

九州電力(株) 正員 田代信雄 正員 〇是石俊文

1. まえがき

Dダムは、アーチ式コンフリーダムでコンクリート量560,000 m^3 、昭和36年8月よりコンクリート打設を開始し、昭和38年5月に打設を終了した。Dダムは高さ130mのアーチダムで、コンフリーダムの設計基準強度は、最大480 kg/cm^2 に達するが、中庸熱ポルトランドセメントを用い、フライアッシュを混和して、適切な配合を得て、その要求を満たすことができた。建設後10年間十二分にその機能を発揮してきたが、その現状を更に確実に把握し、中庸熱ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いるマスコンフリーダムの配合設計、耐久性その他の資料として役立たせるため、現場非破壊試験、ホーリングコア供試体の諸試験などを行なったのでその一部を報告する。

2. 堤体コンフリーダムの材料および配合

2.1 セメント Dダム用セメントは中庸熱ポルトランドセメントで、日本セメント(株)佐伯工場および小野田セメント(株)津久見工場製品を時期別に用いた。そのうち日本セメント(株)佐伯工場製品の品質を示すと表1、2のとおりである。

表1 セメントの化学成分・諸係数・鉱物組成

項目	lgloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	水硬率	細骨材	鉄率	硫酸率	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	caso ₄	
平均値	0.46	0.45	2359	405	4.23	6390	135	1.41	99.44	1.98	5.83	2.85	0.95	0.855	435	35.0	3.6	12.9	2.3

表2 セメントの物理試験結果

項目	比重	粉末度	凝 結			水和熱 Col/安定度				圧縮強度 (Kg/cm ²)	曲げ強度 (Kg/cm ²)							
		ブレン	88%残水量	始発	終結	7日	28日	91日	(休体力)		3日	7日	28日	91日				
平均値	3.23	3.08	0.8	274	2-554-23	57.3	762	85.5	0.02	236	90	157	339	496	25.1	38.6	64.4	79.8

表3 コンクリートの示方配合

配合 種別	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン プの範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ン ト比 W/C (%)	フライ アッシュ 比 F/F (%)	細骨 材率 S _g (%)	単 位 量 (Kg/m ³)										混和 剤 フリス ト	
							水		セメント		フライ アッシュ F	細骨材 S	粗 骨 材 G					
							W	C	W	C			150- 80mm	80- 40mm	40- 20mm	20- 5mm		計
I	150	4±1	3±1	41.2	30	23.0	99	168	72	522	473	473	316	316	1,578	1.15		
V	150	4±1	3±1	42.8	20	22.0	92	172	43	479	513	513	342	342	1,710	1.03		

2.2 粗骨材 粗骨材は原圧圧縮強度1,646~2,744 kg/cm^2 をもつ硬砂岩碎石を用いた。最大寸法150mm、比重2.64、吸水率0.64、空隙率32.5%、単位容積重量1,624 kg/m^3 である。

2.3 細骨材 細骨材は20~5 mm 碎石をロットミルで破碎して製造した。比重2.64、吸水率1.00、F.M. 2.75である。

2.4 コンフリーダムの配合および打設位置 Dダムのコンフリーダムの配合を表3に示す。I配合は主としてEL.120.00m以下の岩盤沿いの部分にV配合は主にEL.180m以上の部分に打設された。

3. 初期材令におけるコンフリーダムの諸性質 Dダム施工時のコンフリーダム品質管理試験結果を表

5に示す。

4. 現場非破壊試験とマスコンクリートの耐久性

今後長期間にわたるダムの安全管理面の資料とし、またコア供試体の非破壊試験との関連を得るためⅠ配合部分 およびⅢ 配合部分 で超音波伝播速度 ($V_{\text{e}}(\%)$)を測定した。その結果は、4.48 ~ 4.66 %で、この値は従来とられている超音波伝播速度によるコンクリートの品質判断の基準に従って判断すると、「優」あるいは「良」の部にはいるものである。Dダムは天端EL.203.00 mで九州地方においてとくに気象条件が厳しいわけではないが、肉眼によるコンクリート表面の観察結果もとくに劣化の見える部分もなく、中性化深さも著るしく浅いことが確かめられている。これらの結果からDダムコンクリートは今後も長期間にわたって十分耐久性を保ち続けるものと思われる。

5. コア供試体による諸検討

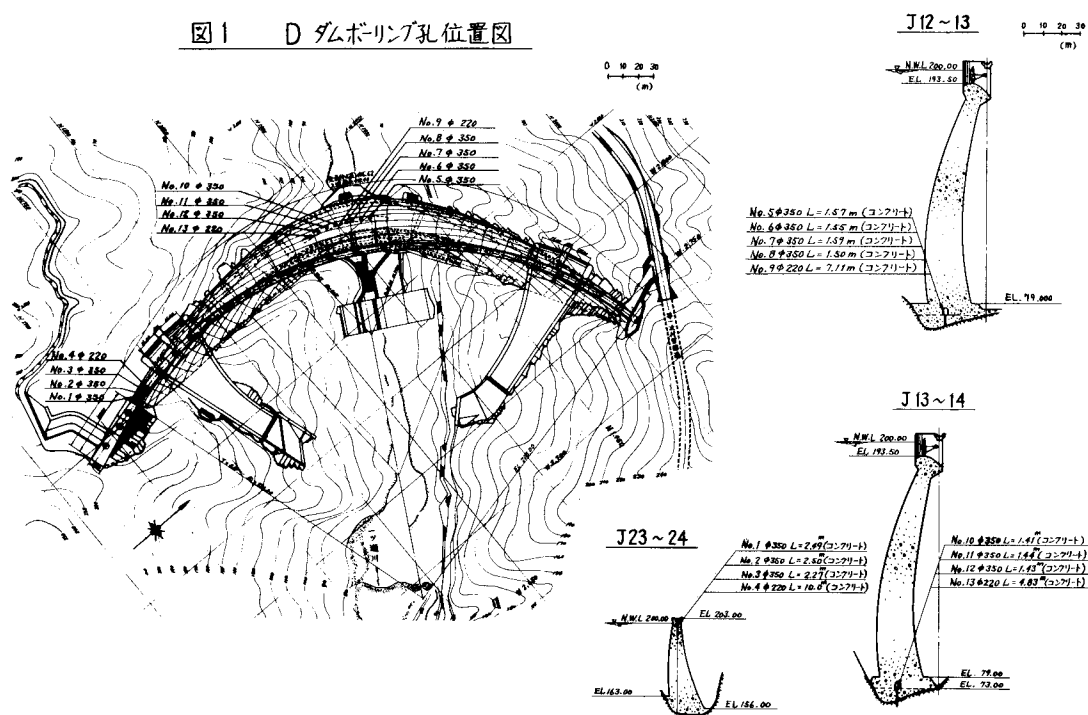
5.1 Dダムコンクリートのボーリング位置、コア供試体の成型ならびに試験結果

Dダムコンクリートのボーリング位置は図1に示すとおりで、天端および監査廊内ですべて垂直方向に行なった。採取したコアの直径は33 cmおよび20 cmであるが、本報告では33 cm供試体について述べる。コア供試体は石材店で研磨仕上げし、エポキシ樹脂でキャッピングし、東京大学(2,000トン大型構造物試験機使用)で試験した。試験結果を表4に示す。

5.2 圧縮強度および初期材令からの圧縮強度の伸び率

コア供試体の圧縮強度は、高さ直径比 (H/ϕ) および直径の差によって変化することが知られている。Dダムコア供試体は $\phi 33$ cm、 H/ϕ は1.00 ~ 2.0の範囲にある。個々のコア供試体の実測圧縮強度はまず $H/\phi=2.0$ の供試体強度に補正し、つぎに $\phi 15 \times H 30$ cmの供試体強度に修正した。この修正には

図1 Dダムボーリング孔位置図



文献 1) に示されている値を使用した。このようにして得られた材令 10 年、9 年における D ダムコンクリートの圧縮強度および材令 91 日の圧縮強度に対する伸び率（91 日比）は、配合 I：693 %、143%，配合 V：531 %、115% である。文献 2) 3) 4) では低熱型中熱ホルトランドセメントを用いた塚原ダムコンクリートの材令 30 年における 91 日比は 189～234 % 普通ポルトランドセメントに 30 % フライアッシュを混和した B ダムコンクリートの材令 10 年における 91 日比は 144 %，中熱ホルトランドセメントを用いた C ダムコンクリートの材令 17 年における 91 日比は 133～159 % と報告されている。既往の研究ならびに本研究結果から長期材令においてある材令の範囲内では 91 日比と材令との間には或程度直線的な関係がみられるようである。つまり適切なマスコンクリート材料として、良質な骨材，フライアッシュ，中熱ホルトランドセメントなどを用い、正しい品質管理の下に施工されたマスコンクリートの圧縮強度は、材令 91 日以後も伸び続け 91 日比でみると材令 10 年で 130 % 程度，材令 17 年では 150 % 程度，材令 30 年を過ぎる項には 210 % 程度にまで達すると考えられる。

5.3 ダムの安全性

D ダムコンクリートは、配合設計のときの安全率は 5 であった。いま、例えば D ダムから採取したコア供試体の平均圧縮強度と標準偏差とから、保証率 95 % で提体コンクリートの圧縮強度を求め、これと設計応力度との比を現在のダムコンクリートの安全率 (N_n) と考えると、 N_n は表 6 に示すように配合 I で 7.8，配合 V で 5.7 となり施工時の安全率を上回る値となっている。また D ダムの設計に用いたコンクリートの単位容積重量は 2.30 であるが、コア供試体の単位容積重量は 2.44～2.45 で設計値より 6 % 程度大

表 4 D ダムコア供試体 (φ33cm) 試験結果

コア NO	配 合			形 状			単位容積 重量 (kg/m ³)	超音波 伝播速度 (km/s)	圧縮強度 試験圧 (kg/cm ²)	弾性係数 Es (kg/cm ²)	ポアソン 比	
	呼称	単位容積比 (kg/25.3cm ³)	モル比 (%)	高さ (H) mm	直径 D (mm)	%			実測値 (N/mm ²)	補正圧縮 強度 (N/mm ²)	係数 Es x10 ³ (N/mm ²)	
5-II	I	240	41.2	66.19	3313	2.00	2,444	4.76	637	637	3.14	0.27
6-II	"	"	"	66.23	3300	2.01	2,444	5.02	535	535	2.51	0.13
7-II	"	"	"	66.10	3309	2.00	2,459	4.73	616	616	3.08	0.19
7-III	"	"	"	66.10	3307	2.00	2,444	4.77	623	623	3.38	0.20
8-II	"	"	"	66.25	3307	2.00	2,435	4.80	679	679	3.29	0.18
11-II	"	"	"	66.21	3296	2.01	2,451	4.94	610	610	2.74	0.20
12-II	"	"	"	66.17	3313	2.00	2,415	4.90	627	627	3.32	0.16
平 均							2,442	4.85	618	618	3.07	0.19
6-III	I	240	41.2	43.16	3312	1.30	2,437	4.85	732	685	3.03	0.08
8-III	"	"	"	33.18	3308	1.00	2,453	4.78	712	619	2.85	0.15
10-II	"	"	"	50.15	3314	1.51	2,445	4.92	594	572	3.75	0.15
10-III	"	"	"	62.72	3313	1.89	2,409	4.75	622	618	-	-
11-III	"	"	"	49.99	3315	1.51	2,428	4.89	647	623	3.45	0.14
12-III	"	"	"	33.04	3315	1.00	2,449	4.96	733	638	2.87	0.21
平 均							2,437	4.86	673	626	3.19	0.15
全平均							2,439	4.85	644	622	3.12	0.17
1-III	V	215	42.8	66.20	3310	2.00	2,445	4.71	495	495	3.16	0.15
1-III	"	"	"	66.04	3314	1.99	2,445	4.75	407	407	2.80	0.15
2-II	"	"	"	66.18	3313	2.00	2,454	4.74	512	512	3.70	0.18
3-II	"	"	"	66.10	3312	2.00	2,442	5.03	452	452	3.14	0.18
平 均							2,448	4.81	467	467	3.20	0.17
2-III	V	215	42.8	33.22	3312	1.00	2,454	4.54	597	519	2.84	0.17
平 均							2,454	4.54	597	519	2.84	0.17
全平均 * (平均値 から除く)							2,449	4.81	493	477	3.13	0.17

きい値である。更に D ダムではボーリング孔 NO.9 に孔壁撮映装置を挿入して、コンクリートの打継目、とくにコンクリートと基礎岩盤との密着の状態を調査したが、いずれも良好な状態であることが確認されている。これらのことから D ダムは建設後 10 年の現在も十分な安全性を持つものであると認められる。

5.4 コンクリート各部分のひずみと弾性的性質

コンクリートは典型的な複合材料であり、とくにコア供試体はコンクリート各構成材料のひずみを観察するのに適しているといえる。コア供試体の各部に図 3 の

表 5 圧縮強度の修正値と伸び率

供試体 項目	配合 I			配合 V		
	品質管理 試験 (φ15cm)	コア 供試体 試験 (φ15cm)	品質管理 試験 (φ15cm)	品質管理 試験 (φ15cm)	コア 供試体 試験 (φ15cm)	品質管理 試験 (φ15cm)
材 令	28 日	91 日	10 年	28 日	91 日	9 年
個 数	73	73	13	79	79	5
実測圧縮強度	316	486	644	333	460	493
修正圧縮強度	316	486	693	333	460	531
0.5% 引張率	100	154	219	100	138	159
0.5% 引張率	65	100	143	73	100	115

表6 ダムの安全性の一検討

配合 呼び名	設計 応力度 σ_c (kg/cm^2)	施工時に採ったコンクリートの諸係数					コア供試体の値				又、 σ_c から求められる保証 率95%の圧縮強度 X	コア供試体の試 験結果から算出 される各々の現況 の安全率 X/σ_c	設計単位容 積重量 (kg/m^3)	コア供試体 によるコンクリートの 単位容積重量 (kg/m^3)	コンクリートの 容積重量の現 況と設計との比	
		安全率	設計基本 強度係数 (%)	変動係 数 (%)	保証率 (%)	割増係 数 (%)	状態 令 (年)	圧縮強 度 (kg/cm^2)	標準偏 差 (σ) (kg/cm^2)	変動係 数 (%)						
I	80	5	400	20	95	1.19	480	10	693	41	67	626	7.8	2.30	2,440	1.06
V	80	5	400	12	95	1.10	430	9	531	47	77	454	5.7	2.30	2,451	1.07

凡例および図2に示す位置のひずみを、はりつけひずみゲージで測定した。その結果は、圧縮ひずみでは粗骨材の下面(Dグループ)が、引張ひずみでは粗骨材の左右面のいずれかが卓越していると認められる。このことからコンクリートの破壊機構に関連して、粗骨材周辺の応力集中とMicro Crackの発生について一層の検討が必要があると考えられる。静弾性係数は圧縮強度の1/3の点で、圧縮応力とコンクリート部分のひずみの平均値の比で求めた。また、ポアソン比も圧縮強度の1/3の点でコンクリート部分の横ひずみと縦ひずみとの比から求めた。それらの値を表4に示すが、その値は長期材令を経たコンクリートとして特徴的な値ではない。

図2 Dダム大口径コア供試体ゲージはりつけ位置(No.7-II)

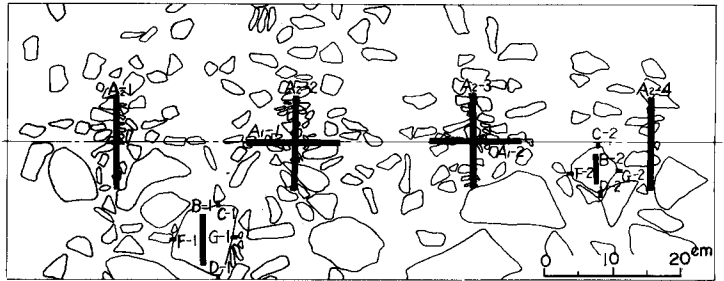
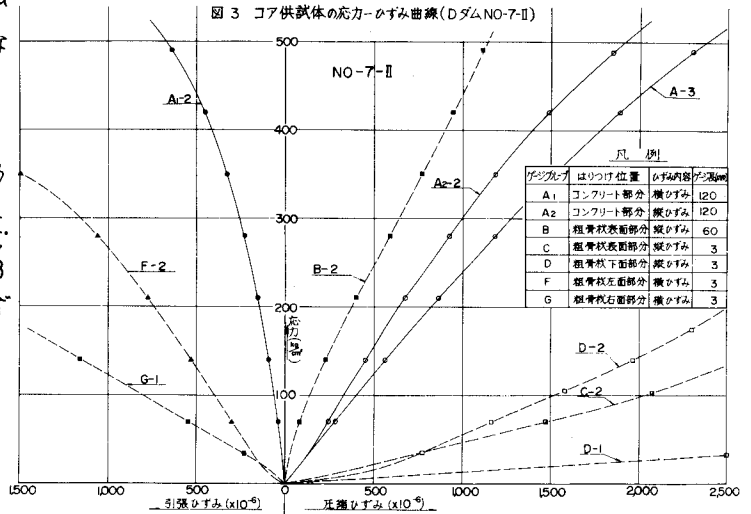


図3 コア供試体の応力-ひずみ曲線(DダムNo.7-II)



6. むすび

本研究の範囲内では、Dダムコンクリートは材令10年においても優秀な品質を持ち続けており、現在採られているダムコンクリートの施工法を忠実にこなせば、建設時に所要の安全率をもつのは勿論、年数の経過とともにダムコンクリートの安全性は一層増加すると考えてよい。

おわりに本研究を進めるに当たり終始御指導戴きました東京大学国分正胤教授、九州大学徳光善治教授、日本セメント(株)山崎寛司工博、電力中央研究所永倉正工博、河原友純氏ならびに関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Bureau of Reclamation, Concrete Manual
- 2) 田代・是石, 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No.304, 1972.6.
- 3) 田代・是石, フライアッシュを用いたマスコンクリートの材令10年試験について, 土木学会第26回年次学術講演集1971-10
- 4) 田代・是石, 中濃熱ポルトランドセメントを用いたマスコンクリートの長期的諸性状について, 昭和44年度土木学会西部支部研究発表論文集