

論 說 報 告

第 23 卷 第 8 號 昭和 12 年 8 月

鋪 装 コ ン ク リ ー ト の 熱 的 性 質 に 就 て

會 員 島 田 八 郎*

On the Thermal Properties of Paving Concrete,

By Hatirô Simada C. E. & B. S., Member.

要 旨

鋪装用コンクリートの気温変化による繰返し応力を算定し、更に其の減少を計るための一主因をなす温度傳導度を特に侵水状態に於て過渡法を使用し材齢5~40日に亘り實測し、含水率、空隙率の影響する範囲を明かにし、コンクリートの温度傳導度實驗を行ふに際し如何なる要素を考慮すべきやを論究し、將來行はんとする此の種試験研究の指針を得、同時にモルタル、セメントペーストに就て同様の試験を行ひ、コンクリートとの相互の關係特に骨材の温度傳導度に及ぼす影響を明かにす。

緒言 コンクリートの熱的特性の研究は比較的少い強度に比較し其の変動の少ない事も其の大なる理由の一つであらう。濱田, A. P. Carman, R. A. Nelson 諸氏の研究あるも鋪装用のものと組成を異にし且つ主として3週以後の材齢のものに就き乾燥状態で試験した結果である。著者はコンクリートをセメントペースト、砂利、砂の成分よりなる一つの不均一系と見做し、温度擴散率が各成分により如何なる影響を蒙るものなるや、殊に吸水状態に於ける値を明かにせんと試みたもので、材齢に就ても可及的若材齢期に於ける實驗を試みんとした。マスコンクリート等に於て重要な凝結熱發生期に於ける値を求める事は能はざりしも機會を得て試みんとしてゐる。本研究により材齢4日以後~40日位までのコンクリートの温度擴散率を左右する要素を明かにし、即ち骨材セメントペーストの及ぼす影響空隙率、含水率による増減度をも定め一方之等の結果よりコンクリート、セメントペースト等内に存在せる空隙の形狀の略々類似せる事をも推論した。先輩諸氏の結果とも矛盾せざる結論を得た。

1. 實 験 方 法 に 就 て

一般に温度擴散率 (k^2) は熱傳導度 (λ) 及單位容積の熱容量 ($[c\rho]$, c 比熱 ρ 密度) により

$$k^2 = \frac{\lambda}{[c\rho]} \dots \dots \dots \text{式-1.}$$

の如く示さる。含水せるコンクリート等は果して式-1. にて單義的 (unique) に定義される如き温度擴散率 (k^2) を有するものなるや且つ實驗方法の如何によつては異なる値を示さざるや吟味を必要とする問題が多分にある。従つて實驗方法を選択するにも常に此の點に留意した。實驗結果其の他の節に説明するも週期法 (periodic method) を用ひず、反つて自由水、温度係数の影響の著しく及ぼす過渡法 (transient method) を用ひた。

(1) 試料 試験研究がコンクリートの温度傳導度に及ぼすセメントペースト、骨材等の影響を明らかにするも目的の一なるを以て其の選擇に當つて温度擴散率の差異の著しきものを使用する事が望ましい。然るに之種の資料僅少にて已むを得ず先づ鋪装用上層基層のコンクリートの配合のものを用ひ、砂利、砂共に鬼怒川産 (茨城縣關本

* 内務技師 工學士理學士 内務省土木試験所勤務

町)のものに浅野ポルトランドセメントを配した。供試体製作は手練法により通常行ふ填充法を用ひ24時間後型より取出し18°Cの恒温水槽中にて水養生しつゝ実験す。試験体は図-1.に示す如き円環型である中心部に白金抵抗温度計挿入用直径0.6cm,長さ2.8cm,の穴を穿つ。コンクリートの外比較対照の爲モルタル,セメントペーストにて全く同様の供試体を作る。骨材及供試体性状は表1,2,3.の如し。

表-1. 砂利試験成績

篩(mm) 通過 残留	粒状 %	残留 %	比重	比粒数 個/kg
38.10~31.75	23.3	23.3	2.60	14.3
31.75~25.40	20.0	43.3	2.57	24.5
25.40~19.05	25.3	68.6	2.56	43.2
19.05~12.70	22.4	91.0	2.57	112.6
12.70~6.35	8.6	99.6	2.58	465.8
6.35~4.76	0.4	100.0	2.58	4641.1
見掛比重 軽装 1.600		空隙率 軽装 0.38		
" 密装 1.706		" 密装 0.34		
沈土量(%) 0.5		磨損率(%) 3.22		

表-2. 砂試験成績

篩(mm) 通過 残留	粒状 %	残留 %	真比重	見掛比重
4.76~2.38	5.33	5.33	2.66	軽装 1.450
2.38~2.00	0.80	6.13		" 密装 1.584
2.00~0.85	14.97	21.10	空隙率 軽装 0.455	" 密装 0.405
0.85~0.59	14.99	36.09		沈土量 % 0.68
0.59~0.36	21.10	57.19		
0.36~0.297	19.58	76.77		
0.297~0.177	19.61	96.38		
0.177~0.149	2.40	98.78		
0.149~0.074	1.18	99.95		
0.074	0.04	100.00		

図-1. 供試体の形状

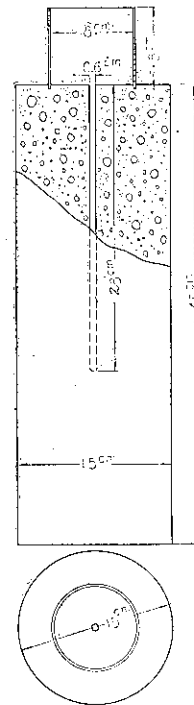


表-3.

名 稱	配 合	水セメント比
基層用コンクリート	1:3:7	0.8
上層用コンクリート	1:1.5:3	0.41
モルタル	1:3:0	0.08
モルタル	1:1.5:0	0.41
セメントペースト	1:0:0	0.4
セメントペースト	1:0:0	0.3

(2) 実験装置並に操作 図-1.の如き円環型供試体の中心部に図-2.に示す如き20°C,80°C範囲にて総抵抗約30.3Ω~37Ωの程度に変化する白金抵抗温度計を挿入し,過渡法に於ける中心部温度の上昇をホーストン橋にて測定す。常に低温,高温(θ₁, θ₂)の2種の恒温水槽を使用す。低温部(θ₁)恒温水槽は水養生にも兼用す。温度拡散率は2日毎に測定せしもので常に重量変化に注意を拂ひ水の浸透する程度を明かにしつゝ実験し最後に含水による影響を歸納せんと試みた。

材齢3週以後は実験の都合上水養生を継続する事困難となり北向きの実験室内に放置し,実験前24時間低恒温水槽(θ₁)に入れ然る後高恒温水槽に入れ過渡法によつた。重

量変化も水中養生期のものに比して複雑である。

温度拡散率 (k^2) の算式は物質常數に下記 (1), (2) の假定をすれば頗る簡單である, コンクリートの如き結晶質物質を含有せるものが, 更に可也含水せる時は嚴密には成立たない様に推測されるが果して本實驗の程度のものに於て如何に實測されるやをも考察す。主なる假定;

- (1) 總て熱的常數は温度に無關係とす。
- (2) 總て熱的常數は位置及時間的に無關係に實測されるとす (inertia-less)

を用ふれば上述せし本實驗操作に適應する算式は下記 式-2, 3. に對する解式より得らる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= k^2 \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \\ k^2 &= \frac{\lambda}{[c\rho]} \end{aligned} \right\} \dots \text{式-2.}$$

$$\theta = \theta_a - (\theta_a - \theta_i) \sum I(r) \sum II(z) \dots \text{式-3.}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum I(r) &= \sum_{s=0,1,2,\dots}^{\infty} \frac{2}{\lambda_s J_1(\lambda_s)} J_0\left(\frac{\lambda_s r}{a}\right) \cdot e^{-k^2 \left(\frac{\lambda_s^2}{a^2}\right) t} \\ \sum II(z) &= \sum_{m=1,3,5,7,\dots}^{\infty} \frac{4}{\pi m} \sin \frac{m\pi}{2l} (z+l) \cdot e^{-k^2 \left(\frac{m^2 \pi^2}{4l^2}\right) t} \end{aligned} \right\} \dots \text{式-4.}$$

但し, k^2 : 温度擴散率, λ : 熱傳導度, c : 比熱, ρ : 密度, λ_s ; $J_0(\lambda_s) = 0$ の 1, 2, ... 次根, J_0, J_1, \dots ; 0 次 1 次ベッセル函數, $2l$: 円筒高さ, $2a$: 円筒の直径, r : 中心よりの半径距離, z : 中心よりの高さ距離, $\theta_i, \theta_a, \theta$: 低高温水槽並に時間 (t) に對する (r, z) の位置に於ける温度を示す。

$\sum II(z)$ の項は円筒の軸方向に於ける影響を示すもので, 通常のコンクリート程度の温度擴散率 (k^2) にて本供試体程度の大きさにては有效數字 3 桁を基準とし, 實測時間を約 30 分以内とすれば略省し得。計算の順序とし本實驗資料程度の k^2 値に對する $\sum I(r)$ 項即ち $\frac{\theta_a - \theta_i}{\theta_a} = 1$ に對する $\frac{\theta}{\theta_a}$ の傾向を求めおく事を必要とす。

図-2. 使用白金抵抗温度計

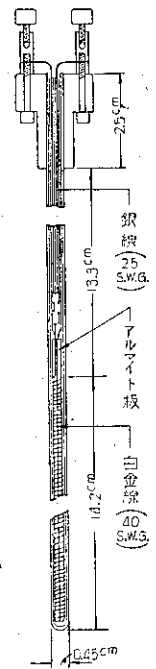
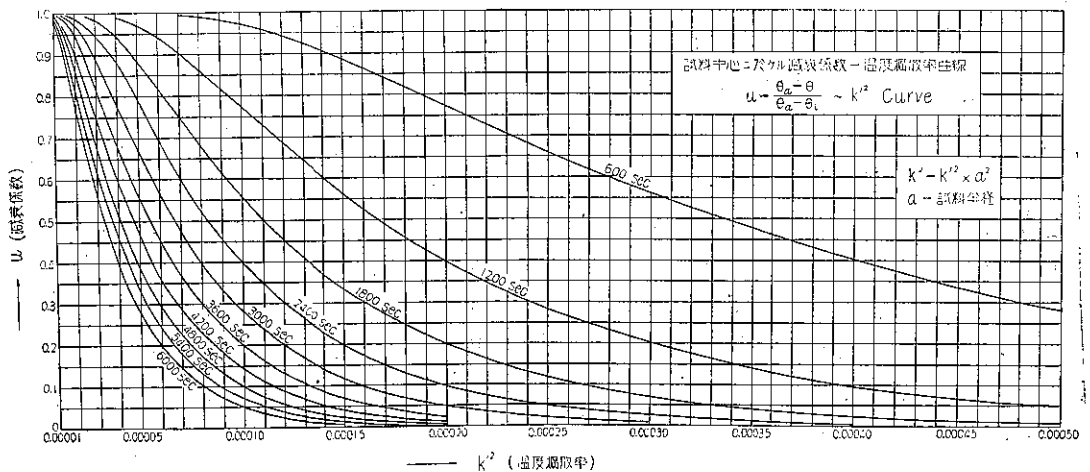


図-3. 試料中心に於ける減衰係數~温度擴散率曲線



$a=1\text{ cm}$ に対し $k^2=0.00001\sim 0.005$ (C. G. S.) の範圍即ち本供試体の大に對しては $\approx 0.000\ 556\sim 0.281$ (C. G. S.) の範圍となり、通常の土木材料全般にわたる。幾組かの計算値より中心に於ける温度減衰(増加)係數 $(u = \frac{\theta_a - \theta}{\theta_a - \theta_i})$ と温度傳導度 (k^2) との關係圖を過渡法實驗開始後よりの経過時間に對して求めた、特に記すべき必要なきも後實驗資料の精度の判斷に必要なれば圖-3. としておく。勿論圖は $k^2 = k'^2 \times a^2$ 、供試体半径 $a=1\text{ cm}$ に對するもので、各曲線に付記せる時間は式-4. の t に對する秒數である。特に温度擴散率 k^2 大なる供試体の場合に適用せん爲には k^2, t の組合せを變ずればよい。

2. コンクリートに関する實驗結果

a) 基礎用コンクリート (1:3:7; $\frac{w}{c}=0.8$) 實驗中の取扱い其の他に關する事は繰返し説明せず結果のみを説明せん。型入後 24 時間にて取出せし時の重量、円錐高さは夫々 18.840 kg, 44.7 cm

である、圖-4. は實驗中の重量変化を示すもので 28 日までは水中養生期其以後は、空氣中養生期に屬するものである。可也上下し平滑な曲線上にあらざるも水中養生期は或極限に増加し、空氣中養生期には或る極限に漸近的に近く傾向がある見掛比重で示せば 2.39 より 2.41 程度に増加す且つ空氣中養生期にては實驗中(低温水槽内の時間をも合せ 24 時間)に見掛比重は 2.38 より 2.395 程度に水の滲透により増加す。

實驗低温度 $\theta_i=20^\circ\text{C}$ 、實驗高温度 $\theta_a=76^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ の程度にて $\pm 0.05^\circ\text{C}$ の精度に一定に保つ。圖-5 (a) (b) は中心部の温度上昇速度より圖-3. より求めた温度擴散率 (k^2) と實驗開始直後よりの時間 (t) の代りに記入した中心温度との關係で、(b) 圖中特に縦軸に並行點線を引いたのは其の左例が 30 分以内のものなる事を示す。(a), (b) 圖には材齢をも記入しておいた、兩者

圖-4. 實驗中に於ける供試体重量変化

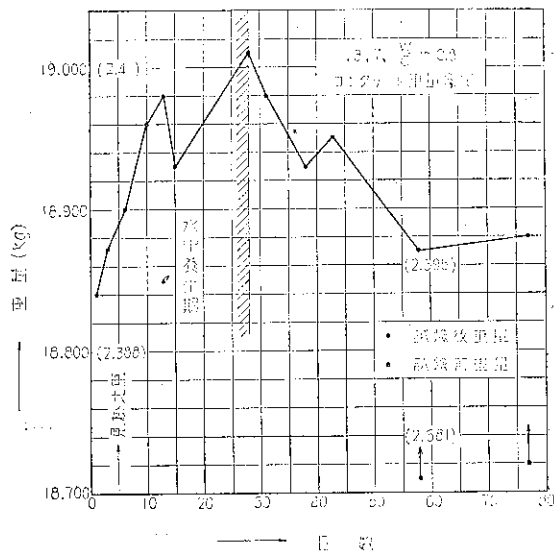
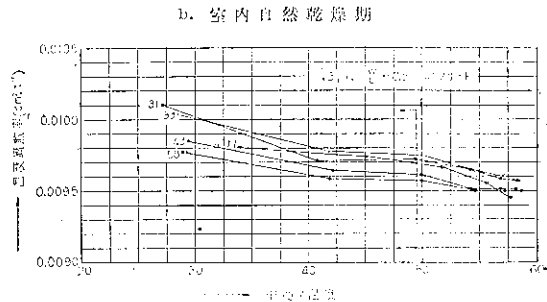
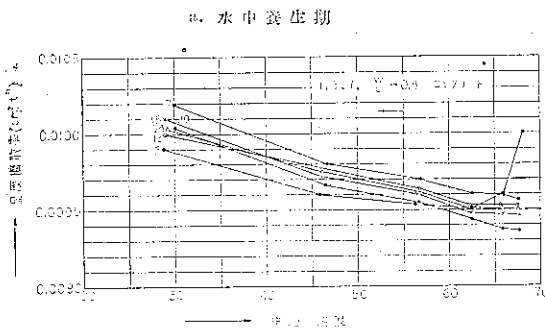


圖-5. 1:3:7, $\frac{w}{c}=0.8$ コンクリート温度擴散率と試料中心温度との關係



共傾向全く同一にて主要な二三の特性を列挙すれば、

- 1) 温度拡散率 (k^2) は平均温度高き程減少す。
- 2) 材齢 3, 7 日と k^2 値は一旦著しく増大し、其の後は減少する傾向を示すも其の変化程度も力学的性質程著しくない。
- 3) 材齢 3 日の場合のみ時間の進むに伴ひ (図には中心温度の増加で示す) 一般の場合の如く一旦減少するも終結に近づき急に増大す。
- 4) 室内空气中養生期の試験結果も材齢と共に一旦減少するも、本試験最終材齢 77 日のものは稍々増加せる傾向を示す。

上記の試験結果の示す事柄はコンクリートの温度拡散率の特性と同時に本試験の内容とを示すものである。例へば第 4 項の材齢 77 日のコンクリートの温度拡散率の増加するは浸水法による影響なるか材質其のものによる影響か本試験のみにては判断する事困難である。

表-4. は図-5. より求めたものである。
b) 上層用コンクリート (1:1.5:3 w/c = 0.41) 基礎用のものと骨材の量著しく異なるを以て温度拡散率も異なるものと推

表-4. 1:3:7, $\frac{w}{c} = 0.8$ コンクリート試験成績

	真比重	見掛比重	温度拡散率 ($\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{-1}$)
水中養生期	—	2.39~2.41	0.0102 (30°C) ~ 0.0096 (70°C) 0.0099
空气中養生期	2.60	2.36~2.39 試験前後	0.01010 (28°C) ~ 0.00960 (58°C) 0.00975, 0.00945

但しく () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す。 k^2 は範圍を示すもので材齢による関係は別図による。

図-6. 試験中に於ける供試体重量変化

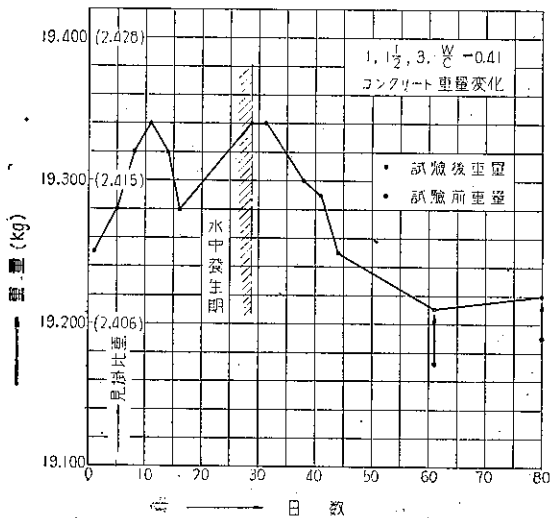
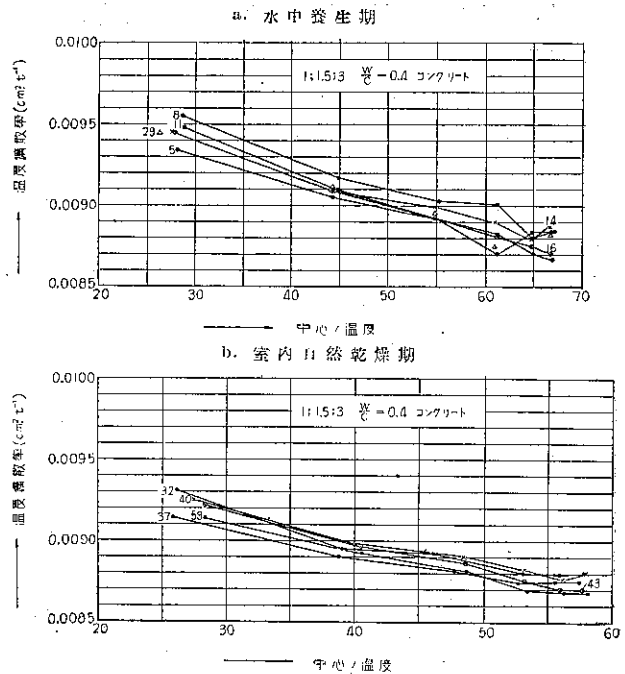


図-7. 1:1.5:3, $\frac{w}{c} = 0.41$ コンクリート 温度拡散率と試料中心温度との関係



定し得るも全く空隙率同一にて唯骨材の量のみを異にせるものを製作する事は實事上不可能である。反つて空隙の影響を明かにし理論(實驗)上空隙等の状態を推論しかる状況で骨材の影響を論ずる方がよい。斯かる見地より通常使用されてゐる水セメント比にて空隙率の調節を考慮せず供試体を作る型外し直後の大きさは

重量: 19,250 kg, 円筒高さ: 45.3 cm

である。實驗方法取扱ひ基礎用のものと全く同一にて、図-6. は實驗中の重量変化を示すもので、図-7 (a), (b) は温度傳導度 (k^2) と中心温度との關係を示すもので全体的に見たる傾向は基礎用のものと同一である唯温度擴散率の絶対値が 7% 位減少してゐる。後節述べるが本供試体の方が空隙稍少である。従つて上記せし k^2 値の減少は骨材の影響によると推測し得。表-5. は結果の要約である。

表-5. 1:1.5:3, w/c=0.41 コンクリート試験成績

真比重	見掛比重	温度擴散率 (cm^2t^{-1})
—	2.41 ~ 2.42	0.0095 (30°C) ~ 0.0089 (70°C) 0.0093 (30°C) ~ 0.0087 (70°C)
2.50	2.405 ~ 2.408 實驗前後	0.00930 (25 ~ 26°C) ~ 0.00880 (56°C) 0.00915 (25 ~ 26°C) ~ 0.00865 (56°C)

但し () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

3. モルタル, セメントペーストに関する實驗結果

上層コンクリートと基礎コンクリートとを比較した意義を一層擴張せんために行つたものである、W/C の選定も特に考慮せずコンクリートの場合に形式的に近い値を興へんとして表-3. の如く定めた、セメントペーストの場合のみは W/C=0.8 は無意義なるを以て 0.3 とした。實驗の結果は各々頗る興味あるものであるが紙面の關係上 W/C=0.4 のセメントペーストに対する結果のみを圖示し他は要點のみを表示す。図-8 は W/C=0.4 ... セメントペーストの重量変化を示すもので見掛比重 1.968 より 2.015 程度に一旦増加し空期中養生期に於ては更に實驗中水の滲透により見掛比重 1.960 より 1.975 に増大してゐる。コンクリートの表-4, 表-6. に比較するに著しく大である空隙の大なる事も一つの理由である。

圖-8. w/c=0.4 セメントペースト 實驗中の重量変化

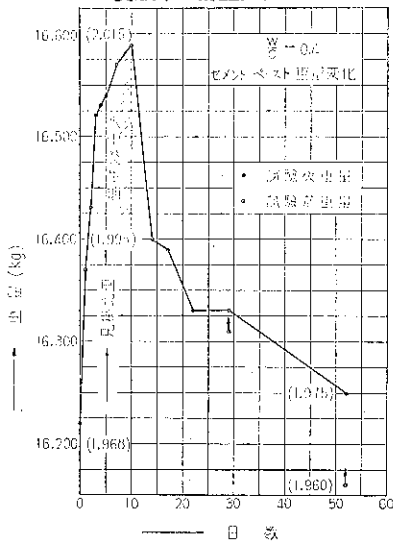


圖-9. w/c=0.4 セメントペースト温度傳導度と中心温度關係 (高溫恒溫槽約 40°C)

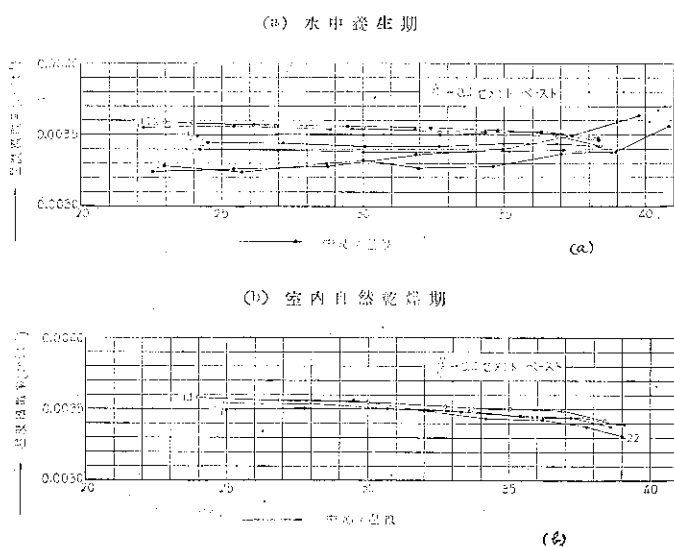


図-9 (a) (b) は温度拡散率と中心温度との関係を示すもので其の絶対値のコンクリートに比較し著しく小なるのみならず傾向も可なり異つてゐる。其の主なるものを列挙すれば下記の如きものである。

- 1) 温度拡散率 (l^2) は中心温度に無関係である。
- 2) 材齢 4 月前後までは経過時間の増加と共に稍々増大するも其の後は兩期を通じて大なる変化なし。
- 3) l^2 値はコンクリートに比して著しく小である。

モルタルの場合はコンクリート、セメントペーストの中間の傾向を示すもので上記 (1), (2), (3) 事項も全く兩者の間にある。表-6, 7, 8, 9. に其の要點を列挙す, 説明省略す。

表-7. 1:3, w/c 比 0.8 モルタル試験成績

	真比重	見掛比重	温度拡散率 (cm^2t^{-1})
水中養生期	—	2.12~2.14	0.00635 (22°C) ~ 0.0063 (65°C) 0.00610 (22°C) ~ 0.0061 (65°C)
空气中養生期	2.55	2.06~2.08 試験前後	0.0066 (22°C) ~ 0.0063 (56°C) 0.0063 (22°C) ~ 0.0061 (56°C)

但し () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す
養生方式の変化により l^2 は急に増加す。

表-8. 1:1.5 (w/c=0.4) モルタル試験成績

真比重	見掛比重	温度拡散率 (cm^2t^{-1})
—	2.215~2.235	0.00645 (22°C) ~ 0.0062 (55°C) 0.0062 (22°C) ~ 0.0061 (55°C)
2.42	2.20~2.21 試験前後	0.0064 (22°C) ~ 0.0061 (55°C) 0.0063 (22°C) ~ 0.0060 (55°C)

但し () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

表-9. w/c 比 0.3 セメントペースト試験結果

真比重	見掛比重	温度拡散率 (cm^2t^{-1})
—	2.144~2.18	0.00389 (24°C) ~ 0.00385 (36°C) 0.00375 (24°C) ~ 0.00375 (36°C)
2.34	2.157~2.166	0.0039 (24°C) ~ 0.0038 (46°C) 0.0037 (24°C) ~ 0.0037 (46°C)

但し () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

表-10. w/c=0.4 セメントペースト試験成績

真比重	見掛比重	温度拡散率 (cm^2t^{-1})
—	1.969~2.01	0.0036 (23°C) ~ 0.00345 (36°C) 0.0034 (23°C) ~ 0.0034 (36°C)
2.21	1.960~1.975 試験前後	0.00360 (23°C) ~ 0.00340 (36°C) 0.00345 (23°C) ~ 0.00335 (36°C)

但し () 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

4. コンクリートの比熱(熱容量)空隙率並に熱傳導度に就て

コンクリートの如きもの、比熱は各材齢期に応じ直接測定する事は困難である。殊に含水量の変動する場合然りとす。今詳細は省略するも假りに試験(材齢 40 日前後)後充分乾燥せるものを粗粒に粉碎し(篩 25, 40~6, 50 mm 瀝度最大)見掛比重, 更にルンヤテリー比重瓶使用の方法にて真比重を測定し同試料より比熱を求めた。此等の値と実験中の供試体重量変化實測値とを組合せ單位容積當り熱容量を水中巻生空气中養生期の終了期, 並に絕對乾燥期を求め夫々 $[cp]_I$ $[cp]_{II}$ $[cp]_{III}$ にて示す。表-11. は其の結果を示す。但し計算は $(1-V_a)\rho c + V_a\rho = [cp] \dots$ の如き式に従つた。 V_a : 空隙率, ρ : 真比重, c : 真比重測定試料の温度($\alpha 7^\circ C \sim 90^\circ$)平均比熱, ρ : 空隙内

の水分量である。比熱は 0.204~0.284 程度でセメントペーストの値が著しく大きい。表-12. は ρ_c, V_a の表である。

表-11. 熱 容 量 [cp]

種 類	$[Cp]_{\text{or}} (I - V_a)\rho_c C$	[cp]	
		I	II
コンクリート 1:3:7:w/c=0.8	$0.918 \times 2.60 \times 0.204$ 0.487	0.537	0.517
コンクリート 1:1.5:3:w/c=0.4	$0.924 \times 2.50 \times 0.226$ 0.523	0.633	0.618
モルタル 1:3:w/c=0.8	$0.756 \times 2.55 \times 0.226$ 0.433	0.633	0.573
モルタル 1:1.5:w/c=0.4	$0.835 \times 2.42 \times 0.238$ 0.481	0.701	0.671
セメントペースト w/c=0.3	$0.825 \times 2.34 \times 0.282$ 0.59	0.84	0.82
セメントペースト w/c=0.4	$0.765 \times 2.21 \times 0.292$ 0.49	0.81	0.77

表-12. 空 隙 率 表

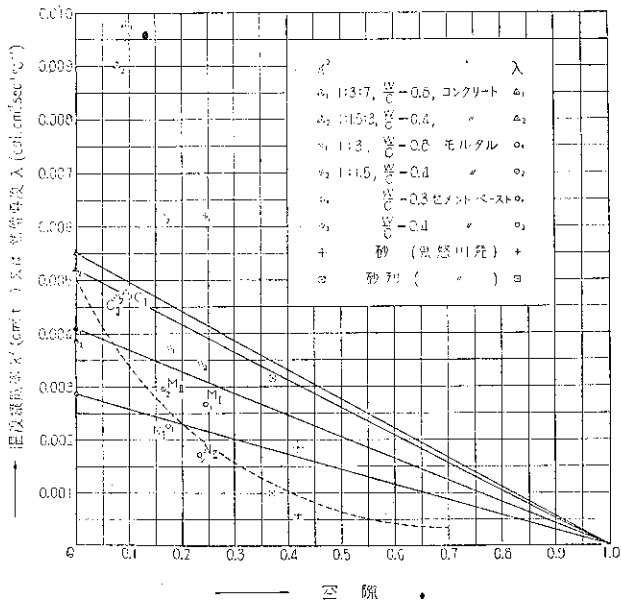
種 類	ρ_c	V_a
コンクリート 1:3:7:w/c=0.8	2.60	0.092
コンクリート 1:1.5:3:w/c=0.4	2.50	0.076
モルタル 1:3:w/c=0.8	2.55	0.244
モルタル 1:1.5:w/c=0.4	2.42	0.165
セメントペースト w/c=0.3	2.34	0.175
セメントペースト w/c=0.4	2.21	0.235

以上の如くして算定せる熱容量と温度拡散率(k^2)とよりして熱伝導度(λ)を推定する事の可否。今別問題とすれば $k^2 \times [cp] = \lambda$ より各期に對し表13. の如く求め得。

表-13. 熱 傳 導 度 (λ)

種 類	熱 傳 導 度 (λ) cal·cm. ⁻¹ ·sec. ⁻¹ ·c ⁻¹		
	λ_I	λ_{II}	λ_{III}
コンクリート 1:3:7:w/c=0.8	0.00534	0.00507	0.00477
コンクリート 1:1.5:3:w/c=0.4	0.00592	0.00556	0.00472
モルタル 1:3:w/c=0.8	0.00399	0.00356	0.00269
モルタル 1:1.5:w/c=0.4	0.00442	0.00417	0.00238
セメントペースト w/c=0.3	0.00319	0.00312	0.00224
セメントペースト w/c=0.4	0.00284	0.00270	0.00172

図-10. 舗装コンクリートモルタル等の温度
拡散率, 熱伝導度 (λ_{III}) と空隙率



5. 熱的諸性質並に空隙率含水量
相互の関係

4. に於て熱伝導度 (λ), 空隙率, 含水量等の値を明にした。今此等の間に如何なる關係

の存在せるや吟味せん, 図-10. は空隙率 (V_a) と温度拡散率 (k^2) 及第 III 期熱伝導度 (λ_{III}) の關係を示すものである。图中實線直線は各試料の零空隙率に對する假想的 k^2 を與へるもので今の場合其の工学的内容を省略す, 點線は濱田氏の空隙率熱傳導試験の結果である, 本實驗コンクリート (cein) の場合稍々大である。骨材が異なる影響である, 濱田氏の場合は多摩川産のものであつた。即ち骨材がセメントペースト略々同一の傳導度を有す

る場合は空隙率のみで定まる様である。更に研究を要する點である。

図-11. は熱傳導度 (λ) と含水量の關係を示すもので、 $\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_{III}$ の値と含水量 (p) を記入した、更に含水による増加率を明かにせんとして充分乾燥せる状態 λ_{III} を基準とし $\lambda_I/\lambda_{III}, \lambda_{II}/\lambda_{III}$ と含水量 p の値を記入した。含水による熱傳導度の増加率は總て直線である。且つ増加率は一定の極限值 1.6 倍に近く、斯かる特性はコンクリート、セメントペースト類の著しい特性で此の結果より之等材料内部に存在せる空隙の形状 其の他の特性をも推論する事を得る重要な内容を暗示せるものである。

要 約

w/c 比、材齢含水量等を異にせるコンクリート類の主として温度擴散率熱傳導の此等性質との關係を明かにせんとし、舗装用コンクリート及類似のモルタル等を使用し、水中養生、空氣養生を併用し過渡法により實驗す。其の結果は各章に記述せし如く、1) 温度、2) 骨材、3) 材齢、4) 空隙率、5) 含水率等の影響を實驗的明かにする事を得、更に空隙状態に關する大なる暗示を得た。

附記： 實驗は内務省土木試験所員土屋直君による所頗る多し感謝の意を表す。

図-11. コンクリート・モルタル・セメントペースト熱傳導度と含水量の關係を示す

