

第2章 補強・復旧(補修)の概要・要求性能及び工法の選定

2.1 補強・復旧(補修)の概要

ダム補強・復旧(補修)は、補強・復旧(補修)後のダムが有する機能を十分考慮した上で実施しなければならない。

- (1) 補強は、主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること（農業用ダムにおける位置付け：レベル2地震動に対して、ダムが損傷を受けたとしても貯水機能が維持される程度にとどまるための対策及び、レベル1地震動に対して所要の安全率を満足させるための対策）を目的として行う。
- (2) 復旧は、主に従前施設の機能が発揮できるまで施設の耐荷性や剛性等の力学性能を回復させること（農業用ダムにおける位置付け：主として地震等に伴う損傷に対して、従前の機能（効用）まで力学性能を回復させること）を目的として行う。
- (3) 補修は、主に施設の耐久性を回復又は向上させること（農業用ダムにおける位置付け：老朽化に対する機能劣化・損傷に対して、耐久性を回復又は向上させること）を目的として行う。

第2.1章の記述範囲

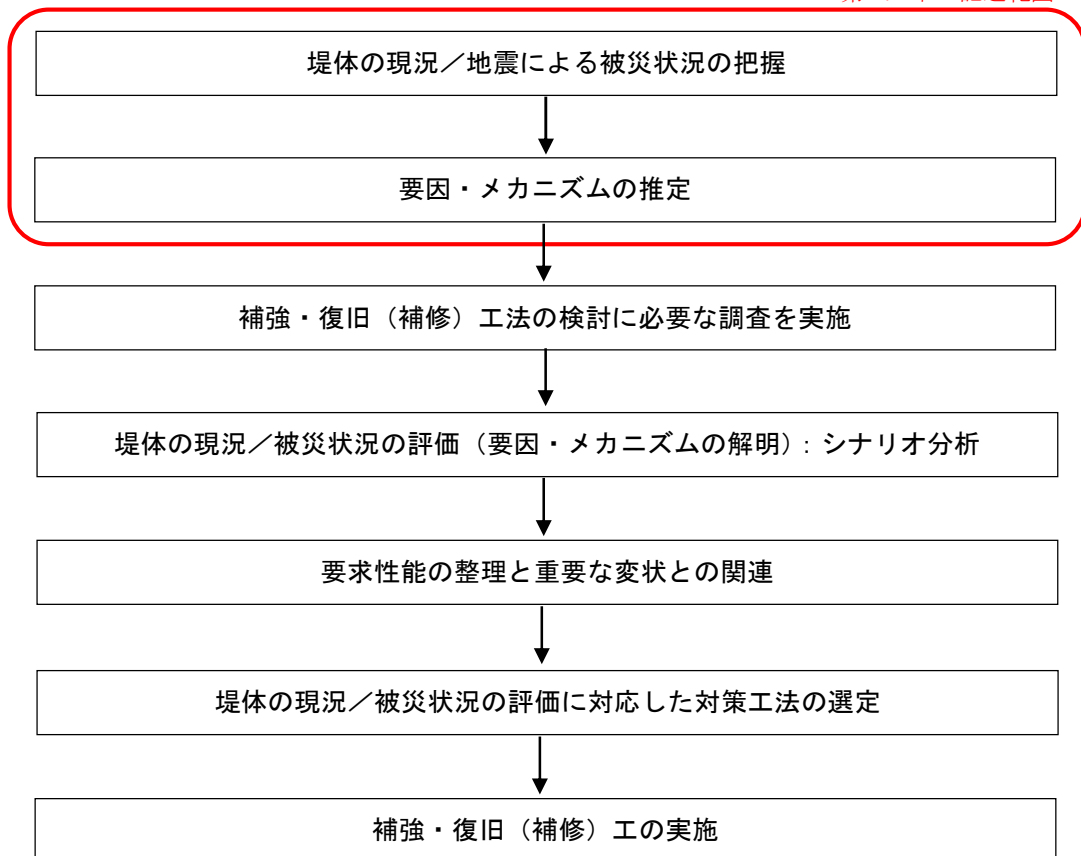


図-2.2-1 補強・復旧(補修)工の実施フロー

(1) 補強工法

1) 補強工法の考え方 (※)

(※) 参考資料：ダム技術 No. 227

【フィルダム】

地震時の堤体の安定性向上のためには、「堤体のすべり破壊に対する安全性を向上させる案」、または「変形抑制案」が基本であり、有効であると考えられる。

堤体または基礎に液状化の可能性がある場合には、「浸潤線を低下させて地震時の過剰間隙水圧の上昇を抑える案」、または「堤体及び基礎の強度を大きくする（液状化に対する抵抗を増やす）案」が基本であり、有効であると考えられる。

想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-1 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生の要因	要因解明のための調査
変形	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体のすべり破壊 ・堤体のすべり破壊以外の変形（沈下、浮き上がり等） 	<ul style="list-style-type: none"> ・所要の安全率不足 ・基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析
浸潤線	<ul style="list-style-type: none"> ・浸潤線が高く不安定 	<ul style="list-style-type: none"> ・フィルター・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 	
漏水	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体下流面、地山境界部からの漏水の発生 ・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"> ・浸潤線の上昇 ・フィルター・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） ・フィルター・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） 	

【重力式コンクリートダム】

地震時の堤体の安定性向上のためには、「断面変化点・堤踵部・堤趾部等への応力集中や発生応力を低減させる案」、または「クラック発生箇所を対策により、引張・せん断に抵抗させる案」が基本であり、有効であると考えられる。

想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-2 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生の要因	要因解明のための調査
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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ（建設時、経年、構造的） ・止水板や充填グラウトの損傷 ・断面不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析
漏水	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体下流面からの漏水の発生、増減 ・基礎排水孔、継目排水管からの浸透量の増大 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ（建設時、経年、構造的） ・基礎処理不足 	

【アーチダム】

地震時の堤体の安定性向上のためには、「堤体への応力集中や発生応力を低減させる案」、または「クラック発生箇所を補強等により、引張・せん断に抵抗させる案」が基本であり、有効であると考えられる。

想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-3 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生要因	要因解明のための調査
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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ(建設時、経年、構造的) ・止水板や充填グラウトの損傷 ・断面不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験
漏水	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体下流面からの漏水の発生、増減 ・基礎排水孔からの浸透量の増大 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ(建設時、経年、構造的) ・基礎処理不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析

2) 補強が必要となる不具合の要因 (まとめ)

【フィルダム】

- ① 所要の安全率不足
- ② 基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性
- ③ 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)
- ④ 周辺地山の地下水状況変化
- ⑤ 浸潤線の上昇
- ⑥ 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)
- ⑦ 強度不足 (液状化に対する抵抗が低い)

【重力式コンクリートダム】

- ① ひび割れ
- ② 止水板や充填グラウトの損傷
- ③ 断面不足
- ④ 基礎処理不足

【アーチダム】

- ① ひび割れ
- ② 止水板や充填グラウトの損傷
- ③ 断面不足
- ④ 基礎処理不足

(2) 復旧（補修）工法

1) 復旧（補修）工法の考え方

【フィルダム】

地震によるフィルダム堤体の被災は、ほとんどが天端付近の被災や上下流法面の表層崩壊である（堤頂部のクラックや沈下、堤頂法肩部波返工（パラペット）部の損傷、上下流法面のすべり破壊・はらみだしの変状が確認されている）。

これらの変状は、地震動により天端が大きく揺らされた事による引張力発生や堤体材料の低い締固め度に起因するものと考えられる。また、波返工（パラペット）の損傷は堤体（土質材料）と波返工（パラペット：コンクリート）の応答特性（剛性）の違いによるものと考えられる。

想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-4 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生要因	要因解明のための調査
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、堤体ゾーニングの特殊性 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析
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） 	

【重力式コンクリートダム】

重力式コンクリートダムの復旧（補修）工法は、被災内容により工法が異なる。
想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-5 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生要因	要因解明のための調査
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（建設時、経年、構造的） ・止水板や充填グラウトの損傷 ・断面不足 ・経年劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析
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（建設時、経年、構造的） ・基礎処理不足 ・排水管の目詰まり ・経年劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析

【アーチダム】

アーチダムの復旧（補修）工法は、被災内容により工法が異なる。
想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表を以下に示す。

表-2.1-6 想定される不具合と発生要因、要因解明のための調査一覧表

項目	考えられる不具合の状態	発生要因	要因解明のための調査
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（建設時、経年、構造的） ・止水板や充填グラウトの損傷 ・断面不足 ・経年劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析
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（建設時、経年、構造的） ・基礎処理不足 ・経年劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験 ・地質調査 ・計測データ収集、分析 ・室内試験 ・解析

2) 復旧（補修）が必要となる不具合の要因（まとめ）

【フィルダム】

- ① 所要の安全率不足
- ② 基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性
- ③ 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）
- ④ 周辺地山の地下水状況変化
- ⑤ 浸潤線の変化（上昇、低下）
- ⑥ 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）
- ⑦ 強度不足（液状化に対する抵抗が低い）
- ⑧ 経年劣化
- ⑨ 地震動に対する応答特性の違い

【重力式コンクリートダム】

- ①ひび割れ
- ②止水板や充填グラウトの損傷
- ③断面不足
- ④基礎処理不足
- ⑤経年劣化
- ⑥排水管の目詰まり

【アーチダム】

- ①ひび割れ
- ②止水板や充填グラウトの損傷
- ③断面不足
- ④基礎処理不足
- ⑤経年劣化
- ⑥排水管の目詰まり

2.2 補強・復旧(補修)工法の検討に必要な調査

補強・復旧工法選定のための調査は、現在までに得られている知見や収集した事例を基に整理した。

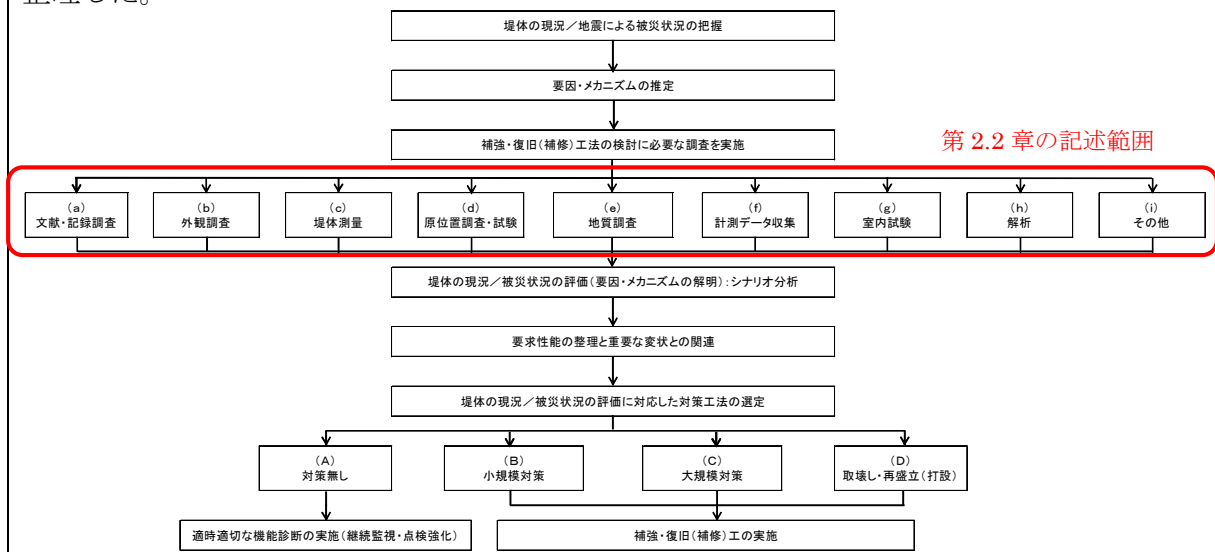


図-2.2-1 フィルダム補強・復旧(補修)工の実施フロー

(1) 補強・復旧(補修)工法の検討に必要な調査

補強・復旧(補修)工法選定のための調査は、確認される変状に対して過不足なく、また定量的な指標をより効果的に得ることが可能な方法を選定する必要がある。

詳細調査方法は、以下のように分類される。

- ①文献・記録調査 … 基本図面、ダム技術資料、施工記録、調査・補修等履歴図
- ②現地調査 … 外観調査(目視確認、写真撮影、スケッチ、計測等)
測量(縦横断・平面測量等)
原位置調査・試験(現場密度・透水試験、調査ボーリング等)
計測データ収集(観測データの挙動確認)
- ③室内試験 … 土質試験、コンクリート試験等
- ④解析 … 安定解析、浸透流解析等の数値解析による堤体の安定性評価

農業用ダムで確認される変状について、各ダムタイプでの調査内容と調査目的を整理した。なお、具体的な調査の方法や調査に必要な資機材、また調査結果の整理・評価等に関するポイントを巻末資料3に整理した。

また、この資料は既往の調査事例や文献等を参考にまとめたものであり、現場条件や変状の状態、さらに調査実施段階での新たな技術の開発状況を考慮することが必要である。

①フィルダム

フィルダムの補強・復旧（補修）工法の検討に必要な調査を以下に示す。

表-2.2-1 フィルダム補強・復旧工法の検討に必要な詳細調査一覧表

	調査方法	調査目的	調査内容
(a)	文献・記録調査	ダム特性を把握するために必要な基本情報を収集する。	ダム基本図面、地質関係図面、計測計器点検記録、ダム技術資料、ダム委員会資料、施工記録、検査記録、調査・補修等履歴
(b)	外観調査	ダムの現況・被災状況(変状程度)を把握する。	目視確認、写真撮影、計測、スケッチ等
(c)	堤体測量	堤体の変形程度を定量的に把握する。	堤体の縦横断・平面測量
(d)	原位置調査・試験	堤体材料の性状、ゾーニング等の形状、変状範囲(掘削除去範囲)を把握する。	現場密度・透水試験、コーン貫入試験、トレンチ調査、調査ボーリング等
(e)	地質調査	堤体基礎及び両岸地山性状、築堤材料に関する基本情報を把握する。	目視確認、写真撮影、湧水状況確認、スケッチ、トレンチ調査、調査ボーリング、試料採取等
(f)	計測データ収集、分析	変状要因の解明のため、堤体の経年的な挙動変化を把握する。	観測データ(浸透量、間隙水圧計、表面変位計、孔内水位計、地震計 [※] 等)の収集、分析
(g)	室内試験	堤体材料の物理・力学特性、ダム周辺環境を把握する。	採取試料の土質試験、水質分析等
(h)	解析	ダムの水理・力学的安定性を定量的に評価する。	安定計算、浸透流解析等の数値解析による評価
(i)	その他	特別な制約条件等について把握する。	かんがい時期等における貯水条件のヒアリング、用地測量、水文データ収集、埋設物調査等

※ 現在、地震波及び常時微動の伝播速度(特性)により、堤体の剛性及び強振動に起因する堤体内の力学特性の変化を評価・監視する研究がなされている

②重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムの補強・復旧（補修）工法の検討に必要な調査を以下に示す。

表-2.2-2 重力式コンクリートダム補強・復旧工法の検討に必要な詳細調査一覧表

	調査方法	調査目的	調査内容
(a)	文献・記録調査	ダム特性を把握するために必要な基本情報を収集する。	ダム基本図面、地質関係図面、計測計器点検記録、ダム技術資料、ダム委員会資料、施工記録、検査記録、調査・補修等履歴
(b)	外観調査	ダムの現況・被災状況(変状程度)を把握する。	目視確認、写真撮影、計測、スケッチ等
(c)	堤体測量	堤体の変形程度を定量的に把握する。	堤体の縦横断・平面測量
(d)	原位置調査・試験	クラック範囲の特定、堤体着岩部及び基礎地盤内の性状を確認する。	超音波法、衝撃弾性法等の非破壊検査、ボーリング調査(ポアホールスキャナ等)
(e)	地質調査	堤体基礎及び両岸地山性状に関する基本情報を把握する。	目視確認、写真撮影、湧水状況確認、スケッチ、トレンチ調査、調査ボーリング、試料採取等
(f)	計測データ収集、分析	変状要因の解明のため、堤体の経年的な挙動変化を把握する。	観測データ(浸透量、ブルドン管式圧力計、間隙水圧計、ブルムライン、地震計 [※] 等)の収集、分析
(g)	室内試験	堤体材料の物理・力学特性、ダム周辺環境を把握する。	採取試料のコンクリート試験、水質分析等
(h)	解析	ダムの水理・力学的安定性を定量的に評価する。	安定計算、浸透流解析等の数値解析による評価
(i)	その他	特別な制約条件等について把握する。	かんがい時期等における貯水条件のヒアリング、用地測量、水文データ収集、埋設物調査等

※ 現在、地震波及び常時微動の伝播速度(特性)により、堤体の剛性及び強振動に起因する堤体内の力学特性の変化を評価・監視する研究がなされている

③アーチダム

アーチダムの補強・復旧（補修）工法の検討に必要な調査を以下に示す。

表-2.2-3 アーチダム補強・復旧工法詳細調査一覧表

	調査方法	調査目的	調査内容
(a)	文献・記録調査	ダムの特性を把握するために必要な基本情報を収集する。	ダム基本図面、地質関係図面、計測計器点検記録、ダム技術資料、ダム委員会資料、施工記録、検査記録、調査・補修等履歴
(b)	外観調査	ダムの現況・被災状況(変状程度)を把握する。	目視確認、写真撮影、計測、スケッチ等
(c)	堤体測量	堤体の変形程度を定量的に把握する。	堤体の縦横断・平面測量
(d)	原位置調査・試験	クラック範囲の特定、堤体着岩部及び基礎地盤内の性状を確認する。	超音波法、衝撃弾性法等の非破壊検査、ボーリング調査(ポアホールスキャナ等)
(e)	地質調査	堤体基礎及び両岸地山性状に関する基本情報を把握する。	目視確認、写真撮影、湧水状況確認、スケッチ、トレンチ調査、調査ボーリング、試料採取等
(f)	計測データ収集、分析	変状要因の解明のため、堤体の経年的な挙動変化を把握する。	観測データ(浸透量、ブルドン管式圧力計、間隙水圧計、ブルムライン、地震計 [※] 等)の収集、分析
(g)	室内試験	堤体材料の物理・力学特性、ダム周辺環境を把握する。	採取試料のコンクリート試験、水質分析等
(h)	解析	ダムの水理・力学的安定性を定量的に評価する。	安定計算、浸透流解析等の数値解析による評価
(i)	その他	特別な制約条件等について把握する。	かんがい時期等における貯水条件のヒアリング、用地測量、水文データ収集、埋設物調査等

※ 現在、地震波及び常時微動の伝播速度(特性)により、堤体の剛性及び強振動に起因する堤体内の力学特性の変化を評価・監視する研究がなされている

2.3 現況堤体／被災状況の評価（要因・メカニズムの把握）：シナリオ分析

前項の詳細調査を基に、堤体の現況及び地震による被災状況を把握し、対策工法選定に資するように、変状等の発生要因・メカニズムについて正確な評価を行わなければならない。

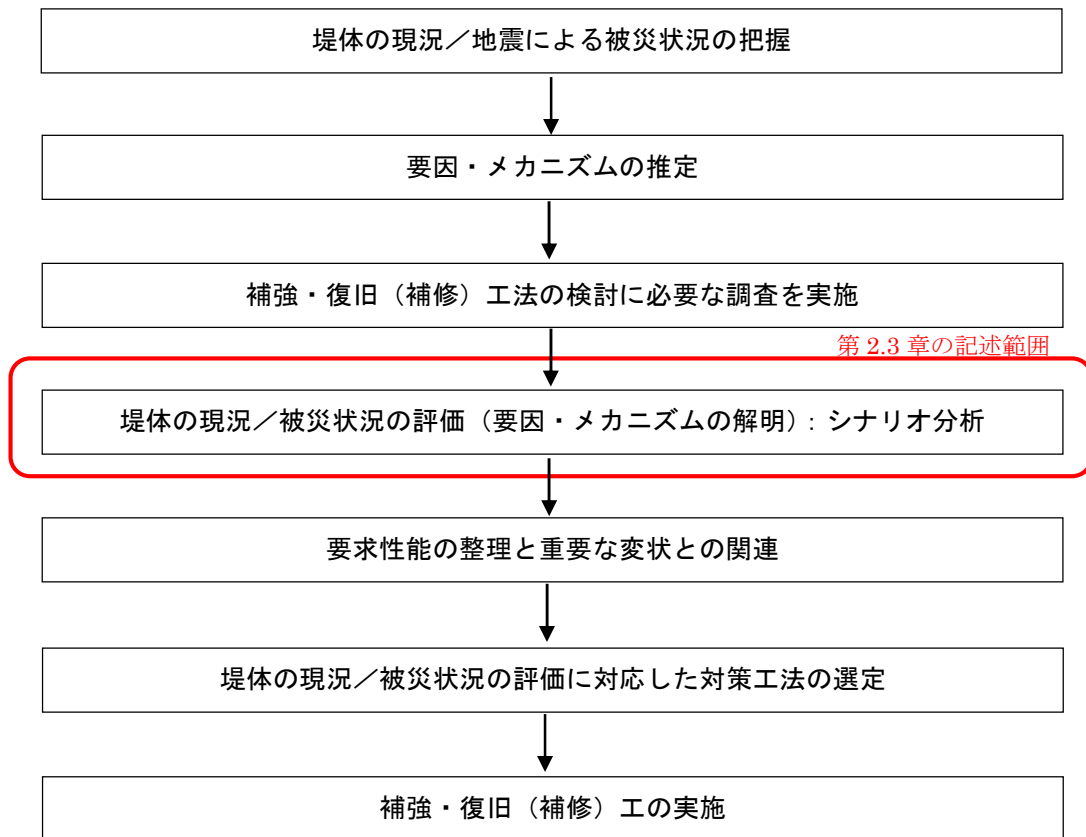


図-2.3-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

※シナリオ分析

現在までに得られている知見や経験的な評価（既設のダムで確認される変状の事例や既往文献資料から類推される因果関係等）に基づき、変状要因の把握と機能低下の進行予測を行うこと

(1) シナリオ分析による現況堤体／被災状況の評価

変状要因の把握及び機能低下の進行予測を行い現況堤体の評価を行うこととしたシナリオ分析は、工種・性状毎に以下のとおり5種類作成した。

- ①フィルダム：堤体の変形に伴う機能低下のシナリオ分析（p. 19）
- ②フィルダム：堤体の漏水・湿潤化に伴う機能低下のシナリオ分析（p. 20）
- ③コンクリートダム：洪水吐の変形に伴う機能低下のシナリオ分析（p. 21）
- ④コンクリートダム：堤体の観測計器の挙動に関連する機能低下のシナリオ分析（p. 22）
- ⑤共通項目：基礎処理部の観測計器の挙動に関連する機能低下のシナリオ分析（p. 23）

また、このシナリオの適用にあたっては、以下の点に留意する必要がある。

- ・作成したシナリオは、農業用ダムでみられる一般的な変状と機能低下の進展の方向を示したものである
- ・シナリオの中の要素（変状）が必ず次の変状に進行するものではなく、環境条件や変状の発生要因によっては、ある段階で留まる可能性もある
- ・健全度と変状の位置付けは、現段階では相対的な評価に留まっている
- ・変状の進展に関する確率等の定量的な判断は未確立である

(2) 確認される変状と機能低下による健全度区分

現場で直接確認される変状、また観測計器・埋設計器等により間接的に確認される挙動の変化から、「現在生じている変状がどのような原因・要因で発生・進展し、今後どのような劣化・機能低下を生ずる可能性があるか」、「ダムの機能に関して、現状でどの程度低下しているか」という評価を本書に示すシナリオ分析を参考に行い、対策の要否を判断することが有効であると考えられる。

「確認される変状」及び「機能低下の程度」による健全度区分の分類を以下のように整理した。

表-2.3-1 健全度区分一覧表

健全度区分	確認される「変状」の程度	「機能低下」の程度
I	変状は確認されない	機能低下は生じていない
II	軽微な変状が確認される	機能低下は顕在化していない
III	変状の進行が確認される	機能低下が顕在化している
IV	重大な変状が確認される	機能そのものの損失に至る可能性がある

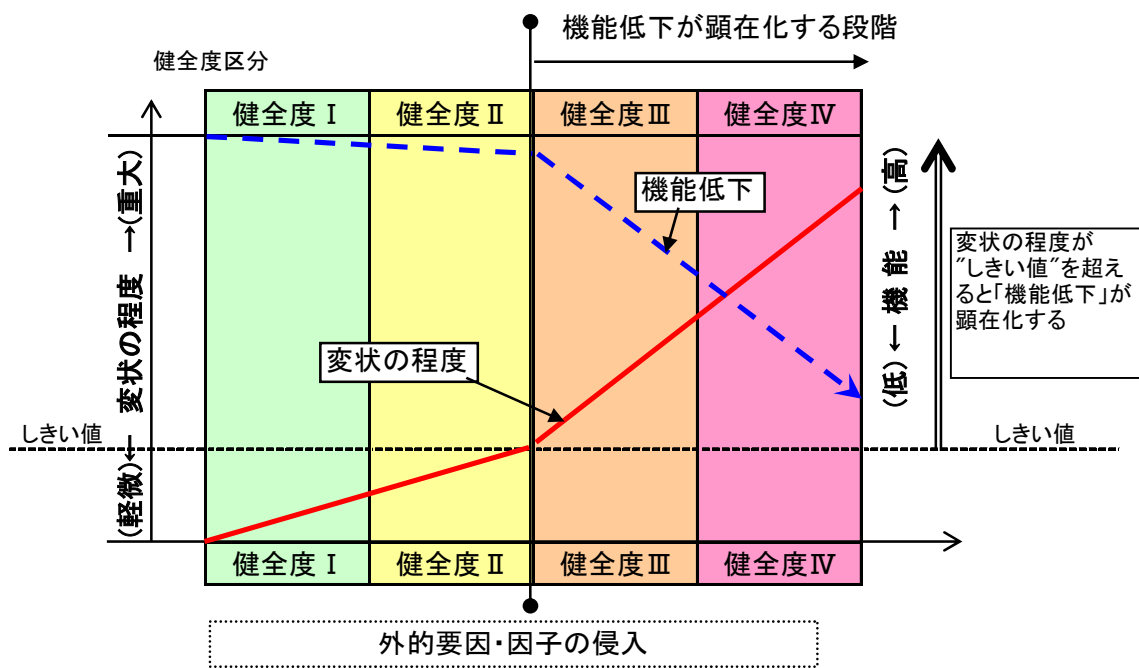
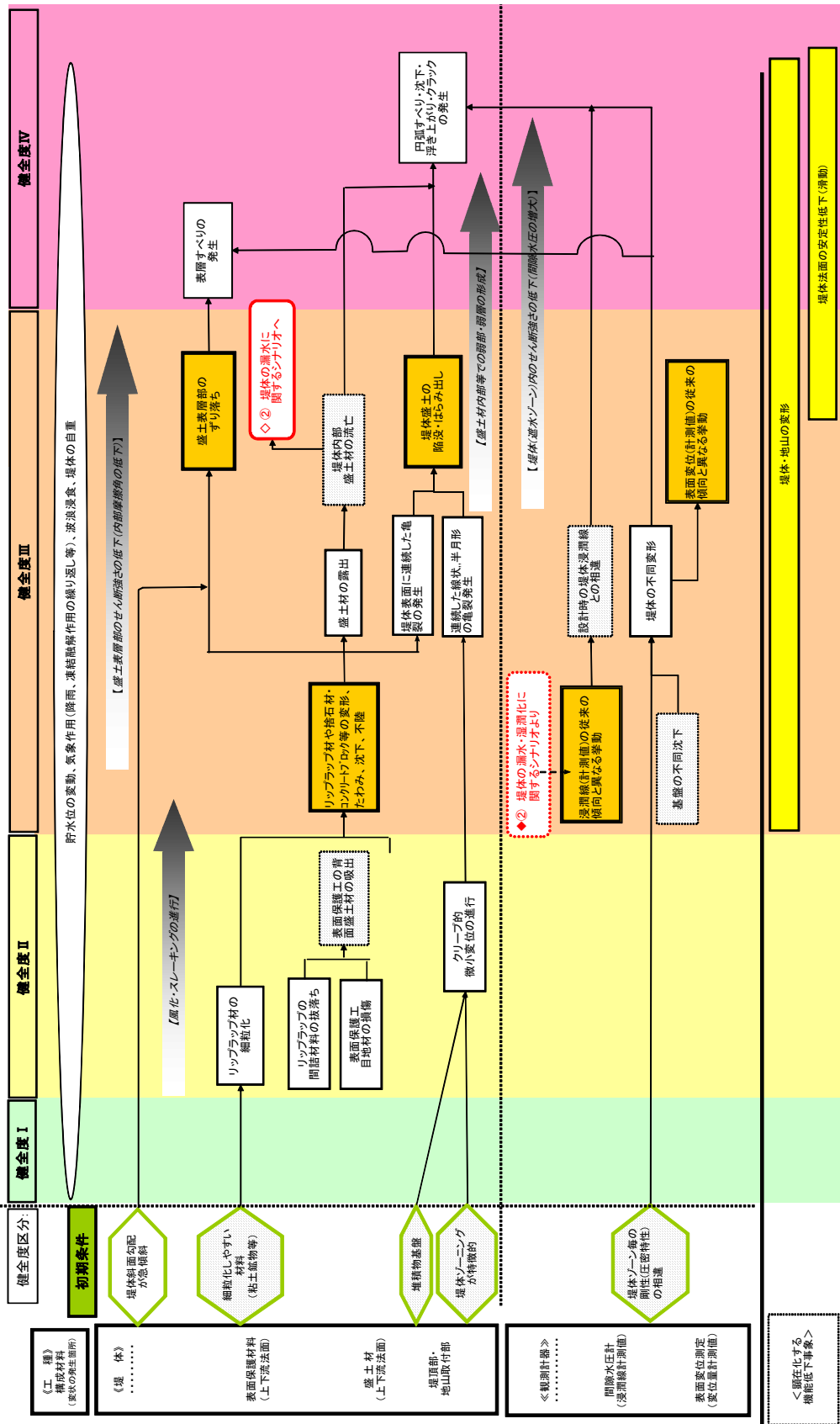


図-2.3-2 変状の進行と機能低下の概念図



※1 本資料は、長期使用ダムの変状要因と機能低下の進行予測についてシナリオ分析を用いて、ダムの変状事例とこれに対する一般的な評価に基づき整理したものである。

※2 個別ダム毎に構造、環境等が異なるため、現地で確認される変状や想定される要因を適切に分析、整理すること。

図-2.3-3 フィルダム：堤体の変形に伴う機能低下のシナリオ分析

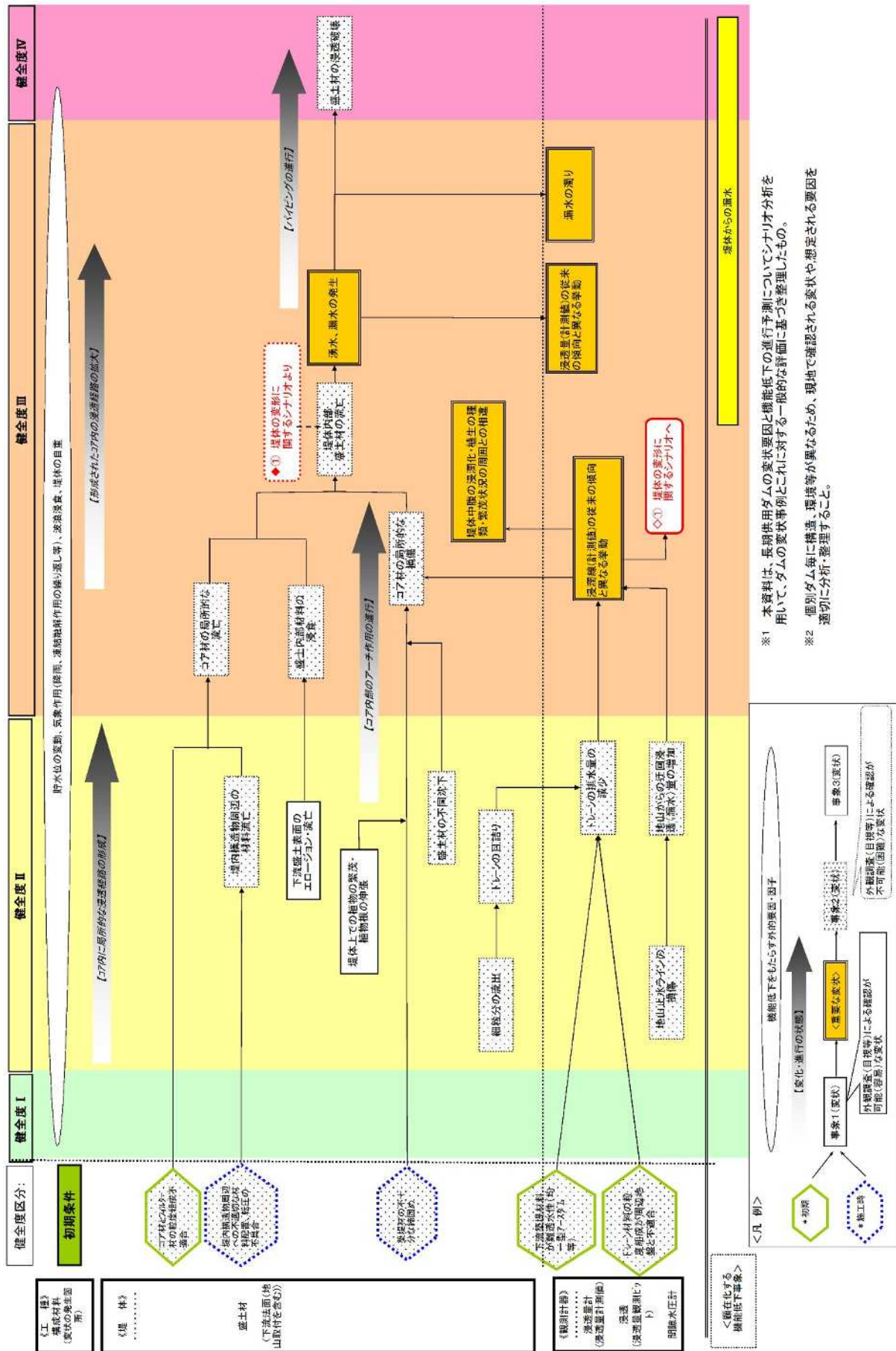
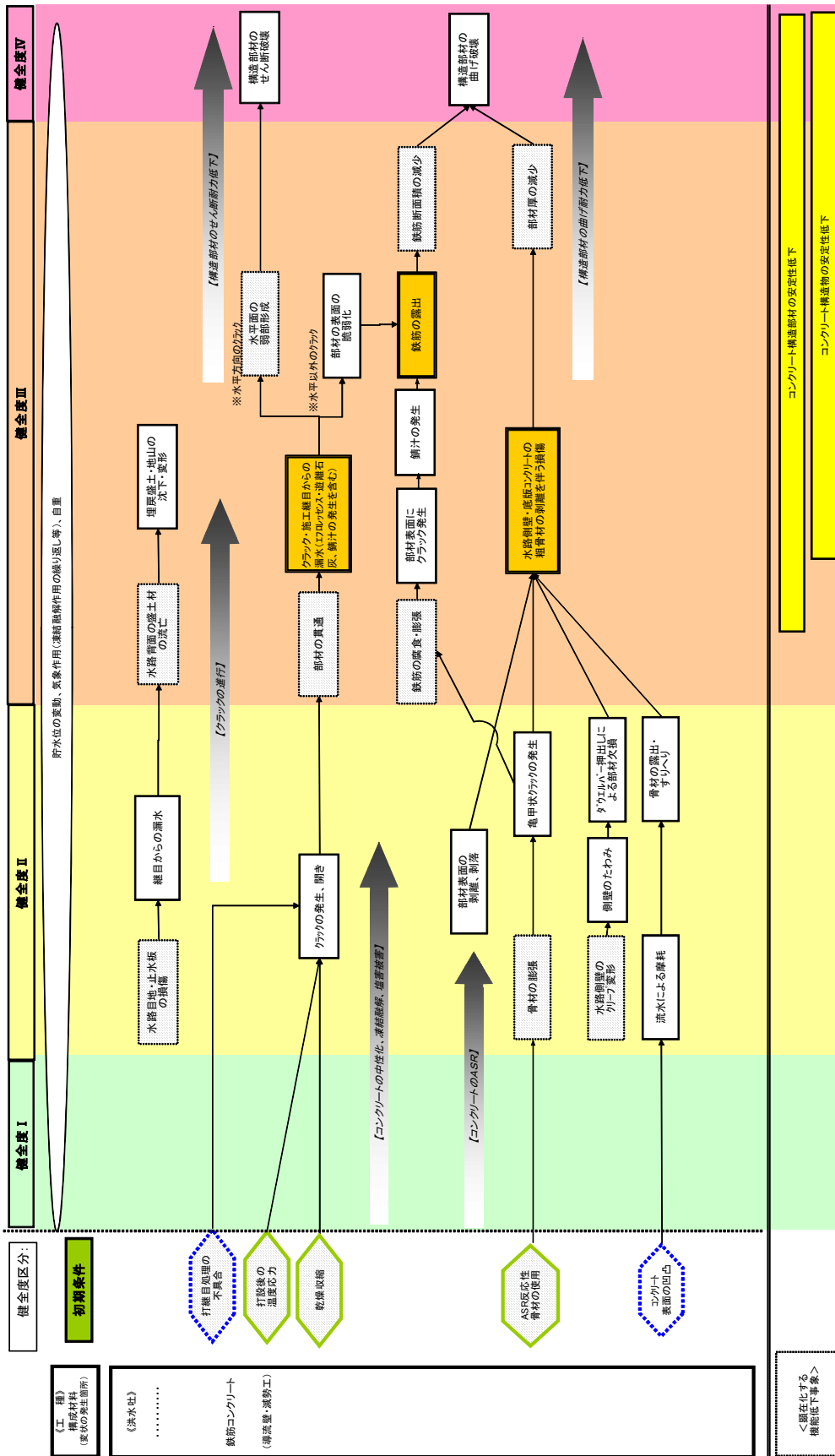


図-2.3-4 フィルダム：堤体の漏水・湿潤化に伴う機能低下のシナリオ分析



※1 本資料は、長期供用ダムの変状要因と機能低下の進行予測についてシナリオ分析を用いて、ダムの変状事象とこれに対する一般的な評価に基づき整理したものである。

※2 個別ダム毎に構造、観測等が異なるため、現地で確認される変状や想定される要因を適切に分析・整理すること。

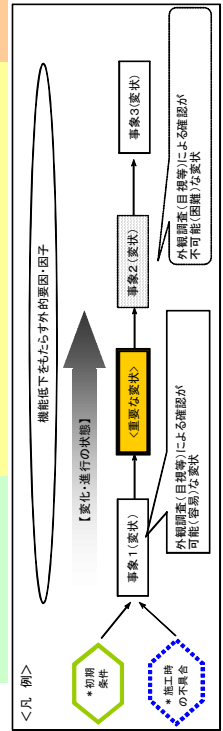
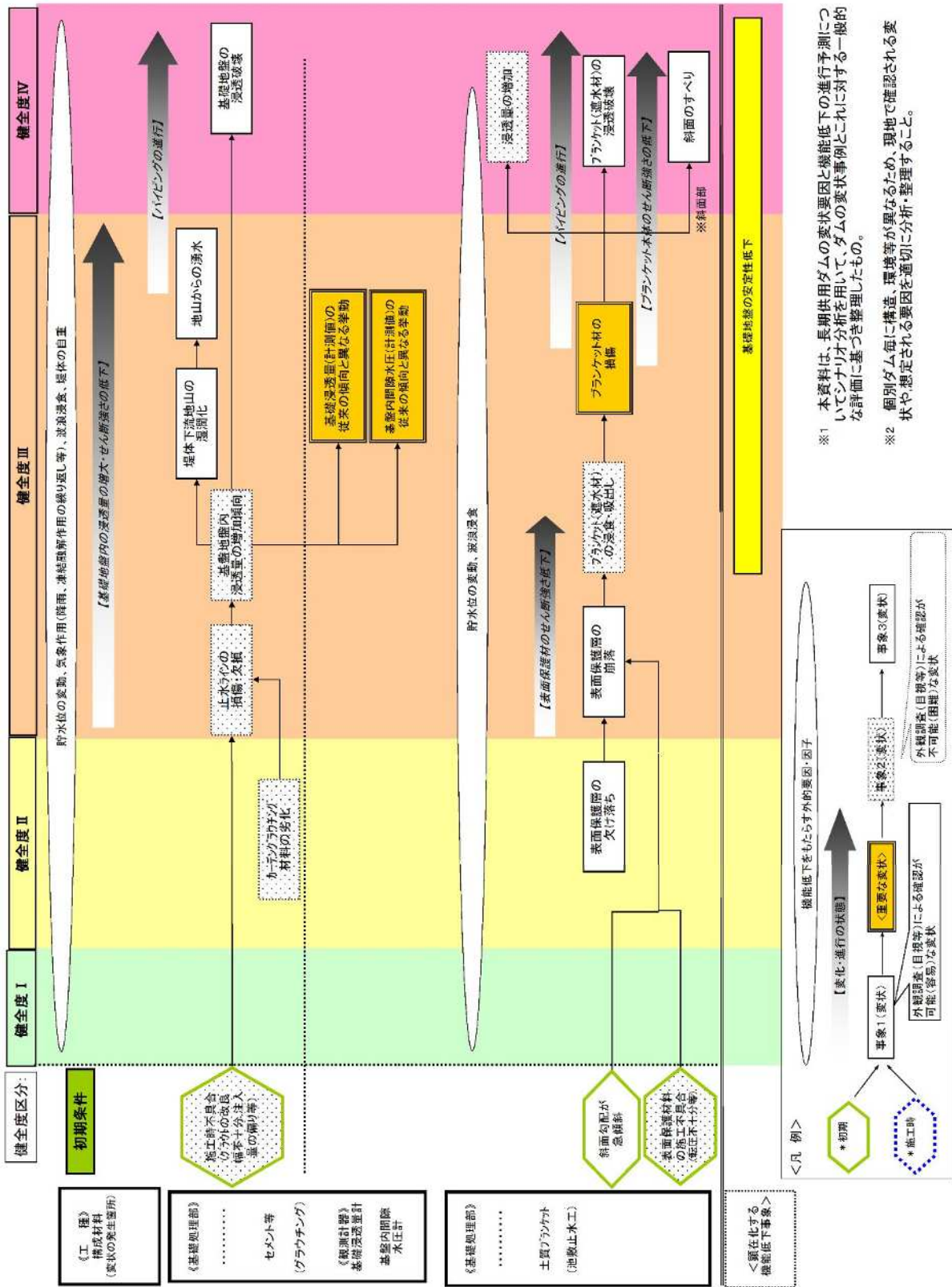


図-2.3-5 コンクリートダム：洪水吐の変形に伴う機能低下のシナリオ分析



※1 本資料は、長期供用ダムの変状要因と機能低下の進行予測についてシナリオ分析を用いて、ダムの変状事例とこれに対する一般的な評価に基づき整理したものである。

※2 個別ダム毎に構造、環境等が異なるため、現地で確認される変状や、想定される要因を適切に分析・整理すること。

図-2.3-7 共通項目：基礎処理部の観測計器の挙動に関連する機能低下のシナリオ分析

2.4 補強・復旧(補修)工法に求められる性能

農業水利施設の機能の分類方法に関して、水理的機能、水利的機能、構造的機能に分類する方法など、いくつかの方法が提案されているが、いずれの方法もまだ確立されていない状況にある。

ここでは、農業用ダムの機能の内容及び機能の低下に係る事象を分かりやすくするため、機能を設計VEにおける機能分析手法(「～を～する」という形式)を参考に、次頁に示す表のように分類整理した。

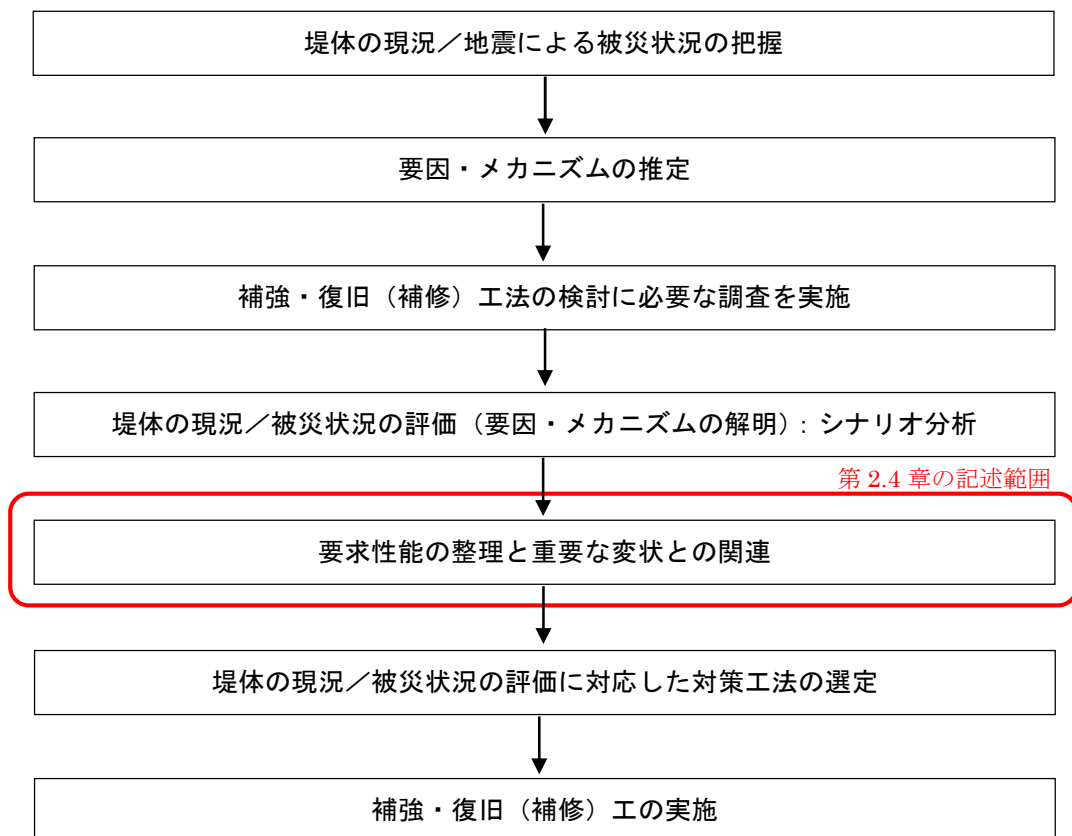


図-2.4-1 補強・復旧(補修)工の実施フロー

(1) 補強・復旧（補修）工法に求められる性能

下表のうち、本手引きに関係する部分は着色箇所である。

表-2.4-1 農業用ダムの機能と求められる性能（水理的安定性及び構造的安定性）一覧表

番号	機能の名称	機能分析	機能の定義	機能低下事象	求められる性能
1	貯水機能	水を貯める	用水計画における必要水量の貯留が可能であること	①堤体からの浸透量の増加 ②基礎地盤（地山を含む）からの浸透量の増加 ③堆砂による貯水容量の減少	水理的安定性
2	取水機能	水を取る、流す	必要水量の取水及び放流が可能であること	①堆砂による取水設備の埋設 ②取水・放流設備の機能低下（特に電気設備や金物）	
3	利水機能	水を使う	貯留水が利用可能であること	①水質の悪化	
4※	洪水調節機能	洪水を調節する	洪水調節が可能であること	①堆砂による貯水容量の減少 ②放流設備の機能低下	
5	安全保持機能	安全を保持する	ダムの安全性を保持していること	①堤体からの漏水 ②堤体・地山の变形 ③堤体法面の安定性低下（滑動） ④基礎地盤の安定性低下 ⑤堤体表面劣化による安定性低下 ⑥コンクリート構造物の安定性低下（転倒、滑動、沈下） ⑦コンクリート構造部材の安定性低下 ⑧ダムの安全管理（埋設計器等）機能の低下 ⑨堆砂による放流設備の埋設	構造的安定性
6	環境保全機能	環境を保全する	貯水により自然環境等が保全されていること	①景観の悪化（周辺地山の地すべり、堤体表面の劣化等） ②生態系への影響（周辺地山の地すべり） ③水質の悪化	
7	管理者等に対する安全保持機能	管理者の安全を保持する	管理者等に対する安全性を確保していること	①管理作業への支障 ②管理者等の安全性低下	

※農地防災事業及び共同事業により建設されたダムに限る。

(2) 機能低下事象と重要な変状

(1)で整理した各機能の機能低下事象と、現地に生じると考えられる変状との関連性（施設の機能低下に伴い具体的に顕在化してくる現象）を次頁の表に整理した。

整理において、機能低下事象と関連性が高い又は影響が大きいと考えられる変状を抽出し、これらを本手引きの検討にあたり、注目すべき重要な変状と位置付ける。

表-2.4-2 農業用ダムに求められる性能と重要な変状との関連一覧表（フィルダム）

【1. フィルダム】			ダムに求められる性能	I. 貯水機能 (水理的安定性)		II. 安全保持機能(構造的安定性)						
工種	変状の発生箇所 /計測値	構成材料	各機能に対する低下事象	機能低下事象		II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7
				I-1	I-2							
			原因・変状	堤体 浸透量の 増加	基礎 浸透量の 増加 (地山を含む) か	堤体 からの 浸透水	堤体・ 地山の 変形	助 堤体 表面の 安定性 低下(滑 動)	基礎 地盤の 安定性の 低下	低 堤体 表面劣 化による 安定性	低 堤体 表面劣 化による 安定性	附帯 構造物 の安定性 低下
I. 堤体	天端	盛土材・舗装	ひび割れの発生				◎	◎	○			
		付帯構造物	沈下 損傷、変形				○		○			
	上下流法面	盛土材	①、②、⑦、⑧、⑨ 表層すべり、円弧すべりの発生 すべり以外の変状(沈下、浮き上がり、クラック)				◎	◎		○		
		表面保護材料	リフラップ材や捨石材、コンクリートブロック等の 変形、たわみ、沈下、不陸				◎	◎		○		
下流法面 (地山取付含む)	盛土材	③、④、⑤、⑥ 堤体中腹の湿潤化・雑生の種類・繁茂状 況の周囲との相違	△		◎							
II. 観測計器	浸透量計測値	浸透量計	③、④、⑤、⑥ 浸透量の急増、貯水位との相関に異常	○	○	◎			○			
	浸透量観測ピット		⑥ 浸透水の濁り、土粒子の堆積	△	△	◎			○			
	浸潤線計測値	間隙水圧計 浸潤線観測孔	③、⑤、⑥ パイピング	△	△	◎		◎	○			
	変形量計測値	表面変位測定	①、⑥、⑧ 表面変位量の急激な変化				◎	◎		○		

※想定される変状の発生要因
 ①: 所要の安全率不足
 ②: 基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性
 ③: フィルタ・インターセプター等の機能低下(透水則)
 ④: 周辺地山の地下水状況変化
 ⑤: 浸潤線の変化(上昇、低下)
 ⑥: フィルタ・インターセプター等の機能低下(パイピング則)
 ⑦: 強度不足(液状化に対する抵抗が低い)
 ⑧: 経年劣化
 ⑨: 地震力/地震動に対する応答特性の違い

注)「変状」と「機能低下事象」の関係の分類
 ◎: 関連性が高い、または影響が大きい
 ○: やや関連性が高い、または影響がある
 △: 関連性が低い、または影響が小さい

表-2.4-3 農業用ダムに求められる性能と重要な変状との関連一覧表
(重力式コンクリートダム)

【2. コンクリートダム】			ダムに求められる性能	I. 貯水機能 (水理的安定性)		II. 安全保持機能(構造的安定性)							
工種	変状の発生箇所 /計測値	構成材料	各機能に対する低下事象	機能低下事象		II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7	
				I-1	I-2								
			原因・変状	堤体 浸透量の 増加	基礎 浸透量の 増加 (地山を含む) か	安 堤体 定性的 低減・ 滑動に 対する	堤体 からの 浸透水	堤体・ 地山の 変形	基礎 地盤の 安定性の 低下	低 堤体 表面劣 化による 安定性	低 堤体 表面劣 化による 安定性	附帯 構造物 の安定性 低下	
I. 堤体	上流面 下流面 監査廊	堤体(マス) コンクリート	①、②、⑤ クラック、剥離・剥落、劣化 継目の開き、スレ	△		○	△	△	○	△	○	△	
			①、②、⑤ 下流面の水平打継目、横継目、クラックから の漏水(遊離石灰、錆汁の湧出を含む)	○	△	◎	○				○		
			④、⑤、⑥ 監査廊内継目部からの漏水	○	△	○	○						
II. 観測計器	浸透量計測値	基礎排水孔・ 三角堰流量	①、④ 浸透量の急増、貯水位との相関に異常	○	○	○	○		○				
	浸透量観測ピット		④、⑤ 浸透水の濁り、土粒子の堆積	△	△	◎			○				
	構圧力計測値	ブルドン管式圧力 計・間隙水圧計	④、⑥ 構圧力の急増、貯水位との相関に異常	△	△	◎	○		○				
	変形量計測値	ブラムライン	③ 堤体変位急増、貯水位との相関に異常					◎					

※想定される変状の発生要因
 ①: ひび割れ
 ②: 止水板や充填グラウトの損傷
 ③: 断面不足
 ④: 基礎処理不足
 ⑤: 経年劣化
 ⑥: 排水管の目詰まり
 ⑦: 地震力

注)「変状」と「機能低下事象」の関係の分類
 ◎: 関連性が高い、または影響が大きい
 ○: やや関連性が高い、または影響がある
 △: 関連性が低い、または影響が小さい

表-2.4-4 農業用ダムに求められる性能と重要な変状との関連一覧表（アーチダム）

【3. アーチダム】			ダムに求められる性能		I. 貯水機能 (水理的安定性)		II. 安全保持機能(構造的安定性)						
工種	変状の発生箇所 /計測値	構成材料	各機能に対する低下事象		I-1	I-2	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7
			機能低下事象	原因・変状	浸透体 量からの 増加	基礎 の浸透 量の増加 (地山を含む)か	安定性 の低下 ・ 滑動に 対する	浸透体 からの 浸透水	浸透体 ・ 地山の 変形	基礎 地盤の 安定性の 低下	低 浸透 体 表面 劣化に よる 安定性	低 浸透 体 コン クリ ート 構造 物の 安定性	附 帯 構 造 物 の 安定 性 低下
I. 堤体	上流面 下流面 監査廊	堤体(マス) コンクリート	①、②、⑤	クラック、剥離・剥落、劣化 継目の開き、ズレ			○	△	△	○	△	○	△
			①、②、⑤	下流面の水平打継面、横継目、クラックからの漏水(遊離石灰、錆汁の湧出を含む) 監査廊内継目部からの漏水	○	△	◎	○				○	
			④、⑤、⑥	基礎排水孔の排水異常(濁りや砂・泥分の流出、排水量の増加・減少、閉塞等)	○	○	◎	○		○			
			④、⑤	浸透量の急増、貯水位との相関に異常	△	△	◎			○			
II. 観測計器	浸透量計測値	基礎排水孔	①、④	浸透量の急増、貯水位との相関に異常	○	○	○	○		○			
	浸透量観測ピット		④、⑤	浸透水の濁り、土粒子の堆積	△	△	◎			○			
	掘圧力計測値	ブルドン管式圧力計・間隙水圧計	④、⑥	掘圧力の急増、貯水位との相関に異常	△	△	◎	○		○			
	変形量計測値		③	堤体変位急増、貯水位との相関に異常					◎				

- ※想定される変状の発生要因
- ①: ひび割れ
 - ②: 止水板や充填グラウトの損傷
 - ③: 断面不足
 - ④: 基礎処理不足
 - ⑤: 経年劣化
 - ⑥: 排水管の目詰まり
 - ⑦: 地震力

- 注)「変状」と「機能低下事象」の関係の分類
- ◎: 関連性が高い、または影響が大きい
 - : やや関連性が高い、または影響がある
 - △: 関連性が低い、または影響が小さい

2.5 各工法の特徴及び工法選定

補強・復旧（補修）工の各工法の工法選定フローを以下に示す。

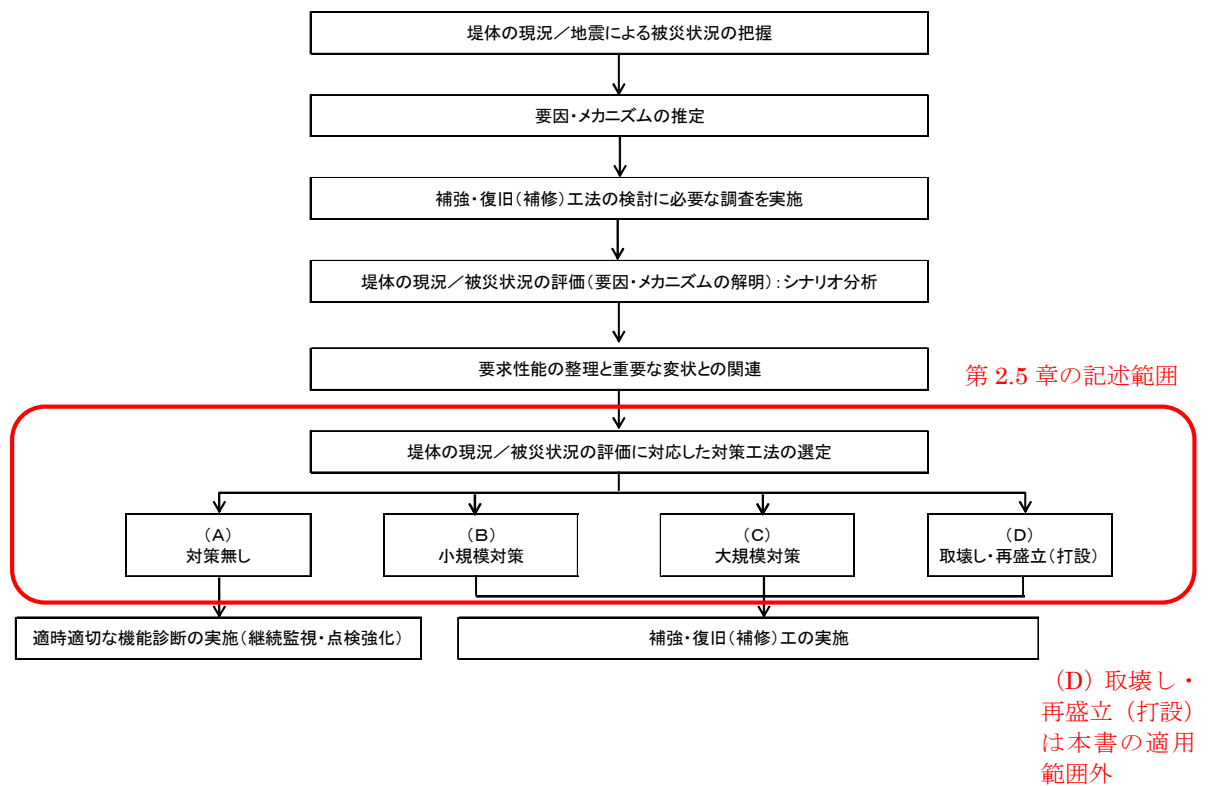


図-2.5.1-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

- ※ (A) 対策無しと判断した場合でも、保安全管理の観点から、適時適切な機能診断を実施し機能保全を図っていくものとする。
- ※ (B) 小規模対策の目安は、重機を用いない人力施工が可能な程度の対策工規模とする。
例) ひび割れ部の充填・表面被覆工法、局所的な盛土材料の置換等
- ※ (C) 大規模対策の目安は、重機を用いた施工が必要となる程度の対策工規模とする。
例) 押え盛土、アンカー補強等

2.5.1 補強工法

ダムは、施設の構造的耐力を回復又は向上させる（レベル2地震動及びレベル1地震動に対する対策）のために、適切な工法を選定しなければならない。

※参考資料：農村工学研究所技報 第206号、ダム技術 No.227

(1) フィルダム

フィルダムに生じる変状と変状発生要因に対する補強工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

表-2.5.1-1 変状及び変状発生要因に対する補強工法一覧表（フィルダム）

要因	発生する変状	対策規模		(C)大規模対策					
		関連する要求性能		押え盛土工	表面遮水工	ドレーン新設工		改良工	
		機能	機能低下事象			水平ドレーン	鉛直ドレーン	堤体改良(置換)／地盤改良	カットオフドレーン
		ケース1	ケース2	ケース3-1	ケース3-2	ケース4-1	ケース4-2		
①所要の安全率不足	堤体のすべり破壊	構造的安定性	II-2,3,5	○	△	△	△	○	△
②基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性	堤体のすべり破壊	構造的安定性	II-2,3,5	○	△	△	△	○	△
	堤体のすべり破壊以外の変形	構造的安定性	II-2,3,5	○				○	
③フィルターの機能低下(透水則)	浸潤線が高く不安定	水理的安定性	I-2		○	○	○	○	○
		構造的安定性	II-1	○	○	○	○	○	○
④周辺地山の地下水状況変化	浸潤線が高く不安定	水理的安定性	I-2		○	○	○	○	○
		構造的安定性	II-1,4	○		○	○	○	○
⑤浸潤線の変化(上昇、低下)	堤体下流面、地山境界部からの漏水の発生	水理的安定性	I-1,2		○	○	○	○	○
		構造的安定性	II-1,4	○	○	○	○	○	○
	パイピング	構造的安定性	II-1,4		○	○	○	○	○
⑥フィルターの機能低下(パイピング則)	堤体下流面、地山境界部からの漏水の発生	構造的安定性	II-1,4		○	○	○	○	○
		パイピング	構造的安定性	II-1,4		○	○	○	○
⑦強度不足(液状化に対する抵抗が低い)	液状化による大変形	構造的安定性	II-2,3,4	○	○	○	○	○	○

注)「変状及び発生要因」と「対策工法」の関係の分類

○: 主目的で効果を見込む

△: 副次的な効果を見込む

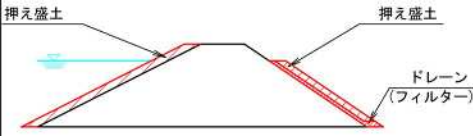
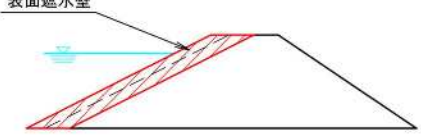
【補強工法選定時の留意点】

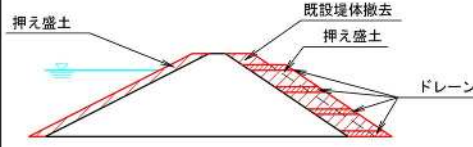
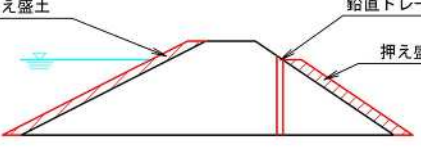
押え盛土工法を採用した場合、築堤材は貯水池内地山を掘削して入手することが考えられる。このケースにおいて、貯水下にあった材料を使用する場合、含水比が高く強度や施工性に問題があり、砕石などの良質土を一定割合で加え粒度調整して使用することが多い。

なお、築堤材の入手が困難な場合に貯水池内の底泥土を固化改良して築堤材に有効利用する、「砕・転圧盛土工法」もある。

ダムサイトの周辺環境が市街化の進展などにより築堤当時から大きく変化し、堤体下流側には補強のための新たな用地を十分に確保できない場合もある。このような場合には、補強土工法を用いた押え盛土を築造している例もある。

工法は、参考資料*を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

	ケース1: 押え盛土工	ケース2: 表面遮水壁工
概要図		
工法概要	堤体上下流法面に押え盛土を行い、法面勾配を緩くして地震時の安定性の向上を図る。下流側押え盛土と既設堤体の境界にはドレーンまたはフィルタ材を敷設して、クラックの発生及び浸潤線の上昇を防止する。 上流法面を掘削により緩勾配化させ、下流法面に押え盛土を行い、ダム軸を移動させる案も考えられる。	堤体上流法面表層部を掘削除去してから、遮水ゾーン(土質・シート材料等)を築造し、堤体内の浸潤線を低下させ地震時の間隙水圧の上昇を抑制する工法である。
特徴および効果	レベル2地震動による堤体のすべりや、すべりに伴う沈下に対する補強が主体であり、堤体の液状化に対する補強効果はほとんど期待できない。	レベル2地震動による堤体の液状化に対する補強するものであり、基礎の液状化に対する補強効果はない。浸潤線の低下を促進するためには、ドレーンからの排水が必要となる。

	ドレーン設置工	
	ケース3-1: 水平ドレーン設置	ケース3-2: 鉛直ドレーン設置
概要図		
工法概要	堤体下流側に水平ドレーンを設置し、堤体内の浸潤線を低下させ地震時の間隙水圧の上昇を抑制する。ドレーンの設置によって堤体に損傷を及ぼす場合は、堤体材料を置換えてドレーンを新設する。なお、必要に応じて押え盛土工も併用する。	既設堤体下流側に鉛直ドレーンを設置することによって、堤体内の浸潤線を低下させ地震時の間隙水圧の上昇を抑制する工法である。なお、必要に応じて押え盛土工も併用する。
特徴および効果	レベル2地震動による堤体の液状化に対して補強するものであり、基礎の液状化に対する補強効果はない。	レベル2地震動による堤体の液状化に対する補強するものであり、基礎の液状化に対する補強効果はない。浸潤線の低下を促進するためには、ドレーンからの排水が必要となる。

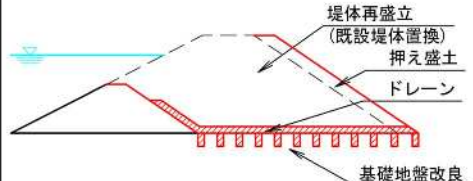
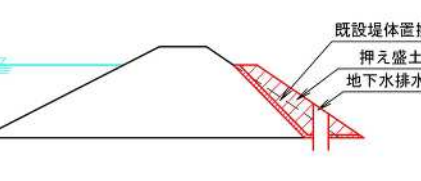
	改良工	
	ケース4-1: 地盤改良+堤体置換(押え盛土)	ケース4-2: カットオフドレーン+押え盛土
概要図		
工法概要	堤体基礎の砂質地盤等の地盤改良(サンドコンパクション、パイロコンパクション等)によって、基礎の液状化を抑制する。地盤改良の工法によっては、堤体に損傷を与える可能性があるため、堤体の一部置換(押え盛土等も含む)、地盤改良後に堤体の再盛立が必要となる。	堤体基礎の砂質地盤等にカットオフ等の地下水排水工を設置して、基礎の液状化を抑制する。また、必要に応じて基礎のグラウト、堤体上下流法面の押え盛土工を行う。※旧堤、新堤及びドレーン材の粒径に差があり透水係数の差が大きくなると、境界面の上部で降下浸透水が遮断される現象(キャピラリーバリア)が発生し、押え盛土が飽和状態になりやすく、法面の安定性に影響が出る場合があるため注意を要する。
特徴および効果	レベル2地震動による基礎の液状化に対して補強するものであるが、堤体の置換えの規模によっては、堤体の液状化の補強も可能である。	レベル2地震動による基礎の液状化に対して補強するものであるが、堤体の置換えおよび腹付の規模によっては、堤体の液状化の補強も可能である。

図-2.5.1-2 補強工法模式図(フィルダム)

(2) 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムに生じる変状と変状発生要因に対する補強工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

表-2.5.1-2 変状及び変状発生要因に対する補強工法一覧表（重力式コンクリートダム）

要因	発生する変状	対策規模		(C)大規模対策					
		関連する要求性能		腹付(断面増厚)工		鋼材補強	ダウエリク (+補強杭 +鋼材 補強)	アンカー 補強	追加 グラウ チング
		機能	機能低下 事象	腹付	マットコン クリート				
				ケース1-1	ケース1-2	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
①ひび割れ	ひび割れの発生、進展	水理的 安定性	I-1	△	△	△	△	△	
		構造的 安定性	II-1,3,4	○	○	○	○	○	
	堤体下流面からの漏水の 発生、増減	水理的 安定性	I-1	△	△			○	
		構造的 安定性	II-3,4	○	○			○	
②止水板や充填グラウトの 損傷	継目の開き	構造的 安定性	II-1,4,6	○	○	○	○	○	
	継目排水管からの 浸透量の増大	水理的 安定性	I-1	△	△	△	△	△	
		構造的 安定性	II-1,3	○	○	○	○	○	
③断面不足	堤体の不安定化	構造的 安定性	II-2	○	○	○	○	○	
④基礎処理不足	基礎排水孔からの 浸透量の増大	水理的 安定性	I-1,2	△	△				○
		構造的 安定性	II-1,3,4	○	○	○	○	○	○

注)「変状及び発生要因」と「対策工法」の関係の分類
○: 主目的で効果を見込む
△: 副次的な効果を見込む

【補強工法選定時の留意点】

工法は、参考資料*を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

		ケース1: 断面増厚(腹付)	
		ケース1-1: 腹付	ケース1-2: マットコンクリート腹付
概要図			
工法概要		断面を増厚して応力集中や応力レベルを低減することにより、地震時のクラックの発生・進展を抑制し、安定性向上を図る。	
		堤体の上流面、下流面または上下流面にコンクリートの増打ちを行い、上流側の止水とクラック補強を図る。	ダム高が大きい河床部を対象に、マットコンクリートを設け、上下流腹付コンクリートと同等の効果を期待する。

	ケース2: 鋼材補強	ケース3: ダウエリング+補強杭+鋼材補強
概要図		
工法概要	<p>クラック発生箇所を鋼材で補強し、引張・せん断に抵抗させる。管理用の通廊(トンネル)を設置する場合には、通廊を鉄筋コンクリート構造とし、トンネル内空面に鋼材の貼付けを行う(ダウエリング)。</p>	<p>クラック発生箇所に鋼材を貼付け、挿入することで、引張・せん断に抵抗させる。管理用の通廊(トンネル)を設置する場合には、通廊を鉄筋コンクリート構造とし、トンネル内空面に鋼材の貼付けを行う(ダウエリング)。ボーリング孔内に鋼材を設置し、コンクリートで埋戻す場合(補強杭)がある。</p>
	ケース4: アンカー補強	
概要図		
工法概要	<p>クラック発生箇所にアンカーによるプレストレスを導入し、引張応力に抵抗させる方式。補強工施工箇所に応じて、監査廊・堤体上下流面等からボーリングを行い、アンカープレストレスを導入する。</p>	

図-2.5.1-3 補強工法模式図 (重力式コンクリートダム)

(3) アーチダム

アーチダムに生じる変状と変状発生要因に対する補強工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

表-2.5.1-3 変状及び変状発生要因に対する補強工法一覧表（アーチダム）

要因	発生する変状	対策規模		(C)大規模対策				
		関連する要求性能		腹付(断面増厚)工		アンカー補強	鋼材補強	追加グラウチング
		機能	機能低下事象	下流側	上流側			
ケース1-1	ケース1-2	ケース2	ケース3	ケース4				
①ひび割れ	ひび割れの発生、進展	水理的安定性	I-1	△	△	△	△	
		構造的安定性	II-1,3,4	○	○	○	○	
	堤体下流面からの漏水の発生、増減	水理的安定性	I-1		△	△		○
		構造的安定性	II-3,4		○	○		○
②止水板や充填グラウトの損傷	継目の開き	構造的安定性	II-1,4,6	○	○	○	○	
③断面不足	堤体の不安定化	構造的安定性	II-2	○	○			
④基礎処理不足	基礎排水孔からの浸透量の増大	水理的安定性	I-1,2		△			○
		構造的安定性	II-1,3,4		○			○

注)「変状及び発生要因」と「対策工法」の関係の分類

○: 主目的で効果を見込む

△: 副次的な効果を見込む

【補強工法選定時の留意点】

工法は、参考資料*を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

	ケース1-1: 腹付コンクリート(下流側)	ケース1-2: 腹付コンクリート(上流側)
概要図		
工法概要	堤体下流に腹付を行い、重力式アーチダム、または、重力式コンクリートダムに改造することにより、地震時の安定性の向上を図る。	堤体上流に腹付を行い、コンクリートの厚さを増すことによって地震時の安定性の向上を図る。

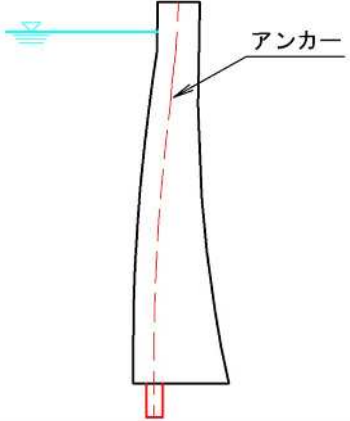
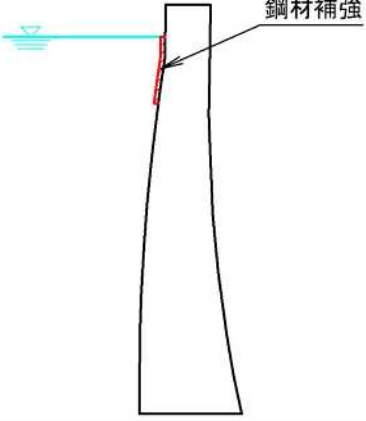
ケース2: アンカー	ケース3: 鋼材等による補強
	
<p>アンカーの設置により、引張応力の発生を抑制したり、ジョイント(横断面)のズレを抑止する。</p>	<p>局所的な引張応力の発生に対する補強を行う。</p>

図-2.5.1-4 補強工法模式図 (アーチダム)

(4) 補強工法の工法選定検討事例

① フィルダム

フィルダムの補強工法の工法選定検討事例を以下に示す。

a. 初立池（愛知県：水資源機構）

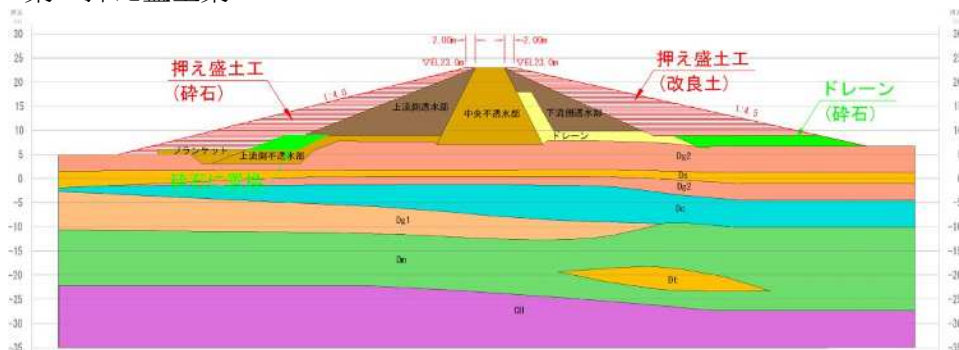
【補強工法の考え方】

堤体の耐震補強は、L1地震動に対する堤体の安定性確保を目的（震度法 $K_h=0.15$ の安定計算の結果、所要の安全率 ($F_s \geq 1.2$) を確保出来ていない）としたもので、また、補強工法の選定は、L2に対して、基礎及び堤体の液状化の低減並びに堤体の変形抑制を合わせて行うものである。

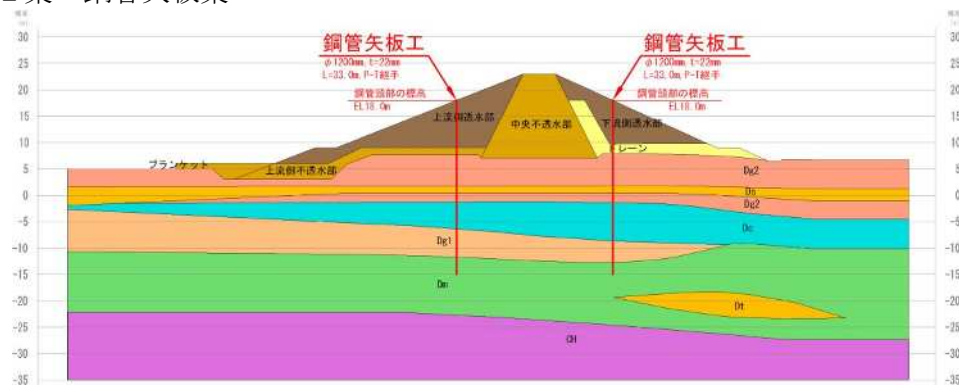
耐震補強工法の選定にあたっては、既存の補強事例から工法を3つ抽出し、この中から、経済性（直接工事費）より、第1案（押え盛土工法）を選定した。

堤体補強工事は、平成25年11月～平成27年2月の期間で実施された。

第1案 押え盛土案



第2案 鋼管矢板案



第3案 深層混合処理案

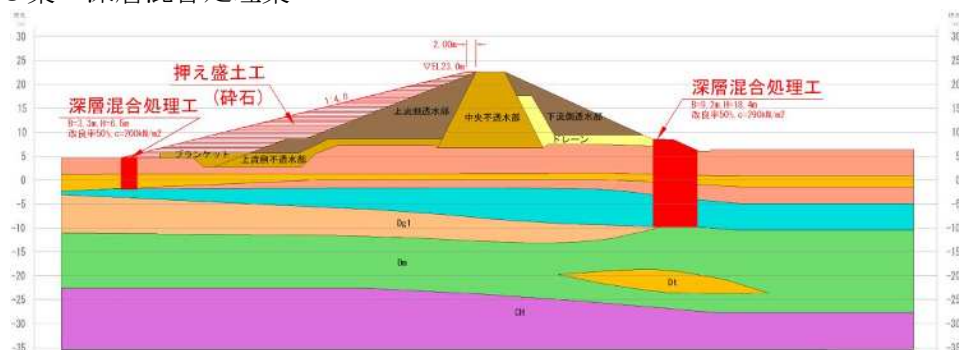


図-2.5.1-5 補強工法比較検討図（初立池）

b. 山口貯水池（埼玉県：東京都水道局）

【補強工法の考え方】

平成7年に発生した阪神・淡路大震災を契機に水道施設の耐震性の見直しが行われ、耐震照査の結果、L2地震（南関東地域直下型地震M7.9（推定））が発生した際に、堤頂部で1,000gal程度に増幅、1m強の沈下が生じることが予測された。このため、堤体の補強を行ったものである。

現況堤体、基礎地盤の遮水性、水理的的安全性に問題はないが、現況堤体は断面不足であり、浸潤線が高いことにより安定性が低いことが判明した。

そこで、堤体補強工法は、「断面の増厚によりすべり抵抗性を高める工法」、「浸潤線を下げて有効応力を増すことによりせん断抵抗を高める方法」、これらを組み合わせた工法として比較検討を実施し、「単純押え盛土+下流傾斜・水平ドレーン形式」を選定した。

堤体補強工事は、平成10年1月～平成14年1月の期間で実施された。

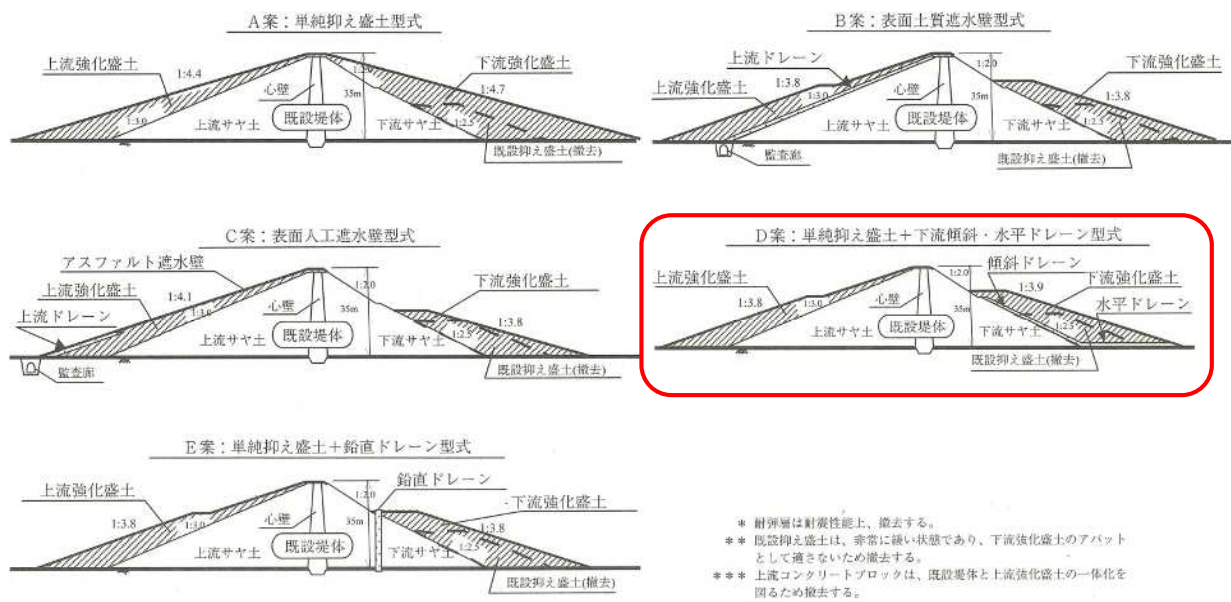


図-2 堤体強化工法(案)

図-2.5.1-6 補強工法比較検討図（山口貯水池）

②重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムの補強工法の工法選定検討事例を以下に示す。

c. 布引五本松ダム（兵庫県：神戸市）

【補強工法の考え方】

堤体の耐震補強として、現行のダム設計基準（建設省河川砂防技術基準（案）H9.10）に適合させるため、検討を行ったものである。

水平震度は、常時満水時地震時ではダム設計基準に則り、 $K_h=0.12\sim 0.15$ の上限である $K_h=0.15$ とした。計算の結果、満水時地震時の場合、堤踵部で -1.89kgf/cm^2 （引張応力）が発生し、また滑動安全率も $F_s=3.15 < 4$ であり設計基準を満たさなかった。

そのため、①発生する引張応力に対して鉄筋による補強、②プレストレスの導入による引張応力の解消、③堤体の増築による補強、について検討し、技術面及び維持管理上の点から③堤体の増築による補強とした。

増築位置は、常時満水位以下となって乾燥収縮等の問題が少なく、かつ歴史的景観に配慮して上流側とした。増築部分のコンクリート打設は、現堤体への影響を考慮して、表面の石張りを撤去せずに行うこととしたため、新コンクリートと現堤体の間知石の一体化が問題になった。そのため、増築部の接触面に発生する応力分布状態を有限要素法で解析し、堤体下部の打継面にアンカー筋でせん断補強することとした（補強筋不要範囲もメッシュ間隔を大きくして補強筋を配置）。

表-3
補強後の安定
計算結果

水位条件	水位 (Kop. m)	せん断安全率 n (滑動)	判定	上流端応力 σ_u (tf/m ²) (転倒)	判定	上流端応力 σ_d (tf/m ²) (圧壊)	判定
設計洪水水位	212.790	7.13	○	15.7	○	60.3	○
サーチャージ水位	212.540	5.94	○	4.8	○	71.2	○
常時満水位	210.545	5.51	○	1.7	○	74.4	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

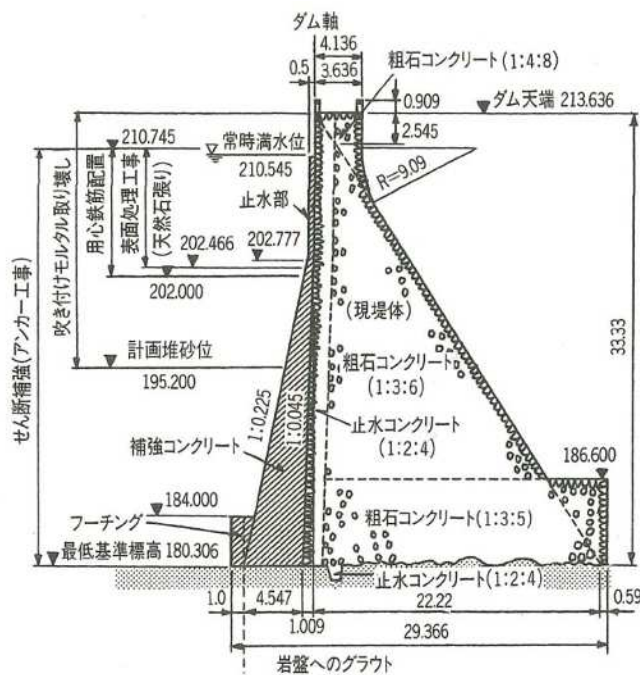


図-2.5.1-7 補強工法図（布引五本松ダム）

2.5.2 復旧(補修)工法

ダムの復旧は、従前の機能をもつ施設に回復させる（地震等に伴う損傷に対して、従前の機能（効用）まで）ために、適切な工法を選定しなければならない。

ダムの補修は、施設の耐久性を回復又は向上させる（老朽化に対する機能劣化・損傷に対して、従前の機能（効用）まで）ために、適切な工法を選定しなければならない。

「2.3 シナリオ分析」に基づき確認された変状の進展度に応じた対策工法の内容に関する基本的な考え方は以下のとおりとした。

- ・『健全度Ⅱ』の段階では、軽微な変状が確認されるものの、機能低下は顕在化していないことから、対策の内容としては「継続監視、点検監視の強化」を基本として、応急対策による対応を必要に応じて実施することとする。
- ・『健全度Ⅲ』の段階では、変状の経時的変化が確認され、機能低下も顕在化している状態であり、本格的な対策の実施を基本とする。

なお、対策区分を以下のように設定した。

- ・予防保全的な対策：劣化が更に進行した段階の対策が技術的・経済的に大規模かつ困難となるものと考えられるため、変状が確認された段階で対策を実施することが望ましい。
- ・事後保全的な対策：“変状の目視確認の難易”、“変状の進行速度”及び“安全性への影響”の要素から判断して、直ちに対策を講じなくとも、機能低下が顕在化することはないと考えられることから、点検監視の強化（モニタリング）により機能低下の程度を把握しながら対応することとする。

(1) フィルダム

フィルダムに生じる変状と変状発生要因に対する復旧（補修）工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

表-2.5.2-1 変状及び変状発生要因に対する復旧（補修）工法一覧表（フィルダム）

要因	発生する変状	対策規模		(A)対策無し	(B)小規模対策	(C)大規模対策				
		関連する要求性能		継続監視 ／点検 強化 (定期的な 除草作業 含む)	部分補修 (置換)	表面 遮水工	ドレーン 新設工	堤体材料 の 改良・置換	地盤改良	追加 グラウ テング
		機能	機能低下 事象							
①所要の安全率不足	堤体のすべり破壊	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
	堤頂道路舗装のクラック	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
②基礎地盤、堤体ゾーニングの特殊性	堤体のすべり破壊	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
	堤体のすべり破壊以外の変形	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
	表面保護工の変形(段差、はらみだし、ずれ)	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
	堤頂道路舗装のクラック	構造的 安定性	II-2.3.5		○					
③フィルタ・インターセプター等の機能低下(透水則)	浸潤線が高く不安定	水理的 安定性	I-2			○	○	○		
		構造的 安定性	II-1			○	○	○		
④周辺地山の地下水状況変化	浸潤線が高く不安定	水理的 安定性	I-2				○	○		○
		構造的 安定性	II-1.4				○	○		○
⑤浸潤線の変化(上昇、低下)	堤体下流面、地山境界部からの漏水の発生	水理的 安定性	I-1.2	○		○	○	○		○
		構造的 安定性	II-1.4	○		○	○	○		○
	パイピング	構造的 安定性	II-1.4			○	○	○		○
⑥フィルタ・インターセプター等の機能低下(パイピング則)	堤体下流面、地山境界部からの漏水の発生	構造的 安定性	II-1.4	○		○	○	○		○
		パイピング	構造的 安定性	II-1.4			○	○	○	
⑦強度不足(液状化に対する抵抗が低い)	液状化による大変形	構造的 安定性	II-2.3.4					○	○	
⑧経年劣化	堤頂道路舗装のクラック	構造的 安定性	II-2.3.4	○	○					
	表面保護工の劣化	構造的 安定性	II-2.3.5	○	○					
⑨地震動に対する応答特性の違い	付帯構造物(波返工(パラペット)等)自体及び周辺の損傷	構造的 安定性	II-2.5		○			○		

【復旧（補修）工法選定時の留意点】

復旧（補修）工法にも、補強工法同様、築堤材の入手において、貯水池内地山部の掘削とする場合、含水比が高く強度や施工性に問題があることが多い。

波返工（パラペット：コンクリート）が損傷した場合、堤体（土質材料）との地震時応答特性の違い（剛性）により被災の要因になりやすいことから、再設置は行われていない事例が多い。

なお、築造年代の古いダムは、現行基準（土地改良事業計画設計基準等）を満足していない場合があるため、復旧（補修）の際に、現行基準を満足する形状で復旧を行っている事例もある。

工法は、参考資料を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

(2) 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムに生じる変状と変状発生要因に対する復旧（補修）工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

【復旧（補修）工法選定時の留意点】

工法は、参考資料を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

表-2.5.2-2 変状及び変状発生要因に対する復旧（補修）工法一覧表
（重力式コンクリートダム）

要因	発生する変状	対策規模		(A)対策無し	(B)小規模対策			(C)大規模対策			
		関連する要求性能		継続監視／点検強化	ひび割れ注入断面修復表面被覆	劣化部の切削・再打設	基礎排水孔の洗浄／再設置	コンクリート腹付	鋼材補強	アンカー補強	堤体及び基礎地盤へのグラウテング
		機能	機能低下事象								
				事後保全的な対策				予防保全的な対策			
①ひび割れ	ひび割れの発生、進展	水理的安定性	I-1		○			○	○	○	
		構造的安定性	II-1.3.4		○			○	○	○	
	堤体下流面からの漏水の発生、増減	水理的安定性	I-1					○		○	○
		構造的安定性	II-1.4					○		○	○
②止水板や充填グラウトの損傷	継目の開き	構造的安定性	II-3.4.6		○			○		○	
	継目排水管からの浸透量の増大	水理的安定性	I-1					○		○	
		構造的安定性	II-1.3					○		○	
③断面不足	堤体の不安定化	構造的安定性	II-2					○		○	
④基礎処理不足	基礎排水孔からの浸透量の増大	水理的安定性	I-1.2					○			○
		構造的安定性	II-1.3.4					○			○
⑤経年劣化	コンクリートの劣化	水理的安定性	I-1	○	○	○					
		構造的安定性	II-1.3.6	○	○	○					
⑥排水管の目詰まり	基礎排水孔からの排水異常	水理的安定性	I-1.2	○				○			
		構造的安定性	II-1.3.4	○				○			

(3) アーチダム

アーチダムに生じる変状と変状発生要因に対する復旧（補修）工法の組合せをマトリックスで整理した。それを下表に示す。

【復旧（補修）工法選定時の留意点】

工法は、参考資料を基に想定される対策工法を整理したものであり、海外での事例等も含まれている。工法選定に際しては、国内への適用を含めて最新の知見に基づき詳細な検討を行う必要がある。

表-2.5.2-3 変状及び変状発生要因に対する復旧（補修）工法一覧表（アーチダム）

要因	発生する変状	対策規模		(A)対策無し	(B)小規模対策			(C)大規模対策			
		関連する要求性能		継続監視 ／点検 強化	ひび割れ注 入 断面修復 表面被覆	劣化部の 切削・再打 設	基礎 排水孔の 洗浄／ 再設置	コンク リート 腹付	鋼材補強	アンカー 補強	堤体及び 基礎地盤 へのグラウ テング
		機能	機能低下 事象								
				事後保全的な対策				予防保全的な対策			
①ひび割れ	ひび割れの発生、進展	水理的 安定性	I-1		○			○	○	○	
		構造的 安定性	II-1,3,4		○			○	○	○	
	堤体下流面からの漏水の 発生、増減	水理的 安定性	I-1					○		○	○
		構造的 安定性	II-1,4					○		○	○
②止水板や充填グラウトの損傷	継目の開き	構造的 安定性	II-3,4,6		○			○		○	
③断面不足	堤体の不安定化	構造的 安定性	II-2					○		○	
④基礎処理不足	基礎排水孔からの 浸透量の増大	水理的 安定性	I-1,2					○			○
		構造的 安定性	II-1,3,4					○			○
⑤経年劣化	コンクリートの劣化	水理的 安定性	I-1	○	○	○					
		構造的 安定性	II-1,3,6	○	○	○					
⑥排水管の目詰まり	基礎排水孔からの排水異常	水理的 安定性	I-1,2	○			○				
		構造的 安定性	II-1,3,4	○			○				

羽鳥ダム(福島県:東北農政局)	
被災地震	2011(H23).3.11 東北地方太平洋沖地震(M9.0)
被災内容	天端アスファルトの開口クラック、上流波返工(パラペット)目地の開き、堤体下流法面の開口クラック、堤体上流法面(連結ブロック)の割れ
復旧方法	堤体天端上流部の波返工(パラペット)を撤去し、波返工(パラペット)撤去後の形状として、上流側を1:2.5勾配で復旧を行い、不足する堤長幅確保のための下流腹付け盛土を行う

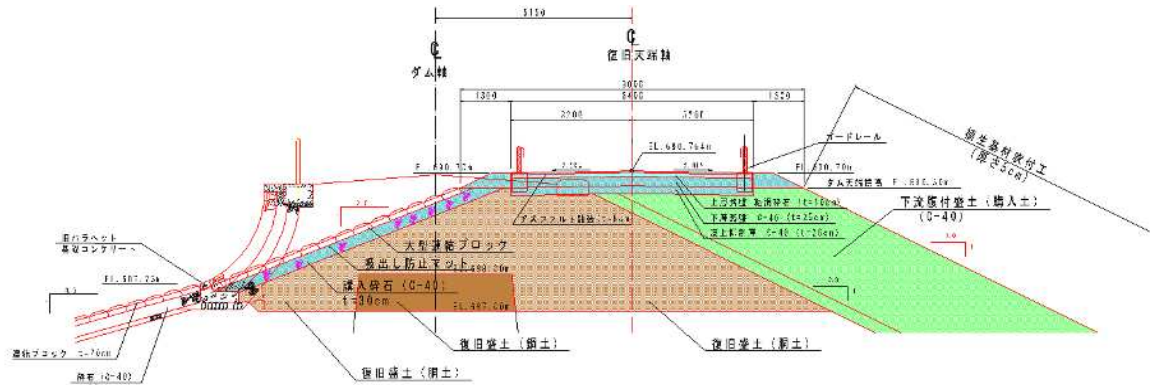


図-2.5.2-3 羽鳥ダム復旧(補修)横断図

大柿ダム(福島県:東北農政局)	
被災地震	2011(H23).3.11 東北地方太平洋沖地震(M9.0)
被災内容	上流地幅脇の開口クラック、ダム軸付近の開口クラック、下流地幅脇の開口クラック、雁行状クラック、上下流地幅の上流側への移動
復旧方法	ダム天端部は天端クラック深度+コーン貫入不可深度まで掘削除去し、再盛土を行い、上流斜面は法面保護層(玉石、裏込材、斜面平行盛土)を全面撤去し、購入碎石による盛土を行う

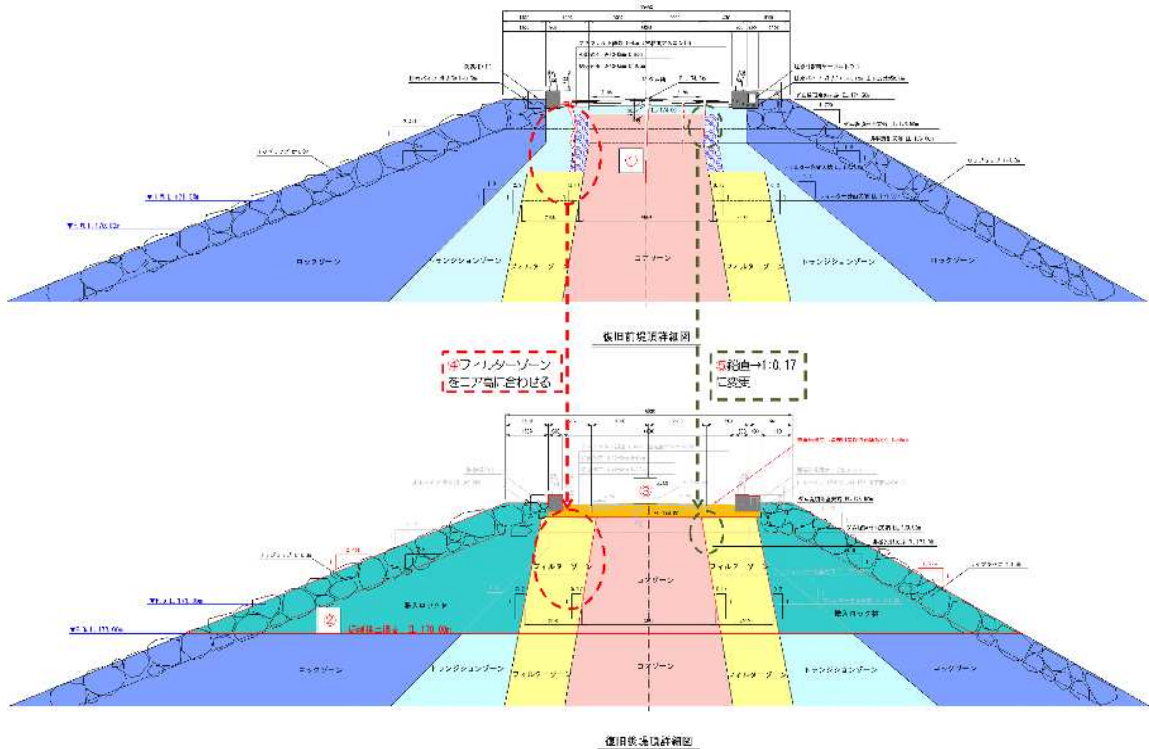


図-2.5.2-4 大柿ダム復旧(補修)横断図

衣川1号ダム(岩手県)	
被災地震	2008(H20).6.14 岩手・宮城内陸地震(M7.2)
被災内容	天端付帯構造物の損傷、天端アスファルト面の亀裂、上流法肩崩落、左岸洪水吐～堤体取付部の段差、下流法面の開口クラック
復旧方法	波返工(パラベット)を撤去し、上流法面を一律勾配で再盛立する(撤去再盛立範囲は地震によって損傷した範囲及び重機施工のための支持力が得られる範囲)

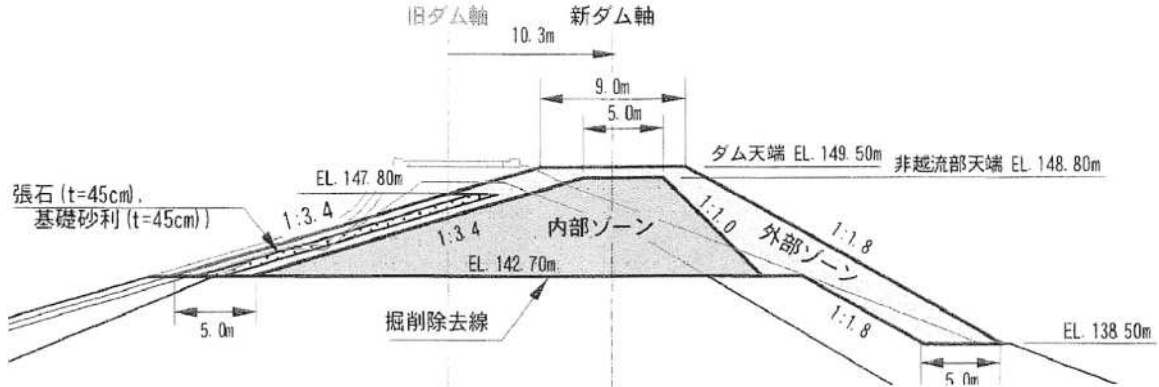


図-2.5.2-5 衣川1号ダム復旧（補修）横断面図

浅河原調整池(新潟県:東日本旅客鉄道株式会社)	
被災地震	2004(H16).10.23 新潟県中越地震(M6.8)
被災内容	天端に亀裂が発生(天端のほぼ全長にわたり、ダム軸方向に数条発生。中央部では下流側から上流側に向けて階段状の段差地形となる。)
復旧方法	復旧形状は原形復旧を基本としたが、高さは河川管理施設等構造令に準拠し、心壁の高さを0.9m上げた。

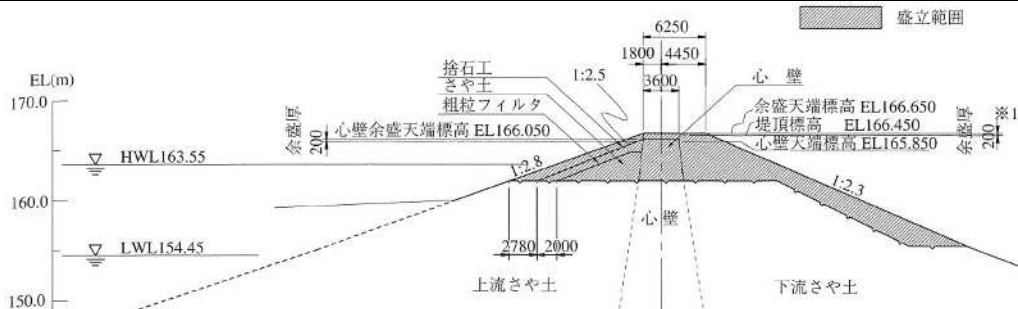


図-2.5.2-6 浅河原調整池復旧（補修）横断面図

山本調整池(新潟県:東日本旅客鉄道株式会社)	
被災地震	2004(H16).10.23 新潟県中越地震(M6.8)
被災内容	堤体上流法面の変状(円錐状の段差がほぼ同じ標高で発生。噴砂が7箇所で発生)。
復旧方法	・上流面の掘削・再盛立はLWL以上の全延長にわたり実施 ・被害の原因と考えられるリップラップ下の粘性土、砂分の多い層は全て剥ぎ取り、再盛立して基本断面を回復させた ・復旧形状は原形復旧を基本としたが、高さは河川管理施設等構造令に準拠し、心壁の高さを1.3m、堤高も0.4m上げた

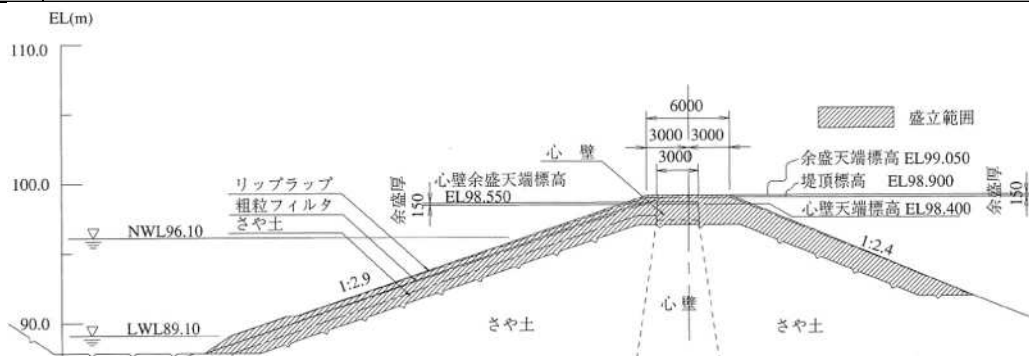


図-2.5.2-7 山本調整池復旧（補修）横断面図

山本第二調整池(新潟県:東日本旅客鉄道株式会社)	
被災地震	2004(H16).10.23 新潟県中越地震(M6.8)
被災内容	上流法面に段差及び噴砂が発生(特に左岸側)。下流法面の上部から高さ2m程度下の位置に、ダム軸と平行に亀裂が生じ、一部はらみ出し。堤体天端の埋設計器コード設置用のH形鋼が突出、堤体中央部がより多く沈んだ(横断的にV字型)。
復旧方法	<ul style="list-style-type: none"> ・原形復旧を基本とし、基盤標高が0.64m隆起したため、設計標高は全て0.64m高とした。余盛は堤体高さの0.5%とした ・ドレーン層表層に細粒分が増加したため、排水機能を損なう可能性があり、堆泥のほかドレーン層上部のシェルからの移動も考えられたため、この移動を防ぐ粗粒フィルタを新設した ・堆泥によりドレーン機能が低下した範囲(上流面から20m)は掘削除去・再盛立した ・中央部のダム軸方向820m区間は、変状箇所を全て除去する目的で上流面から10m範囲を掘削除去した ・下流面は亀裂の入った部分を掘削幅4mで除去・再盛立した

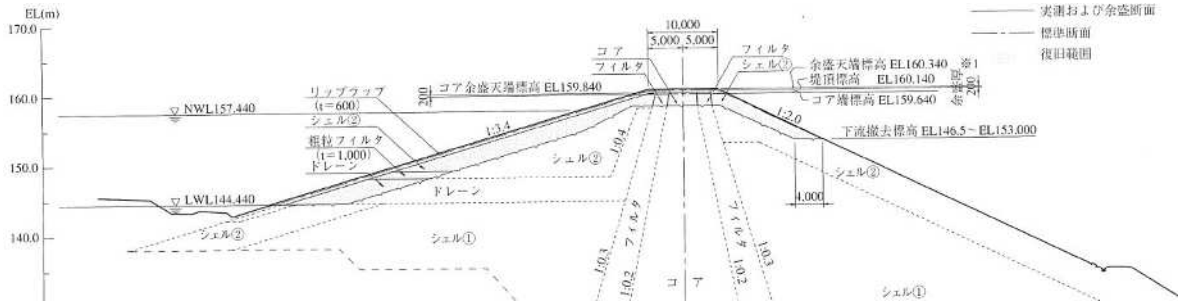


図-2.5.2-8 山本第二調整池復旧(補修)横断面図

蛭沢ダム(山形県)	
補修理由	堤体の老朽化及び激しい漏水
補修方法	<ul style="list-style-type: none"> ・下流は、既設堤体を表層だけ掘削し、置換盛土 ・上流は、緩勾配(1:3.5)の傾斜コアゾーンを押し盛土的に築造(既設堤体は遮水性不足であったものの安定していた)した ・基礎地盤表層は止水性に欠ける箇所があったため、約8.5m掘り込んだ止水トレンチから深度18mまでグラウチング行った

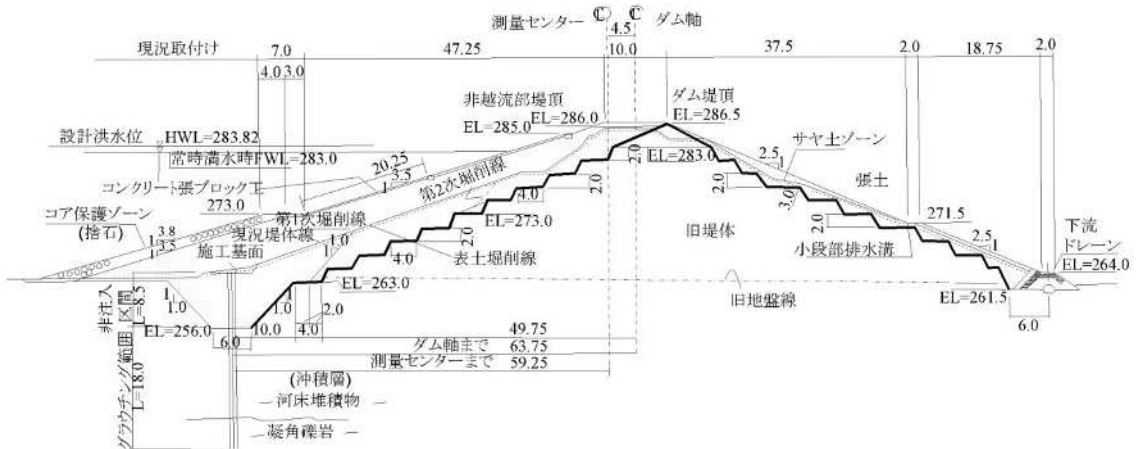


図-2.5.2-9 蛭沢ダム復旧(補修)横断面図

光明池(大阪府)	
補修理由	堤体の老朽化及び漏水
補修方法	堤体上流側に表層部を平均幅約10m掘削除去してから補強と漏水防止のために小段付きの傾斜コアゾーンを築造し、堤体下流側法先に浸潤面を低下させるためのドレーンを設置

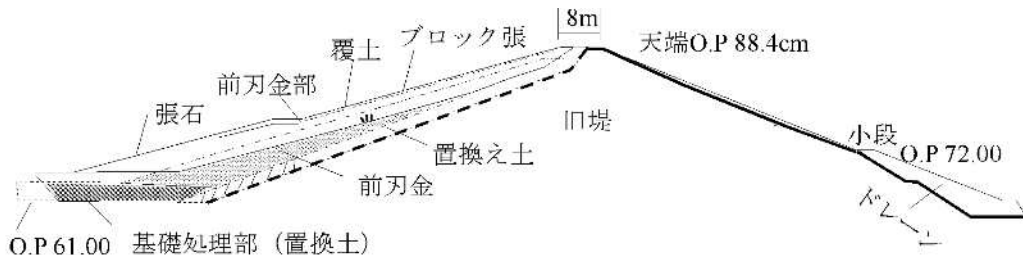


図-2.5.2-10 光明池復旧(補修)横断面図

②重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムの復旧（補修）工法は、被災内容により工法が異なる。復旧（補修）工法の事例を以下に示す。

a. 布引五本松ダム（1995(H7)兵庫県南部地震（兵庫県））

1) 復旧（補修）工法の考え方

地震後の変状は、①被災前にはじむ程度の漏水が下流面で見られたが、地震後新たな漏水が下流全面にわたり発生、②基礎排水孔の浸透量が急増、であった。

復旧（補修）工法は、堤体及び岩盤の亀裂の進展が懸念されたため、堤体の均一化、岩盤の遮水機能の改善を目的として、堤体へのグラウチング及び岩盤へのカーテングラウチングが実施された。

2) 復旧（補修）工法概要

復旧（補修）工法の概要を以下に示す。

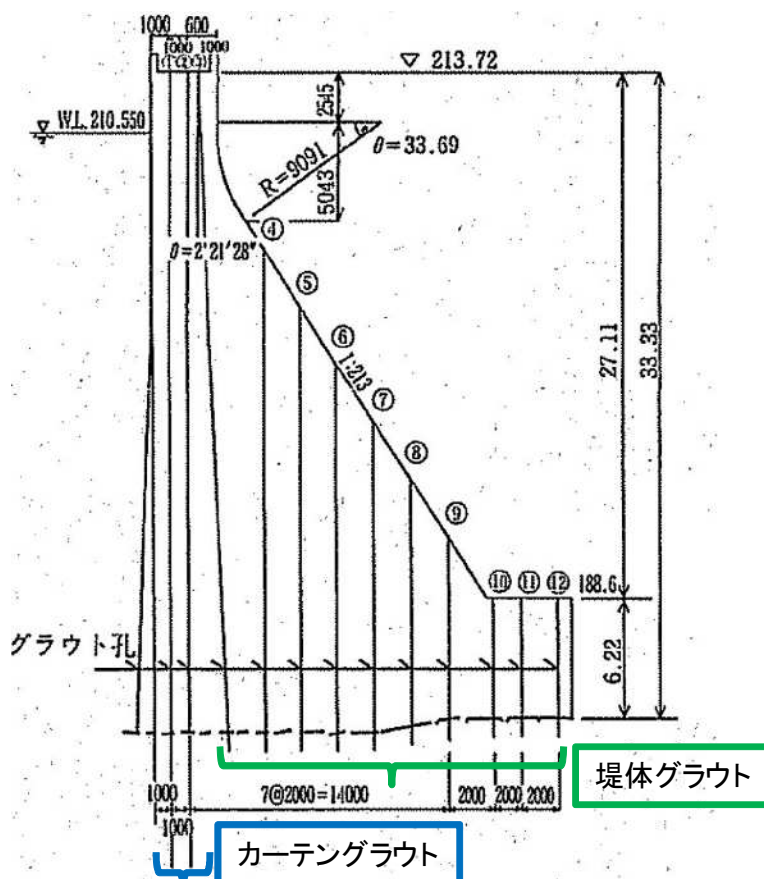


図-7 グラウト標準断面図

図-2.5.2-11 布引五本松ダム復旧（補修）横断面図

b. Koyna ダム (インド)、H=103m (1967 (S42) Koyna 地震)

1) 復旧 (補修) 工法の考え方

※当初の設計がミドルサードの条件を満足していなかった。

地震後の変状は、堤体下流面の勾配変化点付近に水平方向のクラックが発生し、中段及び基礎部監査廊にもクラックが発生した (基礎より 10m 上部の監査廊で記録された地震動の最大加速度は、ダム軸方向 : 0.63G、上下流方向 : 0.49G、鉛直方向 : 0.34G であった)。

また、浸透量が通常の 2 倍程度に増加した。

復旧 (補修) 工法は、①アンカー (ポストテンション方式、クラック位置から 20m 下まで、25MN の引張力) を各ブロックに 8~10 本挿入、②クラック箇所にはエポキシグラウト補修、③横継目箇所にはセメントグラウチング施工、④非越流部最大断面のブロックにはバットレスが設置された。

2) 復旧 (補修) 工法概要

復旧 (補修) 工法の概要を以下に示す。

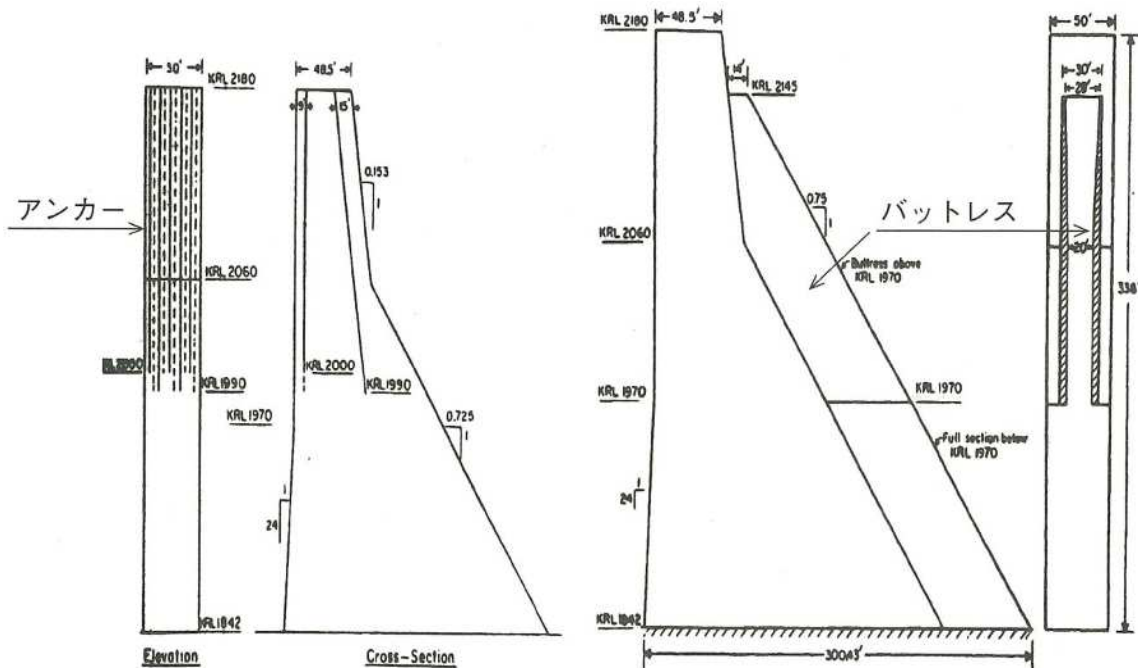


図-5 Koyna ダム補修工概要図

図-2.5.2-12 Koyna ダム復旧 (補修) 横断図

③アーチダム

アーチダムの復旧（補修）工法は、被災内容及び要因により工法が異なる。復旧（補修）工法の事例を以下に示す。

a. Pacoima ダム（アメリカ）、H=113m（1971(S46) San Fernando 地震）

1) 復旧（補修）工法の考え方

※建設当時の設計荷重は貯水圧のみで地震荷重を考慮していない。1967～68年にかけてダムの安全性の再評価を行った結果、左岸アバットメント部のすべり安全率向上のため、グラウト補強が行われた。

地震後の変状は、①弦長 2.5cm 短縮、左右岸で 3.8cm の高低差の発生、②ダム堤体と左岸スラストブロックの継目が 16m の区間にわたり 0.6～1cm 開口、③左岸の地盤に亀裂発生、であった（ダム天端より 16m 高い標高のアバットで観測された地震動の最大加速度は、水平方向：1.25G、鉛直方向：0.7G であった）。

復旧（補修）工法は、①堤体とスラストブロック間のジョイントの開き及びスラストブロックのクラックには、スラストブロックを削孔し、グラウト施工、②変位を生じた左岸アバットメントには、35本のロックアンカー（ポストテンション方式）を施工、③グラウトカーテンを補修するため、基礎とアバットメントに追加グラウト施工、④左岸上部にコンソリデーショングラウチングを実施した。

2) 復旧（補修）工法概要図

復旧（補修）工法の概要図を以下に示す。

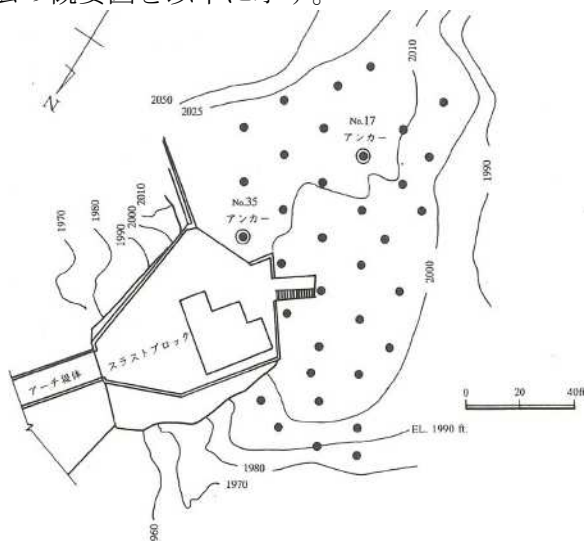


図-2.5.2-13 Pacoima ダム 左岸アバットメントのアンカー位置図（単位：ft）

b. Pacoima ダム（アメリカ）、H=113m（1994(H6) ノースリッジ地震）

1) 復旧（補修）工法の考え方

地震後の変状は、左岸スラストブロック部の縦の伸縮ジョイントの開口、左岸部岩盤の亀裂と変位発生（最大で水平方向に約 49cm、鉛直方向に約 36cm 沈下）であり、上記地震の際に対策工として施工されたロックアンカーが引き延ばされた。

復旧（補修）工法は、①新たに 8本のアンカーを施工、②エポキシ樹脂によるクラック補修を実施した。

c. 豊稔池ダム（香川県）

1) 復旧（補修）工法の考え方

変状は、老朽化によるものであり、間詰モルタルの剥離、間知石の分離、基礎岩盤からの湧水であった（昭和5年3月完成）。

復旧（補修）工法は、①堤体からの漏水を防止するため、堤体前面に無筋コンクリートを打設、②基礎部を補強するため、堤体背面バットレス間にコンクリートフーチングを設ける、③基礎からの漏水を防止するため、カーテングラウチング工事を実施した。

2) 復旧（補修）工法概要図

復旧（補修）工法の概要図を以下に示す（平成5年12月補修工事完了）。

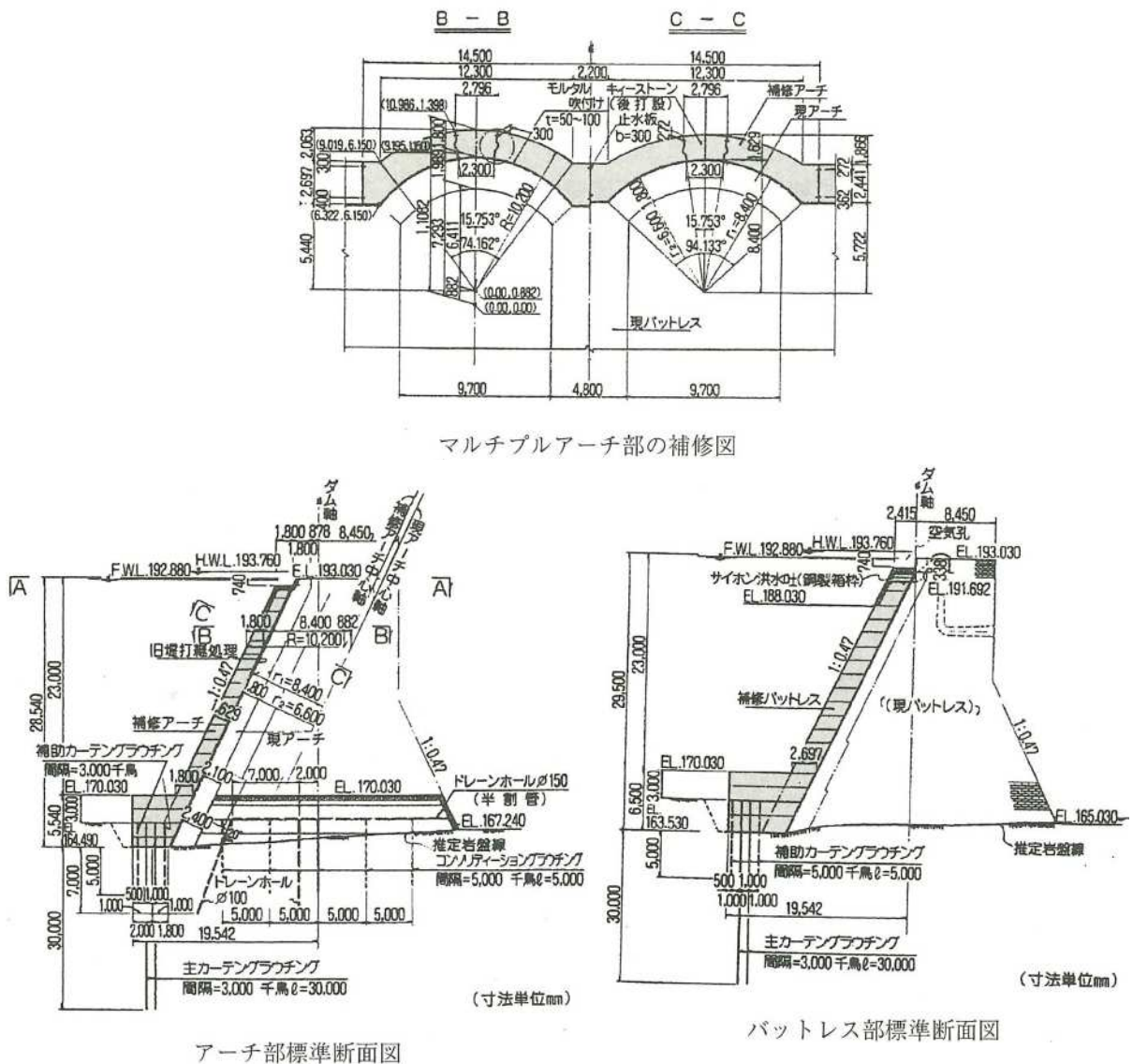


図-2.5.2-14 豊稔池ダム補修概要図（網掛け部：上流新設コンクリート）

※堰堤の外面を間知石で積上げ、内部を粗石モルタルで中詰めしたアーチ式堰堤