

有限プリズム法によるコンクリート構造物の温度応力解析

名古屋大学 学生会員 山下 裕司
 名古屋大学 学生会員 ○丹羽 誠
 名古屋大学 正会員 田辺 忠顕

1. はじめに

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グリートでは、その施工時において、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。特に、壁体構造物等の一方向に長い構造物では、ひびわれが構造物の長手方向に垂直で一定間隔で起こることから、温度応力の長手方向成分がひびわれの原因となっていることは明らかであり、この応力成分を解析することが必要である。しかしながら、従来の2次元有限要素法あるいは3次元有限要素法を用いた温度応力解析法では、一方向に長い構造物に適用した場合、前者では長手方向の解を得ることができず、後者では自由度が大きくなり過ぎるという難点がある。

本研究は、これらの点を考慮して、一方向に長い構造物に適用するのに有利な有限プリズム法を用いた温度分布ならびに温度応力解析手法を、実際の壁構造物に適用し、壁状に、リフトが打ち上がり、つりく構造物の下部リフトの拘束係数を算出してみた。

2. 解析手法の概要

2. 1 温度分布解析法について

図-1のような四角形プリズム要素の全体の温度分布 ϕ は、

N_i を X, Y に関する形状関数として

$$\phi = \sum_{i=1}^4 N_i \phi_i; \phi_i = \sum_{j=1}^3 N_j (\phi_{i,j,0} + \sum_{m=1}^3 \phi_{i,j,m} \sin \frac{m\pi z}{L}) \quad (1)$$

と考えることができる。この温度分布 ϕ を空気との対流面を考慮した熱伝導に関する汎関数 χ

$$\chi = \iiint_V \left[\frac{1}{2} \left\{ x_x \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + x_y \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + x_z \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right\} - (Q - C \frac{\partial \phi}{\partial t}) \phi \right] dV + \iint_S h (\phi_a - \phi)^2 dS \quad (2)$$

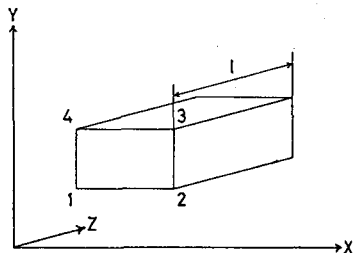


図-1 四角形プリズム要素

へ代入し、この χ を全体の系で節点ごとを重ね合わせ、それぞれの節点のフーリエ係数 $\phi_{i,j,m}$ でそれを偏微分したものを0とおくことにより、各係数マトリックスを求めることができる。

2. 2 温度応力解析法について

応力-ひずみ関係は、温度によつて生ずる初期ひずみを ϵ_0 とすると

$$\{\sigma\} = [D] (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\}) = [D] \left(\sum_{m=1}^3 \sum_{k=1}^3 [B_k]_m \{\delta_k\}_m - \{\epsilon_0\} \right) \quad (3)$$

ここに、 $[D]$ は応力-ひずみ関係マトリックス、 $[B]$ は変位-ひずみマトリックスである。

構造物を N 個のプリズム要素に分割し、時間刻み Δt の間のひずみエネルギー増分を偏微分したも

のもとおくことにより、

$$\left\{ \frac{\partial \Delta U}{\partial \delta} \right\} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \iiint_{V_i} [B^i]^T [D] [B^i] \{\delta^i\} dV - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \iiint_{V_i} [B^i]^T [D] \{\epsilon_0\} dV = 0 \quad (4)$$

それぞれの節点変位増分 $\{\delta\}$ を求めることができる。

本解析では、温度分布解析、温度応力解析ともに、図-1に示した四角形プリズム要素を用いている。

3. 壁体構造物の拘束係数

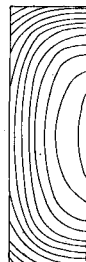
解析に用いた壁体の概要は、幅が30 cm、高さが1.0 m、長さが20.0 mで、下部に同じ大きさのコンクリートリフトが上部を拘束するものとした。

拘束係数を論じる時に、現在JCIマスコンクリート温度応力委員会で行っている手法、すなわち、外部拘束係数と軸方向拘束係数と、曲げ拘束係数とに分け、温度応力と内部拘束応力成分と軸方向外部応力成分、および曲げ外部応力成分との和として表わす手法を採用させて頂いた。

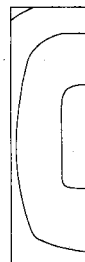
したが、2. 温度応力解析は、次のように行な、た。

- (1) 壁体下部にコンクリートリフトを付けて変位拘束をしない状態。
- (2) 壁体単独で、(1)で得られた温度分布をもとに、長手方向の水平変位を拘束した状態。
- (3) 壁体単独で、(1)で得られた温度分布をもとに、変位拘束をしない状態。

図-2は、応力解析のもととなった、長手方向中央の断面内における温度分布を表わしたものである。この図の下部にリフトが付いており、そのため壁体下部の温度が上部に比べて幾分高くなっており、リフトによる効果を表わしている。材令0.67日の方は、ほぼ最大温度発生時の分布で、壁体中心部と端部との差が、材令3.0日の時の分布と比べて大きくなっている。このことは、拘束係数の変化に影響を与えているのである。



材令0.67日



材令3.0日

図-2 半断面内の温度分布

図-3は、壁体の長手方向中央の断面内で端から13.9 cmのところの応力の垂直分布をもとに計算したものである。材令初期においては、前述のように温度変化が著しく、壁体の中央部が持ち上げられるような応力状態となるため、曲げ応力による拘束が卓越しているが、材令の経過とともに、断面内の温度分布が平滑化してくると軸力による拘束が卓越するようになり、それぞれの拘束係数は、一定値をとる。

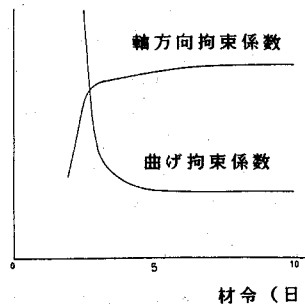


図-3 材令による拘束係数の変化

4. おわりに

現段階では、まだ十分な解析結果が出ていないため、単純な考察しかかえられていないが、さらに壁体の各断面内の拘束係数を解析することにより、講演当日には、詳細な結果を発表する予定である。