

土構造物のメンテナンス

7. フィルダムにおける点検と維持管理

曾 田 英 揮 (そだ ひでき)

飼水資源機構 浦和技術センター

7.1 はじめに

ダムは大量の水を貯留する構造物であり、水を貯留し運用している限り常時水圧を支えている。万が一、ダムが決壊した場合には流水による被害や水利用が不可能になることの影響は計り知れないものがある。

このためダム建設時にあたっては十分な地質調査と、その結果に基づいたダム堤体と基礎岩盤処理の確実な設計、施工を行い、ダムが完成した後もその挙動を観測し、ダムの安全性を絶えず確認しつつ運用することが必要である。

高さ15 m以上のダム構造物の点検と維持管理にあたってはダム構造物管理基準¹⁾（以下、「管理基準」とする）が定められている。これに沿った形で表—7.1に示す各基準が定められており、各ダム管理者においてはダムの目的に応じた基準により管理が行われている。

管理基準においてダムの管理は計測、点検および精密調査ならびに補修その他の措置に区分されており、これらをあえて本講座の趣旨に沿って分類するならば、点検としての計測、点検および精密調査、維持管理としての補修その他の措置として位置付けられ、建設時より継続的にこれらの管理が行われている。

ダムを築堤材料で分類すると、コンクリートで構成されるコンクリートダムと礫を含む土質材料で構成されるフィルダムに大別され、本章で対象とするフィルダムにも土質遮水壁型、表面遮水壁型、均一型の3種類がある（図—7.1）。

本章では、7.2でフィルダムの計測、点検の概要について述べるとともに、7.3で実際の計測事例を示し、7.4に地震時等における臨時点検、7.5においては計測結果による安定性の判断、7.6において計測、点検に資する最近の技術開発、7.7では構造物のメンテナンスとしての補修・補強事例について述べるものである。なお、コ

ンクリートダムに関する点検と維持管理は参考文献にも多く記載があるので参考にされたい。

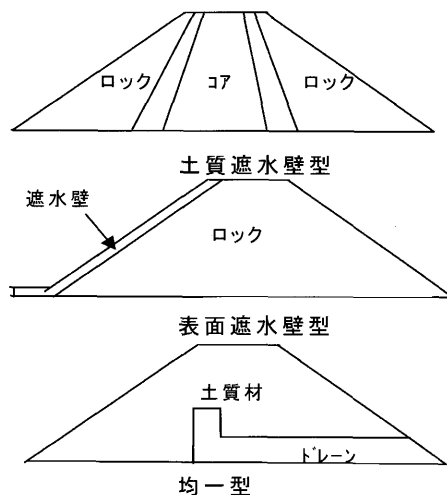
7.2 ダムにおける点検

ダムにおける点検は、ダムの安全を確保するための計測、点検と精密調査により行われている。計測、点検は定期または臨時に行われるものであり、その結果に基づきさらに詳細な調査を必要とする場合に精密調査を行うこととされている。本項では計測と点検について主として述べる。

これらの計測および点検は絶えず行うとともに異常の有無を判定しなければならないが、ダム管理の期間を初期湛水期間の第1期、初期湛水から数年間の第2期、第2期により安定が確認された後の第3期の3区分として、特に初期湛水期間中の計測・巡視が多くなるように期間別の計測・巡視頻度を設定している（表—7.2）。これは世界的には、多くのダム事故が初期湛水時に発生していることから、初期湛水終了後ある期間は継続して観察することとしているものである。また、ダムの安定が確認された第3期においても継続して観察を行い材料の経年変化や老朽化の有無について確認している。

ダムが大量の水を貯留するためには堤体と基礎地盤に以下の条件が必要となる。

- 堤体は水圧荷重を支え、基礎地盤に確実に伝達すること。
- 基礎地盤は堤体からの荷重を確実に支持すること。



図—7.1 フィルダムの形式

表—7.1 ダムの管理に関する諸規定の例

法令等	河川法	(法律第167号)
	特定多目的ダム法	(法律第35号)
	独立行政法人水資源機構法	(法律第182号)
	河川管理施設等構造令	(政令199号)
基準	改訂 ダム構造物管理基準	
	国土交通省河川砂防技術基準案	
	土地改良事業計画設計基準	

講 座

- ・さらには堤体と基礎地盤が必要な遮水性を備え、かつ浸透流による浸透破壊に耐えられることである。

ダム の 計 測 は、一般的にはこれら堤体および基礎地盤の状態を把握することとして、表—7.2に示す計測項目が定められている。ただし、すべてのダムについてこれらの計測さえ行っていれば良いというものではなく、ダムの規模・形式・構造に応じて項目を追加し、計測を行うこととなっている。

一方で点検は、主として目視による巡視で行うこととなる。目視による巡視は、堤体などに異常が無いかを監視するために行われるものである。これは、目視観測で

表—7.2 各期間別の計測回数 (1)

		第1期	第2期	第3期	備 考
計 測	漏水量	1回／ 日	1回／ 週	1回／ 月	
	変 形	1回／ 週	1回／ 月	1回／ 3月	
	浸潤線	1回／ 週	1回／ 月	1回／ 3月	※均一型フィルダム
点 検	漏 水	1回／ 週	1回／ 2月	3回／ 年	漏水量変化、濁りの有無、新しい漏水箇所
	表 面 遮水壁	1回／ 週	1回／ 2月	3回／ 年	表層、継目開き及び食い違いの有無と発達、継目充填材の状態
	法面 の状態	1回／ 週	1回／ 2月	3回／ 年	フィルダムの法面

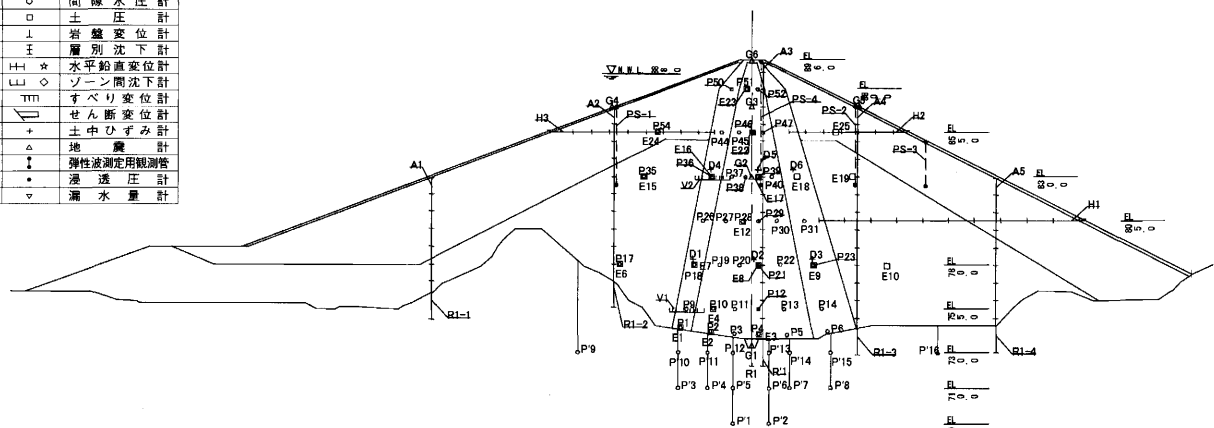
は、計器を用いた計測だけではわからないダムの挙動や状態を把握することができるためである。なお、近年のダムにおいては計測の自動化が可能な機器が多くなってきているため、これら計器の動作の確認も巡視の目的の一つになりつつある²⁾。

7.3 フィルダムの計測目的と項目

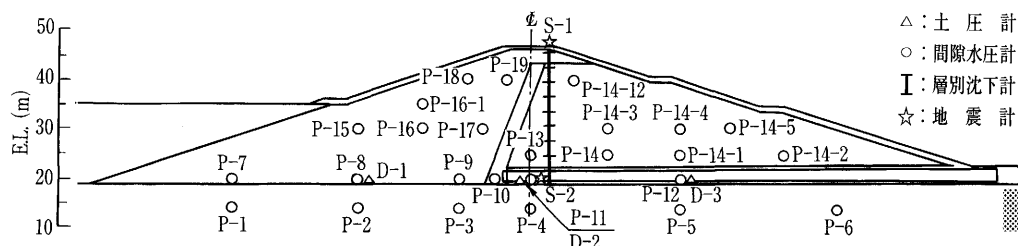
本項では具体例としてロックフィルダムと均一型のダムにおける計測項目について述べる。図—7.2にロックフィルダムの計器配置の事例を、図—7.3に均一型のダムの計器配置の事例を示す。これらに加えて堤体の外部変形を計測するための可動標的や、堤体からの浸透水を計測する観測設備が設置されている。これら計器はそれぞれのダムの規模・形式・構造に応じて計測されるが、基本的には表—7.2に示す計測項目を十分満足することと施工管理に資するための計器、および今後の設計に資するための計器が配置される。

ロックフィルダムにおいては、堤体中央にある、コアおよびフィルタゾーンに集中的に計器が配置されていることがわかる。多くのダムで設置されているのが間隙水圧計、土圧計および層別沈下計である。これは、施工時および初期湛水時にはコアゾーンの十分な圧密沈下と、それ以外のゾーンでの排水性が重要となるためである。間隙水圧計による過剰間隙水圧の消散傾向、層別沈下計による沈下の状況、および土被り厚と土圧により圧密沈下が確認される。初期湛水時には、水圧による荷重が大きく変化するため、特に浸透水と変形量の変化に注意を払う。中でも浸透水の量の増減と濁りは重要な項目であ

記号	記 号	計 器 名
P	○	間 隙 水 圧 計
E	□	土 圧 計
R	⊥	岩 盤 変 位 計
A	≡	層 別 沈 下 計
H	HH *	水平鉛直変位計
V	⊥ ○	ゾーン間沈下計
F	≡	すべり変位計
N	≡	せん断変位計
D	+	土中ひずみ計
G	△	地 震 計
PS	⋮	弾性波測定用観測管
PP	*	浸 透 圧 計
PW	▽	漏 水 量 計



図—7.2 ロックフィルダムの計器配置 (奈良保ダム)



図—7.3 アースダムの計器配置 (東金ダム)

り、浸透量と浸透水の濁度について自動監視を行っている事例も多い。均一型のダムにおいてもロックフィルダム同様に計測がなされるが、比較的堤高が小さいことや、遮水ゾーンが幅広であることを踏まえ、間隙水圧計が多く配置されている。これは、施工時においては、不要な過剰間隙水圧が発生していないことを確認し、堤体の安定を確認するためである。また、浸潤線の低下や法尻におけるパイピングの防止のためのドレーンの機能を確認するためである²⁾。

また、地震時の基礎および天端における加速度を検出する地震計は、一般的に追加される計器となっている。地震計の観測記録は、7.4に述べる臨時点検を行うための指標となっている。

これらの計測結果については、堤体の安全性を確認するために使用されるだけでなく、静的・動的挙動の把握のためにも使用され、今後のフィルダムの設計・施工のための基礎資料となっている^{3)~5)}。

7.4 計測結果による安定性の検討

本項ではまず計測結果の信頼性を確認するための手法について述べ、さらに確認された結果を用いての安定性の検討について述べる。

ダムにおける計測は、貯水池がその機能を失うまでの長期間にわたって行われることと、堤体自身による応力が大きいため、計器の異常や寿命などにより計測できなくなる場合がある。安全管理のための計器は比較的損傷が発生しにくいものが用いられるが、正常に動作していることが目視で確認できない場合もあることから、計測結果に対する異常が無いかの確認が必要である。表7.3⁸⁾は計測記録の経時変化を類型化したものであり、記録の修復が可能かの判断基準を示したものである。この判断基準を用いるにあたっては、異常が発生した原因

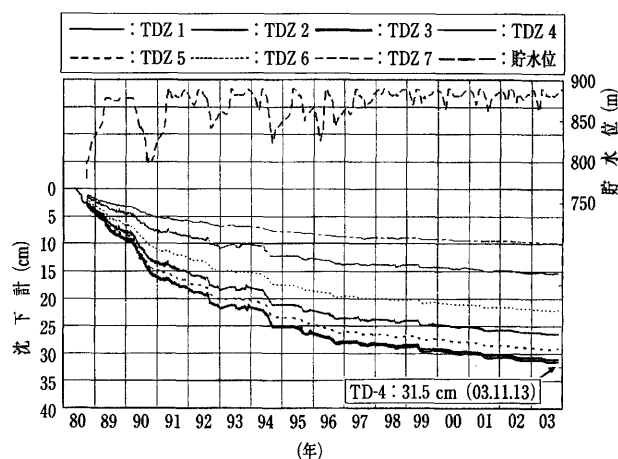


図7.4 ダム天端沈下量の経時変化

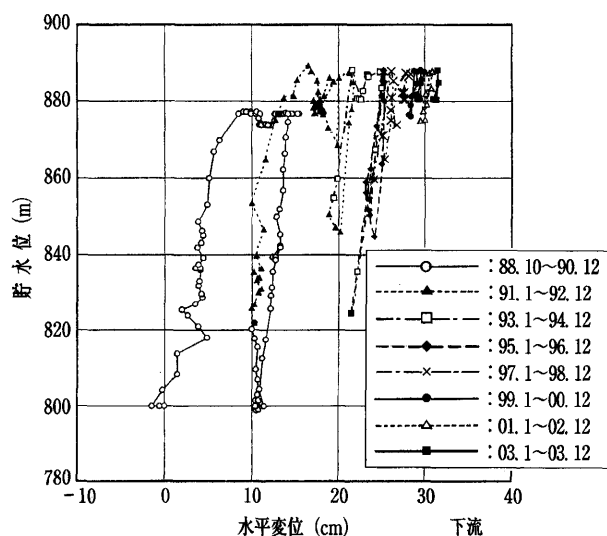


図7.5 ダム天端水平変位と貯水位の関係

表7.3 経時変化の形態 (水野ら⁸⁾)

変化形態		内容
a		計測値が同一の荷重状態で見るとき、時間とともに減少する場合 完成後数年経過したダムでよく見られる現象であり、ダムは良好な状態にある。 浸透量は最初の満水位経験以降、aの変化を示す場合が多い。 変形については比較的遅く、最初の満水位経験後数ヶ月ないし2~3年経過した後このような状態になることが多い。
a'		計測値が同一の荷重状態で見るとき、時間に関係なく一定の場合
b		同一荷重状態のとき、時間とともに増加するが、その割合が時間とともに減少する場合 一般にアーチダムのたわみによく見られる現象であり、いずれ安定する。
c		同一荷重状態のとき、時間とともに増加するが、その割合が一定の場合 危険状態に見えるが、bの状態にあつて収束の遅い場合このように見えることが多く、入念な計測の継続が必要である。なお、その計測値が過去の経験に比べて大きいとき、あるいは増加する割合が大きいときは危険な状態と見なし、原因・対策等の調査を早急に行う必要がある
d		同一荷重状態のとき、時間とともに増加するが、その割合も時間とともに増加する場合 明らかに危険状態であるが、その発生が局所的なのか全体的なのかで対応策は異なってくる。しかし、貯水位を低下させるなどの応急対策は必要である。

※t: 時間経過, δ : 計測値

講座

が特定できるものでなければならない。

上記の判断基準により正しい計測記録を得た上で、安定しているかの判断を行う。表—7.4⁷⁾は、経時変化の形態による判断基準を示したものである。事例として、図—7.4に堤体沈下量の経時変化について示す。図中にはダム天端に設置した七つの標的における沈下量の時間変化を示しているが、堤体の最大断面の沈下が最も大きく、アバットに近づくほど沈下量は小さくなっている。築堤後、自重により沈下挙動が発生するが、長期的には年間の沈下量は逓減傾向を示し、最終的に安定に向かっ

ていることがわかる。また、水圧の影響を受ける計測項目では外力が必ずしも一定しないため水位との相関を作成する。事例として図—7.5に堤体の水平変位挙動を示す。経年的に貯水位変動に伴う水平変位量が小さくなることで安定しているかの判断を行う。

7.5 地震時等の臨時点検

本項では臨時点検に関する基準について述べ、次に地震による被害の事例の概略を示す。さらに地震後に行われる臨時点検において留意すべき点について述べる。

表—7.4 計測データの経時変化異常パターン (播田ら⁷⁾)

経時変化模式図	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 ・水銀漏れ △ ×
多段ずれ 	一段ずれが、何度も生じている		
短期間欠如 	短期間、測定値がゼロまたはオーバー値となって欠如しているがその前後では正常な測定値を示していると考えられる	全計測計器 (多点切換器の故障による場合接続されたグループ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、コネクター等の接触不良 ○
短期間急変動 	短期間、測定値が急変動しているが、その前後では正常な測定値を示していると考えられる		・多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線および停電、コネクター等の接触不良 ・絶縁低下 ○ ×
永久欠如 無変動 	正常な堤体挙動を示していた測定値が、ある時点以降ゼロとなっていたり、変動がなくなっている	全計測計器	・絶縁低下、絶縁不良、ケーブルや計測計器のショートあるいは断線 ×
トレンド違い 	これまでの測定値の変動挙動とは明らかに異なる傾向の変動が、特定の期間に限定して発生している	全計測計器	・コネクター、多点切換器を含む自動計測装置の故障 ・点検時のコネクター等の接続間違い ・データ編集時のエラー等 ○ ○ ○
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いるが、移動平均(傾向)は正常な堤体挙動を示していると考えられる	全計測計器 水平鉛直変位計(鉛直変位計)	・絶縁低下、絶縁不良 ・連通管への気泡混入による日温度変動 × △
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)をみても全く意味がない	全計測計器	・断線あるいは絶縁低下、絶縁不良 ×
年周期 	堤体挙動には年周期は生じていないのに、測定値のみ年周期となっている	監査廊内鉄筋計 継目計 クラック変位計	・監査廊関係の計測データは、温度の季節変動に影響されたコンクリートの伸縮クラックの開閉を生じることによっても変動する ○
特異変動 	外的要因は一定なのに、クリープ的な動きやギクシャクした動きを示し、他の同種の計器とは明らかに異なっ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(修復の可能性もある場合も含める)

×：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

ダム構造物管理基準においては臨時点検として、あらかじめ定めた規模以上の地震、洪水または大雨が発生した場合に点検を行うこととしている（表—7.5）。

洪水または大雨の時に行われる点検は、法面の変状などについての目視による点検となるが、地震時における点検は、漏水量や変形量について計測も行うこととなっている。

目視による観察可能な状況の事例を写真—7.1、7.2に示す。写真—7.1は天端に発生したクラックの例であり、左右岸方向に発生している。写真—7.2は、法面に発生した浅いすべりの状況である。

計器観測による結果としては、堤頂の沈下と浸透挙動の変化がある。浸透挙動の変化としては、浸透水量の増加、浸透水への濁度の発生と基礎地盤内の圧力低下がある。図—7.6に奈良俣ダムにおける浸透水量の変化を示す。奈良俣ダムでは浸透水量を左右岸方向に5分割して計測している。PW-1～5のうちPW-1が最大断面に

表—7.5 臨時点検⁽¹⁾

	臨時点検を行う基準	臨時点検項目
地震	・ダム地点に設置した地震計により観測された震度が設計震度の1/3以上である地震*	表—7.2の項目の計測 漏水、表面遮水壁及び法面の状態の点検
	・その地域について発表された気象庁震度階が4以上	
洪水	3年に1回程度発生する洪水流量	漏水、表面遮水壁及び法面の状態の点検
大雨	ダム地点において3年に1回程度発生する日雨量	漏水、表面遮水壁及び法面の状態の点検

※ 基礎における最大加速度が25gal以上の場合



写真—7.1 天端に発生したクラック¹³⁾



写真—7.2 すべり変状

おける浸透水量である。地震後数時間において一時的に浸透量が増加している。この際、浸透水の濁度が増加する場合があるが、浸透量が安定し、清水になるまでは細心の注意が必要である。

これらの状況のイメージ図を、図—7.7に示す。図—7.7は種々の被害を一つの図にまとめたものであり、地震動やダムの特性により発生する被害とその大きさは異なるものである^{5),6)}。

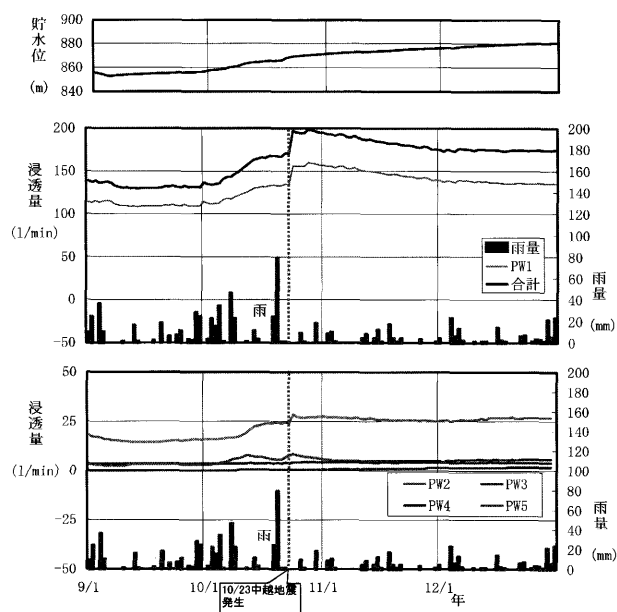
地震時の点検は、地震発生後、数時間で行われる目視による一次点検と、計測を伴う二次点検により行われる。一次点検においては特に堤体の変状の有無、浸透水の濁りの有無に注意が払われ、二次点検においては地震前後の計測結果の変化に特に注意が払われる。一次点検、二次点検ともに、地震直前の状態を十分理解しておき、地震直後の変化を正確に把握し、堤体の安全性を正しく判断することが最も重要である。

7.6 計測・管理に資する新技術

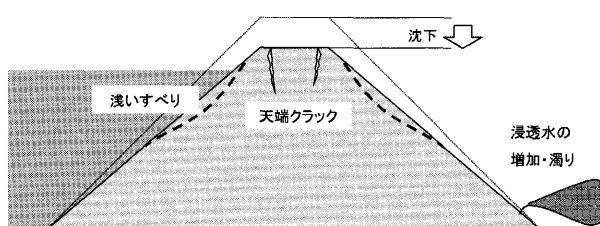
本項では安全管理に資するための新技術についてそのうちの幾つかを紹介する。

7.6.1 地中無線を用いた埋設計器技術⁹⁾

従来、ダム堤体内の埋設計器は、耐圧型のケーブルを使用した配線が一般的であったが、地中無線の技術を利用した埋設計器が近年開発され、幾つかのダムにおいて設置されている。



図—7.6 奈良俣ダムにおける浸透水量の変化



図—7.7 被害状況のイメージ

講 座

配線による問題点として、ケーブルが異物であること、ケーブルの断線や絶縁低下、施工中の障害やケーブルの損傷があったが、本方式ではこれらケーブルによる問題を解決したものである。通信の概念を図—7.8に、従来型と地中無線を利用した場合の比較を図—7.9に示す。なお、送受信可能な地中距離は土中で100 mを達成している。本方式による地中無線は、計器内の電池を利用するが、地上から計測頻度を調整することが可能であり、より高性能な電池の開発とあわせて、現時点では20年の長期にわたる計測が可能となっている。

7.6.2 GPSを用いた堤体の挙動観測¹⁰⁾

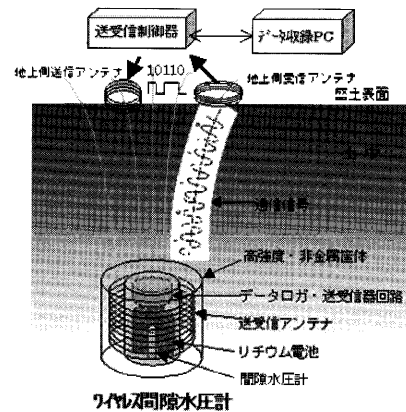
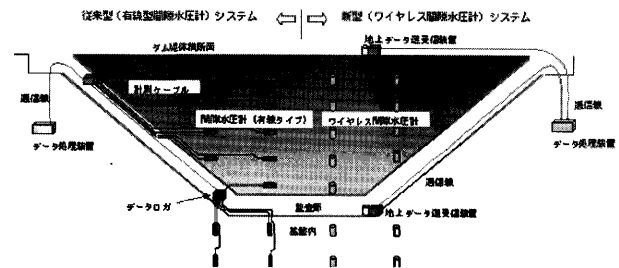
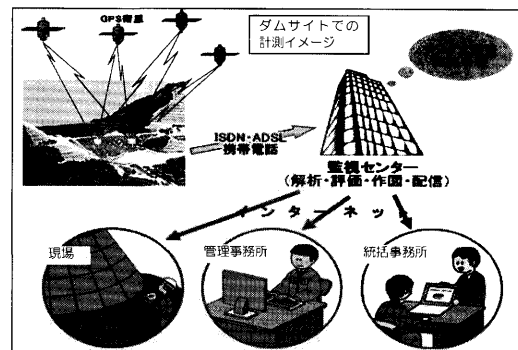
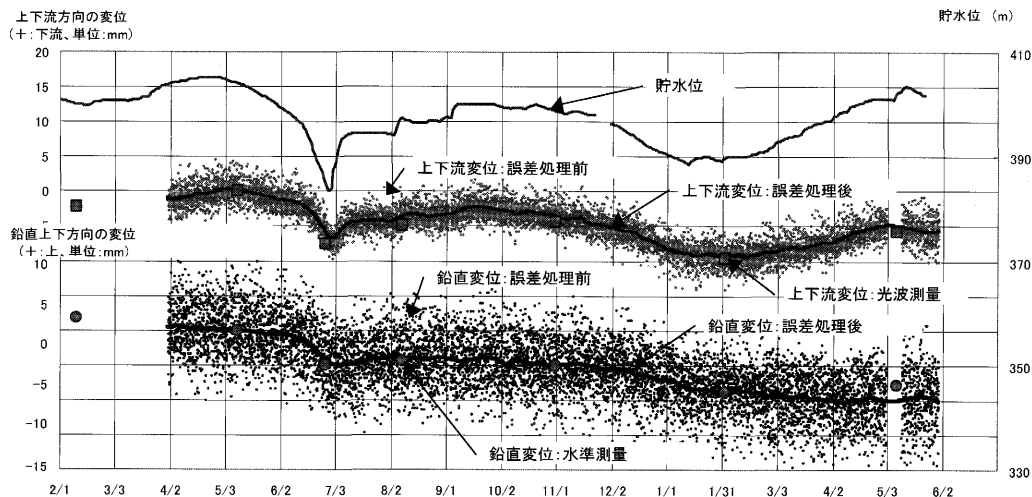
従来、ダム堤体の挙動を把握するために光波・水準測量による計測が用いられてきたが、GPSを利用した堤体測量が開発されてきている。

光波・水準測量の問題点として、測定にかかる時間、費用およびそれらに起因する計測頻度などがあり、GPSによる測量はその測定誤差が大きいなどの問題があった。本方式においては基線長を短く取ることと、常設したGPS機器を利用して統計処理を行うことで誤差の小さい観測を行うことができるようにしている。山口らの手法¹⁰⁾を図—7.10に示す。同様の手法による堤体挙動の観測例を図—7.11に示す。計測期間が短いことから光波・水準測量との比較は参考程度であるが、堤体の挙動を良く表現した計測結果といえる。GPSによる堤体計測は、未だ採用事例が無いが、今後、採用事例がでてくるものと考えられる。

7.6.3 漏水探査技術¹¹⁾

表面遮水壁型のフィルダムにおいて漏水位置を特定する技術が開発されている。

漏水量の測定は、通常、堤体の下流または遮水ゾーン直下に設けられた堰に集水され、計測されることが一般的であるが、表面遮水壁型のフィルダムにおいては漏水位置を特定し、補修することが課題となる。これに対してケーブル状センサの周辺媒質の違いにより、反射波が発生することを利用して、漏水位置を特定するための技術が開発されている（図—7.12）。

図—7.8 地中通信の概念図（向後ら⁹⁾）図—7.9 地中通信の概念図（向後ら⁹⁾）図—7.10 GPS計測観測システムの一般的概念（山口ら¹⁰⁾）

図—7.11 GPS計測によるロックフィルダムの観測例

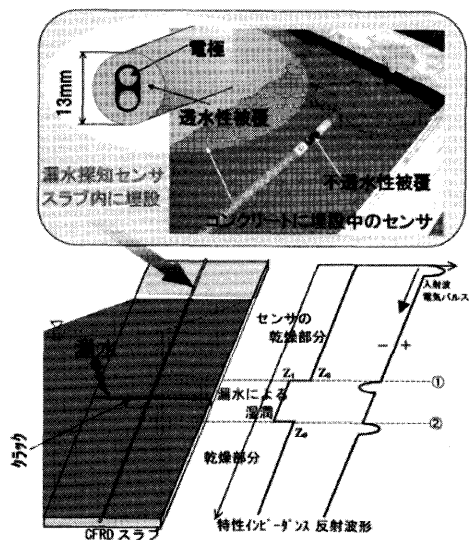


図-7.12 コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムにおける漏水探査技術（土木研究所 HP¹¹⁾より）

7.7 補修および補強の事例

ダム堤体の補修および補強には、堤体の老朽化や、地震による直接の被害に対する補修、想定される地震動に対する事前の補強があげられる。本項では老朽化した堤体を補強・嵩上げた事例、地震による被害に対して補修した事例、最後に既設アースダムの耐震強化の事例を紹介する。

図-7.13は、北谷池（三重県松坂市）の改修事例である¹²⁾。既存堤体が急勾配かつ堤高の高いものであり、老朽化による断面変形、地震時の安定性が不足していたため貯水池内底泥をセメント系固着材により固化し、規定の最大粒径で解砕してから築堤に用いる方法を使用している。

写真-7.3は、地震により牧尾ダムに発生したクラックの補修事例である¹³⁾。天端に発生したクラックは、既往の事例によれば¹⁴⁾遮水ゾーンに達するものではなく、上部保護層内で止まっていたため、クラック部分の除去を行い、同一材料により埋戻しがなされた。

図-7.14は山口貯水池堤体補強工事の標準断面図である¹⁵⁾。山口貯水池は昭和9年に完成した東京都水道局が管理する貯水池である。山口貯水池に対しての耐震診断の結果、発生する確率は低い大きな地震、例えば南関東地域直下型地震が発生した場合には堤頂部での大きな地震応答と、沈下が発生することが動的解析により予測された。このため施設の堤体の耐震性向上を目的として堤体強化工事を行ったものである。東京都水道局では近隣の村山下貯水池においても既設堤体の耐震強化工事を実施している。また、千葉県企業庁においては山倉ダムの基礎地盤において液状化が懸念されたために動的解析を実施し、基礎の耐震補強工事を行っている¹⁶⁾。

以上、いくつかの事例により、補修および補強の事例を紹介した。耐震性能の向上を目指した補強の事例は今後増加していくものと考えられる。この際に、堤体の上

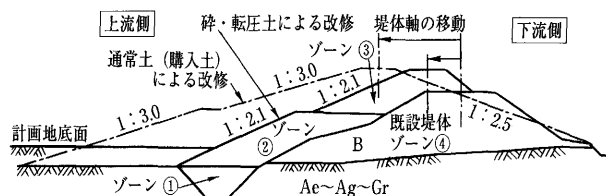


図-7.13 北谷池堤体補強工事¹²⁾



写真-7.3 天端クラックの補修

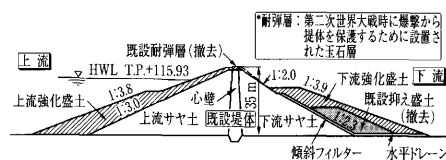


図-7.14 山口貯水池堤体補強工事標準断面図¹⁵⁾

流側で工事する場合には貯水池の運用を制限する場合があるため、事例の収集と今後の技術開発が期待される。

7.8 おわりに

本章では、「フィルダムの点検と維持管理」と題してフィルダム堤体の点検の概要、計測の事例、地震時等の点検、安定性の評価、新技術および補修・補強の事例について述べた。フィルダムの点検管理にあたっては、危険の兆候を認識できるための経験と情報が必要不可欠であり、本章では特に観測事例と安定性の評価、新しい計測技術に重点をおいて述べた。また、ダムの点検管理は本章に述べた以外にも、放流設備などの付属施設、貯水池周辺の法面など多岐の項目があるが、講座の主旨に基づき記述していない。参考文献に多くの記述があるのでご参照願いたい。本章がダム管理者のみならず、他の構造物の点検管理についての参考ともなれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 社団法人 日本大ダム会議：改訂 ダム構造物管理基準、1986. 5.
- 2) 財団法人 ダム水源環境整備センター編：ダム管理の実務、2000. 2, pp. 218~239.
- 3) 社団法人 日本大ダム会議：Acceleration Records on Dams and Foundations, No. 2, CD-ROM, 2002.
- 4) 森吉 昭・内田善久・鶴田 滋・高橋 章・石黒 建・太田秀樹：中央遮水壁型ロックフィルダムの湛水時安定

講座

- 性評価, 土木学会論文集, No. 764/Ⅲ-67, pp. 69~84.
- 5) Nobuteru SATO, Hideki SODA, Hideki OHTA and Kenji NAKAGAWA: The Observed Stress and Pore Pressures in Rockfill Dams, 4th Int. Conf. on DAM ENGINEERING, 2004.
 - 6) 谷 茂: 北海道に被害をもたらした地震におけるフィルダムの挙動について, 農業工業研究所技報, 192, pp. 17~38, 1995.
 - 7) 播田一雄・杉村叔人・白川信之・桑島孝暢: 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, pp. 55~63, 1994.
 - 8) 水野光章・大藪勝美・松本徳久: ダム完成後における計測, 土木施工, 第28巻第10号, pp. 513~529, 1987.
 - 9) Kohgo, Y., Asano, I., Hayashida, Y., Takahashi, A. and Towmezuka, R.: On wireless pore water transducer for fill dams, Proc. 4th Int. Conf. Dam Engineering, Nanjing, Balkema, pp. 441~450, 2004.
 - 10) 山口嘉一・小堀俊秀・横森源治・大野 誠・岩崎智治: GPSを用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察, ダム工学, 15(2), pp. 137~148, 2005. 8.
 - 11) 独立行政法人 土木研究所 HP より: コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムにおける漏水探査技術, http://www.pwri.go.jp/team/dam_str/cfrd_wls.html
 - 12) 福島伸二・谷 茂・北島 明: 固化処理底泥土による急勾配・高堤体ため池の補強事例, 土と基礎, Vol. 53, No. 2, pp. 28~30, 2005.
 - 13) 水資源開発公団愛知用水総合事業部: 長野県西部地震に係わる牧尾ダムの記録, 水資源開発公団, 1987.
 - 14) 国土交通省 国土技術政策総合研究所ほか: 平成15年(2003年)十勝沖地震被害に係わる現地調査報告書, 2005.
 - 15) 佐々木史朗・村山 眞: 既設アースダムの耐震強化工事—山口貯水池堤体強化工事—, ダム技術, No. 227, pp. 112~120, 2005.
 - 16) 渡邊秀敏・萩原茂雄: 地盤改良による山倉ダム耐震性強化工事, 工業用水, 第544号, 2004.