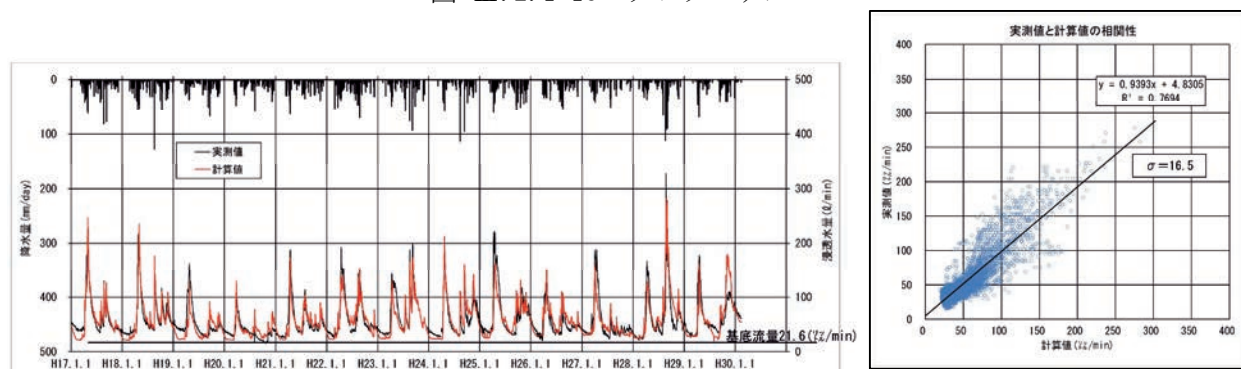


図-III. 2. 1-16 実測値と計算値の相関図によるトライアル計算

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。

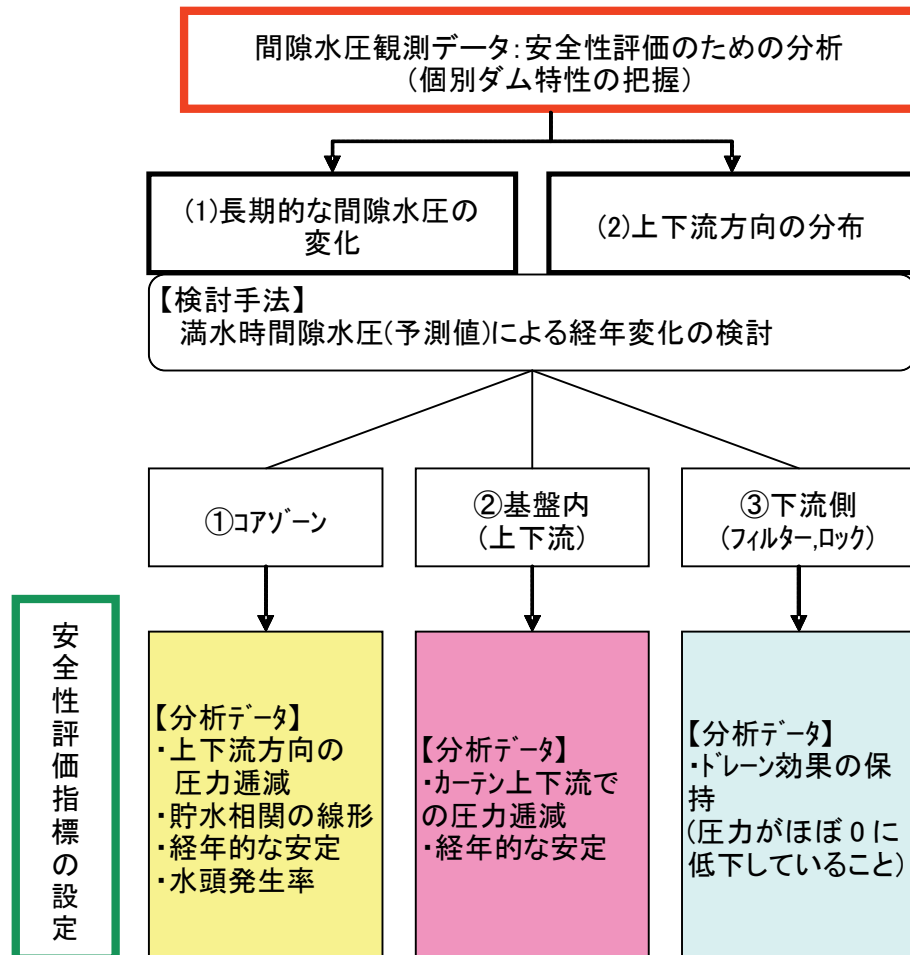


図-Ⅱ. 2. 2-1 安全性評価指標設定のフロー

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－間隙水圧相関図を作成する。この時の常時満水位における間隙水圧を「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。

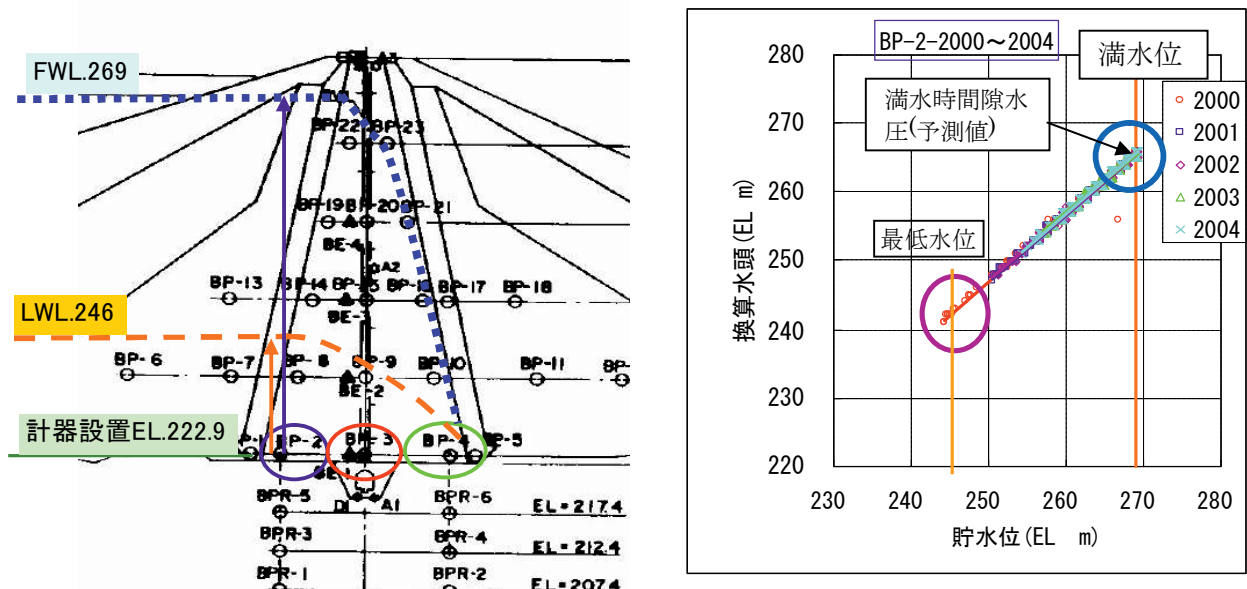


図-Ⅲ. 2. 2-2 貯水位-間隙水圧相関図

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、

- 経年的な変化
- 上下流方向の圧力分布
- 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。

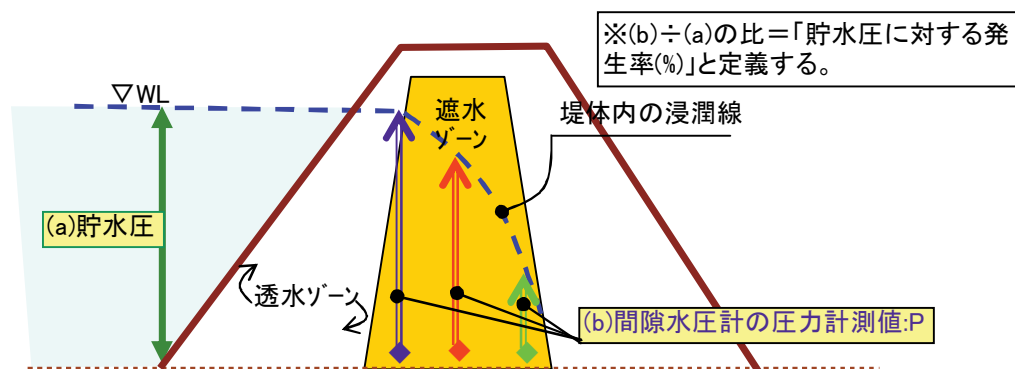


図-Ⅲ. 2. 2-3 「貯水圧に対する間隙水圧発生率」の概念図

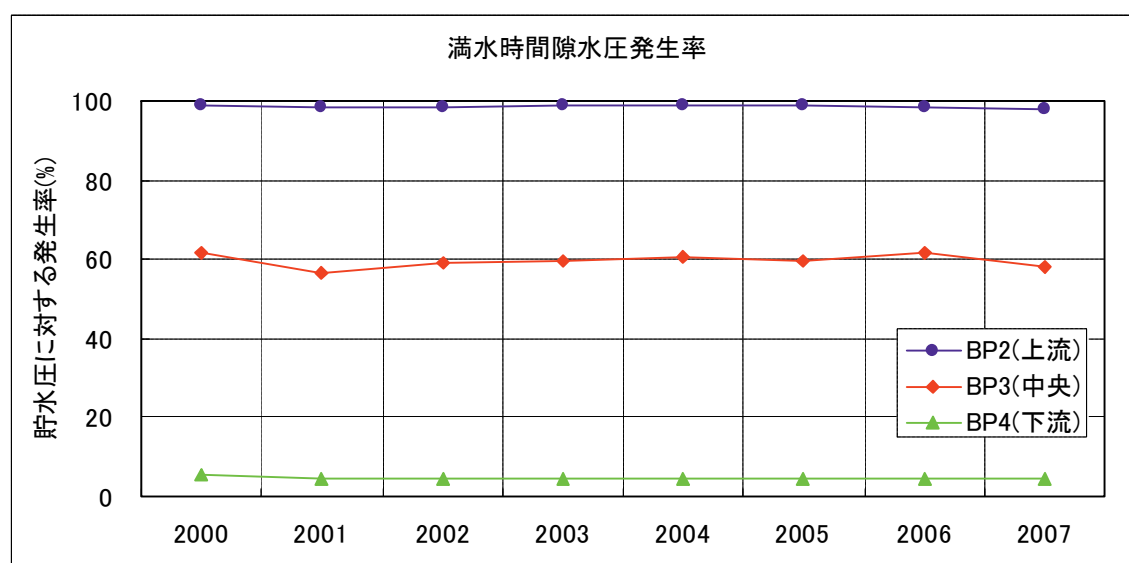


図-Ⅲ. 2. 2-4 満水時間隙水圧（予測値）の経年変化

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。

- 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。
- 上下流分布は上流～下流に向かって圧力遁減しており正常である。
- 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。

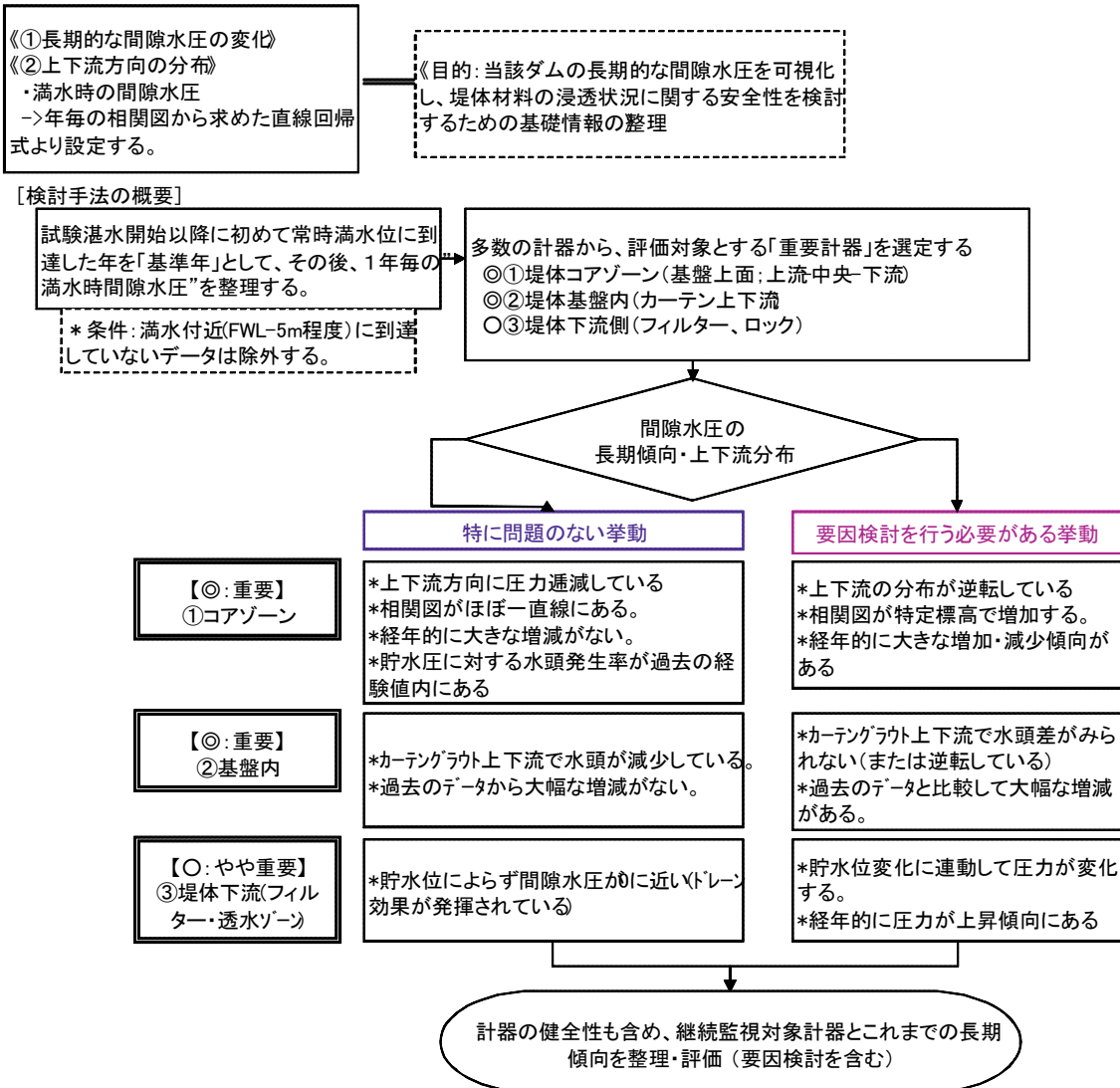


図-Ⅲ. 2. 2-5 間隙水圧の分析結果

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「圧力遞減」(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

フィルダム表面の変位は、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。

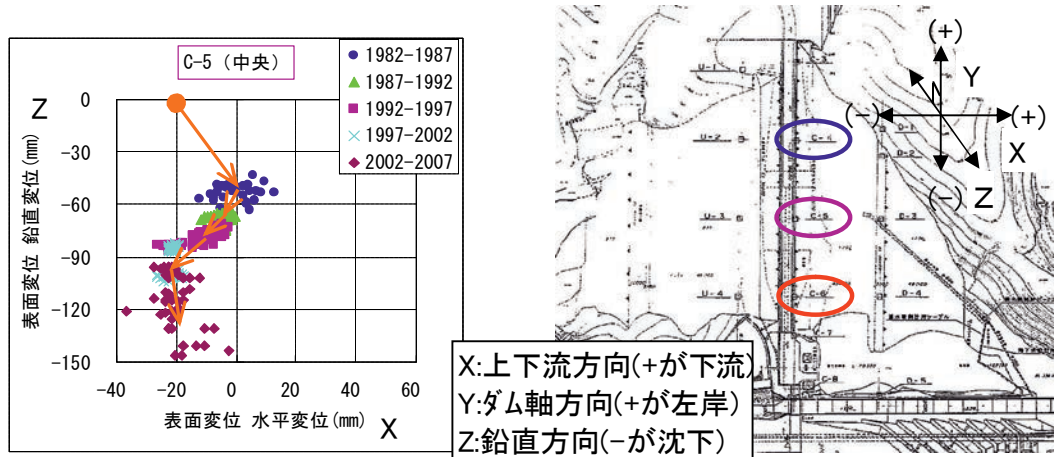


図-Ⅲ. 2. 3-1 表面変位の2次元的な変化状況の整理例（断面変位図）

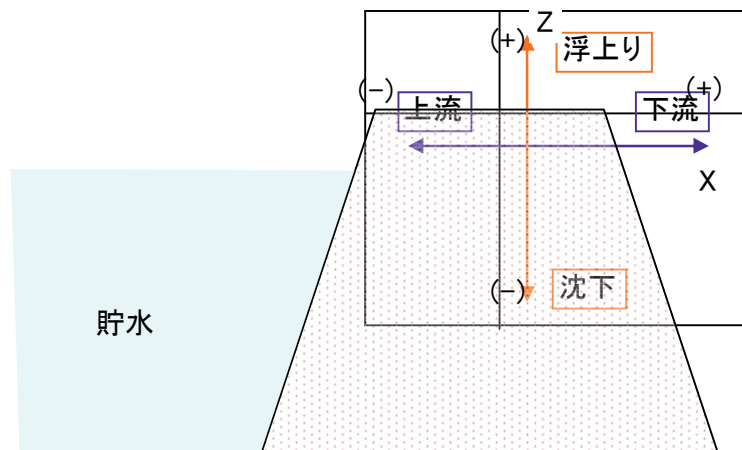


図-Ⅲ. 2. 3-2 断面変位図の意味

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。

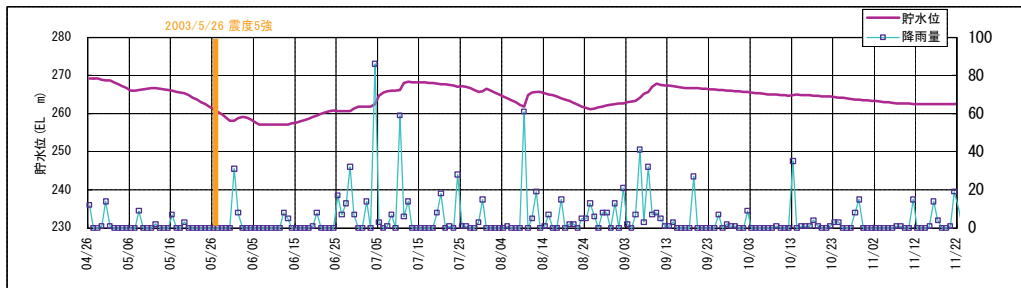
一定規模以上の地震が観測された場合（ダムの基礎地盤または堤体底部に設置した地震計により観測された地震動の最大加速度が 25gal 以上である地震、ダム地点周辺で得られる気象庁の震度観測結果が震度階 4 以上の地震）は、「土地改良施設管理基準-ダム編-平成 16 年 3 月」に従い、計測、点検、監視を行う（P30「7.5 臨時の計測、点検、監視」、P173「7.5.2 地震時、洪水、大雨時の計測、点検、監視の内容」を参照）。また、この際の計測データと評価の記録についても整理しておくことが望ましい。

【地震後の挙動の計測例】

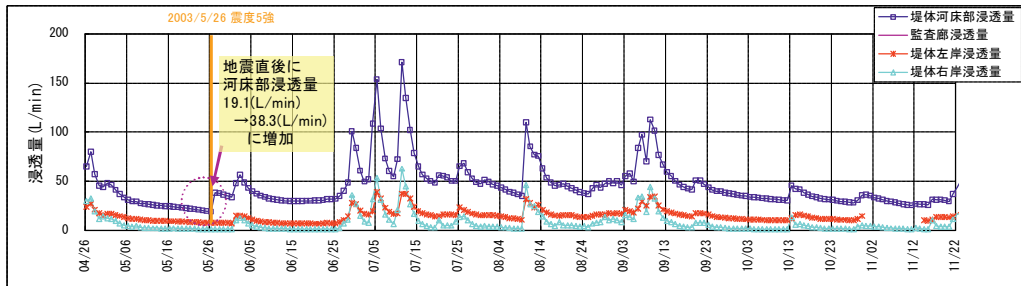
（1）Aダム

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。

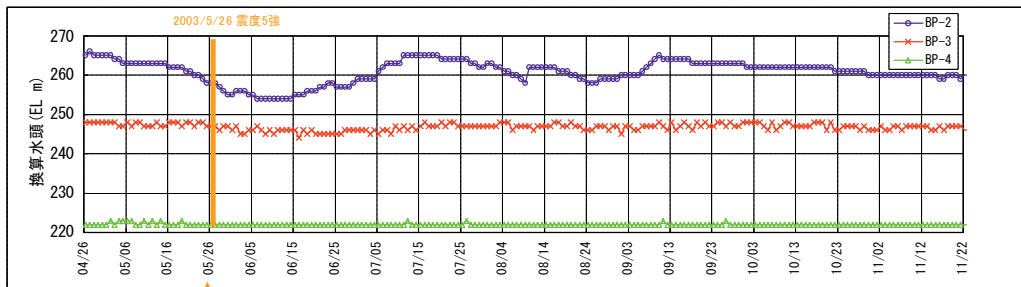
【貯水位・降雨】



【浸透量】



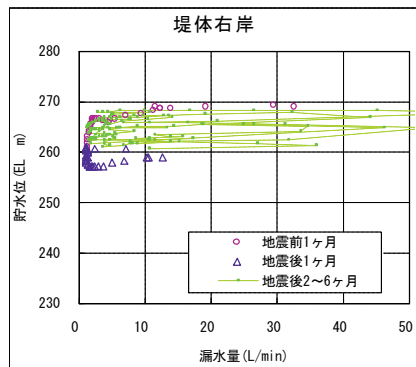
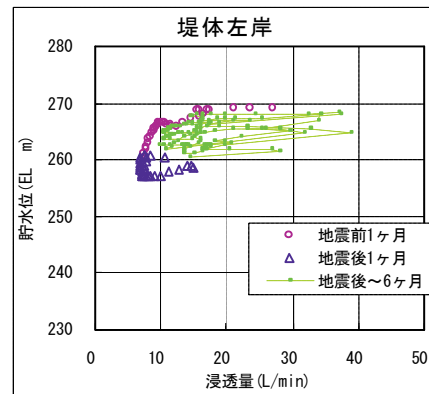
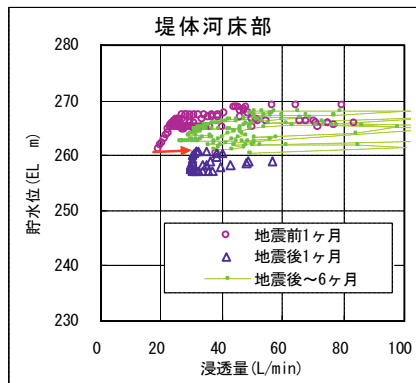
【間隙水圧】



（震度5強）

図-Ⅲ. 2. 4-1 地震時挙動の例（Aダム：経年変化）

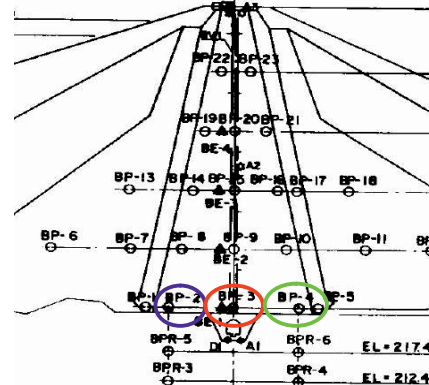
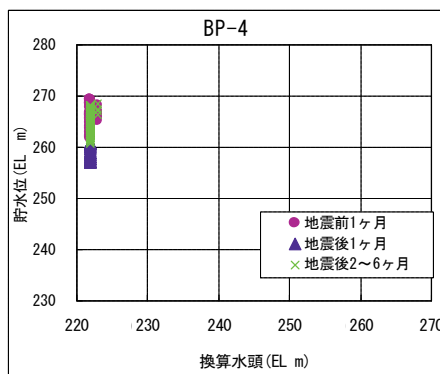
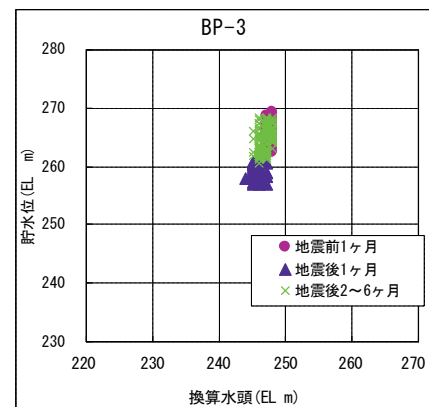
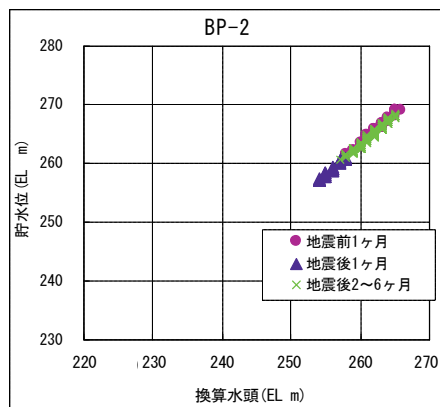
<浸透量>



【評価】

- ・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。
- ・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>

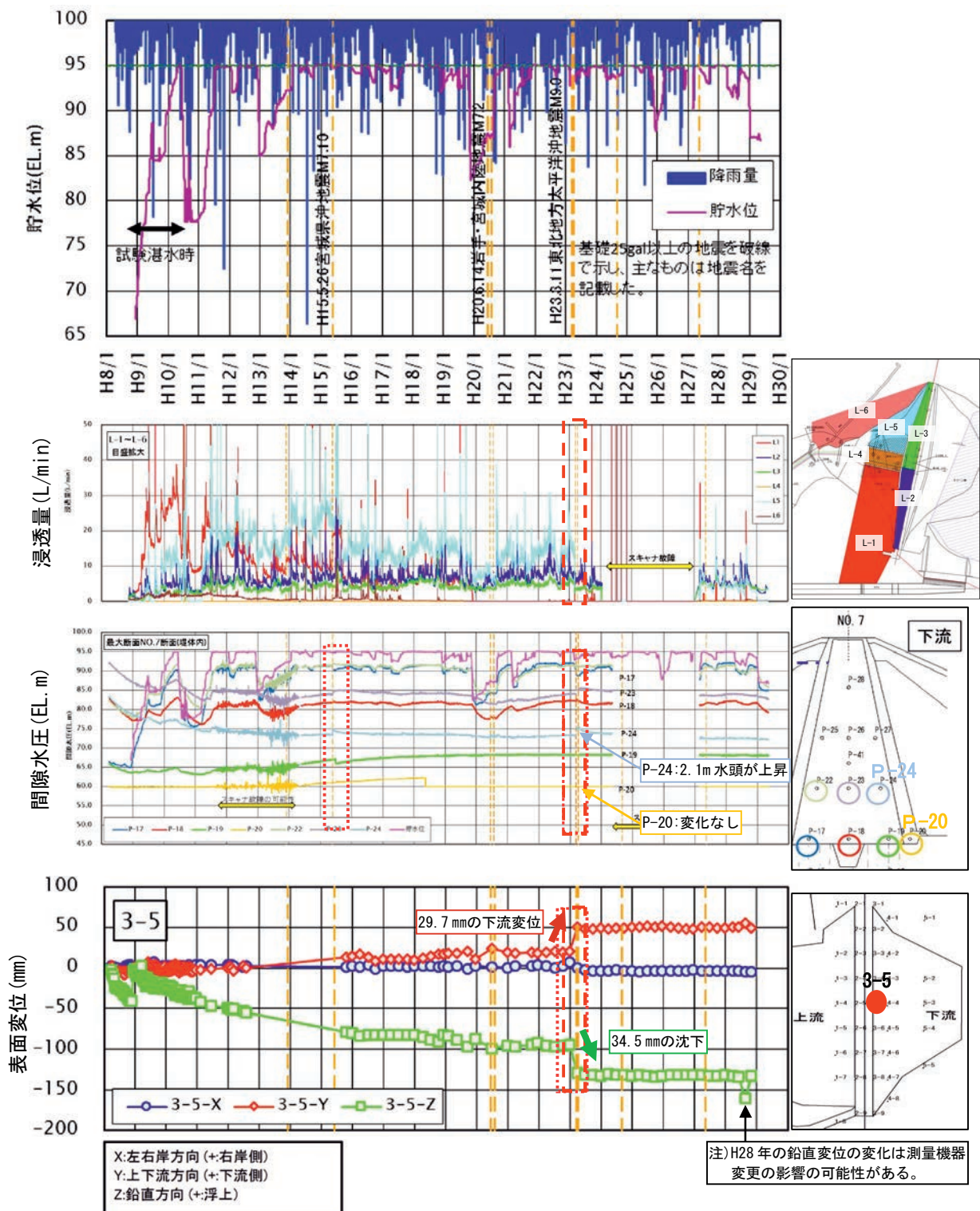


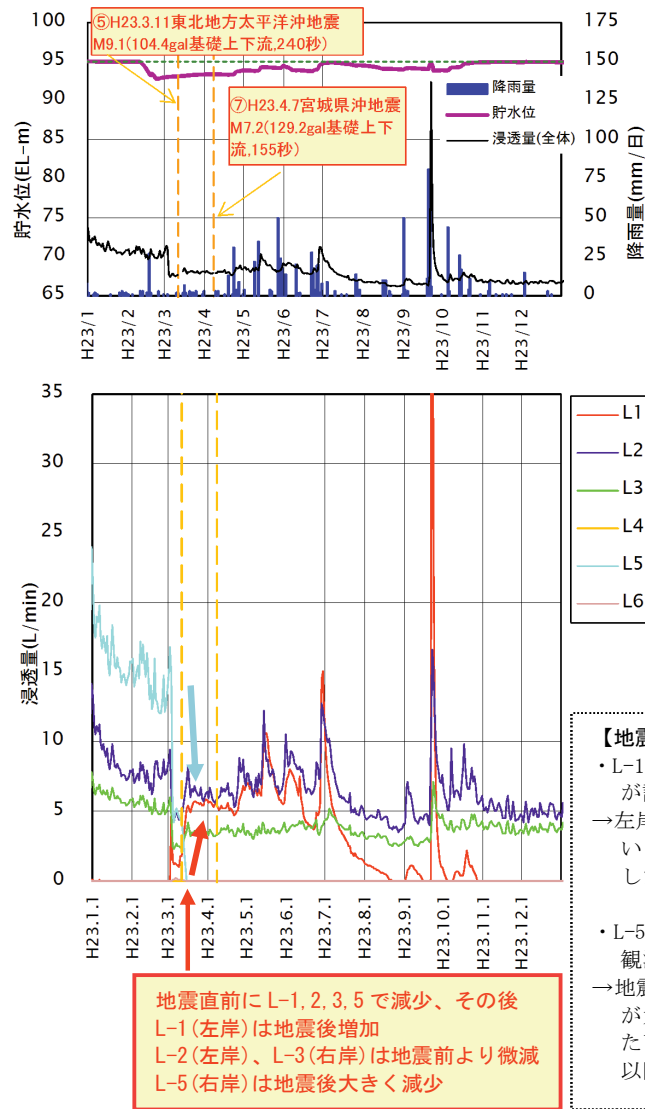
【評価】コア基部の間隙水圧計は、地震による影響はほとんど認められない。

図-Ⅲ. 2. 4-2 地震時挙動の例 (Aダム：貯水位との相関図)

(2) Bダム

ダムへの影響が最も大きかった地震は、平成 23 年(2011)3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 M9.0 であり、ダム天端に 34.5 mm(3-5-Z)の沈下と 29.7 mm(3-5-Y)の下流への変位が生じ、堤体コアゾーンの間隙水圧は 2.1m(P-24)の水頭上昇が確認されたが、浸透量には変化が認められないため、堤体内部には問題となるような損傷は生じなかったと判断される。





浸透量 H23. 3. 11 前後の詳細図

【評価】

●浸透量

地震による浸透量の長期的な増加傾向は認められない。

●間隙水圧

P-24 は平成23年の地震で2.1m水頭が上昇したが、下流フィルターのP-20に変化がないため安全と判断される。地震時以外は安定した挙動を呈している。

●表面変位

3-5 は地震で34.5mm沈下した。

水平変位は下流へ29.7mm変位した。地震時以外は安定した挙動を呈している。

堤体は地震時に一時的に影響を受けるものの、その後の観測計器の挙動は安定していることから、力学的安定性、水理的安定性は保持されていると評価。

3 コンクリートダム編

コンクリートダムでは、浸透量、揚圧力及び堤体変位の挙動把握が特に重要である。

浸透量、揚圧力、堤体変位の計測データから、浸透量、揚圧力及び堤体変位の分析、管理基準の検討、地震時の挙動の整理を行う。

3. 1 浸透量の分析・安全性評価指標の検討

浸透量のデータ整理・分析は、フィルダム編と同様に以下のフローに従い実施する。

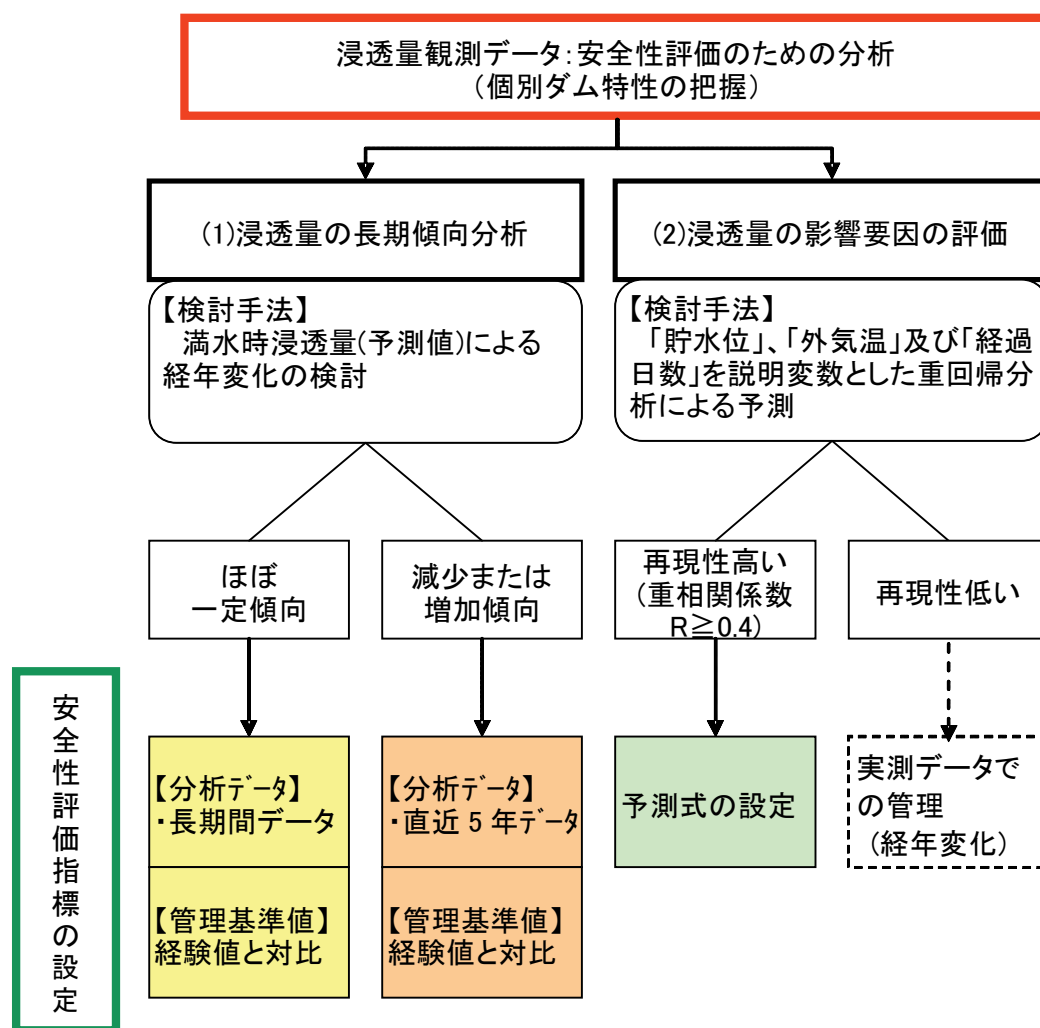


図-Ⅲ. 3. 1-1 安全性評価指標設定のフロー

各作業の手順について以下に示す。

(1) 長期的な浸透量変化の検討

貯水位との相関図、浸透量の経年変化を図化し、ダムの長期的な浸透量変化を検討する。図化によって、浸透量の計測値や計測施設の異常の有無等を把握しやすくなる。

【検討手法】

「満水時浸透量（予測値）」という指標を用いて、経年的な浸透量変化を検討する。

[定義] 満水時浸透量（予測値）

浸透量計測データを年毎に整理し、直線回帰式により貯水位－浸透量相関図を作成する。
この時の常時満水位における浸透量を「満水時浸透量（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－浸透量の相関図を作成し、次に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。）

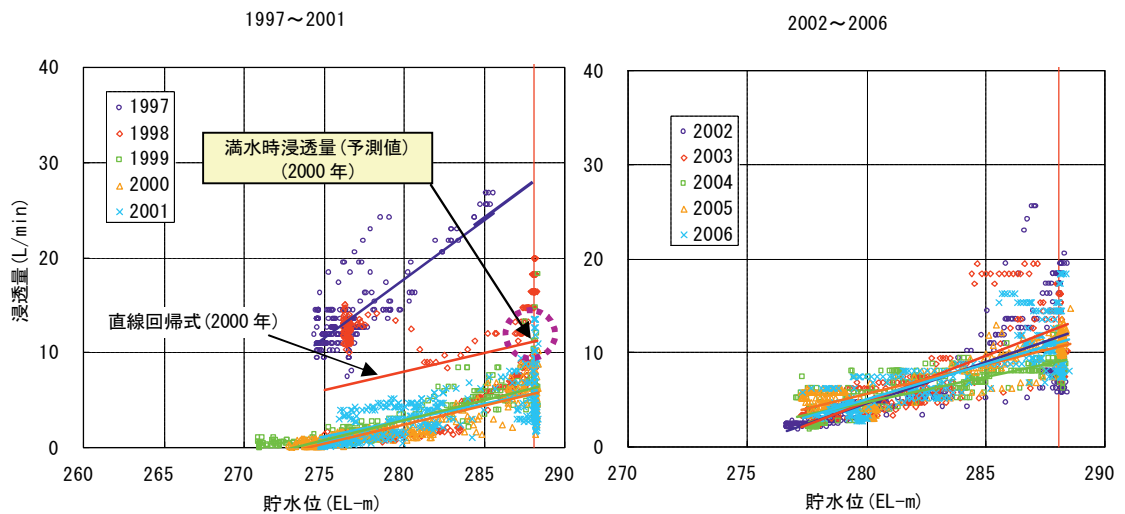


図-Ⅲ. 3. 1-2 貯水位-浸透量相関図

②各年の「満水時浸透量（予測値）」の経年変化のグラフを作成する。

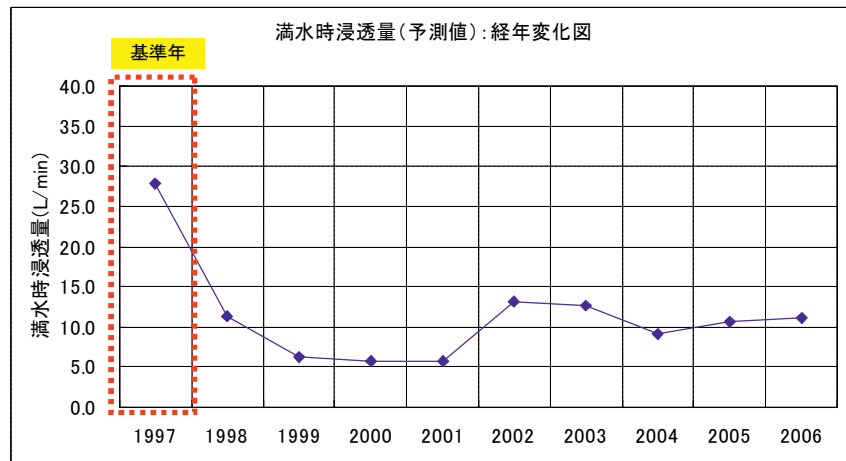


図-Ⅲ. 3. 1-3 満水時浸透量（予測値）の経年変化

※基準年：試験湛水開始以降に初めて常時満水位に到達した年

＜分析結果の評価＞

グラフから、満水時浸透量(予測値)は、基準年では 28 L/min であったものが、2 年後には 6 L/min にまで減少し、その後若干増加するなどの変動が見られる。

(2) 浸透量の影響要因の評価

【検討手法】

コンクリートダムは通常、継目排水孔と基礎排水孔の2系統の合計値を計測するため、降雨の影響はほとんど受けない構造となっている。ただし、コンクリートは温度変化によって体積が膨張・収縮するため、寒冷期において、浸透量がやや増加する場合がある。

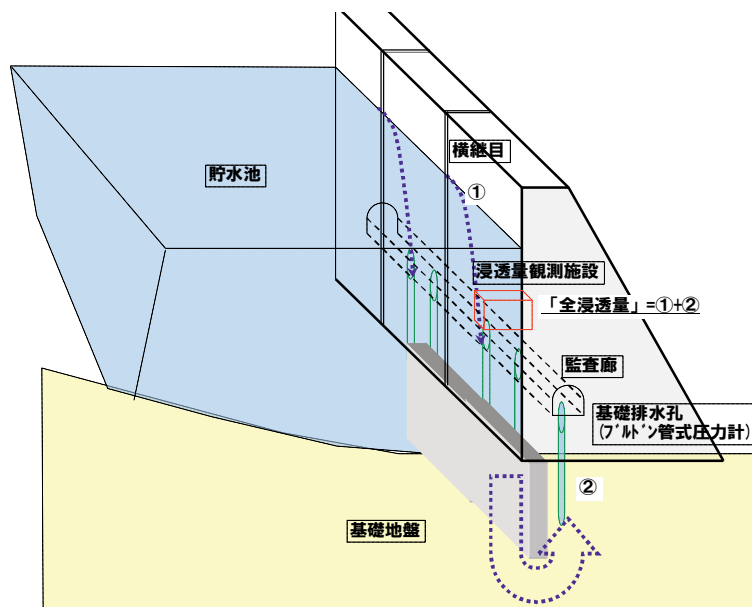


図-Ⅲ. 3. 1-4 コンクリートダムの浸透状況の概念図

特に、全体の浸透量が多いダムでは、計測データを統計処理して浸透量に対する影響要因の評価と予測値の設定を行う。

検討の手法は、「重回帰分析」による予測モデルを適用する（重回帰分析の考え方は「2. フィルダム編」参照）。

【検討例】

1) 重回帰分析

コンクリートダムの場合、説明変数として、「貯水位、外気温及び計測データ初日から経過日数」のデータを一行に並べ、重回帰分析を行う。

表-Ⅲ. 3. 1-1 重回帰分析に用いるデータ（例）

測定日時	浸透量 L/min	貯水位 m	外気温 ℃	経過日数 日
1999/1/1	2.2	279.08	-8.2	0
1999/1/2	2.2	278.94	-10.5	1
1999/1/3	2	278.79	-9.1	2
1999/1/4	1.8	278.64	-6.6	3
1999/1/5	2.2	278.49	-3.3	4
1999/1/6	1.6	278.48	-8.1	5
1999/1/7	2.2	278.49	-9.4	6
1999/1/8	1.8	278.5	-11.1	7
1999/1/9	2	278.52	-8.4	8
1999/1/10	1.8	278.55	-7.4	9
1999/1/11	1.8	278.57	-6.7	10
1999/1/12	2.2	278.58	-6.3	11
1999/1/13	1.4	278.59	-7.7	12

* 経過日数については、基礎岩盤の地質・力学特性によっては、長期的な荷重の作用により、累積的な変位が生じ、浸透量の増加または減少傾向となっていること、基礎岩盤内および横継目等の経年的な目詰りによる減少傾向を説明する変数である。

重回帰分析の結果は、以下のようになる。

表-Ⅲ. 3. 1-2 重回帰分析結果

浸透量の重回帰分析結果(例)

回帰統計	
重相関 R	0.884629
重決定 R ²	0.782568
補正 R ²	0.782448
標準誤差	1.253017
観測数	5447

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	3	30757.49	10252.5	6530.034	0
残差	5443	8545.796	1.570053		
合計	5446	39303.29			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-11.5265	0.449619	-25.6362	6.1E-137	-12.4079	-10.6451	-12.4079	-10.6451
X 値 1(貯水位)	0.096949	0.002625	36.93332	1.2E-266	0.091803	0.102095	0.091803	0.102095
X 値 2(外気温)	-0.22254	0.002316	-96.0835	0	-0.22708	-0.218	-0.22708	-0.218
X 値 3(経過日数)	0.000436	8.41E-06	51.80394	0	0.000419	0.000452	0.000419	0.000452

<分析結果の評価>

- ①重相関式の適合度を示す重相関係数 (R) は 0.885 と高い。
- ②説明変数 (貯水位、外気温、経過日数) はいずれも有用との判断基準となる t 値 (一般に $|t| \geq 2$) となっており、変数の選択は適切であったと考えられる。

各変数にかかる係数から、浸透量への影響要因を示すと以下のようになる。

- ・貯水位変化：10m 上昇で 0.97L/min 増加する。
- ・外気温：10℃高くなると 2.2L/min 減少する (冬場に増加する)。
- ・経過日数：1000 日 (約 3 年) で 0.4L/min 増加する (極めて緩慢な増加傾向)。

*予測式：Q(浸透量:L/min)

$$=-11.526+0.0969 \times \text{WL (m)}-0.2225 \times \text{T (°C)}+0.0004 \times \text{d (日)}$$

実測値と予測式による比較を示すと以下の図のようになる。

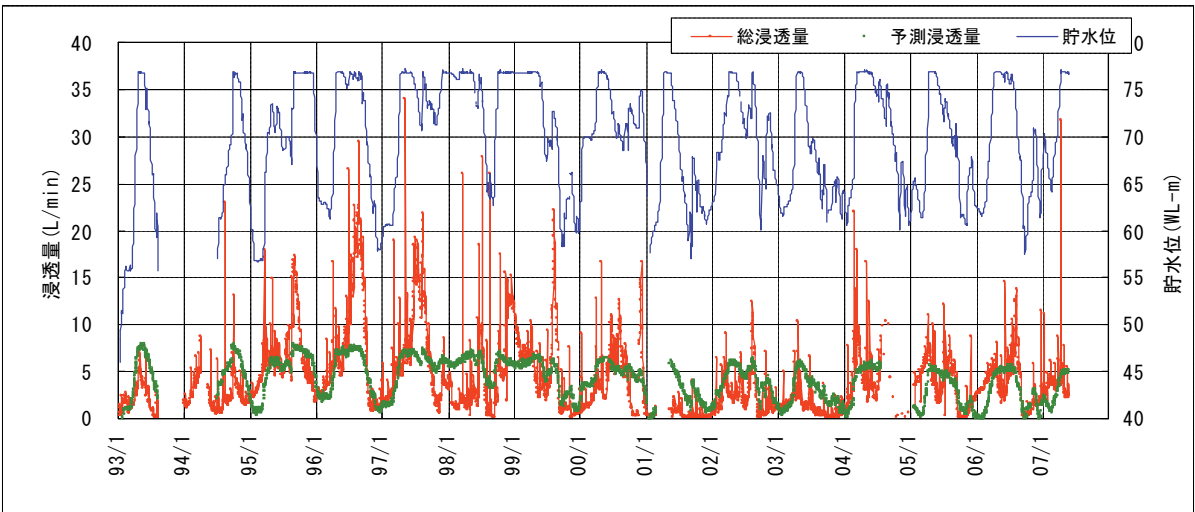


図-Ⅲ. 3. 1-5 重回帰分析による浸透量予測値の検証

(3) 安全性評価指標の検討

コンクリートダムの場合、浸透量の絶対量が小さい場合が多いため、満水時浸透量（予測値）は主にダムの挙動特性の傾向の確認に用いるが、過去の経験値を超過する状況が生じた場合は、原因究明と経過観察を行う必要がある。

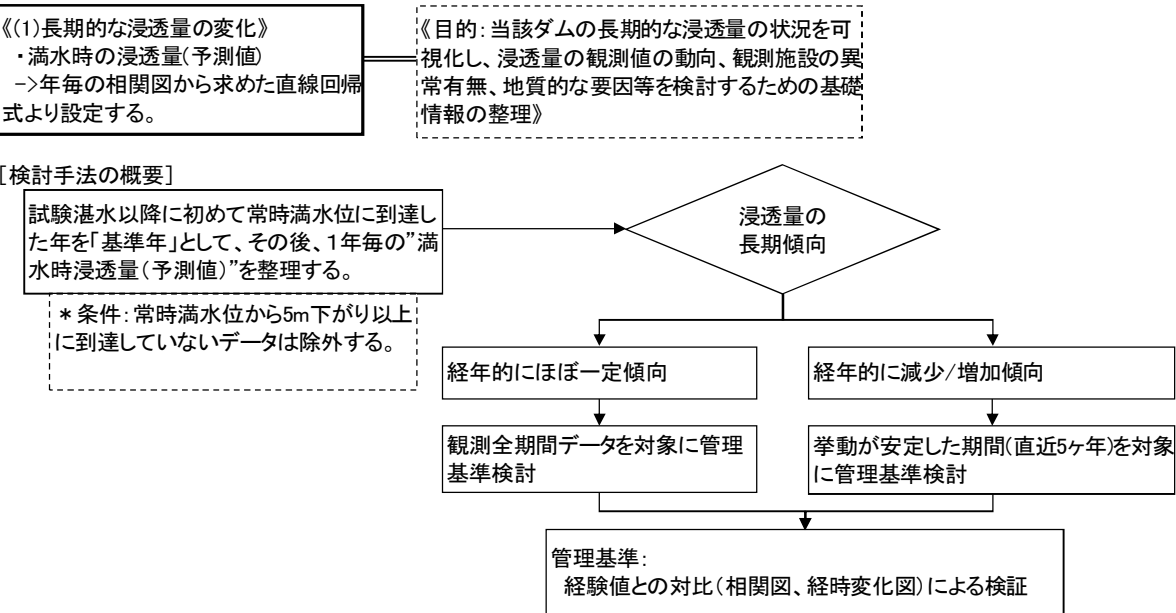


図-Ⅲ. 3. 1-6 浸透量の長期傾向分析

また、浸透量に関する影響要因（貯水位、外気温等）から再現性の高い予測式が得られた場合、日常管理の指標としてこの式を適用することも可能である。

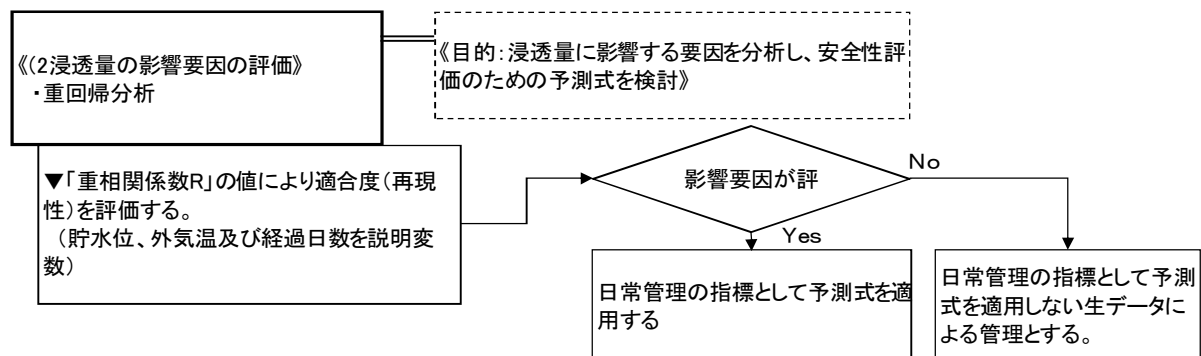


図-Ⅲ. 3. 1-7 浸透量の影響要因

3. 2 揚圧力の分析・安全性評価指標の検討

揚圧力の分析・管理基準の検討に際しては、①長期的な変化を確認する必要があること、②堤体上下流の圧力分布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。

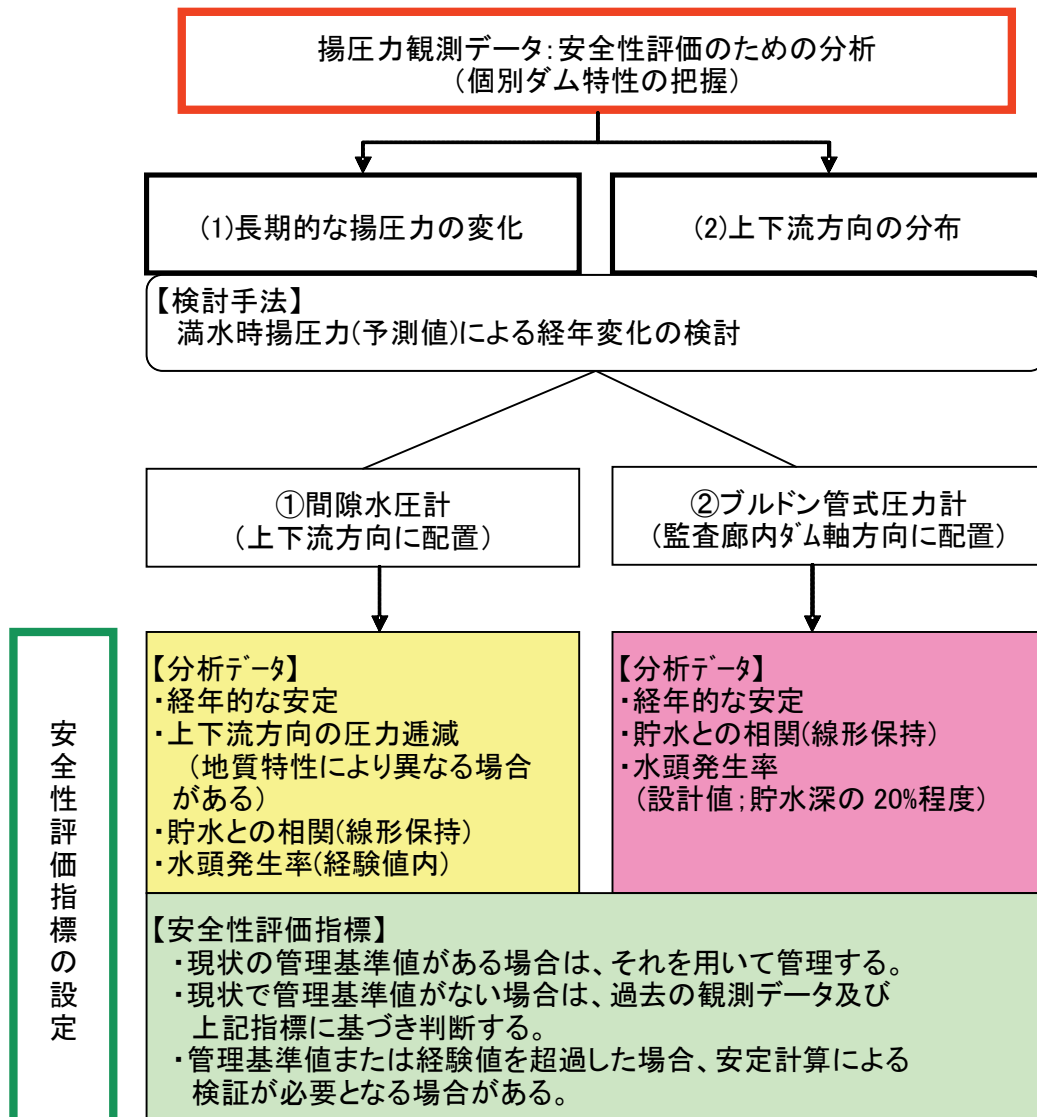


図-Ⅲ. 3. 2-1 安全性評価指標設定のフロー

各作業の手順について以下に示す。

(1) 長期的な揚圧力変化の検討

堤体に作用する荷重の圧力による安定性を検討するために、長期的な揚圧力の変化を図化し評価する。

【検討手法】

コンクリートダムの上揚圧力は、堤体の安定計算で考慮する外荷重の一つである。上揚圧力の増大はダムの安定性の低下につながる可能性があることから、上揚圧力は安全性の評価において重要な指標となる。

なお、上揚圧力の計測は「間隙水圧計（上下流方向に設置）」及び「ブルドン管式圧力計」の双方またはいずれかで行っているため、これを区分して整理する。

「満水時上揚圧力（予測値）」を指標とし、経年的な上揚圧力の変化を検討する。さらに堤体上下流方向（間隙水圧計）、ダム軸方向（ブルドン管式圧力計）に計測した上揚圧力の縦横断分布形状を検証する。

[定義]満水時上揚圧力（予測値）

満水時上揚圧力（予測値）は、1年間の上揚圧力計測データの貯水位－上揚圧力相関図から、直線回帰式により推定して、常時満水位での予測上揚圧力を示す。

評価の際には、「作用水頭に対する比率」の値で整理する

ただし、常時満水位から 5m 下がり以下の水位以上」を経験した年のデータのみを対象とする。

評価の尺度として、以下の2点を整理する。

- ・設計値（一般には「監査廊位置」）で貯水圧の20%
- ・上下流方向に配置されている場合の上揚圧力分布

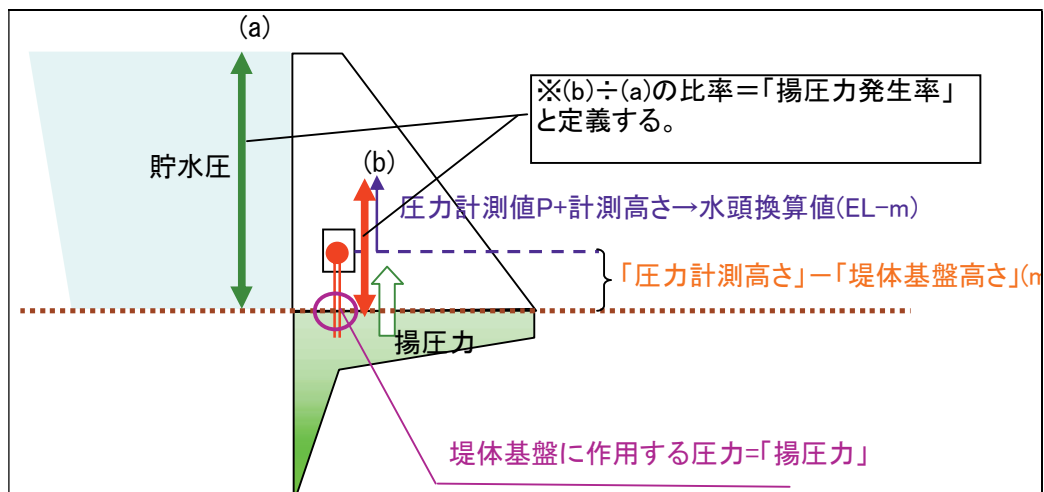


図-III.3.2-2 「貯水圧に対する上揚圧力発生率」の概念図

【検討例】

①計測期間の貯水位－上揚圧力の相関図を作成し、各年の直線回帰式を作成する。

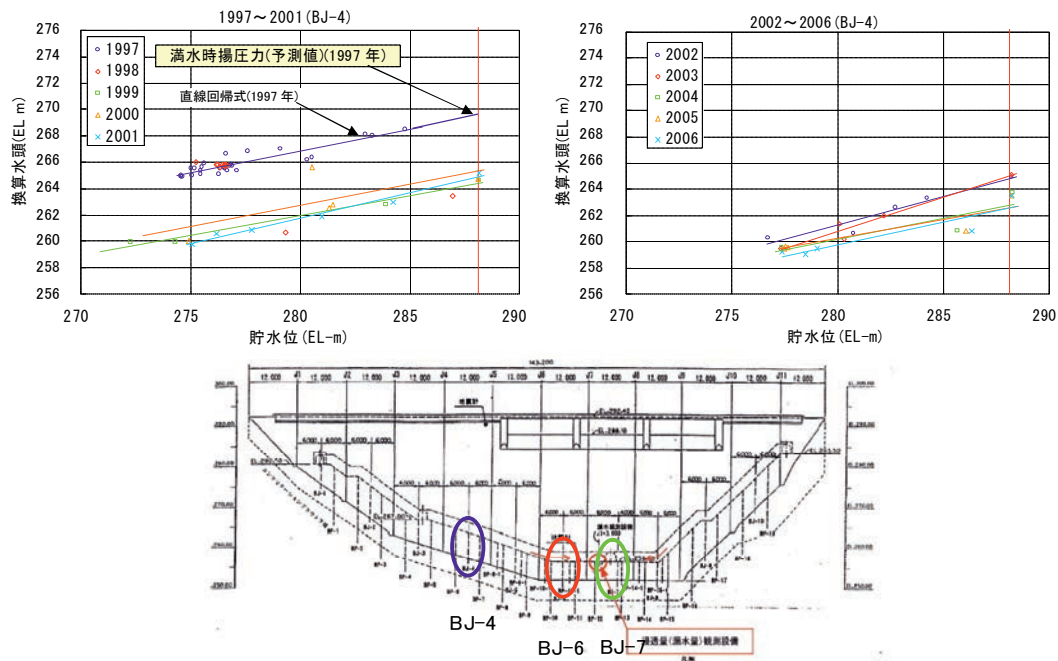


図-Ⅲ.3.2-3 貯水位-揚圧力相関図（間隙水圧計の計測値）

②各年の「満水時揚圧力（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. 上下流方向の揚圧力分布
- c. 相関図の直線式
- d. 貯水圧に対する揚圧力の発生率

の要素から安全性を評価する。

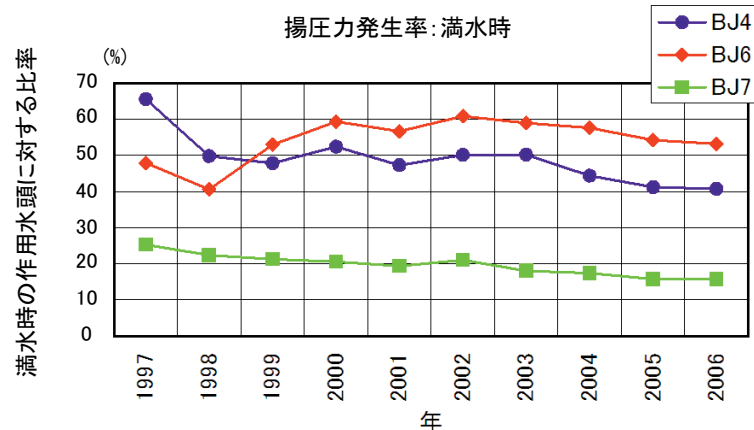


図-Ⅲ.3.2-4 満水時揚圧力（予測値）の経年変化

以下の事項が確認できれば、揚圧力については安全上問題ないと判断できる。

- a. 揚圧力の経年変化がほぼ一定であること
- b. 上下流の分布が上流側から下流側に逓減していること
- c. 相関図がほぼ一直線にあること
- d. 貯水圧に対する揚圧力の発生率が大幅に変化していないこと

(2) 安全性評価指標の検討

コンクリートダムの上昇圧力の一般的（正常）な状態は、以下のように考えられる。

- ・上昇圧力の経年変化が定常化する傾向にあること。（定量的、定性的、貯水位との相関図も参照）
- ・貯水圧に対する圧力の発生率が、経験値から超過しないこと。

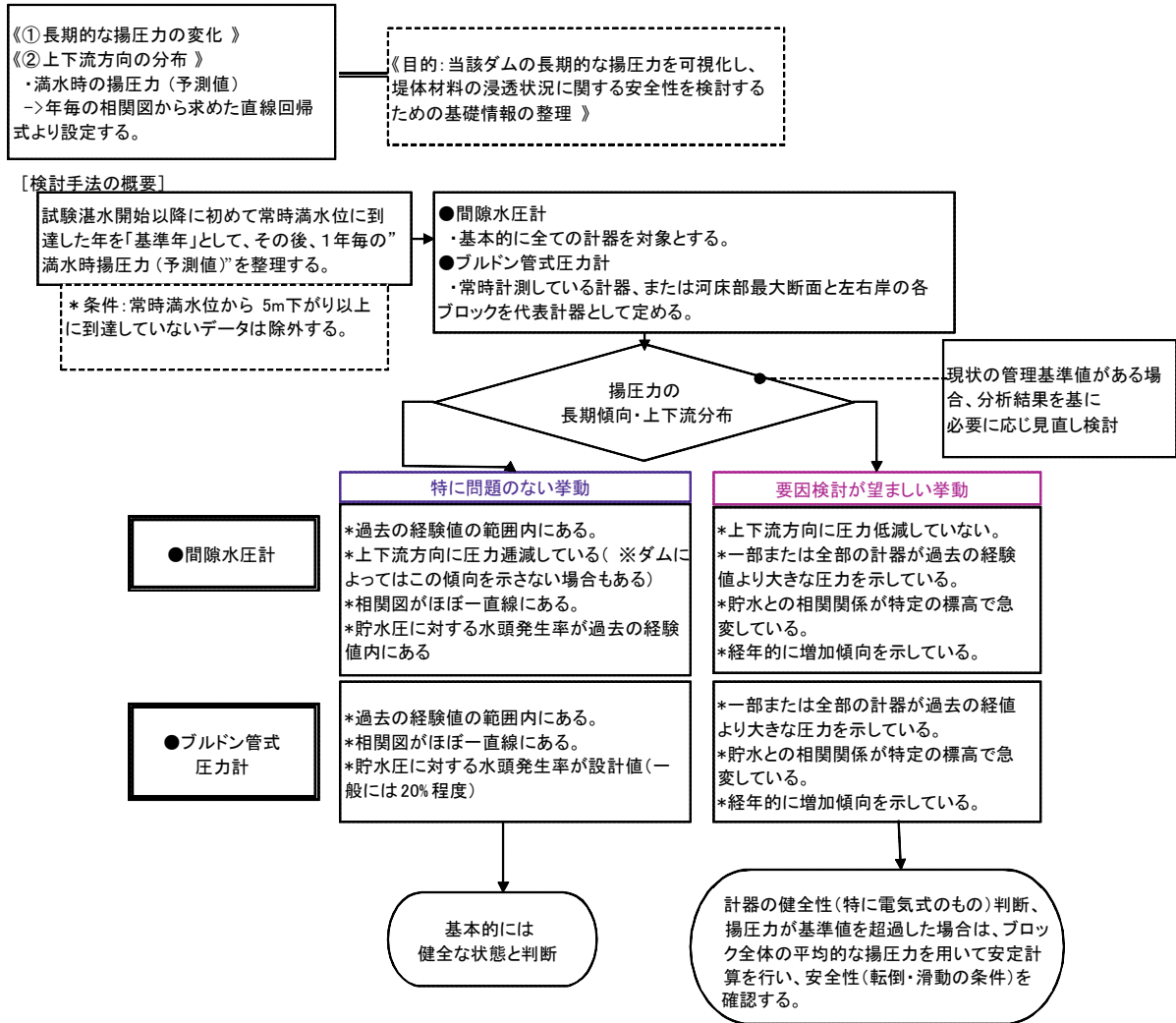


図-Ⅲ. 3. 2-5 上昇圧力の分析結果

安全性評価指標の設定は以下のように行う。

《上昇圧力の安全性評価指標》

上昇圧力計測データにもとづく安全性評価は「経年変化図」「相関図」により管理を行う。

- 現状で管理基準値があるダムはその値を用いる。
- 現状で管理基準値がないダムは、過去の経験値との比較、貯水位との相関関係により評価を行う。その場合、設計値以下であるか確認すること。

計測値が管理基準値または経験値を超過した場合、ブロック全体の平均的な上昇圧力を用いて安定計算を行い、安全性（転倒・滑動の条件）の検証が必要となる。

3. 3 堤体変位の分析・安全性評価指標の検討

堤体の上下流変位について、貯水による水圧及びコンクリートの温度変化による挙動を定量的に評価し、ダム安全性に影響が生じていないか検討する。

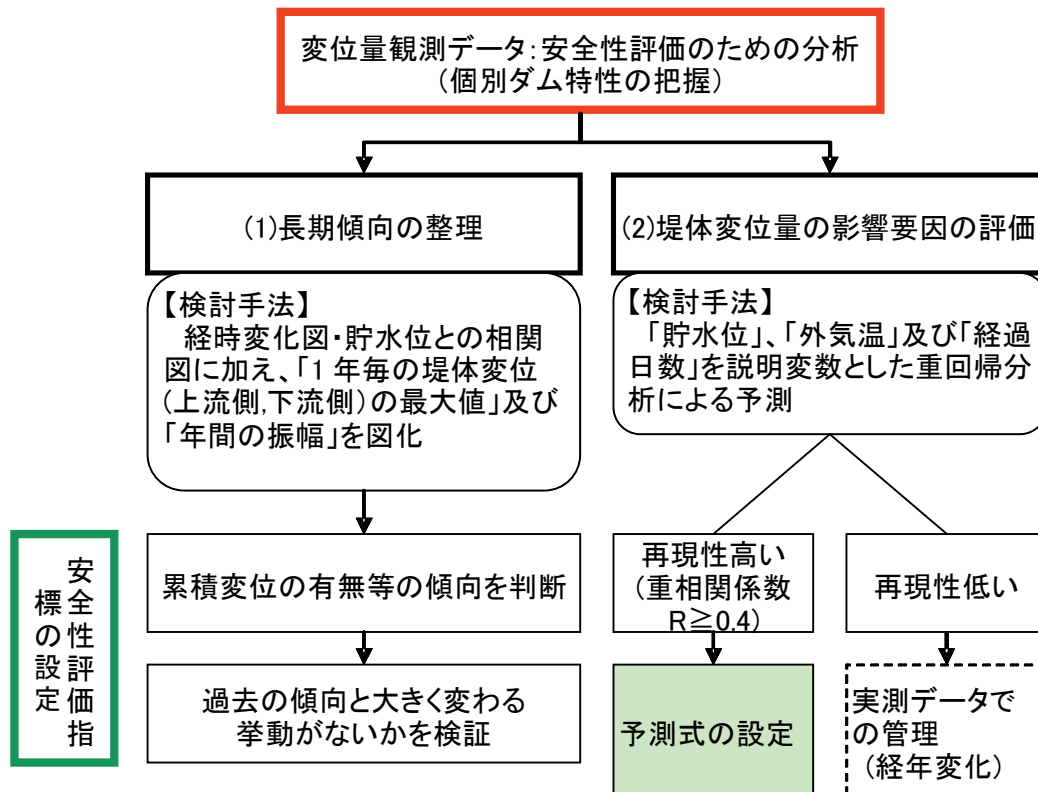


図-III. 3. 3-1 安全性評価指標設定のフロー

各作業の手順について以下に示す。

【検討内容】

コンクリートダムの堤体の上下流方向の変位は、貯水による水圧荷重の他に、外気温の変動、貯水温分布によって生じる堤体コンクリートの体積変化、これらの要素が複合した挙動を示す。

また、基礎岩盤の地質・力学特性によっては、長期的な荷重の作用により、累積的な変位が生じている可能性もある。

正プラムラインが設置されているダムにおいては、以下の整理を行う。

- ・長期傾向の整理（年間の上下流振幅の最大値を年ごとにプロット）
- ・「貯水位」「外気温」「経過日数(*1)」の3要素 を説明変数とし、重回帰分析による、堤体上下流変位の予測式の設定と適合性の検証

(*1) 経過日数は「データの計測初日＝0日」とした場合の日数

【検討例】

(1) 長期傾向の整理

以下のデータを元に、1年毎の上流側・下流側の最大変位と振幅をプロットし経年変化をグラフ化する。また、各年の挙動が比較できるグラフを合わせて作成する。

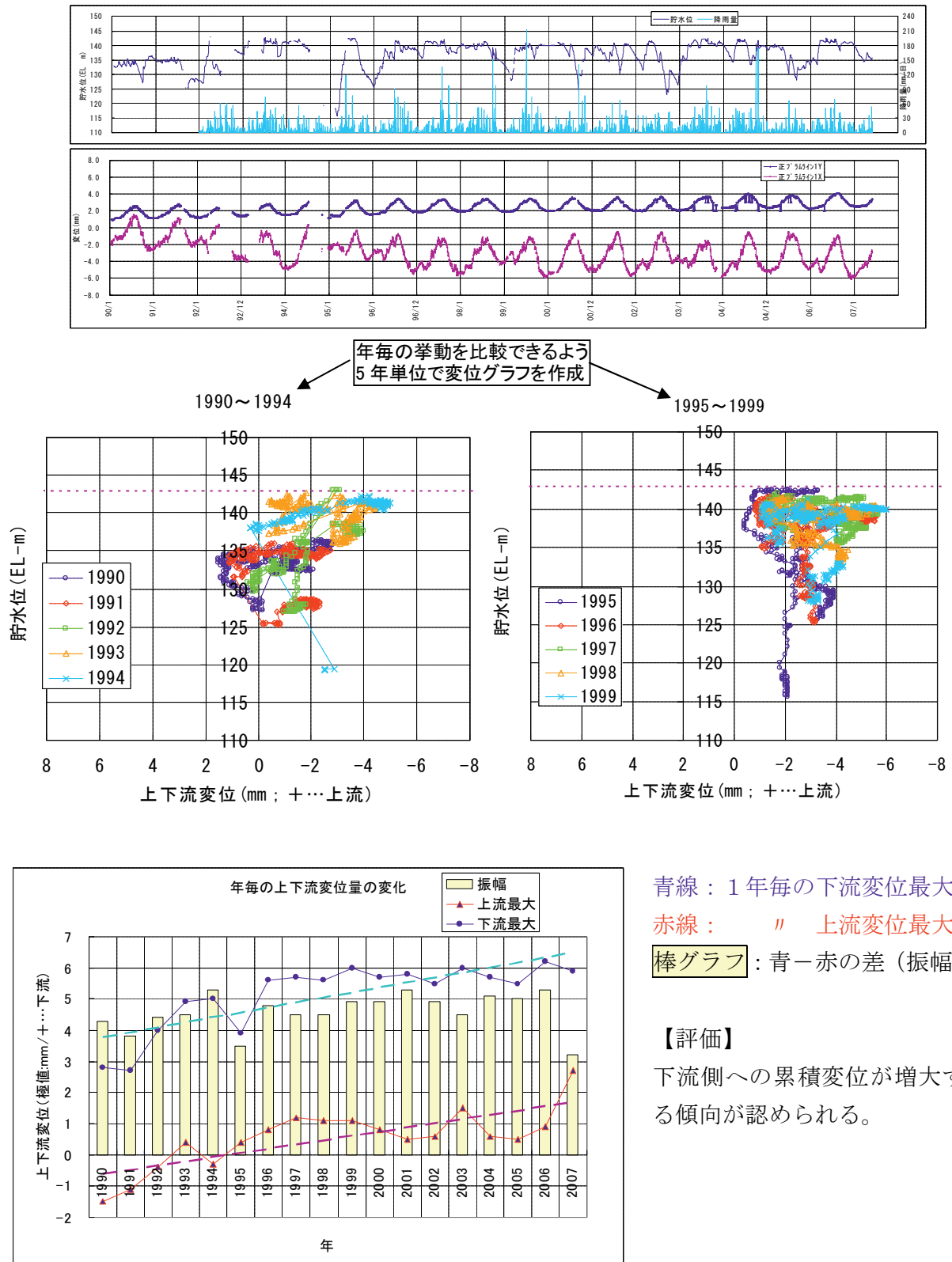


図-Ⅲ. 3. 3-2 変位データの長期傾向整理例

(2) 重回帰分析による予測式の検討

実測データに基づき、安全評価指標としての「堤体変位予測式」を重回帰分析により検討する。

目的変数：上下流変位

説明変数：貯水位、外気温（当日から7日前までの平均気温）、データの計測初日を0日とした場合の経過日数

表-Ⅲ. 3. 3-1 重回帰分析結果
堤体変位(上下流:プラムライン)の重回帰分析結果

回帰統計	
重相関 R	0.890284628
重決定 R2	0.792606719
補正 R2	0.792496423
標準誤差	0.747007223
観測数	5645

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	3	12030.09	4010.029	7186.177	0
残差	5641	3147.79	0.55802		
合計	5644	15177.88			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	13.3113424	0.322135	41.3223	0	12.67983	13.94285	12.67983	13.94285
X 値 1(貯水位:WL-m)	-0.12519499	0.002399	-52.1818	0	-0.1299	-0.12049	-0.1299	-0.12049
X 値 2(外気温:℃)	0.142802465	0.00119	119.985	0	0.140469	0.145136	0.140469	0.145136
X 値 3(経過日数:日)	-0.00039092	5.61E-06	-69.6475	0	-0.0004	-0.00038	-0.0004	-0.00038

上下流変位の予測式： (重相関係数 R=0. 890)

上下流変位量(mm) = -0. 12520×[貯水位(EL-m)]

下流側への変位
を(+)とする

$$+0. 14280 \times [\text{外気温}(\text{℃})] \\ -0. 00039 \times [1990/1/13 \text{ からの経過日数}(\text{日})] \\ +13. 31134$$

実測値と上記予測式による値を比較すると下図のようになり、一部乖離はみられるが、季節的なトレンド、ピーク値はほぼ再現できていることが確認できる。

このため、一定の再現性が得られた場合、堤体変位挙動については、重回帰分析による予測式を日常管理に活用することが可能と考えられる。

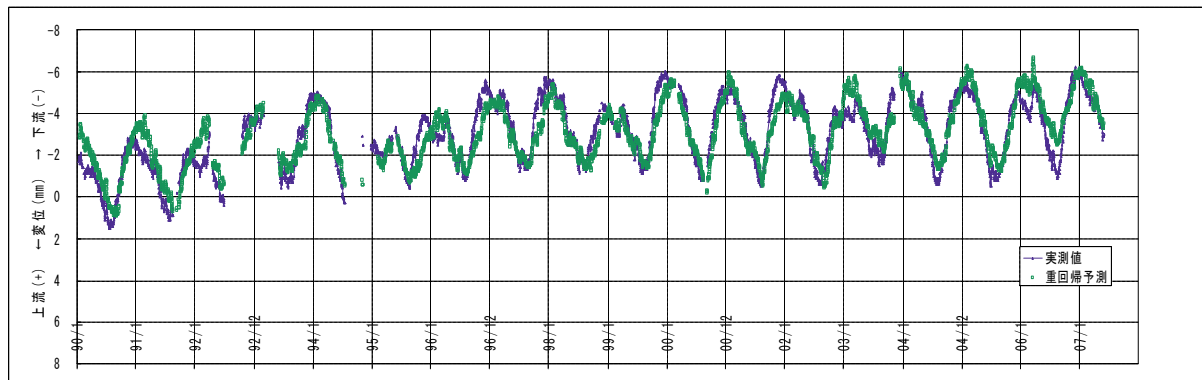


図-Ⅲ. 3. 3-3 重回帰分析による変位量（上下流方向）予測値の検証

3. 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）Ｃダム

地震直後に浸透量が若干(5L/min)程度増加し、その後は増加した状態で推移している。ただし、貯水との相関関係は線形を保持しており、絶対量も小さいことから、安全上問題はないと考えられる。

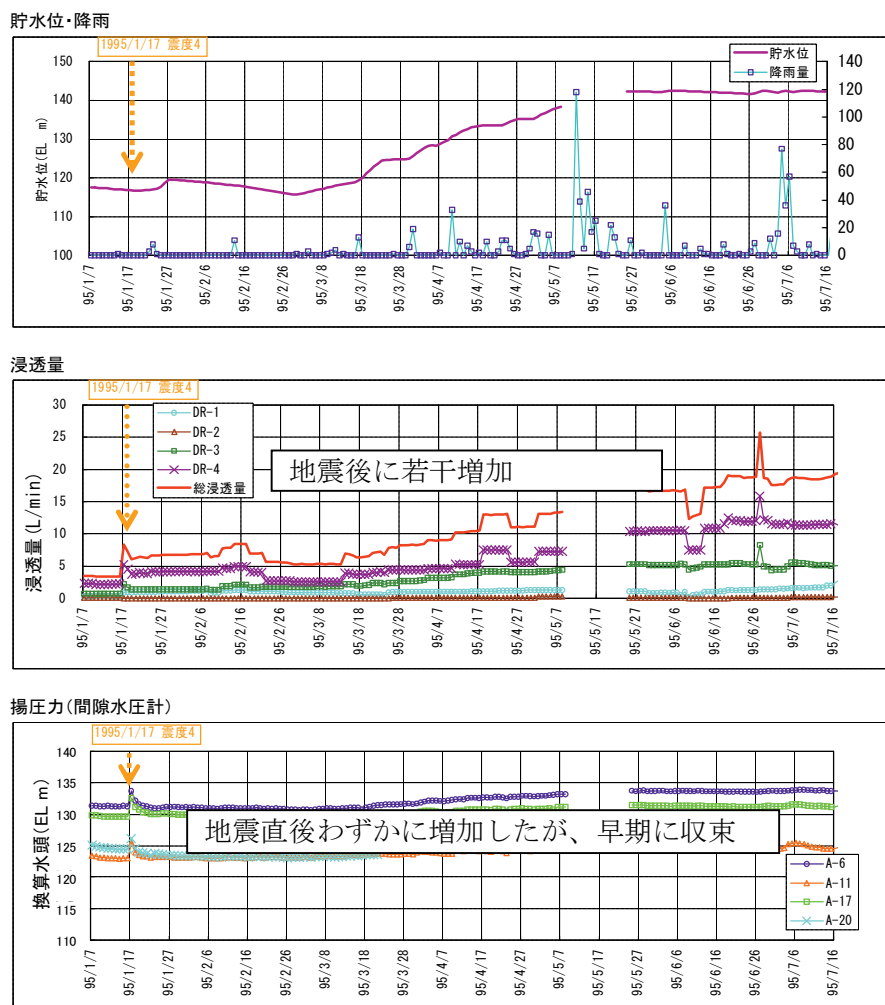
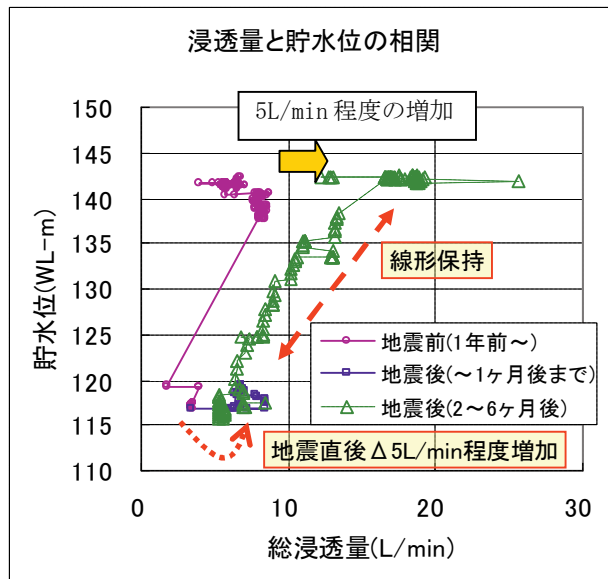


図-III. 3. 4-1 地震時挙動の例（Cダム：経年変化）

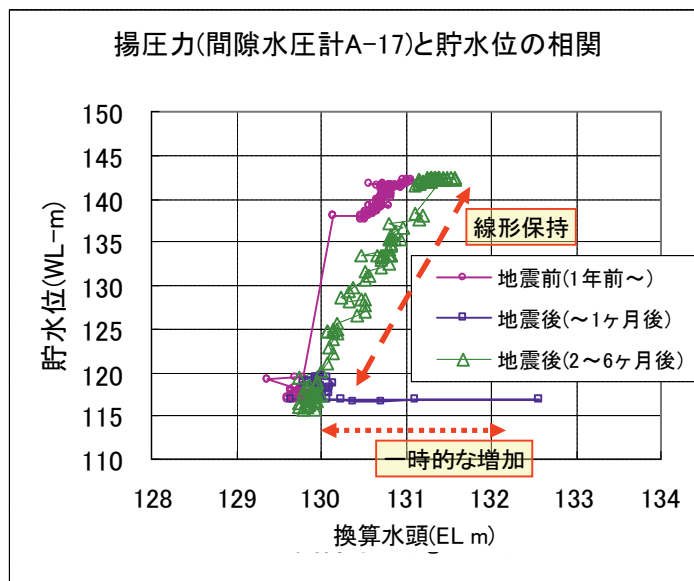
<浸透量>



【評価】

- ・絶対量は小さいが、浸透量は若干の増加を示した。
- ・総浸透量と貯水位との相関は、地震発生前（1年前～直前）と地震後の総浸透量でみると、約 5L/min 程度増加したと考えられる。
- ・貯水位との関係は線形を保持している。

<揚圧力>



【評価】

- ・揚圧力は地震直後一時的に増加（+0.25kgf/cm²→2.5m水頭程度）したが、5日程度で元の値に収束している。
- ・その後の変化も貯水位との関係は線形を保持している。

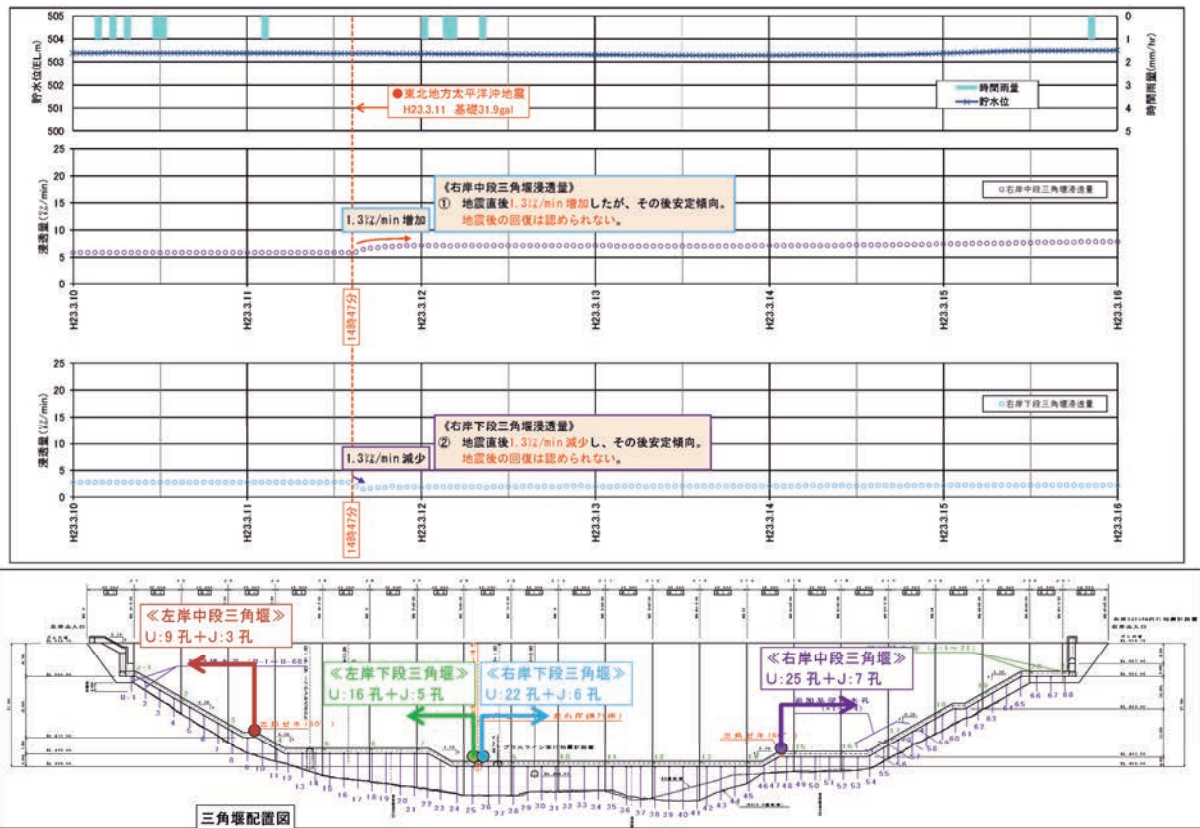
図-Ⅲ. 3. 4-2 地震時挙動の例（Cダム：貯水位との相関図）

(2) Dダム

ダムへの影響が最も大きかった地震は、平成 23 年(2011)3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 M9.0 であり、その影響は以下のとおりである。

<浸透量>

浸透量は地震直後に 1.3 ㍲/min の増減が認められたが、その後安定傾向を示している。



<揚圧力>

揚圧力（間隙水圧）は地震直後に 1.7～0.5m 程度の低下傾向が認められるが、その後安定傾向を示している。

