

気温の日変動および年変動を考慮したマスコンクリートの応力解析

山口大学工学部 学生員 ○緒方 香奈恵
山口大学工学部 正 員 中村 秀明
山口大学工学部 正 員 浜田 純夫

1. はじめに マスコンクリートの温度応力を有限要素法等で計算した例は過去にも多くあるが、一般に外気温は平均温度で与えられることが多い。そこで本研究では、外気温の日変動および年変動を考慮したマスコンクリートの温度応力解析を行った。

2. 解析方法 温度解析は2次元の有限要素法でおこなった。空間的、時間的に離散化された非定常熱伝導方程式は、次のように表わすことができる。

$$\left(\frac{1}{2}[K]+\frac{1}{\Delta t}[C]\right)\{\Phi(t+\Delta t)\}=\left(-\frac{1}{2}[K]+\frac{1}{\Delta t}[C]\right)\{\Phi(t)\}+\{F\} \quad (1)$$

ここで、 $[K]$ 、 $[C]$ 、 $\{F\}$ 、 $\{\Phi\}$ はそれぞれ熱伝導マトリックス、熱容量マトリックス、熱流速ベクトルおよび未知節点温度ベクトルである。応力は、温度応力を内部拘束応力と外部拘束応力に分けて考えるC1法により求めた。

非定常熱伝導方程式を解くためには境界条件が必要である。その境界条件の熱伝達境界においては、次式に表わされるように外気温が必要である。

$$q=\alpha_e(\phi-\phi_e) \quad (2)$$

ここに、 α_e は熱伝達係数であり、 ϕ_e は外気温である。従来の温度解析において外部温度は一定として計算されていたが、実際には外気温は一定ではない。そこで、外気温は時間によって変化するものとし、それをsin関数で表わす。

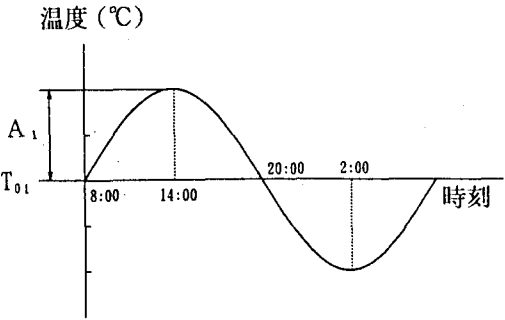


図-1 外気温の日変化

表-1 解析条件

	コンクリート	地盤
比 熱 (kcal/kg°C)	0.25	0.36
熱伝導率 (kcal/mh°C)	2.06	1.26
熱伝達率 (kcal/m²h°C)	3.6 12.0	$t \leq 5$ $t \geq 5$
密 度 (kg/m³)	2350	1600
初期温度 (°C)	21	15
断熱温度上昇特性 K	45.6	
α	0.81	
外 気 温 (°C)	18	
熱膨張係数 (1/°C)	10×10^{-6}	
圧縮強度 (kgf/cm²)	$f_c(t) = \frac{t}{4.5+0.15t} f_c(91)$ ($f_c(91) = 225 \text{ kgf/cm}^2$)	
引張強度 (kgf/cm²)	$f_t(t) = 1.4 \sqrt{f_c(t)}$	
ヤング率 (kgf/cm²)	$E_c(t) = \psi(t) \times 1.5 \times 10^4 \sqrt{f_c(t)}$ $t < 3 \text{ 日} : \psi(t) = 0.73$ $3 < t < 5 \text{ 日} : \psi(t) = 0.15t + 0.325$ $t > 5 \text{ 日} : \psi(t) = 1.0$	
外部拘束係数 R_w	0.01	
R_w (ピーク前)	0.7	
R_w (ピーク後)	1.1	

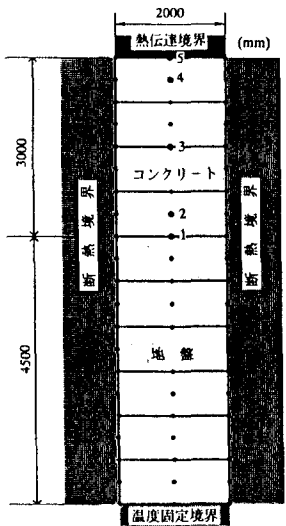


図-2 解析モデル

1日(24時間)に対して次のsin関数を仮定する。

$$T = T_0 + A \sin\left(\frac{2\pi}{24}(t + \Psi)\right) \quad (3)$$

ここに、 T_0 は1日の平均温度、 A は1日の温度振幅
 Ψ は日変化の位相時間である。ここにおいて時間 t は
 位相時間が考えられるので、1月1日の零時を0とし
 図-1のように午前8時を基準とするsin関数を仮定
 すると日変化の位相時間は $\Psi = -8$ となる。また年変
 化も日変化と同様に表わすことができる。

3. 解析結果および考察 解析例として地盤上に
 打設されたコンクリートスラブの解析を行った。温度
 解析の有限要素モデルを図-2示す。CL法による応
 力解析は、コンクリート部分の9の格点で行った。ま
 た解析条件を表-1に示す。スラブ表面は打込み後5
 日まで保温養生されている。従って、熱伝達係数を材
 令5日目までは $3.6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ とし、5日目以後は 12
 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ とした。引張強度については、コンクリ
 ート標準方書15.3.5解説に示されている式より求めた。
 また、外部拘束係数 R_N 、 R_M は、コンクリート標準
 方書15.3.6解説に示されている図を用いて求めた。解
 析モデルに対して日変化を含めた外気温を用いて応力
 を求めた。平均温度を 10.0°C 、日変化の温度振幅を
 0°C 、 5.0°C 、 7.5°C および 10.0°C と仮定し、外
 気温と各節点応力の関係を調べた。各節点応力の解
 析結果を図-3～6に示す。

引張強度が最大となるのはスラブ表面の節点5であ
 る。また、保温養生が終わる材令5日以後全体の応力
 に変化がみられる。これは、保温養生が終わり表面の
 温度が下がるためである。そのことが、スラブ表面の
 節点5に顕著にみられる。節点5の応力が引張強度に
 達するのは、温度振幅が 0°C の場合は材令5日程度、
 温度振幅が 5°C の場合材令4日程度、温度振幅が 7.5
 $^\circ\text{C}$ および 10°C の場合材令3日程度であることがわ
 かる。

4. あとがき コンクリートの温度において外気
 温の影響を大きく受けるのは、熱伝達境界面とその面
 に近い節点であるが、コンクリート内部ではほとんど
 影響を受けない。しかし、コンクリートの応力は、熱
 伝達境界面にある節点は言うまでもなく、コンクリ
 ート内部の節点にも外気温の影響が大きくでている。
 したがって、コンクリートの応力を正確に求めるには、
 外気温の変化を正確に表わすことが必要である。

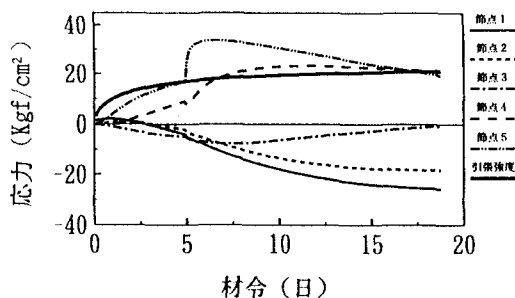


図-3 日変化の温度振幅が 0°C の各節点応力

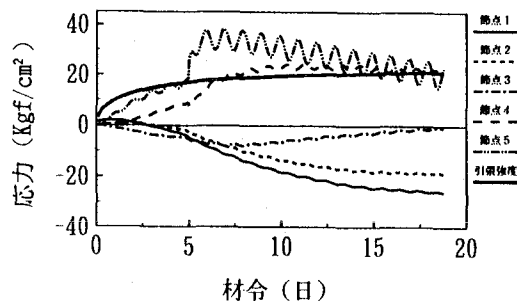


図-4 日変化の温度振幅が 5.0°C の各節点応力

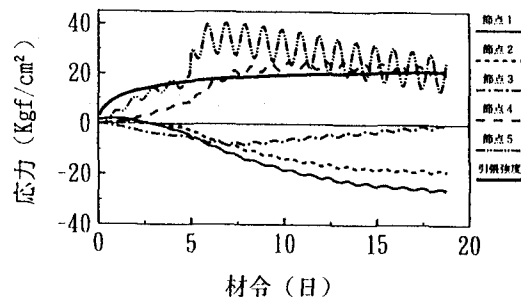


図-5 日変化の温度振幅が 7.5°C の各節点応力

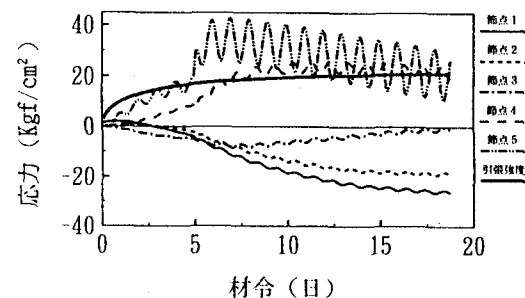


図-6 日変化の温度振幅が 10.0°C の各節点応力