

国営造成農業用ダムの補強・復旧（補修）工法に 関する手引き（案）

令和2年10月

農林水産省農村振興局整備部設計課

まえがき

近年、豪雨災害が各地で激甚化するとともに、南海トラフ巨大地震等の大規模地震発生リスクが高まっています。このような中で、我が国の農業生産基盤を支える農業用ダムについて、重要な社会インフラとして、その機能を適切に保全管理していく必要があります。土地改良長期計画（平成28年8月24日閣議決定）では、農業用ダムを含む農業水利施設について、「社会資本のストック効果を将来にわたり発揮させるとともに、平常時のみならず、大規模自然災害が発生しても機能不全に陥らない、成熟社会における持続可能な農業・農村の構築を目指さなければならない」とされ、その政策目標として「強くてしなやかな農業・農村」を掲げています。

このような背景を踏まえ、農林水産省では、レベル2地震動（施設の供用期間中に発生する確率は低いものの、極めて激しい地震動）を含めた農業用ダムの総合的な安全性評価を進めているところです。しかしながら、これらの評価結果を踏まえた国営農業用ダムの耐震対策等に対する補強工法や実際の自然災害により被災した場合の復旧工法についての技術的な知見については、これまで体系的に整理されていませんでした。

このため、本書では、国営造成農業用ダムをフィルダム、重力式コンクリートダム及びアーチダムの3種類に分類した上で、それぞれのダムに対する補強・復旧（補修）工法選定の調査から対策工法の実施及び対策後の管理までを体系的に整理しました。被災状況等に照らし合わせて参考にしていただければと考えます。

国営造成農業用ダムは、その全てにおいて地質条件や構造が異なる上に、自然災害の種類・規模等も異なることから、被災メカニズム及び被災状況は多様です。このため、調査方法、補強・復旧（補修）に求められる性能等も多様です。本書の記載事項は、現時点で得られている知見を基にとりまとめたものであり、今後、多くの現場データに基づいた持続的な研究・開発の成果を得ながら、段階的に整備、充実を図っていきべきものと考えています。よって、本書を案の段階から活用することにより、実証から得られるデータや工法に関する技術開発の進展を的確に反映させ、将来的な基準化につなげていきながら、国営造成農業用ダムの補強・復旧（補修）技術の普及・定着を図っていきたいと考えています。

この場を借りまして、本書の策定にご協力頂いたワーキンググループアドバイザー並びに関係者の全ての方々に対して深く感謝の意を表します。

ワーキンググループに参画されたアドバイザー（専門技術者）のメンバーは以下のとおりです。

【ワーキンググループ】

神戸 隆幸	黒木 博	鈴木 重憲
長谷川 悦央	林田 洋一	藤田 司
峰野 佳厚	村田 智生	渡部 大輔

（五十音順、専門技術者のみを記載）

また、今後、本書に示す調査方法、補強、復旧（補修）方法等が現場で実践され、運用上の課題や新たな知見が得られれば、その内容を検討し、本書を改定していくこととしており、関係者からご意見、ご提案をいただければ幸いです。

結びに、土地改良施設の保全管理に携わる多くの方が本書を活用いただき、農業水利施設の補修・補強技術を育む先駆的な取組みに協働して頂くことを切に期待するものです。

令和2年10月

農村振興局整備部設計課長

国営造成農業用ダムの補強・復旧（補修）工法に関する手引き（案）

《目次》

【本編】	
第1章 総則	1
1.1 手引き策定の背景	1
1.2 手引きの目的	2
1.3 手引きの適用範囲	4
1.4 用語の定義	4
第2章 補強・復旧（補修）の概要・要求性能及び工法の選定	7
2.1 補強・復旧（補修）の概要	7
2.2 補強・復旧（補修）工法の検討に必要な調査	13
2.3 現況堤体／被災状況の評価（要因・メカニズムの把握）	16
2.4 補強・復旧（補修）工法に求められる性能	24
2.5 各工法の特徴及び工法選定	28
2.5.1 補強工法	28
2.5.2 復旧（補修）工法	38
第3章 補強・復旧（補修）工法の施工	50
3.1 補強・復旧（補修）工法の施工概要	50
3.2 補強工法の施工	52
3.3 復旧（補修）工法の施工	54
第4章 補強・復旧（補修）後の管理の留意点	58
4.1 補強・復旧（補修）後の管理	58
4.2 維持管理における計測・巡視の要点	60
第5章 被災時の調査・応急対策について	64
5.1 農業用ダムの被災の特徴	64
5.2 被災時の調査方法	68
5.3 被災時の応急対策	76
【巻末資料】	
・資料1：農業用ダムの被災及び補強・復旧（補修）事例	78
・資料2：補強・復旧（補修）工法事例集	80
・資料3：補強・復旧（補修）工法選定のための調査手法	179

第1章 総則

1.1 手引き策定の背景

農業用ダムは、重要な社会インフラとして、その機能の適切な保全管理や機能強化を進めていく必要があり、大規模な地震動等によって損傷を受けたダムや機能低下が生じているダムについて、適切な補強・復旧（補修）工法による対策が求められている。

【解説】

我が国の農業生産基盤を支える農業用ダムは、新たな施設を整備する時代から、今後は施設の老朽化等による機能低下に対して、戦略的な保全管理の観点から、適時適切な機能診断に基づく機能保全を図っていく時代へと変化してきている。

一方で、激甚化する豪雨災害や、各地で発生する内陸活断層型地震や、東日本大震災などの大規模地震による社会インフラの被災、さらには将来予想される南海トラフ巨大地震などの大規模なプレート境界型地震などの発生リスクの高まりが指摘されている。

これらの背景から、平成28年8月に閣議決定された土地改良長期計画においては、政策目標として「農業水利施設の戦略的な保全管理と機能強化（ハード）」、「災害に対する地域の防災・減災力の強化（ソフト）」が掲げられ、今後、具体的な施策や事業が進められることになる。

1.2 手引きの目的

本書は、農業用ダムの補強・復旧（補修）を実施する際の、調査・応急対策、対策工法の検討にあたっての基本的な考え方及び対策後の管理にあたって留意すべき事項についてとりまとめたものである。

農業用ダムの補強・復旧（補修）工法に関する検討のフローを以下に示す。
なお、被災時の調査・応急対策に関しては第5章に示すので参考にされたい。

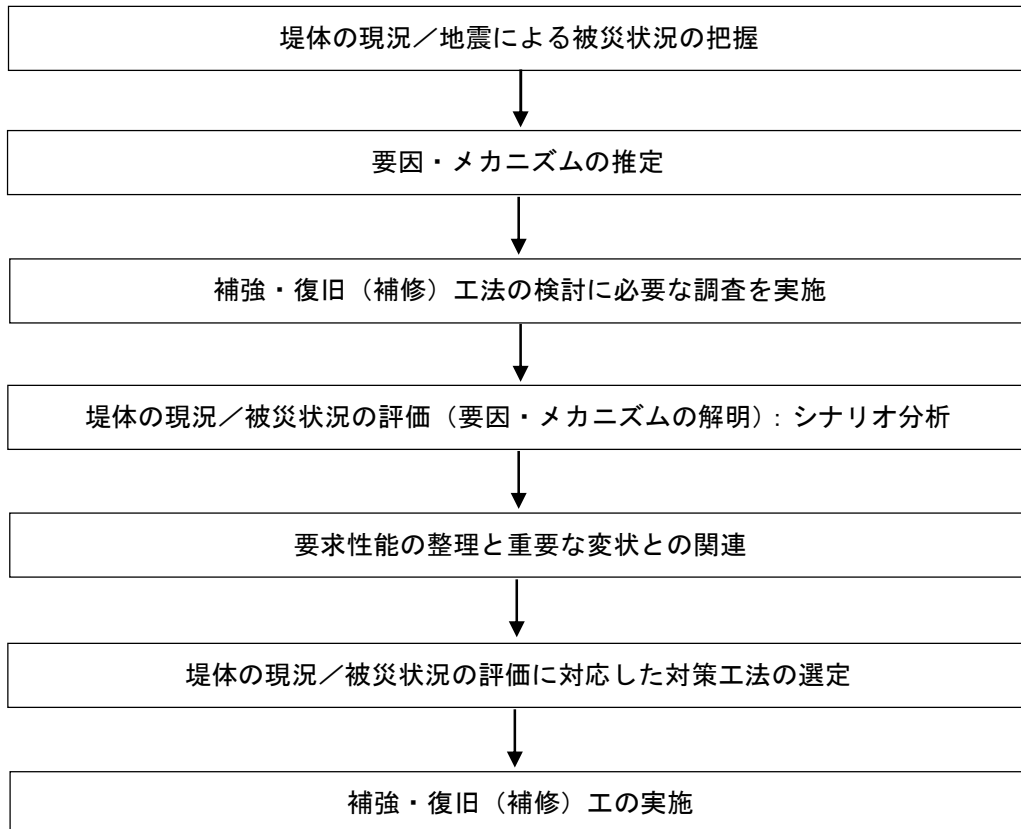


図-1.2-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

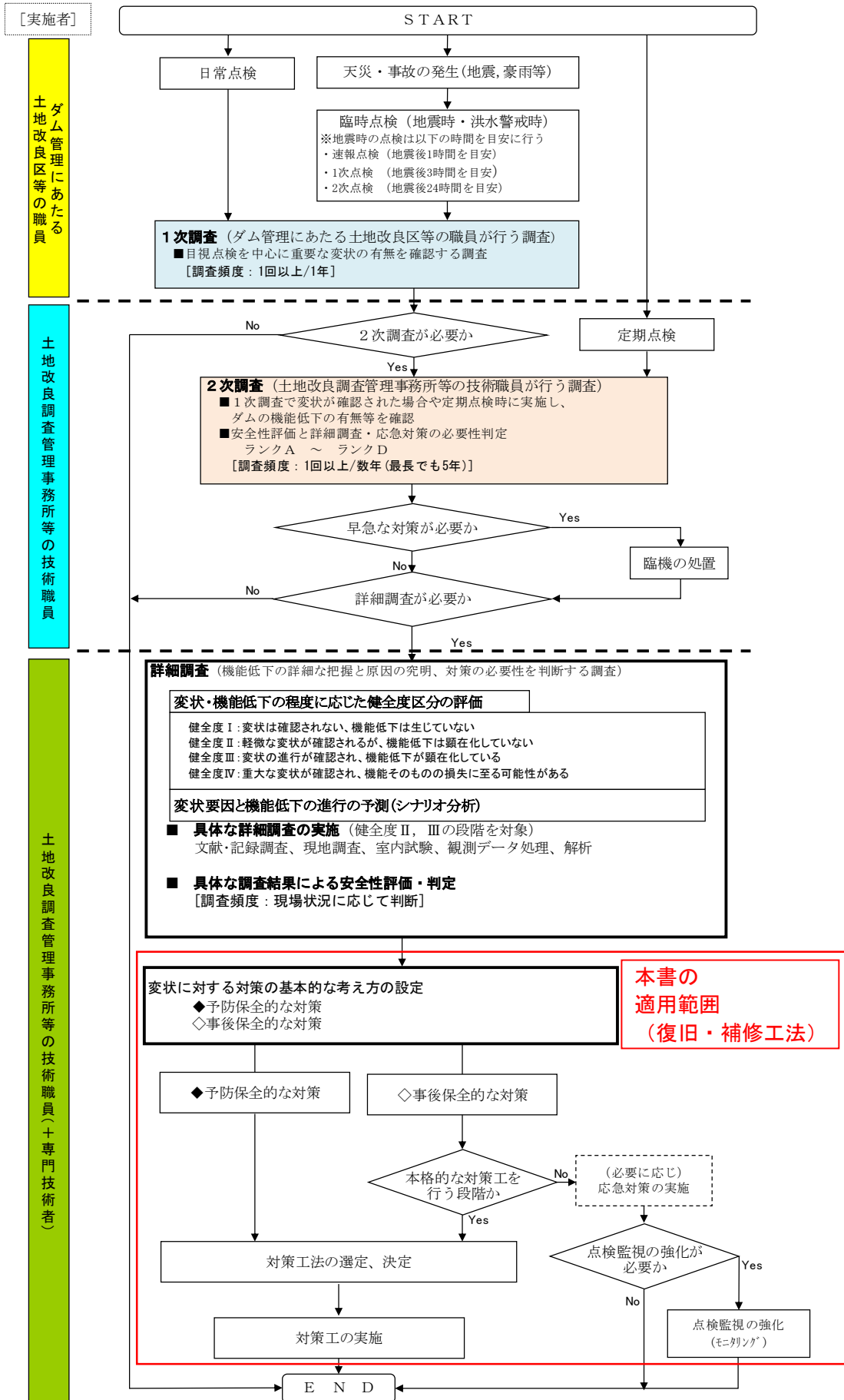


図-1.2-2 農業用ダムの機能診断フロー (参考フロー)

1.3 手引きの適用範囲

- (1) 本書は、農業用ダム本堤(副堤を含む)に起こりうる事象を対象とする。
- (2) 対象ダム形式は、フィルダム(アースダム、ロックフィルダム)、重力式コンクリートダム、アーチダムとする。
- (3) 本書は、国営土地改良事業において造成された農業用ダムの補強・復旧(補修)を実施する際の調査・応急対策及び対策工の選定、施工に関する技術資料をとりまとめたものである。対策工法として、取壊し・再盛立(打設)は本書の適用範囲外である。
- (4) 付帯施設は参考扱いとする(対策工法事例の参照程度)。

○対策工の適用範囲(本書での記載範囲)の考え方

- *補強：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事例を整理(実際にL2地震動及びL1地震動に対する対策(施工・設計)を行った事例を適用)。
- *復旧：兵庫県南部地震、新潟県中越沖地震、東北地方太平洋沖地震、熊本地震での復旧事例を中心としてダム形式、被災要因、採用工法などを体系的に整理。
- *補修：土地改良施設管理基準(ダム編)をベースに、各種工法の特徴等を整理。

1.4 用語の定義

本書では、次のように用語を定義する。また、下図に概念図を示す。

- 補強：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
- 復旧：主に従前の機能(効用)をもつ施設に回復させること
農業用ダムにおける位置付け：主として地震に伴う損傷に対して、従前の機能(効用)まで回復させること
- 補修：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

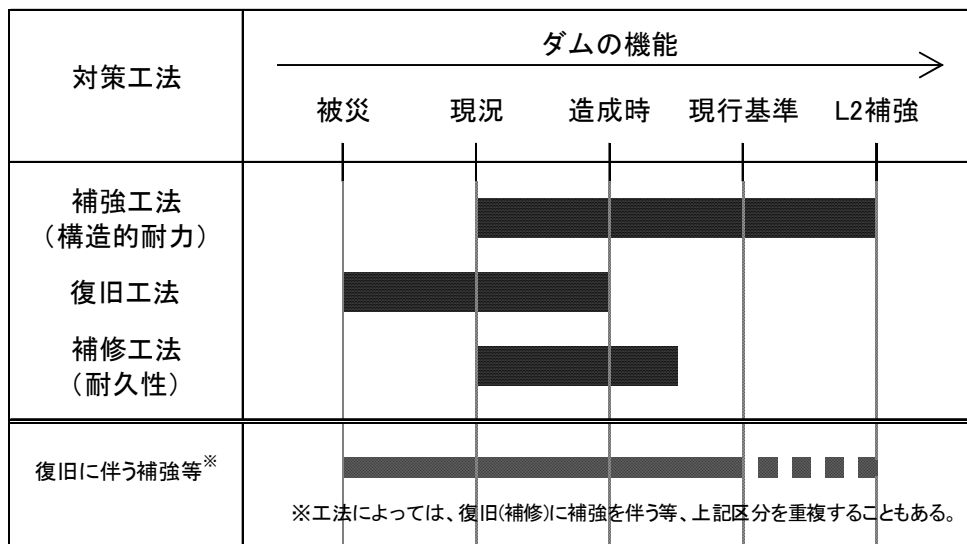


図-1.2-3 補強・復旧(補修)工法の概念図

このほか、本手引きで用いる主な用語の解説を以下に示す。

(以下は農業用ダム機能診断マニュアル「共通編」の用語定義一覧表に一部加筆)

用語	定義
機能診断(※1)	ダムの点検・調査と評価を行うこと。
日常点検(※1)	ダム管理にあたる土地改良区等の職員が日常的に行う点検作業
定期点検(※1)	土地改良調査管理事務所等の技術職員がダム全体の機能低下の有無を確認するために、定期的(数年毎に1回のサイクル)に行う点検作業
臨時点検(※1)	地震等が発生した際に、ダム管理にあたる土地改良区等の職員又は土地改良調査管理事務所等の技術職員(+専門技術者)がダム全体の安全性確認のために行う臨時の点検作業
1次調査(※1)	ダム管理にあたる土地改良区等の職員が、日常点検において、目視観察を中心として特に重要な変状の有無を確認するための調査
2次調査(※1)	土地改良調査管理事務所等の技術職員が、以下の目的で実施する調査 1) 1次調査の段階で、何らかの変状が確認された場合に、変状に関する定量的な状況やダムの機能低下の有無を確認・把握するための調査 2) 定期点検において実施する調査
詳細調査(※1)	2次調査の段階で、ダムの機能低下に関連する変状の発生が確認できた場合に、土地改良調査管理事務所等の技術職員が専門技術者等の協力を得て、機能低下の詳細な把握と原因の究明、対策の実施の必要性を判断するための調査
変状(※1)	構造物等で外部から認知できる幾何学的・物理的・力学的性質の変化した状態のうち、機能低下につながる(又はその可能性のある)もの (変状の要因は大きく「初期条件によるもの」、「経年変化によるもの」、「一時的な外圧によるもの」の3種類に区分できるが、このうち「経年変化によるもの」が“劣化”の要件となる。)
劣化(※1)	自然環境作用・荷重、内在する化学物質及び内部応力などによって、構造物等に対して経年的に生じる、幾何学的性質(形状・寸法)、物理的性質及び化学的性質が変化する現象。さらに、それらの変化に起因して性能・機能が低下する現象。
ストックマネジメント(※2)	ダムの管理段階から、機能診断を踏まえた対策の検討・実施とその後の評価、モニタリングまでをデータベースに蓄積された様々なデータを活用しつつ進めることにより、リスク管理を行いつつ施設の長寿命化とLCCの低減を図るための技術体系及び管理手法の総称。
機能保全(※2)	ダムの機能が失われたり、性能が低下することを抑制または回復すること。
長寿命化(※2)	ダムの機能診断に基づく機能保全対策により残存の耐用年数を延伸する行為。
施設の機能(※2)	ダムの設置目的又は要求に応じて、施設が果たすべき役割、働きのこと。(農業用ダムでは、貯水機能、取水機能、利水機能、安全保持機能など)
施設の性能(※2)	ダムが果たすべき役割(施設の機能)を遂行する能力のこと。 (性能は、その能力を数値で示すことができる。水理的安定性、力学的安定性など)
リスク(※2)	目的に対する不確かさの影響。 (農業用ダムでは、ダムの経年劣化や自然災害などにより、機能が低下してダムが損傷し、本来機能の停止のほか二次災害や第三者被害等が発生するなどのリスクが考えられる)
リスク管理(リスクマネジメント)(※2)	リスクについて、組織を指揮統制するための調整された活動。なお、リスクマネジメントプロセスは、コミュニケーション、協議及び組織の状況の確定の活動、並びにリスクの特定、分析、評価、対応、モニタリング及びレビューの活動に対する運用管理方針、手順及び実務の体系的な運用。 (農業用ダムのリスク管理においては、ダムが本来果たすべき機能への影響に加えて、人命・財産等の第三者被害への影響も併せて考慮しつつ、リスクを特定した上で、そのリスクを施設造作者、施設管理者双方の視点で分析・

用語	定義
	評価し、施設監視、機能保全対策の実施等の手段によってリスク対応を図ることが基本となる)
BCP(※3)	業務継続計画(Business Continuity Plan)。リソースが相当程度の制約を受けた場合を想定して、土地改良施設機能の継続、早期回復を図るための計画。広義には、計画の策定・運用・点検・見直しまでを含む BCM (Business Continuity Management: 業務継続マネジメント)を指す。 なお、土地改良施設管理における BCP 作成の目的として「大規模地震や豪雨等により土地改良施設施設が被災し、かつ、ヒト、モノ、カネ、情報及びライフライン等利用できるリソースに制約のある状況下において、二次災害の防止・軽減や土地改良施設の機能回復のために優先すべき事項を特定するとともに、管理業務の継続力向上のために必要な措置を定め、優先業務の立ち上げ時間の短縮やその業務レベルの向上に資することを目的として記載」することとしている。
リソース(※3)	ヒト、モノ、カネ、情報及びライフライン等復旧に必要な資源。
レベル1地震動(※4)	供用期間内に1~2度発生する確率をもつ地震動
レベル2地震動(※4)	現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動

注)用語欄の注記(出典)

(※1)「農業用ダム機能診断マニュアル(2次調査用)」H24.3, 農村振興局

(※2)「農業水利施設の機能保全の手引き」H27.5, 食料・農業・農村政策審議会 農業農村整備部会 技術小委員会

(※3)「土地改良施設管理者のための業務継続計画(BCP)策定マニュアル」H28.3, 農村振興局整備部防災課災害対策室

(※4)「国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル」H24.3, 農村振興局

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

ダムの補強・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

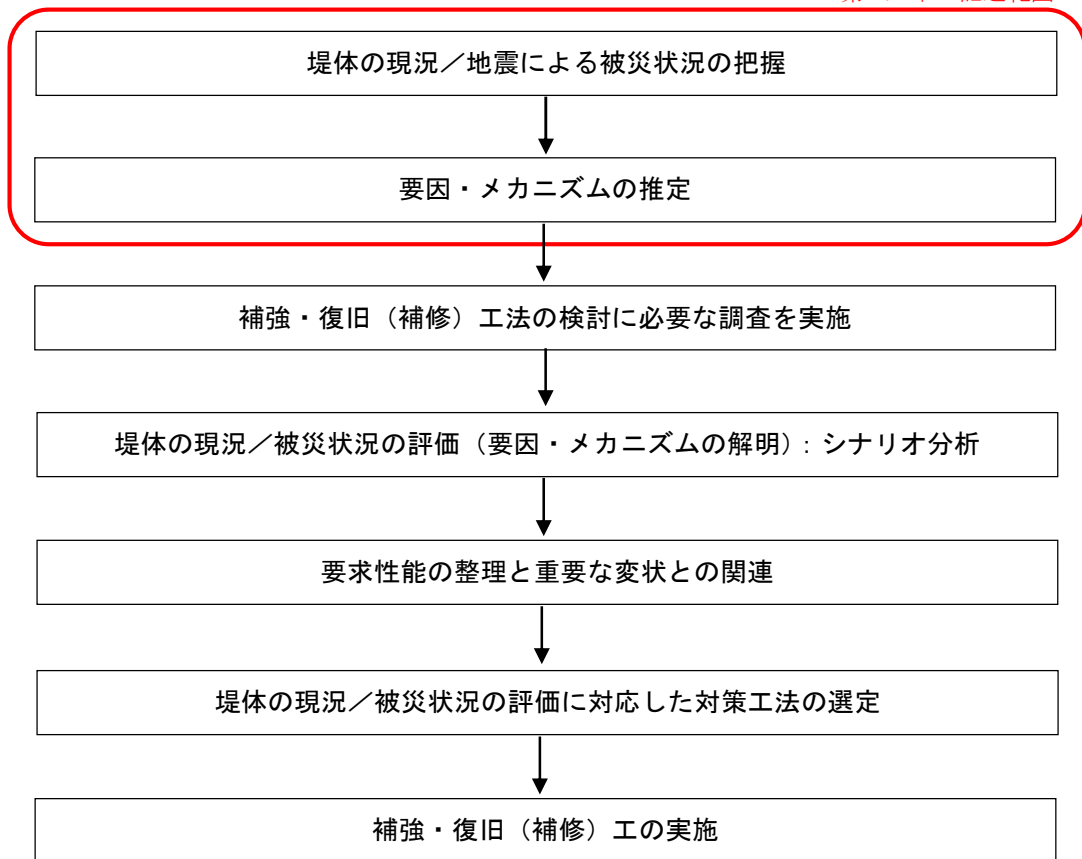


図-2.2-1 補強・復旧(補修)工の実施フロー

(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	発生要因	要因解明のための調査
変形	・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）	・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	・浸潤線が高く不安定	・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	・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	・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	・液状化	・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	発生要因	要因解明のための調査
変形	・ひび割れの発生、進展 ・継目の開き ・堤体の不安定化	・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	・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	・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	・ひび割れの発生、進展 ・継目の開き ・堤体の不安定化	・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	・文献、記録調査 ・外観調査 ・堤体測量 ・原位置調査、試験
漏水	・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	・ひび割れ(建設時、経年、構造的) ・基礎処理不足	・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。

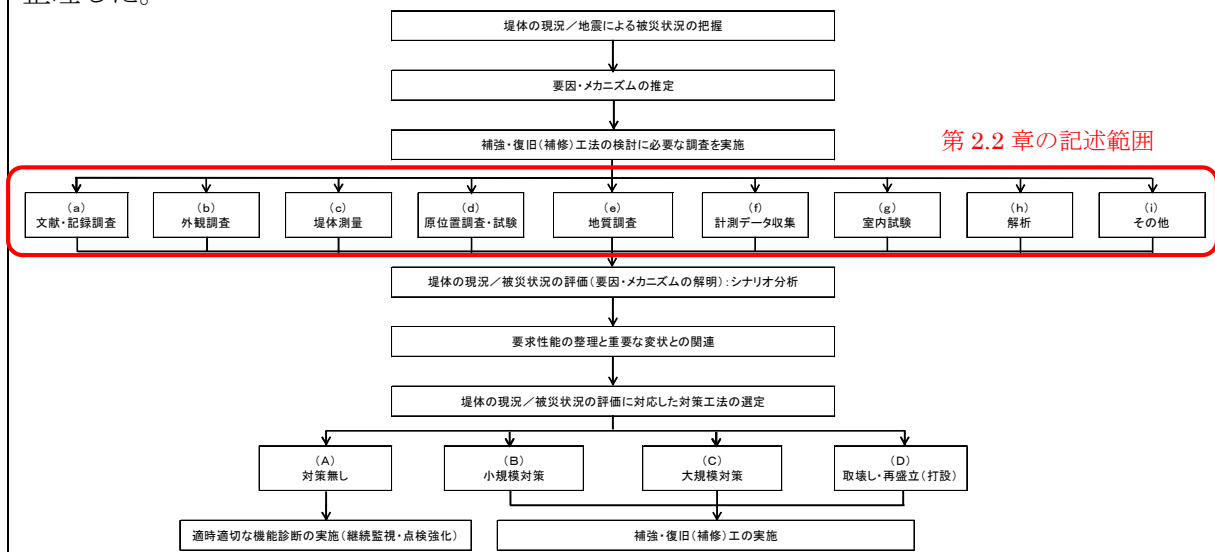


図-2.2-1 フィルダム補強・復旧(補修)工の実施フロー

(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。

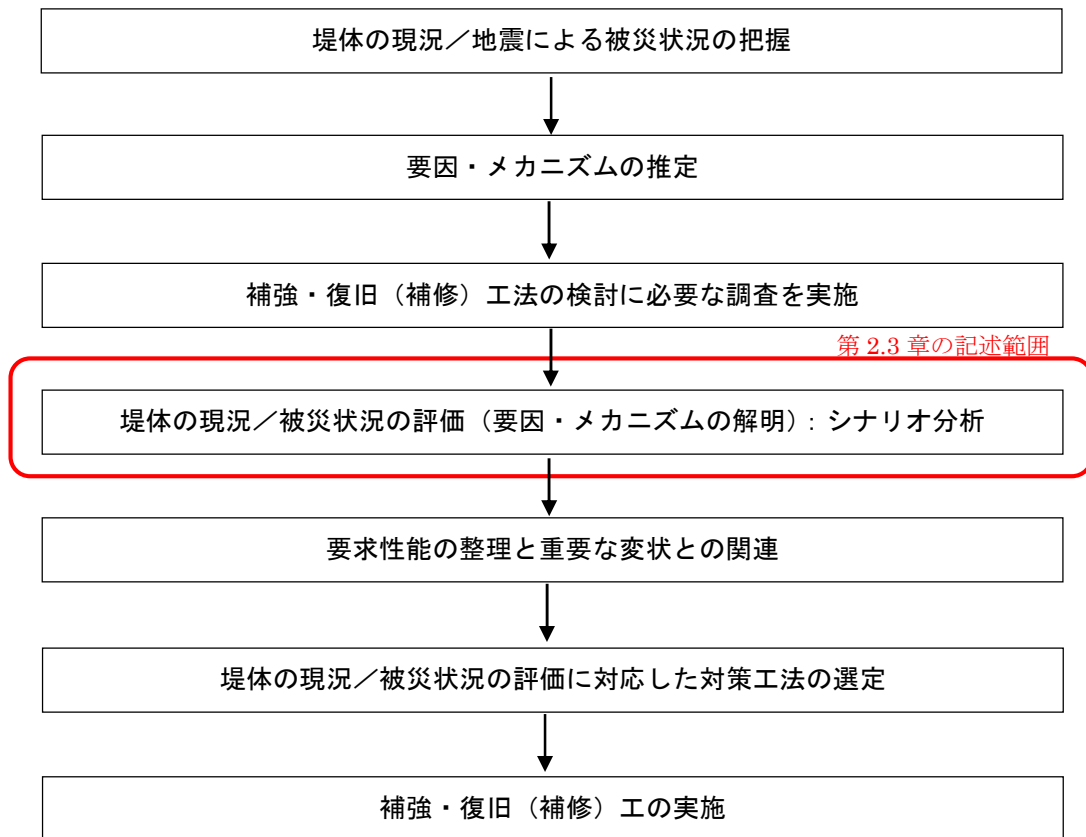


図-2.3-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

※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

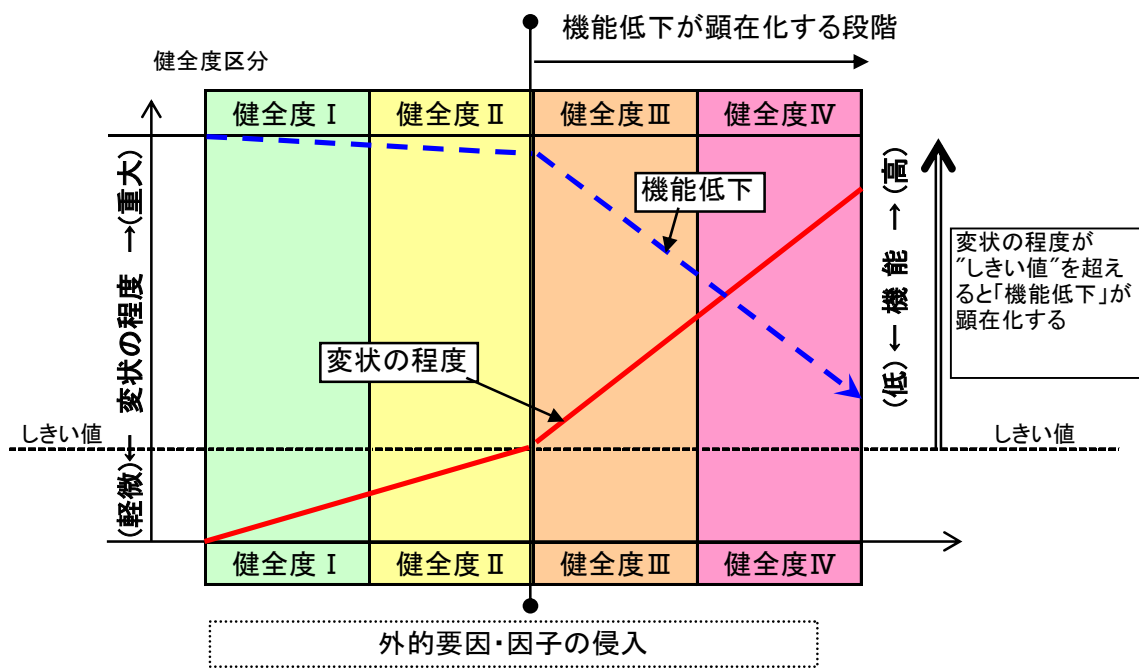
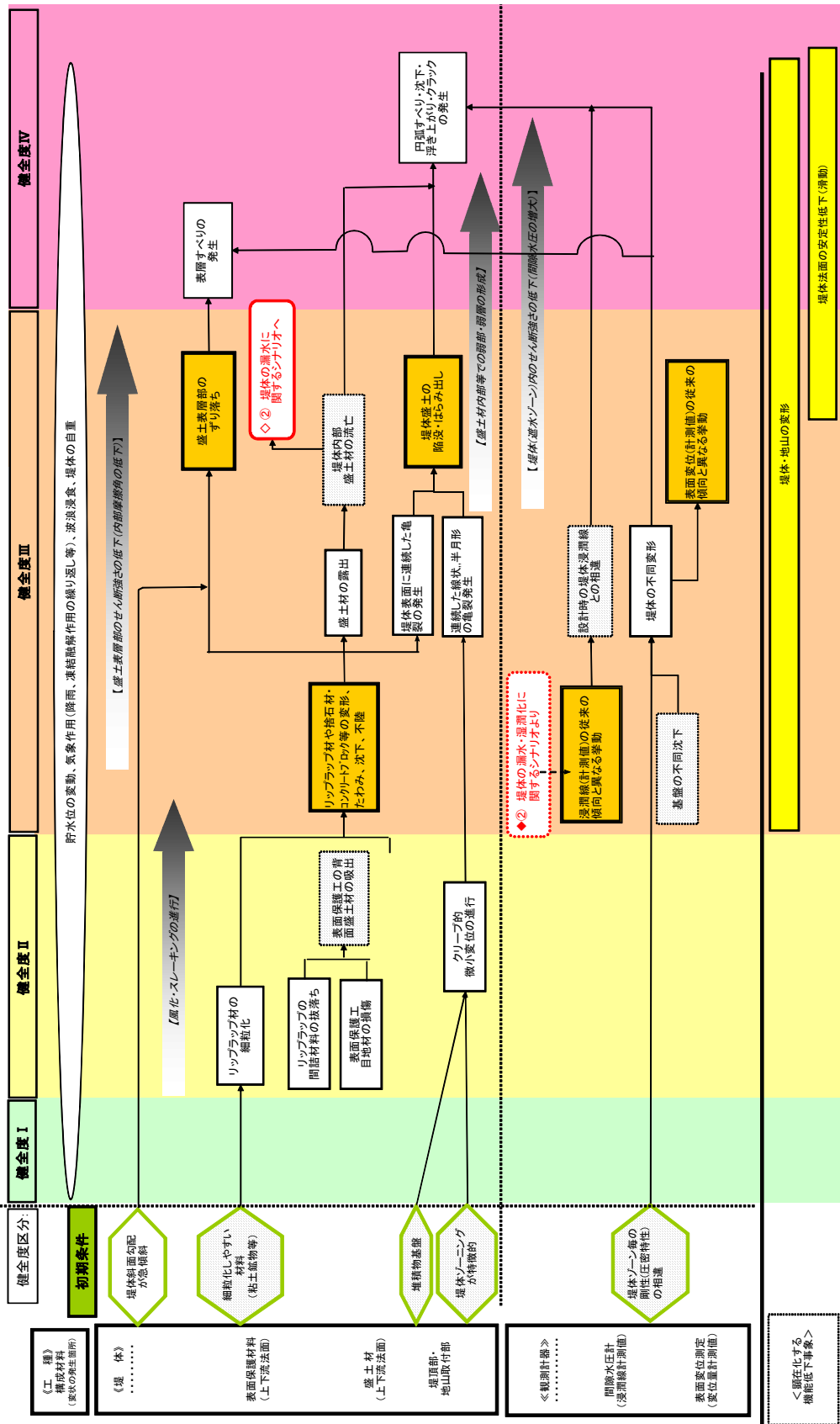


図-2.3-2 変状の進行と機能低下の概念図



※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。

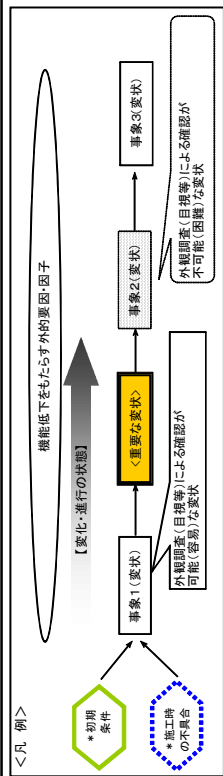
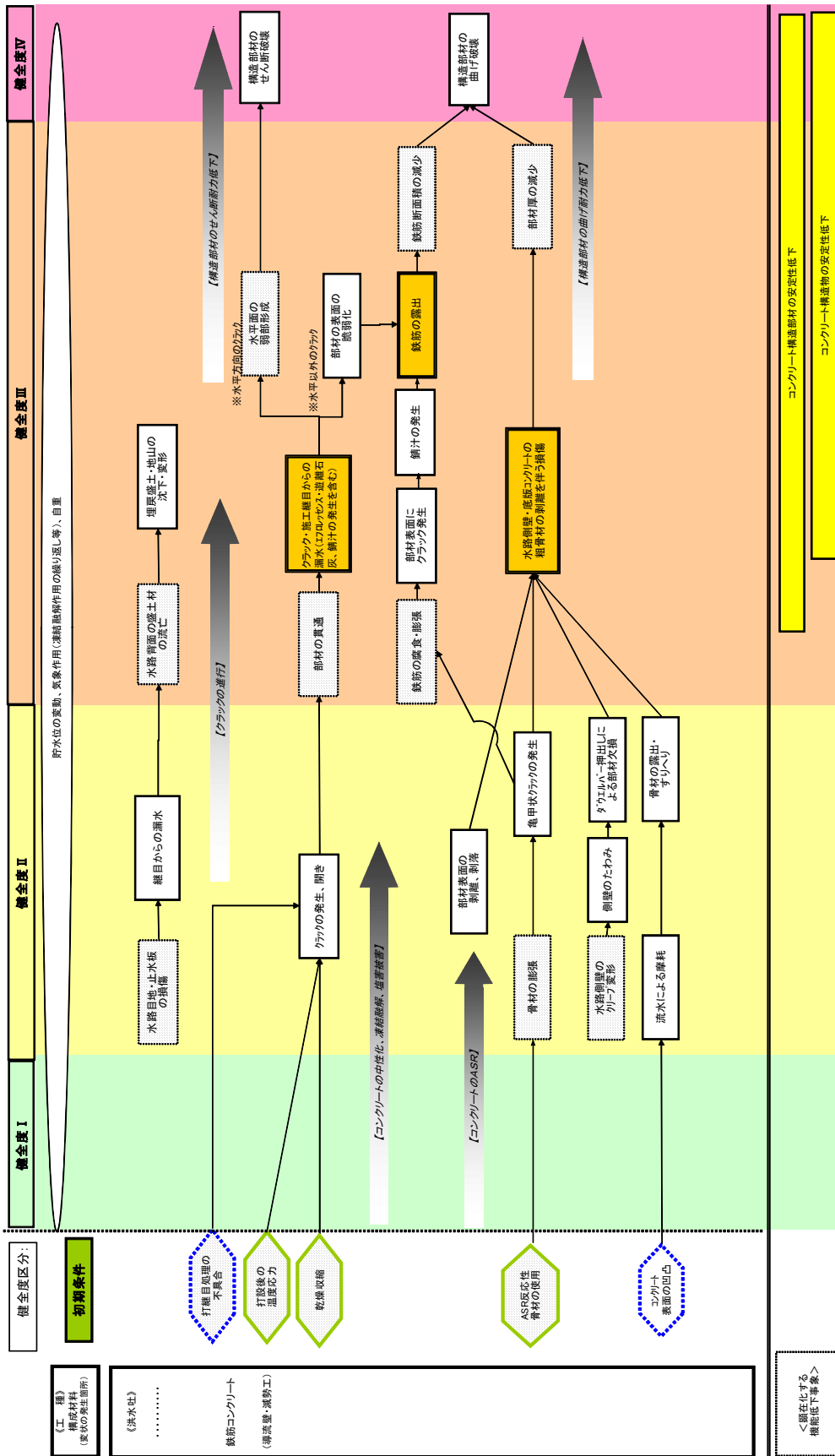


図-2.3-3 フィルダム：堤体の変形に伴う機能低下のシナリオ分析



※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。

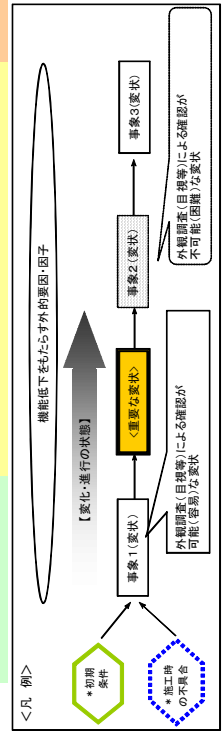


図-2.3-5 コンクリートダム：洪水吐の変形に伴う機能低下のシナリオ分析

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、水理学的機能、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。

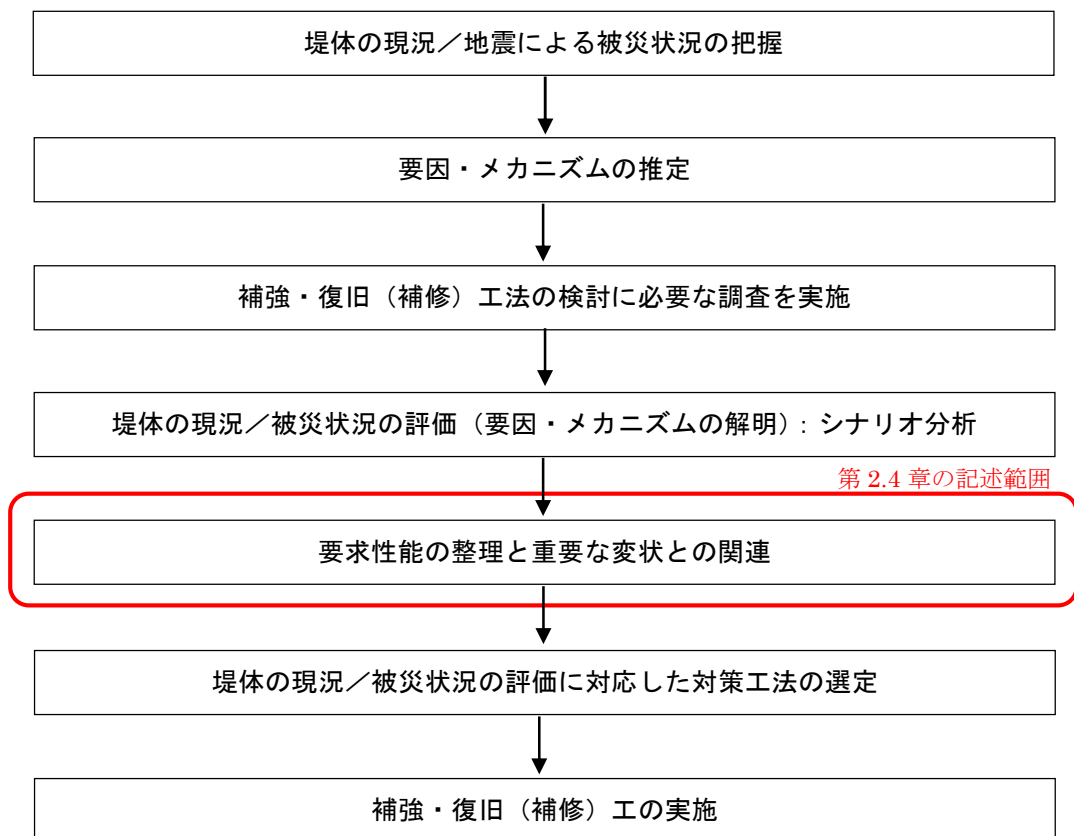


図-2.4-1 補強・復旧(補修)工の実施フロー

(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	I-1	I-2	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7
				堤体 透水量の増加	基礎地盤 の浸透量の増加	堤体からの 浸透水	堤体・地山の 変形	助 堤体表面の 安定性の低下(滑 動)	基礎地盤の 安定性の低下	低堤体表面劣化による 安定性の低下	低堤体・ 堰脚・ 滑動・ 沈下	附帯 構造物の 安定性の低下
			原因・変状	機能低下事象								
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 湧水、漏水の発生	○	○	◎			○			
	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	I-1	I-2	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7
				堤体 透水量の増加	基礎地盤 の浸透量の増加	安 堤体の 安定性の 低下	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 安定性の低下	低堤体・ 堰脚・ 滑動・ 沈下	附帯 構造物の 安定性の低下
			原因・変状	機能低下事象								
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) 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	浸透水の濁り、土粒子の堆積	△	△	◎			○			
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。

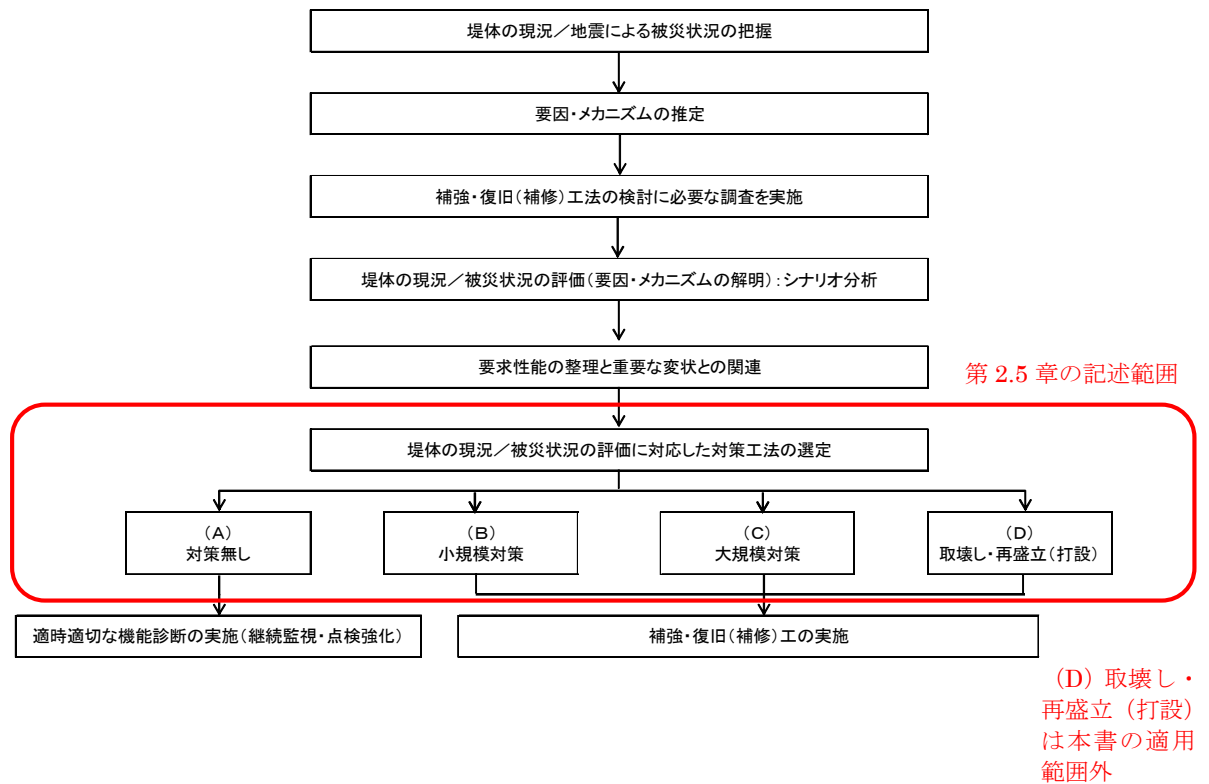


図-2.5.1-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

- ※ (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

ダム補強は、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、碎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ことにより、補強を行う。</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。

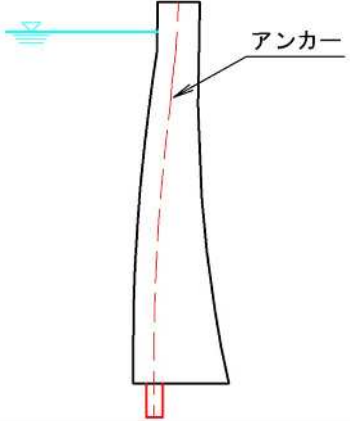
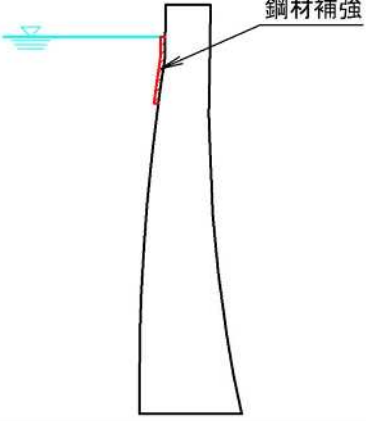
ケース2: アンカー	ケース3: 鋼材等による補強
	
<p>アンカーの設置により、引張応力の発生を抑制したり、ジョイント(横断面)のズレを抑止する。</p>	<p>局所的な引張応力の発生に対する補強を行う。</p>

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）

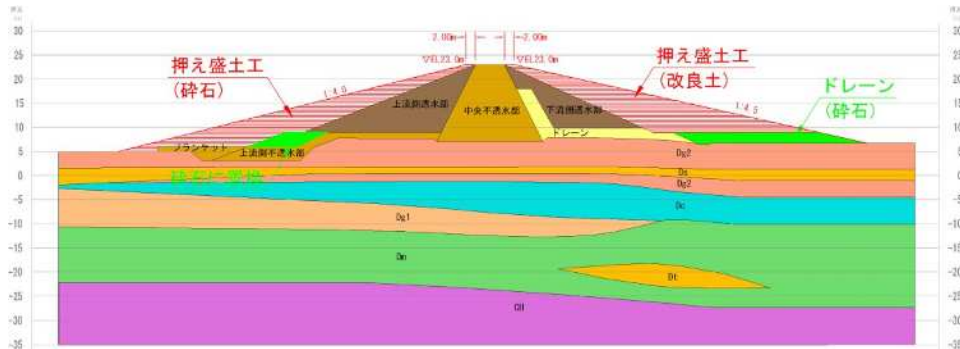
【補強工法の考え方】

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。

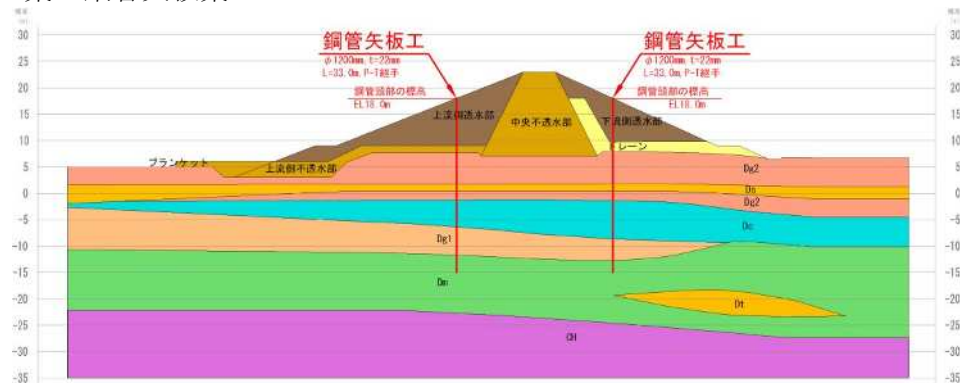
耐震補強工法の選定にあたっては、既存の補強事例から工法を3つ抽出し、この中から、経済性（直接工事費）より、第1案（押え盛土工法）を選定した。

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

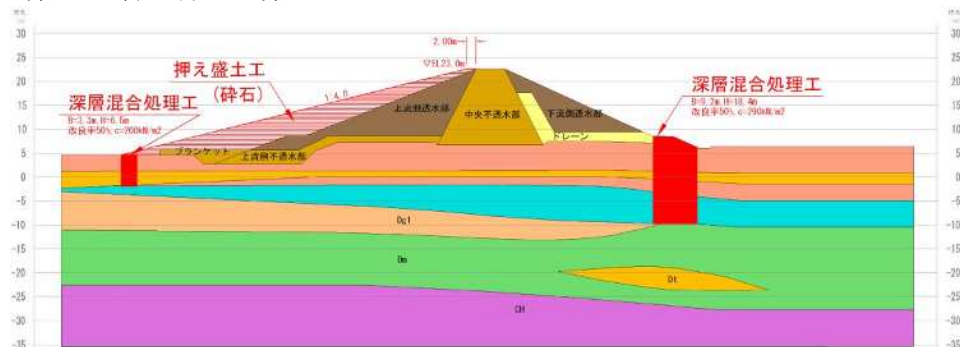


図-2.5.1-5 補強工法比較検討図（初立池）

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。

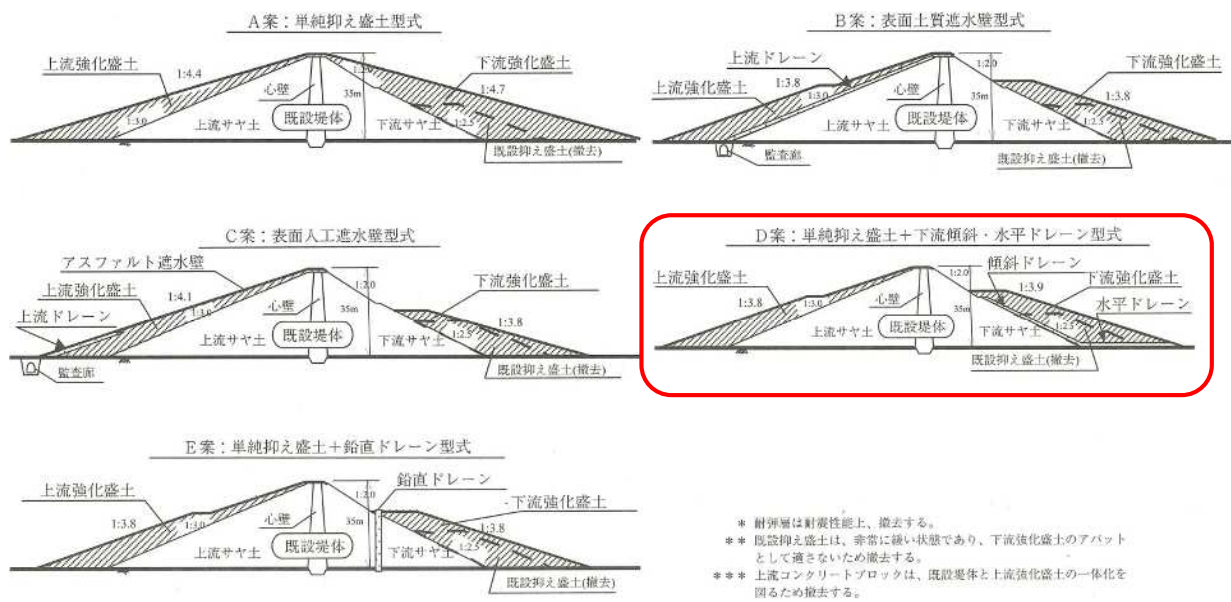


図-2 堤体強化工法(案)

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		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

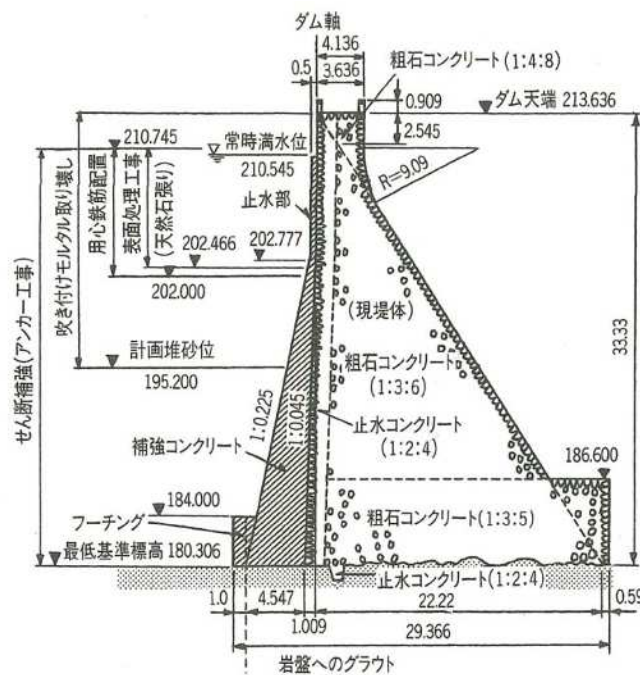


図-2.5.1-7 補強工法図（布引五本松ダム）

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								
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

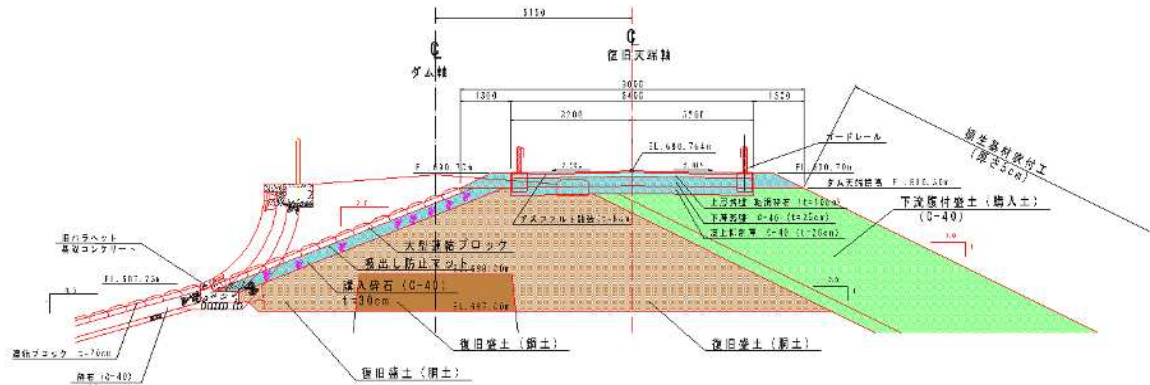


図-2.5.2-3 羽鳥ダム復旧(補修)横断図

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

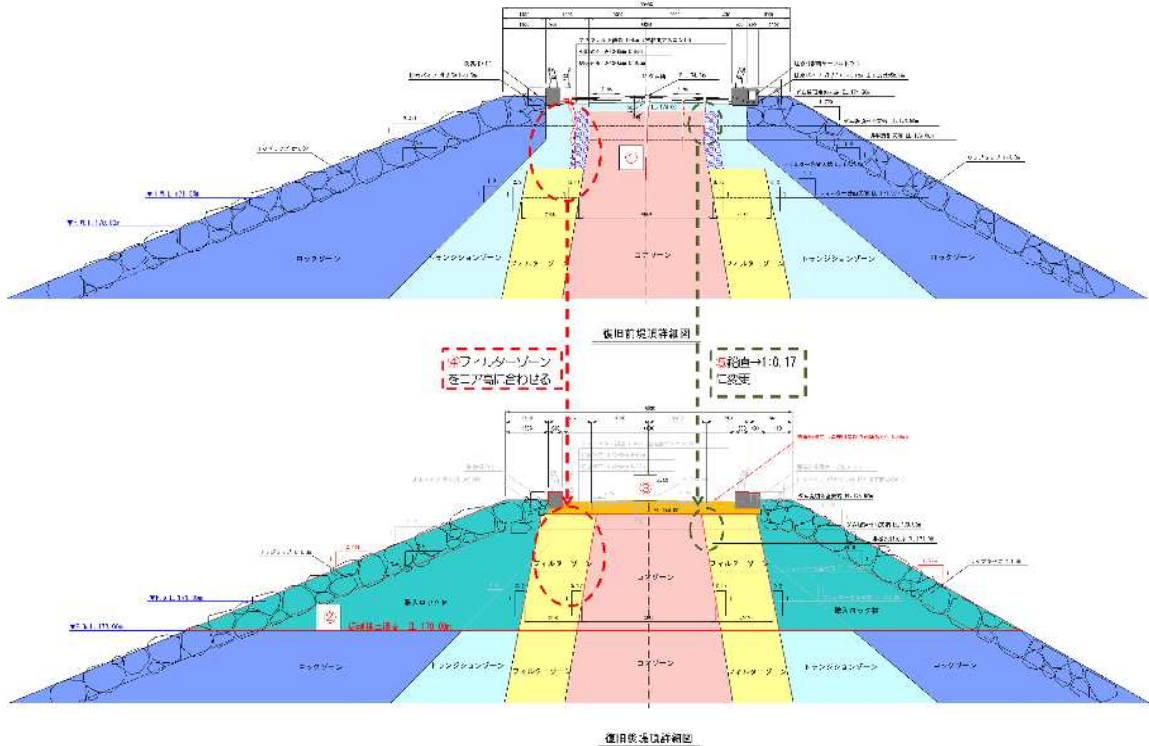


図-2.5.2-4 大柿ダム復旧(補修)横断図

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)

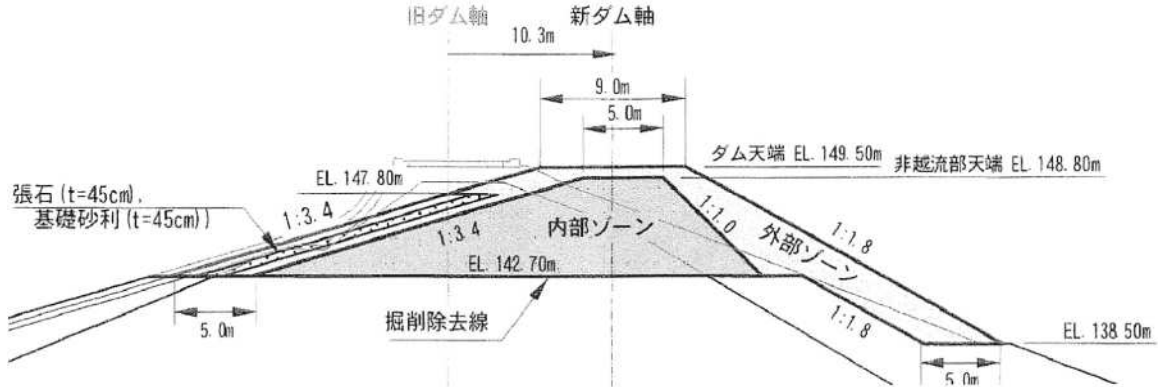


図-2.5.2-5 衣川1号ダム復旧(補修)横断面図

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。

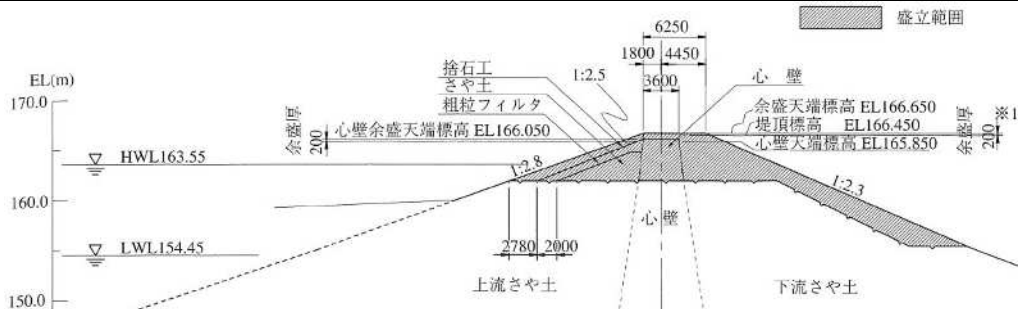


図-2.5.2-6 浅河原調整池復旧(補修)横断面図

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

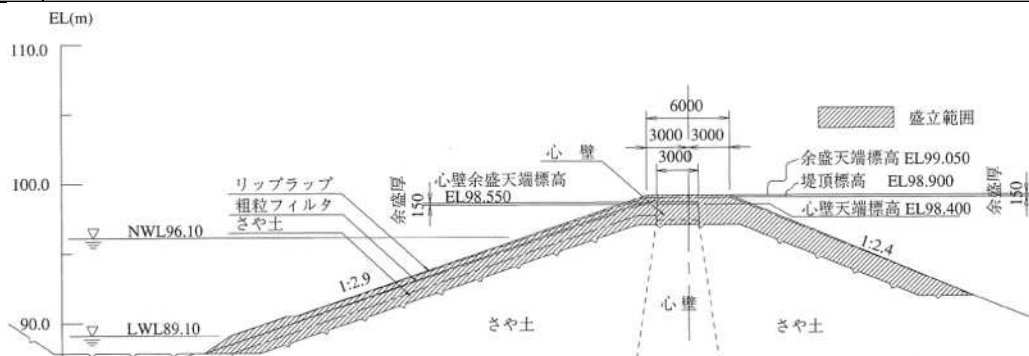


図-2.5.2-7 山本調整池復旧(補修)横断面図

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

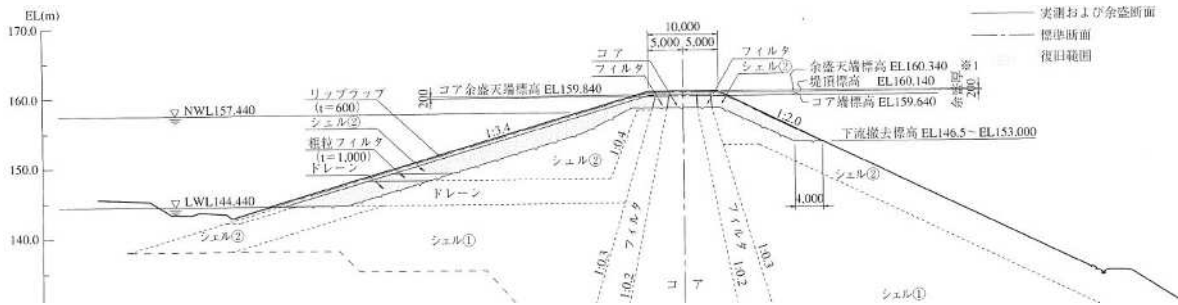


図-2.5.2-8 山本第二調整池復旧(補修)横断図

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え盛土的に築造(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

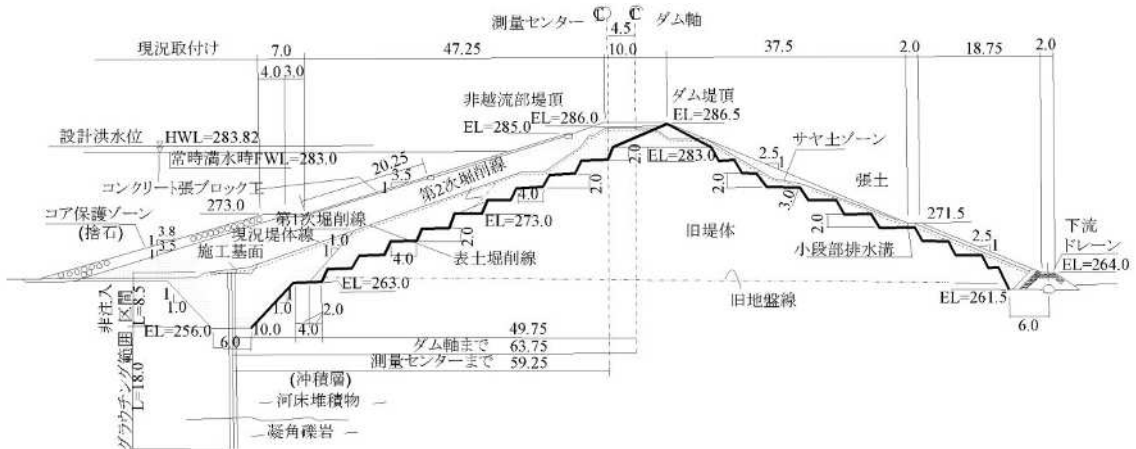


図-2.5.2-9 蛭沢ダム復旧(補修)横断図

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

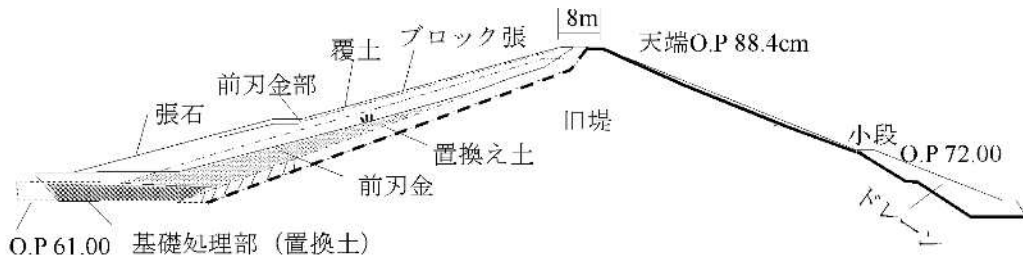


図-2.5.2-10 光明池復旧(補修)横断図

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。

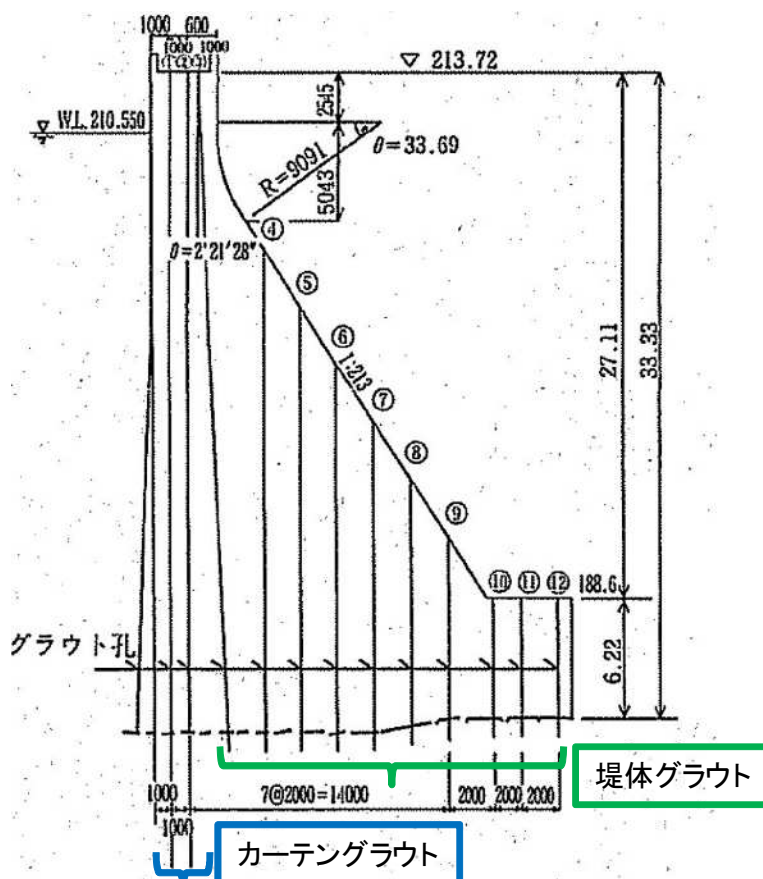


図-7 グラウト標準断面図

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。

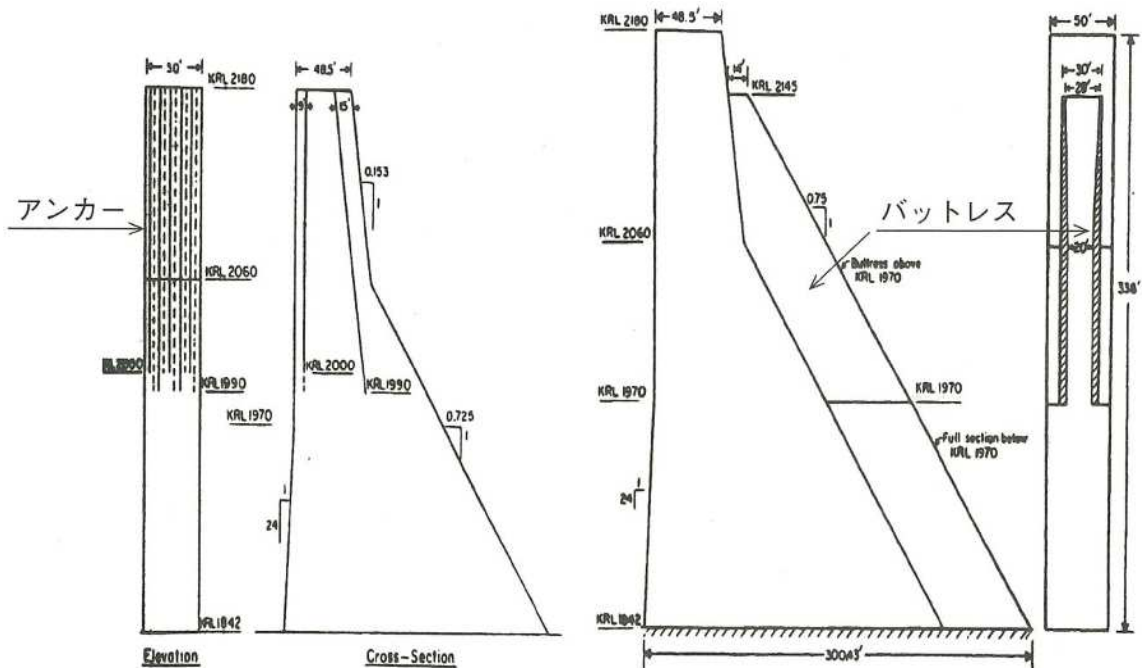


図-5 Koyna ダム補修工概要図

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。

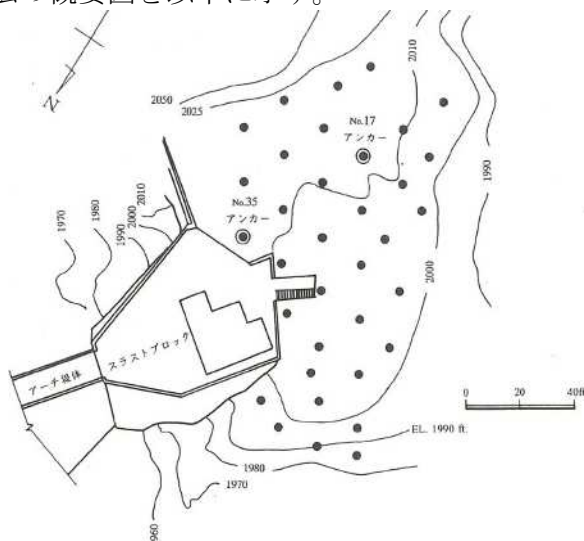


図-2.5.2-13 Pacoima ダム 左岸アバットメントのアンカー位置図（単位：ft）

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）。

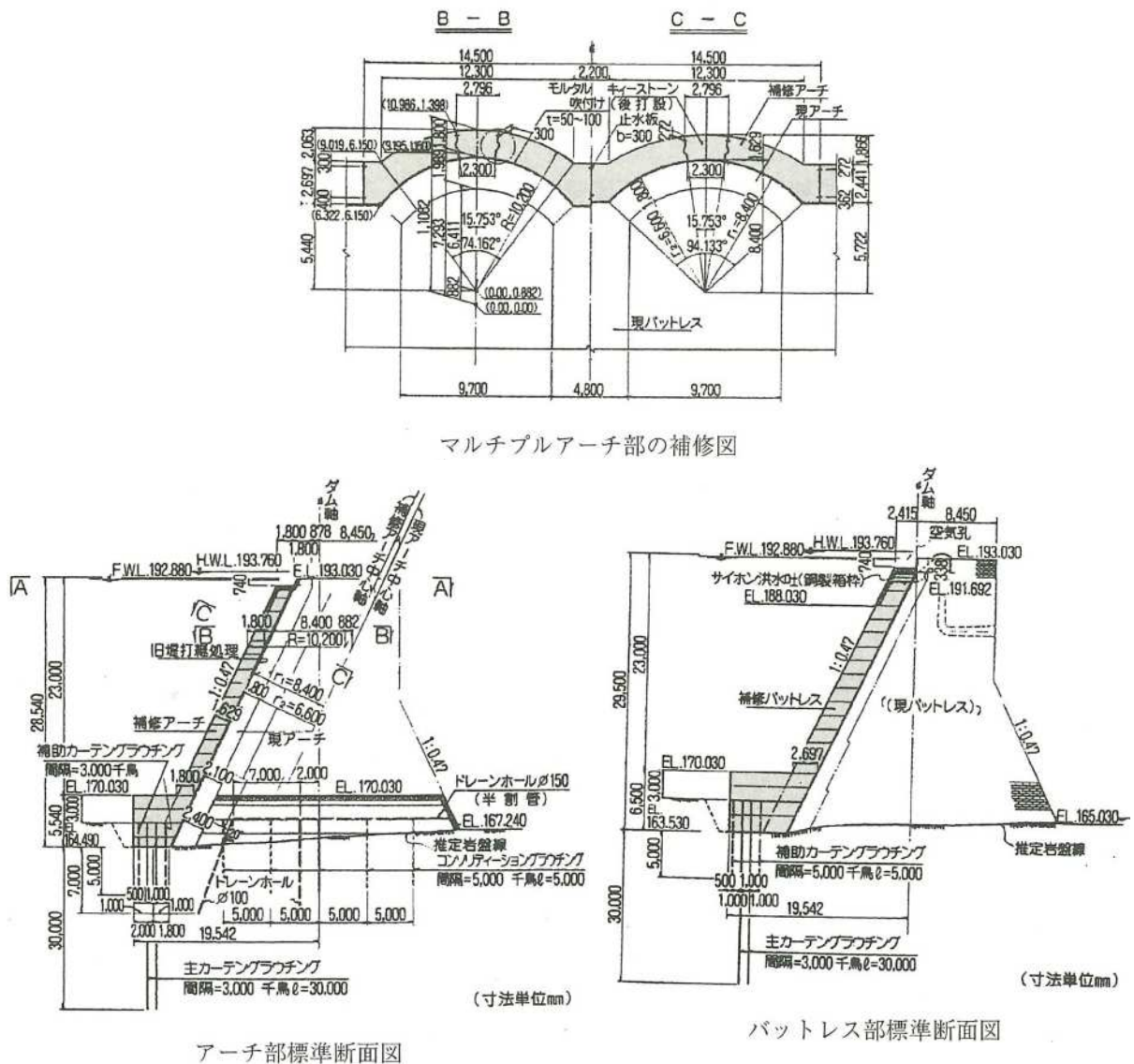


図-2.5.2-14 豊稔池ダム補修概要図（網掛け部：上流新設コンクリート）

※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

第3章 補強・復旧(補修)工法の施工

3.1 補強・復旧(補修)工法の施工概要

補強・復旧(補修)工の実施フローを以下に示す。

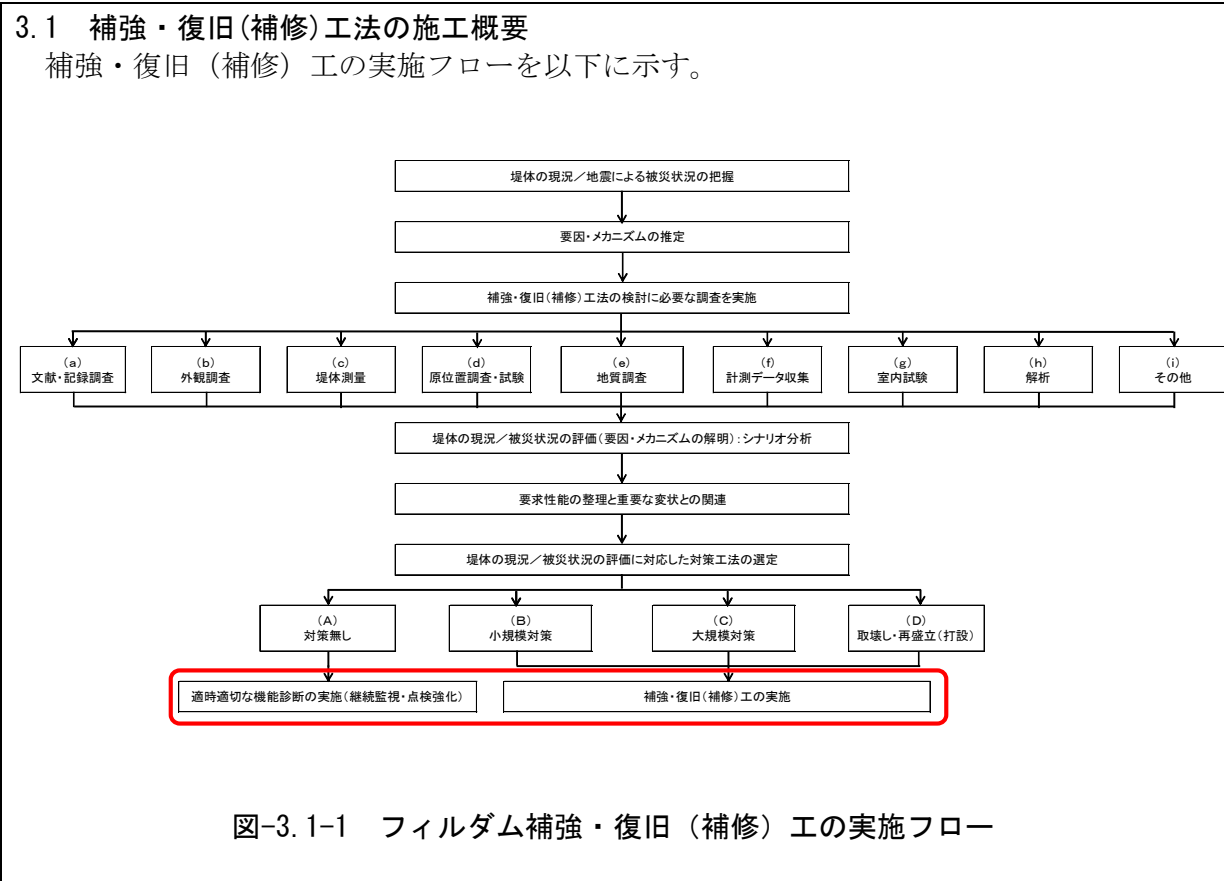


図-3.1-1 フィルダム補強・復旧(補修)工の実施フロー

(1) フィルダム

フィルダムの補強・復旧(補修)工の対策工選定のための詳細調査及び対策工法一覧表を示す。

表-3.1-1 フィルダム補強・復旧(補修)工法選定のための詳細調査一覧表

調査方法	調査目的	調査内容
(a) 文献・記録調査	ダムの特徴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

表-3.1-2 フィルダム補強・復旧(補修)対策工法一覧表

対策分類	対策工法
(A) 対策無し	・継続監視/点検強化
(B) 小規模対策	・補修工
(C) 大規模対策	・押え盛土工
	・表面遮水工
	・ドレーン設置工
	・改良(置換)工
(D) 撤去・再盛立	・地盤改良
	・追加グラウチング(基礎地盤及び周辺地山)
(D) 撤去・再盛立	・撤去・再盛立(再設置)

(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）工の対策工選定のための詳細調査及び対策工法一覧表を示す。

表-3.1-3 重力式コンクリートダム
補強・復旧（補修）工法選定のための詳細調査一覧表

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 [※])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

表-3.1-4 重力式コンクリートダム
補強・復旧（補修）対策工法一覧表

対策分類	対策工法
(A) 対策無し	・継続監視／点検強化
(B) 小規模対策	・ひび割れ注入 ・断面修復 ・表面被覆 ・劣化部の切削・再打設
(C) 大規模対策	・腹付(断面増厚)工 ・鋼材補強工 ・ダウエリング工 ・アンカー補強工 ・追加グラウチング(堤体及び基礎地盤)
(D) 取壊し・再打設	・取壊し・再打設

(3) アーチダム

アーチダムの補強・復旧（補修）工の対策工選定のための詳細調査及び対策工法一覧表を示す。

表-3.1-5 アーチダム補強・復旧（補修）
工法選定のための詳細調査一覧表

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 [※])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

表-3.1-6 アーチダム
補強・復旧（補修）対策工法一覧表

対策分類	対策工法
(A) 対策無し	・継続監視／点検強化
(B) 小規模対策	・ひび割れ注入 ・断面修復 ・表面被覆 ・劣化部の切削・再打設
(C) 大規模対策	・腹付(断面増厚)工 ・鋼材補強工 ・アンカー補強工 ・追加グラウチング(堤体及び基礎地盤)
(D) 取壊し・再打設	・取壊し・再打設

3.2 補強工法の施工

ダムの補強に関する施工事例は限定的であるため、事例紹介に留める。ダムの補強は、種々の工法を適切な手順で施工しなければならない。

(1) フィルダム

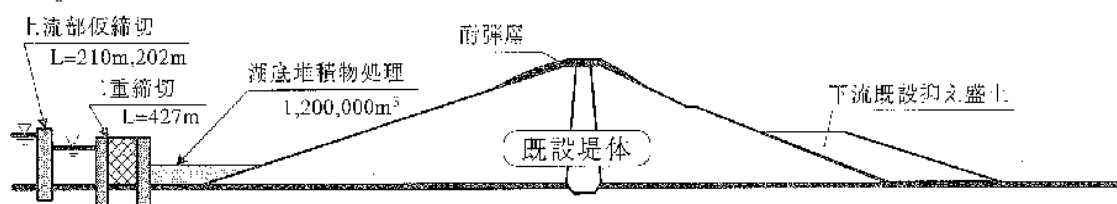
I. 耐震補強工事事例（山口貯水池（埼玉県）、平成10年～14年）

① 準備工事（仮締切工、湖底堆積物処理）

堤体補強工事に先立ち、施工区域を確保するため、堤体上流に二重締切を設置した（山口貯水池は、元来田畑だった場所に人工のダム湖を造ったもので、水を中心とした豊かな自然を備えた環境であったが、近年は堤体下流側のすぐ近くまで市街化が進行している。工事計画当初は、貯水池の下流において二重締切により水面を確保する予定であったが、貯水池に生息する動植物の活動を損ねないように、二重締切の上流部にも仮締切を設け、水面積の確保に努めた）。

山口貯水池は、完成から60年以上が経過しているため、二重締切により確保した施工区域には軟弱な土砂が平均で約2m厚（約120万 m^3 ）堆積しており、人の歩行も困難であったため、セメント系固化材により原位置混合処理を行い、重機の走行が可能な強度を確保した。また、掘削土は強化盛土仮置き場の造成材として利用した。

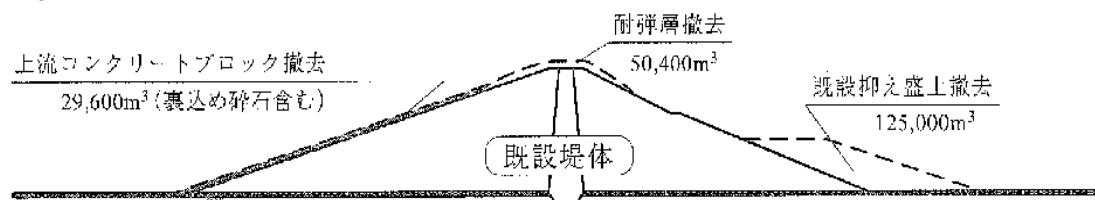
step.1: 準備工事（仮締切工・湖底堆積物処理）



② 耐弾層・既設抑え盛土・上流コンクリートブロック撤去

平成11年6月より、耐弾層（第二次世界大戦時に爆撃から堤体を保護するために設置された玉石層）、下流の既設抑え盛土、上流コンクリートブロックを撤去した。

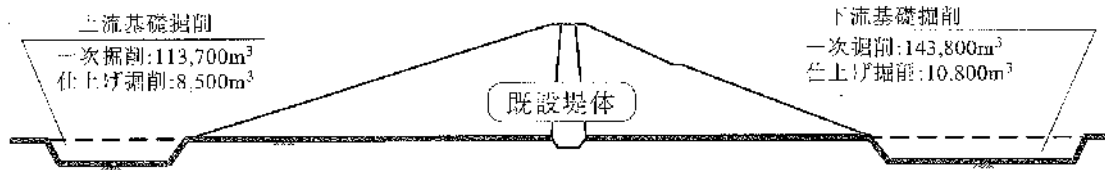
step.2: 耐弾層・既設抑え盛土・上流コンクリートブロック撤去



③ 基礎掘削

本工事において、既設下流抑え盛土撤去（高さ12m）と基礎掘削（深さ5m）を行った。なお、施工中に既設堤体が一時的に不安定な状態で推移すること、既設堤体及び強化盛土は難透水性材料であり、強化盛土盛立時の過剰間隙水圧により両者の安定性が一時的に低下することが予想された。十分な事前検討及び施工中の既設堤体挙動の把握が重要であるため、動態観測とFEM解析を組み合わせた情報化施工管理を実施した。

step.3:基礎掘削



④強化盛土・ドレーン施工

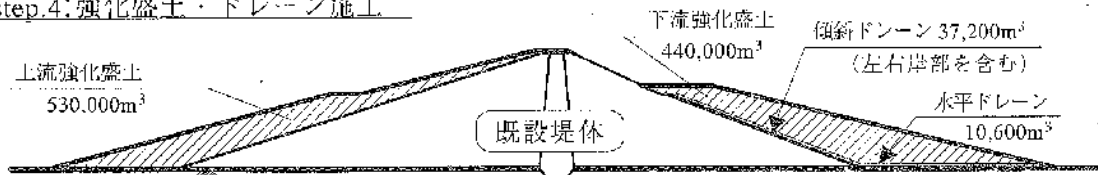
強化盛土材料は、貯水池内に分布する多摩ローム、芋窪レキ層を対象とした室内試験の結果、密度及びせん断強度、賦存量等から芋窪レキ層が使用可能と判断した。

強化盛土材料については、貯水池周辺の豊かな自然環境を保全するため、貯水池林の伐採を行わず、満水位以下（湖底）からの採取とした。

なお、芋窪レキ層単独では、最適含水比に対して自然含水比が高く、強度・トラフィカビリティーが十分に確保出来ないため、砕石（C-40）を体積割合で20%混合することとした。

品質管理に関して、密度条件はD値=95%以上、含水比条件はWopt-5%～+3%の範囲とし、施工条件に関しては、仕上がり厚さ20cm、転圧機械10t級振動ローラ、転圧回数6回とした。

step.4:強化盛土・ドレーン施工



3.3 復旧(補修)工法の施工

復旧(補修)は比較的事例が多く、これらを参考に施工上の留意点を示す。ダム(復旧(補修))は、種々の工法を適切な手順で留意点に注意し施工しなければならない。

(1) フィルダム(※)

※参考資料：農村工学研究所技報 第206号

① 既設堤体の取扱い

堤体改修を経済的かつ効率的に実施するためには既設堤体をうまく活用することが重要である。既設堤体の補強や漏水防止を行う際には、既設堤体が有する安定性と遮水性に応じて、表層部の劣化した部分を除去するなど整形してから、新設堤体を築造することになる。

既設堤体は改修による新設堤体と築造時期が異なるが、単に時間的に異なるだけでなく築造時に適用された設計基準や施工技術が異なり近年に築造された堤体に比較すると締固め程度が低い場合が多い。また、既設堤体は築堤当時の設計・施工に関する資料が少ないか、あるいは散逸してしまったために、堤体と基礎地盤に関する力学的・水理学的な情報の入手が難しい場合が多い。したがって、改修による新設堤体は既設堤体や基礎地盤が有している強度・水理的安定性を正確に把握し、それに応じて断面構成を検討しなければならない。

既設堤体は改修工事に伴って表層法面などを部分的に掘削した状態、あるいは止水トレンチを掘削した状態が最も危険な状態になるが、安全施工のためには施工中の既設堤体の安定性についても十分な配慮が必要となる(例：宿の沢ダム(宮城県))。

② 築堤材料の確保と掘削発生土の流用・処分

堤体改修では所要の強度や遮水性を有する築堤材料を確保しなければならないが、必要とされる土量が改修規模や改修形式により大きく異なる。改修規模が堤体補強や漏水防止のように小さい場合には、池敷内等のダムサイト内の土取場からの土量だけで足りることが多い(例：山口貯水池(埼玉県))。

築堤材料として流用不能な不良土が改修規模や改修形式に応じて発生することになるが、土捨て場の確保が難しくなっている最近の状況を踏まえると、不良土の場外処分が大きな問題となる。堤体上流側の補強や漏水防止を行う場合、特に堤体軸を上流側に移動させる改修では、堤体付近の池敷掘削が必要になる築堤材料に流用しにくい底泥土が大量に発生する。底泥土は一般に高含水な超軟弱粘性土であるが、土捨て処分するためには運搬可能な状態までセメント等の固化材を添加するなどして改良が必要となる。

ダムサイト外からの築堤材料の搬入や、流用不能な発生土のダムサイト外処分のための搬出は大量のダンプ運搬を伴うが、ダンプ運搬は排気ガス、騒音・振動や渋滞などの交通障害を発生させるなど近隣に及ぼす環境負荷を踏まえると、市街化がある程度進んだ地域にあるフィルダムではほとんど不可能になってきている(例：山口貯水池(埼玉県))。このような場合には、改修に必要な築堤材料はダムサイト内で確保する、築堤材料に流用不能な不良土はダムサイト内で処分することが原則的に必要になってくる。発生した底泥土は場内で捨土処分しているケースもある。

③施工中の貯水条件

農業用ダムは供用中であるのが普通であり、改修中であっても用水供給を維持しなければならない場合が多い（例：村山下貯水池（東京都））。一方、かんがい期間以外は用水供給の停止が許容されることもある。このような制約条件は新規の農業用ダムの建設ではなく、改修工事特有のものである。

堤体下流側だけで改修が可能な場合には、既設堤体は仮締切堤として貯水したままを基本とした改修を行うことになる（例：村山下貯水池（東京都））。これに対して、施工中に用水供給が必要で、かつ堤体上流側の改修も必要な場合には、池内に仮締切堤を設けて部分的に貯水をしながら、既設堤体とその上流側の仮締切堤の間の池敷部はドライエリアとしなければならない（例：山口貯水池（埼玉県））。

なお、池内に貯水する必要がある場合には、池敷内を掘削発生土の仮置きヤードとして、あるいは複数の築堤材料の混合ヤードなどに使用できないため、改修工事实施上の制約になることにも配慮しなければならない。

④基礎地盤の水理的安定性と止水処理

基礎地盤は自然に形成されたものであるため強度や透水性が均一な状態にあることはまれで、堤体が十分な強度と水理的安定性を保つように軟弱部の除去のような基礎処理あるいは止水処理を行うことが基本となる。止水処理はコアゾーン底部を基礎地盤内の不透水域まで掘り込んだ止水トレンチにより行うが、不透水域が深い場合には止水トレンチ底面からグラウチングによる止水処理を行う必要がある。

改修規模が小さい場合には止水トレンチの幅を広くして浸透路長を長くして動水勾配を小さくすることで対処できる場合もある（例：宿の沢ダム（宮城県））。

改修規模にかかわらず、基礎地盤の止水性が著しく不良な場合には幅広の止水トレンチとグラウチング処理を併用することになる。

⑤既設・新設堤体の接触部の処理

既設堤体と改修による新設堤体は、堤体の補強や漏水防止などの改修目的に関係なく一体化させることが重要であり、新旧堤体境界面の施工は慎重に行われなければならない。既設堤体は築造後の経年変化により全体的に安定化してはいるが、表層部は強度劣化して緩んだ状態にある場合が多い。このため、既設堤体表層部の緩み部分は掘削除去して、新鮮な堤体面に新設堤体を密着させなければならない。

改修規模が小さい堤体の補強や漏水防止の場合には、新設堤体の築堤材料には既設堤体と物理特性や力学特性が同等の築堤材料により築造されることが多いので、既設堤体表層の劣化部分を除去するだけで、新設の堤体を密着させることは可能である。

(2) 重力式コンクリートダム（※）

※参考資料：「ダム補修事例に関する調査」国総研資料、大ダム No. 202

①転流工の施工

貯水池の運用条件や既設構造物の利用の可否によって転流工の方式はさまざまである。洪水吐等既設構造物を利用する場合には、出水期における工事制限が設けられている。

また、関連工事との調整や、猛禽類等の周辺環境への影響対策としての作業制限期間を設けることもある。全体工期や出水被害のリスクも考慮して、堤外仮排水路による転流方式も含めて総合的に検討していく必要がある。

②ダム堤体の掘削及び既設構造物の撤去

ほぼ全てのダムにおいて火薬使用制限が設けられており、発破工法を併用する場合においても一般的に既設堤体より5mの範囲内では無発破工法による掘削が採用されている。一部のダムでは発破振動の測定と許容値(10kine)の設定がされているが、対象となる構造物の健全性(引張強度等)等を考慮した発破振動許容値の設定と工法の使い分けについて妥当性を検討していく必要がある。

また既設構造物の撤去については、工程短縮や安全性、振動・騒音の低減を目的としてワイヤーソー工法や静的破砕材を使用している例もある。

③新旧堤体コンクリートの一体化処理方法

一体化対策としての既設堤体チップング及びモルタル敷きは全てのダムにおいて行われているが、補強鉄筋の配置については対応がさまざまである。温度応力解析結果をもとにアンカーや補強鉄筋の配置を検討した例(布引五本松ダム)や、アンカーや補強鉄筋を配置しなかった例もあり、一体化処理方法については計測結果(堤体温度、継目変位応力等)等からの検証が必要と思われる。しかし打設の進捗に伴いクラックが発生した例もあるため、発生した場合の対応について事前に検討しておく必要がある。

④新堤体コンクリートの施工方法

a. コンクリート供給方法

新堤体ダムコンクリートを生コン工場より購入する場合に事前に調査及び解決しておかなければならない課題は多く、その内容を整理すると以下ようになる。

- ・設備上の改造が可能であるか(冷却設備の設置)
- ・他現場との競合があるか(工程管理、品質管理、補償の問題等)
- ・専用のセメントサイロが確保できるか(品質管理)
- ・ダム用の品質管理担当者が確保できるか(ダム工事経験等)
- ・最大骨材寸法(締固め機械の選択)
- ・運搬経路や近隣地域への環境負荷

b. ひび割れの発生

新旧堤体接触面において、既設堤体の拘束及び新堤体コンクリートの温度応力に伴うひび割れが発生しているケースが多く見受けられる。ひび割れ発生への対応について、予め対応策を考慮しておく必要がある（布引五本松ダム）。

⑤基礎処理方法

事前の調査や既設ダムの浸透量観測結果をもとに、施工範囲及び施工仕様を決定する。改良目標値に達している部分の取り扱いについては、パイロット孔のみによる確認や、規定孔までの施工等の対応がとられているか、左右岸のリム部については、地山の透水性や水位上昇分、湛水実績等を考慮して施工範囲を決定するなど、適切な調査（下流地下水位、浸透量、地盤の間隙水圧、水質等）を実施し、その結果の検証が必要である。

⑥施工ヤード

新堤体コンクリートの施工においては、仮設備ヤードの確保が困難であるためにコンクリートを生コン工場より購入しているケースがあり、品質確保の為の設備上の課題、温度応力対策等について事前に調査及び解決しておく必要がある。

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。

第5章 被災時の調査・応急対策について

5.1 農業用ダムの被災の特徴

ここでは、農業用ダムで過去に地震動によって生じた被災事例を分類・整理し、取りまとめたものである。

我が国の農業用ダムにおいて過去に発生した大規模地震時に発生した変状事例は以下のとおりである。

対 象	確認された変状の事例
フィルダム	<ul style="list-style-type: none"> ○堤頂道路舗装の継目クラック ○堤体天端からのクラック（ダム軸方向、横断方向） ○堤頂法肩部波返工（パラペット）の目地の開き・段差・ずれ ○堤体上流法面保護工の段差、はらみ出し、ずれ ○天端の沈下 ○浸透量の増加 ○間隙水圧（堤体・基礎地盤）の変動（増大、減少）
（参考）ため池	<ul style="list-style-type: none"> ○堤体の決壊（青田新池、中池、下小森ため池の3例） ○天端の沈下 ○上流・下流斜面のすべり破壊、はらみ出し ○縦断・横断クラック ○上流法面保護工の変形、転倒 ○上流波返工（パラペット）の転倒 ○底樋管の破損、離脱、土砂吸い出し ○下流法面からの漏水 ○地表地震断層による損傷
表面遮水型 フィルダム	<ul style="list-style-type: none"> ○表面アスファルト遮水壁のクラック
コンクリートダム	<ul style="list-style-type: none"> ○継目排水孔からの浸透量増加 ○基礎排水孔からの浸透量増加 ○揚圧力、間隙水圧の増加 ○天端高欄コンクリートの剥落、舗装継目の開き、段差
付帯施設	<ul style="list-style-type: none"> ○洪水吐コンクリートの損傷 ○洪水吐コンクリートのクラック・傾倒・目地の開き ○取水構造物の変状（斜樋・底樋のクラック及びクラックからの漏水、操作室の傾倒等） ○下流分水工の損壊による漏水

※参考資料：農業工学研究所技報、国総研資料、地盤工学会報告資料

農業用ダム等で発生した変状事例（被災状況）について主なものを以下に示す。

表-5.1-1 農業用ダム変状事例（被災状況）一覧表

■ 復旧事例の整理結果（総括）

ダム名 (所在地) [竣工年]	被災地震	ダムタイプ (堤高)	主な被災状況	備考
川西ダム (新潟県) [1980(S55)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=43m)	・堤頂部クラック、上流面すべり 破壊 ・附帯施設損傷	
藤沼ダム (福島県) [1949(S24)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=18.5m)	・本堤決壊 ・副堤法面すべり 破壊	
西郷ダム (福島県) [1955(S30)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=32.5m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)の段差等 ・附帯・周辺施設損傷	
羽鳥ダム (福島県) [1956(S31)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=37.1m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)目地の開き、下流法面の開口亀裂等	
大柿ダム (福島県) [1988(S63)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	ロックフィル (h=84.5m)	・堤頂部クラック、変位、法面凸部	
常盤ダム (兵庫県) [1974(S49)]	1995(H7)年1月17日 兵庫県南部地震	アース (h=33.5m)	・堤頂部クラック ・基礎岩盤の透水性増大の疑い	
浅河原調整池 (新潟県) [1945(S20)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=37m)	・堤頂部クラック、段差 ・周辺法面、護岸の亀裂・段差	※参考 (発電)
山本調整池 (新潟県) [1954(S29)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=27.5m)	・堤体上流法面に段差、噴砂(7箇所)の発生、沈下 ・コンクリート止水壁と堤体の境界部に空隙、クラック	※参考 (発電)
山本第二調整池(新潟県) [1990(H2)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	ロックフィル (h=42.4m)	・堤体上流面に段差、噴砂、堤体下流面にはらみ出し、沈下(85cm)	※参考 (発電)



写真-5.1-1 天端のクラック（ダム軸方向）
（西郷ダム）



写真-5.1-2 天端舗装面のクラック
（大柿ダム）



写真-5.1-3 天端の段差・沈下（浅河原調整池※参考）
：右図写真-1



図-3 浅河原調整池の平面



写真-5.1-4 天端の沈下
（山本第二調整池※参考）



写真-5.1-5 波返工（パラペット）の
目地の開き・段差（西郷ダム）



写真-5.1-6 堤体上流法面の段差・ずれ
（山本調整池※参考）：右図写真-5

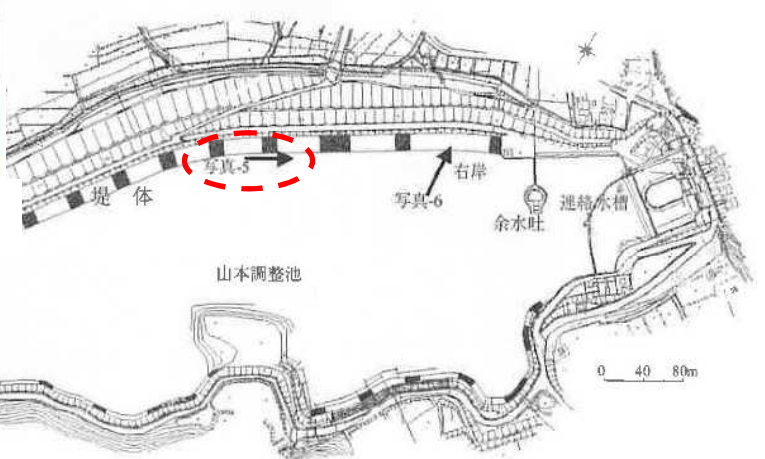


図-7 山本調整池の平面



堤体下流斜面のクラック

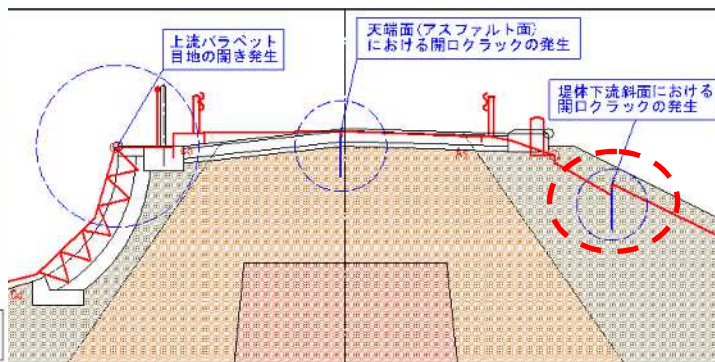


写真-5.1-7 堤体下流法面の段差・ずれ
(羽鳥ダム)



写真-5.1-8 下流法面のはらみ出し
(山本第二調整池※参考) : 右図写真-10

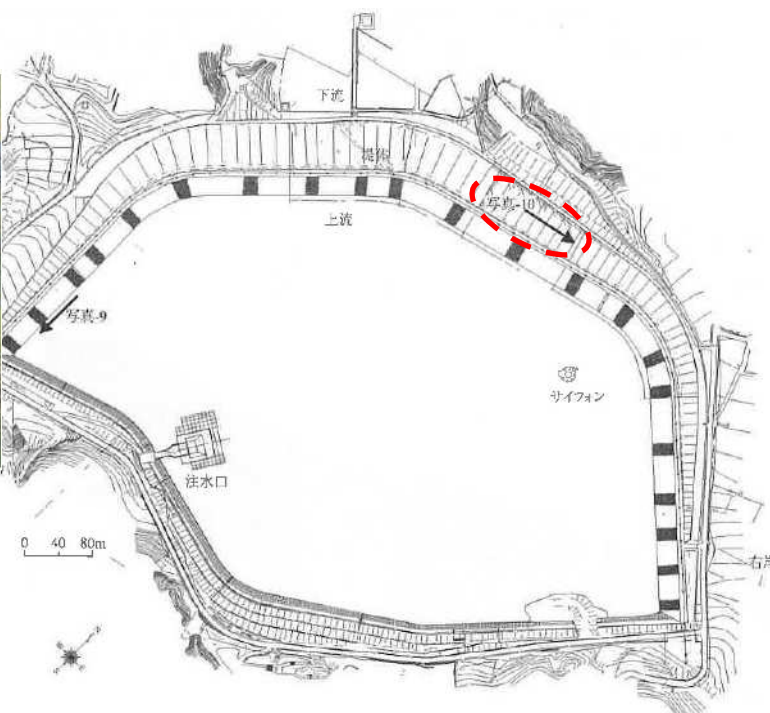


図-13 新山本調整池の平面



写真-5.1-9 洪水吐(導流壁)のクラック
(西郷ダム)



写真-5.1-10 洪水吐側壁の倒壊
(川西ダム)



写真-5.1-11 波返工(パラペット)石積工の上流への崩落及び高欄の傾倒
(衣川1号ダム)

5.2 被災時の調査方法

ここでは、農業用ダム（フィルダム）被災時の調査方法の検討に際しての留意点を示す。ただし、施設毎に管理マニュアル等が定められている場合は、そちらを優先する。

※参考資料：「平成 8 年度 緊急時土地改良施設点検調査（重要構造物にかかる緊急時点検技術の開発）委託事業 報告書 平成 9 年 3 月 （財）日本農業土木総合研究所」

※参考資料：「地震被災後のため池緊急点検」

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

被災時の調査方法を、「緊急目視点検（一次）：地震による被災状況把握のための調査」、「緊急詳細調査（二次）：復旧工法選定のための調査」の具体例を以下に示す。

(1) 緊急目視調査（一次）

被災後の調査において、巡回目視点検による亀裂、変形、漏水及び湧水等の発見が第一番目の安全性の確認である。

特に地震後の漏水の量及び濁りの監視が重要である。この監視は、内部の損傷が外部に現れるには時間遅れがあるため、ある程度の期間が必要である（満濃池では、地震後、一ヶ月経って漏水が拡大して決壊したという記録もある）。

【目視による点検】

- ・ダム堤体に亀裂を発見した場合
 - ① 先ず、下流法面に漏水が発生していないか、直ちに点検する。
 - ② しばらくの間、亀裂の幅が拡大していないか、漏水が発生していないか、注意深く監視する。
 - ③ 亀裂や漏水が発生していた場合、被災後の余震や降雨の状況を考慮して、十分に安全な貯水位まで低下させる。
- ・亀裂には下図に示すように、ダム軸に直角方向の「横断亀裂」、ダム軸に平行な「縦断亀裂」がある
 - ① 「横断亀裂」の場合、亀裂が上下流に堤体を貫通している場合、漏水が発生する可能性が大きく、特に注意が必要である。
 - ② 「縦断亀裂」でも段差がある場合には、法面がすべっている可能性がある。



図-5.2-1 地震により発生する変状（亀裂・漏水等）

【漏水調査】

堤体の下流法面から漏水の発生の有無を確認する。漏水が発生していた場合、漏水に濁りがないかを確認する。濁りがある場合には、漏水が拡大して決壊に至る場合がある。ただし、地震直後は一時的に漏水が濁り、その後濁りが無くなることもあるので、漏水量と濁りを定期的に点検することが重要である。

漏水量を計測するには、水路に漏水を集めた上、三角堰により測定する方法や直接バケツなどで測定する方法がある。また、漏水量を測定すると同時に貯水位も計測する。

漏水の範囲を明示するため、カラーテープを着けたポールを立てると共にカラーズプレー等によって境界を示すことも重要である。

・漏水量の計測方法には以下の方法がある

- ①雨樋・塩ビパイプ等を利用
- ②竹が入手できれば二つ割りにして樋として利用
- ③段ボールをV字型に整形（ビニール製のラップ・袋があれば被せる）して利用

【亀裂幅や堤体形状の定期的な測定】

地震後、余震や降雨により堤体の変形が進行する場合がある。被災後の堤体の変状や亀裂幅を記録しておくことで、変形の進行を確認することができる。

(2) 緊急詳細調査（二次）

亀裂発生場所の試掘により、亀裂が遮水性に影響を及ぼすかどうかの判断が重要である。

亀裂の試掘のみでは、内部損傷を見落とししている可能性がある。このような場合には、築堤時のボーリング資料、岩盤写真、盛土管理実績、試験湛水時からの埋設計器データ、浸透量観測値等の資料から地震時に起こり得る損傷の推定と現在の状況との比較検討を行い判断することとなる。

また、再湛水時及びそれ以後に十分な安全管理が行えるように、埋設計器、浸透量等観測装置の保守・管理も重要な点である。

【石灰水注入による亀裂の深度調査】

被災したダムを復旧するには、亀裂がダムのどの程度の深さまで及んでいるかを知る必要がある。ところが、地震によってダムに発生した亀裂は、被災後に雨が降ると、すぐに詰まって閉じてしまい、数週間経つと亀裂の深さを正確に測ることができなくなってしまふ。そこで、被災後すぐに亀裂に石灰水等のトレーサーを入れておくことで、亀裂深さを確認でき、後で復旧計画を立てやすくなる。

※石灰水以外のトレーサーとして、メチレンブルーや水性ペンキを使用している例もある。また、コアやフィルタなどゾーンによってトレーサーを使い分けている例もある。

1) 準備するもの

- ① 消石灰
- ② 石灰水をつくるためのタンク、バケツ等（亀裂の大きさに応じて大きさを決める）
- ③ かき混ぜるためのひしゃくか棒のようなもの
- ④ 亀裂に流し込むためのバケツ
- ⑤ 貯水池の水をくみ上げる水中ポンプ（※用意出来れば）



写真-5.2-1 タンク

2) 作り方

- ① 消石灰と水（おおよそ消石灰 10kg に水 40～50 リットル）をひしゃく等で混合する。
溶け残りが無いように良くかき混ぜる。目安は、粉ミルクを水で溶かしたような状態である。
- ② 亀裂の奥まで行き渡るように、どろどろした濃いものにならないよう気をつける。
- ③ 石灰水は注入したときに亀裂内に少し貯まるぐらいの量を用意する。



写真-5.2-2 石灰水（消石灰混合状態）



写真-5.2-3 石灰水を攪拌している状況

3) 注入方法

- ① 亀裂部分にバケツ・水中ポンプ等で、石灰水を流し込む。小型の水中ポンプがあれば、ポンプから直接亀裂に流し込むことができ、効率的に注入ができる。
- ② 石灰水が亀裂の下の方で貯まっているのが確認できれば、作業を終了する。



写真-5.2-4 石灰水注入状況（着色料混入）



写真-5.2-5 石灰水注入状況（ポンプ注入）

4) 亀裂の深さ確認

石灰水を注入した箇所でトレンチを掘削する。このとき、注入した箇所を全て取り除いてしまわないように慎重に掘削する。バックホウで掘削した断面は乱れているので、掘削断面をスコップで少し崩すと、石灰水の白色の痕跡を確認することができる。白色の痕跡から亀裂の方向や深さを確認する。

兵庫県南部地震で被災したため池では、堤体の一番下まで亀裂が進展していた場合もある。また、亀裂の進展が止まっても、更に下まで延びている場合もあるため、周辺状況等を踏まえ、掘削深度を決定することが重要である。



写真-5.2-6 亀裂確認状況（堤体開削）

■参考事例 1 (地震により天端にクラックが発生したダムでの緊急詳細調査の事例：大蘇ダム (熊本県))

■被災直後の調査

・コア上面にクラックが到達しているか否かを確認した上で、クラックが確認された場合には、水平方向及び深度方向へのクラック分布を追跡。

【亀裂深度追跡手順】
① 開口亀裂充填材(消石灰+フローレンソード溶液)の作成
② アスファルト上の開口亀裂・目地に充填材を投入
③ アスファルトの撤去・掘削
④ 砕石面の亀裂分布確認(充填剤(石灰)跡の「白」が見えるか否か)
⑤ 砕石面より充填材を投入
⑥ 砕石の撤去
⑦ コア面清掃・観察
⑧ コア面の亀裂分布確認
【亀裂が確認された場合】
⑨ コア面より充填材を投入
⑩ コア掘削(バックホウにより30～50cm掘削)
⑪ 掘削面清掃(人力掘削・エアークリーン) バックホウ掘削位置から亀裂方向へ人力掘削
⑫ 亀裂分布確認 充填材(石灰)跡やフェノールフタレイン反応等により亀裂有無を確認。 亀裂の走向・傾斜、条線(引掻き傷)の方向、亀裂面の湾曲等を観察。
⑬ 亀裂消滅まで⑩～⑫を繰り返す



② アスファルト上の開口亀裂・目地に充填材を投入



③ アスファルトの撤去・掘削



⑦ コア面清掃・観察

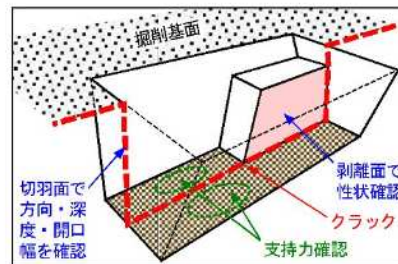
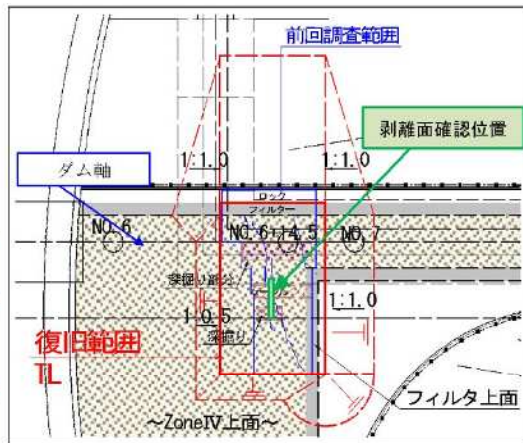


⑧ 亀裂分布確認

■対策工の設計・施工時の調査 (クラック発生機構の整理)

・被災直後の調査で確認されたクラックにおいて、クラックの除去に併せて、クラック発生機構整理を目的として、クラック剥離面の性状確認を行う。

【クラック剥離面の性状把握の調査手法】
クラック面の状態を把握するため、せん断の有無について詳細に観察。
【手順】
① クラック深さ方向への連続性、開口幅、および深度等の「断面形状」については、通常のトレンチ調査のように「掘削切羽面」で確認する。
② 掘削深度間隔1m程度でその都度掘削底盤を仕上げ、その盤におけるスケッチと写真撮影を行うことにより、平面的な連続性を記録するとともに、その立体的な状況についても再現を図る。また、クラック周辺での支持力をコーンペネトロメーターで確認する。
③ クラック面(下図中「剥離面」)を平面的に観察できるように、トレンチ内の一部において、右図中に示すようにクラック面に沿って片方のみを掘削する。
④ まずはクラックに対して30cm程度の余裕をもって重機掘削を行い、クラックまでの区間は人力によって土塊を剥離させるようにして丁寧に取り除く
⑤ このように露出したクラック表面については、目視による条痕の有無、または触診による軟弱化部分の有無の確認を行うとともに、土塊硬度計を用いて定量的な硬軟評価を行う(健全部分でも同様な計測を行って比較対象とする)。
⑥ これらのデータに基づき、クラックの発生機構を整理する。



■参考事例 2 (地震により天端にクラックが発生したダムでの緊急詳細調査の事例：瑞穂ダム (北海道))

■被災直後の調査

- ・被災直後は、代表的な開口亀裂部に石灰を投入し、クラック分布を追跡。
- ・調査結果に基づき、対策工規模 (施工範囲) を決定。



④40cm掘削面の観察 (写真撮影、スケッチ、クラック幅などの観察)
※リボンロッドは、高欄基礎コンクリートから1.5mの位置に設置



⑦100cm掘削面の観察 (写真撮影、スケッチ、クラック幅などの観察)
石灰水の注入80L



②クラック追跡調査
・テストピットを天端から3.3mばで掘削し、仕上げた。



④40cm掘削面のクラック部に石灰水注入80L



半透水性材料の透率は高く(施工時の盛立管理試験結果では80%)
マトリックスは比較的緻密、ブロックサンプリングは困難な印象

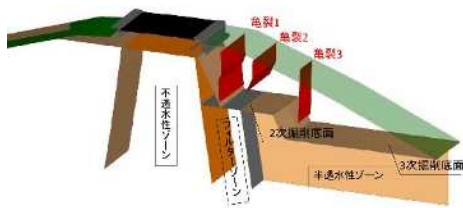


②クラック追跡調査
・クラックは3条確認された。

■対策工の設計・施工時の調査

- ・堤体下流斜面に発生した亀裂が、堤体の改修により全て掘削除去される必要があることから、亀裂の追跡を行いながら掘削作業 (対策工事：置換工) を行った。

立体図 No.20



・【亀裂1】は、4号清田土から、フィルターゾーン上面の直. 8. 4mまで貫通しているため、フィルターゾーンへの影響は大きいと判断される。



・【亀裂2】は、下流斜面から直. 8. 6mまで貫入しているが、下流斜面には到達していない。



・【亀裂3】は、下流斜面から直. 8. 3mまで貫入しているが、二次側方面には到達していない。



・【亀裂3】は、下流斜面から直. 8. 3mまで貫入しているが、二次側方面には到達していない。

(3) 研究段階の調査法（紹介）

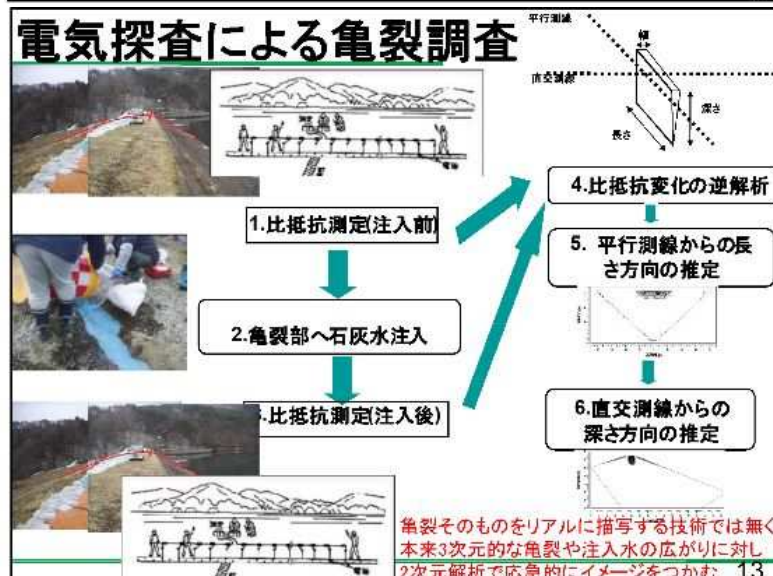
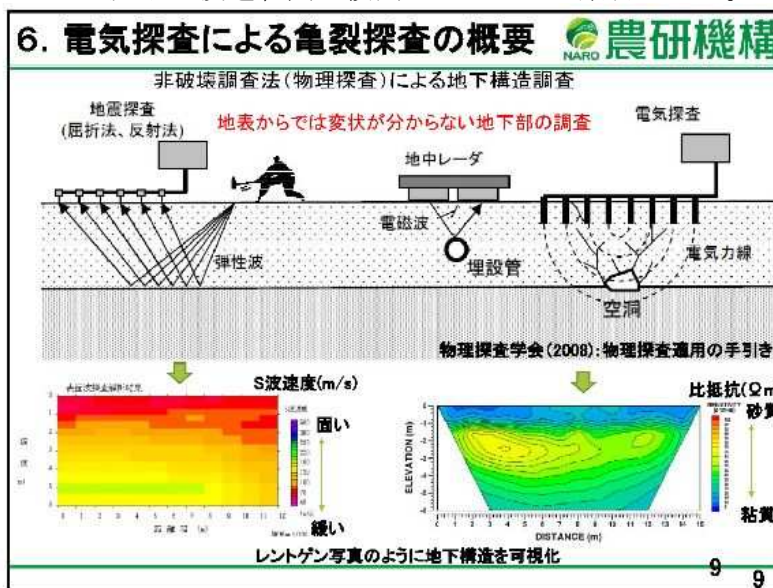
※参考資料：「2次元電気探査による地盤の亀裂範囲推定手法」

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

地震等で発生した地盤の亀裂に、石灰水のような電解物質を注入し、亀裂に対して平行な測線及び直交する測線で2次元電気探査を注入前後に行い、亀裂範囲を推定する手法が提案されている。

一般に、土構造物が被災し亀裂が発生した場合は、石灰水やメチレンブルー溶液を亀裂部に注入し、復旧工事時に掘削しながら亀裂範囲を把握することが行われている。これらの方法は確実ではあるが、掘削するまで亀裂範囲を把握できず、最終的な復旧計画の策定を事前に行うことはできない。また、貯水状況によっては、掘削自体が不可能な場合もある。このような場合、地表面から地盤内の状態を非破壊で推定できる物理探査手法が亀裂範囲の特定に貢献できる可能性がある。

物理探査手法の中でも、電気探査は繰り返し測定が容易で、比抵抗変化を測定できる。石灰水の注入により、石灰充填による間隙率の低下、浸透範囲における体積含水率の増大、間隙水の比抵抗の低下が想定される。これらは亀裂及びその周辺の地盤比抵抗を低下させるため、亀裂部に注入した石灰水の浸透範囲を検出できることが期待される。

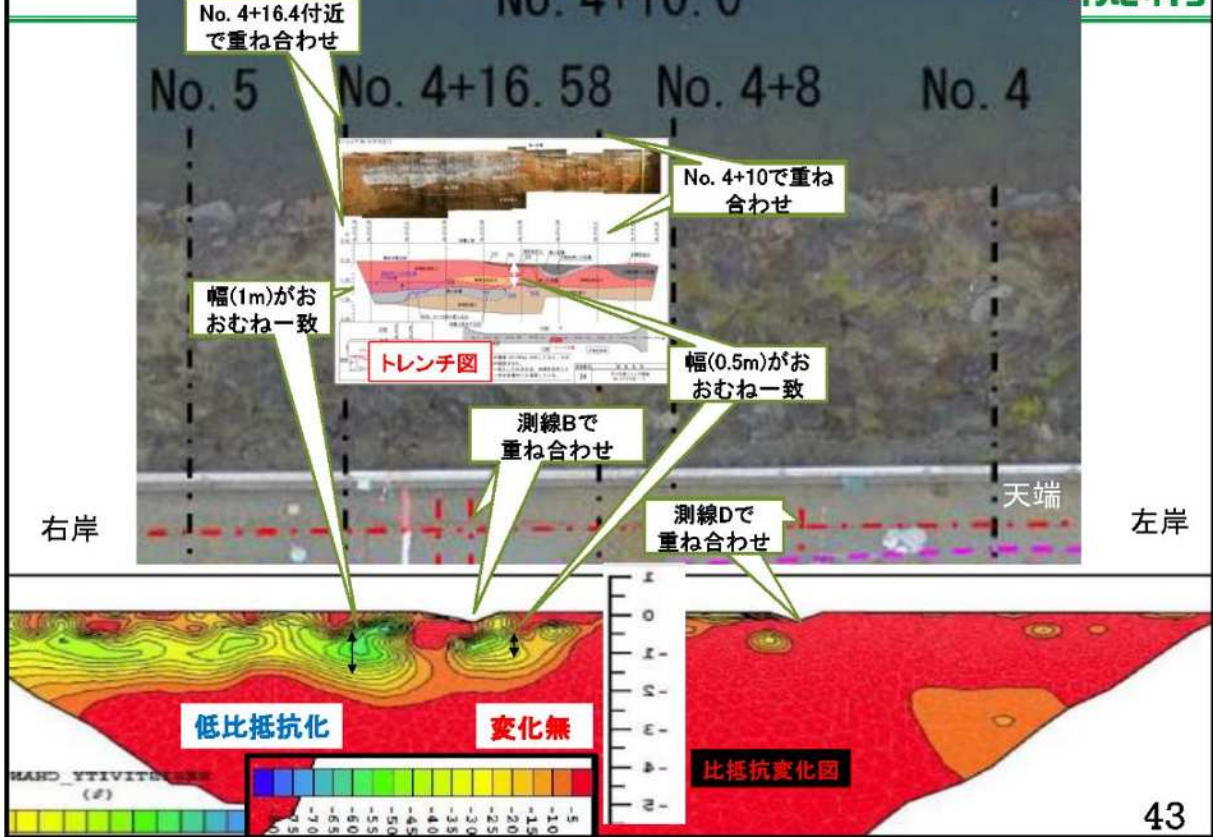


10. トレンチ結果との比較

上流

平面図

機構



5.3 被災時の応急対策

被災時の応急対策は、確認された変状が進行しないように留意しなければならない。
ここでは、被災直後に実施すべき事項についてとりまとめたものである。

被災によりフィルダム堤体にクラックやすべり破壊が発生した場合の応急対策として、変状計測等の被災状況の把握、計測データの収集、ブルーシートによる雨水侵入対策、押え盛土（土のう等）、緊急落水等がある。

また、最近では無人航空機（UAV、通称ドローン）を利用して、地震・台風・豪雨等による被災調査・全容把握が行われている事例もある。



写真-5.3-1 天端クラックのブルーシートによる保護（衣川1号ダム）



写真-5.3-2 下流法面クラックのブルーシートによる保護（衣川1号ダム）



写真-5.3-3 天端クラックのブルーシートによる保護（浅河原調整池）

その他、平成30年（2018）年9月6日に発生した北海道胆振東部地震で被災した厚真ダムでは、堤体右岸下流側の斜面崩壊により仮排水路トンネル出口部に土砂が流入し、浸透量観測室が埋没・破壊、放流ゲート操作室が破損したため、次に示す応急対策を実施している。

- ・浸透量観測設備の仮復旧。
- ・ゲート操作室は倒壊したが、仮排水トンネル内（操作室と上流のゲートはトンネル内の油圧配管でつながっている）に油圧ユニットを搬入し、ゲート操作を実施、貯水位低下のための放流を開始。



図-5.3-1 ダム被災状況写真
(厚真ダム (北海道))



① 施工前 (既設観測施設水標)



② 応急施設設置、モルタル埋戻し



③ 計器保護管設置



④ 応急施設設置完了



⑤ 応急施設設置完了 (保護蓋設置)



⑥ 浸透水越流状況

- 水圧計 (三角堰越流水深を計測) ・ ・ ・ 毎時計測、無線によりサーバーに転送し、外部からインターネットにより常時データ確認可能
- 水温計 (浸透水の温度を計測) ・ ・ ・ 毎時計測、現地においてデータ収録

図-5.3-2 浸透量観測施設の仮復旧
(厚真ダム (北海道))

【巻末資料】

・資料1：農業用ダムの被災及び補強・復旧（補修）事例 78
 ・資料2：補強・復旧（補修）工法事例集 80
 ・資料3：補強・復旧（補修）工法選定のための調査手法 179

【資料1】農業用ダムの被災及び補強・復旧（補修）事例

■補強事例の整理結果（総括）

ダム名 （所在地） [竣工年]	ダムタイプ （堤高）	補強の考え方 （整備水準）	対策工法の検討	備考
①初立池 （愛知県） [1969(S44)]	アース (h=22.5m)	・L1地震動に対する安定性確保、L2耐震性能確保（液状化に対する補強） [耐震強化方針] （レベル2地震動）※国交省指針準拠 地震時に損傷が生じたとしても、ダムの貯水機能が維持されるとともに、生じた損傷が修復かのような範囲にとどまること ①沈下量（液状化による残留変形量）1mまで許容 ②基礎地盤での液状化の抑制	以下の案について経済性、対策の効果（液状化、沈下抑制：動的詳細解析による）を比較し、 押え盛土工法 を採用 ○押え盛土工法 ○綱管矢板工法 ○深層混合処理工法	P80
②山口ダム （埼玉県） [1934(S9)]	アース (h=35m)	・震度法により決定した断面について、L1地震動、L2地震動を想定し、各々に対して保持すべき耐震水準を設定し、これを保持することを確認 [耐震強化方針] ※「水道施設耐震工法指針・解説」準拠（レベル2地震動） ○人命に重大な影響を与えないこと。 ○個々の施設に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること	以下の案について材料の確保、変形追従性、維持管理性、工法の確実性、工期及び経済性を比較し、 単純押え盛土+下流傾斜ドレーン工法 を採用 ○単純押え盛土 +下流傾斜ドレーン +鉛直ドレーン ○表面土質遮水壁 ○表面人工（アスファルト）遮水壁	P88
③村山下ダム （東京都） [1927(S2)]	アース (h=32.6m)	・震度法により決定した断面について、L1地震動、L2地震動を想定し、各々に対して保持すべき耐震水準を設定し、これを保持することを確認 [耐震強化方針] ※「水道施設耐震工法指針・解説」準拠（レベル2地震動） ○人命に重大な影響を与えないこと。 ○個々の施設に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること	以下の案について材料の確保、変形追従性、維持管理性、工法の確実性、工期及び経済性を比較し、 上下流ジオテキスタイル補強盛土+天端セメント安定処理土工法 を採用 ○単純押え盛土+下流ドレーン ○ロックフィルダム ○ロックフィルダム+表面遮水壁形 ○表面遮水+上流セメント安定処理土+下流ジオテキスタイル補強盛土 ○上下流ジオテキスタイル補強盛土+天端セメント安定処理土 ○上流側基礎地盤改良+下流ジオテキスタイル補強盛土	P92
④布引五本松ダム （兵庫県） [1900(M33)]	重力式コンクリートダム (h=33.3m)	・明治時代に建設されたため、地震力は考慮されていない [耐震強化方針] ※ダム設計基準（建設省河川砂防技術基準（案）H9.10）に適合	以下の案について技術面及び維持管理面を比較し、 堤体の増築による補強工法 を採用 ○発生する引張応力に対して鉄筋による補強 ○プレストレスの導入による引張応力の解消 ○堤体の増築による補強	P96

■ 復旧事例の整理結果(総括)

ダム名 (所在地) [竣工年]	ダムタイプ (堤高)	主な被災状況	要因・メカニズム (推定含む)	復旧内容	備考
⑤川西ダム (新潟県) [1980(S55)]	アース (h=43m)	・堤頂部クラック、上流面すべり破壊 ・付帯施設損傷	・沈下変位の要因として、基礎掘削形状(お椀形) ・表層材料に空隙大	・堤体:原形復旧(現堤体材流用) ・仮排水路:補強対策実施	P101
⑥藤沼ダム (福島県) [1949(S24)]	アース (h=18.5m)	・本堤決壊 ・副堤法面すべり破壊	・堤体盛土の性状(締固め度が小さく非排水時強度低下) ・強震動の繰返し	・堤体:貯水容量は被災前と同様とし、現行基準に基づき施設設計(ロックフィルダム)	P106
⑦西郷ダム (福島県) [1955(S30)]	アース (h=32.5m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)の段差等 ・付帯・周辺施設損傷	・強震動の繰返し、波返しと堤体の応答特性の違い	・堤体:損傷範囲撤去・再盛立(波返しは撤去) ・付帯施設:補修及び復旧	P112
⑧羽鳥ダム (福島県) [1956(S31)]	アース (h=37.1m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)目地の開き、下流法面の開口亀裂等	・強震動の繰返し、波返しと堤体の応答特性の違い	・堤体:損傷範囲撤去・再盛立(波返しは撤去、下流腹付け盛土)	P121
⑨大柿ダム (福島県) [1988(S63)]	ロックフィル (h=84.5m)	・堤頂部クラック、変位、法面凸部	・強震動の繰返し	・堤体:損傷範囲撤去・再盛立	P129
⑩常盤ダム (兵庫県) [1974(S49)]	アース (h=33.5m)	・堤頂部クラック ・基礎岩盤の透水性増大の疑い	・堤体基礎掘削形状が階段状 ・基礎岩盤の亀裂の開口	・左右岸アバット部の着岩部付近のグラウチング工、損傷部堤体の撤去・再盛立	P138
⑪浅河原調整池 (新潟県) [1945(S20)]	アース (h=37m)	・堤頂部クラック、段差 ・周辺法面、護岸の亀裂・段差	・堤体上部(3m)の締固め不充分	・堤体:損傷箇所を撤去・再盛立	P147
⑫山本調整池 (新潟県) [1954(S29)]	アース (h=27.5m)	・堤体上流法面に段差、噴砂(7箇所)の発生、沈下 ・コンクリート止水壁と堤体の境界部に空隙、クラック	・堤体法面のリップラップ下面に粘性土(0.5m)、砂質層(1m)が分布 ・止水壁と堤体の地震時挙動の相違	・堤体:リップラップ下層の粘性土・砂質土を撤去、再盛立 ・コンクリート止水壁:損傷範囲まで堤体掘削、再盛立	P151
⑬山本第二調整池(新潟県) [1990(H2)]	ロックフィル (h=42.4m)	・堤体上流面に段差、噴砂、堤体下流面にはらみ出し、沈下(85cm)	・堤体下流側の浸潤ゾーン残存 ・シェルの性状($\phi=0.2\sim 0.3$ mm砂礫)による締固め不足	・堤体:損傷範囲撤去・再盛立(沈下抑制のためシェル撤出厚さを薄層に変更)	P156

■ 補修事例の整理結果(総括)

ダム名 (所在地) [竣工年]	ダムタイプ (堤高)	補修の考え方	補修内容	備考
⑭宿の沢ダム (宮城県) [1949(S24)]	アース (h=18.6m)	・築造後かなり年月が経過しており、老朽化による漏水防止(水需要の増加による水源の確保を図るための既設堤体の嵩上げも併せて実施)	・ダムサイトの地形は下流に向かって傾斜していること、下流の両岸地山部は低いこと、堤体が老朽化していること、より上流側に遮水ゾーンを新設する計画とした。 ・堤体の下流法尻には浸透水を排水させるためと、浸潤面を低下させるためのドレーン工を設置した。 ・基礎地盤は限界圧は低いが、平均的に比較的高い止水性を有していたことからグラウチングの止水処理は行わず、幅広のコアトレンチを設け、浸透路長を大きくとった。	P162
⑮玉川ダム (秋田県) [1990(H2)]	重力式コンクリートダム (h=100m)	・試験湛水中から堤体下流面の越冬打継ぎ目から漏水が見られたため、補修工事を実施。	・調査及び補修が現在まで継続的に実施されており、未補修部を除いては、下流面を流れる漏水は確認出来なかった。 ・そのため、今までと同じ樹脂注入を実施した。	P166
⑯遠野ダム (岩手県) [1957(S32)]	重力式コンクリートダム (h=26.5m)	・竣工以来長い年月が経過しており、気象条件の厳しさも相まって、堤体コンクリート表面の劣化が進行した。そのため昭和59年度に、堤体上流面に樹脂塗布、下流面にはモルタル吹き付けを実施している他、越流部や天端橋梁、水位計観測室等にはコンクリートの打替えが実施されている。しかし、塗布された樹脂やモルタルの一部に剥離が生じており、劣化の進行を根本的に抑制する対策とはなっていない可能性がある。また、堤体の一部に表面の剥離や、ポップアウトの劣化が認められるため、補修工事を実施。	○表面コーティングの除去 ・上流面表面部に形成されていた樹脂被膜(S50年代にコンクリート劣化防止のため施工)が劣化しており、コンクリートの表面及び打継ぎ部に悪影響を及ぼすことが懸念されたことから、前面について除去を実施。 ○補修材(特殊モルタル)による打換え ・ジョイント及び水際を中心に経年変化による劣化が発生している。その部分を中心に補修範囲を決定。劣化部の除去、清掃の後、特殊モルタルに打換えを実施。なお、ジョイント部の目地形成は、補修完了後に書こう形成する方法を採用。施工に当たっては、最低施工厚を20mm以上とした(特殊モルタルと既設コンクリート面の付着や、既設コンクリート中の骨材径や形状を考慮)	P167

参考資料:「豊川用水初立池耐震対策技術検討委員会資料」(H24.1,水資源機構)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	初立(はつたち)池
所在地 (河川名称)	愛知県田原市伊良湖町地内 (豊川水系豊川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	22.5m/346.5m/250千m ³
総貯水容量/有効貯水量	1,700千m ³ /1,600千m ³
ダム事業者	愛知用水公団(現・水資源機構)
着工/竣工	- /1969



2. 被災の状況(メカニズム): **該当しない**

本ダムは、被災復旧対策ではなく、既設ダムの補強対策として計画されている。

3. 補強工法の検討

<耐震補強工法の基本方針>

- 今回の耐震補強は、L1地震動に対する堤体の安定性確保を目的とする。
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及び堤体の変形抑制に対する効果も合わせて行うものとする。
- 現堤体の安定性については、H20土質試験結果に基づく安定計算(震度法Kh=0.15)の結果、すべり安全率($F_s \geq 1.2$)を確保できていないことを確認している。

表 2-1-1 堤体法面の安定計算に用いる解析物性値の一覧(底樋断面(STA. 2))

ゾーン区分	飽和密度	湿潤密度	粘着力	内部摩擦角	備考	
	γ_{sat} (kN/m^3)	γ_s (kN/m^3)	c' (kN/m^2)	ϕ' ($^\circ$)		
基礎地盤	Cl^{*1}	—	—	—	—	
	Dm^{*1}	—	—	—	—	
	Dt^{*1}	—	—	—	—	
	$Dg1$	20.58	19.60	57.9	33.5	第5回委員会資料と同一
	Dc	19.60	19.60 【18.62】	20.0 【24.5】	22.7 【29.1】	変更(H22年三軸圧縮試験結果を反映) 【 】内の数値：第5回委員会資料の値
	Ds	18.62	18.62	32.4	22.5	第5回委員会資料と同一(as層の値)
	$Dg2$	20.58	19.60	57.9	33.5	第5回委員会資料と同一
堤体	中央不透水部	19.60	19.60	18.6	24.8	第5回委員会資料と同一
	ブランケット・上流側不透水	19.60	18.62	20.6	28.7	第5回委員会資料と同一
	ドレーン	19.60	18.62	2.9	38.5	第5回委員会資料と同一
	上流側透水路、下流側透水路	20.58	20.58	16.7	30.3	第5回委員会資料と同一

表 2-1-2 貯水位および設計水平震度

貯水位条件	浸潤線 EL. (m)			設計 水平震度	設計 対象法面	備考
	OP-2	OP-3	OP-4			
常時満水位 EL. 20.0m	12.15	11.53	6.66	0.15	上流面 下流面	オープンピエゾメーターOP-2, 3, 4 の観測データより、浸潤線を設定した。
中間水位 EL. 9.0m	9.00	9.00	6.66	0.15	上流面	中間水位 EL. 9.0m における OP2, 3, 4 の計測データがないこと、EL. 9.0m が 概ね堤敷標高と一致することより、安全側 を考慮し、堤内水頭ロスを考慮せず、 浸潤線は水平とした。
水位急低下 EL. 20.0m→ EL. 6.0m	12.15	11.53	6.66	0.075	上流面	水位急低下範囲は、既往安定計算と 同様に残留間隙水圧を 100%とした。

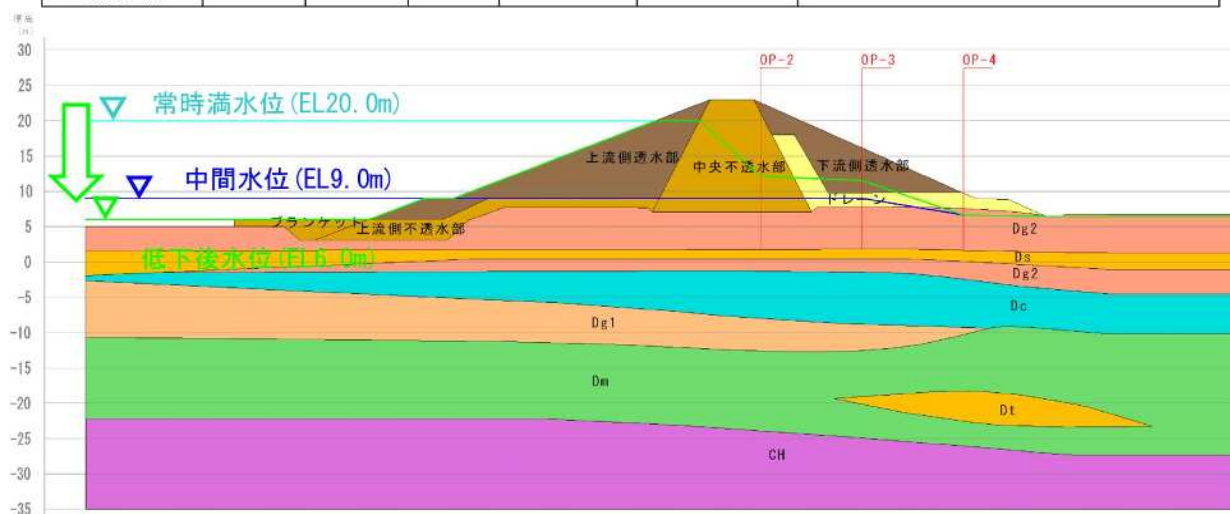
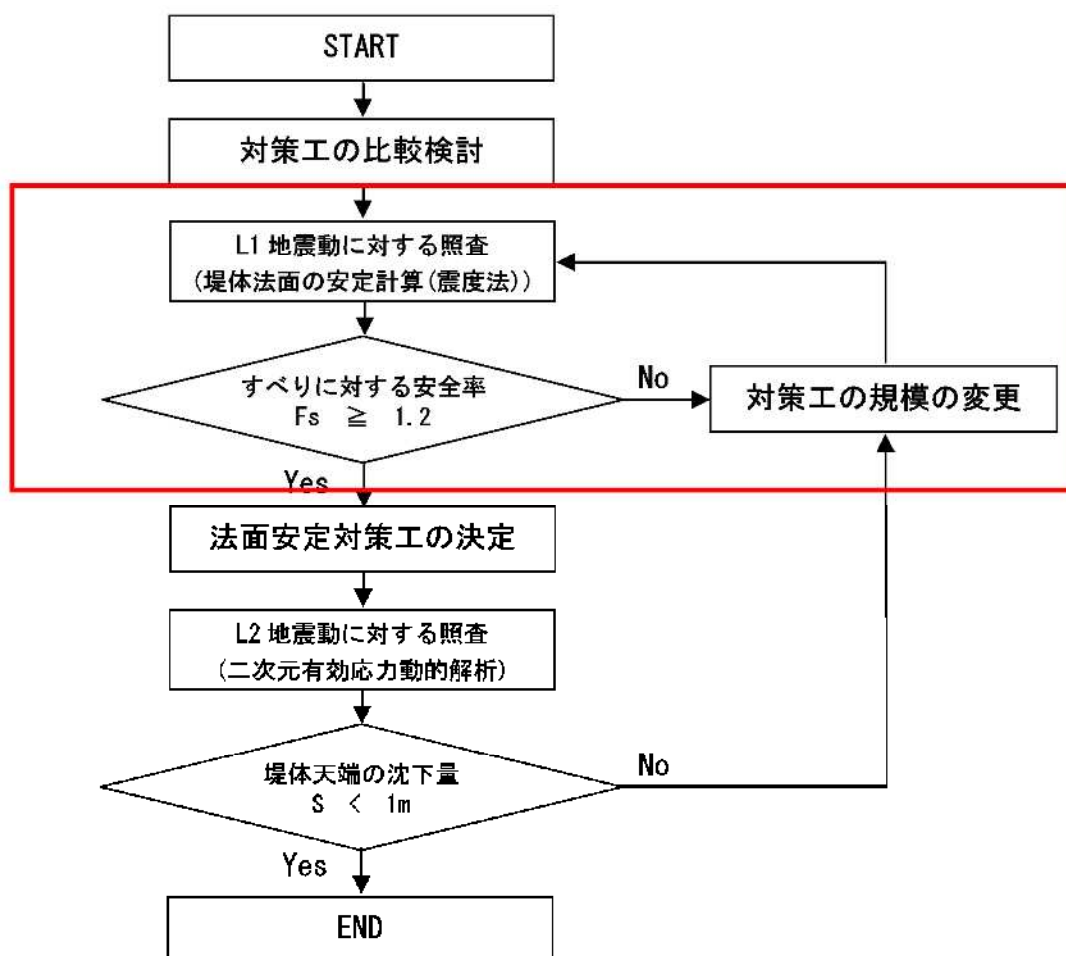


表 2-1-3(a) 安定計算結果一覧(最小安全率計算)

検討ケース(貯水位)	必要 安全率 $p \cdot F_s$	安全率 F_s	抵抗 モーメント M_p ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	起動 モーメント M_o ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	円錐の 半径 R (m)	安定性の照査 $p \cdot F_s < F_s$	備考	
常時満水位	上流側	1.2	1.311	233256.0	177963.3	40.24	○	
	下流側	1.2	0.935	230925.5	246966.9	33.74	×	
中間水位	上流側	1.2	1.153	235813.2	204505.3	35.24	×	
	下流側	1.2	1.118	246874.8	220732.1	33.74	×	参考値
水位急低下	上流側	1.2	1.011	133765.0	132312.8	30.24	×	
	下流側	1.2	1.181	236085.1	199924.9	33.74	×	参考値

＜耐震補強工法のフロー＞

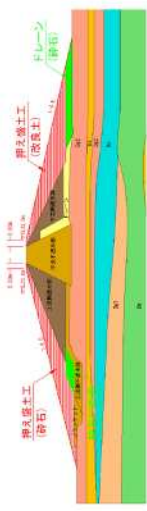
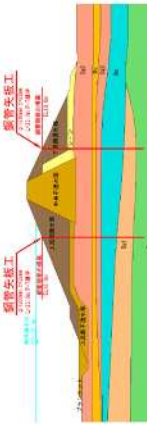
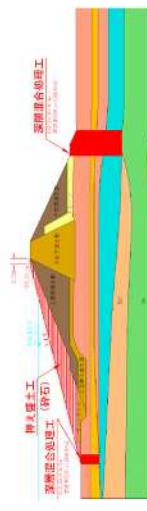


＜耐震補強工法の選定＞

- 一次選定：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)から、
 - ・第1案(押え盛土工法)
 を選定した。

- レベル1地震動を対象として決定した対策工について、二次元有効応力動的解析を実施し、レベル2地震時の堤体天端の沈下抑制効果について検証した。その結果、対策工法を満足する工法及び仕様では、全ての案で地震動終了時点での堤体天端の沈下量が1mを超える結果となり、要求される耐震性能を満足することができないことがわかった。したがって、レベル2地震時の液状化による堤体天端の沈下量を抑制する工法を検討することとし、レベル1地震動の対策で検討した第1案(押え盛土)、第2案(鋼管矢板)、第3案(深層混合処理)をもとに、レベル2地震動の耐震性能を満足する形状等について検討を行った。

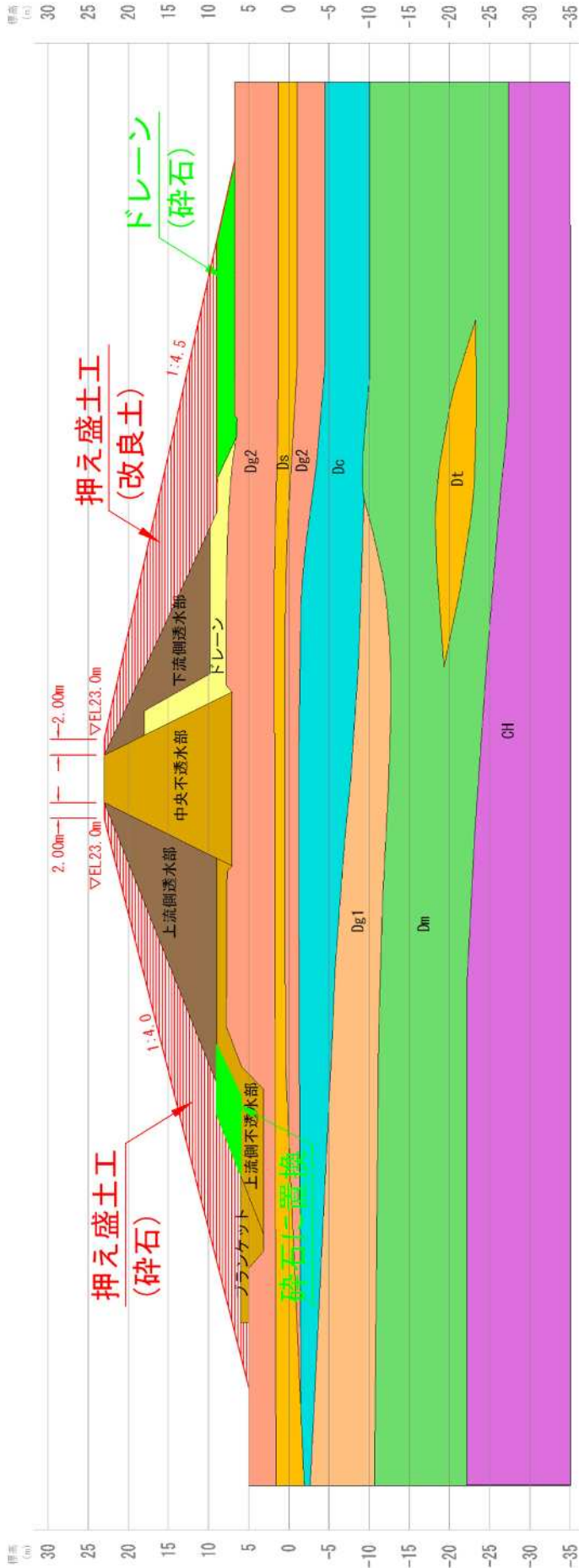
表 5-1(a) レベル1 およびレベル2 地震動に対する対策工法の比較表

工法分類	第1案 押え盛土案(砕石、改良土)	第2案 鋼管矢板案(剛性最大)	第3案 押え盛土(砕石)+深層混合処理工業
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 上流側は、強度および剛性の高い砕石を行うことで、L1地震時は堤体内および基礎地盤(Dc層)を通るすべりを抑制し、L2地震時は液状化層の変形を抑制する。 下流側は、池敷掘削土の改良土による押え盛土を行うことで、L1地震時は堤体内および基礎地盤(Dc層)を通るすべりを抑制し、L2地震時は液状化層の変形を抑制する。なお、下流側押え盛土の下部は排水工として砕石を用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> 上・下流ともに、堤体中央付近に鋼管矢板を打設することで、L1地震時は堤体内および基礎地盤(Dc層)を通るすべりを抑制し、L2地震時は液状化層の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 上流側は、強度および剛性の高い砕石により押え盛土を行うことで、L1地震時は堤体内および基礎地盤(Dc層)を通るすべりを抑制し、L2地震時は液状化層の変形を抑制する。 なお、L2地震時の基礎地盤の側方流動を抑えるために深層混合処理を施す。 下流側は、深層混合処理工により、L1地震時は堤体内および基礎地盤(Dc層)を通るすべりを抑制し、L2地震時は液状化層の変形を抑制する。
施工形状 底層断面(STA.2) (断面図)			
対策仕様 底層断面(STA.2) (仮設は除く)	<ul style="list-style-type: none"> 堤体法原の掘削・置換(砕石)29m²/m 押え盛土(砕石)240m²/m；天端幅2m、法面勾配1:4.0 押え盛土(池敷土+砕石)；天端幅2m、法面勾配1:4.5 ※上部：池敷土の改良土(299m²/m) 下部：砕石によるドレーン(71m²/m) 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管矢板工：φ1200mm、t=22mm、L=33.0m(ドレーン無し) 鋼管矢板工：φ1200mm、t=22mm、L=33.0m(ドレーン無し) 	<ul style="list-style-type: none"> 押え盛土(砕石)240m²/m；天端幅2m、法面勾配1:4.0 深層混合処理工：B=3.3m、H=6.5m、改良率a=50% 改良体の現場における設計基準強度 qu=400kN/m²(粘着力c=200kN/m²) 深層混合処理工：B=9.2m、H=18.4m、改良率a=50% 改良体の現場における設計基準強度 qu=580kN/m²(粘着力c=290kN/m²)
対策効果 底層断面(STA.2) 全体概算 直接工事費 (堤体延長346.5m) (仮設は除く)	<ul style="list-style-type: none"> レベル1地震動：OK レベル2地震動：OK(天端沈下量：地震動終了時0.75m 圧密終了時0.86m) 	<ul style="list-style-type: none"> レベル1地震動：OK レベル2地震動：OK(天端沈下量：地震動終了時0.23m 圧密終了時0.27m) 	<ul style="list-style-type: none"> レベル1地震動：OK レベル2地震動：OK(天端沈下量：地震動終了時0.75m 圧密終了時0.83m)
施工性 (仮設や実現性)	<ul style="list-style-type: none"> 上流側の押え盛土の施工範囲を仮締切りによりドライにする必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤がN値の大きい砂礫地盤(Dg2：平均N=37、Dm1：平均N=53)であることから矢板打設時に補助工法が必要である。 鋼管矢板工の施工ヤードを盛土もしくはは枝橋形式により構築する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 上流側の押え盛土の施工範囲を仮締切りによりドライにする必要がある。 基礎地盤がN値の大きい砂礫地盤(Dg2：平均N=37、Dm1：平均N=37、Dg1：平均N=37)であることから深層混合処理工法の工法選定に留意する必要がある。
全体概算工期 (堤体延長346.5m) (仮設は除く)	約10億円	約30億円	約20億円
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 現状張石の処理について検討が必要である(そのまま施工or撤去して施工)。 上流側押え盛土による貯水容量の低下を補うために池敷掘削が必要である。 砕石、池敷土の土質性状を確認する必要がある。 池敷土の採取場所を検討する必要がある。 押え盛土の前面の浸食防止策が必要である(弱状張石の転用、ブロック等) 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体内に異種構造物を入れることとなる。 堤体内に異種構造物を入れることとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 現状張石の処理について検討が必要である(そのまま施工or撤去して施工)。 上流側押え盛土による貯水容量の低下を補うために池敷掘削が必要である。 砕石、池敷土の土質性状を確認する必要がある。 池敷土の採取場所を検討する必要がある。 押え盛土の前面の浸食防止策が必要である(弱状張石の転用、ブロック等) 施工前に室内配合試験を実施し、設計時に想定した強度が確保できるかを確認するとともに、六価クロム溶出試験を実施する必要がある。
総合判定	○	△	△
	約26ヶ月 ※	約25ヶ月 ※	約27ヶ月 ※
	工事費が3案中最も安価である。	工事費が3案中最も高価である。	工事費が3案中、中程度である。
			地下水の流動に関する検討が必要となる。

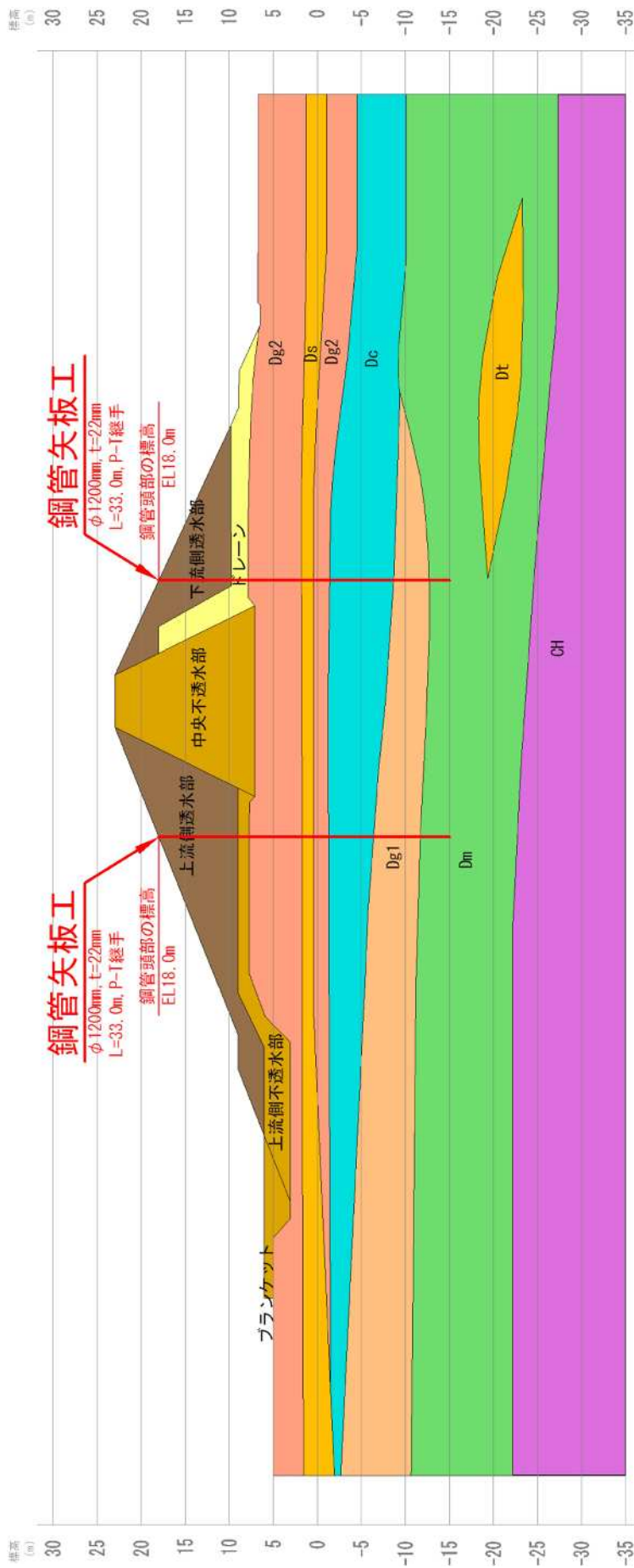
※工期には準備工3ヶ月、試験治水4ヶ月を見込んでいます。

表 5-1(b) レベル1およびレベル2地震動に対する対策工法の比較表(底層断面(STA.2)解析結果)

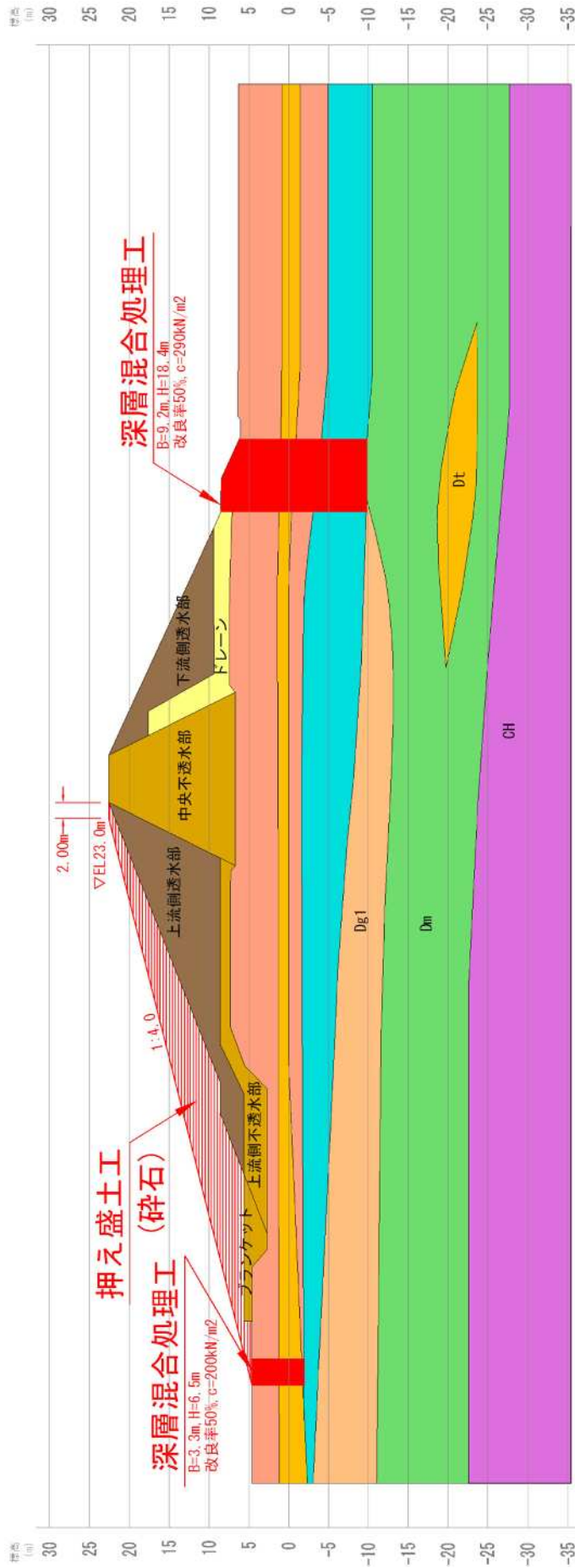
工法分類	第1案 押え盛土案(砕石、改良土)	第2案 鋼管矢板案(剛性最大)	第3案 押え盛土(砕石)+深層混合処理工案
施工形状 底層断面 (STA.2) (断面図)			
対策仕様 底層断面 (STA.2) (仮設は除く)	<p>上流側</p> <ul style="list-style-type: none"> 堤体法尻の掘削・置換(砕石)250m³/m 押え盛土(砕石)240m³/m: 天端幅 2m, 法面勾配 1: 4.0 <p>下流側</p> <ul style="list-style-type: none"> 押え盛土(池敷土+砕石): 天端幅 2m, 法面勾配 1: 4.5 ※上部: 池敷土の改良土(250m³/m) 下部: 砕石によるドレーン(71m³/m) 	<p>上流側</p> <p>鋼管矢板工: φ1200mm, t=22mm, L=33.0m(ドレーン無し)</p> <p>下流側</p> <p>鋼管矢板工: φ1200mm, t=22mm, L=33.0m(ドレーン無し)</p>	<p>上流側</p> <ul style="list-style-type: none"> 押え盛土(砕石)240m³/m: 天端幅 2m, 法面勾配 1: 4.0 深層混合処理工: B=3.3m, H=6.5m, 改良率 a=50%, 改良体の現場における設計基準強度 $q_{ul}=400kN/m^2$(粘着力 $c=200kN/m^2$) <p>下流側</p> <ul style="list-style-type: none"> 深層混合処理工: B=9.2m, H=18.4m, 改良率 a=50%, 改良体の現場における設計基準強度 $q_{ul}=560kN/m^2$(粘着力 $c=290kN/m^2$)
変形図 (圧密終了時)			
変形 ベクトル図 (圧密終了時)			
過剰間隙 水圧比分布図 (圧密終了時)			



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

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	山口(やまぐち)ダム
所在地 (河川名称)	埼玉県所沢市山口 (多摩川水系多摩川)
目的/形式	上水/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	22.5m/690.9m/1,404千m ³
総貯水容量/有効貯水量	20,649千m ³ /19,528千m ³
ダム事業者	東京都
着工/竣工	- /1934



2. 被災の状況(メカニズム): **該当しない**

本ダムは、被災復旧対策ではなく、既設ダムの補強対策として計画されている。

3. 補強工法の検討

<耐震補強工法の基本方針>

- H7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を実施、この結果L2地震(南関東直下型M7.9)により、堤頂部で1000gal程度に増幅、1m強の沈下が生じることが判明。
- 耐震対策上、非常に重要な施設であること、堤体直下に市街化が進行している現状をふまえ、耐震性を強化させるための堤体強化工事を実施。
- 現堤体、基礎地盤の遮水性、水理的安全性に問題はないが、現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。
- そこで、堤体強化工法は、「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堤高を高める方法」、これらを組み合わせた工法として比較検討を実施。

＜耐震補強工法の検討＞

- 対策工法(案)として以下の5案を比較
 - A案: 単純押え盛土
 - B案: 表面土質遮水壁
 - C案: 表面人工遮水壁
 - D案: 単純押え盛土+下流傾斜ドレーン
 - E案: 単純押え盛土+鉛直ドレーン
- 各案を比較の結果、D案が適切であると判断。



図-2 堤体強化工法(案)

表-2 堤体強化工法(案)の比較

比較要因	盛土用土の確保	変形追従性	維持管理性	工法の確実性	工期(対D案比)	経済性(対D案比)	総合評価
A案	×	○	○	◎	1.3	1.3	△
B案	○	○	△	△	1.1	1.0	○
C案	◎	×	×	△	1.3	1.5	×
D案	△	○	○	◎	1.0	1.0	◎
E案	○	○	○	△	1.0	1.1	△

＜耐震補強工法の選定＞

- 耐震補強(堤体強化)工事の標準断面図を以下に示す。強化盛土量 97万m^3 、ドレーン部土量 2.5万m^3 である。

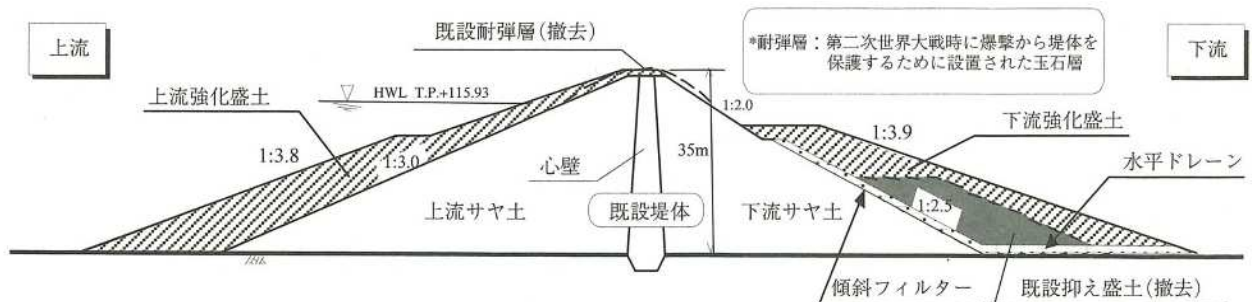


図-3 堤体強化工事 標準断面図

○ 整備水準(耐震性能)及び照査結果

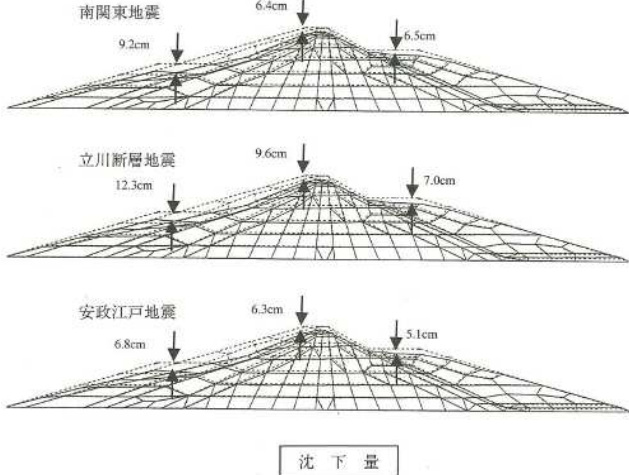
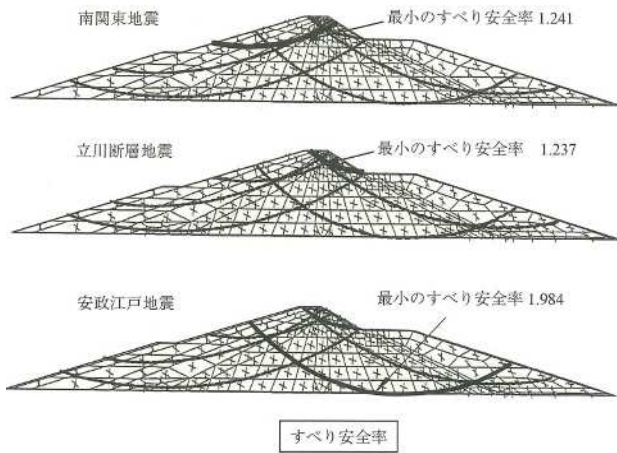
耐震性の照査について、震度法で設計した断面について、レベル1地震動(安政江戸地震、M6.9、直下型)、レベル2地震動(南関東地震、M7.9、海溝型、立川断層による地震動、M7.1、近傍直下型)を対象とし、動的解析による照査を実施。
各々のレベルに対する耐震性能を満足することを確認した。

表-4 水道施設が地震時に保持すべき耐震水準

		地震動レベル	
		レベル1	レベル2
重要度	ランクA	無被害であること。	人命に重大な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じて、その機能保持が可能であること。
	ランクB	個々の施設に軽微な被害が生じて、その機能保持が可能であること。	個々の施設には構造的損傷があっても、水道システム全体としての機能を保てること。 また、早期の復旧が可能なこと。

表-3 解析結果

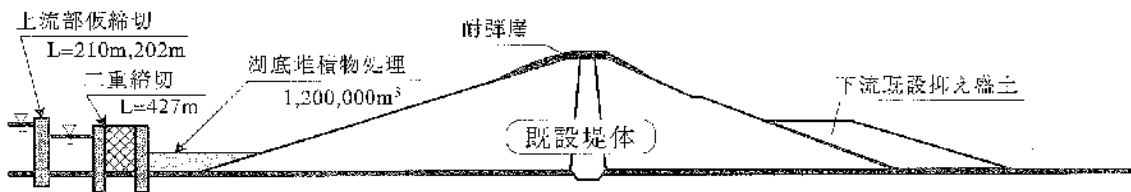
		動的解析結果		静的(沈下)解析結果		
		最大応答加速度 (gal)	最大相対変位 (cm)	堤体天端 (cm)	上流部 (cm)	下流部 (cm)
レベル1	安政江戸地震	508	2.9	6.3	6.8	5.1
	南関東地震	946	22.0	6.4	9.2	6.5
レベル2	立川断層地震	1,206	21.7	9.6	12.3	7.0



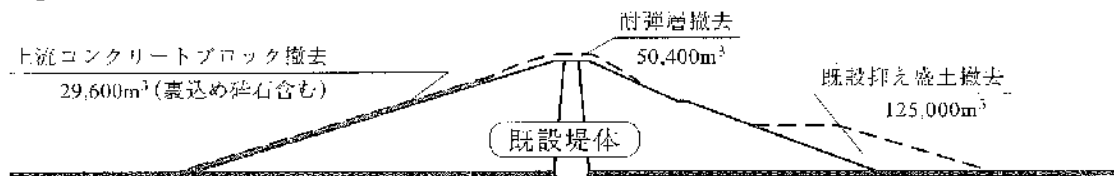
<施工概要>

○ 堤体補強工事は、以下に示す手順で実施(平成10年1月準備工事着工、平成14年11月堤体強化工事完了)。

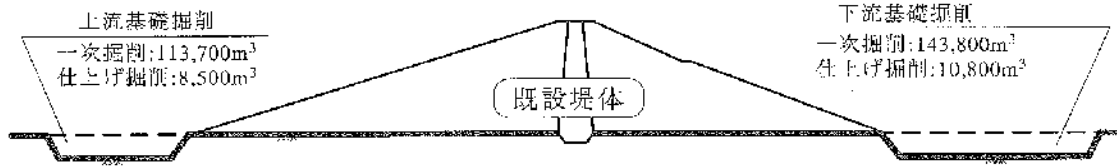
step.1: 準備工事(仮締切工・湖底堆積物処理)



step.2: 耐弾層・既設抑え盛土・上流コンクリートブロック撤去



step.3:基礎掘削



step.4:強化盛土・ドレーン施工



図一五 堤体強化工事 全体工程

参考資料:「ダム技術NO.242」(H18.11,ダム技術センター)、「ダム日本NO.730」(H17.8,ダム技術センター)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	村山下(むらやましも)ダム
所在地 (河川名称)	東京都東大和市清水 (多摩川水系多摩川)
目的/形式	上水/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	32.6m/587.3m/836千m ³
総貯水容量/有効貯水量	12,148千m ³ /11,843千m ³
ダム事業者	東京都
着工/竣工	- /1927



2. 被災の状況(メカニズム): **該当しない**

本ダムは、被災復旧対策ではなく、既設ダムの補強対策として計画されている。

3. 補強工法の検討

表-2 地震時に保持すべき耐震水準

<耐震補強工法の基本方針>

- ①大地震が発生しても、堤体の安定性を維持し、人命及び財産に影響を与えないこと
- ②地震後にも、水源施設の機能を保持出来ること
- ③地震時に保持すべき耐震水準として、「水道施設耐震工法指針・解説」に準拠した。

地震動レベル	レベル1	レベル2
耐震水準	無被害であること。	人命に重大な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。

<立地上の制約条件>

- 村山下貯水池は東京都の原水運用上重要な施設であり、貯水池水位を長期間低下させることが難しい。また、貯水池内には多数の縄文期の遺跡が埋蔵文化財として存在しているため、貯水池内での堤体材料の採取を含め、堤体上流側での工事は最小限にとどめる必要がある。
- 堤体の下流側には、地域住民が憩いの場として利用している都立狭山公園が隣接しており、公園区域への影響を最小限とする必要がある。

<耐震補強工法の検討>

- 対策工法(案)として以下の6案を比較
 - ①単純押え盛土+下流ドレーン(山口貯水池と同じ工法)
 - ②ロックフィルダム
 - ③表面遮水壁型ロックフィルダム
 - ④表面遮水+上流セメント安定処理土+下流ジオテキスタイル補強盛土
 - ⑤上下流ジオテキスタイル補強土+天端セメント安定処理土
 - ⑥上流側基礎地盤改良+下流ジオテキスタイル補強盛土
- 各案を比較の結果、⑤案が適切であると判断。

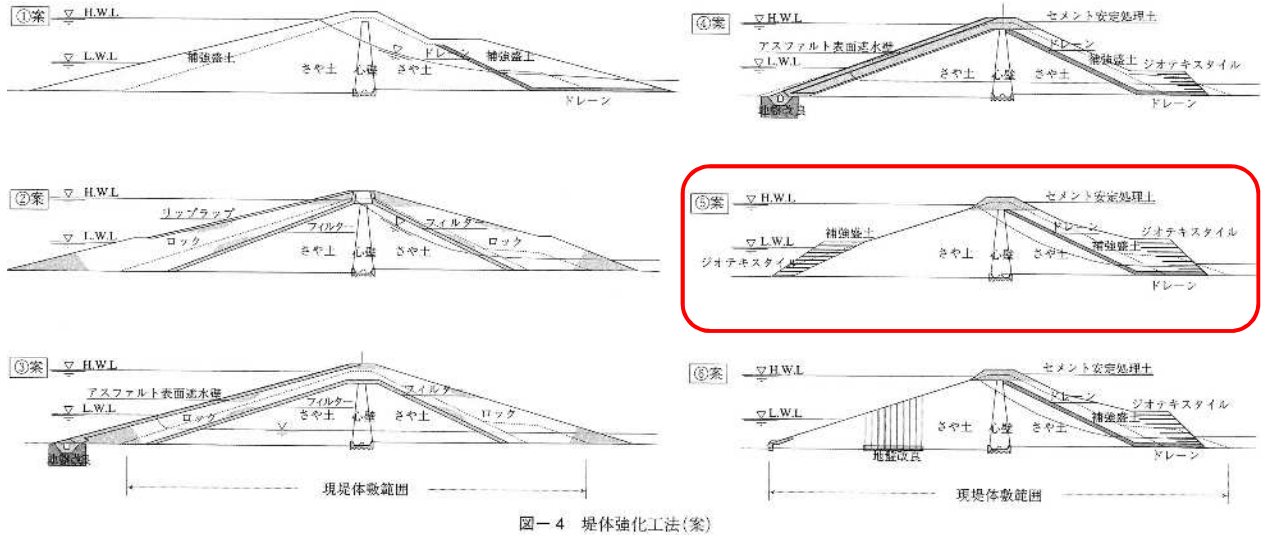


図-4 堤体強化工法(案)

<耐震補強工法の選定>

- 耐震補強(堤体強化)工事の標準断面図を以下に示す。また、地震時に加速度の増幅が予想される堤頂部は、盛土材料のせん断強度を高めるため、強化盛土にセメントを混合したセメント安定処理土を使用して強化する。

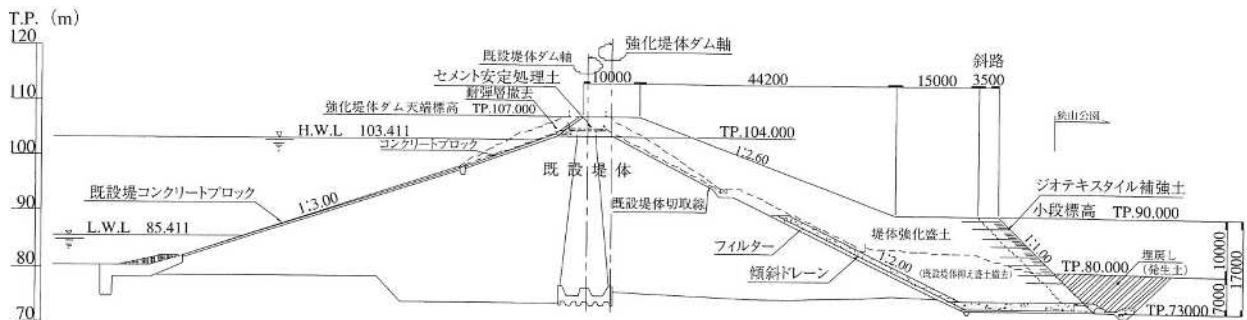


図-5 震度法による耐震設計で設定した堤体強化工法基本断面

○ 整備水準(耐震性能)及び照査結果

耐震性の照査について、震度法で設計(kh=0.2、圧密非排水強度)した断面について、レベル1地震動(安政江戸地震,M6.9,直下型)、レベル2地震動(南関東地震,M7.9,海溝型、立川断層による地震動,M7.1,近傍直下型)を対象とし、動的解析による照査を実施。解析には、NewMark法(渡辺・馬場らによるすべり安定評価手法)を実施した。初期応力解析により静的応力を求めたあと、動的応力を求め、その上で動的解析によるすべり変形解析と累積損傷度理論による残留変形の予測を行った。その結果、各々のレベルに対する耐震性能を満足することを確認した。

表-4 動的解析による耐震性の評価基準

評価項目	地震動レベル	
	レベル1	レベル2
動的解析によるすべり安全率	すべり安全率を1.0以上とする	全体破壊につながるようなすべりは許容しない
残留変形量	補修を必要としない程度の沈下は許容する	軽微な補修で対応可能な程度の沈下は許容する

表-7 動的解析によるすべり変形解析結果

地震動レベル	耐震性の評価基準	対象地震動	最大応答加速度	最小すべり安全率	天端の沈下量
レベル1	すべり安全率1.0以上	安政江戸地震	422 gal	1.43	24.5 cm
レベル2	全体破壊につながるようなすべりは許容しない	南関東地震	591 gal	1.07	32.0 cm
		立川断層による地震	635 gal	1.12	27.0 cm

表-6 耐震性照査の対象地震動

地震動レベル	再現確率	対象地震	マグニチュード	最大加速度値	摘要
レベル1	約1/30年	安政江戸地震	M6.9	186.3 gal	内陸直下型地震
レベル2	約1/300年	南関東地震	M7.9	333.4 gal	海溝型地震
	—	立川断層による地震	M7.1	458.2 gal	近傍直下型地震

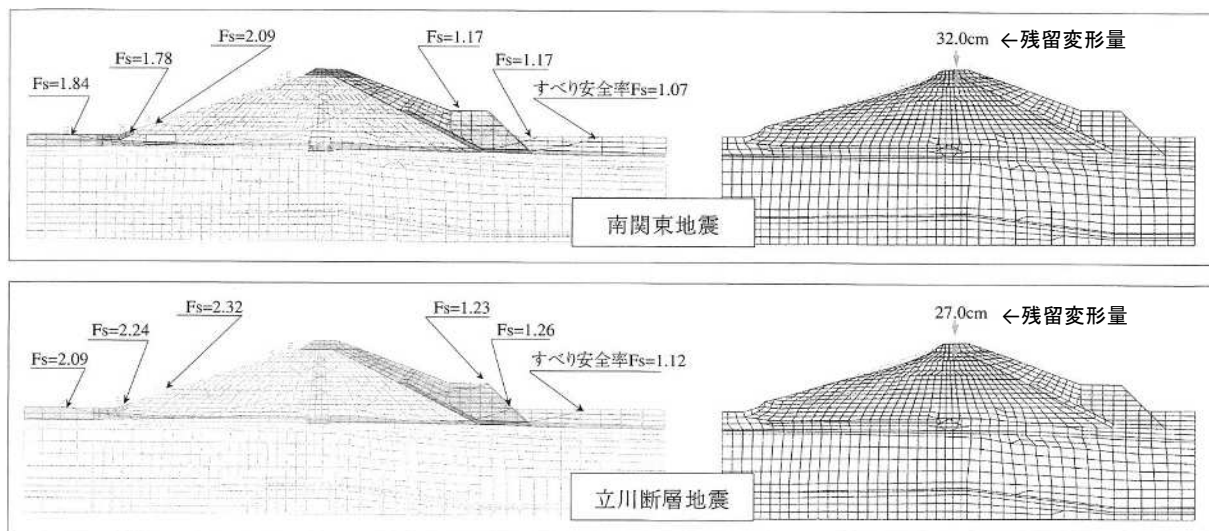


図-8 動的解析によるすべり安全率及び沈下量

<施工概要>

- 堤体補強工事は、以下のとおり(平成16年5月準備工事着工、平成21年3月堤体強化工事完了)

<1. 準備工事>

堤体強化工事に先立ち、村山下貯水池堤体天端を覆っている耐弾層(太平洋戦争中に爆撃から堤体を守るために設置された、コンクリートと玉石からなる約2.5mの保護層)の撤去工事を実施した。この他に、公園用地と工事エリアを分割する仮囲い、濁水プラントの設置、植栽の移植。その他仮設等の設置を行った。

<2. 補強盛土材料>

補強盛土材は、貯水池内に遺跡が存在すること、周辺が自然公園区域に指定されていることから貯水池周辺での材料採取が困難なため施工時に発生する既存堤体の下流さや土、押え盛土の撤去材に、購入碎石、砕砂を混合し使用した。

混合比率は、山口貯水池堤体強化工事材料の粒度(細粒分20%、砂分40%程度)を参考に乾燥重量比で「撤去材:碎石:砕砂=1:1.5:1.5」とした。同時に補強盛土は、傾斜ドレーンの効果により不飽和ゾーンとなることから、不飽和条件による基準締固めエネルギー1.5Ec、締固め度95%(湿潤側)における三軸圧縮試験結果からCcu=0.7kgf/cm²、φcu=38°とした。

＜3. 補強盛土の盛立＞

厚さ(20cm,25cm,30cm)、転圧回数をパラメータとして現場転圧試験を実施し、この結果に基づき、転圧機械10t級振動ローラ、仕上がり厚さ20cm、転圧回数8回と決定した。

補強盛土材の透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ と低く、一般のフィルダムのコア材に相当する材料である。そのため盛立時の間隙水圧の消散が遅いため、急速盛立を行うと、間隙水圧の増加により盛土の安定性が損なわれる恐れがあるとともに、盛立面での重機の走行・締固め作業ができなくなることがあり、本ダムのようなアースフィルダムでは堤敷幅が広く、間隙水圧の消散が遅いため、過剰間隙水圧の発生を避けるため盛立速度を制限し、施工する必要がある。

既設ダムの実績、村山下貯水池堤体形状・材料特性を考慮し、盛立速度は月平均で2.0m程度が上限であると判断し、盛立計画を策定した。

＜4. ジオテキスタイル補強盛土＞

一般的に間隙水圧の消散を促進する不織布と引張強度と補強盛土材料との摩擦を期待するジオグリッドを組合わせて使用するが、本工事では、傾斜及び水平ドレーンを設置するため、ジオグリッドのみを配置する。

施工中の安定検討であるため、材料強度は排水強度(飽和強度)に重機等の上乗荷重1.0tf/m²が作用したとして検討し、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル改訂版」(平成12年2月,(財)土木研究センター)を準拠した。

この結果、補強盛土の締固め仕上がり厚さ20cmからジオグリッドは9層ごとの1.8m間隔で、所要の安全率を満足するように、敷設長は8.5mで敷設する。

＜5. 品質管理(密度条件)＞

補強盛土材は、締固めエネルギー1.5Ecの最大乾燥密度の95%密度以上であれば所要のせん断強度を確保できること、現場転圧試験でこの密度は十分確保できることを考慮して、締固め度の品質管理基準を95%以上とした。



盛立状況写真



試験盛立状況写真

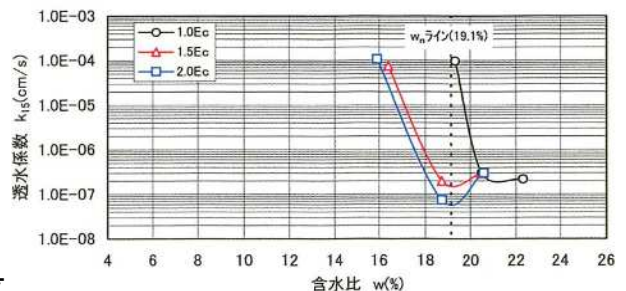
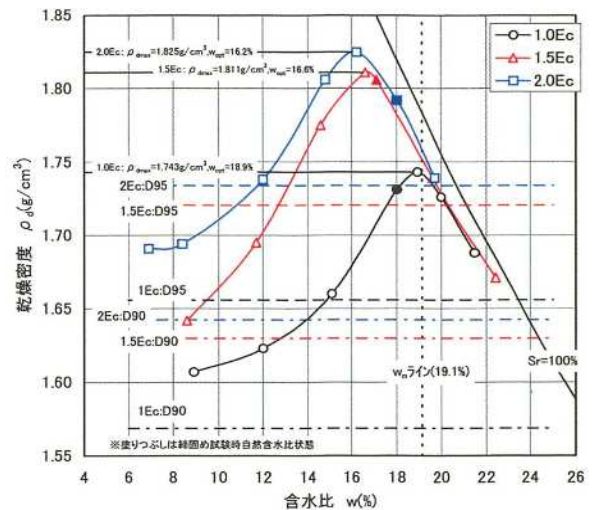


図-4 補強盛土材料の締固め・透水試験結果

参考資料:「布引ダム震災調査と災害復旧工事(第67巻、第11号(第770号)、水道協会雑誌)」「ダム日本NO.729」(H17.7,日本ダム協会)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	布引五本松(ぬのびきごほんまつ)ダム
所在地 (河川名称)	兵庫県神戸市中央区葺合町山郡 (生田川水系生田川)
目的/形式	上水/重力式コンクリートダム
堤高/堤頂長/堤体積	33.3m/110.3m/22千m ³
総貯水容量/有効貯水量	417千m ³ / 417千m ³
ダム事業者	神戸市
着工/竣工	1897/1900



2. 被災の状況(メカニズム)

(1) 被災日時

- 1995(H7)年1月17日5:46 兵庫県南部地震(M7.2)

(2) 被災の概要

1) 堤体

- 地震前にはにじむ程度の漏水であったが、地震後新たな漏水が下流面全面にわたり発生
・特に堤頂から5~10m下方に集中
- 堤頂部では両端、中央表面の土間コンクリートに最大10mm程度のひび割れ発生
・地震前からの亀裂が今回の地震の揺れで拡大したもの
- 高欄の壁に水平方向のひび割れが発生し、笠木部の化粧モルタルの一部が座屈
- 監査廊に設けられている排水孔の浸透量が急増

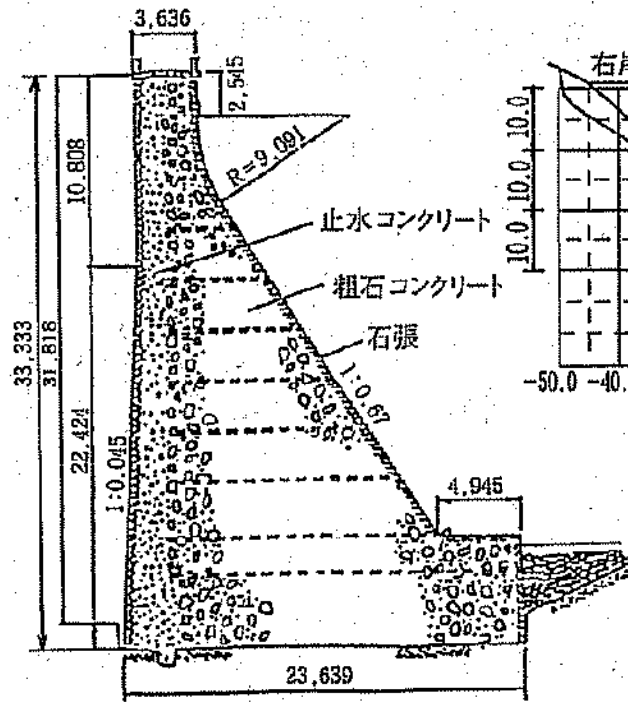


図-1 布引ダム標準断面図

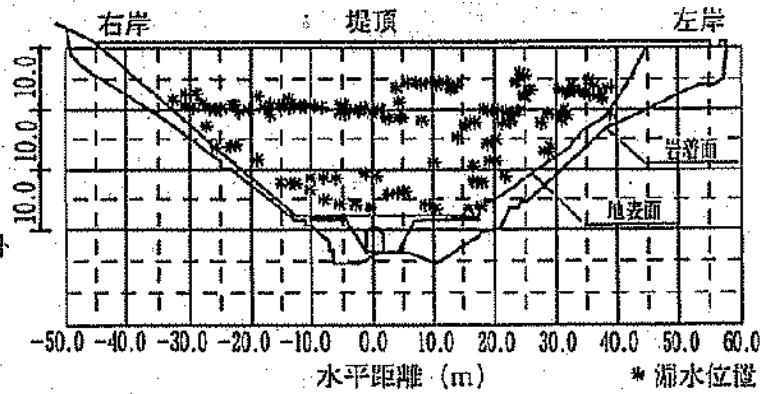


図-2 堤体下流面漏水状況図

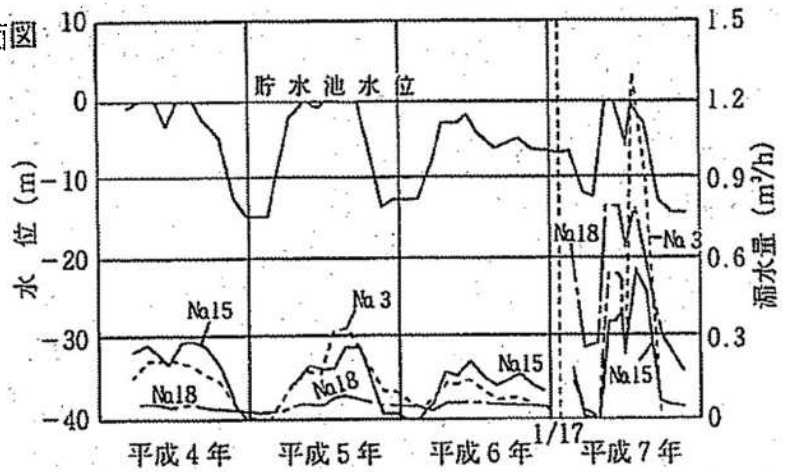


図-4 水位と漏水量の経年変化

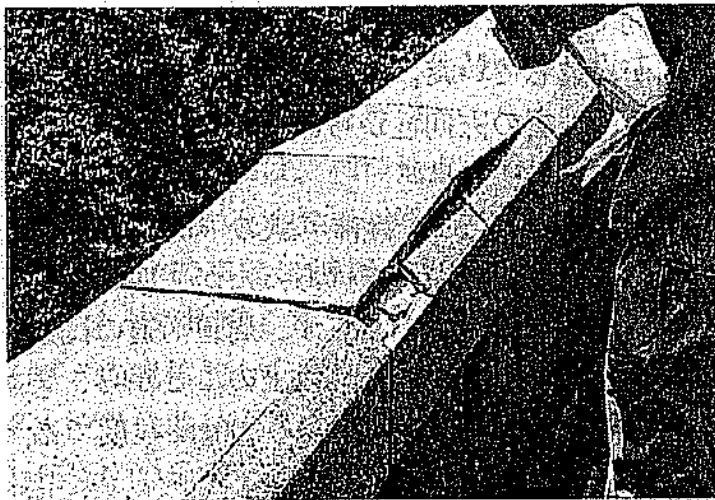


写真-2 高欄笠木部の破損状況

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

○ 堤体下流面の漏水

- ・周辺の被害状況から基礎部の地震加速度を200galと推定し、解析を行った(堤体の高さ毎の上流側縁端応力を算出)。その結果、堤頂から約5m下付近で引張応力が発生する結果となった。
- ・なお、地震時には濁水状況にあり、水位は満水位-5.6mであった。この時に200galの地震力が作用したとして、安定計算を行った結果、転倒・滑動・圧壊に対する安全性は満足していた。

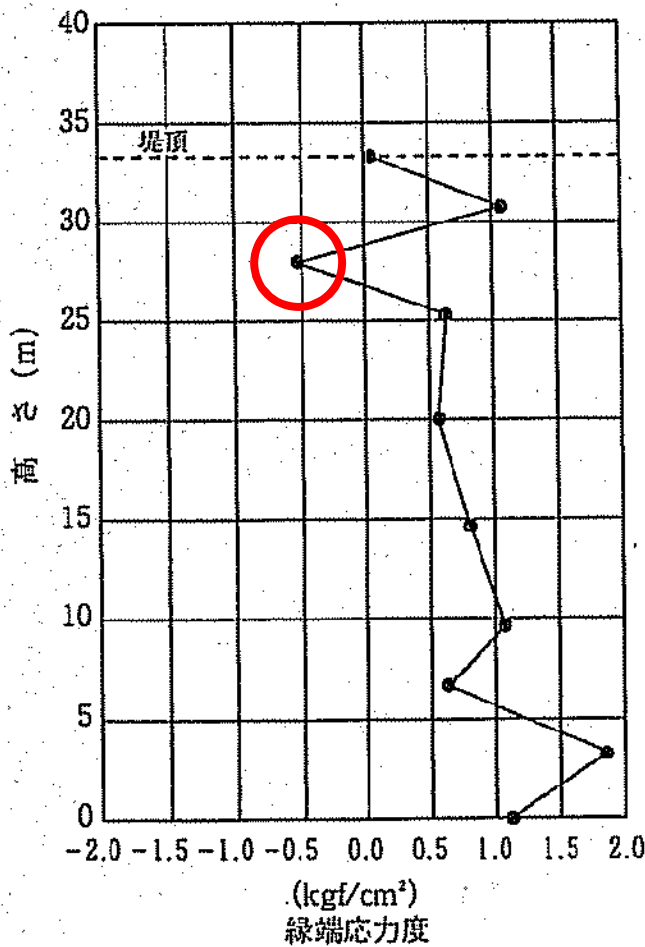


図-5 各断面高さにおける上流側縁端応力度 (入力最大加速度 200gal)

3. 復旧工法の検討

< 応急対策 >

○ 致命的な被害は受けなかったが、漏水量が大幅に増加したため、堤体の均一化と基礎岩盤の遮水機能の改善を目的に、堤体グラウト及び岩盤へのカーテングラウトを実施した。

- ・ 注入材料は高炉セメントB種を使用し、注入圧力は亀裂が拡大しないよう最高圧力を堤体 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 、岩盤 $5\sim 10\text{kgf/cm}^2$ とした。
- ・ カーテングラウチングは堤高の0.5~1.0倍までを改良範囲とし、改良目標値は「グラウチング技術指針・同解説(S58.11)」及び「ダム補修時の事例」を参考にして、2ルジオンとした。一方、堤体グラウトは着岩部までを改良範囲とし、改良目標値は定めなかった。
- ・ 堤体上流側の①、②ラインはカーテングラウトで、ライン間隔を1mとし、③~⑫ラインは堤体グラウトで、ライン間隔を2mとした。
- ・ 孔間隔は、①ラインについては1mピッチとし、昭和42年に施工したカーテングラウトと合わせて0.5mピッチとなるように配置し、②ライン以降は2mピッチとした。

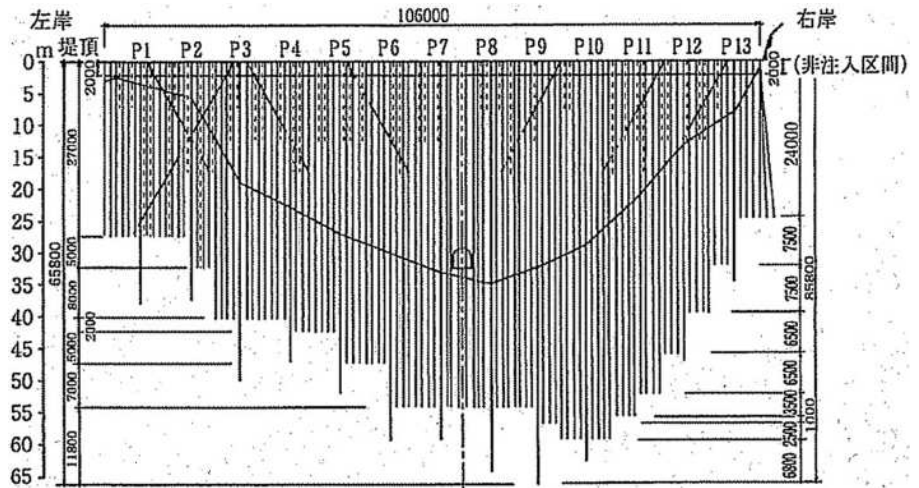


図-8 ガーデングラウト正面図

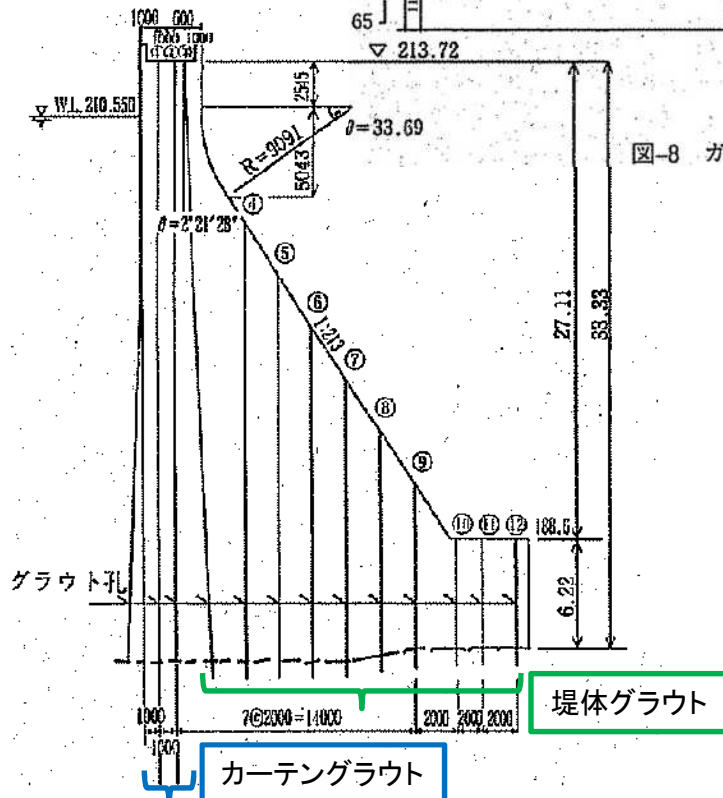


図-7 グラウト標準断面図

4. 補強工法の検討

- 明治時代に建設されたため、地震力は考慮されていない。そのため、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
 - ・水平震度は、震災時を $k=0.20$ とし、常時満水時地震時ではダム設計基準に則り、 $k=0.12\sim 0.15$ の上限である $k=0.15$ とした。
 - ・満水時地震時の場合、図に示すように、堤踵部で -1.89kgf/cm^2 （引張応力）が発生する。滑動安全率も $F_s=3.15 > 4$ であり設計基準を満たさない。
 - ・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）。
 - ・コンクリートの打設時期は真夏を避け、1回の打設量を制限した。現場の気温と打設後のコンクリート内部温度差を考慮して、冬期に打設するフィレットは打設高さを 0.75m に制限した。また、春以降は目地間隔を 15m から 7.5m に変更するなど細心の注意を払ってひび割れ防止に努めた。

表-2 現堤体形状における安定計算結果

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	5.90	○	-1.30	×	72.8	○
サーチャージ水位	212.540	4.99	○	-15.7	×	87.2	○
常時満水位	210.545	4.69	○	-18.0	×	90.1	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

- 設計せん断強度は、過去に行ったグラウト工事での岩盤コアから大部分が新鮮で堅硬な岩（C_M級）であったため、類似地質のせん断強度を参考に $c=120\text{tf/m}^2$ 、 $\phi=45^\circ$ とした。
- 現堤体コンクリート強度は、過去に行われた強度試験の結果から 1500tf/m^2 （ 150kg/cm^2 ）であり、安全率4で除した 375tf/m^2 を許容圧縮応力度とし、許容引張応力度 37.5tf/m^2 とした。ただし、地震時（サーチャージ水位、常時満水位には地震力を考慮することになっている。）については、それぞれ割増率1.3をかけた 488tf/m^2 および 48.8tf/m^2 とする。
- 地震力は重力式ダムの設計基準に示す設計震度（ $K=0.12\sim 0.15$ ）の上限値 $K=0.15$ を用いた。

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		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

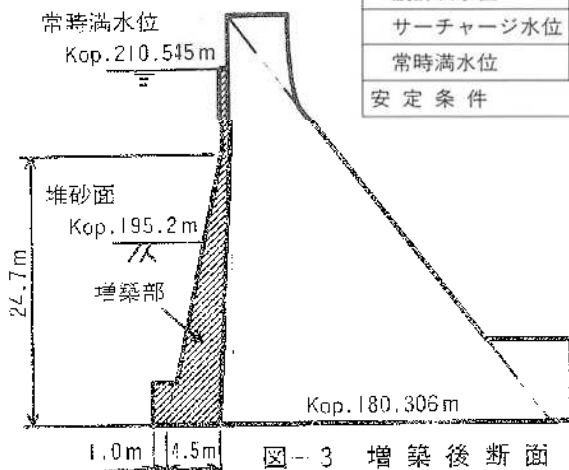


図-3 増築後断面

参考資料:新潟県資料(HP)、川西ダム等復旧検討委員会資料(新潟県)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	川西(かわにし)ダム
所在地 (河川名称)	新潟県十日町市新町新田 (信濃川水系南沢川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	43m/170m/348千 m^3
総貯水容量/有効貯水量	1,215千 m^3 /1,118千 m^3
ダム事業者	新潟県
着工/竣工	1972/1980

**2. 被災の状況(メカニズム)**

(1)被災日時

- 2004(H16)年10月23日17:56 新潟県中越地震(M6.8)

(2)被災の概要

1)堤体

- 堤頂部にクラック発生、上流法面ですべりが発生し、沈下亀裂が生じた。
 - ・地震により堤体表層部が上流側下方に変位
 - ・堤頂部クラックはコア材天端付近までのクラックが数カ所で発生
 - ・堤体右岸部は沈下により非越流標高が不足
 - ・すべりは表層浅部(2m以下)、ブロック張のズレは最大12cm程度

2)洪水吐

- 左岸側コンクリートが倒壊、水路内に土砂が堆積

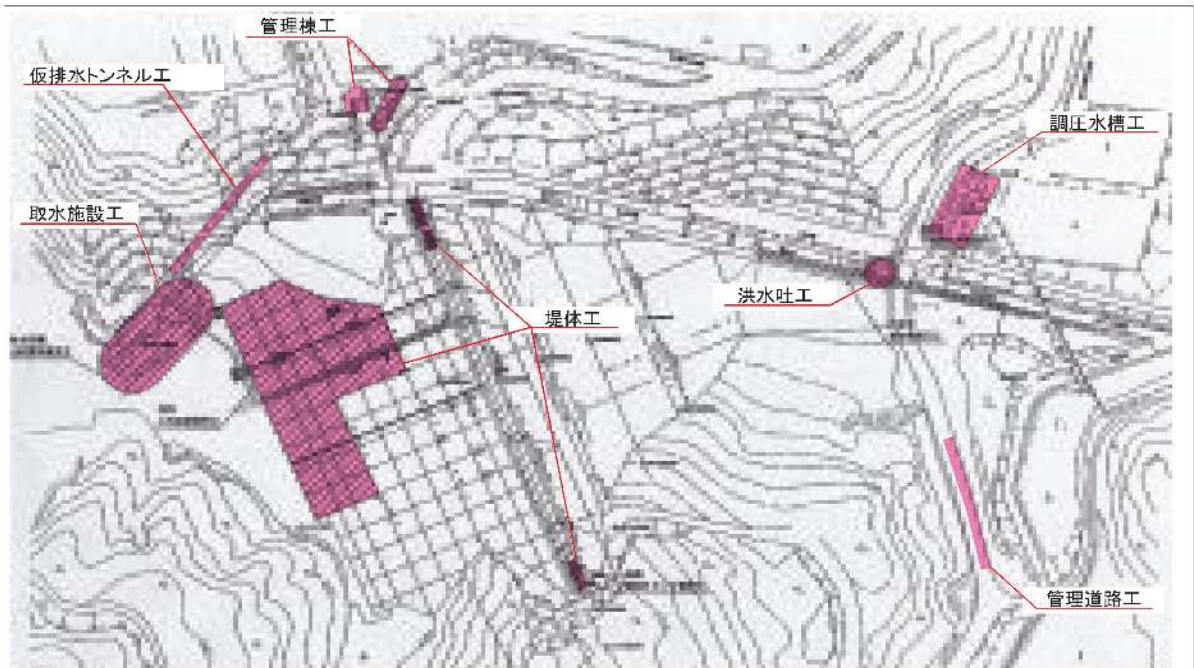
3)取水設備

- 縦壁及び取水施設受け台が破損

4)その他

- 管理施設(ITV,水位計等)が破損、付帯施設の調圧水槽、管理道路で地盤沈下により機能支障

- 復旧後の試験湛水中に、仮排水路トンネル内の土砂吐管断面に変位が発生、通廊壁部にクラック・はらみ出しが発生、天井部から漏水(新たな被災;2006(H18)2月)



川西ダム被災平面図



堤体上流法面被災状況



管理棟被災状況



洪水吐被災状況



取水施設被災状況



管理道路被災状況



仮排水路トンネル道跡復旧前



調圧水槽被災状況

3. 復旧工法の検討

<工事概要>

- ・ 堤体上（堤頂）：盛土（コア材）V=156m³、舗装A=246m²
- ・ 堤体工（上流法面）：掘削・盛土（ブレンド材）V=6,660 m³、張ブロックA=3,341m²
- ・ 洪水吐工：コンクリート擁壁V=98m³
- ・ 取水施設T：コンクリート擁壁V=89.8m³、取水設備N=1式
- ・ 管理棟工：ブロック積みA=62.6m²、場内舗装A=95m²、管理棟内計器盤N=1式
- ・ 観測監視施設：ITV設備N=1式、水位計N=2基、風向風速計N=1基、設備配線N=1式
- ・ 附属設備工：湧水水槽場内舗装A=233m²、管理道路舗装A=224m²
- ・ 仮排水トンネル上：変位抑止上（H鋼切梁）L=52m、漏水対策上（セメントミルク注入）N=41孔、ドレーン孔N=12孔

1)堤体

- 天端標高の不足する堤頂部は、被災箇所路盤50cmまで既設コア材を撤去、建設中の松葉沢ダムのコア材で盛土し、舗装復旧
- 堤体上流法面盛土材は、当初、現堤体は撤去し、松葉沢ダムの土取場材料で盛土する計画であったが、土質試験の結果、本ダム設計数値に満たないことが判明したため、現堤体材と購入砕石を混合したブレンド材を使用
- 張ブロック材はできる限り再利用

2)洪水吐

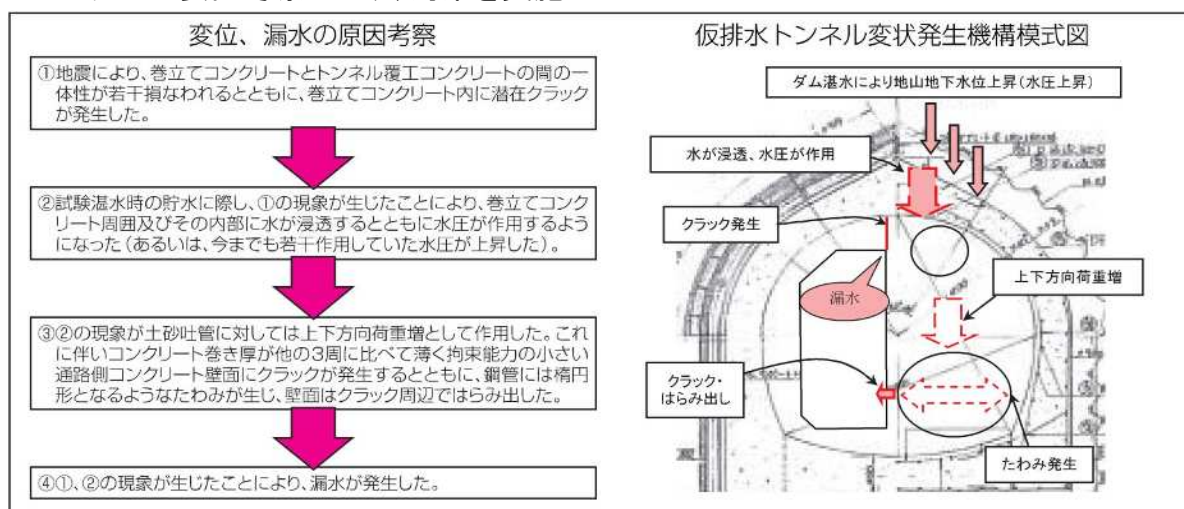
- 倒壊、変位を起こした1スパンを撤去し、新設。

3)取水設備

- 被災した豎壁は撤去せず、内側にコンクリート重力式擁壁を増設。受け台は既設に新受け台を付け足し。

4)仮排水路トンネル(新たな被災箇所)

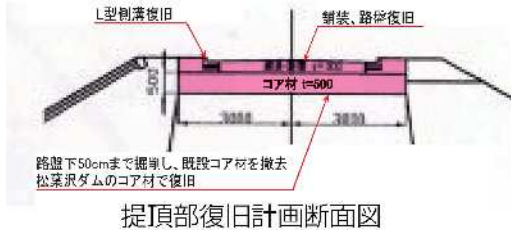
- 以下の要因考察により、対策を実施



天井部からの漏水

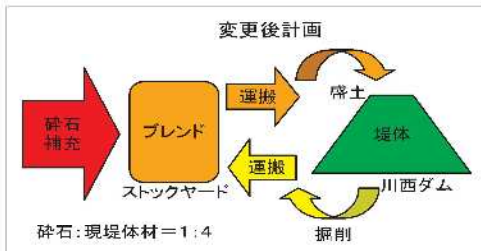
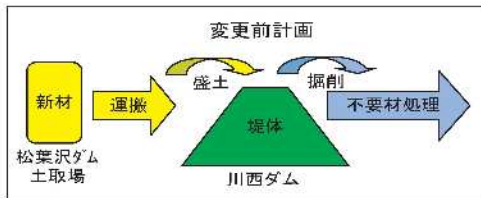


壁面のクラック、はらみ出し



堤体盛土締め固め仕様

	使用機種	まきだし厚	転圧回数
土質試験により 当初設定した仕様	8t級 振動ローラー	40cm	8回
盛土試験により 最終決定した仕様	11t級 振動ローラー	40cm	6回



堤体上流法面復旧計画変更概念図





調圧水槽復旧完了



仮排水トンネル通廊復旧完了

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	藤沼(ふじぬま)ダム
所在地 (河川名称)	福島県須賀川市滝 (阿武隈川水系江花川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	18.5m/133m/99千 m^3
総貯水容量/有効貯水量	1,504千 m^3 /1,504千 m^3
ダム事業者	福島県
着工/竣工	1937/1949



2. 被災の状況(メカニズム)

福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会報告書より引用

(1)被災日時

- 2011(H23)年3月11日14:46 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

(2)被災の概要

1)本堤

- 本震により、上部盛土の大部分が流出し、中部～下部盛土の下流側も流出。
- 構造物の移動状況から、初めに堤体上部の石積み貯水池側へ崩落し、その後、堤体中央からやや右岸よりの部分で波返工(パラペット)構造物が大きく貯水池側へ移動。
- 残存する滑落崖、すべり面、及び移動層の状況から、貯水池側及び下流側に堤体すべりが発生したことを確認。

2)副堤

- 貯水池側へ幅55m、長さ25m、深さ3m以上の堤体すべりが発生し、その前縁で二次すべりが発生。

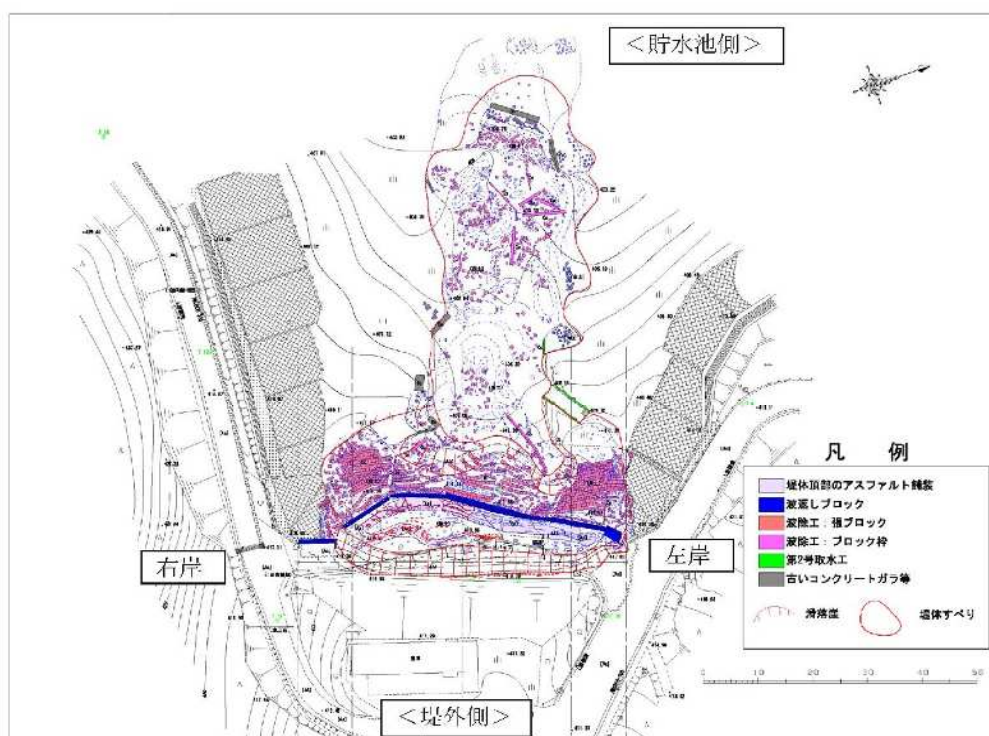


図-3 副堤の構造物損壊状況と堤体すべり

(3)被災の要因

- 藤沼ダム決壊の素因は、上部盛土と中部盛土の状態にあり、その誘因は強い地震動とこの強い地震動が長時間継続したことであると判断。
- 現地調査、土質試験及び解析的手法による検証結果を総合し、下記の知見を得た。
 - ・地震応答解析によると堤頂部の地震動が最大442galに達し、かつ「50gal以上の地震動が100秒間も継続した」過去にない地震動であったこと。
 - ・堤体は全体的に締固め度が近代的な施工方法に比較すると小さく、地震時には非排水条件になると堤体盛土の強度は小さい。特に、砂分に富む材料からなる上部盛土は、水で飽和されている部分があり、今回のような地震動を受けるとさらに強度低下を示すことが判明したこと。
 - ・本堤の盛土部分と類似する材料からなる副堤でも堤体すべりが発生しており、砂分に富む盛土の土質が本堤の決壊要因の一つであると言えること。
 - ・副堤の堤体盛土に発生したすべりでは、その底面が施工時期の異なる盛土の境界に帰省されており、本堤においても施工時期の違いによる盛土の締固め度の違いがすべりの発生に関与している可能性があること。

3. 復旧工法の検討

福島県藤沼ダム復旧委員会資料(第1回～第6回)より引用

<復旧方針>

○ 耐震設計の考え方 (第2回委員会資料)

地震により被災した藤沼ダム復旧にあたっては、復旧後の耐震性能について以下の考え方に基づく。

- ・基本設計は現行基準レベル1に基づいて行う。
- ・被災要因となった3.11地震動を受けても堤体の安定性が確保されることを確認する。
- ・レベル2地震動による耐震設計では、破壊的な状況が生じない性能であること。

○ 対象施設の整理

復旧設計において対象とする施設及び整備方針について下表にとりまとめた。

表-1.1 藤沼ダム復旧における整備対象施設と整備方針

施設名称	内容	整備方針	備考
堤体	貯水容量 (満水位)	貯水容量は被災前と同様とする	・ダム常時満水位 F. W. L. 414. 90
	堤高	天端高さは堤体の安定性検討を踏まえ、現行基準に基づいた必要余裕高「以上」を確保できるものとする。 堤体の基礎地盤標高は、地質調査結果に基づき決定する。	・旧堤体の本堤および副堤天端標高は EL. 417. 40 ・旧堤体の余裕高は「ため池整備」に基づくとクリアする。但し ダム基準 に基づくと越流水深を確保できないため、 堤高の嵩上げが必要 (次頁以降にて概略計算)。
	堤体の型式	基礎地盤調査に基づきダム形式を決定する	・平成 24 年度地質調査より、コンクリートダムの建設は困難。よってフィルダム形式を選定
	堤体の規模	安定解析結果(地震動含む)に基づき堤体規模(断面形状)を決定する	・天端標高変更に伴い、堤頂長についても変更される可能性有り
堤体観測設備	堤体挙動の監視計器設置 気象・水象観測計器の設置	【堤体挙動観測計器】 ・堤体内水位観測(間隙水圧計) ・浸透量観測施設 ・表面変位計 【気象・水象観測装置】 ・貯水地水位計 ・雨量計 ・地震計	・旧堤体では浸潤線観測孔のみ
洪水吐	設計洪水量	現行基準に基づき、設計洪水量の見直しを行う	・旧堤体は本堤にのみ設置 ・旧堤体諸元では設計洪水量 $Q_{100} = 11.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (1/100 年確率として計算)
	施設規模	見直し後の洪水量により、現況洪水吐の能力を照査する	・天端標高、常時満水位を固定すると越流水深を確保できない。堤体の嵩上げに加え、堰の延長が必要になる。
取水施設	緊急放流能力の検証	復旧後のダム貯水位管理を見据え、取水施設(取水トンネル含む)の緊急放流能力を確認する	・既設では緊急放流の定め無し ・緊急放流施設として整備する際は放流施設(流量調節ゲート)の設置を検討する
下流河川	流下能力確認	下流河川の無害放流量を確認する	・下流河川の流下能力によりダム貯水位操作が規制される
ダム管理操作規定		ダム管理基準値の設定 ダム管理操作規定の作成 (日常点検マニュアル、緊急時対応マニュアルの作成)	・日常管理、緊急時の貯水位操作等を含めた
ダム管理システム	観測データの管理および管理情報の伝達システム整備	ダム地点の情報を管理所にて一元管理し遠方への伝達システムを整備	・既設ではダム管理システムなし
警報設備	緊急時の警報設備強化	下流集落に配慮した警報伝達システム(警報局舎(サイレン)設置含む)の整備	・既設では警報局舎なし

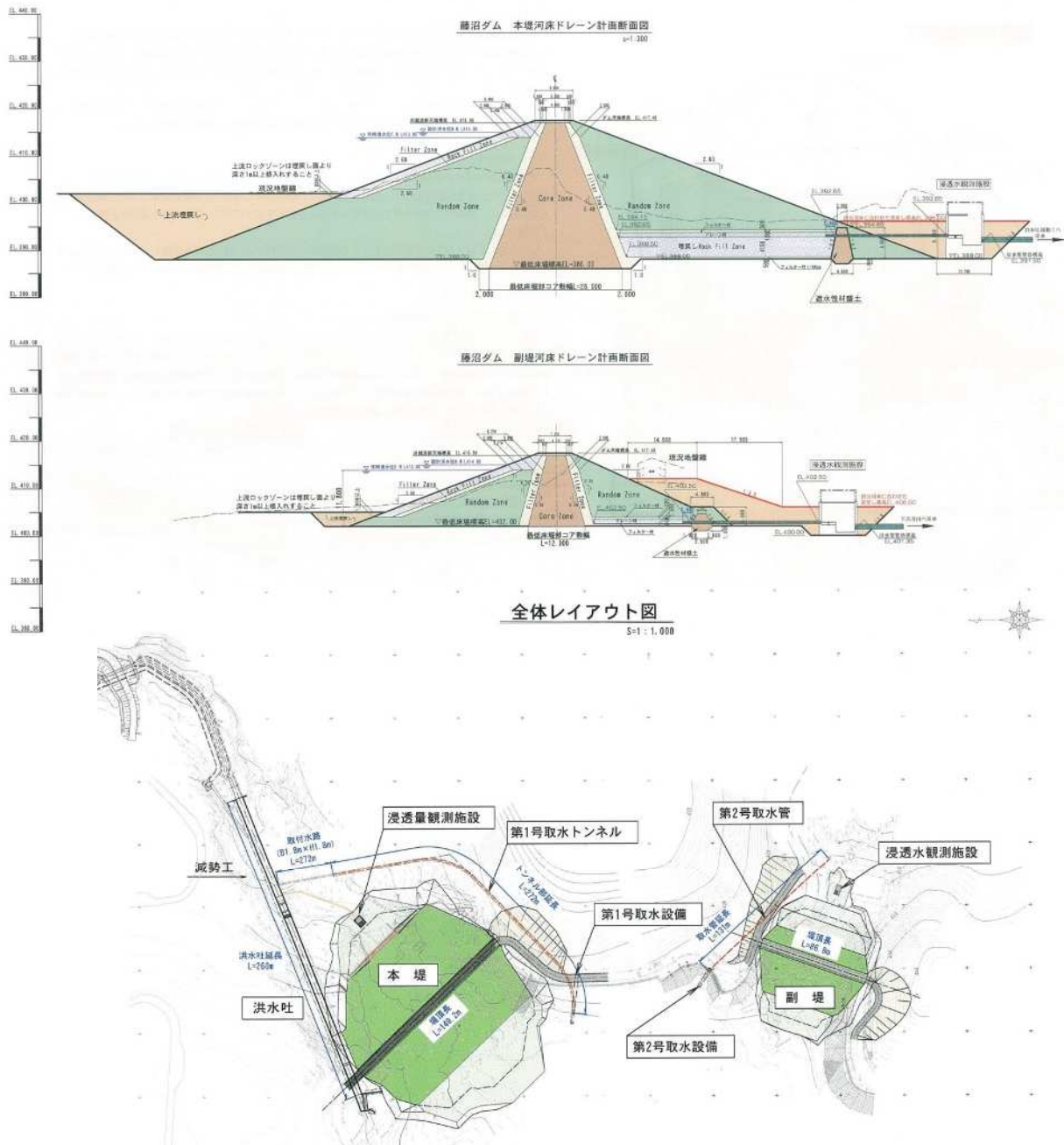
<復旧基本方針>(第5回,第6回委員会資料)

○ 堤体の復旧基本断面

- ・復旧ダム形式は、本堤・副堤ともに中心遮水性ゾーン型フィルダム※とする。
- ・遮水ゾーン上下流にはフィルターゾーンを設け、堤内の浸潤線を速やかに排除する。
- ・堤体上流面にはロックゾーンを設け、堤体の浸食防止及び安定性向上を図る(ただし上流ロックゾーンは埋戻し面以下には配置しない。)
- ・堤体下流側には浸透水観測施設を配置する。

※第2回委員会ではアースダムとロックフィルダムの概略比較を実施。

- 洪水吐は洪水量流下能力が不足するため全面改修とする。
- 緊急放流能力を有する取水放流施設を設置する。



<復旧設計の考え方>(第6回委員会資料)

○ 藤沼ダム復旧設計の基本的構想及び盛立試験に向けた確認事項について以下に整理。

【藤沼ダム復旧設計の基本的構想】

- ① 崩壊した旧ダムよりも圧倒的に安定している
- ② 2011年東日本大震災と同じレベルの地震動を受けても安定である
- ③ 施工は耐震性照査の結果が反映され合理的な設計と施工で上記を実現する

・従来レベル2地震動にてデザインされていないダムの安全性は、施工サイドにて確保されていた『余裕』により得られているところが多い

・すなわち施工では十分に締め固めが行われ、実質的にレベル2地震動に耐えうるレベルまで高い締め固め度が実現していた（レベル1設計にて設定した以上のせん断強度を有していた）と思われる

ただし、この「設計」と「施工」の差は、レベル2地震動に対して確固たる安全性を保証するものではない
→ 希ではあるが、十分に締め固めていなかった場合は、レベル2地震動に耐えられない危険性がある

よって藤沼ダムでは以下の考え方に基づき、耐震性を有するダム復旧を行う。

1. 室内設計検討

- ① 堤体の規模・断面は設計基準に基づいて決定する（レベル1の耐震性を有する）
- ② レベル2の耐震性能照査は、実際に機械転圧により得られる密度・せん断強度にて行う
このため盛立試験を先に実施の上、実際に得られる密度・せん断強度を把握する必要があるが現時点では先行して盛立試験の実施が困難な状況である。よって、重機転圧にて得られる締め固めエネルギーを $E_c = \text{JIS} \times 200\%$ 相当以上と想定して耐震性能照査を実施する
- ③ 締め固め $E_c = \text{JIS} \times 100\%$ 条件においても耐震性能照査を実施する
(ランダム材。比較及び耐震性能を有するために必要な締め固め度を把握する目的)。

2. 実施工とのリンク(盛立試験確認事項)

解析条件と実施工をリンクさせるためには以下の課題があり、盛立試験にて確認する必要がある。

- ① 限られた復旧工事期間にて、効果的かつ効率的な築堤を行う必要がある。
- ② ばっ気量を過大に設定した場合には、コストの増加・工事期間の延長につながる（かんがい用水の確保が遅れる）。その一方、重機転圧エネルギーに対して湿潤側となる施工含水比（飽和度）とした場合には、ウェーピングの発生および盛土内に過剰間隙水圧が発生することとなり、十分な締め固め効果が得られない。
このため、現実的にばっ気および施工が可能な施工含水比の設定が重要な課題である。
- ③ 上記の施工含水比設定とともに、レベル2検討にて想定したせん断強度が妥当であるか、実際の施工により得られる盛土の強度を把握する必要がある（設計と施工に差を生じさせない・現実的に得られる現場状況とレベル2耐震性能照査条件がリンクしている必要がある）

参考資料:「西郷ダム災害復旧調査実施設計業務報告書」(H24.3,東北農政局)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	西郷(にしごう)ダム
所在地 (河川名称)	福島県西白河郡西郷村大字鶴生 (阿武隈川水系鳥首川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	32.5m/220m/360千m ³
総貯水容量/有効貯水量	3,299千m ³ /3,064千m ³
ダム事業者	東北農政局
着工/竣工	-/1955



2. 被災の状況(メカニズム)

(1)被災日時

- 2011(H23)年3月11日14:46 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

(2)被災の概要

1)堤体

- 天端のクラック
- 天端波返し of 段差・開き
- 上流法面の段差・不陸及び法止コンクリートのクラック・変形

2)付帯構造物

- 洪水吐導流壁部のクラック
- 洪水吐トンネル部のクラック
- 取水トンネル部のクラック
- 右岸法面保護工の崩落
- 右岸緑地帯部のクラック



①大端のクラック



②大端波返しの段差・開き



③上流法面の段差・不陸



③法止コンクリートのクラック・変形



④洪水吐導流壁部のクラック



⑥洪水吐トンネル部のクラック



⑥取水トンネル部のクラック



⑦右岸法面保護工部の崩落



⑧右岸緑地帯部のクラック

3. 復旧工法の検討

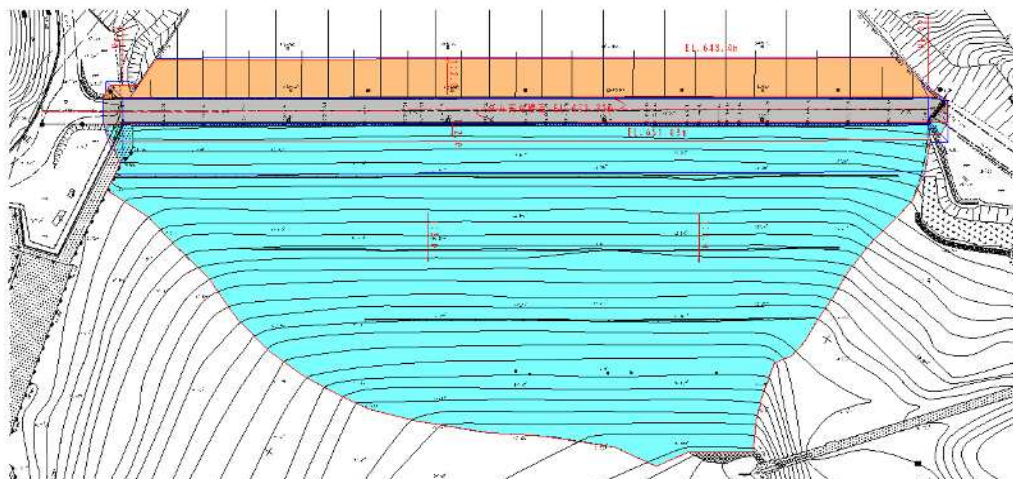
1) 堤体

<復旧方針>

- 西郷ダム堤体では、ダム天端部のダム軸方向開口クラック、堤体上流法面保護層部の滑動、堤体上流パラペット擁壁の変状が主たる被災状況として確認された。
- 復旧工は、ダム天端クラックの撤去、堤体上流法面保護層部の撤去、堤体天端上流部のパラペットを撤去し、地震動に対する安全性の向上を図る方針とする。

<撤去範囲の決定>

- 復旧工における堤体の撤去範囲は次のとおりとする。
 - ・堤体天端部は、被災状況調査で確認した「天端クラックの到達深度」、「クラック下端掘り下げ深さ」、「コーン貫入不可深度」、「波返し変状状況」から下図に示す形状とする。



復旧工における撤去範囲と撤去形状

・堤体上流斜面部は、「堤体上流変状範囲」、「クラック深さ」、「法面保護層深さ」、「軟弱面分布状況」から下図の形状とする。

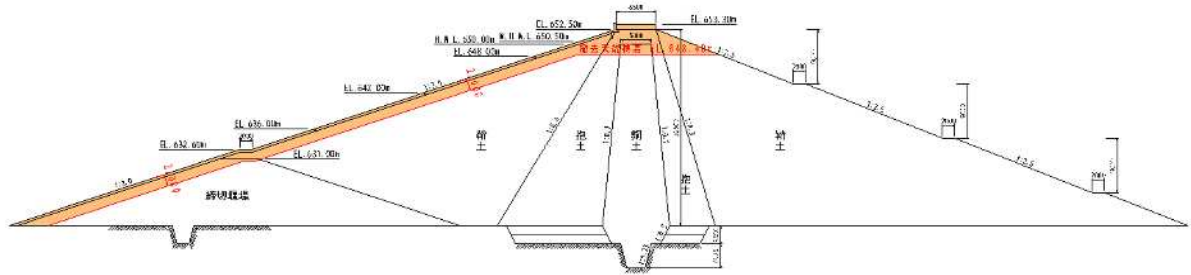
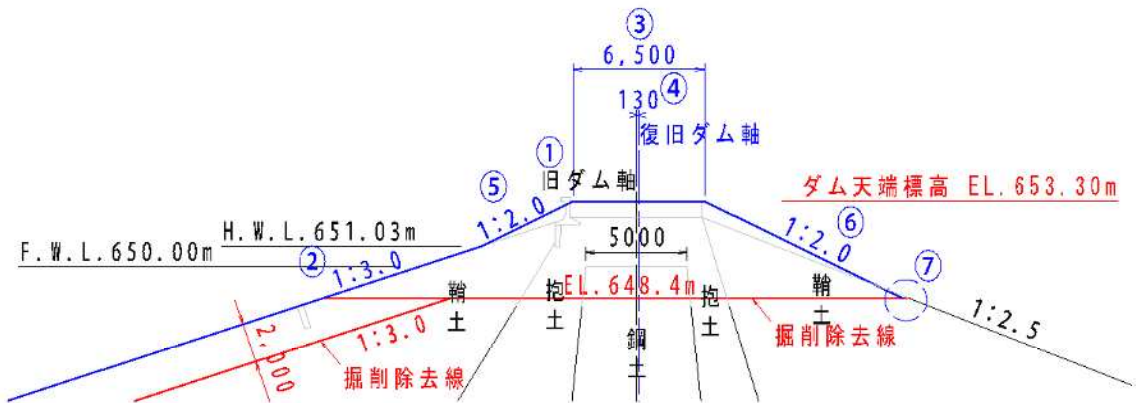


図 3.2 復旧工における撤去範囲と撤去形状(断面図)

<復旧工標準断面の決定>

(1) 堤体表面形状の決定

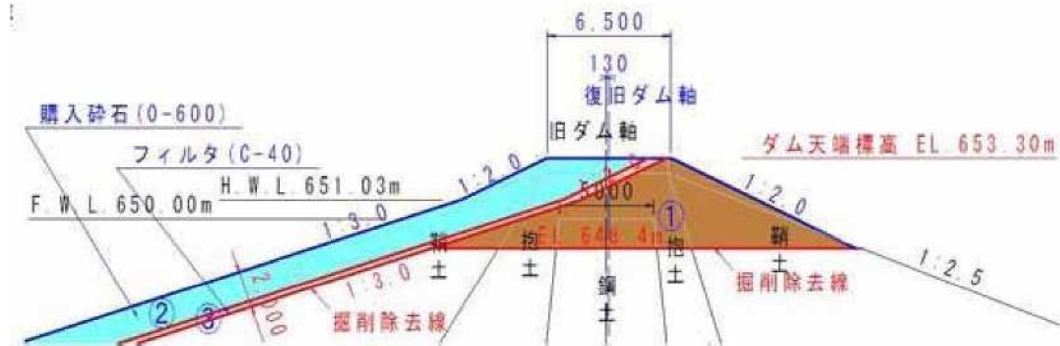
堤体表面形状は、次に示す要領で決定した(項目番号は、下図中の青色数字の番号に対応)。



- ①：堤体上部のバラベットの、地震による被災をうけていることから撤去する。
- ②：上流法面勾配は現形復旧を基本とし、1:3.0とする。
- ③：ダム天端は、既設断面と同じ天端幅6.5mとする。
- ④：復旧ダム軸は、旧ダム軸とほぼ同じ位置(旧ダム軸から0.13m下流へシフト)する。
- ⑤：設計洪水位(H.W.L. 651.03)より上位となる再盛土部の上流法面勾配は1:2.0とする。
- ⑥：下流法面勾配は、下流腹付け盛上が発生しない勾配1:2.0とする。
- ⑦：調査結果より、下流法面形状を作出したところ、掘削除雲帯(EL. 648.4m)位置において再盛立の法完が収まることを確認した。また、安定計算により所要の安全率1.20以上を確認した。(P. 3-11)

(2) 復旧材料の決定

西郷ダムの復旧材料は、次のとおりとする(項目番号は、下図中の青色数字の番号に対応)。



- ①: 堤頂の再盛土材は、掘削材を仮置きし、再利用する。なお、不足した場合の補充材については、購入土を流用する。
- ②: 堤体の上流法面は波浪の影響を直接受けるため、堤体が浸食されないように保護する必要がある。従って、上流法面部は保護工を兼ねた購入砕石(0-600)とする。
- ③: 貯水位急降下時に堤体材料が流出しないような構造とするため、購入砕石(0-600)と堤体(鞘土)とのフィルター則を満足するフィルター材料(C-40)を設置する。

< 復旧工断面の安定性評価 >

・ダム設計基準に基づく安定計算(震度法kh=0.15)によりすべり安全率Fs ≥ 1.2を確保することを確認。

ゾーン	土質	全周断面 (kN/m ²)	鉛直断面 (kN/m ²)	水中断面 (kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内摩擦角 (°)
中心鞘土		17.1	17.7	2.7	15	33.0
鞘土		6.9	17.4	7.4	12	38.0
掘土		7.1	17.8	7.8	13	36.0
フィルター		14.9	22.4	17.3	0	41.0
購入砕石		20.5	23.0	15.0	0	42.0

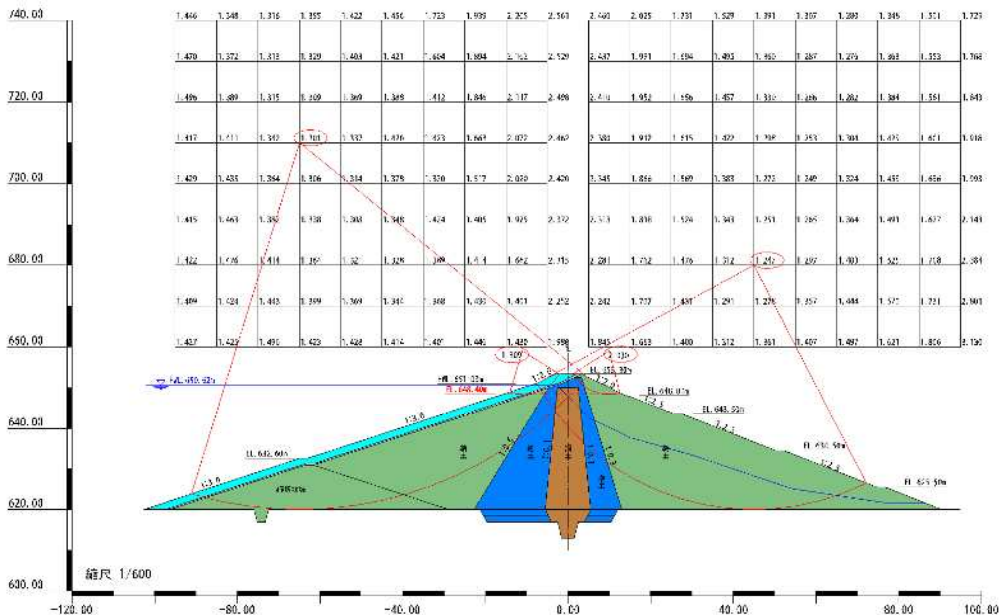


図 3.7 安定計算結果図(常時静水位時)

2)付帯構造物

<復旧方針>

- コンクリート構造物のクラック箇所は、充填工法等により補修
- 右岸法面保護工の崩落箇所は、崩土を撤去後、吹付法枠による復旧を計画
- 右岸緑地帯部のクラック箇所は、クラック深度以下までを掘削後、再盛土による復旧を計画。

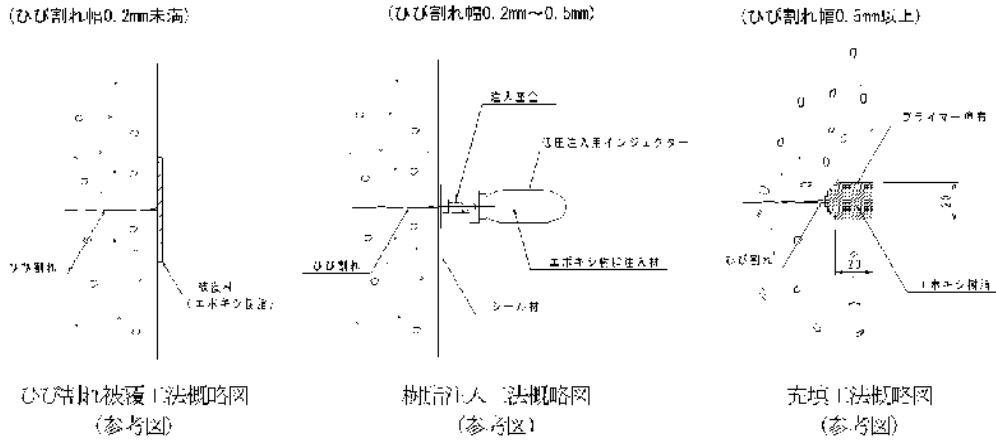


図.コンクリート構造物復旧

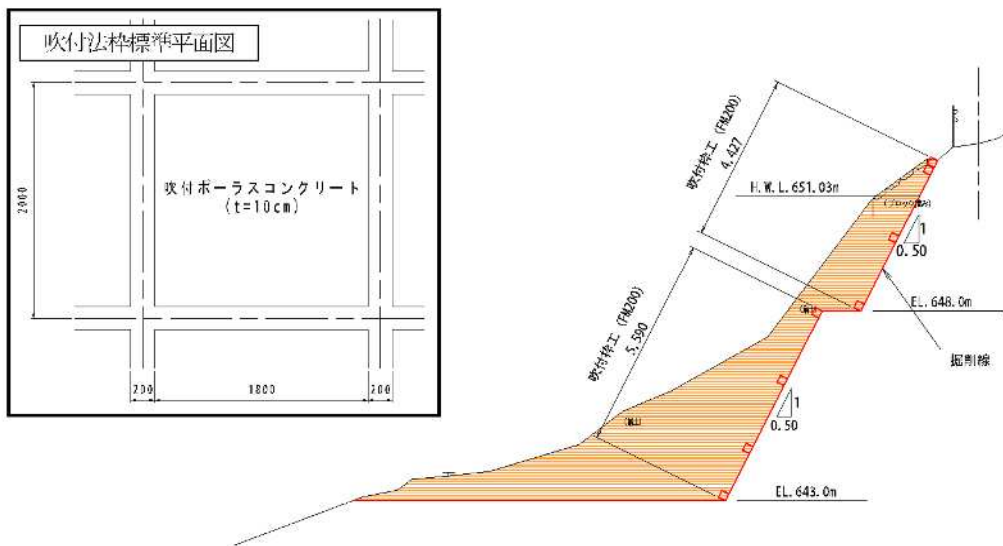


図.右岸法面保護工復旧

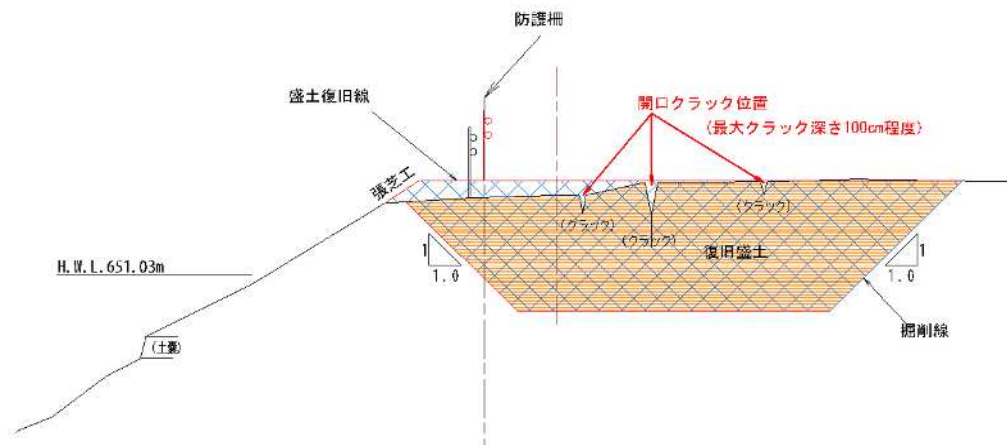


図.右岸緑地帯部復旧

3) 施工手順

(1) 旧堤掘削工

旧堤掘削工の施工は、バックホウ(山積1.4m³)で掘削を行い、ダンブトラック(10t積)に積み込み、堤体の右岸部分へ搬出して、堤体右岸1.3km地点に位置する仮置場2(図1-2参照)に搬出する。

右岸部は、図1-3に示すようにダンブトラック(10t)の積出路として供しており、左岸部・中央部の掘削完了後に掘削する。

なお、掘削完了後の盛立開始前(EL.648.40m)は、振動ローザ(11t)を使用し、平着で搬出し、上下流方向に2%程度の勾配をつけて降雨対策を施す。



図1-2 旧堤掘削土の仮置場

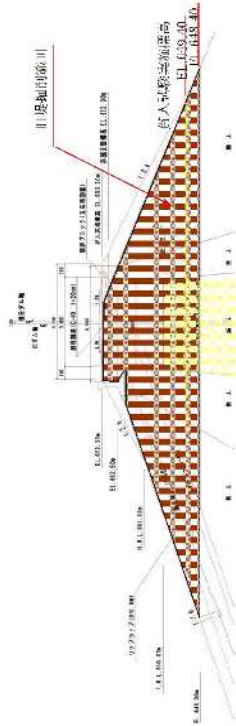


図1-1 旧堤掘削工の標準断面

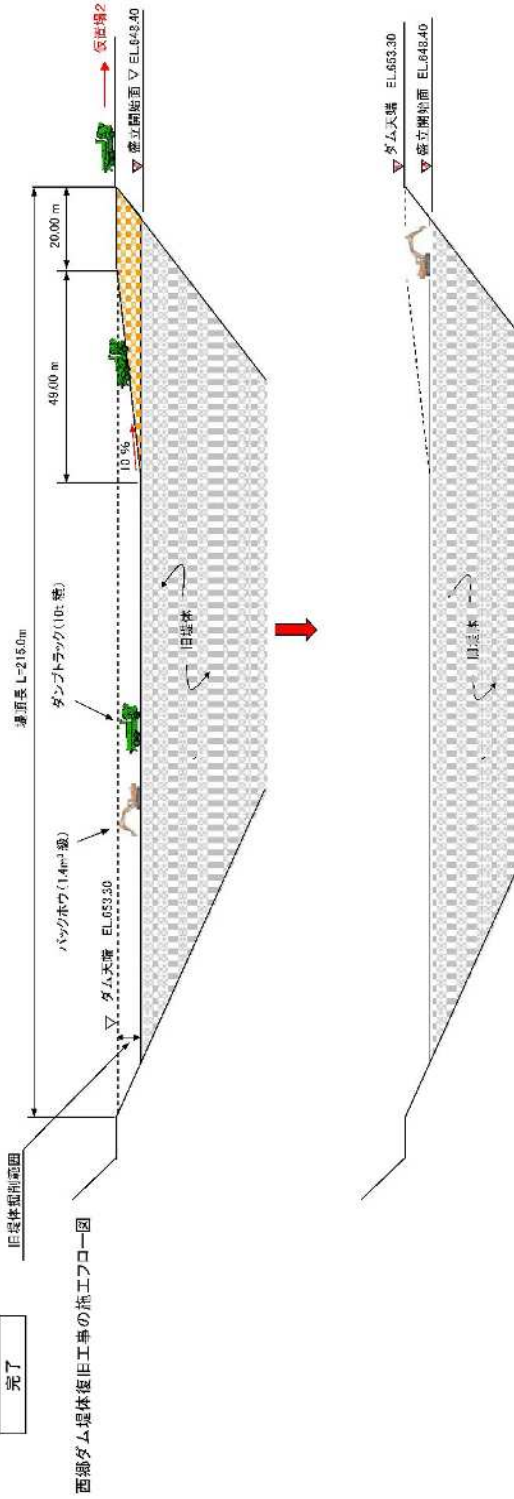


図1-3 旧堤掘削方法



図 2-2 旧堤掘削土の仮置場

(2) 堤体復旧工

- 1) 堤体右岸先行部の盛立
堤体右岸1.3kmの仮置き場から堤頂部の材料を搬入するための道路を構築するため、搬入道路を兼ねて右岸部を先行して盛立立てる。取崩しは標準部と同様にブルドーザー(2t級)で行い、新固めはタンピングローラー(11t)で行う。
なお、右岸の足着部は、標準盛立の進捗に合わせて都度行う。
- 2) 中央部・左岸部の盛立
右岸先行盛立完了後、堤体右岸1.3km地点の仮置き場において、バックホウ(1t積0.8m³)でダンフトラック(10t)に積込み、右岸先端からの盛立材料を堤体内に搬入する。取崩しはブルドーザー(2t級)で行い、新固めはタンピングローラー(11t)で行う。
なお、右岸部は、盛立の進捗に合わせて都度行う。

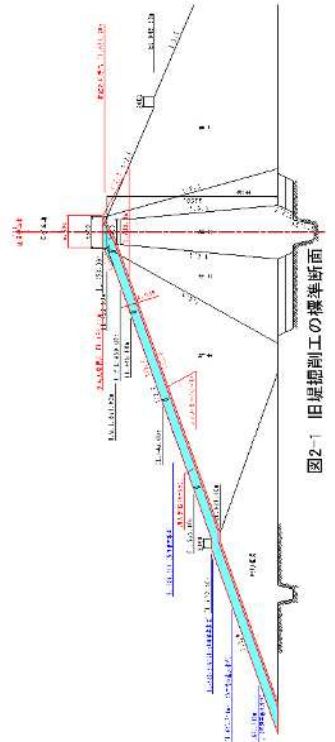
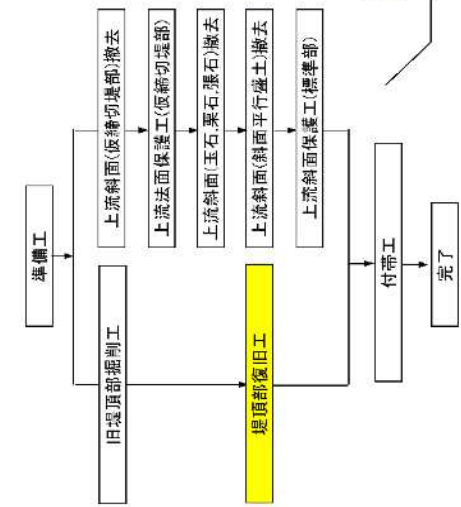


図 2-1 旧堤掘削工の標準断面



西郷ダム堤体復旧工事の施工フロー図

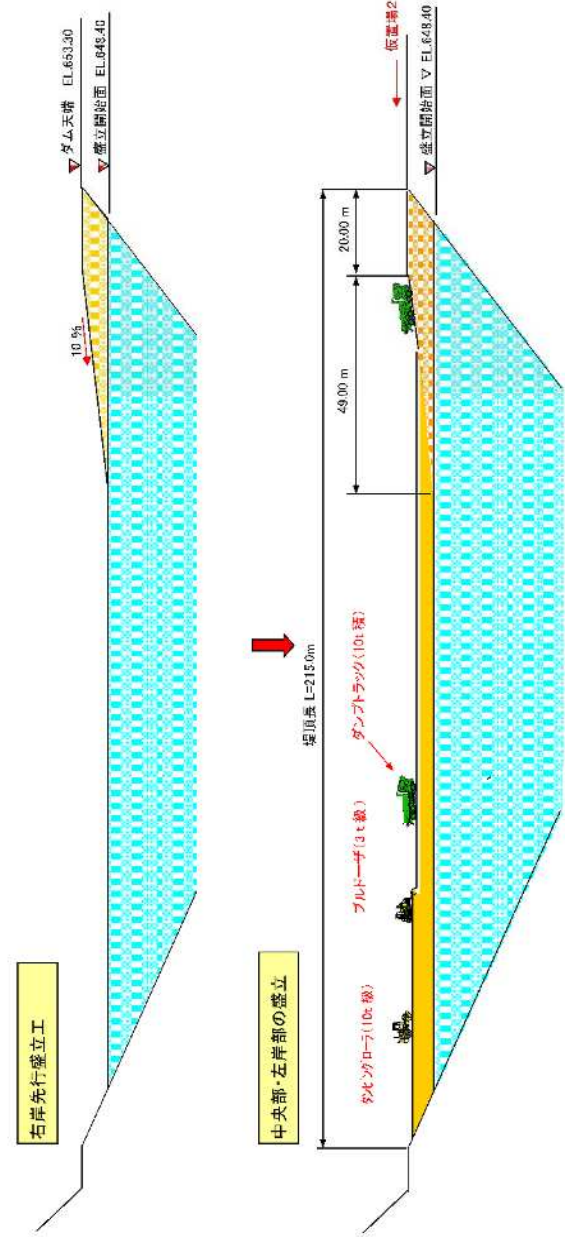


図 2-3 堤体復旧方法

参考資料:「羽鳥ダム災害復旧調査実施設計業務報告書」(H24.3,東北農政局)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	羽鳥(はとり)ダム
所在地 (河川名称)	福島県岩瀬郡天栄村大字羽鳥 (阿武隈川水系鶴沼川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	37.1m/169.5m/318千m ³
総貯水容量/有効貯水量	27,321千m ³ /25,951千m ³
ダム事業者	東北農政局
着工/竣工	-/1956



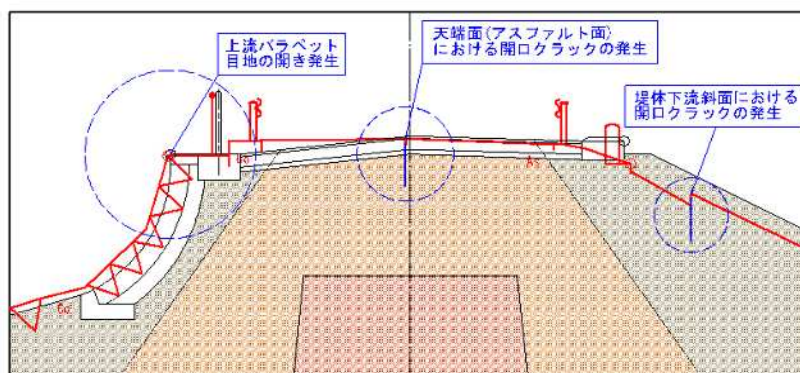
2. 被災の状況(メカニズム)

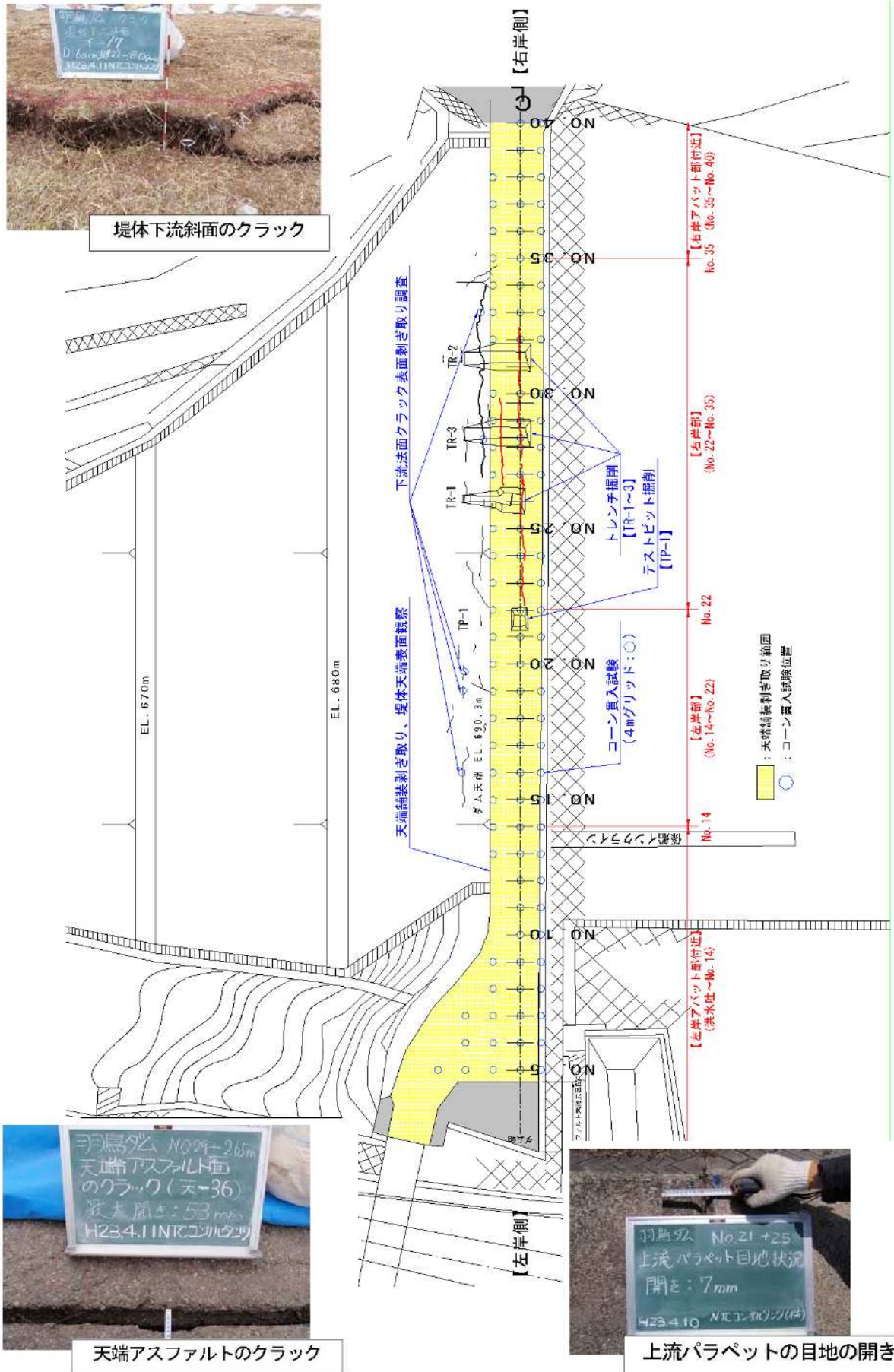
(1)被災日時

- 2011(H23)年3月11日14:46 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

(2)被災の概要

- 天端アスファルトの開口クラック
- 堤体下流法面の開口クラック
- 上流パラペット目地の開き
- 堤体上流法面(連結ブロック)の割れ



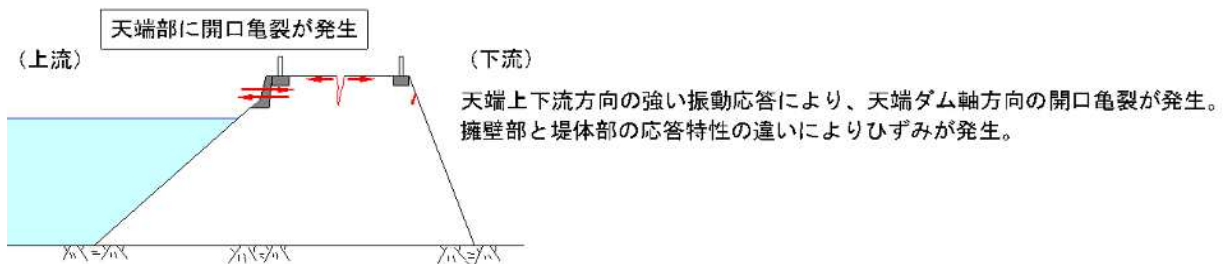
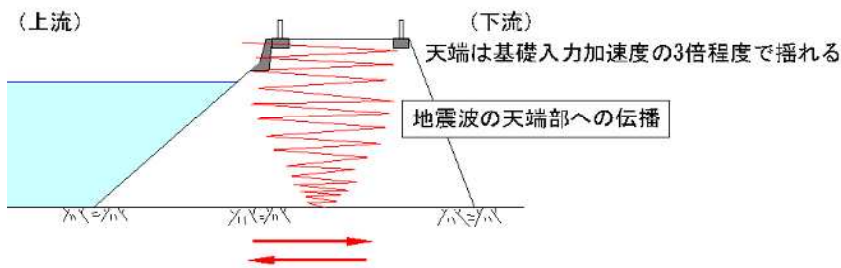
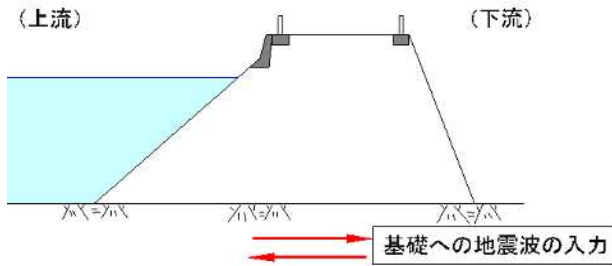


二次調査位置平面図

(3)被災のメカニズム

ダム天端の被災メカニズムについて、地震による過去の被災事例を考慮し、下記のように推定。

- ①天端が大きく揺すられたことによる引張力により開口クラックが発生
- ②上流パラペットと堤体(土)の応答特性(慣性力)の違いによってパラペット部が破損



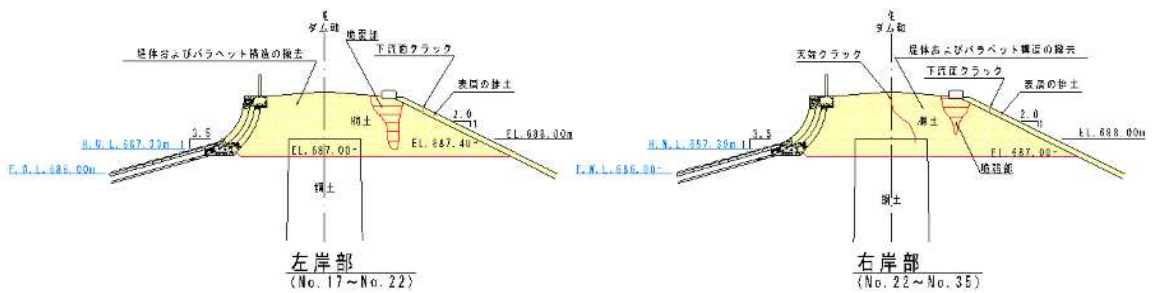
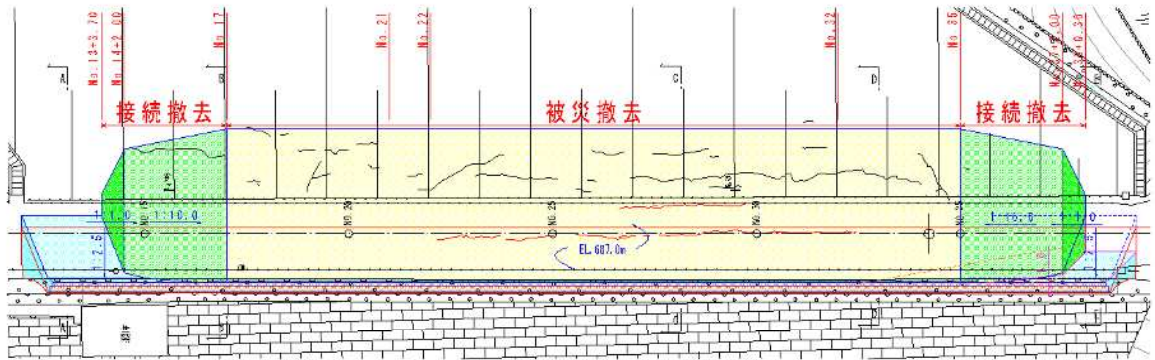
3. 復旧工法の検討

<復旧方針>

- 堤体天端上流部のパラペット構造を撤去し、地震動に対する安定性の向上を図る方針とする。

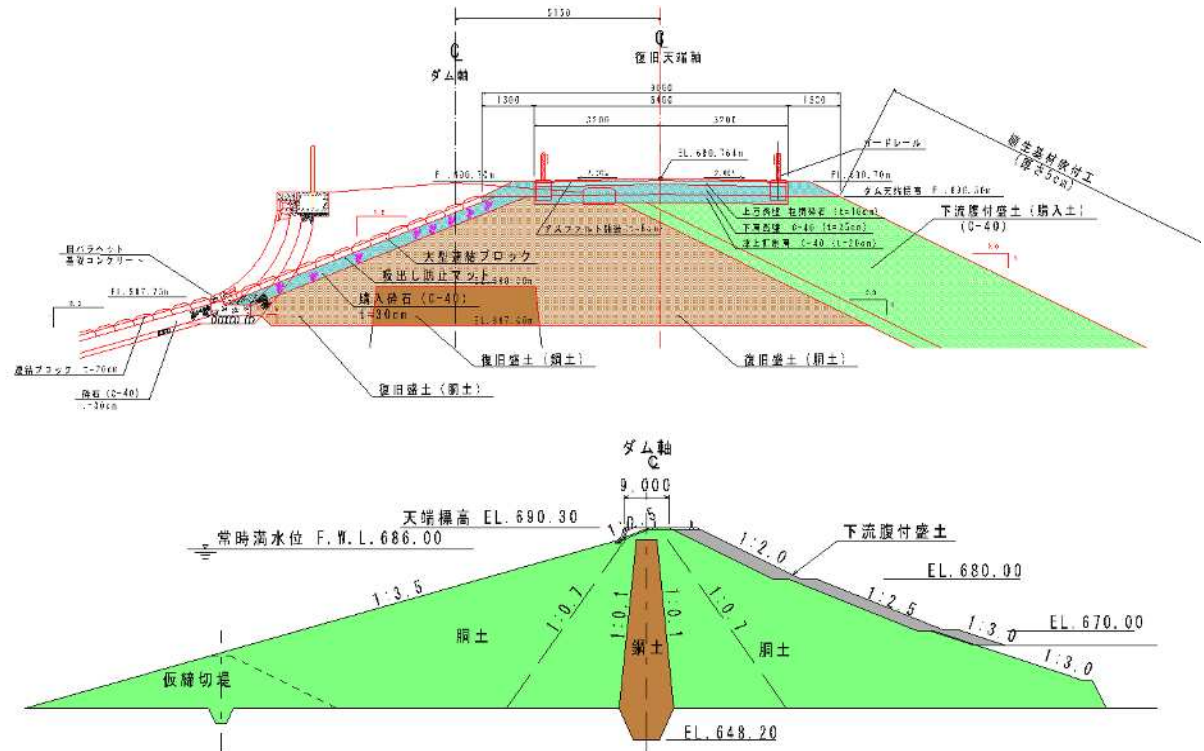
<撤去範囲の決定>

- 堤体の撤去範囲は、被災状況調査で確認した「天端クラックの到達深度」、「脆弱部の下端深度」、「下流法面のクラック分布範囲」と施工上の制限(再盛土との接続施工を考慮)から、次図の形状とする。



復旧工における撤去範囲と撤去形状

○ パラペット撤去後の形状として、下図に示すように上流側を1:2.5勾配の復旧を行い、不足する堤頂幅確保のための下流腹付け盛土を行う計画とした。



＜復旧工断面の安定性評価＞

- ・ダム設計基準に基づく安定計算(震度法kh=0.15)によりすべり安全率 $F_s \geq 1.2$ を確保することを確認。

【安定計算結果】

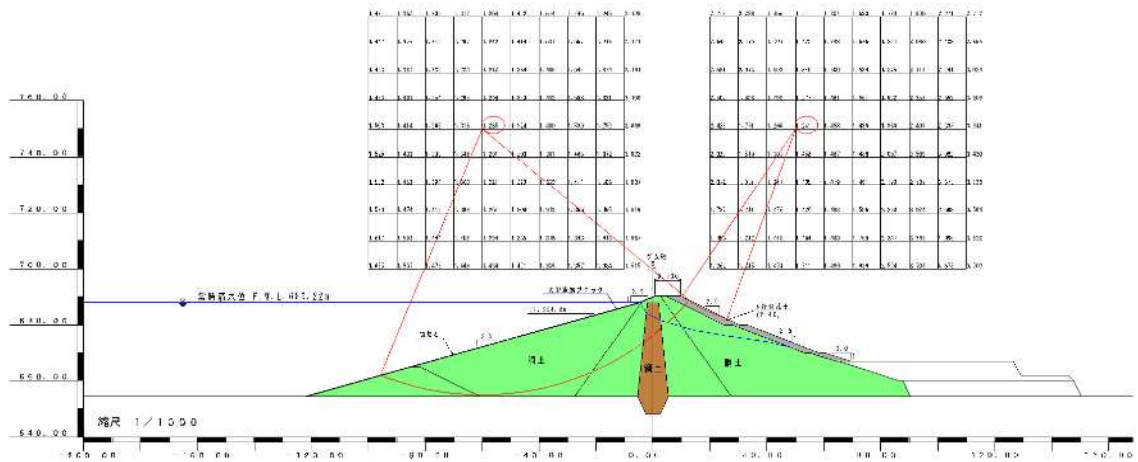
安定計算結果は、下表のとおり「上流」ともに所要の安全率 $F_s \geq 1.2$ を満足する。

安定計算結果

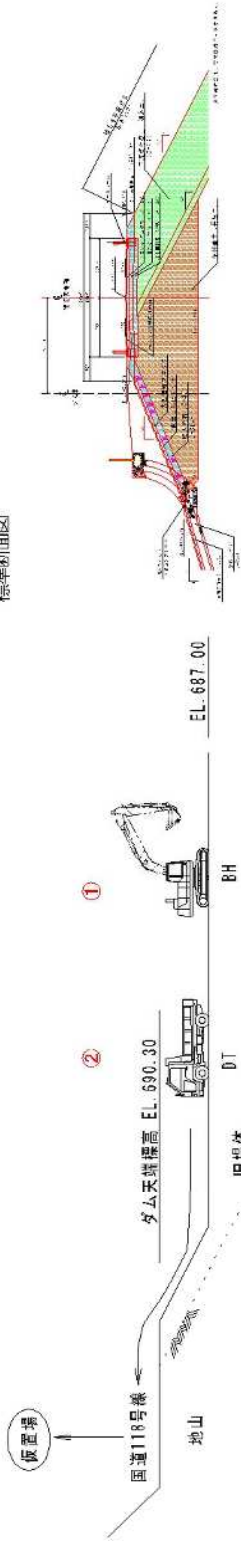
計算ケース	貯水池	地震動係数	地震係数	計算断面	最小安全率		
					左側	右側	平均
復旧後	貯. 888.27m	0.05倍	0.150	上流斜面	1.287	0.3.0	0.770.0
				下流斜面	1.281	0.3.0	0.770.0

安定計算に用いたパラメーター一覧

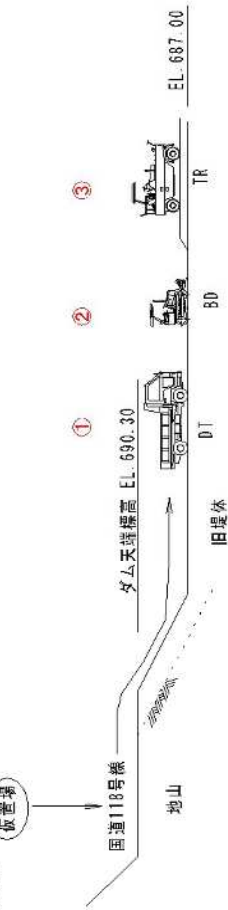
ゾーン名	土質	重量密度 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	粘聚力 (kN/m ²)	不均係数
掘土		17.2	17.9	7.5	19	0.7
掘土		19.9	19.3	9.3	14	0.7
掘削ブロック		22.4	21.4	15.4	0	0
掘削土		20.5	20.5	15.3	0	0
0-10		19.9	22.3	12.3	0	0



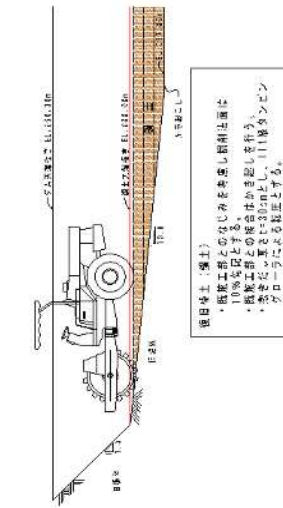
2.2 天端復旧
①掘削 → ②搬出



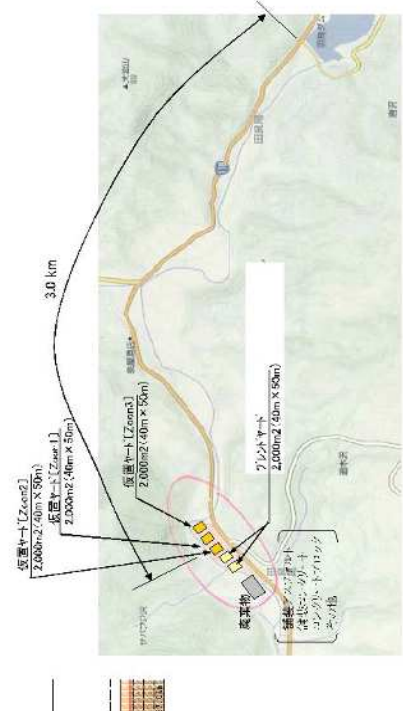
①搬入 → ②搬き出し → ③転圧



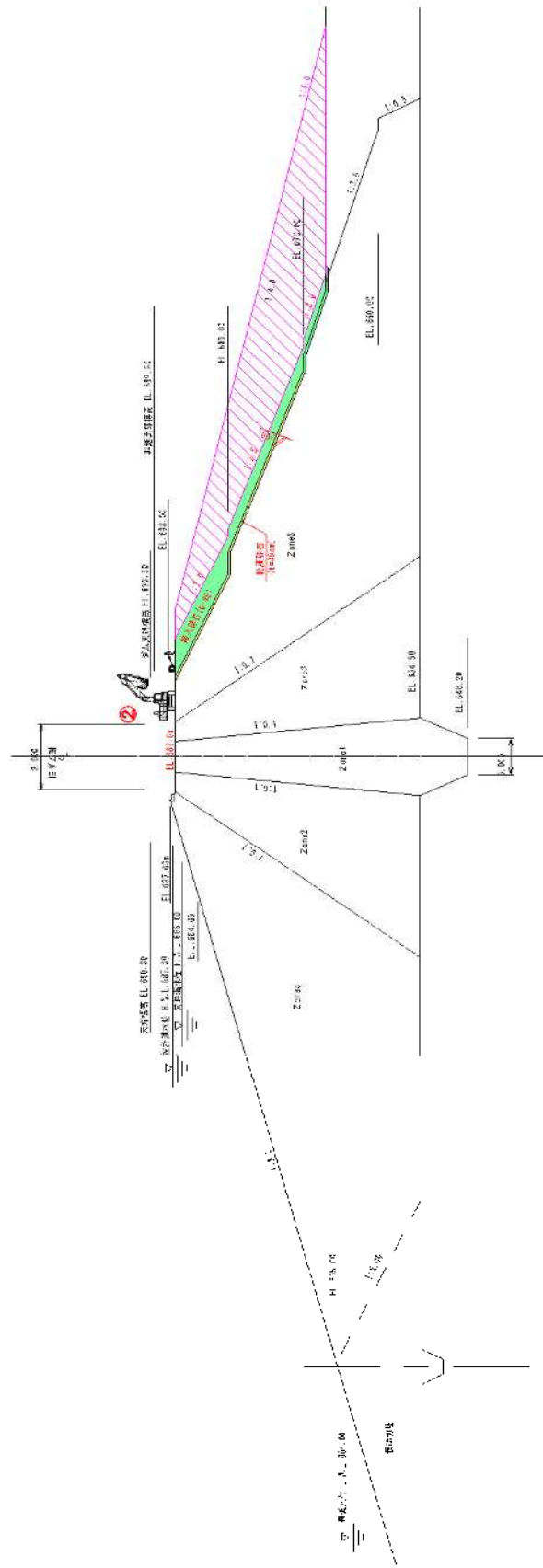
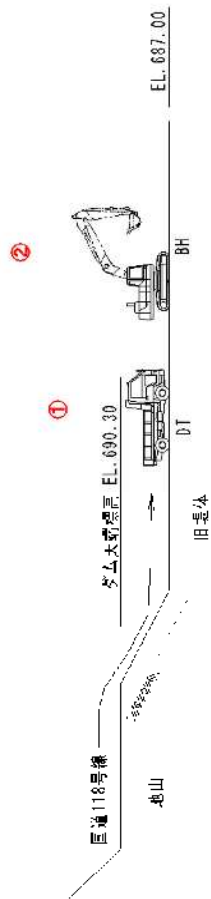
旧堤体との接合部施工



仮置場への平面図



(2) EL. 687.00以下で
 (1) 掘削機、(2) トラック、(3) 土留機



参考資料:「大柿ダム復旧再生計画調査業務報告書」(H26.3,東北農政局)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	大柿(おおがき)ダム
所在地 (河川名称)	福島県双葉郡浪江町大字室原 (請戸川水系請戸川)
目的/形式	かんがい/ロックフィルダム
堤高/堤頂長/堤体積	84.5m/262m/1,756千m ³
総貯水容量/有効貯水量	19,500千m ³ /17,300千m ³
ダム事業者	東北農政局
着工/竣工	1972/1988

**2. 被災の状況(メカニズム)**

(1)被災日時

- 2011(H23)年3月11日14:46 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

(2)被災の概要

1)堤体

- 天端部: 上流地覆脇の開口クラック、ダム軸付近の開口クラック、下流地覆脇の開口クラック、雁行状クラック
- 天端部: 上下流地覆の上流側への変位
- 上流法面部: 法面の凹部、池敷側への変位
- 下流法面部: EL.133m小段～堤趾部水平凸部

調査は1次調査(目視)、2次調査(テストピット開削、土質試験等)と段階的に実施。



①堤体大端アスファルト舗装面における
開口亀裂等



②上下流地覆コンクリートの継目の閉き、
地覆へアスファルトの閉き



③上流地覆コンクリート付近での開口穴・段差



④マンホール周辺での開口



⑤アルミ高欄・地覆の釜み



⑥上流斜面上の層別沈下計管頭部の突出



⑦堤体上下流斜面の状況



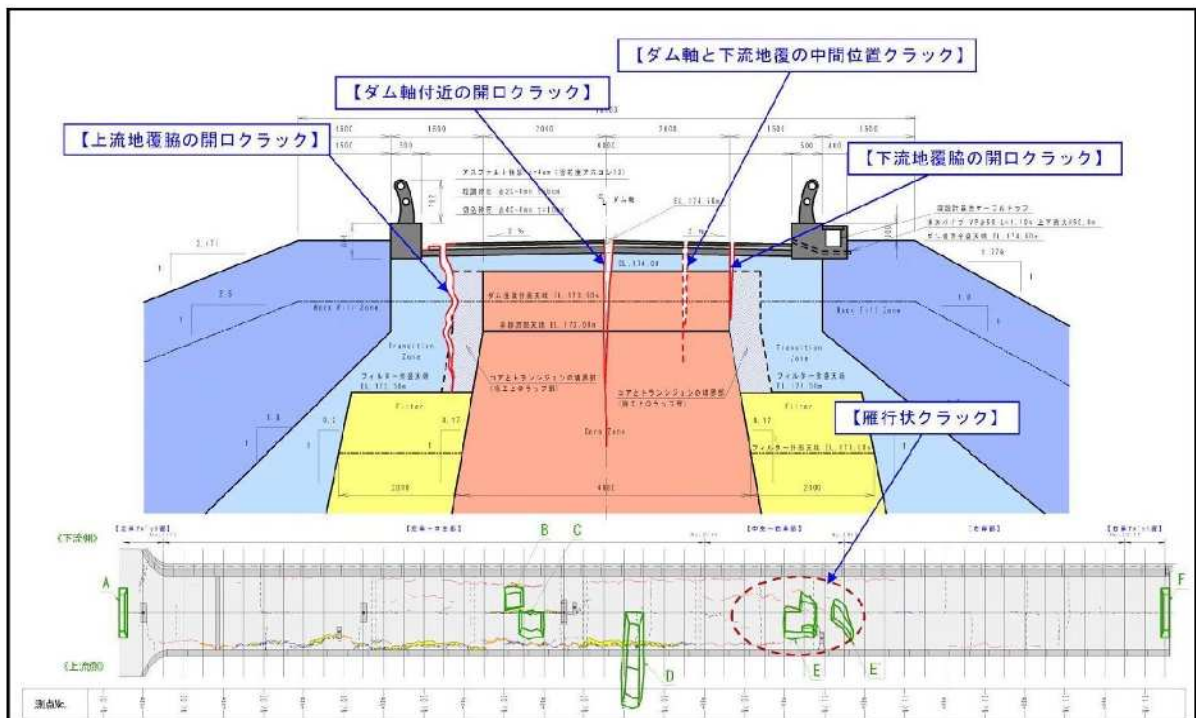
⑧堤体上下流斜面階段工の状況

一次調査(概略目視)結果

【開削調査概要】

東日本大震災によりダム天端舗装面にクラックが確認されたことから、天端舗装を剥ぎ取り路盤面のクラック状況確認を行い、代表クラック箇所の次の7ヶ所の開削調査を実施した。

- ①左右岸アバット (テストピットA, F)
 - ・クラック確認されず。
- ②上流地覆脇 (テストトレンチD)
 - ・段差を伴う開口クラック。
 - ・コアゾーンとトランジションゾーンのゾーン境界付近でクラックを確認。
- ③ダム軸 (テストピットC)
 - ・段差を伴わない開口クラック。
 - ・コア中央部(ダム軸)でクラックを確認。
- ④ダム軸と下流地覆の中間付近 (調査未実施)
- ⑤下流地覆脇 (テストピットB)
 - ・部1cm程度の段差を伴う開口クラック
 - ・コアゾーンとトランジションゾーン境界付近でクラックを確認。
- ⑥雁行状クラック (テストピットE, E')
 - ・段差を伴わない開口クラック
 - ・ダム軸と10度程度で斜行し、上流側に向かうクラック。



TP-C

天端中央(ダム軸)クラックを確認する目的で測線No. 6+8m付近において、「TP-C」を試掘した。

「TP-C」では、天端からほぼ垂直に発達するクラックを最大深度2.9mまで確認した。また、ピット底版で実施したコーン貫入試験では、貫入不可を確認した。

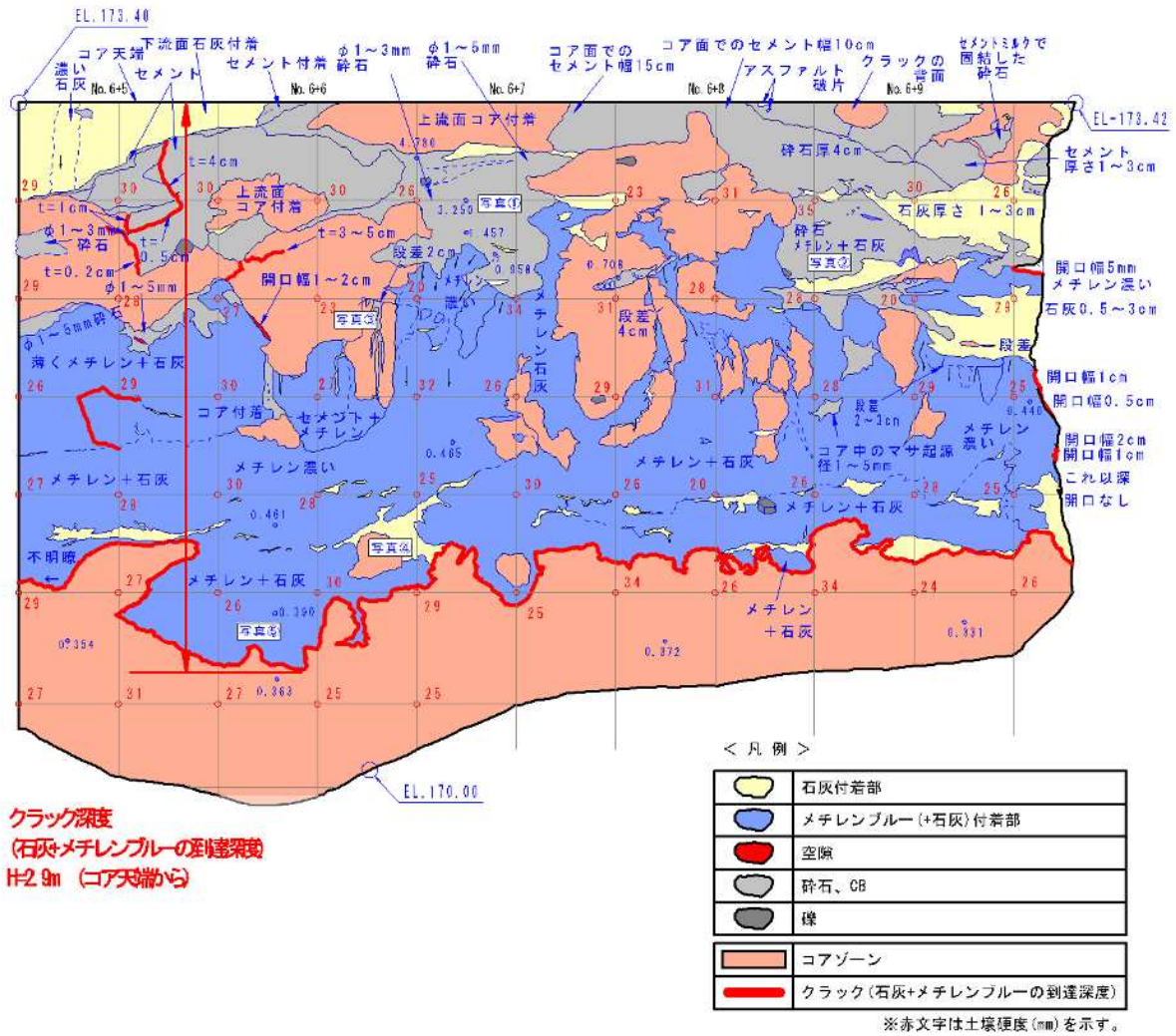


図 2.3 TP-C スケッチ展開図(下流側壁面)

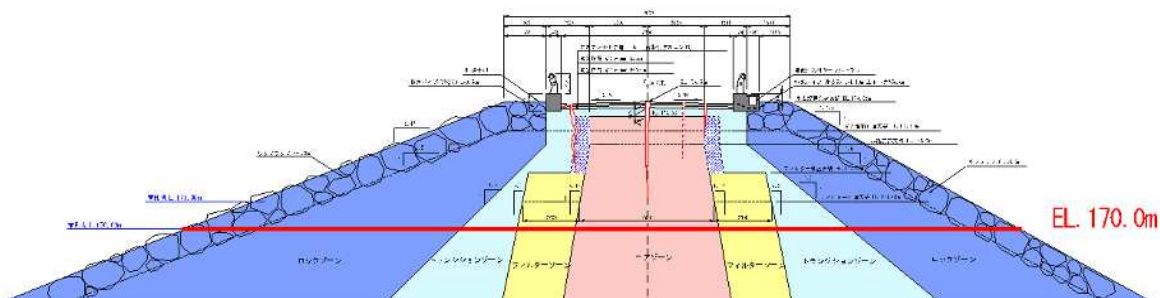
3. 復旧工法の検討

<復旧方針>

- 復旧工は、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を掘削除去し、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い、地震動に対する安定性の向上を図る方針とする。

<撤去範囲の決定>

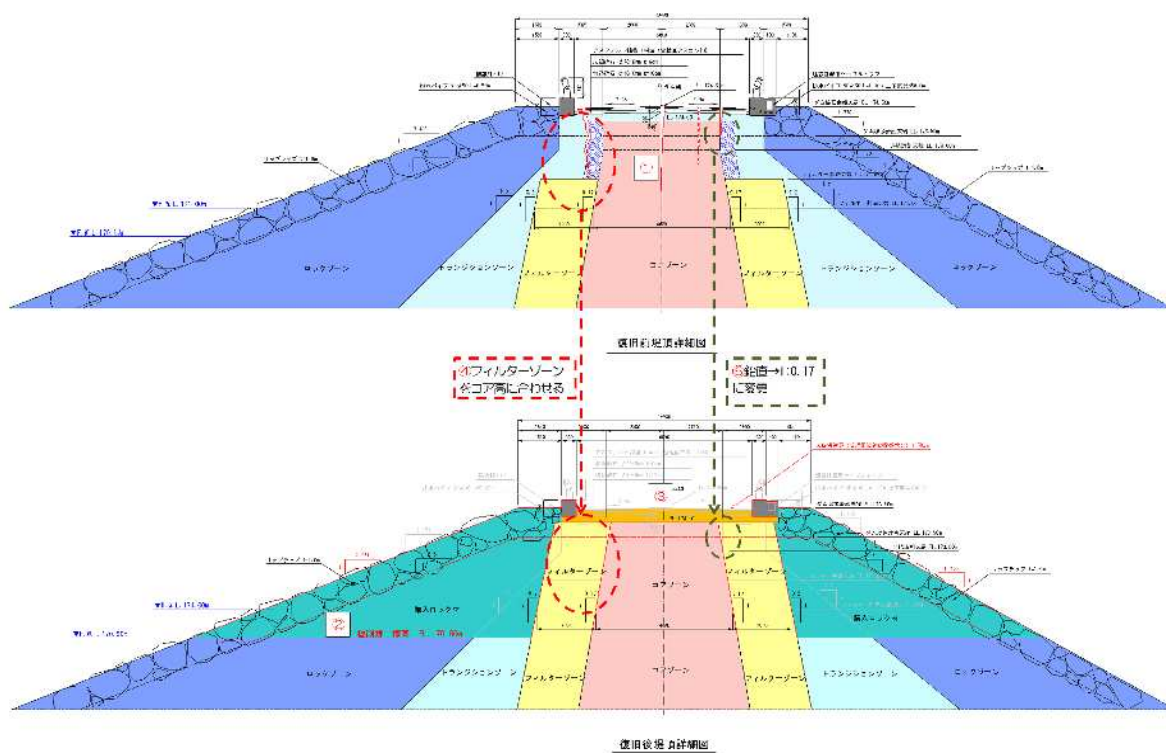
- 復旧工における堤体の撤去範囲は次のとおりとする。
 - ・確認されているクラック確認範囲を見ると上流地覆脇クラック分布深度が最も広く、他のクラックも網羅する範囲となっていることから、これを撤去範囲とする。
 - ・天端アスファルト剥ぎ取り後にクラック状況を確認し、最大クラック開口位置において開口調査を行い、クラック深を確認していることから、開削調査における最大クラック到達標高(EL.170.5m)から余裕(0.5m)を見込みEL.170mを撤去標高とする。



復旧工における撤去範囲と撤去形状

<復旧工標準断面の決定>

- 堤体表面形状の決定
 - ①被災高は現況コア面(EL.173.4m)から $H_{max}=2.9m$ を確認。
 - ②撤去復旧高は余裕約0.5mを考え、現況コア面から3.4m下がり(EL.170.0m)とする。
 - ③余盛を含めた天端高は本体施工時と同じEL.174.5mとする。
 - ④フィルターゾーンはコア高まで高くする。
 - ⑤コア余盛部形状は鉛直(現況)→1:0.17に変更する。
- 復旧材料の決定
 - a.コアゾーン
 - ・本堤掘削材を再利用。不足材は購入ローム材に礫をブレンドし、コアゾーン上部を盛立。
 - b.フィルターゾーン
 - ・購入材を盛立。
 - c.トランジション、ロックゾーン
 - ・細粒化により本堤掘削材は再利用不可。購入ロック材($G_{max}=400mm$)による一体的に
 - d.リップラップゾーン
 - ・本堤掘削材を再利用。



復旧計画断面図

< 施工手順 >

(1) 既設堤体掘削

掘削工の断面を図4.8および図4.9に示す。最終掘削面はBL. 170.00mとする。掘削工はコア、リップラップ、天端保護材、その他に区分し、コア、リップラップ、天端保護材は再利用し、その他は捨土とする。

掘削した材料のうちリップラップはダム右岸下流約1200mの支所跡地（仮設ヤードA）に搬出する。天端保護層およびコア材はダム右岸下流約500mの建設当時の仮置き場（仮設ヤードB）に搬出する。それ以外材料（ロック材、トランジション、フィルター材）は堤体上流1700mの貯水池内の土捨場へ搬出する。

また、掘削終了から盛立開始までは越冬することからコア材の越冬養生を行う。

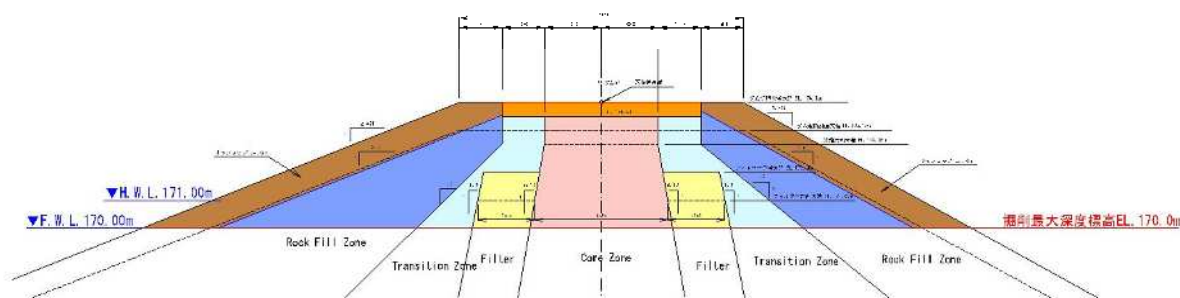


図4.8 大柿ダム掘削断面(横断)

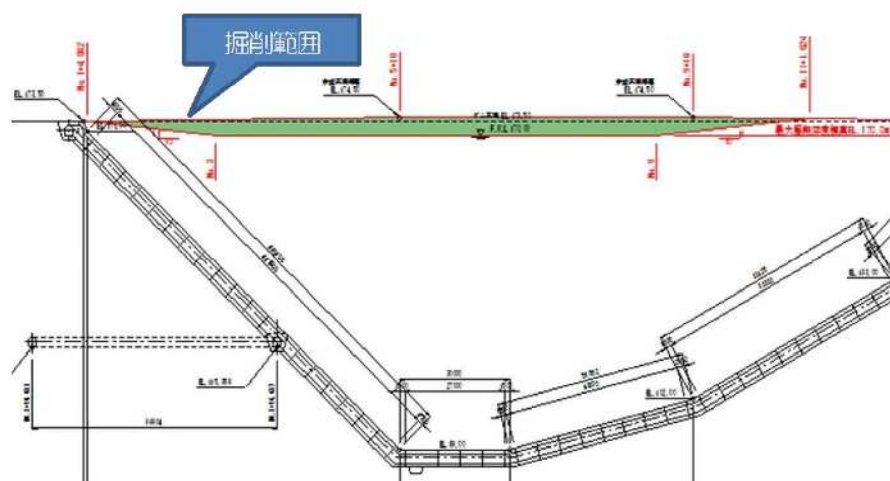


図4.9 大柿ダム掘削断面(縦断)

(2) 堤体上流斜面補修

補修箇所が斜面部の広範囲にあることを考慮し、堤体掘削終了後に10tダンプで運搬された材料(C-40)を25tラフテレーンクレーンまたは1.5t積みモノレールによって補修箇所まで搬入し、ランマによって締固める計画とする。

25tラフテレーンクレーンの作業範囲は上流面の法面から16.5m(作業半径20.0m)とし、ラフテレーンクレーン範囲外はモノレールを使用して材料を補修箇所まで搬入する。

(3) 復旧盛土

1) 盛立材料

- ① リップラップおよびコア材は仮置きヤードの旧盛立材を流用する。
- ② ロック材は砕石(0-400mm)を購入し、フィルター材、天端保護材は購入材(砕石;C-40材)を使用する。

2) 締固め

- ① コアは20cm/層で締固める。
- ② ロックは1.0m/層で締固める。
- ③ フィルターおよび天端保護層は30cm/層で締固める。
- ④ リップラップは「捨石工法」によって盛立てる。

3) 施工手順

- ① 盛立は、各ゾーンをできるだけ段差をつけずに水平に盛立を行う。
- ② 施工手順は図8.5.9.2に示すとおり、コア①→フィルター②→コア③→フィルター④の順とし、フィルター3層(②、④、⑦)につき1層の割合で上下流のロック⑧を盛立てる。
- ③ リップラップはロック材と合わせて盛立てる。

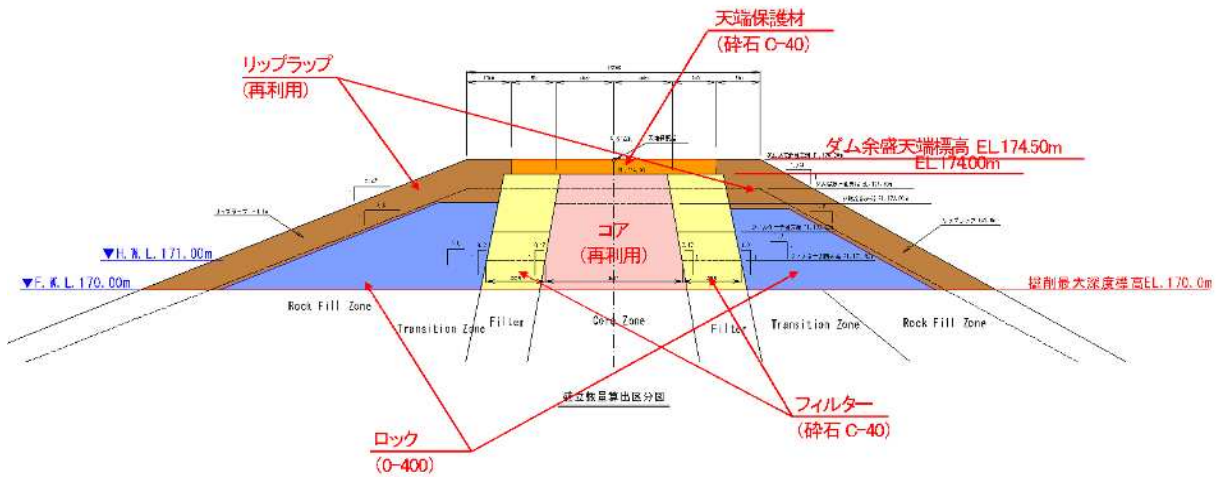


図 4.10 築堤計画標準断面図

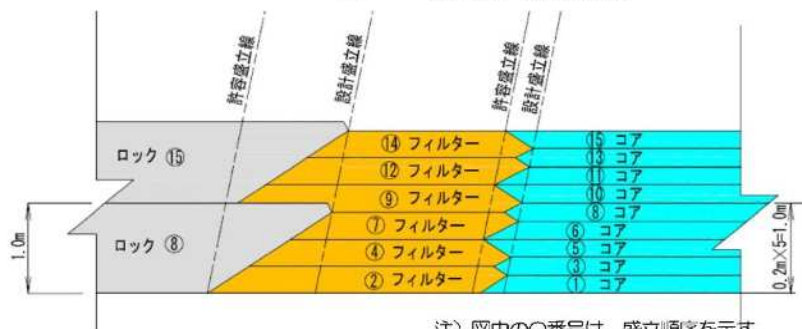


図 4.11 盛立手順図

参考資料:「常盤ダム災害復旧工事結果等報告書」(H8.4)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	常盤(ときわ)ダム
所在地 (河川名称)	兵庫県淡路市常盤 (常盤川水系野島川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	33.5m/94.6m/121千m ³
総貯水容量/有効貯水量	669千m ³ /633千m ³
ダム事業者	近畿農政局
着工/竣工	1972/1974



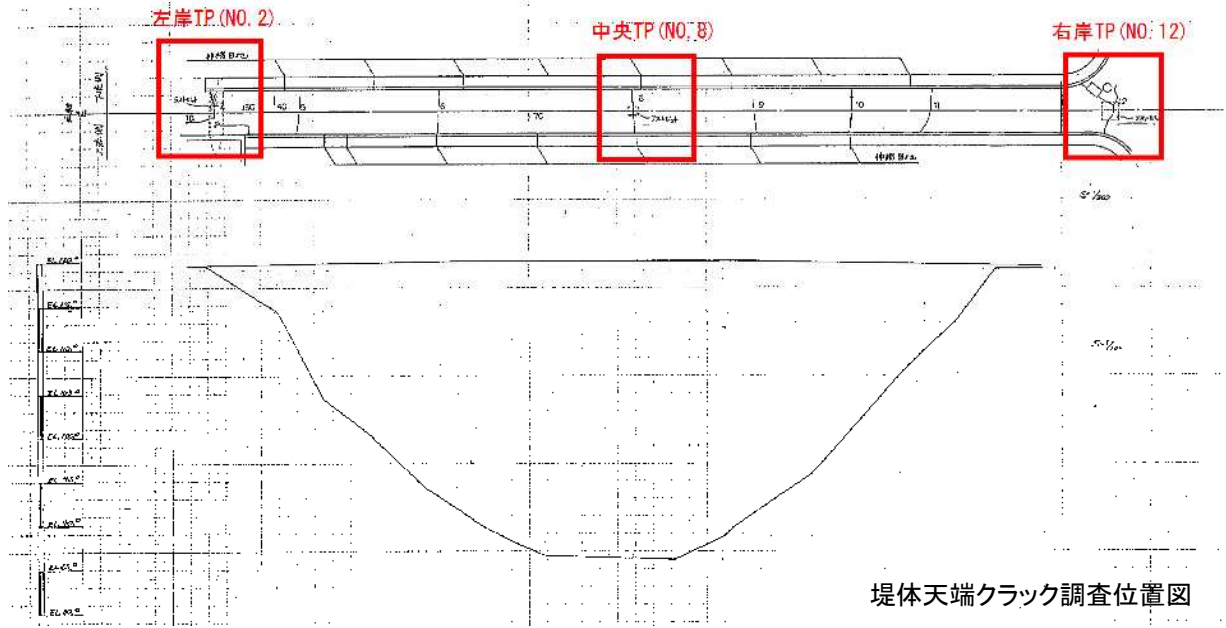
2. 被災の状況(メカニズム)

(1)被災日時

- 1995(H7)年1月17日5:46 兵庫県南部地震(M7.2)

(2)被災の概要

- 天端アスファルト保護層面上にクラック(12本)を確認
 - ・クラックのうち、大きく開口した左右両岸アバット部と堤体中央部に対し、トレンチ掘削して不透水性ゾーンの状態を確認。
 - ・左岸側アバットのクラックは基礎岩盤に存在した亀裂の開口に伴って発生したものと推定。開口亀裂に対して注入した水はとどまることなく浸透することから、連続している可能性が高い。
 - ・右岸側のクラックは左岸側と異なり、基礎岩盤に開口亀裂は存在しない。しかし、基礎掘削面の整形が不十分なため、不透水材が岩盤面より剥離した状態で天端クラックが発生。
 - ・中央部のクラックはアスファルト舗装のみであり、保護層内にも認められなかった。



堤体天端クラック調査位置図



上流側から撮影

10



左岸側から撮影

11



下流側から撮影



右岸側から撮影



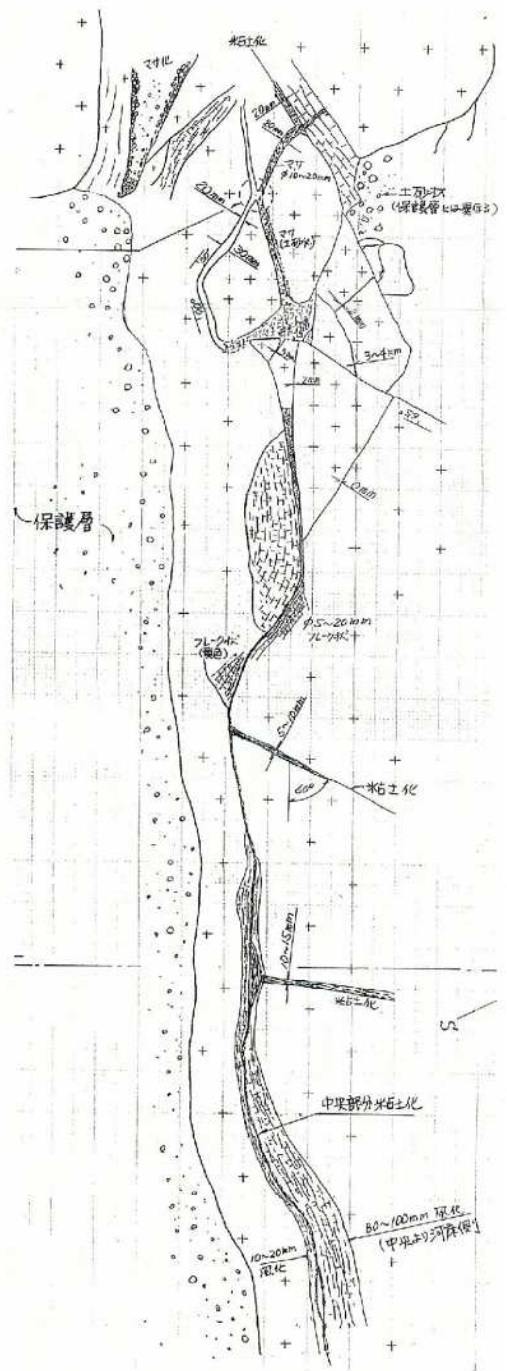
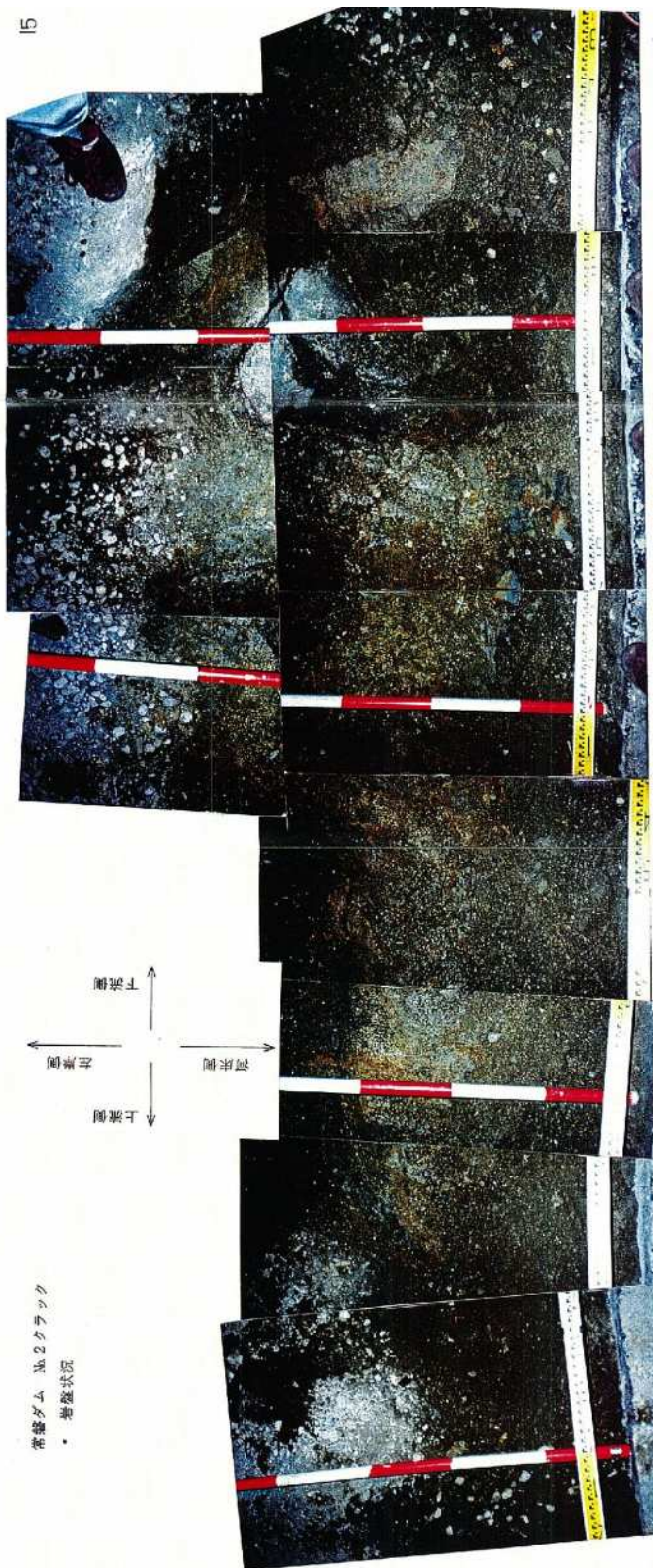
下流側から撮影



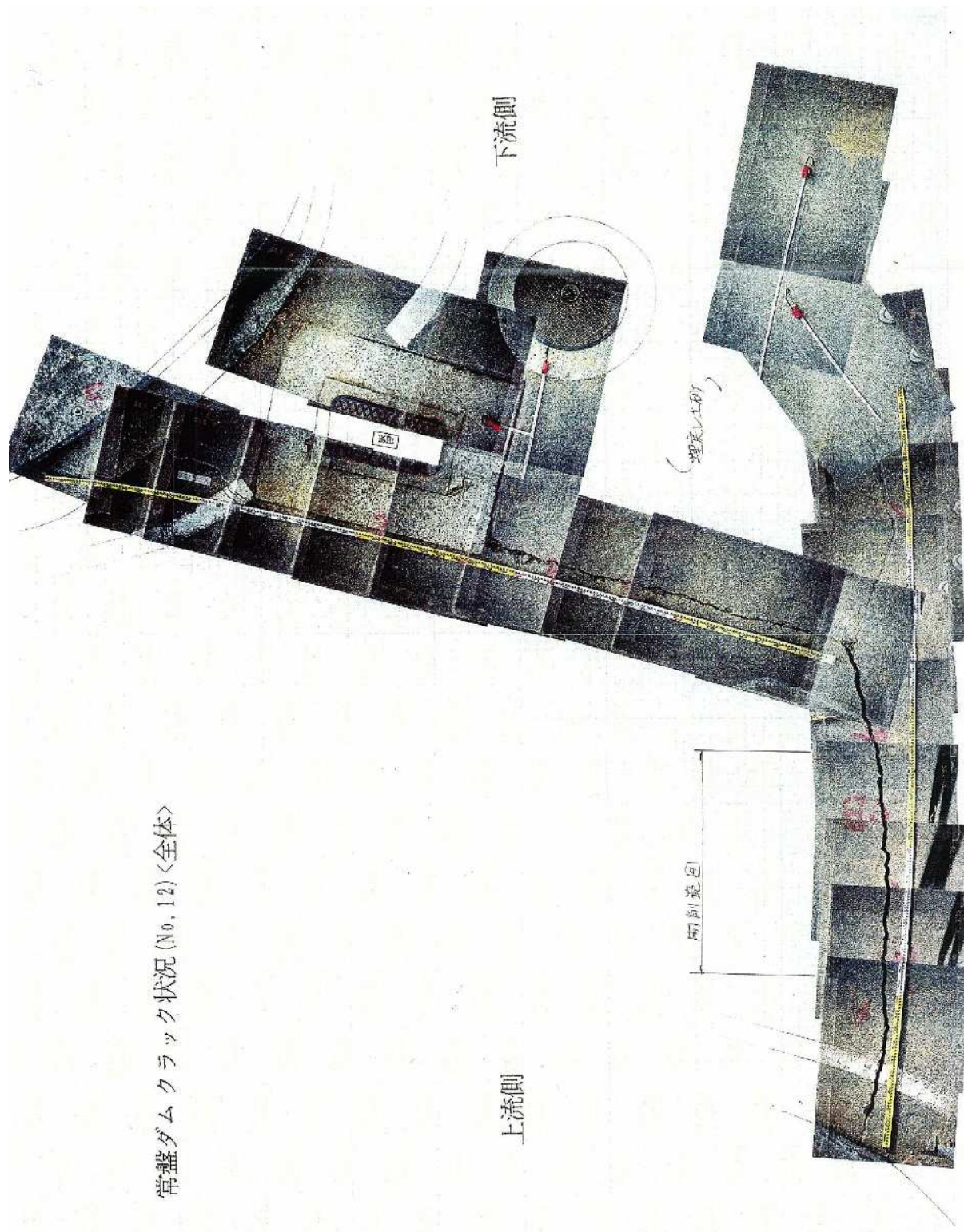
右岸側から撮影

常盤ダム クラック状況 (No.2)

常盤ダム クラック状況 (No.12)



左岸TP(NO.2)クラック状況



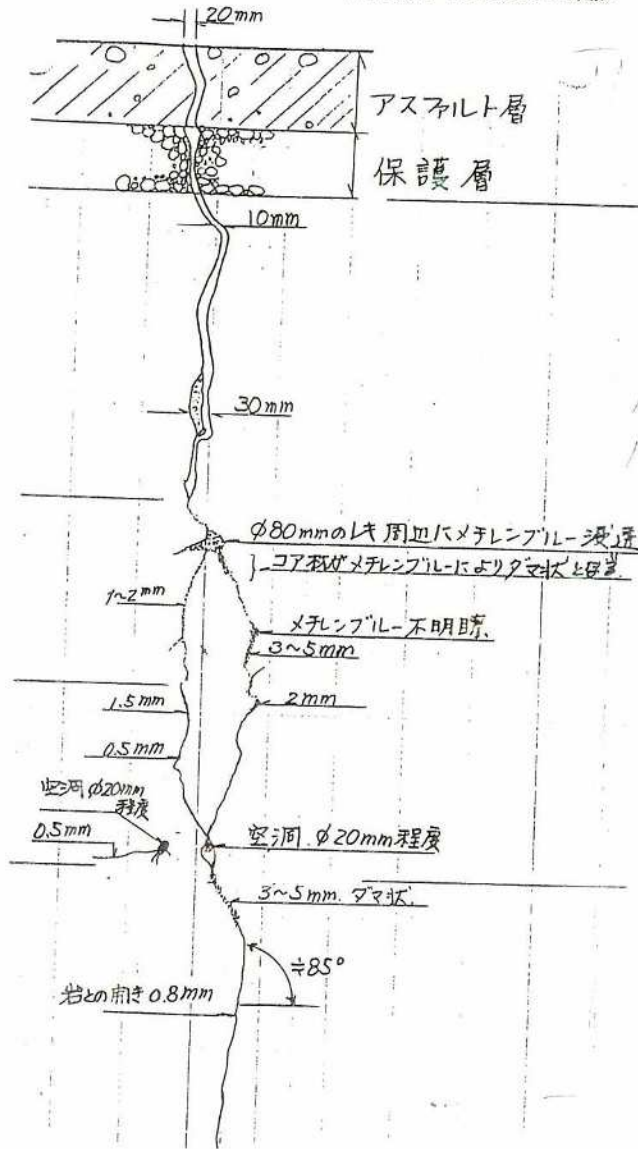
常盤ダムクラック状況 (No.12) <全体>



常盤ダム No.12クラック

クラック断面

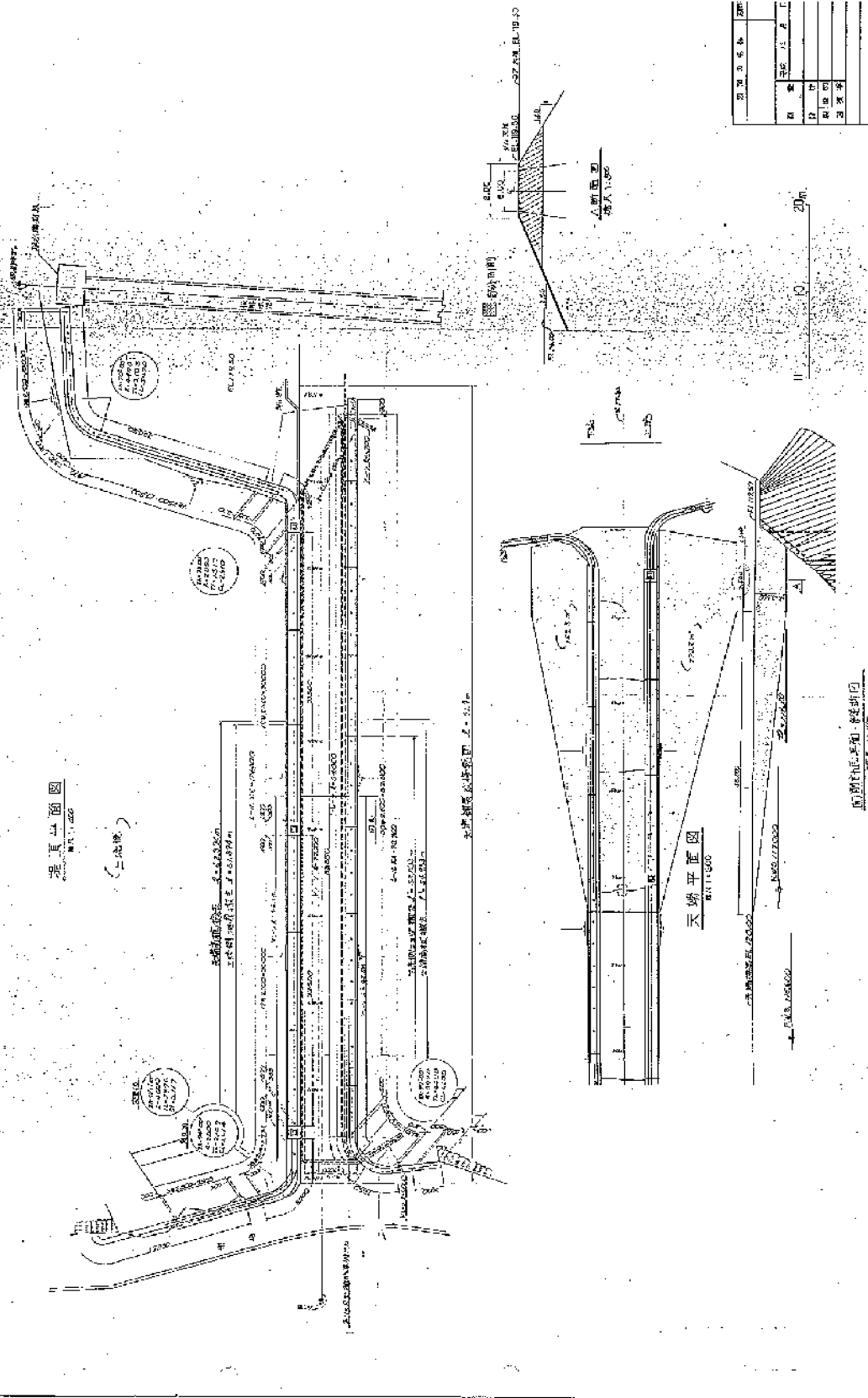
下流側から上流側を撮影



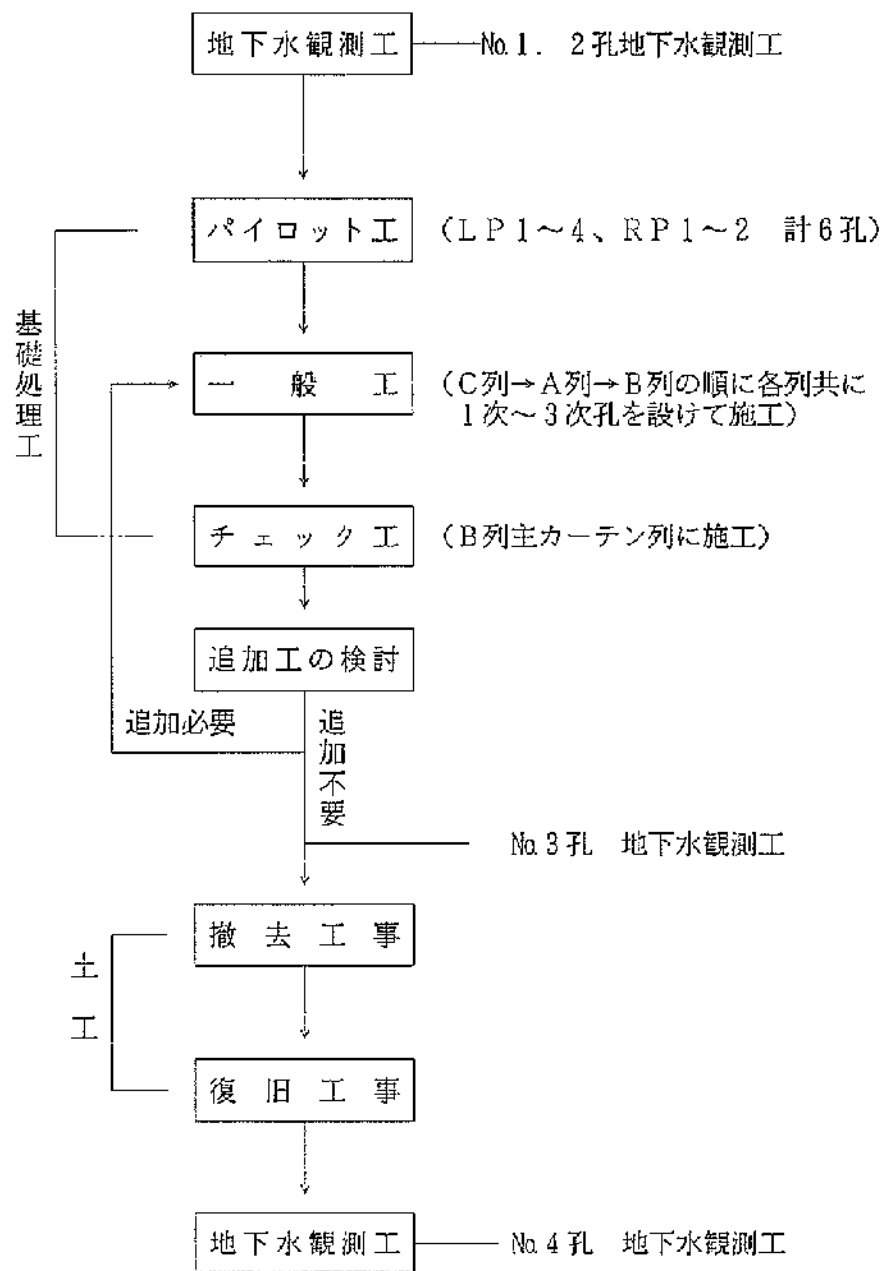
右岸TP(NO.12)クラック状況

60

堤体掘削計画図 (S=1:400)



< 施工手順 >



参考資料:「ダム技術NO.239」(H18.8,ダム技術センター)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	浅河原(あさがわら)調整池
所在地 (河川名称)	新潟県十日町市北鐙坂 (信濃川水系信野川)
目的/形式	発電/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	37m/291.8m/521千 m^3
総貯水容量/有効貯水量	1,065千 m^3 /853千 m^3
ダム事業者	東日本旅客鉄道(株)
着工/竣工	1919/1945

**2. 被災の状況(メカニズム)****(1)被災日時**

- 2004(H16)年10月23日17:56 新潟県中越地震(M6.8)

(2)被災の概要**1)堤体**

- 堤体天端に亀裂が発生
 - ・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。
段差は中央部で最大0.53m、左右岸に向かうに従い小さくなる。
設計標高に対して最大0.25m(段差を含めると最大0.75m)沈下
- 上流・下流法面の地震による変状はなし。

2)その他

- 調整池周辺法面や調整池護岸に部分的に亀裂、段差地形、はらみ出し



図-3 浅河原調整池の平面

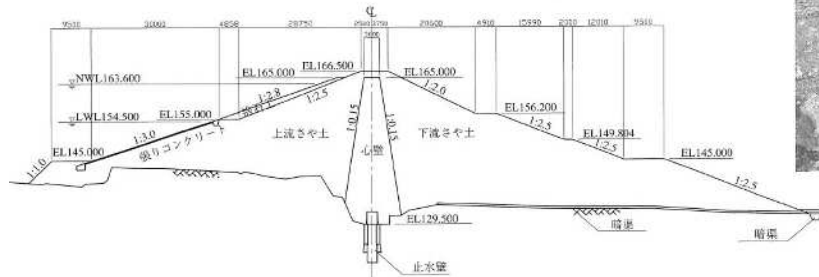


図-4 浅河原調整池の標準断面（建設時）



写真-1 浅河原調整池の段差地形

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

- 堤体段差について、堤体と直交する3箇所のトレンチを掘削
 - ・堤頂の段差、亀裂は上流に向かって円弧状または高角度で深部に向かうものの、全て深さ3.3mで収束。
- ボーリング調査
 - ・心壁、さや土ともに深くなるほど締まっており、着岩部は密着。
- 土質試験
 - ・現場密度試験において、堤体上部(上部さや土)は、同程度の粒度をもつ下流さや土より乾燥密度が0.3g/cm³低いこと、突固め試験結果より下流さや土は突固めエネルギー1Ec程度に対し、上流さや土は0.1Ec程度であった。

2)被災のメカニズム

堤体の上部3m程度の締固めが不十分であったために今回の変状が発生したものと推定。

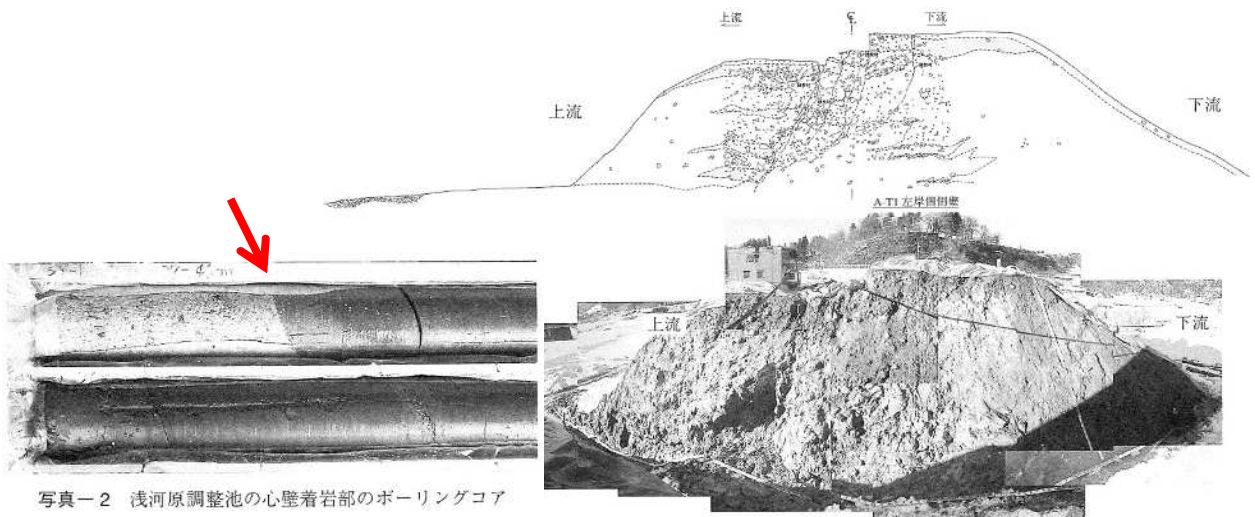


写真-2 浅河原調整池の心壁着岩部のボーリングコア

図-5 天端トレンチ側面のスケッチと写真（浅河原調整池）

<復旧工事>

- 復旧工事は地震発生翌年(H17)5月から堤体掘削と盛り立て試験、7月より盛り立てに着手し、10月までに完了。
- 亀裂が生じた損傷箇所を全て掘削するため、掘削前に水性ペイントを水で希釈(ペイント:水=1:4)し、亀裂全数に流し込み、掘削後にペイントが掘削面にないことを確認するとともに、現場密度試験を実施して確認、
- 再盛り立て数量は3.3万 m^3 と比較的少量であること、既設堤体材は粘土分が多く機械施工に適さないことから、調整池から3km離れた採取場所より、段丘堆積物、魚沼層の礫を用いて盛り立てた。
- 心壁材は4t振動タンピング、仕上厚0.15m以下、8回転圧
さや土は砂礫を用い、4t振動ローラで仕上厚0.15m以下、転圧回数12回以上
特に、既設上流さや土は粘性土のため、この上部に盛り立てるさや土、粗粒フィルタは支持力不足による変形、すべりが懸念されたため、試験施工を含む検討により、最大粒径50mmの材料を0.075mで2層、1tハンドローラで10回以上転圧して施工



写真-3 盛立全景 (浅河原調整池)



写真-4 人力施工 (浅河原調整池)

参考資料:「ダム技術NO.239」(H18.8,ダム技術センター)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	山本(やまもと)調整池
所在地 (河川名称)	新潟県小千谷市大字山本地内 (信濃川水系信野川)
目的/形式	発電/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	27.5m/926.6m/538千m ³
総貯水容量/有効貯水量	1,071千m ³ /1,032千m ³
ダム事業者	東日本旅客鉄道(株)
着工/竣工	-/1954

**2. 被災の状況(メカニズム)**

(1)被災日時

- 2004(H16)年10月23日17:56 新潟県中越地震(M6.8)

(2)被災の概要

1)堤体

- 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箇所発生
- コンクリート止水壁と堤体の密着
 - ・堤体右岸側の堤頂部に亀裂、この部分は鉄筋コンクリート構造物である連絡水槽と堤体が接続する部分であり、堤体の心壁部分には連絡水槽から伸びる最小幅0.8mのコンクリート止水壁が長さ50m存在している。

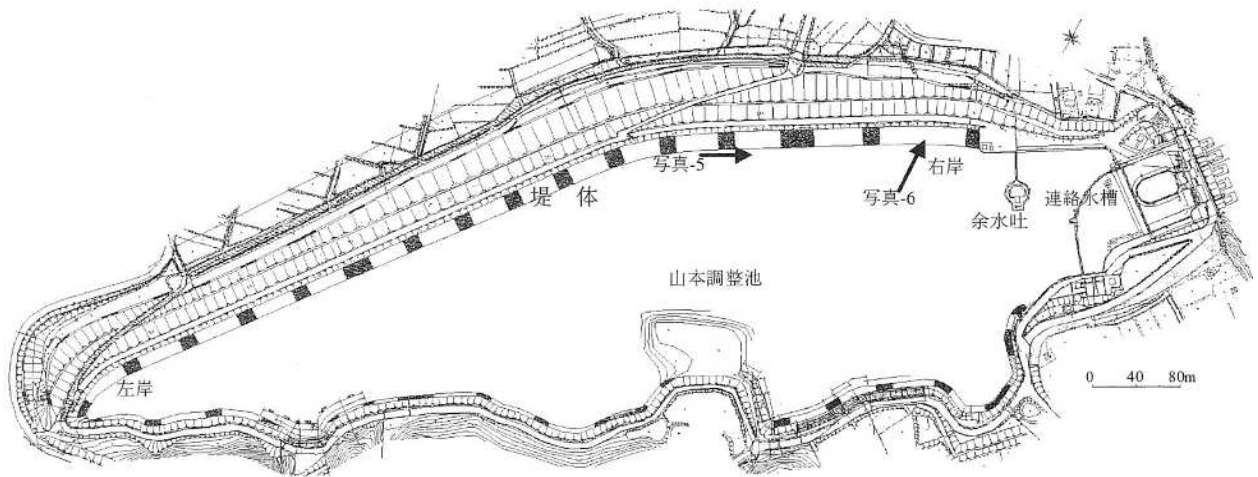


図-7 山本調整池の平面

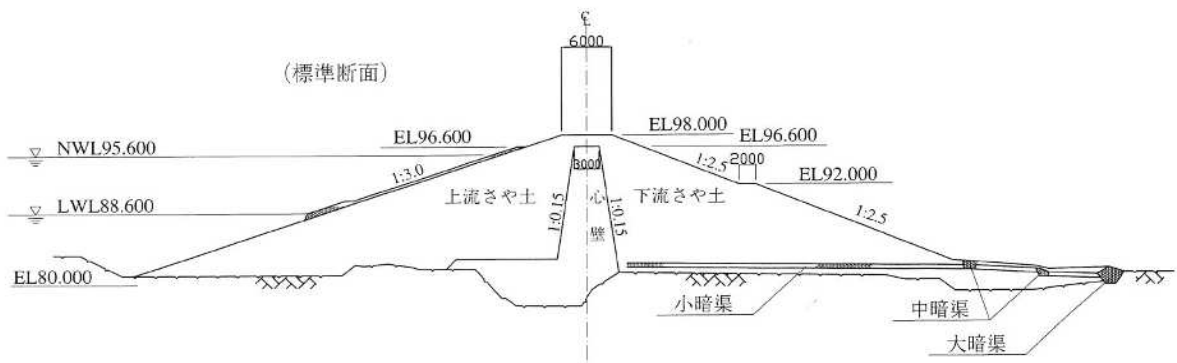


図-8 山本調整池の標準断面（建設時）

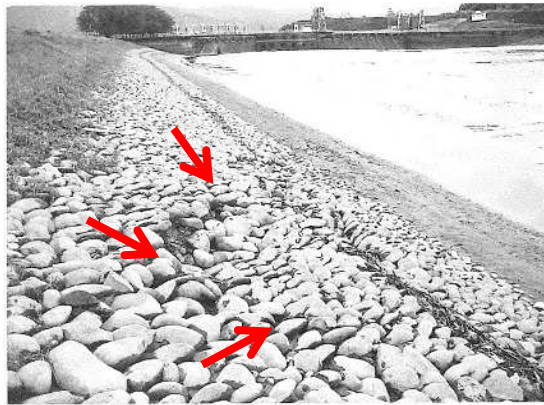


写真-5 上流のり面の段差地形（山本調整池）



すべりはリップラップ材にある粘土層で発生

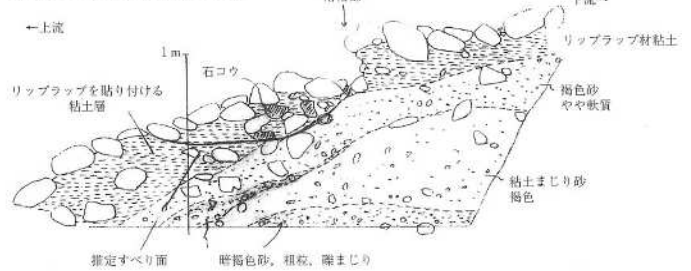


図-9 段差地形のトレンチ調査（山本調整池）

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

○ 堤体法面

- ・段差地形をもたらしたすべり面は最大深さ0.5m、噴砂の発生源は最大深さ1mと堤体表面に近い浅い部分の変状であることを確認。
- ・堤体の沈下量は、堤体全体にわたり0.1～0.2mと少なかった。

○ コンクリート止水壁と堤体

- ・亀裂は地表1m程度で消失したが、1.6m下がった止水壁天端では心壁との間に5～10mmの隙間があった。

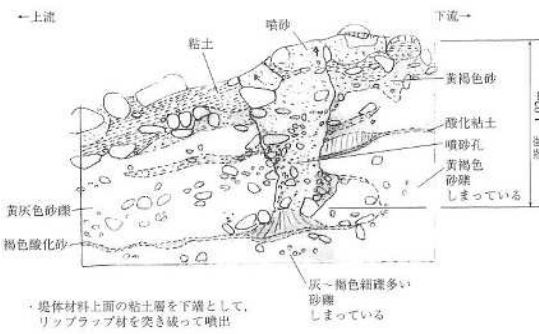
2)被災のメカニズム

○ 堤体法面

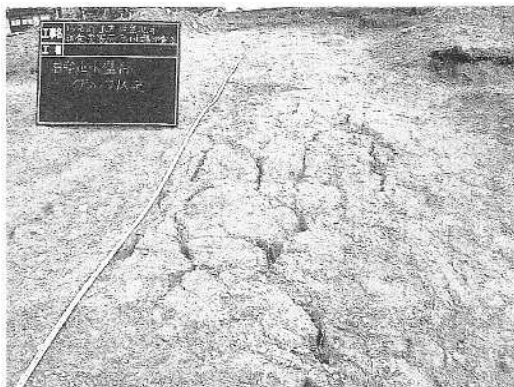
- ・上流法面のリップラップ下に粘性土が多い層が約0.5mの深さ、その下に若干砂分が多い層が約1mの深さで存在し、これらが強い地震動で階段状の変状や噴砂を引き起こしたものと推定。
- ・段差と噴砂の集中した標高は、地震時の貯水位とほぼ一致。

○ コンクリート止水壁と堤体

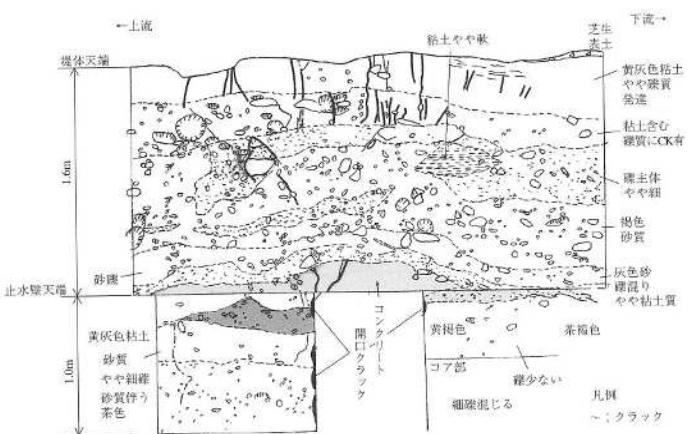
- ・フィルダム堤体内にコンクリート構造物のように剛性の異なるものがあると地震時の挙動の違いが心配される。今回、連絡水槽と連結され、かつ最も条件の悪い浅い場所で堤体表面に亀裂が発生。



図一10 噴砂のトレンチ調査 (山本調整池)



写真一6 右岸方天端の亀裂 (山本調整池)



図一11 止水壁と心壁の隙間調査 (山本調整池)

3. 復旧工法の検討

<復旧方針>

○ 復旧断面の決定

- ・上流面の掘削・再盛り立ては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、再盛り立てして基本断面を回復。
- ・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に準拠し、心壁の高さを1.3m、堤高も0.4m上げた。その他の設計諸元及び断面は以下のとおりとした。
- ・コンクリート止水壁境界部の空隙部は、周辺の心壁を除去し、健全な材料で再盛り立てした。

表-4 設計標高

ダム諸元	設計値			
	地震前	地震後		
		(1)原形復旧案	(2)河川構造令準拠案	摘要
ダム				
余水吐天端標高	97.50	98.00	98.00	地震による変動量=+0.50m(隆起)
堤頂標高	98.00	98.50	98.90	NWL+2.80(SWL+2.50), 保護層厚0.50m
非越流部標高	96.60	97.10	98.40	≥SWL+波浪最低高1.0+付加高1.0=98.40m
基礎岩盤標高	70.87	71.37	71.37	
堤体高さ(m)	27.13	27.13	27.53	
水位				
設計洪水水位	—	—	—	設計洪水水位なし
サーチャージ水位	95.90	96.40	96.40	サイフォンの空気孔天端高=完全動作標高; 96.40m
常時満水位	95.60	96.10	96.10	
最低水位	88.60	89.10	89.10	
波高				
風波高(m)	0.83	同左	0.28	S.M.B法とSavilleの方法の組合わせにより算出
地震波浪高(m)	未考慮	同左	0.23	佐藤清一の式より算出

表中の網掛けは河川構造令に準拠するため変更した諸元を示す。堤体各部の高さは、余水吐の天端を基準として決定した。

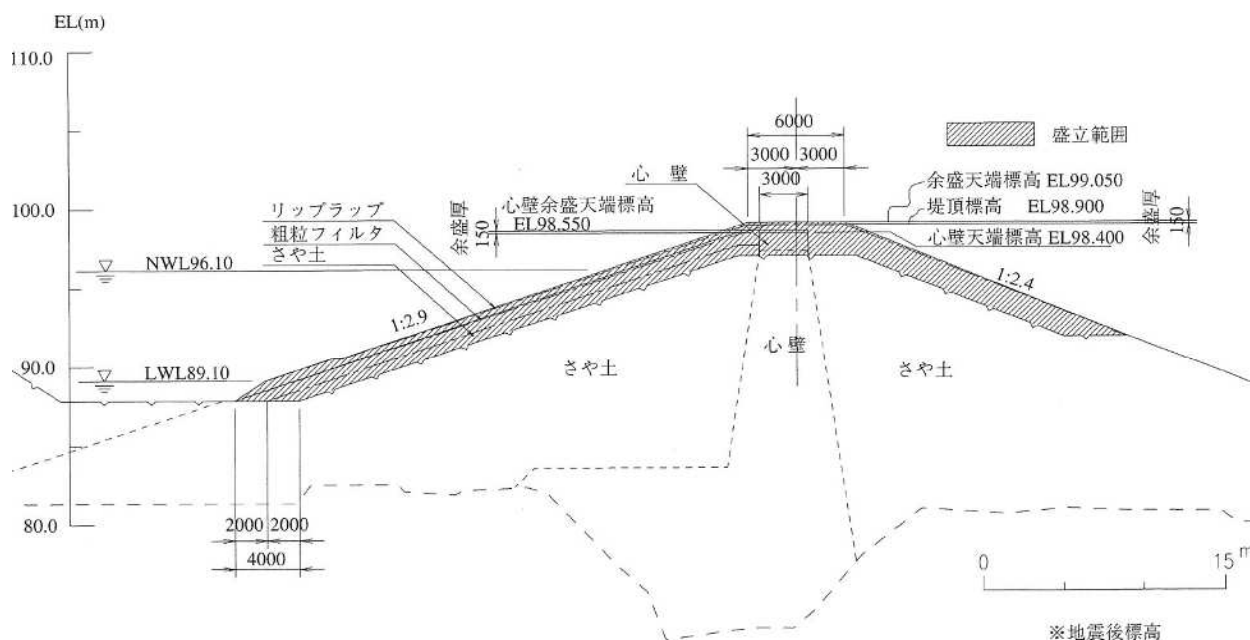


図-12 復旧断面 (山本調整池)

○ 安定計算

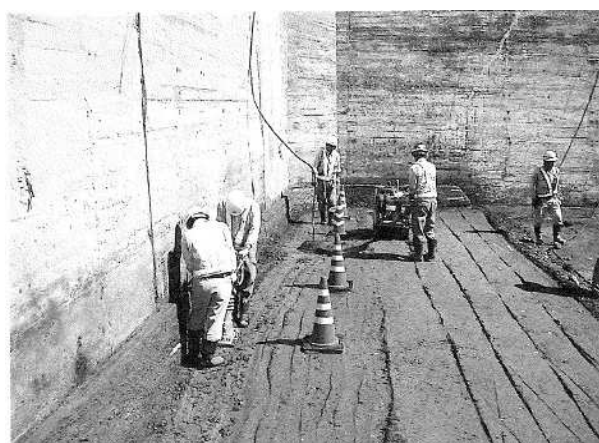
河川構造令に準じた静的安定計算を実施し、すべり安全率 $F_s \geq 1.2$ となることを確認。

<復旧工事>

- 復旧工事は地震発生翌年(H17)5月から堤体掘削と盛り立て試験、7月より盛り立てに着手し、11月までに完了。
- 堤体材料は、心壁材、粗粒フィルタ材は全量新規材とした。11t振動タンピング,仕上厚0.2m,12回転圧。
さや土は変状箇所及び有機物混入箇所以外は既設材を再利用し不足分は新規材とした。既設材は全て下流側に盛り立て、上流さや土は新規材(旧信濃川の段丘堆積物)を使用。10t振動ローラ,仕上厚0.5m,10回転圧。
- コンクリート止水壁は目地部補修のため8mまで掘り下げ再盛り立て。コンクリート止水壁と心壁の間の透水試験を実施して所用の透水係数を確認。コンクリート面はチップングし、スラークレイを塗布し、厚さ0.05mでコンタクトクレイを張り付けた後、細粒心壁材(Gmax50mm)を仕上厚0.1mで盛り立てた。



写真一七 上流さや土転圧状況 (山本調整池)



写真一八 止水壁まわり心壁転圧状況 (山本調整池)

参考資料:「ダム技術NO.239」(H18.8,ダム技術センター)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	山本(やまもとだいに)第二調整池 (※旧名称:新山本(しんやまもと)調整池)
所在地 (河川名称)	新潟県小千谷市大字山本 (信濃川水系信野川)
目的/形式	発電/ロックフィルダム
堤高/堤頂長/堤体積	42.4m/1392m/2,300千m ³
総貯水容量/有効貯水量	3,640千m ³ / 3,200千m ³
ダム事業者	東日本旅客鉄道(株)
着工/竣工	1983/1990



2. 被災の状況(メカニズム)

(1)被災日時

- 2004(H16)年10月23日17:56 新潟県中越地震(M6.8)

(2)被災の概要

1)堤体

- 堤体上流法面の変状
 - ・段差及び噴砂が発生(特に左岸側)
- 堤体下流法面の変状
 - ・堤体上部から高さ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。
- 堤体の沈下
 - ・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)。



写真-9 左岸方噴砂状況(新山本調整池)

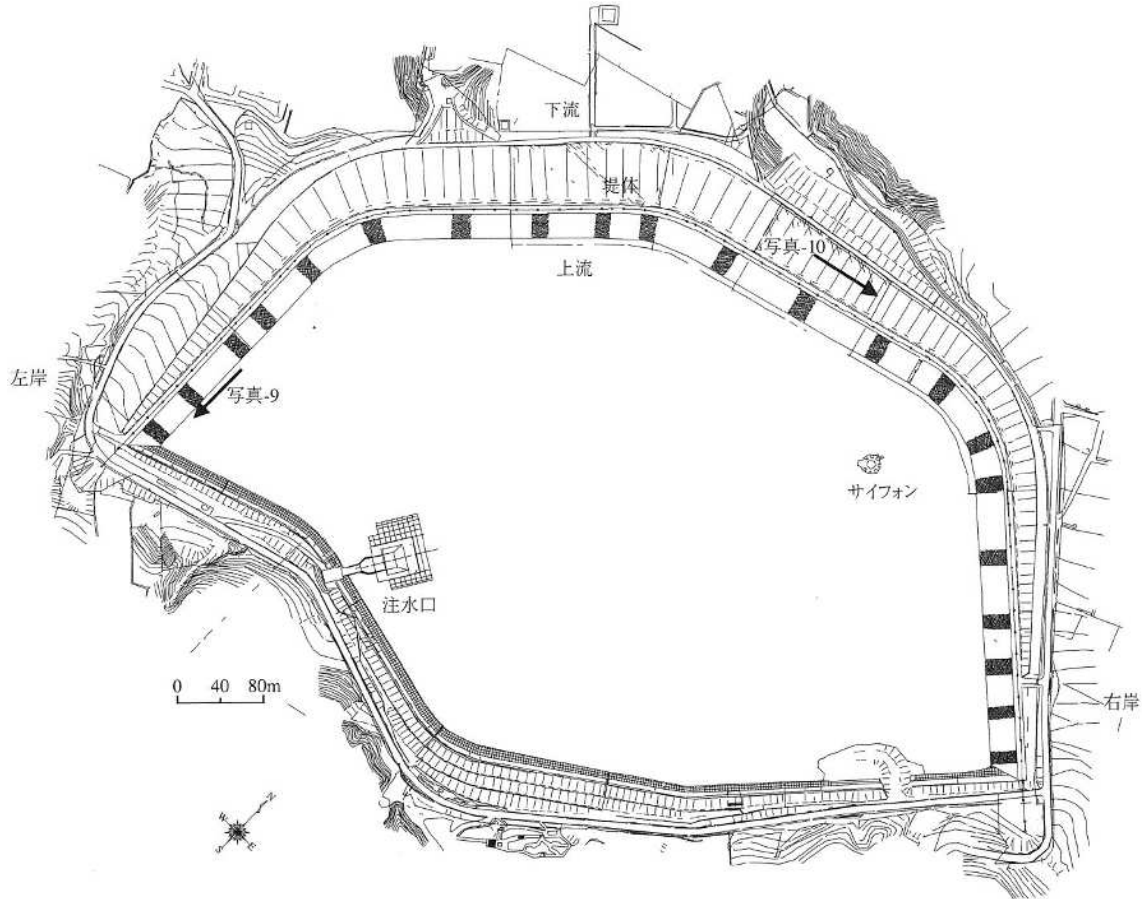


図-13 新山本調整池の平面

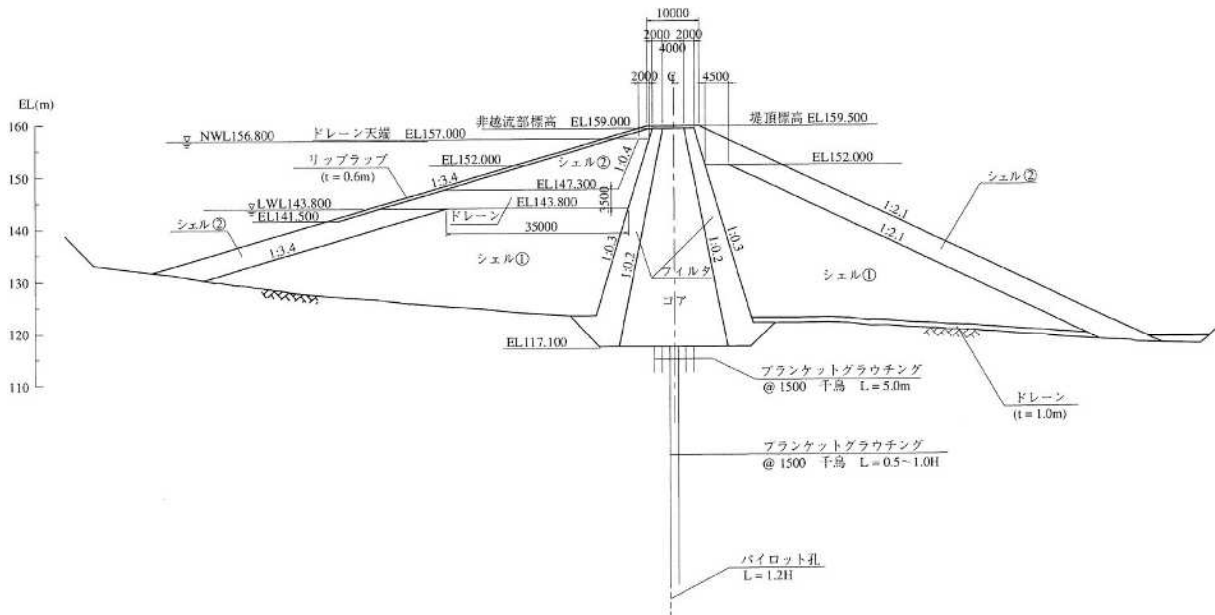


図-14 新山本調整池の標準断面 (建設時)

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

○ 上流・下流法面の変状

・20箇所のトレンチ、立坑掘削の結果、上流部の緩み領域は最大2.5m、下流面の亀裂・すべり面は2mより浅かった。

○ 堤体の沈下

・沈下量は測量の結果、約0.85mと堤高の2%近い値となった。地震前後の沈下量は、右岸側で堤高の1%程度、左岸側で2%程度となった。この値は4箇所での層別沈下計と近い値であった。

○ 基盤の隆起

・調整池周辺は、地震により0.64m隆起していることが判明。

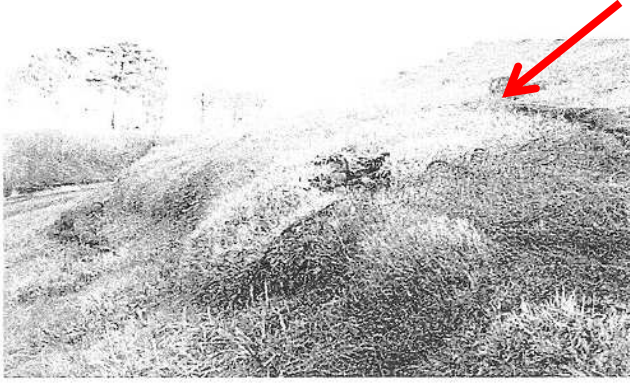


写真-10 下流のり面はらみ出し (新山本調整池)

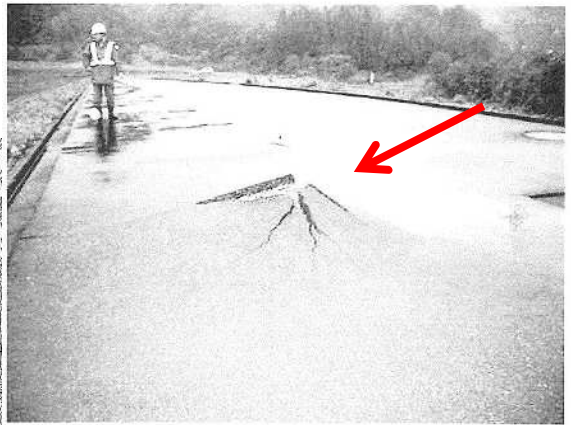
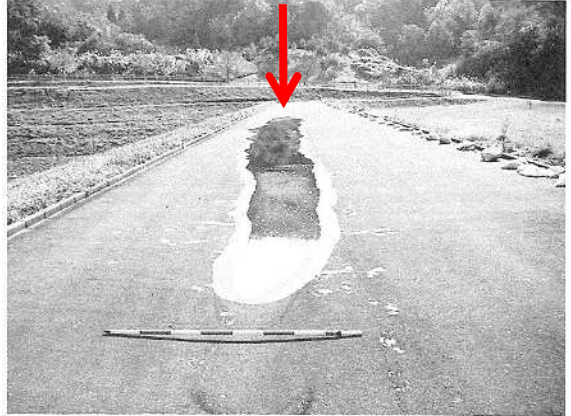


写真-11 堤体天端の窪みとH形鋼突出 (新山本調整池)

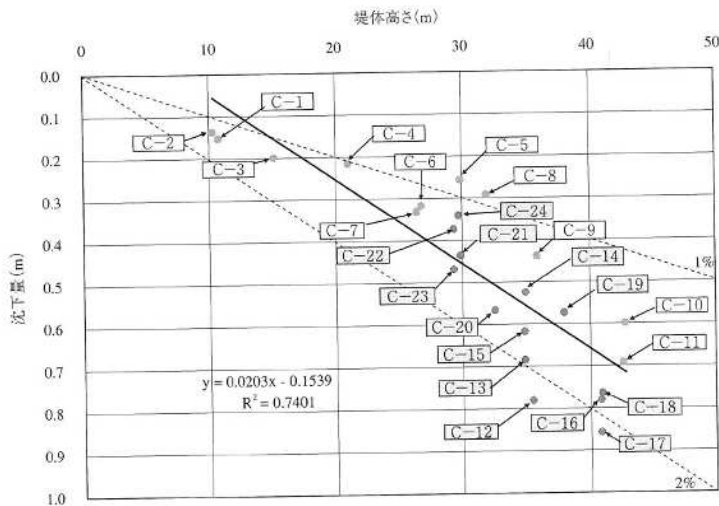
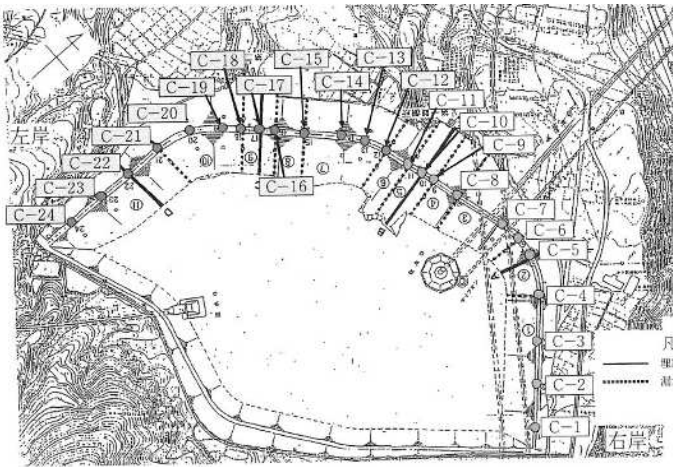


図-16 堤体高さと地震による沈下量の関係 (新山本調整池)

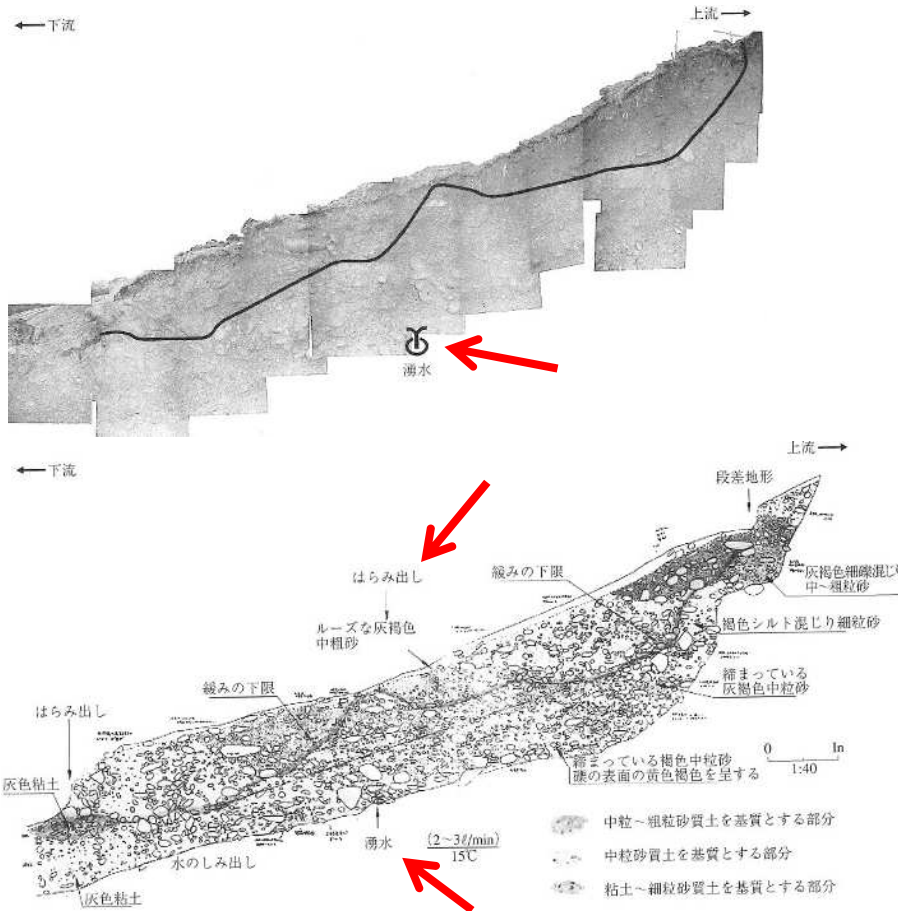


図-15 下流のり面はらみ出しのトレンチ調査(新山本調整池)



写真-12 堆泥によるドレーン前面閉塞状況(新山本調整池)

2)被災のメカニズム

○ 堤体法面

・下流面のはらみ出しは深さ1m程度の円弧すべりによるものであり、掘削面は浸潤(堤体内に局部的に滞留していた水と想定)しており、これがすべりを助長したと考えられた。

○ 沈下の要因

・山本調整池よりも沈下量大きい原因として、以下の可能性が考えられた。

- ①フィルタによるコアの圧密沈下の拘束が地震によって解放
- ②建設時のシェル材がGmax=0.2~0.3mの砂礫であり、1m仕上厚での締固め時に層の下部で密度の小さい部分が存在
- ③水位急低下が繰り返され、上流側シェルからドレーン層に細粒分が移動し、ドレーンの排水性が低下
- ④段丘面に位置するため(山本調整池より50m高位)、地震動が増幅

・また、左岸側でより沈下が大きかった原因として、以下の可能性が考えられた。

- ①最大地震動の向きが左岸側のダム軸直角方向とほぼ一致
- ②左岸側は堆泥がドレーン前面を覆い、過剰間隙水圧が増大

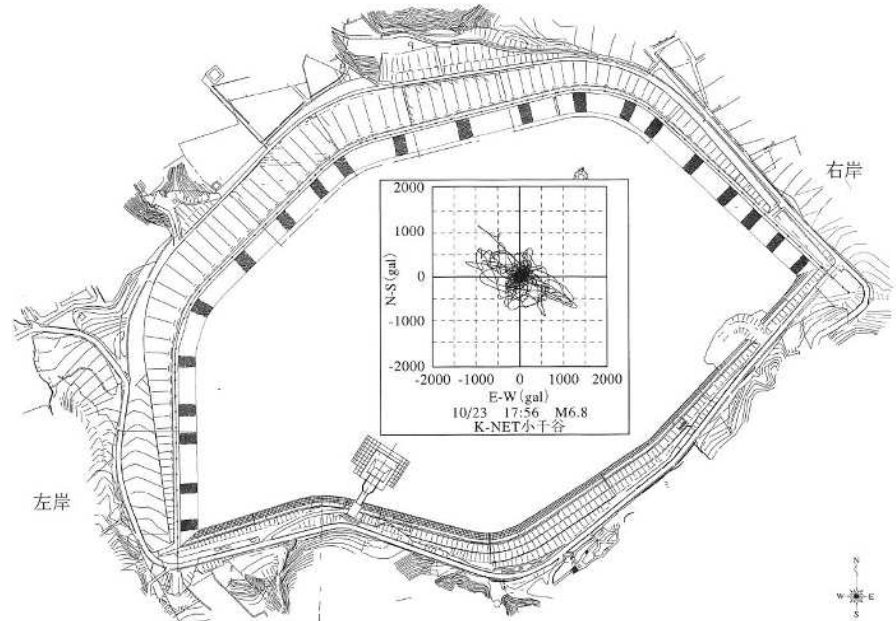


図-17 最大地震動の方向と堤体の関係（新山本調整池）

3. 復旧工法の検討

<復旧方針>

○ 復旧断面の決定

- ・現行の河川構造令に基づき設計されているため、原形復旧とした。
- ・基盤標高が0.64m隆起したため、設計標高は全て0.64m高くした。余盛は堤体高さの0.5%とした。
- ・変状箇所(亀裂)は全て希釈した水性ペイントを流し込み、残留しないことを確認して剥ぎ取り、再盛り立てした。最小施工幅は4m(機械施工を考慮)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・再盛り立てした。
- ・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・再盛り立てした。

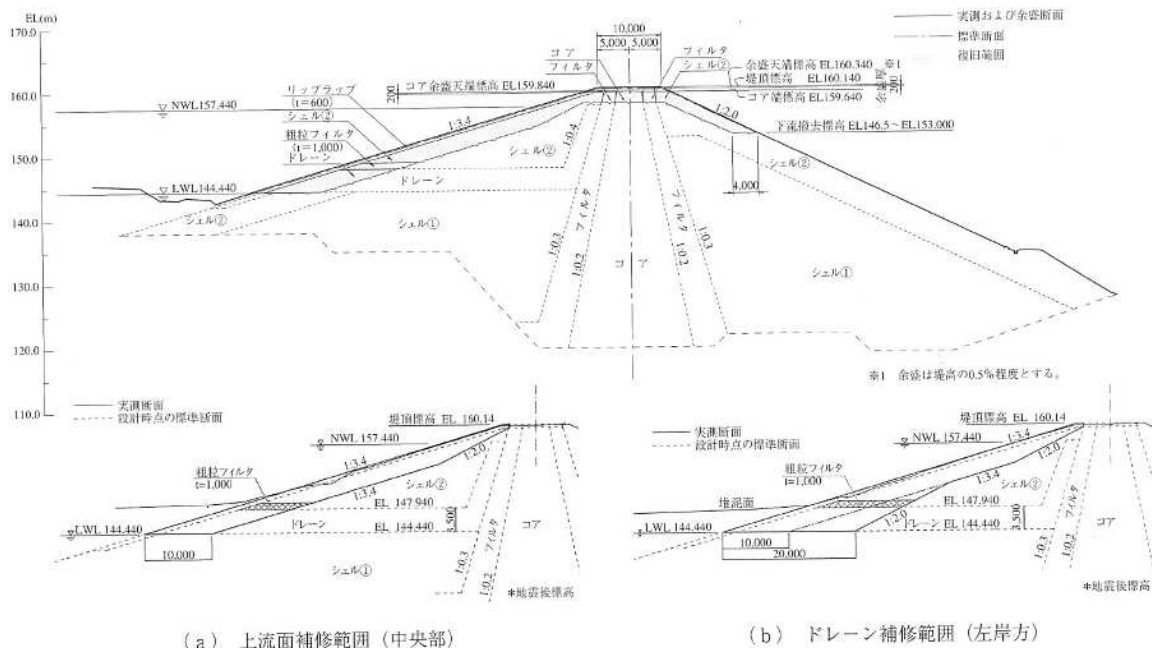


図-18 復旧断面（新山本調整池）

＜復旧工事＞

- 復旧工事は地震発生翌年(H17)5月から堤体掘削と盛り立て試験、7月より盛り立てに着手し、11月までに完了。
- ・堤体材料は、コア、フィルタ、粗粒フィルタ材は新規材を使用。
 - ・ドレーン材は粒度を満足しないものは洗浄して再利用。
 - ・シェル材は変状箇所及び有機物混入箇所以外は既設材を再利用し不足分は新規材とした。
 - ・新規材は3kmないし6km離れた2箇所の河岸段丘から得られる堆積物とし、粗粒材は全て段丘砂礫とした。
 - ・締め固め仕様は山本調整池と同様とした。
 - ・シェル材、ドレーン材は沈下量を少なくするため、下層に締め固めエネルギーが十分伝わるよう、建設時の1m撤出厚さを0.5mとした。



建設時（平成元年）



復旧時（平成 17 年）

写真－13 シェル材撤出し厚 1m から 0.5m へ（新山本調整池）



写真－14 ドレーン材転圧状況（新山本調整池）

参考資料:「小山田川沿岸地区(かん排)宿の沢ダム技術検討業務 報告書(H10、11財団法人 日本農業土木総合研究所)」

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	宿の沢(しゅくのさわ)ダム
所在地 (河川名称)	宮城県栗原市高清水 (北上川水系小山田川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	18.6m/210.0m/79千 m^3 (※旧堤)
総貯水容量/有効貯水量	850千 m^3 / 850千 m^3
ダム事業者	宮城県
着工/竣工	1943/1949



2. 被災の状況(メカニズム)

(1)被災日時

- 1978(S53)年6月12日17:14 宮城県沖地震(M7.4)

(2)被災の概要

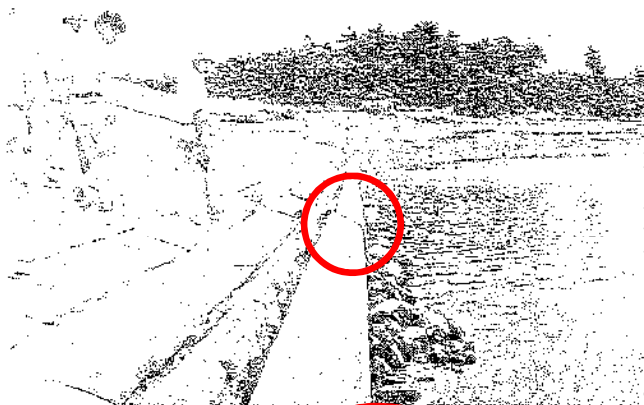
1)堤体

- 堤頂部に堤軸方向と平行に2本の亀裂(最大深度1.9m、延長90m)が生じた
- 上流斜面平板ブロック張が堤体下部方向にずれ(最大ずれ20cm、累積50~70cm)、平板ブロックと波返しの上に亀裂が生じ、法尻での張ブロックの沈下やブロック留工の亀裂が生じた

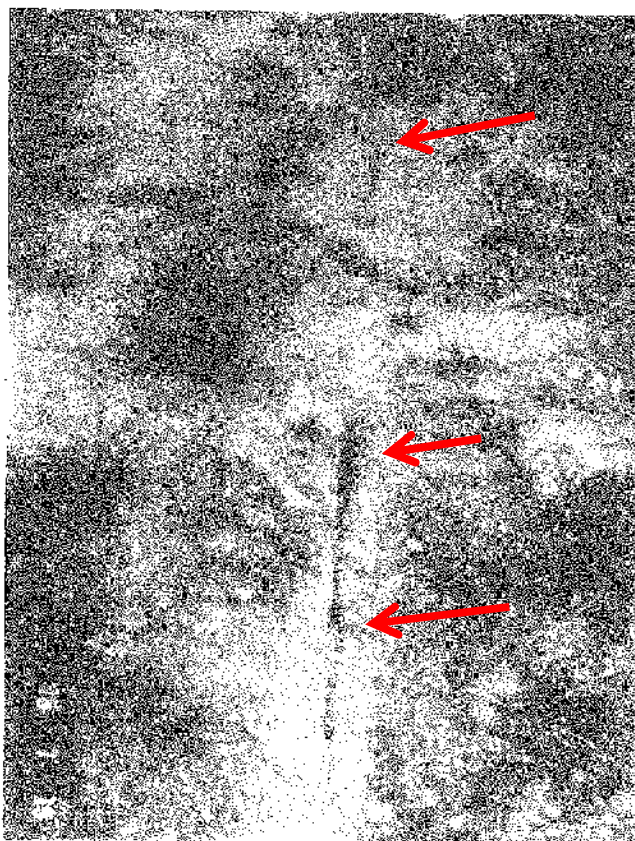
2)余水吐

- 余水吐(側溝)底盤コンクリートに亀裂が生じた

被災状況写真



堤体上流斜面平板ブロック張が、下部方向にずれ平板ブロックと波返しの間に亀裂が生じ法尻での張ブロックの沈下やブロック留め工の亀裂が生じた

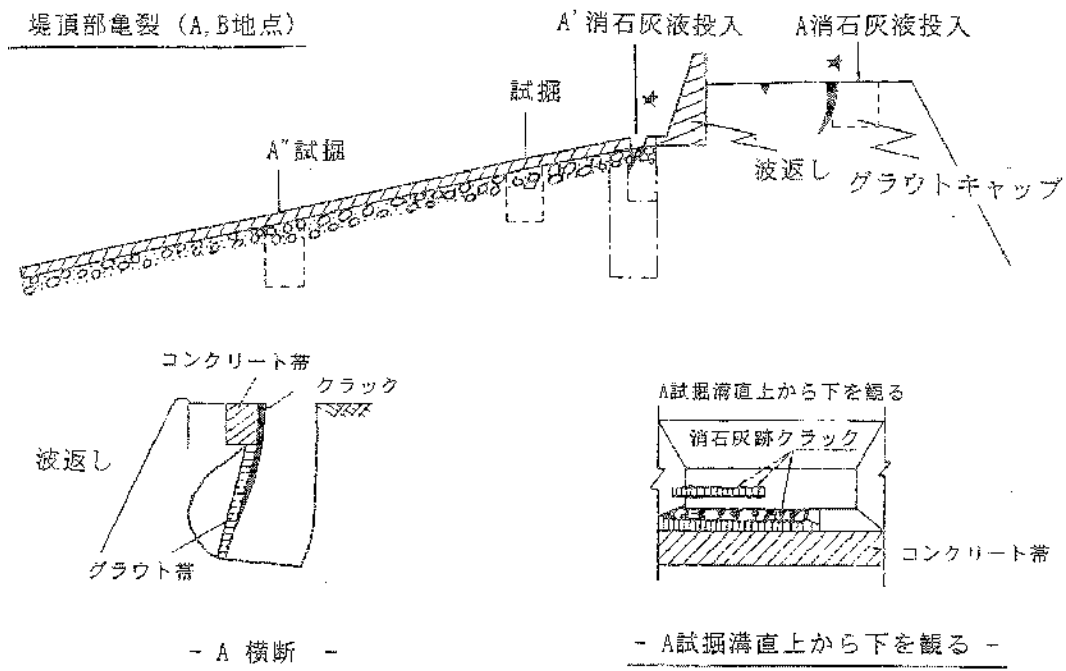


宿の沢ダム（宮城県高清水町）堤頂に発生した縦割方向（ダム軸と平行）のクラック最大幅約150mm

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

- ・斜面保護工のブロック及び天端付近のグラウチングのコンクリートキャップと盛土の間の亀裂であるが、これは、力学的特性の相違によるものと考えられる。
- ・平板ブロックの被害が大きかったが、これは、下部フィルター層の砂礫がコロの役割をしたものと推定される。



3. 復旧工法の検討

<復旧方針>

- 以下の復旧対策を行った

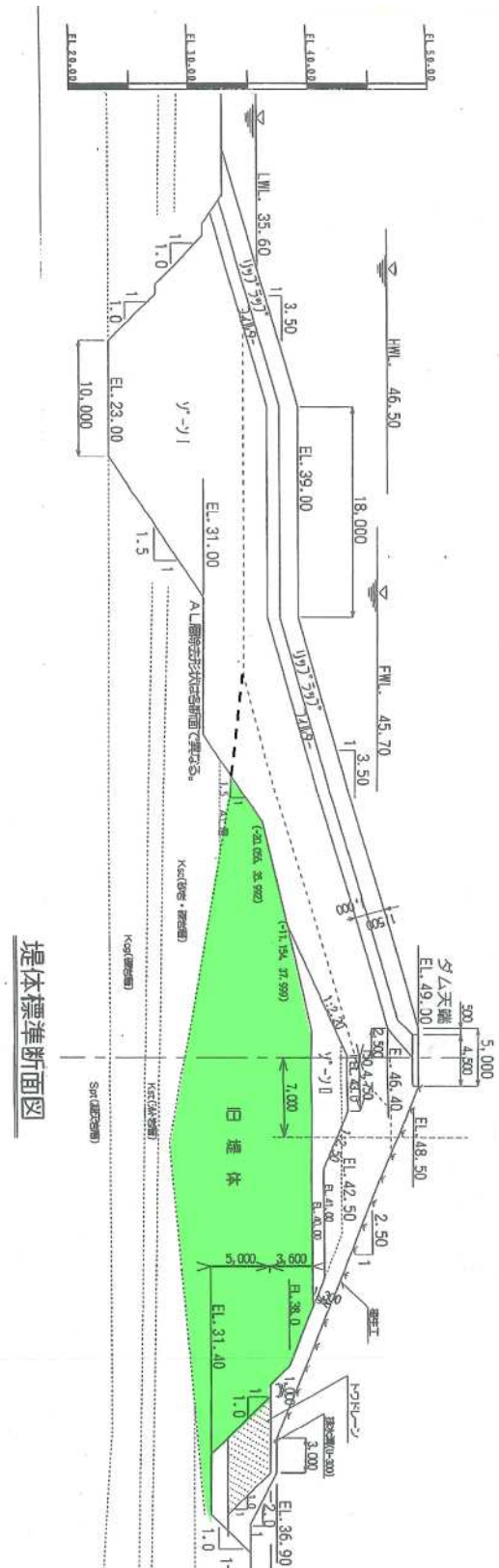
復旧対策	概要
堤頂の上下流側に充填グラウト施工 (L=7m程度、カバーロック w=50cm×2列)他	

<補修方針>

- 築造後かなり年月が経過しており、老朽化による漏水防止(水需要の増加による水源の確保を図るための既設堤体の嵩上げも併せて実施)が計画された。
- ダムサイトの地形は下流に向かって傾斜していること、下流の兩岸地山部は低いこと、堤体が老朽化していること、より上流側に遮水ゾーンを新設する計画とした。
- 築堤材料にはダムサイト付近に確保された土取場から入手したローム質土と凝灰岩系砂質土の混合土を使用した。既設堤体とほぼ同じ性質であり改修後の堤体は均一型に近い。堤体の下流側法尻には浸透水を排水させるため、浸潤面を低下させるためのドレーン工を設置した。
上流法面の全面に購入材(安山岩)による捨石とフィルターからなる保護層を施した。
- 基礎地盤は限界圧は低いが、平均的に比較的高い止水性を有していたことからグラウチングの止水処理は行わず、幅広のコアトレンチを設け、浸透路長を大きくとった。

<堤体内グラウチング(過年度復旧工)撤去方針>

- 平成8年度、堤体天端開削及び底樋撤去部断面でグラウチングによる補修跡が見つかった。その際の方針は以下のとおりである。
 - ・①オランダ式二重管コーン貫入試験、②現場密度測定、③底樋部の切土面観察結果、④堤体上下流面の観察結果の調査結果より、以下の点(a, b, c)からダムの安全性を考慮し、旧堤体剥ぎ取り高さをEL.40.0とし、剥ぎ取った部分にはこの材料を再利用する計画とした。
 - ・この場合、堤体の上下流法面の最危険ケースにおけるすべりに対する安全率は、各々 $F_{smin}=1.230$ 、 $F_{smin}=1.251$ を示し安全である。
 - a. 法面の観察で、グラウトミルク痕跡が表れている最低標高がEL.42.0~EL.40.0区間であること。
 - b. 中央から上下流方向へのグラウトミルク痕跡の拡散標高範囲がEL.42.0~EL.38.0付近に多く見られること。
 - c. 過年度のグラウト注入による改良深度は、堤体天端より最低7.0m以上である。



I. 越流部中央の縦クラックの工事（樹脂注入）事例（玉川ダム（秋田県）、平成 13 年）



樹脂注入工
10BL EL.331.5m～365.0m
着工前のクラック状況



樹脂注入工
10BL EL.331.5m～365.0m
Vカット施工状況、サンダーがけ

写真-巻-1 越流部中央の縦クラックの工事状況

I. 上流面補修工（コンクリート打換）事例（遠野ダム（岩手県）、平成 14～15 年）

①仮設工（水替え工・仮設道路整備）

補修工事に合わせて、貯水位の低下、維持を目的に水中ポンプ（10 インチ×10 基）を設置した。作業については、ユニフロート台船を 5 台使用し、水中ポンプは常時について 3～4 基稼働し、出水時、水位低下時には 5～10 基が稼働した。



写真-巻-2 水中ポンプ（10 インチ）



写真-巻-3 水替え状況

②足場工

全面補修であることから、通常時水位より概ね 1.2m 上方にブラケット足場を設置し、それより上部には枠組足場を設置した。

※上流面に勾配があることから、張り出し足場を併用する。



写真-巻-4 上流面足場

③表面樹脂除去及びケレン

堤体表面に付着した劣化樹脂及び経年による付着物を除去するため、ベビーサンダーで堤体表面をケレンした。

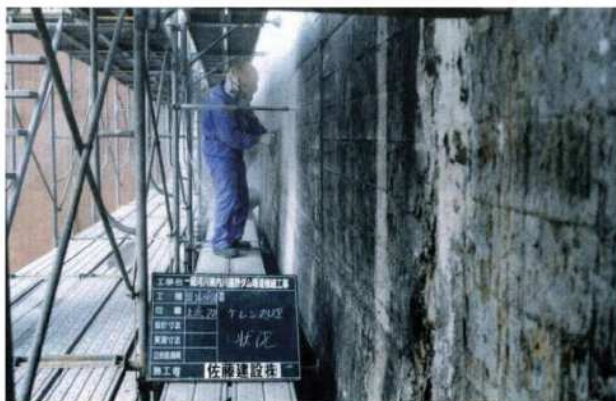


写真-巻-5 表面樹脂ケレン状況

④補修範囲の確認

岩検ハンマーによる打撃により、特殊モルタルによる補修範囲の特定を行い、監督員の確認を受けた。



写真-巻-6 補修部検査

⑤縁切り

補修範囲の確定後、その周囲をベビーサンダーにて深さ概ね 20mm 以上となるように目地を入れる。このときの施工角度は、両サイド及び下部は 45° で堤体側に食い込む形で、上部は鈍角に 45° になるように施工を実施した。

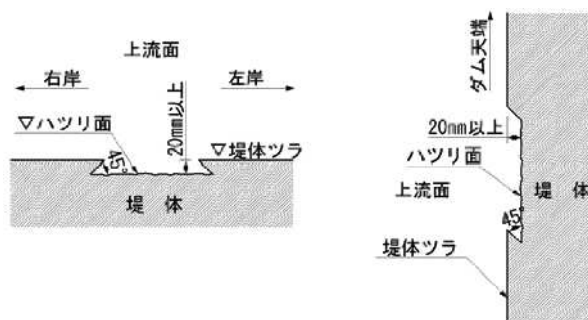


写真-巻-7 カッター処理施工図



写真-巻-8 補修部カッター処理

⑥劣化部除去

電動ピックにより、他の正常な箇所に損傷を与えないよう丁寧に施工をする。ハツリ厚さは特殊モルタルの付着や、強度、施工時期（冬期）を考慮し20mm以上とする。ハツリにより露出する骨材については、ベビーサンダーにて数カ所切断目を縦に入れ、突出部をハンマーにて除去した。



写真-巻-9 補修部ハツリ処理



写真-巻-10 補修部骨材カッター処理

⑦洗浄

はつり作業完了後、高圧洗浄機にて十分に清掃を実施した。



写真-巻-11 補修部洗浄状況

⑧劣化部除去完了検査

ハンマーによる打撃により、補修部におけるコンクリート劣化部の除去の確認を監督員により実施した。



写真-巻-12 劣化部除去完了検査

⑨特殊モルタル打設

打設はコテ仕上げを基本とし、1施工あたりの厚さを2～3cm程度として施工した。打設厚の厚い箇所については、数回の施工となるためホウキ目を打継ぎ面に入れる。また、冬期施工となったため、外気温によっては、既設コンクリートハツリ表面をジェットヒーターとビニールダクト使用による加熱養生を先行して打設した。



写真-巻-13 補修材下塗り（SIRC-D3）

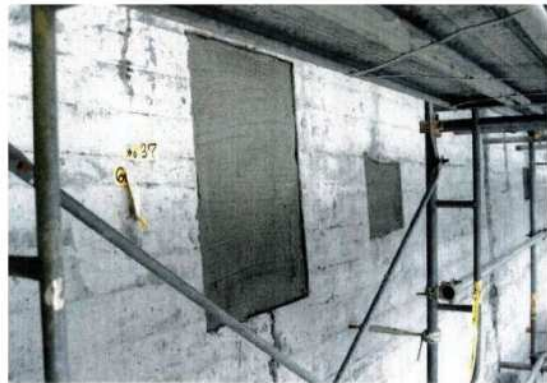


写真-巻-14 打継部ホウキ目仕上げ



写真-巻-15 補修材上塗り（SIRC-D3）



写真-巻-16 補修部プライマー処理
（ライオン GRLC）



写真-巻-17 補修材下塗り
（ライオン GRLC）



写真-巻-18 補修材上塗り
（ライオン GRLC）



写真-巻-19 補修完了（ライオンGRLC）



写真-巻-20 補修材下塗り（タフエース）



写真-巻-21 補修材上塗り（タフエース）

⑩養生

施工後は、ジェットヒーターと簡易ビニールダクトによる加熱養生を行い、その期間は5日間とした。



写真-巻-22 養生（ビニールダクト）

⑪目地切加工

補修箇所がブロックジョイントにあたる箇所は、特殊モルタルによる修復後にカッター目地を施工した。

⑫堤体上流面補修完了

堤体上流面補修完了状況を示す。



写真-巻-23 堤体上流面着手前状況



写真-巻-24 堤体上流面補修完了

Ⅱ. 下流面補修工（コンクリート打換）事例（遠野ダム、平成 14～15 年）

①仮設工（仮設道路工）

②足場工

下部を単管による傾斜足場、上部鉛直部については枠組足場を、ハツリ作業時とコンクリート打設時について2回設置した。ハツリ作業時には、ハンドブレーカーの施工を考慮し、通常の足場の間に0.6m間隔に中段足場を設置した。



写真-巻-25 足場設置状況（左岸側）



写真-巻-26 足場設置状況（右岸側）

③劣化部の除去

劣化の状態から100mmのハツリを標準として施工した。使用機械は、コンプレッサー（35～50ps）とチップパー、ピック、ブレーカーの組合せで実施している。状況に応じて、フェノールフタレイン試薬を使用し、試験を実施しながら作業を実施した。

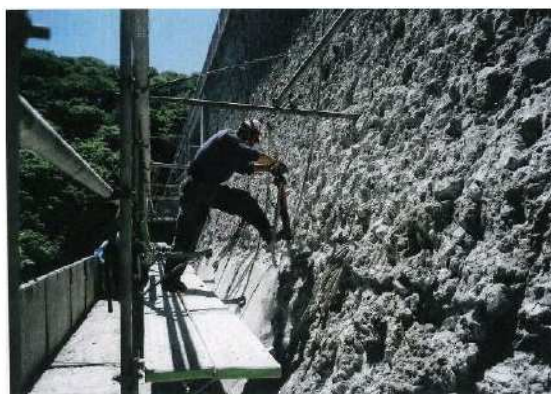


写真-巻-27 劣化部除去状況



写真-巻-28 試薬検査状況

④清掃

ハツリ面を高圧洗浄機にて十分に清掃し、ハツリ面に浮きがないかを確認した。必要に応じては再度除去を実施するが、機械作業とした場合、深掘れとなることことが懸念されたことから、手ハンマーによる作業とした。



写真-巻-29 ハツリ面洗浄状況

⑤サシ筋

電動ハンマードリルにて、ハツリ面より削孔しブロア及びブラシにて孔内を清掃後、ケミカルアンカーの打設を実施した。

※サシ筋仕様：D13 異形棒鋼、L=700mm（出 400mm、入 300m）



写真-巻-30 アンカー打設（削孔）



写真-巻-31 アンカー打設完了

⑥溶接金網設置

サシ筋に溶接金網をセットする（コンクリート表面のひび割れ防止）。



写真-巻-32 溶接金網設置完了



写真-巻-33 溶接金網かぶり確認

⑦型枠設置

ダム天端の車道が2.5mと狭隘なことから、クレーンの配置箇所が制限される。このため、型枠については、重量が軽く転用が比較的容易で、強度も十分であるスルーフォーム型枠を使用した。この枠材は、枠部が半透明で打設時のコンクリートの状態を確認できる利点がある。また、スルーフォームの設置が不可能な場所には、木製型枠を使用した。



写真-巻-34 型枠設置完了

⑧目地工

既設ブロックジョイント部分は、劣化部ハツリ完了後深さ150mmまでVカットし、膨張性止水板（厚さ10mm）を先行ブロックのツマ部に設置する。

⑨下地処理工

新旧コンクリート面の付着性を上げるため、ハツリ面にコンクリート改質剤（CS21：（株）アストン）を塗布した。



写真-巻-35 目地部処理完了



写真-巻-36 コンクリート改質剤塗布

⑩コンクリート打設

作業空間に制約を受けるため、配管圧送によるポンプ打設により施工した。



写真-巻-37 コンクリート打設状況

⑪養生

湿潤状態を保つため、養生マットを保水状態にして使用する。また、必要に応じて散水も実施した。



写真-巻-38 養生状況

⑫打継面処理

リフト打継目のレイタンス処理はワイヤブラシと高圧洗浄機を使用し施工した。長期（4週以上）の間隔に対しては、打継ぎ面のチッピング処理を実施した。



写真-巻-39 レイタンス処理

⑬堤体下流面補修完了

堤体下流面補修完了状況を示す。



写真-巻-40 堤体下流面着手前状況（左岸から）



写真-巻-41 堤体下流面補修完了（左岸から）

【資料3】補強・復旧(補修)工法選定のための調査手法

■調査手法の整理結果(総括)

ダムタイプ	変状区分	調査内容	調査手法	備考
フィルダム	①堤体の変形	1.外観調査 2.計測 3.測量 4.原位置調査、試験 5.室内試験 6.観測データ処理	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影 変状部分の面積・幅・長さ・深度/計器の挙動 横断測量/縦断測量 打撃試験/非破壊試験/テストピット掘削/調査ボーリング・標準貫入試験/亀裂調査 採取試料の土質試験 表面変位計	P180
フィルダム	②堤体の漏水	1.外観調査 2.計測 3.測量 4.原位置調査、試験 5.室内試験 6.観測データ処理	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影/計器の挙動確認 湧水・漏水箇所の記録、流量の計測 横断測量/縦断測量 非破壊試験/テストピット掘削/調査ボーリング・標準貫入試験/水質調査 採取試料の土質試験/水質分析 浸透量計/間隙水圧計	P187
フィルダム	③洪水吐の変形	1.外観調査 2.計測、測量 3.原位置調査、試験 4.室内試験	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影 クラック等損傷部の計測/側壁たわみの計測 打撃試験/非破壊試験/コア採取 コンクリート試験	P196
フィルダム	④監査廊の変形	1.外観調査 2.計測、測量 3.原位置調査、試験 4.室内試験 5.観測データ処理	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影 クラック等損傷部の計測/漏水・湧水量の計測 打撃試験/非破壊試験/コア採取/水質調査 コンクリート試験/水質分析 監査廊継目計/浸透量データ	P201
コンクリートダム	⑤洪水吐の変形	1.外観調査 2.計測、測量 3.原位置調査、試験 4.室内試験	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影 クラック等損傷部の計測/側壁たわみの計測 打撃試験/非破壊試験/コア採取 コンクリート試験	P207
コンクリートダム	⑥堤体等の観測計器の挙動	1.現地調査 2.観測データ処理	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影/計器の挙動確認 浸透量計測値の評価/揚圧力計測値の評価/変位量計測値の評価	P212
共通項目	⑦貯水池内・堤体周辺部の変形	1.外観調査 2.計測、測量、原位置試験 3.室内試験	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影 計器による計測/緊急時の計測・調査/対策工設計のための調査 土質試験	P216
共通項目	⑧基礎処理部の観測計器の挙動	1.外観調査 2.計測、測量、原位置試験 3.室内試験 4.観測データ処理	目視確認・スケッチ/デジタルカメラ撮影/計器の挙動確認 計測/測量/原位置試験 採取試料の土質試験 浸透量計/間隙水圧計	P220

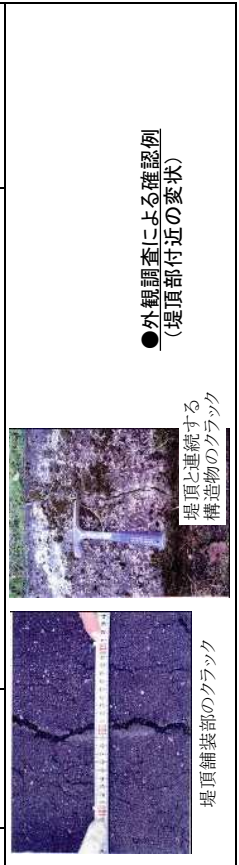
詳細調査ツールボックス

■整理番号:①-1 外観調査

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の変形/堤体等の観測計器の挙動 変状の発生箇所 上下流法面
構成材料	盛土材、表面保護材料
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土表面部のずり落ち、堤体盛土の陥没・はらみ出し ・浸潤線(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・表面変位量(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・リップラップ材や捨石材、コンクリートブロック等の変形、たわみ、沈下、不陸

調査項目	<p>(堤体盛土)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土の変形状況把握 ・堤体盛土のすべり破壊に対する安定性(表面保護材) ・表面保護材の変形状況把握・材料の物性(劣化状況)把握
------	---

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) ・堤体基本図(三面図) ・スタック ・メジャー 	<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂、段差、陥没等の発生箇所を記録 ・変位確認のため、亀裂端部・陥没範囲にピン等を設置 ・劣化部と新鮮部の比較確認 ・堤頂部における亀裂の有無についても確認する。堤体取付部の地山の差動に関しては、「⑦-1:貯水池内・堤体周辺部の変形」の調査内容も参照するとよい。 	<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 ・スタック ・メジャー 	<ul style="list-style-type: none"> ・概略の延長、長さ、幅を把握 ・湿潤範囲、漏水箇所の記録 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・撮影時にはスタック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、変状と関連があるデータと併せて整理すること ・写真には簡潔なコメントを添える。



●外観調査による確認例
(堤頂部付近の変状)

《参考資料》



●外観調査のとりまとめ例(Kダム、Hダム)

調査方法:ダム平面図上に、「全体の状況」及び「変状部分」を写真入りで記載している。詳細調査では、個別の変状についても写真入りで状況を記録する。

詳細調査ツールボックス

■整理番号: ①-3 測量

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の変形/堤体等の観測計器の挙動 変状の発生箇所 上下流法面
構成材料	盛土材、表面保護材料
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土表層部のずり落ち、堤体盛土の陥没・はらみ出し ・浸潤線(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・表面変位量(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・リップラップ材や捨石材、コンクリートブロック等の変形、たわみ、沈下、不陸

調査項目	<p>(堤体盛土)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土の変形状況把握 ・堤体盛土のすべり破壊に対する安定性(表面保護材) ・表面保護材の変形状況把握・材料の物性(劣化状況)把握
------	--

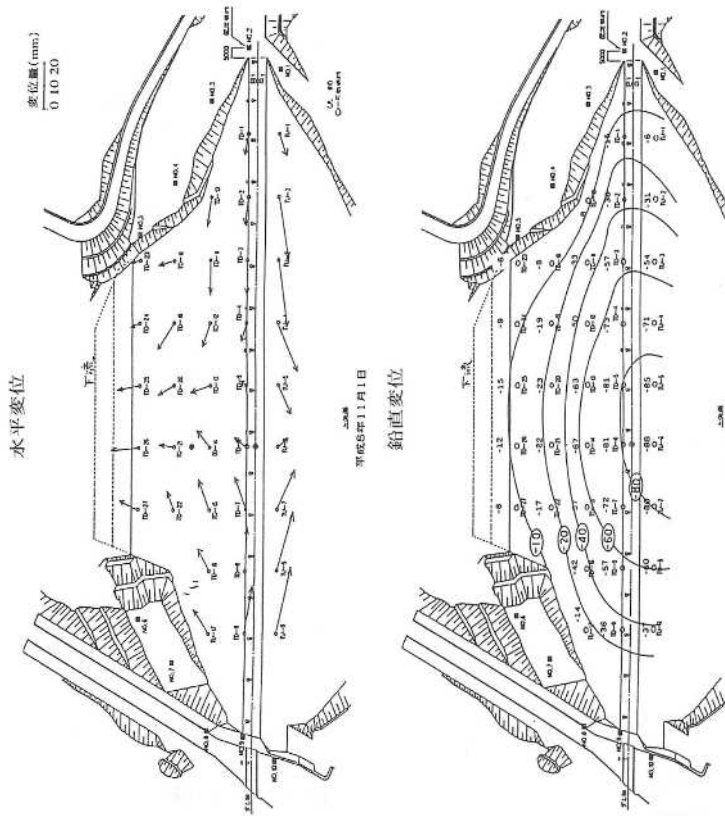
方法	横断測量
使用機材・資料	<ul style="list-style-type: none"> ・測量用機器一式
調査のポイント	<p>堤体上下流断面の表面変位量を計測するための作業</p> <ul style="list-style-type: none"> ・毎回同一の測線で測量を行うため、既設の表面変位計測標点(BM)がある場合はこれを利用し、BMがない場合には、仮杭をダム天端、中間小段及び河床部に設置する。 ・測線は河床部(最大断面)と左右岸のアバット部等、複数設置する。 ・測量標点(BM)または仮杭が確実に固定されていることを確認する。
結果の整理・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・設計断面(法面勾配)との比較 ・経年変化状況の把握



表面変位計測用の標点

縦断測量	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム軸方向の変位量計測のための作業
結果の整理・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム軸方向の不陸の有無の確認 ・経年変化状況の把握

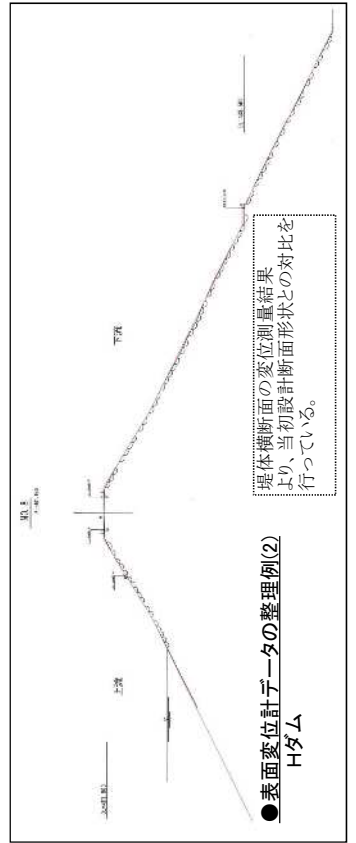
《参考資料》



平成8年11月1日

●表面変位計データの整理例(1)
(総研資料より転載)

表面変位計の各標点での測量結果より、
 ・水平変位: ベンチル図による図化
 ・鉛直変位: 等変位(沈下)コンター図による図化
 を行っている。



堤体横断面の変位測量結果より、当初設計断面形状との対比を行っている。

●表面変位計データの整理例(2)
Hダム

■ 整理番号: ①-4 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
テストピット掘削	<ul style="list-style-type: none"> 掘削器具 (スコップ等; 人力の場合) 小規模掘削機械 (ミニバックホウ) 材料採取器具 (ふるい、計り、材料運搬袋) テープ (ロープ) またはスプレー メチレンブルー 	<p>・表面保護材の背面の堤体盛土材の浸食・劣化 (細粒化) の状況を直接確認することができる。</p> <p>・必要に応じて、築堤材の物理特性・力学特性を把握するための試験を実施し、堤体の安定性評価の基礎資料とすることも可能である。試験採取を行う場合は大きな粒径部分は現場でふるい分けし、粒度を把握する。室内試験試料は別途採取する。</p> <p>・亀裂の分布、深度を確認する場合は、掘削前にメチレンブルーを投入する。</p> <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> 調査終了後の埋戻し・転圧作業は入念に行い、周辺の表面保護材・盛土材に衝撃・損傷を与えて緩みの生じることがないよう、慎重に作業を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面保護材背面の盛土材の浸食状況 築堤材の物理性状 亀裂の規模・深度の把握 (変状がある場合)
調査ボーリング・標準貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> ボーリング式調査資材一式 標準貫入試験用器具 (作業足場の構築) 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体深部の築堤材を採取し、深度方向の材料特性を把握するとともに、力学特性を把握するために標準貫入試験を実施してN値を計測する。 ボーリング削孔中は堤体内水位の変動状況を把握することが望ましい。 採取した試料を用いて土質試験を実施し、物理特性・力学特性を把握する。 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体深部の材料強度 (ばらつき) 浸潤線の状況 採取試料による土質試験
亀裂調査	<ul style="list-style-type: none"> メチレンブルー 掘削機材 	<ul style="list-style-type: none"> 堤頂部及び地山取付部のクラックに対する調査は、全体的なクラック形状の把握とともに、開削調査が必要となる場合もある。 この場合、地表から盛土/基盤内への亀裂の方向・深度の確認 (メチレンブルー等の事前投入による)、また亀裂下流背面の地中水位や亀裂端と貯水位 (満水面) の関係も確認する。 このほか、追加の差動トレンスのためのボーリング及びその孔を利用した変位 (傾斜計等)、水位の調査の必要性も検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 亀裂の範囲、方向、深度 地山水位、貯水池水位との関連性



トレンチ試験状況 (リップラップ材は、番号を並べて並べている)



トレンチ試験欄に用いる資材一覧



現場ふりい実施状況



トレンチ掘削箇所

● テストピット掘削調査の例 (Oダム)

ロックファイルダムの表面リップラップ材の盛立状況の確認及び粒度分析、岩石試験を実施するため、堤体上流の法面にテストピット (トレンチ) 掘削調査を実施している。

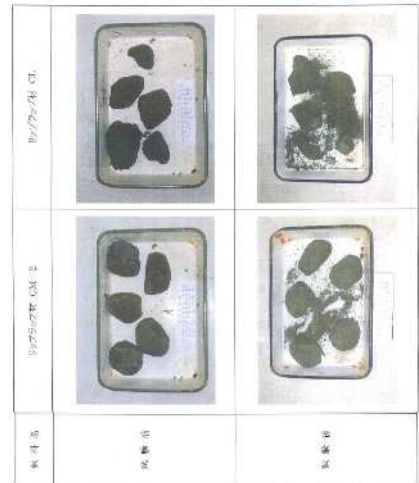
詳細調査ツールボックス

■整理番号:①-5 室内試験

ダムタイプ	ファイルダム
変状区分	堤体の変形/堤体等の観測計器の挙動 変状の発生箇所 上下流法面
構成材料	盛土材、表面保護材料
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土表面部のずり落ち、堤体盛土の陥没・はらみ出し ・浸潤線(計測値)の従来との異なる挙動 ・表面変位量(計測値)の従来との異なる挙動 ・リップラップ材や捨石材、コンクリートブロック等の変形、たわみ、沈下、不陸

調査項目	(堤体盛土) <ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土の変形状況把握 ・堤体盛土のすべり破壊に対する安定性(表面保護材) ・表面保護材の変形状況把握・材料の物性(劣化状況)把握
------	---

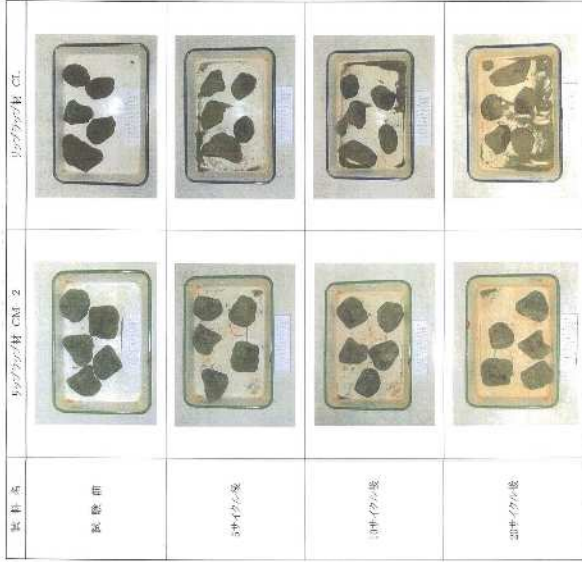
方法	採取試験の土質試験
使用機材・資料	調査のポイント <ul style="list-style-type: none"> ・テストピット、ボーリング孔から採取した築堤材料の土質・岩石試験を実施する。 ・物理試験：含水比、土粒子密度、礫の比重吸水、粒度分析 ・力学的試験：三軸圧縮試験、液性限界、塑性限界 ・岩石試験：X線回折、スレーキング試験、安定性試験、物理試験(比重・吸水、粒度) 実施する試験項目は、試験の目的・堤体規模等の条件を考慮して検討する。
結果の整理・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・築堤材料の物理・力学特性の把握(設計値、施工管理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 ・岩石材料の劣化状況の把握と将来予測



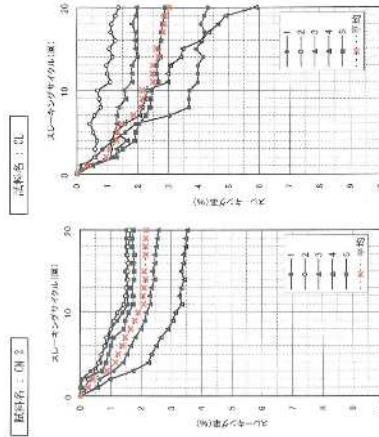
骨材の安定性試験(試験を硝酸ナトリウム溶液に浸した後、炉乾燥し、結晶時の膨張圧で岩塊を破壊する)の実施状況

●安定性試験の例
Oダム

《参考資料》



ロックフィルダムの表面リップラップ材のスレーキング特性を把握するため、各岩級(実際は3分級)のスレーキング試験を実施している。



各岩級について、スレーキングサイクル(20回まで)毎のスレーキング率をグラフ化して整理している。

●スレーキング試験結果の例
Oダム

岩石試験結果表-岩質

試料名	試-1	試-2	試-3
表面比重量	2.545	2.430	2.337
塊比重量	2.701	2.708	2.752
飽和比重量	2.402	2.350	2.319
吸水率 Q (%)	3.15	5.38	6.38
有効開閉率 Pr (%)	9.30	13.07	12.68
スレーキング試験率 Pr (%)	1.8	2.2	2.3
安定性試験率 Pr (%)	6.7	1.4	22.6

●岩石試験結果の例
Oダム

詳細調査ツールボックス

■ 整理番号: ①-6 観測データ処理

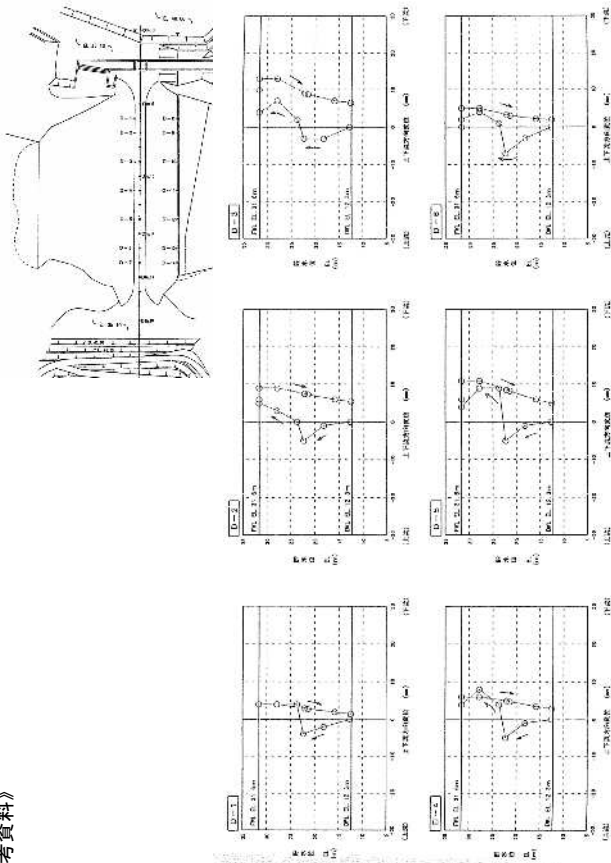
ダムタイプ	ファイルダム
変状区分	堤体の変形/堤体等の観測計器の挙動 変状の発生箇所 上下流法面
構成材料	盛土材、表面保護材料
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堤体盛土表層部のすり落ち、堤体盛土の陥没・はらみ出し ・ 浸潤線(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・ 表面変位量(計測値)の従来の傾向と異なる挙動 ・ リップフラップ材や捨石材、コンクリートブロック等の変形、たわみ、沈下、不陸

調査項目	(堤体盛土) <ul style="list-style-type: none"> ・ 堤体盛土の変形状況把握 ・ 堤体盛土のすべり破壊に対する安定性(表面保護材) ・ 表面保護材の変形状況把握・材料の物性(劣化状況)把握
------	--

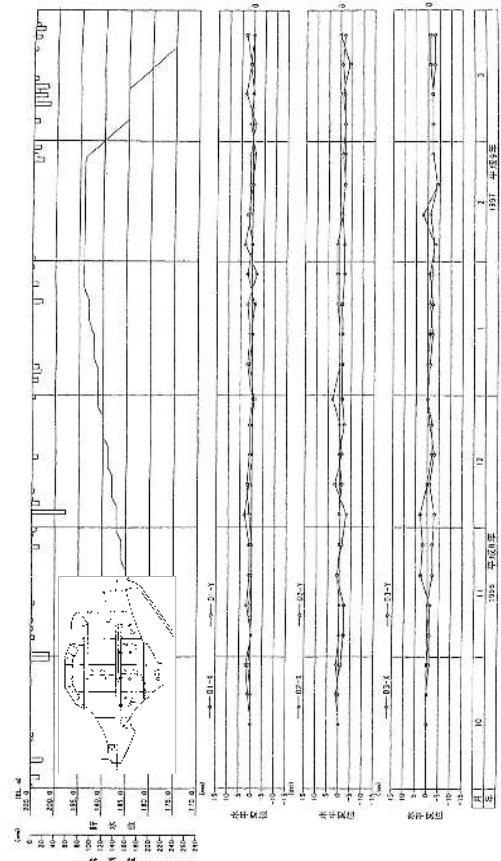
※調査のポイントは総研資料「農業用ダム挙動観測に関する技術資料」より転載した。

方法	使用機材・資料 <p style="text-align: center;">整理の方法・測定値の評価</p> <p><整理の方法></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 表面変位計測データ(外部標点測量) ・ 貯水位データ <p>表面変位計</p>
資料	<p><観測データ整理例(貯水位との相関)></p> <p>① 水平変位は変位量と変位の方向について各観測点からベクトル表示、鉛直変位(沈下)は等沈下量を等高線表示する方法</p> <p>② 水平変位・沈下ともベクトル表示するが、水平変位はXY平面図、沈下はYZ平面図にて表示する方法</p> <p>③ 水平変位・沈下を同一平面図に表示する。水平変位は①②と同様、沈下は各観測点を中心とした半円の大きさで表示する方法。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 時系列図：変位量とあわせて貯水位も示す。観測点位置図を添付するとよい。 ・ 貯水位-変位相関図：貯水位を縦軸、水平変位を横軸として貯水位と水平変位の関係を表示。計測点の位置図や堤体横断面図を添付するとよい。 <p><測定値の評価></p> <p>① 一般に、貯水位の変動に伴う堤体の変位は、そのほとんどが初期湛水の段階で生じ、経時的には小さくなる傾向を示す。また、初期湛水時には弾性的な変位、その後は弾性的な変位を示す。</p> <p>② 堤体の変位は貯水圧、浸透力、圧密等を主要因として発生するが、ダムの変位が保たれていれば、変形量は時間の経過とともに収束していくのが一般的であり、変位の経時変化の状況、収束の度合い、変位の分布等によりダムの変位に対する安全性を評価する。</p> <p>変位量が貯水位の変化に対して急激に変化した場合や変位が収束しない場合は、堤体に異常が発生しているものと判断される。</p>

《参考資料》



● 表面変位計データの整理例(貯水位との相関)
(総研資料より転載)



● 表面変位計データの整理例(経時変化図)
(総研資料より転載)

詳細調査ツールボックス

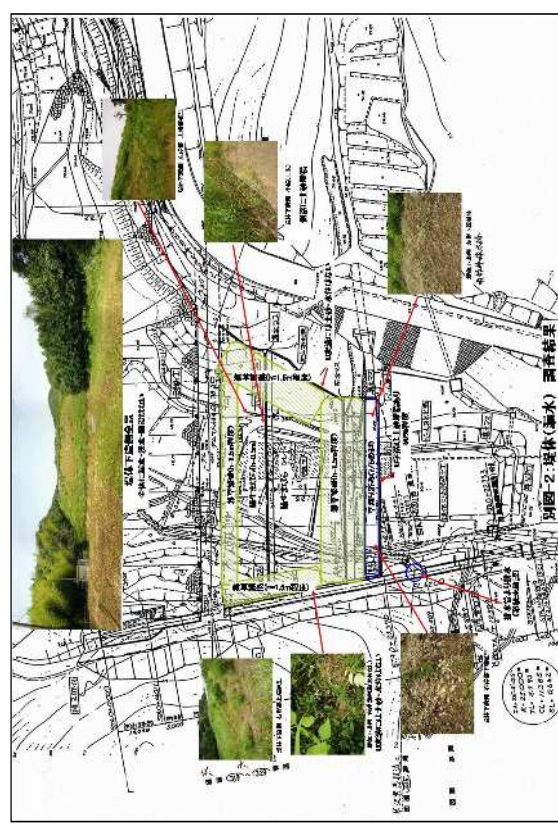
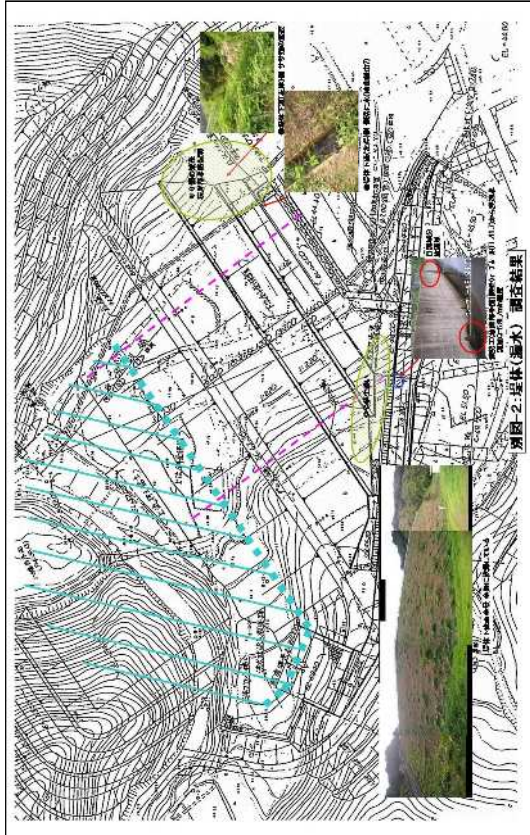
■整理番号:②-1 外観調査

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所 盛土材、基礎地盤
該当する重要な変状	下流法面・地山取付部 ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・漏水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土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) ・堤体基本図(三面図) ・スタック ・メジャヤー 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体下流面の浸潤状況を確認する。じくじくしている箇所や植物が繁茂しやすい箇所を把握する。 ・堤体下流面の小段側溝、堤体と地山との接合部付近の側溝の流水状況も確認する。 ・調査は干天の後、周囲と異なる部分を中心に行う。ノンクリート面等は浸潤状態を発見しやすい。 ・繁茂しやすい植物としてはフキ、カヤ、その他の好湿性植物である。 	<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 ・スタック ・メジャヤー 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸潤範囲、漏水箇所の記録 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・撮影時にはスタック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思わ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》



●外観調査のとおりまとめ例(Kダム、Hダム)

調査方法:ダム平面図上に、「全体の状況」及び「変状部分」を写真入りで記載している。詳細調査では、個別の変状についても写真入りで状況を記録する。

整理番号: ②-1 外観調査

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
計器の稼働確認	<ul style="list-style-type: none"> 観測計器 観測データ ケーブル、スキャナ 	<p>フィルダム堤体等の観測計器稼働の信頼性について、以下のような判断指標がある。</p> <p>「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</p> <p>(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るものかどうかの総合判定が</p> <p>(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。</p> <p>信頼性の判定もその点検結果をもとに行うこととなるので、ここでは判定に必要と考えられる項目を示す。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。 計器が絶縁低下または絶縁不良の状態にあると</p>	<p>各計器の信頼性評価結果を整理し、データを処理に活用する。</p>

表1-2 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	ある時点である、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	誘導電等による計器の低抗値の変動、計器の特性
多段ずれ	一段ずれが、何度も生じている	土圧計	水漏れ
短期間欠如	短期間、測定値がゼロまたは欠けているが、その後では正常な測定値を示している	全計測計器	多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線および停止電、コネクタ等の接触不良
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	多点切換器を含む自動計測装置の故障、断線および停止電、コネクタ等の接触不良
永久欠如	正常な堤体挙動を示している測定値が、ある時点で急にゼロとなつていて、変動がなくなっている	全計測計器	断線、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傾向とは明らかに異なる傾向の変動が、特定の期間に発生してしまっている	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、点検時違い、接続間違い
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、変動平均(傾向)をみても全く意味がない	全計測計器	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いるが、変動平均(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	堤体挙動には年周期は生じていないのに、測定値の年周期となっている	全計測計器	絶縁低下、絶縁不良
特異変動	外的要因は一定なのに、クランプの動きやキョクシヤク動の計器とは明らかに異なった動きを示している	監視室内鉄筋計 縦目計 クラック変位計	監視室内鉄筋計は、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閉閉を生じることによって変動する
		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(修復の可能性なし)
 ×: 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

●計測データの判断方法について

「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

計測

■整理番号: ②-2

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所 下流法面・地山取付部 盛土材、基礎地盤
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・漏水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土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
湧水・漏水箇所の記録・流量の計測	<ul style="list-style-type: none"> ・平面図 ・マンリガー(計量ハケ) ・塩ビパイプ ・粘土(湧水の集水用) ・ストツプ ・ウォッチ ・野帳 ・温度計 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体下流面(または地山接合部付近)において、水のしみ出しや観測できる量の漏水量がある場合は、周辺の土や粘土で堰上げし、ハケ等を用いて容器に採水する。 ・堤体内の浸潤線を把握する場合、堤体内にパイプを設置し、浸潤線を直接計測することも可能である。ただし、均一型ダム等では堤体内水位が多重構造となっている場合もあり、有孔・無孔区間を適切に設けることが重要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水・漏水発生箇所の平面位置の整理 ・貯水位との関連性(運用状況) ・材料ゾーニング、材料の透水性状(ゾーン型の場合でも透水性が比較的小さい場合あり)

《参考資料》

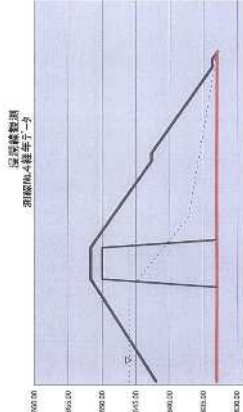


調査方法: 簡便な漏水量計測例
(20L缶を用いて、一定時間内の漏水量を計測)



堤体下流側漏水の計測例: 塩ビ管を地中に埋設することにより自由水面を把握することが可能となる。簡易な方法として、内側にφ50mm程度のパイプを立て、竹ひごにピンポン玉を接着したもので計測することも可能。

●漏水量の計測例



調査方法: 浸潤線計測孔を格子状に配置し、貯水位の変動に伴う堤体内浸潤線の挙動を図化整理している。

●堤体内浸潤線の調査例(Nダム)

詳細調査ツールボックス

測量

■整理番号: ②-3

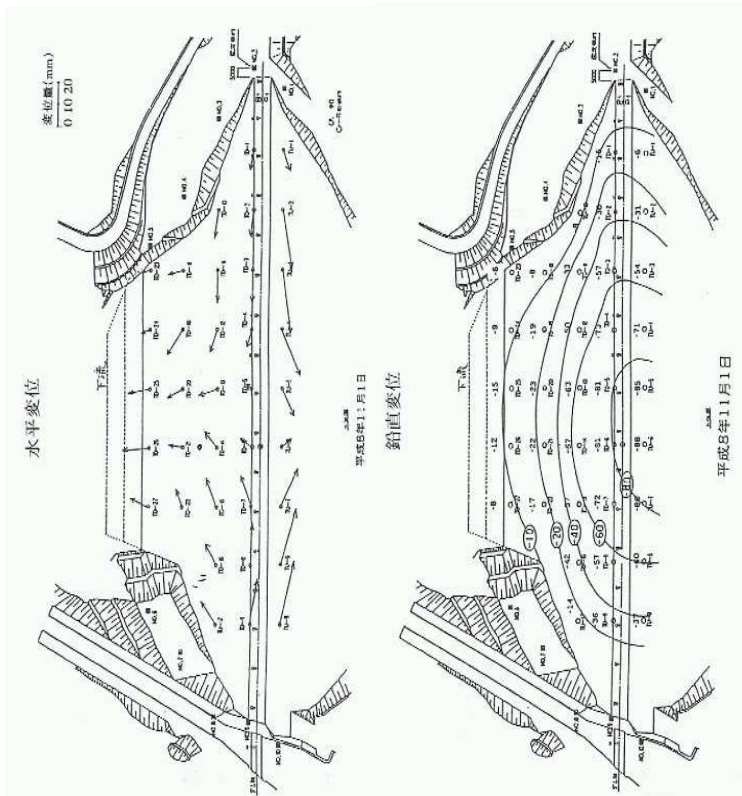
ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所
該当する重要な変状	下流法面・地山取付部 盛土材、基礎地盤 ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・湧水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土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
横断測量	<ul style="list-style-type: none"> ・測量用機器一式 	<p>「堤体の漏水」に関する調査においては、堤体内の浸透流に起因する盛土斜面の損傷有無(浸食、流亡)を確認することが目的となる。表面変位量の計測は、「①: 堤体の変形」に関する調査と同一である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堤体上下流断面の表面変位量を計測するための作業 ・毎回同一の測線で測量を行うため、既設の表面変位計測標点(BM)がある場合はこれを利用し、BMがない場合には、仮杭をダム天端、中間小段及び河床部に設置する。 ・測線は河床部(最大断面)と左右岸のアバット部のように、複数設置する。 <p>【注意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測量時 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計断面(法面勾配)との比較 ・経年変化状況の把握
縦断測量	<ul style="list-style-type: none"> ・測量用機器一式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム軸方向の変位量計測のための作業 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム軸方向の不陸の有無の確認 ・経年変化状況の把握

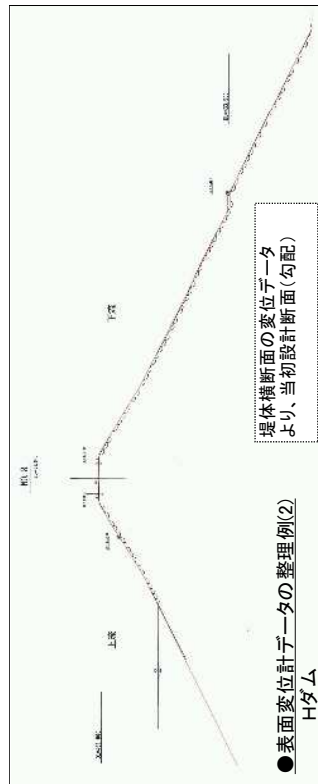


《参考資料》



●表面変位計データの整理例(1)
(総研資料より転載)

表面変位計の各標点での測量結果より、
・水平変位: ベンケル図による図化
・鉛直変位: 等変位(沈下)コンター図を作成している



●表面変位計データの整理例(2)
Hダム

堤体横断面の変位データより、当初設計断面(勾配)

詳細調査ツールボックス

■ 整理番号: ②-4 原位置調査・試験

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所 下流法面・地山取付部
該当する重要な変状	盛土材、基礎地盤 ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・漏水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土の浸透破壊に対する安定性
------	---

※盛土のすべり破壊に対する安定性検証のための調査項目は、「①-4: 堤体の変形に関する調査」と共通である。

方法	土構造物の浸透に関する非破壊試験としては、電気探査の適用が一般的である。	結果の整理・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・浸潤線の分布状況 ・地下水分布状況の整理
使用機材・資料	<ul style="list-style-type: none"> ・各種非破壊試験機器 ・電気探査: 地表に直線状に配置した測線に多数の金属棒(電極)を打設し、ある電極で電流を流した際の電位応答を他の電極で測定する。土木構造物の事前調査では広く使用される。また比抵抗は水に敏感であるため、地下水(浸潤線)の把握に利用可能である。 	調査のポイント	

テストピット掘削、調査ボーリング・貫入試験のポイントは「①-4: 堤体の変形」と同様。

計	<ul style="list-style-type: none"> ・水温・濁度 ・pH計 ・採水用具(室内試験実施の場合) 	<ul style="list-style-type: none"> ・場所毎、時期毎の水温、濁度、pH等を整理 ・必要に応じて貯水池内の調査もあわせて行う。
水質調査	<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。 ・調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。 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)等専門書を参考するとよい。 	

【参考資料】

電気探査

(1) 原理 電気探査は、地盤構造を電気の流れにくさ(比抵抗)を用いて、地盤を可視化する技術である。比抵抗は単位体積当たりの電気抵抗値に相当するものである。

地盤の比抵抗を測定するには、図-3に示すように、地盤に複数の電極を設置し、電流電極から地中に電流を流す。地盤が均質な比抵抗の場合には、電流電極からの距離とともに単調に減少する電位分布となるが、地盤の比抵抗が不均質の場合には、その比抵抗分布の影響を受けた電位分布となる。したがって、地盤内に発生した電位分布を測定し解析を行うことで、地盤の比抵抗分布を求めることができる。

一般に地盤の比抵抗は、土質の種類や地層水比抵抗、孔隙率、および飽和率等により変化する。特に比抵抗は水に対して非常に敏感であり、飽和率が増加すると電気が流れやすくなるため、比抵抗は大きく低下する。この特徴から、電気探査は地下水の調査等に広く適用されている。土質パラメータと比抵抗の関係を、表-3に示す。地盤の比抵抗は、さまざまな要因により異なる値となるため、地中の比抵抗構造を探索することにより、地盤内の土質状態の変化や地盤構造の概要を推定することができる。

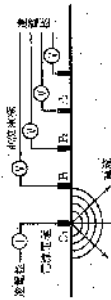


図-3 電気探査の概念図

表-3 土質パラメータと比抵抗の関係

小	電気比抵抗	大
(粘土)	(シルト)	(砂)
小	飽和率	大
大	孔隙率	小
大	含水率	(乾燥度)
小	空隙率	(空隙率)
小	地層水比抵抗	大

(2) 測定・解析方法 電気探査では、地盤に同様なに配した測線に多数の金属棒(電極)を打設し、ある電極で電流を流した際の電位応答を他の電極で測定する。測定装置は、電流、テイクアウトケーブル(多芯ケーブル)、測定機から構成され、図-4に示す。

(3) 適用対象 屈折法地質探査と同様に土木建造物の事前調査一般に広く使われている。また、比抵抗は水に非常に敏感であるため、地下水の比抵抗に多く利用されている。

- ダム : ダム基礎岩盤の構造
新築等弱層の有無
地下水の分布状況の把握
地すべり : 新築等弱層の有無
地下水の分布状況の把握



図-4 電気探査の一機を別示

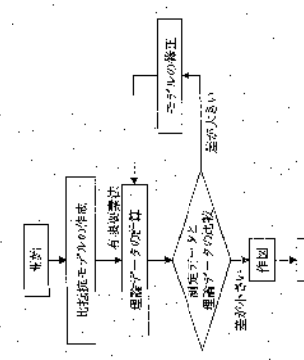


図-5 電気探査の解析の流れ

●非破壊試験について (農土誌72(1)講座:農業土木分野におけるフィールド計測技術 より転載)

詳細調査ツールボックス

■整理番号:②-5 室内試験

ダムタイプ	フィルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所
該当する重要な変状	下流法面・地山取付部 盛土材、基礎地盤 ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・漏水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土の浸透破壊に対する安定性
------	---

※盛土のすべり破壊に対する安定性検証のための調査項目は、「①-5:堤体の変形に関する調査」と共通である。

方法	使用機材・資料	調査のポイント	結果の整理・評価
採取試験料の土質試験	<ul style="list-style-type: none"> ・土質試験器具 <p>(詳細は、地盤工学会「土質試験の方法と解説」を参照)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体盛土材の透水試験(特に遮水材)を実施する場合、試験方法は、原則として、土質工学会基準(JSF T 311-1990;土の透水試験方法)による。 ・透水係数を求めるためには、JSF T 111「土粒子の密度試験」を別途実施しておく必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・築堤材料の透水性状より、現地を確認される浸潤線分布の妥当性の検証、斜面の安定解析を実施する場合に設定する透水係数等の指標を得ることが可能である。

《参考資料》

2. 試験方法の種類と選択

2.1 試験方法の相違

- 試験方法は、適切な選択とする。
- (1) 定水位透水試験
定水位透水試験は、堤体の周囲に一定の水圧を印加し、一定の水圧差の中で、貫通管内に浸透する水量を測定する試験で、その原理を図-2に示す。

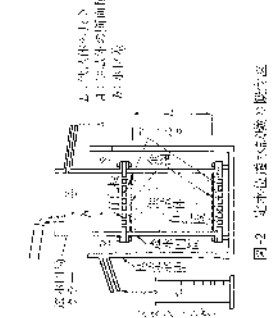


図-2 定水位透水試験の概観図

- (2) 変位透水試験
一定の荷重と排水をもつ試料の中を、ある一定の流速で流体を流して浸透する土質の特性を調べる。その原理を図-3に示す。

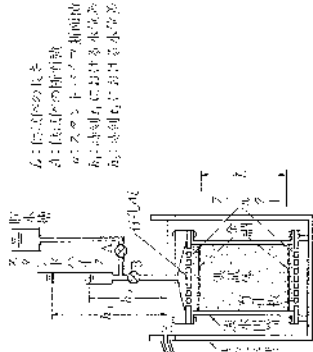


図-3 変位透水試験の概観図

2.2 試験方法の選択

一般に、定水位透水試験は、透水係数が 10^{-4} cm/s 以下の土質に、変位透水試験は、透水係数が 10^{-2} cm/s を超える土質に適用される。

【注】

2.2 両試験の適用範囲は、透水係数が 10^{-4} cm/s を超える土質に適用される。透水係数が 10^{-4} cm/s を超える土質に適用される。透水係数が 10^{-4} cm/s を超える土質に適用される。

表-1 透水性と試験方法の適用性

透水性	透水係数 k (cm/s)									
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3
対応する土の種類	岩盤	土質	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂
透水係数を直接測定する方法	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算

■整理番号: ②-5 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	<ul style="list-style-type: none"> 水質分析器具、試薬等一式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 監査廊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 (SO3)、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 (トリリアダイヤグラム)」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。

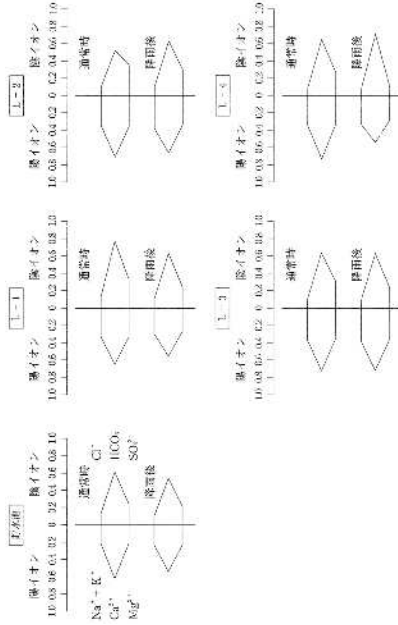


図-6.4.4-34 シュテイフダイヤグラムによる水質の分類図 (例)

[貯水池内及びL-3は、通常時・降雨後ともに水質の変化がない。]
 [L-1、2、4は、降雨の影響を受けて水質が多少変化している。]

②パーセント組成による表現法 (トリリアダイヤグラム)
 トリリアダイヤグラムは、バイダイヤグラム又はキー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、キー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epmg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。下図にトリリアダイヤグラムの一例を示す。
 水質タイプの区分は、キーダイヤグラム (菱形座標図) の作成から行われる。

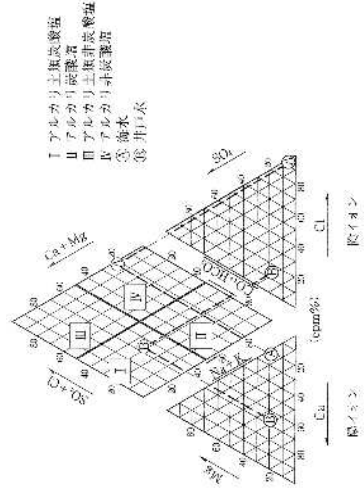


図-6.4.4-35 トリリアダイヤグラム

詳細調査ツールボックス

■ 整理番号: ②-6 観測データ処理

ダムタイプ	ファイルダム
変状区分	堤体の漏水/堤体等の観測計器の挙動
構成材料	変状の発生箇所 下流法面・地山取付部 盛土材、基礎地盤
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体中腹の湿潤化、植生の種類・繁茂状況の周囲との相違 ・漏水・湧水の発生 ・浸潤線(計測値)の従来と異なる挙動 ・浸透量(計測値)の従来と異なる挙動 ・漏水の濁り

調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体・地山内の浸透水の状況把握 ・盛土のすべり破壊に対する安定性 ・盛土の浸透破壊に対する安定性
------	---

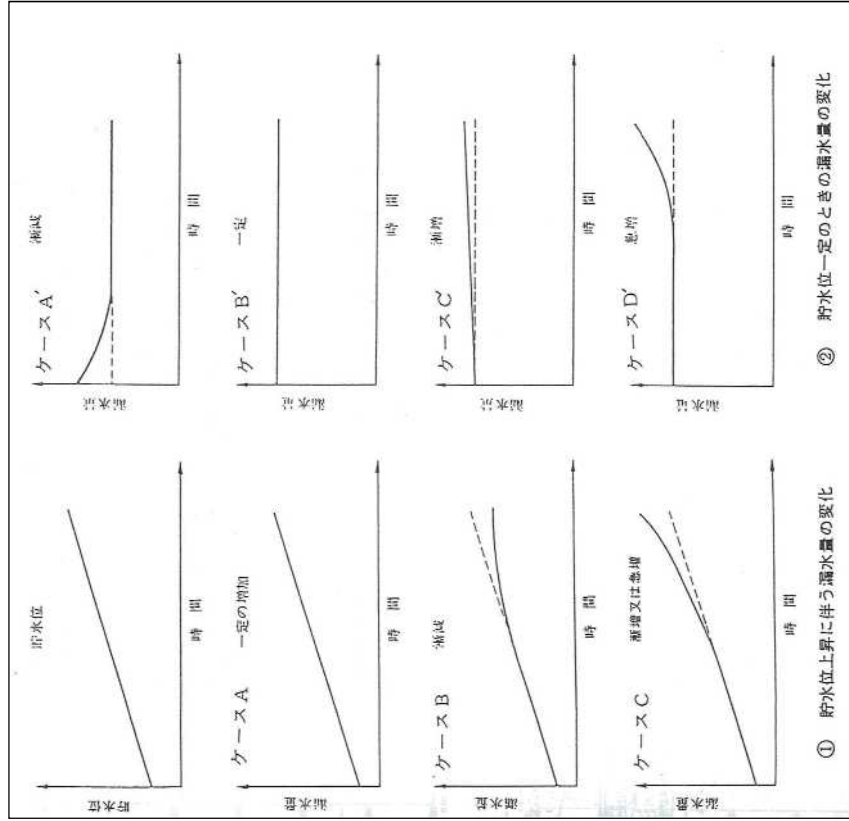
※調査のポイントは総研資料「農業用ダム挙動観測に関する技術資料」より転載した。

方法	<p>使用機材・資料</p> <p>整理の方法・測定値の評価</p>
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 浸透量計	<p><整理の方法></p> <ul style="list-style-type: none"> ・時系列図：浸透量の他に貯水位、日雨量等を加え時系列で表示。このとき浸透量の系図区分も添付すると良い。 ・貯水位-浸透量相関図：貯水位と浸透量の関係把握するため、相関図を作成する。 ・実測浸透量と推定浸透量の相関図：実測浸透量から降雨等による浸透量を控除した値を(貯水による) 真の浸透量として整理する。 <p><測定値の評価></p> <ol style="list-style-type: none"> ①貯水位との相関関係から異常の有無、浸透流解析等により設計段階で想定していた浸透量と実測値の対比、浸透水の濁りの直接目視確認を行うことが重要である。 ②基底流量を重回帰分析等により算定する方法があるが、解析に用いるデータ数が十分でないとき実際の流量との相関も低くなるため注意が必要である。 ③貯水位の変化に対して、浸透量が急激に上昇した場合や浸透量が予測値に対して多い場合は堤体又は基礎地盤に異常が生じている可能性がある。 ④浸透量が予測値に対して極端に小さい値を示す場合は、浸透水観測システム外から浸透している可能性もある。 ⑤上記③④のような現象が測定された場合は、間隙水圧計とのクロスチェック、漏水の濁度の測定、水温・水質の測定、ダム周辺の踏査等により原因の究明と漏水箇所の特定を行い、ダムの安全性を検討する。

《参考資料》

[浸透量の変化による安全性判断の考え方]

- ①貯水位上昇時
下図に示す3ケース(ケースA～C)のうちケースCに該当する場合には危険であると判断する。
- ②貯水位一定時
右図に示す4ケース(ケースA'～D')のうちケースC'D'に該当する場合には危険であると判断する。

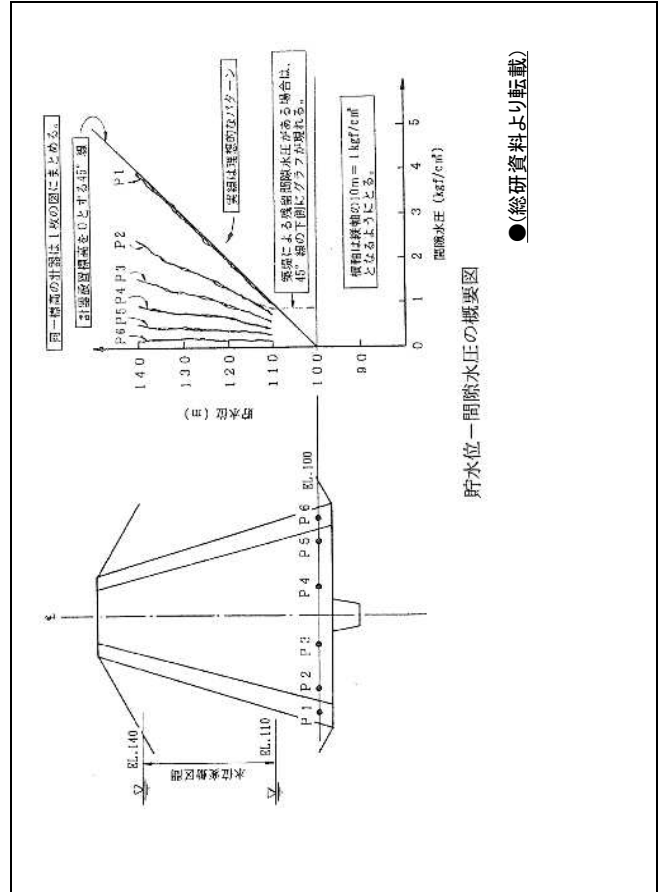


① 貯水位上昇に伴う浸透量の変化

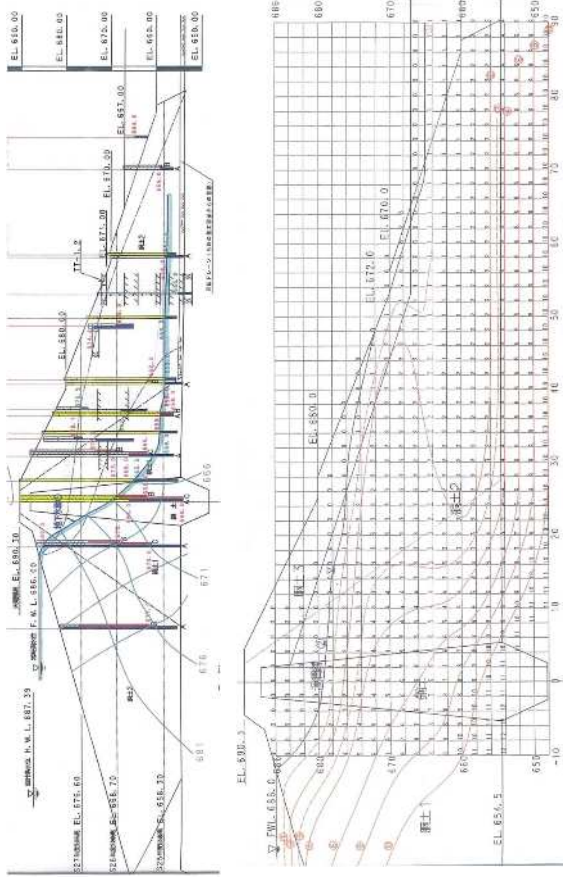
② 貯水位一定のときの浸透量の変化

■整理番号:②-6 観測データ処理

整理の方法・測定値の評価	
使用機材・資料	
方法	<p>＜整理の方法＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・時系列図：貯水位と水圧値を同時に示し、相関性を把握しやすくする。また、計器配置図を添付しておくことよ。 ・流線網図：湛水時における間隙水圧分布をもとに流線網図を作成する。 ・貯水位-間隙水圧相関図：縦軸を貯水位、横軸を間隙水圧とし、貯水位10mに対して間隙水圧を1kgf/cm²(=98kPa)とすると整理しやすい。また、同一標高の計器を同じ図にまとめると異常の監視がしやすい。なお、間隙水圧を水頭換算表示する方法もある。 <p>＜計測値の評価＞</p> <ol style="list-style-type: none"> ①貯水位との相関図では、正常な状態においては下流側の間隙水圧計ほど計測値は縦軸に近くなり、上流側は45°に近くなる。 ②湛水時の正常な状態の間隙水圧は、貯水位とほぼ直線関係にあるため、貯水位の変化に対して間隙水圧が急激に変化する場合は、堤体に異常が発生している可能性がある。 ③流線網、浸透量とのクロスチェックを行う。 ④上流のフィルタ、浸透量、ロックゾーンの間隙水圧は貯水池の静水圧に等しいが、水位急変時には多少のタイムラグを生じる。 ⑤下流フィルタ、ロックゾーン内の間隙水圧は貯水位に関係なく一定の値を示す。



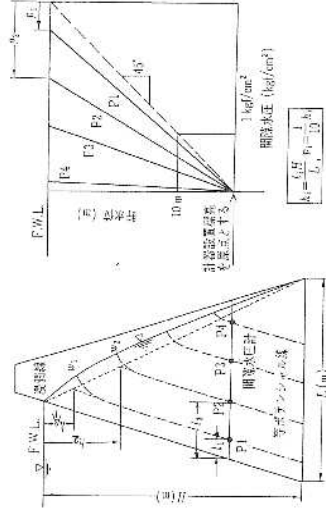
【間隙水圧計のデータ整理の例】



●堤体内浸潤線の状況 (Hダム)

堤体内の水位、圧力水頭計測値より、水頭コンター図を作成し、堤体内浸潤線の状況の整理を行っている。

- ① 計器設置計画を調査し、その位置と向きを把握。
- ② グラフの縦軸 10m とスケールを決定。
- ③ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ④ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑤ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑥ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑦ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑧ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑨ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。
- ⑩ 浸透量計測値を元に、浸透量を把握。



貯水位-間隙水圧図の作成方法

●(総研資料より転載)

詳細調査ツールボックス

■整理番号:③-2 計測・測量

ダムタイプ	フィルダム
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	調査の結果・整理
クラック等損傷部の計測	<ul style="list-style-type: none"> 洪水吐構造図 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とよい。 	<ul style="list-style-type: none"> クラックの発生箇所、範囲、長さ、幅
側壁たわみの計測	<ul style="list-style-type: none"> 水糸 または測量機器（横断測量量） 	<ul style="list-style-type: none"> 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セ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、下のように側壁にたわみが生じることがある。 たわみの発生有無は、天端から鉛直に水糸を下ろして確認するのが最も容易である。より正確な量を把握するには水路断面方向に測量を行うのがよい。 	<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

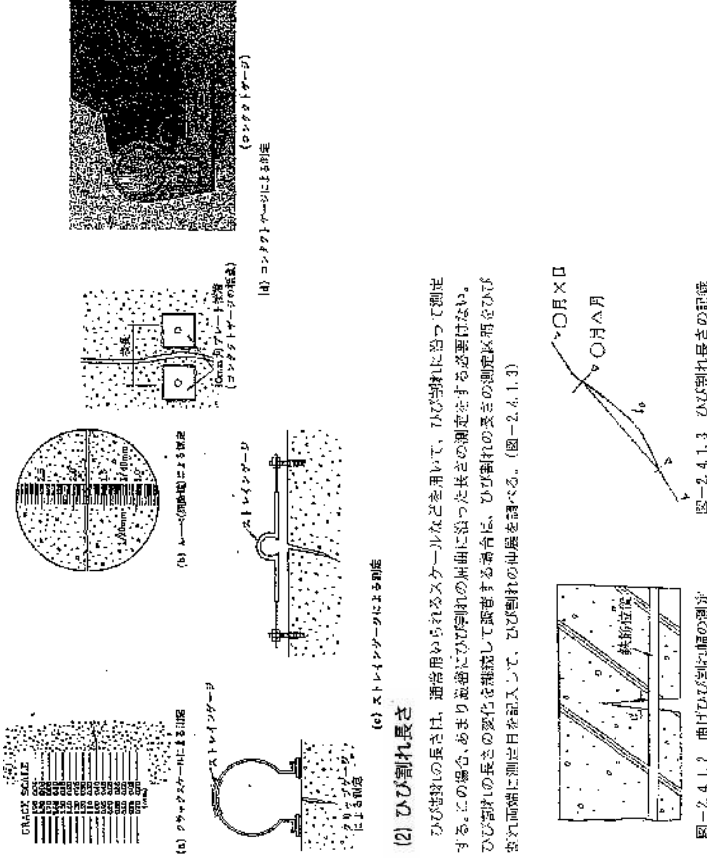


《参考資料》

「ひび割れ調査法」

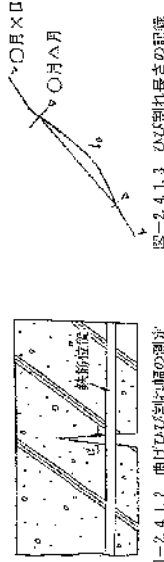
ひび割れ幅は、ひび割れがコンクリート構造物に与える影響を判断するために用いられるパラメータである。ひび割れ幅は、コンクリートの断面でひび割れ方向に対し直角に断った時のことである。ひび割れ幅はひび割れの原因推定、補修・補強の要否の判定、補修・補強方法の選定時の判断資料になる。

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出する場合は、初期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。ひび割れの長さの変化を捕捉して調査する場合は、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、ひび割れの伸長を調べる。(図-2.4.1.3)



●ひび割れ調査の方法
(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)より転載)

詳細調査ツールボックス

■整理番号:③-3 原位置調査・試験

ダムタイプ	フィルダム
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・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
打撃試験	・テストハンマー ・ロックハンマー	コンクリート構造物の表面の脆弱化や空隙の有無を概算する場合は、地質調査用のロック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、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。 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である。	・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



●ハンマー打撃による水路底版の変形確認状況(ダム)

《参考資料》

「反発硬度法」

1) 概要

コンクリートの強度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）日本材料科学会が「反発硬度法の標準化」をまとめた。また、（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示されている。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こと、構造損傷を減らすことなどに利便性があることから、

④ 詳細説明を添付する等の実務的な取扱

⑤ 何らかの理由でコア採取による強度試験が困難な場合

⑥ 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

⑦ コンクリートの材料、形状、硬化状況などの原因によって強度に差が生じ、母に現はれる。

⑧ コンクリートの材料、形状、硬化状況などの原因によって強度に差が生じ、母に現はれる。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、被検物の状態、コンクリート表面の平滑度などの原因によって強度に差が生じ、母に現はれる。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、被検物の状態、コンクリート表面の平滑度などの原因によって強度に差が生じ、母に現はれる。

3) 調査方法

(H) 測定器の検定

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。

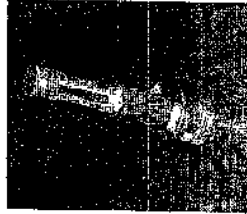


図-2.4.3.2 テストアンビル（シュミットハンマー製機材）

(H) 表面処理

検定した測定箇所の状態を確認し、表面の凹凸、塗膜、打撃面のブリ、デインなど、付着物がある場合は適宜除去して測定を行う。

(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。各打撃点の地盤の打撃による影響が約100mm以内の距離をおく。事前に試験目標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る。打撃は、測定位置を測定点として直前に位置し、ゆっくりと垂直に押し付けるようにして打撃する。

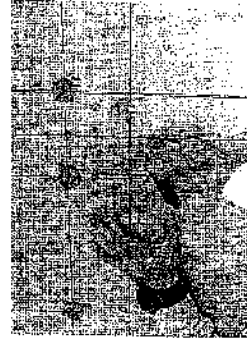


図-2.4.3.3 プレートを用いたマーキング例

●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

整理番号: ③-3 原位調査・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"> 試験方法に応じると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、コンクリート駆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。

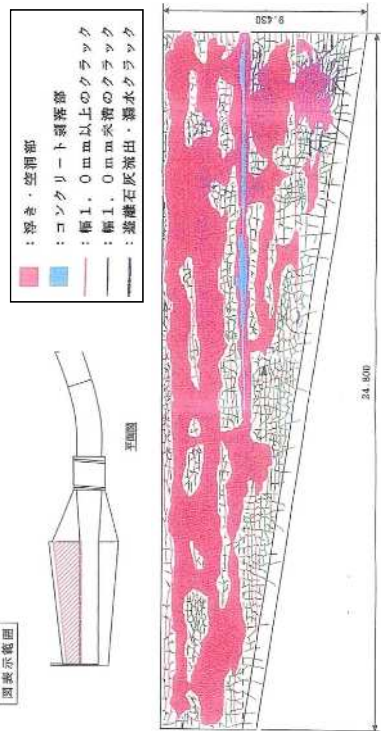


●コンクリートコアの採取例(Mダム)
アルカリ骨材反応がみられる洪水吐コン



●コンクリートコアの採取例(Aダム)
洪水吐水路側壁部のコンクリートコアの採取の状況
(コアカッターを使用)

図表5電図



●非破壊試験(赤外線探査)画像解析図(Mダム)
洪水吐の起流部(クラスト)のコンクリート劣化の状況を赤外線法により解析・図化処理している。

《参考資料》

劣化現象に対応した調査手法の例 (原位試験<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	
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	○	◎	◎	◎	C
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	○	○	○	○	A
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 空隙	◎	◎	○	○	C
	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(X線法)	鋼材位置・径	◎	◎	○	○	B
	鉄導率・含水率	○	○	○	○	B
載荷試験(静的) 載荷試験(動的)	ひび割れ発生・剛性 固有振動数、振動モード	○	○	○	○	C
		○	○	○	○	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

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

(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。

●原位調査・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(案)」より転載)

詳細調査ツールボックス

■整理番号:③-4		室内試験	
ダムタイプ	フィルダム	変状の発生箇所	
変状区分	洪水吐の変形	流入部・取水水路・急流部・減勢工	
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・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	コンクリート試験(室内)	使用機材・資料	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート試験機材 	調査のポイント	<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。 <ol style="list-style-type: none"> 中性化に関する試験 塩害に関する試験 アルカリ骨材反応に関する試験 凍害に関する試験 配合推定 鉄筋腐食量 強度低下 	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。
----	--------------	---------	--	---------	---	----------	--



●コアの中性化試験の例(ダム)



●コアの軸圧縮試験の例(ダム)

《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 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。 内容: 主として、フェノールフタレイン法	②塩害に関する試験 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(フックの第2法則による)を行う。 内容: 主として、塩化物含有量調査	③アルカリ骨材反応に関する試験 目的: 骨材の反応性、炭素総量等の調査を行い、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。 内容: コアの顕微鏡観察方法(反応性塩物の判定) 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) コアの影響量測定方法 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	④凍害に関する試験 目的: 凍害進行予測、凍害深さの測定を行う。 内容: 細孔構造の調査(細孔量、細孔径分布) 空隙飽和率の調査(空気量、気泡間隔係数) 凍結融解試験	⑤配合推定 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。 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)	⑥鉄筋腐食量 目的: 鉄筋腐食の程度を把握する。 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	⑦強度低下 目的: コンクリートの強度低下の程度を把握する。 内容: 圧縮強度試験、反発法・局部破壊試験による強度推定
--	--	---	---	--	---	---

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	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	◎	○	○	○	A
	鋼等の目視	○	◎	◎	◎	B
	圧縮強度・引張強度・弾性係数	○	○	○	○	A
	配合分析	○	○	○	○	C
	塩化物イオン含有量	○	○	○	○	C
	アルカリ量分析	○	○	○	○	B
	骨材の反応性	○	○	○	○	B
コンクリートの化学組織	細孔構造	○	○	○	○	C
	炭素総量	○	○	○	○	C
	炭分原素(C, O, Si, Al, Fe)	○	○	○	○	C
	X線結晶分析	○	○	○	○	C
	EPMA	○	○	○	○	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: ICV重量分析、DTA赤外線分析とも、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、コンクリートの構成成分中の元素の定性・定量分析を行う。
※: その他丸印は①②③の順位を調査・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

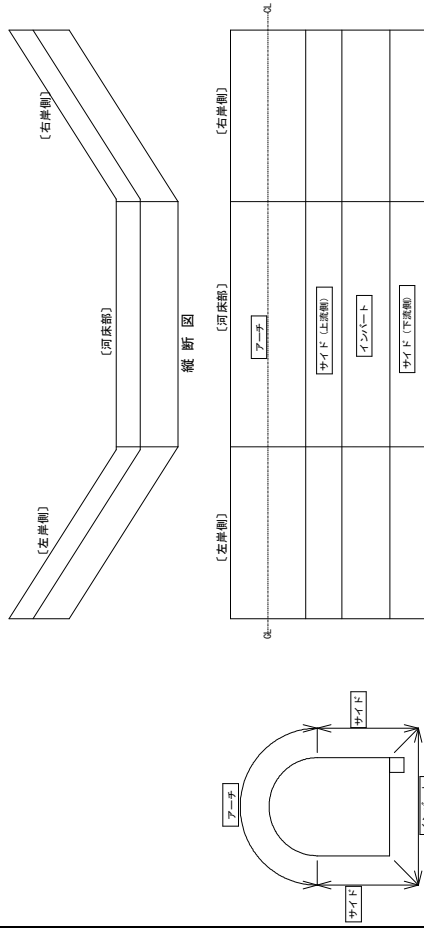
■ 整理番号: ④-1 外観調査

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、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。</p> <p>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。</p> <p>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> <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
------	--

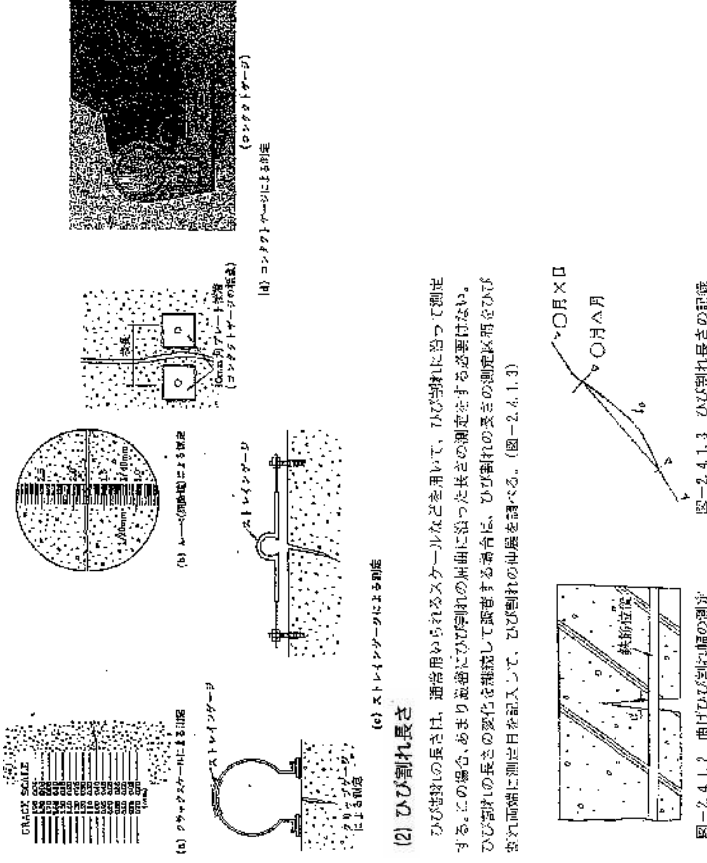
方法	使用機材・資料	調査のポイント	調査の結果・整理
クラック等損傷部の計測	<ul style="list-style-type: none"> 監査廊構造図 クラックスケール ノギス 野帳 	<ul style="list-style-type: none"> クラック調査の具体的な方法は、農村振興局施工企画調整室「開水路などのコンクリート構造物変状対策の手引き（案）」H15.8を参考として実施するよい。 	<ul style="list-style-type: none"> クラックの発生箇所、範囲、長さ、幅
漏水・湧水量の計測	<ul style="list-style-type: none"> 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、継目からの漏水量；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	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 (エプロロッセンス・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
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、外部環境に影響を受けにくく、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
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 ・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ない。
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

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:④-4	室内試験
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
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 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。 内容: 主として、フェノールフタレイン法
②アルカリ骨材反応に関する試験 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。 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
③配合推定 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。 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)
④鉄筋腐食量 目的: 鉄筋腐食の程度を把握する。 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
⑤強度低下 目的: コンクリートの強度低下の程度を把握する。 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

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
	塩化物質の含有率	○	○	○	○	C
	アルカリ骨材反応	○	○	○	○	C
	鉄筋の腐食量	○	○	○	○	C
	膨張量測定	○	○	○	○	C
	細孔分布	○	○	○	○	C
気泡分布	○	○	○	○	C	
コンクリートの 化学組織	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
	主成分分析	○	○	○	○	C

(注) ◎: 中性化・コンクリートの中性化と中性化による鋼材腐食を推定する。
*1: 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定性・定量する分析手法である。
*2: X線マイクログラフアナライザーの解析。コンクリート中の元素の定性・定量分析を行う。
*3: その他凡例は④-3: 腐食調査・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。

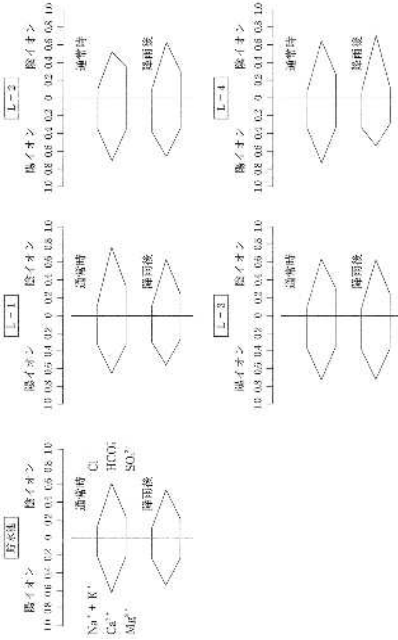


図-6.4.4-34 シュテイフダイヤグラムによる水質の分類図(例)

┌ 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epmg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。

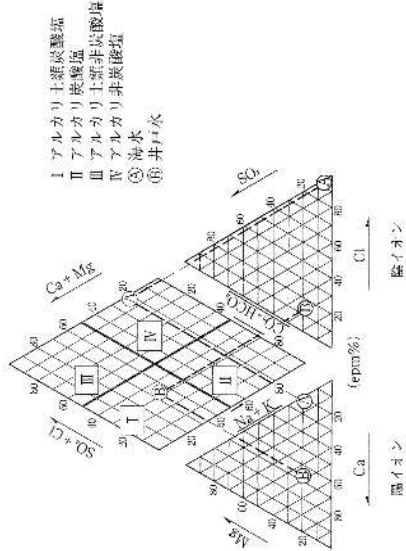


図-6.4.4-35 トリニアダイヤグラム

詳細調査ツールボックス

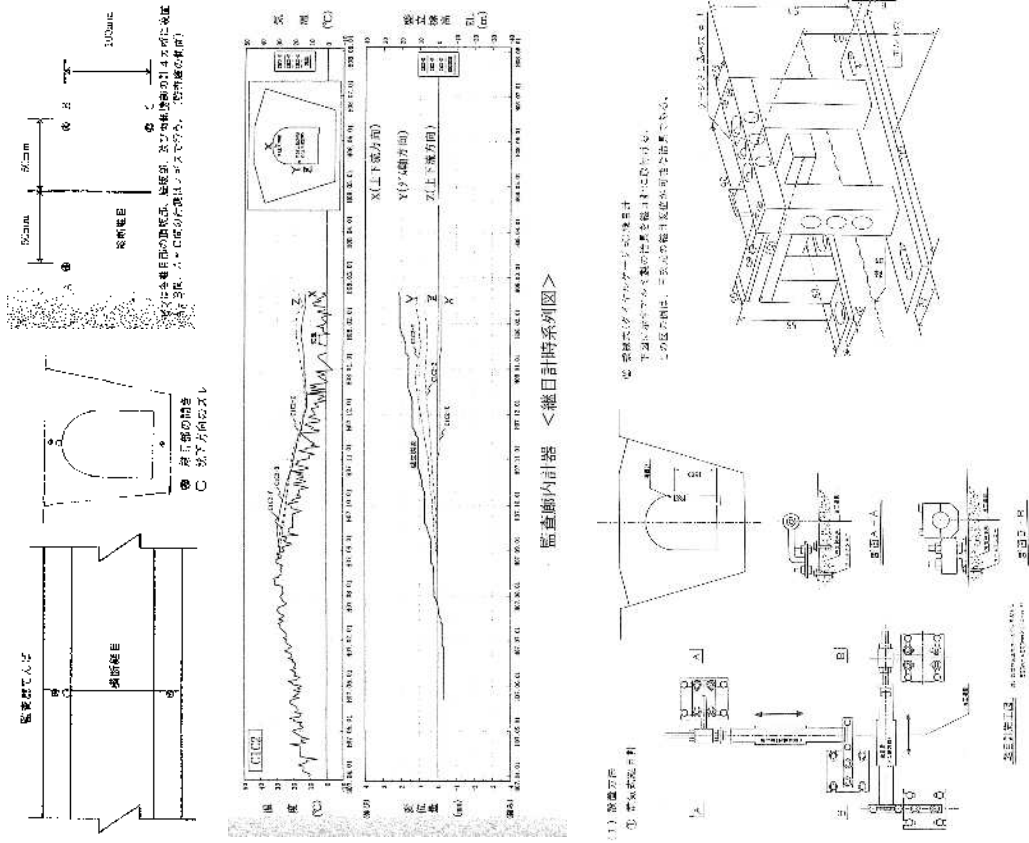
■整理番号:④-5 観測データ処理

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	変状の発生箇所	導流壁・減勢工
変状区分	洪水吐の変形	鉄筋・無筋コンクリート	
構成材料	鉄筋・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)		
該当する重要な変状	<ul style="list-style-type: none"> クラック 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
目視確認	<ul style="list-style-type: none"> 記録用紙(野帳) 洪水吐構造図(主要図の区) スタップ メジャー 	<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。 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、降雨記録などと関連さ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、右岸にある遊水池からのものであり、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 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。また標点間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。

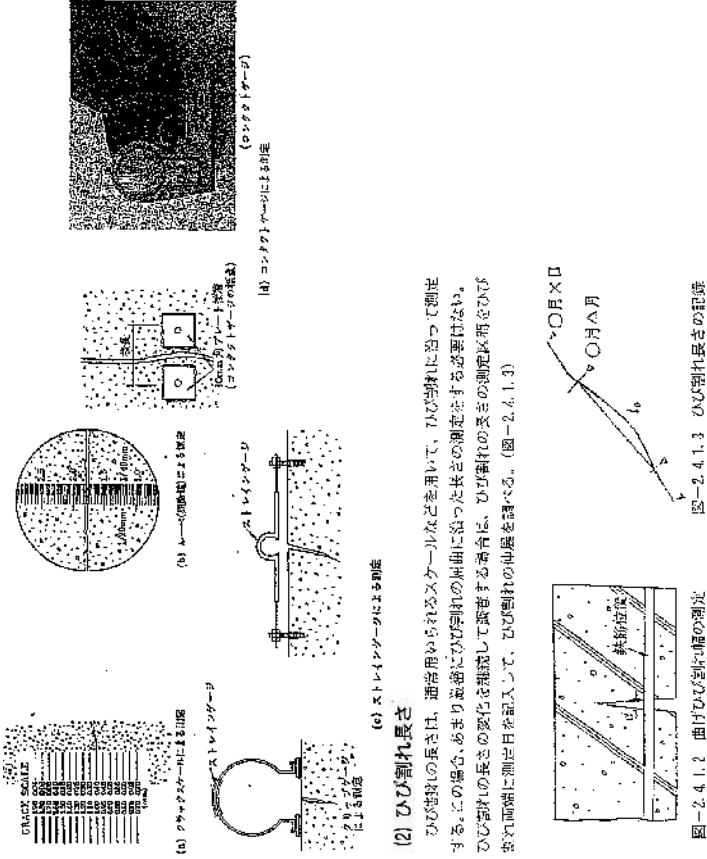


図-2.4.1.1 曲げひび割れ幅の測定

●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。具体的な方法は、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)：
写真は調査箇内での試験状況

《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こと、構造劣化を迅速に検出することなどに利便性があることから、

- ① 詳細部を照会する等の予備的な試験
- 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、作り等の詳細な調査を望みたい場合に用いられる。

上記のような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、打撃方向、被験物の形状、コンクリート表面の平滑度などの外的要因やコンクリート上の配合成分、養生条件、初期、硬化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値が必ずである。

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。

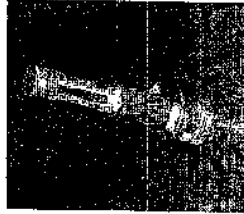


図-2.4.3.1.1 テストアンビル(シュミットハンマー取付例)

(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、測定箇所を正面に對して直前に位置し、強く力強い打撃を加えるようにして打撃する。

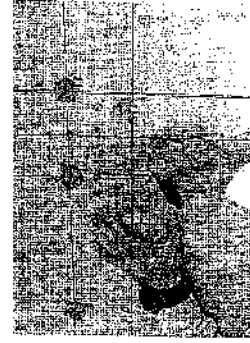


図-2.4.3.2 プレートを用いたマーキング例

●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	
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	◎	◎	○	○	C
弾性波を利用する 方法	鋼材引張強度	○	○	◎	◎	B
	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

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

(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。

●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

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、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	・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	・コンクリート試験機材
調査のポイント	・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
結果の整理・評価	・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 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。 内容：主として、フェノールフタレイン法
②塩害に関する試験 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。 内容：主として、塩化物含有量調査
③アルカリ骨材反応に関する試験 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。 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
④凍害に関する試験 目的：凍害進行予測、凍害深さの測定を行う。 内容：細孔構造の調査（細孔量、細孔径分布） 空疎構造の調査（空気量、気泡間隔係数） 凍融試験
⑤配合推定 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。 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）
⑥鉄筋腐食量 目的：鉄筋腐食の程度を把握する。 内容：鉄筋の腐食面積率 鉄筋の腐食による減少量の算出
⑦強度低下 目的：コンクリートの強度低下の程度を把握する。 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

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					劣化機構の 適用可能性
		中性化 ※1	塩害	凍害	化学的 侵食	7日切 骨材反応	
採取したコアによる 試験	中性化深さ	◎	○	○	○	○	A
	外観調査、ひび割れ深さ	○	○	○	○	○	B
	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	○	○	○	○	○	C
	細孔径分布	○	○	○	○	○	C
コンクリートの 化学組成	空気（水）量試験	○	○	○	○	○	C
	熱分析（G, DTA）※2	○	○	○	○	○	C
	X線解析	○	○	○	○	○	C
	EPMA ※3	○	○	○	○	○	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線分析は、コンクリートの組成を、試料中の元素の定性・定量分析を行う。
※その他の例は「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低抵抗の急変、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 	短時間、測定値がゼロまたはオオオーバー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	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、その前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定して発生している	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(鉛直変位計)	○ ・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 	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とによって変動する ×
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(修復の可能性あり)
×: 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場合は、異常とはいえない

●「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

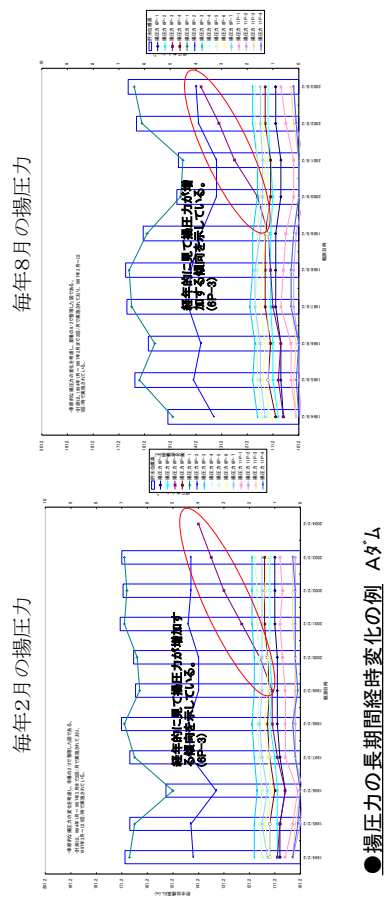
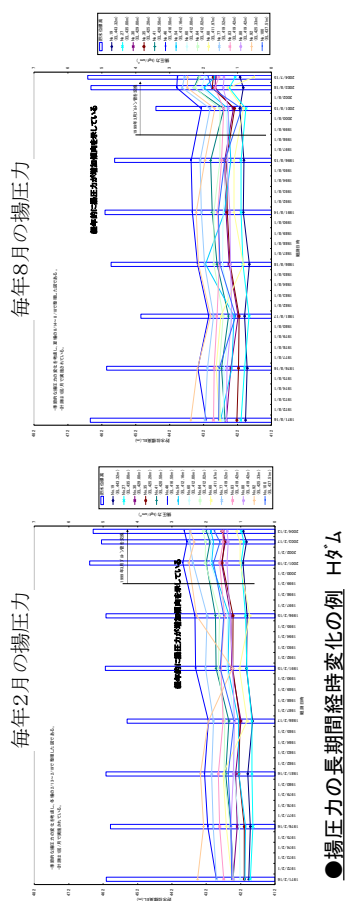
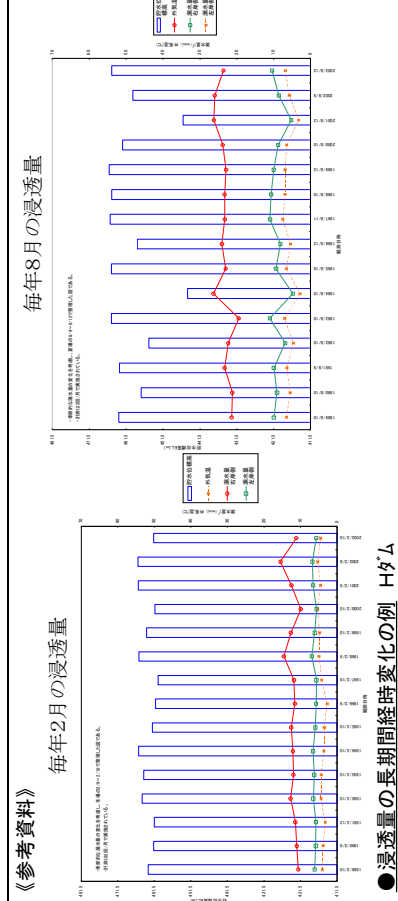
■整理番号:⑥-2 観測データ処理

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)
------	-------------------

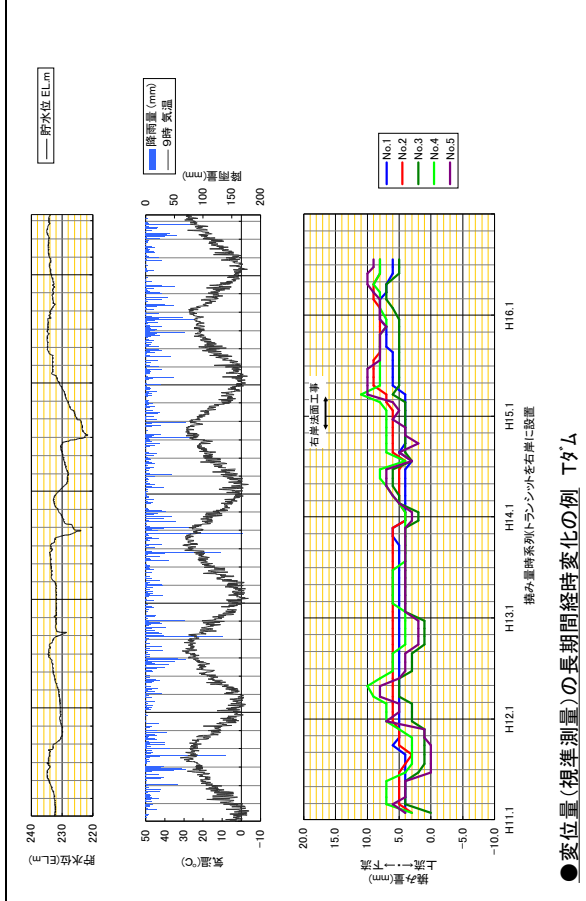
※調査のポイントは総研資料「農業用ダム挙動観測に関する技術資料」より転載した。

方法	使用機材・資料	整理の方法・測定値の評価
浸透量計測値の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透量 (計測値) ・貯水位データ 	<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水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	<ul style="list-style-type: none"> ・ブルドン管式圧力計 (計測値) ・間隙水圧計 (計測値) ・貯水位データ 	<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い、安全性を確認する。揚圧力に異常がある場合、漏水量に異常を伴うことが多いため、クロスチェックを行う。 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。

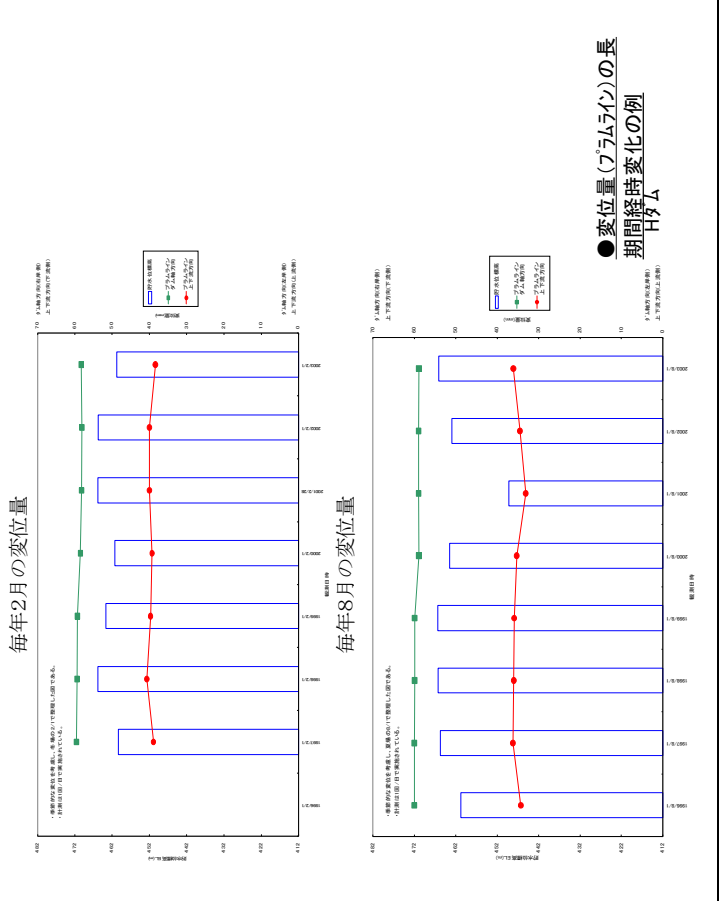


■整理番号:⑥-2 観測データ処理

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、 ・観測を記録 ・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・計測対象斜面および目的</caption> <tr> <th>監視・計測対象斜面</th> <th>目的</th> </tr> <tr> <td>対策工前工斜面</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	対策工前工斜面	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									
対策工前工斜面	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
貯水位上昇時	1回/1週	バッチデータ（逐次値）の入手
貯水位下降時	1回/1日	貯水位が低く、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 ○ 地下水調査 ○ 土質調査：すべり面の強度の把握 ○ 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 ○ 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
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	<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。 	

《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

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

ダムタイプ	共通項目	変状の発生箇所	ゲラチング、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、土質ブラッキング		
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	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（ブラケット） 	<ul style="list-style-type: none"> ・池敷の土質ブラケットは、通常のダム運用時（貯水時）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 ・メガヤヤー 	<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	ゲラリチング、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 スタップ 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

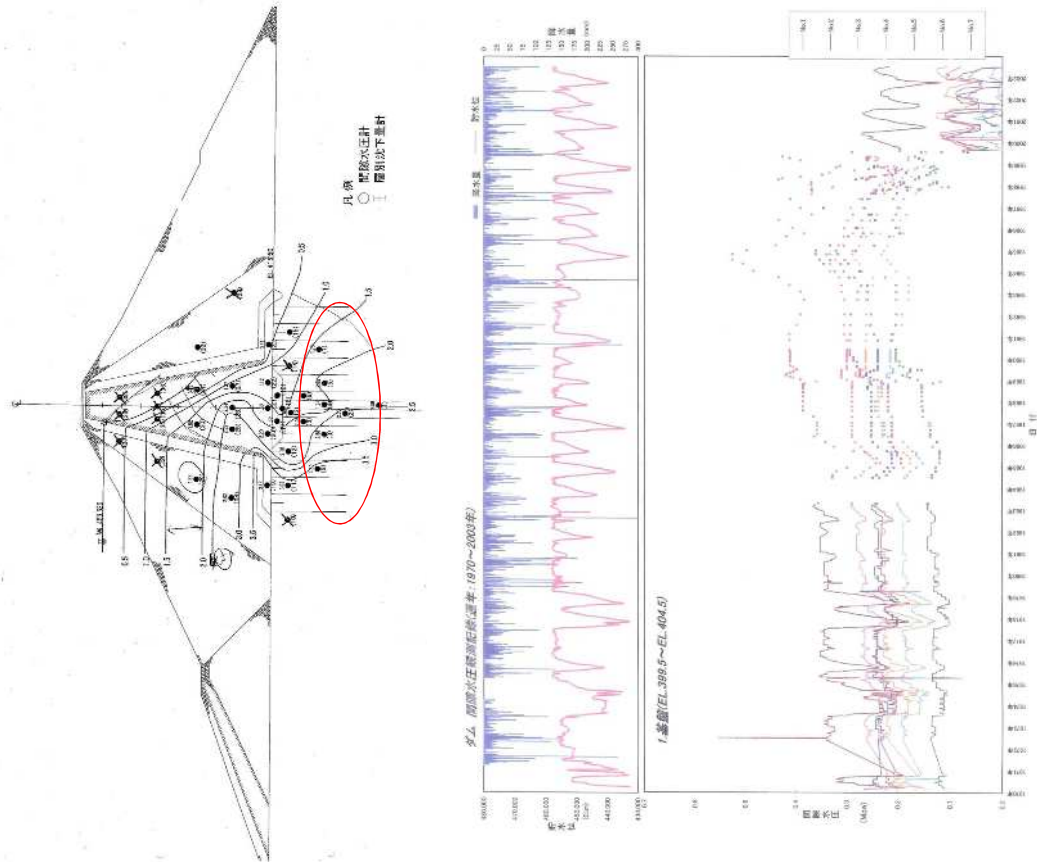
整理番号: ④-4

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（ブランクット）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 Koyana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)