

第2章 ダム本体

2.1 概要

わが国における高さ15m以上のダム及び堰は約2,800あるといわれ、このうち明治以前に建設されたダムのほとんどはアースダムであり、コンクリートダムは明治以降になってようやく近代的な設計理論に基づき建設され始めている。

特に、戦後の復興や産業の発展、生活水準の向上など、時代のニーズの変化に追随する形で多くのダムが建設されてきたが、これらの中には現在の安全基準で安定性等を照査した場合に、補修や補強の対策を必要とするものもある。また、新規開発に対し環境保全や経済情勢の問題など、社会環境の変化に伴う課題が多いのも実状である。

これらの対応として、ダム本体の上下流面補修や補強等の維持管理の他、嵩上げを中心とした既存ダム活用による再開発など、多くのダムにおいてリニューアルが実施されている。

本章では上記の状況を踏まえ、堤体表面の補修、増厚を中心とした堤体補強、機能向上を主目的としたダム本体の嵩上げ、洪水吐ゲートの改良の4項目について現況を述べる。

2.1.1 リニューアルの現況

今回調査したダム本体のリニューアル件数は、表-2.1.1(1)、表-2.1.1(2)に示す68ダムの73件であり、これらにおける全般的な傾向は以下のとおりである。

(1) 経年別について

全体の半数以上が、ダムの建設後50年以上経過したダムにおいて実施され、全体としては30年以上経過したものが多くなっている。特に、堤体の補強に区分される事例の約80%については、建設後約70年以上経過したダムが主体となっているのも特徴である。

・経年別内訳

10年以内-----2件	11～20年-----6件	21～30年-----6件
31～40年-----12件	41～50年-----9件	51年以上-----38件

(2) 事業者別の傾向

全調査件数73件を事業者別に整理すると、以下のとおり電力関係が全体の約半数を占める。

・全73件の内訳

電力関係-----33件 (45%)	都道府県関係-----24件 (33%)
国関係-----8件 (11%)	市町村関係-----6件 (8%)
その他-----2件 (3%)	

また今回対象とした上記の73件の調査件数についてリニューアルの区分別に見た場合、これらに占める電力関係のダムの割合は以下のとおりとなっている。特に洪水吐ゲートの改良については、多くが電力関係となっている。

・電力関係ダムの割合

・堤体表面の補修-----	14/22件(64%)
・堤体補強-----	3/11件(27%)
・ダム本体の嵩上げ-----	3/24件(13%)
・洪水吐ゲートの改良-----	13/16件(81%)

計 33/73件(45%)

表-2.1.1 (1) ダム本体のリニューアル一覧表

	ダム名	ダム型式	堤高 (m)	堤頂長 (m)	所在地	事業者	元完成 (年度)	再完成 (年度)	経過年数	備 考	
表面の補修	コンクリートダム	ナルコ 鳴子	A	94.5	215.0	宮城県	建設省	1958	2000	42	コンクリート打設10m ³ 。
		ジツ 十曾	G	23.4	90.0	鹿児島県	鹿児島県	1946	1964 2004	20	1.5mはつり、新設コンクリートを打設。
		アカイン 赤石	G	19.8	59.0	青森県	東北電力	1955	2003	48	-
		カドマリ 鷹泊	G	35.0	170.5	北海道	北海道	1953	2002 2003	49	越流面全面及び減勢工水叩き部を50～130cm切削取り壊し、補修用コンクリートを2,100m ³ 打設。
		ク ブス ダイニ 久婦須第二	G	18.6	82.5	富山県	北陸電力	1941	2003	62	老朽箇所コンクリートはつり、撤去、新設コンクリート打設、全面越流式⇒取水設備クレストゲート撤去。
		イザリガワハツテンシヨ 漁川発電所堰堤	G	2.5	-	北海道	雨龍電力	1944	2001	57	樹脂アンカー(φ13～19)2500本の設置とコンクリート100m ³ を打設。
		ヤマヌバル 山須原	G	29.4	91.1	宮崎県	九州電力	1932	2001	69	下流越流部の打替え(t=150mm)。
		ホロマンガワダイサン 幌満川第三	G	42.5	186.3	北海道	日本電工	1974	1998 2002	24	劣化部150mmはつり、コンクリートを打設。
		ミウラ 三浦	G	83.2	290.0	長野県	関西電力	1945	1996	51	-
		カモガワ 鴨川	G	43.5	97.0	兵庫県	近畿農政局	1952	1995	43	劣化部をはつり、コンクリートを打設。
		ホウホクイケ 豊稔池	MA	30.4	128.0	香川県	香川県	1930	1994	64	2100m ³ を切削取壊し、補修用コンクリート2100m ³ を打設。
		イ ナ ガワ 伊奈川	G	43.0	105.0	長野県	関西電力	1977	1993	16	堤体越流面を厚さ30cmではつり、コンクリートを打設。
		ヨカキ 読書	G	32.1	293.8	長野県	関西電力	1960	1986	26	劣化部をはつり、コンクリートを打設。
		オオマタザウ 大又沢	G	18.7	90.4	神奈川県	東京電力	1916	1984	68	-
		スケノバ 祐延	G	45.5	125.5	富山県	北陸電力	1931	1969	38	凍害箇所を切削撤去し、20～25cm厚で打設。
	コヤダイラ 小屋平	G	51.5	119.7	富山県	関西電力	1936	2003	67	右岸排砂路L=50m、堤体導流壁L=25m、左岸排砂路L=45+24m。	
	オダギリ 小田切	G	21.3	143.0	長野県	東京電力	1954	2006	52	-	
	フィルダム	ニノクラ 二の倉	FA	37.0	112.9	青森県	青森県	1970	2003	33	-
		コウノ ヤマ 高野山	FA	33.0	380.0	新潟県	東京電力	1971	2001	30	-
		スマツハラ 沼原	FA	38.0	1,597.0	栃木県	電源開発	1973	1993	20	78,000m ²
ミナセ 皆瀬		R	66.5	215.0	秋田県	東北地建	1962	1990	28	-	
フタバ 双葉		FA	61.4	247.9	北海道	北海道開発局	1985			-	
堤体の補強	コンクリートダム	オオマタザウ 大又沢	G	18.7 18.7	87.44 90.4	神奈川県	東京電力	1916	1984	68	下流面にコンクリート増し打ち、排砂門を自然越流型に変更。
		タイシヤウカワ 帝釈川	G	62.1 62.1	35.2 39.5	広島県	中国電力	1924	2006	82	下流面にコンクリート増し打ち。上部を切欠き、洪水を増設。
		イイデ ガワダイイチ 飯豊川第一	G	34.848 36.6	50.1 50.1	新潟県	東北電力	1915	2001	86	下流面にコンクリート増し打ち。常駐管理から自然越流式に変更。
		センボンチヨスイチ 千本貯水池	G	11.5 15.5	99.5	島根県	松江市	1918	1991	73	カーテングラウト工を実施。堤体充填グラウト工を実施。
		ヌヒキゴホンマツ エンテイ 布引五本松堰堤	G	33.3 33.3	110.3 110.3	兵庫県	神戸市水道局	1900	2005	105	上流面にコンクリート増し打ち。遮水目的のグラウト工実施。
	マガリフチ 曲淵	G	43.0 45.0	160.6 160.6	福岡県	福岡県	1923	1992	69	既設堤体上流面にコンクリートを増し打ち。	
	フィルダム	ヤマクラ 山倉	E	22.5	300.0	千葉県	千葉県企業庁	1964	2003	39	堤体基礎地盤の液状化抵抗性向上。
		アカソフ タメイケ 赤祖父溜池	E	31.8	200.2	富山県	富山県	1944	1999	55	旧堤体上下流面に補強盛土及び基礎処理工を追加施工。
		ヤマグチチヨスイチ 山口貯水池	E	35.5	716.0	東京都	東京都水道局	1934	2002	68	耐摩層を撤去し、旧堤体上下流面に耐摩補強盛土を実施。
		ムラヤマシタチヨスイチ 村山下貯水池	E	32.6	587.3	東京都	東京都水道局	1927	2007	80	耐摩層を撤去し、旧堤体上下流面に耐摩補強盛土を実施。
コウチ 川内		E	23.98 25.5	122.0 128.0	新潟県	柏崎市	1938	2013	75	堤体下流面全域と上流面下部への腹付け盛土及び1.5mの嵩上げを実施。	

A:アーチ式コンクリート, G:重力式コンクリート, R:ロックフィル, E:アース, FA:アスファルトフェーシング, MA:マルブ[®]チ[®]フルアーチ

表-2.1.1 (2) ダム本体のリニューアル一覧表

		ダム名	ダム型式	堤高 (m)	堤頂長 (m)	所在地	事業者	元完成 (年度)	再完成 (年度)	経過年数	備 考
ダム堤体の嵩上げ	コンクリートダム	オウダマノ 玉泊	G	74.0	155.0	広島県	中国電力	1935	1959	24	初の重力式コンクリートダムの嵩上げ (10.5m)、貯水容量が2倍に。
		ミカワ 三川	G	53.0	154.2	広島県	中四国農政局	1959	1974	15	農業用ダムを5m嵩上げて、上水、工水の需要に対処。
		クロダ 黒田	G	45.2	332.0	愛知県	中部電力	1934	1980	46	下流面側15.7m嵩上げに伴い、堤頂長が旧堤体の2倍に。
		カワカミ 川上	G	63.0	187.3	山口県	山口県	1962	1980	18	16.5m嵩上げで貯留水増大、他河川から分水運搬運用による新規用水開発。
		シナナカノ 新中野	G	74.9	248.0	北海道	北海道	1960	1984	24	嵩上げ高21.9mと国内最大級、下流面にトレスル+走行式ジブクレーン。
		マガリフネ 曲淵	G	45.0	160.6	福岡県	福岡県	1923	1993	70	2度の嵩上げにより現在の堤高。
		サカキ 坂本	G	36.3	85.0	群馬県	群馬県	1957	1994	37	ヘドロを浚渫、3回目で2.3m嵩上げ (砂防ダムから通常ダムへ)。
		カヤセ 萱瀬	G	65.5	240.0	長崎県	長崎県	1961	2000	39	運用しながら14.5mの嵩上げ、コンジットを堤内パイプスで使用。
		タイシヤカワ 帯釈川	G	62.4	39.5	広島県	中国電力	1924	2006	82	自然改変の抑制から、貯水池内やダム下流面に仮設構台を設置。
		ミツカ 三高	G	44.0	202.0	広島県	広島県	1944	2004	60	戦時中の海軍直轄施工のため資料がなく、調査しながらの施工。
		シモノハル 下の原	G	36.5	178.0	長崎県	佐世保市水道局	1968	2006	38	同一ダム軸で5.9m嵩上げ。
		ヤス カワ 野洲川	G	54.4	142.0	滋賀県	近畿農政局	1951	2009	58	治水機能の改善のため1.7mの嵩上げ。
		ヒカワ 氷川	G	58.5	202.0	熊本県	熊本県	1973	2010	37	治水機能の改善のため2.0mの嵩上げ。
		ツガル 津軽	G	97.2	342.0	青森県	熊本県	1960	2017 (予定)	57	既設目屋ダムの直下60mの位置に建設する再開発で、目屋ダムを運用しながら施工。
		サンビセンテ	G	103.0	433.0	米国 サンディエゴ	サンディエゴ郡水道局	1943	2013	70	嵩上げ高さ全米1、RCC工法を採用。
ダム堤体の嵩上げ	フィルダム	イカワ 井川	E	23.7	193.5	秋田県	井川町	1971	1978	7	下流面に旧堤体を取込み3.8m嵩上げ。5回目の嵩上げ。
		オオカワカサア 大川嵩上げ	R	49.2	164.4	鹿児島県	名瀬市	1981	1987	6	旧堤体は将来の嵩上げを見込んだコア幅、基礎処理施工範囲。
		オオカワカサア 大谷内	E	23.2	1,780.0	新潟県	北陸農政局	1953	1991	38	元々あったため池を8m嵩上げ改修し、有効貯水量を増大。
		ナガイキ 永池	R	34.8	123.3	佐賀県	佐賀県	1600年代	1996	—	旧堤体を一部上流仮締切として使用。17.8m嵩上げ。
		シラカワ 白川	E	30.0	516.0	奈良県	奈良県	1933	1996	63	旧堤体下流面に旧堤体を取込んだ形で2.4m嵩上げ。
		クラハシ 倉橋	E→R	36.5	250.0	奈良県	奈良県	1956	1999	43	既設の倉橋溜池を5.5m嵩上げ。
		サヤマ イケ 狭山池	E	18.5	2,830.0	大阪府	大阪府	616	2001	1385	貯水池掘削土を盛立材料に利用。3.5m嵩上げ。
		サンノカイ 山王海	E→R	61.5	241.6	岩手県	東北農政局	1953	2001	48	旧堤を上流締切に使用。下流面に旧堤体を取込み4.1m嵩上げ。
		シユク サワ 宿の沢	E	26.0	227.7	宮城県	宮城県	1952	2003	51	既設ため池を13m嵩上げ改修。
洪水吐ゲートの改良	コンクリートダム	オオマタ ザワ 大又沢	G	18.7	90.4	神奈川県	東京電力	1916	1984	68	排砂門2門を有する自然越流タイプに。
		ヨシノダニ 吉野谷	G	20.5	48.0	石川県	北陸電力	1926	2000	74	洪水吐ゲート2門、排砂設備、係員1名常駐を、排砂1間の自然越流タイプに。
		イイヂカワ ダイイチ 飯豊川第一	G	38.8	50.1	新潟県	東北電力	1915	2000	85	常駐管理体制による洪水吐ゲート操作から自然越流タイプ。
		カガ 加治川	G	45.0	70.0	新潟県	東北電力	1962	1995	33	常駐管理体制から排砂門1門を新設した自然越流タイプ。
		トオベ 遠部	G	43.0	158.0	青森県	青森県	1974	2009	35	常駐管理体制による洪水吐ゲート操作から自然越流タイプ。
		スゴウ 菅生	G	56.0	157.0	兵庫県	兵庫県	1978	2011	33	非常用洪水吐をローラゲートから自然越流タイプ。
		キヌガワ クロベ 鬼怒川黒部	G	28.7	150.0	栃木県	東京電力	1911	1988	77	木製洪水吐ゲート21門から鋼製ローラゲート6門。
		ク フス ダイニ 久婦須第二	G	18.6	82.5	富山県	北陸電力	1941	2003	62	越流幅24m、排砂門2間を、越流幅30.5mで1間閉塞、1間大型化。
		ツガ 津賀	G	45.5	145.0	高知県	四国電力	1944	2006	62	鋼製ゲートの取替、中性化コンクリートの除去・補修。
		キジマ 来島	G	63.0	251.0	島根県	中国電力	1956	2001	45	脚柱の部分取替 (HTB接合)、トランニオン・軸の取替 (完全無給油軸受け)。
		ミンチ 水内	G	25.3	185.2	長野県	東京電力	1943	2002	59	門型3脚をε型2脚へ、アンカーを後方へ新設。
		タチノ 立石	G	67.4	179.0	広島県	中国電力	1939	2004	65	トランニオン部軸受けは無給油軸受け、アンカーはPCアンカー方式へ。
		イワマツ 岩松	G	37.2	190.5	北海道	北海道電力	1942	1999	57	円形ピア部表面切削機による機械施工。
		センズ 千頭	G	64.0	177.7	静岡県	中部電力	1937	1992	55	洪水吐ゲート4門から2門へ。
		ササダイラ 笹平	G	19.3	113.3	長野県	東京電力	1954	1985	31	仮締切にフローティングゲート使用。入力アップピン・高流動コンクリート採用。
		サバ 佐波川	G	53.0	156.0	山口県	山口県	1956	2003	47	ラジアルゲート2門の取替、設計洪水位の新設設定、機軸操作から遠方操作への変更。

2.1.2 本章の構成

(1) 堤体表面の補修

コンクリートダムにおける堤体表面の劣化原因は、摩耗、凍害、老朽化他であり、補修の大半は下流面や越流部にて実施されている。補修は、事前調査により補修範囲を特定した後、切削・ハツリなどで除去して打替えが実施されている。

またフィルダムについては、今回抽出した5件全てがフェーシングタイプであり、いずれも気象条件の厳しい関東以北のダムとなっている。また、それぞれの地域の気象条件に合わせて補修材料も様々な工夫が図られると同時に、補修システムフローの検討や施工機械の開発なども実施されている。

(2) 堤体の補強

堤体の補強の目的は、老朽化や耐震等にかかわる安定性の確保を主目的とする場合が多く、堤体の増厚や基礎処理等によって対策が実施されている。増厚については、それぞれの状況に応じて堤体の上下流側の何れか、あるいはフィルダムに限っては両側に施工される場合もある。

コンクリートダムの場合は、ダム施設機能の向上などの変更等にもなって現行の安全基準に照し合せた場合に、安定性を確保するために実施されている場合が多い。

一方フィルダムでは、堤体下流域の市街化が進行し、より高い安全性が求められるような社会的状況により改修されている事例も多い。

(3) ダム本体の嵩上げ

わが国は、諸外国と比較して比較的多い降水量が短期間のうちに下流へ流下してしまうという気候のおよび地形的特長から、これまで数多くのダムが建設されてきたが、洪水や渇水は今なお全国各地で発生している。このような背景から、治水・利水および発電上の理由によりダムの運用は今後も必要とされるが、少子高齢化に伴う投資余力の減少、自然環境保全に対する社会的要請の高まりから、治水整備、水資源開発においては、新規ダムの建設に頼るだけでなく、既設ダムの効率的な利用が求められており、既設ダムの嵩上げが注目されている。

ダムを嵩上げする場合は移転問題等の社会的影響が比較的少ないという利点もあり、また1999年に策定された2010～2015年を目標年次とするウォータープラン21において「既存の水資源開発施設等の有効活用」が掲げられたことから、現在数多くの既設ダムの嵩上げが計画されている。

調査範囲の中では1974年に実施されたものが最も古い。最大5回に亘って嵩上げが実施されたものもあり、洪水吐や堤体補強と同時に嵩上げが実施されたケースも見られる。フィルダムの場合は全てアースタイプであり、一部にはアースからロックへのタイプ変更のケースも見られる。またコンクリートダムでは、洪水調節設備の老朽化や合理化対策として実施される改良・改修等と同時に、堤体の嵩上げが実施された事例も多い。

(4) 洪水吐ゲートの改良

主目的は老朽化対策や機能向上で、改良時のゲート門数の変更等が主であるが、補修に合わせて管理員常駐型から自然越流タイプによる無人化への改良も見られる。今回の調査により抽出された対象ダムは、すべて重力式コンクリートダムとなっている。

2.2 堤体表面の補修

2.2.1 概要

ダム堤体表面の補修工事は、ひび割れや剥離といった損傷箇所、洗掘・摩耗部分の補修といった従来機能の保持を目的にダム表面の修復を行うものが主体となっている。

コンクリートダムの堤体表面の劣化には、水位変動に伴う水の移動により表面モルタル部分の流出や、浸透水の凍結時圧力による剥離・剥落等がある。この過程において表面強度の低下やコンクリートの中性化が進行する。また、洗掘・摩耗はダム放流時における砂礫の流下が原因で発生するものがほとんどで、クレストを含む洪水吐き、ピアの越流部との接合点付近、およびエプロン等、流水が流下する部分に限られている。洗掘・摩耗は初期の場合、越流部の景観を悪化させる等の影響にとどまるが、放流時に水流の偏りを誘起し、更なる洗掘・摩耗の進行を助長することになる。さらにひび割れの発生原因としては、乾燥収縮、温度応力、凍害、アルカリ骨材反応などが考えられる。

一方、フィルダムの補修は、アスファルトフェーシングおよびコンクリートフェーシング等の表面遮水型ダムの補修等があり、関東以北の気象条件の厳しい地域における事例が主である。

なお、ゲート関連に関する補修は 2.5 洪水吐きゲートの改良 で別途記述し、本節では対象としないものとする。

今回整理した調査ダムを表-2.2.1 に示す。

表-2.2.1 堤体表面の補修 調査ダム一覧表

種別	ダム名	ダム型式	堤高(m)	堤頂長(m)	所在地	事業者	完成(年度)	本体		補修箇所	劣化原因	補修規模	補修工事の特徴
								完成(年度)	元施工業者				
								リニューアブル					
ナ	鳴子	A	94.5	215.0	宮城県	建設者	1958	鹿島建設	鹿島建設	洪水吐ゲート、減勢工補修	-	コンクリート打設10㎡	コンクリート取壊しに軸的破砕材使用 通節新設
ジ	岩倉	G	23.4	90.0	鹿児島県	鹿児島県	1946	坂下組	大成建設	ダム支棚、下流面、減勢工(2004)	-	1.5mはつり、新設コンクリートを打設	-
ア	赤石	G	19.8	59.0	青森県	東北電力	1955	鹿島建設	鹿島建設	表面劣化部	-	-	漏水対策(堤体空腔部にグラウト注入を実施) 高圧設備に固定式ケーブリングを使用 大断面にR-40型シラレンを設置
ク	カドマ	G	35.0	170.5	北海道	北海道	1953	秋島建設	前田建設 佐藤工業	ダム下流面	-	悪化全面及び減勢工水吐き部のコンクリートを50 ~130cm切取取壊し、補修用コンクリート2100mを 打設	-
ク	フスダ	G	18.6	82.5	富山県	北陸電力	1941	前田建設 大林建設 丸彦建設	大成建設 大成建設 大成建設 大成建設 大成建設 大成建設	早設11年の水害による損傷部	老朽化	老朽箇所コンクリートのはつり、撤去、新設コンクリートの打設、全面流注式にするために取水設備の クレストゲートを撤去	損傷した排砂設備の管内をコンクリートで充填 積雪寒冷地における表面劣化部のコンクリートをはつり と打替え
イ	イカリガハツ	G	2.5	-	北海道	雨龍電力	1944	-	鹿島建設	表面劣化部	凍結融解	補筋アンカー(φ13~19)/2500本の設置とコンクリート100㎡を打設	積雪寒冷地における表面劣化部のコンクリートをはつり と打替え
ヤ	ヤマ	G	29.4	91.1	宮城県	九州電力	1932	鉄道工業	前田建設工業	エプロン表面	老朽化 放出水の影響による 公置腐部	ダム下流面越流部のコンクリートの打替え (t=150mm)	高強度コンクリートを使用
ホ	ホロン	G	42.5	186.3	北海道	日本電工	1974	鹿島建設	鹿島建設 戸田建設	取水塔コンクリート劣化部、下流面、外凍結融解	凍結融解	補筋アンカー(φ13~19)/2500本の設置とコンクリート100㎡を打設	高強度コンクリートを使用 耐久性と劣化の回復 新設打継ぎ面にはポリマーセメント系接着剤を吹付け補 修
ミ	三ツ川	G	83.2	290.0	長崎県	関西電力	1945	間組	間組	洪水吐ピア他	-	-	天端橋梁のRC桁をRC桁に架け替え
カ	カネ	G	43.5	97.0	兵庫県	近畿電力	1952	大成建設	大成建設	下流面	老朽化	劣化部をはつり、コンクリートを打設	-
ホ	ホネ	MA	30.4	128.0	香川県	香川県	1930	香川東直営	清水建設 フジタ	越流面全面および減勢工水吐き部	-	2100㎡を切取取壊し、補修用コンクリート2100㎡を 打設	漏水防止、補強対策
イ	イナ	G	43.0	105.0	長野県	関西電力	1977	間組	不動建設	ダム越流部表面	-	堤体越流面を厚さ30cmでつり、コンクリートを打 設	普通コンクリートおよび高強度コンクリートを使用
ヨ	ヨカ	G	32.1	293.8	長野県	関西電力	1960	間組	間組	ダム越流部エプロン部表面	老朽化 (洗掘が激しい)	劣化部をはつり、コンクリートを打設	高強度コンクリートを使用
オ	オマ	G	18.7	90.4	神奈川県	東京電力	1916	早川組	大成建設	ダム本体、洪水吐ゲート部	-	-	-
ス	スケ	G	45.5	125.5	富山県	北陸電力	1931	佐藤工業	西松建設	堤体上流面	凍害	凍害箇所を切削はつり撤去し、20~25cmの厚さでコ ンクリートを打設	プレバックコンクリートを使用
コ	コヤ	G	51.5	119.7	富山県	関西電力	1936	大林組	間組	排砂路 堤体湧流壁	-	右岸排砂路L=50m 堤体湧流壁L=25m 左岸排砂路L=45+24m	-
オ	オダ	G	21.3	143.0	長野県	東京電力	1954	前田建設	前田建設	エプロン部	-	-	自己充てん型高強度高耐久コンクリートに ポリプロピレンファイバーを混入
ニ	ニノ	FA	37.0	112.9	青森県	青森県	1970	大成建設	大成建設	アスファルトフェーシング	-	-	表面の切削にウオータージェットを採用 アスファルト遮水シートで全面被覆
ニ	ニノ	FA	33.0	380.0	新潟県	東京電力	1971	佐藤工業	大成建設	アスファルトフェーシング	-	-	堤体内部調査手法として電磁波調査を採用 表面の切削を高圧水で実施 切削面の保護装置でカットバックアスファルトを敷布 軟化点を93℃まで高められるなか調査箱を添加
ス	スヤ	FA	38.0	1597.0	栃木県	電源開発	1973	鹿島建設	鹿島建設	アスファルト遮水壁の補面部	-	78000㎡	高強度のアスファルトマスタックをそのまま吹き付けられ る継ぎを混入し、石露面でも均一に施工
ミ	ミナ	R	66.5	215.0	秋田県	東北地建	1962	西松建設	西松建設	堤体上流面のコンクリートフェーシング	-	-	グラベルマスタックの採用
フ	フク	FA	61.4	247.9	北海道	北海道開発局	1965	西松建設 青木建設	西松建設	フィルダムの表面遮水壁	雪阻により損傷	-	保護用のマスタック(t=5mm)を再塗布

2.2.2 施工方法

(1) 劣化診断と処理フロー

ダム本体のリニューアルについては、劣化現象に係わる補修・補強等が数多く見受けられ、この場合の調査、診断、評価、対策等に関する一連のフローが種々検討されている。

一例として関西電力(株)における処理フローを図-2.2.1に示す。関西電力(株)では、事故発生時の影響が大きな重力式コンクリートダム、洪水吐ゲート等の4つの水力発電所土木構造物について、損傷程度の定量的把握と改修要否、監視方法等を決定するための劣化診断手法を1981年度から開発して10年以上におよぼ運用を図っており、設備保全を計画的に実施している。

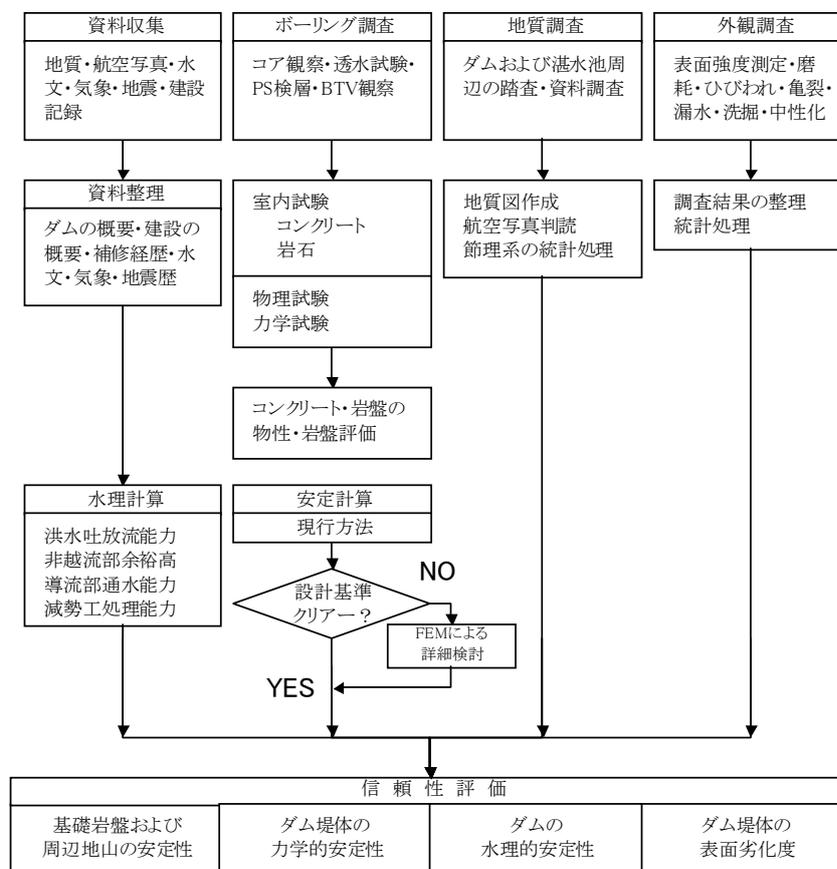


図-2.2.1 ダムの調査項目と処理フロー (関西電力株) ¹⁾

また、資源エネルギー庁では水力発電用重力式コンクリートダムの維持管理に係わる一般的な技法として、点検から補修を前提とした原因調査に至る手順を『健全度診断』を中心に「ダム堤体コンクリート診断マニュアル(案)平成5年4月」としてまとめている。同マニュアルでは、構造物の維持管理の基本的なフローとして、点検、健全度診断、原因調査について、図-2.2.2のように一連の流れとして示している。

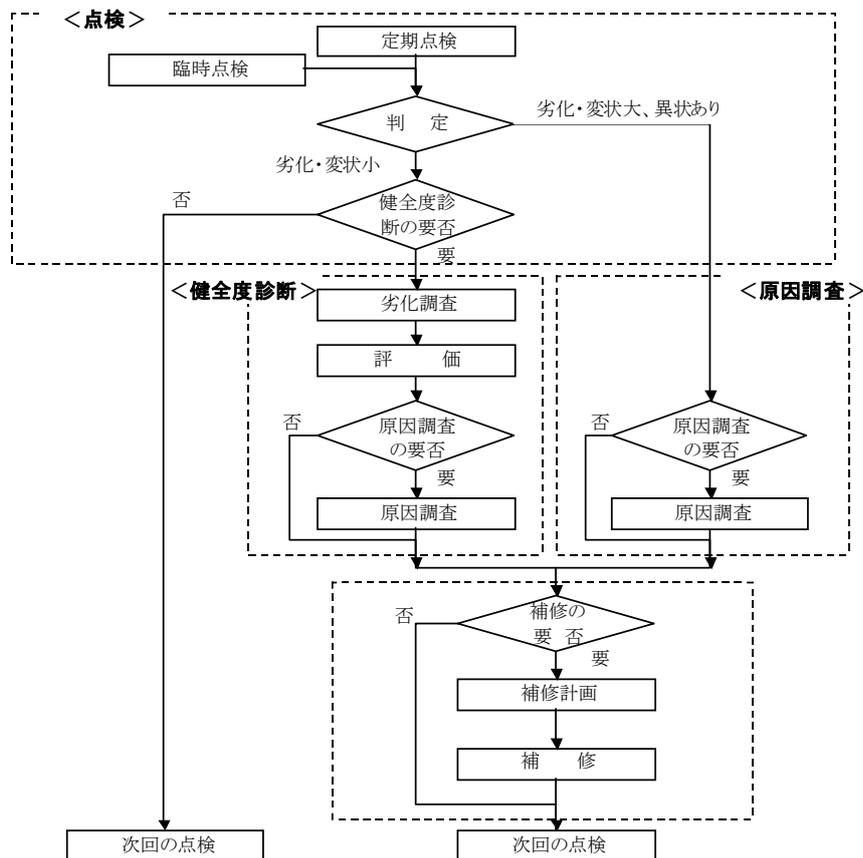


図-2.2.2 維持管理の手順（資源エネルギー庁）²⁾

健全度診断において調査する劣化現象は、一般にはダムの安定性に直ちに影響を与えることは考えにくいですが、部位によってはその機能や美観に影響を与える場合も想定される。特に、供用年数の長いダムについては、点検頻度を高める等の対策により健全度を適宜把握する必要がある。

(2) 調査・診断

コンクリートダムはコンクリート構造物のひとつであると考えられるが、構造物の維持管理の基本的フローは、点検、調査、劣化予測および評価、対策の判定、対策の選定および実施、という流れになる。

土木学会コンクリート標準示方書「維持管理編」では、コンクリート構造物の点検を、初期点検・日常点検・定期点検・臨時点検および詳細点検の5種類に分類している。このうち、初期点検・日常点検・定期点検ではコンクリート構造物の状態を全般的に把握できる目視および打音法、赤外線法などによる点検が主体となっており、目視・打音法・赤外線法以外の試験は主にこれらの点検で必要と判断された場合に実施する詳細点検として適用されることが多いと

されている。

構造物の点検の目的は、発生している変状を発見することであるが、点検によってコンクリート構造物の変状を正しく見分けることが重要となる。コンクリートの変状には初期欠陥、経年劣化、構造的変状がある⁴⁾が、本調査では経年劣化によって調査、補修が実施されたダムが対象となっている。

コンクリートの劣化の機構は、表-2.2.2に示すように摩耗、凍結融解、成分溶出、アルカリシリカ反応、中性化、塩害などがあるが、これらのうち中性化と塩害は鉄筋コンクリートが対象であり、アルカリシリカ反応も特定の骨材が使用された場合に限られる。このため、堤体表面が補修された事例の中では摩耗と凍結融解が劣化原因となっている場合が多い。このうち凍結融解は北海道、東北、北陸等の寒冷地で発生しやすい。

劣化状況、劣化の程度については劣化原因にもよるが、摩耗、凍結融解による劣化の補修では堤体表面から数 cm から 20cm 程度である。

表-2.2.2 コンクリートの劣化の機構

項目	劣化の機構
摩耗	土石流によるすりへり摩耗や転がり摩耗、または流水によるキャビテーション摩耗によって、コンクリート表面が劣化する。
凍結融解	長年にわたる凍結と融解の繰り返しにより、水分の凍結膨張が要因となってコンクリート表面が劣化する。
成分溶出	コンクリート中のセメント水和物が水に溶け、外に溶出することによりコンクリートが劣化する。
アルカリシリカ反応	アルカリシリカ反応性鉱物を有する骨材が、コンクリート中のアルカリと反応してコンクリートが膨張し、それに伴うひび割れが発生する。
中性化	二酸化炭素がセメントと反応して炭酸カルシウムとなり、コンクリートの細孔溶液の pH が低下する。このため、鉄筋表面の不導体被膜が消失して鉄筋が腐食してコンクリートを劣化させる。
塩害	塩化物イオンによってコンクリート中の鉄筋が腐食し、このときの体積膨張によってひび割れなどが発生することでコンクリートが劣化する。

アスファルトフェーシングダムの遮水壁表面に見られた劣化現象として沼原ダムの例⁵⁾を表-2.2.3に示すが、ダム地点での気象観測記録によれば、最低気温は-15℃、最高気温は28℃、冬期は数十 cm の厚さで氷結し、夏期の遮水壁表面温度は約70℃に上昇する過酷な気象条件となっている。

表-2.2.3 沼原ダム表面遮水壁で観察された劣化現象⁵⁾

名称	数量	現象
すりへり	53,002m ²	表面保護層が筋状に滅失する
亀甲模様	10,497m ²	表面保護層の厚い部分に体積収縮により亀甲状の皺が発生する
クラック	105 個	主に天端付近に発生している
スロープフロー	77 箇所	温度上昇等によるダレ
ブリスタリング	443 個	本体層に封入された水分・ガス等の膨張によるふくらみの破裂

点検によって変状が確認されたら調査の計画を立案し、実施する。実際のダムコンクリートの調査では目視による調査のほか、必要に応じてハンマー打音、コア採取による評価、成分分析、超音波伝播速度の測定、電気探査などが実施されている。これらの調査によって、劣化の原因やその程度、範囲を把握し、劣化予測・評価を行い、補修の要否が判断される。

実際のダムで実施されている調査の例を表-2.2.4に示す。

表-2.2.4 劣化の調査方法

	ダム名	調査方法
コンクリートダム	漁川発電所堰堤	目視、ハンマー打音
	山須原ダム ¹¹⁾	目視、スケールによる劣化深さ
	幌満川第3ダム ³⁾	目視、改良プルオフ法、中性化深さ、成分分析、空気量
	豊稔池ダム ⁷⁾	目視、コアボーリング、電気探査
	祐延ダム ⁹⁾	目視、超音波伝播速度
アスファルト 表面遮水壁ダム	二の倉ダム	目視、コアボーリング、地中レーダー
	沼原ダム ⁵⁾	目視、アスファルト物理化学性状試験

コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会の「報告書」⁶⁾において、トンネルや橋梁、ダムにおける非破壊検査の事例調査が報告されているが、ダムにおける調査の事例としては、竣工前に湛水するダム上流面の記録のための外観撮影（将来の定期的な観察のための初期データを取得することが目的）1例と凍害劣化を受けたダムのゲートピア部での調査事例がある。凍害劣化の調査では、超音波伝播速度の測定や赤外線サーモグラフィによる補修部の浮き箇所の把握、コンクリートの物理特性の測定などが行われている。

(3) 施工時期

ダム表面の補修では、供用中のダムに対して施工を行うケースが多く、施工時期の検討が重要な課題となる。このような場合、非越流部の下流面では施工時期の制限を受けないが、越流部や上流面で運用中のダムを補修する場合には施工時期の制限を受ける。

豊稔池ダム⁷⁾では毎年10月から3月の渇水期に貯水池を空にして、平成元年度から平成5年度の5年間に亘り補修工事を行った。

沼原ダム⁵⁾においても調整池を完全に抜水するため、水路の点検期間である1993年4月から6月にかけて補修工事が実施された。

その他のダムの堤体上下流面で実施された補修の施工時期と施工時期による制約条件を表-2.2.5に示すが、通年で施工が実施された事例はなく、全体工期に係わらず渇水期に補修工事が実施されていることがわかる。ダムの表面の補修工事においては、越流部などが摩耗により損傷する場合や上流の水位変動の受ける箇所が凍結融解によって劣化することなどを考えると通年で施工することは難しいと考えられる。

表-2.2.5 堤体表面の補修工事における施工時期と施工時期による制約条件

ダム名	施工時期	施工時期による制約条件
漁川発電所堰堤	冬期間 12月～3月	積雪寒冷地における冬期間の施工となる
山須原ダム ¹¹⁾	1回目：2001/2/9～2001/3/16 2回目：2002/2/1～2002/3/15	渇水期の施工
幌満川第三ダム ³⁾	全体工期：4/15～3/15 越流部は1、2月の渇水期に施工	-
祐延ダム ⁹⁾	工期：1969/4～1969/11（補修工事）	全体工期は1年間 （降雪期間を除くと6ヶ月）
二の倉ダム	施工期間：2003/10～2003/12 （工期は2003/8～2004/2）	ダム水位の低下（10月中）後に施工

(4) 補修方法

補修方法には、断面修復工、ひび割れ注入工などがある。ひび割れ注入工などは多くのダムで実施されていると予想されるが、施工記録を参照することは困難であり、本調査で実施した事例では断面修復工がほとんどである。厚さ20mm程度の表面部の断面修復をする場合にはこれを表面修復工として断面修復工と分ける場合もある。

漁川発電所堰堤の表面補修工事では、劣化した表面をクラック処理し、ポリマーモルタル等で表面保護を行った。施工フローを図-2.2.3に示す。

断面修復工で劣化した表面部をコンクリートで置き換える場合は、大半が表面を5cmから20cm程度をはつり、新しいコンクリートで置き換える方法で行う。幌満川第三ダムでは旧コンクリート部を20cm程度除去しコンクリートを打設した。施工フローを図-2.2.4に示す。

一方、豊稔池（マルチプルアーチ）ダムのように、表面2m程度の増コンクリートを打設した例もある。

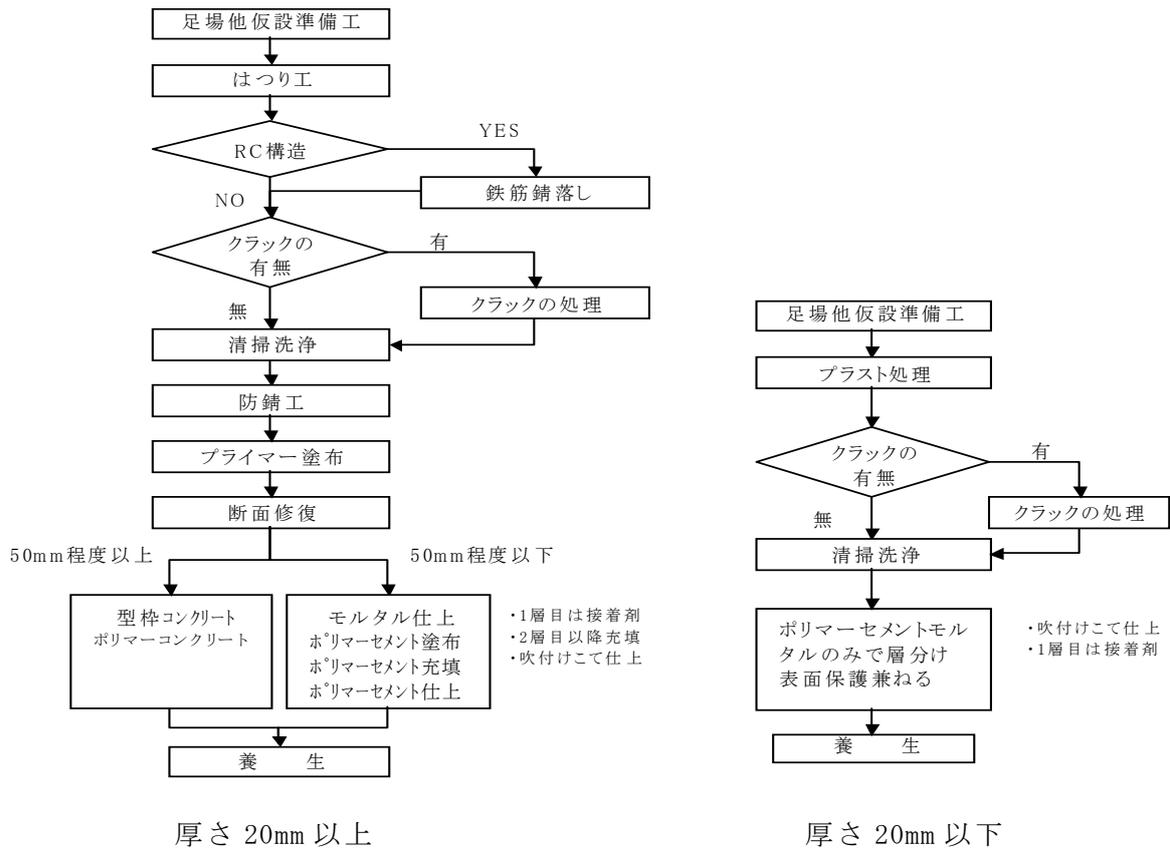


図-2.2.3 漁川発電所堰堤の表面補修フロー

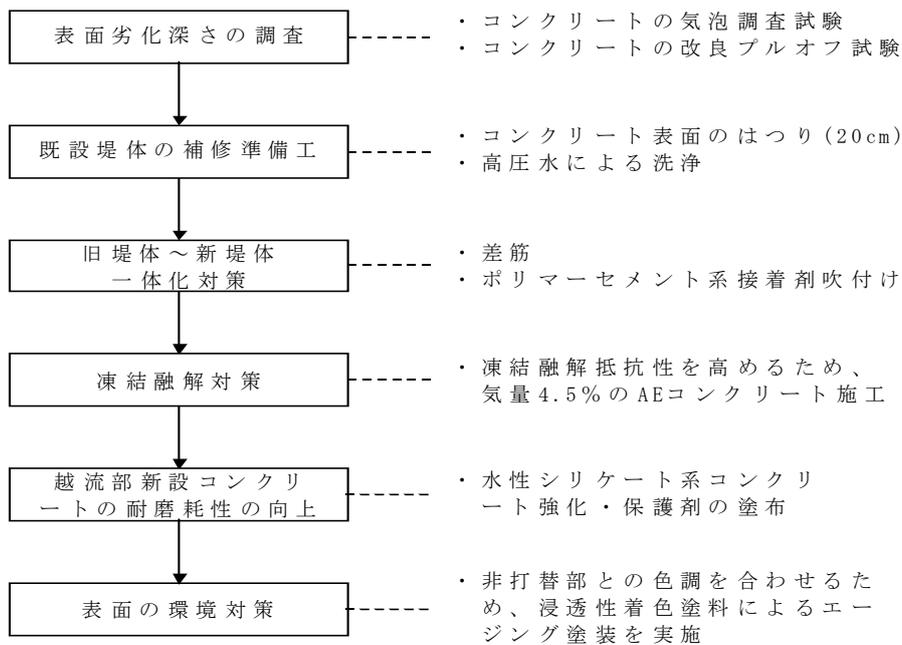


図-2.2.4 幌満第三ダムの断面修復フロー（厚さ 20cm 程度）

断面修復工の補修方法としては表面をはつり、モルタルやコンクリートで置き換える場合が多い。はつり方法には人力によるもの、高圧水によるものなどがある。各ダムにおけるコンクリートの付着面の処理方法を表-2.2.6に示す。

表-2.2.6 コンクリートの打継ぎ面の処理方法

ダム名	打継面処理方法
漁川発電所堰堤	打継面への接着用プライマー塗布とケミカルアンカー打込み
山須原ダム ¹¹⁾	チッパーによるチッピング処理
幌満川第三ダム ³⁾	ピックハンマーによるハツリと高圧水による洗浄
豊稔池ダム ⁷⁾	石壁面の目地のみハツリと高圧水による洗浄
祐延ダム ⁹⁾	ピックハンマーによるハツリと高圧水による洗浄

鷹泊ダムでは、コンクリート表面 50cm～130cm の深さをコンクリート切削機ラスパール⁸⁾ (図-2.2.5) にて施工を行った。ラスパールは無筋コンクリートの切削作業専用機であり、回転ドラムの周囲にバイオネット型軟岩ビットを二重螺旋状に配置し、通常の岩盤切削機より密にビットを配列することによって、切削面を痛めずに平滑に仕上げることが可能にした。

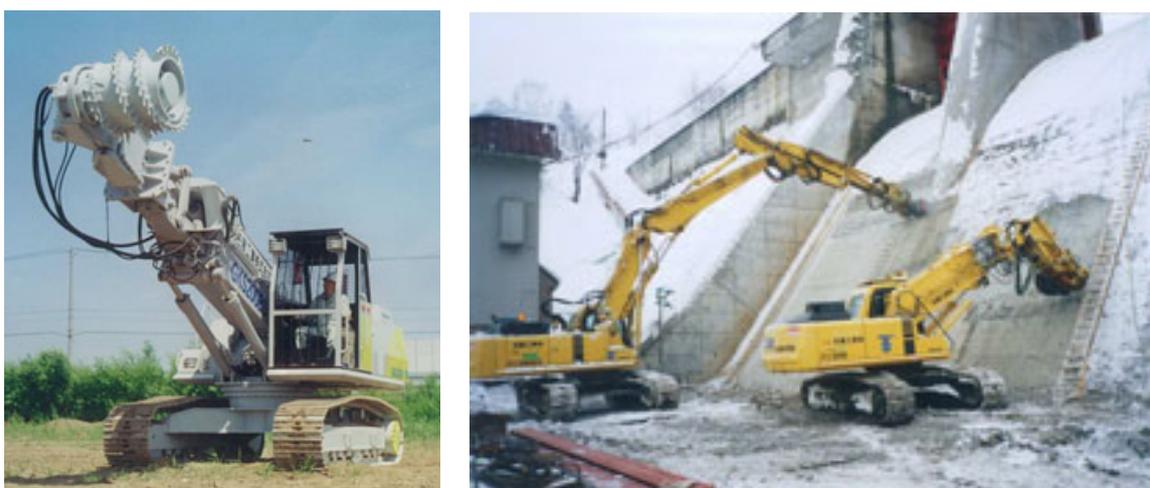


図-2.2.5 コンクリート切削機ラスパール⁸⁾ (鷹泊ダムで使用)

祐延ダム⁹⁾では、凍害によって侵食された劣化コンクリートの表面をはつってプレパクトコンクリートを施工している。プレパクトコンクリート工法が採用された理由は以下のとおりである。

- ・隣接する有峰ダムより直線距離にして約 5km の間に道路がなく、この間の資材輸送をヘリコプターによる空輸に頼らざるを得なかった。このため、プレパクトコンクリート工法が経済的に有利であった。
- ・プレパクトコンクリートの付着強さは一般に普通コンクリートより大きく、打継ぎ目も密であると判断された。
- ・プレパクトコンクリートの凍結融解に対する抵抗性が A E コンクリートと同程度に信頼できると判断された。

(5) 補修材料

補修材料としては、普通コンクリート、モルタルのほか、表面補修用のポリマーモルタル、高強度コンクリート、耐摩耗性コンクリートが使用されている。また、打継ぎ面にはポリマー系接着剤などが使用されており、樹脂アンカーを設置している場合もある。

コンクリートはモルタルと比較すると、はつり厚さが増えるため施工費が高くなるがすりへり抵抗性がモルタルよりも大きく、耐衝撃性も高い。骨材の選定にあたっては、すりへり抵抗性の大きいものを使用することが重要になる。

三浦ダム¹⁰⁾では亜硝酸リチウムを防凍性混和剤として使用した。

三浦ダムは発電専用ダムであり、水力エネルギーの損失を防止するために、水位が低下する冬期に短時間で工事を完了する必要があるがあった。しかし、取水塔全面を外気より遮断するような養生設備を設置することができなかった。そこで、初期凍害の防止を目的としてコンクリート材料に亜硝酸リチウムを防凍性混和剤として使用した。

劣化状況はほぼ全面にわたって凍害劣化が見られ、開口部のコンクリートは欠落していた。補修方法として、開口部はスクリーンを撤去して取り付け部のコンクリートを50×20cmの範囲で撤去し、スクリーン受桁を取り替えた後、コンクリートを打設した。奥部は普通モルタルを吹き付け、表面部30～60mmについては特殊セメント系補修用モルタルを吹き付けてからコテ仕上げを行った。

亜硝酸リチウム(LiNO₂)はほかの防凍剤に比べると高価ではあるが、その効果が高く、コンクリートに多量添加しても悪影響を及ぼさないことから採用された。40%水溶液として市販されているものを使用した。

室内試験と現地暴露試験を行ってから施工した。室内試験では、0%から22%(40%濃度の亜硝酸リチウムの練混ぜ水に対する質量比)とし、+5℃から-19℃まで変化させた。実施工において採取されたいずれの供試体も、初期材齢において-10℃以下の低温履歴を受けているにもかかわらず、強度は増進しており、実構造物においてもスケーリングやポップアウトなどが見られず、寒中コンクリートに特別の保温等を施さなかったことに問題はなかったとされている。

アスファルト表面遮水面の補修材料は沼原ダム⁵⁾で、アスファルト表面保護層のアスファルトマスチックが改良されて使用された。

添加剤について種々の材料を比較検討し、従来の繊維質添加剤に変わる「セピオライトとガラス繊維の混合物」を選定し、軟化点調整剤を使用することにより軟化点を93℃まで高めた。

(6) 仮設備

一般に仮設備として、工事用道路、コンクリート製造設備、コンクリート打込み設備(クレーン、ポンプ車他)、施工足場、給気・給排水設備、濁水処理設備、資材置場等が必要となる。既設構造物が稼動状態であることが多いことから施工条件は複雑であり、仮設備の配置計画などには細心の注意を払う必要がある。

後述する豊稔池ダムでは、仮設備ヤードの制約から非灌漑期の貯水池内を利用して仮設備を配置し、灌漑期には仮設備をその都度撤去を行うなどの対応が図られた。

また、アスファルト表面遮水型ダムでは、アスファルト補修材料としてのアスファルト遮水シートやアスファルトマスチックの施工機械設備が仮設備として必要となる。

沼原ダム⁵⁾では、アスファルトマスチックの施工機械であるアスファルトマスチックスプレーカーの開発を行った。既設面には表面保護層が筋状に失われるすりへり現象が広くみられたが、これは本体層の転圧時に生じた微妙な不陸にマスチックの施工機械であるスキーザのへらが追従できず、マスチックの厚さが不均一になっており、そのため薄い部分が先に失われるこ

とにより筋状のすりへりを呈した。

補修工事にあたっては、従来のスキューザを用いずに吹付けの手法による施工機械を新たに開発した。スプレーカーは片側に出たアームをガイドに吹付けノズルがアーム上を往復しながら、天端のウインチポーターにより機械が巻揚げられて上昇することによりマスチックの膜が形成される。吹付けノズルからの材料の有効吐出幅は約 60cm で、一回あたりの施工幅は 3.0m となっている。スプレーカーを図-2.2.6 に示す。

沼原ダムのアスファルト遮水壁表面の補修工事で使用されたアスファルトマスチックの標準配合を表-2.2.7 に示す。

表-2.2.7 アスファルトマスチック標準配合（沼原ダム）⁵⁾

標準配合（出来上がり比重 1.62）		
材 料	配 合（重量%）	備 考
ストレート アスファルト	40.0	60/80 級
石粉	50.0	石灰石微粉末
セピオライト（I.G.S）	8.7	
ガラス繊維	1.3	
軟化点調整剤	アスファルトに対して 3%	

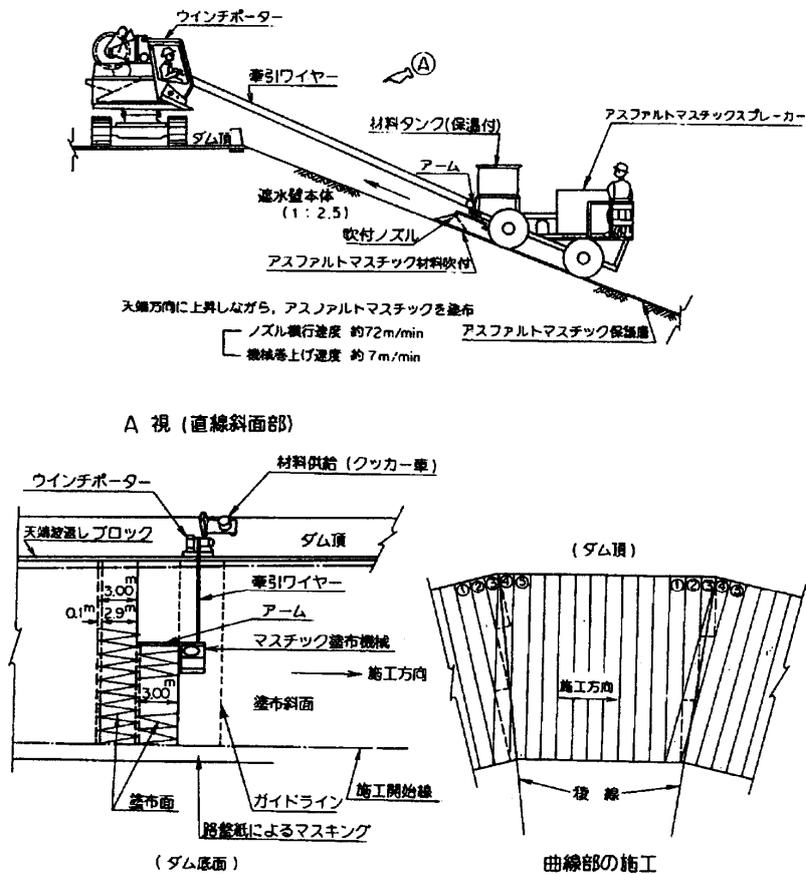


図-2.2.6 アスファルトマスチック施工機械（沼原ダム補修工事）⁵⁾

2.2.3 施工事例

(1) コンクリートダム

1) 山須原ダム¹¹⁾

① 工事概要：

山須原ダムは昭和7年（1932年）に竣工した重力式コンクリートダムである。近年、ダム放流によるダムエプロン部の摩耗が著しくなり、表面に骨材が露出したためエプロン表面の修繕を実施した。

- ・ 工事名：山須原発電所ダムエプロン修繕工事
- ・ 発注者：九州電力㈱
- ・ 施工者：前田建設工業㈱
- ・ 工期：平成13年2月9日～3月16日（1、2号ゲート）
平成14年2月1日～3月15日（3号ゲート）

② 状況・施工範囲

洪水吐きの越流部において、ほぼ全域にわたって骨材が露出している。左岸側のバケットカーブ部では、表面のコンクリートの大部分が剥離・剥落している。原因は砂礫の流下によるすりへり摩擦であると考えられた。

補修箇所はダムの左岸側越流部 320m²である。施工範囲を図-2.2.7に示す。

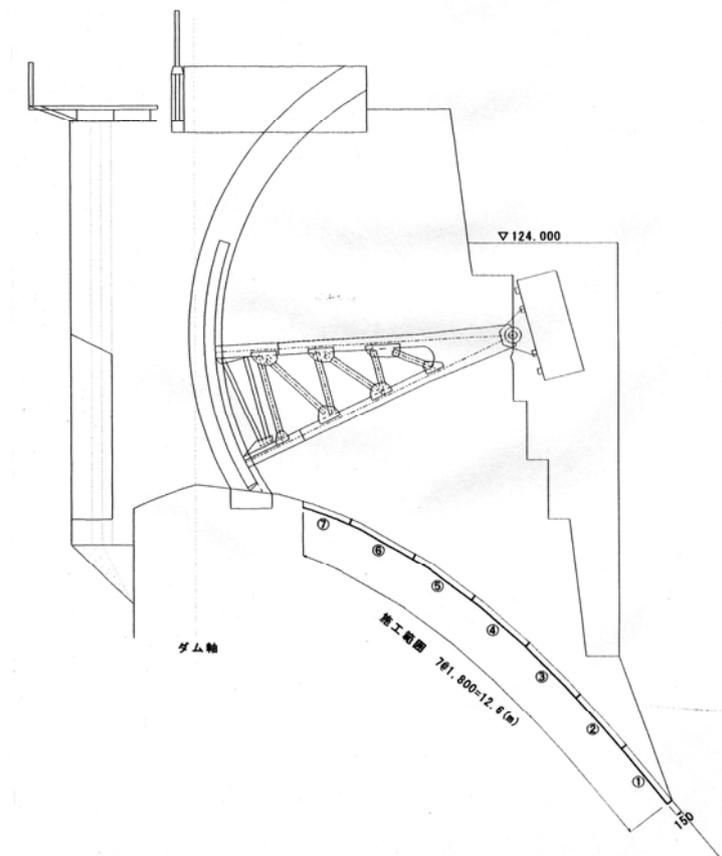


図-2.2.7 山須原ダム堤体表面の補修箇所（左岸側の一部）¹⁵⁾

③設計（補修方法）

コンクリートの摩耗した部分をはつり、高強度コンクリートで補修した。補修材料は、実績の多い高強度コンクリート系（高強度混和材デンカΣ6000）を採用した。

示方配合を表-2.2.8に示す。コンクリートは粘性が強く、スランブの経時ロスが大きかった。また、AE減水剤や高性能減水剤、流動化剤との相性が悪く、これらの混和剤を使用しなかった。目標強度は70N/mm²であった。

はつり厚さは施工性から150mmとし、剥離防止のため、溶接金網（φ6×100×100）を設置した。

表-2.2.8 高強度コンクリートの示方配合¹¹⁾

粗骨材の最大寸法	スランブ	水結合材比	空気量	細骨材率	単 位 量						
					水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	混和材 Σ6000 (l/m ³)	細骨材		粗骨材 (kg/m ³)	混和剤
1 (kg/m ³)	2 (kg/m ³)										
Gmax (mm)	S L (cm)	W/C (%)	Air (%)	S/a (%)							
25	18	38	2.0± 1.0	46	153	350	52.5	493	329	974	—

④施工概要

山須原ダムの堤体表面補修工事の施工フローを図-2.2.8に示す。コンクリートの打込みは作業の安全性を考慮して1800mmを1スパン（上下流方向）とした。

⑤仮設備

仮設備として施工最下部に作業ステージを設置し、コンプレッサー等の機械類や諸材料の置き場として使用した。ステージは単管足場であり、幅3mの広めのステージとした。また、はつりガラを集積するトンパックを設置するために、作業ステージの構造は1スパン当り400kgの積載荷重に耐える構造とした。

昇降設備はビティ枠用のアルミ階段枠を用い、エプロン部にオールアンカー（M8）を打設し、固定した固定ベースに階段枠を設置した。

⑥人力はつり

はつり作業は下流側より施工を行ったため、はつり範囲はコンクリート打設口および溶接金網のラップ長としてコンクリート打設口より200mm長くしたが、やや打設しづらい状況であり、500mm程度先行した方が施工性はよかった。

コンクリートのはつりは、人力はつりとし20kg級ブレーカを使用した。施工1班当たり施工幅7.5mを担当し、はつり作業3名、コンクリートがら集積2名で作業を行った。進捗は1m³/日程度であった。

溶接金網を型枠アンカーと段取鉄筋で固定し、型枠を合板で組み立てた。コンクリートはクレーンを使用してホッパーで打込んだ。

⑦型枠アンカー

はつり完了面に型枠アンカーとしてD10鉄筋アンカーを600mm間隔で打設し、溶接金網を設置した。

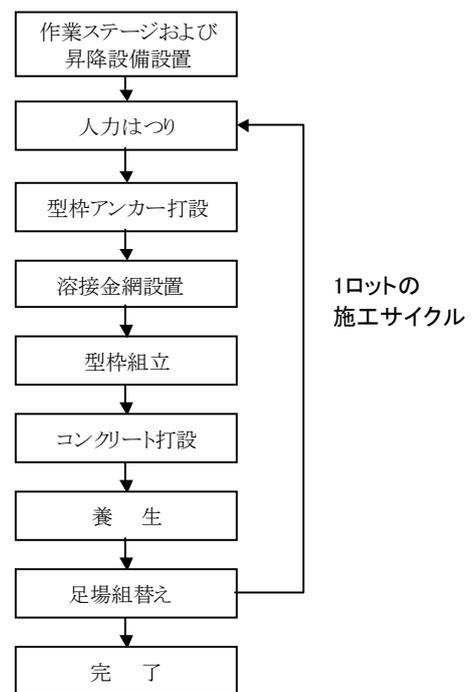


図-2.2.8 施工フロー図¹¹⁾

⑧型枠

型枠は合板型枠（ $t=12\text{mm}$ 、 $L=1800\text{mm}$ 、 $W=900\text{mm}$ ）を用い、設置してあるセパレーターに型枠材2枚を横使いにて取り付けました。最小Rは約8.5mであったが、円形型枠を使用せずに通常の合板型枠にて対応が可能であった。

⑨打設足場

型枠組立て完了後、単管にて打設足場を組み立てた。打設足場は型枠脱型後、一度解体して組替えるため、できるだけ簡単な構造とした。

⑩打設

コンクリート打設はクレーン打設によりホッパーを使用して行った。コンクリート厚が15cmで金網も設置されているため、締固めに際しては丁寧な施工が必要とされた。

コンクリートのスランプのロスを考慮して、練り始めから1時間程度で打設が終了するように配慮した。

⑪養生

コンクリート脱型時のコンクリートの強度は、コンクリート標準示方書の「薄い部材の鉛直または鉛直に近い面」とみなして 5.0N/mm^2 以上とした。養生は、散水養生を1日4回行い乾燥収縮によるクラックの発生を抑制した。

⑫足場組替

型枠脱型後、作業足場を組み替えた。脱型した型枠のセパレーターの軸足を用いて単管ベースを固定し、足場を組み立てた。次工程のはつり時のはつりガラが落下ないようにコンパネ等で足場の隙間を塞いだ。



図-2.2.9 エプロン施工状況¹⁵⁾



図-2.2.10 山須原完成全景¹⁵⁾

2) 豊稔池ダム^{7), 12)}

① 工事概要

豊稔池ダムは、大正 15 年に着工、昭和 15 年に築造完成した。当時としては画期的なマルチプルアーチダム（多拱扶壁式粗石モルタル積堰堤）で、堰堤の下流からの景観は現在でも北欧の古城を偲ばせる威容を誇っている。

以来、周辺の多くの農家に恩恵をもたらす水害から守る役割を果たしてきたが、築造から 60 数年が経過し、堤体アーチ部の亀裂や漏水、基礎付近の浸透水など、ダム機能を確保するために、止水を主目的とした老朽化対策を行う必要があった。なお当ダムは、文化財指定を受け地元民から親しみを持たれたダムである特徴を考慮し、景観等については原形を極力保つよう配慮された。

- ・ 工事名：豊稔池補修工事
- ・ 発注者：香川県
- ・ 施工者：清水建設㈱
- ・ 工期：平成元年 9 月～平成 6 年 3 月

② 老朽化の状況

- ・ 堤体および基礎岩盤からの漏水

堤体各部からの漏水量が 720ℓ/分、岩盤内の亀裂からの漏水が 3900ℓ/分であり、ダムの貯水量を考慮すると多い量であった。

- ・ 堤体の構造的諸問題

堤体アーチクラウン部のひび割れ、アーチの上流側全面に石積み目地の剥離が見られ、またバットレスとアーチの接合部にもひび割れや漏水が見られた。

- ・ 取水設備

スルースバルブの老朽化による漏水が見られ、交換を必要とした。

③ 堤体上流面の補修方法

堤体上流面は、現堤体とほぼ同様の形状をした張コンクリート壁により漏水防止を図ると共に、岩盤接触部のフィレット部は左右ほぼ対象形にコンクリートを打設した。新しく打ち足されたアーチ版は、単独で全荷重を受持つことが可能な断面形状として設計された。一方、バットレス中心部に設置された継目には止水板による止水対策が施されるとともに、アーチの上部は景観を重視して石積みを行った。

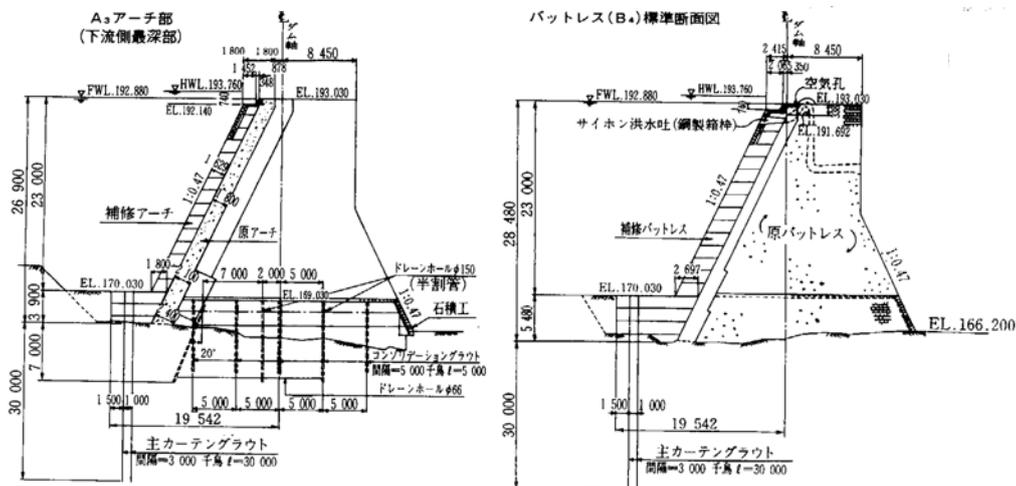


図-2.2.11 補修部の標準断面¹²⁾

④堤体下流面の補修方法

堤体下流面は、堤体背面のバットレス間にコンクリート（厚さ約4～5mのフーチング）を打設し、バットレスの安定性を高めた。当初、バットレスとの接合部は間知石を取除きフーチングコンクリートを打設する計画であったが、間知石が非常に強固なため、取除きによる悪影響を考慮して間知石を存置し、アンカー筋による一体化が図られた。なお、表面に石積み・張石を行い、下流からの景観が昔のイメージに合致するよう施工された。

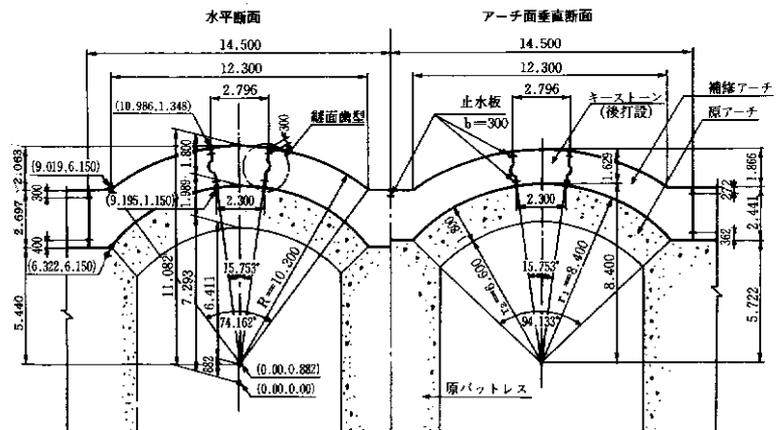


図-2.2.12 横継目¹²⁾

なお、表面に石積み・張石を行い、下流からの景観が昔のイメージに合致するよう施工された。



図-2.2.13 堤体上流面補修状況⁷⁾



図-2.2.14 堤体下流面補修状況⁷⁾

⑤工程

当ダムは農業用ため池として運用中であるため、これに支障のないよう非かんがい期施工とした。また、河川内構造物であるため洪水期を避ける必要があった。下記に示す通り、当地域はかんがい期と洪水期がほぼ重なるが¹²⁾、かんがい期開始日近くで満水位付近とする必要から、毎年3月にはゲートを閉めて用水確保のため湛水期に入った。よって、工事期間は毎年10月から翌年3月末までの6ヶ月間とし、残りの6ヶ月を貯水池の運用期間とした。全体工期は平成元年度から5年度までの5カ年であった。

なお、工事工程表を表-2.2.9に示す。

- ・ かんがい期-----6月20日 ～ 9月30日
- ・ 洪水期-----7月1日 ～ 10月15日

⑥上流面コンクリート工

上流面のコンクリートはダムコンクリートの仕様で、中庸熱ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法が60mm、水セメント比55%、スランプ5cmであった。

打設備は45tトラッククレーンと1.5m³バケットを使用した。クレーンは上流部にヤードを造成して、鉄板を敷設して設置した。

打設リフトは1.5mを基本とし、打設サイクルは6日であった。

表-2.2.9 豊稔池補修工事 工事工程表⁷⁾

工種	項目	平成元年度					平成2年度					平成3年度					平成4年度					平成5年度									
		5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3
準備工	計画書・事務所・測量など																														
仮設備工	仮設道路・仮棧橋・転流工																														
	給気・給水・濁水・電気設備																														
堤体土工	掘削・岩盤・清掃																														
堤体工	原堤処理・コンクリート工																														
	石積・石張工																														
基礎処理工	カーテングラウト																														
	コンソリデーショングラウト																														
法面保護工																															
付帯設備工																															
減勢工																															
橋梁工																															

⑦ 下流面コンクリート工

下流面のコンクリートはアーチ面が逆勾配となっており、クレーン打設が不可能であるために、コンクリートポンプ車にて打設した。このため、コンクリートの配合は上流面と同じ中庸熱ポルトランドセメントを使用した。粗骨材の最大寸法は 40mm、スランプは 8cm であった。また、水セメント比は 62.4% であった。

旧堤体との付着をより確実とするために、バットレスに削孔をして D32mm の鉄筋 ($\ell=2.4\text{m}$) を 2.0m 間隔の千鳥配置とした。

⑧ 仮設備

a) 転流工

対象流量は、転流期間 10 月 16 日～3 月 31 日間で年確率 1～2 回の 18.0m³ とした。転流工は補修前の土砂吐ゲート部を利用し、仮締切り堤はコンクリート重力壁にて施工された。

b) 貯水池内に関する仮設備

施工は毎年 10 月～翌年 3 月末までの 6 ヶ月であり、4 月～10 月は湛水のための休止期間に入ることから、貯水池内の仮設備は毎年設置撤去を繰り返さなければならず、搬出搬入には比較的簡単な諸機材の選定を行った。

主な設備としては、作業員休憩所、コンプレッサー、バキューマ、高圧洗浄機、移動式クレーンなどであり、満水面より高い所に高圧受電設備を設置し、上下流施工箇所にキャップタイヤで配電した。仮設備平面図を図-2.2.15 に示す。

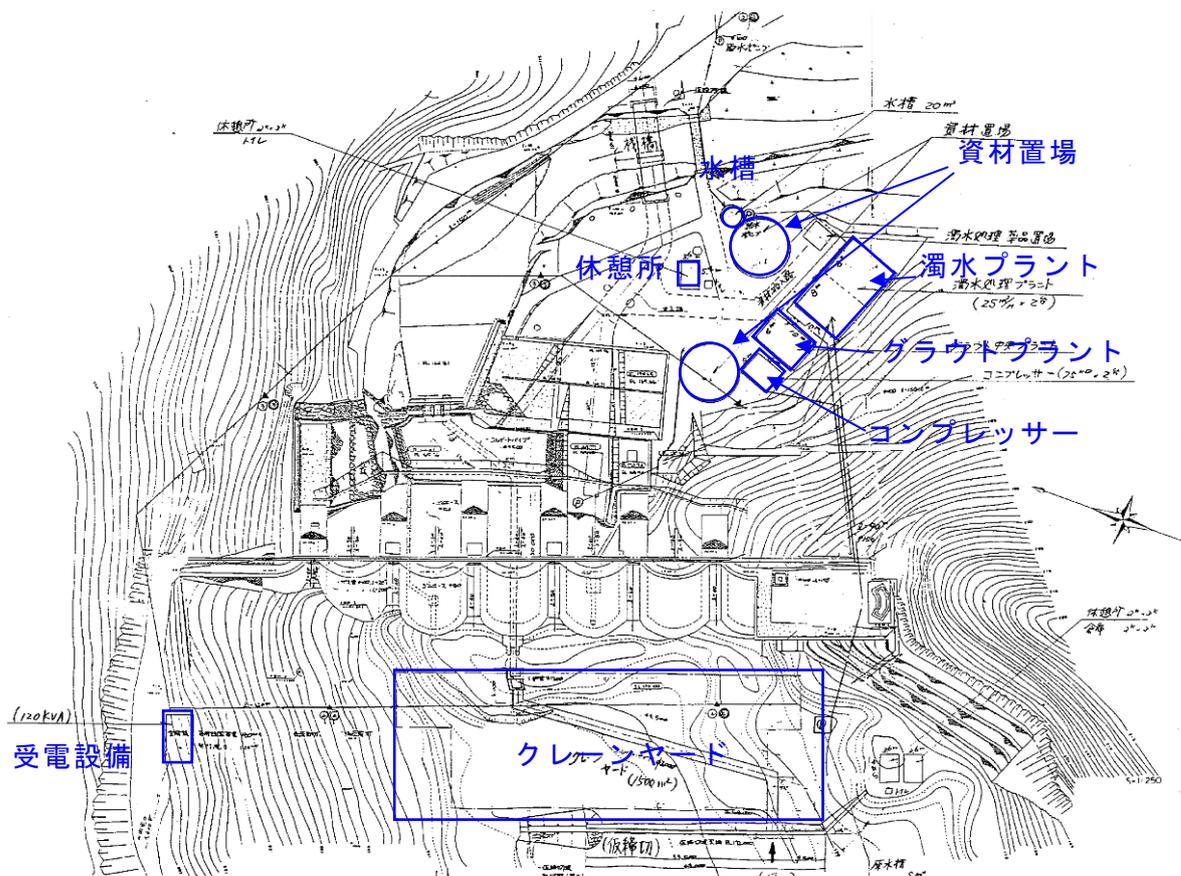


図-2.2.15 豊稔池ダム補修工事 仮設備平面図⁷⁾

c) 下流側部分

設置撤去を毎年繰り返すことが困難な諸設備については、貯水池の湛水に影響を受けない下流側の仮設ヤードに配置した。

主な設備としては、濁水処理設備、グラウト用プラント、コンプレッサー室、給水ポンプシステム、水槽、資材置き場等であり、休止期間中はシート養生で保護をした。

d) ダム天端付近の安全通路および仮設配管

各年度稼働期間中は、天端に仮設手すりを設置し、通路および給気、給水、電気等の路線として利用した。また、休止期間中は越流部のみ撤去し、洪水期に備えた。

(2) フィルダム

高野山ダム¹³⁾

① 工事概要

高野山ダムでは、供用開始後 30 年を経て、遮水壁に材料自体の老化や内的外的要因による亀裂損傷や摩耗損傷が発生していた。それまでに道路舗装補修で実績のある補修工事が数回実施されていたが効果が一時的なため、経済的で効果のある抜本的なアスファルト表面遮水壁の補修方法の開発が必要とされた。そこで、東京電力㈱ではアスファルト遮水壁の維持管理システムを開発し、本ダムへの適用を図った。

同システムでは、供用時に生じた劣化損傷の要因分析から始まり、遮水壁の調査、健全性評価、補修材料の設計、補修計画の立案、施工・品質管理技術までを個々にシステム化し維持管理を行った。

- ・ 工事名：高野山ダム遮水壁補修工事
- ・ 発注者：東京電力㈱
- ・ 施工者：大成建設㈱
- ・ 工期：右岸側：2001 年 8 月 1 日～2001 年 11 月 30 日
左岸側：2004 年 7 月 14 日～2004 年 11 月 26 日
- ・ ダム諸元：

表-2.2.10 高野山ダム調整池諸元¹³⁾

型式	アスファルト表面遮水型ロックフィルダム
竣工年	1971 年
舗設面積	13,500m ²
ダム天端標高	EL=845.000m
ダム高さ	33.0m
ダム法面勾配	(上流側) 1 : 1.8, (下流側) 1 : 1.7
堤頂長	380.0m
堤体天端幅	6.0m
H. W. L	EL=841.814m
L. W. L	EL=823.000m
利用水深	18.814m

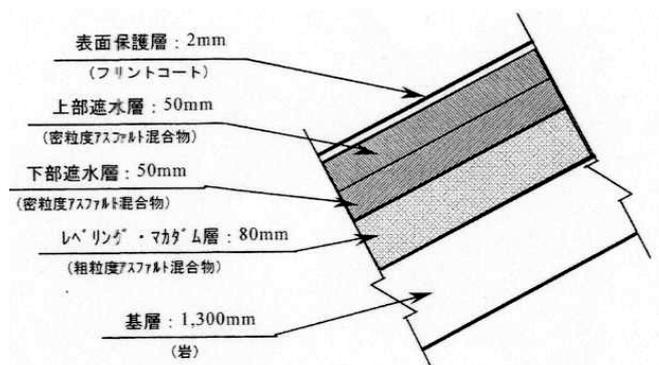


図-2.2.16 高野山ダム遮水壁断面概要図¹³⁾

②アスファルト遮水壁の維持管理システム

本工事で開発されたアスファルト表面遮水壁の維持管理システムは調査による現状分析、健全性評価、補修材料の設計、施工および施工管理からなる。これら全般にわたるシステムのフローと個々の配慮点を図-2.2.17に示す。

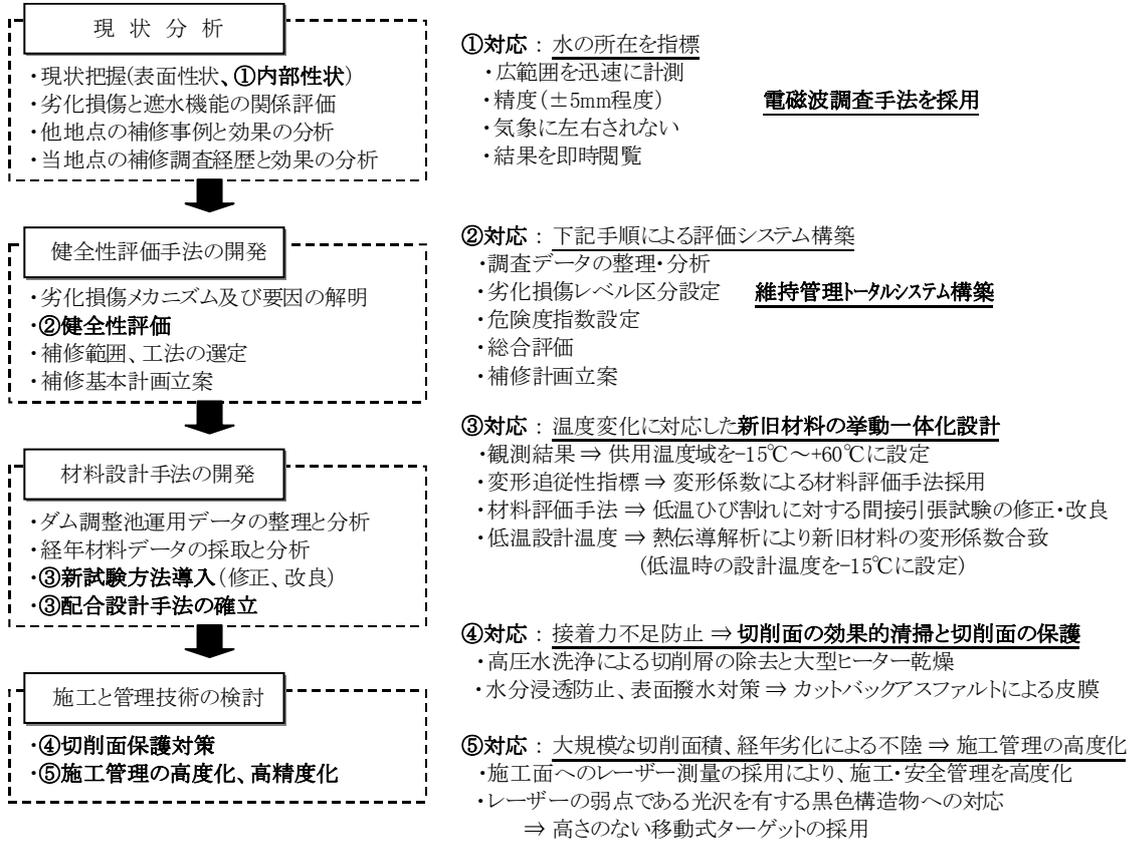


図-2.2.17 維持管理システムのフロー¹³⁾

上記システムにより実施された調査結果から補修範囲の特定までを図-2.2.18に示す。また、レーザー測量方式による舗設完了時点の可視化された測量結果を図-2.2.19に示す。

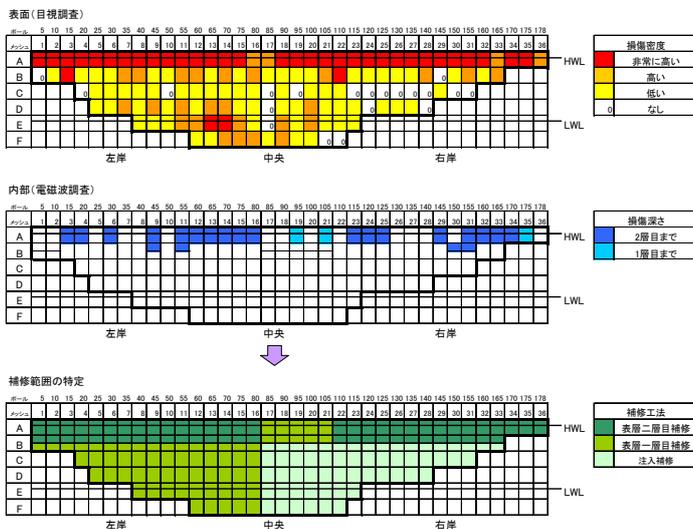


図-2.2.18 調査結果から補修範囲特定まで¹³⁾

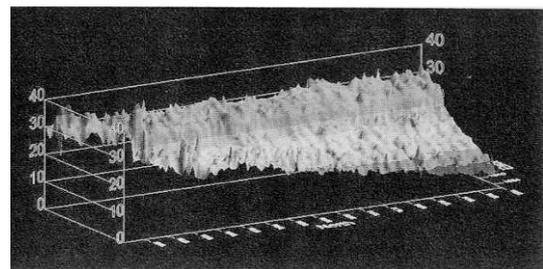


図-2.2.19 レーザー測量結果¹³⁾

③施工状況

当ダムにおける補修工事の施工フローは図-2.2.20 に示すとおりであり、その施工状況写真を図-2.2.21～図-2.2.24 に示す。

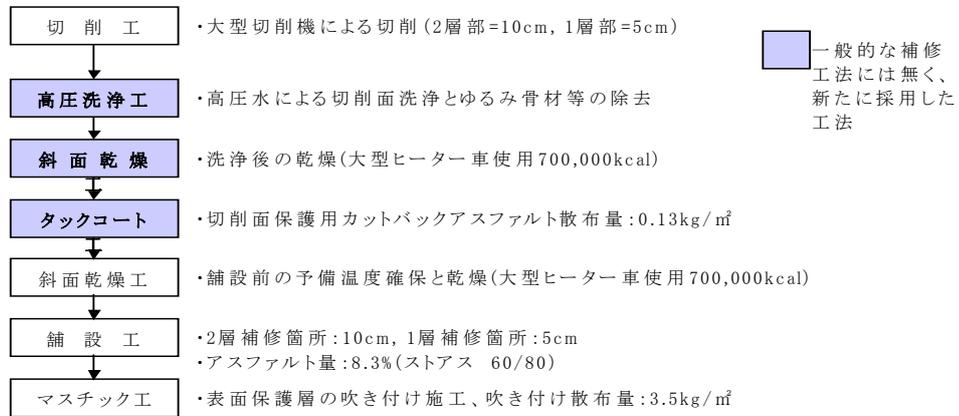


図-2.2.20 施工フロー¹³⁾



図-2.2.21 表層切削状況¹⁶⁾



図-2.2.22 切削面洗浄状況¹⁶⁾



図-2.2.23 機械の配置状況¹⁶⁾



図-2.2.24 舗装施工状況¹⁶⁾

2.2.4 堤体表面の補修における課題と展望

(1) 調査診断技術

コンクリート構造物の維持管理を行う場合には、非破壊検査による検査は有効であると考えられるが、一般に実施されているダムのリニューアル工事において非破壊検査が使用されることは少ないのが現在の状況である。また数年前まで、非破壊検査は土木技術者にとってあまり馴染みがなかった。検査で用いている電磁波、弾性波あるいは電気化学などの理論あるいは物理は、土木工学の分野を修了した技術者の得意なものではなかったからである。

現在では、公益社団法人日本コンクリート工学会によるコンクリート診断士制度も普及し、コンクリート構造物やダムの設計に携わる技術者の間でも非破壊検査を理解する技術者が増えた。また、コンピューターを用いた数値解析の発達により、計算ソフトも充実したものとなってきている。しかしながら、非破壊検査では物理現象そのものを理解しておかないと過ちを犯す可能性も試験法ごとにあることから、各検査を適用する際には慎重を期す必要がある。

近年実施されている非破壊検査によるコンクリートの調査方法の例を表-2.2.11に示すが、これらの非破壊検査における適用範囲や長所短所に関する研究を進め、普及していくことが今後の課題であると考えられる。

表-2.2.11 非破壊検査によるコンクリートの調査方法の例⁶⁾

調査方法	使用機器
電磁波レーダー法	マルチパスレーダー(三井造船製) 1.5GHz型2素子レーダー及びマルチパスアレイレーダー(三井造船製)
	RCレーダー(日本無線社製) 地中探査レーダー(日本無線社製) プロフォメーター(富士物産(株)販売)
	アイサンシーカー 電磁波レーダー測定器(鹿島-コマツエンジニアリング共同開発製品)
	IRS-150(小松エンジニアリング社製)
打音法	打音測定器(佐藤工業(株)自社製) トンネル覆工自動打音システム「易打天(いだてん)」(ハザマ)
超音波法	エルソニック・ソニックサーチャ AND(超音波厚さ計)
	UCM-2000-SR超音波探査装置(エッチアンドピシステム社製) 超音波測定装置TR-300(テクニサーチ社製) コンクリート用超音波測定装置U-004(テクニサーチ・三協(株)製)
光ファイバーセンサー	OSMOSシステム
インパクトエコー法	Impact-Echo Instruments (LLC社製)
赤外線サーモグラフィ	TVS-600, TVS-700, TVS-2000(日本アビオニクス社製) SC3000(最小温度分解能0.02℃) (FLIR社製)
デジタルカメラ	1眼レフデジタルカメラ260万画素 画像診断ソフト
	キャノンD20(630万画素) デジタルカメラ(400万画素)
	Nikon E3(現在はD100) デジタル画像診断ソフトGS1(ニコン製)
AE法	日本フィジカルアコースティック社製
ひずみゲージ	εゲージ
透気試験	トレント法(Proceq社製)
X線透過法	X線発生装置(移動式) デジタルX線検査システム イメージングプレート
	RF-200EG-SP X線装置(理学電機社製)
衝撃弾性波法	衝撃弾性波測定器(太平洋セメント(株)製) 加速度センサー 波形収録機, 解析用パソコン
目視	ルーペ
顕微鏡	実体顕微鏡
SEM	走査型電子顕微鏡

(2) 新しい調査診断技術

非破壊検査技術は日々進歩しており、物理的な原理や現象を正しく理解するよう努める必要があるが、同時に視覚的にわかりやすくこれを表示するなど、多方面からの視点で技術開発を推進していくことが今後は重要である。1次元の測定によって得られた多くの情報を蓄積し、コンピューターにより再構成して断層画像を得る手法をトモグラフィーと呼ぶが、近年は、このような手法を活用して構造物の健全性や補修効果を2次元あるいは3次元的に可視化する診断技術が実用段階にある。超音波測定を行って供試体断面の弾性波速度の分布を求めた例を図-2.2.25に示す。

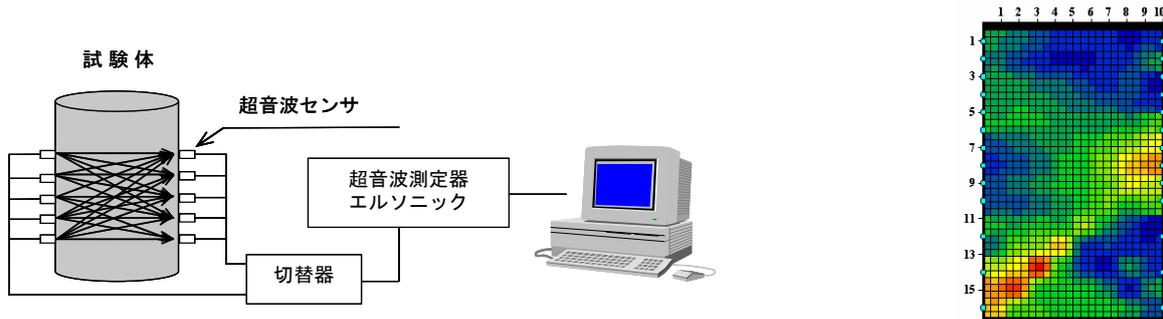


図-2.2.25 超音波トモグラフィー法による品質評価の事例¹⁴⁾

<参考文献>

- 1) 片岡幸毅、梅崎昌彦、木村哲也：関西電力における水土木設備劣化診断の運用、電力土木 No. 322、2006. 3
- 2) 通商産業省 資源エネルギー庁：ダム堤体コンクリート診断マニュアル(案)平成 5 年 4 月
- 3) 野々目洋，田中徹：「既設ダムの劣化状況調査と補修工事」電力土木，No. 316，pp155-157，2005. 3
- 4) 公益社団法人日本コンクリート工学会：「コンクリート診断技術 13」、2013 年
- 5) 三宅淳一ほか：「沼原ダムアスファルト遮水壁表面保護層の経年変化と補修について」，大ダム，No. 149，1994. 9
- 6) 東京大学生産技術研究所，(財)生産技術研究奨励会：「コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会 報告書」，平成 18 年 3 月
- 7) 清水・フジタ建設共同企業体 豊稔池ダム作業所：「豊稔池補修工事記録 (マルチプルアーチダム)」，平成 6 年 3 月
- 8) 佐藤工業ホームページ：<http://www.satokogyo.co.jp/technology/detail.php?id=53>
- 9) 「プレパクトコンクリートによる祐延ダム修繕工事」，西松建設 工事報告，Vol. 10，No12，1972. 12
- 10) 宮田修司，藤堂勝也：「三浦ダムの取水塔に対する寒中コンクリートを用いた補修工事」，ダム工学，Vol. 7，No. 1，1997
- 11) 前田建設工業 九州支店 九電山須原作業所：「山須原発電所ダムエプロン修繕工事 施工報告書」，平成 13 年 5 月
- 12) 藤沢武：「再開発事業 豊稔池 (ダム) の補修について」，ダム日本，No599，1994. 9
- 13) 土居賢彦，日馬謙一，浦田道彦：「アスファルト遮水壁補修技術の開発と高野山ダム遮水壁補修工事への適用」電力土木，No. 302，pp84-89，2002. 11
- 14) 安藤・間ホームページ：

http://www.ad-hzm.co.jp/service/civil_engineering/investigation/investigation04.html

15) 提供：九州電力株式会社

16) 提供：大成建設株式会社

2.3 堤体の補強

2.3.1 概要および現況

ここで記述する補強とは、設計基準の改定や耐震性に対する見直し、老朽化による安定性の低下、機能向上・維持に伴う構造上の補強を示すものとする。

以下に、今回調査したコンクリートダム及びフィルダムにおける補強の現況について記述するとともに、堤体補強事例の一覧を表-2.3.1に示す。

(1) コンクリートダム

今回調査対象としたコンクリートダムの補強事例では、老朽化によるダム施設機能の維持・向上、変更等にもなって現行の設計基準にしたがって照査を行った結果、堤体の安全性が確保されず、補修工事等にあわせて堤体の補強を行っている事例が多い。

このうち布引五本松堰堤は、ダム堤体の老朽化の対策として補強工事を行った事例として特色がある。当ダムは、建設後100年以上が経過している。建設当時の設計では、水圧による転倒・滑動に対して安定性を確保するための設計手法は確立されていたが、地震力に対する配慮がなされていなかった。そのため現行の設計基準により当該ダムを照査した結果、ダムの耐震性が確保されなかったために補強工事を行ったものである。

(2) フィルダム

今回調査対象としたフィルダムの補強事例では、対象ダム全てが生活用水源として利用されているため池であり、さらにはこれらのダム下流域では市街化が進行している状況にある。そのため5事例中3事例では、平成7年1月に発生した兵庫県南部地震を契機に、同程度の直下型地震に配慮しつつ、最新のダム設計基準に基づいた堤体の耐震性能の見直し（向上）を基本とした補強を目的としている。

耐震性能の見直しにおける安全性の評価においては、山倉ダムの事例では安全性に問題有りとの解析結果であったが、山口貯水池及び村山下貯水池については、堤体の安全性には問題無しとの解析結果であった。しかし一方で、地震時には堤頂部に沈下が生じ、堤体に損傷を受ける可能性があることも判明した。地元住民にとっては、平常時はもとより洪水時にはなくてはならない施設であり、また当ダムの堤体下流域まで市街化が進行している現状下においては、震災対策としての堤体の耐震性向上が一層望まれたものである。

表-2.3.1 堤体補強事例一覧表

種別	ダム名	堤高 (m)	堤頂長 (m)	堤体積 (m ³)	所在地	事業者	本 体		リニューアル		リニューアルの内容			
							完成 (年度)	元施工業者	完成 (年度)	施工業者	目的	施工場所	原因の内容	変更内容
G	大又沢	18.7 18.7	87.44 90.4	11,826 17,600	神奈川県	東京電力	大成	大成	1984	大成	老朽化対策 耐震対策	堤体下流面	ダム本体、ゲート及び巻上機の磨耗、照査。 現行の設計基準による変更。	既設堤体の下流面にコンクリートを増し打ち。 排砂門2門を自然越流タイプに変更。 既設堤体表面の石叢の撤去はクレスト部及び水叩きの一部のみとし、新コンクリートを増し打ち。 ダム堤体補修(1.3万m ³)、取水設備、洪水吐の新設。
	帯釈川	62.1 62.1	35.2 39.5	31,000 44,000	広島県	中国電力	田原組	鹿島 大本 飛鳥 森本	2006		安全性向上 機能向上維持	堤体下流面 取水設備 洪水吐	現行の設計基準による照査。 洪水規模の見直し。	既設堤体の下流面にコンクリートを増し打ち。 既設堤体の上部を切欠き、堤体越流式の洪水吐を増設。
	飯豊川第一	34.848 36.6	50.1 50.1	6,000	新潟県	東北電力	新潟県直営	熊谷	2001		安全性確保	堤体下流面	放流方式の変更に伴う、設計洪水位の上昇。	常駐管理体制による洪水吐ゲート操作から自然越流式に変更。 流動化箱を追加し圧送性を良くしている。また、ひび割れ対策としてフライアシッシュを20%混合。
	千本貯水池	11.5 15.5	99.5	—	島根県	松江市	島根県直営	湯池 岩崎	1991		機能維持	基礎岩盤 堤体	漏水の増加。 堤体コンクリートの劣化。	注入圧により堤体が浮き上がり、既設堤体の一部を切欠くと共に既設排砂門を利用。 コンクリート施工はポンプ打設により専ら、生コンに流動化箱を追加し圧送性を良くしている。また、ひび割れ対策としてフライアシッシュを20%混合。
	布引五本松堰堤	33.3 33.3	110.3 110.3	22,000 25,360	兵庫県	神戸市水道局	神戸市直営	奥村 三井住友 青木	2005		耐震対策 利水機能保持	堤体上流面	地盤による被害。 現行の設計基準による照査。	既設堤体表面の石叢は撤去していない。また、新コンクリートとの一体化の問題は、アンカー筋でせん断補強し対応。 河川処理工として、堤体上流に集水しポンプアップ。
E	曲洲	43.0 45.0	160.6 160.6	53,400 82,200	福岡県	福岡県	福岡市直営	大成 熊谷 鉄建 西光	1992		安全性向上 利水機能保持	堤体上流面	現行の設計基準による照査。	既設堤体表面の石叢は撤去して、仮排水路トンネル方式(設計対象流量 2年確率流量)を採用。 コンクリート製造設備はダム上流約550m付近に設置。また骨材は全量を購入、コンクリート打設設備は上流仮締切先端を走行路に利用したクローラクレーンを採用。
	山倉	22.5	300.0	579,000	千葉県	千葉県企業庁	鹿島	鹿島 東亜	2002		治水機能保持	基礎岩盤 堤体上下流面	耐震性の向上。	上流側深層混合処理、下流側グラベルコンパクションパイル工の地盤改良。 取水設備の新設。
	赤祖父溜池	31.8	200.2	198,000	富山県	富山県	富山県直営	飛鳥 安達	1999		治水機能保持	堤体 取水設備	堤体の老朽化。 漏水の増加。	盛立材は貯水池内で採取したものに、購入砕石(C-40)を混合して使用。 旧堤体、補強盛り土に着目した独自の情報化施工管理を確立適用。
	山口貯水池	35.5	716.0	2,430,000	東京都	東京都水道局	東京都直営	鹿島 清水	2002		耐震対策	堤体上下流面	耐震性の向上。	耐震壁を撤去し、旧堤体上下流面に耐震補強盛土を施工。
	村山下貯水池	32.6	587.3	836,000	東京都	東京都水道局	東京都直営	大成 西松 飛鳥	2007		耐震対策	堤体上下流面	耐震性の向上。	下流側の補強盛土法面にジオテキスタイル材を使用。 天端部の補強盛土材にセメント安定材を使用。
川内	23.98 25.5	122.0 128.0	97,000 120,000	新潟県	柏崎市	柏崎市直営	安藤ハザマ 丸高	2013		安全性向上	堤体上下流面 堤体天端	現行の設計基準による照査。	盛立材は既設他ダムの土捨場から細粒材と粗粒材を採取し、混合したものを使用。 フィルター材は新設した洪水吐トンネルの掘削材を使用。	

2.3.2 施工方法

(1) コンクリートダム

今回調査した6事例のうち5事例が、新コンクリートを堤体に増し打ちすることによる補強方法を採用している。したがってこの5事例を対象として、施工方法における仮設備、旧堤体のはつり方法、新堤体コンクリートの概要等について以下に記述する。

1) 仮設備（転流工、コンクリート製造設備、コンクリート打設設備）

堤体補強における仮設備を表-2.3.2に示す。

表-2.3.2 仮設備事例一覧表

ダム名	施工場所	河流処理方法	コンクリート製造設備	コンクリート打設設備
大又沢	堤体下流面	・ダム上流に仮締切築造。仮締切から既設取水口まで約80mをコルゲートパイプ（φ1800）にて導水し、発電運転をしながら河流処理。	・購入生コン	・ポンプ車
帝釈川	堤体下流面	・仮締切 + 仮排水路トンネル方式（新設） （設計対象流量1年確率流量）	・購入生コン	・80tクローラクレーン + 定置式ポンプ （堤体下流に構台を設置）
飯豊川第一	堤体下流面	・仮締切 + 左岸側の排砂路	・購入生コン	・ポンプ車 （堤体左岸側の既設排砂門下流にEL210mの鋼製作業構台を設置：図-2.3.2参）
布引五本松堰堤	堤体上流面	・ダム左岸側を通る既設の通水トンネルを仮排水路トンネルとして利用 ・通水トンネル呑口より下流の貯水池内は開渠方式のコルゲートにより行い集水して下流にポンプアップ	・購入生コン	・ポンプ車 （堤体上流に鋼製作業構台を設置：図-2.3.1参）
曲 淵	堤体上流面	・1, 2, 3次仮締切+仮排水路トンネル方式（新設） （設計対象流量2年確率流量40m ³ /s）	ダム上流約550m付近に設置（日最大打設量220m ³ ）	・150t, 200tクローラクレーン （上流仮締切り天端を走行路に利用）

転流工は、既設堤体の設備を利用して転流を行う事例がある他、そのような設備が無い場合は仮排水路トンネルを新設する等、それぞれの現場に応じた工法が採用されている。どの事例も本格的な転流工が行われている背景には、堤体補強のみの工事ではなく、既設ゲート・取水口等も補修・改良など複数のリニューアル工事が同時に行われるため、転流方法が大規模かつ重要なポイントになっているケースが多い。

コンクリート製造設備は、新コンクリート量が比較的小規模であり、経済性・施工ヤードの制約等から購入生コンを採用している事例が多い。また、今回調査した事例の中には曲淵ダムが唯一現場練りであるが、骨材については全量購入であり原石山を持った事例はない。

曲淵ダムでは新コンクリート打設量が約28,800m³であり、仮設備は約1,200m²の用地にコル

ゲート製骨材貯蔵設備（粗骨材 3 日分、細骨材 5 日分）、および日最大打設量 4 日分のセメント貯蔵設備が設置された。またコンクリート製造設備は、日最大打設量 220m³ を 7 時間で打設するものとして必要混練能力を 32m³/h とし、ミキサー能力が 1m³×2 型の設備が使用された。

コンクリート打設設備は、一般に鋼製構台を利用したクローラクレーンもしくはコンクリートポンプ車の事例が多い。堤体上流側に新コンクリートを増し打ちする施工事例は少ないが、堤体上流側を完全にドライ状態として施工する場合は、**図-2.3.1**に示すようにクレーンを打設設備に選択することが可能であり、この場合はカバーエリアの確保が比較的容易となる。



図-2.3.1 布引五本松堰堤の作業用構台¹⁾

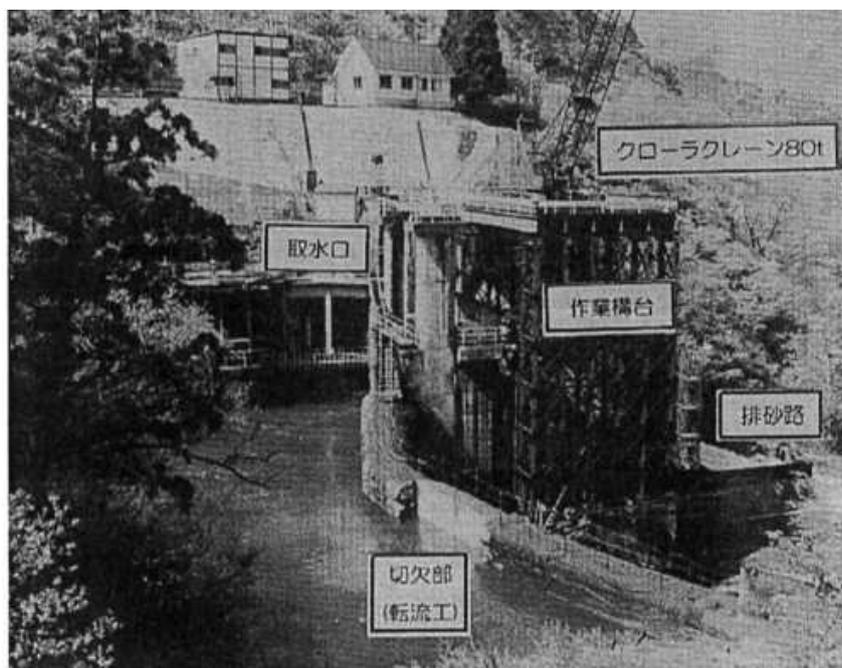


図-2.3.2 飯豊川第一ダムの仮設備全景²⁾

2) 接合面処理

堤体補強における旧堤体と新コンクリートの接合面処理について表-2.3.3に示す。

なお、堤体補強と同時に既設設備の変更を行い、設備周辺の旧堤体をはつる事例があるが、ここでは一体化施工部分のみの事例を示す。

表-2.3.3 接合面処理工施工方法事例一覧表

ダム名	施工場所	はつり厚(m)	はつり厚 さの根拠	はつり方法	確認 方法	一 体 化 対 策
大又沢	下流面	・実施せず	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・石張表面処理として、ウォーターサンドブラスト(けい砂混入率5%、水圧29.4Mpa(300kgf/cm²)) ・差筋(引張応力発生箇所)
帝釈川	下流面	・石張り撤去+チップング	・内部コンクリートの状態	・大型ブレーカ+ビットローラ(0.45m ³)	目視	・補強筋等実施せず
飯豊川第一	下流面	・実施せず	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・打ち継ぎ面を高圧洗浄 ・打ち継ぎ接着剤塗布。(NSボンドスーパー) ・差筋。(D22、穿孔長60cm)
布引五本松堰堤	上流面	・実施せず(既設石張りは未撤去)	—	—	—	・せん断補強アンカー
曲 淵	上流面	・0.6m(既設堤体表面に厚さ0.6mの石張り及びコンクリートブロック有り)	・既設石張り厚さ	・台船+大型ブレーカ+人力による仕上(貯水池内に台船を設置し施工:図-2.3.3参)	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・はつり及びチップング ・差筋:図-2.3.4参 ・ジョイントグラウチング工 ・打設前に旧堤体側にモルタル塗布

堤体の補強を図るために設ける新堤体と旧堤体を一体化させるため、各ダム様々な施工方法が採られている。

事前調査として、旧堤体コンクリートの健全性および堤体構造解析時の諸定数決定の資料を得るために、コンクリートコアの採取や一部コンクリートを切り出し、各種試験を実施している事例が多い。

一般的に補強コンクリートにおける堤体の変位の傾向は、外気温による堤体の変位の他に、新堤体の硬化熱による温度の要素が加わることから、堤体の変位はより大きくなることが予想される。そのため打継面の開口を防ぐ必要があり、基本的には旧堤体をはつることによって一体化を行う事例が多い。また、打継面の温度応力解析を時系列で実施し、新旧コンクリートが外力に対して一体となって働くか、緻密な検討が行われている。その際、一時的でも引張応力が発生する場合には、差筋によって補強を実施している。

今回の調査事例の中では、布引五本松堰堤では旧堤体への影響を考慮し、表面の石張りは撤去せずに新コンクリートを打設している。このため、新コンクリートと旧堤体(間知石)との

一体化が問題となるが、接触面に発生する応力分布状態について有限要素法を用いて解析を行い、かつ実際に増築する部分に試験ブロックを打設し、引張試験とせん断試験を行い一体化について詳細に検討を行っている。

旧堤体をはつる場合には、旧堤体の事前調査における中性化深度等の物性値を考慮し、はつり厚さ、はつり範囲の規模、はつり位置の施工条件等を検討し、各ダムに応じた方法を採用している。

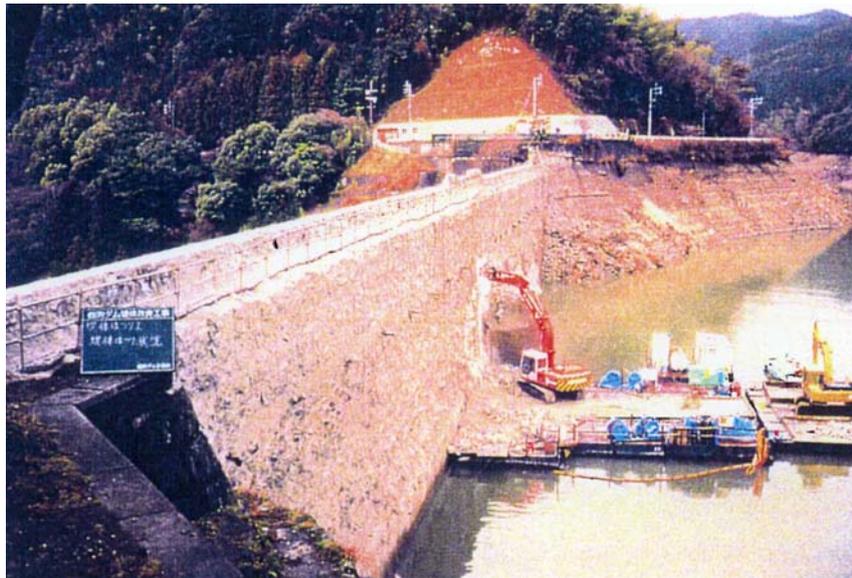


図-2.3.3 曲淵ダムの台船+大型ブレーカによる旧堤体はつり状況³⁾

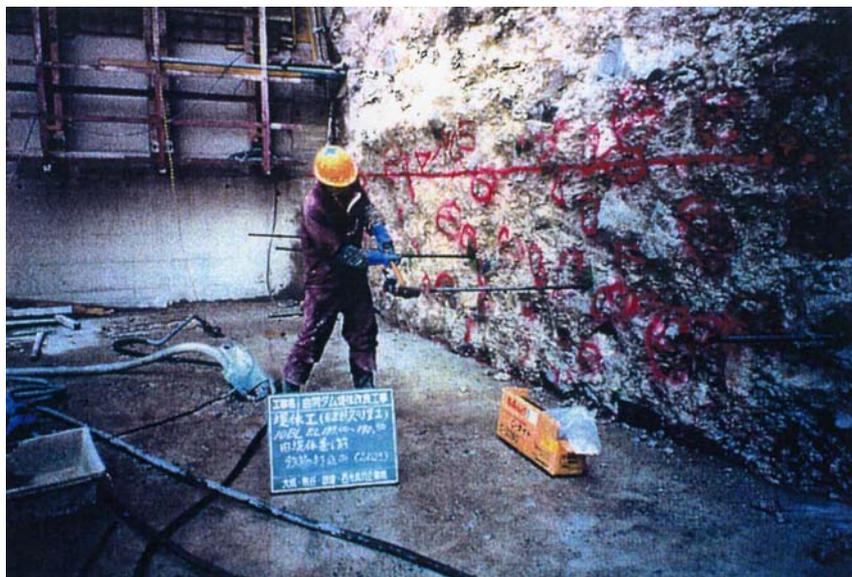


図-2.3.4 曲淵ダムの差筋施工状況³⁾

3) 新堤体コンクリート

堤体補強に用いられたコンクリートについて表-2.3.4に示す。

表-2.3.4 新コンクリート一覧表

ダム名	配合	日平均 打設量 (m ³ /日)	打設工法	リフト厚	養生方法	打設規制				養生方法
						降雨規制	暑中コンクリート規制	暑中コンクリート対策	寒中コンクリート規制	
大又沢	・26-5-40BB	・30m ³ /日	・ポンプ車	・2.0m	・灌水、温水養生 またはヒーター 養生マット	・時間雨量 4 mm以上 ・日雨量 20 mm以上	—	—	・コンクリート 打込み温度 5℃未満	・シート養生+ジエ ットヒーター ・シート内温度 5~10℃
帝釈川	・Gmax40mm SL 4 cm (堤体コンクリート)	・290m ³ /日	・80t クローラ クレーン ・定置式ポンプ	・岩着部 : 0.75m×2 ・堤体部: 1.5m ・橋脚部: 2.0m	・灌水養生または 養生マット ・スプリング ラー	・時間雨量 4 mm以上 ・日雨量 20 mm以上	・打込み温度 25℃以下	—	・日平均気温 4℃以下中止	—
飯豊川 第一	・21-8-40 (FA20%流動化剤 を添加スランプレ 目標値 15 cm)	・82m ³ /日	・ポンプ車	・着岩部: 0.5m×2 ・一般部: 1.5m	・散水シート	・時間雨量 4 mm以上 ・日雨量 20 mm以上	・自主規制 (コンクリート 標準示方書)	・早朝打設 ・フライアッシュ 20%混合 ・河川水の散水 ・トラミキのドラム 冷却	・自主規制 (コンクリート 標準示方書)	・冬期打設中止
布引五本 松堰堤	・27-5-40 BB	・74.5 m ³ /日	・25 t ラフター ・ポンプ車	・1.5m	・灌水養生	・時間雨量 4 mm以上 ・日雨量 20 mm以上	・打込み温度 25℃以下	(不明)	・日平均気温 4℃以下, コ ンクリート 打込み温度 5℃未満	(不明)
曲 瀬	・Gmax150mm ・W/C 46.2% ・C=210kg (外部コン)	・約 100 m ³ /日	・150, 200t クローラクレ ーン	・着岩部: 0.5m×2 ・一般部: 1.5m	—	・時間雨量 4 mm以上 ・日雨量 20 mm以上	・打込み温度 25℃以下	・早夕打設 ・チラーの使用 ・粗骨材への散水 ・シート養生 ・灌水又は散水養生	・日平均気温 4℃以下中止	・ボイラー使用 ・打設後に灌水または シート養生

新堤体のコンクリートの施工は、打設設備としてポンプ車を選定している事例が多く、ポンパビリティを確保する必要から通常のダムコンクリートに比べ富配合となる事例が多い。

配合決定に当たっては、材料調査から始まり、経済性、施工性、温度応力解析等十分な検討がされている。

(2) フィルダム

今回調査対象とした5事例すべてにおいて、堤体の上下流面（片面もしくは両面）に補強盛土を実施する補強方法を採用している。

以下に、補強盛土の施工に当たっての仮設備（転流方式）、旧堤体の処理・品質確認方法について整理した。

なお、新堤体（補強盛土）の盛立方法については、新設のフィルダムに準じた手法で施工されている。

1) 仮締切、転流方式

堤体補強盛土に先立って施工される仮設備工（仮締切、転流方式）について、表-2.3.5に事例を整理した。

表-2.3.5 仮締切、転流方式一覧表

ダム名	補強箇所	仮締切	転流方式
山倉	・堤体上下流面 ・基礎地盤	・上流側に鋼製2重矢板締切	・既設取水路利用
赤祖父池	・堤体上流面 ・基礎地盤	・盛土による仮締切	・仮排水路トンネル（新設）
山口貯水池	・堤体上下流面 ・基礎地盤	・上流側に鋼矢板1重締切 + 2重締切	・既設取水路利用
村山下貯水池	・堤体下流面 ・基礎地盤	・仮締切無し（水位低下）	・無し
川内ダム	・堤体上下流面	・盛土による仮締切	・仮排水路（新設）+洪水吐トンネル（恒久構造物として新設）利用

山倉ダムの場合、ダム完成から40年近くを経過しており、この間広い水域面積を保持してきたことにより、水生動植物等が繁殖し、また、工事中には当初予想していなかった、オオタカの営巣も確認された。また、左岸側谷津の最上流にも池（古い農業用ため池）があり、この地区には潤性植物群落が広がっていた。このような状況から、工事により貯水位を下げた場合は、周辺の自然環境に与える影響が大きくなることが予想された。そのため工事中は、左岸側谷津の水位をこの池の高さと同程度に保つよう、第1堰堤上流側に鋼製2重矢板締切堤を設けるとともに、第1堰堤の法尻周辺には仮締切堤を設けて、貯水位を確保している。

その他の4事例については、堤体上流側を完全なドライな状態にするため、本格的な締切工を新設している。

また転流方式については、赤祖父池の事例のように取水口など既設設備が無い場合は仮排水路トンネルを新設している場合もある。

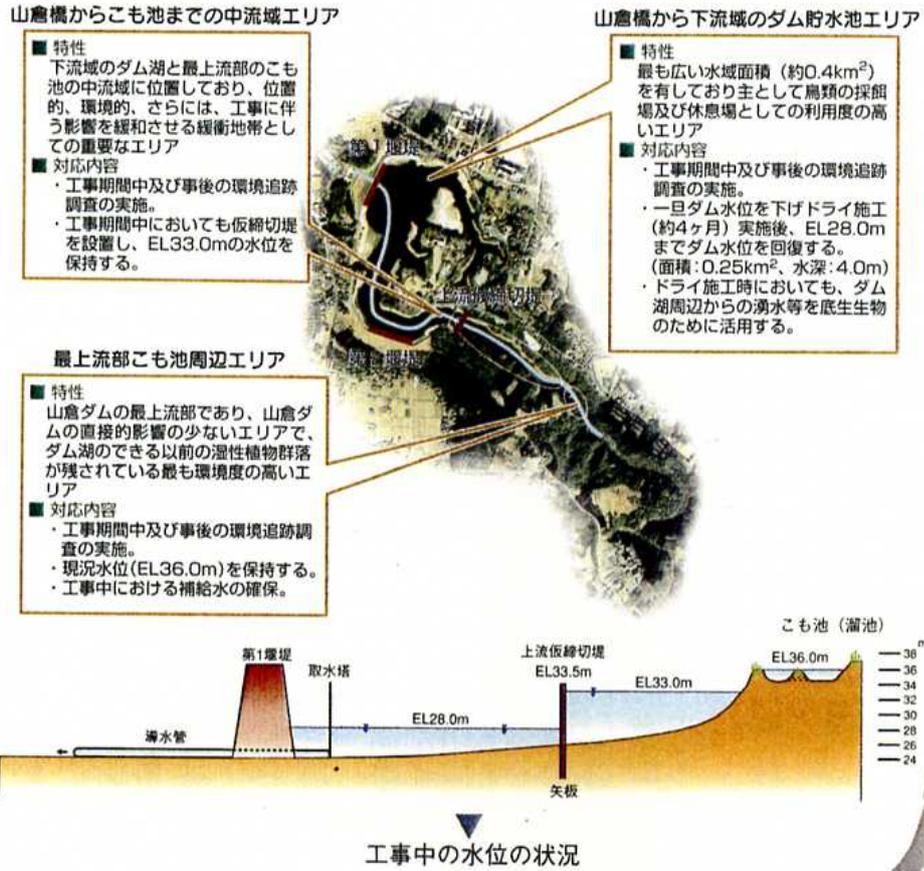


図-2.3.5 山倉ダムの仮設備による水位状況の概念図⁴⁾

2) 旧堤体の処理

旧堤体の処理方法について表-2.3.6に示す。

表-2.3.6 旧堤体の処理方法一覧表

ダム名	旧堤体の掘削方法	旧堤体の処理方法	旧堤体の品質確認方法
山倉	・機械掘削 (地盤改良工施工の為に平地を造成)	・実施せず	・盛立中は変位計、間隙水圧計、傾斜計を旧堤体に設置し挙動を計測。 (基礎部にも間隙水圧計を設置)
赤祖父池	・機械掘削	(不明)	(不明)
山口貯水池	・機械掘削 軟弱湖底堆積土はセメント固化処理を実施し、その後、貯水池内の指定箇所 ⁵⁾ に50cmの覆土を施し廃棄。	・旧堤体と補強盛土との接触面は、人力による仕上げ掘削を実施。	・施工に先立ち、RIコーン調査を実施。 ・盛立中は沈下計、間隙水圧計、傾斜計を旧堤体に設置し挙動を計測。
村山下貯水池	・機械掘削	・旧堤体と補強盛土との接触面は、人力による仕上げ掘削を実施。	・施工に先立ち、標準貫入試験を実施。 ・盛立中は沈下計、間隙水圧計、傾斜計を旧堤体に設置し挙動を計測。
川内ダム	・機械掘削	・実施せず。	・盛立中は外部標的、間隙水圧計を堤体に設置し挙動を計測。

山口貯水池では、図-2.3.6に示すように旧堤体と補強盛土との接触面は人力による仕上げ掘削を実施し、掘削面の確認後に同日中に小規模盛土の施工を行っている。また村山下貯水池でも、図-2.3.7, 8に示すように同様な施工方法で実施されている。

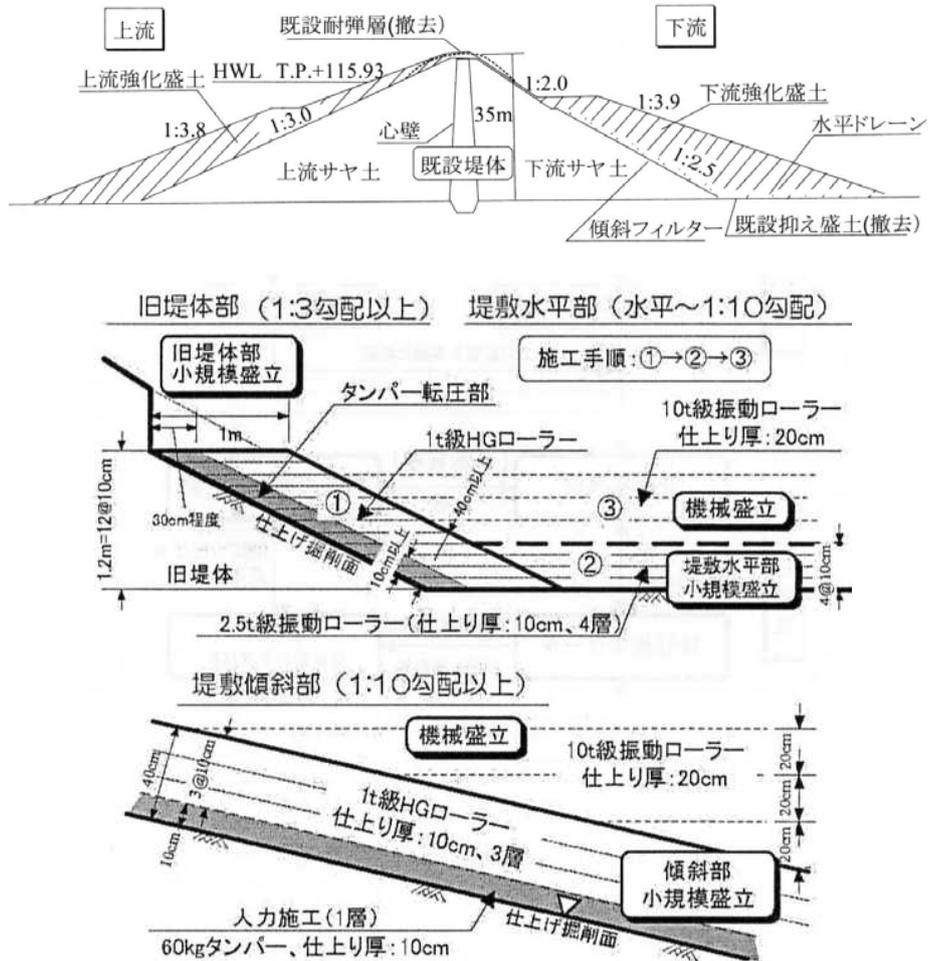


図-2.3.6 山口貯水池標準断面⁵⁾および旧堤体接続部詳細図



図-2.3.7 村山下貯水池の
接触面仕上げ掘削⁶⁾



図-2.3.8 村山下貯水池の
接触面小規模盛土⁶⁾