



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	含水を異にする軽石コンクリートの熱伝導率値について
Author(s)	西, 忠雄; Nishi, Tadao
Citation	北海道大學工學部研究報告, 27, 67-82
Issue Date	1961-11-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40689
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_67-82.pdf



含水を異にする軽石コンクリートの 熱伝導率値について

西 忠 雄

The Thermalconductivity of Pumice-Aggregate Lightweight Concrete Hardened in Varying Water Content

Tadao NISHI

Abstract

The thermalconductivity of lightweight concrete has been measured by several workers. However, little attention has been paid to the water content. The present paper deals with experimental work in the relationship between thermalconductivity and water content and a working chart has been set forth.

The resulting chart obtained, indicates that if the specific gravity is known at 100% saturation, the thermalconductivity of various conditions may readily be obtained.

The conductivity of lightweight concrete of various values of density, composed of pumice aggregates, was measured by hollow cylindrical test method.

1. 研究の目的

軽石コンクリートに限らず軽量の材料は熱伝導率値が小で、構造用コンクリート中でも軽量コンクリートの夫は小とされる。又之について計測をされた例も多々ある。然し、実際には含水の存在により此の値も浮動する。本研究では、北海道産軽石骨材を用いて種々の比重のコンクリートを作成し、且つ夫の含水を異にする場合に熱伝導率が如何様になるか、出来上りコンクリートの比重、強度も如何様に應對するかを検することを目的としている。

2. 実験の計画と方法

2-1. 実験の計画

実験は大別して3部より成る。

(a) 熱伝導率測定

供試体は、中空円筒体とし外径：15 cm

内径：5 cm、肉厚5 cm、長さ約30 cmとし内部は底のある金属円筒で之に水を入れ加熱攪拌、加熱にはニッケローム線を封じ込んだ真鍮製内筒を用い熱源とした。外周は水槽水によ

り定温とし(水道水に連なる)攪拌を行ない温度の上下差違をなくす様努める。熱は内円筒より5 cm 厚のコンクリートを介し外部に流れ、その定常状態に至るを待つて熱伝導率を求める。

熱源体は交流電流による(詳細後述)。

供試コンクリートの比重と含水の程度		含水程度
目標とする比重 (出来上コンクリート)		
2.3 (対比用普通コンクリート)	}	飽水状態 半乾状態 乾燥状態
2.0		
1.9		
1.8		
1.7		
1.6		
1.5		
1.4		
1.3		
1.2		
1.1		
1.0		
ブロック用振動詰1種		

* コンクリートの含水状態については各個比重のものにつき総当たりとす。

** コンクリートは流込コンクリートスランプ19~21 cm とするもコンクリートブロック用として、振動詰即脆性コンクリート1種を加えた。

(b) 放水試験

試験体寸法を径10×40 cm とし(a)熱伝導率測定試験体作成と同一バッチにて作成各2本宛とす。湿度略60% 温度約20°C の恒湿室に垂直に立て試体の放水乾燥に任せ毎日定時に之の重量を測り変化をみる。

(c) 強度試験

上記試験料と同一バッチの試体により1週及び4週の圧縮強度をみる。

2-2. 実験の方法

(1) 供試コンクリート

(a) コンクリート用素材

i) セメント

セメントはすべて普通ポルトランドセメント1種とする。日本セメント上磯工場製普通ポルトランドセメントによつた。JIS R 5201 の試験結果は次の如し

比 重	粉 末 度 (ブレン)	フ ロ ー	強 度					
			曲 げ 強 さ kg/cm ²			圧 縮 強 さ kg/cm ²		
			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
3.14	3032	204	29.7	44.5	69.4	126	229	429

ii) 骨材, 混和材等

主体は流し込みコンクリートであるので、之にはAE剤(Darex)を混入した。

種々の比重値を作るため粗細骨材には、見掛比重の種々のものを用意した。又一部にはパーライト(三井金属鉱業製)フライアッシュ(宇部興産社製)等をも混入した。此等骨材、混和材等を一表に示せば表 2-1 の如くなる。

表 2-1 用いた骨材、混和材とコンクリートの比重等

骨材又は混和材	産地又は製造所名	用いたコンクリートの比重	摘要
	広島 (Hc 札幌郡広島村)	2.31, 2.01	普通砂利
	” (Hf 同上)	2.31, 2.01, 1.86, 1.62	普通砂
	湧払 (Yf 湧払村)	1.72, 1.54, 1.71	普通砂
	千歳 (Cc 千歳市)	2.01, 1.86, 1.77, 1.71, 1.09	軽石
	” (Cf ”)	1.80, 1.50	軽砂
	小清水 (Sc 小清水町)	1.62, 1.36	軽石
	” (Sf ”)	1.36	軽砂
	鶴居 (Tf 鶴居村)	1.72, 1.42, 1.25, 1.09	軽砂
	混合 (Mc 鶴居, 社台, 中斜里)	1.72, 1.54, 1.42, 1.25	軽石
人工骨材	パーライト (三井金属, D)	1.54, 1.25, 1.09	
”	ポリスチロール一次発泡粒	1.09	
混和材	フライアッシュ (宇部社)	1.71, 1.36	
A E 剤	ダレックス	全流込コンクリートに	

混合骨材 Mc は鶴居, 社台, 中斜里各産地のもの略等量宛の混合

(b) コンクリートの調合

既述の如くコンクリート調合の方針としては、流込みコンクリートには全部 AE 剤 Darex を 20 cc/50 kg セメント混入スランプは 19~21 cm, 又調合の基準として 1 m³ 当り絶対容積につき次の値をとった。

セメント	細骨材	粗骨材	水	W/C	空気量
112	294	359	195	0.60	40
単位 l/m ³ , (即ちセメントは約 350 kg/m ³)					

コンクリートの調合上あらかじめ実験又は推算によりおいた骨材、混和材等の見掛比重は、表 2-2 の如し。

以上の設定下に作成したコンクリートは約 25 l/1 バッチで之を熱伝導率供試体 1, 圧縮強度試験用供試体 2 本を夫々作った。尚別にコンクリートブロック用振動成型機により同様熱伝導率測定試体 2 本と圧縮強度試体 (材令 28 日) 3 本を作った。此等供試コンクリートの実調合表を作成せば表 2-3 の如し。

表 2-2 骨材、混和材の見掛比重

骨 材 別	記 号	絶乾比重	飽水比重	含水率 %	摘 要
粗 骨 材	Hc	2.52	2.62	4	普通砂利
	Cc	1.20	1.54	27.4	軽 石
	Sc	0.87	1.22	40.0	"
	Mc	0.77	1.47	92.3	"
細 骨 材	Hf	2.56	2.64	3	普通砂
	Yf	2.72	2.73	0.5	"
	Cf	—	2.29	—	軽 砂
	Sf	—	1.45	—	"
	Tf	—	1.55	—	"
其 の 他	P	—	0.62	—	パーライト
	F	2.40	—	—	フライアッシュ

表 2-3 供試コンクリートの調合表

番 号	セメント量 (kg/m ³)	細 骨 材 (kg/m ³)	粗 骨 材 (kg/m ³)	有効水量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	出来上り 比 重	スランブ (cm)
No. 1	380	823 (Hf)	1005(Hc)	220.0	58.0	2.312	22
No. 2	338	874 (Hf)	292 (Hc) 401 (Cc)	189.3	55.7	2.013	19.5
No. 3	364	780 (Hf)	570 (Cc)	196.5	55.6	1.865	20.5
No. 4	345	795 (Hf)	580 (Cc)	206.8	60.0	1.860	21.0
No. 5	361	652 (Cf)	568 (Cc)	205.8	56.6	1.720	*1 6.0
No. 6	320	795 (Yf)	518 (Mc)	192.0	59.8	1.717	22.0
No. 7	337	393 (Tf) 346 (Yf) 65 (F)	478 (Cc)	177.5	52.6	1.710	19.5
No. 8	295	635 (Hf)	525 (Sc)	184.0	60.0	1.620	*1 14.0
No. 9	298	385 (Cf) 198 (Yf) 576 (P)	432 (Mc)	260.7	87.4	1.541	20.5
No. 10	331	463 (Tf)	534 (Mc)	197.5	59.7	1.423	19.5
No. 11	336	366 (Sf) 67 (F)	417 (Sc)	201.7	60.0	1.360	*1 13.5
No. 12	320	164 (Tf) 95 (P)	475 (Mc)	297.8	93.0	1.245	21.5
No. 13	315	80 (Tf) 123 (P)	**2 242 (Cc) 約3 (Sp)	384.2	122.3	1.088	18.0
No. 14						1.720	振 動 詰

*1: は何れもスランブ予定値に達せざるも粗骨材の分離がみられ始め水量等を抑え之に止めた。

*2: 此の外ポリスチロール (P.S.) 一次発泡粒を 158 ℓ/m³ (絶体容積) を混入 (P.S. は非常に軽量 (比重 0.02 以下) である。)

(2) 熱伝導率供試体の作成

コンクリート試験用鉄製モールドに内円筒を装填之に各種コンクリートを流入、あらかじめ貼付した銅コンスタンタン接点を直径方向に対面 1 対計 2 点を円筒の高さの中央部に配し、コンクリートを以て固める。図 2-1 の如し。

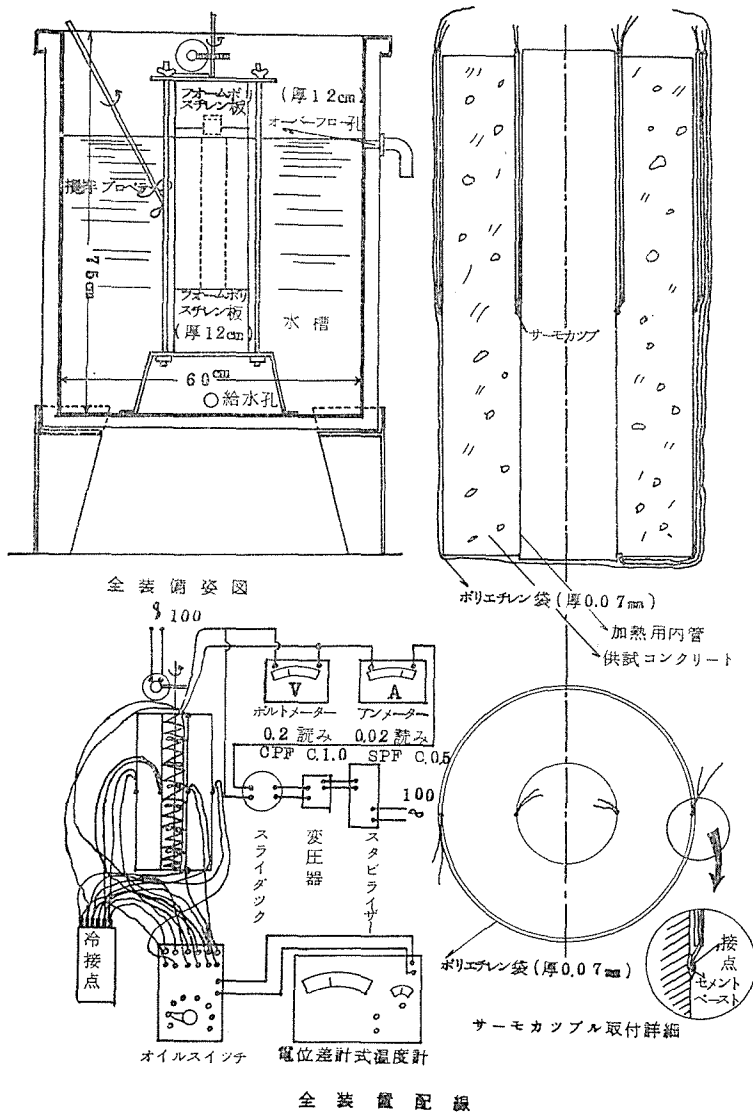


図 2-1 熱伝導率測定装置の概要

(3) 放水試験体並に放水性の試験方法

供試体寸法は径 10×40 cm の細長い柱形。之を水中養生 4 週の後取出し軽く湿布を以て拭い以後、温度約 20°C 関係湿度約 60 % の室に径 9 mm の棒鋼 2 本宛の上に直立して静置させ、自然の水分の蒸発に任せ、毎日定時に重量を測る。一方同一調合コンクリートの試体を飽水後乾燥器を以て乾燥絶乾に至らしめ之を基として、放水試験体の絶乾より含水の程度を算定日々重量を含水率(容積)の変化値に換算し、熱伝導率用試体の含水状態表示の乾燥程度の目途とするに資した。

(4) 熱伝導率測定装置と方法の詳細

測定の原理は直接法による。交流電源を変圧器により低下させ 12~28 Volt とし (出力 9~38 Watt) 約 20 オームの電熱線 (ニクローム線: 之は発熱温度の変化により抵抗値の変化浮動をおそれたが、常温より上昇の際僅かに認められたのみで測定中、実際上のトラブルは起らなかった) よりの発熱をコンクリートを通じ放射状に外面を通じ恒温水槽中に流し、内外面温度が定常となった時の温度を夫々測定次の式により熱伝導率(λ)とする。

$$\lambda = \frac{q \cdot \{\log e(b/a)\}}{2\pi \cdot L \cdot (\theta_a - \theta_b)} \quad (1)$$

茲に $q = A \cdot V \times 0.8599$ $A =$ 上記熱源電流 (Amp)

$V =$ // 電圧 (Volts)

$b =$ コンクリートの外径 = 15 cm

$a =$ // 内径 = 5.5 cm

$L =$ // 長 = 29.7 cm

$\theta_a =$ // 内測温度 °C

$\theta_b =$ // 外測 // °C

温度の測定は銅—コンスタンタン線 (径 0.3 mm) 熱電堆による。内外温は図 2-1 にも見られる如く直径方向に左右夫々 2 点計 4 点とし、内管の上下部の温度差を測定するため別に内管真際に上下各 1 点のジャンクションを設ける。即ち設置サーモカップルによる測温は計 6 点とし此の外水槽水温を測定する。測定の温度は 19°~27°C (内外面平均温度で) 24°C 位の場合が最も多い。内管内水の攪拌は充分行なうべくプロペラの枚数回転速度を増す様努めた (r.p.m 600 位)。測定装置並に細部は夫々図 2-2 並びに 2-3 にみられる。次に攪拌装置より発生及び逸散する熱量の補償値を求めるため別に発熱線に電流を通ぜずして攪拌のみを行ない内部温度の上昇を検討した。

方法: 普通の測定を全試体につき行って後見掛の熱伝導率の高いものと低いものにつき上記の方法を採り次の値を得た (攪拌運転の時間は略同様 (6~7 時間要す))

見掛 λ 値の小の場合

$$q_v = 0.685 \text{ kcal/h} \quad (\text{攪拌のみ})$$

見掛 λ 値の大の場合

$$q_v = 0.828 \text{ kcal/h} \quad (\text{同 上})$$

平均して

$$q_v = 0.756 \text{ kcal/h} \quad (2)$$

(2) を内管内攪拌に伴う発熱 (プロペラと水の摩擦に基く) と軸を通り室内へ放出する熱の和として見込むこととする。

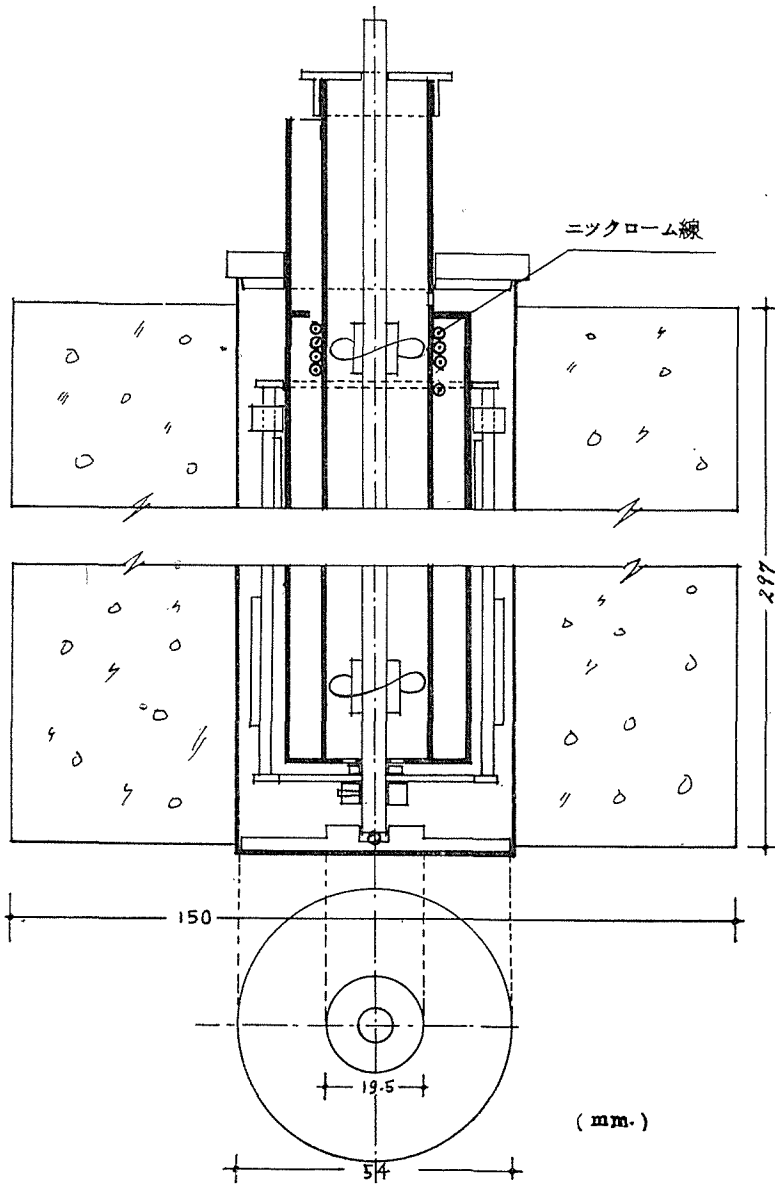


図 2-2 供試体の装填姿

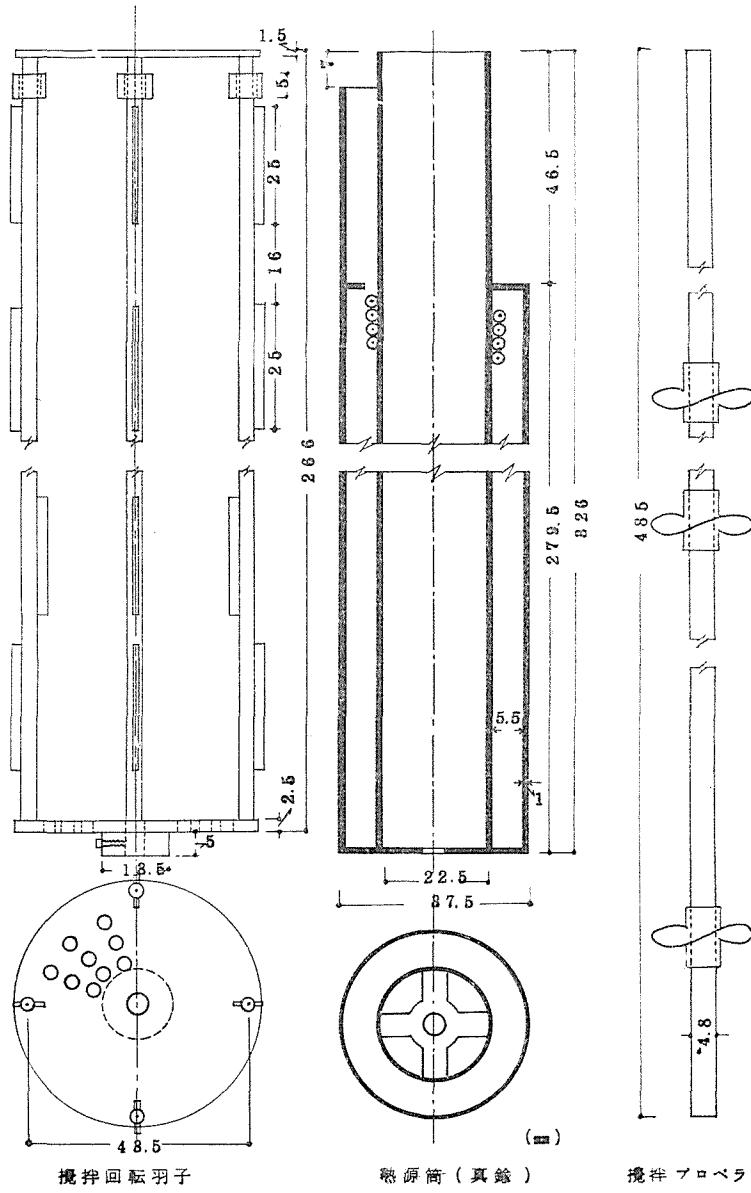


図 2-3 供試体内筒内装置器具

即ち

電流計の読み(A)と電圧計(V)よりする q の値に(2) $q_v=0.756 \text{ kcal/h}$ を足し $(q+q_v)$ を q の代りに入れ式(1)より λ を求める。

(5) 熱伝導率測定に於ける含水の程度について

既述の如く熱伝導率は之をコンクリートの含水率を大略3様の状態におく様計画した又之を確保するため採った方法について述べる。

状態別	方法
飽水状態	各供試体を水中約3週間養生後、サーモカップル(外側)の取付を夫々行ない、之を試験水槽水中に設置測定に供す、此の場合も他の状態の測定法に準ずるため試体の外側はポリエチレンフィルムを以て覆っておく。
半乾状態	目標とする含水程度については、次の乾燥状態と飽水状態との中間位とした。即ち水中養生3週後自然乾燥に任せ、重量を測定して目的の含水状態に至るを待ち、ポリエチレンチューブ(一端封印厚0.07mm)に静かに入れ一日を経て供試する(コンクリート内部の水分の均分を計るため)。
乾燥状態	別に行なっている放水試験の28日放水に於ける含水程度(図3-1)に乾燥を待ち又は乾燥器による強制乾燥操作も併せ行なう(実際には此の目標値以下の含水まで過乾燥されたものもあったが)此の場合も前同様ポリエチレンチューブに封じコンクリートの残存水分の均分を計り24時間放置の後供試する。

表 3-1 熱 伝 導 率 値 等

コンクリート 番号	飽 水 時			半 乾 時			乾 燥 時			圧 縮	
	λ	比 重	含水率 %	λ	比 重	含水率 %	λ	比 重	含水率 %	7 日	28 日
No. 1	2.250	2.320	20.80	2.187	2.290	18.0	2.000	2.250	13.72	97.2	202.0
No. 2	1.620	2.050	27.20	1.485	1.967	20.0	1.210	1.890	12.46	89.5	195.3
No. 3	1.370	1.915	30.40	1.132	1.802	19.71	1.000	1.735	12.55	116.0	208.0
No. 4	1.328	1.884	31.70	1.162	1.775	20.70	0.955	1.692	12.40	94.6	185.2
No. 5	1.055	1.805	36.20	0.822	1.688	23.50	0.562	1.521	8.34	85.8	143.3
No. 6	1.035	1.752	43.20	0.823	1.545	22.80	0.571	1.387	7.10	69.2	104.0
No. 7	1.032	1.745	38.20	0.824	1.578	21.40	0.594	1.452	8.59	96.9	173.0
No. 8	1.069	1.625	39.80	0.849	1.423	20.90	0.634	1.300	8.50	59.4	96.9
No. 9	0.905	1.583	48.0	0.630	1.315	21.4	0.384	1.164	6.25	30.6	64.4
No. 10	0.825	1.460	56.20	0.494	1.125	22.6	0.299	0.954	5.42	35.2	69.0
No. 11	0.765	1.390	47.90	0.486	1.105	18.20	0.300	0.969	4.40	52.5	83.7
No. 12	0.720	1.312	53.10	0.379	0.932	15.15	0.247	0.835	5.60	20.4	39.1
No. 13	0.602	1.140	41.1	0.366	0.908	17.36	0.222	0.747	1.32	6.9	14.7
No. 14	0.860	1.670	22.2	0.578	1.545	7.90	0.521	1.490	1.56	—	105.0

1. λ =熱伝導率 Kcal/m, h^oC, 含水率容積含水率
2. 測定の温度(平均)は 19~27^oC 24^oC 位の場合最多

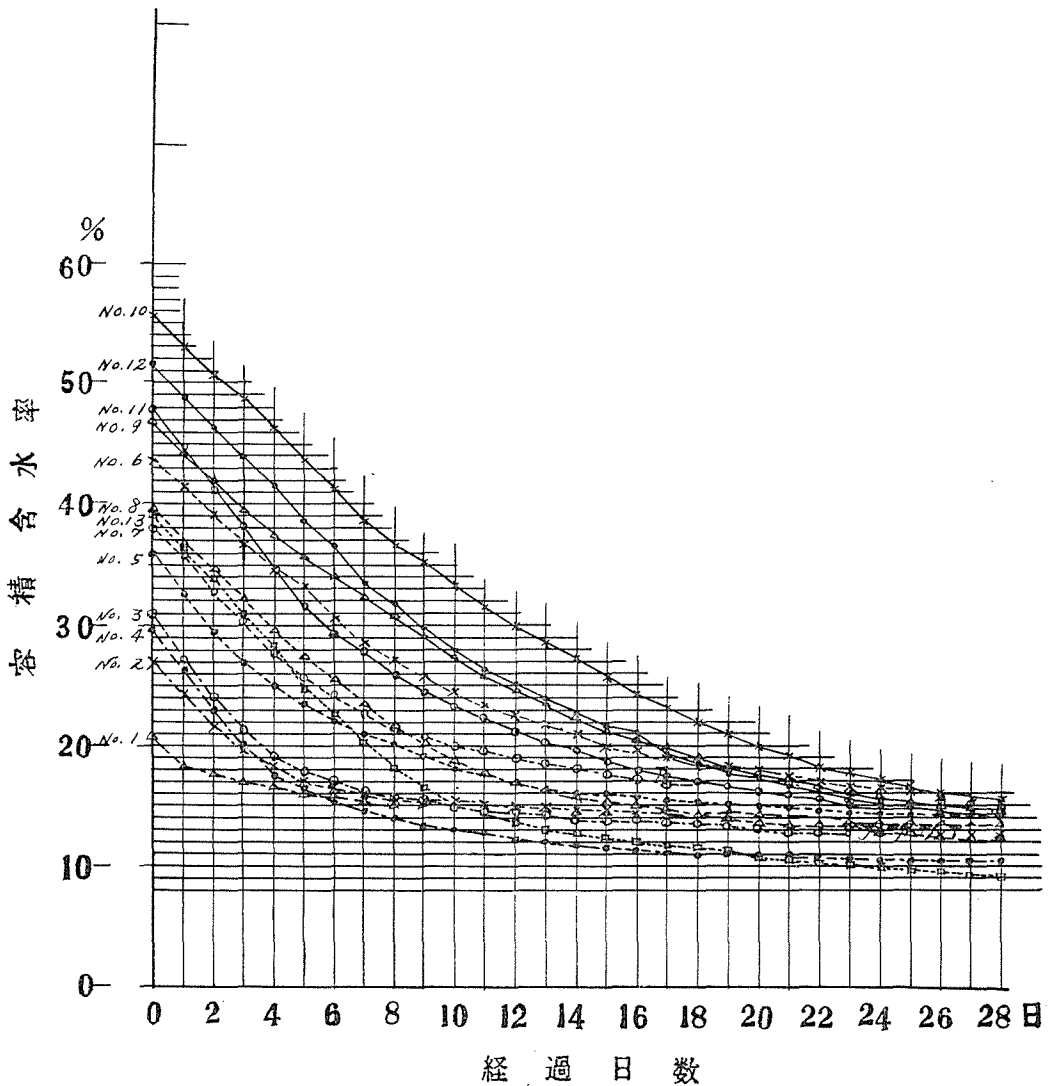


図 3-1 コンクリート含水率の日変化

3. 実験の結果

(1) 放水試験の結果

既述の如く温度 20°C, 湿度 60% の室内に静置した放水試験体の飽水時重量を出発として 2-2, (3) に記述の如く求めた容積含水率による日々変化を図示すれば図 3-1 の如くなる。

(2) 熱伝導率値

上記の方法により得た熱伝導率値 (λ) は表 3-1 の如く, 併せて測定時の比重, 含水率 (容積) 並に 1 週及び 4 週水中養生のコンクリートの圧縮強度 (3 ケの平均) を附記した。 λ 値とコンクリートの比重値を対照させプロットすれば図 3-2 の如くなり, 含水の状態別にセミログ紙

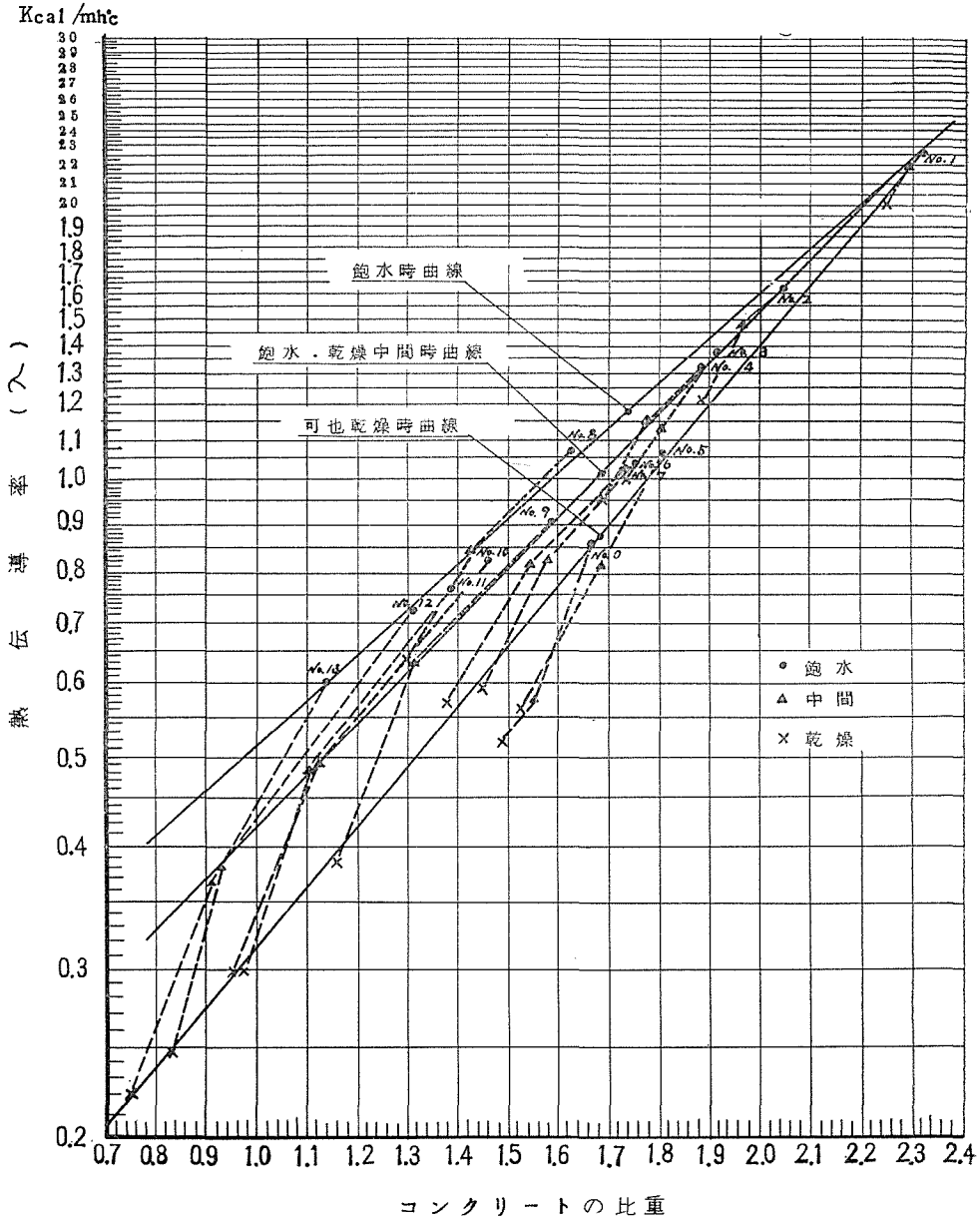


図 3-2 コンクリートの比重と熱伝導率

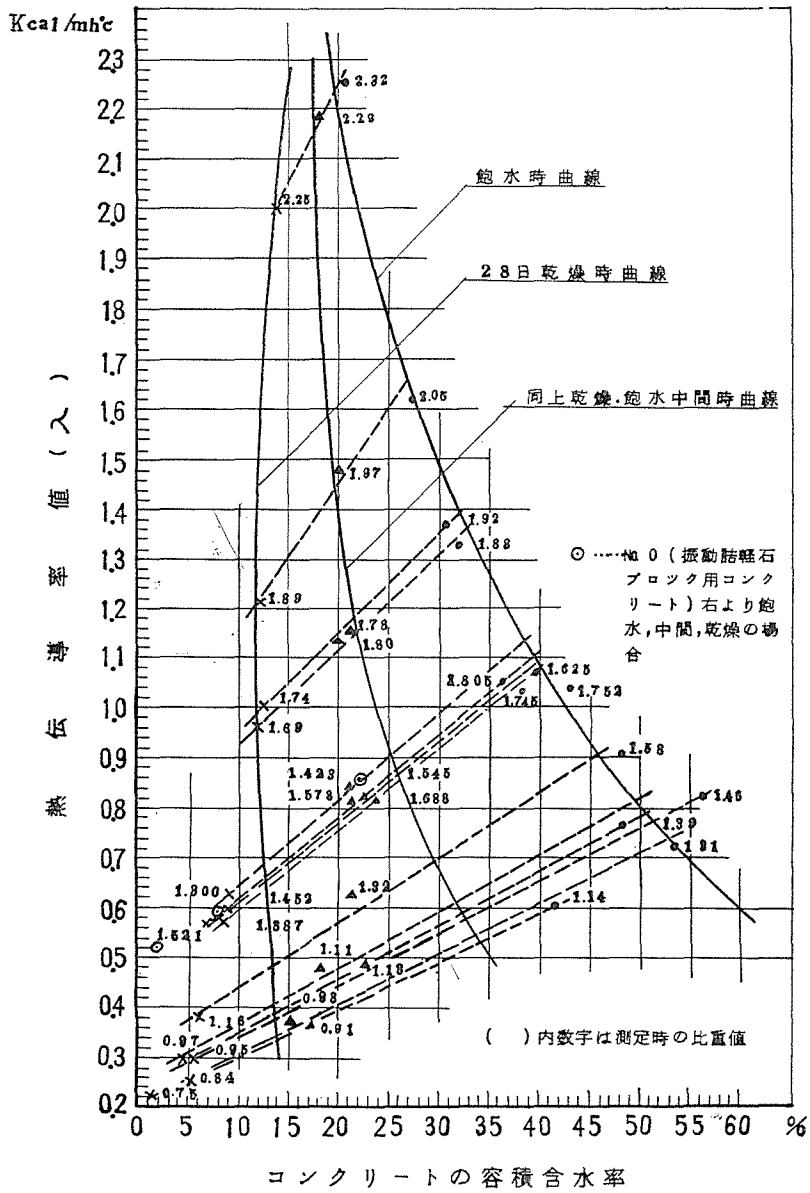


図 3-3 コンクリートの含水率と熱伝導率 (実験点)

上に略々直線を以て示せる様である。次にコンクリートの容積含水率と λ 値を対照させると図3-3の如くなる。此図の特長は同一コンクリートの含水率別 λ 値は何れも略直線をなし又此の直線は略一点に向って集るとみなされることである。図の3本の曲線は含水状態に応じ夫々右より飽水状態時、半乾状態時、及び可成乾燥の時(図3-1の28日放水時の含水率程度)の含水率 λ を決定づける曲線である。

(3) 測定時上下部の温度差は、極力少なくすべく努めたが、中央部定常値と見做される時期に於て、略々 $1.0\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ は免れなかつた様である。方法上の限界の1一つであろう。 λ 値への影響の精細は検討していない。

4. 結果に対する考察

(1) コンクリートの λ 値を比重より求めるには当然のこと乍ら、その含水状態別に図3-2の如きセミログ紙の3本の直線を辿ることにより求めることが出来る。但し之はスランプ19~21cmの流込みコンクリートについてであり、振動詰コンクリート(ブロックの如き即脱性のコンクリート)では又此の直線を異にすると考えられる。ブロック用コンクリートは流込コンクリートに比し同じ比重値に応じ λ は低値に出る。スランプ小の2~3の例についても同一比重に応じる λ 値は他のスランプ大のものより僅か乍ら低値に出る様である。

(2) 図3-3より飽水時コンクリート比重(又は出来上りコンクリート比重の3~5%増の値として)を知りその飽水時、半乾時及び乾燥時の夫々の λ 値を求める図を設定出来ると考え図4-1を作図した。此の図の右の縦軸は図3-3の飽水時比重を略々当筈の様スケール付けしたもので、実用上の適用可能と考えられる。之によれば図の矢印の如くして簡単に状態別 λ 値を求めると共に3状態別の容積含水率も大略値として求め得よう。但し(1)と同様ブロック用コンクリート、スランプの小のコンクリート或は軽石ならざる特殊軽量骨材による軽量コンクリートなどの場合は此のままは当筈らない。3本の曲線並に右の縦軸スケールを改めることになるう。

(3) 表3-1の強度値を併せ参照すれば、実用上の軽量コンクリートとしての軽石コンクリートの用途がたつであろう。

No.12, No.13 辺は耐力用に不向であろう。此の表から、軽石を骨材とする軽量断熱性コンクリートの実用限度は大凡

	比 重		λ 値	
	(飽水)	(乾)	(飽水)	(乾)
構 造 用 (耐 力 用)	1.4	1.0	0.77	0.30
" (非耐力用)	1.3	0.9	0.72	0.25

尚、非耐力用として、最近の新しい気泡等混入する軽量コンクリート一般としては、強度値も可成確保出来、更に軽量断熱性(λ 値の更に低値)のものも出来ることを附言する。4週圧縮強

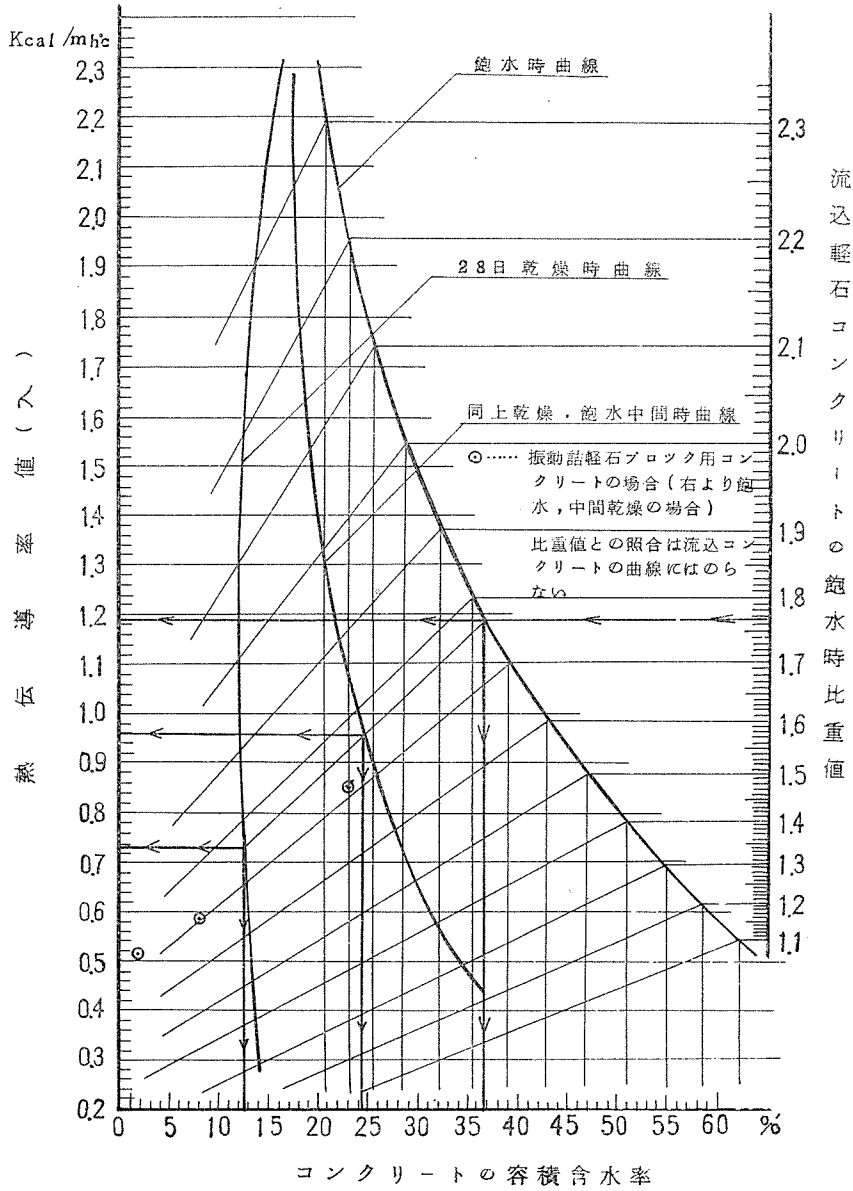


図 4-1 コンクリートの含水率と熱伝導率 (流入コンクリートの場合)

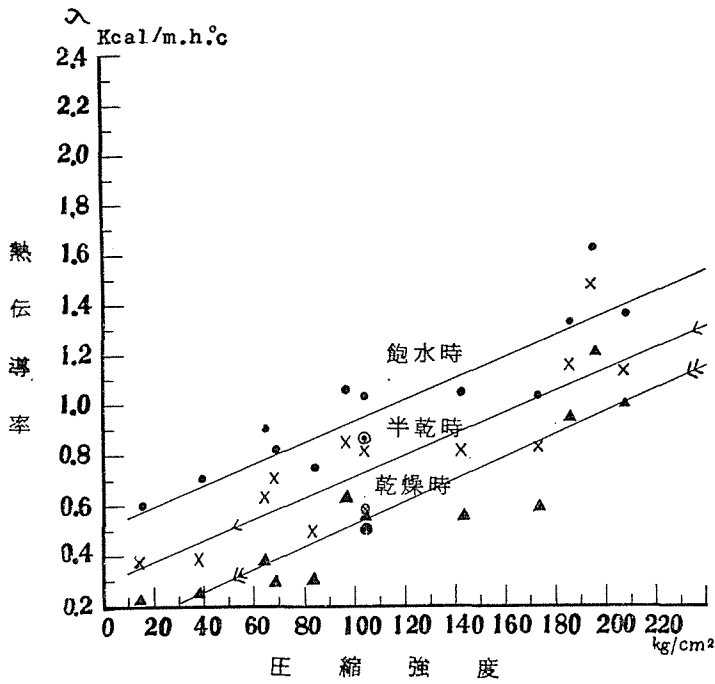


図 4-2 圧縮強度と熱伝導率

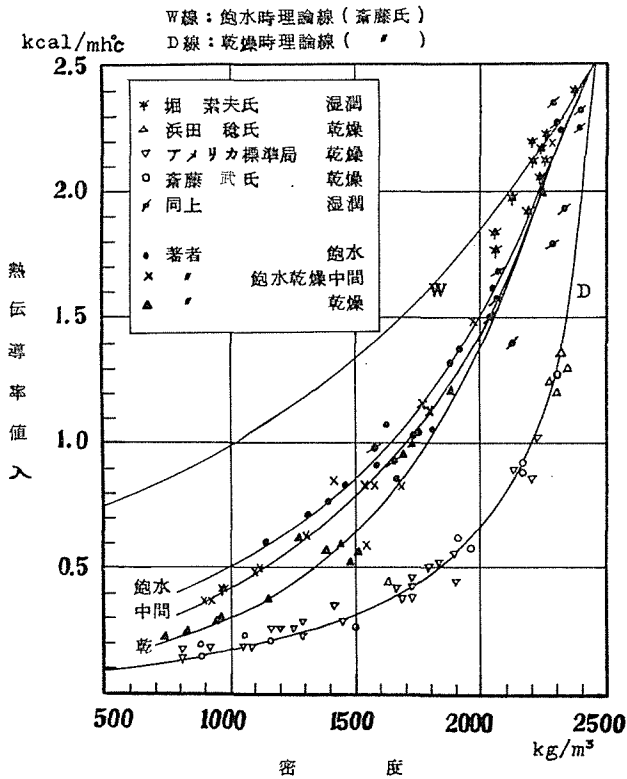


図 4-3 諸家の実験値との比較

度と λ 値を対照させたものは図 4-2 である。

(4) 尚順序が逆になったが著者の得た値を諸家の実験値と比較のため、コンクリートの密度と λ 値に関し齊藤武博士報告(日本機械学会誌第 62 巻第 484 号)と対照作図すれば図 4-3 を得る。之によれば今回の実験結果は略々理論的飽水時と理論的乾燥時の中間位の結果の如く見取られる。

(5) 今回の実験値は特に比重大の場合の乾燥側の値に於て諸家の値と距たる所が大きい様であるが、その真因は詳かでない。今後、尚検討を要しよう。

(6) 尚、今回は理論的考察を施し得なかったが今後、軽量コンクリートの本素材、水及び空気の 3 要素のあり方から熱伝導率値を自在に且つ正しく算定若しくは簡単に見出し得るチャートの如きを作成出来れば甚だ有益であると考えられる。

〔謝 辞〕

終りに此の実験には齊藤武教授より多くの示唆を戴いた。厚く御礼申し上げる次第である。