

土 木 研 究 所 資 料

第 372 号

青蓮寺ダムコンクリート試験報告書

昭和43年 3 月

建設省土木研究所

青蓮寺ダムコンクリート試験報告書

本報告書は、青蓮寺ダム用コンクリートの熱的性質に関する資料を得るために行った試験結果である。

〔Ⅰ〕 試験項目

- 1) 熱伝導率
- 2) 比 熱
- 3) 熱拡散率
- 4) 熱膨張係数
- 5) 断熱温度上昇

1)～4)についての試験は、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ため、骨材料を30%、50%、60%および70%に選りこれよりダムコンクリートの熱的性質を推定することにした。

5)の試験については、単位セメント量を175kg、200kgおよび250kgの場合について実施した。

〔Ⅱ〕 コンクリートの材料および配合

使用した材料は、現場より送付されたもので、セメントは住友社中熱ポルトランドセメント、骨材は碎石、砕砂である。

これら材料の比重および吸水量は、表-1のとおりである。

表-1

	比 重	吸水量(%)	粗 粒 率	備 考
セメント	3.21	—	—	中庸熟セメント
細 骨 材	2.63	0.91	2.86	土研で実施した値
粗 骨 材	2.65	0.57	—	〃

コンクリートの配合は、試験1)～4)については、表-2, 5)については、表-3に示すとおりのものである。

表-2

骨材料 割合	水セメン ト比割合	細骨材 率割合	単 位 量 (kg)					備 考
			セメント	水	細骨材	粗 骨 材		
						5～20mm	20～40mm	
30	50	100	862	431	789	—	—	モルタル
50	50	100	616	308	1315	—	—	モルタル
60	50	50	492	246	789	397	397	
70	50	42	370	185	774	538	538	

表-3

水セメン ト比割合	細骨材 率割合	単 位 量 (kg)						備 考
		セメント	水	細 骨 材	粗 骨 材			
					5～20mm型	20～40mm型	40～60mm型	
50	35	175	87.5	792	370	740	370	
50	35	200	100	772	361	722	361	
50	35	250	125	734	343	686	343	

〔Ⅲ〕 供試体の製作

試験 1) ~ 4) の場合の練りまぜは、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、水を加えてから再び 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 ($\phi 20\text{cm} \times 40\text{cm}$) はコンクリートを 4 層に分けて打込み、各層 3 ケ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 ケ所、上層 4 ケ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養生した。

試験 5) の場合は、手練りにより、所定量のセメントと細骨材を練りま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、容器に振動を与えて締固めた。締固め後は蓋を半田付けして密封した。

〔Ⅳ〕 試験方法

試験 1) ~ 3) (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より求めた。

試験 4) (熱拡散率、直接法) 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、それによって生じた長さ変化を測定し、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。

〔V〕 試験装置ならびに測定方法

1) 熱伝導率

A) 装 置

装置は図-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。

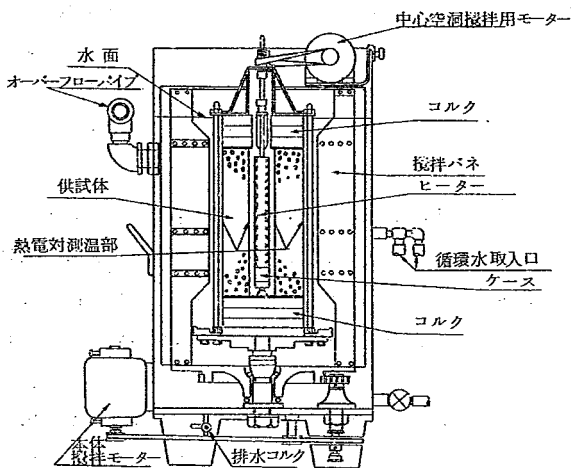


図-1 コンクリート熱伝導率測定装置

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枚の攪拌ヘ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5,000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260Wの電力を供試体内部、外部が所定の温度差になるまで与え、その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。

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，つぎの式によって計算する。

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

ここに K = 熱伝導率 (Kcal/m.h.°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 (m)

θ_a = 半径 a における温度 (°C)

θ_b = 半径 b における温度 (°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3.86Kcal/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-2に示すような外部容器，内部容器，加熱装置，攪拌装置，ベッグ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36cm，高さ66cmの円筒型容器で，断熱材（カボック），および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。

加熱装置は，100V，230Wの棒状で浸水可能のヒーターで，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回/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。

温度上昇はベグ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。

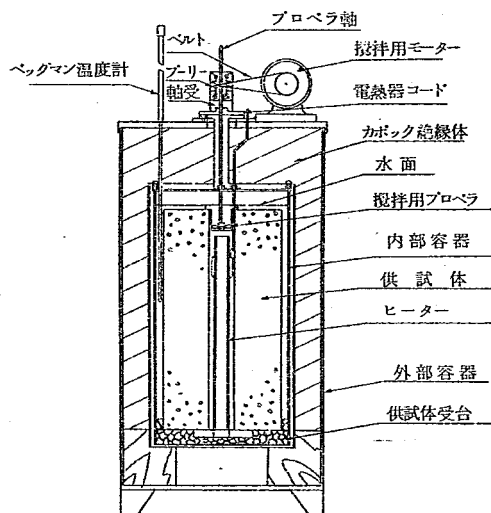


図-2 比熱測定用カロリメーター

(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。ヒーターと撹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って外部の蓋をする。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っ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 - 3 は比熱試験の典型的な温度曲線である。

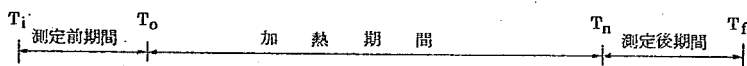
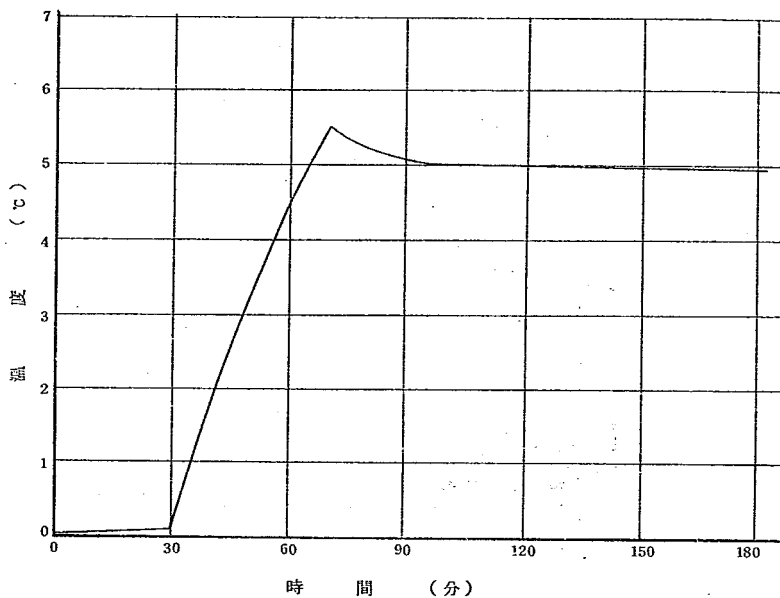


図 - 3

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。

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

ここに n = 加熱期間中の 5 分間隔に測定した数

Ca, Cb = 前期および後期期間中の 5 分間隔の測定に対する平均変化

T_a, T_b = 前期および後期期間中の平均温度

$$Ca = \frac{T_o - T_i}{6} \quad Cb = \frac{T_f - T_n}{6} \quad Ta = \frac{T_i + T_o}{2} \quad Tb = \frac{T_n + T_f}{2}$$

3) 熱放散率

供試体は直径 20 cm, 高さ 40 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 15°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)。確度は測定範囲の ± 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。

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

ここに θ_1 = 測定開始時における供試体温度 ($^{\circ}\text{C}$)

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 ($^{\circ}\text{C}$)

θ_w = 水槽の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

h = 熱拡散率 (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, $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 40\text{cm}$ 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, 所定の材令まで養生したのち, 20°C の恒温水槽に入れ, 3 時間経過したのち測定し, さらに 20°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 $40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ においても実施し, その平均値を試験結果とした。

5) 断熱温度上昇

A) 装 置

装置の概略は図-4 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っておこなわれる。

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記録される。記録紙の中は 180° 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 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$, 温度差の場合, 中央を 0°C として左右に 20°C ずつである。ヒーターは 1.2KV で 300W , 600W , 1.2KV 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-5に示すような円筒形の罐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。

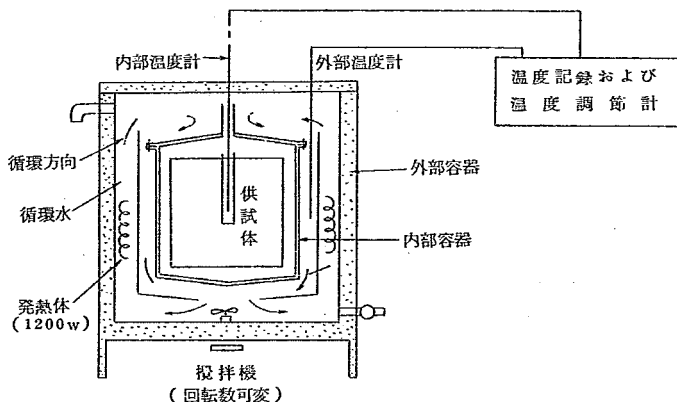


図 - 4

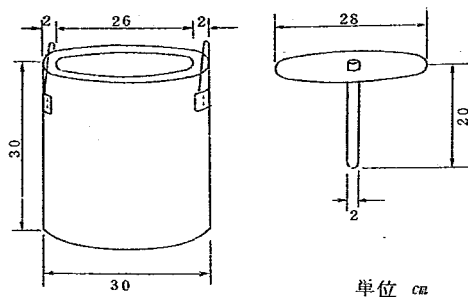


図 - 5

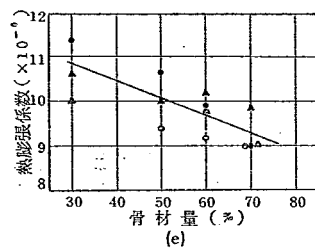
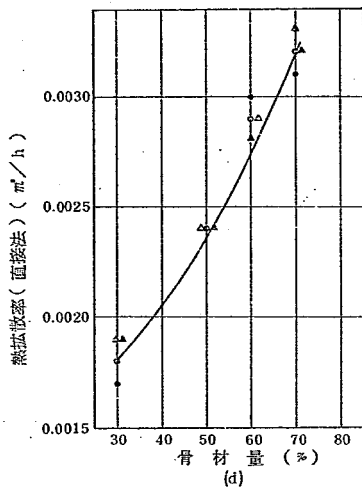
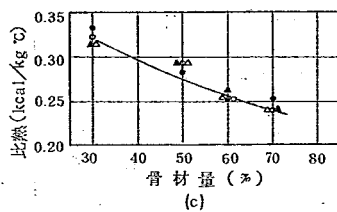
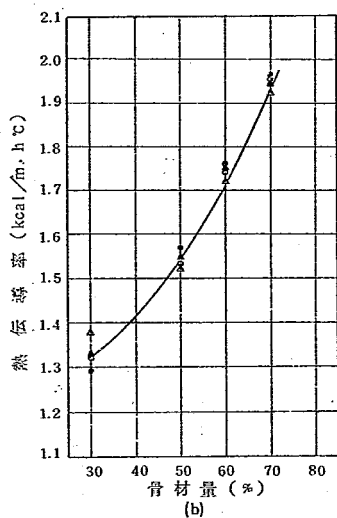
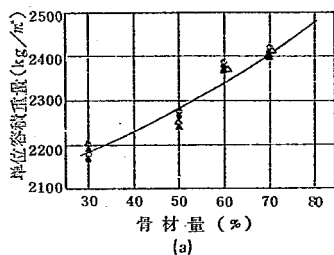
6) 試験結果

試験結果を示すと、試験 1) ~ 4) については、表 - 4, 図 - 6(a), (b), (c), (d), (e) および 7 のとおりである。

試験 5) については、図 - 8, 9 のとおりである。

表 - 4

骨材量 (%)	供試体 番 号	材 令 (日)	単 位 容 積 重量(kg/m ³)	熱 伝 導 率 (Kcal/mh°C)	比 熱 (Kcal/kg°C)	熱 拡 散 率 (m ² /h)		熱膨張係数 (X10 ⁻⁶)
						間 接 法	直 接 法	
30	1	7	2165	1.32	0.33	0.0018	0.0017	11.4
		28	2180	1.29	0.32	0.0018	0.0018	歪計絶縁不良
	2	7	2195	1.33	0.31	0.0020	0.0019	10.7
		28	2210	1.38	0.31	0.0020	0.0019	10.0
50	1	7	2265	1.57	0.28	0.0025	0.0023	10.7
		28	2275	1.53	0.29	0.0023	0.0024	9.4
	2	7	2240	1.55	0.29	0.0024	0.0024	10.0
		28	2250	1.52	0.29	0.0023	0.0024	歪計絶縁不良
60	1	7	2380	1.76	0.25	0.0030	0.0030	9.9
		28	2385	1.74	0.25	0.0029	0.0029	9.2
	2	7	2360	1.72	0.26	0.0028	0.0028	10.2
		28	2370	1.75	0.25	0.0030	0.0029	9.8
70	1	7	2410	1.96	0.25	0.0033	0.0031	9.0
		28	2415	1.95	0.24	0.0034	0.0032	9.0
	2	7	2405	1.94	0.24	0.0033	0.0032	9.9
		28	2415	1.92	0.24	0.0033	0.0033	9.0
備 考	熱拡散率(直接法)は、冷却法によった。							
	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	材令
●	1	7
○		28
▲	2	7
△		28

図 - 6

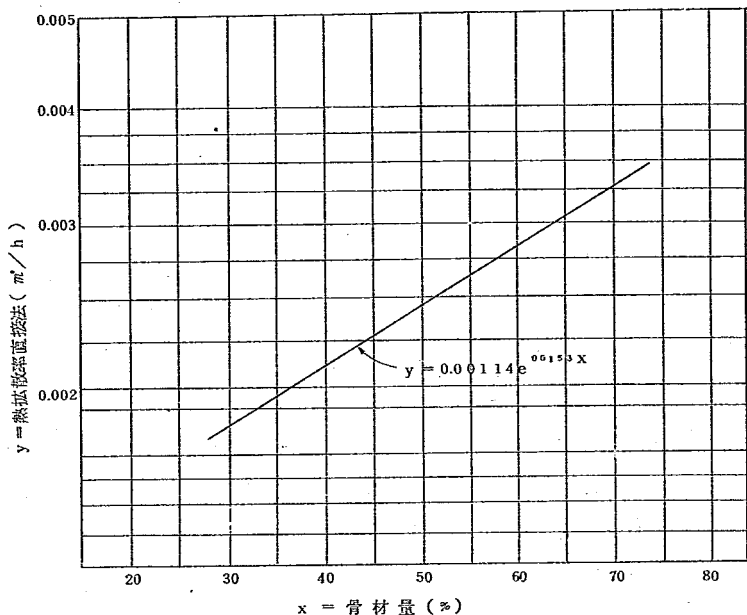


図 - 7

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青蓮寺ダムのコンクリートは

熱 伝 導 率	2.2 kcal/m.h. °C
比 熱	0.22 kcal/kg °C
熱 拡 散 率	0.0038 m ² /h
熱 膨 張 係 数	8.8×10^{-6}

となる。

この値は、骨材量80%と仮定した値である。

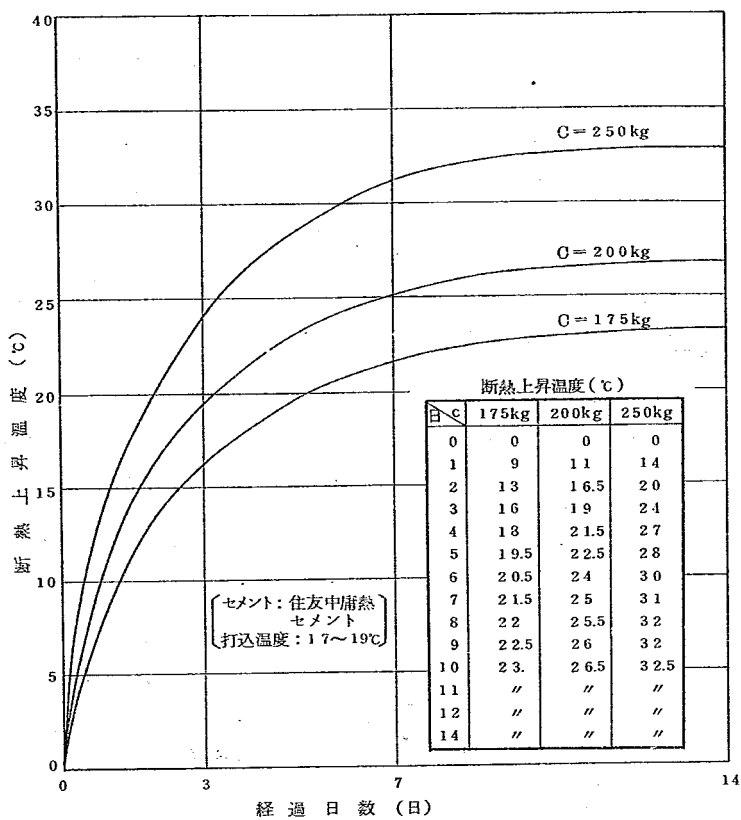


図 - 8

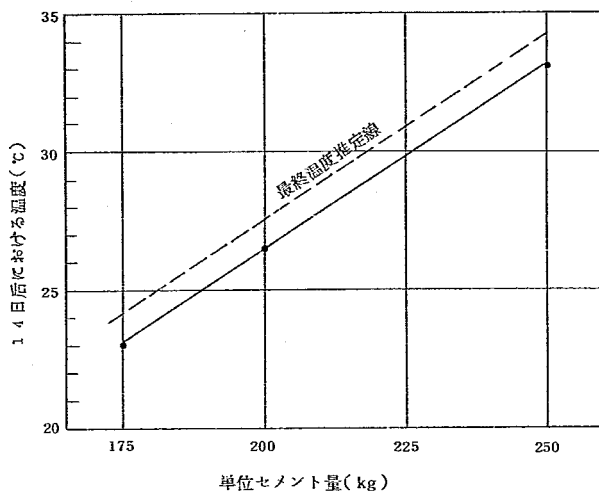


図 - 9