

九州電力(株) 正員 田代信雄 正員 大橋光太郎
正員 足石俊文

1. まえがき

Aダムは、直線重力式コンクリートダムで、コンクリート量360,000 m^3 、昭和11年10月よりコンクリート打設を開始し、昭和13年3月打設を終了した。Aダムは、マスコンクリートセメントの廃棄や、コンクリートの打設、締め固め方法など現在の大ダム建設におけるコンクリート技術の原型を見る画期的なダムである。建設後30年間十二分にその機能を発揮して来たが、その現状を更に確実に把握し、秋令30年のマスコンクリートの諸性質を検討することによって、今後のダムコンクリートの配合設計、コンクリートの耐久性その他の資料として役だたせるため、現場非破壊試験、ホーリングコアの物理的・化学的試験、カメラによるボーリング孔壁の撮映などを行なったのでその結果の一部を報告する。

2. 堤体コンクリートの材料および配合

1) セメント Aダム用セメントは浅野セメント(株)(現日本セメント(株))香春工場製の一種の低熱セメントである。その仕様の主点は

(i) 強度 硬化熱が大きくなく、早期強度が大きい。10℃以下に保って強度は増進する。と、標準モルタル試験(秋令28日)の強度は冬期600 $\%m$ 程度、夏期550 $\%m$ 程度

(ii) 水和熱 7日80 $\%g$ 以下、28日95 $\%g$ 以下

(iii) 化学成分 硅酸23.5%以下、アルミナ5.0%以下、石灰64.0%以下

というもので、工場でのセメントの化学成分、鉱物組成、強度試験結果の一部を表12に示す。

2) 粗骨材 粗骨材は硬砂岩の破砕骨材(比重2.68, 空隙率39%, 吸水率0.5%)を用いた。粗骨材は最大寸法100 mm で、フルイ分けによる粒度調整は行われなかった。

3) 細骨材 細骨材は海岸砂(比重2.66, 空隙率40%, 吸水率1.5%, 粗粒率2.28)を主として用いた。

4) コンクリートの配合 コンクリートの配合は、3種に分けられた。その大体的配置は図1のとおりである。コンクリート

表1 マスコンセメントの化学成分と鉱物組成

ig loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0.58	0.35	24.61	4.69	4.34	63.17	0.70	1.25	99.69	28.51	49.22	4.87	13.21	2.12

表2 マスコンセメントの物理試験結果

比重	細度	気量		結水量	安定度	圧縮強度 (kg/cm ²)					曲げ強度 (kg/cm ²)				
		水量	割合			3日	7日	14日	21日	28日	水量	3日	7日	28日	
3.23	4.11	23.9	2-29	3-25	上	72	257	383	501	583	655	70	253	292	387

の配合は表3のとおりである。

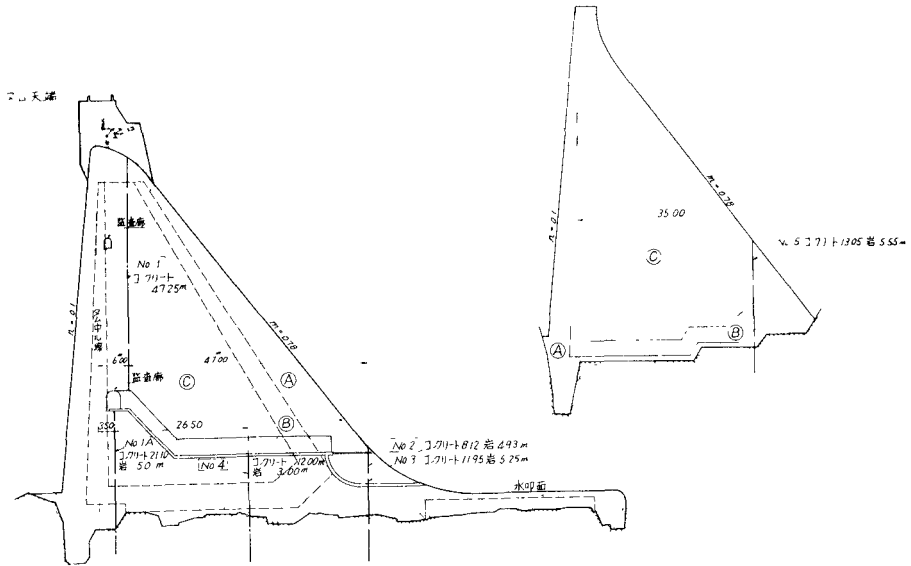
3. 現場非破壊試験

今後長期間にわたるダムの安全管理面での資料とし、又、コンクリートコアの非破壊試験との関りの標準モルタル試験は、現在のJIS試験とは違うものである。

表3 コンクリート配合 強度試験結果

配合種類	1立方メートル使用セメント (kg)	重量配合比	水セメント比 (%)	スラップ (mm)	σ ₂₈	σ ₉₁	単位重量 (kg/m ³)
A	273	1 245 503	55	15-60	194	247	2 403
B	240	1 283 580	63	30-45	152	201	2 387
C	220	1 310 645	70	15-70	116	185	2 384

図1 コンクリート個所別配合ならびにボーリング位置図



速を得るため、監査廊壁に沿った部分と、監査廊終端壁と堤体下表面との間とで、超音波伝播速度を測定した。測定位置を図23に、測定結果を表4に示す。表4に示すとおり、監査廊壁に沿って測定した伝播速度は同一ブロック内の場合も、ブロック施工継目を挟んで隣接ブロックとの間の場合も殆ど同一であり、 $V_r=4.75\%$ 程度であった。これは、遊離石灰が施工継目を満しているためと考えられる。監査廊終端壁と堤体下表面との間の伝播速度は $V_r=4.6\%$ で、配合Bと考えられる監査廊壁部分に比較して、配合Aと考えられるこの部分の伝播速度がやや小さいという結果となった。

4. ボーリング孔内部の写真撮映による観察結果

ダムコンクリートあるいは基礎岩盤の状態を知るためにボーリングを行なうことは常に行なわれているが、ボーリング孔内を直接観察することは従来その例がなかったので、今回孔内撮映装置を用いてボーリング孔壁の全部を撮映した。そのうち、No.1A孔のコンクリートと岩盤との付着部分の状況を写真1に示す。これによるとコンクリートと岩盤との付着部分は完全に密着しており、着岩部附近での透水などはみられない。

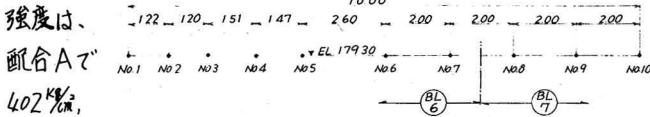
5. ダムコンクリートコアの試験結果

1) 中性化試験 各孔のコンクリートコアの天端の部分を、縦方向に切断してフェニールフタレインを用いて、中性化深さを測定した。その1例を図4に示す。中性化が最も進んでいる部分はNo.4で、 1.19mm 、最も浅いものはNo.6 0.1mm である。この中性化深さは材令30年のコンクリートとしては著しく小さいものである。

2) 圧縮強度 コンクリートコアは、すべて直径の2倍の高さに仕上げた。圧縮強度試験の結果は表5に示すとおりである。建設当時の資料に見られるコンクリートの圧縮強度は、すべて $30\text{cm} \times 60\text{cm}$ の供試体によるものなので、 $\phi 126\text{cm}$ のコンクリートコアを、これと対比させるために0.894を乗じた。(コンクリートマニュアル P.500による。) $\phi 30 \times 60\text{cm}$ の供試体の強度に換算推定した材令30

年の圧縮

図2 監査廊壁での超音波伝播速度測定位置



配合Aで
402%,
配合Bで370%,
配合Cで380%
で、杖令3ヶ月
における圧縮強
度との比は、そ
れぞれ1.63, 1.84,
2.05に達してい
ると考えられる。

図3 監査廊端部～堤体下流面間の超音波
伝播速度測定位置

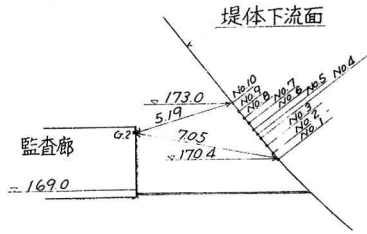


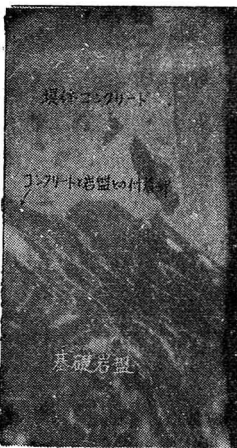
表4 超音波伝播速度測定結果

測定箇所	測点	測長距離 (m)	伝達時間 (μsec)	伝播速度 (%)
監査廊内部 ダム軸方向	No.1 ~ No.2	1.22	253	4.022
	No.1 ~ No.3	2.43	522	4.655
	No.1 ~ No.4	3.93	832	4.724
	EL 179.30 No.1 ~ No.5	5.40	1140	4.737
	70+7 No.6 No.1 ~ No.6	8.00	測定不能	—
	70+7 No.7 No.6 ~ No.7	2.00	415	4.819
	平均			4.751
監査廊端部～ 堤体下流面間	No.2 ~ No.1	7.05	測定不能	—
	No.2 ~ No.2	6.82	測定不能	—
	No.2 ~ No.3	6.49	1.416	4.583
	No.2 ~ No.4	6.11	1.344	4.546
	EL 171.63 No.2 ~ No.5	6.06	1.296	4.676
	EL 163.0 No.2 ~ No.6	5.92	1.272	4.654
	EL 170.4 No.2 ~ No.7	5.69	1.230	4.624
	同 No.2 ~ No.8	5.55	1.195	4.644
	No.2 ~ No.9	5.37	1.155	4.649
	70+7 No.5 No.2 ~ No.10	5.19	1.110	4.676
	平均			4.622

3. 弾性係数

コンクリート

写真1 堤体コンフリー
と岩盤との附着状況



静弾性係数 (E_s)、
共鳴振動法による
動弾性係数 (E_d) および超音
波法による動弾
性係数 (E_p) を
測定した。それ
らの値を表5に
示す。静弾性係
数の測定は、は
りつむみゲ

図5 コンクリートの圧縮力-ひずみ曲線

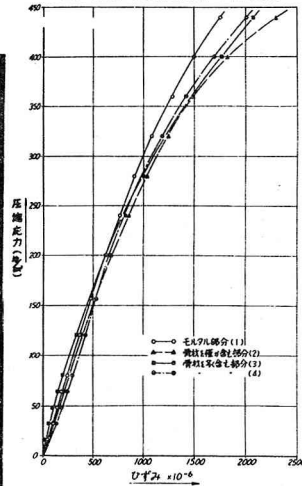
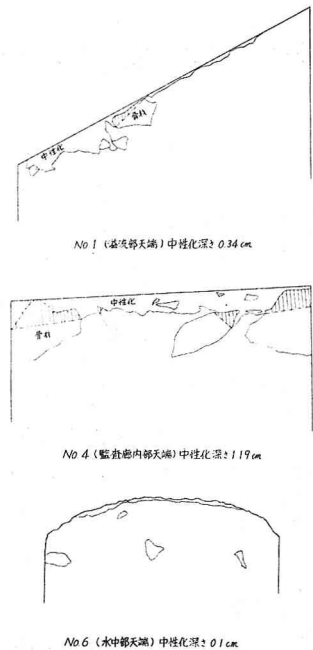


図4 中性化深さ試験結果



ージを用いて行った。応力ひずみ曲線の代表的なものを図5に示
す。 E_s は $2.10 \sim 3.10 \times 10^5$ % であり、この値は古いダムコンクリ
ートコアとしては大きいものである。又、 E_d/E_s の値は、1.03~1.62
の範囲にあり、 E_p/E_s の値は、1.65~2.62の範囲にあり、いずれも
古いダムのコアについての測定値と似通った値を示している。

6. むすび

Aダムの堤体コンクリートに関して現場およびボーリングコアについての試験結果を要約すると次のとおりである。

1) Aダム用として仕様された珪酸23.5%以上、アルミナ5.0%以下、石灰64.0%以下というマスコン
クリート用セメントを用いたコンクリートコアの圧縮強度は、杖令3ヶ月の圧縮強度に比較して1.

63~2.05 倍に達し、十分所期の目的を達成したと考えられる。

2) このコンクリートの平均中性化深さは僅かに数mm~12mm程度であり、またボーリング孔壁の写真撮映によって、コンクリートと岩盤との付着状況は完全であることが確認され、コンクリート

表 5 コンクリートコアの試験結果

コア番号 （孔番号） コア番号 コア位置	配 合	コアの深度 (m)	湿潤単位 容積重量 (kg/m ³)	吸水量 (%)	コアの 圧縮強度 (kg/cm ²)	φ30.60 換算 圧縮強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	超音波 伝播速度 (km/s)	弾性係数 (kg/cm ²)	動弾性係数 ×10 ⁵ (kg/cm ²)	超音波 動法(E ₀) 法(E _p)
1	2-16 A	045~575	2488	1.66	430	354	493	4.960	3.06	3.144	6.368
2	3-21 A	048~780	2456	1.85	498	445		4.757	2.86	3.481	5.920
3	2-32 A	030~1175	2464	2.04	420	375		4.703	2.57	3.839	5.516
試料数			(22)	(21)	(19)	(19)	(2)	(40)	(19)	(25)	(21)
平均値			2468	1.87	451	402	493	4.778	2.779	3.518	5.913
1A	44-56 B	1615~2062	2410	1.64	371	332		4.661	2.47	3.766	5.105
4	20-31 B	645~1152	2422	2.49	331	296		4.435	2.07	3.354	4.904
5	2-15 B	042~562	2473	2.13	465	415	42.5	4.873	2.59	3.203	6.266
試料数			(12)	(12)	(9)	(9)	(1)	(24)	(6)	(15)	(11)
平均値			2444	2.098	414	370	42.5	4.647	2.397	3.404	5.702
1	18-138 C	60~4716	2456	2.03	432	386	40.0	4.593	3.143	3.464	5.200
1A	2-42 C	019~1538	2464	1.88	442	395		4.597	2.850	3.632	5.325
4	2-17 C	018~565	2422	2.85	324	290	30.3	4.471	3.00	3.081	5.043
5	31-32 C	1185~1280	2439	2.26	473	423		4.991	2.62	3.558	5.508
試料数			(42)	(37)	(42)	(42)	(7)	(102)	(33)	(70)	(37)
平均値			2452	2.125	425	380	37.3	4.623	3.010	3.483	5.300

工事において適切な配合設計と入念な施工とが、コンクリートの耐久性と安全性とを著しく高めるものと思われる。

3) Aダム非越流部の外部コンクリートは、水セメント比63%単位セメント量240%である。現在のダムコンクリート技術の原型となったAダムの建設から30年を経過し、その間とくに珪砂、珪砂と骨材との使用法など著しい進歩がみられた。従って、九州地方の気象条件で考える場合、良質な骨材と適切な珪砂と骨材および珪砂を用いるダムコンクリートにおいては、外部コンクリートの水セメント比60%程度の配合も許容し得るのではないかと考えられる。

4) コアの単位容積重量は施工時の値に比較して24~29%程度大きい。この原因や、セメントの水和状況その他の問題については今後検討する予定である。

おわりに、この研究を進めるにあたり御指導戴きました東京大学国分正胤教授、九州大学徳光善治助教授、電力中央研究所技術研究所永倉正工博、日本セメント(株)山崎賢司工博、貴重資料を御提供下さいました日本建設技術(株)山本格工博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 コンクリートダム表面部の凍害による劣化の事例

国分正胤、大橋康次、武居省之、金岩明、村田清澄

大ダムNO.36, 1966-8

2 コンクリートマニュアル p.500

3 Investigation of compressive strength of molded cylinders and drilled cores of concrete.

Bryant Mather and William O.Tyres A C I Jan. 1961