

第4章 補強・復旧(補修)後の管理の留意点

4.1 補強・復旧(補修)後の管理

補強・復旧(補修)後の管理は、ダム形式、各対策工法に応じて適切な手法を設定し、補強・復旧(補修)の性能を継続的に調査し、把握していくことが重要である。

(1) フィルダム

土地改良事業計画設計基準等によれば、フィルダムの計測項目では「変形」、「浸透量(漏水量)」、「浸潤線」がポイントである。これらの計測項目が想定する不具合の発生について検討する。

表-4.1-1 河川管理施設等構造令(第13条)

項目	区分	計測事項
フィルダム	ダムの堤体が概ね均一の材料によるもの	漏水量、変形、浸潤線
	その他のもの	漏水量、変形

表-4.1-2 ダム構造物管理基準(日本大ダム会議)

項目	区分	計測事項
フィルダム	表面遮水型	漏水量、変形
	ゾーン型	漏水量、変形
	均一型	漏水量、変形、浸潤線

注) 表-4.1-1及び表-4.1-2の「漏水量」は本手引きでいう「浸透量」を意味するが、文献からの抜粋であるため、そのままの表現とした

表-4.1-3 管理項目から想定される不具合と発生要因

項目	考えられる不具合の状態	発生の要因
変形	<ul style="list-style-type: none"> 堤頂道路舗装のクラック 堤体のすべり破壊 堤体のすべり破壊以外の変形 付帯構造物(パラペット等)及び周辺の損傷 表面保護工の変形(段差、はらみだし、ずれ) 表面保護工の劣化 堤体の決壊 	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化 所要の安全率不足 地震動に対する応答特性の違い 基礎地盤、堤体ゾーンングの特殊性
浸潤線	<ul style="list-style-type: none"> 浸潤線が高く不安定 ハイドロリックフラクチャリング/パイピング 	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ・インターセプター等の機能低下(目詰まりによる透水則の不成立等) 周辺地山の地下水状況変化 フィルタ・インターセプター等の機能低下(細粒分流出によるパイピング則の不成立等)
漏水	<ul style="list-style-type: none"> 漏水の発生、浸透量の増大 堤体下流面の湿潤化、好湿性植物の繁茂 堤体周辺部からの湧水、漏水 	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ・インターセプター等の機能低下(目詰まりによる透水則の不成立等) 浸潤線の変化(上昇、低下) 周辺地山の地下水状況変化 フィルタ・インターセプター等の機能低下(細粒分流出によるパイピング則の不成立等)
その他	<ul style="list-style-type: none"> 液状化 	<ul style="list-style-type: none"> 強度不足(液状化に対する抵抗が低い)
その他堤体以外		

土地改良事業計画設計基準等では、計測項目の目的を整理している。これらから想定される不具合と発生要因についても同様に下表に整理した。

表-4.1-4 挙動計測の目的(土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書(フィルダム編))

完成後の安全管理
浸透量の監視
堤体及び基礎地盤内の間隙水圧の監視
堤体内の浸潤線の監視
貯水に伴う堤体及び基礎地盤の変形の監視
貯水に伴う監査廊の変形の監視
地山地下水位の監視
地震時挙動の監視

表-4.1-3 管理項目から想定される不具合と発生要因

項目	考えられる不具合の状態	発生の要因
変形	<ul style="list-style-type: none"> 堤頂道路舗装のクラック 堤体のすべり破壊 堤体のすべり破壊以外の変形 付帯構造物(パラペット等)及び周辺の損傷 表面保護工の変形(段差、はらみだし、ずれ) 表面保護工の劣化 堤体の決壊 	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化 所要の安全率不足 地震動に対する応答特性の違い 基礎地盤、堤体ゾーンングの特殊性
浸潤線	<ul style="list-style-type: none"> 浸潤線が高く不安定 ハイドロリックフラクチャリング/パイピング 	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ・インターセプター等の機能低下(目詰まりによる透水則の不成立等) 周辺地山の地下水状況変化 フィルタ・インターセプター等の機能低下(細粒分流出によるパイピング則の不成立等)
漏水	<ul style="list-style-type: none"> 漏水の発生、浸透量の増大 堤体下流面の湿潤化、好湿性植物の繁茂 堤体周辺部からの湧水、漏水 	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ・インターセプター等の機能低下(目詰まりによる透水則の不成立等) 浸潤線の変化(上昇、低下) 周辺地山の地下水状況変化 フィルタ・インターセプター等の機能低下(細粒分流出によるパイピング則の不成立等)
その他	<ul style="list-style-type: none"> 液状化 	<ul style="list-style-type: none"> 強度不足(液状化に対する抵抗が低い)
その他堤体以外		

(2) 重力式コンクリートフィルダム

土地改良事業計画設計基準等によれば、重力式コンクリートダムの計測項目では「浸透量（漏水量）」、「変形」、「揚圧力」がポイントである。これらの計測項目が想定する不具合の発生について検討する。

表-4.1-5 河川管理施設等構造令(第13条)

項目	区分	計測事項
重力式 コンクリートダム	堤高50m未満	漏水量、揚圧力
アーチ式 コンクリートダム	堤高50m以上	漏水量、変形、揚圧力
重力式 コンクリートダム	堤高30m未満	漏水量、揚圧力
アーチ式 コンクリートダム	堤高30m以上	漏水量、変形、揚圧力

表-4.1-6 ダム構造物管理基準(日本ダム会議)

項目	区分	計測事項
重力及び 中空重力	堤高50m未満	漏水量、揚圧力
アーチ	堤高50m以上	漏水量、変形、揚圧力
重力及び 中空重力	堤高30m未満	漏水量、揚圧力
アーチ	堤高30m以上	漏水量、変形、揚圧力

注) 表-4.1-5及び表-4.1-6の「漏水量」は本手引きでいう「浸透量」を意味するが、文献からの抜粋であるため、そのままの表現とした

表-4.1-7 管理項目から想定される不具合と発生要因

項目	考えられる不具合の状態	発生要因
変形	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの発生、進展 継目の開き 堤体の不安定化 コンクリートの劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 止水板や充填グラウトの損傷 断面不足 経年劣化
漏水	<ul style="list-style-type: none"> 堤体下流面からの漏水量の増大、発生 基礎排水孔からの排水異常 監査廊継目からの漏水 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 基礎処理不足 排水管の目詰まり
その他堤体以外		

土地改良事業計画設計基準等では、計測項目の目的を整理している。これらから想定される不具合と発生要因についても同様に下表に整理した。

表-4.1-8 挙動計測の目的(土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書(コンクリートダム編))

完成後の安全管理
浸透量の監視
基礎地盤内の揚圧力(間隙水圧)の監視
貯水等に伴う堤体及び基礎地盤の変形の監視
地山地下水位の監視
地震時挙動の監視

表-4.1-7 管理項目から想定される不具合と発生要因

項目	考えられる不具合の状態	発生要因
変形	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの発生、進展 継目の開き 堤体の不安定化 コンクリートの劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 止水板や充填グラウトの損傷 断面不足 経年劣化
漏水	<ul style="list-style-type: none"> 堤体下流面からの漏水量の増大、発生 基礎排水孔からの排水異常 監査廊継目からの漏水 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 基礎処理不足 排水管の目詰まり
その他堤体以外		

4.2 維持管理における計測・巡視の要点

わが国のダムの安全管理は、計測と巡視により行われている。各計測、巡視項目に応じて適切な手法を「農業用ダム機能診断マニュアル」等を参照して設定し、補強・復旧（補修）の性能を継続的に調査し、把握していくことが重要である。

※参考資料：社会インフラメンテナンス学【ダム編】

（土木学会 社会インフラ維持管理・更新の重点課題検討特別委員会、2016）

(1) フィルダム

土地改良事業計画設計基準（以下「基準」という。）等により設置が義務づけられている計測装置は、ダムの堤体が概ね均一な材料によるアースダムでは浸透量（漏水量）、変形、浸潤線を、基準等で「その他のもの」と位置づけされているロックフィルダムでは浸透量（漏水量）、変形を計測する装置である。

1) 浸透量

フィルダムの浸透水は、堤体と比較的浅い基礎地盤を浸透してきた量をダム下流の測定水路（三角堰）で計測する方法が一般的である。なお、近年施工された中心遮水ゾーン型ダムでは、堤体内の下流フィルタ敷に止水壁を設けてブロックごとに区分して計測されている事例が多いが、古いダムでは下流の法先に設けられた測定水路に集水された量を計測している。

浸透量は、貯水位との関係図や経時変化図（降雨量、積雪量、貯水位などを併記）を作成して解析する。また、堤体からの浸透量については、計測方法を踏まえて、降雨や積雪、地山地下水位の影響を明確にしたうえで解析する必要がある。

2) 変形

フィルダムの変形量の計測は、堤体表面に設置された標的を用いた測量によることが一般的であるため、標的の設置状況を常に良好な状態に維持する必要がある。

計測結果については、経年変化図により経年的なクリープ変形量ないし圧密沈下量（以下、クリープ変形量という）を明確に把握するために、適宜定めた複数年おきの同一貯水位における変形量を図化する。

また、貯水位との関係図については、上下流方向、左右岸方向の変形挙動を適宜定めた複数年おきの貯水位の上下1サイクルが比較できるように図化することが望ましく、同一貯水位におけるクリープ変形量の増減傾向にも着目する。

3) 浸潤線（アースダムのみ）

アースダムの下流側における浸潤線の計測は、ボーリング孔を利用した水位観測孔及び堤体内に埋設された間隙水圧計で計測することが一般的である。よって、水位観測孔の設置状況を常に良好な状態に維持する必要がある。

計測結果については、経年変化図により経年的な変化を明確に把握できるように整理する。一方で、水位観測孔で計測された堤内水位は、浸潤線位置と一致しないことが多く、観測孔の仕上げ構造（ストレーナー位置や孔底標高等）に対応した評価方法について慎重な検討が必要である。浸潤線位置は、ダムの安定性を決定づける大きな因子（すべり面に作用する間隙水圧）であることを十分に認識し、評価することが重要である。

なお、巡視による点検は、計測装置による計測では把握できないダム施設の状態を把握するために行うものであり、ダム施設における異状発生やその兆候の有無を確認する上で重要な手段である。

(2) コンクリートダム

土地改良事業計画設計基準（以下「基準」という。）等により設置が義務つけられている計測装置は、重力式コンクリートダムでは浸透量（漏水量）、変形（堤高 50m 以上）、揚圧力、アーチダムでは浸透量（漏水量）、変形、揚圧力（堤高 30m 以上）を計測する装置である。

ダム挙動の安定性を判断する際には、計測値の経時変化図や貯水と計測値の相関図のほか、主たる荷重である水圧（貯水位）が類似する条件下での計測値の経時変化を整理することが重要である。

1) 浸透量

通常計測している浸透水は、基礎排水孔と継目排水管（アーチダム除く）からの 2 種類に大別される。基礎排水孔からの浸透水は、揚圧力低減のために積極的に基礎地盤内の浸透流を監査廊内に導いているものであり、そのことから排水量ともいえる。基礎排水孔からの浸透水に対する評価は、その経時的な変化、貯水位との関係に着目して行われる。しかしながら、その量が非常に多い場合には、基礎地盤の遮水機能の不具合を示すことも考えられるので注意が必要である。

また、経年的に浸透量が減少してきた場合には、基礎地盤内の浸透流が減少してきたと考えられるが、基礎地盤の遮水対策に使われたセメントを由来とする物質等が基礎排水孔を詰まらせていることもあるため、孔内洗浄等を実施し、基礎排水孔の中の状態を常に良好に保つことが重要である。

継目排水管は、堤体のブロック間の横継目の止水板の背後に設置されており、止水板を回りこんできた浸透水を監査廊内に導いているものである。これにより計測される浸透水は、堤体の上流面から水平打継目やひび割れ等を介して貯水が漏れてきたものであり、その量によっては、堤体上流面において止水対策が行われる。

2) 揚圧力

通常、揚圧力はダム軸方向に沿った底部の監査廊内に設置してある基礎排水孔を用い、その孔からの排水を止めた状態で、その基礎排水孔内に生じる圧力を口元に設置した圧力計で計測するが、さらに揚圧力を計測する専用孔を設けて計測する場合もある。基礎排水孔は、1 ブロック（重力式コンクリートダムの場合、一般に 15m 幅）にダム軸方向に 3 本設置してあることが多く、それら基礎排水孔を全孔一斉に閉塞して計測する方法と、一孔おきに隔孔閉塞して計測する方法があり、後者の方法での計測が多い。

通常の状態では基礎排水孔は全て開口していることから、基礎排水孔を用いて計測された圧力値は、通常の状態よりも高めに計測されるという特徴がある。そのため、基礎排水孔を用いて計測された揚圧力と設計で考慮している揚圧力を比較する際には注意が必要となる。管理段階では、絶対値としての大きさは評価の対象となるが、揚圧力の評価に際しては、特にその経時的な変化、貯水位との関係に着目して行われる。圧力計については、その計器の特性にあわせて、常に良好な計測が行えるように整備する必要がある。

また、ダムによっては、上下流方向の揚圧力の分布を知るために、クロスギャラリー（上下流方向の監査廊）でも、基礎排水孔や基礎地盤の接合部付近に設置した間隙水圧計により計測することもある。

3) 変形

通常、変形計測は堤体内に設置されたプラムラインで、堤体上部と底部の間の変位差を計測する。アーチダムの場合には、堤体断面がオーバーハングする形状のため、複数の段に分けてプラムラインを設置する場合がある。また、ダムによっては、基礎地盤深部と堤体底部の変位差を計測する目的で、リバースプラムラインを設置してある場合もある。

変位計測値は、貯水位との関係に着目して整理されるのが一般的であるが、外気温や堤体内温度（分布の状態）によっても影響を受けて変動するので、整理・分析の際には、ダム毎の挙動変化の特徴を十分考慮することが必要である。堤体内の変位は、試験湛水時に大きな計測値が確認されることが多いが、その後はほぼ貯水位の変動に対応した変動傾向を示す。

なお、変形量の計測は、堤体天端に設置された標的を用いた測量によるケースもあるため、標的の設置状況を常に良好な状態に維持する必要がある。

コンクリートダムの挙動は、上記のように浸透量、揚圧力、変形を計測することによって定量的に評価している。ダムの安全性を判断するには、これらの計測に加えて巡視が必要である。例えば基礎排水孔からの浸透水の濁りの有無、堤体表面のひび割れの有無、予期しない場所からの堤体浸透水の有無などを確認することにより、計器を用いた計測では確認できない現象の把握が可能となる。

コンクリートダム（重力式コンクリートダム、アーチダム）と橋梁など他のコンクリート構造物との構造上の大きな違いは、コンクリートダムは基本的に無筋のマスコンクリート構造である点にある。このため、ダム本体の大部分を占める無筋コンクリート部では、鉄筋コンクリート構造物のように鉄筋の腐食に伴うコンクリートの劣化が問題になることはない。

日常の巡視により堤体コンクリートのひび割れや目地からの滲み出し等を発見した場合には、変状の発生原因の究明や補修の要否を判断するために、施工時の補修記録を整理しておくことが望ましく、その発生時期やひび割れの進展などの継続的な挙動観察の記録を残すことが必要である。また、その変状がいつから発生したのか不明なケースも有りうるため、定点の写真撮影等を行っていくことも有効である。

コンクリートダム堤体の劣化は、仮に生じたとしてもダムの全体積と比較してその規模が小さいために、劣化が直接ダムの構造安定上支障となる可能性は極めて小さいと考えられる。しかし、変状部の早期発見を行うことで、局所的な劣化によるコンクリート片の剝離落下等の管理者や第三者に対する危険防止を図ることができる。

(3) 補強・復旧（補修）を行った箇所

補強・復旧（補修）の施工は、対策前の堤体に一体化させるように、慎重な設計や施工が行われる。そのため、対策後の管理は、各工法別に特別な手法を用いる必要性は低いものと考えられる。ただし、各工法の設計や施工において、特殊な材料や施工方法の採用、特筆すべき気象条件下での施工が行われた場合は、施設管理者にそれらの情報を引き継ぎ、情報を共有することが極めて重要である。

具体例及び留意点を次に示す。

<具体例 1>

フィルダムにおいて、旧堤体材料と押え盛土材料の剛性が大きく相違する材料を選定、した、断面形状が法面の途中で大きく変化する等の場合、押え盛土と旧堤体の境界（断面急変部）における不等沈下や亀裂の発生に対する巡視項目を特別に追加するなどの配慮が必要である。コンクリートダムにおける腹付の境界部についても同様である。

<具体例 2>

フィルダムにおいて表面遮水工を採用した場合、特に遮水シートの耐久性に対する監視は重要である。耐久性の観点（耐紫外線等の課題）から、材料の表面には覆土されることがほとんどのため、目視観察ができないという特徴がある。よって、新たに開発された材料に対しては、耐久性の現地実証が十分でないことから、原位置において暴露状態のサンプル材料を経過観察する等の特別な監視を行うことも重要である。

<具体例 3>

コンクリートダムにおいてアンカー補強を行った場合は、地すべり対策工でのアンカー管理手法などを準用し、あらかじめ管理項目や管理規定等を設定しておくことが重要である。

<具体例 4>

特別な気象条件下での施工の具体例として、施工中に集中豪雨を経験した、冬期休止期間を設けた、大規模地震を経験した場合等が挙げられる。施工時の処置方法や対応の記録について、施設管理者と情報共有し、該当箇所に目視観察の定点を設けるなどの対応について施設管理者に引き継いでいくことが重要である。