

V-106 寒中コンクリートの保温養生に関する基礎的研究

室蘭工業大学 正員 尾崎 誠
全 全 ○ 志村 政雄
全 西田 久

1. まえがき

寒中コンクリートに関しては、すでに多くの研究がなされ各種示方書も整備されている。その間いろいろな施工方法が考えられ実施されてきたが、その一つに表面保護養生がある。近年良質な断熱材が豊富に得られるようになってきたので、これを利用した型枠が開発され、さらに実施が容易になるように思われる。

本研究は、ごく限られた範囲の実験から断熱材を型枠に利用した場合の基礎的資料を得ようとするものである。すなわち、寒中コンクリートでは初期養生が最も重要であるから、低温下において、断熱材で表面を保護されたコンクリートの打設直後からの温度降下を調べ、断熱材の所要厚さを温度と強度との関係の中で明らかにする必要がある。このため多くの研究者によつて提案されてきた積算温度の考え方を中心に検討した。

なお、コンクリートの水和熱の取扱い方が問題となるが実状に合うと思われる方式を提案した。またコンクリート供試体は強度試験の関係上、円柱を用いたので板(壁)状のコンクリート部材を想定して、この関係も考慮した。

2. 実験方法

次のような材料を用いて表-1の配合のコンクリートに対する実験を行った。

断熱材：発泡スチロール樹脂(比重0.027 熱伝導率 $0.31 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$)

セメント：普通ポルトランドセメント(比重3.15 粉末度 $3580 \text{ cm}^3/\text{kg}$ 圧縮強度 458 kg/cm^2)

細骨材：砂(比重2.75 吸水率0.95% 単位容積重量 1860 kg/m^3 粗粒率2.30)

粗骨材：砂利(比重2.70 吸水率1.74% 単位容積重量 1750 kg/m^3 粗粒率7.30)

混和剤：AE剤(ビゾール)

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 の最大寸 法 (mm)	スラン グの範 囲 (mm)	空気量 の範 囲 (%)	水セメン ト比 W/C(%)	細骨材 率 %a(%)	単位量(kg/m^3)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (AE剤) (cc)
25	70 ± 0.5	4.5 ± 0.5	50	37	40	280	738	1235	150

実験供試体はコンクリートが直径15cm、高さ30cm、の円柱供試体となるようにこれを被覆する。

断熱材は次の3種類の厚さの円筒形のものを用意し、これを型枠としてコンクリートを打設した。

なお、上下面は断熱し、円周面からだけの熱放散を考えた。

断熱材型枠の厚さ： $d=5, 10, 15 \text{ cm}$

打設時の温度はコンクリート、断熱材とも 20°C になるよう材料の温度管理をおこなった。コンクリート打設後、コンクリートの中心および円筒面、断熱材の外側と3個所に熱電対を設置し、低温室内に供試体を搬入し、次の3種類の外気温の条件の下で6日間養生した。

外気温： $T_a = -5, -10, -15^\circ\text{C}$

低温室は空菌五大機械工学科のものを借用したが室内を一定温度に保つのが難かしく、送風機も強すぎたため室内にテントを張り、その中の温度を外気温とし約±1℃の温度変化に押え、供試体を設置し、温度測定は電位差計式熱電温度計により検出した。6日間低温室内で温度を測定した供試体は常温にもどした後直ちに圧縮強度試験に供した。

なお、これらの供試体とは別に標準養生用の供試体も用意し、低温下において断熱保温養生したものとの比較のために枕令6日間および28日の強度試験を行った。また、積算温度と強度との関係を調べるために、枕令1、3、6、9、14、および28日の強度試験もあわせて実施した。

3. 実験結果

測定結果の1例を示すと図-1のようになる。図中に破線で示した曲線は水和熱を無視した一般の冷却式

$$T = T_a + (T_i - T_a)e^{-\frac{k}{\alpha}t} \text{----- (1)}$$

によつてコンクリートの内部温度を示したものであるが、平板の冷却式で換算して計算しても、円柱の冷却式で計算しても大差がない。

次に、水和熱の取扱いが問題になるが RIREM の寒中コンクリート施工指針にある

$$T' = T_i - \frac{1}{\gamma} \sum_0^t (T' - T_a) \Delta t \frac{CH}{\rho C} \text{---- (2)}$$

を用いた場合、温度降下の全域に恒る各枕令毎の水和熱Hのデータを求めることがむづかしいので別の方式を採用した。すなわち、データの得られやすい打込時の温度(この場合は20℃)における枕令 t_i (24時間附近)の水和熱 H_i を用いて、 $T' = T_i$ となる時間

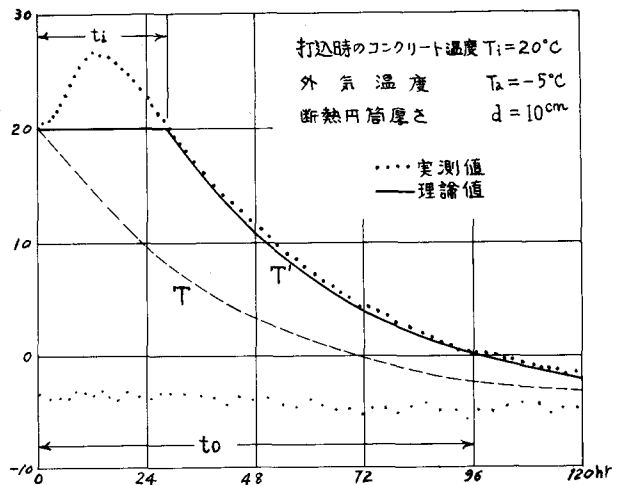


図-1

$$t_i = -\frac{Q}{K} \log e \left\{ 1 - \frac{C \cdot H_i}{\rho \cdot C (T_i - T_a)} \right\} \text{----- (3)}$$

を求め、これを冷却開始点として t_i だけ平行移行した冷却式を

$$T' = T_a + (T_i - T_a)e^{-\frac{k}{\alpha}(t-t_i)} \text{----- } t \geq t_i \text{---- (4)}$$

とすれば、図中の実線のように実測値とよく一致する。ただし、式中Cは単位セメント量(kg/m^3)、 H_i は t_i までのセメントの水和熱(kcal/kg)、 ρ は単位重量($2400 \text{ kg}/\text{m}^3$)、Cは比熱($0.215 \text{ kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)であり、熱質流率 K ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)、および熱容量

表-2 圧縮強度(kg/cm^2): ()内数値は積算温度($^\circ\text{C} \cdot \text{D}$)

型枠の厚さ(cm)	外気温度(6日)			標準養生(20℃)	
	-15℃	-10℃	-5℃	枕令6日	枕令28日
5	89 (36)	94 (37)	104 (58)		
10	123 (61)	104 (67)	122 (88)	152 (180)	251 (840)
15	125 (79)	117 (85)	131 (115)		

Q ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{c}$) は図のように表わされる。

$$Q = \frac{V}{A} c \cdot \rho, \quad \frac{1}{K} = 1.151 \frac{d_1}{\lambda} \log_{10} \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{d_2 \alpha} \text{----- (円筒)}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \text{----- (平板)}$$

また、強度試験の結果は表-2の通りである。図に、温度の測定結果においてSaul-BergströmのMaturity を採用し、 -10°C を基準として 0°C までの積算温度をもをDayで表わし

$$M = \int_0^t (T' + 10) dt, \text{ (ただし } t < t_i \text{ では } T' = T_i \text{ とする)} \tag{5}$$

のように表わし、強度試験の結果との関係を示すと図-2のようになり、本実験では

$$\sigma = 126 \log_{10} M - 124 \tag{6}$$

なる近似式で表わされた。図中○印は標準養生のもので●印は低温下の保温養生を経験した供試体の強度を示す。

4. 考 察

水和熱を無視した一般の冷却式(7)による積算温度(M)は実測したM値よりもかなり小さく、半分位になる場合もあるので、水和による打込時コンクリート温度以上の上昇温度分は無視しても、冷却開始時期の平行移動方式(7')による近似あおこすことによつて、コンクリートが 0°C になる日時(t_0)を正確に知るとともに実測に近いM値が得られ、圧縮強度の推定が確かになった。

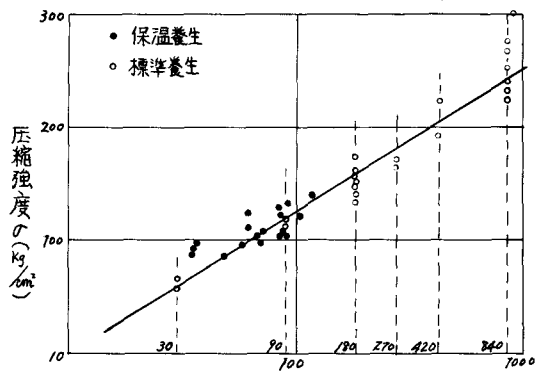


図-2 積算温度M(°C・D)

したがつて、このM値をコンクリートの種類に依じく比熱・水和熱・セメント量などを因子として)温度と熱貫流抵抗(1/k)との関係を表わしてあげば、断熱材の熱伝導係数をパラメーターとして、その厚さを求めることが出来る。この時、平板(壁)と円柱との換算をすることにより、円柱供試体強度と実際の板状構造のコンクリート型枠の所要厚さとの関係を図表化することができる。本実験における実例を図-3にて示す。

この図では、圧縮強度と積算温度との関係を(6)式で表わし、積算温度と熱貫流抵抗との関係を(5)式の関係を用いて表わしたので、実際の値より安全側に約 $10^\circ\text{C} \cdot \text{D}$ ほど小さくなつてゐる。また、熱貫流抵抗と圧縮強度供試体型枠の厚さとの関係はさきに示した(円筒)の式で表わし、これからさらに平板(壁)状型枠との関係を(平板)の式を用い、コンクリートの厚さによる熱容量の比を考慮して、円柱と平板の冷却値が等しくなるように表わしたものである。

なお、実際の現場では、型枠は外気に露ざれているので、コンクリート打設直後における熱の移動を考慮しなければならぬが、断熱型枠が薄い場合には、この影響は極めて少なく、別に実施した実

發例では、積算温度の減小は $10^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ 程度であつた。

5. むすび

本実験の結果では、多くの示方書券にある 50 kg/cm^2 という初期圧縮強度は $M=30^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ 以下で得られ、この程度の M 値はかなり法い断熱杖型枠でも容易に得られることを示した。

土木学会示方書では、無筋、鉄筋コンクリートに対し、3日間 10°C 以上となっているが、この種の保温養生の場合、 10°C 以下にならないためには、 $M=150^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ 以上を要求されるが積算温度の点から解釈すれば、

$M=60^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ となる。このように表面保護による保温養生では、積算温度による規定が要求される。

さらに、本実験の場合に限つて言及すれば、各種の寒中コンクリートにおける温度規定と強度規定との間には大きな差があるように思われる。また、実際には断熱杖と電熱線とを組み合わせた特殊型枠弄も考えられるので、この種の方法はさらに厳しい低温下でも有効であると思われるが、何れの場合でもシート弄によつて風を防ぐことを前提としている。

なお、本研究は能助教授の助言により昭和42年度から行つた研究で、昭和43年度には北海道科学研究費補助金を受けて実施した。こゝに記して感謝の意を表する次第である。

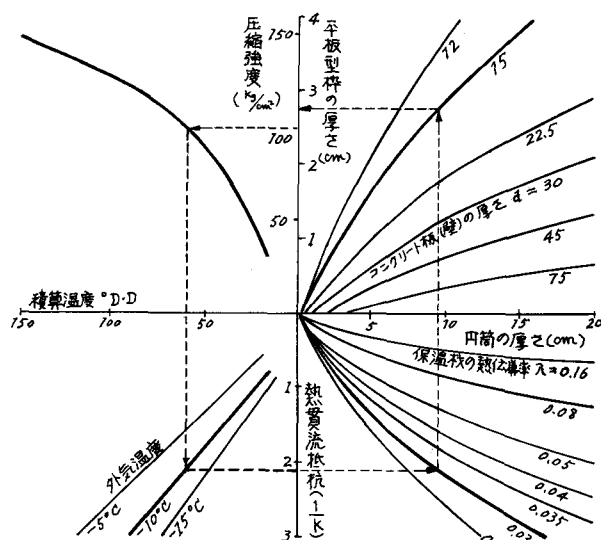


図 - 3

参考文献

洪 悦郎・長島 弘：寒中コンクリート， 技術書院，昭和43年。