

I-95

コンクリート部材の熱伝導解析に関する一考察

九州大学 正 員 山口栄輝 九州大学 正 員 太田俊昭
(株) リクルート 金田克明 九州大学 学生員 弘重智彦

1. 緒言

コンクリート構造物を有限要素法で解析する場合、鉄筋のモデル化手法が計算効率、解析精度に大きな影響を及ぼす。この点に関して著者らは、埋め込み鉄筋モデルをRC梁の構造解析に用いれば、高精度の解が効率よく求められることを示した¹⁾。本報告では、この鉄筋モデルをコンクリート部材の2次元熱伝導解析に適用し、その有効性について検討を加える。

2. 基礎式

図-1に示すように、埋め込み鉄筋モデルではアイソパラメトリック要素内の任意の位置に鉄筋が存在することを許し、鉄筋の挙動は要素の形状関数により規定されると仮定する。このため、熱源が領域内に存在せず、境界条件として熱伝達のみを考えた場合、有限要素法およびクラנק・ニコルソン法による熱伝導解析の基礎式は次のように表示される。

$$\{C/\Delta t + (K_1 + K_2)/2\} T_{n+1} + \{-C/\Delta t + (K_1 + K_2)/2\} T_n = (F_n + F_{n+1})/2 \quad (1)$$

ここで添え字 $n, n+1$ はそれぞれ時間 t_n, t_{n+1} に対応していることを示し、 $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ である。また C, K_1, K_2, T は熱容量行列、熱伝導行列、熱伝達行列、節点温度ベクトルを表している。埋め込み鉄筋モデルの特徴は熱伝導行列によく現われるが、テンソル指標 i, j を用いれば、この行列は一要素につき次のように表される。

$$K_{ij}^{ba} = \int_{V^e} k_c N_i^b N_j^a dV + \sum_L \int_{L^e} k_s A_s R_{si} R_{sj} N_i^b N_j^a ds \quad (2)$$

上式において、 k_c, k_s はそれぞれコンクリート、鉄筋の熱伝導係数、 A_s は鉄筋の断面積、 V^e, L^e はそれぞれ要素の領域および鉄筋長を表している。また、添え字の a, b は節点番号を意味し、 N^a は節点 a の形状関数を示している。埋め込み鉄筋モデルでは鉄筋を1次元部材として取り扱うため、式(2)の右辺第二項は鉄筋に沿った線積分となっている。なお、この項に現われる R_s は積分経路の向きを示す方向余弦ベクトルである。

上式の積分には数値積分法を適用するが、鉄筋に沿った線積分を行う際には、要素の局所座標系における鉄筋の位置を知る必要があり、全体座標から局所座標を求めることが要求される。このために、高次要素の場合には一般に何らかの数値解法を用いることが必要となるが、低次要素では閉じた形の解を求めることが可能である²⁾。

3. 数値計算例および考察

図-2に示す、立体トラス型ジベルを有する合成梁(TSC梁)の熱伝導解析を行った。材料定数として、熱容量 $\rho_c c_c = 400 \text{ kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho_s c_s = 900 \text{ kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 熱伝導係数 $k_c = 2.0 \text{ kcal/m} \cdot ^\circ\text{C}$, $k_s = 60.0 \text{ kcal}$

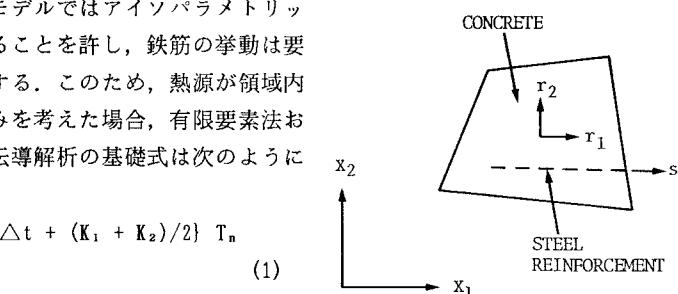


図-1 鉄筋を埋め込んだ有限要素

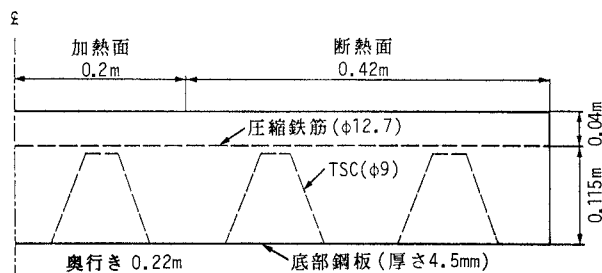


図-2 TSC梁

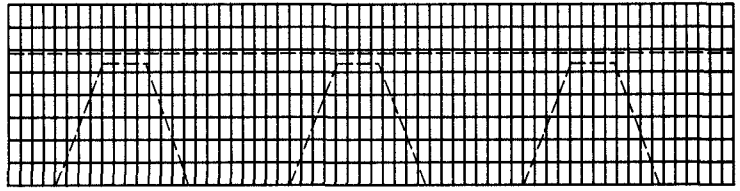
$/m^{\circ}C$ を仮定した。また熱伝達係数は $10 \text{ kcal}/m^2\text{hr}^{\circ}C$ 、外気の温度は $10^{\circ}C$ 、加熱面の温度は1時間で $1000^{\circ}C$ に上昇しその後は一定に保たれるものとした。

解析に用いた要素分割を図-3に示している。(a)が4節点四角形要素に埋め込み鉄筋モデルを適用したものである。この鉄筋モデルの解析精度を検討するため、3節点棒要素で鉄筋をモデル化し、9節点四角形要素と6節点三角形要素でコンクリートをモデル化した、いわゆる離散鉄筋モデルでも解析を行った。この場合の要素分割を示すのが(b)である。(a)と(b)の要素分割では要素数こそ異なるものの、節点数は567で一定となっており、どちらも同じ自由度数を有している。

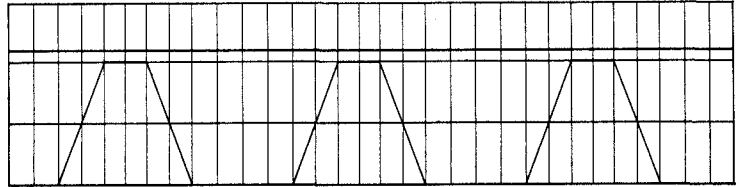
計算結果として加熱後1時間、3時間の温度分布を図-4に実線で示しているが、鉄筋のモデル化の違いによる差は全く生じなかった。この他にも鉄筋を対角線上に有するコンクリート板、RC梁等の解析を行ったが、同様の結果が得られた。これより、埋め込み鉄筋モデルは熱伝導解析においても有効である、と結論づけられる。

参考文献

- 1) 山口栄輝, 太田俊昭, 奥石正巳, 川野清: コンクリート構造物の有限要素解析における埋め込み鉄筋モデルについて, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 305-313, 1990.
- 2) 弘重智彦: 埋め込み鉄筋モデルによるコンクリート構造物の有限要素解析, 九州大学工学部土木工学科卒業論文, 1990.

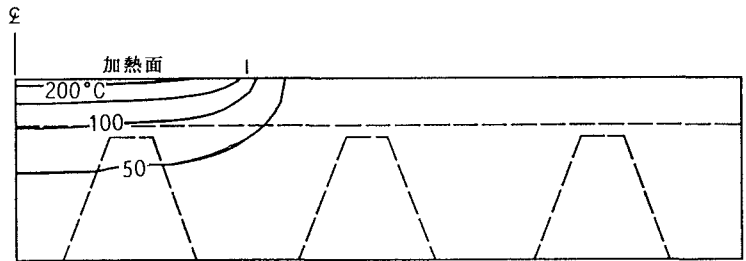


(a) 埋め込み鉄筋モデル

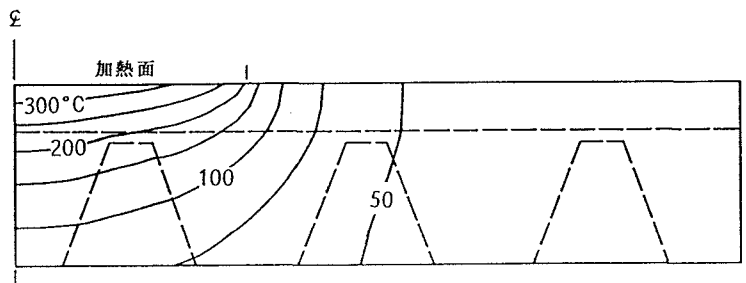


(b) 離散鉄筋モデル

図-3 要素分割



(a) 1時間後



(b) 3時間後

図-4 温度分布