

電力中央研究所 正員 田辺忠顕
電力中央研究所 正員 原口 晃
電力中央研究所 正員 山川秀次

1. まえがき

原子力発電所のコンクリート構造物の熱応力の影響をめぐって種々の議論があるが、この種の検討に資するため、大型の実構造物の太陽熱による温度応力を実測することになった。本報告は、それに先立って行なった解析結果の一部をとりまとめたものである。

2. 直達日射量の解析

図-1に示したように、地球中心上に固定されその R_z 成分が常に太陽の方向へ向いているベクトル $\{R^*\}$ 、日射量を求めたい構造物の着目点にたてた外向き法線ベクトル N^* とからその位置での直達日射量は、次のように求められる。

$$N^* \cdot R_z \cdot \alpha(\theta) \cdot (\text{表面積})$$

$$= \alpha(\theta) \cdot [\sin \theta^* \eta_{21} + \cos \theta^* \cos \theta^* \eta_{22} + \sin \theta^* \cos \theta^* \eta_{23}] \cdot (\text{表面積}) \quad (1)$$

ただし、

$$\eta = \begin{bmatrix} \cos \xi & -\sin \xi & 0 \\ \sin \xi & \cos \xi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta \cdot \sin \varphi & \cos \psi \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi + \sin \psi \cdot \sin \varphi & -\sin \psi \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi + \cos \psi \cdot \sin \varphi \\ \cos \theta \cdot \sin \varphi & \cos \psi \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi - \sin \psi \cdot \sin \varphi & -\sin \psi \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi - \cos \psi \cdot \cos \varphi \\ \sin \theta & \cos \psi \cdot \cos \theta & -\sin \psi \cdot \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで

ξ : 地球公転角度 (夏至から計る)

θ : 地球の自転角度

ψ : 地軸の傾き

φ : 考慮している地点の緯度

θ^* : 水平方向から N^* へ計った角度

φ^* : 真南から計った N^* の水平成分迄の角度

$\alpha(\theta)$: 一日の時刻の関数である補正係数

計算結果の一例をドーム円筒部の東西南北の各面について $\alpha(\theta) = -$ 一定の場合について示した。(図-2参照)

3. 非軸対称温度分布解析の定式化

軸対称な構造物に対して熱入力が非軸対称である場合について、次の有限要素法による定式化を行う。

円筒座標を用いた三次元の熱伝導方程式および対流境界条件に対して、次の汎関数が与えられる。

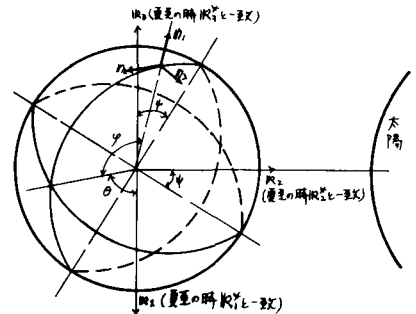


図-1 理論直達日射量の計算用

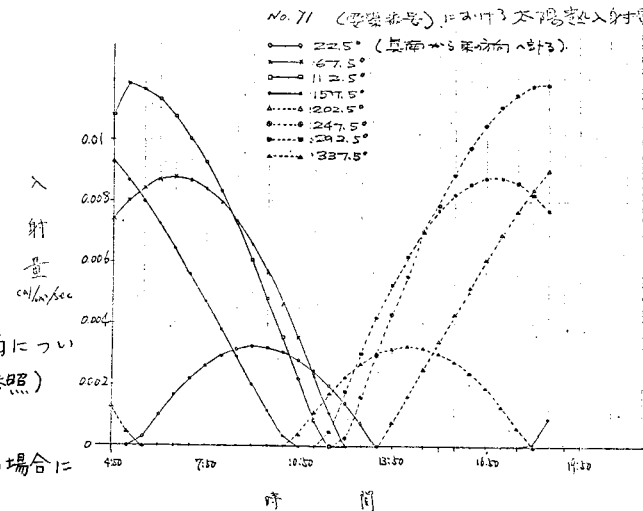


図-2 経時温度変化

$$\chi = \int_V \left[\frac{1}{2} \left\{ K_r \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \frac{K_\theta}{r^2} \left(\frac{\partial T}{\partial \theta} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - (Q - \rho C \frac{\partial T}{\partial t}) T \right\} \right] dV + \int_s q T ds + \frac{1}{2} \int_s h (T - T_0) ds \quad (3)$$

ここで、

K_r, K_θ, K_z : それぞれ r, θ, z 方向の熱伝導係数

Q : 体積発熱率 C : 比熱 q : 輻射熱 h : 熱伝達率

T_0 : 境界の雰囲気温度

T を θ 方向の Fourier 級数で表わすと、

$$T = \sum_{n=0}^{\infty} (T_{nc}(r, z, t) \cos n\theta + T_{ns}(r, z, t) \sin n\theta) \quad (4)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} T_{nc} &= \alpha_{1nc}(t) + \alpha_{2nc}(t)r + \alpha_{3nc}(t)z \\ T_{ns} &= \alpha_{1ns}(t) + \alpha_{2ns}(t)r + \alpha_{3ns}(t)z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(4), (5) 式を (3) 式に代入し、各 T_{nc}, T_{ns} について変分をとる 図-3

Fourier 級数の直交関係を利用することによって、各 Fourier 項ごとの連立

微分方程式が得られる。この連立微分方程式を Wilson-Coughn の差分スキームにより解いた。

4. 解析結果

図-3 に示した

鉄筋コンクリート

ドームに対して A

地床の夏至時点を

とり、温度分布を

求めた。コンクリ

ートの熱伝達率とし

て、 $K_r = K_\theta = K_z = 1.5 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, $h = 15.8 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$, $C = 0.23 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ をとった。

$EL = 50.01 \text{ M}$ の周方向の温度分布を示すと、図-4

のようになり、東西にドームを切断した断面の温度分布

を示すと、図-5 のようになる。これから、太陽の移動

につれてドームが太陽の方へ引き寄せられるように膨張

すること、また、壁の内外の温度差が 12°C 以上にも達

すること等がわかる。なお、本解析はこの種の計算のみ

ならず、一般に軸対称構造物の非軸対称温度分布を求め

るために使用しうるものである。

実構造物が本年末に完成した後実測を開始し解析値と

の比較検討を行う予定である。

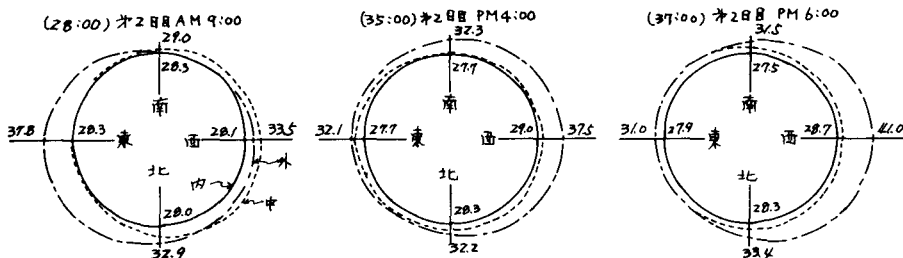
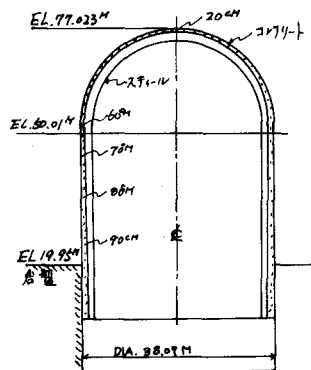


図-4 ドーム切断面の温度分布

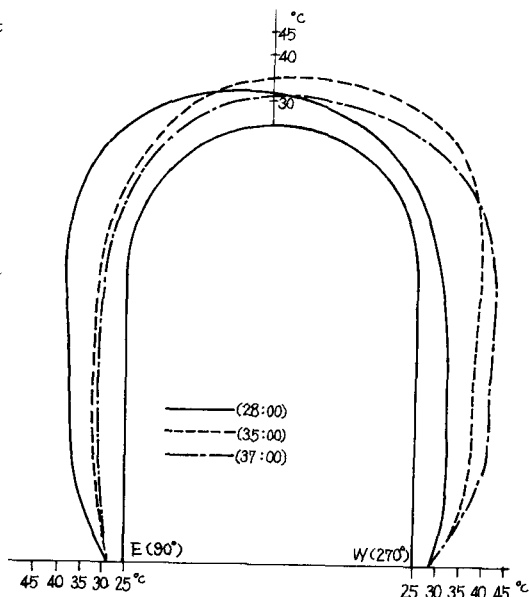


図-5 円周方向の温度分布