

大日本土木 正 会員 ○丹 羽 誠
 名古屋大学大学院 学生会員 滝 本 和 志
 名古屋大学工学部 正 会員 田 辺 忠 顕

1. 序

最近の構造物の大型化に伴い、大量のコンクリートを打設した大断面部材のマスコンクリートでは、セメントの水和熱による温度応力ひびわれが問題となっている。精度よい解析を実施すれば、この種の温度応力は事前によりかなり推定できるが、一般コンクリート構造物に対して、そのたびに FEM 解析をするのは、不経済でもあるし繁雑でもある。これに代わる精度よい近似解法が得られれば、それに越したことはないと考えられる。そこで本研究では、Compensation Plane による温度応力解析法を開発し、その精度を 3 次元有限プリズム法による値と比較した。

2. Compensation Plane を用いた温度応力の近似解法の定式化

従来、ヤング率が変化しない物体において、外部的な拘束が無い場合に、内部の温度勾配によって生じる内部拘束応力を求める方法として、Compensation Line 法という手段があった。これは部材の至分布が、温度応力が作用する場合でも、断面内で直線的であることを利用して、軸力、曲げモーメントが零となる一つの平衡直線を求める方法であった。ここでは、それを 3 次元場に発展させ Compensation Plane を解くと同時に、外部拘束作用が働く場合も Compensation Plane の傾き、位置を操作することによって近似解を得ることを試みた。またコンクリートのヤング係数は材令にともなう変化するので、その場合にも対応できるように増分形式で定式化を行った。図 1 a は、下から順々に打ち上がり、いくコンクリートリフトの、ある材令 T_1 から T_2 に変化したときの温度増分 Δt を、長手方向と垂直なある半断面内の等温度線として一点鎖線で示してある。コンクリートリフトは全部で N ステップで打ち上がるものとし、打設した順に $1 \sim N$ の番号を各リフトに付す。また、座標系は最後に打設したリフトの底部外縁を原点とする $X-Y$ 座標系とする。Compensation Plane を各リフトごとのヤング係数 E^k を考慮した温度分布の平均を軸力成分とし、その平均からの傾きをモーメント成分とすることによって定式化する。なお、以下の定式化は、図 1 a のように半断面内で行ってある。マイコンで計算しやすいように表すと、軸力成分の総和 P は、

$$P = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n E^k \Delta t_i \Delta A_i \quad (1)$$

となり、軸力成分 $\Delta \bar{t}$ は、半断面であることを考慮して次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta \bar{t} &= \frac{P}{\sum_{k=1}^N E^k A^k \frac{1}{2}} \\ &= \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n E^k \Delta t_i \Delta A_i}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{2} E^k A^k} \quad (2) \end{aligned}$$

次に、ヤング係数を考慮した全リフトの重心点 Y_G を求める。

$$Y_G = \frac{\sum_{k=1}^N E^k A^k Y_G^k}{\sum_{k=1}^N E^k A^k} \quad (3)$$

重心点を中心としたモーメント成分の総和 M は、

$$M = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n E^k \Delta A_i (\Delta t_i - \Delta \bar{t}) (y_i - Y_G) \quad (4)$$

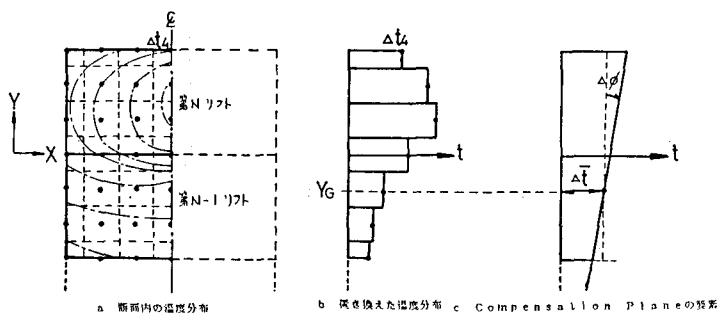


図 1 Compensation Plane の解析手順

となる。αはコンクリートの線膨張係数である。図1 Cのモーメント成分の総和 M_c は

$$M_c = \sum_{k=1}^N \int_{Y_0}^{Y_k} \frac{B^k}{2} E^k \Delta \phi (y_i - Y_0)^2 dy = \frac{\Delta \phi}{6} \sum_{k=1}^N B^k E^k \{ (Y_k^3 - Y_0^3) - (Y_0^3 - Y_0^3) \} \quad (5)$$

$M = M_c$ であるから、

$$\Delta \phi = \frac{6 \sum_{k=1}^N \alpha E^k \Delta t_i (y_i - \bar{y}) (y_i - Y_0)}{\sum_{k=1}^N B^k E^k \{ (Y_k^3 - Y_0^3) - (Y_0^3 - Y_0^3) \}} \quad (6)$$

で与えられ、Compensation Planeは、 Δt 、 $\Delta \phi$ によってその温度分布から定義できる。したがって、内部拘束効果による温度応力増分 $\Delta \sigma_{Ti}^k$ は、次式で表される。

$$\Delta \sigma_{Ti}^k = E^k \{ -\alpha \Delta t_i + \{ \alpha \Delta \bar{t} + \Delta \phi (y_i - Y_0) \} \} \quad (7)$$

基準となるヤング率を E^* として、構造系全体の断面2次モーメント I は、

$$I = \sum_{k=1}^N \left[\frac{E^k}{E^*} I^k + (y^k - Y_0)^2 A^k \frac{E^k}{E^*} \right] \quad (8)$$

となるから、外部拘束効果における温度応力増分は、次式のようになる。

$$\text{軸方向成分} \quad \Delta N_R = -R_N \sum_{k=1}^N E^k A^k \Delta \epsilon \quad (9a)$$

$$\text{曲げ成分} \quad \Delta M_R = -R_M E^* I \Delta \phi \quad (9b)$$

R_N, R_M は自由な温度変形を拘束する拘束係数である。外部拘束による全体としての温度応力増分 $\Delta \sigma_R^k$ は、

$$\Delta \sigma_R^k = E^k \frac{\Delta N_R}{\sum_{k=1}^N E^k A^k} + E^k \frac{\Delta M_R}{E^* I} (y - Y_0) \quad (10)$$

で表される。以上から全体としての温度応力増分 $\Delta \sigma_i^k$ は、

$$\Delta \sigma_i^k = \Delta \sigma_{Ti}^k + \Delta \sigma_R^k \quad (11)$$

となり、材令 T における各点 i の温度応力 σ_i^k は、各時間ステップ T_{j-1} から T_j の間の温度応力増分の和で表され、 $\Delta T_j = T_j - T_{j-1}$ として次式が得られる。

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^T \Delta \sigma_{i,T_j}^k = \sum_{j=1}^T (\Delta \sigma_{Ti}^k + \Delta \sigma_R^k) \Delta T_j \quad (12)$$

3. 壁体モデルにおける有限プリズム法による解とCompensation Plane法による解との比較

Compensation Plane法による温度応力の算定方法の精度を確認するために有限プリズム法による温度応力解析値と比較してみる。図2に解析に用いた壁体モデルの断面形状を示す。コンクリートの単位セメント量は、 300 kg/m^3 とする。長手方向の長さは 20 m である。このモデルは、基礎となる下部リフトの上にコンクリートを打設して、上部リフトとするものである。このため、下部リフトが上部リフトの拘束体となる。全体として、Compensation Plane法による応力解析でも、有限プリズム法による応力解析との差はわずかであり、

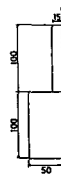


図2 解析に用いた壁体モデル

実構造物への適用も、有限プリズム法による応力解析とはほぼ同等に評価できるものと考えられる。なお、スペース上、他の断面における結果を載せることはできないが、誤差は図3の結果と同等である。

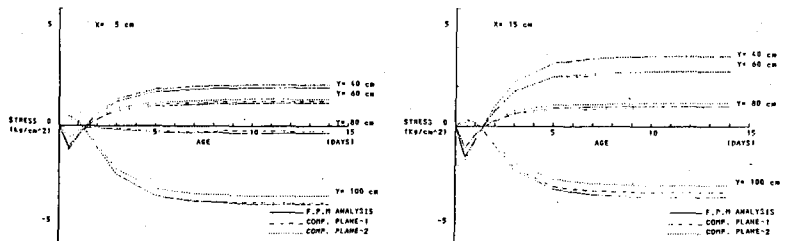


図3 壁体モデルにおける解析結果