

大型土木構造物に対する日射熱入力に関する研究

名古屋大学工学部 学生会員 ○ 粥川 幸司
 名古屋大学工学部 学生会員 賀茂 友裕
 名古屋大学工学部 正会員 田辺 忠顕

1. はじめに

ダム、橋脚、壁などの大型コンクリート構造物の構造特性を推定する方法として、日射に対する熱変形を実測しそれを解析値と比較する方法がある。これらの解析を行う場合、任意の地点に位置する構造物の任意方向の曲面に、どれ程の日射入熱があるかを任意時刻について、計算できなければならない。また、山や他の構造物の陰になる場合には、その考慮も自動的に行える必要がある。

本研究では、これらを計算するプログラムを作成するための定式化、及び、これに基づいていくつかの数値計算結果を報告する。

2. 日射量の算定理論

(A) . 太陽方向ベクトル

地球の公転軌道を完全円とし、太陽、地球における各々の座標系を図-1 のようにとれば、夏至からの地球位置の公転角度を ξ とし、時間をパラメータとした観測地点における太陽方向ベクトルを求めることができる。ここでは観測地点 O

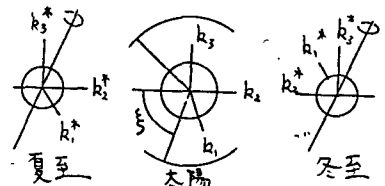


図-1 {k}, {k*} ベクトルの定義

における直交座標系 {N} として、地球中心 O' と O を結ぶ方向に n_1 、 O から真南に n_2 、 n_1 と n_2 の外積を n_3 とする座標系を用いる。{N} と {k} の間には次の関係が成り立つ。

$$\begin{Bmatrix} k_1^* \\ k_2^* \\ k_3^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \xi & \sin \xi & 0 \\ -\sin \xi & \cos \xi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} & \eta_{13} \\ \eta_{21} & \eta_{22} & \eta_{23} \\ \eta_{31} & \eta_{32} & \eta_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{Bmatrix} \dots\dots(1)$$

[η] マトリックスの内容については文献1) を引用した。

1月1日から数えた日数を a ($1 \leq a \leq 365$)、時を b ($0 \leq b \leq 23$)、分を c ($0 \leq c \leq 59$) とすれば、1月1日 0時0分より a 日目 b 時 c 分までの総分数 d ($0 \leq d \leq 525600$) は、 $d = 1440(a-1) + 60b + c$ となり、地球回転角 ξ 、1日の時角 θ は時式より求められる。

$$\xi = 2\pi(d - 248400) / 525600 \dots\dots\dots(2)$$

$$\theta = -\pi/2 + \pi(60b + c) / 720 + \xi \dots\dots\dots(3)$$

(B) . 対象構造物と日射を遮る障害物の関係

構造物と太陽の間に何も存在しなければ、(5)式をそのまま用いて、日射量を計算できる。しかし多くの場合、他の構造物や山などの障害物が存在するので、いつその陰が生じ、また、いつ日射入熱を受けるか計算する必要がある。そのために以下の手法を用いて、陰の計算を行った。

図-2に示すように、構造物要素 PQR の重心 G をとおる太陽方向直線の方程式を求め (太陽方向ベクトルは、(A) で与えられる。)、これが障害物要素 ABC を含む面と交わる点を S とする。 S が $\triangle ABC$ の内部に存在すれば、 $\triangle PQR$ は $\triangle ABC$ にたいして陰であると判定する。判定方法は次の通りである。

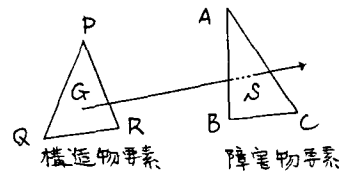


図-2 構造物と障害物の関係

$$\begin{aligned}
 (\vec{AB} \times \vec{AS}) / |\vec{AB} \times \vec{AS}| &= \vec{e}_1 = (e_{11}, e_{12}, e_{13}) \\
 (\vec{BC} \times \vec{BS}) / |\vec{BC} \times \vec{BS}| &= \vec{e}_2 = (e_{21}, e_{22}, e_{23}) \\
 (\vec{CA} \times \vec{CS}) / |\vec{CA} \times \vec{CS}| &= \vec{e}_3 = (e_{31}, e_{32}, e_{33}) \quad \text{と、おいて} \\
 (e_{11} = e_{21} = e_{31}) \cap (e_{12} = e_{22} = e_{32}) \cap (e_{13} = e_{23} = e_{33}) &\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

が、成立するとき、 ΔPQR は ΔABC の陰である。

構造物においては、その要素はできるだけ細かく分けたほうがよい（障害物はおおまかでよい。）。1つの構造物要素に通る障害物要素を対応させ、それら全ての障害物要素に対して構造物要素が陰でない、と判定されたとき、その構造物要素を日射領域と判断する。これらの過程を構造物要素全てについて行えば、障害物の陰が構造物にたいしてどのようなになるか、を知ることができる。また、構造物要素それぞれについて日射量を計算し、それらを合計すれば構造物が受ける全日射量も求められる。なお、接点の座標は、(A)の{N}座標系を用いる。

(C) . 日射量の算出

直達日射量P、拡散日射量Q、理論日射量Rは、次式より求められる。

$$\begin{aligned}
 P &= I_0 p^{(1/\sin h)} \cdot N^* \cdot k_2^* \cdot (\text{表面積}) \\
 Q &= I_{SH} \cdot N^* \cdot k_2^* \cdot (\text{表面積}) \quad \dots\dots\dots(5) \\
 R &= P + Q
 \end{aligned}$$

ここに、 I_0 : 太陽輻射強度 p : 太陽透過率

$\sin h = k_2^* \cdot n_1$: 太陽高度

$I_{SH} = I_0 \sin h \cdot (1 - p^{(1/\sin h)}) / 2(1 - 1.4 \log_e p)$: 拡散日射量

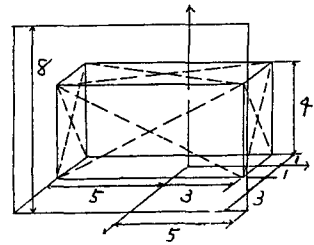


図-3 数値実験モデル

3. モデル数値計算結果

図-3に示すようなモデルを仮定した。直方体構造物の各面を対角線を用いて三角形要素に分けた。また、壁状の障害物も同様にした。モデル計算であるので、数字についての考察は控えるが、太陽が

表-1 モデルにおける数値計算結果 (kcal/m²/minute)

月日	時分	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
3月21日	直達日射量	213.92	302.10	181.54	240.96	208.92	0.00
	天空日射量	7.72	23.06	16.06	15.43	5.92	0.00
北緯	理論日射量	221.64	325.16	197.60	256.39	214.84	0.00

南中する12時前後に日射量が少なくなっている原因は、太陽方向である南側に障害物を設置したことによって構造物に陰の部分が多くできたためである。

このようにして、日射量の算出ができると、これを熱入力として熱変形計算を行うことができる。詳細については当日発表する予定である。

4. 参考文献

- 1) 日射を受ける伊方原子力発電所2号炉外部遮蔽壁の熱応力解析、電力中央研究所、土木技術研究所、1982年