有限要素法の入力データ作成に関する2，3の考察

岡山大学工学部　正員　○谷口健男
日本国有鉄道　高月宏明

1. まえがき

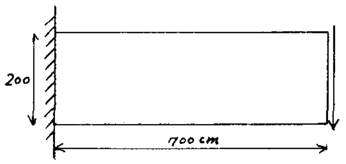
有限要素法の計算をする上で、必要なデータの入力や結果の出力などという作業は、プログラムの技術的な側面からは、さして重要ではないが、解析にたずさわる技術者にとっては大きな問題である。なぜならば、作業時間の大半が入力データの準備と、計算結果の解釈に費やされるのみならず、データ量が多くなればなる程、人為的ミスの発生率が高くなり、結果の信頼性も低くなるからである。従って、データ前処理、後処理の自動化が必要とされ、後者に関しては既に十分汎用的な手法が開発されているが、一方前者に関しては未だ十分とは云えない。本研究では、有限要素法の為の簡易的入力データ作成、特に離散点の座標データ作成法を提案する。

2. 入力データ　と　その作成

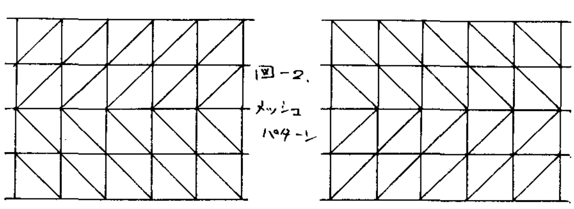
FEMにおける入力データを大別すると　1). 物理定数　2). 幾何学的定数　3). 位相幾何学的定数　の3種類に大別される。これらのうち、特にデータ量の多いものは　2). と 3). であり、前者では 離散点の座標が、また後者では、例えば 点と要素との関係 といったものが挙げられる。FEMの場合、得られる解は近似解でしかなく、分割法に解は大きく支配されることもあって、解の信頼性を高める為に系を何度も分割しなおし、解の傾向をみるという手段がとられる。従って、その都度、2). 3). のほとんど全てのデータを作成しなおす必要がある。ここでは、このうち、特に前者を取り扱う。

構造系の有限要素法を適用する場合、系の外周辺上に適切に節点を配置し、元の形状を近似させることになり、従って元の形状を厳密に再現しているわけではない。また、領域内への節点配置は、解析者の経験等に依り行なわれ、実際には自由裁量にまかされるといっても過言ではない。例え、以上の節点配置が適切に行なわれたと仮定しても、節点間の分割線の入れ方は一義的とは云えず、分割線の入れ方によって得られる解（応力）は大きく変化することは良く知られた事実である。以上の事柄より、系の中に配置される節点の座標位置はある程度の移動が許されうるものと考えられ、その移動に伴う応力の変動は他の要因により十分にかくされうるものと考えられる。しかしながら、全ての節点が同じ条件で移動が許されうるとは考えられない。従って、どのような節点に対し、どの程度の移動が許されるであろうか。以下、数値実験により、これら2つの問題に対する解答を求める。数値実験の対象として、図－1に示すような応力集中を生じる例を取り扱った。系が四辺形であることより、必要な節点座標は A，B，C，D の各節点座標である。これら4点のうち 3点を固定し，他の1点のみを、±x，±y 方向に移動させ、それに伴う応力の変動を調べたところ、応力集中部の節点、即ち、A，D 両節点の移動が 応力に対して最も影響が大きいことが得られた。これより、最も注意を払わねばならない点が見い出されたわけであり，残された問題は、この注目すべき節点に対し、どの程度の節点移動が許されるかである。

上述したように、FEM解析においては分割法は解析者の自由裁量にまかされることが多く，従ってメッシュパターンの違いによる応力のくいちがいは必ず発生すると云えよう。このことより、この応力のくいちがいをもって、節点の許容移動量とすることは妥当と考えられ，ここでもこれを採用する。図－1の例題に対し，図－2に示す、全く逆の 2つのメッシュパターンを適用し，両者の最大応力変動を調べ，その結果より逆に節点移動量を



図－1. 例題



図－2. メッシュパターン

換算すると、下式を得る。

$$\Delta l / l \leqq 0.015 \qquad (ここで\ \Delta l：移動量,\ l：基準長) \qquad (1)$$

即ち、長さ l に対し、1.5%までの点の移動が許容されることになる。

離散点の座標値を得るのに、いまXY座標測定機を用いることを考える。この機械は測量学等で用いられるものであり、1点の座標値を得るのに数秒程度しか要せず、出力は紙もしくは磁気テープに記録され、そのままで計算機への入力が可能である。この測定機の読み取りの精度を 1/10 mm とすれば、長さに対しては 2/10 mm の誤差を含むことになる。いま図面を 1/N の縮尺で画き、図面上の各点をこの測定機で読ろうことを考えると、(1)式を満たす為には図形上の長さ l は下式を満たさねばならない。

$$l \geqq 1.3\,N \quad (cm) \qquad (2)$$

即ち、縮尺率 N を設定したとき、画かれた図形の最小辺長が (2)式を満たさなければ、許容精度が保障されないことになる。ただし、ここに示した式の制約を受けるのは、系の外周辺の座標点であり、内部の点はこの制約を受けないことは明らかである。

上記考察より、1). 外周辺が直線により構成される系の形状は、その最小辺長が (2)式の制約条件を満たすように縮尺率 N を設定すれば、十分精度よく再現される。2). 内部領域の点に関しては解析者が適当に離散点を図形上に配置し、それを読ろえば良い。ただし、離散化誤差発生の諸要因を考慮して配置しなければならない。3). 境界辺上の点の設定は、X、もしくはY座標だけを測定機より読ろい出し、YまたはX座標は境界辺との交点を求めることにより行うべきであり、これにより精度保障がなされる。

3. 数値実験

図-3に示すような系の2次元応力解析に対し、上述した入力データ作成法を適用し、その後数値解析を行った。系は、節点数 385 点、うち 90 点は境界上節点、また要素数 687 コであり、外部境界は6辺の直線より構成されている。系の寸法は図中に示したとおりであり、内・外フランジ厚は他の寸法に比し小さちぎ、(2)式を満たちような縮尺率 N は見い出されないので、外部境界のみを満たす N (この場合 N=6 を用いている) で図形を画き、節点座標を座標測定機で求め、後に、フランジ厚は手で入力し、精度の確保を図った。
座標測定に要した時間は 30分程度であり、座標点の誤差として、最大 4/10 mm が発生した。理由としては 1). 紙の伸縮、2). 線の太さ、3). 測定者のくせ 4). 視差 が挙げられようが、最大の要因は 1). であり、伸縮の少い紙面に図形を画く必要があろう。フランジ厚のように他の長さに比し非常に小さいものに対しては、今回行った方法以外に、その部分だけ異った N でもって図形を画き、その座標点を測定機で読ろい、計算機内部で縮尺率を合わせる方法も可能である。この方法は特に、応力集中部の分割に対し、その図形作成を容易ならしめる意味で有効な方法と考えられる。

4. 位相幾何学的入力データに関する考察

例えば点と要素との関係といった位相幾何学的データは、離散点数、分割パターンを変えれば必然的に変化し、そのデータ作成には多くの労力が要求され、また、幾何学的データと違って、1つのミスも許されないものである。今回の数値実験では 3種類の分割モデルを用いたが、それらは全て同一の位相幾何学的データを用いた。即ち、点の座標値のみを変える方式を用いて省力化を図った。この場合、応力集中領域といった重要な個所にはあらかじめ多の節点を配置し、計算結果により適切な節点の再配置を行った。

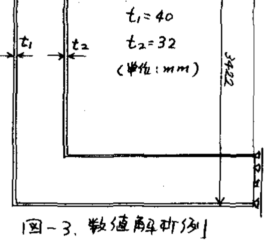


図-3. 数値解析例

5. あとがき

ここに示した方法は、あくまで汎用性のある Auto Mesh Generation 法が開発されるまでの簡便法でしかないことを付記する。なお、数値計算には阪大計算機センター ACOS77、座標測定には武藤工業製を用いた。