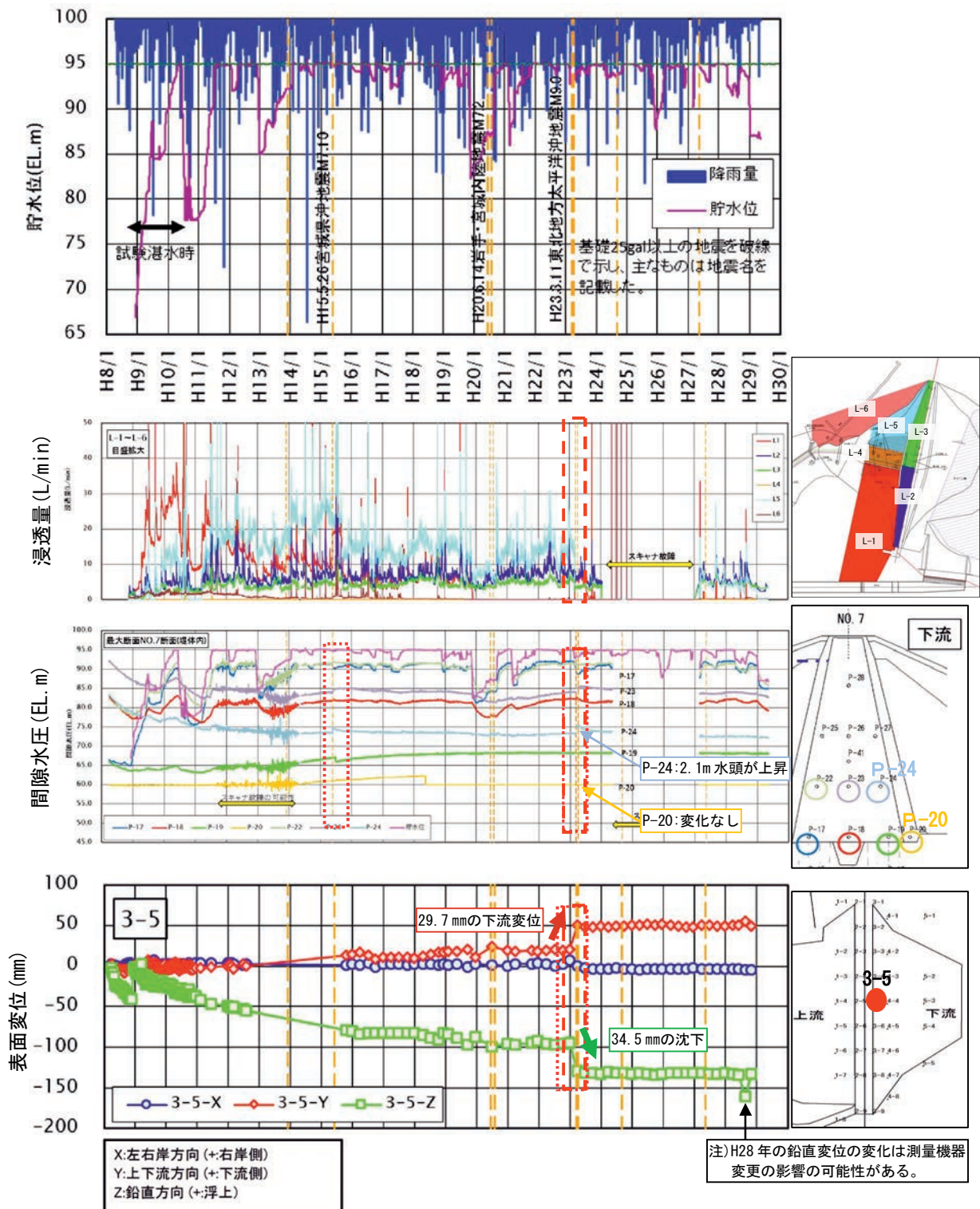
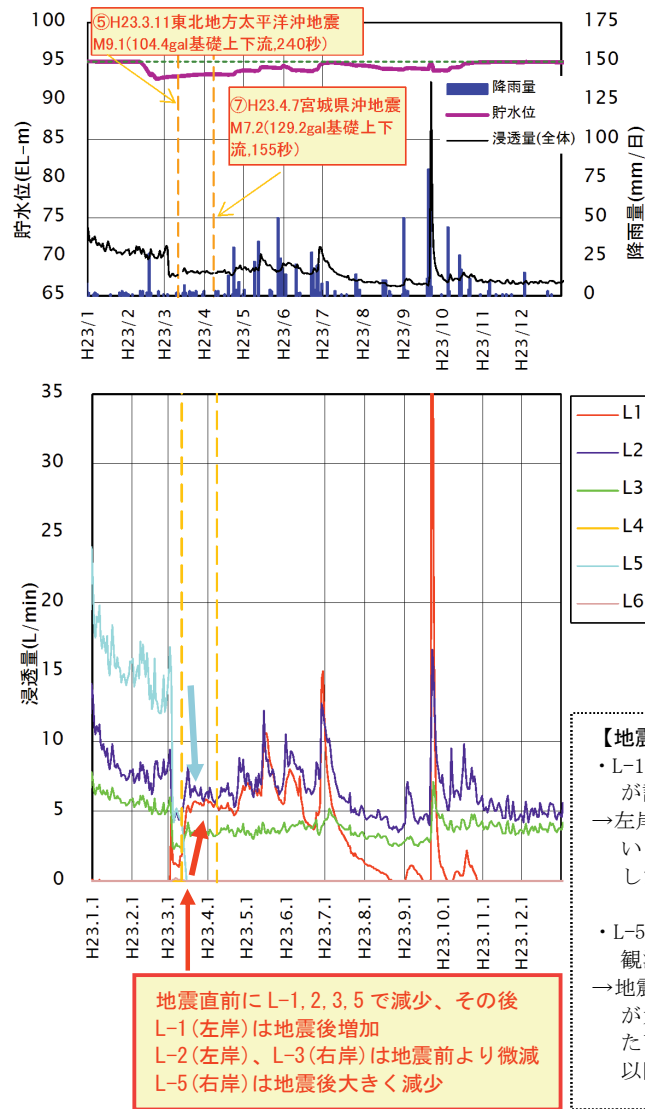


(2) Bダム

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。

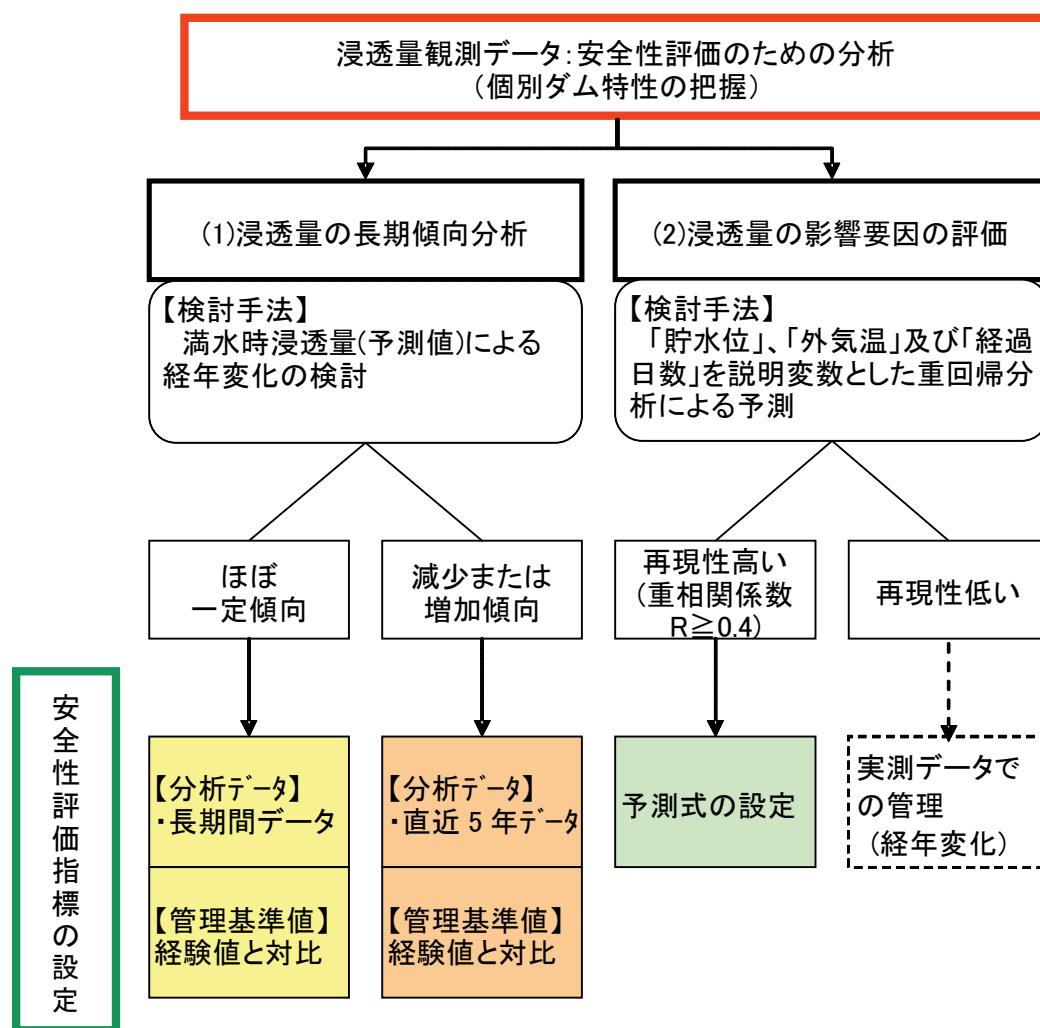


図-Ⅲ. 3. 1-1 安全性評価指標設定のフロー

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。）

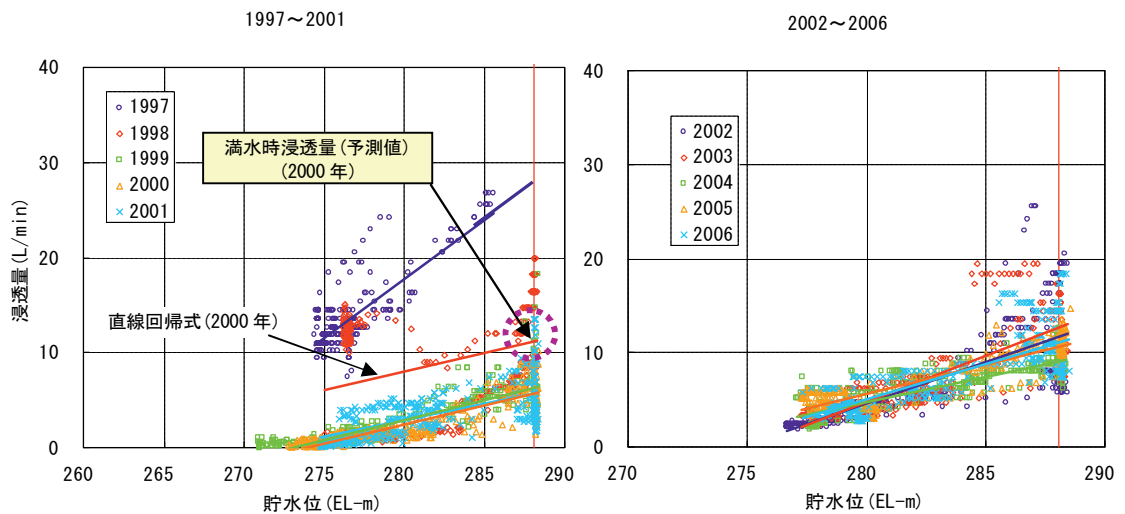


図-Ⅲ. 3. 1-2 貯水位-浸透量相関図

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。

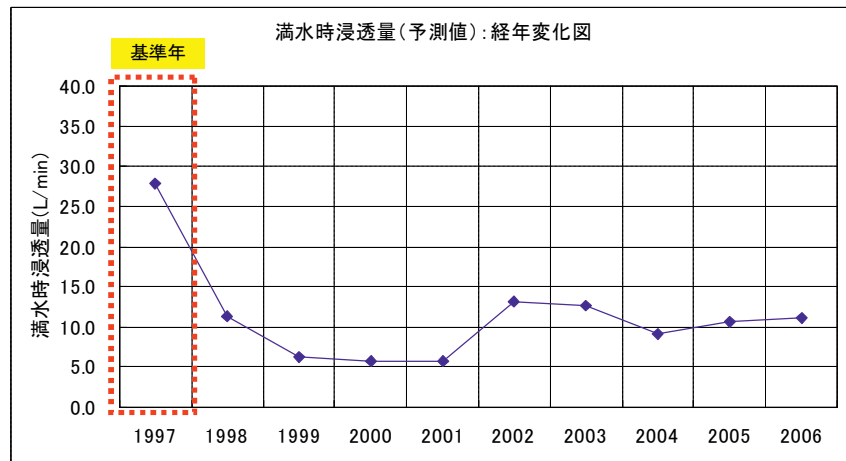


図-Ⅲ. 3. 1-3 満水時浸透量（予測値）の経年変化

※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可能性がある。

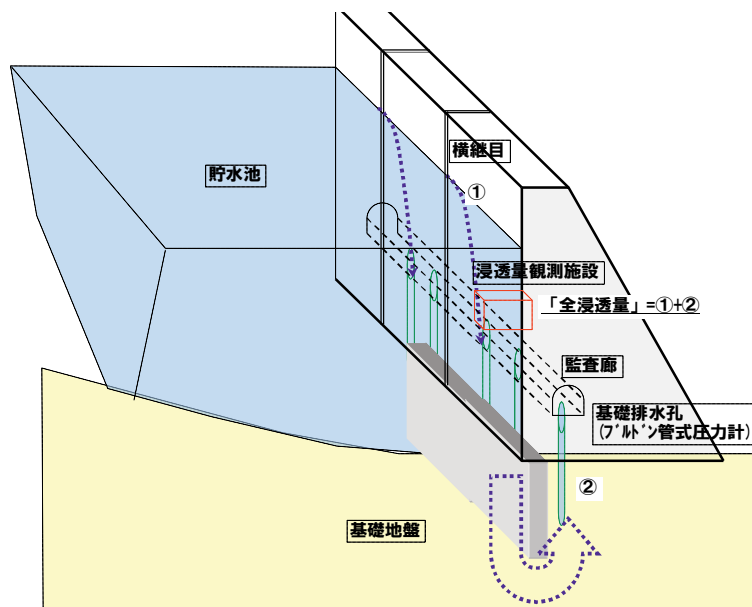


図-Ⅲ. 3. 1-4 コンクリートダムの浸透状況の概念図

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 R2	0.782568
補正 R2	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)

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

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。

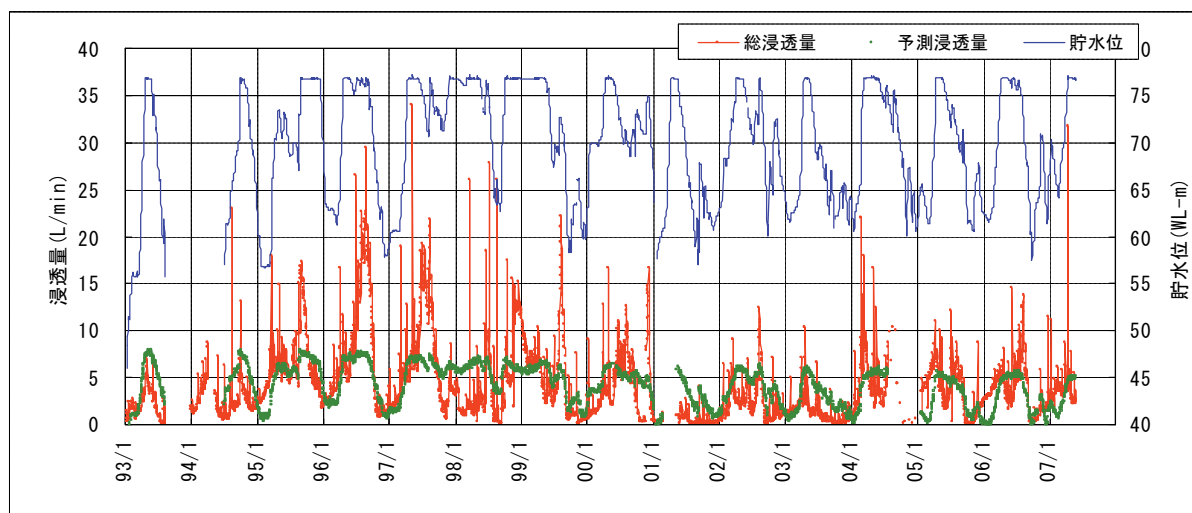


図-Ⅲ. 3. 1-5 重回帰分析による浸透量予測値の検証

(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。

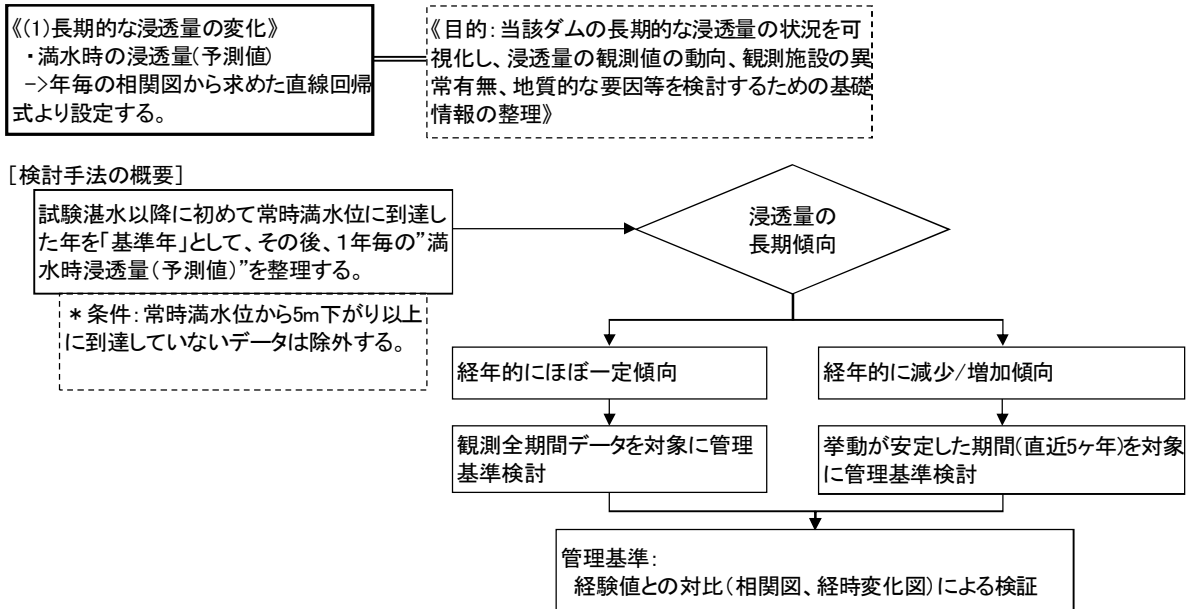


図-Ⅲ. 3. 1-6 浸透量の長期傾向分析

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。

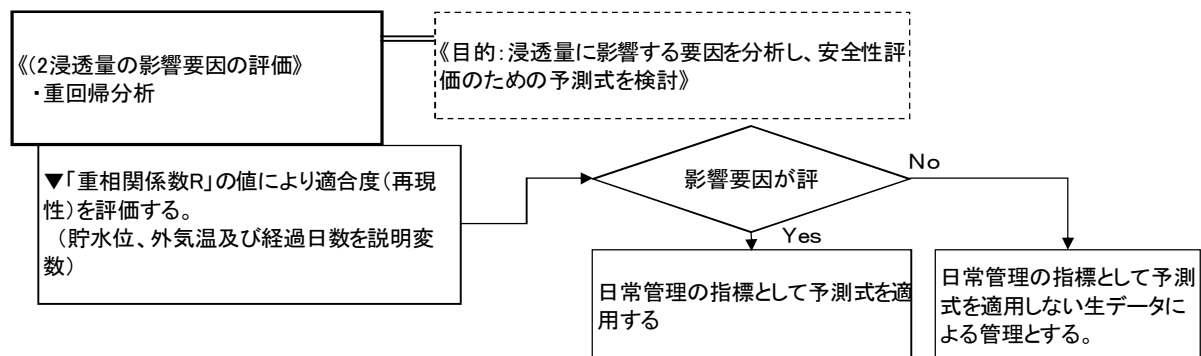


図-Ⅲ. 3. 1-7 浸透量の影響要因

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。

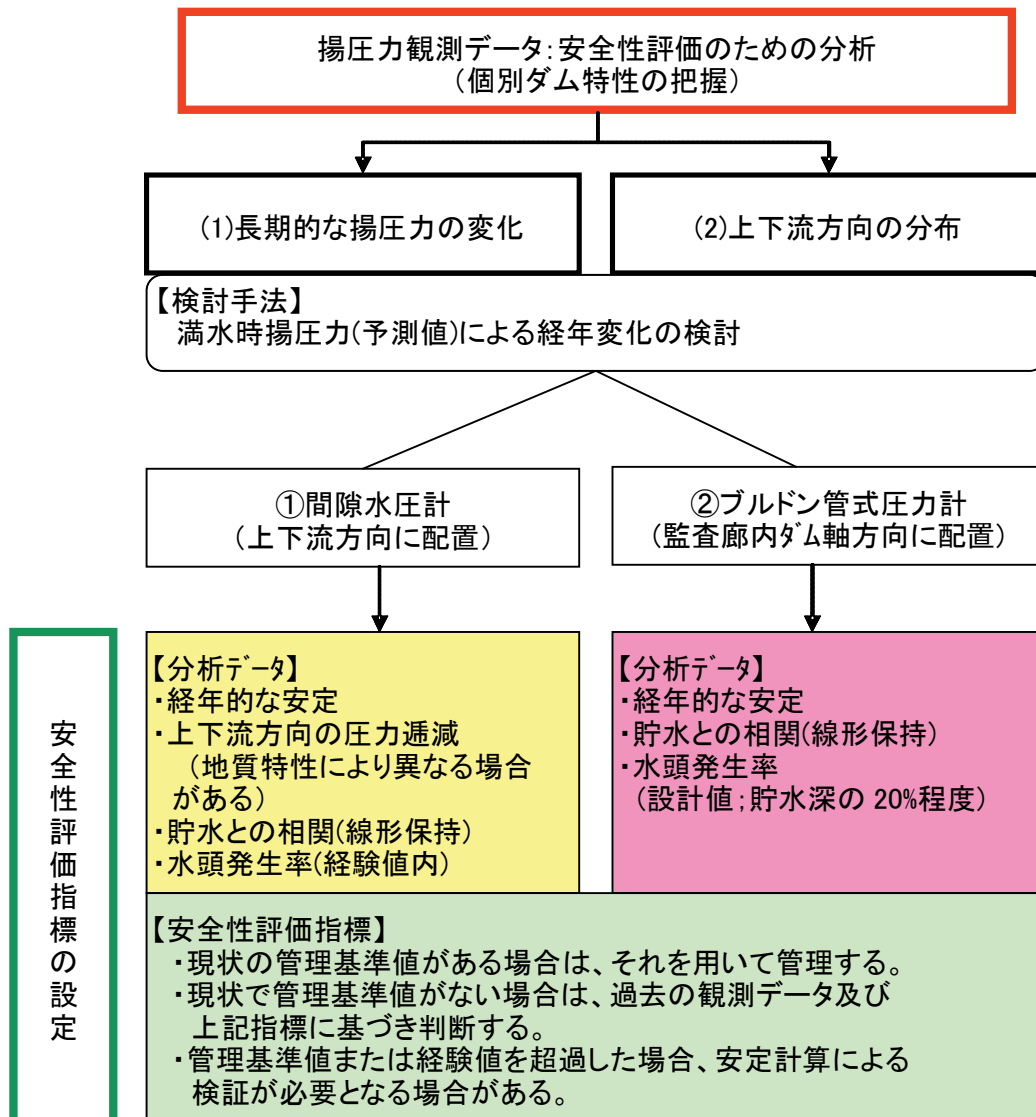


図-Ⅲ. 3. 2-1 安全性評価指標設定のフロー

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

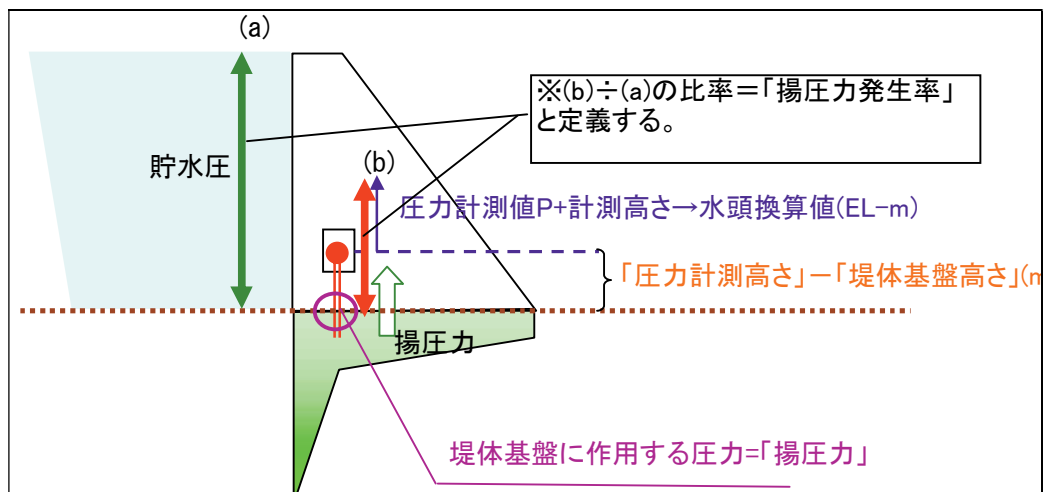


図-Ⅲ.3.2-2 「貯水圧に対する上揚圧力発生率」の概念図

【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。

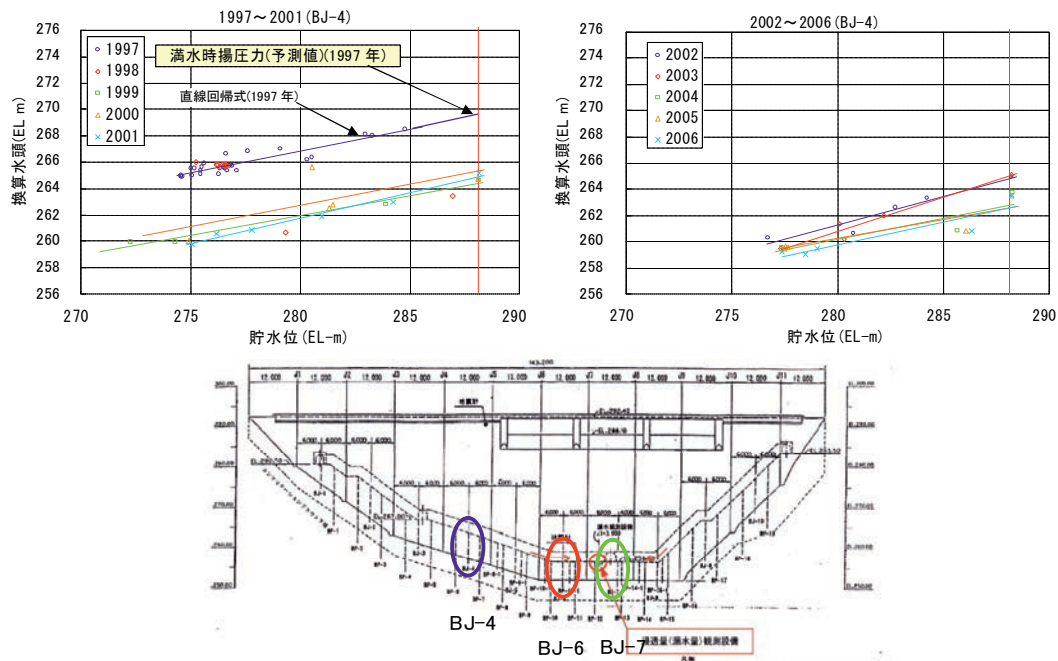


図-Ⅲ.3.2-3 貯水位-揚圧力相関図（間隙水圧計の計測値）

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、

- 経年的な変化
- 上下流方向の揚圧力分布
- 相関図の直線式
- 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。

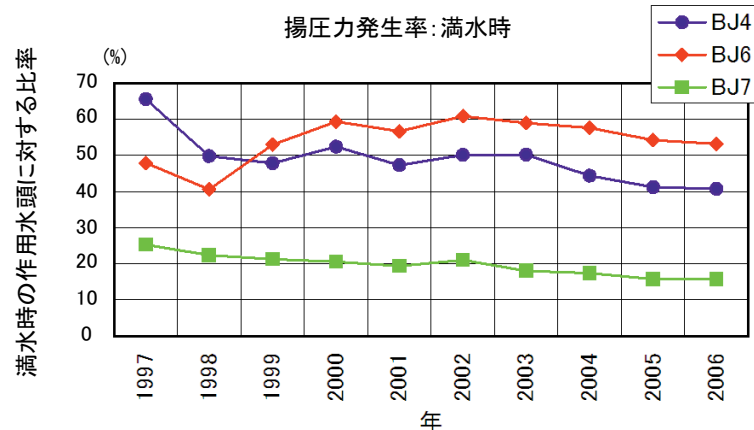


図-Ⅲ.3.2-4 満水時揚圧力（予測値）の経年変化

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。

- 揚圧力の経年変化がほぼ一定であること
- 上下流の分布が上流側から下流側に逓減していること
- 相関図がほぼ一直線にあること
- 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。

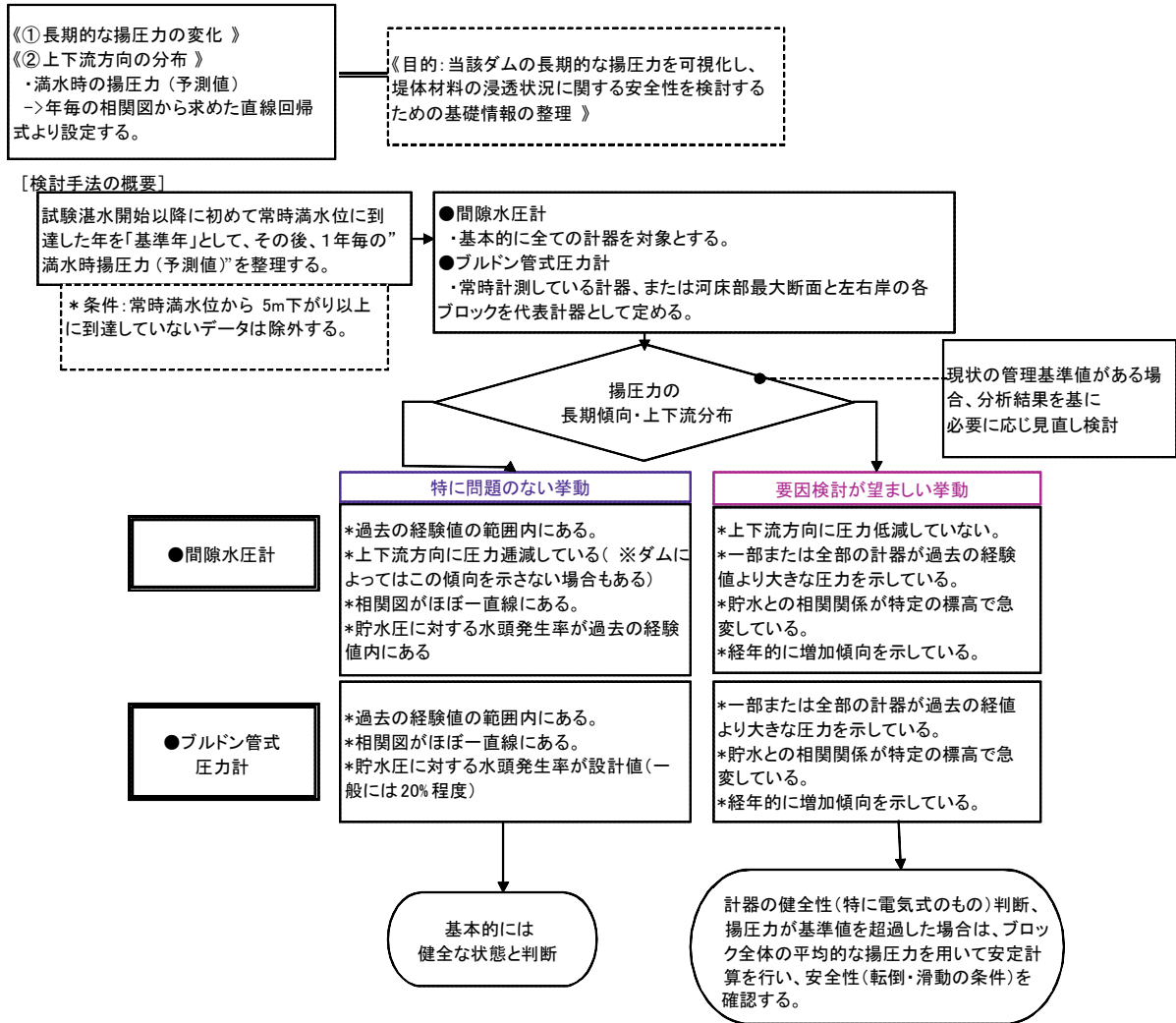


図-Ⅲ. 3. 2-5 上昇圧力の分析結果

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。

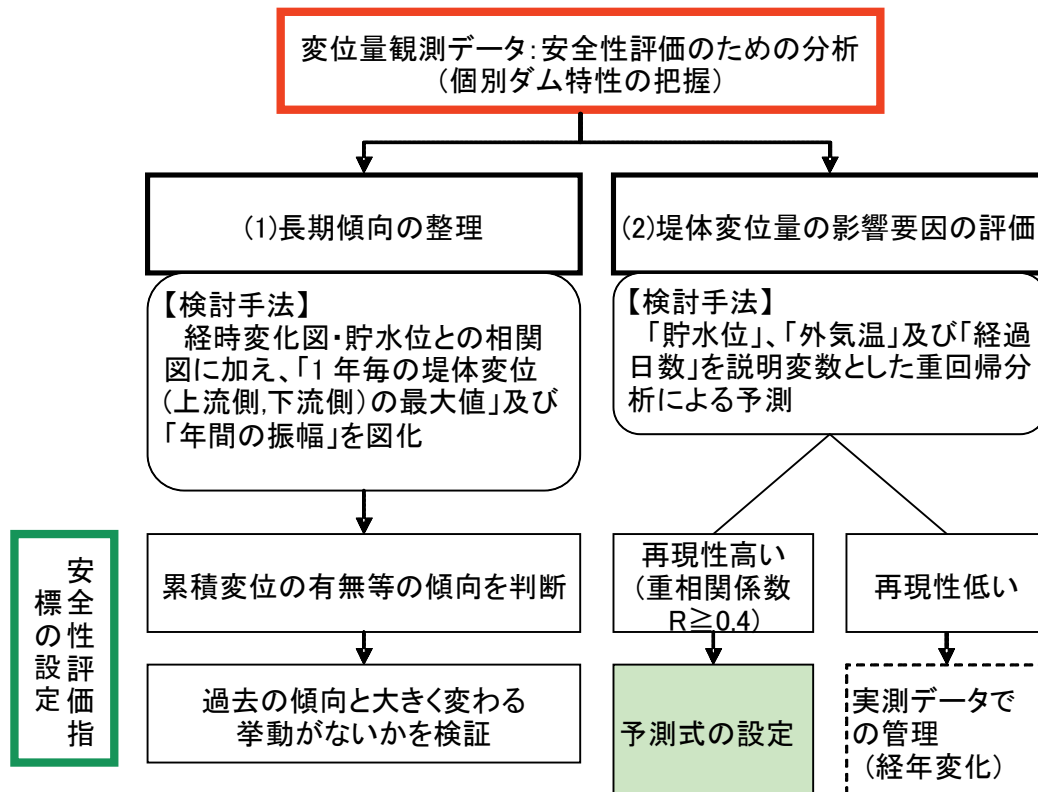


図-Ⅲ. 3. 3-1 安全性評価指標設定のフロー

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。

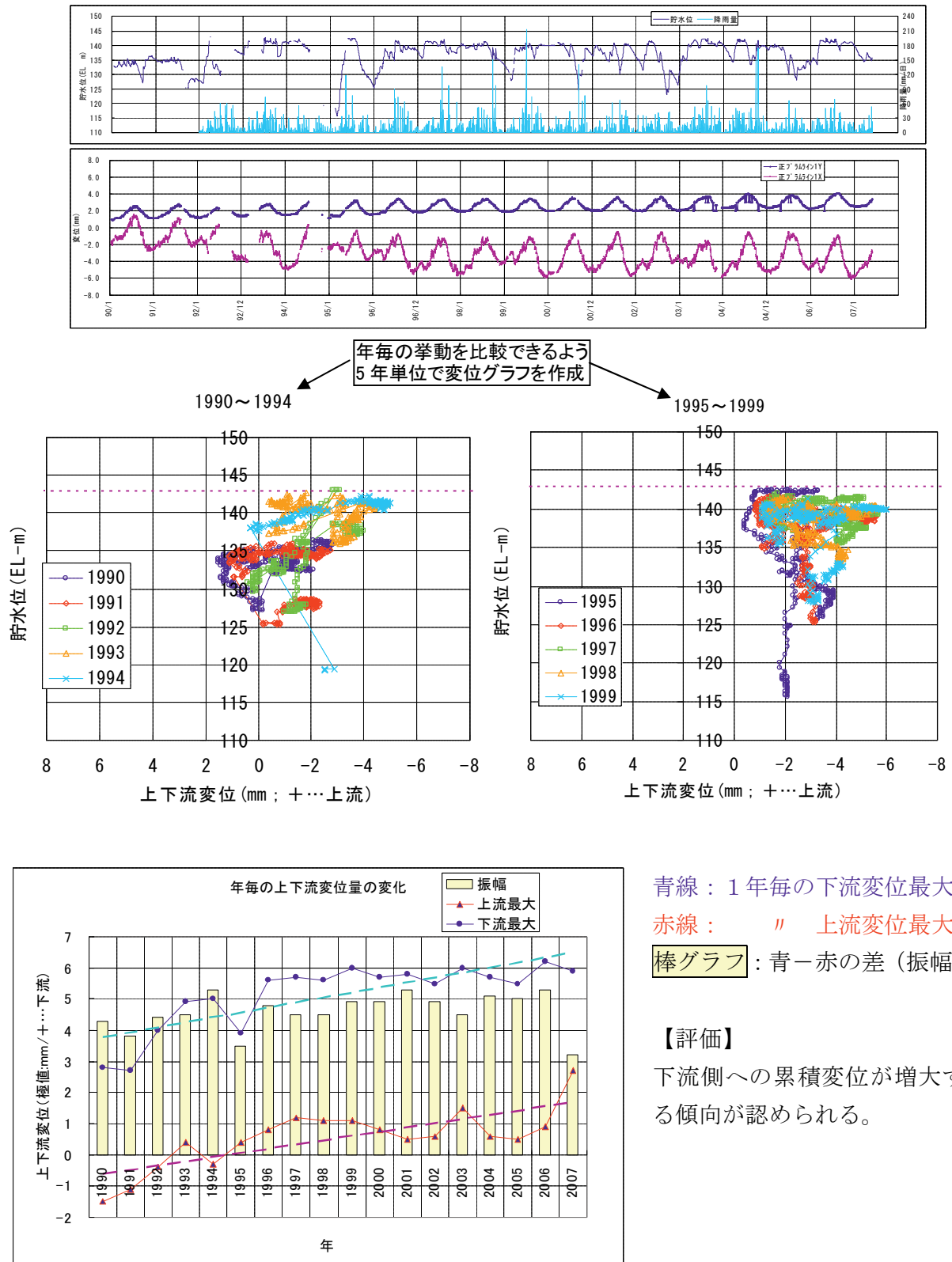


図-Ⅲ. 3. 3-2 変位データの長期傾向整理例

(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 R ²	0.792606719
補正 R ²	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。

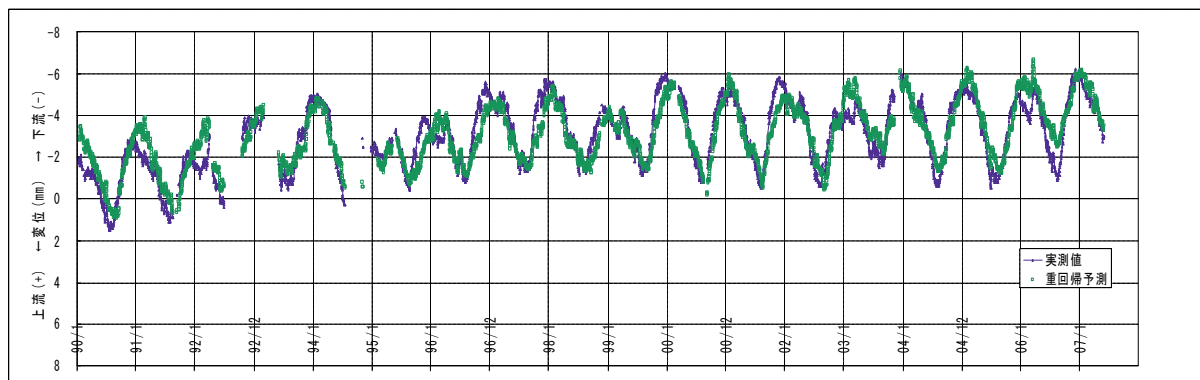


図-Ⅲ. 3. 3-3 重回帰分析による変位量（上下流方向）予測値の検証

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。

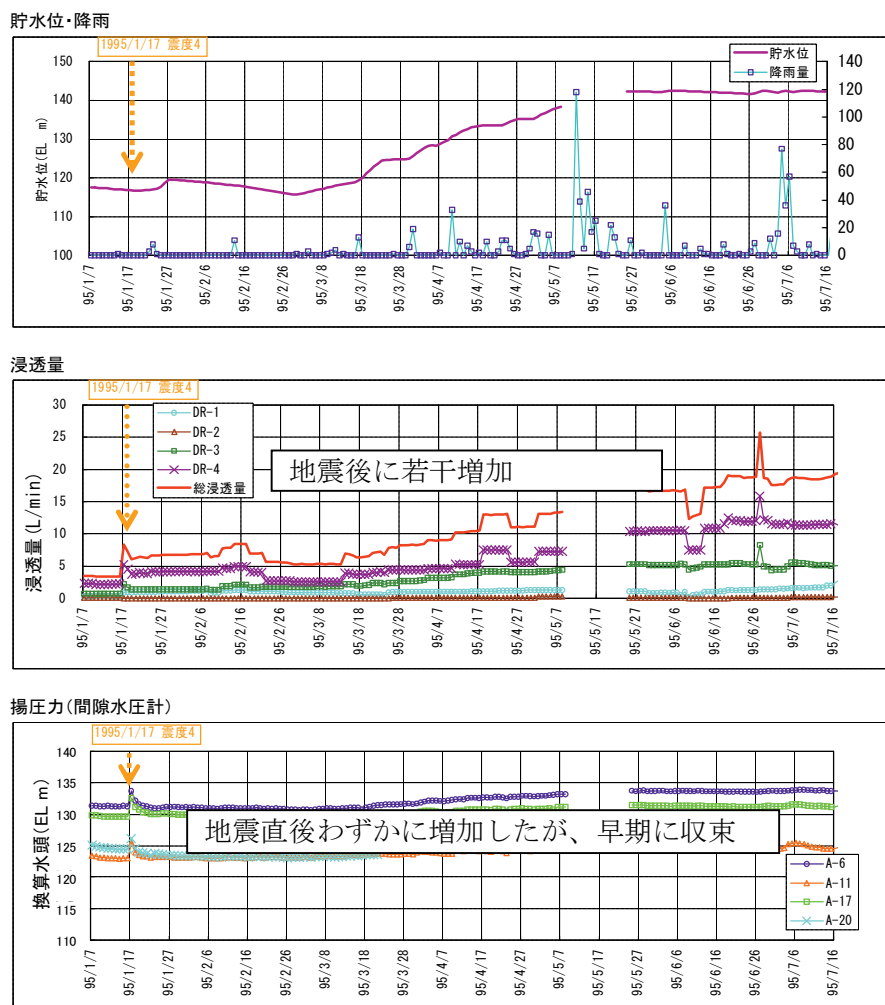
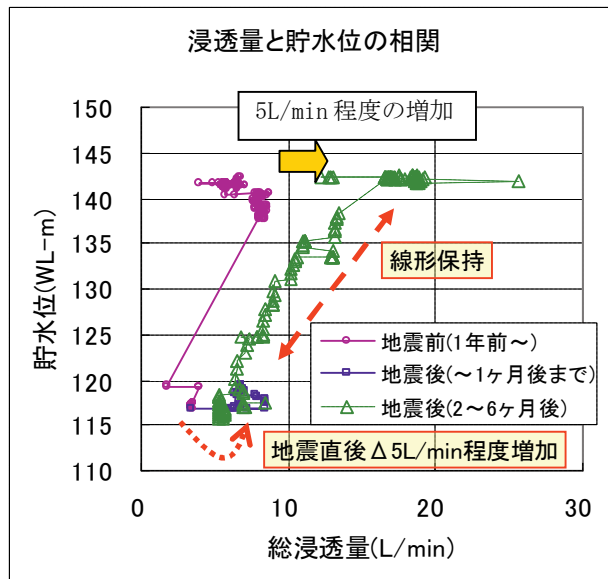


図-III. 3. 4-1 地震時挙動の例（Cダム：経年変化）

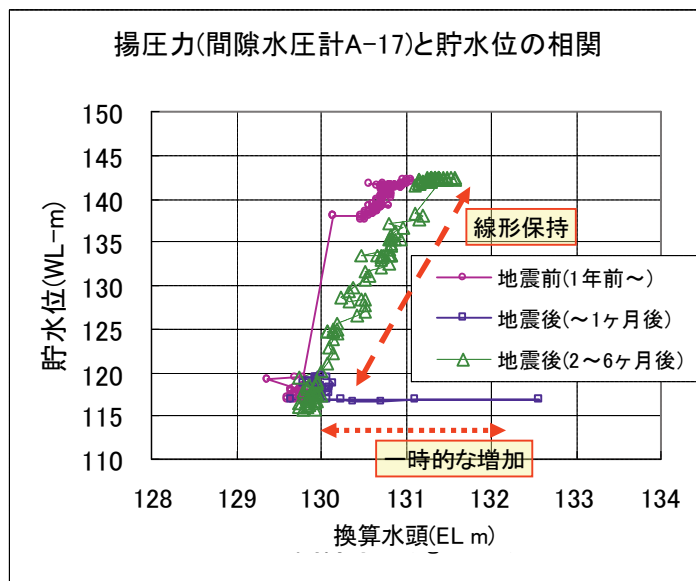
<浸透量>



【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。

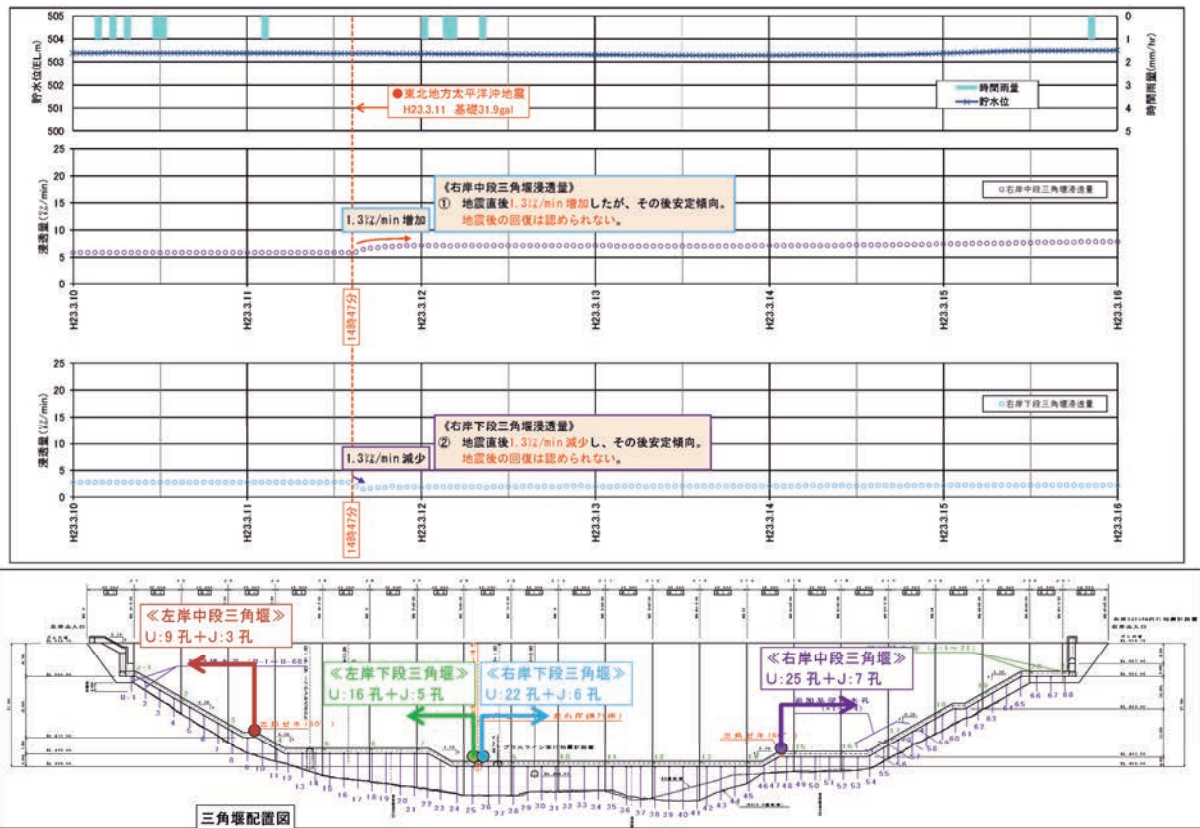
図-Ⅲ. 3. 4-2 地震時挙動の例 (Cダム：貯水位との相関図)

(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。

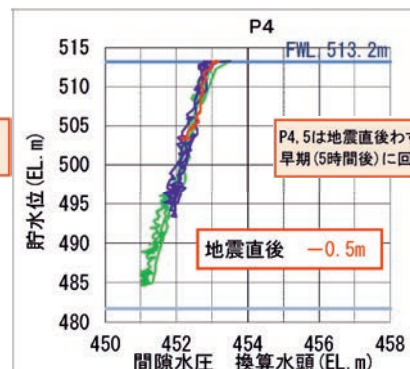
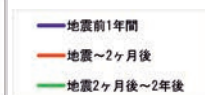
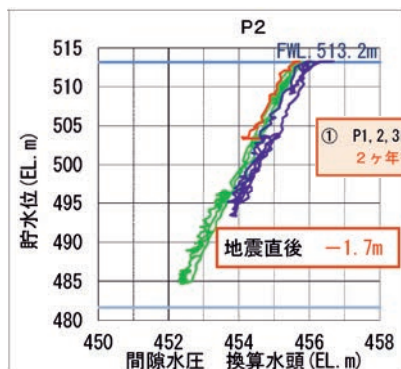
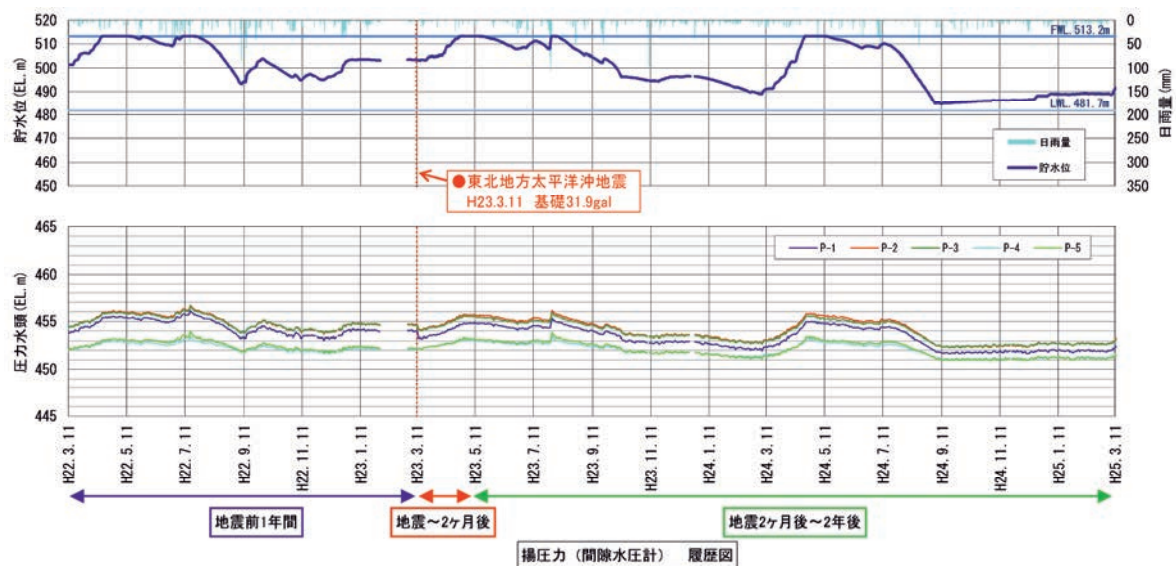
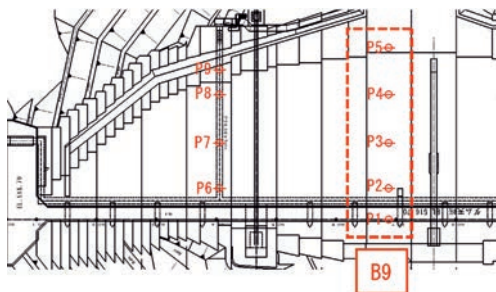
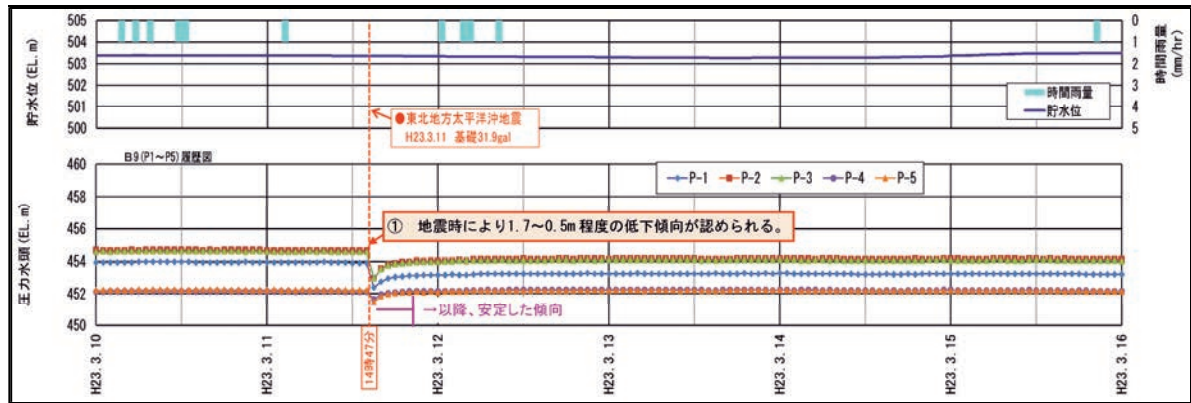
<浸透量>

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>

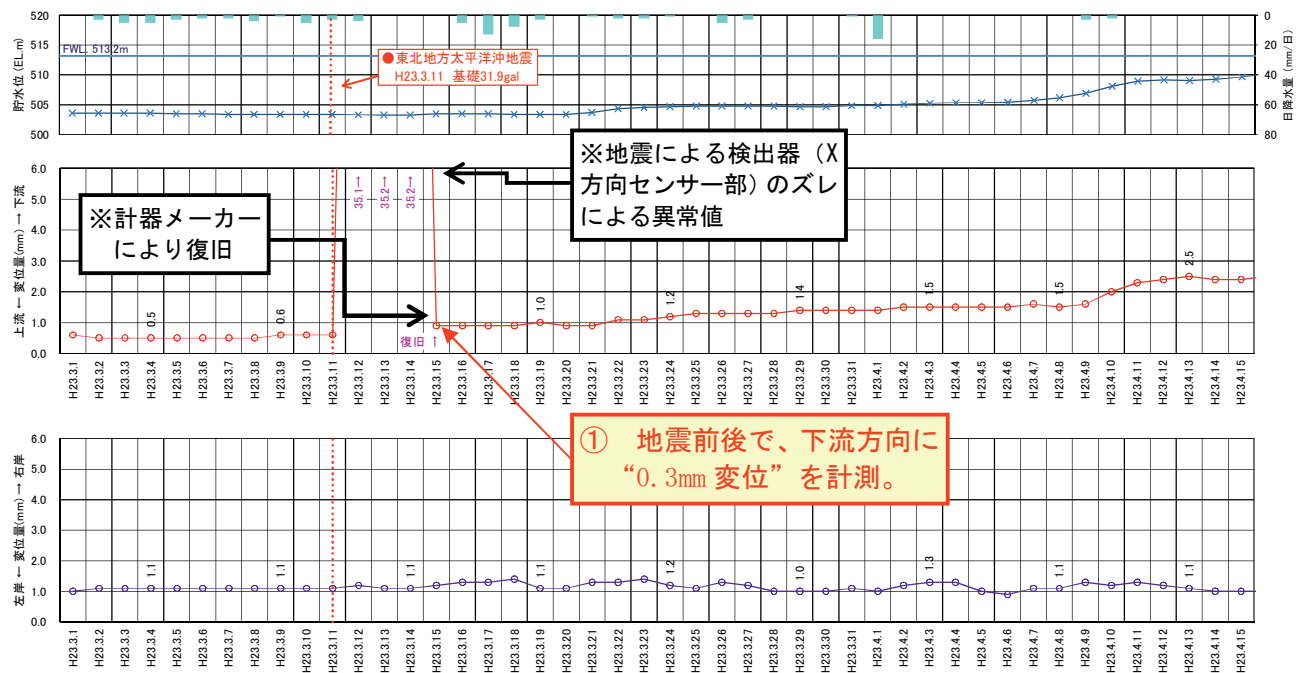
揚圧力（間隙水圧）は地震直後に 1.7～0.5m 程度の低下傾向が認められるが、その後安定傾向を示している。



P4, 5は地震直後わずかに低下したが、早期(5時間後)に回復。

＜変位＞

地震前後で、下流方向に 0.3mm 変位が認められたが、その後安定傾向を示している。



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。