

土 木 研 究 所 資 料

オ 163 号

釜房グムフンクリート試験



昭和 五 月

建 設 省 土 木 研 究 所

釜房ダム コンクリート試験報告書

本文は、東北地建釜房ダム工事々務所の依頼によつて実施したダム・コンクリート用骨材の凍結融解による耐久性ならびにクーリング計画の資料とする熱的性質に関する試験報告書である。

(1) 凍結融解による耐久性試験

釜房ダム・コンクリート用骨材として予定したダム地点下流右岸側より採取した砕石・砕砂について凍結融解作用による耐久性の面から、コンクリート用骨材としての適否を検討するため、実施したものである。

1. コンクリート材料

各材料の試験結果は次のごとくである。

1) セメント

日本社埼玉工場普通ポルトランド・セメントである。

2) AE 剤

ピンソールで使用に際しては 10 % 水溶液にして用いた。

3) 細骨材

細骨材は砕砂で、比重・吸水量・粒度および安定性試験における損失重量は、表-1.1, 1.2 のごとくである。

表 - 1.1

比重	吸水量 (%)	各ふるいに留る量の重量百分率 (%)						F・M
		5.0 ^{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	
2.61	3.47	7.6 (88)	23.9 (27.0)	28.1 (29.8)	20.7 (20.8)	12.1 (12.8)	7.9 (1.4)	271 (275)

註：() の数字は砕砂に含まれる 0.15 mm 以下の粒子が多過ぎるため水洗した砕砂の粒度である。

表 - 1.2

	ふるい目の開き				表-1.1 の水洗 しない砕砂の粒度
	5.0 ^{mm} ~2.5 ^{mm}	2.5 ^{mm} ~1.2 ^{mm}	1.2 ^{mm} ~0.6 ^{mm}	0.6 ^{mm} ~0.3 ^{mm}	
安定性試験損失重量(%)	35.1	19.1	9.6	8.5	11.8

4) 粗骨材

粗骨材は砕石（石英安山岩）で、比重・吸水量・スリヘリ減量および安定性試験における損失重量、単位容積重量を示すと表-1.3のごとくである。

表-1.3

比 重		261	安 定 性			
			粒 度 (mm)	損失重量 (%)	試験前個数	試験後個数
吸 水 量 (%)		3.37	25 ~ 20	5.7	60	56
			20 ~ 15	7.2	95	92
スリヘリ減量 (%)	B 粒度	18.2	15 ~ 10	9.3		
	C 粒度	18.5	10 ~ 5	20.4		
単位容積重量 (kg)		1511	混合粒度	10.8		

(註) 混合粒度とはコンクリートに用いた粒度である。

コンクリートに用いた砕石の粒度は、あらかじめ 25~20mm, 20~15mm, 15~10mm および 10~5mm の 4 種類にふるい分けたものを、25~20mm 25%, 20~15mm 25%, 15~10mm 30% および 10~5mm 20% になるように再混合して用いた。

2. コンクリートの配合

表-1.4のごとくである。

表-1.4

記号 *	配合 番号	粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	単 位 セメント 量 C (kg)	単 位 水 量 W (kg)	水、セ メント比 W/C (%)	絶対細 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)	スランパ (cm)	空気量 (%)
(イ)	1	25	488	195	40.0	36.0	564	1005	225	6.0	4.9
	2		390		50.0	39.5	655		130	7.5	4.5
	3		294		66.7	41.8	722		100	6.5	5.0
(ロ)	4		300	172	57.4	40.2	675		325	4.0	8.9
(イ)(ロ)	5.5'		370	180	50.0	40.5	685		90	5.5	4.5

(註) (イ), (ロ), (イ), (イ)はそれぞれ下記の試験項目を検討するために定められた配合である。
 (イ)水セメント比と耐久性, (ロ)空気量と耐久性, (イ)粒度改善をした細骨材(表-12の水洗した砕石を用いた)と耐久性, (イ)材令と耐久性

3. コンクリートの練り混ぜおよび養生

練り混ぜは2切の可傾式ミキサーを用い、バッチの大きさを25ℓ(配合番号-5.5'は同じバッチから供試体を6本製作したため40ℓとした)とした。練り混ぜは全材料投入後3分間混合し、1分間ミキサーを止め、更に1分間練り混ぜた。

練り混ぜ終了後、コンクリートを鉄板上に排出し、1往復の切り返しを行なつて試料とし、直ちにスランブ、空気量を測定した。その結果所要のものであることを確かめて供試体(75×10×40cmはり)を製作した。

供試体は1日間湿空中で養生し、その後材令14日(配合番号-5'のものは28日)まで水中養生を行なつた。

4. 試験方法

凍結融解の繰り返しはA, S, T, M G 290-57T の規定に準じて行なつた。凍結融解の繰り返しが進むにともない、コンクリートの損傷程度をJIS A 1127 の規定し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および供試体の重量変化、供試体の外観変化などにより判定した。

5. 試験結果および考察

- 1) 動弾性係数化(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、前記したごとくJIS A-1127の規定に従つた共鳴振動法によるたわみ振動によつて求めた。この場合の振動方向は75×10×40cm 供試体ではりの高さを10cmとしたものと、75cmとしたものと2方向の動弾性係数を求め、それぞれを E_1, E_2 とした。凍結融解繰返しにともなう動弾性係数の変化は、動弾性係数比で示し付表-1, 2のごとくである。付表1, 2で判るごとく、凍結融解作用開始時の動弾性係数は振動方向により多少異なり、全供試体とも約5%程度 E_1 の方が大きい値を示している。しかしながら凍結融解作用繰返しにともなう動弾性係数比は E_1 と E_2 であまり差異があるように思われなため、 E_1, E_2 の平均値について供試体の損傷程度を判定することにした。

凍結融解繰返し回数と E_1, E_2 の平均動弾性係数比との関係を示すと表-1.5のごとくで、これを図示すると図-1.1のごとくである。

表 - 1.5

配合番号	E_o		$E_n/E_o \times 100$ (%)										
			4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304
1	E_1	328,850	98.0	98.0	98.7	98.0	97.7	97.5	97.3	96.4	96.5	95.5	95.9
	E_2	314,570	97.8	97.8	—	97.8	97.0	96.8	97.0	95.6	95.6	94.8	95.8
	平均	321,710	97.9	97.9		97.9	97.3	97.2	97.2	96.0	96.1	95.2	95.8
2	E_1	306,170	98.1	98.1	98.5	98.5	97.2	96.4	95.3	93.5	92.9	91.4	91.5
	E_2	292,440	98.4	98.4	—	98.5	96.6	95.6	94.5	92.5	91.2	90.0	89.9
	平均	299,310	98.3	98.3		98.5	96.9	96.0	94.9	93.0	92.0	90.7	90.7
3	E_1	264,870	98.6	97.8	98.0	96.0	93.3	89.8	86.1	82.2	79.6	74.9	74.0
	E_2	252,190	97.9	97.1	—	96.8	93.8	91.0	87.7	85.4	83.7	79.8	78.9
	平均	258,530	98.3	97.5		96.4	93.6	90.4	86.9	83.8	81.7	77.4	76.5
4	E_1	261,890	98.6	98.7	99.8	99.3	97.6	96.4	96.8	94.2	92.3	90.3	90.7
	E_2	250,000	98.5	98.6	—	99.8	98.3	97.1	96.9	94.2	92.7	91.3	90.6
	平均	255,940	98.6	98.7		99.6	97.9	96.8	96.9	94.2	92.5	90.8	90.7
配合番号	E_o		$E_n/E_o \times 100$ (%)										
			6	18	42	82	122	162	204	244	277	300	
5	E_1	310,380	98.6	99.3	98.6	97.5	96.6	95.6	93.7	93.4	92.2	92.2	
	E_2	297,040	98.3	—	98.6	97.1	96.2	95.5	93.2	92.7	91.7	91.5	
	平均	303,210	98.5	—	98.6	97.3	96.4	95.6	93.5	93.0	91.9	91.9	
配合番号	E_o		$E_n/E_o \times 100$ (%)										
			11	30	70	112	152	185	202	227	300		
5'	E_1	327,340	97.6	97.7	97.0	95.4	95.2	93.7	94.3	91.2	91.3		
	E_2	317,250	97.0	97.4	95.6	94.0	94.6	92.6	92.8	90.5	91.7		
	平均	322,290	97.3	97.6	96.3	94.7	94.9	93.2	93.6	90.9	91.5		

図-1.1 から、各配合のコンクリートの凍結融解による耐久性係数を示すと、表-1.6 のごとくである。

圖-1.1

凍結融解繰返し回数

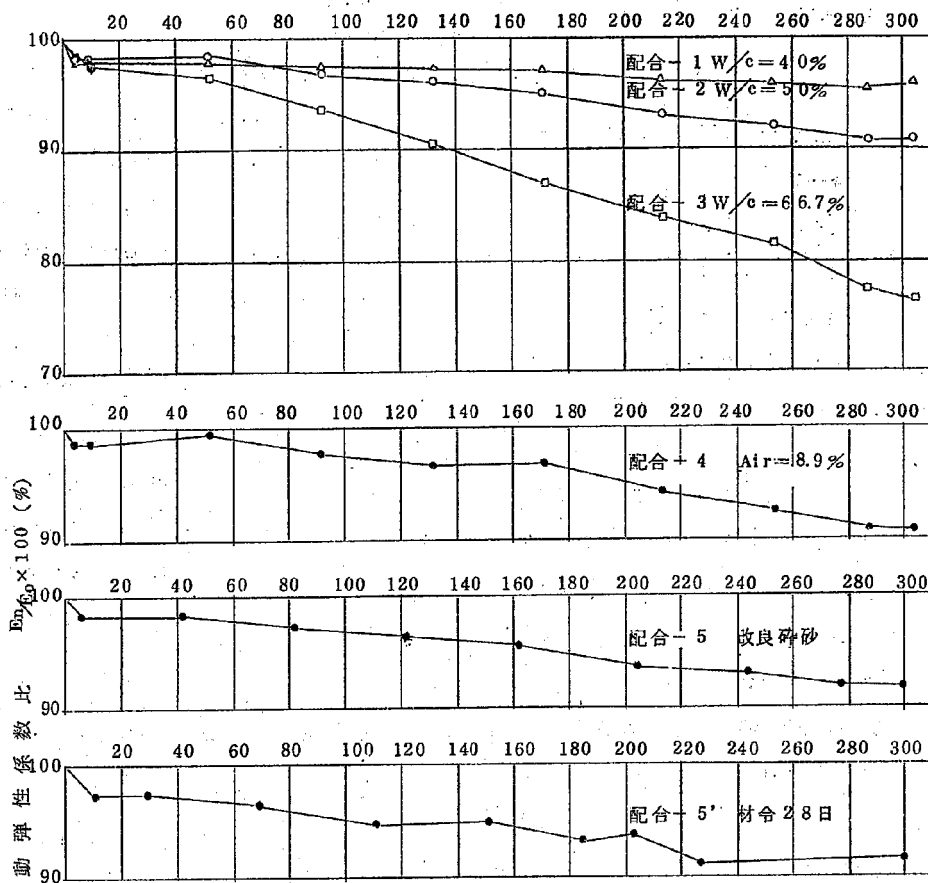


表 - 1.6

配合の種類	1	2	3	4	5	5'
耐久性係数	95.5	90.7	76.5	90.6	91.9	91.5

凍結融解繰返しによる動弾性係数比の低下は、各配合の供試体とも初めの数サイクル繰返して2～2.5%の低下を示し配合による差異はないようである。しかし、その後は、配合-1, 2, 3, すなわち水・セメント比の異なるコンクリートでは、水・セメント比の大きいものほど動弾性係数比の低下率が漸次増加し、水・セメント比の小さいものほど耐久性は大きいという常識に従っている。しかしながら、水・セメント比66.7%でも耐久性係数は76.5という値で、非常に耐久性であることが判る。配合-4, すなわち空気量を増加させたコンクリートの水・セメント比は57.4%であるにもかかわらず、動弾性係数比の低下率は配合-2, すなわち水・セメント比50%のものと同様のような傾向を示している。このことは空気量を増加させたためによるものと考えられる。配合-5; すなわち改良砕砂(水洗いにより0.15mm以下の量を少なくした砕砂)を用いたコンクリートでは、単位水量が約15kg少なくなっているが、水・セメント比を50%にしたため配合-2と同様傾向を示している。なお配合-5' すなわち配合-5のコンクリートと同じバッチのコンクリートであるが材令28日より試験を行なったコンクリートでは、動弾性係数比の低下率は配合-5と同様同値である。

- 2) 供試体の重量減少率(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重量減少率との関係を示すと表-1.7(詳細は付表-3参照)のごとくで、これを図で示すと図-1.2のごとくである。

図-1.2 凍結融解繰返し回数

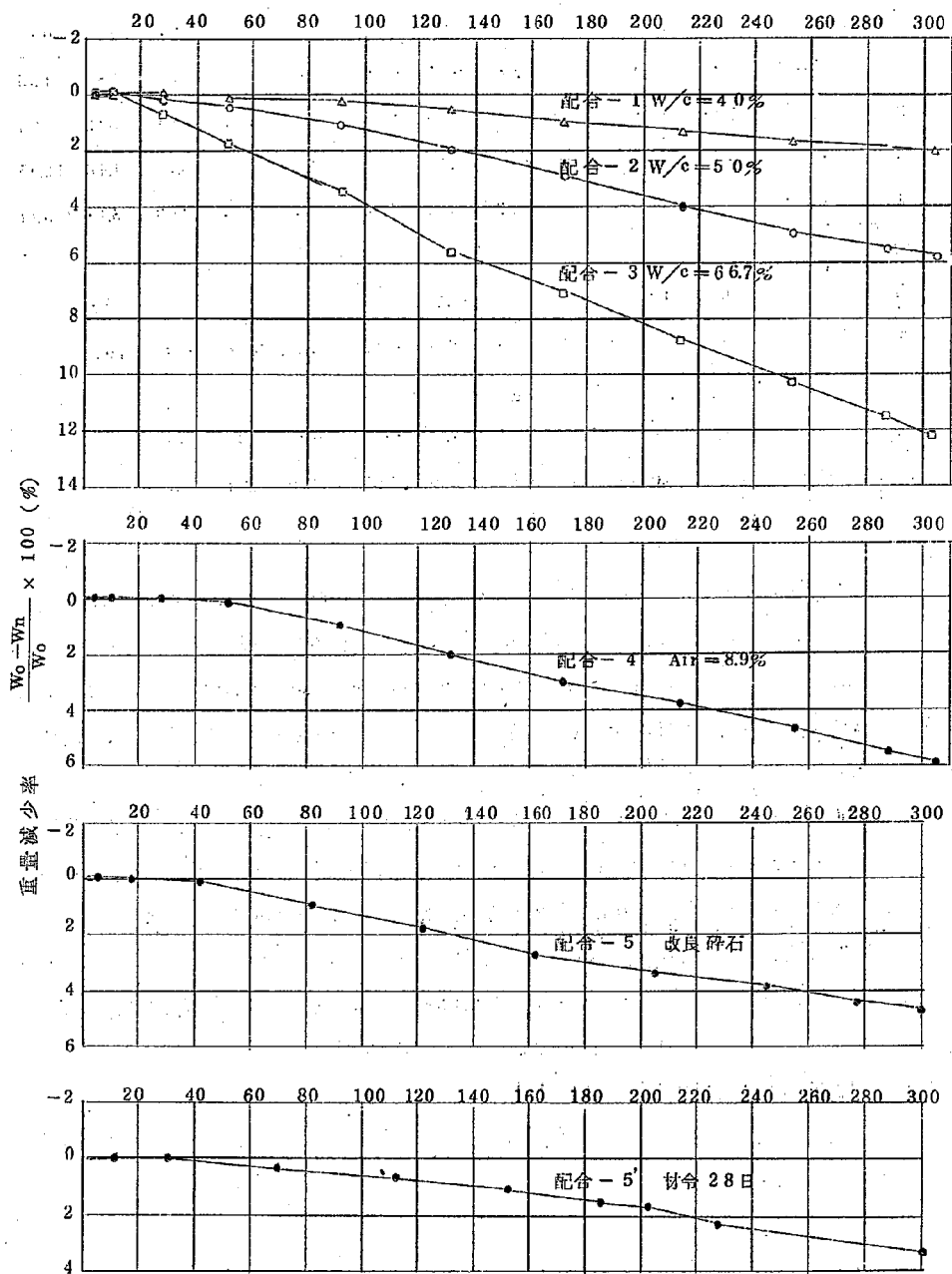


表 - 1.7

配合番号	W ₀	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$										
		4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304
1	7,030	-0.01	0	0	0.08	0.21	0.48	0.90	1.24	1.58	1.84	1.95
2	7,013	-0.01	-0.05	0.13	0.44	1.03	1.98	2.88	3.94	4.88	5.42	5.64
3	6,942	-0.09	-0.11	0.66	1.71	3.36	5.63	7.00	8.67	10.18	11.46	12.05
4	6,776	-0.02	-0.03	-0.03	0.17	0.96	2.01	2.95	3.76	4.63	5.48	5.94
配合番号	W ₀	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$										
		6	18	42	82	122	162	204	244	277	300	
5	7,049	-0.09	0.01	0.12	0.89	1.78	2.72	3.33	3.88	4.40	4.67	
配合番号	W ₀	$\frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$										
		11	30	70	112	152	185	202	227	300		
5'	7,053	0	0.08	0.36	0.69	1.10	1.57	1.75	2.34	3.36		

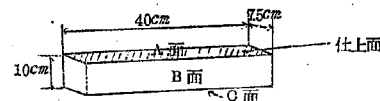
供試体の重量変化は、凍結融解作用によりコンクリートが損傷を受けスケーリングされることにより起るものである。表-1.7に示すごとく凍結融解繰返し回数の初めにおいて、供試体重量の僅かに増加したことを示しているが、これは凍結融解作用の繰返し中に、養生期間中に吸水されなかつた部分に吸水したものと思われ、組織のゆるみによる吸水ではないと考えられる。

凍結融解作用の繰返しが進むと、1)で述べた動弾性係数比の低下率とよく似た重量減少過程を進み、水・セメント比の大きいものほど大きい減少率を示している。配合-5すなわち改良砕石を用いたコンクリートの重量減少率は、300サイクルで4.67%で、配合-2の改良しない砕砂を用いたものより約1%小さい重量減少率を示している。コンクリートの養生期間を長くした配合-5'では3.36%で、重量減少率にあたる養生期間の影響は、できるだけ長くすることのよいことを示している。

3) 供試体の外観の変化

凍結融解繰返し回数と供試体外観の変化の状況を示すと表-1.8および写真1~6に示すことである。

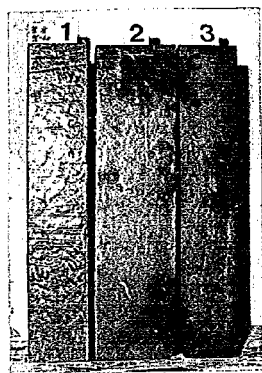
表 - 1. 8



	4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304
1	変化なし	変化なし	A面のみ僅かにスクーリングを受ける	A面約10%, B面約5%, C面僅かにスクーリングを受ける	A面約30%のスクーリングを受ける 他面は変らず	A面約80%, 他面約20%のスクーリングを受ける	省 略	省 略	A面100%, B面約90%, C面約70%のスクーリングを認める	省 略	A, B, D面はほぼ全面, C面は約80%スクーリングを認める
2	B, D面の一部に表膜の剥がれを認める	A面の一部にスクーリングを認める	A面約30% B, D面は僅かにスクーリングを認める	A面約90%, B面約10%のスクーリングを認める	A面100%, B面50%, C面約20%のスクーリングを認める	A面の一部に粗骨材漏出, B, D面約90%, C面約50%のスクーリングを認める	省 略	全面とも100%スクーリングを認める。B, D面の一部, A面の全面, B, C面の一部粗骨材漏出	以後著しい変化なし		
3	B, D面の約30%表膜が剥がれる	A, B, D面に僅かにスクーリングを認める	A面約80%, B, D面約20%, C面僅かにスクーリングを認める	A面僅かに粗骨材漏出, B, D面80%, C面50%スクーリングを認める	A面に粗骨材漏出, B, D面100%, C面約80%スクーリングを認める	A面は全面, B面僅かに粗骨材漏出, C面100%スクーリングを認める		A, B, C, Dの全面に粗骨材漏出を認める	以後著しい変化なし		
4	B, D面の約50%表膜が剥がれる	A, B, D面とも僅かにスクーリングを認める	A, B, D面約10%, C面は僅かにスクーリングを認める	A面50%, B, C面約20%スクーリングを認める	A面100%, B面約40%, C面約30%のスクーリングを認める	A面の数箇所粗骨材漏出, B, C, D面80%スクーリングを認める		A面の全面および他面の一部に粗骨材漏出を認める	以後著しい変化なし		
	6	18	42	82	122	162	204	244	277	300	
5	B, D面の約80%表膜が剥がれる	A面僅かにスクーリングを認める	A面約50%, B, D面約20%, C面約10%のスクーリングを認める	A面約80%, B面約40%のスクーリングを認める	A面約100%, B面約50%, C面約30%のスクーリングを認める	省 略	A, B, D面の約100%, C面の80%にスクーリングを認める	省 略	省 略	A, B, C, Dの全面に一部粗骨材の漏出を認める	
	11	30	70	112	152	185	202	227	300		
5'	B, D面の僅かに表膜の剥がれを認める	A面約20%, B, D, C面僅かにスクーリングを認める	省 略	省 略	A面約100%, B, C, D面約30%のスクーリングを認める	省 略	A面100%, B面約50%, C面約40%のスクーリングを認める	省 略	A面100%, B面約90%, C面約70%のスクーリングを認める		

写真 - 1

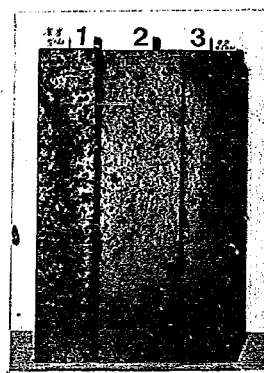
配合 - 1 (W / C = 40%)



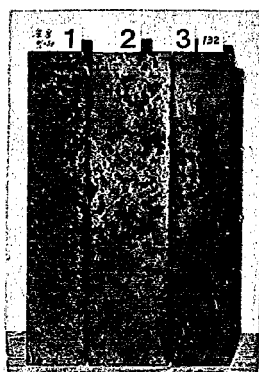
凍結融解作用開始時の
供試体の表面



28 サイクル終了時



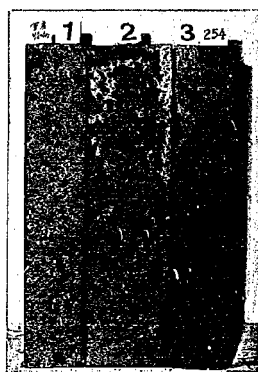
92 サイクル終了時



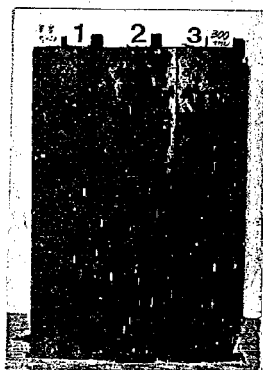
132 サイクル終了時



214 サイクル終了時



254 サイクル終了時



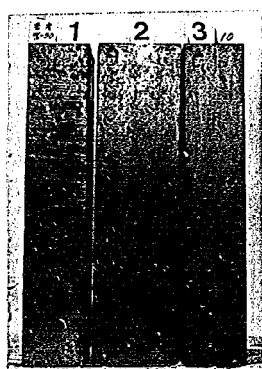
304 サイクル終了時

写真 - 2

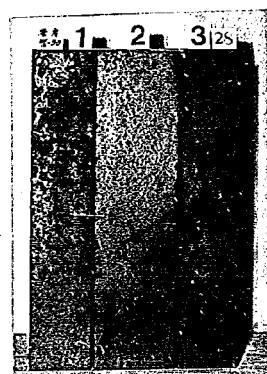
配合 - 2 ($w/c = 50\%$)



凍結融解作用開始時の
供試体の表面



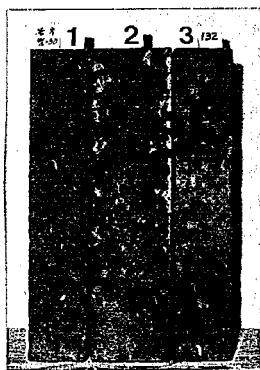
10 サイクル終了時



28 サイクル終了時



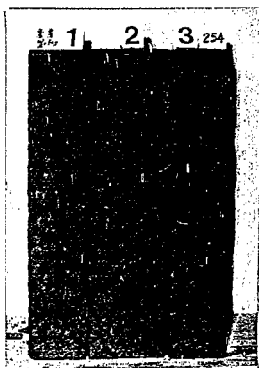
92 サイクル終了時



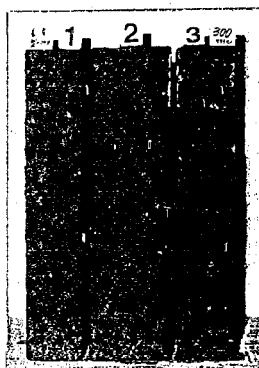
132 サイクル終了時



214 サイクル終了時



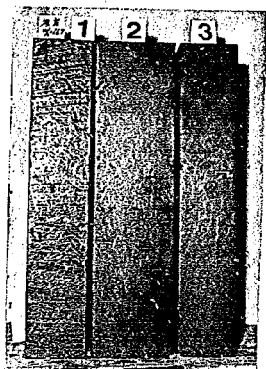
254 サイクル終了時



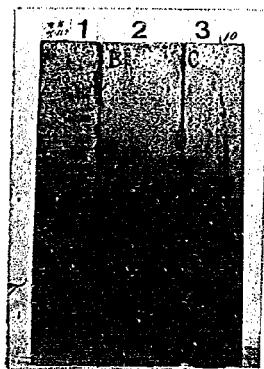
304 サイクル終了時

写真 - 3

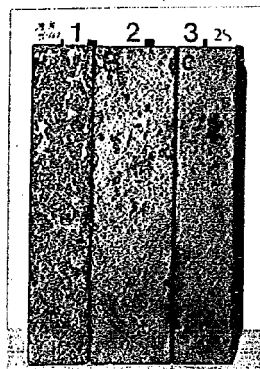
配合 - 3 (W/C 66.7%)



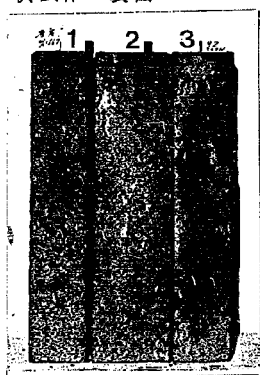
深結融解作用開始時の
供試体の表面



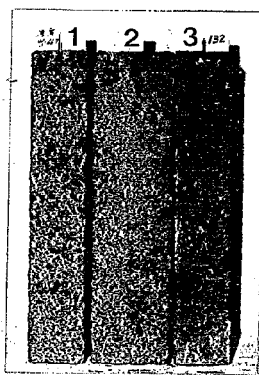
10 サイクル終了時



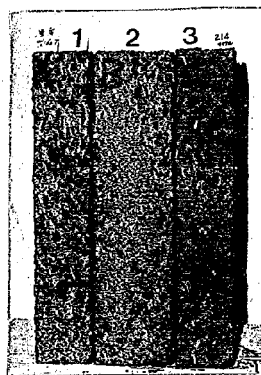
28 サイクル終了時



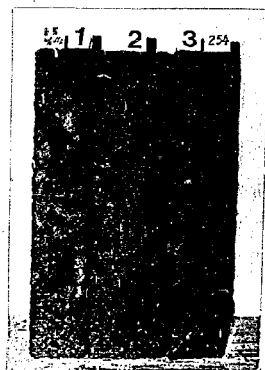
92 サイクル終了時



132 サイクル終了時



214 サイクル終了時



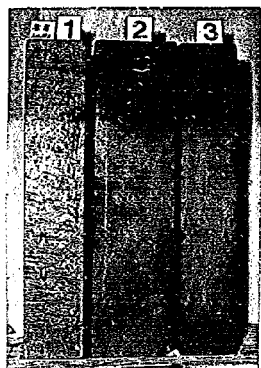
254 サイクル終了時



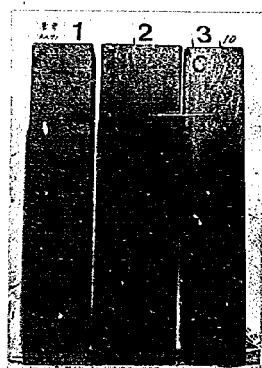
304 サイクル終了時

写真 - 4

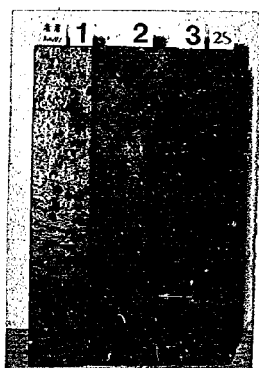
配合 - 4 (A : V 8.9%)



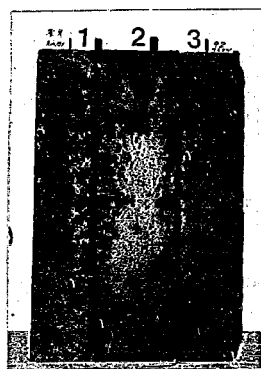
凍結融解作用開始時
の供試体の表面



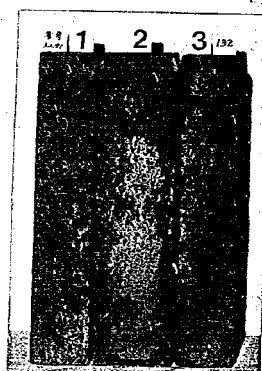
10 サイクル終了時



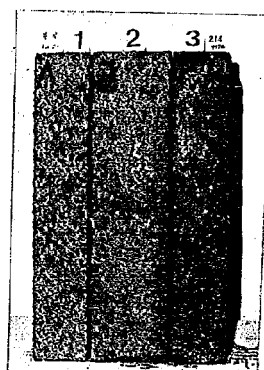
28 サイクル終了時



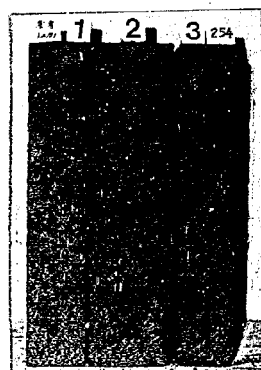
92 サイクル終了時



132 サイクル終了時



214 サイクル終了時



254 サイクル終了時



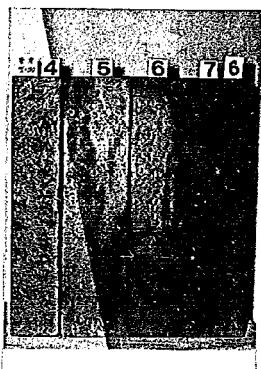
304 サイクル終了時

写真 - 5

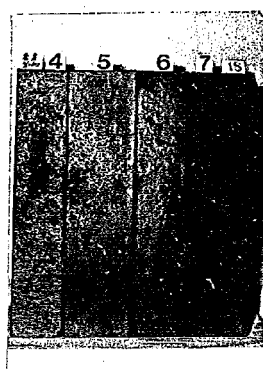
配合 - 5 (改良砕砂)



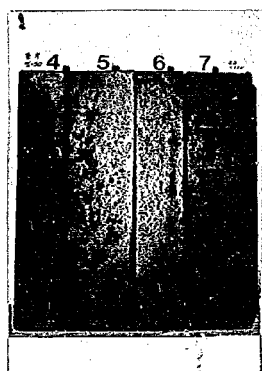
凍結融解作用開始時
の供試体の表面



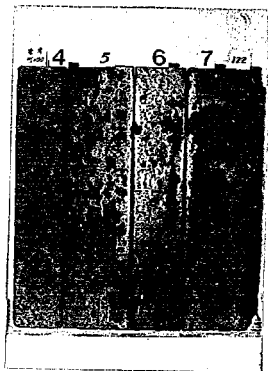
6 サイクル終了時



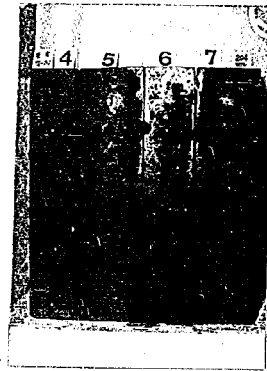
18 サイクル終了時



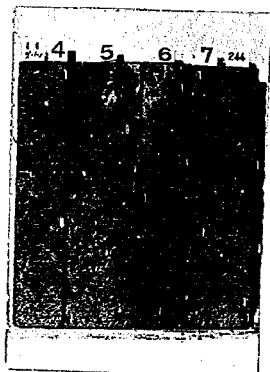
82 サイクル終了時



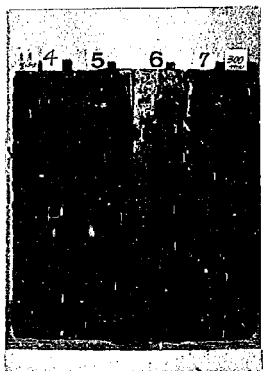
122 サイクル終了時



204 サイクル終了時



244 サイクル終了時



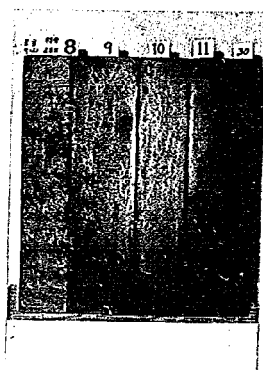
300 サイクル終了時

写真 - 6

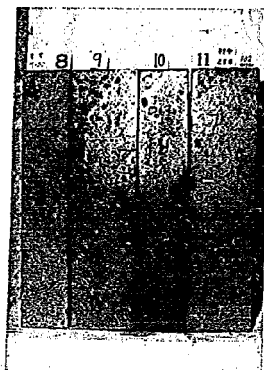
配合 - 5 (材令 28 日)



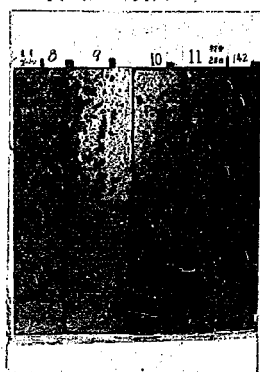
凍結融解作用開始時
の供試体の表面



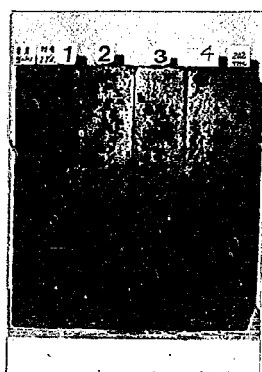
30 サイクル終了時



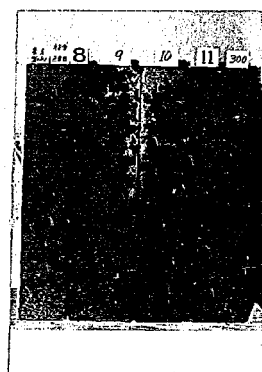
112 サイクル終了時



152 サイクル終了時



202 サイクル終了時



300 サイクル終了時

付表-1

h = 10 cm の場合の動弾性係数比

E ₀		E _n /E ₀ × 100 (%)											
		4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304	
1	1	331,590	98.0	98.0	98.0	98.0	97.6	97.4	97.1	96.4	96.6	95.7	96.2
	2	327,570	98.1	98.1	99.1	98.1	97.8	97.5	97.2	96.4	96.6	95.3	96.2
	3	327,390	98.0	98.0	99.1	98.0	97.8	97.6	97.6	96.5	96.2	95.5	95.4
	平均	328,850	98.0	98.0	98.7	98.0	97.7	97.5	97.3	96.4	96.5	95.5	95.9
2	1	306,380	98.4	98.5	98.5	98.6	97.1	96.7	95.0	93.3	92.6	90.9	91.7
	2	305,240	97.9	97.9	98.5	98.5	97.3	96.2	95.8	93.5	93.2	91.4	91.1
	3	306,900	98.0	98.0	98.5	98.5	97.3	96.2	95.2	93.8	93.0	91.8	91.7
	平均	306,170	98.1	98.1	98.5	98.5	97.2	96.4	95.3	93.5	92.9	91.4	91.5
3	1	264,820	98.9	98.4	98.4	97.3	93.4	89.9	86.9	81.6	78.5	74.1	73.4
	2	265,590	98.5	97.3	97.3	94.8	92.2	88.1	84.5	81.4	78.7	71.9	71.4
	3	264,210	98.5	97.8	98.3	95.9	94.2	91.3	87.0	83.6	81.5	78.6	77.2
	平均	264,870	98.6	97.8	98.0	96.0	93.3	89.8	86.1	82.2	79.6	74.9	74.0
4	1	258,860	98.9	98.9	99.8	98.9	97.1	96.1	95.6	93.0	91.1	89.3	89.9
	2	266,700	98.3	98.6	99.5	99.1	97.9	96.8	96.7	94.4	93.3	91.1	91.4
	3	260,120	98.7	98.7	100.1	99.8	97.8	96.3	98.0	95.1	92.6	91.1	90.7
	平均	261,890	98.6	98.7	99.8	99.3	97.6	96.4	96.8	94.2	92.3	90.3	90.7
E ₀		E _n /E ₀ × 100 (%)											
		6	18	42	82	122	162	204	244	277	300		
5	1	310,580	98.0	99.2	98.7	96.8	95.8	95.6	93.3	92.6	91.9	91.0	
	2	314,720	97.7	98.7	98.0	97.3	96.6	95.5	93.6	93.6	92.2	92.0	
	3	307,600	98.9	99.5	99.0	98.0	97.1	95.8	93.4	92.9	92.0	92.8	
	4	308,330	99.7	99.8	98.7	97.8	96.8	96.3	94.4	94.4	92.9	93.0	
	平均	310,380	98.6	99.3	98.6	97.5	96.6	95.6	93.7	93.4	92.2	92.2	
E ₀		E _n /E ₀ × 100 (%)											
		11	30	70	112	152	185	202	227	300			
5'	1	327,340	97.2	97.1	96.8	95.6	94.8	93.1	93.7	91.5	90.4		
	2	323,260	97.5	97.5	96.7	95.4	94.8	93.5	94.0	91.0	91.3		
	3	331,540	97.7	98.2	97.3	95.6	96.0	94.5	95.6	91.6	92.9		
	4	325,570	98.0	98.0	97.1	94.9	95.4	93.6	93.9	90.5	90.6		
	平均	326,930	97.5	97.7	97.0	95.4	95.2	93.7	94.3	91.2	91.3		

付表-2

h = 7.5 cm の場合の動弾性係数比

		E ₀	E _n /E ₀ × 100 (%)										
			4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304
1	1	3 1 6, 4 3 0	98.5	98.5	—	98.5	96.0	95.7	97.3	96.5	96.1	95.1	95.7
	2	3 1 1, 7 3 0	97.5	97.5	—	97.5	97.9	97.6	97.3	95.7	95.4	94.5	96.3
	3	3 1 5, 5 4 0	97.5	97.5	—	97.5	97.3	97.1	96.6	94.7	95.3	94.9	95.4
	平均	3 1 4, 5 7 0	97.8	97.8	—	97.8	97.0	96.8	97.0	95.6	95.6	94.8	95.8
2	1	2 9 6, 8 7 0	98.3	98.3	—	98.3	96.8	95.8	94.5	93.0	91.0	89.7	90.1
	2	2 8 9, 5 9 0	98.3	98.3	—	98.5	96.5	95.5	94.4	91.6	91.2	90.7	90.0
	3	2 9 0, 8 6 0	98.7	98.7	—	98.7	96.5	95.6	94.5	92.9	91.4	89.8	89.6
	平均	2 9 2, 4 4 0	98.4	98.4	—	98.5	96.6	95.6	94.5	92.5	91.2	90.0	89.9
3	1	2 5 2, 8 3 0	97.9	97.2	—	97.2	94.0	91.2	89.1	84.4	82.1	79.0	77.7
	2	2 5 2, 1 8 0	97.9	97.2	—	96.2	93.7	90.2	87.9	85.5	84.3	79.0	78.0
	3	2 5 1, 5 8 0	97.8	96.9	—	96.9	93.8	91.5	89.2	86.2	84.6	81.4	80.9
	平均	2 5 2, 1 9 0	97.9	97.1	—	96.8	93.8	91.0	87.7	85.4	83.7	79.8	78.9
4	1	2 4 9, 9 6 0	98.6	98.6	—	99.7	97.5	96.5	96.6	93.3	92.4	90.9	89.8
	2	2 5 2, 8 6 0	98.4	98.5	—	99.8	98.6	97.5	97.1	94.5	93.8	92.4	91.9
	3	2 4 7, 2 0 0	98.6	98.6	—	100.0	98.7	97.4	97.1	95.0	92.0	90.6	90.2
	平均	2 5 0, 0 1 0	98.5	98.6	—	99.8	98.3	97.1	96.9	94.2	92.7	91.3	90.6
		E ₀	E _n /E ₀ × 100 (%)										
			6	18	42	82	122	162	204	244	277	300	
5	1	2 9 7, 3 1 0	98.1	—	98.7	96.5	95.6	94.8	92.3	91.6	91.1	90.9	
	2	3 0 0, 7 3 0	97.7	—	97.7	96.3	95.6	94.7	92.6	92.2	91.1	90.7	
	3	2 9 4, 9 5 0	99.1	—	99.4	97.7	96.8	96.3	94.5	94.0	92.7	92.4	
	4	2 9 5, 1 6 0	98.1	—	98.7	97.8	96.8	96.0	93.6	93.0	91.8	92.1	
	平均	2 9 7, 0 4 0	98.3	—	98.6	97.1	96.2	95.5	93.2	92.7	91.7	91.5	
		E ₀	E _n /E ₀ × 100 (%)										
			11	30	70	112	152	185	202	227	300		
5'	1	3 1 8, 6 5 0	96.3	96.5	94.0	93.7	94.2	91.5	91.7	89.2	88.5		
	2	3 1 5, 6 6 0	97.2	97.5	95.9	94.2	94.1	92.4	92.9	90.0	92.2		
	3	3 2 5, 2 1 0	96.9	97.5	95.3	93.8	94.8	93.1	93.4	90.9	95.6		
	4	3 0 9, 4 7 0	97.5	98.1	97.1	94.2	95.1	93.4	93.2	91.8	90.6		
	平均	3 1 7, 2 5 0	97.0	97.4	95.6	94.0	94.6	92.6	92.8	90.5	91.7		

附表-3

供試体の重量減少率

		Eo	$\frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100 (\%)$											
			4	10	28	52	92	132	172	214	254	287	304	
1	1	7.042	0	-0.01	0	0.09	0.20	0.48	0.80	1.08	1.48	1.75	1.86	
	2	7.026	0	0	0	0.09	0.22	0.51	0.81	1.12	1.45	1.74	1.85	
	3	7.022	-0.03	0	-0.01	0.07	0.20	0.46	1.10	1.52	1.81	2.02	2.15	
	平均	7.030	-0.01	0	0	0.08	0.21	0.48	0.90	1.24	1.58	1.84	1.95	
2	1	7.018	0	-0.04	0.11	0.39	0.94	1.94	2.57	3.19	4.92	5.70	5.89	
	2	7.028	0	-0.03	0.21	0.57	1.17	2.16	2.70	4.34	4.87	5.24	5.52	
	3	6.994	-0.04	-0.07	0.07	0.36	0.97	1.84	3.37	4.28	4.86	5.32	5.51	
	平均	7.013	-0.01	-0.05	0.13	0.44	1.03	1.98	2.88	3.94	4.88	5.42	5.64	
3	1	6.966	-0.09	-0.13	0.53	1.64	3.30	5.51	7.02	8.67	10.49	11.37	12.15	
	2	6.948	-0.10	-0.13	0.89	1.99	3.63	5.83	7.02	8.84	10.18	11.96	12.44	
	3	6.912	-0.07	-0.07	0.56	1.49	3.16	5.56	6.97	8.49	9.87	11.04	11.57	
	平均	6.942	-0.09	-0.11	0.66	1.71	3.36	5.63	7.00	8.67	10.18	11.46	12.05	
4	1	6.772	-0.03	-0.06	-0.07	0.18	0.77	1.79	2.76	3.82	4.79	5.60	6.04	
	2	6.841	-0.01	-0.03	-0.01	0.22	1.20	2.32	3.20	3.80	4.46	5.28	5.77	
	3	6.716	-0.03	0	-0.01	0.10	0.92	1.91	2.89	3.65	4.63	5.57	6.00	
	平均	6.776	-0.02	-0.03	-0.03	0.17	0.96	2.01	2.95	3.76	4.63	5.48	5.94	
		Eo	$\frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100 (\%)$											
			6	18	42	82	122	162	204	244	277	300		
5	1	7.061	-0.07	0	0.13	0.91	1.90	2.68	3.37	4.08	4.65	4.85		
	2	7.071	-0.11	-0.01	0.14	0.69	1.40	2.36	3.04	3.47	3.99	4.21		
	3	7.051	-0.07	0.03	0.21	1.05	1.92	3.07	3.58	4.09	4.54	4.80		
	4	7.011	-0.09	0	0.01	0.91	1.91	2.76	3.33	3.89	4.43	4.81		
	平均	7.049	-0.09	0.01	0.12	0.89	1.78	2.72	3.33	3.88	4.40	4.67		
		Eo	$\frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100 (\%)$											
			11	30	70	112	152	185	202	227	300			
5'	1	7.035	-0.01	0.13	0.43	0.70	1.32	1.85	2.03	2.45	3.14			
	2	7.003	-0.01	0.04	0.27	0.67	1.00	1.50	1.64	2.77	3.54			
	3	7.090	0	0.09	0.37	0.68	0.95	1.37	1.52	1.89	3.51			
	4	7.053	0.03	0.04	0.37	0.71	1.11	1.57	1.80	2.24	3.26			
	平均	7.045	0	0.08	0.36	0.69	1.10	1.57	1.75	2.34	3.36			

(II) 熱的性質測定試験

実施した試験項目は、単位容重量、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は、骨材の使用量、骨材の品質によつて大きく影響をうけるが、今回実施した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、骨材の使用量を70%、60%、50%、30%に選びダム・コンクリートの熱的性質はこれより推定することとした。

1. コンクリート材料

使用したセメントは、日本社の普通セメントで、骨材は現場より送付された碎石、砕砂である。この骨材の比重、吸水量は表-2.1のとおりである。

表-2.1

区 分	比 重	吸水量(%)
粗 骨 材	2.61	3.4
細 骨 材	2.61	3.5

コンクリートの配合は、表-2.2に示すとおりのものである。

表-2.2

骨材量 (%)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	水・セメント 比 (%)	絶対細 骨材率 (%)	細 骨 材 量 (kg/m ³)	粗 骨 材 量 (kg/m ³)			
						5~10	10~20	20~30	30~40
30	856	428	50	100	783	—	—	—	—
50	612	306	50	100	1,305	—	—	—	—
60	490	245	50	50	784	78	282	227	196
70	368	184	50	42	768	106	382	306	265

2. 供試体の製作

練混ぜは手練りによつて行なつた。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。骨材使用量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(φ20cm×40cm)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(15cm×15cm×40cm)はコンクリートを2層に分けて打込み、下層の場合5ヶ所、上層の場合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った布で包み、室内に48時間置き、脱型後は所定の材令まで水中養生した。

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、カロリー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。

熱拡散率は、所定の温度に保たれた供試体を異なっ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、供試体にカーソン歪計を埋め、供試体温度を20℃～60℃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、計算により熱膨張係数を求めた。

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-2.1、図-2.2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。このほか所定温度の冷却水を庄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。オーバーフロー・パイプは水位を適当に保つように調節できる構造になっている。供試体支持枠は、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5.5回転/分で攪拌するものである。

加熱装置はヒーター、攪拌装置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、加熱が均一に行なわれるようにするため、定速モーターによりプロペラが5,000回転/分するものである。ケースはヒーターを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々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する。

供試体支持枠によつて両端にコルクを固定したのち、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

図-2.1

コンクリート熱伝導率測定装置

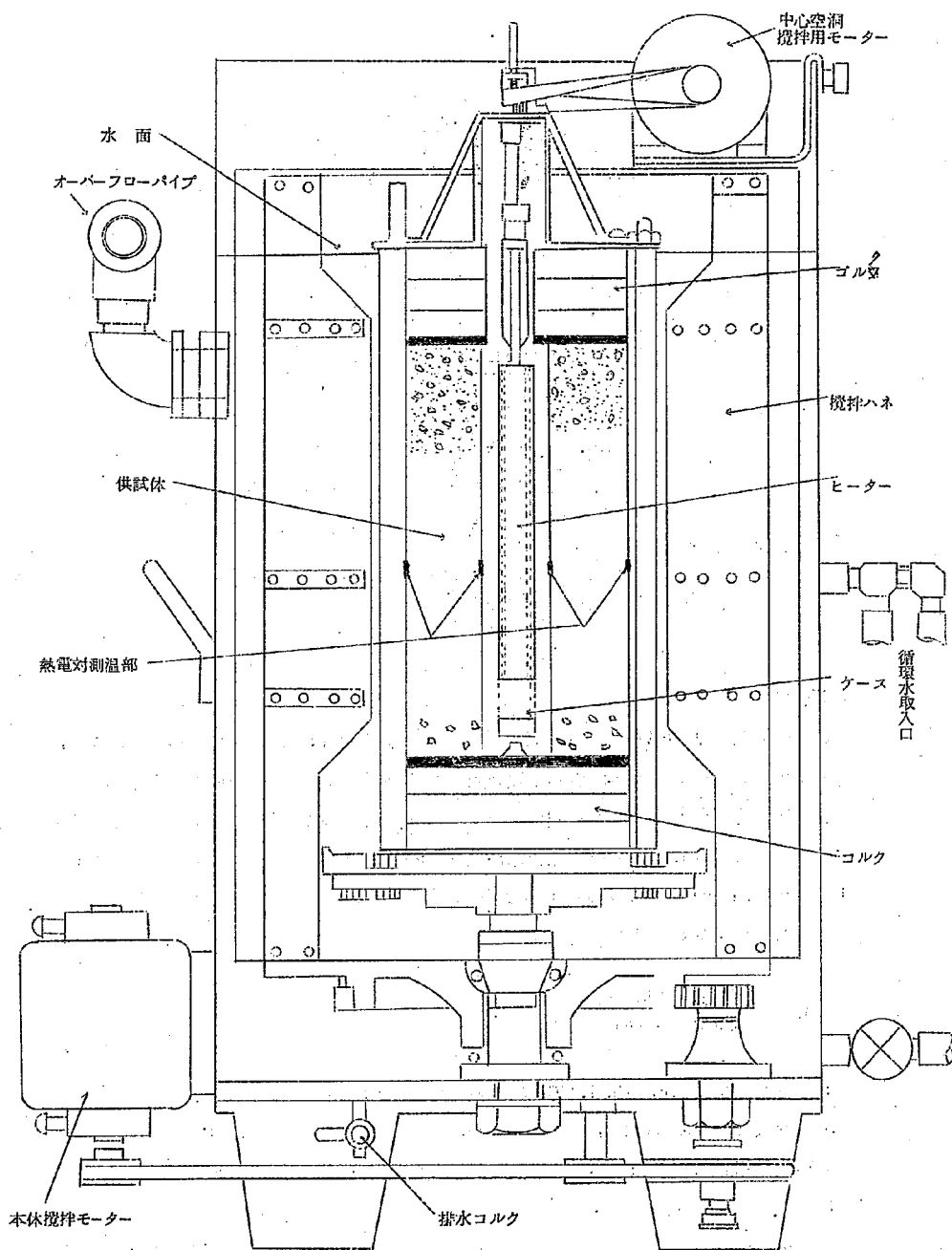
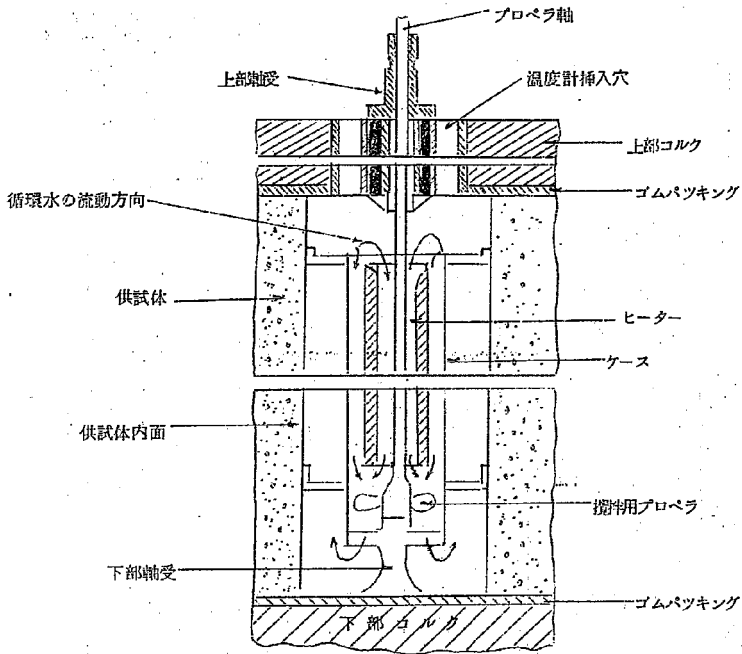


図-2.2 熱伝導率測定中の供試体中心空洞内の構造



を回転する。

加熱装置に約260Wの電力を供試体内部・外部がほぼ所定の温度差となるまで与え、のち、徐々に減少して、所定の温度差になってからは一定の入力に保つ。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、それぞれ0.5級のものである。

熱伝導率は、次式によつて計算する。

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

K = 熱伝導率 (Kcal/m h. °C), θ_a = 半径 a における温度 (°C)

q = 熱入力 (Kcal/h), θ_b = 半径 b " (°C)

a = 中空円筒の内径 (m), ℓ = 円筒の高さ (m)

b = " 外径 (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により定め 3.86 Kcal/h とした。

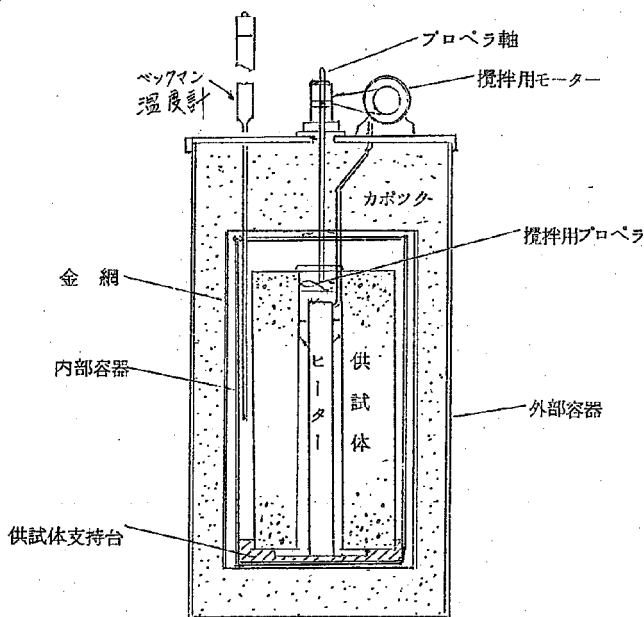
2) 比 熱

(A) 装置 図-2.3 にしめすような外部容器、内部容器、加熱装置、ベックマン温度計、積算電力計よりなっている。外部容器は内径36cm、高さ66cm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。内部容器を容易に取出し得るように断熱材は金網製円筒で保たれている。

内部容器は内径23cm、高さ48cmの銅板製の円筒容器で、供試体を入れるためのものである。

加熱装置はヒーター、攪拌装置とからなっている。ヒーターは100V、230Wの棒状で、浸水可能のものである。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回転/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、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0~10℃、1目0.02℃のものである。

図-2.3 比熱測定用カロリメーター



(B) 測定方法 内部容器に正確に計量した水を入れ、この中に所定材料になった供試体を浸す。ヒーターと攪拌プロペラを挿入して蓋をし、ヒーターと電源を結ぶ、カボックで蓋を覆った後、外部の蓋をする。このとき温度計の孔が一直線と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℃上昇

させる。その後加熱をやめ、攪拌を再び平衡状態になるまで続ける。図-2.4は比熱試験の典型的な温度曲線である。

外部容器からの熱放散を修正するため修正値をもとめる。

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

ここに、 n = 加熱期間中の5分間隔に測定した数

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

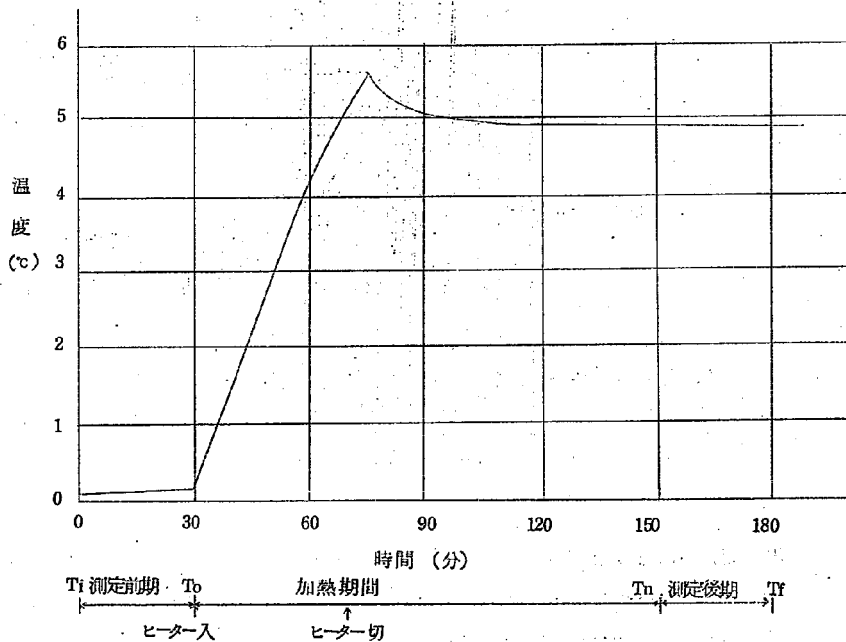
T_a, T_b = 前期および後期々間中の平均温度

$$C_a = \frac{T_0 - T_i}{6}, \quad C_b = \frac{T_f - T_n}{6}, \quad T_a = \frac{T_1 + T_0}{2}, \quad T_b = \frac{T_n + T_f}{2}$$

温度上昇は $T_n - T_0 + T_c$ によつてもとめられる。コンクリートの比熱は入力し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き、温度上昇と供試体の重量とで割った値に等しい。カロリーメーターの熱容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。

図-2.4 比熱試験における温度曲線の一例



3) 熱拡散率

供試体は直径 20 cm, 高さ 40 cm で中心に径 0.65 mm の銅コンスタンタン熱電対を埋め込んだものである。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。このときの供試体中心温度の変化割合を測定して、次式により計算する。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 0.57℃ 記録紙の 1 目 は 0.05 mV (温度換算約 1.2℃)、記録巾 180 mm のものであった。

$$\frac{\theta_2 - \theta_w}{\theta_1 - \theta_w} = \frac{8}{\pi} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{h, n, \pi, t}{\ell} \right) \sin \frac{n\pi}{\ell} Z \right\} \left\{ \sum_{x=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\frac{x n r}{R}\right)}{x n \cdot J_1(x n)} \left(e^{-\left(\frac{h, x n}{R}\right)^2 t} \right) \right\}$$

ここに、 θ_1 = 測定開始時における供試体の温度 (℃)

θ_2 = 水槽に浸したときから所定時間後の供試体の中心温度 (℃)

θ_w = 水槽の温度 (℃)

h^2 = 熱拡散率 (m^2/h) ℓ = 供試体の高さ (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 " , 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

15 cm × 15 cm × 40 cm の長方形供試体の中央に長さ 15 cm のカールソン型歪計を埋め、所定材令まで養生したのち、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、同様に 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 - 2.3, 図 - 2.5, 図 - 2.6 のとおりである。

表-2.3 熱 的 性 質

骨材量 (%)	材令 (日)	単位容積重量 (Kg/m^3)	熱伝導率 ($Kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$)	比 熱 ($Kcal/Kg \cdot ^\circ C$)	熱拡散率 (m^2/h) 直接法 間接法	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^\circ C$)
30	7	2135	1.01	0.33	$\frac{0.0016}{0.0014}$	10
	28	2142	1.11	0.35	$\frac{0.0017}{0.0015}$	10.5
50	7	2179	1.13	0.31	$\frac{0.0019}{0.0018}$	9
	28	2186	1.28	0.30	$\frac{0.0020}{0.0020}$	9
60	7	2322	1.36	0.30	$\frac{0.0022}{0.0020}$	9.5
	28	2324	1.43	0.29	$\frac{0.0023}{0.0022}$	9
70	7	2373	1.52	0.26	$\frac{0.0025}{0.0024}$	9
	28	2376	1.53	0.27	$\frac{0.0025}{0.0024}$	9
備 考		実験結果は2回の平均値である。				

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、釜房ダムのコンクリートは、

熱 伝 導 率 $1.7 Kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$

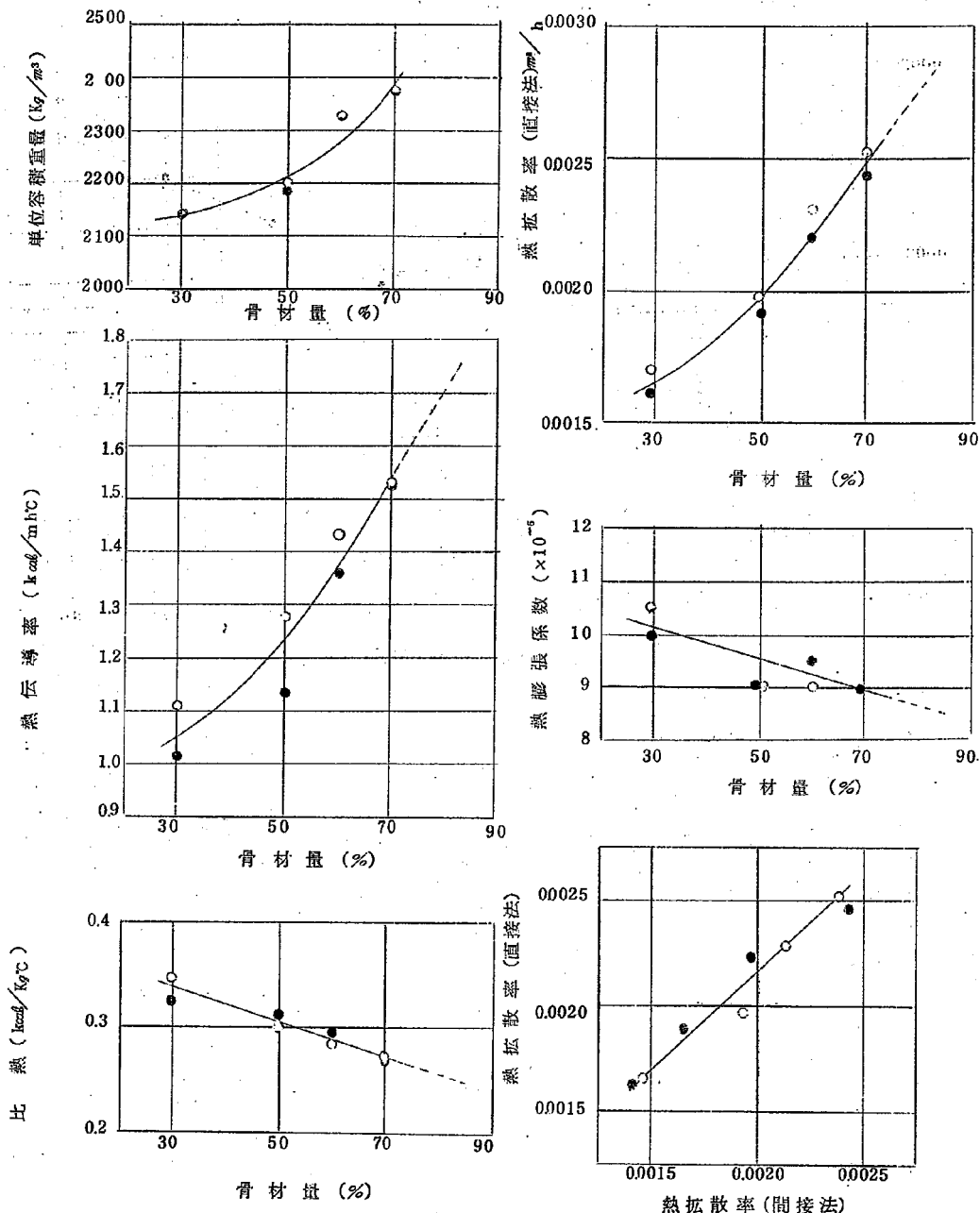
比 熱 $0.25 Kcal/Kg \cdot ^\circ C$

熱 拡 散 率 $0.0058 \frac{m^2}{h}$

熱膨張係数 8.5×10^{-6}

となる。

図 - 2.5 骨材料と熱性質



備考 推定線は従来の実験結果を参考とした。

図-2.6 熱拡散率の推定

