

境界要素法による角点の処理の自動化

1H-3

光成泰子 新木豊 飯塚邦彦

シャープ(株) 技術本部 コンピュータシステム研究所

1. はじめに

境界要素法解析では、熱伝導解析や弾性解析を行う場合、境界上の各節点に変位(温度)と表面力(flux)の節点値が未知数として又は既知数として設定されるが、法線ベクトルが不連続となる節点(角点)については、2つ以上の表面力が未知数となる場合があり、未知数の数に対して方程式が不足する。その場合の対策として、

- 1) 近接二重節点を使う方法
- 2) 節点以外の位置に着力点を置いた基本解を用いて、境界積分方程式を作る方法⁽¹⁾
- 3) 非適合要素を使用する方法

がある⁽²⁾。従来の境界要素法を用いたシミュレーション・システムでは、1)から3)のいずれの手法を使っても入力データ作成時に、未知数の数が過剰になる角点を見つけ出し、特別なデータを入力データに付加する必要がある、入力データの作成を難しくしていた。

今回、未知数が過剰の場合の処理を、2)の方法で自動的に境界要素法解析システムを開発した。以下、熱伝導の場合を例にとり、このシステムに用いた手法を説明する。

2. データ構造

本システムで用いる入力データの構造について、説明する。

解析領域は、一様な材料物性をもったブロック(部分領域)から構成され、各ブロックはサーフェス(同じタイプの境界条件を持ち、角点を含まない面)により構成される。更に、サーフェスはそれを構成する要素の集合として定義され、各要素はその頂点である節点により定義される。

また、異なるブロックは、同一の節点を共有しないものとし、各ブロックの接合を定義する接合条件として結合されるサーフェスの対、結合される節点の対を与える(図1)。

境界条件については、境界条件の種類(温度規定、flux規定、線形熱伝達規定)はサーフェスに与え、境界条件の値は各要素毎の節点において規定する。

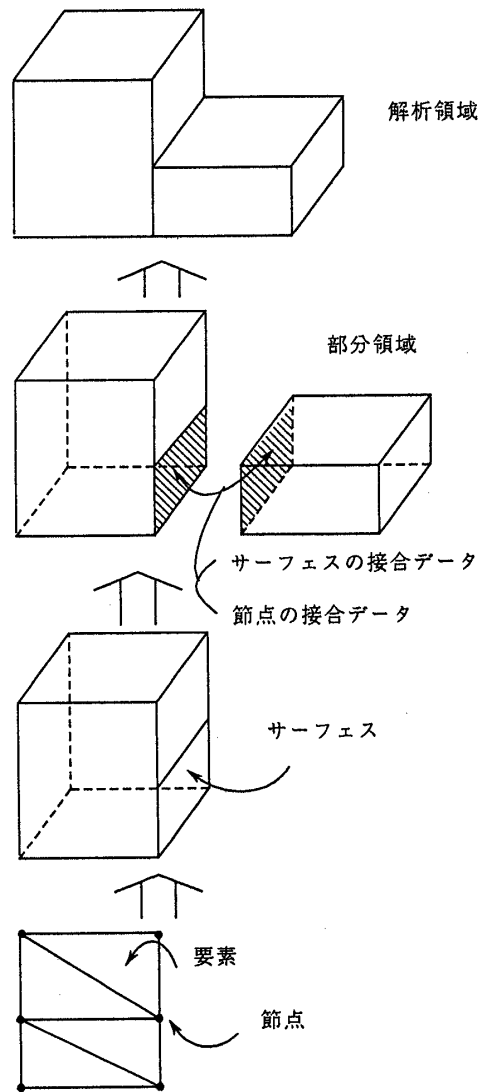


図1 データ構造

3. アルゴリズム

各節点 Q_1 に付いて、次の操作をおこなう。

(1) 節点 Q_1 と接合している節点を全て求め、それを、 Q_2, Q_3, \dots, Q_N とする。(Q_1 がブロック間の接合面上にないときは、 $N=1$ である)

(2) Q_1 における未知のfluxを、

$q_{n_{i-1}+1}, q_{n_{i-1}+2}, \dots, q_{n_i}$ で表す。

(3) Q_1, Q_2, \dots, Q_N の間の接合条件の数を M 個とすると、

$$q_{m1_i} = -q_{m2_i} \quad (1 \leq i \leq M, \quad m1_i < m2_i)$$

と書ける。これらの方程式を代入することにより、未知のfluxの個数は、 $L_1 = n_N - M$ になる。

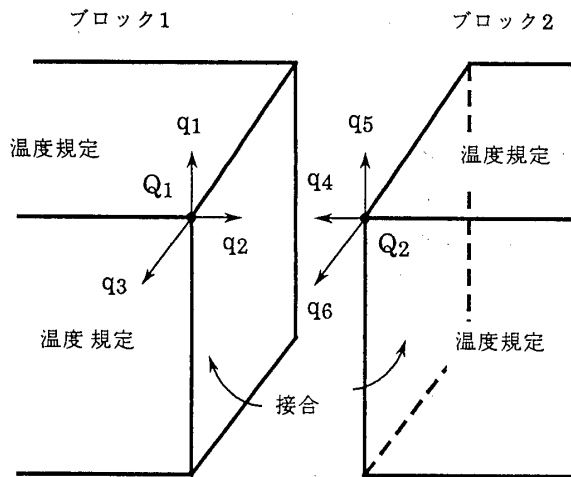
(4) 温度を考慮すると未知数は、

温度が未知の場合、 $L = L_1 + 1$

温度が既知の場合、 $L = L_1$

(5) Q_1, Q_2, \dots, Q_N を、着力点とすることにより、 N 個の境界積分方程式が出来る。

(6) $L - N > 0$ のとき、更に、 $L - N$ 個の着力点を作る必要がある(図2参照)。今回、角点を含む要素上に、着力点を増やす方法を用いた。また、1つの角点に2つ以上の着力点を増やす場合は、1つのサーフェス上に置くと、連立方程式の性質が悪くなるので、別々のサーフェスに配置するようにした。

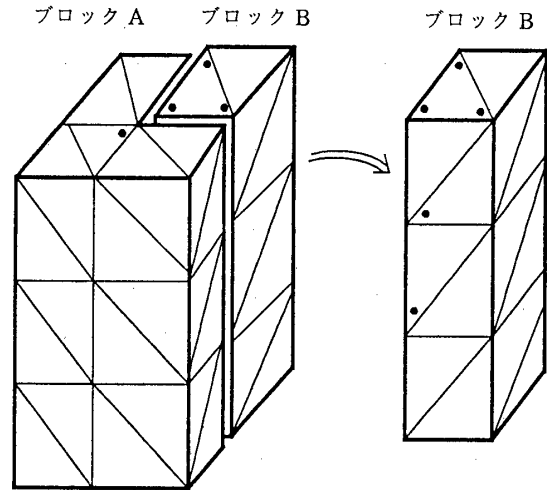


Q_1 における未知のflux: q_1, q_2, q_3
 Q_2 における未知のflux: q_4, q_5, q_6
 $q_2 = -q_4$ より、未知のfluxの個数は5個
 境界積分方程式の個数は2個
 この場合、3個の着力点を必要とする。

図2 多重fluxを持つ角点の例

4. 例

図3は立方体を折れ曲がった境界で2つに分け、上面と下面の温度を規定し、側面に断熱条件を設定したデータに対して、本システムで解析を行った場合に、節点以外に設定された着力点の位置を示したものである。



● 節点以外に設定された着力点

図3 着力点の例

5. おわりに

従来のFEM用プリ・プロセッサでメッシュを作った場合、サーフェスという情報は得られなかったが、このシステムでは入力データにサーフェスという情報を持っていることを、前提としている。本研究では、このシステムを完全自動メッシュ生成機能⁽³⁾を持った三次元形状モデラ⁽⁴⁾と一体にして実現したので、サーフェスの情報を自動的に入力データに付加することが出来た。

二次元形状の場合、角点に増やす着力点は高々1つだが、三次元形状では、一般に1つ以上の着力点を増やす必要が生じる。このため、形状が複雑になると、必要な着力点の数を調べることは容易ではない。このシステムにより、従来の入力作成時に角点における着力点の位置、数を決めるという煩雑な作業が省ける。

参考文献

(1) 飯塚、他、「境界要素法によるジュール熱の解析」、境界要素法論文集第五巻(1988)
 (2) 結城、木須、「境界要素法による弾性解析」、倍風館
 (3) 平田、他、「境界要素法のための自動メッシュ生成法」、第38回全国大会情報処理学会(1989)
 (4) 川崎、他、「CAD/CAE一体型システムの開発」、第39回全国大会情報処理学会(1989)