

詳細調査ツールボックス

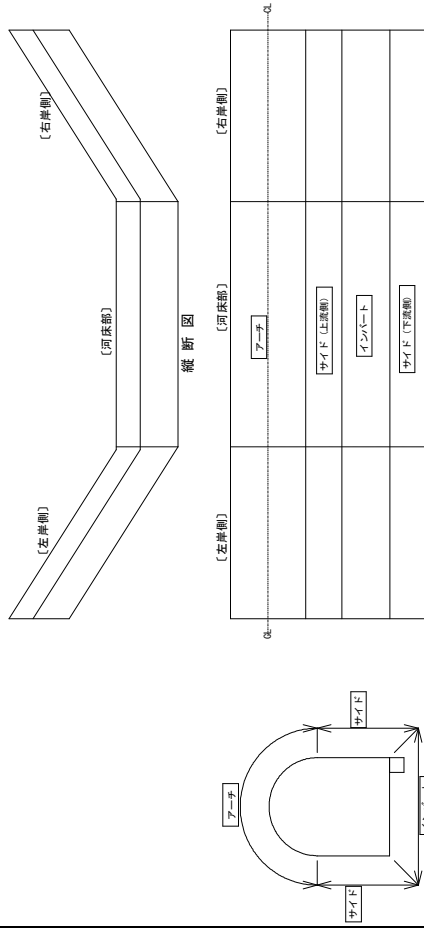
■ 整理番号: ④-1 外観調査

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	監査廊の変形
構成材料	鉄筋コンクリート
該当する重要な変状	クラックからの漏水 (エフロッセンス・遊離石灰、錆汁の発生を含む)

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造部材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) 盛土・基礎地盤の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
目視 確認 スケッチ	<ul style="list-style-type: none"> 記録用紙 (野帳) 監査廊構造図 メジャー 懐中電灯 	<p>調査のポイントは、</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 堤体及び基礎地盤の安全管理、② 基礎地盤の遮水性の追加改良補修等を目的として設置されている。 構造タイプがダムにより異なる場合があるため、調査前に構造図を入手し当該ダム監査廊の形式・形状を確認しておく。 A. 構造タイプ (カルバート型/トンネル型) B. 断面形状 (標準部、特殊部) C. 断面方向のスパン割り D. 鉄筋の配置、かぶり厚 E. 継目止水板の配置、形状 F. 挙動観測計器 (継目計、鉄筋計等) の有無、作動状況 <p>外観調査で確認すべき主要な変状は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> クラックの発生状況 (特に連続性のあるもの、漏水を伴うもの) エフロッセンス・遊離石灰の発生状況 鉄筋の腐食による錆汁の発生 部材のはらみ出しの有無 継目部分でのズレ、継目からの漏水の有無 漏水の濁りの有無 	<ul style="list-style-type: none"> 変状の発生箇所、範囲を記録
デジタルカメラ撮影	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ スタップ メジャー 	<ul style="list-style-type: none"> 目視確認と同時に、損傷箇所の記録のためデジタルカメラで撮影を行う。 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> 撮影時にはスタップ等を添えて変状箇所の規模がわかるようにする。 暗所での撮影のため、照明をあてるなどの対応を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影位置・日時 貯水池の水位、降雨記録など、変状と関連があると想定されるデータを併せて整理することが望ましい。 写真には簡潔なコメント (撮影位置、方向 (上流側/下流側、アーチ/サイド/インバート)) を付ける。

《参考資料》



調査方法: 監査廊の断面図・縦断面図・展開図を作成し、変状の確認された場所、状況を記載する。

● 監査廊の外観調査結果の整理



クラックからの漏水 (サイド部(上流側))

継目からの漏水 (アーチ部)

● 監査廊内で確認される変状例

詳細調査ツールボックス

■整理番号:④-2 計測・測量

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	監査廊の変形
構成材料	鉄筋コンクリート
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> クラックからの漏水（エフロレンセンス・遊離石灰・錆汁の発生を含む）

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造部材の安定性（クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況） 盛土・基礎地盤の浸透破壊に対する安定性
------	--

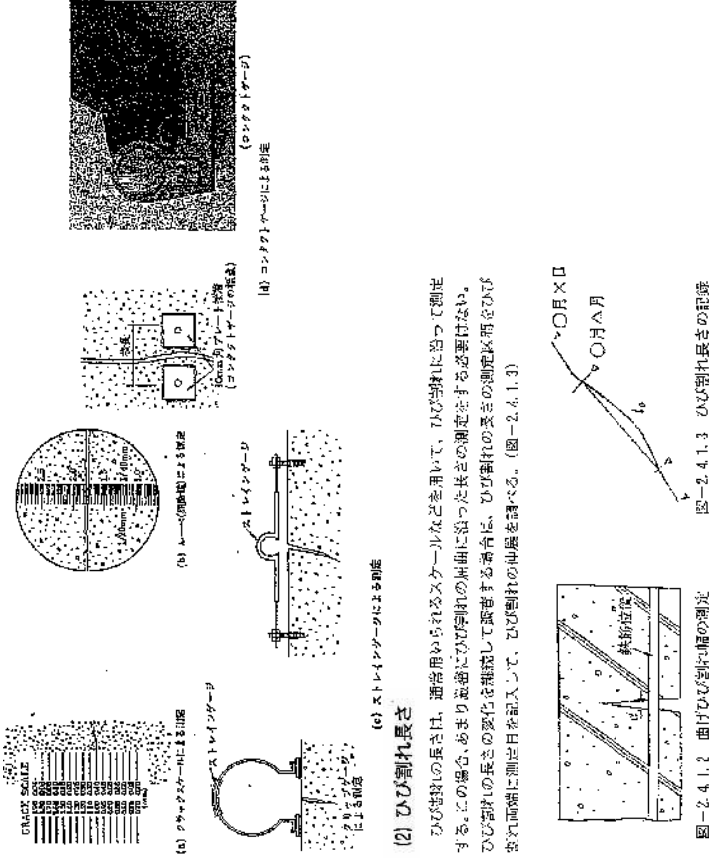
方法	使用機材・資料	調査のポイント	調査の結果・整理
クラック等損傷部の計測	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊構造図 クラックスケール ノギス 野帳 	<ul style="list-style-type: none"> クラック調査の具体的な方法は、農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」H15.8を参考として実施するよい。 	<ul style="list-style-type: none"> クラックの発生箇所、範囲、長さ、幅
漏水・湧水量の計測	<ul style="list-style-type: none"> メスシリンダー（計量バケツ） ストップブウォッチ 野帳 	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊内のクラック等からの漏水・湧水量の計測は、以下のいずれかの方法が考えられる。 <ol style="list-style-type: none"> 1) 全体量の計測；浸透量観測施設の三角堰を利用するか、排水溝を堰上げてそこから越流水量を計測 2) 個別のクラック、継目からの湧水量；粘土などで導水し、漏水を1箇所につき込み量を計測する。 なお、計測は貯水の変動との関連、期別の変動を経時的に把握することが重要であるから、例えば毎月1回のように定期的な計測計画を立案する。 また、監査廊に接触する遮水材の浸透破壊に対する安全性を確認するため、必要に応じて濁度、ph、水温の計測も実施することを検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 変形の発生箇所 変形量（継続監視により） 経年進行の有無

《参考資料》

「ひび割れ調査法」

ひび割れ幅は、ひび割れがコンクリート構造物に与える影響を判断するために用いられるパラメータである。ひび割れ幅は、コンクリートの断面でひび割れ方向に対し直角に断った幅のことである。ひび割れ幅はひび割れの原因特定、補修・補強の要否の判定、補修・補強方法の選定時の判断資料になる。

ひび割れ幅の測定は図-2.4.1.1に示すように、クラックスケール、ルーベなどを用いて行う。ひび割れ幅の変動の測定には、このほか定期的な測定も可能で、クリップゲージを用いる方法、電気式ダイヤルゲージを用いる方法がある。また標点同をコンタクトゲージを用いて測定してもよい。ひび割れ幅の変動を検討する場合は、初測値を測定した位置を構造物に記入しておき、その後同じ位置で測定する。



(2) ひび割れ長さ

ひび割れの長さは、通常用いられるスケールなどを用いて、ひび割れに沿って測定する。この場合、あまり迅速にひび割れの屈曲に沿った長さの測定をする必要はない。ひび割れの長さを測定して書き出す場合は、ひび割れの長さの測定範囲をひび割れ両端に測定目を記入して、ひび割れの伸展を調べる。(図-2.4.1.3)

- ひび割れ調査方法
- 農村振興局施工規格調整室：「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き」(H15.8)より転載

詳細調査ツールボックス

■整理番号:④-3 原位置調査・試験

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	変状の発生箇所 監査廊内
構成材料	鉄筋コンクリート
該当する重要な変状	・クラックからの漏水 (エフロッセセンス・遊離石灰・錆汁の発生を含む)

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート構造部材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) ・盛土・基礎地盤の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
打撃試験	・テストハンマー	<p>監査廊コンクリートは洪水吐等の屋外の構造物と比較して、外部環境の影響を受けにくく、凍結融解や流水による摩耗などの表面からの損傷の可能性も小さい。</p> <p>基本的な原位置試験方法は「③-3:洪水吐の変形」と同様と考えればよい。</p> <p>一般的なコンクリート構造物では、テストハンマー(通称:シュミットハンマー)による反発硬度の計測が広く用いられる。テストハンマーの計測値からコンクリートの圧縮強度を推定することが可能である。具体的な方法は、農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き(案)」H15.8を参考として実施するとよい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・部位毎のコンクリート強度の相違 ・設計・施工時の配筋条件による基準強度との対比 ・現状の構造部材の安定性検証のための基礎資料としての整理
非破壊試験等	・各種非破壊試験機器	<p>コンクリート構造物に対する非破壊試験については、近年様々な手法が開発されてきており、その適用範囲・条件を十分に理解した上で、現場条件に応じて採用の適否を判断する必要がある。</p> <p>具体的な方法については、農村振興局施工規格調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き(案)」H15.8や日本コンクリート工学協会「コンクリート診断技術」等の資料を参考にするとよい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・試験方法に応じ、りまとめをおこなう。
コア採取	・ボーリング調査資材一式	<ul style="list-style-type: none"> ・監査廊の場合、クラックが確認された場合にその深度を把握するためのコア採取を行うことが考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コアの写真とスケッチ(クラック、脆弱部等)で記録を残す。
水質調査	<ul style="list-style-type: none"> ・水温・濁度計 ・pH計 ・採水用具(室内試験実施の場合) 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質調査を現場で簡易に行う場合、携帯式の水温・濁度計、pH計を用いると便利である。 ・監査廊内の漏水の水質調査は以下の目的が主たるものと考えられる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ダム貯水との関連性有無 ・漏水の濁りに対し、降雨の影響、遮水材の健全性確認 ・従って、基本的には水温、濁度、電気伝導度、pHを計測する。 <p>調査項目は目的に応じて適宜増減する。なお、計測方法、結果の判定等の詳細については、「水質調査法」(丸善)等専門書を参考とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・場所毎、時期毎の水温、濁度、pH等を整理する。 ・必要に応じて貯水池内の調査もあわせて行う。

《参考資料》

コンクリートの劣化現象に対応した調査手法の例 (原位置試験<非破壊試験含む>を抜粋し、一部加筆した)

点検方法	原理 試験項目等	劣化機構				ダム監査廊での 適用可能性	
		中性化 *1	塩害	凍害	化学的 侵食	アルカリ 骨材反応	疲労
電気化学的方法	自然電位法 分極抵抗法	◎	◎	○	○	○	C
応力測定法	載荷時のひずみ測定	○	○	○	○	○	C
変形測定法	載荷時の変形測定	○	○	○	○	○	C
打音法	打撃音、波形解析	○	○	◎	◎	◎	A
反発硬度法	テストハンマー強度	○	○	◎	◎	◎	A
赤外線法	表面の赤外線映像	○	○	○	○	○	C
はつり法	中性化深さ	◎	◎	○	○	○	B
	鋼材腐食状況	◎	◎	○	○	○	B
弾性波を利用する 方法	鋼材引張強度	○	○	○	○	○	C
	超音波法、衝撃弾性波法	○	○	◎	◎	◎	C
電磁波を利用する 方法(赤外線法)	AE法	○	○	○	○	○	C
	鋼材配置 空隙	◎	◎	○	○	○	B
電磁波を利用する 方法(赤外線法)	部材厚	○	○	○	○	○	C
	表面剥離	○	○	○	○	○	C
電磁波を利用する 方法(X線法)	鋼材位置・径、空隙・ひび割れ	◎	◎	○	○	○	B
	鋼材位置・径	◎	◎	○	○	○	B
電気を利用する 方法	誘導率・含水率	○	○	○	○	○	C
	ひび割れ発生・剛性 固有振動数・振動モード	○	○	○	○	○	C

凡例1: ◎:劣化の程度にかかわらず重要なデータが得られる。

○:劣化の程度によっては重要なデータが得られる。

無印:参考になることもある

凡例2: :ダム監査廊で確認される可能性あり

:ダム監査廊で確認される可能性小さい

(注) *1:中性化は、コンクリートの中性化と中性化による骨材腐食を指す。

凡例3(ダム監査廊での適用可能性)

A:現状で一般的な調査法/今後とも非常に有効

B:今後有効となる可能性あり

C:施設構造上、適用性はやや低い

●原位置調査・試験について

農村振興局施工企画調整室:「開水路などのコンクリート構造物変状

対策の手引き」(H15.8)を参考に作成

詳細調査ツールボックス

室内試験

■整理番号:④ー4

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	変状の発生箇所 監査廊内
構成材料	鉄筋コンクリート
該当する重要な変状	・クラックからの漏水 (エフロレッセンス・遊離石灰・錆汁の発生を含む)

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート構造部材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) ・盛土・基礎地盤の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
コンクリート試験 (室内)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート試験機材 	<ul style="list-style-type: none"> ・農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き (案)」より、ダム監査廊で生じる可能性があると考えられる主要試験項目の概要を抜粋して右欄に示す。 ①中性化に関する試験 ②アルカリ骨材反応に関する試験 ③配合推定 ④鉄筋腐食量 ⑤強度低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート部材の劣化の状況と力学的特性に関する定量的な指標として整理する。

《参考資料》

コンクリートの試料採取による各種室内試験

①中性化に関する試験	<p>目的: 中性化深さの調査を行い、変状原因の推定、今後の中性化による鋼材腐食の進行予測を行う。</p> <p>内容: 主として、フェノールフタレイン法</p>
②アルカリ骨材反応に関する試験	<p>目的: 骨材の反応性、残存膨張量等の調査を行い、変状原因の推定、今後のアルカリ骨材反応による劣化進行予測を行う。</p> <p>内容: コアの顕微鏡観察方法 (反応性鉱物の判定) コアの化学的試験方法 (ゲル成分調査、含有塩分量調査、水溶性アルカリ量調査) コアの物理的試験方法 (吸水率試験、動弾性率の測定、圧縮強度試験) コアの膨張量測定方法 コアの反応促進試験方法 骨材の分離及び観察方法 骨材の物理試験方法 骨材粉末の調整方法 骨材のアルカリシリカ反応性試験 骨材のX線分析</p>
③配合推定	<p>目的: 打設されたコンクリートの材料構成を調査し、変状原因を推定する。</p> <p>内容: 配合推定試験 (セメント協会法、ICP、誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いる方法他)</p>
④鉄筋腐食量	<p>目的: 鉄筋腐食の程度を把握する。</p> <p>内容: 鉄筋の腐食面積率 鉄筋の腐食による減少重量の算出</p>
⑤強度低下	<p>目的: コンクリートの強度低下の程度を把握する。</p> <p>内容: 圧縮強度試験、反発度法・局部破壊試験による強度推定</p>

劣化現象に対応した調査手法の例 (室内試験を抜粋し、一部加筆した)

点検方法	原 理 試験項目等	劣化機構				劣化現象での 適用可能性
		中性化 *1	塩害	凍害	化学的 骨材反応	
採取したコアによる 試験	中性化深さ	◎	○	○	○	A
	外観観察・ひび割れ深さ	◎	◎	◎	◎	A
	鉄骨の目視	○	○	○	○	C
	圧縮強度・引張強度・弾性係数	○	○	○	○	C
	配合分析	○	○	○	○	C
	塩化物質含有率	○	○	○	○	C
	アルカリ骨材反応	○	○	○	○	C
	膨張量測定	○	○	○	○	C
	細粒分布	○	○	○	○	C
	気泡分布	○	○	○	○	C
コンクリートの 化学組織	酸素(水)性試験	◎	○	○	○	C
	熱分析(TG, DTA) *2	○	○	○	○	C
	X線解析	○	○	○	○	C
	EDVA *3	○	○	○	○	C
	非破壊電子線顕微鏡	○	○	○	○	C

(注) ① 中性化はコンクリートの中性化と中性化による鋼材腐食を指す。
*2. TG(重量分析)・DTA(発熱分析)とも、水和生成物や無機化合物などを含む。定量・定数する分析手法である。
*3. X線マイクロナライザーの原理、コンクリート中の元素の定性・定量分析を行う。
※ その他凡例は④-3. 原位置調査・試験の項に示す。

●コンクリート試験の方法
農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状
対策の手引き」(H15.8)を参考に作成

■整理番号: ④-4 室内試験

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
水質分析	水質分析器具、試薬等一式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 監査館内から採取した湧水・漏水の分析は、貯水/地山地下水等の浸透経路の推定が主な目的となる。 ・ 室内での水質分析は以下のような項目を対象として実施する。 ・ 一般水質項目; 炭酸水素(HCO₃)、塩素(Cl)、硝酸(NO₃)、硫酸(SO₄)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、珪素(Si) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水質調査の結果は、「濃度による表現法(シュテイフダイヤグラム)」や「パーセント組成による表現法(トリニアダイヤグラム)」の形で整理するのが一般的である。

①濃度による表現法(シュテイフダイヤグラム)
シュテイフダイヤグラムは、ヘキサダイヤグラムやパターンダイヤグラムとも呼ばれ、縦軸の左右に設けられた当量meq/L濃度の軸に左側に陽イオン、右側に陰イオンをプロットして各店を直線で結んで図形を作る。この図形の配列及び分布から組成の変化を把握する。次図にシュテイフダイヤグラムの一例を示す。

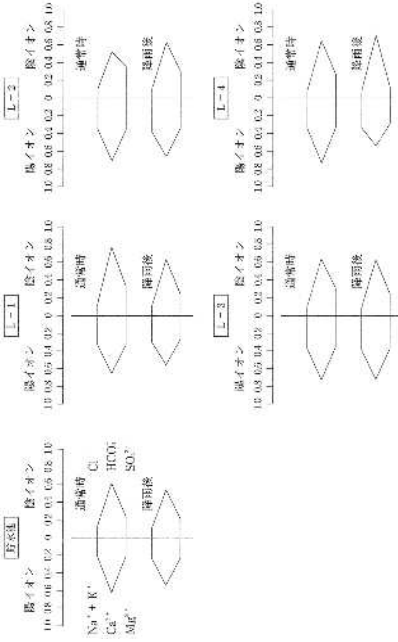


図-6.4.4-34 シュテイフダイヤグラムによる水質の分類図(例)

┌ 貯水池内及びL-3は、連帯時・降雨後ともに水質の变化がない。
└ L-1, 2, 4は、降雨の影響を受けて水質が多少变化している。

②パーセント組成による表現法(トリニアダイヤグラム)
トリニアダイヤグラムは、バイバイヤグラム又はキヤダイヤグラムとも呼ばれ、陰・陽イオンごとに2成分系として表す菱形座標と、陰・陽イオンごとに3成分系として表す二つの三角座標からなる。この中の菱形座標図は、キヤダイヤグラムといわれる。これらの図は、水質当量濃度組成epm%を用いて主成分の量的関係を明らかにし、水質タイプの区分を容易にすることができる。下図にトリニアダイヤグラムの一例を示す。
水質タイプの区分は、キヤダイヤグラム(菱形座標図)の作成から行われる。

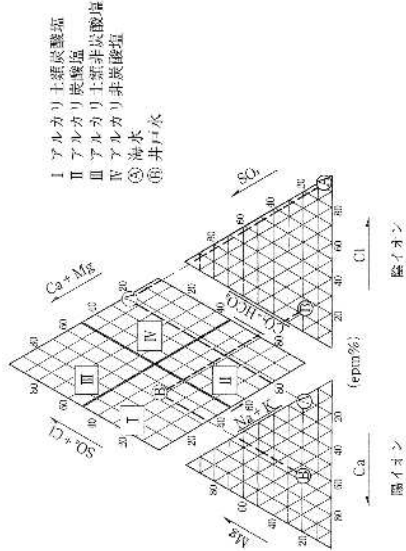


図-6.4.4-35 トリニアダイヤグラム

詳細調査ツールボックス

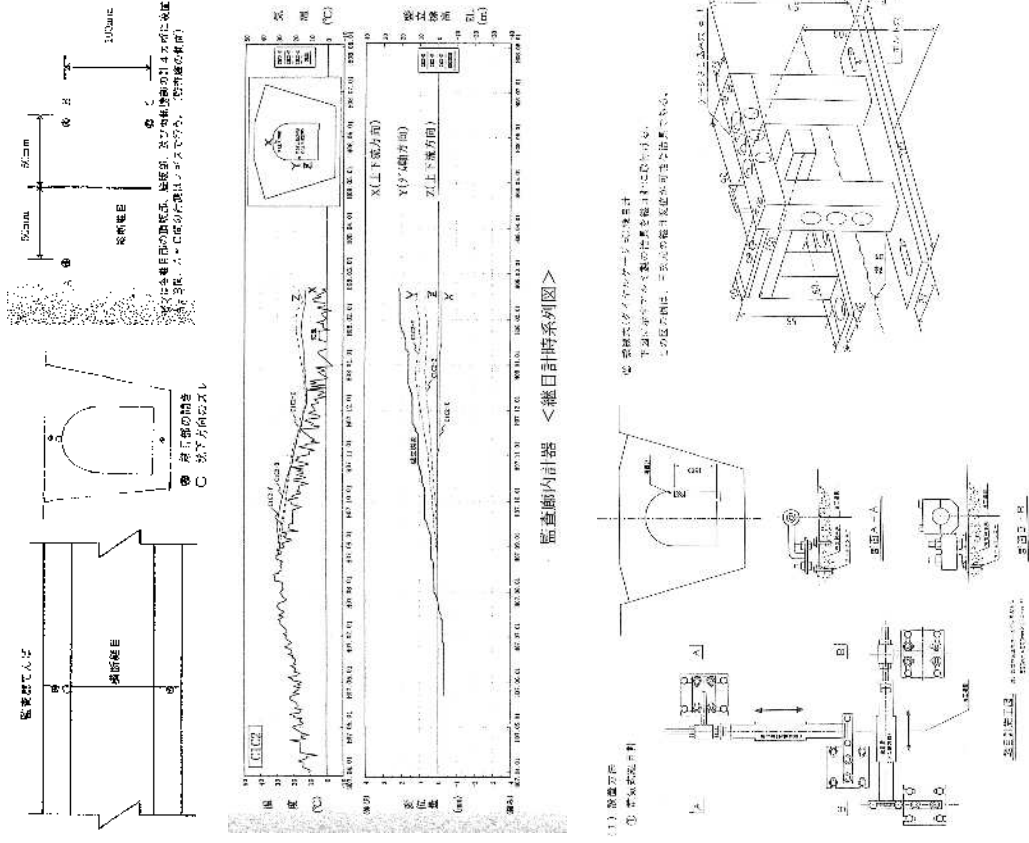
■整理番号:④-5 観測データ処理

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	監査廊の変形
構成材料	鉄筋コンクリート
該当する重要な変状	クラックからの漏水 (エフロレッセンス・遊離石灰・錆汁の発生を含む)

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造部材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) 盛土・基礎地盤の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
監査廊継目計	<ul style="list-style-type: none"> 継目計 貯水位データ ※計器挙動	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊内に設置される計器のうち、継目計については長期的に計測可能であることから、堤体・基礎地盤の変位とも関連することから、データ処理をおこなうことが望ましい。 監査廊の継目に大きな開口やズレが生じた場合、その直上の遮水材料がこの変形に追随しないと、その部分の遮水性が確保されなくなる恐れがある。 継目計は、監査廊軸方向、継目部の沈下方向、上下流方向のズレの3方向が計測対象となるが、特に水密性の観点からは軸方向の開きが重要である。 なお、継目変位の簡易な計測方法は、隣接するブロックにピンを設置してこの幅を計測する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛立完了後の継目変位挙動は、貯水位の変化が主要因となるため、経時変化図とともに貯水位との相関図を作成するとよい。
漏水量データ	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊内の漏水量観測データ 貯水位データ →漏水量データの整理は「②堤体の漏水」の内容を参照	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊内で計測される漏水量の挙動について、経時的な変化を把握し、計測データにもとづく評価を行う。 監査廊内の漏水量は (表面遮水型を除き) 堤体漏水量観測とは異なり、手動計測となるため、頻度・精度は状況に応じて判断する。 	<ul style="list-style-type: none"> 経時変化図とともに貯水位との相関図を作成しておくとうよい。

《参考資料》



●監査廊継目変位の計測方法・計器の構造(例) 総研資料より転載

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑤-1 外観調査	
ダムタイプ	コンクリートダム
変状区分	洪水吐の変形
構成材料	鉄筋・無筋コンクリート
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> クラック・施工継目からの漏水（エフロレッセンス・遊離石灰、錆汁の発生を含む） 鉄筋の露出 水路側壁・底板コンクリートの粗骨材の剥離を伴う損傷

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造物、構造部材の安定性（クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況）（表面の損傷状況）
------	--

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
目視確認	<ul style="list-style-type: none"> 記録用紙（野帳） 洪水吐構造図（主要図のみ） スタツフ メジャヤー 	<ul style="list-style-type: none"> まずは、洪水吐全体の外観調査を行い、大規模なクラックや漏水、表面の損傷が生じているか否かを確認し、変状の発生状況を記録する。 外観調査で確認すべき主要な変状は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> クラックの発生状況（特に連続しているもの、漏水を伴うもの、亀甲状のクラック） 鉄筋の腐食による錆汁の発生 側壁の大きなたわみや流水摩耗・衝撃による部材のすりへり 水路の収縮・伸縮継目部からの漏水 	<ul style="list-style-type: none"> 変状の発生箇所、範囲を記録 今後の調査計画
デジタルカメラ撮影	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ スタツフ メジャヤー 	<ul style="list-style-type: none"> 目視確認と同時に、損傷箇所の記録のためデジタルカメラで撮影を行う。 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> 撮影時にはスタツフ等を添えて変状箇所の規模がわかるようにする。 遠景（全景）と近景（変状箇所）を撮影する。 撮影者の影が映り込まないように注意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影位置・日時 貯水池の水位、変状と関連があるデータと併せて整理することが望ましい。 写真には簡潔なコメントを添える。

《参考資料》



減勢工側面図(左岸側)



●外観調査写真の例(Hダム)

減勢工側面図(右岸側)



4.0. 0m

※溜水は、右岸にある遊離水塔からのものであり、打錠目から出ている。

・無筋コンクリート

●外観調査写真の例(Yダム)

調査方法:洪水吐写真に「変状部分」の場所とコメントを記載している

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑤-2 計測・測量

ダムタイプ	コンクリートダム
変状区分	洪水吐の変形
構成材料	鉄筋・無筋コンクリート
該当する重要な変状	クラック・施工継目からの漏水（エフロレッセンス・遊離石灰・遊離石灰、錆汁の発生を含む） 鉄筋の露出 水路側壁・底板コンクリートの粗骨材の剥離を伴う損傷

調査項目	コンクリート構造物、構造物材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) (表面の損傷状況)
------	--

方法	使用機材・資料	調査のポイント	調査の結果・整理
クラック等損傷部の計測	洪水吐構造図 クラックスケール ノギス 野帳	クラック調査の具体的な方法は、農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」H15.8を参考として実施するよい。	クラックの発生箇所、範囲、長さ、幅
側壁たわみの計測	水準 または 測量機器 (横断測量)	比較的大規模な壁高を有する水路で、洪水吐の横断橋梁とその上下流の境界部、あるいは背面地下水位が上昇して側壁に過大なモーメントが作用した場合、またコンクリート自体のクリープ作用により、側壁にたわみ・段差が生じることがある。 継続的な計測を行うことにより、進行の有無を判断する。	変形の発生箇所 変形量 (継続監視により) 経年進行の有無



側壁天端の段差計測例

《参考資料》

「ひび割れ調査法」

ひび割れ幅は、ひび割れがコンクリート構造物に与える影響を判断するために用いられるパラメータである。ひび割れ幅は、コンクリートの断面でひび割れ方向に對して直角に断った時のことである。ひび割れ幅はひび割れの原因推定、補修・補強の要否の判定、補修・補強方法の選定時の判断資料になる。

ひび割れ幅の測定は図-2.4.1.1に示すように、クラックスケール、ルーベなどを用いて行う。ひび割れ幅の変動の測定には、このほか短尺的な測定も可能で、クリップゲージを用いる方法、電気式ダイヤルゲージを用いる方法がある。また標点同をコンタクトゲージを用いて測定してもよい。ひび割れ幅の変動を検討する場合は、初測値を測定した位置を構造物に記入しておき、その後同じ位置で測定する。

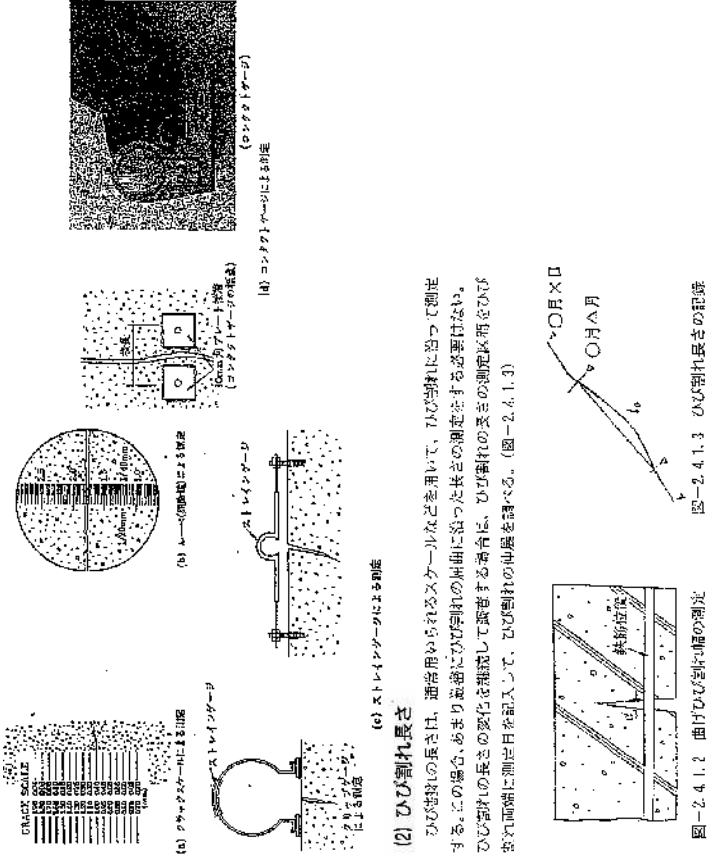


図-2.4.1.1 曲げひび割れ幅の測定

●ひび割れ調査法
農村振興局施工規格調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き」(H15.8)より転載

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑤-3 原位置調査・試験

ダムタイプ	コンクリートダム
変状区分	洪水吐の変形
構成材料	鉄筋・無筋コンクリート
該当する重要な変状	変状の発生箇所 導流壁・減勢工 クラック・施工継目からの漏水（エフロレッセンス・遊離石灰・錆汁の発生を含む） 鉄筋の露出 水路側壁・底板コンクリートの粗骨材の剥離を伴う損傷

調査項目	コンクリート構造物、構造物材の安定性 (クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況) (表面の損傷状況)
------	--

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
打撃試験	・テストハンマー ・ロッドハンマー	コンクリート構造物の表面の脆弱化や空隙の有無を概査する場合は、地質調査用のロッドハンマーなどを用いて表面を打撃する方法は簡便におこなうことができる。 一般的なコンクリート構造物では、リバウンドハンマー（通称：シュミットハンマー）による反発硬度の計測が広く用いられる。リバウンドハンマーの計測値からコンクリートの圧縮強度を推定することが可能である。具体的方法は、農林振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」H15.8を参考として実施するとよい。 長期供用ダムでコンクリート表面が脆弱化し、浮きや剥離等が見られる場合、反発の程度に影響を及ぼす可能性があり、本来（コンクリート全体）が有している値を把握していないことになるため注意が必要。	・部位毎のコンクリート強度の相違 ・設計・施工時の配合条件による基準強度との対比 ・現状の構造部材の安定性検証のための基礎資料としての整理



●テストハンマー(シュミットハンマー)の実施例
(打撃面は石などで研磨し平滑にする)：
写真は監査廊内での試験状況

《参考資料》

「反発硬度法」

1) 概要
コンクリートの劣損をテストハンマーによって打撃し、その反発硬度から反発硬度を算出する「反発硬度法」または「反発硬度法」という。我が国では(社)日本材料科学会、その試験方法の標準が制定されたのをはじめとして、(社)日本建築学会、(社)土木学会等にも試験方法に関する規定が定まっている。コア採取によるコンクリート強度測定と比較して試験方法が簡便な点と、構造劣損を迅速することなどに特徴できるところから、

- ① 詳細部質を把握するもの予備的な試験
- ② 何らかの理由でコア採取による強度試験が困難な場合
- ③ コンクリートの強度分布など、多くの箇所での強度測定が必要な場合
- ④ コンクリートの材料、作り等詳細情報を調査したい場合に用いられる。

上記に加え、反発硬度法はコンクリート強度以外に、使用ハンマーの種類、打撃位置、被験部材の性質、コンクリート表面の平滑さなどの外的要因やコンクリートの配合率、養生条件、初期、乾燥硬化などの内的要因によって異なる結果を生じることがある。特に変状箇所における測定については、コンクリート表面状態が弱いため測定が必須である。

3) 調査方法

(H) 測定機の検定

測定を開始する前には反発硬度の既知なテストポイントを用いて検定を行う。一度に多数の測定を行う場合には測定中であっても1500回に1回程度、検定を繰り返して所定の反発硬度が得られているかを確認する。

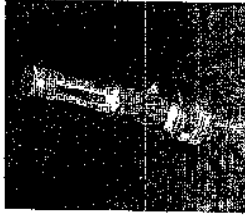


図-2.4.3.1.1 テストアンビル(シュミットハンマー取付例)

(H) 表面処理

決定した調査箇所の表面状態を確認し、表面の凹凸、塗膜、打撃面のブリーチンなど、付着物があるような場合には運石等を用いてこれを削除する。

(H) 測定

測定箇所1箇所につき20回打撃を行うものとし、同一点は打撃しない。各打撃点毎の打撃による影響がないように5cm以内距離をおく。事前に目標目録にマーキングを行っておけば、効率よく測定を行うことができ、打撃は、測定位置を測定面に対して垂直に設置し、ゆっくりと垂直に押し付けるようにして打撃する。

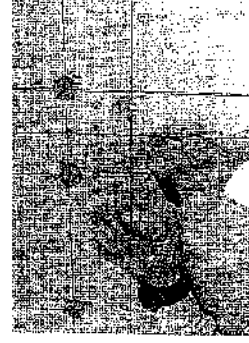


図-2.4.3.2 プレートを用いたマーキング例

●テストハンマー打撃試験の方法
農林振興局施工企画調整室
「開水路などのコンクリート
構造物変状対策の手引き(案)」

■整理番号:⑤-3 原位置調査・試験

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
非破壊試験等	<ul style="list-style-type: none"> 各種非破壊試験機器 	<p>コンクリート構造物に対する非破壊試験については、近年様々な手法が開発されてきており、その適用範囲・条件を十分に理解した上で、現場条件に応じて採用の適否を判断する必要がある。</p> <p>具体的な方法については、農村振興局施工規格調製室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き(案)」H15.8や日本コンクリート工学会「コンクリート診断技術」等、多くの参考資料があるのでそれらを参照されたい。</p> <p>ここでは、コンクリートの劣化現象に対応した非破壊試験方法の一覧を紹介する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試験方法に応じたりまとめをおこなう。
コア採取	<ul style="list-style-type: none"> ボーリング調査資材一式 (作業足場の構築) 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート内部の状態を把握し、コア強度試験、各種試料分析のため、コンクリート躯体のボーリング削孔を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> コアの写真とスケッチ(クラック、脆弱部、等)で記録を残す。

◆調査実施例

劣化現象に対応した調査手法の例 (原位置試験<非破壊試験含む>を抜粋し、一部加筆した)

点検方法	原理 試験項目等	劣化機構				ダム洪水吐での適用可能性	
		中性化 *1	塩害	凍害	化学的 侵食	7/8割 骨材反応	疲労
電気化学的方法	自然電位法 分極抵抗法	◎	◎	○	○	○	B
応力測定法	載荷時のひずみ測定	○	○	○	○	◎	B
変形測定法	載荷時の変形測定	○	○	○	○	◎	C
打音法	打撃音、波形解析	○	○	◎	◎	◎	A
反発硬度法	テストハンマー強度	○	○	◎	◎	◎	A
赤外線法	表面の赤外線映像	○	○	○	○	○	B
はつり法	中性化深さ	◎	◎	○	○	○	B
	鋼材腐食状況	◎	◎	○	○	○	B
弾性波を利用する 方法	鋼材引張強度	○	○	◎	◎	◎	C
	超音波法、衝撃弾性波法 AE法	○	○	◎	◎	◎	B
電磁波を利用する 方法(レーダ法)	鋼材配置	◎	◎	○	○	○	C
	空隙 部材厚	○	○	○	○	○	B
電磁波を利用する 方法(赤外線法)	表面剥離	○	○	○	○	○	B
	鋼材位置・径、空隙・ひび割れ	◎	◎	○	○	○	B
電磁波を利用する 方法(総法)	鋼材位置・径	◎	◎	○	○	○	B
	誘導率・含水率	○	○	○	○	○	B
電荷試験(静的) 方法	ひび割れ発生・剛性	○	○	○	○	○	C
	固有振動数、振動モード	○	○	○	○	○	C

凡例1: ◎:劣化の程度にかかわらず重要なデータが得られる。

○:劣化の程度によっては重要なデータが得られる。

無印:参考になることもある

凡例2: :ダムで確認される可能性あり

:ダムで確認される可能性小さい

(注)*1:中性化は、コンクリートの中性化と中性化による骨材腐食を指す。

凡例3(ダム洪水吐での適用可能性)

A:現状で一般的な調査法/今後とも非常に有効

B:今後有効となる可能性あり

C:施設構造上、適用性はやや低い

●原位置調査・試験について
農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート

詳細調査ツールボックス

室内試験

整理番号: ⑤-4	室内試験
ダムタイプ	コンクリートダム
変状区分	洪水吐の変形
構成材料	鉄筋・無筋コンクリート
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> クラック・施工継目からの漏水（エフロレッセンス・遊離石灰、鏽汁の発生を含む） 鉄筋の露出 水路側壁・底板コンクリートの粗骨材の剥離を伴う損傷

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造物、構造部材の安定性（クラック、鉄筋腐食による内部の損傷状況）（表面の損傷状況）
------	--

方法	コンクリート試験（室内）
使用機材・資料	<ul style="list-style-type: none"> 農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」より、主要試験項目の概要を抜粋して右欄に示す。 ①中性化に関する試験 ②塩害に関する試験 ③アルカリ骨材反応に関する試験 ④凍害に関する試験 ⑤配合推定 ⑥鉄筋腐食量 ⑦強度低下
調査のポイント	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造 部材の劣化状況と力学特性について、定量的なデータとして整理する。
結果の整理・評価	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造 部材の劣化状況と力学特性について、定量的なデータとして整理する。

《参考資料》

試料採取による各種室内試験

①中性化に関する試験	<p>目的：中性化深さの調査を行い、変状原因の推定、今後の中性化による鋼材腐食の進行予測を行う。</p> <p>内容：主として、フェノールフタレイン法</p>
②塩害に関する試験	<p>目的：塩化物イオン濃度の分布の調査を行い、変状原因の推定、今後の塩化物イオンによる鋼材腐食の進行予測（ワイヤックの第2法則による）を行う。</p> <p>内容：主として、塩化物含有量調査</p>
③アルカリ骨材反応に関する試験	<p>目的：骨材の反応性、残存膨張量等の調査を行い、変状原因の推定、今後のアルカリ骨材反応による劣化進行予測を行う。</p> <p>内容：コアの顕微鏡観察方法（反応性炭化物の判定） コアの化学的試験方法（ゲル成分調査、含有塩分量調査、水溶性アルカリ量調査） コアの膨張量測定方法（吸水率試験、動弾性率の測定、圧縮強度試験） コアの反応促進試験方法 骨材の分離及び観察方法 骨材の物理試験方法 骨材粉末の調整方法 骨材のアルカリシリカ反応性試験 骨材のX線分析</p>
④凍害に関する試験	<p>目的：凍害進行予測、凍害深さの測定を行う。</p> <p>内容：細孔構造の調査（細孔量、細孔径分布） 空隙構造の調査（空気量、気泡間隔係数） 凍融試験</p>
⑤配合推定	<p>目的：打設されたコンクリートの材料構成を調査し、変状原因を推定する。</p> <p>内容：配合推定試験（セメント漏出法、ICP誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いる方法他）</p>
⑥鉄筋腐食量	<p>目的：鉄筋腐食の程度を把握する。</p> <p>内容：鉄筋の腐食面積率 鉄筋の腐食による減少量の算出</p>
⑦強度低下	<p>目的：コンクリートの強度低下の程度を把握する。</p> <p>内容：圧縮強度試験、反発度法、鳥獣破壊試験による強度推定</p>

劣化現象に対応した調査手法の例（室内試験を抜粋し、一部加筆した）

点検方法	原 理	試験項目等	劣化機構				7日以内の適用可能性
			中性化	塩害	凍害	化学的骨材反応	
採取したコアによる試験	中性化深さ	外観調査、ひび割れ深さ	○	○	○	○	A
		調査の目的	○	○	○	○	B
		圧縮強度・引張強度・弾性係数	○	○	○	○	A
		配合分布	○	○	○	○	C
		塩化物イオン含有量	○	○	○	○	B
		アルカリ量分析	○	○	○	○	B
		骨材の反応性	○	○	○	○	C
		膨張量調査	○	○	○	○	B
		細孔径分布	○	○	○	○	C
		空気量	○	○	○	○	C
コンクリートの化学組成	凍害（凍害試験）	熱分析（TG, DTA） ^{※2}	○	○	○	○	C
		X線結晶分析	○	○	○	○	C
		EPMA ^{※3}	○	○	○	○	C
		定定量電子顕微鏡観察	○	○	○	○	C

（注）※1：中性化はコンクリートの中性化と中性化による鋼材腐食を指す。
 ※2：TG（重量分析）、DTA（示差熱分析）とも、水和生成物や炭酸化合物などを定性・定量する分析法である。
 ※3：X線結晶分析は、コンクリートの結晶構造や組成中の元素の定性・定量分析を行う。
 ※その他の凡例は「③-3. 原位置調査・試験」の項に示す。

●コンクリート試験の方法
 農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」より転載

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑥-1 現地調査

ダムタイプ	コンクリートダム	
変状区分	堤体等の観測計器の挙動	変状の発生箇所 (計器の作動状態)
構成材料	揚圧力計、揚圧力 (ブルドン管式圧力計、間隙水圧計)、プラムライン	
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎排水量 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 浸透水の濁り 揚圧力 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 堤体変位量 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 	

調査項目	(堤体等観測計器の作動状態の確認)
------	-------------------

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
目視確認	<ul style="list-style-type: none"> 記録用紙 (野帳) 観測計器設置図 ストップウォッチ 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートダムの観測計器のうち、計器そのものを目視により確認できるものは、浸透量計(三角堰)、ブルドン管式圧力計、プラムライン、外部標的及び地震計などである。 外観調査ではこれらの計器の状態をチェックし、容易に補修可能なものは部品交換などで対応し、作動状況が不明なもの、破損等により計測が不可能なものを整理しておく。 個別の計器に関しては、 <ul style="list-style-type: none"> * 浸透量計 (三角堰) ; 観測ヒットやノッチの付着物等の清掃 * 圧力計 ; 基礎排水孔の詰まり、コックの作動確認 * その他、ケーブル、ジョイントボックス、スキヤナーの断線、損傷有無の確認を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 各計器の状態を整理する。
デジタルカメラ撮影	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 黒板、チョーク 	<ul style="list-style-type: none"> 目視確認した箇所について、写真記録を残す。 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> 撮影時には計器の位置 (番号) が判別できるように、計器名を記載した黒板 (またはホワイトボード等) を添える。 撮影者の影が映り込まないように注意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影位置・日時 貯水池の水位、降雨の有無

《参考資料》



ブルドン管式圧力計:排水孔内を鉄バケテリア、遊離石灰が占有している

●外観調査状況(Hダム)



ブルドン管式圧力計:排水孔内を鉄バケテリア、遊離石灰が占有している



継目排水孔:内を鉄バケテリア、遊離石灰が

●外観調査状況(Aダム)



ブルドン管式圧力計の確認



浸透量計(三角堰)の確認

●外観調査状況(Tダム)

■整理番号:⑥-1

現地調査

方法使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
計測器の挙動確認 ・観測計器 ・ケーブル、スキャナ	ダム堤体等の観測計器の信頼性について、以下のような判断指標がある。(原報文はフィルダム対象であるが、コンクリートダムにも適用される部分が多い) 「フィルダムの安全管理のための堤体挙動計測手法に関する検討」(ダム工学No.15,1994)を参考 (1)経時変化から見た信頼性の判定 過去の経時変化から見て、貯水位変動、気温の変化、あるいは地震等による挙動等の堤体挙動に起因すると考えられる経時変化を異常と判定するものとし、異常のパターンを右表に整理した。 なお、ある計測計器のデータが特異な値を示した場合には、経時変化から信頼性を判断するとともに、他の計測計器のデータとの関連等を調査し、堤体の異常につながりがあるものかどうかの総合判定が必要である。 (2)電気的点検結果からみた信頼性の判定 電気的点検は、接続されたケーブルを含めた計測計器の点検である。ところで、この点検によって得られる値は、機種あるいは測定方式(ひずみゲージ式、差動トランス式)によって異なることから、計器に対する専門的な知識が不可欠であるため、点検は専門業者に委託されている場合が多い。 信頼性の判定もその点検結果をもとに行うこととなる。 a)導通抵抗による判定 計測計器の感知器(センサー)が、電気抵抗的に正常か否かを判定する。 b)絶縁抵抗による判定 計測計器の感知器を含めたケーブルが、アースに対して正常に作動するために必要な絶縁抵抗を有しているか否かを判定する。 c)読み取り値の安定性による判定 スキャナ(多点切換器)に接続されたケーブルを取り外し、ケーブル端に測定器を取り付けて、その測定時の安定性から判定する。	・各計器の信頼性評価結果を整理し、データ処理に活用する。

表-2 計測データの経時変化異常パターン

経時変化様式図	異常の内容	対象計器	考えられる原因および判定
一段ずれ 	ある時点で、瞬間的に測定値が増加あるいは減少している	全計測計器 土圧計	・誘導雷等による計器の抵抗値の変動、計器の特性 ・水漏れ ○
多段ずれ 	一段ずれが、何度も生じている		
短期間欠如 	短時間、測定値がゼロまたはオオパー値となつて欠如しているが、その後では正常な測定値を示している	全計測計器 (多点切換器による場合接続された全計器が欠如または急変動となる)	○ ・多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線および停電、コネクタ等 ○
短期間急変動 	短時間、測定値が急変動しているが、その後では正常・な測定値を示している		○ ・多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線および停電、コネクタ等 ・絶縁低下 ×
永久欠如 	正常な堤体挙動を示していた測定値が、ある時点でゼロとなり、変動がなくなっている	全計測計器	× ・絶縁低下、絶縁不良、ケーブル(または計測計器のケーブル)にあるいは断線 ×
トレンド通い 	これまでの測定値の変動傾向と変動が明らかに異なる傾向が生じている	全計測計器	○ ・コネクタ、多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線、コネクタ等の接続不良 ○
常時微動 	当初から、あるいはある時点から測定値が常に微動しており、移動平均(傾向)を示している	全計測計器 水平鉛直変位計(動変位計)	× ・絶縁低下、絶縁不良 △
常時激動 	当初から、あるいはある時点から測定値が常に激動しており、移動平均(傾向)を示していない	全計測計器	× ・断線あるいは絶縁低下、絶縁不良 ×
年周 	堤体挙動には年周期が生じていないのに、測定値の年周期となっている	監視室内鉄筋計 継目計 クラック変位計	○ ・監視室内の計測データは、温度の季節変動に影響されたコンクリートの膨張クラックの閉閉を生じるこにより変動する ○
特異変動 	外的要因は一定なのに、クレーン等の動きやヤマトクした動きを示している	土圧計 内部変位計関係	× ・設置状況等を含めた計器の特性 ・絶縁低下、絶縁不良 ×

注) ○: 定期点検時に信頼性の判定が可能(修復の可能性あり)
△: 経時変化のみでは信頼性の判定はできない(修復の可能性ある場合も含める)
×: 信頼性無し(修復の可能性なし)
*: 経時変化がこのパターンを示したとしても、原因が計器の絶縁低下または絶縁不良と判定された場合は、測定値の信頼性は低く、正常とはいえない

●「フィルダムの安全管理のための堤体挙動計測手法に関する検討」(ダム工学No.15,1994)より転載

詳細調査ツールボックス

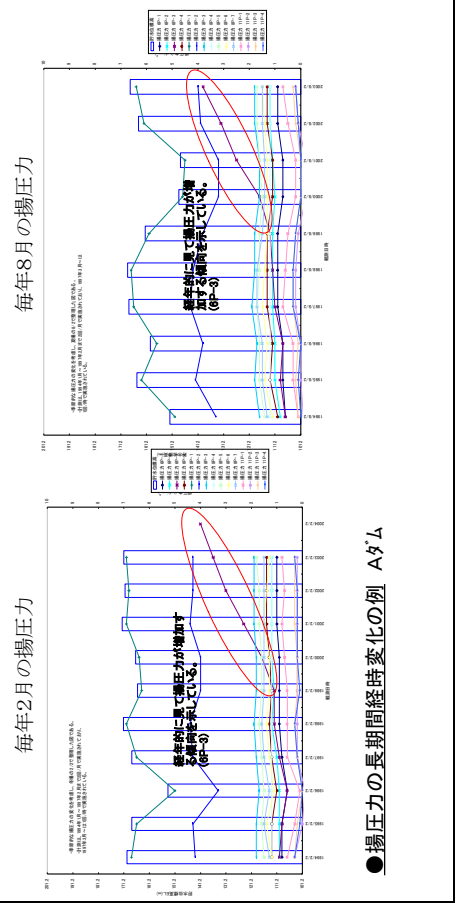
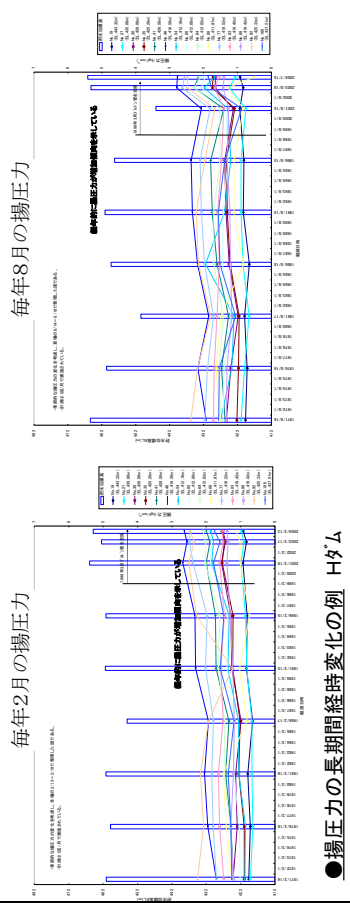
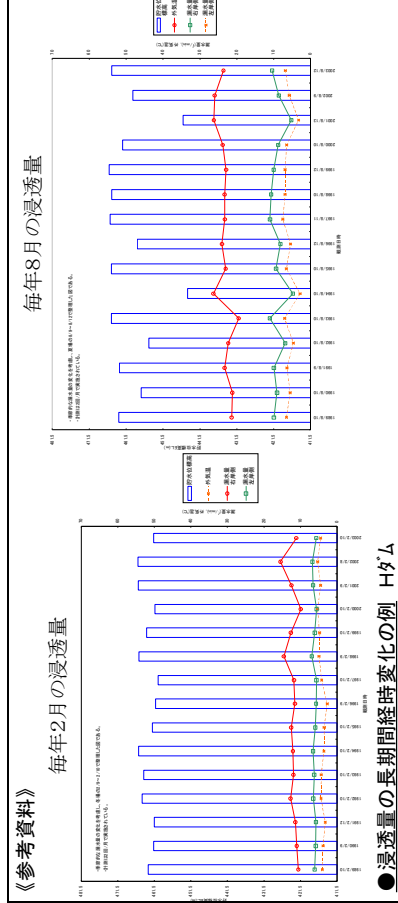
■整理番号:⑥-2 観測データ処理

ダムタイプ	コンクリートダム	
変状区分	堤体等の観測計器の挙動	変状の発生箇所 (計器の作動状態)
構成材料	揚圧力計、揚圧力 (ブルドン管式圧力計、間隙水圧計)、ブラムライン	
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎排水量 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 浸透水の濁り 揚圧力 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 堤体変位量 (計測値) の従来の傾向と異なる挙動 	

調査項目	(堤体等観測計器の作動状態の確認)
------	-------------------

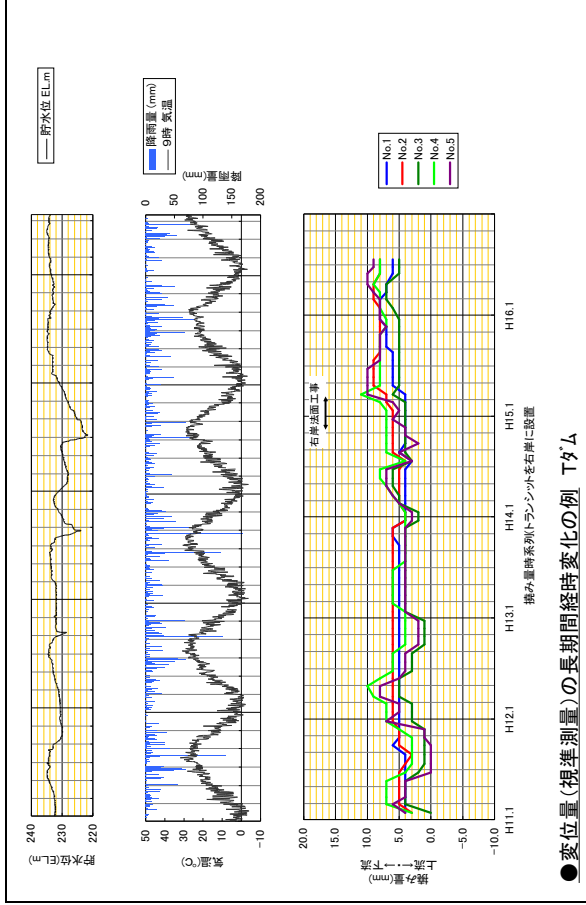
※調査のポイントは総研資料「農業用ダム挙動観測に関する技術資料」より転載した。

方法	整理の方法
浸透量計測値の評価	<p>整理の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・時系列図：浸透量とともに貯水位、降雨量を同時に示し、相関を考察できるようにする。 ・貯水位-浸透量相関図：貯水位と浸透量の関係を把握するため、相関図を作成する。 <p>測定値の評価</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 正常な状態の各孔あたり浸透量は、貯水位と直線関係になる。よって、貯水位の変化に対して急激に浸透量が増加した場合は、異常が生じていると判断できる。 ② 浸透量が減少する場合であっても浸透量に濁りが認められる場合は、浸透経路が拡大していることが考えられるため、早急な対応が必要である。 ③ 浸透量の計測値より異常が発生している場合は、判断される場合は、水質・水温調査、工事中の地質資料等から浸透経路の特定を行う。 ④ 全体浸透量 (三角堰流量) から各基礎排水孔の浸透量の合計値を算出し、継目またはクラックからの漏水量を把握する。 ⑤ 全体浸透量により基礎岩盤全体の特性を把握し、基礎排水孔別の浸透量をもとに局所的な現象を把握する。
揚圧力計測値の評価	<p>整理の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・時系列図：揚圧力とともに貯水位、降雨量を同時に表示する。 ・揚圧力分布図：横断面・縦断面に整理する。 ・貯水位-揚圧力相関図：貯水位と揚圧力量の関係を把握するため、相関図を作成する。揚圧力の表示には圧力値と水頭換算値のいずれかを用いる。 <p>測定値の評価</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 通常、揚圧力は貯水位との比例関係にあることから、貯水位の変化に対して急激に揚圧力が増加するような場合は、基礎岩盤部において異常が発生していると考えられる。 ② 従来よりも大きな揚圧力が測定された場合、必要に応じて堤体の安定計算を行うため、安全性を確認する。揚圧力に異常がある場合、漏水量に異常と伴うことが多い。 ③ 揚圧力は局所的な現象を捉えたものであるため、ブロック全体の揚圧力が管理値を上回った場合以外は、特に危険な状態とはいえないが、必要に応じて挙動監視を強化するなどの対応も検討する。 ④ ブルドン管による揚圧力計測値は、ロックを閉じた状態での値のため、近隣の間隙水圧計の計測値も併せて確認する。 ⑤ 長期用ダムでは、岩盤内の亀裂の目づまりにより揚圧力が大きくなる場合があるため、経時的な変化には十分注意する。

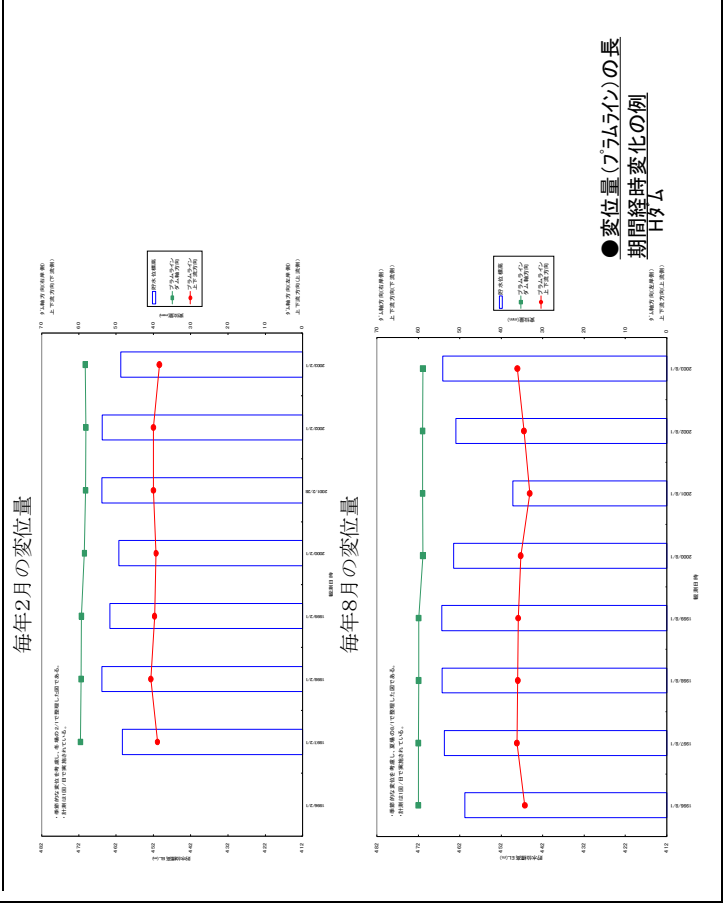


■整理番号:⑥-2 観測データ処理

整理の方法・測定値の評価	
使用機材・資料	<ul style="list-style-type: none"> ・プラムライオン(計測値) ・規準測量(計測値) ・貯水位データ
変位量計測値の評価	<p><整理の方法></p> <ul style="list-style-type: none"> ・時系列図：上下流方向、ダム軸方向の変位量を時系列化する。また、貯水位、外気温を合わせて表示する。 <p><測定値の評価></p> <ol style="list-style-type: none"> ①ダムのたわみは基礎岩盤の浸透量・揚圧力だけでなく、季節的な影響（貯水圧、外気温）の影響も強く受ける。また、ダムに異常が生じている場合は、たわみ量のほか浸透量、揚圧力等に異常値が計測されることが多い。 ②正常な状態の変形量は、貯水位の二次関数計により近似される。よって貯水位の変化に対して急激に変形量に変化した場合は、堤体に異常が生じた可能性を検討する必要がある。 ③ダムのたわみに影響する要因として、岩盤及びコンクリートのクリープ変形がある。これは経年変化により変形量が収束していくのが一般的であるため、経年変化により同時期・同水位でのたわみ量を比較したときに減少傾向を示していれば安定した状態にあると判断できる。 ④重回帰分析による解析結果と実測値を比較し、回帰式と一定の相関関係にあるかを確認することもある。



●変位量(規準測量)の長期経時変化の例 Tダム



●変位量(プラムライオン)の長期経時変化の例 Tダム

詳細調査ツールボックス

■整理番号: ①-1 外観調査

ダムタイプ	共通項目	
変状区分	貯水池内・堤体周辺部の変形	変状の発生箇所
構成材料	地山、法面工	斜面、法面
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面の陥没、はらみ出し ・法面保護工の損傷 	

調査項目	・斜面/法面のすべり破壊に対する安定性
------	---------------------

* 調査のポイントは「貯水池周辺の地すべり調査と対策」を参考とした。

方法	調査のポイント	結果の整理・評価
記録用紙(野帳) 貯水池、ダムの平面図 スタッフ メジャー ポール スケッチ	a. 目視 過去の地すべり等によって生じた、あるいはそのように判断された道路・地表の亀裂や構造物の変位箇所、地すべり滑動が発生した場合に変位が生じると予想される位置に観測点(定点)を設置して必要な観測を行うとともに、肉眼によって変状の有無や変状の進行などを目視、観察する。 b. 巡視・踏査 新たな亀裂の発生などの地すべりの兆候の早期発見を目的として、ルートを設定して巡回する。ルートは地すべりブロックの頭部、側部を中心に設定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・変状の発生箇所、 ・変状の発生箇所を記録 ・今後の調査計画
デジタルカメラ	目視確認、巡視・踏査箇所について定点写真を撮影しておくことが望ましい。	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影日時、撮影箇所 ・変状があればコメントを付す。

《参考資料》



●貯水池周辺管理用道路法面の亀裂確認状況(T'ダム)



●貯水池斜面崩壊の調査状況(T'ダム)

詳細調査ツールボックス

■整理番号:①-2 計測、測量、原位置試験

ダムタイプ	共通項目
変状区分	貯水池内・堤体周辺部の変形
構成材料	地山、法面工
該当する重要な変状	・斜面の陥没、はらみ出し ・法面保護工の損傷

調査項目	・斜面/法面のすべり破壊に対する安定性
------	---------------------

* 調査のポイントは「貯水池周辺の地すべり調査と対策」を参考とした。

方法使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価								
・法面・斜面の挙動観測計器	・地すべりブロックの場合、計測対象斜面とその目的は下表のように整理される。									
計器による計測	<table border="1"> <caption>表 9.1 監視・計測対象斜面</caption> <tr> <th>監視・計測対象斜面</th> <th>目的</th> </tr> <tr> <td>対策工施工斜面</td> <td>A. 対策工の効果、安全性の確認 B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証</td> </tr> <tr> <td>調査対象で未対策斜面</td> <td>B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証</td> </tr> <tr> <td>調査対象で未対策斜面</td> <td>B. 斜面の挙動の把握</td> </tr> </table>	監視・計測対象斜面	目的	対策工施工斜面	A. 対策工の効果、安全性の確認 B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証	調査対象で未対策斜面	B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証	調査対象で未対策斜面	B. 斜面の挙動の把握	
監視・計測対象斜面	目的									
対策工施工斜面	A. 対策工の効果、安全性の確認 B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証									
調査対象で未対策斜面	B. 斜面の挙動の把握 C. 設計計算の妥当性の検証									
調査対象で未対策斜面	B. 斜面の挙動の把握									

緊急時の計測・調査	<p>・短時間の間に地山斜面が滑動、崩壊等生じる可能性がある場合は、緊急時の調査として以下のようなものが考えられる。</p> <p>①亀裂の有無確認のための監視 ②伸縮計の設置（応急装置としては移動杭） ③孔内傾斜計、パイプひずみ計の設置</p> <p>このうち、①②は地すべり等の平面的な範囲を確認するための調査、③は地すべり等の深さ方向の範囲を確認するための調査である。</p>
-----------	---

《参考資料》

計器計測の目的と方法は以下を参考とする。

表 9.2 監視・計測の目的と方法

目的	方法	監視
A. 対策工の効果、安全性の確認	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭内に埋設したひずみ計、孔内傾斜計 鋼管杭工の効果 杭頭変位測量 地下水位計、排水流量測定 地下水排除工の効果 アンカー荷重計 アンカー工の効果 深礎工の土圧計、鉄筋計 深礎工の効果 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭付近の地山状況の確認 アンカー法時の亀裂・変形の有無の確認 斜面上にルートを設定し、監視によって地表や構造物の新たな亀裂、変形の早期発見に努める。
B. 斜面挙動の把握	<ul style="list-style-type: none"> Aに示した計測器 地盤伸縮計 地盤傾斜計 パイプひずみ計 孔内傾斜計 光波移動量計 多層移動量計 地下水位計 	<ul style="list-style-type: none"> Aに示した監視 斜面上にルートを設定し、監視によって地表や構造物の新たな亀裂、変形の早期発見に努める。 対策工の変形の有無等の確認
C. 設計計算の妥当性の検証	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位計 アンカー荷重計 深礎工の土圧計、鉄筋計 	

なお、計測の頻度については、参考文献では「試験湛水中の例」として下表が示されているが、現状で安定した状態にある場合、頻度を少なくする。

表 9.3 試験湛水時に地すべり地の計測頻度を自動観測でのデータ処理頻度（計器1台あたり）

試験湛水時	頻度	備考
貯水水位上昇時	1回/1週	バッチデータ（逐次値）の入手
貯水水位下降時	1回/1日	貯水水位が低く、地すべりブロックに影響のない場合 1回/3日程度
貯水水位保続期間	1回/1日	湛水確認計画または平常湛水計画に基づく下層浸透の 場合は2回/1日以上
異常時	1回以上/1日	湛水確認計画または平常湛水計画に基づく下層浸透の 場合は2回/1日程度
異常時	1回以上/1日	地すべり挙動発生後、動きが鎮静化するまでは1回/1日程度。ほか、降雨強度により計測頻度を設定

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
対策工設計のための調査		<p>・安定解析、対策工を検討する場合の調査は以下を参考とする。</p> <p>表 6.1 調査目的と調査項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地すべりの機降解折のための調査 <ul style="list-style-type: none"> —— 地質調査 —— すべり面調査 —— 移動量調査 —— 地下水調査 —— すべり面調査 ○ 地すべりの安定解析のための調査 <ul style="list-style-type: none"> —— 土質調査：すべり面の強度の把握 —— すべり面調査 ○ 対策工設計のため の調査 <ul style="list-style-type: none"> —— 土質調査：地盤の強度の把握 	

表 6.2 調査項目一覧表

項目	目的	主な調査方法
地質調査	地質状況およびすべり面の把握	・現地踏査 ・調査坑調査
地下水調査	地下水分布の把握 流動・透水性の把握	・孔内水位測定 ・地下水垂直検層 ・地温探査 ・地下水追跡調査 ・地下水追跡調査 ・地下水試験
すべり面調査	間隙水圧の把握 地質からのすべり面の判定	・間隙水圧測定 ・孔内水位測定 ・コア観察 ・調査坑調査
移動量調査	計測からのすべり面の判定 現況での地表変動の把握	・パイプひずみ計 ・孔内傾斜計 ・多層移動量計 ・地盤伸縮計 ・地盤傾斜計 ・移動軌 ・各種測量
土質調査	すべり面の強度の把握 地盤の強度の把握	・土質試験 ・土質試験 ・標準貫入試験 ・孔内振動試験

詳細調査ツールボックス

■整理番号: ⑦-3 室内試験

ダムタイプ	共通項目	斜面、法面
変状区分	貯水池内・堤体周辺部の変形	変状の発生箇所
構成材料	地山、法面工	
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面の陥没、はらみ出し ・法面保護工の損傷 	

調査項目	・斜面/法面のすべり破壊に対する安定性
------	---------------------

* 調査のポイントは「貯水池周辺の地すべり調査と対策」を参考とした。

方法使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
<ul style="list-style-type: none"> ・土質試験機器 (b. は原位置試験に区分される) 	<ul style="list-style-type: none"> ・土質試験には、すべり面の強度を把握するための試験と対策工の設計に必要な地盤の強度を把握するための試験がある。 a. すべり面の強度把握のための試験 <ul style="list-style-type: none"> すべり面の強度は、適正箇所での不攪乱試料の採取が極めて難しく、試験が行えたとしても必ずしもすべり面の強度の代表値となり得ないなどの理由により、試験結果により得られた定数(c, φ)は逆算法などによって求めた物性値の妥当性を確認する補助手段として実施される。 b. 対策工の設計に必要な地盤の強度を把握するための試験 <ul style="list-style-type: none"> アンカー工を用いる場合は、抵抗力を求めるための引抜き試験を、鋼管杭工及びびしゃフト工を用いる場合、地盤反力係数を求めるための孔内載荷試験などがある。地盤反力係数は標準貫入試験値から算定することもあるが、杭などの支持層が岩盤となることが多いため、孔内載荷試験の方が適している。 	
土質試験		

《参考資料》

表 6.9 ピーク強度、完全軟化強度および残留強度を求める試験方法 (参考文献15) に加筆、改変)

試験方法	試験内容	試験の種類			
		不攪乱	スラリー	プレカット	すべり面
三軸圧縮試験	—	○, CU,	×	×	△, CU or CD
リング回転せん断試験	—	△, CD, III	×	×	○, CD, II
繰返し一面せん断試験	—	△, CD, III	×	×	○, CD, II
三軸圧縮試験	ピーク応力到達後、体積変化層が分岐しなくなるまでせん断を行い、そのときの最終強度とする。	×	○, CU,	×	△, CU or CD
リング回転せん断試験	試料をスラリー状にしてから所定の圧密圧力で圧密した後、せん断する。このときのピーク強度を採用する。	△, CD, II	△, CD, III	×	○, CD, II
繰返し一面せん断試験	ピーク応力に達する前に体積増加分が零になるせん断応力、もしくは間隙水圧が零となるときの応力状態を採用する。	△, CD, II	△, CD, III	×	○, CD, II
三軸圧縮試験	ピーク応力到達後、せん断を続ければ、そのときの最小主応力差もしくは最小主応力比となる点をもって残留強度とする。	×	×	×	△, CU or CD
リング回転せん断試験	十分吸水させた試料について、せん断方向を変えて繰返しせん断を行う。最大せん断応力が一定値となるところをもって残留強度とする。	○, CD, I	○, CD, I	○, CD, II	○, CD, I
繰返し一面せん断試験	前もってせん断面をつくった(プレカット) 供試体をせん断する。このとき、プレカット角度は三軸圧縮試験の場合、数値を調整させる必要がある。	○, CD, I	○, CD, I	○, CD, II	○, CD, I

○: 利用可能
 △: 場合によって利用可能 試験条件
 ×: 利用不可能
 CU: 圧密非排水 (間隙水圧測定)
 CD: 圧密排水 せん断変位量
 I: かなり大きくする
 II: 大きくする
 III: 少なくする

●すべり面の強度(ピーク強度)を求めるための試験方法と適用性

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑥-1
外観調査

整理番号:⑥-1	外観調査	
ダムタイプ	共通項目	
変状区分	基礎処理部の観測計器の挙動	変状の発生箇所
構成材料	セメント等、土質ブラッキング	ゲラチング、池敷止水工
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎浸透量(計測値)の従来との傾向と異なる挙動 基礎内間隙水圧(計測値)の従来と異なる挙動 ブラッキング材の損傷 	

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の浸透破壊に対する安全性 地山(ブラッキング)の浸透破壊に対する安定性
------	--

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
目視 確認 ・スケッチ	<ul style="list-style-type: none"> 記録用紙(野帳) 貯水池平面図(ブラッキング) 	<ul style="list-style-type: none"> 池敷の土質ブラッキングは、通常のダム運用時(貯水時)には目視確認が困難である。 落水時に全体の状況を把握し、何らかの変状が確認された場合は現場踏査を行うことが望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> 変状の発生箇所、範囲を記録 今後の調査計画
デジタルカメラ 撮影	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ スタップ メガヤ 	<ul style="list-style-type: none"> 変状箇所の記録 【注意事項】 撮影時にはスタップ等を添えて変状箇所の規模がわかるようにする。 遠景(全景)と近景(変状箇所)を撮影する。 撮影者の影が映り込まないように注意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影位置・日時 貯水池の水位、降雨記録など、変状と関連があると想定されるデータを併せて整理することが望ましい。 写真には簡潔なコメントを添える。

《参考資料》

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑥-2 計測、測量、原位置試験

ダムタイプ	共通項目	変状の発生箇所	グラウチング、池敷止水工
変状区分	基礎処理部の観測計器の挙動		
構成材料	セメント等、土質ブラケット		
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎浸透量（計測値）の従来との傾向と異なる挙動 基礎内間隙水圧（計測値）の従来と異なる挙動 ブラケット材の損傷 		

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の浸透破壊に対する安全性 地山（ブラケット）の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	調査のポイント	調査の結果・整理
計測	<ul style="list-style-type: none"> 平面図 スタック ポール、メジャ 	<ul style="list-style-type: none"> 池敷ブラケットの損傷が確認された場合に、亀裂の幅、長さ、深度等を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 変状範囲と規模について整理
測量	<ul style="list-style-type: none"> 測量器具一式 	<ul style="list-style-type: none"> 池敷ブラケットの損傷が確認された場合に、ブラケット施工部の斜面のすべり破壊の兆候の有無を把握するため、複数の測線で横断測量を必要に応じて実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計断面（勾配）形状との比較 経年的な進行の有無把握
原位置試験	<ul style="list-style-type: none"> 調査ボーリング機材 標準貫入試験等 	<ul style="list-style-type: none"> ブラケット材内部の盛土材の物理特性、力学特性を評価する必要がある場合（例えば斜面のすべりの発生が想定される場合など）、原位置試験により、粒度やN値など定量的な値を把握することも有効となる場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計値との対比 深度別の特性比較と設計値への反映

《参考資料》

詳細調査ツールボックス

■整理番号:⑥-3
室内試験

ダムタイプ	共通項目	変状の発生箇所	ゲラリチャグ、池敷止水工
変状区分	基礎処理部の観測計器の挙動		
構成材料	セメント等、土質ブランケット		
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎浸透量(計測値)の従来との傾向と異なる挙動 基礎内間隙水圧(計測値)の従来と異なる挙動 ブランケット材の損傷 		

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の浸透破壊に対する安全性 地山(ブランケット)の浸透破壊に対する安定性
------	--

方法	使用機材・資料	調査のポイント	調査の結果・整理
採取試験の土質試験	<ul style="list-style-type: none"> 土質試験器具 	<ul style="list-style-type: none"> 現場から採取したブランケット材料の土質・岩石試験を実施する。 物理試験： <ul style="list-style-type: none"> 含水比、土粒子密度、礫の比重吸水、粒度分析、 コンシステンシー(液性限界、塑性限界) 力学試験：突固め試験、三軸圧縮試験 岩石試験： <ul style="list-style-type: none"> X線回折、スレーキング試験、安定性試験、物理試験(比重・吸水、粒度) <p>実施する試験項目は、試験の目的等を考慮して検討する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ブランケット材の物理・力学特性の把握(設計値、施工管理値と経年後の物性比較) 堤体の安定性検討のための物性値決定

《参考資料》

詳細調査ツールボックス

観測データ処理

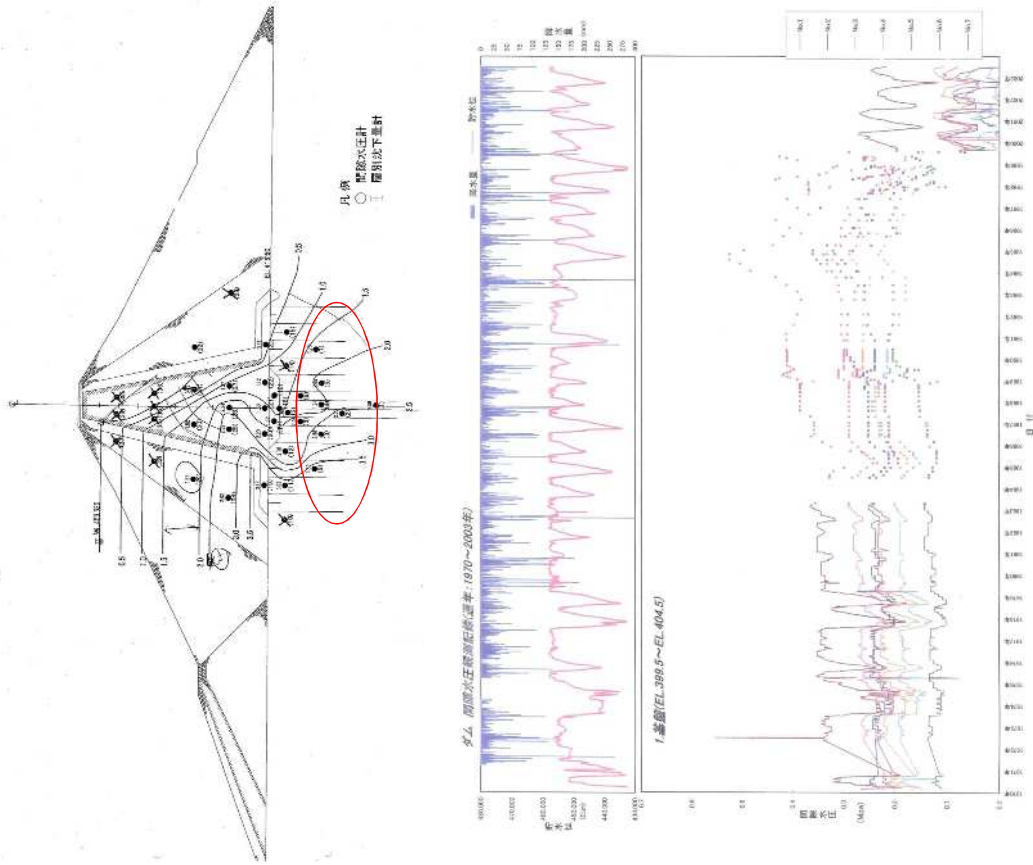
■整理番号:⑥-4

ダムタイプ	共通項目	変状の発生箇所	グラウチング、池敷止水工
変状区分	基礎処理部の観測計器の挙動		
構成材料	セメント等、土質ブラケンケット		
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> 基礎浸透量（計測値）の従来の傾向と異なる挙動 基礎内間隙水圧（計測値）の従来と異なる挙動 ブラケンケット材の損傷 		

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の浸透破壊に対する安全性 地山（ブラケンケット）の浸透破壊に対する安定性
------	---

方法	使用機材・資料	整理の方法・測定値の評価
浸透量計	<ul style="list-style-type: none"> 浸透量観測データ 貯水位データ 降雨データ（積雪データ） ※計器挙動 	<p>浸透量観測が系統別に分離されており、基礎内の浸透量を計測・評価できる場合は、「②堤体の漏水」で示した方法に準じて整理・評価を行う。</p>
間隙水圧計	<ul style="list-style-type: none"> 間隙水圧計データ 貯水位データ ※計器挙動 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎内に設置した間隙水圧の挙動についても「②堤体の漏水」で示した方法に準じて整理・評価を行うが、基礎岩盤内での間隙水圧の挙動に関する補足事項を以下に示す。 <p>＜計測値の評価について＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ①湛水時の基礎岩盤内の間隙水圧は、深度方向に対して概ね静水圧分布を示す。 ②カーテングラウチングが適切に行われていれば、グラウトライン上流の間隙水圧よりも下流の間隙水圧の方が小さい値を示す。

《参考資料》



●経年後の基礎内浸透状況の整理例
Hダム間隙水圧データ

【参考資料】

番号	手引きページ/項目	参考文献
1	2 フロー	ダム日本 No.795(2011.1)
2	3 フロー	農林水産省農村振興局 農業用ダム機能診断マニュアル(2次調査用)
3	14,15 表	ダム日本 No.795(2011.1)
4	30 図表	ダム技術 No.227(2005.8)
5	31,32 図表	ダム技術 No.227(2005.8)
6	33,34 図表	ダム技術 No.227(2005.8)
7	35 図表 初立池	水資源機構 豊川用水総合事業部 平成23年度 豊川用水初立池耐震対策技術検討委員会(第6回) 説明資料
8	36 図表 山口貯水池	ダム技術 No.227(2005.8)
9	37 図 布引五本松ダム	ダム日本 No.729(2005.7)
10	41 上図 川西ダム	新潟県 新潟県中越地震 農地・農業用施設の復旧記録(技術資料編)～
11	41 下図 西郷ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 西郷ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
12	42 上図 羽鳥ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 羽鳥ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
13	42 下図 大柿ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成25年度 福島農業基盤復旧再生計画調査 大柿ダム復旧再生計画調査業務
14	43 上図 衣川1号ダム	ダム日本 No.801(2011.7)
15	43 中図 浅河原調整池	ダム技術 No.239(2006.8)
16	43 下図 山本調整池	ダム技術 No.239(2006.8)
17	44 上図 山本第二調整池	ダム技術 No.239(2006.8)
18	44 中図 蛭沢ダム	農研機構 農工研技報 206 1～24,2007
19	44 下図 光明池	農研機構 農工研技報 206 1～24,2007
20	45 図 布引五本松ダム	公益財団法人 日本水道協会 水道協会雑誌 第67巻 第11号(第770号)
21	46 図 Koynaダム	ダム技術 No.227(2005.8)
22	47 図 Pacoimaダム	ダム技術 No.227(2005.8)
23	48 図 豊稔池ダム	ダム技術 No.227(2005.8)
24	52,53 図 山口貯水池	ダム技術 No.227(2005.8)
25	65 写真 西郷ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 西郷ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
26	65 写真 大柿ダム	東北農政局 水利使用協議書(大柿ダム災害復旧)
27	66 写真 浅河原調整池	ダム技術 No.239(2006.8)
28	66 写真 山本第二調整池	土木学会 土木学会論文集C Vol.34 No.3(2008.7)
29	66 写真 西郷ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 西郷ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
30	66 写真 山本調整池	ダム技術 No.239(2006.8)
31	67 写真 羽鳥ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 羽鳥ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
32	67 写真 山本第二調整池	土木学会 土木学会論文集C Vol.34 No.3(2008.7)
33	67 写真 西郷ダム	東北農政局 阿武隈土地改良調査管理事務所 平成23年度 農地・農業用施設等緊急調査 西郷ダム災害復旧調査実施設計業務 報告書
34	67 写真 川西ダム	新潟県 新潟県中越地震 農地・農業用施設の復旧記録(技術資料編)～
35	67 写真 衣川1号ダム	ダム工学会 2008年 岩手・宮城内陸地震によるダムの被害調査報告
36	68～71 図・写真	農研機構(堀ユニット長) 地震被災後のため池の緊急点検
37	72 写真 大蘇ダム	
38	73 写真 瑞穂ダム	北海道開発局 農業水産部 北海道開発局管内 国営ダム技術検討委員会資料
39	74,75 図	農研機構 電気探査による亀裂調査
40	76 写真 衣川1号ダム	ダム工学会 2008年 岩手・宮城内陸地震によるダムの被害調査報告
41	76 写真 浅河原調整池	国土交通省 国土技術政策総合研究所 国総研研究報告 第27号(平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告)
42	77 写真 厚真ダム	北海道開発局 農業水産部 北海道開発局管内 国営ダム技術検討委員会資料
43	166 写真 玉川ダム	国土交通省 国土技術政策総合研究所 国総研資料 第262号(ダム補修事例に関する調査)
44	167～178 写真 遠野ダム	国土交通省 国土技術政策総合研究所 国総研資料 第262号(ダム補修事例に関する調査)