小渋ダムコンクリート試験報告書

昭和40年3月

建設省土木研究所

1. まえがき

本文は、中部地建小渋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の熱的性質ならびに断熱上昇温度に関する試験報告である。

実施した試験項目は、単位容量重量、熱伝導率、比熱、熱拡散率、熱膨張係数等の熱的性質試験ならびに、断熱温度上昇試験であつた。

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％と３０％に選びダムコンクリートの熱的性質はこれより推定した。また断熱温度上昇試験は、セメント使用量２３０Kg／㎥のコンクリートについて試験をおこなつた。

2. コンクリート材料

使用したセメントは、日本社の中庸熱セメントで、骨材は現地より送付された小渋川産の天然骨材である。この骨材は、硬砂岩、輝緑岩、花崗岩からなり、比重、吸水量は表－１のとおりである。

表 － 1

区　　分	比　　重	吸水量(%)
粗 骨 材	2.72	0.9
細 骨 材	2.68	1.7

コンクリートの配合は表－２に示すとおりのものである。

表 － 2

試験項目	骨材量(%)	単位セメント量(Kg)	単位水量(Kg)	水セメント比(%)	単位細骨材量(Kg)	単位粗骨材量(Kg)			備考
						全量	5～20㎜	20～40㎜	
熱的性質	70	370	183	50	777	1,118	224	894	粗骨材の最大寸法は４０㎜とした。
	30	862	431	50	816	－	－	－	
断熱温度上昇	81	230	115	50	611	1,590	318	1,272	

3. 供試体の製作

(A) 熱的性質試験

練混ぜは手練りによつておこなつた。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×４０cm）はコンクリートを４層にわけて打込み、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×５３cm）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つた布で包み、室内に７２時間置き、脱型後は所定の材令まで水中養

生した。

(B) 断熱温度上昇試験

手練りにより、所定量のセメントと細骨材を練混ぜてモルタルをつくり、これを直径30cm高さ30cmの供試体容器に粗骨材と交互に3層に分けて入れ振動機を用いて十分締固めた。締固め後はふたをハンダ付して密封した。

4. 試験方法

熱伝導率、比熱、熱拡散率、熱膨張係数の測定は、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ブロック（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。

断熱温度上昇試験は、自動温度調節計により断熱状態に保たれた装置に供試体を置きその中心部の温度上昇を連続14日間記録した。

5. 試験装置ならびに測定方法

(I) 熱伝導率

(A) 装置、装置は図－1、図－2、にしめすように円型水槽、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つている。このほか所定温度の冷却水を注入するためのパイプ、供試体周囲を循環した后、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つている。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つている。

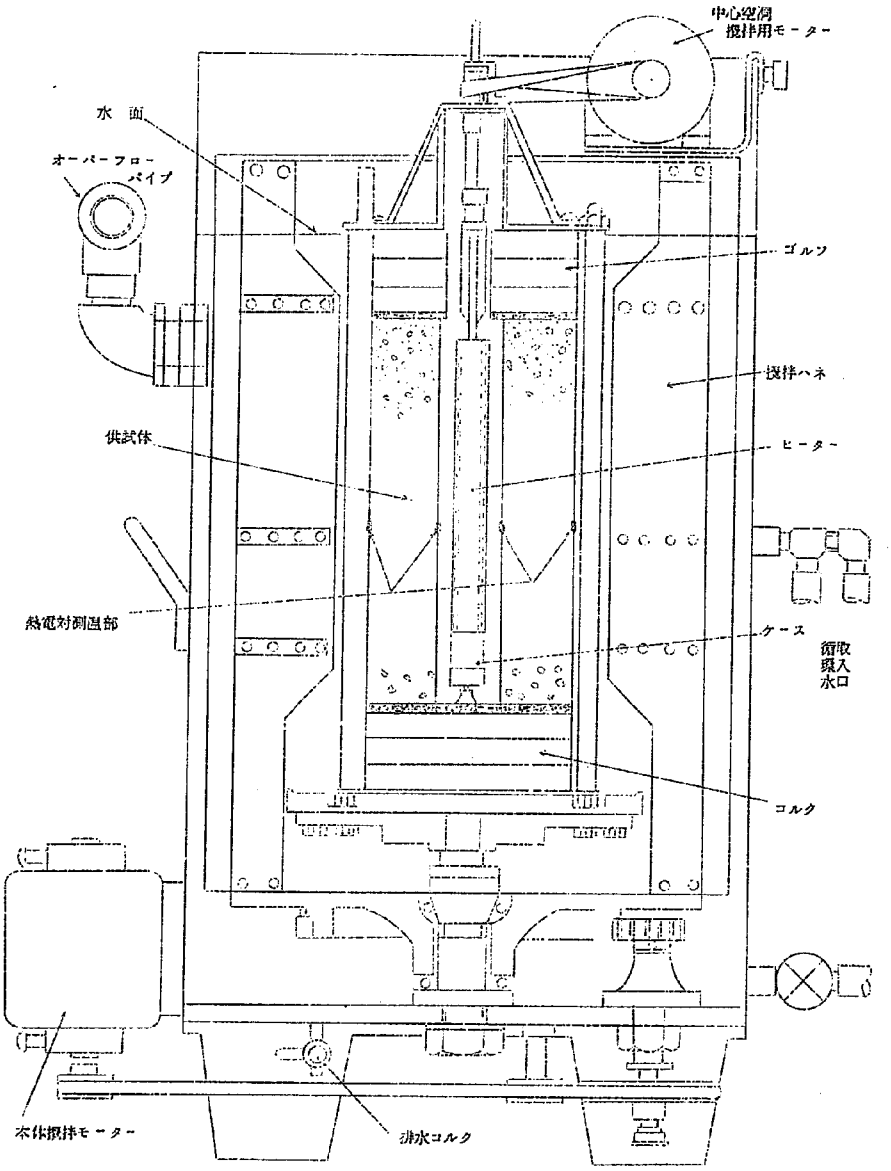
攪拌装置は4本の支柱をもつ円形フレームに2枚の攪拌ハネが傾斜して取付けられたもので、円型水槽内において供試体周辺の水を55回転／分で攪拌するものである。加熱装置はヒーター、攪拌装置ケースよりなつている。ヒーターは特に設計した100V、260Wの没水可能なものである。攪拌装置はヒーター周囲の水に一定の運動を与え、加熱が均一に行なわれるようにするため、定速モーターによりプロペラが5000回転／分するものである。ケースはヒーターを所定の位置に保つと同時に水の循環にあたりガイドとなるものである。

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。

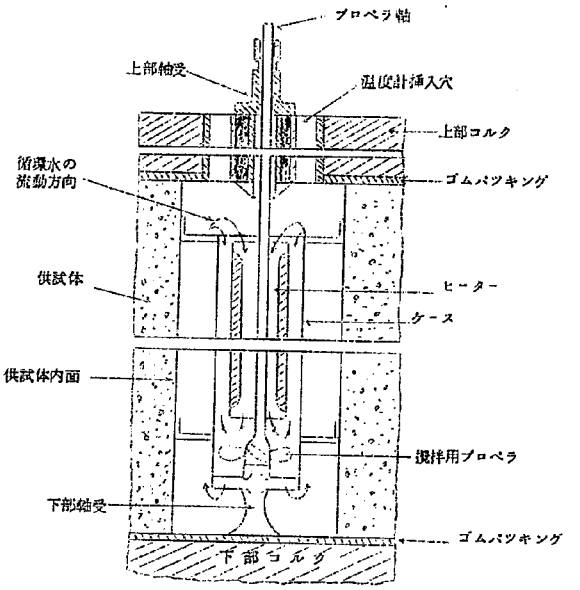
(B) 測定方法、供試体を水槽より取出したのち、両端にコルクを取付け、同時に加熱装置を中心空洞に配置する。

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

図－１　　コンクリート熱伝導率測定装置



図－2　伝導率測定中の供試体中心空洞内の構造



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、撹拌装置を回転する。

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、后、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。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。

$$K = \frac{q\{\ell \log e (h/a)\}}{2\pi\ell(\theta a - \theta b)}$$

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

q＝熱入力（Kcal/h），　　θb＝半径 b　〃　（℃）

a＝中空円筒の外径（m），　　ℓ＝円筒の高さ　（m）

b＝　〃　の内径（m），

熱入力 q はヒーターによるものの外に、撹拌装置による撹拌熱を考慮しなければなら

ない。本試験ではこれを実験により定め3.86 Kcal／hとした。

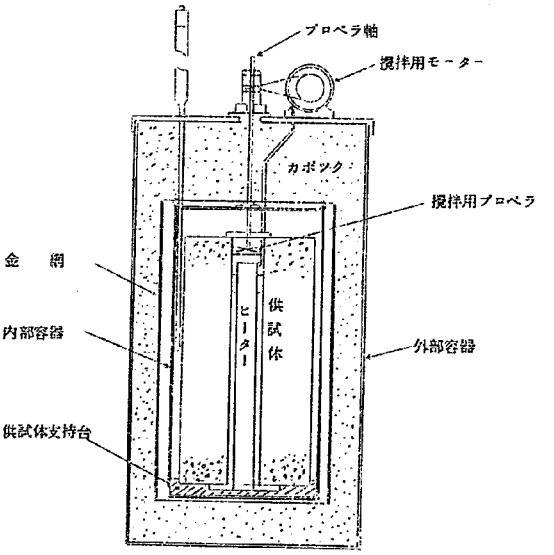
(ii) 比　熱

(A) 装置，図－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，積算電力計よりなつている。外部容器は内径36cm，高さ66cmの円筒形容器で，断熱材（カポック），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，撹拌装置とからなつている。ヒーターは100V，230Wの棒状で，浸水可能のものである。撹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3000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°C，1目0.02°Cのものである。

図－3　比熱測定用カロリーメーター



(B) 測定方法　内部容器に正確に計量した水を入れ，この中に所定材令にたつた供試体を浸す。ヒーターと撹拌プロペラを挿入して蓋をし，ヒーターと電源を結ぶ，カポックで蓋を覆つた後，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。

撹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上昇

させる。その后加熱をやめ，撹拌を再び平衡状態になるまで続ける。図－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。

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

ここに，　n＝加熱期間中の5分間隔に測定した数，

C_a，C_b＝前期および后期々間中の5分間隔の測定値に対する平均変化

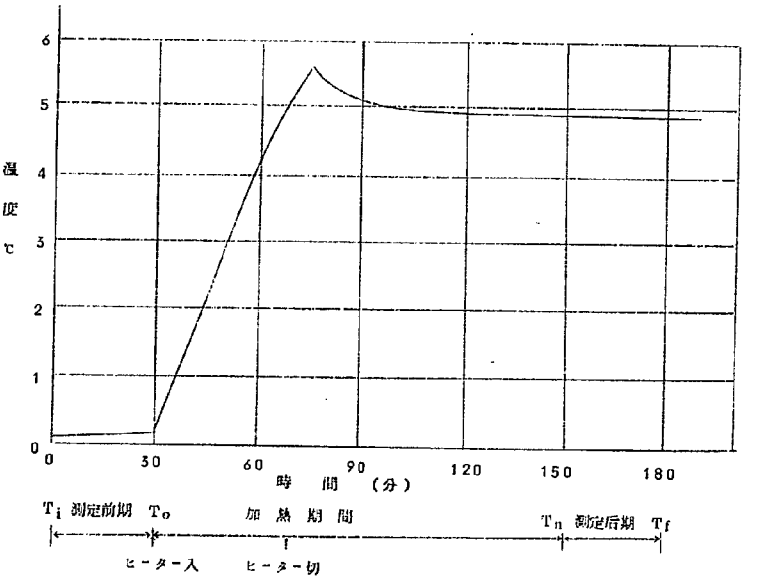
T_a，T_b＝前期および后期々間中の平均温度

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

温度上昇は$T_n - T_a + T_c$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つた値に等しい。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－4　　比熱試験における温度曲線の1例



(iii) 熱拡散率

供試体は直径２０cm、高さ４０cmで中心に径0.65mm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℃違つている水槽に没す。この時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。電子式自動平衡計録計は測定範囲０～３mV（温度換算０～７０℃）。確度は測定範囲の　0.57℃記録紙の１目は0.05mV（温度換算約1.2℃）、記録巾１８０mmのものであつた。

$$\frac{\theta_2-\theta_W}{\theta_1-\theta_W}=\frac{8}{\pi}\left\{\sum_{n=1}^{n=\infty}\left(\frac{e^{-\frac{(h_1 n_1 \pi)^2}{\ell}t}}{n}\right)\sin\frac{n\pi}{\ell}z\right\}\left\{\sum_{x=1}^{x=\infty}\frac{J_0\left(\frac{x_n r}{R}\right)}{x_n \cdot J_1(x_n)}\left(e^{-\left(\frac{h_1 x_n}{R}\right)^2 t}\right)\right\}$$

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 D

X_n＝ベツセル函数の根

J_0，J_1＝０次、１次のベツセル函数

6. 熱膨張係数

１５cm×１５cm×５３cmの長方形供試体の中央に長さ１０cm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℃，湿度９５％の恒温槽に入れ，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。

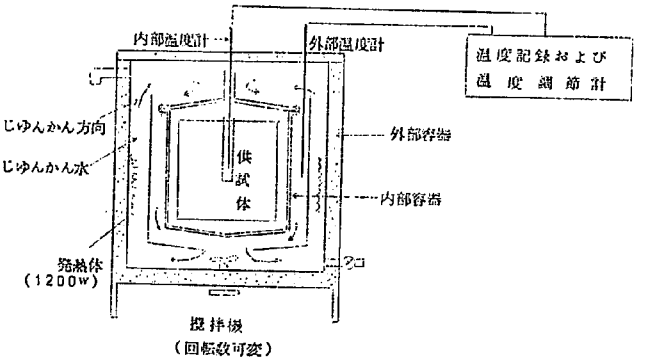
7. 断熱温度上昇

(A) 装置、装置の概略は図－５のとおりである。すなわち断熱作用をおこなう温度調節は、供試体中心と外周の温水中とに配置した抵抗温度計に温度差が生じたとき作動する電子式自動、温度調節計によつておこなわれる。温度記録は調節計に合併して設置された記録計に供試体温度ならびに、供試体と外周の水温との温度差が自記々録される。記録紙の巾は１８０mmで１００等分に目盛られている。記録される温度範囲は供試体温度の場合０～１００℃，温度差の場合，中央を０℃として左右に２０℃づつである。ヒーターは1.2Kwで３００W、６００W、1.2KWに切換え出来る。攪拌装置は回転数７０回／分～２８０回／分で連続可変できるものである。

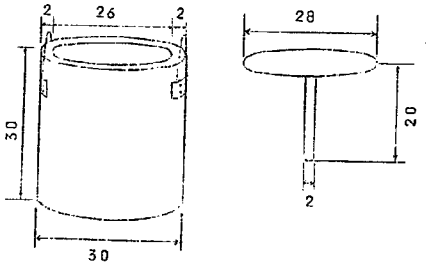
(B) 測定方法、供試体は図－６に示すような円筒形の缶にコンクリートを入れ密封する。中央の管にはコンクリート温度が速かに伝わるようにするため機械油を入れた。供試体製作後，この管の中に水銀温度計を入れて温度を読みとり始発時のコンクリート温度とした。つぎに，供試体を内部断熱容器に入れ蓋をしたのち供試体と同温の温水を外周に入れる。抵抗温度計はそれぞれ中心および外周の所定の位置におき，外部断熱容器の蓋をしたのち攪拌器を運転し試験を開始した。試験は１４日間連続運転し供試体の中心温度を連続記録

させた。

図－5


内部温度計
外部温度計
温度記録および
温度調節計
じゅんかん方向
じゅんかん水
供試体
外部容器
内部容器
発熱体
(1200w)
撹拌板
(回転数可変)

図－6


2
26
2
30
30
28
20
2

8. 試験結果

試験結果を示すと表－３，および４，図－７および８のとおりである。

表－３　熱的性質

試験項目 / 骨材料(%)	供体試/応	単位容積重量 (Kg/m³)	熱伝導率 (Kcal/m.h℃)	比熱 (Kcal/Kg℃)	熱拡散率 (m²/h)	熱膨張係数 ×10⁻⁶/℃
70	1	2447	2.11	0.24	0.0032	10.1
	2	2450	2.11	0.24	0.0032	9.6
30	1	2133	1.55	0.32	0.0022	11.0
	2	2128	1.50	0.31	0.0023	11.1
備考	材令２８日　熱膨張係数については２０℃～４０℃～６０℃の平均値 コンクリート試験温度２５℃					

表－４

断熱温度上昇					
経過時間（日）	コンクリート温度（℃）	上昇温度（℃）	経過時間（日）	コンクリート温度（℃）	上昇温度（℃）
0	2.0	0	7	47.8	27.8
1/4	22.8	2.8	8	48.5	28.5
1/2	26.0	6	9	49.0	29.0
1	31.0	11	10	49.5	29.5
2	37.5	17.5	11	50.0	30.0
3	41.5	21.5	12	50.3	30.3
4	44.0	24.0	13	50.6	30.6
5	45.8	25.8	14	50.8	30.8
6	46.9	26.9			

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８０～８５％程度であるので、これを参考にすると、小渋川産の骨材を使用したコンクリートは

熱伝導率　2.3 Kcal/m. h. ℃

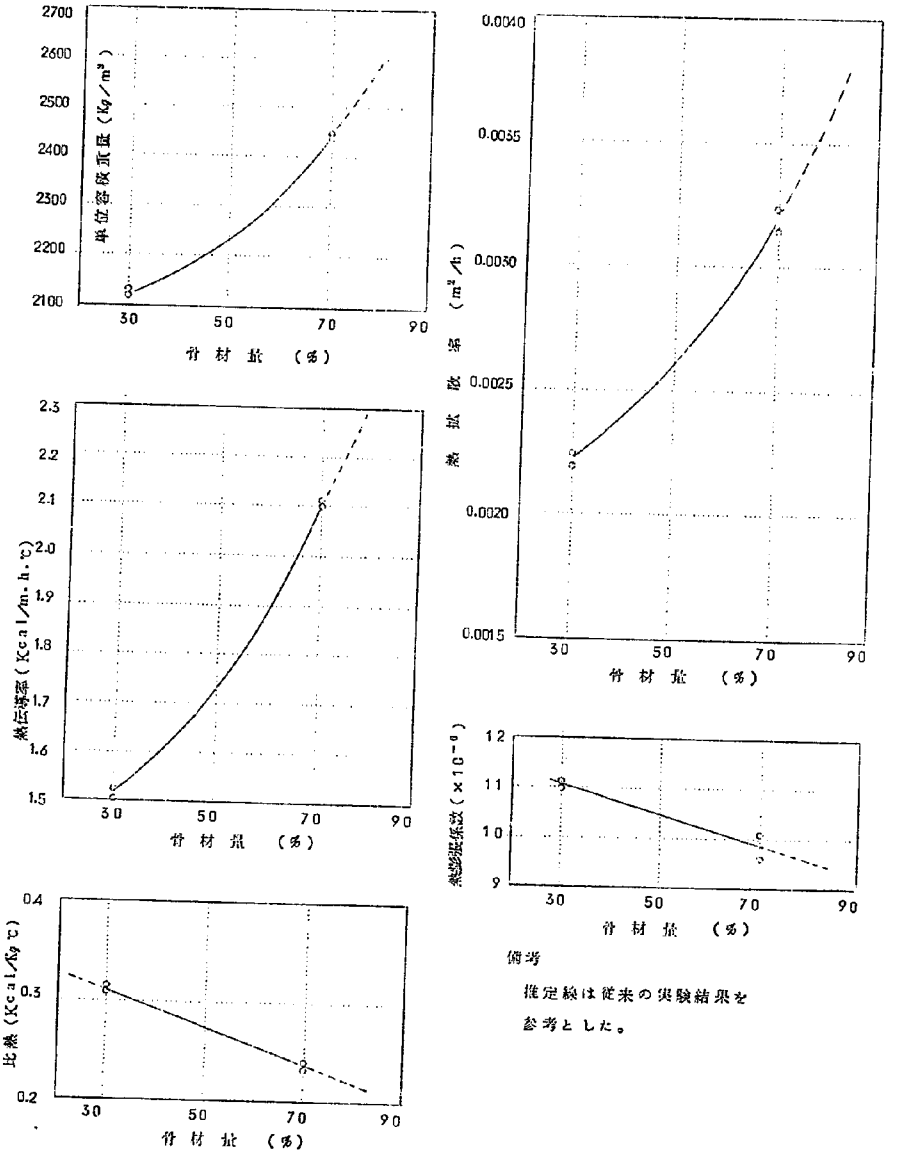
比　熱　0.22 Kcal/Kg℃

熱拡散率　0.0037 m²/h

熱膨張係数　9.5 × 10⁻⁶

となる。

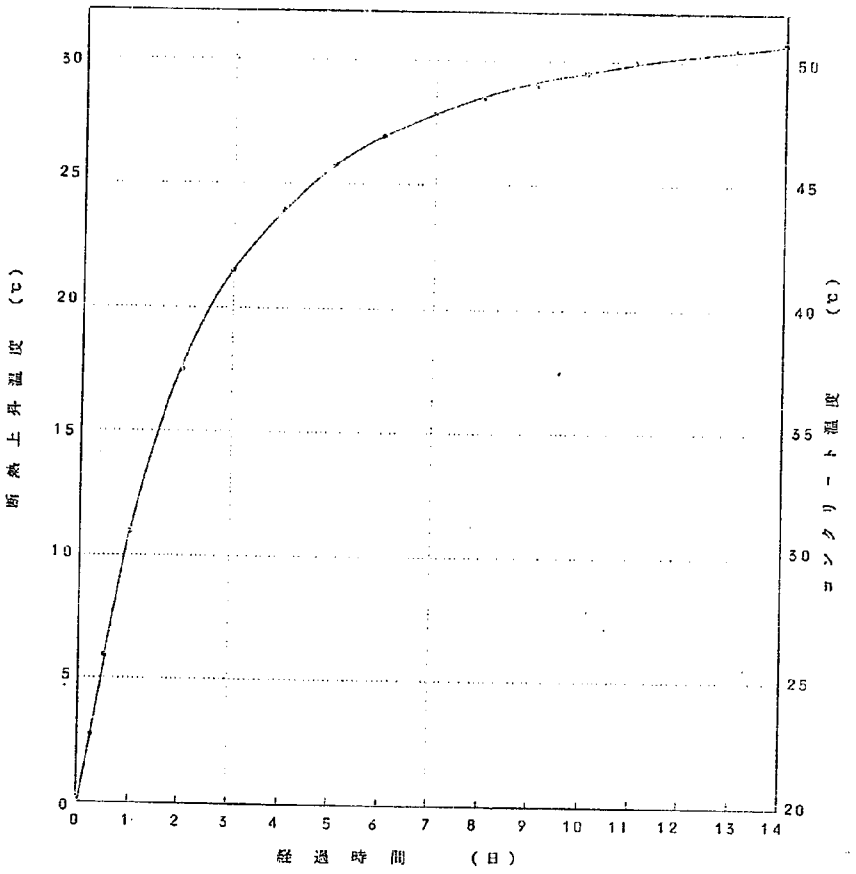
図－7　骨材量と熱的性質との関係



備考

推定線は従来の実験結果を参考とした。

図－8　断熱温度上昇曲線


断熱上昇温度（℃）
コンクリート温度（℃）
経過時間（日）
0
5
10
15
20
25
30
20
25
30
35
40
45
50
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14