

## はり要素によるコンクリート構造の初期応力解析

名城大学大学院 学生会員  
名城大学

竹島 典秀  
坂本 祐一郎

名城大学  
名城大学 正会員

吉田 大作  
石川 靖晃

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物は大型化および施工方法の進歩発展による大型急速施工が増加しており、それに伴いセメントの水和熱による構造物の温度変化に伴って生じる温度応力が、構造物にひび割れを発生させる危険性が高くなっている。現状では、この問題に対して3次元有限要素法を用いて解析することが一般的であるが、この方法は様々な検討要因を境界条件の中に用意に取り込むことができ一方で、入力データの作成および計算の時間が極めて大きくなるという欠点がある。最近石川ら<sup>1)</sup>によるはり要素を用いた簡便法が開発されており、その方法を用いると3次元有限要素法に比べ手間隙が圧倒的に軽減する一方で、他の手法との比較検討が十分なされていないことが現状である。そこで本研究では、3次元有限要素法を簡便法の両方を用いてコンクリート構造に対して温度応力解析を実施し、それらの解を比較検討することを目的とした。

2. 簡便法の理論<sup>1)</sup>

石川らは、初期ひずみと外荷重を受ける任意のはり構造に対する簡便な変形解析手法を提案した。その概要を簡単に以下に述べる。

例えば、厚肉PC床板を移動型枠支保工でブロック施工する橋梁の場合、打設中のPC厚肉床板さらには移動型枠支保工を含む橋桁構造を剛性や断面形状が異なるはり要素からなるはり構造と仮定し、外的な力に加えて各々のはり要素が、温度変化等の初期ひずみ履歴を受ける場合を考える。はり要素は床板のブロックが打設された場合には、鋼桁と床板を1つのはり要素として考える(図-1)。即ち、要素断面は時間ステップ毎に変化するものとする。ただし、個々のはり要素内では断面の剛性および形状は長手方向について一様であると仮定する。本手法の特徴は、初期ひずみについてはCompensation Plane<sup>2)</sup>の考え方を導入しているところにある。このとき、はり要素の剛性方程式は次式で表される。

$$[K]\{\bar{u}\} - \{f\} - \{f_0\} = 0 \quad (1)$$

但し、

$$[K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV, \quad \{f_0\} = \int_V [B]^T [D] \begin{Bmatrix} \Delta \bar{\varepsilon}_0 \\ \Delta \bar{\phi}_0 \end{Bmatrix} dV \quad (2)$$

但し、 $\Delta \bar{\varepsilon}_0$ および $\Delta \bar{\phi}_0$ は初期ひずみによる自由な軸ひずみおよび曲率変形増分である。

そしてCompensation Planeと初期ひずみ増分の差から内部拘束応力を出し、それをはり要素の外部拘束応力と合わせることで、通常のはりの解析と同様の方法での変形解析を行える次式を導き出した。即ち、

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_I + \Delta \sigma_R$$

ここで $\Delta \sigma_I$ は内部拘束応力増分、 $\Delta \sigma_R$ は剛性方程式を解いて得られるはり内部の応力増分である。

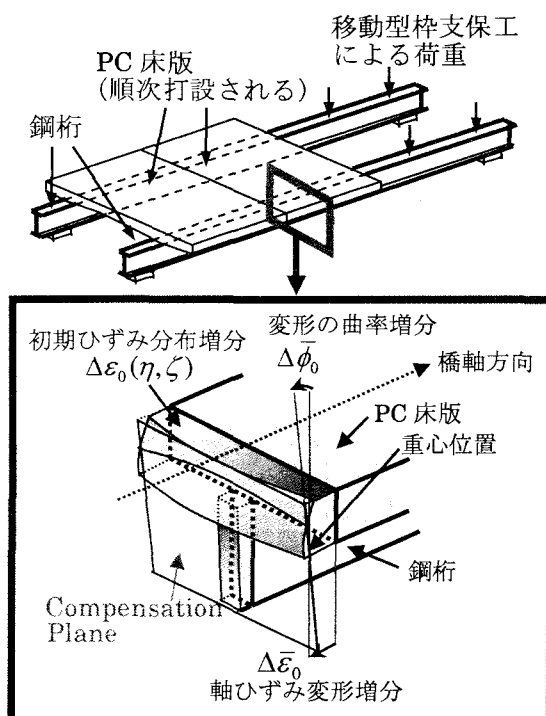


図-1.簡便法の理論

3. 簡便法と 3DFEM との比較検討

今回解析を実施したコンクリート構造のモデルは、コンクリートだけで一度に施工された、図-2 に示すようなはりの長手方向に 10、断面を 25 に要素を等分割した 2 スパン連続ばりである。このはりに対して上述の簡便法および 3DFEM により温度解析を行った。特性値を表-1、2 に示す。

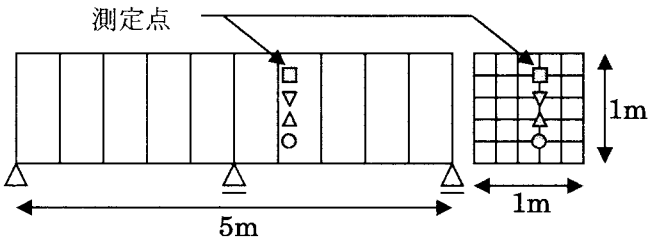


図-2.コンクリート構造のモデル

表-1.熱特性値

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| 熱伝導率 (W/m)               | 2.7             |
| 比熱 (KJ/kg℃)              | 1.1             |
| 密度 (kg/m <sup>3</sup> )  | 2300            |
| 熱伝達率 (W/m <sup>2</sup> ) | 上部 14.0, 下部 6.0 |
| 終局断熱温度上昇量 (℃)            | 45.0            |
| 温度上昇度に関する定数 r            | 0.80            |
| 初期温度 (℃)                 | 20.0            |
| 外気温 (℃)                  | 20.0            |

表-2.材料特性値

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| 弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )   | 30000×T/(2.0+T)<br>(T:材齢(日)) |
| 一軸引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 2.0×T/(2.0+T)                |
| ポアソン比                       | 0.16                         |
| 線膨張係数 (1/℃)                 | 0.00001                      |

図-2 に示した測定点での、長手方向に対するひずみと応力の経時変化の解析結果を図-3、4 に示す。尚、ひずみに関しては高さ方向に対してほとんど同じ値であったため 1 点だけを示している。この図を見ると、最大ひずみに関しては簡便法の解は 3DFEM に比べ 70%程度減少した値となっている。しかしながら、応力に関しては 3DFEM と簡便法はかなり近い値となり、簡便法の妥当性を示唆するものと思われる。今後様々な断面形状や境界条件に対して同様の検討を行っていく必要があることは言うまでもない。

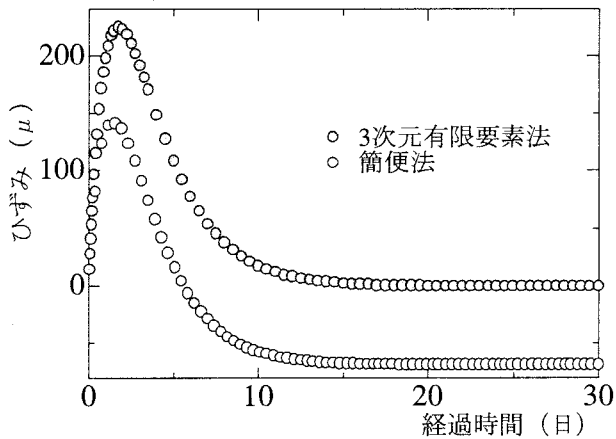


図-3.ひずみの経時変化

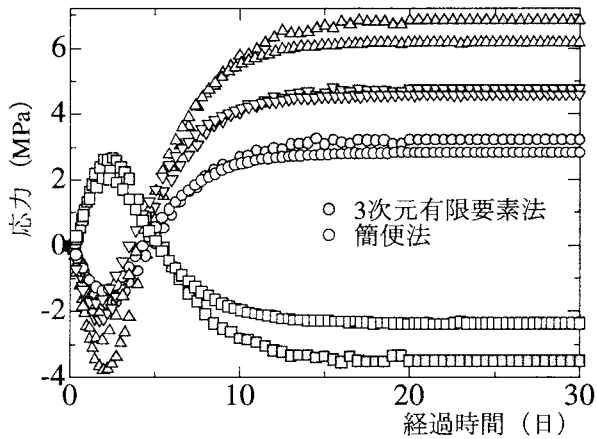


図-4.応力の経時変化

4. まとめ

本研究では、3 次元有限要素法と石川らの簡便法の両方で同じコンクリート構造モデルに対して温度応力解析を行った。その結果、ひずみに関してはこの 2 種類の解析結果に差が見られたが、応力に関しては簡便法が 3 次元有限要素法並みの予測精度を有することが示された。今後、他にも様々なモデルを作成し解析を行うことで、更なる検討を行っていく。

参考文献

1) 石川靖晃, 西垣義彦, 田辺忠顕: 移動型枠支保工による PC 床板施工時ひび割れ評価法の提案, 2003 年  
2) コンクリート標準示方書・施工編, 土木学会, pp.173-pp.193, 2001 年