

仕事量一定則に基づいた膨張ひずみの3次元応力解析の導入に関する基礎的研究

名城大学大学院 ○学生会員 柴田 要 名城大学大学院 学生会員 関 貴之
 名城大学 正会員 石川靖晃
 社会基盤技術評価支援機構・中部 フェロー 田辺忠顕

1. 序論

膨張コンクリートの変形特性のメカニズムは、一軸応力状態下について、辻ら¹⁾によって仕事量一定則という形で提案されている。一方で、構造解析への膨張ひずみ成分の合理的な導入方法が望まれている。本研究では、仕事量一定則の見直しを行った上で、3次元応力解析への導入を試みた。そして仕事量が各方向で与えられた場合に、3次元応力空間上でどのような応力分布が理論的に得られるのかについて検討を行った。

2. 仕事量一定則に基づいた膨張ひずみの3次元応力解析への導入方法の定式化

まず、鉄筋が配置された膨張コンクリートの変形について考える。簡単のため、膨張ひずみ以外の初期ひずみは無視すると仮定する。さらに、拘束鉄筋等は x, y, z 方向に並行に配筋されると仮定する。 x, y, z 方向それぞれに生じる自由膨張ひずみをそれぞれ $\varepsilon_x^{che}, \varepsilon_y^{che}, \varepsilon_z^{che}$ とする。また要素内の全直ひずみ、応力依存性ひずみおよびコンクリートの直応力成分をそれぞれ $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_x^e, \varepsilon_y^e, \varepsilon_z^e$ および $\sigma_{cx}, \sigma_{cy}, \sigma_{cz}$ とする。さらに、せん断変形による仕事量を無視すると仮定する。このとき膨張コンクリートが各座標方向の鉄筋に対して行う仕事量 $\Delta U_x, \Delta U_y, \Delta U_z$ は鉄筋に作用する力の反力がコンクリートになす仕事と等価となるので次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= -\int_{V_c} \sigma_{cx} \Delta \varepsilon_x dV_c & \Delta U_x &= -\int_{V_c} \sigma_{cx} (\Delta \varepsilon_x^e + \Delta \varepsilon_x^{che}) dV_c = \Delta U_x^e + \Delta U_x^{che} \\ \Delta U_y &= -\int_{V_c} \sigma_{cy} \Delta \varepsilon_y dV_c & \Delta U_y &= -\int_{V_c} \sigma_{cy} (\Delta \varepsilon_y^e + \Delta \varepsilon_y^{che}) dV_c = \Delta U_y^e + \Delta U_y^{che} \\ \Delta U_z &= -\int_{V_c} \sigma_{cz} \Delta \varepsilon_z dV_c & \Delta U_z &= -\int_{V_c} \sigma_{cz} (\Delta \varepsilon_z^e + \Delta \varepsilon_z^{che}) dV_c = \Delta U_z^e + \Delta U_z^{che} \end{aligned} \quad (1) \quad (2)$$

ここで、 V_c はコンクリートの体積である。式(1)を応力依存性ひずみおよび自由膨張ひずみ成分を用いて書き換えると式(2)となる。ここで、 ΔU_i^e および ΔU_i^{che} はそれぞれ i 方向($i = x, y, z$)における応力依存変形が行う仕事量および自由膨張ひずみが行った仕事量である。辻らが提案した仕事量一定則は、式(3)に示す関係が成立することを示している。ここで、 ΔE_i^{che} は一軸方向における膨張コンクリートの膨張エネルギー増分であり、応力やひずみに依存しない量である。辻らは膨張コンクリートにおいて応力依存変形が行う仕事量と自由膨張ひずみが行う仕事量の和が一定であることを示唆している。

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= \Delta U_x^e + \Delta U_x^{che} = \Delta E_x^{che} & \Delta U_x^{che} &= \Delta E_x^{che} \\ \Delta U_y &= \Delta U_y^e + \Delta U_y^{che} = \Delta E_y^{che} & \Delta U_y^{che} &= \Delta E_y^{che} \\ \Delta U_z &= \Delta U_z^e + \Delta U_z^{che} = \Delta E_z^{che} & \Delta U_z^{che} &= \Delta E_z^{che} \end{aligned} \quad (3) \quad (4)$$

しかし、膨張コンクリートがなす仕事量は鉄筋のみではなく膨張コンクリート自身に対しても仕事をすることを考えると、鉄筋および膨張コンクリートに対して行った仕事量が一定であるという考え方もあると思われる。そこで、本研究では式(3)に加え仕事量一定則として式(4)も考えた。本研究では、式(3)あるいは式(4)の考え方に基づき、逐次代入法により自由膨張ひずみを更新しながら計算を行った。さらに解析は、弾性状態を仮定した。

キーワード 膨張コンクリート，仕事量一定則，二軸膨張実験

連絡先 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地 TEL 052-838-2343

3. 二軸膨張実験結果との比較

二軸拘束状態下において，膨張コンクリートの变形測定実験を行い，式(3)および(4)に基づいた变形解析解との比較検討を行った．それぞれの解析方法を以降，辻らの方法，著者らの方法と称する．多軸拘束下の膨張コンクリートの仕事を測定する実験治具概要を図-1に示す．丸鋼は膨張コンクリート内部に2本，外側に4本配置される．丸鋼のひずみ分布はほぼ一樣になることが三谷ら²⁾によって既に示されているので，各丸鋼中央部に1枚のひずみゲージを貼ることで丸鋼の軸ひずみを測定することにする．丸鋼のヤング係数は 205800N/mm^2 である．実験ケースは2種類実施した．一つはx方向のみに $\phi 6$ の拘束丸鋼を与えた一軸のケース(鉄筋: 0.38%)であり，解析に代入する膨張エネルギーを評価するためのものである．もう一つはx, y方向共に $\phi 6$ の拘束丸鋼を与えた二軸のケース(鉄筋比: x方向 0.38%, y方向 0.75%)である．解析に代入する膨張エネルギーについては，図-2に示すように，一軸ケースから得られた丸鋼の仕事をカーブフィッティングすることにより膨張エネルギーを与えた．この場合，著者らの方法においては，鉄筋ひずみの仕事量に膨張コンクリートの仕事量を加える必要があるが，本研究では，簡単のため鉄筋の仕事量をそのまま膨張エネルギーとして与えて解析を実施した．コンクリートのヤング係数は実験値を補間することにより与えた．コンクリートのポアソン比は0.16とした．ただし，装置側面から見て鉛直方向(z方向)には拘束丸鋼が全く無く，そのままでは解析解が得られないため便宜上 z方向の鉄筋比は0.01%と極めて小さな値を与えた．図-3に二軸ケースにおけるひずみの実験結果と解析結果を重ねて示す．まず実験値に着目すると，経過時間3日目ぐらいですべりによる変動が見られる．解析値と比較してみると辻らの方法，著者らの方法いずれにおいても，解析値は，実験値を大略的に捉えていると思われる．また，両者の方法の違いによる解析値の違いはほとんど見られなかった．このことについては今後更に検討したい．

4. まとめ

本研究では，まず仕事量一定則に関する見直しを行った．そして，膨張ひずみを3次元解析に導入する手法を提案し，解析検討を行った．その結果，本報告の範囲では，著者らが提案した手法と辻らの方法による違いはそれほど顕著にはみられないことが示されたが，今後は解析ケースを増やし，統一的な結論を得たいと考えている．

参考文献

- 1) 辻幸和：ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法，コンクリート工学, vol.19, No.16, pp.99-104, 1981
- 2) 三谷裕二，谷村充，佐久間隆司，佐竹紳也：マスコンクリート様の温度履歴を受けた膨張コンクリートの応力評価法，マスコンクリートのひび割れ制御方法とその効果に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.49-56, 2005

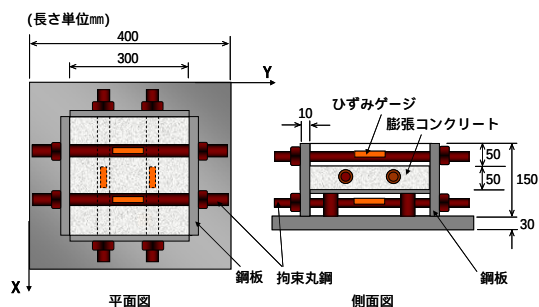


図-1 実験治具

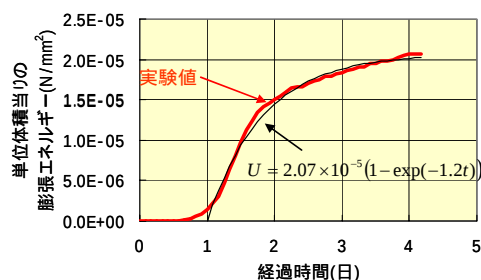


図-2 一軸ケースにおける丸鋼の膨張エネルギーと解析に用いた曲線式

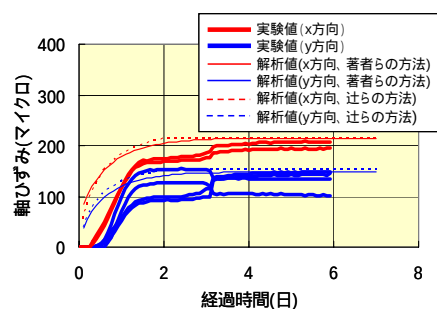


図-3 二軸ケースにおけるひずみの実験値および解析値との比較