

# 埋め込み鉄筋モデルを適用した 鉄筋コンクリート部材の熱伝導・温度応力解析

九州大学工学部 正員○黒田一郎

九州大学工学部 正員 太田俊昭

九州大学工学部 正員 日野伸一

## 1. まえがき

コンクリート構造物の熱伝導・温度応力についての研究は、マスコンクリートや原子炉格納容器を対象としてこれまで数多く行なわれてきた。しかしながら、既往の研究はプレーンコンクリートを対象としたものがほとんどであり、鋼材を有するコンクリート構造物に関する研究は稀である。しかもこれらの研究では温度応力に及ぼす鋼材の影響を考慮しているものの、温度分布に及ぼす鋼材の影響は無視されている。すなわち、鋼材の影響を忠実に考慮したコンクリート構造物の熱伝導温度応力性状については未だ充分に研究されていないのが現状である。そこで本研究はコンクリート構造物の熱伝導・温度応力性状に及ぼす鋼材の影響を忠実に且つ簡便に考慮し得る埋め込み鉄筋モデルによる3次元熱伝導・温度応力解析手法を提案して、その有用性を従来の離散鉄筋モデルによる解析結果との比較検討により確認するものである。

## 2. 埋め込み鉄筋モデルを適用した熱伝導・温度応力解析

コンクリート構造物を有限要素法で解析する際には、鉄筋等の鋼材に沿って要素分割を行ない、鋼材を要素の辺上の線材要素でモデル化する離散鉄筋モデルが多く用いられる。しかしながらコンクリート構造物は多くの補強用鋼材を有しているため、鋼材配置によって要素分割が制約を受ける離散鉄筋モデルを用いて実コンクリート構造物を解析する場合、度々要素数、節点数の増大を余儀なくされる等の不都合が生じてくる。そこで、その改善のために要素内の任意の位置に鉄筋を挿入可能な埋め込み鉄筋モデルが提案されている。

埋め込み鉄筋モデルでは、鋼材は1次元要素として扱われ、コンクリートを表現するアイソパラメトリック要素内の任意の位置にその方向を考慮して挿入されることが許される(図-1参照)。挿入される鋼材の端部は、アイソパラメトリック要素のどの節点にも接する必要がなく、また、要素の辺上以外の要素内のいかなる位置で鋼材が途切れてもよい。これ故に、埋め込み鉄筋モデルを用いた有限要素解析では、要素分割は鋼材の配置に拘わらず自由に行なうことができ、より合理的な要素分割の採用によって要素数、節点数の低減が可能となる。

鋼材を挿入されたアイソパラメトリック要素全体の熱伝導マトリックス $[\lambda_e]$ 、熱容量マトリックス $[c_e]$ および剛性マトリックス $[k_e]$ は、アイソパラメトリック要素自体のマトリックス $[\lambda_0]$ 、 $[c_0]$ および $[k_0]$ と、鋼材のマトリックス $[\lambda_s]$ 、 $[c_s]$ および $[k_s]$ の和としてそれぞれ次の式で表わされる。

$$[\lambda_e] = [\lambda_0] + \sum_{i=1}^m [\lambda_s] \quad (1)$$

$$[c_e] = [c_0] + \sum_{i=1}^m [c_s] \quad (2)$$

$$[k_e] = [k_0] + \sum_{i=1}^m [k_s] \quad (3)$$

ここで、 $m$ は要素内に埋め込まれる鋼材の数を表わす。

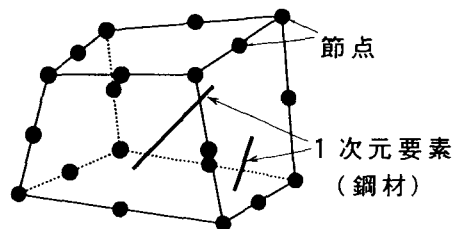


図-1 埋め込み鉄筋モデル

## 3. 解析例(従来の離散鉄筋モデルとの比較検討)

コンクリート構造物の熱伝導・温度応力問題に対する埋め込み鉄筋モデルの有用性を検討するために、鉄筋コンクリートはりを対象にして従来の離散鉄筋モデルとの比較検討を試みる。

図-2に解析対象とする鉄筋コンクリートはりを示す。加熱条件は図-2に示すように対象軸から40cmまでの下側表面のみが加熱され、上側の全表面は常温(20℃)の空気に曝されており、その他の表面はすべて断熱さ

れているものとする。また加熱温度は、加熱開始時点において $20^{\circ}\text{C}$ とし、加熱温度の上昇速度を $120^{\circ}\text{C/hr}$ とした。なお、加熱は空気との熱伝達によるものとし、はりの拘束条件は両端固定とした。

はりの形状や加熱条件が左右対象であるので、解析対象ははり全長の $1/2$ とし、要素分割は図-3に示すように埋め込み鉄筋モデルで要素数80、節点数557のものを、離散鉄筋モデルで要素数120、節点数817のものをそれぞれ用いた（離散鉄筋モデルの方が要素数で1.50倍、節点数で1.47倍多い要素分割となっている）。

図-4にそれぞれの鉄筋モデルを用いて求めた鉄筋コンクリートはりのスパン方向応力分布の一例を示す。埋め込み鉄筋モデルを用いた解析は、離散鉄筋を用いたものに比べて要素数、節点数が少ないにもかかわらず、両者の差はほとんど認められないことがわかる。また、埋め込み鉄筋モデルによる場合の演算時間(CPU時間)は、熱伝導解析、温度応力解析ともに、離散鉄筋モデルの約 $1/3$ であった。

以上より、埋め込み鉄筋モデルによる解析法は解析精度を落すことなく必要要素数および演算時間(CPU時間)の大幅な低減ができ、その有用性は高いと言える。

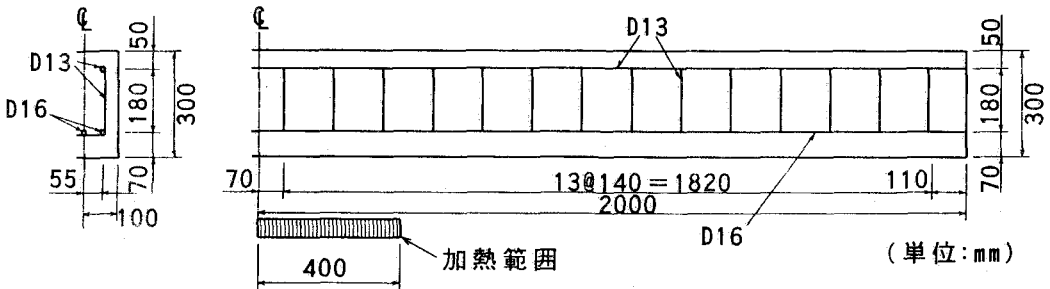


図-2 解析対象の鉄筋コンクリートはり

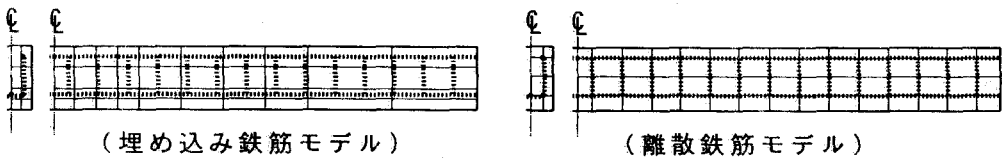


図-3 3次元要素分割

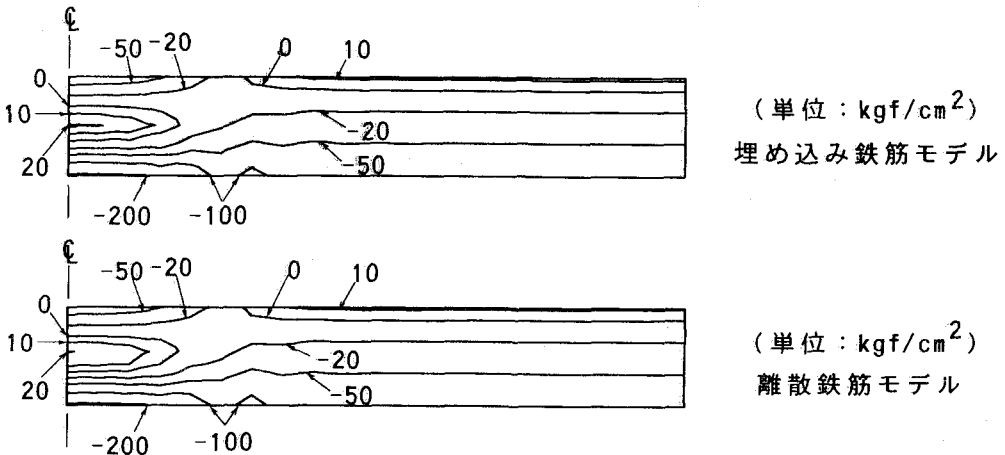


図-4 鉄筋コンクリートの応力分布の比較（加熱開始後4時間）