

土 木 研 究 所 資 料

第 2 9 4 号

早明浦ダム・コンクリート試験報告書

昭和 4 2 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

早明浦ダム・コンクリート試験報告書

本報告は、早明浦ダムのコンクリート用骨材として予定した骨材について、凍結融解による耐久性および熱的性質についての資料を得るために行なつた試験結果である。

〔I〕凍結融解による耐久性試験

次の項目について凍結融解による耐久性を調べた。

- I コンクリートの水セメント比と耐久性との関係（4種類）
- II コンクリートの空気量と耐久性との関係（2種類）
- III 凍結融解作用開始時のコンクリートの材令と耐久性との関係（2種類）

1 使用材料

用いた各材料は、次のとおりである。

1) セメント

セメントは土木研究所で一般試験用に用いている日本社埼玉工場の普通ポルトランドセメントを用いた。その試験成績表を示すと表-I-1のとおりである。

表 - I - 1

比 重	粉 末 度		凝 結				安定性 (煮沸方法)	マグネ シヤ (%)	無水 硫酸 (%)	強 熱 減 量 (%)
	比表面積 (cm^2/g)	標準篩 通過率 (%)	室温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	水量 (%)	始 発 (時一分)	終 結 (時一分)			
3.16	3120	1.6	20.3	9.0	28.1	2-11	3-18	良	1.1	2.0
フロー値 (mm)	曲 ゲ 強 サ (kg/cm^2)				圧 縮 強 サ (kg/cm^2)				養生温度($^{\circ}\text{C}$)	
	1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日	室 温	水 温
247	—	31.6	46.4	72.4	—	128	218	422	200	20.0

2) A B 剤

A B 剤はピンソールを用い、使用に際しては10%水溶液で用いた。

3) 細骨材

細骨材は、角閃岩（緑色）の砕砂で物理試験結果は表-I-2のとおりである。

表 - I - 2

比重	吸水量 (%)	安定性試験による損失重量(%)					粒 度						
		5.0 ^{mm} 2.5 ^{mm}	2.5 ^{mm} 1.2 ^{mm}	1.2 ^{mm} 0.6 ^{mm}	0.6 ^{mm} 0.3 ^{mm}	右表の 粒度と して	各ふるいに留る量の重量百分率(%)						F.M
		5 ^{mm} 25 ^{mm}	2.5 ^{mm} 1.2 ^{mm}	1.2 ^{mm} 0.6 ^{mm}	0.6 ^{mm} 0.3 ^{mm}		5 ^{mm} 25 ^{mm}	2.5 ^{mm} 1.2 ^{mm}	1.2 ^{mm} 0.6 ^{mm}	0.6 ^{mm} 0.3 ^{mm}	0.3 ^{mm} 0.15 ^{mm}	0.15 ^{mm} 以下	
2.98	0.8	1.5	0.8	1.3	1.9	1.0	9.1	25.5	25.5	18.6	13.7	7.6	2.75

(註) 安定性試験には硫酸ナトリウムを用いた。また洗い試験損失重量は3.7%である。

表-I-2に示すとおり一般物理試験の範囲ではダム用コンクリート骨材として十分満足できる細骨材であるといえる。

4) 粗骨材

粗骨材は、細骨材と同質の碎石で物理試験結果は表-I-3のとおりである。

表 - I - 3

比 重	吸水量 (%)	安定性試験による損失重量(%)					スリヘリ減量(%)		単位容積重量(実験に 用いた粒度) (kg)
		25 ^{mm} 20 ^{mm}	20 ^{mm} 15 ^{mm}	15 ^{mm} 10 ^{mm}	10 ^{mm} 5 ^{mm}	実験に 用いた 粒度と して	B粒度	C粒度	
3.05	0.5	2.5	2.9	2.4	3.0	2.7	9.2	11.8	1.770

(註) 安定性試験には硫酸ナトリウムを用いた。

この試験結果の範囲ではダムコンクリート骨材として十分満足できる粗骨材といえる。

実験に際しては、試料をふるい分けて25~20mmのもの25%、20~10mmのもの50%、10~5mmのもの25%の粒度となるよう再混合して用いた。

2. 供試体の製作

コンクリートの配合はスランプ7~8cm、空気量 $5 \pm 0.5\%$ (配合番号5のみ1.1%)とし、また水セメント比が40、50、66.7、80%となるように表-I-4のとおり定めた。

表 - I - 4

配合番号	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	単位ビンソール量 (cc)	スランブ (cm)	空気量 (%)
1	2.5	190	475	40.0	37.2	682	1,177	220	8.0	4.5
2, 2'			380	50.0	39.7	756		165	8.0	5.0
3			285	66.7	42.0	831		80	7.8	5.5
4			238	80.0	43.6	887		40	7.0	5.1
5			170	340	50.0	37.0	675	200	7.8	11.0

(註) 試験項目と配合番号との関係を示すと次のごとくである。

試験項目	配合番号
コンクリートの水セメント比と耐久性	1, 2, 3, 4.
コンクリートの空気量と耐久性	2, 5
コンクリートの材令と耐久性	2, 2'
なお、配合番号2'は材令28日から凍結融解作用を開始した。	

練りまぜは、2切の可傾式ミキサを用い、1バッチの量は、スランブ、空気量の測測および供試体3本製作のため20ℓとした。(ただし配合番号-2は2'の供試体も同じバッチから造るため30ℓとした。)

練りまぜ方法は全材料を投入してから3分間練りまぜたのち1分間ミキサを止め、更に1分間練りまぜる方法をとつた。ミキサから排出したコンクリートは練り板上にて1往復の切返しを行ない、空気量、スランブが所要値であることを確かめたのち供試体(7.5×10×40cm)を製作した。

供試体は製作後24時間湿空中で養生し、脱型してから所要の試験開始材令まで20±3℃の水中にて養生を行つた。

3 試験方法

凍結融解試験は、A, S, T, M C 290-61Tの規定により+4℃~-17℃の範囲で行つた。凍結融解作用の繰返しによるコンクリートの損傷程度はJIS A-1127に規定されている共振振動によるコンクリートの動弾性係数の変化、供試体の重量変化および外観変化などにより判定した。

なお凍結融解繰返しを開始した材令は、配合番号1, 2, 3, 4.および5は材令14日、配合番号2'は28日からである。

4 試験結果および考察

1) 動弾性係数比 (凍結融解作用開始時の動弾性係数 E_0 と各測定時における動弾性係数 E_n との比, すなわち $E_n/E_0 \times 100$) 動弾性係数の測定は前記のごとく J I S

A-1127 の規定に従つて共振振動によるたわみ振動によつて求めたが, この試験ではたわみ振動の方向を $h = 10 \text{ cm}$ とした場合と $h = 7.5 \text{ cm}$ とした場合の各動弾性係数を求めその平均値 ($\frac{E_1 + E_2}{2}$) を供試体損傷の判定に用いた。(たわみ振動の方向による動弾性係数比の差は最大で 0.7 % 程度であり, 実用上一方向の値で十分である。)
凍結融解作用繰返し回数と動弾性係数比との関係を示すと表-I-5 のとおりで, これを図示すると図-I-1 のとおりである。

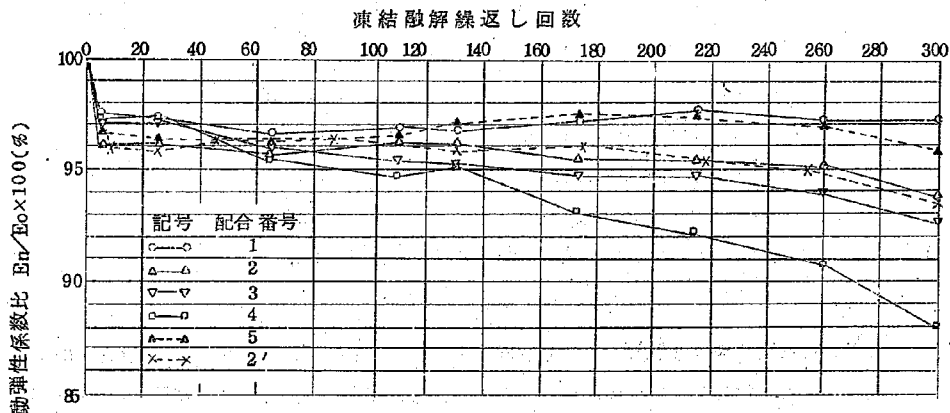


図-I-1

図-I-1 に示すとおり動弾性係数比の変化は第1回目の測定時において 2.5~4 % の低下を示したが, この低下は配合によつて差異は特に意味のあるものとは思われない。その後, 凍結融解繰返し回数 110 サイクル位まではいずれの配合のコンクリートも動弾性係数比の変化はあまり認められなかつたが, その後コンクリートの w/c の大きいものの順序に従つて低下が大きくなつた。しかしながら配合番号 4 の $w/c = 8.0$ % のコンクリートでも耐久係数は 87.8 で, 耐久性は十分満足なものであるといえる。
配合番号 5 の $w/c = 5.0$ % で空気量 11 % のコンクリートの動弾性係数比は, 配合番号 1 の $w/c = 4.0$ % のコンクリートと同等であり, 空気量の増加は耐久性の改善に寄与していることがわかる。

材令 28 日から凍結融解作用を開始した配合番号 2' のコンクリートは, 材令 14 日か

表 - I - 5

配合番号	底	E_0	$E_n/E_0 \times 100 (\%)$								
			5	25	65	110	131	173	215	260	300
1	1	502,200	97.5	97.2	96.4	97.0	97.0	96.9	97.4	97.2	97.3
	2	497,270	97.5	96.8	96.3	96.4	96.8	97.3	97.3	97.2	97.0
	3	487,260	97.6	97.6	96.8	97.0	96.6	97.2	97.4	97.3	97.1
	平均	495,580	97.5	97.2	96.5	96.8	96.5	97.1	97.4	97.2	97.1
2	1	448,980	96.4	96.5	95.4	96.2	96.0	95.8	96.3	95.9	93.9
	2	477,040	96.5	96.5	96.3	96.5	97.0	95.7	95.3	94.9	94.1
	3	463,780	95.7	95.7	94.5	94.9	95.0	94.5	94.4	93.8	92.5
	平均	463,270	96.2	96.2	95.4	96.2	96.0	95.3	95.3	94.9	93.5
3	1	428,910	96.8	96.8	96.0	95.6	95.3	94.4	93.9	93.2	92.2
	2	447,750	97.3	97.1	95.3	94.8	94.6	94.1	94.1	93.6	92.6
	3	433,600	97.2	97.2	96.0	95.6	95.6	94.8	95.1	93.9	91.7
	平均	436,820	97.1	97.0	95.8	95.3	95.2	94.4	94.4	93.6	92.2
4	1	386,050	97.4	98.1	95.8	94.8	94.8	92.4	91.1	89.4	86.7
	2	377,940	97.1	97.0	95.8	95.2	96.0	94.8	94.2	92.5	89.7
	3	382,530	97.2	96.8	94.7	93.6	94.0	91.4	90.5	89.8	86.9
	平均	382,170	97.2	97.3	95.3	94.5	94.9	92.9	91.9	90.6	87.8
5	1	385,710	95.4	96.4	96.0	96.0	96.3	97.2	97.1	96.7	95.2
	2	390,980	96.4	96.3	96.1	96.7	97.6	97.2	97.3	97.0	96.0
	3	399,800	96.3	96.7	96.8	96.7	97.1	97.3	97.7	97.2	96.3
	平均	392,160	96.9	96.5	96.3	96.5	97.0	97.2	97.4	97.0	95.8
配合番号	底	E_0	$E_n/E_0 \times 100$								
			7	25	46	88	130	175	217	253	300
2'	1	483,660	96.2	95.9	96.4	96.7	96.1	96.1	95.1	95.0	93.7
	2	490,980	96.1	96.3	96.5	96.1	95.7	95.6	95.4	95.2	94.6
	3	492,450	95.8	95.6	96.0	95.6	95.3	95.3	94.8	94.8	93.0
	平均	489,030	96.0	95.9	96.3	96.3	95.7	95.7	95.1	95.0	93.4

表 - I - 6

配合番号	No.	W ₀	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$								
			5	25	65	110	131	173	215	260	300
1	1	7,937	-0.01	-0.04	0.09	0.14	0.19	0.39	0.49	0.71	0.82
	2	7,935	0	0.03	0.16	0.24	0.32	0.44	0.63	0.78	0.97
	3	7,885	-0.06	-0.01	0.06	0.23	0.27	0.47	0.67	0.86	1.18
	平均	7,919	-0.02	-0.01	0.10	0.20	0.26	0.43	0.60	0.78	0.99
2	1	7,821	-0.05	0.03	0.27	0.47	0.60	0.87	1.18	1.51	1.93
	2	7,928	-0.04	0.04	0.25	0.43	0.55	0.77	1.13	1.58	1.77
	3	7,840	-0.01	0.01	0.27	0.54	0.69	0.97	1.29	1.72	1.99
	平均	7,863	-0.03	0.03	0.26	0.48	0.61	0.87	1.20	1.60	1.90
3	1	7,840	-0.05	0.09	0.47	0.89	1.25	1.71	2.30	3.03	3.47
	2	7,835	-0.03	0.05	0.42	0.91	1.10	1.66	2.17	2.70	3.08
	3	7,840	-0.01	0.14	0.51	0.91	1.25	1.77	2.48	3.04	3.50
	平均	7,838	-0.03	0.09	0.47	0.90	1.20	1.71	2.32	2.92	3.35
4	1	7,875	0	0.14	0.93	1.97	2.78	3.90	4.78	5.78	7.12
	2	7,772	-0.03	0.12	1.03	1.96	2.55	3.73	4.53	5.55	6.62
	3	7,803	0.01	0.17	0.94	2.12	2.81	3.93	4.84	5.66	6.67
	平均	7,817	-0.01	0.14	0.97	2.02	2.71	3.85	4.72	5.66	6.80
5	1	7,558	0.04	0.15	0.32	0.57	0.64	1.03	1.41	1.78	2.06
	2	7,544	0.03	0.15	0.27	0.57	0.74	1.15	1.43	1.75	2.12
	3	7,611	-0.03	0.09	0.30	0.54	0.74	1.04	1.21	1.75	2.09
	平均	7,571	0.01	0.13	0.30	0.56	0.71	1.07	1.35	1.76	2.09
配合番号	No.	W ₀	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$								
			7	25	46	88	130	175	213	253	300
2'	1	7,886	0.03	0	0.04	0.20	0.29	0.53	0.81	0.98	1.53
	2	7,863	0	0	0.08	0.20	0.29	0.43	0.65	0.88	1.46
	3	7,895	0.08	0	0	0.22	0.29	0.51	0.82	0.89	2.05
	平均	7,881	0.04	0	0.04	0.21	0.29	0.48	0.69	0.92	1.68

ら凍結融解作用を開始した配合番号2の同質のコンクリートと同じような動弾性係数比の変化を示し、材令の増加は耐久性にあまり影響のないことがわかる。

- 2) 重量減少率(凍結融解作用開始時の供試体重量 W_0 と各測定時における供試体重量 W_n との比、すなわち $\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100(\%)$)

凍結融解繰返し回数と供試体の重量減少率との関係を示すと表-I-6のとおりで、図-I-2のとおりである。

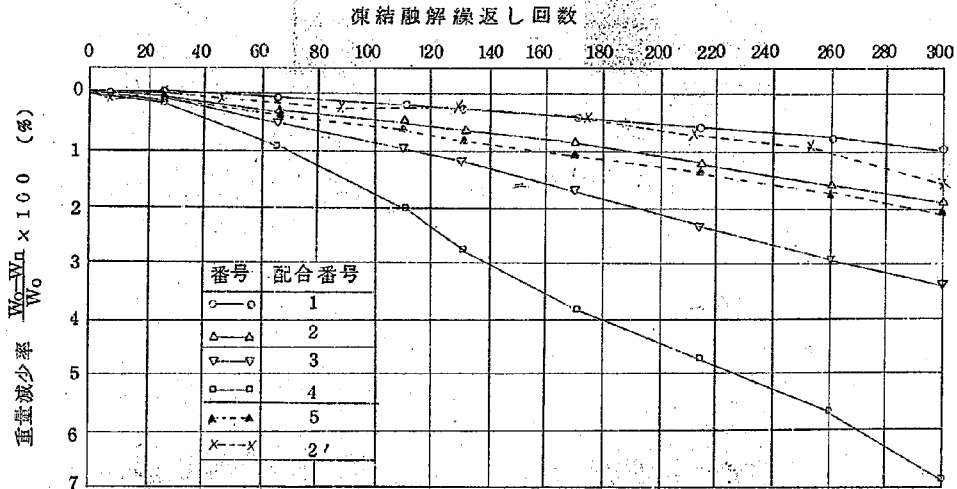


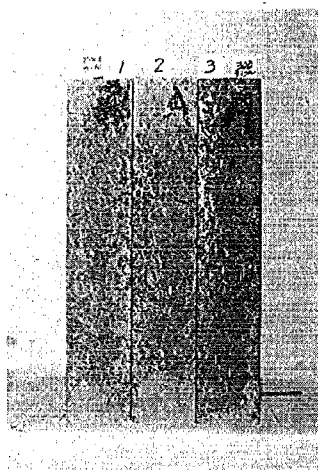
図-I-2

図-I-2に示すとおり配合番号1,2,3,4すなわちコンクリートの w/c 40, 50, 66.7および80%では、 w/c の大きいものほど重量減少率は大きくなっている。

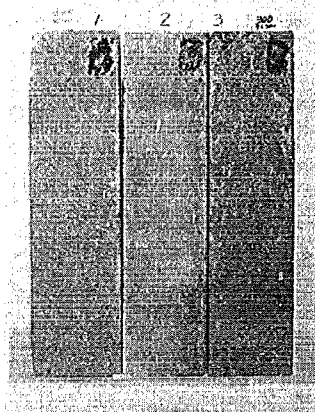
配合番号5はすなわち w/c 50%で空気量11%のものは、配合番号2すなわち w/c 50%、空気量5%のものとほぼ同じ重量減少率を示している。また配合番号2'すなわち材令28日より凍結融解作用を与えたものは、配合番号2の同質の材令14日から凍結融解作用を与えたものよりも重量減少率は小さい。

以上のことを要約すると、凍結融解作用による供試体の重量減少率は、コンクリートの w/c および凍結融解作用開始時の材令により影響を受けるものであることが判る。

- 3) 供試体の外観変化、凍結融解作用による供試体の変化過程は、亀裂の発生、骨材の落脱等の特異現象は全くなく正常なものであつた。凍結融解作用300サイクルにおける各供試体の外観を示すと写真-I-1~6のとおりである。



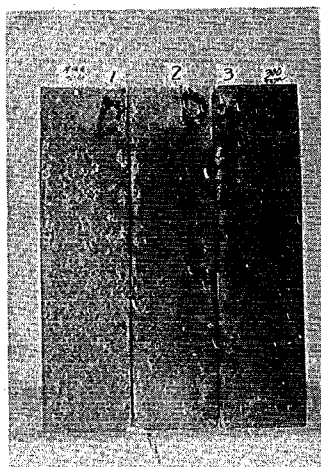
A 面



B 面

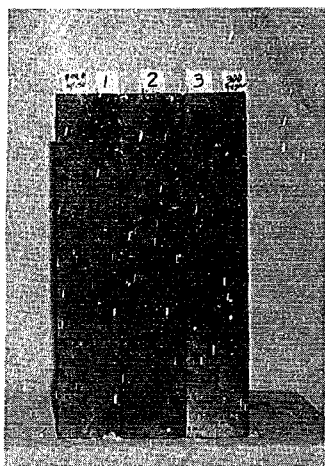


C 面

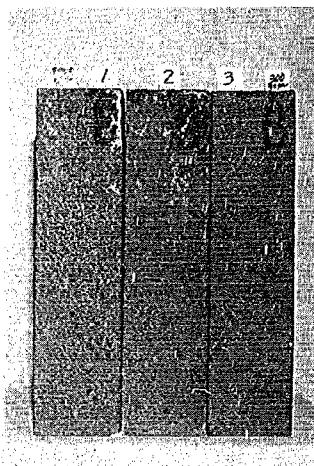


D 面

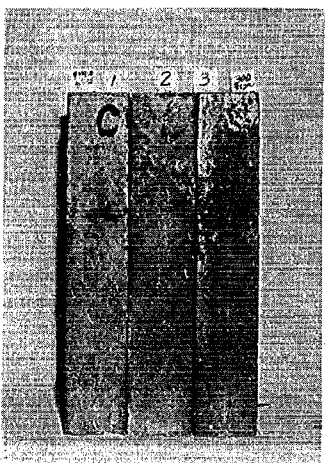
写真-I-1 配合番号-1



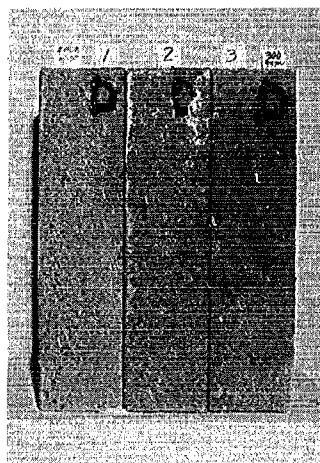
A 面



B 面

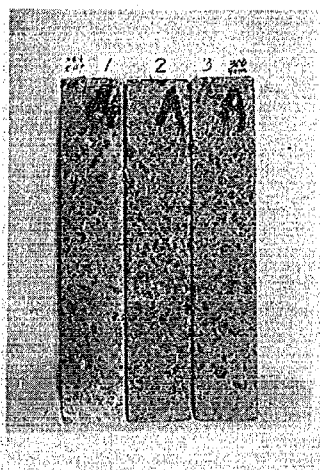


C 面

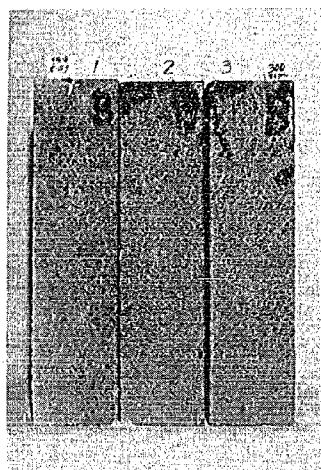


D 面

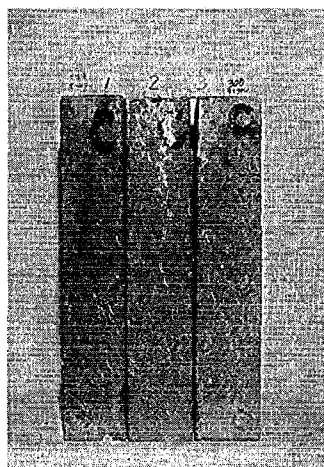
写真 - I - 2 配合番号 - 2



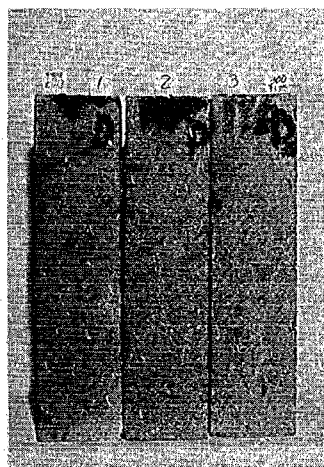
A 面



B 面

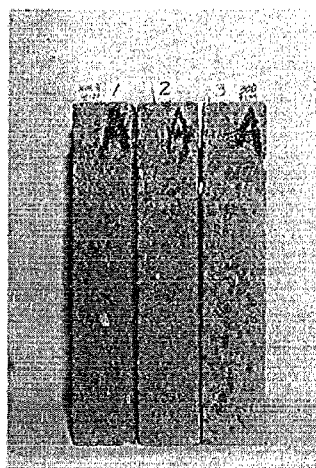


C 面

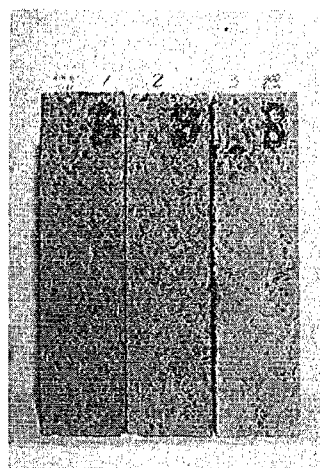


D 面

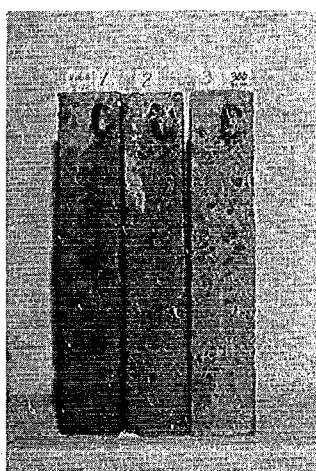
写真 - I - 3 配合番号 - 3



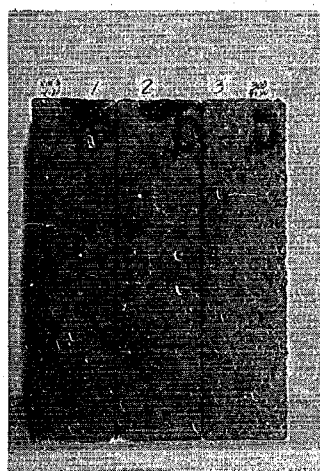
A 面



B 面

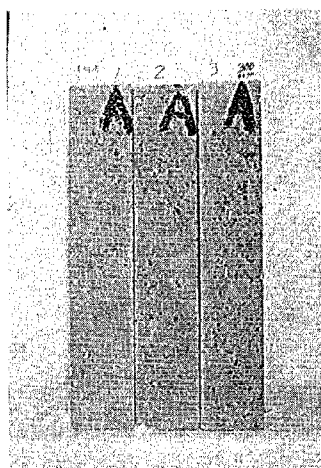


C 面

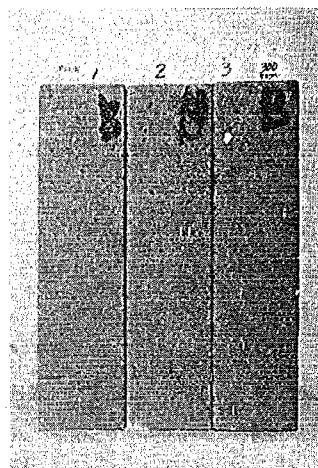


D 面

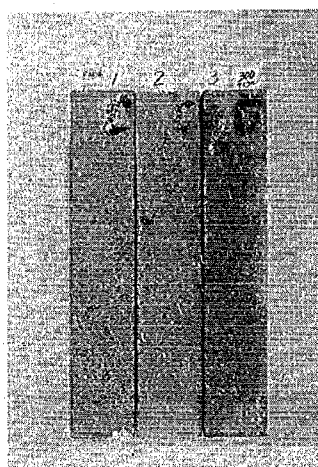
写真 - I - 4 配合番号 - 4



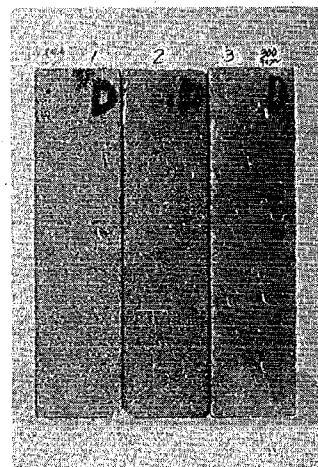
A 面



B 面

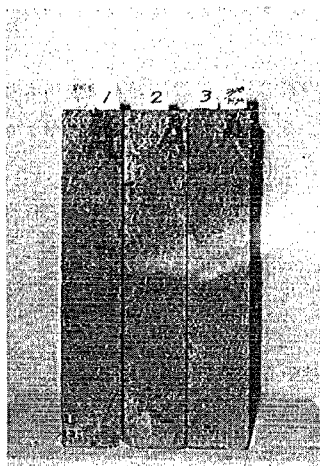


C 面

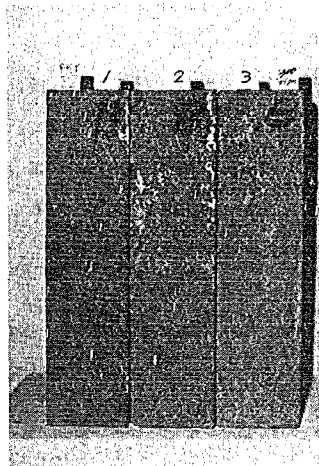


D 面

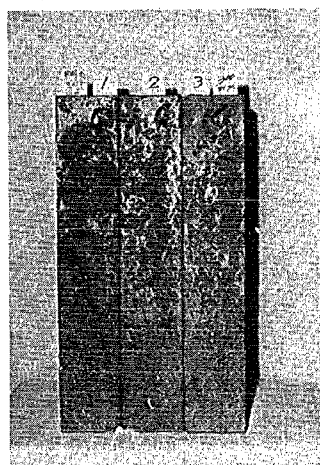
写真 - I - 5 配合番号 - 5



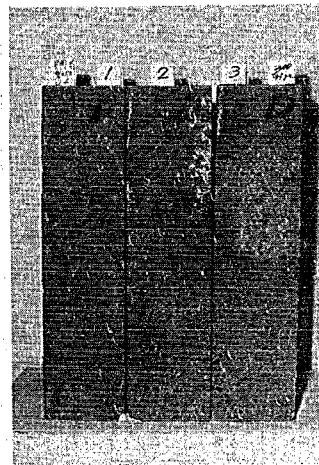
A 面



B 面



C 面



D 面

写真 - I - 6 配合番号 - 2

〔Ⅱ〕 コンクリートの熱的性質に関する試験

実施した試験項目は、単位容積重量、熱伝導率、比熱、熱拡散率、熱膨張係数等の熱的性質試験である。

コンクリートの熱的性質試験においては、供試体製作の都合上、一般にダムで使用されている配合を使用することができなかつたので、骨材量を30%、50%、60%および70%に選りダムコンクリートの熱的性質をこれより推定することとした。

なおフライアッシュ（セメントの30%）を混入したコンクリートについては、骨材量70%で実施した。

1 コンクリートの材料および配合

使用したセメントおよびフライアッシュは、日本社のもので、セメントの種類は普通ポルトランドセメントである。骨材は現場より送付された碎石、砕砂である。

これら材料の比重および吸水量は、表-Ⅱ-1のとおりである。

表-Ⅱ-1

材 料 名	比 重	吸 水 量 (%)	備 考
セ メ ン ト	3.15	—	日本社 アサノ普通セメント
フライアッシュ	2.15	—	日本社 フライアッシュ
細 骨 材	2.98	0.76	岩質は角閃岩（緑色）である。
粗骨材 40~20mm	3.06	0.36	
20~10mm	3.05	0.46	

コンクリートの配合は、表-Ⅱ-2に示すとりのものである。

表-Ⅱ-2

骨材量 (%)	単位セメント量 (kg)	単 位 水 量 (kg)	水セメント比 (%)	細 骨 材 率 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)		備 考
						5~20mm	20~40mm	
30	856	428	50	100	895	—	—	
50	612	306	50	100	1,490	—	—	
60	490	245	50	50	895	458	459	
70	368	184	50	42	876	620	621	
70	C=244 F=104	174	50	42	876	620	621	C=セメント F=フライアッシュ

2 供試体の製作

練混ぜは、手練りによつて行つた。まずセメントと細骨材を鉄板上で6往復切返し、水を加えてから再び6往復切返してモルタルを作つた。骨材料60%および70%のものは、モルタルに粗骨材を加え、更に6往復切返した。

締固めには棒状振動機を用いた。熱伝導率、比熱、熱拡散率の測定に用いる供試体($\phi 20 \times 40 \text{ cm}$)はコンクリートを4層に分けて打込み、各層3ヶ所に振動機を挿入して十分締固めた。熱膨張係数を測定する供試体($15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$)はコンクリートを2層に分けて打込み、下層5ヶ所、上層4ヶ所に振動機を用いて十分締固めた。カールソン型歪計は中央に埋設した。

製作した供試体は、湿つた麻布で包み、室内に48時間置き、脱型後は所定の材令に達するまで水中で養生した。

3 試験方法

熱伝導率、比熱、熱拡散率の測定は、いずれも Bureau of Reclamation にて実施されている方法に準じて実施した。すなわち、熱伝導率は、円筒供試体の中心部を加熱して、半径方向に定常的な熱流を生じさせ、供試体内部、外部の温度差ならびに定常状態を保つに必要な入力を測定し、計算により求めた。

比熱は、カロリメーターに納めたコンクリート供試体(熱伝導率測定用供試体を兼用)を所定の温度まで高めるに必要な入力を測定し計算により求めた。

熱拡散率(直接法)は、所定の温度に保たれた供試体を異なつた温度の水槽に入れ、不定常熱伝導によつて生じた中心部の温度変化を測定して計算により求めた。

熱膨張係数は、供試体にカールソン型歪計を埋め、供試体温度を $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ の範囲で変化させ、それによつて生じた長さ変化を測定し、計算により求めた。

4 試験装置ならびに測定方法

1) 熱伝導率

(A) 装置 装置は図-Ⅱ-1に示すように円型水槽、供試体支持棒、攪拌装置、加熱装置、温度測定装置等より構成されている。

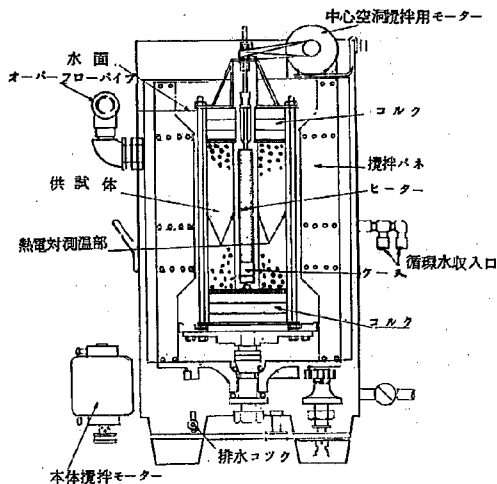


図-Ⅱ-1 コンクリート熱伝導率測定装置

円型水槽は、直径60cm、高さ110cmの銅製で、この中に供試体をのせるための支持台と攪拌装置が入っている。このほか所定の温度の冷却水を導入するためのパイプ、供試体周囲を循環した後、排出するためのオーバーフローパイプがとりつけられている。供試体支持棒は、軸方向の熱流を防止するために用いる厚さ7.5cmのコルク板とこれを供試体端部に密着させる2枚の真鍮板、3本のタイロッドよりなっている。

攪拌装置は、4本の支柱をもつ円形フレームに2枚の攪拌ハネが傾斜して取付けられたもの

で、円型水槽内において供試体周辺の水を55回/分で攪拌するものである。

加熱装置は、ヒーター、攪拌装置およびケースよりなっている。ヒーターは特に設計した100V、260Wの浸水可能なものである。攪拌装置は、ヒーター周囲の水に一定の運動を与え、加熱が均一に行われるようにするため、定速モーターによりプロペラが5000回/分するものである。ケースはヒーターおよびプロペラが所定の位置に保つと同時に、水の循環にあたりガイドとなるものである。

温度測定は、コンクリートに埋めこんだ銅-コンスタンタン熱電対に生じた起電力を電子式自動平衡記録計に自記記録させることにより実施している。

(B) 測定方法 供試体を水槽より取出したのち、両端にコルクを取付け、同時に加熱装置を中心空洞に配置し供試体支持棒によつて固定したのち水槽の中心に設置する。供試体中心の空洞にはあらかじめ注水しておく。水槽内に所定の温度の水を注水し、攪拌装置を回転する。

空洞内の加熱は、加熱装置に約260Wの電力を供試体内部、外部が所定の温度差となるまで与え、そのうち、徐々に減少して、所定の温度差になつてからは一定の入力に保つ。温度記録計により内部、外部それぞれの温度が一定であることを確認したのち、直流電圧計、直流電流計により電力を読みとる。直流電圧計は最大150V、1目1V、直流電流計は最大1.5A、1目0.01Aで、それぞれ0.5級のものである。

熱伝導率は、つぎの式によつて計算する。

$$K = \frac{q \{ \log \ell (b/a) \}}{2 \pi \ell (\theta_a - \theta_b)}$$

ここに K = 熱伝導率 ($\text{Kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)
 q = 熱入力 (Kcal/h)
 a = 供試体の中心空洞の直径 (m)
 b = 供試体の直径
 θ_a = 半径 a における温度 ($^\circ\text{C}$)
 θ_b = 半径 b における温度 ($^\circ\text{C}$)
 ℓ = 供試体の高さ (m)

熱入力 q はヒーターによるもののほかに、攪拌装置による攪拌熱を考慮しなければならない。本試験ではこれを実験より定め $3.86 \text{ Kcal}/\text{h}$ とした。

2) 比熱

(A) 装置 比熱測定用のカロリーメーターは、図-Ⅱ-2に示すような外部容器、内部容器加熱装置、攪拌装置、ベックマン温度計および積算電力計よりなっている。外部容器は内径 3.6 cm 、高さ 6.6 cm の円筒型容器で、断熱材 (カボック)、内部容器を入れるためのものである。内部は、内部容器を容易に取出し得るように、断熱材は金網円筒で保持されている。

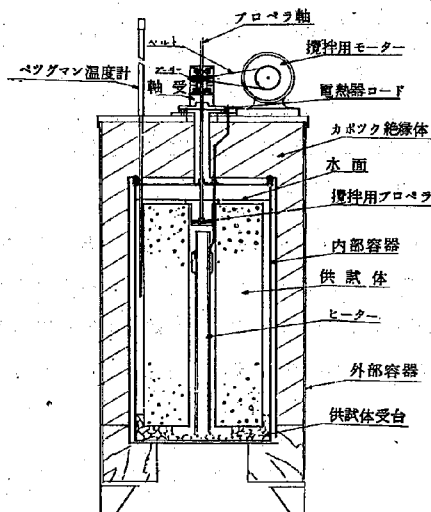


図-Ⅱ-2 比熱測定用カロリーメーター

加熱装置は、 100 V 、 230 W の棒状で浸水可能なヒーターで、攪拌装置は、定速モーター、プロペラよりなり、供試体の周囲の水を循環させるため $3,000 \text{ 回}/\text{分}$ の定速で回転させるものである。ヒーターに対する入力は、単相 $M1$ 型携帯用標準積算電力計で測定する。これは 0.01 回転まで読むことができ、その 1 回転は 0.67 W 時に等しい。温度上昇はベックマン温度計を使用する。温度計は特注したもので目盛巾は $0 \sim 1.0^\circ\text{C}$ 、 1 目 0.02°C のものである。

(B) 測定方法 内部容器に所定材令に達した供試体を入れ、正確に計量した水を加える。ヒーターと攪拌プロペラは供試体中心の所定の位置に取り付ける。

その後蓋をしカボックで覆つて外部の蓋をする。このとき温度計を挿入する孔が一直線になるように注意する。

攪拌装置を動かして温度が平衡状態になつたならばヒーターを加熱して約 5°C 温度上昇させる。その後加熱をやめ、再び平衡状態になるまで攪拌を続ける。

図 - II - 3 は比熱試験の典型的な温度曲線である。

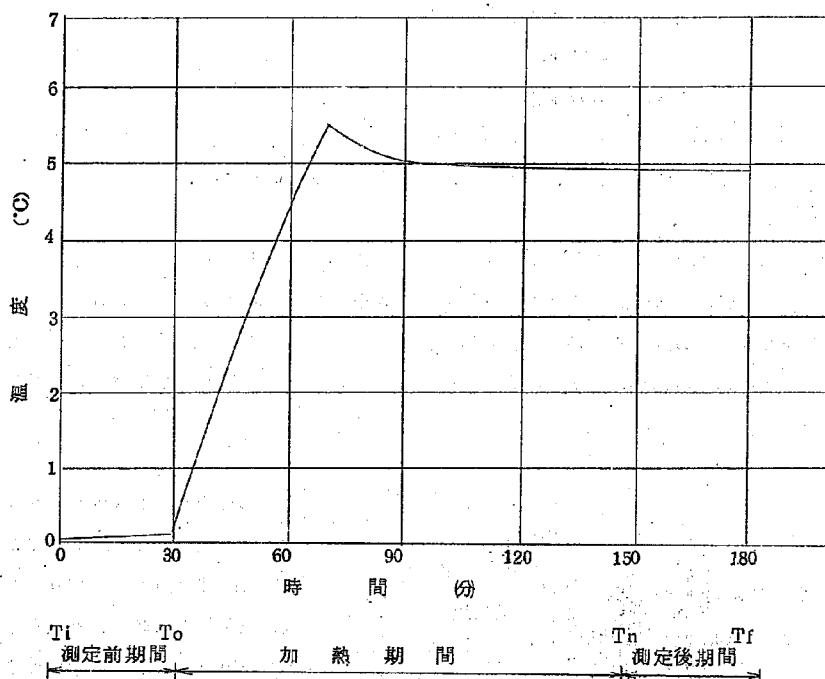


図 - II - 3

コンクリートの比熱は、入力した全熱量から水とカロリメーターの温度上昇のために要する熱量を引き温度上昇と供試体の重量とで割つて求める。カロリメーターの熱量は比熱の既知な物質（アルミニウム）を用いて実験的に定めた。水の比熱は理科年表に記載の値を用いた。温度上昇は $T_n - T_o + T_c$ によつて求められる。 T_c は外部容器からの熱放散でつぎの式によつて求める。

$$T_c = n C_a - \left(\frac{C_b - C_a}{T_b - T_a} \right) (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1}) + \left(\frac{T_o + T_n}{2} - n T_a \right)$$

ここに n = 加熱期間中の 5 分間隔に測定した数

C_a C_b = 前期および後期期間中の 5 分間隔の測定値に対する平均変化

T_a T_b = 前期および後期期間中の平均温度

$$C_a = \frac{T_o - T_i}{6} \quad C_b = \frac{T_f - T_n}{6} \quad T_a = \frac{T_i + T_o}{2} \quad T_b = \frac{T_n + T_f}{2}$$

3) 熱拡散率

供試体は直径 2.0 cm, 高さ 4.0 cm で中心に径 0.3 mm の銅-コンスタンタン熱電対を埋込んだものである。所定の材令に達した供試体が均一な温度に保たれていることを確認したのち、熱電対を電子式自動平衡記録計に接続し、約 1.5°C 違っている水槽に浸す。この時の供試体中心温度の変化割合を測定して、つぎの式により計算する。電子式自動平衡記録計は、測定範囲 0 ~ 3 mV (温度換算 0 ~ 70 °C)。精度は測定範囲の ± 0.5 %, 記録紙の 1 目盛は 0.05 mV (温度換算約 1.2°C), 記録巾 180 mm のものである。

$$\frac{\theta_s - \theta_w}{\theta_1 - \theta_w} = \frac{8}{\pi} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{e^{-\left(\frac{h-n-\pi}{\ell}\right)^2 t}}{n} \right) \sin \frac{n\pi}{\ell} z \right\} \left\{ \sum_{x=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\frac{x\pi r}{R}\right)}{x_n \cdot J_1(x_n)} \left(e^{-\left(\frac{h \cdot x_n^2}{R}\right)t} \right) \right\}$$

ここに θ_1 = 測定開始時における供試体温度 (°C)

θ_s = 水槽に浸したときから所定時間後の供試体中心温度 (°C)

θ_w = 水槽の温度

h^2 = 熱拡散率 ($\frac{m^2}{h}$)

ℓ = 供試体高さ (m)

R = 供試体の半径 (m)

z = 軸方向における温度測定位置, この場合は $\frac{\ell}{2}$

r = 半径方向における温度測定位置, この場合は 0

X_n = ベッセル函数の根

J_0, J_1 = 0 次, 1 次のベッセル函数

4) 熱膨張係数

熱膨張係数は、1.5 cm × 1.5 cm × 4.0 cm の長方形供試体の中央に長さ 1.5 cm のカールソン型歪計を埋め、所定の材令まで養生したのち、2.0°C の恒温水槽に入れ、3 時間経過したのち測定し、さらに 2.0°C 温度上昇させ、同様に 3 時間経過したのち測定した。これと同様なことを 4.0°C ~ 6.0°C においても実施し、その平均値を試験結果とした。

5) 試験結果

試験結果を示すと、表-Ⅱ-3、図-Ⅱ-4(a), (b), (c), (d), (e), および5のとおりである。

表-Ⅱ-3

骨材量 (%)	番号	材令 (日)	単位容積 重量 (kg/m^3)	熱伝導率 ($\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}^\circ\text{C}$)	比 熱 ($\text{Kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$)	熱拡散率(m^2/h)		熱膨張係 数($\times 10^{-6}$)
						間接法	直接法	
30	1	7	2245	1.25	0.32	0.0017	0.0017	10.7
		28	2255	1.22	0.31	0.0017	0.0017	10.5
	2	7	2235	1.23	0.33	0.0017	0.0017	10.5
		28	2245	1.20	0.32	0.0017	0.0017	9.8
50	1	7	2350	1.46	0.29	0.0021	0.0022	9.8
		28	2355	1.45	0.28	0.0022	0.0022	9.0
	2	7	2370	1.47	0.29	0.0021	0.0021	10.2
		28	2375	1.46	0.29	0.0021	0.0021	9.5
60	1	7	2350	1.72	0.26	0.0026	0.0025	9.7
		28	2355	1.68	0.26	0.0025	0.0026	9.0
	2	7	2570	1.70	0.26	0.0025	0.0026	9.7
		28	2575	1.70	0.26	0.0025	0.0026	9.5
70	1	7	2650	1.89	0.24	0.0030	0.0029	9.7
		28	2655	1.85	0.26	0.0027	0.0028	9.5
	2	7	2645	1.85	0.25	0.0028	0.0028	9.5
		28	2655	1.83	0.25	0.0028	0.0028	9.0
70 (フライア ッシュ30 %混入)	1	7	2660	1.89	0.24	0.0030	0.0028	8.4
		28	2665	1.85	0.24	0.0029	0.0028	8.5
	2	7	2650	1.85	0.24	0.0029	0.0029	9.3
		28	2655	1.86	0.24	0.0029	0.0029	9.5
備 考	熱拡散率(直接法)は冷却法によつた。 熱拡散率(間接法) = $\frac{\text{熱伝導率}}{\text{単位容積重量} \times \text{比重}}$							

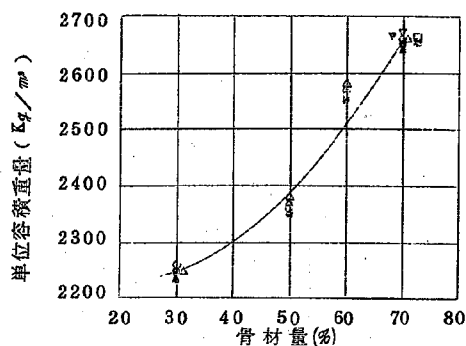


図 - II - 4 (a)

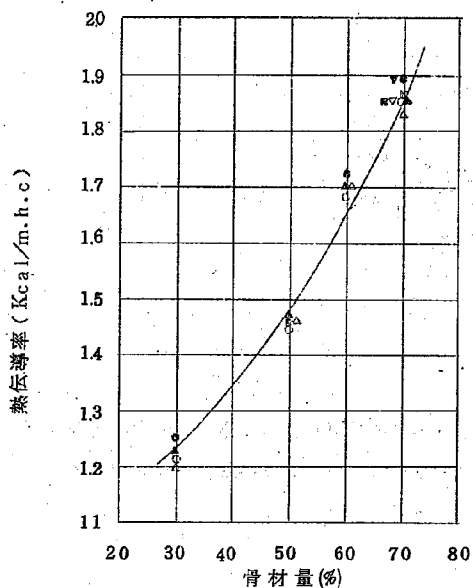


図 - II - 4 (b)

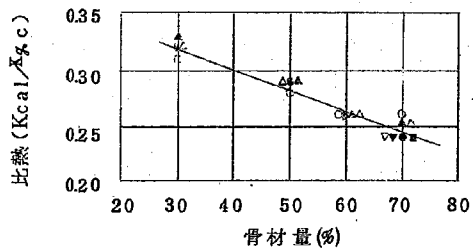


図 - II - 4 (c)

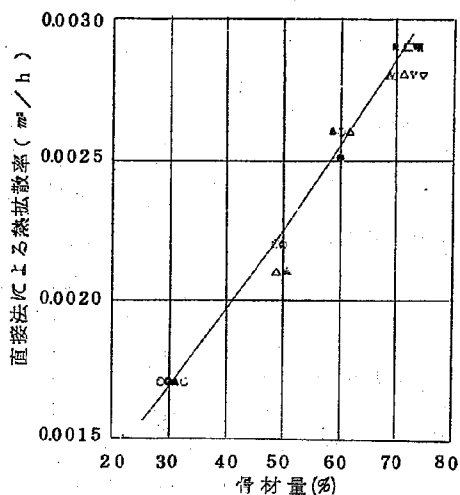


図 - II - 4 (d)

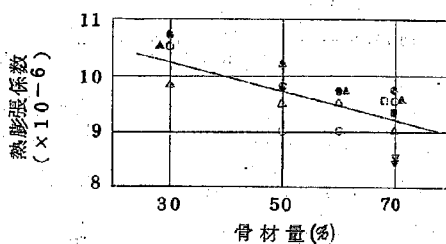


図 - II - 4 (e)

記号	番号	林令 (目)	備 考
●	1	7	普通セメント
○		28	
△	2	7	使用のもの
▽		28	
■	1	7	フライアッシュ 30%混入 したもの
□		28	

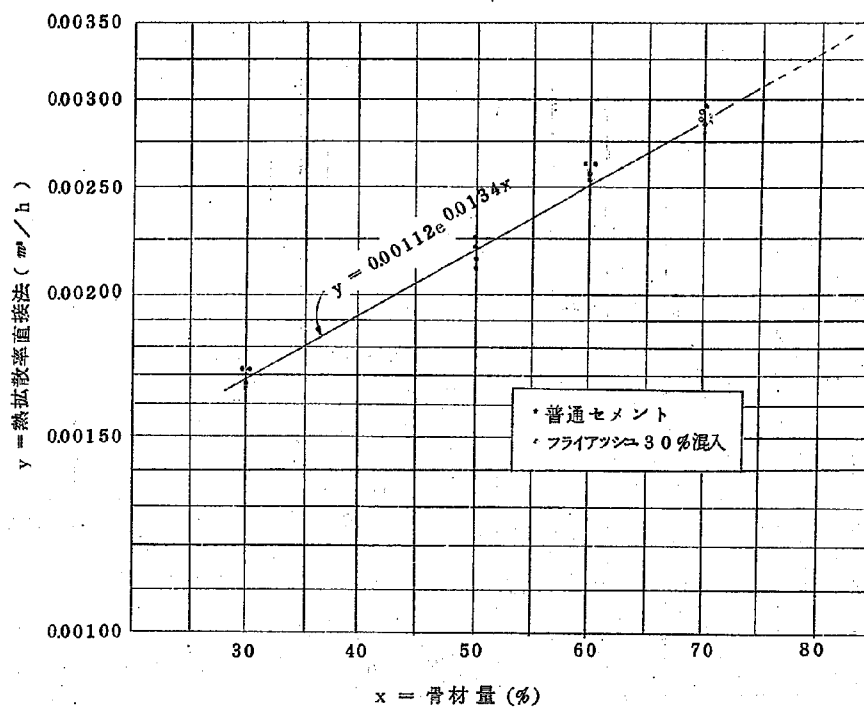


図 - II - 5

実験結果から、実際に用いるダム用コンクリートの熱的性質を推定すると、つぎのとおりである。一般に用いられているダム用コンクリートの骨材量は 80 ~ 83 % 程度であるので、これを参考にすると早明浦ダムのコンクリートは

熱伝導率	2.1 Kcal / m · h °C
比 熱	0.22 Kcal / kg °C
熱拡散率	0.0034 m / h
熱膨張係数	8.8×10^{-6}

となる。

早明浦ダム・コンクリート試験
報告書

昭和42年3月

建設省 土木研究所

早明浦ダム・コンクリート試験報告書

本報告は、早明浦ダムのコンクリート用骨材として予定した骨材について、凍結融解による耐久性および熱的性質についての資料を得るために行なった試験結果である。

(I) 凍結融解による耐久性試験

次の項目について凍結融解による耐久性を調べた。

- i. コンクリートの水セメント比と耐久性との関係（4種類）
- ii. コンクリートの空気量と耐久性との関係（2種類）
- iii. 凍結融解作用開始時のコンクリートの枚令と耐久性との関係（2種類）

1. 使用骨材

用いた各骨材は、次のとおりである。

1) セメント

セメントは土木研究所で一般試験用に用いている日本セメント工場の普通ポルトランドセメントを用いた。その試験成績表を示すと表-I-1のとおりである。

表-I-1

比重	粉末度		凝				安定性		マグネシウム	無水硫酸	強熱減量
	比表面積 (cm^2/g)	標準稠度 (%)	室温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)	(沸騰方法)			
3.16	3120	1.6	20.3	90	28.1	2-11	3-18	良	1.1	2.0	0.6
フロー値		曲ゲ強サ (kg/cm^2)				圧縮強サ (kg/cm^2)				養生温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
(mm)		1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日	室温	水温
247	—	—	31.6	46.4	72.4	—	128	218	422	20.0	20.0

2) A.E.剤

A.E.剤はシンリールを用い、使用に際しては10%水溶液で用いた。

3) 細骨材

細骨材は、角肉岩（緑色）の碎石で物理試験結果は表-I-2のとおりである。

表-I-2

比重	吸水量 (%)	安定性試験による損失重量(%)				右表の 粒度と して	各ふるいに留る量の重量百分率(%)						F.M
		5.0 ~ 2.5 ^{mm}	2.5 ~ 1.2 ^{mm}	1.2 ~ 0.6 ^{mm}	0.6 ~ 0.3 ^{mm}		5 ^{mm} ~ 2.5 ^{mm}	2.5 ^{mm} ~ 1.2 ^{mm}	1.2 ^{mm} ~ 0.6 ^{mm}	0.6 ^{mm} ~ 0.3 ^{mm}	0.3 ^{mm} ~ 0.15 ^{mm}	0.15 ^{mm} 以下	
2.98	0.8	1.5	0.8	1.3	1.9	1.0	9.1	25.5	25.5	18.6	13.7	7.6	2.75

(註) 安定性試験には硫酸ナトリウムを用いた。また洗い試験損失重量は3.7%である。

表-I-2に示すとかり一般物理試験の範囲では、
ダム用コンクリート骨材として十分満足できる細骨
材であるといえる。

4) 粗骨材

粗骨材は、細骨材と同質の碎石で物理試験結果は表
-I-3のとおりである。

表-I-3

比重	吸水量 (%)	安定性試験による損失重量(%)				実験に 用いた 粒度と して	スリヘリ減量(%)		単位容積重 量(実験に 用いた粒度) (kg)
		25 ^{mm} ~ 20 ^{mm}	20 ^{mm} ~ 15 ^{mm}	15 ^{mm} ~ 10 ^{mm}	10 ^{mm} ~ 5 ^{mm}		B粒度	C粒度	
3.05	0.5	25	29	24	3.0	2.7	9.2	11.8	1.770

(註) 安定性試験には硫酸ナトリウムを用いた。

この試験結果の範囲ではダムコンクリート骨材とし
て十分満足できる粗骨材といえる。

実験に際しては、試料をふるい分けて25~20^{mm}のも
の25%、20~10^{mm}のもの50%、10~5^{mm}のもの25%
の粒度となるよう再混合して用いた。

2. 供試体の製作

コンクリートの配合はスランプ7~8^{cm}、空気量5エ
25% (配合番号5のみ11%)とし、また水セメント比
が40、50、66%、80%となるように表-I-4のとあ
り定めた。

表-I-4

配合番号	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	単位ビンソール量 (cc)	スランプ (cm)	空気量 (%)
1.	25	190	475	40.0	37.2	682	1177	220	8.0	4.5
2, 2'			380	50.0	39.7	756		165	8.0	5.0
3			285	66.7	42.0	831		80	7.8	5.5
4.			238	80.0	43.6	887		40	7.0	5.1
5			170	34.0	50.0	570		200	7.8	11.0

(註) 試験項目と配合番号との関係を示すと次のごとくである。

試験項目	配合番号
コンクリートの水セメント比と耐久性	1, 2, 3, 4
コンクリートの空気量と耐久性	2, 5
コンクリートの凍令と耐久性	2, 2'

なお、配合番号2' は凍令28日から凍結融解作用を開始した。

練り混ぜは、2切の可傾式ミキサを用い、1バッチの量は、スランプ、空気量の測定および供試体3本製作のために1バッチとした。ただし、配合番号2は2バッチの供試体も同じバッチから造るため3バッチとした。

練り混ぜ後は全材料を投入してから3分間練り混ぜたのち1分間ミキサを止め、更に1分間練り混ぜる方法をとった。ミキサから排出したコンクリートは練り板上にて1往復の切返しを行ない、空気量、スランプが所要値であることを確かめたのち供試体(25×10×40cm)を製作した。供試体は製作後24時間湿空中で養生し、脱型してから所要の試験開始時刻まで20±3°Cの水中にて養生を行った。

3. 試験方法

凍結融解試験は、A.S.T.M C290-61Tの規定により+4°C〜-17°Cの範囲で行った。凍結融解作用の繰返しによるコンクリートの損傷程度はJIS A-

112% に規定されている共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数の変化、供試体の重量変化および外観変化などにより判定した。
なお凍結融解繰返しを開始した日付は、配合番号 1, 2, 3, 4 および 5 は日付 14 日、配合番号 2' は 28 日からである。

4. 試験結果および考察

1) 動弾性係数比 (凍結融解作用開始時の動弾性係数 E_0 と各測定時における動弾性係数 E_n との比、すなわち $E_n/E_0 \times 100$) 動弾性係数の測定は前記のごとく JIS A-112% の規定に従って共鳴振動によるたわみ振動によって求めたが、この試験ではたわみ振動の方向を $h=10\text{cm}$ とした場合と $h=25\text{cm}$ とした場合の各動弾性係数を求めその平均値 ($\frac{E_1+E_2}{2}$) を供試体損傷の判定に用いた。(たわみ振動の方向による動弾性係数比の差は最大で 27% 程度であり、実用上十分な値である。)
凍結融解作用繰返し回数と動弾性係数比との関係を示すと表-I-5 のとおりで、これを図示すると図-I-1 のとおりである。

図-I-1

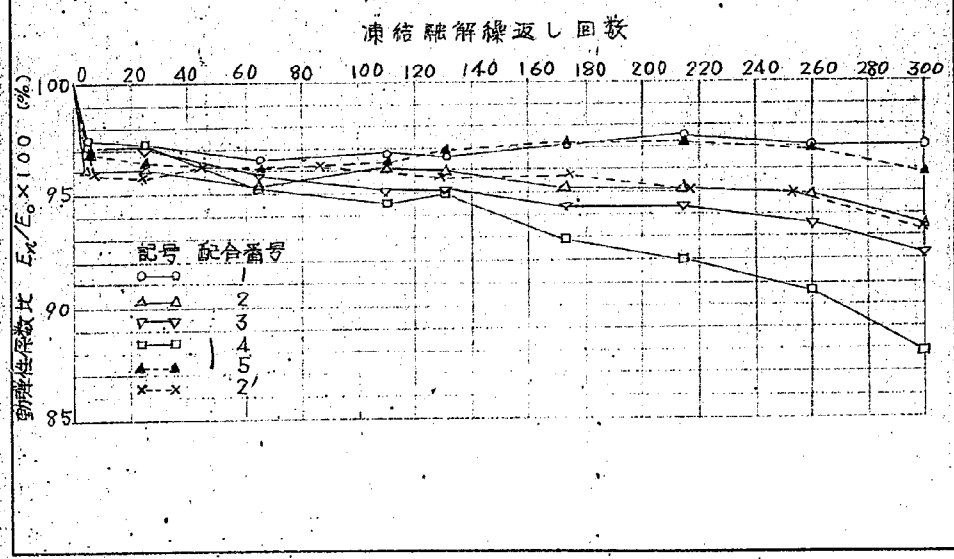


表 I-5

配合番号	No	E_0	$E_n/E_0 \times 100$ (%)								
			5	25	65	110	131	173	215	260	300
1	1	502.200	975	972	964	970	970	969	974	972	973
	2	497.270	975	968	963	964	968	973	973	972	970
	3	487.260	976	976	968	970	966	972	974	973	971
	平均	495.580	975	972	965	968	965	971	974	972	971
2	1	448.980	964	965	954	962	960	958	963	959	939
	2	477.040	965	965	963	965	970	957	953	949	941
	3	463.780	957	957	945	949	950	945	944	938	925
	平均	463.270	962	962	954	962	960	953	953	949	935
3	1	428.910	968	968	960	956	953	944	939	932	922
	2	447.750	973	971	953	948	946	941	941	936	926
	3	433.600	972	972	960	956	956	948	951	939	917
	平均	436.820	971	970	958	953	952	944	944	936	922
4	1	386.050	974	981	958	948	948	924	911	894	867
	2	377.940	971	970	958	952	960	948	942	925	897
	3	382.530	972	968	947	936	940	914	905	898	869
	平均	382.170	972	973	953	945	949	929	919	906	878
5	1	385.710	954	964	960	960	963	972	971	967	952
	2	390.980	964	963	961	967	976	972	973	970	960
	3	399.900	963	967	968	967	971	973	977	972	963
	平均	392.160	969	965	963	965	970	972	974	970	958
配合番号	No	E_0	$E_n/E_0 \times 100$								
			7	25	46	88	130	175	217	253	300
2'	1	483.660	962	959	964	967	961	961	951	950	937
	2	490.980	961	963	965	961	957	956	954	952	946
	3	492.450	958	956	960	956	953	953	948	948	930
	平均	489.030	960	959	963	963	957	957	951	950	934

表-I-6

配合番号	No.	W_0	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100$ (%)								
			5	25	65	110	131	173	215	260	300
1	1	7937	-0.01	-0.04	0.09	0.14	0.19	0.39	0.49	0.71	0.82
	2	7935	0	0.03	0.16	0.24	0.32	0.44	0.63	0.78	0.97
	3	7885	-0.06	-0.01	0.06	0.23	0.27	0.47	0.67	0.86	1.18
	平均	7919	-0.02	-0.01	0.10	0.20	0.26	0.43	0.60	0.78	0.99
2	1	7821	-0.05	0.03	0.27	0.47	0.60	0.87	1.18	1.51	1.93
	2	7928	-0.04	0.04	0.25	0.43	0.55	0.77	1.13	1.58	1.77
	3	7840	-0.01	0.01	0.27	0.54	0.69	0.97	1.29	1.72	1.99
	平均	7863	-0.03	0.03	0.26	0.48	0.61	0.87	1.20	1.60	1.90
3	1	7840	-0.05	0.09	0.47	0.89	1.25	1.71	2.30	3.03	3.47
	2	7835	-0.03	0.05	0.42	0.91	1.10	1.66	2.17	2.70	3.08
	3	7840	-0.01	0.14	0.51	0.91	1.25	1.77	2.48	3.04	3.50
	平均	7838	-0.03	0.09	0.47	0.90	1.20	1.71	2.32	2.92	3.35
4	1	7875	0	0.14	0.93	1.97	2.78	3.90	4.78	5.78	7.12
	2	7772	-0.03	0.12	1.03	1.96	2.55	3.73	4.58	5.53	6.62
	3	7803	0.01	0.17	0.94	2.12	2.81	3.93	4.84	5.66	6.67
	平均	7817	-0.01	0.14	0.97	2.02	2.71	3.85	4.72	5.66	6.80
5	1	7558	0.04	0.15	0.32	0.57	0.64	1.03	1.41	1.78	2.06
	2	7544	0.03	0.15	0.27	0.57	0.74	1.15	1.43	1.75	2.12
	3	7611	-0.03	0.09	0.30	0.54	0.74	1.04	1.21	1.75	2.09
	平均	7571	0.01	0.13	0.30	0.56	0.71	1.07	1.35	1.76	2.09
配合番号	No.	W_0	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100$ (%)								
			7	25	46	88	130	175	213	253	300
2'	1	7886	0.03	0	0.04	0.20	0.29	0.53	0.81	0.98	1.53
	2	7863	0	0	0.08	0.20	0.29	0.43	0.65	0.88	1.46
	3	7895	0.08	0	0	0.22	0.29	0.51	0.82	0.89	2.05
	平均	7881	0.04	0	0.04	0.21	0.29	0.48	0.69	0.92	1.68

図-I-1に示すとおり動弾性係数比の変化は第1回目の測定時において25~4%の低下を示したが、この低下は配合によって差異は特に意味のあるものとは思われない。その後、凍結融解繰返し回数110サイクル位まではいずれの配合のコンクリートも動弾性係数比の変化はあまり認められなかったが、その後コンクリートの%の大きいものの順序に従って低下が大きくなった。しかしながら配合番号4の% = 80%のコンクリートでも耐久性係数は87.8で、耐久性は十分満足なものであるといえる。

配合番号5の% = 50%で空気量11%のコンクリートの動弾性係数比は、配合番号1の% = 40%のコンクリートと同等であり、空気量の増加は耐久性の改善に寄与していることがわかる。

材令28日から凍結融解作用を開始した配合番号2のコンクリートは、材令14日から凍結融解作用を開始した配合番号2の同質のコンクリートと同じような動弾性係数比の変化を示し、材令の増加は耐久性にあまり影響のないことがわかる。

- 2) 重量減少率 (凍結融解作用開始時の供試体重量 W_0 と各測定時における供試体重量 W との比、すなわち $\frac{W_0 - W}{W_0} \times 100 (\%)$)

凍結融解繰返し回数と供試体の重量減少率との関係を示すと表-I-6のとおりで、図示すると図-I-2のとおりである。

図-I-2

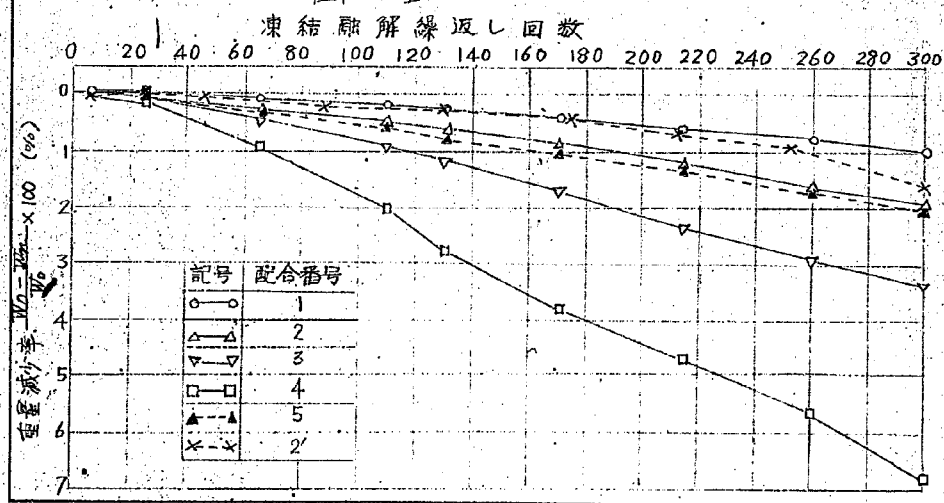
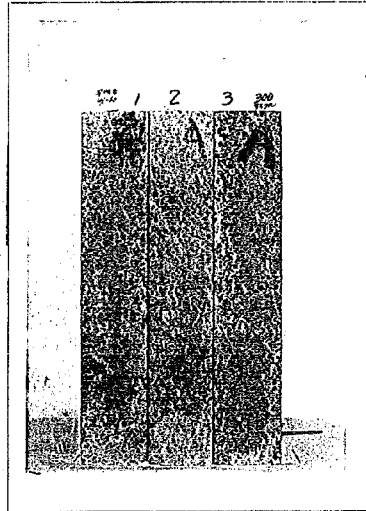
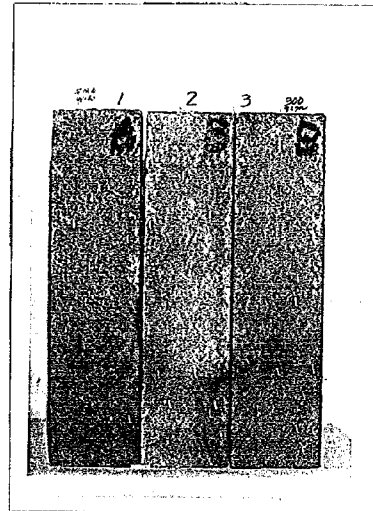


写真-I-1 配合番号 - I

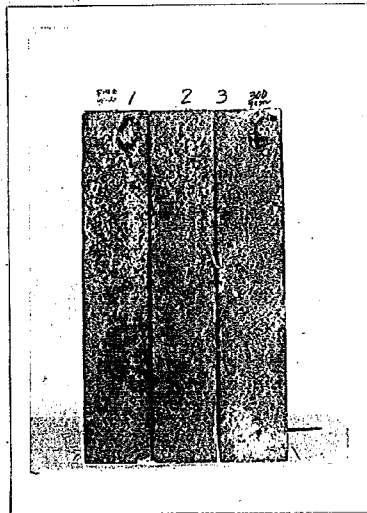
A 面



B 面



C 面



D 面

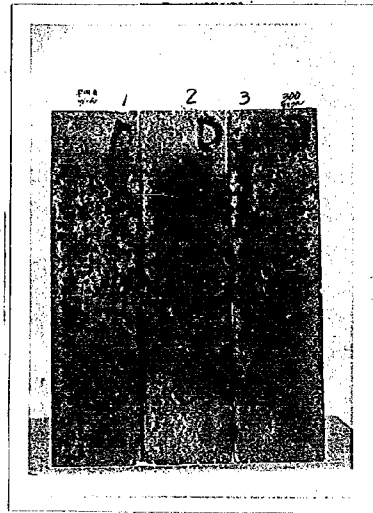
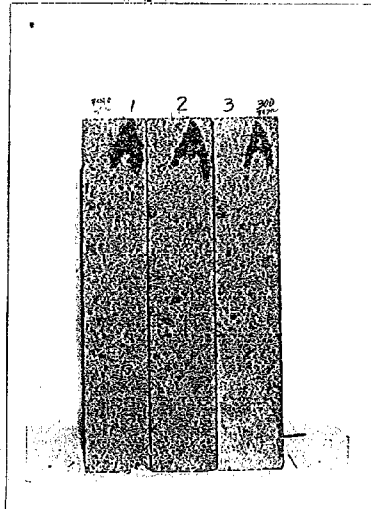
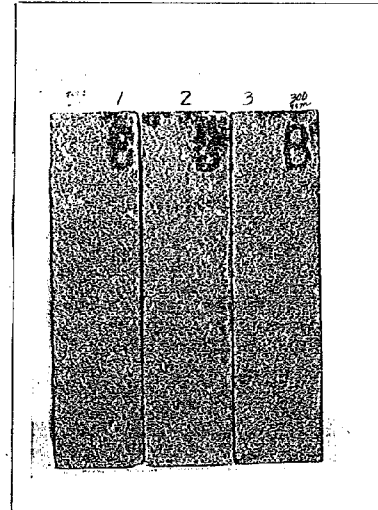


写真-I-2 配合番号 - 2

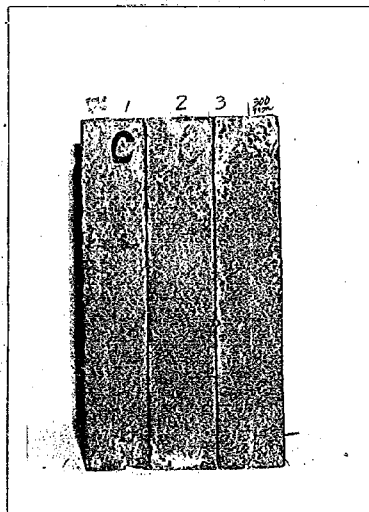
A 面



B 面



C 面



D 面

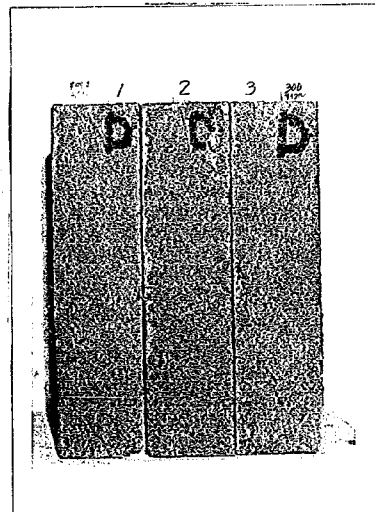
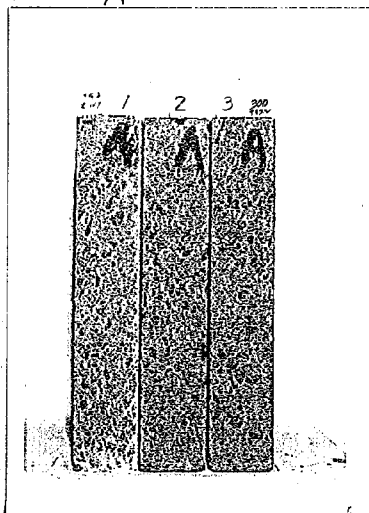
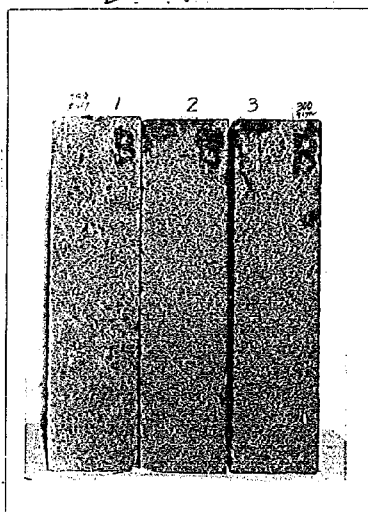


写真-I-3 配合番号-3

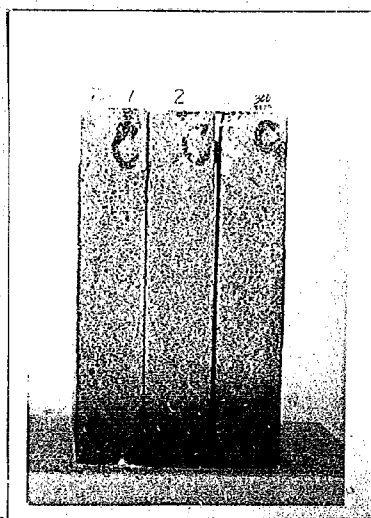
A 面



B 面



C 面



D 面

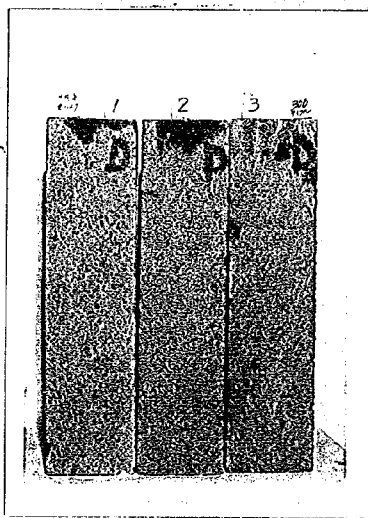
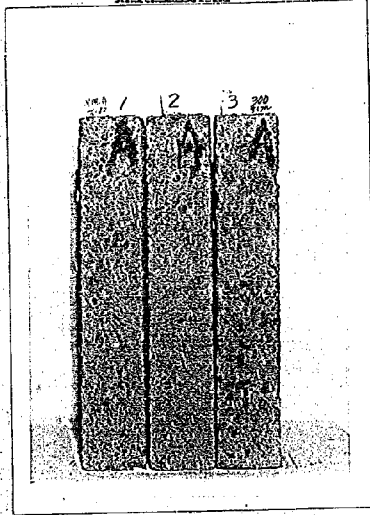
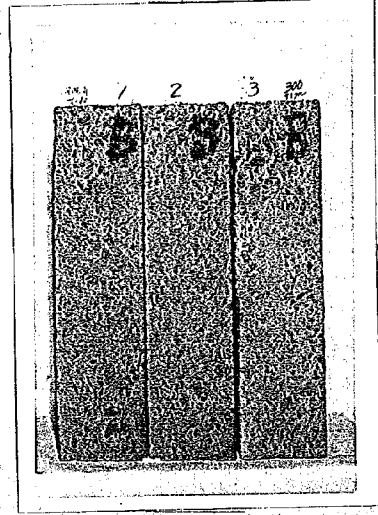


写真-I-4 配合番号 - 4

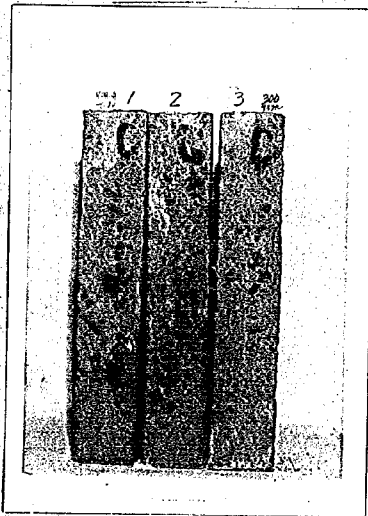
A 面



B 面



C 面



D 面

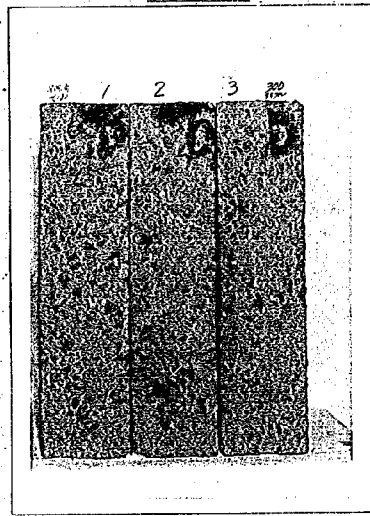
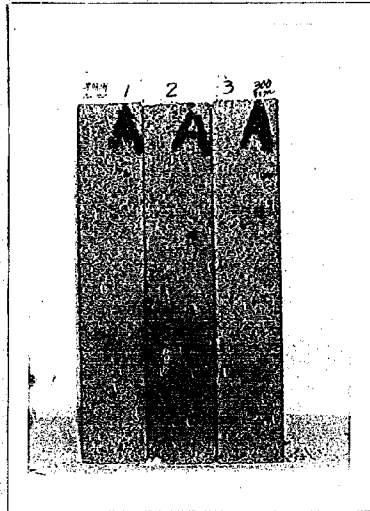
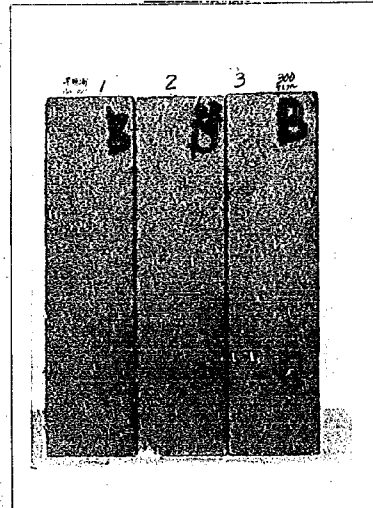


写真-I-5 配合番号 - 5

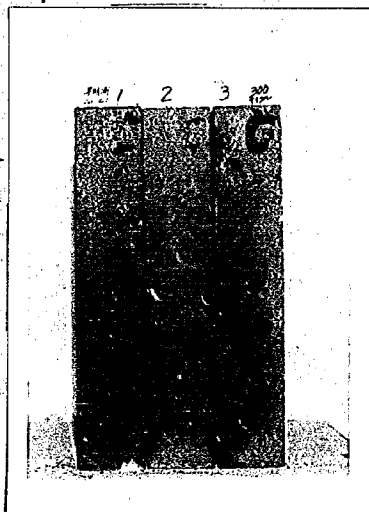
A 面



B 面



C 面



D 面

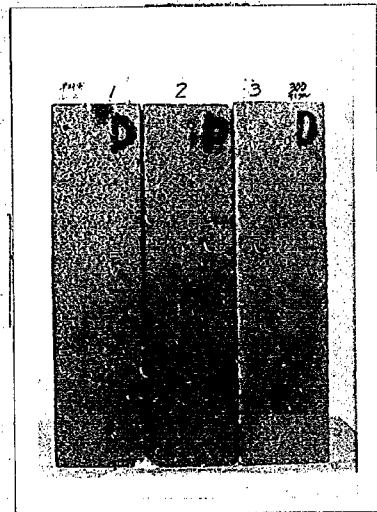
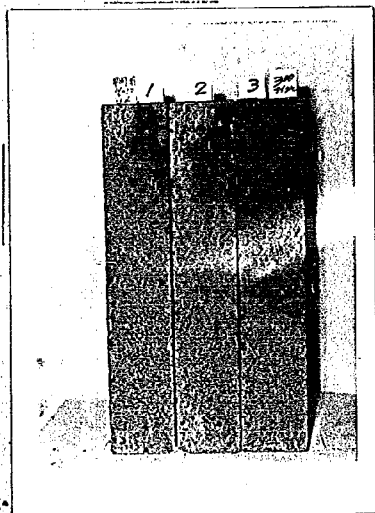
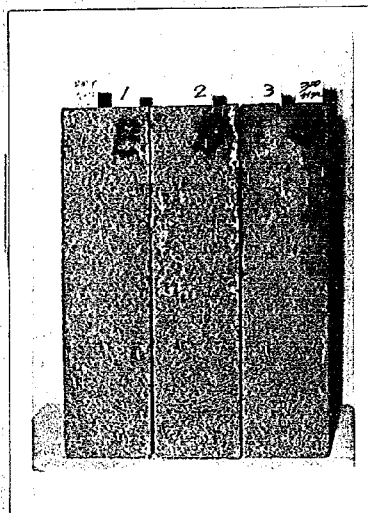


写真-I-6 配合番号 - 2'

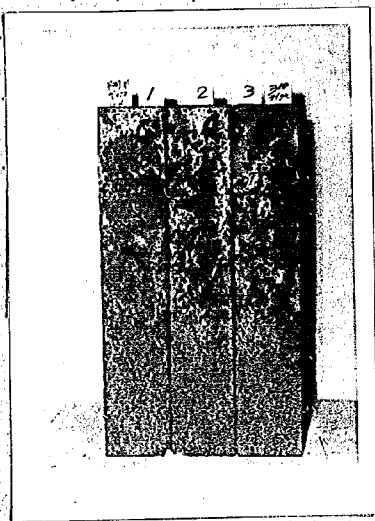
A 面



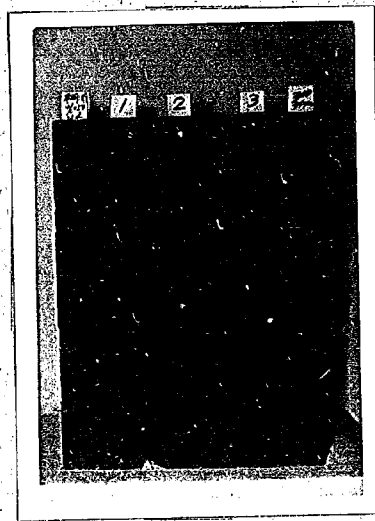
B 面



C 面



D 面



(II) コンクリートの熱的性質に関する試験

実施した試験項目は、単位容積重量、熱伝導率、比熱、熱膨張率、熱膨張係数等の熱的性質試験である。コンクリートの熱的性質試験においては、供試体製作の都合上、一般にダムで使用されている配合を使用することができなかったので、骨材量を30%、50%、60%および70%に選りダムコンクリートの熱的性質をこれより推定することとした。

なおフライアッシュ（セメントの30%）を混入したコンクリートについては、骨材量70%で実施した。

1. コンクリートの材料および配合

使用したセメントおよびフライアッシュは、日本社のもので、セメントの種類は普通ポルトランドセメントである。骨材は現場より送付された碎石、砕砂である。

これらの材料の比重および吸水量は、表-Ⅱ-1のとおりである。

表-Ⅱ-1

材料名	比重	吸水量(%)	備 考
セメント	3.15	—	日本社 アサノ普通セメント
フライアッシュ	2.15	—	日本社 フライアッシュ
細骨材	2.98	0.76	岩質は角閃岩(緑色)
粗骨材	40~20mm	3.06	である。
	20~10mm	3.05	

コンクリートの配合は、表-Ⅱ-2に示すとおりのものである。

表-Ⅱ-2

骨材量 (%)	単位セ メント量 (kg)	単位水 量(kg)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位粗骨 材量 (kg)	単位粗骨材量(kg)		備 考
						5~20mm	20~40mm	
30	856	428	50	100	895	—	—	
50	612	306	50	100	1490	—	—	
60	490	245	50	50	895	458	459	
70	368	184	50	42	876	620	621	
70	C=244 F=104	174	50	42	876	620	621	C=セメント F=フライアッシュ

2. 供試体の製作

練混ぜは、手練りによって行った。まずセメントと細骨材を鉄板上で6往復切返し、水を加えてあら再び6往復切返してモルタルを作った。骨材量60%および70%のものは、モルタルに粗骨材を加え、更に6往復切返した。

締固めには棒状振動機を用いた。熱伝導率、比熱、熱拡散率の測定に用いる供試体(φ20^{cm}×40^{cm})はコンクリートと4層に分けて打込み、各層3ヶ所に振動機を挿入して十分締固めた。熱膨張係数を測定する供試体(15^{cm}×15^{cm}×40^{cm})はコンクリートを2層に分けて打込み、下層3ヶ所、上層4ヶ所に振動機を用いて十分締固めた。カールリン型歪計は中央に埋設した。

製作した供試体は、湿った麻布で包み、空内に48時間置き、脱型後は所定の材令に達するまで水中で養生した。

3. 試験方法

熱伝導率、比熱、熱拡散率の測定は、いずれもBureau of Reclamationにて実施されている方法に準じて実施した。すなわち、熱伝導率は、円筒供試体の中心部を加熱して、半径方向に定常的な熱流を生じさせ、供試体内部、外部の温度差ならびに定常状態を保つに必要な入力熱を測定し、計算により求めた。

比熱は、カロリメーターに納めたコンクリート供試体(熱伝導率測定用供試体と兼用)を所定の温度まで高めるに必要な入力熱を測定し計算により求めた。

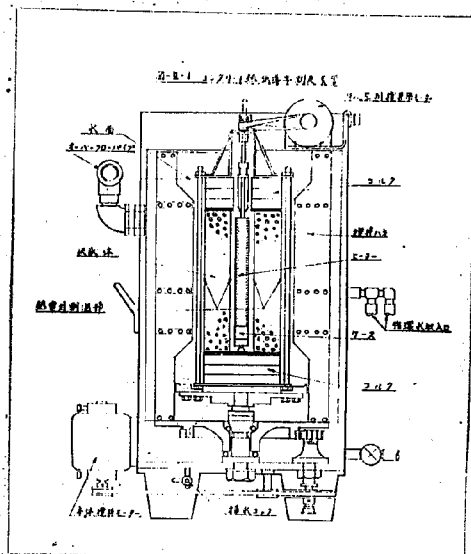
熱拡散率(直接法)は、所定の温度に保たれた供試体を異なる温度の水槽に入れ、不定常熱伝導によって生じた中心部の温度変化を測定して計算により求めた。

熱膨張係数は、供試体にカールリン型歪計を埋め、供試体温度を20°C~60°Cの範囲で変化させ、それによって生じた長さ変化を測定し、計算により求めた。

4. 試験装置ならびに測定方法

1) 熱伝導率

(A). 装置 装置は図-Ⅱ-1に示すように円型水槽、供試体支持枠、攪拌装置、加熱装置、温度測定装置等より構成されている。



円型水槽は、直径60cm、高さ110cmの鋼製で、この中に供試体をのせるための支持台と攪拌装置が入っている。このほか所定の温度の冷却水を導入するためのパイプ、供試体周囲を循環した後、排出するためのオーバーフローパイプがとりつけられている。供試体支持棒は、軸方向の熱流を防止するために用いる厚さ10cmのコルク板と、これを供試体端部に密着させる2枚の真鍮板、3本のタイロッドよりなっている。攪拌装置は、4本の支柱をもつ円形フレームに2枚の攪拌ハネが傾斜して取り付けられたもので、円型水槽内において供試体周囲の水を55%で攪拌するものである。

加熱装置は、ヒーター、攪拌装置およびケースよりなっている。ヒーターは特に設計した100V、260Wの浸水可能なものである。攪拌装置は、ヒーター周囲の水に一定の運動を与え、加熱が均一に行われるようにするため、定速モーターによりプロペラが5000回転するものである。ケースはヒーターおよびプロペラが所定の位置に保つと同時に、水の循環にあたりガイドとなるものである。

温度測定は、コンクリートに埋め込んだ銅-コンスタンタン熱電対に生じた起電力を電子式自動平衡記録計に自記記録させることにより実施している。

(B)、測定方法 供試体を水槽より取出したのち、両端にコルクを取付け、同時に加熱装置を中心空洞に配置し供試体支持枠によって固定したのち水槽の中心に設置する。供試体中心の空洞にはあらかじめ注水しておく。水槽内に所定の温度の水を注水し、攪拌装置を回転する。

空洞内の加熱は、加熱装置に約 260 W の電力を供試体内部、外部が所定の温度差となるまで与え、そのうち、除々に減少して、所定の温度差になってからは一定の入力に保つ。温度記録計により内部、外部それぞれこの温度が一定であることを確認したのち、直流電圧計、直流電流計により電力を読み取る。直流電圧計は最大 150 V、1 目 1 V、直流電流計は最大 1.5 A、1 目 0.01 A で、それぞれ 0.5 級のものである。

熱伝導率は、つぎの式によって計算する。

$$K = \frac{q \{ \log_e (b/a) \}}{2\pi l (\theta_a - \theta_b)}$$

ここに K = 熱伝導率 ($\text{Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

q = 熱入力 (Kcal/h)

a = 供試体の中心空洞の直径 (m)

b = 供試体の直径

θ_a = 半径 a における温度 ($^\circ\text{C}$)

θ_b = 半径 b における温度 ($^\circ\text{C}$)

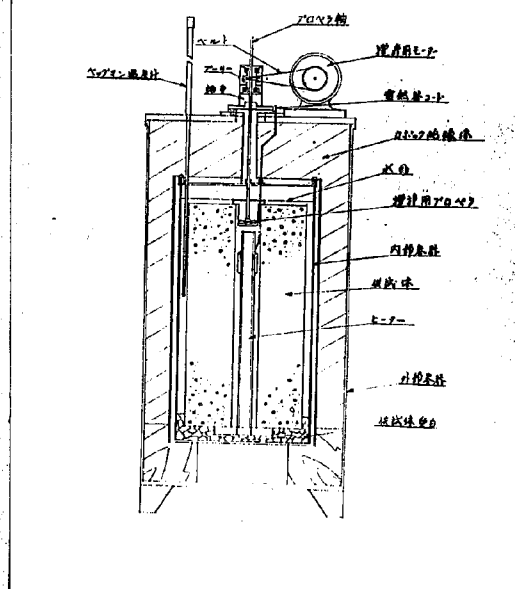
l = 供試体の高さ (m)

熱入力 q はヒーターによるもののほかに、攪拌装置による攪拌熱を考慮しなければならぬ。本試験ではこれを実験より定め 3.86 Kcal/h とした。

2) 比熱

(A)、装置 比熱測定用のカロリメーターは、図-11 に示すような外部容器、内部容器、加熱装置、攪拌装置、ベックマン温度計および積算電力計よりなっている。外部容器は内径 36 cm、高さ 66 cm の円筒型容器で、断熱材 (カボック)、内部容器を収めるためのものがある。内部は、内部容器を容易に取り出し、断熱材は金網円筒で保たれている。

図-11-2 比較測定用カロリメーター

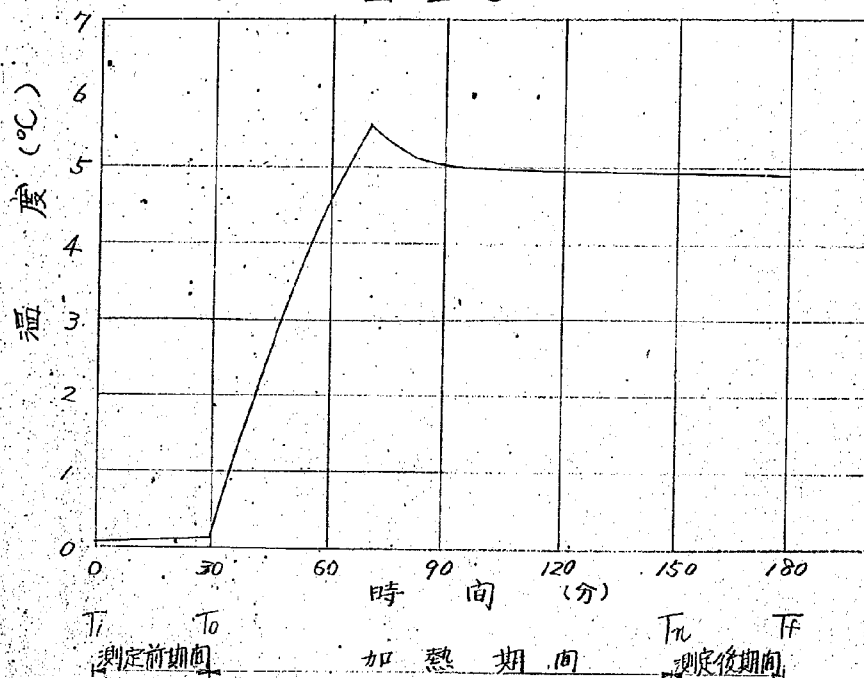


加熱装置は、100V、230Wの棒状で浸水可能なヒーターで、攪拌装置は、定速モーター、プロペラよりなり、供試体の周囲の水を循環させるため3,000分の定速で回転させるものである。ヒーターに対する入力には、単相M1型携帯用標準積算電力計で測定する。これは0.01回転まで読むことができ、その1回転は0.67W時に等しい。温度上早はベックマン温度計を使用する。温度計は特注したもので、目盛中は0～10℃、1目0.02℃のものである。

(B)、測定方法 内部容器に所定材料に達した供試体を入れ、正確に計量した水を加える。ヒーターと攪拌プロペラは供試体中心の所定の位置に取り付ける。その後蓋をしカポックで覆って外部の蓋をする。このとき温度計を挿入する孔が一垂直線になるように注意する。攪拌装置を動かして温度が平衡状態になったならば、ヒーターを加熱して約5℃温度上昇させる。その後加熱をやめ、再び平衡状態になるまで攪拌を続ける。

図-Ⅱ-3は比熱試験の典型的な温度曲線である。

図-Ⅱ-3



コンクリートの比熱は、入れた全熱量から水とカロリーメーターの温度上昇のために要する熱量を引く。温度上昇と供試体の重量とで割って求める。カロリーメーターの熱量は比熱の既知な物質(アルミニウム)を用いて実験的に定めた。水の比熱は理科年表に記載の値を用いた。温度上昇は $T_n - T_o + T_c$ によって求められる。 T_c は外部容器からの熱放散でつぎの式によって求める。

$$T_c = n C_a - \left\{ \frac{C_b - C_a}{T_b - T_a} \right\} \left\{ (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1}) + \left(\frac{T_o + T_n}{2} \right) - n T_a \right\}$$

ここに、 n = 加熱期間中の 5 分間隔に測定した数
 C_a, C_b = 前期および後期期間中の 5 分間隔の測定値に対する平均変化
 T_a, T_b = 前期および後期期間中の平均温度

$$C_a = \frac{T_0 - T_i}{6}, C_b = \frac{T_f - T_n}{6}, T_a = \frac{T_i + T_0}{2}, T_b = \frac{T_n + T_f}{2}$$

3). 熱拡散率

供試体は直径 20 cm、高さ 40 cm の中心に径 0.3 mm の銅-コンスタンタン熱電対を埋込んだものである。所定の材令に達した供試体が均一な温度に保たれていることを確認したのち、熱電対を電子式自動平衡記録計に接続し、約 15℃ 違っている水槽に浸す。この時の供試体中心温度の変化割合を測定して、つぎの式により計算する。電子式自動平衡記録計は、測定範囲 0 ~ 3 mV (温度換算 0 ~ 70℃)、精度は測定範囲の ± 0.5%、記録紙の 1 目盛は 0.05 mV (温度換算 約 1.2℃)、記録巾 180 mm のものである。

$$\frac{\theta_2 - \theta_w}{\theta_1 - \theta_w} = \frac{8}{\pi} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{e^{-\left(\frac{h^2 R^2 \pi^2}{l^2}\right)t}}{n} \right) \sin \frac{n\pi}{l} z \right\} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\frac{x_n r}{R}\right)}{X_n J_1(X_n)} \left(e^{-\left(\frac{4 X_n^2}{R^2}\right)t} \right) \right\}$$

ここに、 θ_1 = 測定開始時における供試体温度 (℃)

θ_2 = 水槽に浸したときから所定時間後の供試体中心温度 (℃)

θ_w = 水槽の温度

h^2 = 熱拡散率 (m²/s)

l = 供試体高さ (m)

R = 供試体の半径 (m)

z = 軸方向における温度測定位置、この場合は $\frac{l}{2}$

r = 半径方向における温度測定位置、この場合は 0

X_n = ベッセル函数の根

J_0, J_1 = 0 次、1 次のベッセル函数

4). 熱膨張係数

熱膨張係数は、15 cm × 15 cm × 40 cm の長方形供試体の中央に長さ 15 cm のカーリン型歪計を埋め、所定の材令で養生したのち、20℃ の恒温水槽に入れ、3 時間経過したのち測定し、さらに 20℃ 温度上昇させ、同様 3 時間経過したのち測定した。これと同様なことを 40℃ ~ 60℃ においても実施し、その平均値を試験結果とした。

5). 試験結果

試験結果を示すと、表-Ⅱ-3、図-Ⅱ-4(a)、(b)、(c)、(d)、(e) および5のとおりである。

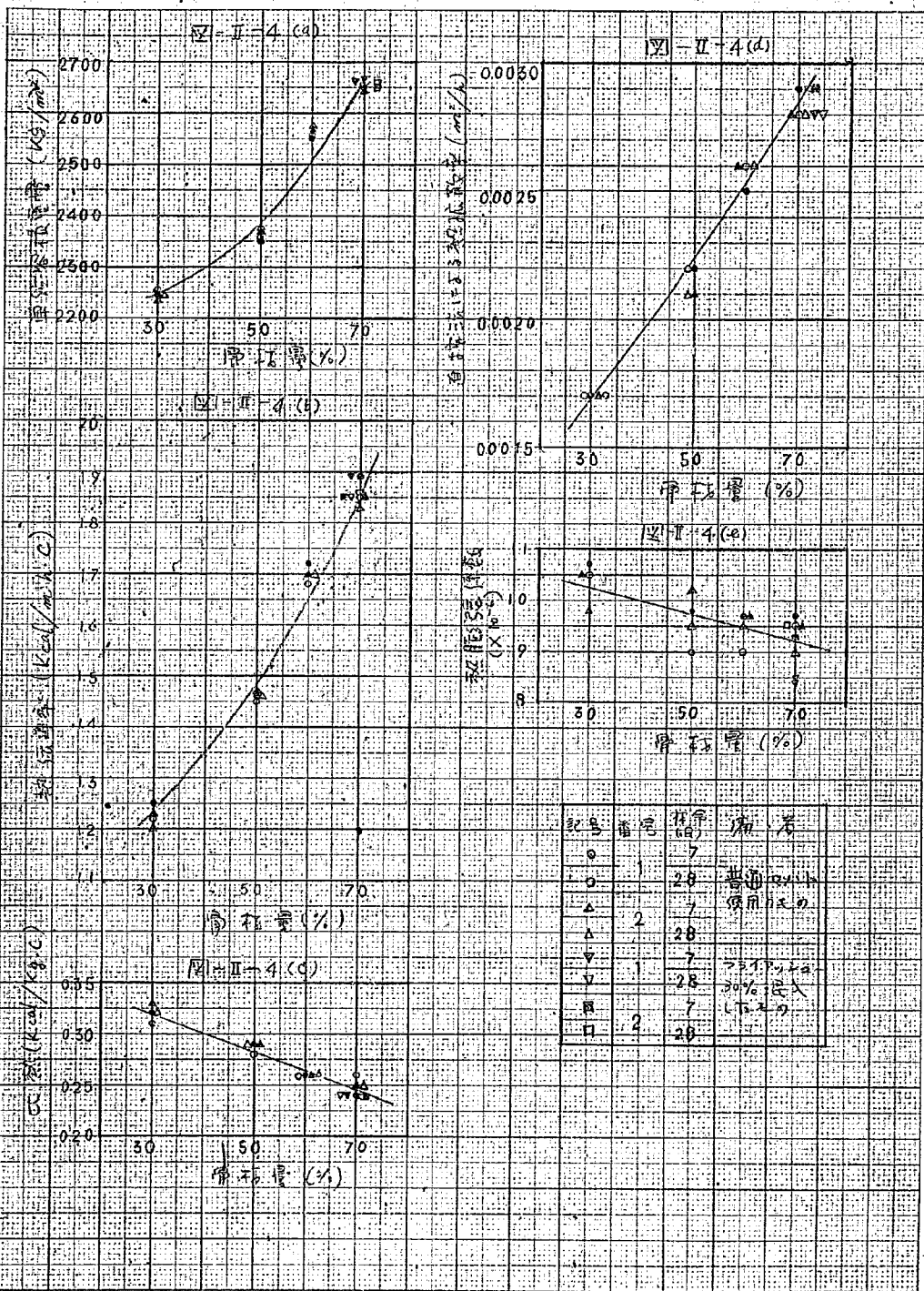
表-Ⅱ-3

骨材量 (%)	番号	冷却 (回)	単位容積 (kg/m^3)	熱伝導率 ($\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$)	比熱 ($\text{Kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)	熱拡散率(m^2/h)		熱膨張係 数($\times 10^{-6}$)
						間接法	直接法	
30	1	7	2245	1.25	0.32	0.0017	0.0017	10.7
		28	2255	1.22	0.31	0.0017	0.0017	10.5
	2	7	2235	1.23	0.33	0.0017	0.0017	10.5
		28	2245	1.20	0.32	0.0017	0.0017	9.8
50	1	7	2350	1.46	0.29	0.0021	0.0022	9.8
		28	2355	1.45	0.28	0.0022	0.0022	9.0
	2	7	2370	1.44	0.29	0.0021	0.0021	10.2
		28	2375	1.46	0.29	0.0021	0.0021	9.5
60	1	7	2350	1.72	0.26	0.0026	0.0025	9.7
		28	2355	1.68	0.26	0.0025	0.0026	9.0
	2	7	2570	1.70	0.26	0.0025	0.0026	9.7
		28	2575	1.70	0.26	0.0025	0.0026	9.5
70	1	7	2650	1.89	0.24	0.0030	0.0029	9.7
		28	2655	1.85	0.26	0.0027	0.0028	9.5
	2	7	2645	1.85	0.25	0.0028	0.0028	9.5
		28	2655	1.83	0.25	0.0028	0.0028	9.0
70 (751P, 55.30% 混入)	1	7	2660	1.89	0.24	0.0030	0.0028	8.4
		28	2665	1.85	0.24	0.0029	0.0028	8.5
	2	7	2650	1.85	0.24	0.0029	0.0029	9.3
		28	2655	1.86	0.24	0.0029	0.0029	9.5

熱拡散率(直接法)は冷却法による。

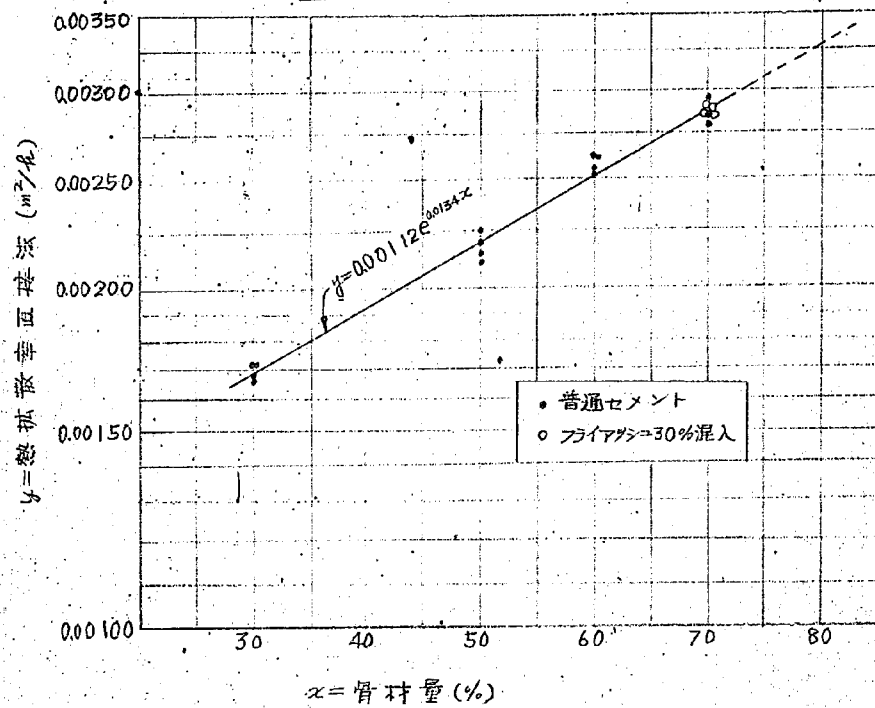
備考

$$\text{熱拡散率(間接法)} = \frac{\text{熱伝導率}}{\text{単位容積重量} \times \text{比熱}}$$



記号	番号	材料	備考
○	7	普通	
△	1	28	普通
△	2	28	使用
▽	1	28	30% 入り
▽	2	28	30% 入り
□	2	28	30% 入り

四-Ⅱ-5



実験結果から、実際に用いるダム用コンクリートの熱的性質を推定すると、つぎのとおりである。一般に用いられているダム用コンクリートの骨材量は80〜83%程度であるので、これを参考にする。早明浦ダムのコンクリートは、

熱伝導率 $2.1 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$
 比熱 $0.22 \text{ kcal/Kg} \cdot \text{℃}$
 熱拡散率 $0.0034 \text{ m}^2/\text{h}$
 熱膨張係数 8.8×10^{-6}

とすると、