



コンクリートの温度傳導率に就て (其の2)

島田 八郎

目 次

- III 章 コンクリート温度傳導率とコンクリート性状との關係
- 1 節 骨材及び温度の影響並に熱傳導度
- 2 節 材齡の影響
- 3 節 セメントの種類の影響
- 4 節 空隙率の影響
- 5 節 含水率の影響
- IV 章 要 約

III 章 コンクリート温度傳導率とコンクリートの性状との關係

1 節 骨材及び温度の影響並に熱傳導度

II 章 2 節に筆者の試みたコンクリートの温度傳導率 (k^2) を圖示した。全

般的傾向は第11圖(コンクリート)第12圖(モルタル)第13圖(セメントペースト)により判断されるが今其の著しい特性を列挙してみる。以下節を分ち其の主要性状との關係を明かにせんとする。先づ骨材の影響を考察せんに其の形状に起因する要素並に鑛物學的特性の影響を蒙る事明かなれども出來上りコンクリートの空隙率其の他の物理的影響を度外視し、其の定性定量的關係を規定する事は困難である。砂、砂利は單一鑛物より成ること無く、單一鑛物の場合にては其の物理的性質と異なるもので例へば吸水率(%)を見るも、

花崗岩にては 24~0.1(0.5) ; 玄武岩 ; 21~14(1.7) ; 石灰岩 ; 3.4~0.1(0.4)

(内務省土木試験所報告 24 號附録、高田技師)の如く廣範圍に度り、熱傳導度は一例なれども理科年表に *C. G. S.* 單位にて

花崗石 : 本山 5.1×10^{-3} 長門 6.0×10^{-3} 玄武岩 : 久野 3.5×10^{-3} 久夜 3.5×10^{-3}

石灰岩 : 松江 6.1×10^{-3} 丹波 5.3×10^{-3} の値が掲げてある。* 又溫度傳導率は花崗岩、玄武山、石灰

岩と 0.0154 ; 0.0115 ; 0.0093 の様に變化してゐる。

* 上記の値は *C. G. S.* 單位なれども報告等に、メートル (*m*)、時日 (*hr*)、*K. cal.* 又は英 *B. T. U.* 華氏溫度 *F°* を使用せるものを以て便宜上其の換算式を掲げ、溫度傳導率、熱傳導率を夫々 h^2 , k にて示し

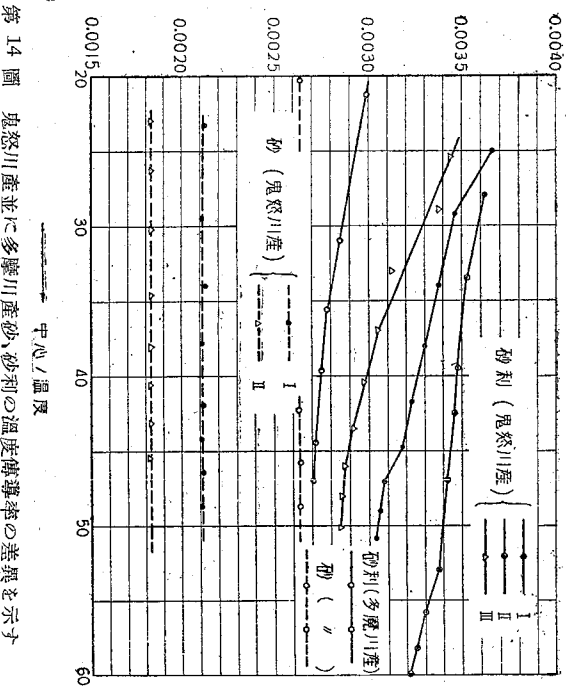
$$k \frac{[K \text{ cal}]}{[m] [hr] O^\circ} \text{ のものより } k \frac{[K \text{ cal}]}{[m] [hr] O^\circ} \text{ このもの求めんに } k (C. G. S.) \times 3.6 \times 10^2$$

$$h^2 (C. G. S.) \text{ のものより } h^2 \frac{[m^2]}{[hr]} \text{ このもの求めんに } h^2 (C. G. S.) \times 3.6 \times 10^{-1}$$

$$k \frac{[K \text{ cal}]}{[m] [hr] O^\circ} \text{ のものより } k \frac{[B. T. U.]}{[ft] [hr] F^\circ} \text{ このもの求めんに } k \frac{[K \text{ cal}]}{[m] [hr] O^\circ} \times 0.672$$

$k^2 \frac{[m^2]}{[hr]}$ のもとより $k^2 \frac{[ft]}{[hr]}$ での求めんとす $k^2 \frac{[m^2]}{[hr]} \times 10.76$
 より相互関係を容易に知り得。

實際上コンクリートの骨材として混入される砂利、砂等は單一組織のもので無く、コンクリートの一要素としての熱的性質を的確に示す事は可成り困難であるが其の性状産地の差異により著しい異なる値を示す。例へば火成岩系、水成岩系により含水率、空隙率略々同一なるも温度傳導率可成り異なるものである。鬼怒川産、多摩川産砂利、砂の温度傳導度の差異は其の間の一關係を暗示せるものである。第14圖はII章I節の試験と同一方法に行へる結果を示すもので中心温度と其の時に對應する温度傳導率 k^2 との關係を示すものである。兩産地のものゝ性状を比較する意味で礦物學的性状並に實驗時に於ける條件を述べる。今之等を表にして相互關係を示す。混入割合の數は答積によるものである。



第14圖 鬼怒川産並に多摩川産砂、砂利の温度傳導率の差異を示す

表中含水率には室内自然乾燥と、110°Cにて5hr乾燥せしものとを示すものである。

第 14 圖より特性を列擧せんに 室内乾燥試料を比較すること能はざるも重要な結果は示されてゐる。即ち

1) 砂の溫度傳導率は溫度に無關係で且つ多摩川産のもの著しく大なり。

2) 砂利の溫度傳導率は溫度減少に伴ひ増大するもので結晶物質的傾向を示し、鬼怒川産のもの著しく大である。

3) 多摩川産のもの砂利、砂共に同程度の溫度傳導率を有するも、鬼怒川産の場合兩者の差異著しい。斯かる特性は鬼怒川産砂にて作成せるモルタルと、コンクリートには同一空隙率にても溫度傳導度著しく異なるに多摩川産のもの使用の際は空隙率含水率のみ同一ならば略同一程度の溫度傳導率の値を示す。即ち

濱田博士の場合筆者の場合に此等兩者に相當するもので兩者を比較するには必ず考慮に入るべき重要事項で

	砂	利	砂
鬼怒川産 (火成岩系)	石英粗面岩 安山岩 硬砂岩 石英斑岩	約 30% " 30% " 30% " 10%	石英、粗面岩、輝石、石英粗面岩其の他
多摩川産 (水成岩系)	砂 硬砂岩	約 80% " 20%	砂、石英、長石、粗面岩、硬砂岩、粘板岩、磁鐵礦其の他

鬼怒川産	真 比	重	含水%(重量)	空隙率%
砂 利	I II III	2.58	0.468	36.6
		"	0.558	34.8
		"	0.00	37.1
砂	I II	2.66	0.866	41.5
		"	0.00	41.7

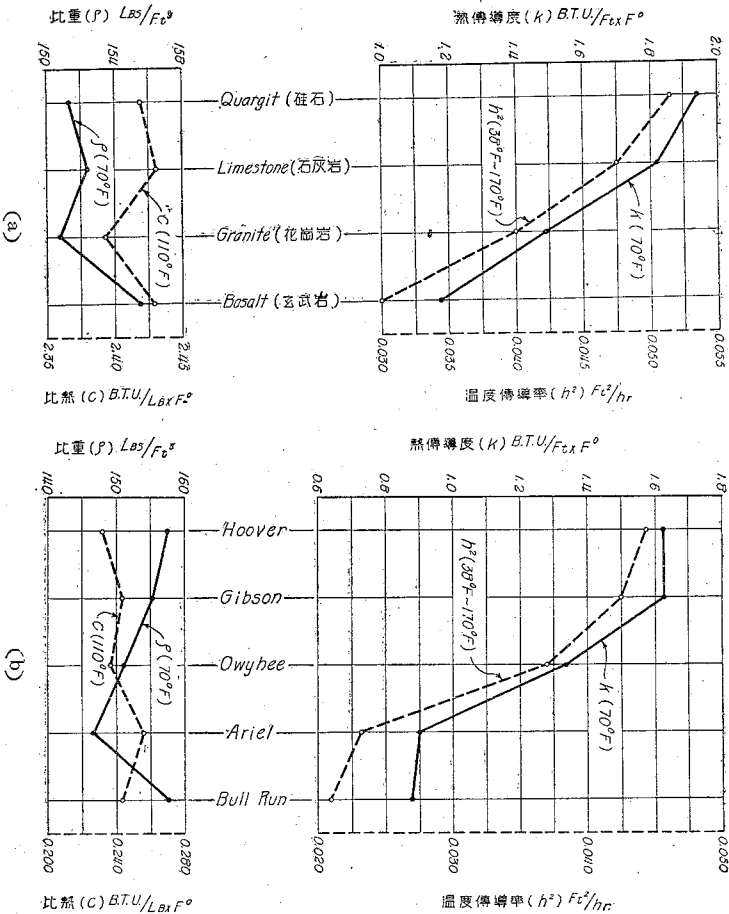
多摩川産	砂	利	砂	砂	砂
		2.67	0.4~0.5	40	
		2.69		38	

ある。

G. S. Rippon, L. J. Snyder の報告にも骨材の差異の一例あるも出来上りコンクリートの性状並に製作に関する記述なければ論據薄弱なるも、第15圖 (a) に掲ぐ Quarzite (珪岩) Limestone (石灰岩) Granite (花崗岩) Basalt (玄武岩) と配列してゐるが、同 (b) 圖の如く各所の堰堤コンクリートに實際使用する骨材の場合の値を掲げてゐる方が科學的に確實である。骨材順位は筆者のフスマフルト混和物の場合と異つてゐる。

堰堤: — Hoover, Gibson,

Owlyee, Ariel, Brell Run.



第15圖 堰堤コンクリートの温度傳導率と骨材の影響

即ちセメントの種類骨材の影響等により可成り大なる差異あるもので Hoover, Gibson, Owylee 掘堤のものまでは可なりとも Ariel, Bull Run 使用のものは温度傳導率上頗る劣つてゐる。I 章2節に述べし如く發熱量の問題と併行し論ぜらるべき特性なることを顯著に示してゐる。

未だ資料充分ならず實證的に更に進んで論ずる事は困難なるも其の傾向を示し得たものと思ふ。

更に II 章に得し試験結果の大略と温度の影響を述べん。第10, 11, 12, 13 圖等より結果の主要なものを表示せんに、

表 1 1:3:7, W/C=0.8 コンクリート試験成績

	眞比重	見掛比重	温度擴散率 (cm ² 分 ⁻¹)
水中養生期	—	2.39~2.41	0.0102 (30°C)~0.0094 (70°C)
空氣中養生期	2.60	2.36~2.39 實驗前後	0.01010 (28°C)~0.00945 (58°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。 k^2 は範圍を示すものである。

表 2 1:1.5:3, W/C=0.41 コンクリート試験成績

	眞比重	見掛比重	温度擴散率 (cm ² 分 ⁻¹)
水中養生期	—	2.41~2.42	0.0095 (30°C)~0.0087 (70°C)
空氣中養生期	2.50	2.405~2.408 實驗前後	0.00930 (25~26°C)~0.00880 (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。

表 3 1:1.5 (W/O=0.4) モルタル試験成績

	真比重	見掛比重	温度擴散率 (cm^2i^{-1})
水中養生期	—	2.215~2.235	0.00645 (22°C)~0.0062 (55°C) 0.0062 (22°C)~0.0061 (55°C)
空氣中養生期	2.42	2.20~2.21 實驗前後	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 4 1:3, W/O 比 0.8 モルタル試験成績

	真比重	見掛比重	温度擴散率 (cm^2i^{-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)
空氣中養生期	2.55	2.06~2.08 實驗前後	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。養生方式の變化により i^2 は急に増加す。

表 5 W/O 比 0.3 セメントペースト試験結果

	真比重	見掛比重	温度擴散率 (cm^2i^{-1})
水中養生期	—	2.144~2.18	0.00389 (24°C)~0.00385 (38°C) 0.00375 (24°C)~0.00375 (38°C)
空氣中養生期	2.34	2.157~2.166	0.0039 (24°C)~0.0038 (40°C) 0.0037 (24°C)~0.0037 (40°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 6 W/O=0.4 セメントペースト試験成績

眞比重	見掛比重	温度擴散率 (cm ² ・t ⁻¹)
—	1.969~2.01	0.0036(23°C)~0.00345(36°C) 0.0034
2.21	1.960~1.975 實驗前後	0.00360(23°C)~0.00340(36°C) 0.00345

但し() 内温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

第 1, 2 表はコンクリートの温度傳導率 k^2 を示すもので温度による影響が著しく現れてゐる。第 3, 4 表 5, 6 表のモルタル、セメントペーストの場合には其の温度に對する影響無く一定と見做し得るものである。即ち本コンクリートの場合は使用せし鬼怒川砂利の熱的特性が顯著に表れてゐる。

熱傳導度 は熱容量を知らば容易に求め得るものである。今試験中の水中養生經期空氣中養生經期並に絶對乾燥の三期に於ける値を含水量より計算し $k = h^2 / W$ 、但し W 熱容量より求むる表 7 は斯して得しものを示すもので k_I , k_{II} , k_{III} は上記の三期の熱傳導度を示す。含水により常に値の増大することが分る。實驗結果の大體である。以下節を變へ二、三特性を論ず。

表 7 熱傳導度 (k)

種 類	熱 傳 導 度 (k)		
	k_I	k_{II}	k_{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	0.00298
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

2 節 材齡の影響

材齡の影響を考察する時常に問題となるものは硬化作用の速度である。厳密に論ずれば加水せし時より硬化作用の進むと共に發熱しつゝ一方其の状態に應じた温度傳導率により温度の擴散が行はれてゐる。従つて少くともコンクリートとして型に入れし時より 1, 2 時間の如き未だ發熱の旺な材齡より硬化完全に經止する時期並に長期にわたり如何に變化するものなるや其の傾向をも知る事が必要である。特に長期に於て風化等の影響を蒙るものは別に考察する必要がある。Sheard の研究に普通ポータランドセメントと、急硬セメントに就き、添水後 4 時間より 30~40 時間に於ける變化を實測したものがあつた。表 8 に其の要點を示す。

其の他若材齡期では筆者が 2, 3, 4, 5 日……と試み結果は第 10~13 圖に示してあるが、筆者のものは水中養生を繼續しつゝ實驗したものであるから、養生中に水分の浸入することが結果に大なる影響を與へてゐる。若し斯かる影響を除外し得とすれば實用上大差なきものと見做し得、其の後 6 ヶ月材齡のものに就も略同様の結果を得てゐる。總て材齡の影響に關しては下の如く了解しをくも大過無し。

温度傳導率材齡 4 *hrs* より稍々増大するも 2 日前後より略々一定の値を呈し、6 ヶ月程度までは大なる變化なし、但し外界の條件として吸水蒸發の自由に行はるときは含水率の變化による影響が見掛上コンクリートの温度傳導率を變ず。更に若材齡 4 *hrs* 以内の如きは特別の實驗法例へば筆者の考案しつゝある斷熱週期法 (adiabatic periodic method) の如きもの

表 8 ポータランドセメント

材 齡	熱傳導度 k	溫度傳導率 k/θ	比 Q
4 <i>hr</i>	0.00578	0.01104	0.248
↓	↓	↓	↓
31 <i>hr</i>	0.00586	0.01135	0.244

早 硬 セ メ ン ト

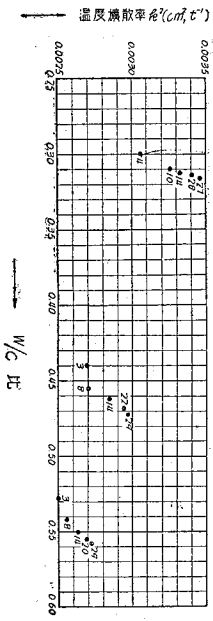
材 齡	熱傳導度 k	溫度傳導率 k/θ	比 Q
4.5 <i>hr</i>	0.00594	0.01125	0.248
↓	↓	↓	↓
48.5 <i>hr</i>	0.00622	0.01188	0.246

(Sheard 氏に據る)

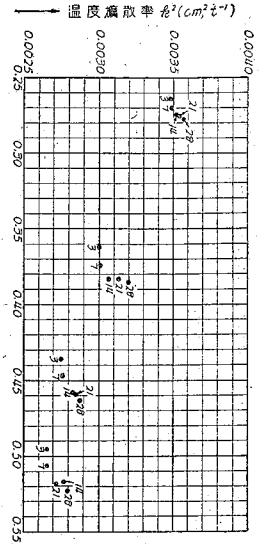
が類似の原理を應用せる代數的方法 (algebraic heat method) を用ひる必要がある。第一義的實用には上記の資料にて其の性状を判断し得。

3 節 セメント種別の影響 此場合もセメントの影響と云ふ事を明瞭に定義する必要がある、唯だ W/C 一定にて作製したセメントペースト、モルタル、コンクリートと云ふも其のもの事情により可成り曖昧な場合がある、常に出来上りし供試體より空隙、含水の影響を除外したもので比較する必要がある、然らざる場合は寧ろ第15圖 (B) の如く總ての條件をカバーしたものに就き論すべきである。

第4圖に W/C 比 0.65 の 1:3 モルタルの場合に淺野セメント……小野田白色セメント等の7種のもの熱傳導度を示されてある、筆者は本邦産のもの約 20 餘種に就き其の性状を明かにせんと實驗した其の詳細は土木試驗所報告を参照されんことを希望するも、第4圖の結果と比較する爲め、淺野秩父ポルトランドセメント、小野田白色セメントに就ての結果を述べる。第16圖 a, b, c, d は水中養生期中のセメントペーストの溫度傳導率を示すものであり、横座標の W/C 比とは 24 時間後型外しせし時の見掛上の W/C 比である。従つてセメントペースト硬化に有効に役立った水の W/C と、空隙内に存在せる水分をも含むものである。従つて此等の圖面のみよりは硬化物其のもの γ 値を比較すること能はず其の後經乾燥せしものに就て試驗するも上記4種のものに就ては大差ない様である、従つて第4圖の結果の如き場合は



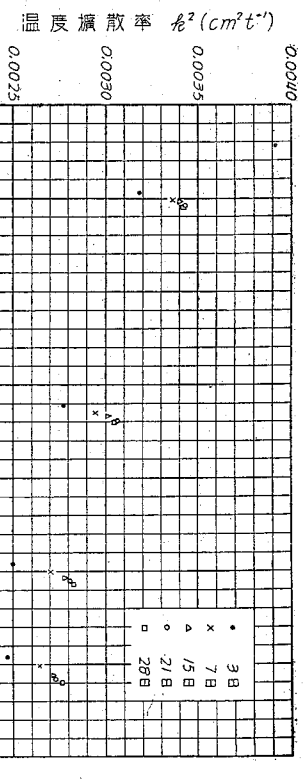
(a) 淺野ポルトランドセメント



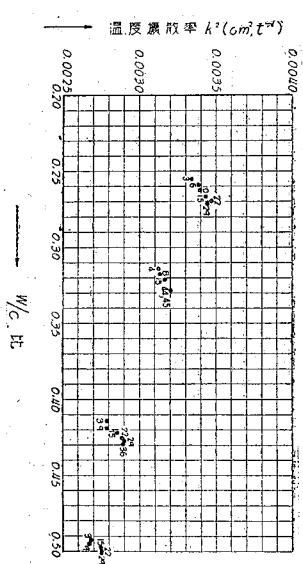
(b) 7000ポルトランドセメント

W/C-0.6 の 1:3 のモルタルに於けるもであ

り、セメント硬化物といふ意味に解すべきには更に吟味を要するものゝ様である。然るに、秩父硫酸セメント、同高級セメントは可成り著しく異なる値を示すものである。前者は小にて後者は大である。未だ解決せざる問題餘多あるも、實用上セメント硬化物を分離し考察するより總括的に取扱ふ方が現在では其の明確なることを知る。之れ以上の論述は複雑になるから要割す。



(c) 小野田白色セメント



(d) 淺野マスコンセメント

4節 空際率の影響 1節〜3節までのコンクリート温度傳導度に及ぼす影響は複雑な條件に支配され未だ定量的に論じ得る様な結果を得ておないが空際率の關係は第5節含水量の影響と共に頗る顯著な且つ或る程度まで定量的關係を有するものである。1章2節に引用した(7)(8)(9)式は其の一例を示すものである。今コンクリート内に自由水の存在しない状態を假定すれば固體部に空際が或る法則に準つて分布せるものである。

斯かる系の傳導度(電氣、熱)に關する理論的研究は舊くより行はれてゐるが、常に供試體の條件を單一化せるものとコンクリートの如き不規則な形狀の空際(異物)の混入せる場合には修正を要することは既に述べた。

今(8)式(9)式の熱傳導度(k)式に就き濱田博士及び筆者の實驗結果を代入せん。即ち

$$k = C k_1^{v_1} k_2^{v_2} \dots \dots \dots (8) \quad k = C k_1^{v_1} k_2^{v_2} \dots \dots \dots (9)$$

但し $k_1, v_1, k_2, v_2, \dots$ の説明は1章2節に述べた。 v_1 は固體部の容積濃度である。(9)式の如く骨材の影響を式の形式上に分離して論ずるには資料足らず。本文では(8)式を基準として論ぜんに、 $(v_2 - 1 - v_1)$ (空際率) C 係數には空際による影響を加味する必要がある、即ち

$$k = k_1^{v_1} k_2^{v_2} \dots \dots \dots (10)$$

但し k_2 は空氣の熱傳導度にて $C.G.S$ 單位で 5.5×10^{-8} の程度のものである。斯く考ふれば $v = 1 \dots$ に對しては少くとも $k = 5.5 \times 10^{-8}$ の程度になるべきものであるとして、 $k = C k_2^{v_2}$ による表示法を考察すれば、理想の場合には

$$k = k_2^{v_2} k_3^{v_3} \dots \dots \dots (11)$$

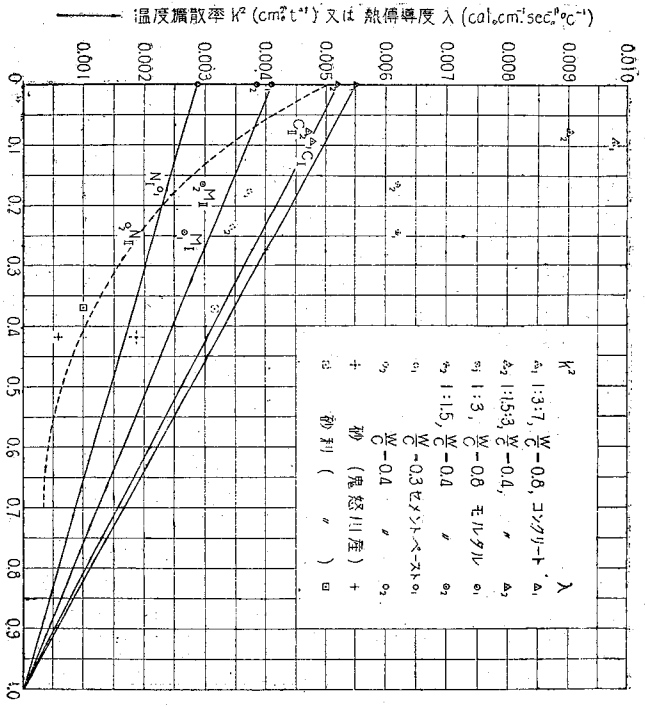
の様な形式で示される實際實驗されるものは略かゝる形式に従ふも濱田博士のものは $k_2 = 9 \times 10^{-8}$ の程度にて、空氣の

値とは異つてゐる。第17圖は温度傳導率 k , 並に熱傳導率 (k) と空隙率 ν の關係を示すものである。點線は濱田博士の實驗結果を示すものである。

以上の研究の結果より判断するにコンクリートの熱傳導度と空隙率との關係は平均として (11) 式で示さるものである事を知る。

5 節 含水率の影響 コンクリート類の如き空隙を有するものゝ含水状況を先づ第一に知る必要がある、其の爲めに空隙の状態を判断することが必要である、其の類似のものに對しては東北帝國大學の棚澤博士、東京工業大學の河上氏等の理論的考察より熱傳導度と含水量との關係は凹上方、凸下方又は直線型に變る事を論じてゐる、其の際空隙の形式に並列、直列の混入せものは直線形となることを述べてゐる。

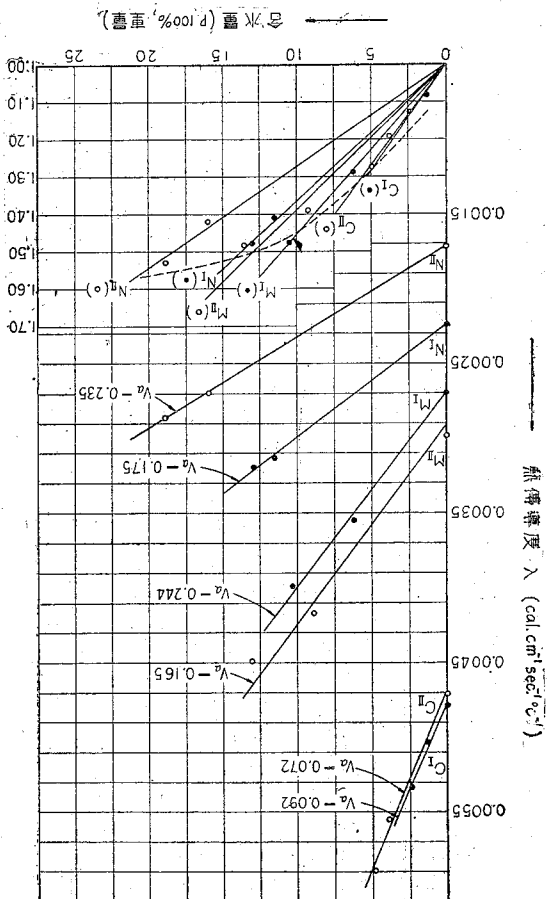
筆者の行つた實驗結果としては含水量は全般的平



第17圖 セメント、ペーセント、モルタル、コンクリートの温度傳導率並に熱傳導度と空隙率との關係

均値にて嚴密な定義を缺くも實際上直線型の如き形式に熱傳導度と含水量の關係が示されてゐる。

第 18 圖はセメントペースト、モルタル、コンクリート類の場合、熱傳導度(k)と含水量の關係を示すもので、 C_I C_{II} はコンクリート、 M_I M_{II} はモルタル、 N_I N_{II} はペーストセメントの場合にて、直線關係の斜傾は異なるも總て實驗の範圍内で關係は直線であることを知る、更に充分乾燥せるもの値 k_{II} を標準とし他の二状態 k_I k_{II} との比を求めてみる、即ち k_I/k_{II} 、 k_{II}/k_{II} と含水量 $P\%$ 關係を見るに一定の關係あるもの、様である。斯くの如くして含水量による影響を明かにした。



第 18 圖 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

に充分乾燥せるもの値 k_{II} を標準とし他の二状態 k_I k_{II} との比を求めてみる、即ち k_I/k_{II} 、 k_{II}/k_{II} と含水量 $P\%$ 關係を見るに一定の關係あるもの、様である。斯くの如くして含水量による影響を明かにした。

IV 章 要 約

以上 IV 章までに記述せし事によりコンクリートの熱的特性研究の一部門である。熱傳導度、溫度傳導率に對する試験研究の現状を述べ其の一般的傾向を明かにしたもので發熱量の研究と並行して考慮さるべき重要な特性なることを指摘したものである。

且つコンクリートの場合其の組成としての骨材、セメント種別空隙率、含水率の影響とを主として筆者の試験に據つて論じ、其の定性的傾向を明にしたもので施行者は如何なる點に考慮すべきやを指摘した。

即ち、出來上りコンクリートの空隙、含水量、並に使用骨材の種別等……の値よりして溫度傳導率の値の程度を推測し得る事を述べた。

更に資料の増加に伴ひ一層的確に推測し得るに至らん。(終)