

仕事量一定則に基づき膨張材の効果を検討した FEM 温度応力解析

名城大学大学院 学生会員 山口 将太 名城大学 正会員 石川 靖晃

1. はじめに

初期応力解析において、膨張材の効果に関する検討が、近年多く行われている。ひび割れ制御指針¹⁾では、膨張材の効果、拘束度を考慮した自由膨張ひずみとして与え膨張効果を表現する手法が提案されている。一方、石川ら²⁾は、仕事量一定則に基づき膨張材の効果表現手法を構築している。しかし、各手法による膨張材の効果に対する比較は行われていない。そこで、本研究では、石川ら²⁾が提案した膨張材効果を表現する手法を FEM 温度応力解析に適用し、仕事量一定則に基づく手法と、ひび割れ制御指針¹⁾による手法との比較検討を行うことを目的とした。

2. 仕事量一定則に基づいた自由膨張ひずみモデル

まず、膨張コンクリートと拘束鋼材、拘束体等で構成される構造系を考える。さらに、膨張コンクリートは化学的に膨張するものとする。このとき仕事量一定則は次式で与えられる²⁾。

$$\int_V \sigma d\epsilon_{che} dv = const. \quad (1)$$

ここで σ は応力、 ϵ_{che} は自由膨張ひずみである。

仕事量一定則は、各時間ステップで膨張コンクリートがなす仕事量は、拘束条件に依らず一定であることを意味しているが、この考え方を図-1に示されるモデルの様に、三次元の主応力方向に独立に適用すると次式が得られる。

$$\sigma_1 \Delta \epsilon_{che,1} = \Delta U_{che}, \quad \sigma_2 \Delta \epsilon_{che,2} = \Delta U_{che}, \quad \sigma_3 \Delta \epsilon_{che,3} = \Delta U_{che} \quad (2)$$

ここで、 ΔU_{che} は、一軸状態における膨張エネルギー増分である。

変換行列 Q_{ij} : $Q_{ki} \sigma_{kl} Q_{lj} = diag(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ を用いることにより、自由膨張ひずみ成分は次式で表される²⁾。

$$\Delta \epsilon_{ij}^{che} = Q_{ik} \Delta \epsilon_{kl}^* Q_{jl} \quad (3)$$

式(3)で表される自由膨張ひずみ成分を有限要素解析 code に初期ひずみとして与えることで、仕事量一定則に基づき、膨張材の効果、拘束度を考慮した自由膨張ひずみとして与え膨張効果を表現する手法が提案されている。

3. 仕事量一定則と自由膨張ひずみ直接代入法の比較検討

解析モデルを図-2に示す。各モデルは、基礎コンクリートの上部にコンクリートの擁壁を打設したものを想定した。モデル1は L/H が比較的大きい構造物、モデル2は L/H が比較的小さい構造物である。解析に用

表-1 解析に用いた材料特性

材料特性	値もしくは式
熱伝導率	2.7 W/m℃
比熱	1.15 kJ/kg℃
密度	2300 kg/m ³
断熱温度上昇量 $Q(t)$ (t : 材齢)	(打設コンクリート) $Q(t) = 52.37 \cdot (1 - e^{(-0.68(t-1))})$ ℃ (基礎コンクリート) $Q(t) = 0$ ℃
圧縮強度 $f_c'(t)$	(打設コンクリートのみ) $f_c'(t) = \frac{t-0.3}{4.5+0.95(t-0.3)-40.5}$ N/mm ²
ヤング係数 $E(t)$	(打設コンクリート) $E(t) = 6300 f_c'^{0.45}$ N/mm ² (基礎コンクリート) $E(t) = 25000$ N/mm ²
ポアソン比	0.2
鉄筋のヤング係数	210000 N/mm ²
降伏強度	345 N/mm ²
線膨張係数	コンクリート鉄筋ともに $10 \times 10^{-6} (1/℃)$

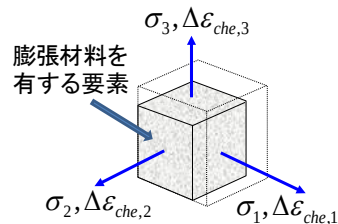


図-1 仕事量一定則の三次元場への適用

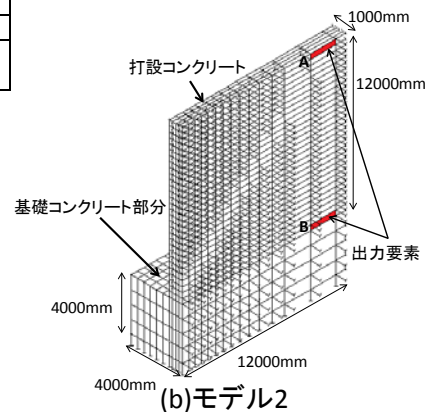
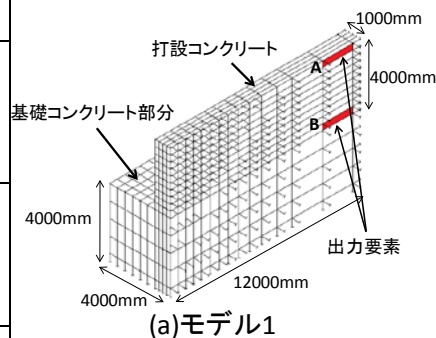


図-2 解析モデル

いた材料特性を表-1に示す. 鉄筋比をモデル1では, 水行方向 1.17%, 垂直方向 0.99%とし, モデル2では, 水行方向 1.07%, 垂直方向 0.99%とした. さらに, 膨張材の考慮について, 「非考慮」, 「仕事量 20」, 「仕事量 40」, 「JCI 指針」の4ケースを想定した. 「仕事量 20」, 「仕事量 40」では, 次式にて膨張エネルギーを入力値として与えた³⁾. ただし t_e は, 有効材齢である.

$$\begin{aligned} \text{「仕事量 20」} \quad \Delta U_{che}(t_e) &= 50 \times 10^{-6} \left[1 - \exp \left\{ -0.69(t_e - 0.3)^{1.11} \right\} \right] \quad (\text{N/mm}^2) \\ \text{「仕事量 40」} \quad \Delta U_{che}(t_e) &= 500 \times 10^{-6} \left[1 - \exp \left\{ -0.69(t_e - 0.3)^{1.11} \right\} \right] \quad (\text{N/mm}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

また, 「JCI 指針」ではマスコンクリートのひび割れ制御指針¹⁾に従い次式にて初期ひずみとして直接与えた.

$$\text{「JCI 指針」} \quad \varepsilon_{ex}(t_e) = 150 \times 10^{-6} \left[1 - \exp \left\{ -0.69(t_e - 0.3)^{1.11} \right\} \right] \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5)$$

各モデルの最大主歪の経時変化を図-3, 4に示す. これより L/H に関わらず, 「仕事量 20」と「JCI 指針」の主歪は, ほぼ同様な値となっている. 「仕事量 40」のケースでは, 他のケースより最大主歪が著しく大きくなっていることも確認された.

次に, 最大主応力の経時変化を図-5, 6に示す. 最大主歪とは異なり部位によっては, 「仕事量 20」と「JCI 指針」の主応力に差が生じている. さらに, 「仕事量 40」のケースにおいて, 最大主応力が必ずしも一番圧縮側に移行するとは限らないことが確認された.

4. おわりに

上述の範囲で以下の結論を得た.

- ・仕事量一定則による手法とひび割れ制御指針による手法を比較した場合, 最大主歪は L/H に依らず同様となることが確認された. 一方, 最大主応力は部位によって異なることが確認された.
- ・膨張材混入量を大きくしても, ケミカルプレストレスが必ずしも大きくなるとは限らないことが解析的に確認された.

参考文献

- 1) マスコンクリートのひび割れ制御指針, 社会法人 日本コンクリート工学協会 2008, pp.55
- 2) 石川靖晃, 柴田要: 仕事量一定則に基づく膨張コンクリートの変形挙動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.30, No.1, pp.351-356, 2008
- 3) 林陸太, 石川靖晃: 脱型材齢が膨張コンクリートのヤング係数および仕事量に及ぼす影響, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, V-449, pp.895-896

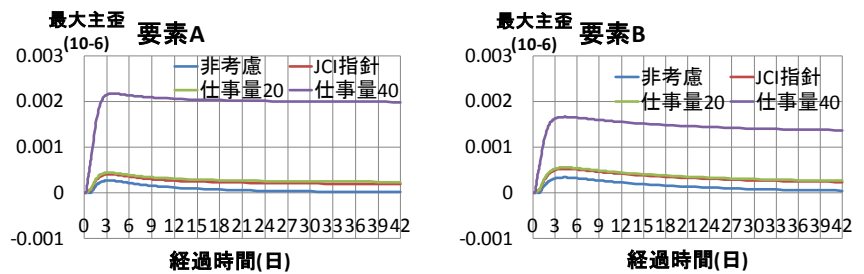


図-3 最大主歪の経時変化 (モデル 1)

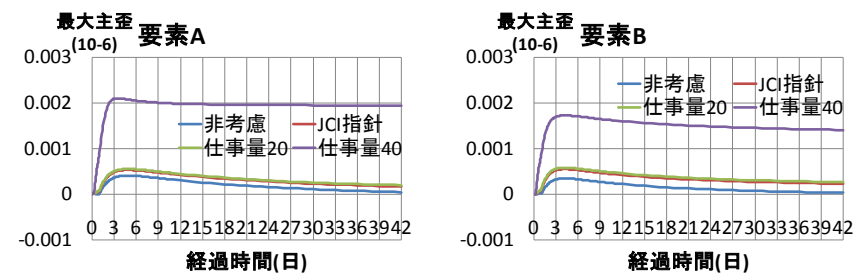


図-4 最大主歪の経時変化 (モデル 2)

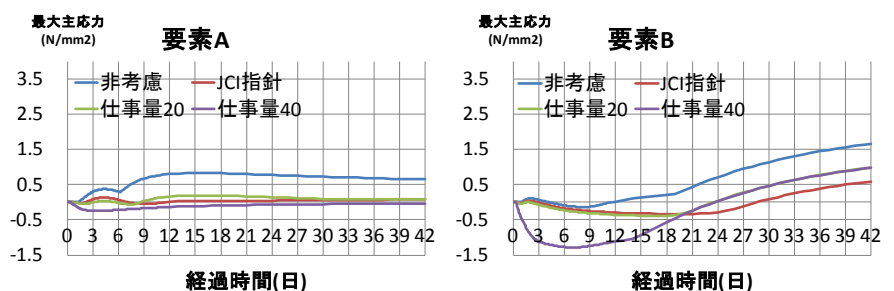


図-5 最大主応力の経時変化 (モデル 1)

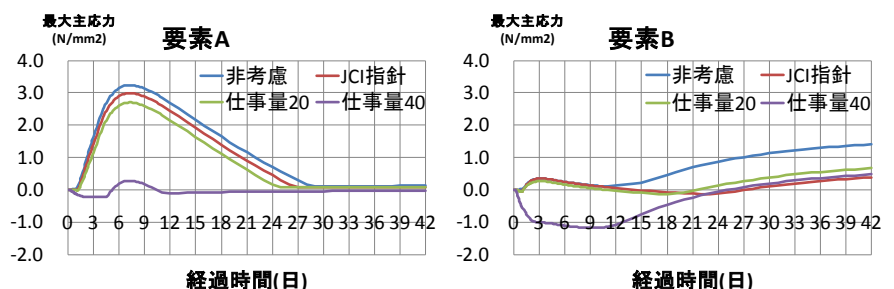


図-6 最大主応力の経時変化 (モデル 2)