

V-207 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 ○瀬川 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

近年、コンクリート構造物の簡便な健全性診断方法として、日射入熱を外荷重とした熱変形解析値とレーザー光線による変位実測値を比較することがある。ところで、対象構造物への日射は、位置、時刻、太陽光線の大気透過率、構造物に生じるとされる陰影の状態等によって変化するものである。

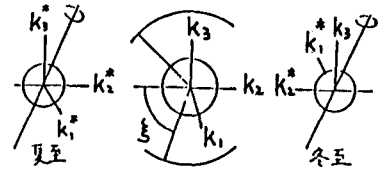
そこで、本研究では、これらの影響を考慮に入れた日射量算出のため定式化、及びプログラム作成を行った。そして、これを用いて、愛知県矢作第一ダムにおける日射量計算、及び熱変形計算を行い、変位実測値との比較を行うものである。

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 として、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

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^* にとる座標系を用いる。 $\{N^*\}$ と $\{k^*\}$ の間には次の関係が成り立つ。

図-1 $\{k\}, \{k^*\}$ ベクトルの定義

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

[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。

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

$$\theta = -\pi/2 + \pi(60b+c)/720 + \pi(d-248400)/263520 \dots\dots(3)$$

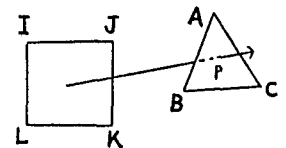


図-2 構造物と障害物の関係

(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IJKLの重心Gをと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Pとする。Pが $\triangle ABC$ の内部に存在すれば、IJKLは $\triangle ABC$ に対して陰であると判定する。判定方法は次の通りである。

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

が、成立するとき、I J K Lは△ABC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。

$$\left. \begin{aligned} P &= I_0 p^{(1/\sinh)} \cdot N^* \cdot k_2^* \cdot (\text{表面積}) \\ Q &= I_{SH} \cdot (\text{表面積}) \\ R &= P + Q \end{aligned} \right\} \cdots\cdots(5)$$

ここに、 I_0 : 太陽輻射強度 p : 太陽透過率

$\sinh = k_2^* \cdot n_1^*$: 太陽高度

N^* : 構造物要素平面外向き法線ベクトル

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

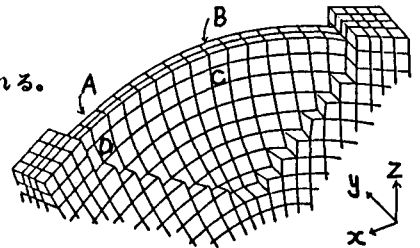


図-3 矢作ダム概略図

3. 矢作第一ダムのモデル化及び日射量計算

矢作第一ダムは愛知県北東部に位置する放物線アーチ式コンクリートダムである。今回は図-3に示すようにダム本体及び周囲の岩盤を含めて要素分割を行った。また、ダム本体には周囲の山により陰が生じこれが時間により変化する。これらを考慮に入れた日射量計算結果を図-4に示す。

A、Bはダム上流側(南側)要素面、C、Dは下流側(北側)要素面であり、また、A、Dは右岸側、B、Cは中央部の要素面である。A、Bを比較してAで午後日射量が低下するのはダム本体による影になるためである。C、Dでは、ほぼ一日中直達日射がなく拡散日射のみであるが、Dでは午後3時頃直達日射を受けるので日射量増加が見られる。

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

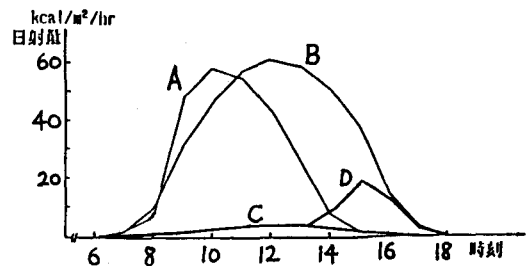


図-4 ダム要素の受ける日射量