

2.5 各工法の特徴及び工法選定

補強・復旧（補修）工の各工法の工法選定フローを以下に示す。

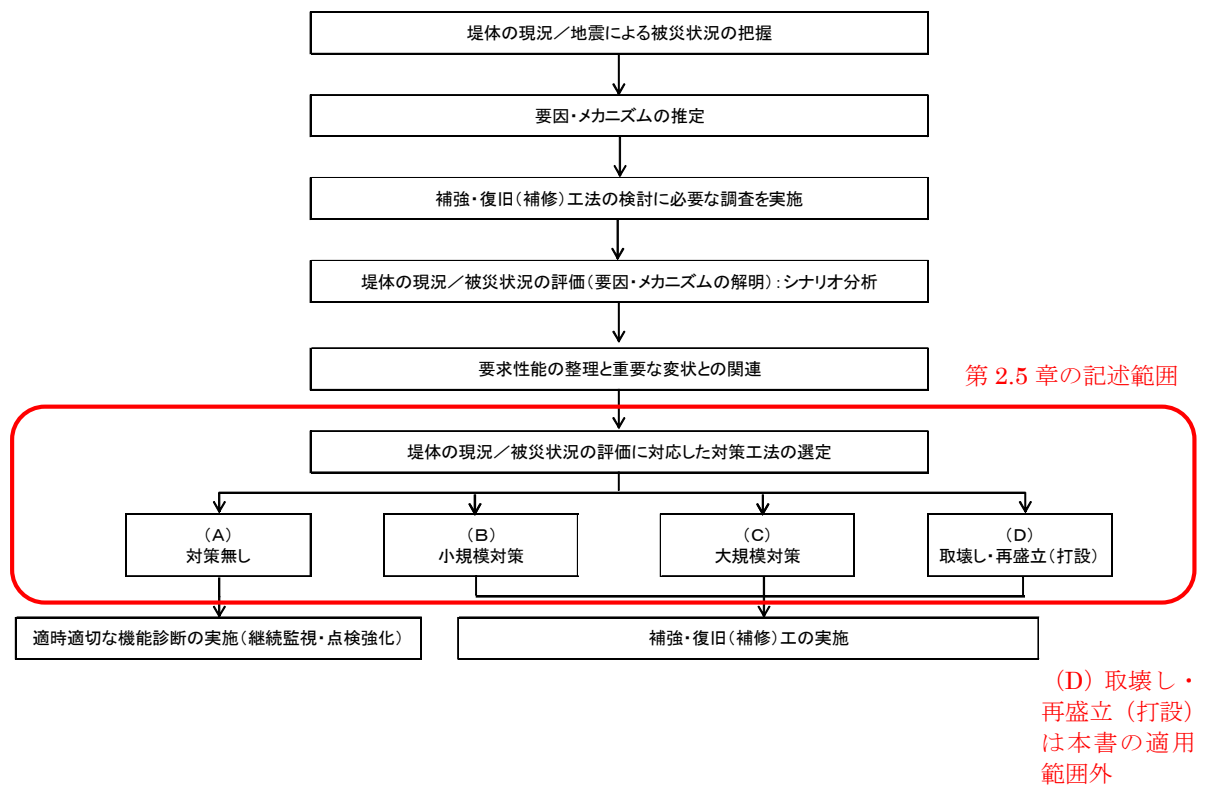


図-2.5.1-1 補強・復旧（補修）工の実施フロー

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

2.5.1 補強工法

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

※参考資料：農村工学研究所技報 第206号、ダム技術 No.227

(1) フィルダム

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

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

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

注)「変状及び発生要因」と「対策工法」の関係の分類

○: 主目的で効果を見込む

△: 副次的な効果を見込む

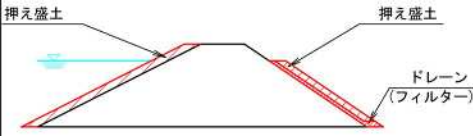
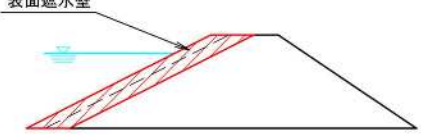
【補強工法選定時の留意点】

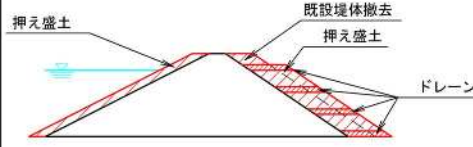
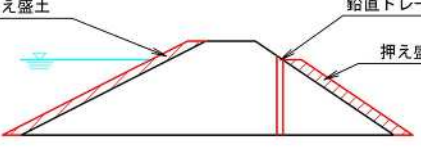
押え盛土工法を採用した場合、築堤材は貯水池内地山を掘削して入手することが考えられる。このケースにおいて、貯水下にあった材料を使用する場合、含水比が高く強度や施工性に問題があり、砕石などの良質土を一定割合で加え粒度調整して使用することが多い。

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

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

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

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

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

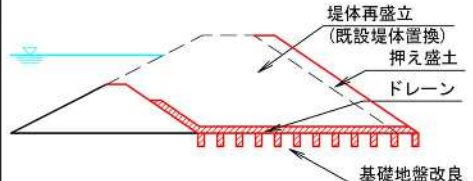
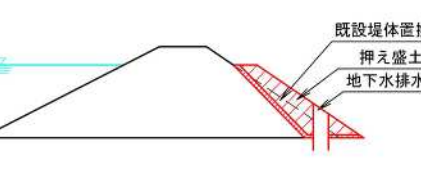
	改良工	
	ケース4-1: 地盤改良+堤体置換(押え盛土)	ケース4-2: カットオフドレーン+押え盛土
概要図		
工法概要	堤体基礎の砂質地盤等の地盤改良(サンドコンパクション、パイロコンパクション等)によって、基礎の液状化を抑制する。地盤改良の工法によっては、堤体に損傷を与える可能性があるため、堤体の一部置換(押え盛土等も含む)、地盤改良後に堤体の再盛立が必要となる。	堤体基礎の砂質地盤等にカットオフ等の地下水排水工を設置して、基礎の液状化を抑制する。また、必要に応じて基礎のグラウト、堤体上下流法面の押え盛土工を行う。※旧堤、新堤及びドレーン材の粒径に差があり透水係数の差が大きくなると、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	ダウエリング (+補強杭 +鋼材 補強)	アンカー 補強	追加 グラウ チング
		機能	機能低下 事象	腹付	マットコン クリート				
				ケース1-1	ケース1-2	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
①ひび割れ	ひび割れの発生、進展	水理的 安定性	I-1	△	△	△	△	△	
		構造的 安定性	II-1,3,4	○	○	○	○	○	
	堤体下流面からの漏水の 発生、増減	水理的 安定性	I-1	△	△			○	
		構造的 安定性	II-3,4	○	○			○	
②止水板や充填グラウトの 損傷	継目の開き	構造的 安定性	II-1,4,6	○	○	○	○	○	
	継目排水管からの 浸透量の増大	水理的 安定性	I-1	△	△	△	△	△	
		構造的 安定性	II-1,3	○	○	○	○	○	
③断面不足	堤体の不安定化	構造的 安定性	II-2	○	○	○	○	○	
④基礎処理不足	基礎排水孔からの 浸透量の増大	水理的 安定性	I-1,2	△	△				○
		構造的 安定性	II-1,3,4	○	○	○	○	○	○

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

【補強工法選定時の留意点】

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

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

	ケース2: 鋼材補強	ケース3: ダウエリング+補強杭+鋼材補強
概要図		
工法概要	<p>クラック発生箇所を鋼材で補強し、引張・せん断に抵抗させる。管理用の通廊(トンネル)を設置する場合には、通廊を鉄筋コンクリート構造としたり、トンネル内空面に鋼材の貼付けを行う(ダウエリング)。</p>	<p>クラック発生箇所に鋼材を貼付け、挿入することで、引張・せん断に抵抗させる。管理用の通廊(トンネル)を設置する場合には、通廊を鉄筋コンクリート構造としたり、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。

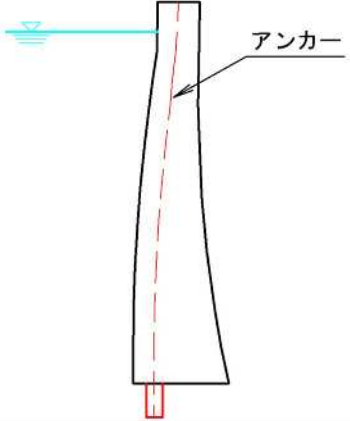
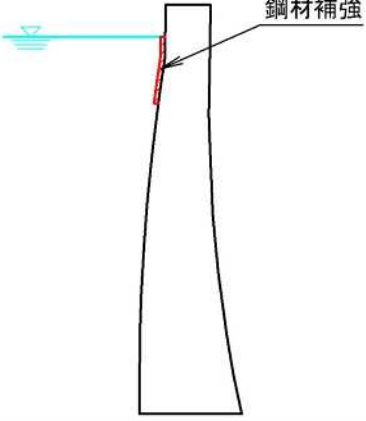
ケース2: アンカー	ケース3: 鋼材等による補強
	
<p>アンカーの設置により、引張応力の発生を抑制したり、ジョイント(横断面)のズレを抑止する。</p>	<p>局所的な引張応力の発生に対する補強を行う。</p>

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）

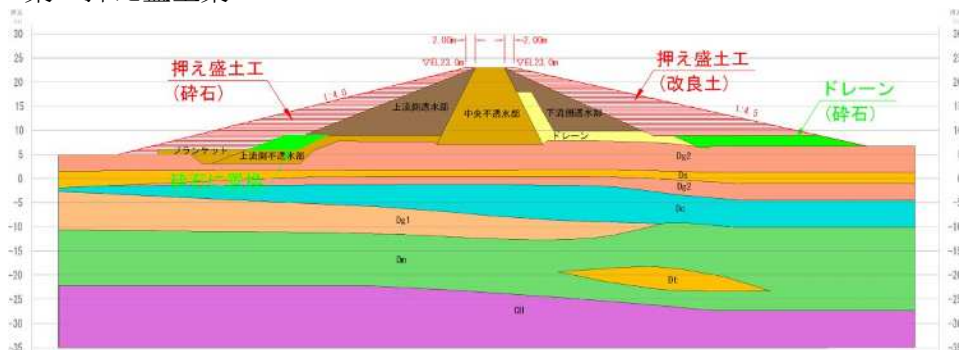
【補強工法の考え方】

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。

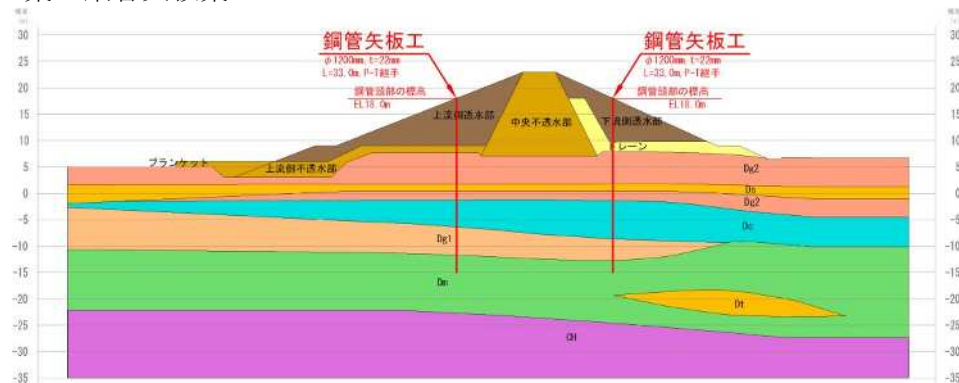
耐震補強工法の選定にあたっては、既存の補強事例から工法を 3 つ抽出し、この中から、経済性（直接工事費）より、第 1 案（押え盛土工法）を選定した。

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

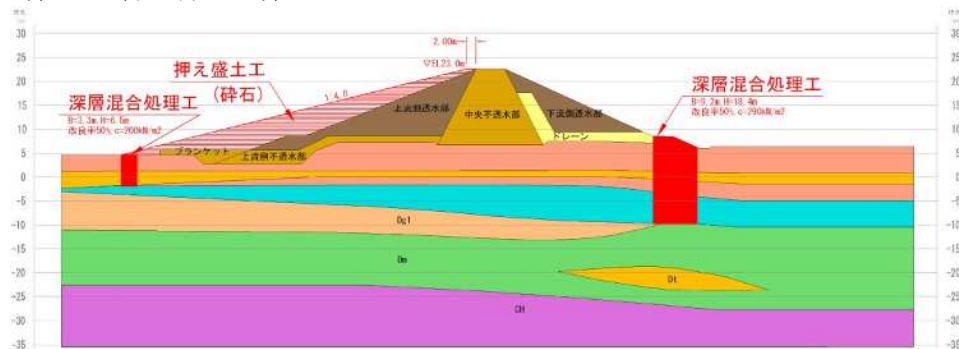


図-2.5.1-5 補強工法比較検討図（初立池）

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。

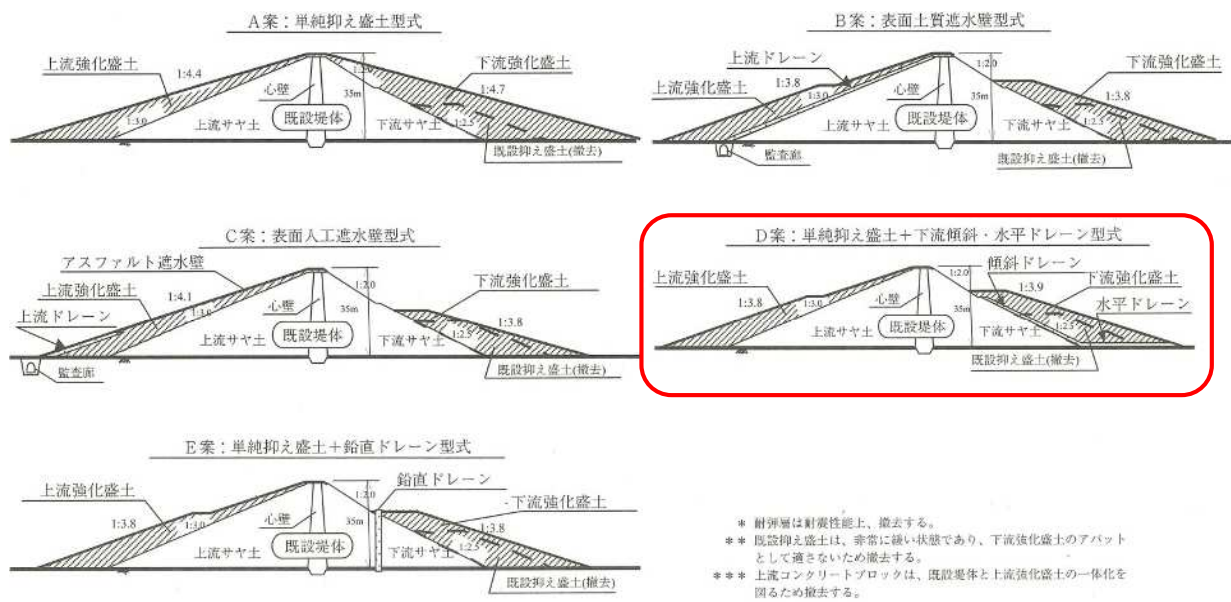


図-2.5.1-6 補強工法比較検討図（山口貯水池）

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

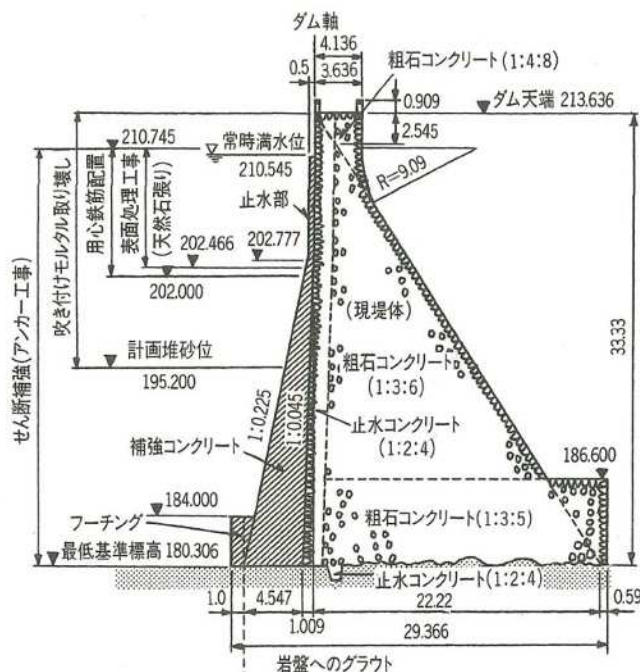


図-2.5.1-7 補強工法図（布引五本松ダム）

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								
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

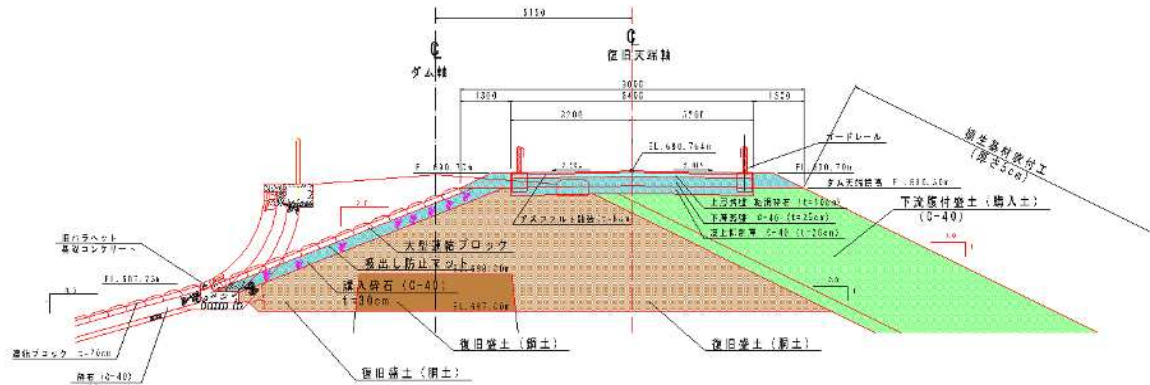


図-2.5.2-3 羽鳥ダム復旧(補修)横断図

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、購入砕石による盛土を行う

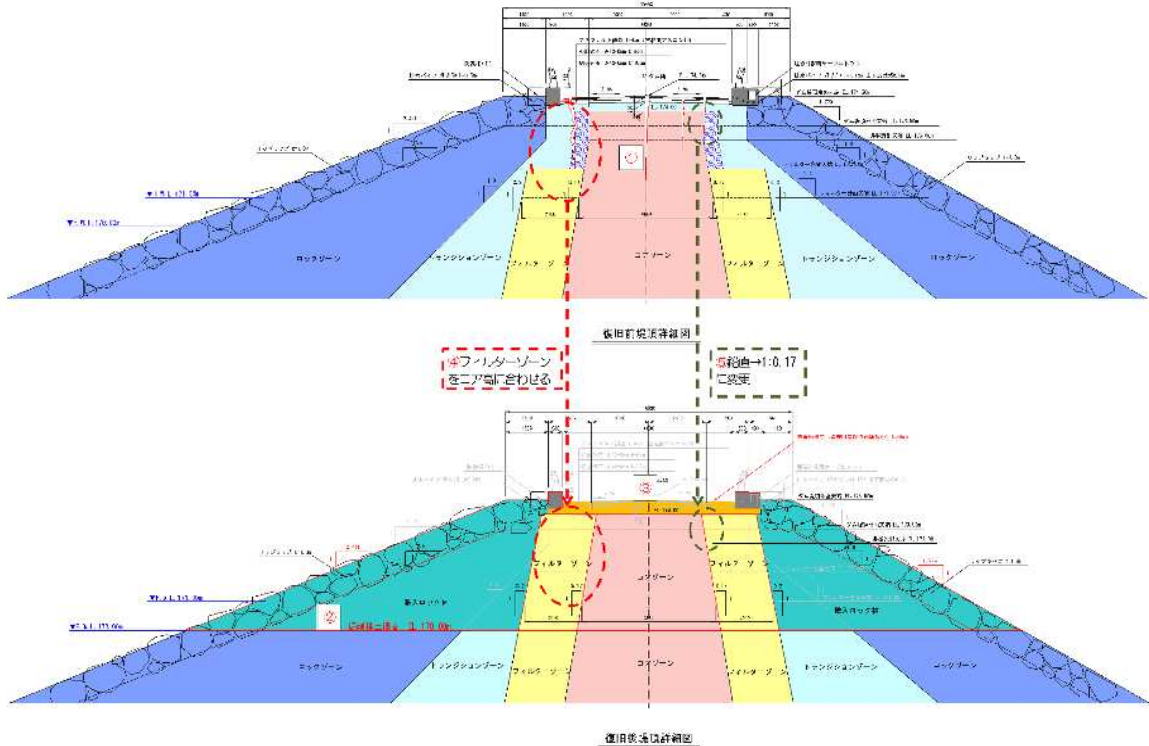


図-2.5.2-4 大柿ダム復旧(補修)横断図

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(パラベツ)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)

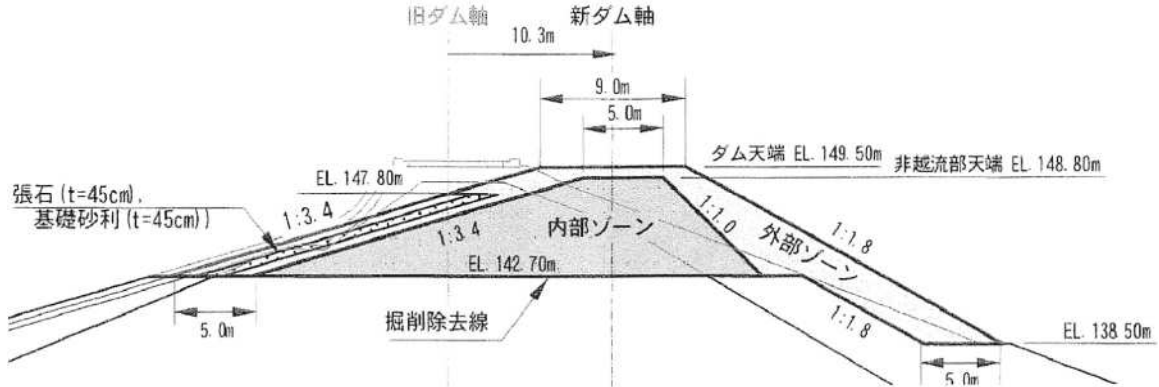


図-2.5.2-5 衣川1号ダム復旧(補修)横断面図

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。

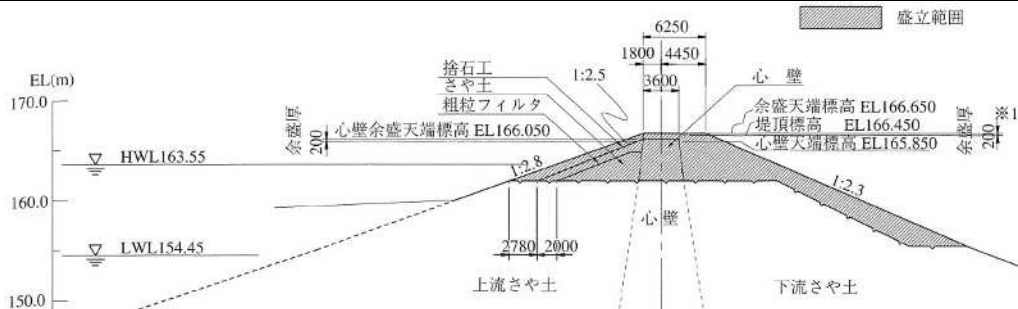


図-2.5.2-6 浅河原調整池復旧(補修)横断面図

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

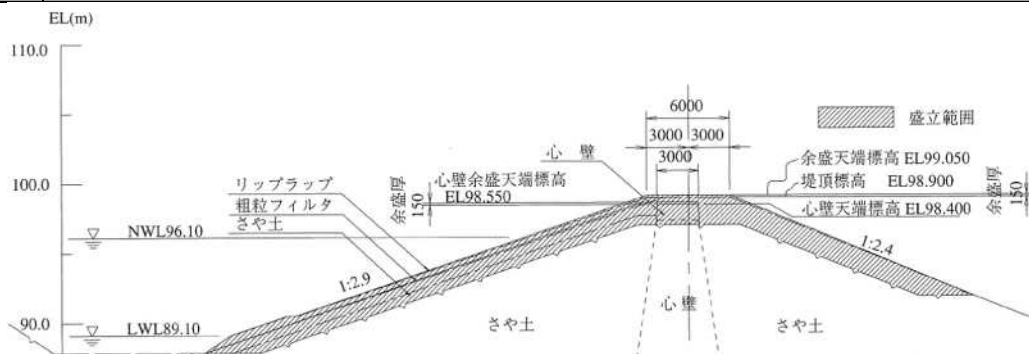


図-2.5.2-7 山本調整池復旧(補修)横断面図

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

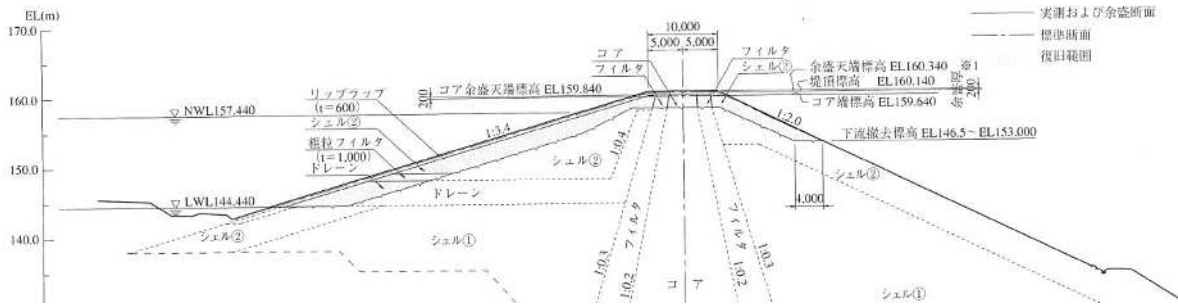


図-2.5.2-8 山本第二調整池復旧(補修)横断図

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し盛土的に築造(既設堤体は遮水性不足であったものの安定していた)した ・基礎地盤表層は止水性に欠ける箇所があったため、約8.5m掘り込んだ止水トレンチから深度18mまでグラウチング行った

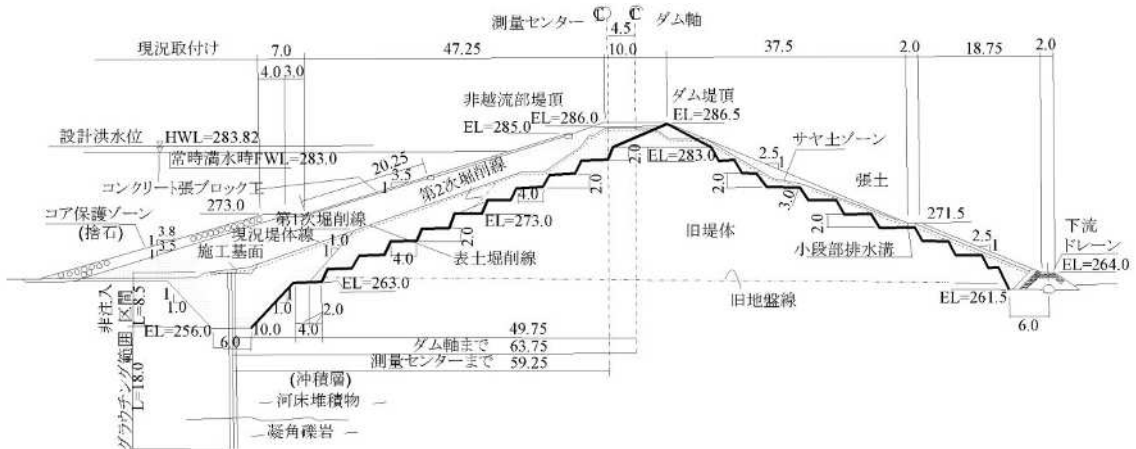


図-2.5.2-9 蛭沢ダム復旧(補修)横断図

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

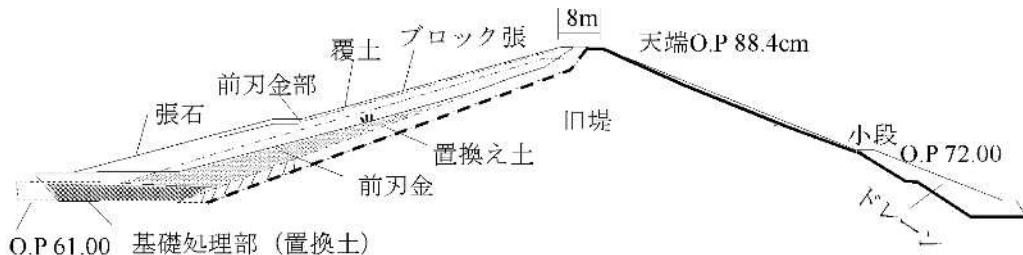


図-2.5.2-10 光明池復旧(補修)横断図

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。

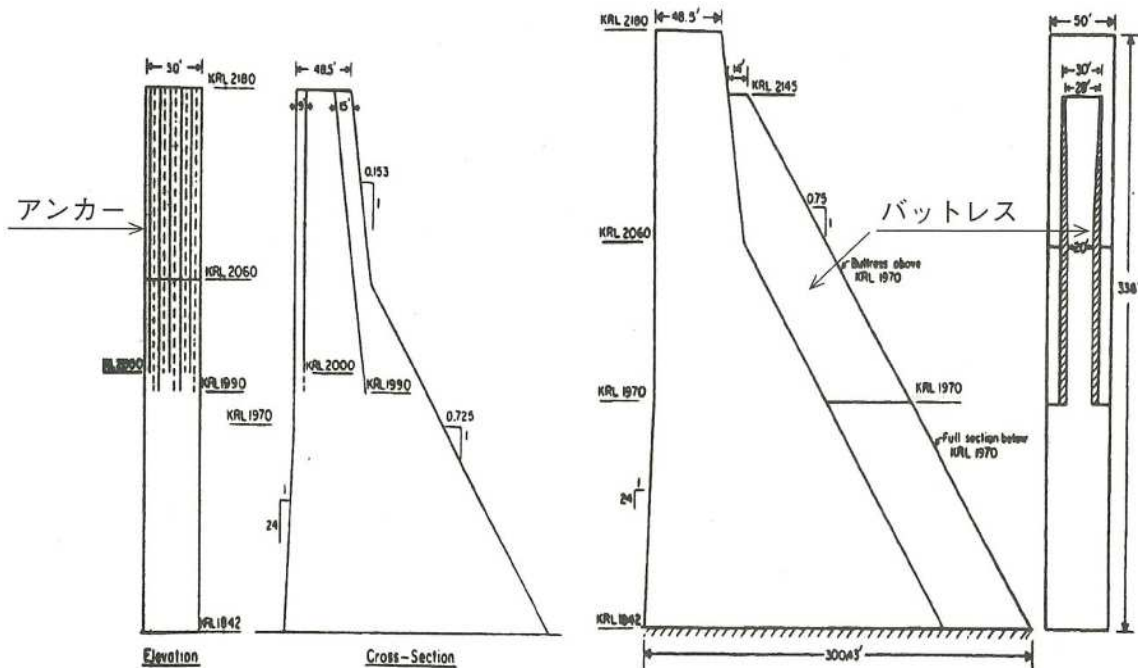


図-5 Koyna ダム補修工概要図

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。

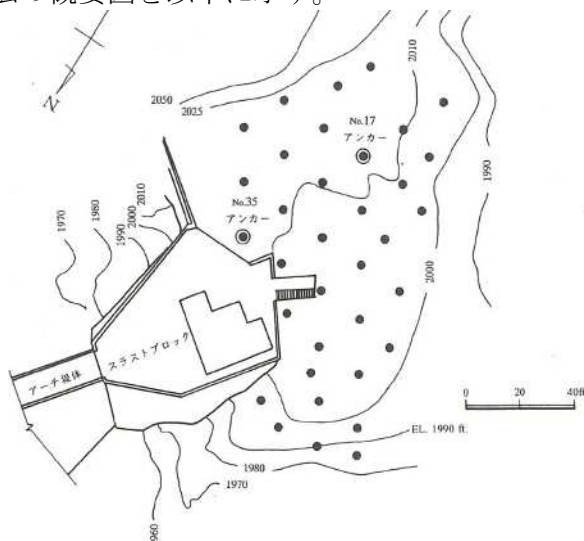


図-2.5.2-13 Pacoima ダム 左岸アバットメントのアンカー位置図（単位：ft）

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）。

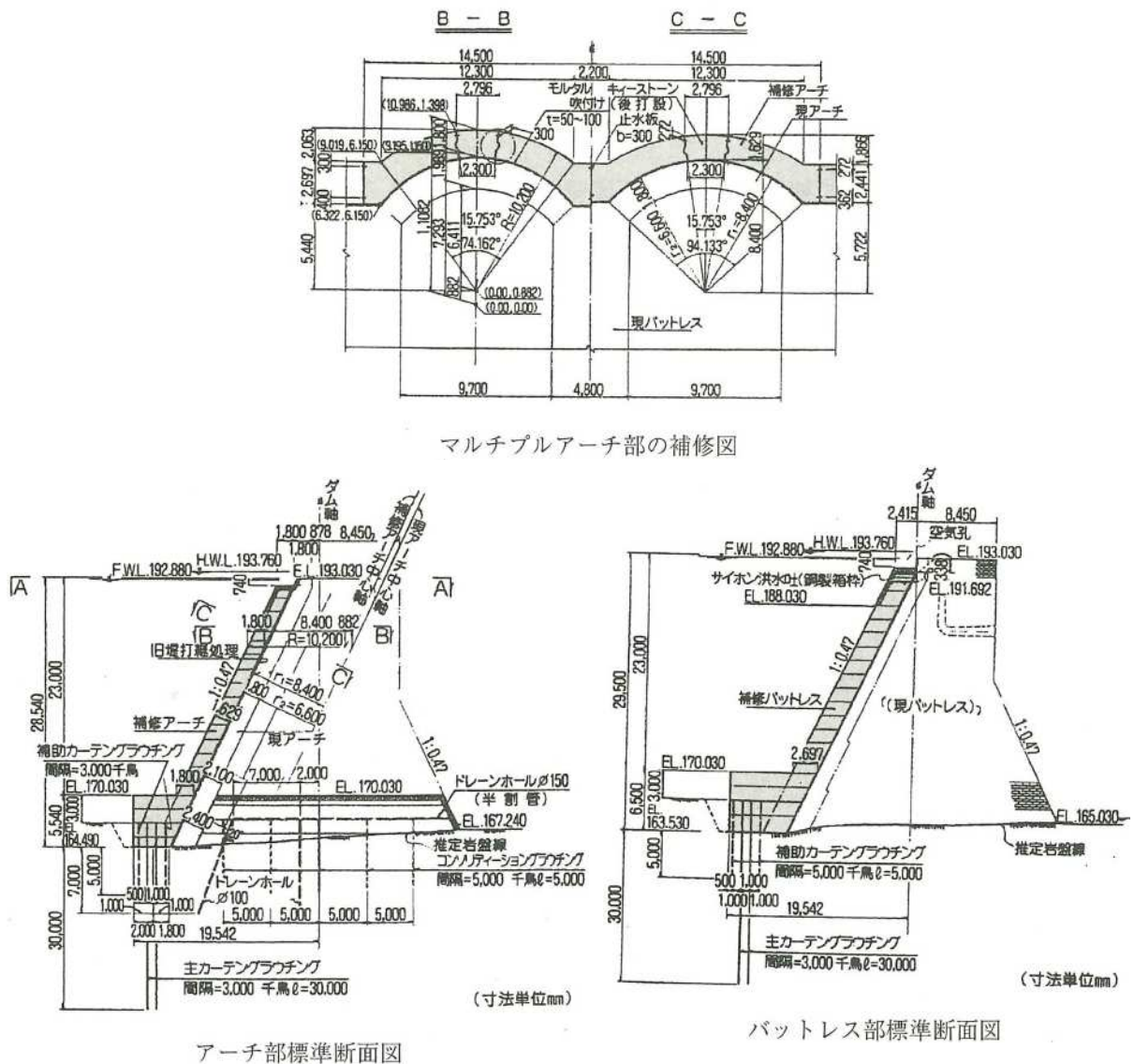


図-2.5.2-14 豊稔池ダム補修概要図（網掛け部：上流新設コンクリート）

※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