
調査・報告

Technical Report

■ 調査・報告 ■

耐久性の優れたコンクリート構造物——電力ダム施設——

STUDIES ON THE HIGHLY DURABLE CONCRETE——DAM STRUCTURES AS ELECTRIC POWER FACILITIES——

奥田 徹*

By Tohru OKUDA

1. ま え が き

表題のもとにすでに鉄道構造物・港湾構造物などについての調査・報告がとりまとめられている。

いずれも明治末期から昭和初期に建設され数十年の歴史を経たコンクリート構造物の紹介と実体調査に至る背景ならびに工事記録が述べられコンクリートの優れた耐久性を立証している。

電力事業においてもほぼ同様に明治末期から昭和初期に建設されたコンクリート構造物は多数存在し機能を十分に果たしている。

たとえば、本誌創刊号（大正4年2月）に掲載されているが、明治45年当時の東京電燈株式会社が山梨県下に建造した猿橋水道橋（水路橋）が、今なお健在であることをみてもコンクリートに対する信頼性は高い。

一般に水工コンクリート構造物で耐久性が心配されるのは凍結融解作用とすりへり損傷摩耗である。

凍結融解作用は寒冷地にある戦前のコンクリート構造物では劣化損傷の一位に挙げられていた。しかし今日では良質の混和剤を使用し入念な施工を施すことによってほぼ完全に技術的に解決できる。

一方、砂礫の流下に起因するすりへり・洗掘損傷はコンクリートのもつ力学的物性の限度を越えることが多く、その損傷防止対策はなかなか困

難な問題である。

さて、本文は電力施設水工構造物のうちコンクリートダムを取り上げ、その歴史的過程と40年以上を経過し、なお、優れた耐久性を保持している2つのダムを紹介する。

2. 発電用ダム

(1) 全 般

わが国にはダム設計基準（国際大ダム会議）の適用を受ける堤高15m以上のダムは、一部工事中を含めると

表一 日本のダムおよび電力10社のダム保有数

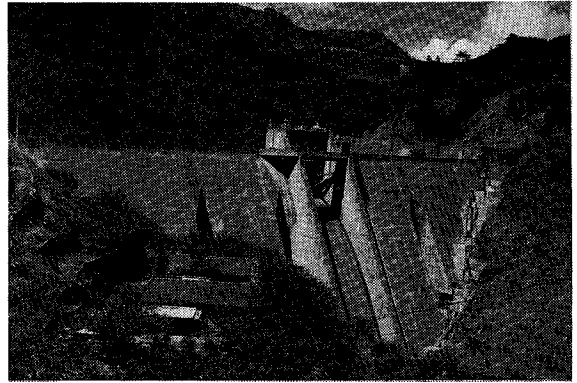
分類	型 式	略号	わが国のダム保有数		電力10社のダム保有数	
			数量	構成百分率	数量	構成百分率
コンクリート	アーチダム	A	50	1.8	24	7.5
	バットレスダム	B	6	0.2	5	1.6
	グラビティードラム	G	879	30.8	223	70.1
	グラビティードラムアーチダム	GA	11	0.4	6	1.9
	ホローグラビティードラム	HG	13	0.5	7	2.2
	マルチプルアーチダム	MA	3	0.1	—	—
小 計			962	33.8	265	83.3
その他	アースダム	E	1537	54.1	16	5.0
	コンクリート・フィル複合ダム	GF	24	0.8	3	0.9
	ロックフィルダム	R	282	10.0	29	9.1
	フローティングゲートダム	FG	26	0.9	—	—
	アスファルトフェイスングダム	FA	9	0.3	4	1.6
	アスファルトコアダム	FC	1	0.1	1	0.1
小 計			1879	66.2	53	17.7
工 事・計 画 中			9	—	—	—
合 計			2850	100	318	100

* 正会員 前・電力中央研究所調査役
(〒194 町田市玉川学園5-20-5)

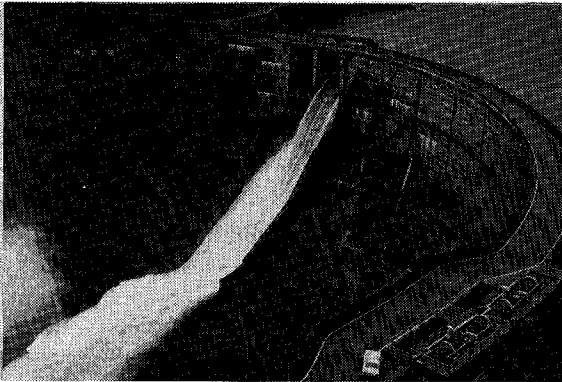
Keywords: dam, dam concrete durability



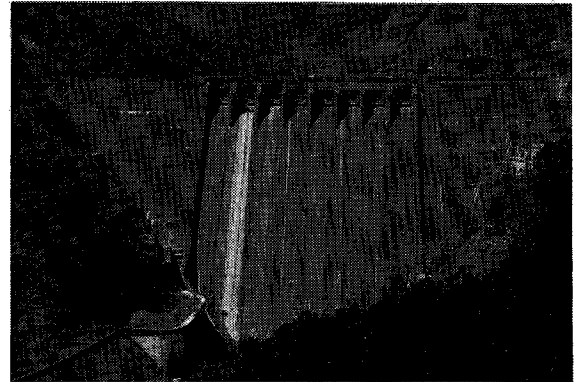
写真一 高岡グラビティーダム (1931年竣工)



写真三 諸塚ホーローグラビティーダム (1960年竣工)



写真二 上椎葉アーチダム (1955年竣工)



写真四 塚原グラビティーダム (1938年竣工)

表一のとおり2850ほどある。

コンクリートダムをアーチダム、バットレスダム、グラビティーダム、グラビティーアーチダム、ホーローグラビティーダム、マルチプルアーチダムの6種類とすると962地点で、ちょうど全体の1/3を占める(写真一~四参照)。

このうち発電用および発電関連ダムは562地点で、建設省、県、企業体などが所有する発電関連ダムは244地点、電力10社(9電力会社と電源開発株式会社)が保有するダムは318地点、うちコンクリートダムは265地点で、発電用ダムの84%を占め、コンクリートに依存する割合が高い。

発電用コンクリートダムの最初は、1912年に竣工した黒部ダム(鬼怒川水系)とされている。

したがって、265地点のダムは過去約75年間に建設されたことになる。

表二は、電力10社が保有する発電用コンクリートダムを竣工年度別にとりまとめた構成百分率であるが、竣工以来60年を経過した大正時代のダムは17地点、戦前に竣工し40年以上経過したダムは92地点、併せて109地点に達し、コ

ンクリートダムの中の約40%を占めている。

(2) 大正時代に建設されたダム

大正時代に竣工し、現在電力会社が保有する17地点のコンクリートダムを表三にまとめた。

これらの大部分は幾度も補修、補強を重ねてはいるが、今日でもその機能を十分に果たしている。

また、従前はこの表中に野花南、志津川、帝釈川、高原など著名なダムもあったが、後年高上げ、増設、その他大幅な改良工事が施され、設備内容の変更によって竣工年時が移動し、名が消えたダムもある。

表二 電力10社の発電用コンクリートダムの竣工年時別百分率

西暦年	邦暦年	経過年数(年)	竣工数	構成百分率(%)	構成分布				
					5	10	15	20	25
1912~1926	大正	60~75	17	6					
1927~1935	昭和初期	50~60	35	14					
1936~1945	昭和10年代	40~50	57	21					
1946~1955	昭和20年代	30~40	42	16					
1956~1965	昭和30年代	20~30	68	26					
1966~1975	昭和40年代	10~20	27	10					
1976~1987	昭和50年代	10~	19	7					
計			265	100					

表—3 大正年間に建設された発電用コンクリートダム

ダム名称	竣工年	経年数(年)	諸元		
			堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m ³)
黒部	1912	75	33.1	150.0	81 000
飯豊川第一	1915	72	35.3	50.1	5 500
大又沢	1916	71	18.6	77.6	10 725
草木	1918	69	24.9	86.4	8 240
高橋谷	1919	68	18.5	68.9	12 893
小荒	1923	64	26.7	27.9	5 888
中岩	1924	63	24.5	107.9	12 303
由良川	1924	63	15.2	89.7	9 340
大井	1924	63	53.4	275.9	153 000
川茂	1924	63	16.1	56.1	—
吉野谷	1926	61	30.8	63.0	14 071
一ノ沢	1926	61	20.3	93.0	13 000
白水滝	1926	61	23.3	98.5	13 557
細尾谷	1926	61	22.4	59.1	7 959
落合	1926	61	33.3	215.1	45 360
頭佐沢	1926	61	21.0	75.8	5 210
黒又	1926	61	23.6	217.5	11 000

なお、電力会社以外では王子製紙株式会社が所有する千戈第3、第4ダムの2つが、この表中に位置する。

大正年間に建設されたコンクリートダムの経年調査は折にふれたたびに行われているが、特に昭和30~40年代に集中的に調査し、すでに設計変更を含めて補修工事が完了している。

しかし調査目的、調査方法など必ずしも一様でなく、個々のダムについて述べるには資料も乏しいので一括してその概況をまとめる。

大正時代のダムコンクリートは、おおむねミキサー(容量0.3m³程度)を用いて練りまぜてはいるが、軟練りコンクリートである。

コンクリートの打設方法は、規模によるが、通常、ダム地点の両岸に仮設された栈橋から手押し車で運ばれたコンクリートを「縦シュート」とよばれる鋼製の筒を継ぎ合わせた樋に排出し、自然落下させたり、「斜めシュート」とよばれる鋼製の凹状または円筒状の半裁品を継ぎ合わせ、足端丸太で組まれた架設台上に並べ、左右に立つ作業員の掻き落し作業によった。

ミキサーを現在のように工事期間を通じて位置を固定せず打設量、打設箇所に応じて中段、上段へと移動させているダムもある。

またコンクリートダムと称しても表面の全部、または一部に石張りを施したり、玉石、粗石を混用している。

総じて人力による作業が多いため、1日のコンクリート打設量は少なく、軟練りコンクリートのため、ある程度打設層が厚くなると、「尻ぐわ」とよばれる敷きならし作業員は膝までコンクリート中に没するので、足元を確保するために玉石や粗石、丸太が必要であった。

コンクリートの配合は容積比が多く、普通のコンクリートはセメント：砂：砂利の比が1：3：6、特に強度が要求されるコンクリートは1：2：4というほぼ固定観念があったように思われる。

1：3：6は、普通「4袋6分~4袋8分」というよび方をされセメント量を表わす。当時樽詰のセメントもあったが、袋入りは1袋50kg、「4袋8分使い」は今日の単位セメント量では240kg/m³程度に相当する。同様に1：2：4は、「セメント6袋使い」で単位セメント量300kg/m³前後となる。

表—5は、当時出版された構築材料についての文中からまとめた配合比、水量、圧縮強度の関係であるが、配合比が決まると圧縮強度の目安が与えているのが興味深い。

骨材は、一般にダム地点近傍の河川堆砂礫が用いられ

表—4 容積比配合の水量と圧縮強度の目安

配合比			水量 (l) (セメント1袋50kg当たり) 最小~最大	圧縮強度 (kg/cm ²)				適用の範囲
セメント	砂	砂利		中練り		ごく軟練り		
				材令1月	材令6月	材令1月	材令6月	
1	1	2.5	—	228	353	142	229	柱または特に圧縮強度の大きい鉄筋コンクリート
1	1.25	2.5	22.7~25.0	—	—	—	—	
1	1.5	3	25.0~27.2	—	—	—	—	
1	1.5	3.25	—	174	269	107	149	
1	2	3	26.3~28.4	—	—	—	—	
1	2	4	27.2~29.5	141	218	87	141	
1	2.5	4.75	—	116	148	72	117	
1	2.5	5	32.9~35.2	—	—	—	—	
1	3	5	—	105	163	65	106	
1	3	6	37.5~39.7	—	—	—	—	
1	4	7	—	75	115	46	75	

はりの鉄筋コンクリート、一般の鉄筋コンクリート、水槽、薄い壁
橋台、橋脚、または部材の厚い鉄筋コンクリート

た。選別、運搬が人力に頼ることが多いので、その最大寸法は、「8分～1寸2分」とよばれ、現在の25mm～40mmに相当し意外に小さい。

古いダムのコンクリートの品質は、ボーリングによってコアを採取し、調査をするのが一般的である。この場合、コアの採取率はコンクリートの品質を判断するのに最適で、ボーリングマシンによって順調にコアが採取できれば、その圧縮強度はおおよそ120 kg/cm²以上ある。

採取率は、良質なコンクリートでは80%以上、軟弱部や空洞の多いコンクリートでは35～50%、水平ボーリングより鉛直ボーリングの方が採取率がよい。

単位容積重量：コアの表面乾燥飽水状態の単位容積重量は、おおむね2220～2455 kg/m³の範囲で、平均値は2350 kg/m³前後である。したがってコンクリートの比重は2.30を確保している。

吸水率：吸水率は、6.1～11.0%の範囲で、平均8.8%程度、モルタル部分と粗骨材部分の割合によってかなり変動する。

圧縮強度：圧縮強度は91～206 kg/cm²の範囲で、平均170 kg/cm²程度である。コアの圧縮試験時に注意を要するのは、キャッピングと上・下端面の平行度で整形の悪い供試体の圧縮強度は半減することもある。

弾性係数：マルテンス法による静弾性係数は、0.5～2.0×10⁵ kg/cm²の範囲、平均1.7×10⁵ kg/cm²程度でほぼ圧縮強度と見合う値である。また、超音波による動弾性係数は、2.0～4.0 km/sの範囲で、平均3.4 km/s程度である。

透水係数：透水試験は、統一された試験方法がなく、コアの状態によって大きく相違するが、良質なコアは1×10⁻⁷～透水せず、ややポーラスなコアで7×10⁻⁵～2.5×10⁻⁵程度である。

中性化：フェノールフタレイン溶液の吹付けによる判定方法では、局部的に5cm程度の深さに及ぶものもあるが、全般的には2～5mmと意外に浅い。また採取コアのモルタル部分を微粉砕し、48時間蒸溜水に浸漬させた試料のpHは、内部のコンクリートで12.7、表層部のコンクリートで11.6であった。

大正時代に造られた数地点のダムコンクリートの性状は以上のようなものである。

物性値を今日のダムコンクリートの常識的な値と比較すると、いずれも低い。推定される水セメント比も100%前後となり、練りませ水量に対する関心もあまりなく、むしろ工期の進捗状況に影響を与える打設量の多寡の方が重要だったのでなかろうか。

しかし、表-3に示す堤高20～30m前後のダムで必要とする最大応力は数kg/cm²程度であり、単位容積重

表-5 昭和初期に建設された発電用コンクリートダム(代表例)

ダム名称	竣工年	経年数(年)	諸元		
			堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m ³)
鹿瀬	1928	59	32.6	304.2	136 000
恩原	1928	59	23.0	93.6	26 000
小牧	1929	58	79.2	300.8	289 000
豊実	1929	58	32.4	205.5	111 000
帝釈川	1930	57	62.1	35.2	18 600
祐延	1930	57	45.5	125.5	44 000
祖山	1930	57	73.2	212.0	243 000
高岡	1931	56	38.5	124.2	70 000
梵字川	1933	54	40.9	62.4	18 000
千頭	1935	52	64.0	179.0	127 000
王泊	1935	52	74.0	155.0	175 000
泰阜	1935	52	50.0	143.0	128 000
笠置	1936	51	40.8	154.9	117 000
大間	1938	49	46.1	106.9	44 000
塚原	1938	49	87.0	215.0	363 000
大橋	1939	48	73.5	187.1	172 000
三浦	1943	44	83.2	290.0	507 000

量とともにその安定性は十分安全側にあることは確認されている。

(3) 昭和初期から戦前に建設されたダム

昭和初期から戦前までは表-2に示したように約90地点のコンクリートダムが建設されている。そのうち代表的なダム名を挙げると表-5のとおりとなる。

表からわかるとおり、昭和に入ると、4年には堤高79.2mの小牧ダム、同13年には堤高87mの塚原ダム、18年には堤高83mの三浦ダムなど高堰堤が建設され、ダム建設技術の進歩が著しくなる。

この頃、アメリカ合衆国ではフーバーダム、グラントクーリー、TVA計画などで大規模なダム工事が華々しく着工、竣工し、ダムにかかわる工事計画、材料調達、施工方法をはじめ力学的特性、品質管理にわたる多くの報文、情報が伝えられ、わが国のダム技術者に大きな影響を与えた。

これらの影響でコンクリートの品質に対する関心が高まり、骨材の水洗いが一般化するとともに練りませ水量がコンクリートの諸性質に及ぼす影響が認識され、水セメント比が理解されはじめる。

またマスコンクリートについては水和熱によるクラックの発生に対処する手法が、一段と配慮されるようになった。

仮設備も機械力が向上し、打設の能率化が図られ、昭和初期の頃標準化していた「タワー」および「シュート」による打設工法が、後期には「ケーブルクレーン」による工法が主流となった。

品質管理面では重量計量が普及し、2, 3のダムでは「ウォーセクリーター」が使用されている。

ウォーセクリーターは、わが国で開発された独特の配合調整機で、昭和6年に最初に用いられている。

その概要は、あらかじめ水とセメントでペーストを作り、これを容積または重量比で計量し、別途に重量計量した砂および砂利と一緒にミキサー内に移し、練りませでコンクリートとするもので、一時期ダムに限らず重要度の高いコンクリート構造物の工事現場ではかなり使用されている。

3. 耐久性の優れたダムの代表例

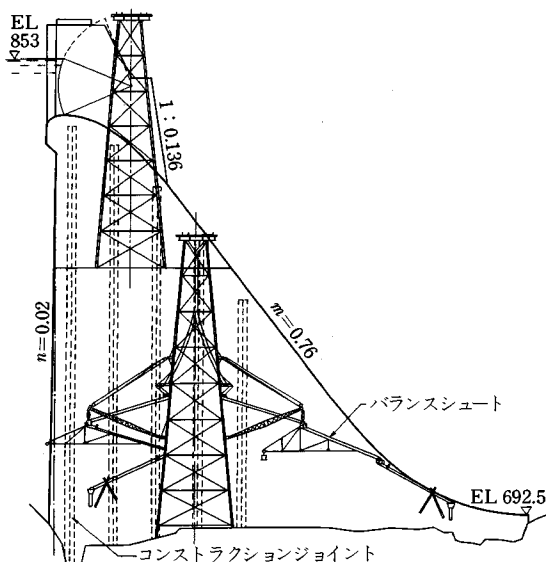
(1) 大井ダム^{1)~3)}

a) 全般

大井ダムは関西電力株式会社が、岐阜県下木曾川に所有するグラビティダムで、当時の地域電力会社である大同電力株式会社が、大正10年12月に起工し、同13年8月竣工した堤高53.4m、堤頂長275.9m、コンクリート量15.3万m³の規模をもつ大正年間で最大のダムである。

近年、木曾川の利水計画が整い、同ダム付近は河川流量に余裕を生じ年間調整が可能となったことから、同ダムの湛水池を利用して新大井水力発電所を建設し、河川利用率の向上を図る工事が実施された。

同工事は既設大井ダム堤体の右岸非溢流部を堤軸方向に長さ28.0m、堤頂幅5.15m、高さ11.5m、容量1480m³を切欠き、新取水口を設置し、水圧鉄管を経てダム直下右岸側に設けた発電所に導水し、発電後放水路により木曾川へ放流するものである。



図一 大井ダムコンクリート打設仮設備

工事は56年着工し、58年に竣工したが、関係者はこの機に大正時代に打設した切欠き部コンクリートを入念に調査し貴重な報文をまとめている。

b) 施工概要

先に述べたとおり大井ダムは同時代に造られた20余のダムの中でも飛躍的に大きい。したがって設計、材料、仮設備に至るすべてが、今日からみても本格的なもので砕石プラント、パッチャープラントをはじめコンクリート試験室も設置している。

コンクリートの打設設備は、図一に示すように高さ約30m(90呎)の鋼製「トレスル」を約12m(42呎)間隔に建て、その頂部に幅約60cm(2呎)の複線軌條を設け、パッチャープラントで練り上げたコンクリートを運搬車に積み「トレスル」上を走行し、各所に設けられた「シュート」に投入し施工したとされている。図中上段の「トレスル」は、施工が進行し下段の「トレスル」の作業範囲が狭められたとき、段取りがえによって移設するものである。

練りませ設備は、ミキサー(スミス型、容量0.76m³)4台、1日の最大打設量は700m³が記録されている。

骨材は、春日井市内勝川地区から採取された天然砂を細骨材とし、粗骨材は、ダム左岸上流300m地点の花崗岩を原石とする砕石で、破碎設備は一次クラッシャーとして36×24"ジョークラッシャー、2次クラッシャーとしてゲイトクラッシャーを用いている。

粗骨材最大寸法は明らかにされていないが、一次クラッシャーの容量から判断すると、40mm程度ではないかと思われる。

コンクリートの配合は、当初セメント1、火山灰1/3、石灰1/6、砂3、砂利6と記され火山灰や石灰を用いたことがわかる。この比率は多分外割りと推定されるので、これが正しければ結合材と骨材の比率は1:6ということになる。火山灰や石灰を用いた理由はよくわからないが、その後配合をよくすることに方針を変更し堰堤内部は、セメント:砂:砂利の比を1:3:6、表面付近は1:2:4としたとの記述のあるところをみると、火山灰や石灰の利用は強度の発現がよくなかったのではないかと推定される。また配合と打設箇所との関係は、明瞭でない。

c) 材令60年のコンクリートコアの品質

堤体コンクリートコアの品質試験は2回にわたって行われた。

第1回目は昭和46年に実施されたもので、調査ボーリングは、ダム左岸側の非越流部に長さ27.65mの鉛直孔1本、右岸側非越流部に長さ33.0mの鉛直孔1本およびダム中央部付近越流部の下端付近のコンクリート面にほぼ直交する方向に長さ19.45m1本で、φ15cm

表—6 材令60年大井ダムコンクリートの物理性状

調査時		項目	表乾単位容積重量 (kg/m ³)	吸水率 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	静弾性係数 (kg/cm ²)	動弾性係数 (kg/cm ²)	備考
① 昭和46～ 47年	試料数		269	120	116	23	—	—	φ150mm
	範囲		2280～2672	4.8～6.22	158～477	18～22	—	—	3本
	総平均値		2411	5.56	270	20	2.02	2.50	総延長80.1m
② 昭和57年	試料数		10	10	6	4	6	10	切出しブロックより採取
	範囲		2120～2387	7.4～16.3	167～231	15.8～24.9	1.52～2.44	1.38～2.71	
	総平均値		2259	11.5	194	21	2.08	2.09	φ110mm

コアを総延長は80.1m採取し、試験に供した。

第2回目は、新設工事が本格化し新取水口を設置するために切欠いた部分のコンクリートブロックからφ11cmコアを必要数採取し試験に供した。

それぞれの物理性状を表—6に示す。

表からわかるとおり、第一次調査は総延長80mに及ぶコアが採取され、270個近い試料が得られている。コア採取率は100%で良質なコンクリートであることが示されている。

物理性状は、いずれも良好な値で吸水率は小さく、単位容積重量は大きい。

圧縮強度は、158～477kg/cm²の範囲でかなり幅があるが、これはコアボーリングが堤体表面から内部へ鉛直に推進されたため、外部配合1:2:4の打設部分と内部配合1:3:6の打設部分のコアが混在しているためである。

この点、二次調査は、切欠きブロックのコア採取位置から内部コンクリート1:3:6配合と判断され、妥当な値を示している。

なお、二次調査ではコアの物理試験のほか、粗骨材と

モルタルの密着度、中性化、セメント成分の分析、X線回折、配合推定、骨材の粒度、玉石・粗石の混在位置など多くの項目について検討を加えている。

フェノールフタレイン溶液による中性化の程度は、図—2に示すとおりで、最大箇所ではコンクリート表層部より10cm程度、それより深部では中性化は全く認められていない。また堤体の上流面と下流面との比較では常に外気にさらされる下流面の方が上流面に比較して大きかった。

配合推定ではセメント:骨材の比は1:9と求められ、資料に残る内部配合1:3:6と符合する。しかし細骨材と粗骨材との比が資料では2.0となるのに対し、分析結果は1.0で、配合比1:4.5:4.5に相当し細骨材の比率が高くなっている。

また水セメント比の推定は、希塩酸溶解法とDTA法の2通りで実施し、両者ともほぼ一致した結果で、W/C94～107%が得られている。

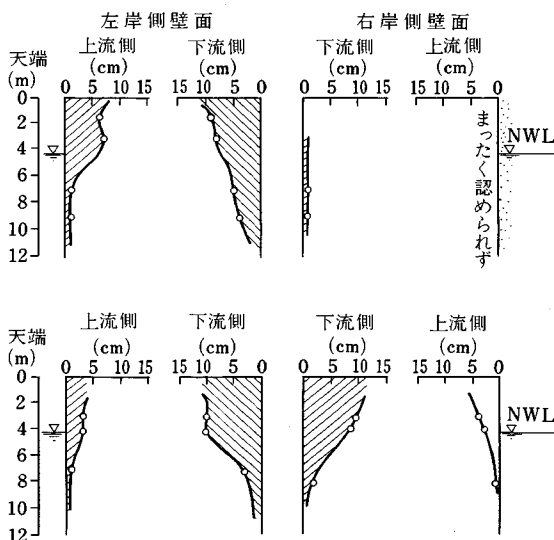
現在のコンクリート工学上からは考えられない値であるが、表—4に示した当時のコンクリートの配合概念および大井ダムより約15年遅く造られた塚原ダムが、ケープブルクレーンを用い、硬練りコンクリートを打設したにもかかわらず練りませ用水量は150kg/m³と記録されていることと比較すると、軟練りコンクリートをシュートで打設した施工では、ほぼ妥当な数値ではないかと判断される。

いずれにしても材令60年を経過した大井ダムのコンクリートの品質は驚くほど良好なもので、当時先人達が、その建設にあたって、わが国最大規模のダムであるという自負のもとにきわめて入念な施工をされたことが如実に示されている。

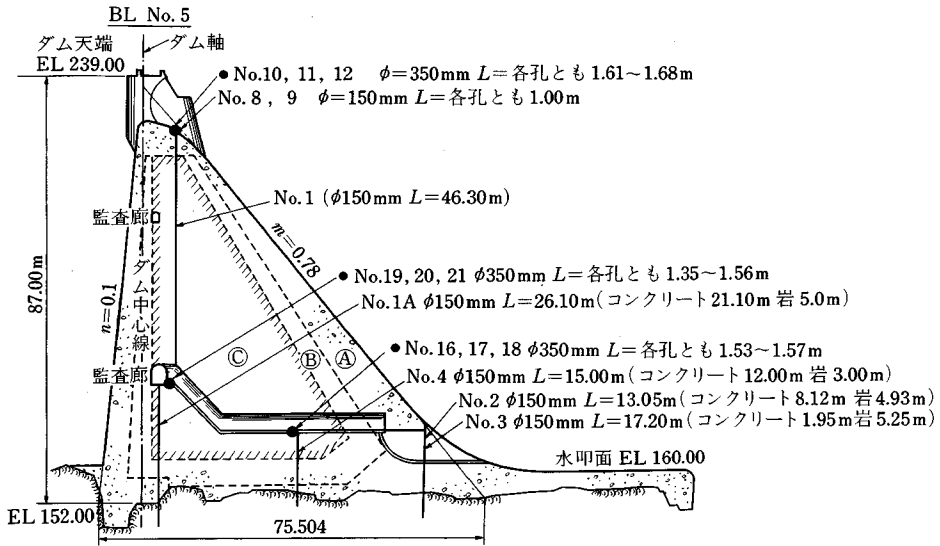
(2) 塚原ダム⁴⁾

a) 全般

塚原ダムは九州電力株式会社が、宮崎県下の耳川に所有する重力式ダムで、昭和11年10月に堤体コンクリートの打設を開始し、同13年3月打設を終了した堤高87.0m、堤頂長215.0m、コンクリート量36.3万m³の規模をもつ高堰堤である(写真—4参照)。



図—2 コンクリートの中性化進行調査結果



図—3 塚原ダムの配合打設区分と調査ボーリング孔位置

同ダムは、近代ダム建設技術の元祖といわれるほどの施工設備、材料調達を図ったダムとして知られる。

したがって比較的工事記録も多く、また昭和40年代後半、材令34年に達したダムの現状調査を目的に図—3のとおり堤体よりφ33cmの大型円柱コアおよびφ12.6cmのコアをボーリングマシンによって採取し、本格的な性状調査を行った。以下その概要について述べる。

b) 施工概要

先に述べたが塚原ダムはケーブルクレーンによりコンクリートを打設したわが国最初のダムである。クレーンを使用することによって、硬練りコンクリートの打設が可能となり、同時に締固めもバイブレーターが用いられ、密実なコンクリートを造るダム技術の基礎を築いた。

材料面では、マスコンセメント(当時の浅野セメント株式会社香春工場製、中庸熟ポルトランド)を初めて使用した。骨材は硬砂岩を原石とする人工破碎砕石(最大寸法10cm)を粗骨材とし、細骨材はダム地点より20数km離れた延岡市丸ヶ島産の海岸砂を索道で運搬し、砕石のピリを加えて粒度調整を行い使用している。

コンクリートの練りませ設備は、スミス型0.75m³、4台、ウオーセクリーター2台を併用し配合調整につとめた。

コンクリートの配合は、表—7に示すA、B、Cの3種類、Aはブロックの上流面、岩盤沿いおよび越流部下流面に打設し、C配合は堤体中心部、A配合とC配合との中間部に著しい配合の変化を避ける部分と非溢流部下流面にB配合を用いている。

また、多分これも最初ではないかと思われるが建設時にφ30×60cm円柱供試体を作製し試験を行っている。

c) 材令34年のコンクリートコアの品質

材令34年に達したコンクリートコアの物理性状試験結果は表—8に示すとおりであった。

表からわかるとおり、その品質はきわめて優れている。単位容積重量は2400kg/m³を越え、吸水率は2%前後と小さい。

圧縮強度は表—9に示すとおり、コア径の違いを標準供試体φ15×30cmの寸法に修正換算すると、A配合で472kg/cm²、B配合で451kg/cm²、C配合で396kg/cm²となる。

また建設工事中に品質を確認するため作製したφ30×60cmの大型円柱体の結果と今回のφ33cm×66cmコアとの結果を比較すると、材令91日圧縮強度を100とした場合、材令34年の圧縮強度伸び率は、A配合で196%、B配合で213%、C配合で231%と高い値であつ

表—7 塚原ダムコンクリートの示方配合

配合区分	主要打設箇所	粗骨材最大寸法(mm)	スランブの範囲(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m ³)			
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
A	上流面、溢流部下流面	100	3	55	33	150	273	670	1374
B	A・C配合の中間、非溢流部	"	"	63	"	"	240	679	1393
C	内 部	"	"	68	"	"	220	685	1404

表—8 材令34年塚原ダムコンクリートの物理性状

コアの径 (cm)	配合	項目	表乾単位 容積重量 (kg/m ³)	吸水率 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)		引張強さ (kg/cm ²)	静弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²)	超音波速度 (km/s)
					実測	修正*			
12.6	A	試料数		35	21	21	8		
		総平均値	—	1.9	462	454	35	—	—
	B	試料数		21	11	11	9		
		総平均値	—	2.3	417	410	25	—	—
	C	試料数		48	39	39	24		
		総平均値	—	2.1	421	414	32	—	—
33.0	A	試料数			3				
		総平均値	2 480	—	435	472	—	3.48	4.97
	B	試料数				3			
		総平均値	2 427	—	405	451	—	2.98	4.72
	C	試料数				10			
		総平均値	2 419	—	356	396	—	2.69	4.71

注：*修正値とはそれぞれのコア径の値を係数を用いて標準供試体(φ15×30供試体)に換算したものである。
寸法係数=1/0.898

表—9 コンクリートの圧縮強度の伸び(D/H=2.0供試体)

項目	配合		A			B			C		
			建設時強度 (φ30cm)		コア (φ33cm)	建設時強度 (φ30cm)		コア (φ33cm)	建設時強度 (φ30cm)		コア (φ33cm)
	28日	91日	28日	91日	34年	28日	91日	34年	28日	91日	34年
材令 個数	26	27	3	17	14	3	9	10	10		
実測圧縮強度(kg/cm ²)	156	222	435	144	190	405	120	154	356		
φ15×30cmに修正強度	171	244	472	158	209	451	132	169	396		
標準偏差(kg/cm ²)	40	45	—	38	34	—	40	40	—		
変動係数(%)	25.6	22.2	—	26.4	17.9	—	33.3	26.0	—		
σ ₂₈ を100とした伸び率	100	142	279	100	144	281	100	128	297		
σ ₉₁ を100とした伸び率	70	100	196	76	100	213	78	100	231		

表—10 コンクリートの中性化試験結果

配合	W/C (%)	経過年数 (年)	露出状況	試験コア 供試体 No.	中性化深さ(cm)			
					最大	最小	平均	平均
A	55.0	34	常時外気にさらされている (越流部)	1	1.50	0	0.34	0.16
				2	1.00	0	0.08	
				3	0.50	0	0.19	
				8	0.60	0	0.15	
				9	0.20	0	0.03	
B	63.0	34	常時外気にさらされる(非越流部)	5	2.30	0	0.36	0.36
C	68.0	34	ほとんど外気にさらされない (監査廊内部)	1A	1.90	0.10	0.52	0.86
				4	1.90	0.60	1.19	
—	—	34	常時ほぼ水中	6	0.30	0	0.10	0.09
				7	0.30	0	0.09	
A	55.0	34	まったく外気にさらされない	1A岩着	0.0	0	0	0
				4岩着	0.0	0	0	0

た。

この伸び率をみると、現在材令91日で設計強度を満足するように定められている示方書の材令について、さ

らに長期材令の値でよいという意見の出るのも首肯できる。

圧縮強度で代表されるように他の物理性状もことごと

く優れている。

たとえば中性化は表—10に示すとおりである。

すなわち、各ボーリング孔の最上部のコアを縦方向に切断し、フェノールフタレイン溶液を用いた結果中性化が最も進んでいる箇所は監査廊内（C配合）で平均0.86 cm、次いで常に外気にさらされている天端、越流面下端部（A, B配合）で平均0.19～0.36 cm程度である。また中性化の最も浅い箇所は常時ほぼ水中にある部分で平均0.09 cm、先に述べた大井ダムと同様ダムコンクリートの表面が中性化により劣化を生じる可能性きわめて小さいものといえる。

また、塚原ダムでは超音波を用いて堤体数か所の伝播速度を測定し、コアの伝播速度と比較した。

その結果、堤体表面コンクリートの速度は4.48～4.80 km/s、 $\phi 33$ cm コア供試体の速度は4.71～4.97 km/sで、若干供試体の方が大きかった。

これらの値は、超音波伝播速度の値からコンクリートの品質を判断する基準にあてはめると、いずれも優あるいは良の部類に入る良質なコンクリートであることが確認された。

なお、この結果今後長期にわたるダムの安全性を確認する1つの方法として超音波測定を利用することが、計画されている。

4. ま と め

ダムは高い安全性を要求される代表的なコンクリート

構造物であり、その建設にあたっては所要の条件を満足するよう十分調査し、材料は吟味され、慎重な配慮のもとに施工される。

幸いにしてわが国ではコンクリートダムの決壊事故は皆無であり、事例として述べた大井ダムならびに塚原ダムのいずれをみてもコンクリートの品質はきわめて優れており信頼に足る耐久性を有している。

その主因が、先人達の勤勉、努力のたまものであることを思うと、コンクリートを含めてあまりにも便利になり過ぎたわれわれの足元を今一度見直す必要があるのではなかろうか。

最後に写真、その他ご協力を願った九州電力株式会社土木部 是石俊文氏に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 畠山好伸：大井発電所工事に就きて、電気学会誌，第444号，大正14年7月。
- 2) 竹内貞一ほか：新大井水力発電所新設工事の概要，電力土木誌，第173号，昭和56年11月。
- 3) 原田次夫ほか：材令60年・大井ダムコンクリートの品質について，電力土木誌，第182号，昭和58年1月。
- 4) 是石俊文ほか：塚原ダムコンクリートの材令30年試験，セメントコンクリート誌，第304号，昭和47年6月。
(1987.7.6・受付)