

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。

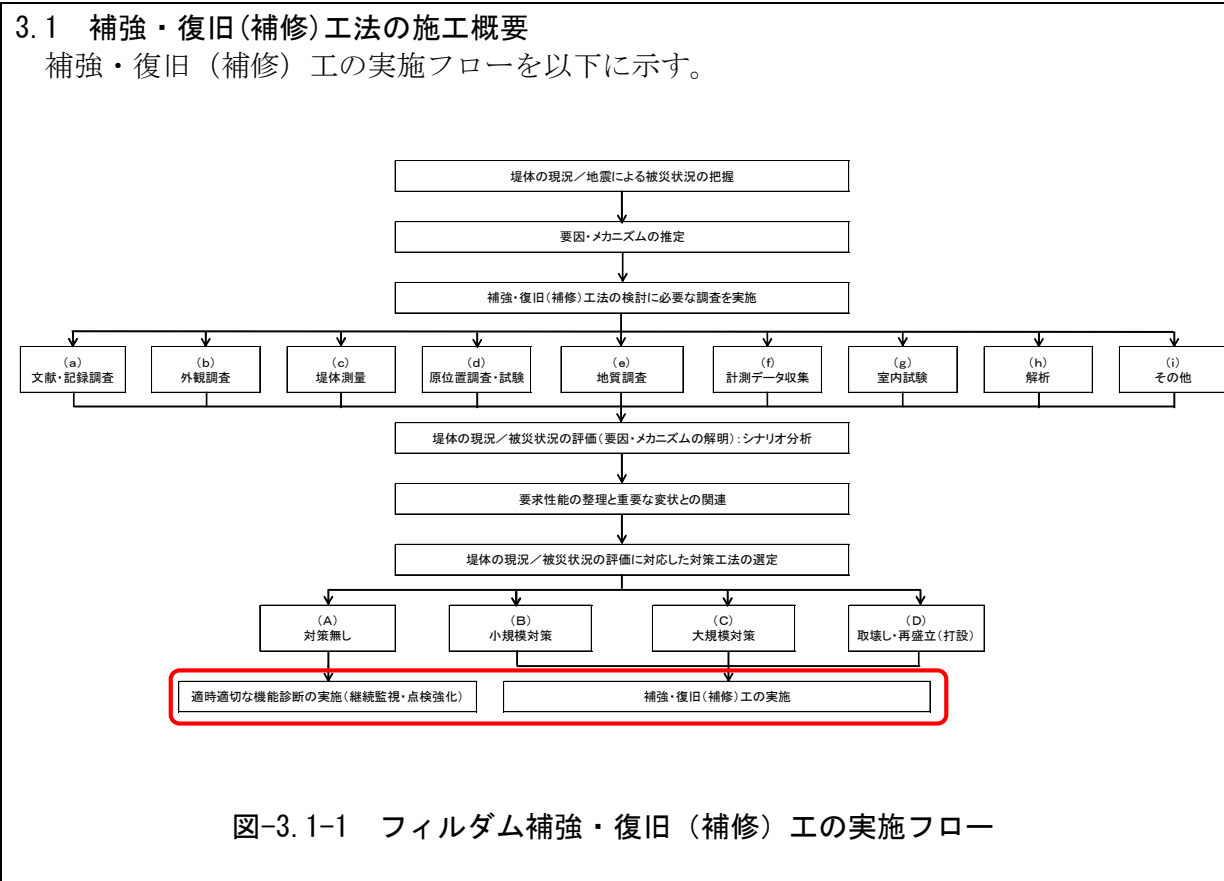


図-3.1-1 フィルダム補強・復旧(補修)工の実施フロー

(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

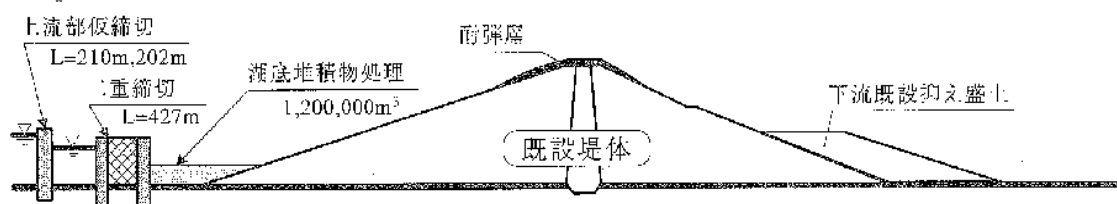
I. 耐震補強工事事例（山口貯水池（埼玉県）、平成10年～14年）

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。

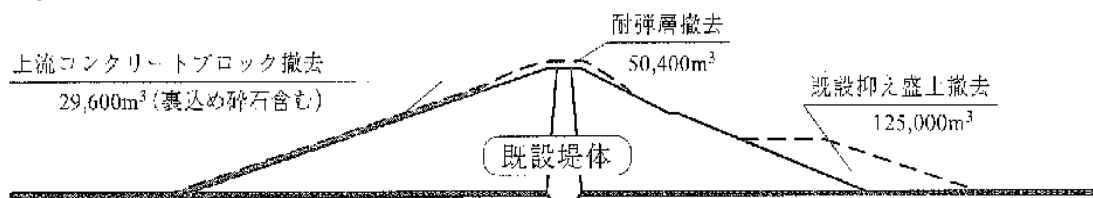
step.1: 準備工事（仮締切工・湖底堆積物処理）



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。

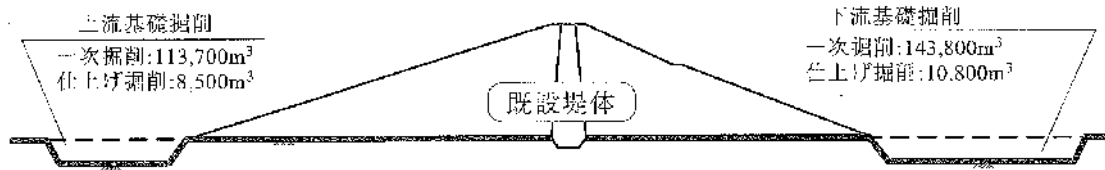
step.2: 耐弾層・既設抑え盛土・上流コンクリートブロック撤去



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

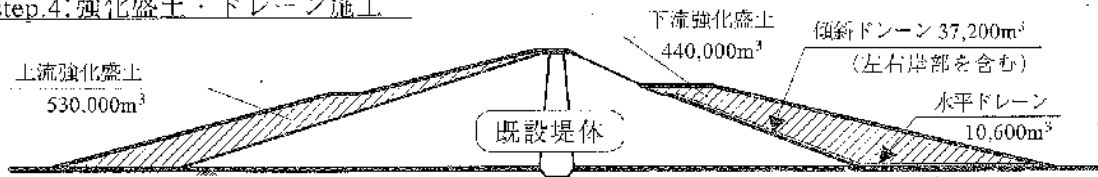
強化盛土材料は、貯水池内に分布する多摩ローム、芋窪レキ層を対象とした室内試験の結果、密度及びせん断強度、賦存量等から芋窪レキ層が使用可能と判断した。

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。