

R.C.D. (Roller Compacted Dam) コンクリート工法 によるダムの施工に関する研究

RESEARCH OF THE DAM CONSTRUCTION BY ROLLER COMPACTED DAM (R.C.D.) CONCRETE

広瀬 利雄*・志水 茂明**・竹村 公太郎***
By Toshio HIROSE, Shigeaki SHIMIZU and Kōtarō TAKEMURA

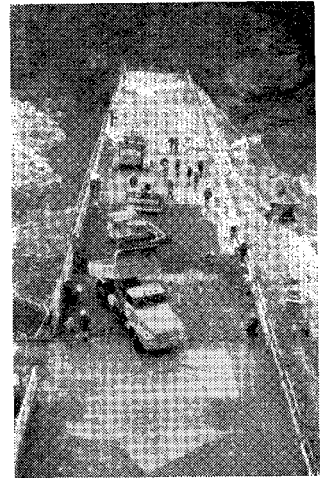
1. ま え が き

ダム建設の進展とともに従来のような好条件のダムサイトは減少し、地質・地形等の条件よりフィルダムがしだいに増えつつある。このフィルダムの施工については大型機械による施工が大々的に取り入れられるなど大きくその施工の合理化が図られている。これに対し、コンクリートダムでは、基本的には従来からの施工法が継承されているのが現状である。しかしながら、コンクリートダムも、地形、地質の条件から堤体積の大きいものが増える傾向にあり、数年前より建設省としてもその合理化施工を図るべく研究を始めている。

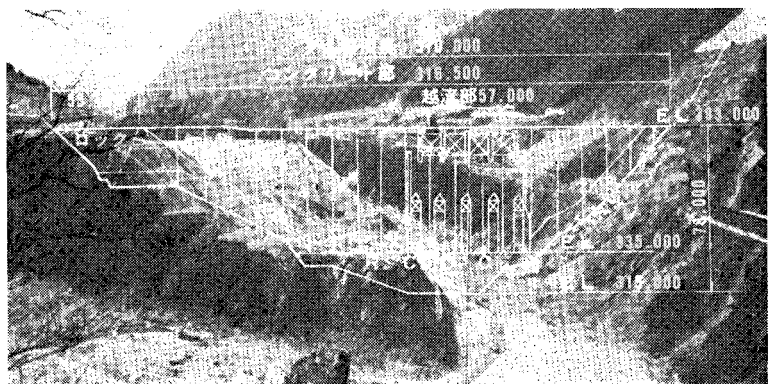
コンクリートダムの合理化施工については、すでにイタリア、アメリカ、ソ連等でその試みが実施されているが、日本では初めてのものであり、当面、阿賀野川水系の上流部、福島県内に建設中の大川ダムの上流仮締め切りを R.C.D. コンクリート施工に関する基礎資料を得る目的で昭和 51 年 8 月～52 年 3 月、R.C.D. (Roller Compacted Dam) コンクリート工法による試験施工を行った。

本論文においては、この試験施工の内容、結果等について述べ、さらに継続して実施中の室内試験の結果等による考察を加え、本工法が十分実用化できるものであることを記述した。なお、大川ダムは後述するとおり地質・地形・流域等の条件によりダム基部にマット(コンクリート量約 40 万 m³)

を有するコンクリートダムであり、このマット部を R.C.D. コンクリート工法により施工することとしている。なお本工法を R.C.D. コンクリート工法とよぶのは、ダムコンクリートを振動ローラーで外部から締め固める点が最大の特徴であるため、Roller Compacted Dam (R.C.D.) コンクリート工法と名づけたものである。



写真一 施工現場全景



写真二

2. 大川ダムの概要

大川ダムは、阿賀野川水系阿賀野川上流部(通称、阿賀)に多目的ダムとして建設するもので、阿賀野川の総合開発の一環をなすものである。昭和 48 年度より建設

* 正会員 建設省河川局開発課長

** 正会員 建設省河川局開発課水源地域対策室長

*** 正会員 建設省中部地方建設局河川部河川管理課長

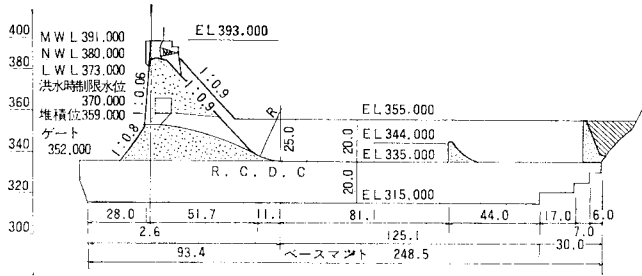


図-1 越流部標準断面図

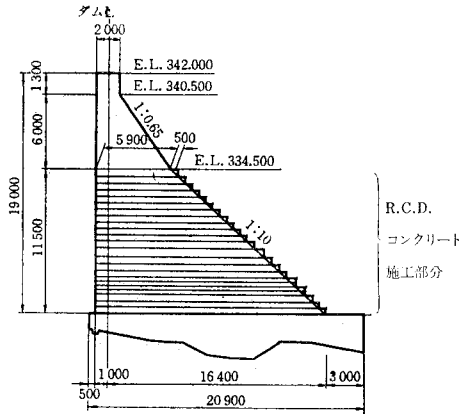


図-2 標準断面図

工事に着手し、昭和 58 年度に完成する予定である。

大川ダムサイトの地質は、中世代の大戸層に新第 3 紀の火成岩類（石英安山岩，石英斑岩等）が岩脈状に貫入し，さらにほぼ河流方向に断層数本が存在しており岩級区分でいう C_L 程度の岩が支配的である。

基礎岩盤の条件からみると従来であればフィルタイプダムが好ましいとされた地点であるが，流域の規模および洪水処理上の技術的検討から重力式コンクリートダムとした。さらに重力式コンクリートダムの形状決定にあたり，基礎岩盤の強度を補う数種の設計案についてさまざまな比較検討を行ったが，ダムに加わる外荷重を小さくして均等に基礎岩盤へ伝達し，滑動に対して十分な安全度を確保するため河床部全般に広くコンクリートを打設する，いわゆるマット式重力ダムを採用した。

このマット部は，延長約 250 m，コンクリート所要量約 40 万 m³ という非常にマッシュなものであり，R.C.D. コンクリート工法で合理的，経済的なダムを建設しようとするものである。R.C.D. コンクリート工法で施工するための準備研究として，大川ダム上流仮締め切りダムを R.C.D. コンクリート工法で試験施工を行い，各種のコンクリート物性試験もあわせて実施したものである。

3. 試験施工の内容

(1) 上流仮締め切りダムの諸元

- 形式：直線重力式コンクリートダム
- 堤高：19 m（基礎コンクリートを除く）
- 堤頂長：102.5 m
- 堤体積：約 10 000 m³

(2) R.C.D. コンクリートによる施工概要

R.C.D. コンクリートによる上流仮締め切りダムの施工は，おおよそ次のとおりである。

ミキシングプラントで作られたコンクリートは，打設箇所までの約 200 m をダンプトラックによって運搬され，ブルドーザーで敷均しが行われた。コンクリートの締め固めは，振動ローラーによる外部締め固め方法で行い，締め固め直後振動目地切り機による振動板の挿入に

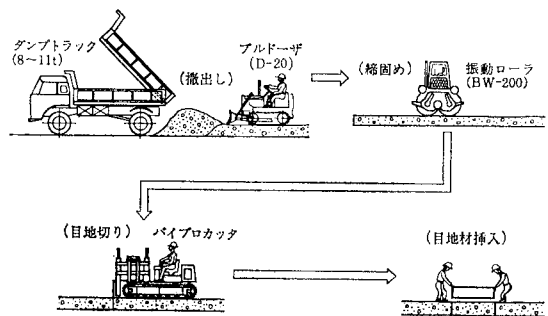


図-3 R.C.D. コンクリート施工手順

表-1 中庸熱ポルトランドセメント+フライアッシュ (F/(C+F)=20%) の物理的性質

種別	比重	粉末度 比面積 (cm ² /g)	88μ 残分 (%)	凝結				安定性	強さ							
				水量 (%)	始発 (h-min)	終結 (h-min)	室温 (°C)		湿度 (%)	プロ			圧縮 (kg/cm)			
										一値	3日	7日	28日	3日	7日	28日
B種 (F/(C+F)=20%)	2.94	3210	1.0	26.0	3-36	4-31	20.0	85	良	273	27.4	34.8	64.4	90	128	307
JIS R 5213(1973) (F=10~20)	—	2500以上	—	—	60以後	10以内	20±3	80以上	良	—	—	—	—	60以上	120以上	260以上

注1) ここでいうB種とは種々の配合で試験施工を行ったもののうち代表的な配合のものである。表-3 参照。
 注2) 11 月度納入B種の平均試験成績表である。

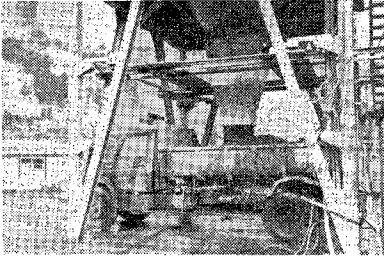


写真-3 ミキシングプラント (公称能力 40 m³/h, ミキサー 1 m³×2 台) よりコンクリート積み込み中

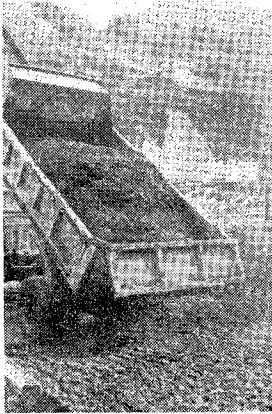


写真-4 ダンプトラックでコンクリートを運搬, 打設箇所へ排出



写真-5 ブルドーザーによるコンクリートの撒き出し

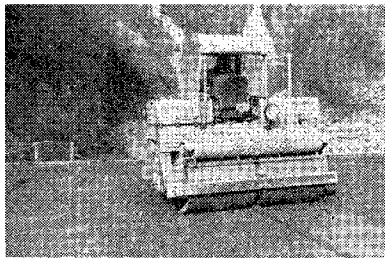


写真-6 振動ローラー (BW-200, 重量 8 t, 振動数 2 300 vpm) によるコンクリートの締め固め

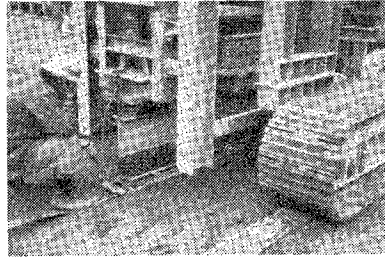


写真-7 カッターによる目地切り

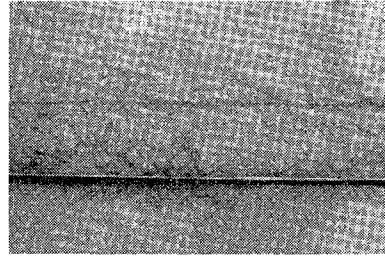


写真-8 目地材挿入後

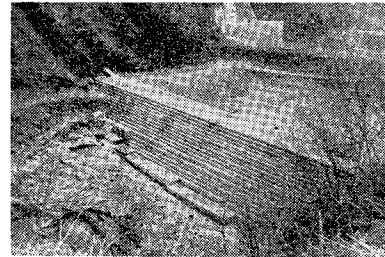


写真-9 ダム全景

より目地を作り, 目地の再接着防止のために塩化ビニルの目地材を挿入した. なお, 上・下流面の型わく際および岩着部約 1.0 m は, 内部コンクリートに比べセメント量をやや増やし, スランプも 1 cm 程度としたので通常の内部振動機等により締め固めを行った.

図-3 に R.C.D. コンクリート施工手順を示し, 写真-3~9 で各施工段階の状況を示す.

(3) コンクリート使用材料

a) セメント

中庸熱ポルトランドセメントをベースとしてフライアッシュ 20% 混入のフライアッシュセメントを使用し, 一部比較のために 30% 混入のものを用いた. セメントの試験成績の一例を表-1 に示す.

フライアッシュを混入させた理由は, 配合の項で述

表-2 骨材試験結果

項 目		試験結果 (10/25)
細骨材	粒 度	粗 粒 率 0.15 mm 以下の微粒分量 (%)
		2.70 6
	比 重	2.53
	吸 水 率 (%)	3.12
粗骨材	単 位 容 積 重 量 注 1) (kg/m³)	1760
	空 隙 率 注 1) (%)	30.4
	粗 粒 率	8.11
	比 重	5~25 mm: 2.60 25~40 mm: 2.60 40~80 mm: 2.63 (平均): (2.61)
粗骨材	吸 水 率	5~25 mm: 2.2 25~40 mm: 2.0 40~80 mm: 1.8 (平均): (2.0)
	単 位 容 積 重 量 注 2) (kg/m³)	1780
	空 隙 率 注 2) (%)	31.8

注1) VB 試験機により締め固めて求めた値

注2) ジギング法により求めた値

注3) 本試験結果は 10 月 25 日に実施した代表的なものである.

べるように R.C.D. コンクリートは、硬化時の温度上昇を抑制するため従来のダムコンクリートに比べセメント使用量を少なくする必要があったことと、コンクリート中に占める結合材の容積を増やし、ワーカビリティおよび硬化コンクリートの品質の改善を図ろうとするためである²⁾。

なお、今回の試験施工でもおもに用いた $C+F=120 \text{ kg/m}^3$ 、 $F/C+F=20\%$ の配合は、ポルトランドセメントだけの場合に換算すると 130 kg/m^3 に匹敵する結合材の容積をもつものである。

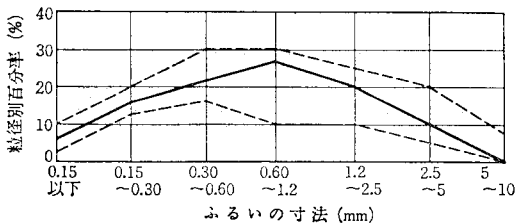
b) 骨 材

粗骨材・細骨材ともに大川産の河川砂利を使用した。その試験結果の一例を表-2 に、細骨材および粗骨材の粒度を図-4 および 図-5 に示す。

今回の試験施工では、ダム専用の骨材プラントを設置せず購入骨材を用いたので採取場所の変更とともに砂の粗粒率 (F・M) は 2.32~3.04 の範囲で、0.15 mm 以下の微粒分は 1.5~8.0% の範囲で変動した。また、砂の表面水率も大略 6~11% の範囲で変動した。この場合表面水率 1% の変動は、単位水量で約 7 kg/m^3 、水セメント比で約 6% の変動に相当するものであった。

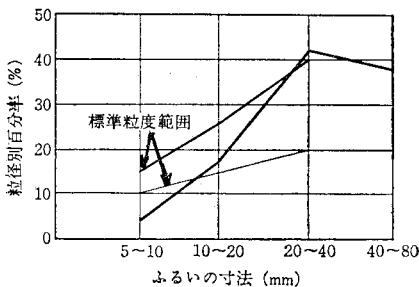
粗骨材の最大寸法は、予備的な実験から、150 mm の大玉を入れると材料分離が大きくなることが判明したので、最大骨材寸法を 80 mm とした。

粗骨材の粒径 5~25 mm, 25~40 mm, 40~80 mm の混合比は、粗骨材の空隙を最少にして、最小限のモルタル量でコンクリートの単位容積重量を大きくするため、



(注) 破線内は標準粒度範囲

図-4 細骨材の粒度



(注) $G_{6-25} : G_{25-40} : G_{40-80} = 3:3:4$

図-5 粗骨材の粒度 (合成粒度)

単位粗骨材容積重量が最大になる 3:3:4 とした。

e) 混和剤・その他

そのほか混和剤として、AE 剤 (ヴィンゾル)、減水剤 (ポゾリス No. 8) を使用した。また、一般にセメント使用量の少ないコンクリートの場合、骨材の微粒分はワーカビリティの改善に効果があるといわれているため、道路舗装に用いられている石灰岩質石粉 (比重 2.69, 粒度 100 メッシュ (0.15 mm) 2.5% 残, 200 メッシュ (0.075 mm) 14.0% 残, 300 メッシュ (0.050 mm) 26.0% 残) を細骨材の一部として T_1 配合において 38 kg/m^3 使用した。

(4) コンクリートの配合

コンクリート打設を連続かつ急速に行うためには、機械化施工によらねばならない。そのため機械化施工が可能になるよう従来のダムコンクリートで実施されているパイプクレーン工のパイプ等障害物を除去する必要がある^{2),3)}。そのためには人工温度冷却を省略すること、つまりセメント使用量を少なくしてコンクリートの発熱量を抑制しなければならない。さらに、ダンプトラックによる運搬、振動ローラーによる締め固めなど機械化施工を可能にするためフレッシュコンクリートは硬練りコンクリートにする必要がある。

従来のダムコンクリート配合の基本的な考え方は、施工できる範囲で可能な限り粗骨材の量を多くして、粗骨材の空隙の中に細骨材を最大限に詰め、細骨材の空隙をセメントペーストで充たすということであり、ここにある程度の余裕を見込む配合設計の方法が確立している。R.C.D. コンクリートも基本的には従来のダムコンクリートと同じ考え方で配合設計が進められるが、前述したように振動ローラーによる締め固めがスムーズに実施されるかどうか知るためには、この工法が日本では前例のない方法だけに室内試験よりむしろ現場での試験施工を重視して決めていくことが必要である。今回の試験施工でも現場での実施コンクリートの性状を観察し、次々と配合を変えてなるべく広い範囲のコンクリート配合について試験を行ったものである。実施したおもなノースランプコンクリートの配合を表-3 に示す。

なお、上下流面型わく際および岩着部コンクリートは、十分な強度、水密性および耐久性を確保するため従来のダムの外部コンクリートに匹敵するものが必要と判断し、表-4 に示すようにスランプも 1 cm 程度のコンクリート配合とし、コンクリート締め固め方法も内部棒状振動機による施工法とした。

(5) 施工条件

a) 撒き出し・層厚

表-3 R.C.D. コンクリート試験方配合表 (1m³ 当り)

配合記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量の割合 (%)	水セメント比 W/C+F (%)	フライアッシュ比 F/C+F (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							混 和 剤 等		
							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			80~40		40~25	25~5
A	80	—	1.5±1	65	30	26.4	78	84	36	583	661	496	496	ヴィンゾール		
B ₁	80	—	1.5±1	67	20	26.0	80	96	24	573	666	498	498			
B ₂	80	—	1.5±1	61	20	26.8	73	96	24	581	648	486	486			
P ₁	80	—	1.5±1	75	20	29.2	70	96	24	636	629	471	471			
P ₂	80	—	1.5±1	80	20	30.8	96	96	24	665	610	458	458			
P ₃	80	—	1.5±1	85	20	32.3	100	96	24	694	593	444	444			
P ₄	80	—	1.5±1	90	20	34.0	108	96	24	723	574	431	431	ヴィンゾール ポゾリス 石粉 (38 kg/m ³)		
V ₃	80	—	3.5±1	80	20	32.9	96	96	24	694	577	434	434			
R ₁	80	—	1.5±1	80	20	32.1	96	96	24	694	599	449	449			
T ₁	80	—	1.5±1	75	20	32.2	90	96	24	705	600	449	449			

表-4 型わく際および岩着部コンクリート示方配合表 (1m³ 当り)

配合記号	G _{max} (mm)	スランプ (cm)	air (%)	W/C+F (%)	F/C+F (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					備 考
							W	C	F	s	G	
F-3	80	0~1	3.5±1	46	11.4	32.1	96	186	24	652	140.8	

撤き出しの手順は岩着部および上下流面型わく際の外部コンクリートを撤き出し、引き続き内部コンクリートを上流側から下流側に向かって撤き出した。

撤き出し幅は外部コンクリートは約 1.0 m とし、内部コンクリートは、コールドジョイントを発生させない時間内に隣接レーンを打ち継ぐこととしたので 1 レーン = 3.5 m と定めた²⁾。撤き出し厚は、所定層厚に 8% 程度の沈下量を見込んだ厚さとした。撤き出し機械は D-20 A ブルドーザーを使用した。撤き出し時における分離度合や締め固め効果を検討するために、層厚、撤き出しを次のように変化させて試験を実施した。

リフトの層厚：37.5 cm, 50 cm, 70 cm 2 層, 70 cm

1 層

撤き出し、転圧：1 層撤き出し同時転圧、2 層撤き出し各層転圧

b) 転圧締め固め

内部コンクリートは、振動ローラーをダム軸に直角方向（上下流方向）に走向させて転圧した。

振動ローラーの転圧速度および回数については、V=1 km/h、無振動転圧 2 回、振動転圧 6 回または 8 回を標準としたが、これらの要因が転圧効果に及ぼす影響を調査するために、一部 V=2 km/h、無振動転圧 2 回、振動転圧 6 回または 8 回の場合についても実施した。

c) 打継目の処理

グリーンカットにはハイウォッシュャとポリッシュャを併用し、その時期は打設後 15~20 時間経過後とした²⁾。

水平打継目はモルタルを 1.5 cm に厚散布する方法と、最大骨材寸法 25 mm のコンクリートを 7.5 cm 厚に敷均しする 2 通りについて比較した。敷モルタルおよび敷コンクリートの配合を 表-5 に示す。

(6) 目地の造成と止水

目地間隔は 15 m, 20 m, 27 m の 3 種類とし、目地の造成はパイプロッカー（振動数 1500 vpm、起動力 3 200~6 400 kg）により 16 mm のブレードを締め固め

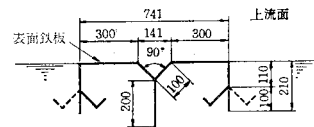


図-6 表面鉄板止水

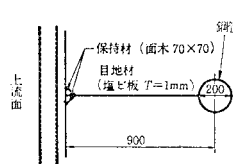


図-7 内部箱拔止水

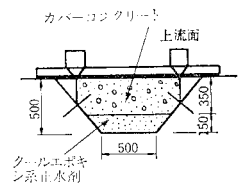


図-8 表面箱拔止水

表-5 打継用モルタルおよびコンクリート配合

	配 合 条 件							単 位 量 (kg/m ³)						
	G _{max} (mm)	C+F (kg/m ³)	Air (%)	F/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	s/a (%)	混和剤	スランプ (cm)	VB 値 (s)	C+F	W	s	G	
敷モルタル	5	470	—	20	60	100	—	—	—	470	283	1416	—	
敷コンクリート	25	250	2.1±1	20	65	50	—	0~2	3~10	250	163	933	951	

直後に挿入して行い、のち、塩化ビニルのプレートを挿入した²⁾。目地における止水工として次の3方法を試みた。

表面鉄板止水工：図-6 に示すように厚さ 2.3 mm の加工した鉄板を各リフトごとに溶接して接続する。

内部箱拔止水工：図-7 に示すように打設時に鋼管(φ200 mm)を埋設し、翌日これを引き抜いた後にタールエポキシ系止水剤を充填する。

表面箱拔止水工：図-8 に示すように上流面に箱抜きを行い、タールエポキシ系止水剤を15 mm 厚に流し込み、硬化後表面にカバーコンクリートを打設する。

(7) 品質管理

a) コンシステンシー試験

R.C.D. コンクリートは硬練りコンクリートであるので、スランブ試験が適用できないため VB 試験、締め固め係数試験、貫入試験、クルツの締め固め比試験等が考えられた²⁾。これらを検討の末、R.C.D. コンクリートは振動ローラーで締め固められるため、振動を与えた状態でコンシステンシーを測定するのが合理的であるとの判断から^{4),5)}、舗装コンクリートのコンシステンシー試験で使用されている VB コンシストメーターを改良して使用することとした。なお、土木学会の規定する

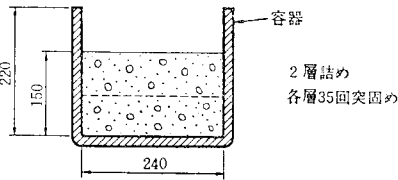


図-9 VC 試験試料作成要領

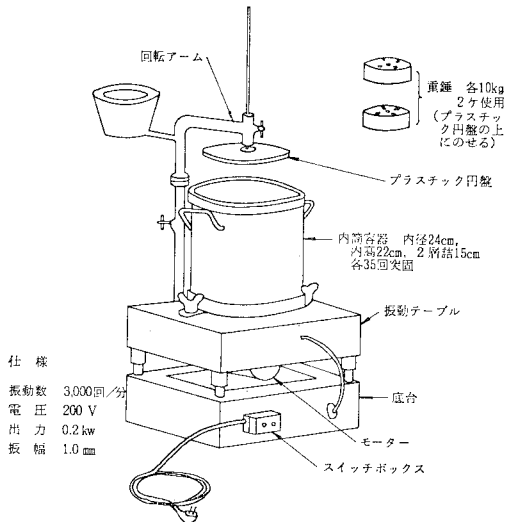


図-10 VB 試験改良法の装置



写真-10 VC テスト

表-6 品質管理頻度表

項目	頻度
細骨材の表面水	午前1回、午後1回を原則とし、雨天時および骨材入荷時には適宜測定回数を増やす。
フレッシュコンクリートのコンシステンシー	150 m ³ ごとに3回行うことを原則とし、雨天時には適宜測定回数を増やす。
フレッシュコンクリートの空気量	150 m ³ ごとに1回行う。
コンクリートの圧縮強度	150 m ³ ごとに6個テストピースを採取し、圧縮強度試験を行う(σ ₇ , σ ₂₈ , σ ₉₁)。

VB コンシストメーターの仕様および試験方法を R.C.D. 硬練りコンクリートにも適用できるように変更した。すなわちコンシストメーターの振動数を毎分 3000 回に改良し、平滑に詰めたコンクリート試料の上にプラスチック円盤を載せ、さらに 20 kg のウェイトをかけ、円盤と容器との隙間の全周からモルタルまたはペーストが浮上するまでの時間 (s) を測定し、VC 値 (Vibrating Compaction 値) とした。ここで VC 値とよぶのは、従来の舗装用コンクリートにおける VB 値とその試験内容が若干異なるため区別するためのものである。なお、今回は従来のダムコンクリートの場合と同様に、40 mm ふるいでウェットスクリーンしたコンクリートのコンシステンシーを測定した。図-9 に試験試料作成要領を示し、図-10 にコンシストメーターの改良装置を示し、写真-10 で VC テストを実施している状況を示す。

b) テストピース圧縮強度など

テストピースの圧縮強度の管理は、従来のダムコンクリートの場合と同様に 40 mm ふるいによりウェットスクリーンを行ったコンクリートを φ15×30 cm の型わくに2層に詰め、各層を BOSCH タンパにより 10 秒程度締め固める方法で供試体を作成した。また、空気量の測定は、ウェットスクリーンした後一般に使用されているワシントン型エアメーターによって実施した。

実施した品質管理の頻度を表-6 に示す。

(8) コア採取、整形およびコア試験内容

a) コア採取・整形

ダムの最上層打ち込み後、約1か月後にボーリングにより堤体コンクリートのコア採取を行った。圧縮強度試験および引張強度に供するものとして、φ180 mm の鉛直コアを、水平打継目のせん断強度試験用としてφ180 mm の斜めコアを採取した。採取したコア供試体は対象とする試験に応じて所定の整形を行った。

b) コアの試験内容

コアの表面状態の観察は、各種試験に供するため供試体の整形作業に先立ち各コアの表面状態を全周面について詳細に観察し、コア外観の良否を表-7 に示す評価基準に従って分類した。

表-7 コア外観の評価基準

良	外観が良好な部分。表面が緻密で通常のダムコンクリートに比べてさほど色のない部分
ほぼ良	外観がほぼ良好な部分。表面がややポーラスであったり砂分が現れているが、ほぼ良好な部分
やや不良	モルタル分がかなりはげ落ちていたり、一部集がみられる部分
不良	粗骨材のまわりにモルタルがまわっていない部分が多く、豆板(蜂の巣)状となっている部分
きわめて不良	粗骨材がぼろぼろで、コンクリートとしての外観をまったく呈していない部分

単位重量試験は、通常の寸法によるほか、水中法による測定を行い、圧縮強度試験については JIS A 1108、引張強度試験については JIS A 1113 に準じて行い、水平打継目のせん断強度試験については図-11 に示すような方法で行い、破壊時におけるせん断応力と垂直応力 σ_n を次式で計算した。

$$\tau = \frac{P \sin \theta \cdot \cos \theta}{A}$$

$$\sigma_n = \frac{P \cos^2 \theta}{A}$$

なお、せん断強度 τ は内部摩擦角を 45° と仮定して

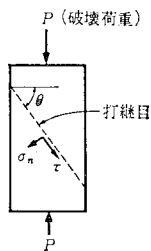


図-11 水平打継目せん断強度試験

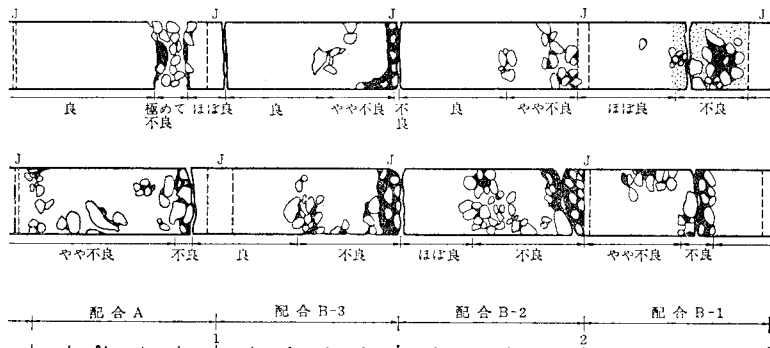


図-12 材料分離の激しかったコンクリートコアのスケッチ

求めた。

4. R.C.D. コンクリート試験施工の結果

(1) 一般的にみた R.C.D. コンクリートの表面状態

従来のダムコンクリートの配合に近似した水セメント比 65% (表-3 の A, B₁, B₂ 配合参照) のコンクリートでは、そのコアの表面状態は、コアとしての形態をなしていない部分が全体の 3%、また豆板状の顕著な部分が 13% 程度であった。この原因の主たるものとして、骨材寸法 80 mm の粗大骨材が分離し粗骨材のまわりにモルタルが詰まっていないことが明らかになった。

水セメント比 65% 配合のコンクリートで、モルタル量の不足により豆板状の部分が観察できるコアの状況を写真-11 に、また、そのスケッチを図-12 に示す。

試験施工の初期に上述した材料分離の問題が明らかになり大きな検討課題となった。そのため配合の面ではセメント量は温度規制上 $C+F=120 \text{ kg}$ に固定し、モルタル量を増加させることとし水および砂を増加させた。

表-3 の配合表で P₁, P₂, P₃, P₄ は、コンクリート中のモルタルをしだいに増加させていった過程を示すも

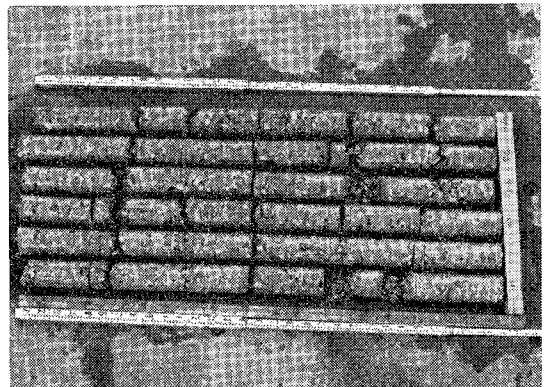


写真-11 材料分離の激しかったコンクリートコア

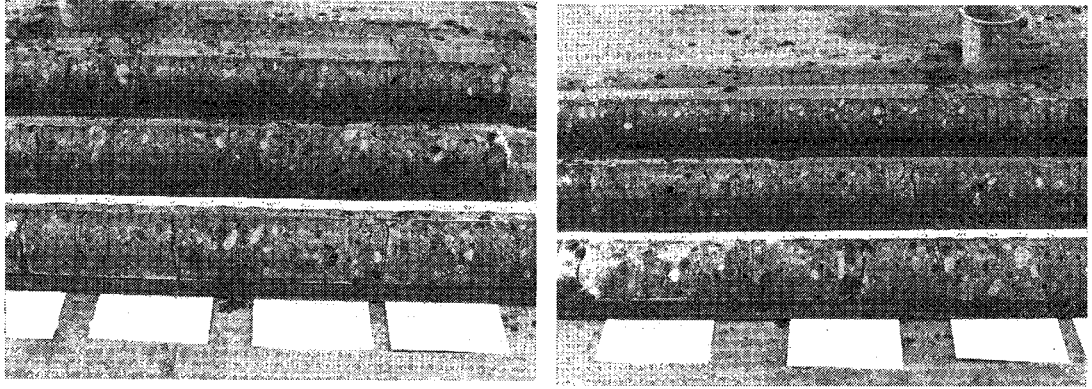


写真-12 均質なコンクリートコア

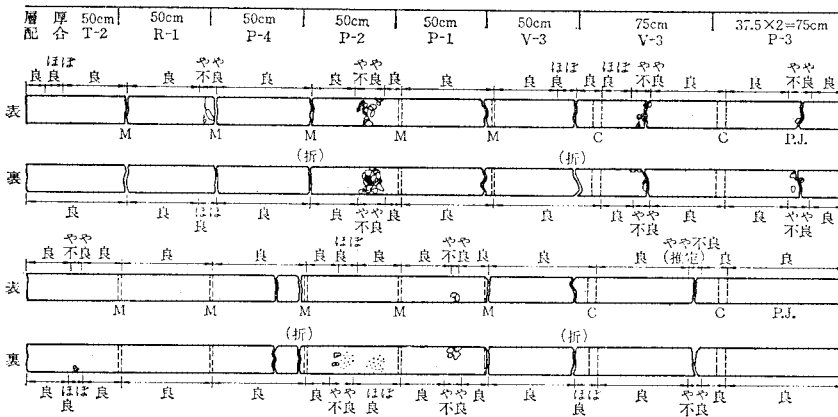


図-13 均質なコンクリートコアのスケッチ (配合 P-1, P-2, P-3, P-4, V-3, R-1, T-2)

のである。この結果、モルタル量を増加させ $W/(C+F) = 85 \sim 90\%$, $s/a = 32 \sim 34\%$ 程度とすることにより材料分離も少なく均質なコンクリートが得られることが判明した。材料分離が改良され、均質なコンクリートになった様子のコアの状況を写真-12に、また、そのスケッチ図を図-13で示す。

ここで層厚 50cm の場合について材料分離を起こし、豆板状態が存在している位置を深さ別にみると、大略、

- 上部 3% (1 か所 111 層)
- 中部 54% (20 か所 111 層)
- 下部 43% (16 か所 111 層)

のようになっており、中部で豆板状態が多く認められた。豆板が中部に発生している状態をみると、豆板状の部分がサンドイッチ状にはさまれており、その上下はよく締め固まっている状態が随所に見受けられた。

また、敷モルタルと敷コンクリートについて、上に撒き出したコンクリートの配合が同一の場合の層の深さ別にみた豆板状態の分布を比較すると、表-8 のようになる。

表-8 より、層の中部での豆板の発生は、敷モルタル敷コンクリートとも大差ないが、層の下部では、敷モル

タルは中部と同様の頻度で豆板が発生しているのに対し、敷コンクリートでは、豆板状態が認められないことから、層の下部においては敷コンクリートの方が敷モルタルに比べ豆板が発生しにくい傾向を示していると考えられる。

このようなことから、均質なコンクリートを得るためには分離を極

力少なくするように配合はもちろん、ダンプトラックへの積みおろし、撒き出しなどの施工法についても十分配慮することが必要であることが判明した。

(2) 品質管理結果

a) フレッシュコンクリートのコンシステンシーおよび空気量

本試験では、フレッシュコンクリートのコンシステンシーについては目標 VC 値を 10~40s とし、この範囲を外れた場合には、目標範囲に収まるようにプラントで水量を調節することとした。その結果、打ち込み量の比較的多い配合 (P-3~4, V-3, F-2~3 等) では、いずれも 70% 程度が目標範囲に入っていた。その結果を図-1

表-8 層の深さ別にみた豆板状態の分布 (配合 P-3, P-5, V-3)

打 継 目 の 処 理 方 法		敷モルタル	敷コンクリート
層 の 数 (コア延長 m)		15 (7.5)	32 (16.0)
豆板状態の存在する個数 (箇所)	層の上部	0	0
	層の中部	2	2
	層の下部	2	0
豆板状態がコア1層当りに存在する個数 (箇所/層)		4/15=0.27	2/32=0.06

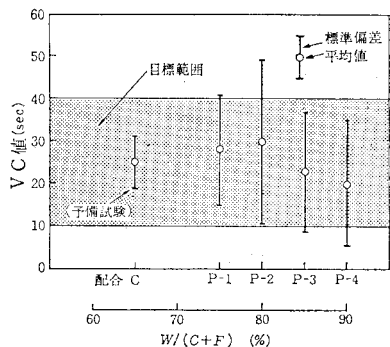


図-14 フレッシュコンクリートの VC 値結果

14 に示す。

空気量については、40 mm ふりいでウェットスクリーニングした試料については測定した空気量を最大骨材寸法 80 mm の場合に換算推定した値をみると、プレーンコンクリートおよびポズリス No. 8 を用いたコンクリートでは平均値で 0.9~1.7%，AE コンクリートでは 2.5~2.8% となっている。したがって、前者はほぼ目標値どおりの値が得られたが、後者の場合には計画値よりやや小さい値を示していたことがわかった。

b) テストピースの圧縮強度

図-15 はテストピース (φ150×300) の主要配合について圧縮強度 (σ_{s1}) を示したものであり、通常のコンクリートと同様に水セメント比が大きくなるほど圧縮強度は低下する傾向を示している。また、水セメント比を一定 ($W/(C+F)=80\%$) とした場合の σ_{s1} は、プレーンコンクリートに対しヴィンゾル混入コンクリートで約 20% 低下し、ポズリス No. 8 混入コンクリートで約 30% 大きくなっている。石粉を混入して微粒分量を増やした T-2 配合 (微粒分 13%) では、もとの配合 P-3

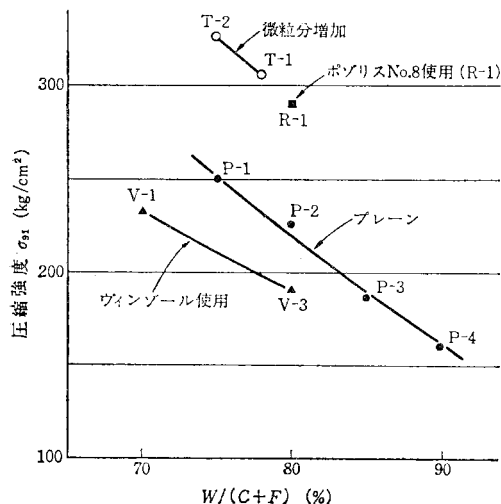


図-15 テストピース主要配合の圧縮強度

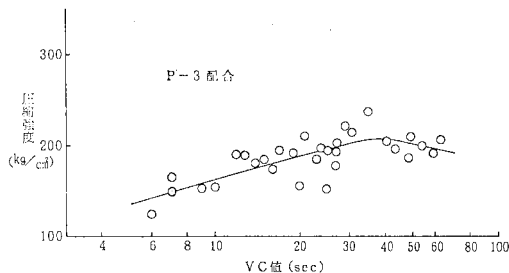


図-16 P-3 配合における VC 値とテストピース圧縮強度

に比べてはるかに強度が大きくなっており、また同じセメント比の P-2 配合と比較しても大きい値を示している。また、図-16 は最も数多く試験した P-3 配合のコンクリートの VC 値とテストピースの圧縮強度の関係を示した。これにより、VC 値が 30~40 秒の場合、R.C.D. コンクリートはよく締め固まり、圧縮強度が比較的高いコンクリートが得られるということがわかった。

(3) コア採取による試験結果

コアは直径 180 mm と 150 mm の 2 通りのものを採取したが、これらは実施コンクリートの粗骨材最大寸法 80 mm に対して必ずしも十分な寸法のものではない。

JIS ではコア供試体の直径は最大骨材寸法の 3 倍以上となっているが、ボーリング作業の制約上やむを得ず上記寸法のものとした。このため、コアの品質がある程度採取作業の影響を受けることが考えられ、コア試験によって得られた結果は実際のコンクリートよりいくぶん品質が劣る可能性があることに留意しておく必要がある。

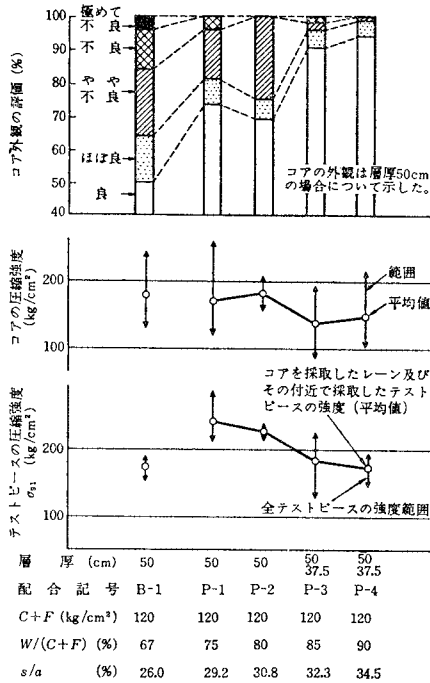
a) 配合条件がコンクリートの品質に及ぼす影響

図-17 において配合、特にモルタル量を変えた場合のコアの外觀評価をみると、モルタル量 ($s/a=26\sim34\%$, $W/(C+F)=67\sim90\%$) の増加に伴って、コンクリートの均質が向上しており、 $s/a=32\%$ 以上になるとコアの 90% 以上が良好な外觀を呈している。

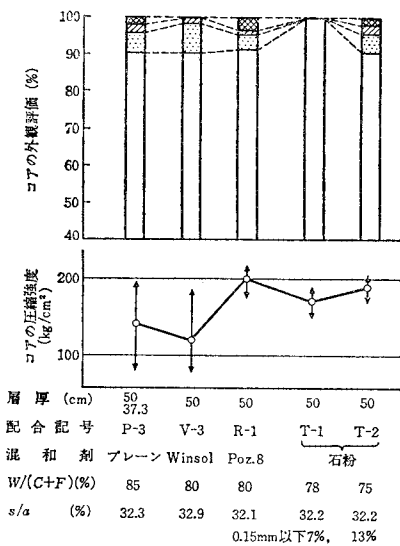
コンクリート強度をみると、テストピースでは水セメント比を小さくすれば、強度が上昇する傾向を示しているが、実施コンクリートのコアの強度では水セメント比を小さくしてもそれほど上昇しておらず、水セメント比の大きい配合でも十分な強度を示している。

このことにより、水セメント比を大きくしても、均質性のよいコンクリートなら所要の強度が十分確保されると判断できた。

図-18 において、混和剤 (AE 剤, 減水剤) および細粒物質としての石粉を混入させた場合のコンクリートの性状をみると、プレーンコンクリートで良好であった P-3 配合と同程度の均質なコンクリートを得るために混和



図一七 モルタル量の差による試験結果



図一八 混和剤等の使用による試験結果

剤および石粉を使用すると水セメント比が5~10%程度低減できることがわかった。

実施コンクリートのコアの強度をみると、AE剤（ヴィンブル）を使用したV-3配合は、空気連行により圧縮強度は若干小さくなっている。減水剤（ポゾリス No. 8）を使用したR-1配合は、プレーンコンクリートに比べて圧縮強度はかなり大きくなっている。石粉を使用し

たT-1、T-2配合もR-1配合と同様に圧縮強度の向上がみられた。

b) 施工条件がコンクリートの品質に及ぼす影響

図一十九において、配合を同一にして層厚を変えた場合のコンクリートの性状をみると、実施コンクリートのコア外観では、37.5 cm、37.5 cm×2層、50 cmの順で均質性が良好であることがわかる。コアの圧縮強度についてもコンクリートの均質性の向上に比例して、強度増加の傾向を示している。

V-3配合における50 cmと75 cmの比較では、圧縮強度は50 cmより75 cmの方が大きく出ているが、75 cmの表面状態をみると不良部分が6%程度生じており、50 cm層に比べ欠陥が生じやすいと考えられた。

なお37.5 cm×2回締め固めの場合、1層分の上側から作成したコアの平均圧縮強度は約100 kg/cm²、下側から作成したものでは約125 kg/cm²で、両者にはやや差があると判断された。

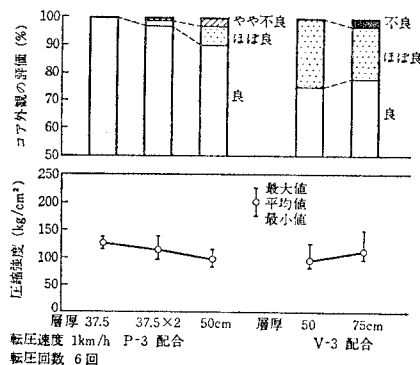
また、転圧回数については3往復と4往復の差によるコアの均質性および圧縮強度等の差は明確でなく、転圧速度についても1 km/hと2 km/hの差によるコンクリートの性状の明確な差はなかった。

e) 静弾性係数の試験結果

静弾性係数試験結果を図二十に示す。静弾性係数と静ポアソン比は、応力ひずみ曲線上破壊応力度の1/3の点における応力とひずみから算出した。

静弾性係数の値はおおむね20~25×10⁴ kg/cm²であり、圧縮強度100~200 kg/cm²のコンクリートとしては常識的な値が得られた。また、図二十より静弾性係数は、従来のコンクリート同様に圧縮強度に強く依存していることがわかる。なお、静弾性係数の動弾性係数に対する割合は60~80%であった。静ポアソン比については0.14~0.20の値が得られており、通常のコンクリートと同等の値であった。

d) 打継目せん断試験結果



図一十九 層厚の差による試験結果

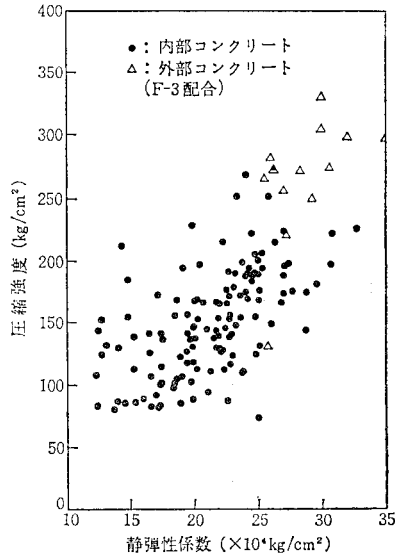


図-20 静弾性係数試験結果

水平打継目については、コア外観の観察の結果、敷モルタルを施した箇所、敷コンクリートを施した箇所いずれの場合にも、全体の 80~90% 程度が一体として採取でき、また、付着状態も良好と見受けられた。

また、せん断強度試験からも、打継目およびその付近のせん断強度は、敷モルタル、敷コンクリートの両者とも 図-21 に示すように平均で 20 kg/cm² (10~25 kg/cm²) 程度となっている。

以上より、本試験の結果では打継目の処理方法のいか

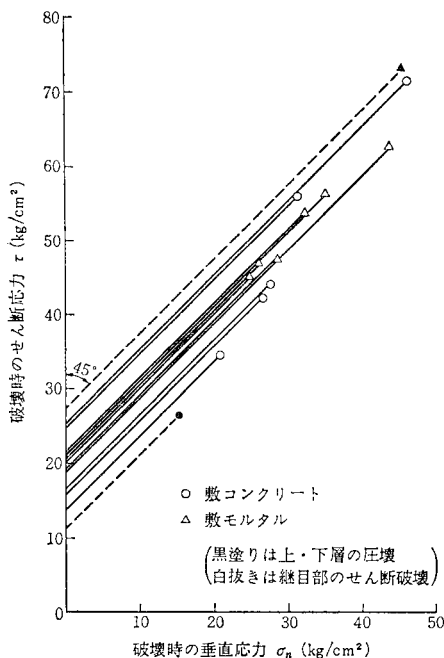


図-21 水平打継目のせん断試験結果

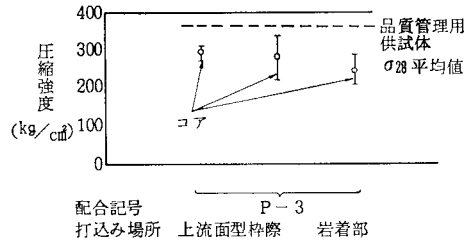


図-22 外部コンクリートコア圧縮強度試験結果

んにかかわらず、ほぼ期待どおりの打継目の強度が得られていると判断された。

e) 外部コンクリートのコア圧縮強度試験結果

上流面型枠および岩着部コンクリートは表-4 で示すように従来のようなダムコンクリートの外部コンクリートの配合として、内部振動機で締め固めた。

外部コンクリートコア圧縮強度の試験結果を 図-22 に示す。この外部コンクリートのコア圧縮強度は、品質管理用テストピースに比べて小さくはなっている。しかし、平均値で 270 kg/cm² 程度の値が得られており、後述する透水試験の結果をあわせて判断すると、重力ダムの外部コンクリートとしてはほぼ満足すべき品質のものであると考えられた。

(4) 現地透水試験結果

打設した R.C.D. コンクリートにボーリング孔を開け圧力水を送水してコンクリート内部の透水性を調べるため現位置透水試験を行った。図-23 に内部コンクリート、図-24 に外部コンクリートの試験結果を示す。

図-23 によれば、内部コンクリートの透水係数のオーダーは 10⁻⁶~10⁻⁷ cm/s であり配合によるばらつきも大きな差はなかった。なお、W/(C+F)=65%, s/a=26% 程度の配合で材料分離が激しかった箇所の透水係数は

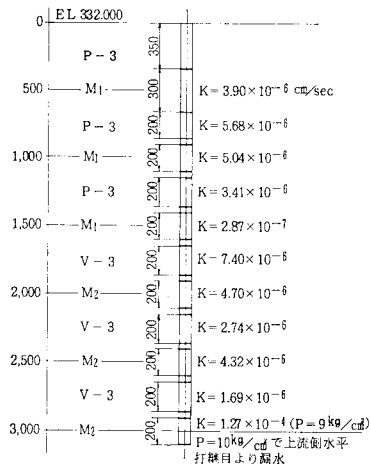


図-23 内部コンクリート透水試験結果

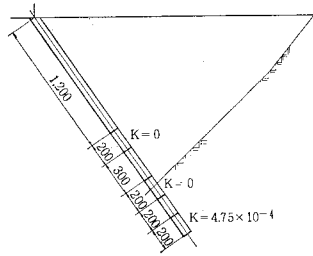


図-24 外部コンクリート透水試験結果

$10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sであり水密性がきわめて悪かった。

このことにより、材料分離を防止し、コンクリートの均質性を確保すればコンクリートの水密性も高まることが判明した。

また、図-24 によれば、外部コンクリートの透水性は現位置透水試験では測定不可能な微量でありまったく問題のないものと判断できた。

5. R.C.D. コンクリートコアの長期材令物性試験⁶⁾

前述したコンクリートコアの各種試験は、現場打設後1か月後に採取し、おおむね91日材令に達した時点で実施したものであった。その結果、配合および施工条件によって幅はあるが、静弾性係数で $20 \sim 25 \times 10^4$ kg/cm²、圧縮強度で $100 \sim 200$ kg/cm² の物性値をもつコンクリートであることが判明した。この段階でまだ研究課題として残されていたのは、長期材令における R.C.D. コンクリートの物性値の把握であった。単位セメントフライアッシュ量が 120 kg/m³ と少なく、ノースランプのコンクリートを外部振動ローラーで締め固めたものが、他のダムコンクリートの圧縮強度と同様に長期材令で伸びを示すか否かを知る必要があると判断された。このため、昭和53年3月に R.C.D. コンクリート長期材令物性試験を引き続き実施した。

試験方法は前回と同様であり $\phi 180$ mm コアを全長 30 m 採取し、表面観察を行った後、コア整形し各種試験を行った。

表-9 圧縮強度試験結果の対比

記号	C+F (kg/m ²)	W C+F (%)	目標 VB値 (秒)	厚 (cm)	層 番号	材令1年5か月~1年9か月の圧縮強度				材令13週~16週の圧縮強度				品質管理用試体(注3)				施工日 (月/日)
						平均値 σ (kg/cm ²)	最大値 最小値 (kg/cm ²)	増加率 σ/σ_{13} ~16週	強度比 σ/σ_{91} 日	平均値 σ_{13} ~16週 (kg/cm ²)	最大値 最小値 (kg/cm ²)	強度比 σ_{13} ~16週 日	材令 (週)	σ_{7} 日 (kg/cm ²)	σ_{28} 日 (kg/cm ²)	σ_{91} 日 (kg/cm ²)	材令 (月/日)	
P ₁	120	75	10~40	50	14	236	273~214	1.34	0.96	176	252~120	0.72	13	95	172	246 [143]	S. 51 12/6	
P ₂	120	80	10~40	50	15	223	270~184	1.20	0.93	185	222~153	0.77	13	74	163	241 [148]	12/8	
P ₃	120	85	10~40	37.5	4	136	145~122	1.08	1.10	126	136~114	1.02	16	34	98	124 [127]	10/30	
					8 19~23	160 184	162~156 236~130	1.67	0.82	96	112~83	0.49	14	54	118	194 [164]	11/11	
P ₄	120	90	10~40	37.5×2	11	162	204~124	1.40	0.77	—	—	—	—	68	152	235 [155]	S. 52 3/3~18	
					16	224	234~214	1.20	0.81	116	138~96	0.55	13	53	117	211 [180]	S. 51 11/23	
V ₃	120	80	10~40	50	10	114	120~110	1.21	0.77	94	122~81	0.64	14	36	85	148 [172]	11/17	
					13	201	217~171	1.40	1.06	143	189~123	0.76	14	49	136	189 [139]	12/3	
V ₄	120	85	10~40	50	12	139	156~119	1.28	0.76	109	148~94	0.59	13	47	133	184 [138]	11/26	
					17	240	261~229	1.22	0.83	197	206~176	0.68	13	98	198	290 [146]	12/4	
						平均	1.27			平均	0.86					注2)		
						平均	0.70					平均	0.70					注2)

注1) F/C+F はいずれも 20%
 注2) 全層(第4~23層)についての平均値
 注3) 原則として各層のコア採取レーンあるいはその付近に打設したコンクリートにより製作した供試体についての平均値(第19~23層については第20層を除く全層の平均値)

ここでは、コンクリートの物性値を代表する圧縮強度を中心にして述べる。

今回実施した試験結果を前回の結果とあわせ表-9に示す。ただし、前回と今回の試験結果を比較するにあたっては、コア採取位置の相違による施工状態のばらつき、各コア試験時の材令幅（前回3週間、今回4か月）などに注意する必要がある。この表-9によれば、今回のコアと前回のコアの圧縮強度の増加率は1.0~1.7の範囲にあり全層について平均すると増加率は1.27程度である。また、コア外観がほぼ良好で試験個数の比較的多いP-3、V-3配合の増加率の平均値は、それぞれ1.38および1.30であった。

次に、R.C.D. コンクリートと一般ダムコンクリートのコア供試体による長期強度の対比を行った。

一般ダムコンクリートにおけるボーリングコア供試体による強度増加率のデータは少ないが、ポゾランを20~30%使用したHungry Horse Dam, Friant Dam⁷⁾との比較を図-25に示す。なお、圧縮強度の増加率を表す基準値は、前述したようにコア採取位置の相違によるばらつき、各コアの試験時材令幅があるため、材令日標準養生の品質管理用供試体の圧縮強度とした。

これによると、圧縮強度の長期材令の増加率はやや小さな値が同程度の値を示している。

また、長期材令コアの静弾性係数は(19~36)×10⁴ kg/cm²の範囲にあり平均値で26×10⁴ kg/cm²であった。前回のコア試験結果との比率は0.82~1.80の範囲にあり平均値で1.24で、圧縮強度とほぼ同程度の増加率を示している。

静弾性係数と圧縮強度の関係を図-26に示す。静弾性係数と圧縮強度の相関は、長期材令のコアの方が、相

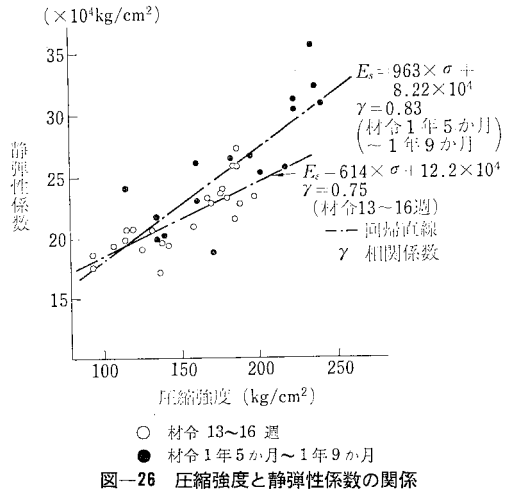


図-26 圧縮強度と静弾性係数の関係
係数 $\gamma=0.83$ とより高い値を示した。

6. 室内試験による検討⁸⁾

大川ダム上流仮締め切りダムにおいて R.C.D. コンクリートの試験施工を行ったが、その過程で最も大きな検討課題はいかにして材料分離がなく、均質なコンクリートを打設するかという点であった。このため施工現場においては種々の施工法の改良を行い、配合面でもモルタルの余裕分を増加させることによってほぼ満足すべき均質なコンクリートを得られることが判明したがコンクリートの品質管理の手法を確立する必要があるので引き続き室内試験によって R.C.D. コンクリートの品質管理について検討を行った。

品質管理に関しては、①フレッシュコンクリートのコンシステンシー、②圧縮強度用供試体の作成方法、③細骨材の表面水管理、④打設直後のコンクリート密度管理、等があるが、ここでは、最も R.C.D. コンクリートの品質に影響を与えるコンシステンシー試験について述べる。

3.(7) で述べたように R.C.D. コンクリートは硬練りであり、コンシステンシーに関してはスランプ試験ができないので VB コンシストメーターを一部改良した VC コンシストメーターで行った。現場施工では、VC 値 10~40 秒程度であればほぼ満足すべき品質のコンクリートを得られるが、10 秒を下回ると振動ローラーが沈下してしまい転圧作業に困難をきたし、また、60 秒以上になると材料分離のためモルタルが粗骨材の回りにゆき渡らず、十分な締め固めができないことが推察されたので、この場合の問題把握および解明に努めた。

符号	ダム名	コア径 (cm)	セメントの種類	単位セメント・ポゾラン量 (kg/m ³)	ポゾラン混入率 P/(C+P) (%)
● ●	Hungry Horse Dam	25	中庸熟	169, 228	23, 31
●	Friant Dam	55	低熟	233	20, 25, 30

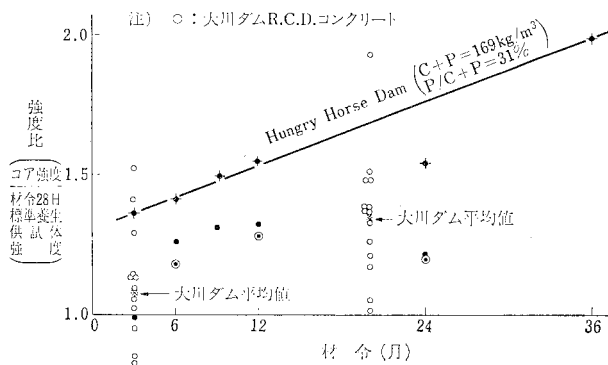


図-25 長期材令におけるダムコンクリートコアの強度増加

(1) VC 値の試験方法の検討

VB 試験機による R.C.D. コンクリートのコンシステンシー管理のための予備試験として、容器に試料を詰める場合の方法および載荷重の大きさが測定結果に及ぼす影響を調べ、R.C.D. コンクリートのコンシステンシー管理に適した試験方法を検討した。

示方配合は、単位水量は 102 kg/m³、単位セメントフライアッシュ量は 120 kg/m³ 一定とし、単位粗骨材容積を 0.93、0.90、0.85、0.80、0.75 と変化させた 5 種類の配合を用いた。

試料の詰め方および載荷重の大きさは 図-27 で示すように 6 種類の方式で行い、各方式各配合につき 3 回ずつ VC 値を測定した。その試験結果を 表-10 に示す。この試験結果から だいたい 次のようなことが判明した。

① A方式およびB方式は、振動開始とともに試料の上部がくずれて粗骨材粒が片寄り、試料上面が円板の一部としか接触しないような状態になり測定値のばらつきが大きい。この試験には、コーンを使用することは適当でないと判断される。

② C方式の場合は、容器に詰めたコンクリート試料

の中に多数の大きい空隙が残るようである。測定値のばらつきも比較的大きいこと、試料の量も変動しやすいことなどから、C方式の試料の詰め方は適当でないと思われる。

③ E方式およびF方式の測定値はばらつきは小さいが、測定値のほとんどが 5~15 秒程度であった。F方式 (20 kg 載荷) は仮締め切りダム試験施工の際のコンシステンシー試験方法とほぼ同じであって、試験施工のコンクリートの VC 値は 20~30 秒程度のものが多かった。したがって、この試験に用いたコンクリートよりも硬練りのものに対しては、E方式 (10 kg 載荷) または F方式 (20 kg 載荷) によって適当な大きさの測定値が得られるものと推定される。ただし、F方式の 20 kg 載荷は装置にとって過重であり、長期間の使用中に故障の原因となる恐れがあるように思われる。

④ D方式の測定値は大部分 10~40 秒の範囲に入っていた。測定値のばらつきはやや大きい、今後の試験で測定制度を向上させる余地はあると思われる。

以上から、R.C.D. コンクリートのコンシステンシー試験において、コンクリート試料は 2 層に突き固め、適当な載荷重を与えて行うのがよいと判断できた。

(2) VC 値に与える載荷重の影響

(1) の試験に引き続き、載荷重が VC 値に及ぼす影響を調べるため試験装置として最も極端と考えられる載荷重 (D 方式) および 20 kg (F 方式) の 2 つの方式について比較を行った。

配合は単位セメントフライアッシュ量は 120 kg/m³、単位粗骨材容積は 0.83 一定にし、単位水量を 90、96、102、108 kg/m³ と変化させた 4 種類として各配合ごとに D方式、F方式をおのおの 12 回ずつ VC 値を測定した。12 回の測定の平均 VC 値の結果を 表-11 に示す。

表-11 の試験結果より、載荷重 0 の場合の VC 値は載荷重 20 kg の場合の 3.5 倍程度であり、載荷重の大きさと VC 値の間には相関が認められ載荷重を変えた場合の VC 値の変化率を把握しておけば載荷重 20 kg には特にこだわる必要はなく、品質管理における労力、試験機の耐久性等を考慮して載荷重を 10 kg、または 5 kg としてもよいと判断できた。

項目	試験方式	A	B	C	D	E	F
コーンの使用	あり	あり	なし	なし	なし	なし	なし
試料の層数	3	3	1	2	2	2	2
突き固め	各層25回	各層25回	なし	各層25回	各層35回	各層35回	各層35回
載荷重 (kg)	0	10	10	0	10	20	20
模 式 図							

図-27 試験方式の種類

表-10 試験方式別、配合別の VC 測定値

試験方式	試験回数	A	B	C	D	E	F
0.93	1	60"	14"	2' 以上	30"	18"	38"
	2	19"	24"	2' 以上	2' 以上	27"	55"
	3	6"	7"	4"	55"	4"	5"
0.90	1	2' 以上	48"	2' 以上	2' 以上	27"	28"
	2	21"	8"	10"	14"	7"	6"
	3	18"	12"	22"	17"	7"	5"
0.85	1	2' 以上	13"	12"	19"	9"	11"
	2	19"	7"	11"	29"	8"	16"
	3	30"	5"	6"	24"	12"	6"
0.80	1	31"	10"	13"	16"	10"	6"
	2	13"	7"	15"	23"	9"	7"
	3	25"	10"	9"	40"	10"	14"
0.75	1	34"	7"	7"	12"	9"	7"
	2	47"	10"	10"	29"	9"	8"
	3	29"	14"	16"	43"	17"	13"

表-11 配合別、試験方式別の平均 VC 値

方式の別	単位水量 (kg/m ³)			
	水セメント比 (%)			
	108	102	96	90
	90	85	80	75
D方式による VC 値 (秒)	6.3	12.5	20.0	46.0
F方式による VC 値 (秒)	1.8	3.5	6.0	11.8
(D方式による VC 値)	3.5	3.6	3.3	3.9
(F方式による VC 値)				

(3) VC 値に与える単位水量の影響⁹⁾

この試験は単位水量の変化が VC 値に及ぼす影響を調べるために行ったものであり、配合は、単位セメントフライアッシュ量を 120 kg/m^3 一定とし、単位水量を $90, 96, 102, 108 \text{ kg/m}^3$ と変化させ、単位粗骨材容積を $0.8, 0.85, 0.9$ と変化させた合計 10 種類の配合を用いた。なお、試験方法は、図-27 の D 方式で行い各配合につきおのおの 6 回 VC 値を測定した。その 6 回の平均 VC 値を 図-28 に示した。

図-28 の結果では、単位粗骨材容積の値によっても若干異なるが、大略水セメント比が 75% になると VC 値が極端に大きくなっている。すなわち、モルタル量がある程度以下になるとモルタルが骨材中にゆき渡るまでに長時間を要し、限られた一定の時間で一定の加速度の振動を与えるという条件のもとでは、コンクリートの締め固め不足を生じるということが考えられた。

この結果は現地試験施工でも明らかになったように、水セメント比 85~90% のものはほぼコンクリートが均質であるが、それより小さいコンクリート (A, B₁, B₂ 配合) ではモルタルが粗骨材の回りに十分ゆき渡っておらず豆板が発生し不良コンクリートになりやすいことと一致している。

7. R.C.D. コンクリートによるダム施工の今後の課題

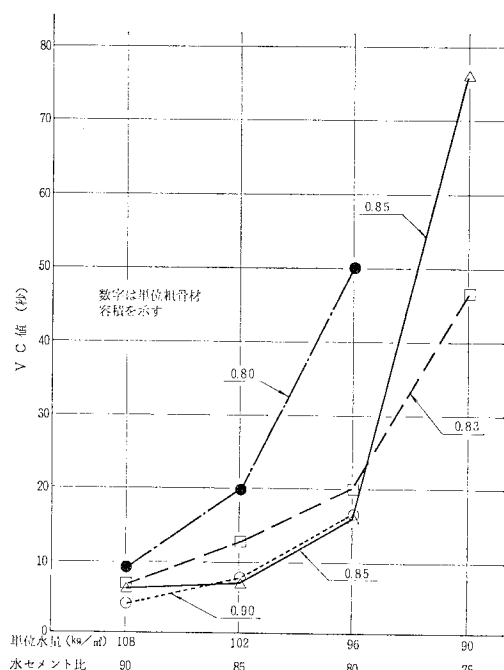


図-28 単位水量と VC 値の関係

R.C.D. コンクリートによる工法は、従来の工法とはコンクリートの配合および施工法が大幅に異なるため、種々の問題点があるが、当大川ダムの上流仮締め切りダムの施工で最も問題となった材料分離に伴うコンクリート品質の非均質性はほぼ解決し、均質なコンクリートを得られる目安はついた。

しかし、ダムの合理化施工という観点から今後さらに施工システム全体にわたり、材料、施工機械、品質管理等多方面にわたる研究が必要であるが、当面は次のことを検討しなければならない。

(1) コンクリート品質の向上

コンクリートの外観的均質性は得られたが、理論的にこのコンクリートはどのような性状をもつものであるかを室内試験により究明し、さらにその品質を向上させるよう努める。

(2) 施工機械の検討・改良

R.C.D. コンクリート工法をより経済的に、より合理的に実施するためさらに有効な施工機械の改良、開発を検討する。特に振動締め固め機械の開発が重要である。

(3) 品質管理

現場施工管理のうち、R.C.D. コンクリートのコンシステンシー管理については、6. で述べたような結果を得ているが、その他の砂の表面水管理のための装置およびシステムの検討、打設直後のコンクリート密度管理の手法等についても現在検討を進めている段階であり、早期にその結論を出す必要がある。

(4) 配合検討の手法の確立

従来のダムコンクリートの配合の手法は確立されているが、今回の R.C.D. コンクリートは配合および締め固め方法等が大幅に異なるため、既往の硬練り舗装コンクリートの配合設計の手法等を参考にしながら R.C.D. コンクリートの配合設計を定めておき、現場の材料変動等に敏速に対応し得る態勢を作っておく必要がある。なお、セメント量が少ないため 40 mm ふるいでウェットスクリーンしたコンクリートは、40 mm 以上の玉石に付着したモルタル分の減少によりコンクリートの性状が異なることも予想されるので、特に配合設計に関しては最大骨材寸法 80 mm フルサイズの玉石をもつコンクリートで検討を進める必要がある。なお、このため大型振動台式コンシステメーターを設置し現在検討中である。

当面、R.C.D. コンクリートの配合設計は、単位水量に関してはモルタルの単位容積重量試験、コンクリート圧縮強度試験および振動台コンシステンシー試験を繰り返

返して決定し、また単位粗骨材容積（細骨材率）は、振動台コンシステンシー試験により締め固めやすさ等に注目して決定することになる。

8. おわりに

今回の R.C.D. コンクリート工法によるダム施工の研究の主眼は、次の事項であった。第1に、材料分離のない均質なコンクリートを製造し打設すること。第2に、従来のスランプ試験に代わるノースランプ R.C.D. コンクリートの品質管理を見出すことであった。

第1の問題点は、種々の配合検討でほぼ満足すべき均質なコンクリートが得られ、ダムコンクリートとして実用化の道が開けたものと判断できた。

第2の問題点については今後もさらに、VC コンシステンシーメーターの改良等の検討は続けるが、極貧配合である R.C.D. コンクリートの品質管理の見通しはついたものと考えられる。

今後さらに本 R.C.D. コンクリートの研究を進めるため、大川ダム・島地川ダム本体での R.C.D. コンクリート施工において、R.C.D. コンクリートの諸性質の解明を行い、品質の優れたコンクリート打設のための施工法を検討し、より優れた品質管理の手法、施工管理の確立のための研究が必要である。

R.C.D. コンクリートの諸性質の解明については、従来のダムコンクリートとの比較を行い R.C.D. コンクリートが従来のダムコンクリートの延長に位置するものか否かの検証が必要である。さらに外部振動締め固めによる打設層内の上層、下層の強度差の程度とその原因の究明、および単位セメント量が小さい R.C.D. コンクリートを全面レヤで急速施工した場合の温度上昇ならびに温度応力の検討等が必要と考えられる。

優れた品質を得るための施工法の研究については、さらに大型の振動ローラーを使用した場合の締め固め効率を研究することにより、現在1層の厚さを 50 cm としているが厚さをさらに厚くして効率のよい施工が可能か

否かの検討が必要である。また、材料分離の少ないコンクリートを得るためにブルドーザーによるコンクリート敷均し作業の改良の余地が残っているのではないかという検討も必要である。このコンクリート敷均しおよびコンクリート締め固めの施工法の改良等により現在最大粗骨材寸法を 80 mm としているが、最大粗骨材寸法を 150 mm としても十分均質で品質のよい R.C.D. コンクリートが打設し得るか否かの問題が残されている。

R.C.D. コンクリートの品質管理の検討については、VC 試験のコンシステンシーに関する適用範囲および単位水量、骨材の種類、 s/a 等の変化に対する VC 値の相関の把握が必要であり、また打設現場における施工管理の確立が今後の問題として残されている。

建設省中国地建の島地川ダムは昭和 53 年 11 月より本体コンクリートを、北陸地建の大川ダムでは昭和 54 年 7 月よりマット部コンクリートを R.C.D. コンクリートで打設開始しており、現在この両ダムでこれら種々の課題をおのおの分担し鋭意研究を進めているところである。

最後に、今回の試験施工の研究を行うにあたり「コンクリートダム合理化施工に関する委員会（国分正胤委員長）」各委員に多大なご助言とご協力をいただいたことに深く感謝するものであります。

参 考 文 献

- 1) 阿賀川工事事務所：大川ダム上流2次締切合理化施工工事報告書。
- 2) コンクリートダム合理化施工に関する研究委員会：R.C.D. コンクリート設計施工指針（案）。
- 3) T.V.A. 共通仕様書 No. G48。
- 4) 柳田・福田：コンクリート舗装，コンクリートブックス No. 9。
- 5) 土木学会：舗装コンクリート標準示方書解説。
- 6) 阿賀川工事事務所：R.C.D. コンクリート配合設計等検討業務報告書。
- 7) 米国開拓局：コンクリートマニュアル 第7版。
- 8) 阿賀川工事事務所：R.C.D. コンクリート配合試験報告書。
- 9) 伊東・磯崎・養王田：舗装コンクリートの配合について，セメントコンクリート No. 183。

(1978.12.9・受付)