## 神戸大学工学部学生会員、笠原、敏志

神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

1. はじめに

科学技術の発展は、今日、我々にさまざまな恩恵を与えてくれている。一方、最近の科学技術は複雑難解 を極め、その細部に至っては理解するだけでも困難で、応用できるようになるまでには相当の努力と時間を 要する。しかし、科学技術はますます激しさを増す競争社会のなかで発展し続けており、その技術を使いこ なしていく為にはいかに速く多くの技術を学ぶかという教育の問題に帰着する。このことは、土木分野でも 言えることである。例えば、ワシントン大学のグループでは、教育に積極的にコンピューターソフトを製作 し活用している<sup>1)</sup>。教育用ソフトは、コンピューターが発達していく中でますます重要性を増していくもの と思われる。しかし、このような教育ソフトに関する研究は、日本ではあまり見られない。本稿では、土木 工学の教育において重要な一要素である有限要素法<sup>2)、3)</sup>の習得において、通常の理解過程を援助しうるソ フトウェアを開発したのでその構成概念、機能、ポテンシャルについて報告する。

2. 初心者にとっての有限要素法習得プロセスとその問題点

有限要素法に関する理論、応用に関しては既に様々な出版物があるが、初学者が基礎理論を理解し、プロ グラミングを行い、それによって実際の解析が出来るようになるまでのプロセスは容易ではない。大学等の 講義を履修しただけでは不完全な理解のまま終わる事もしばしばであろう。あるいは、全く有限要素法を学 ばずに企業に入った個人が、突然膨大なデータを扱わされるといったことも起こりうる。そこで、有限要素 法を初めて勉強するとき、式から入るのではなく、まず「有限要素法でどんなことができるのか?」という ことを概念的・視覚的にとらえることができれば、その後の勉強や理解、応用に至る過程もより効率的にな ることが考えられる。入門的な力学問題を扱う場合、有限要素法の目的は「与えられた荷重条件に対してど れだけ変位や応力がでるかを計算するもの」である。通常の方法によれば、その目的を達成するためには以 下のようなプロセスを経ることになる。

- (1) 問題を定義し、対象構造物の形状、境界条件、荷重、材料物性などを決定する。
- (2) 設定された問題を記述できるようにインプットファイルを作成する。
- (3) インプットファイルを読み込んで FEM ソフトを稼動する。
- (4) アウトプットファイルから直接データを読み出して分析する。あるいは図化ソフトを用いて 結果を分析する。
- (5) 要望していた結果が出たかどうかを確認し、そうでなければステップ 1 に戻り同様のプロセ スを繰り返す。

このようなプロセスを経て満足する結果を得るにはそれ相応の時間(数十分から数時間)を要する。また、 そのプロセスに時間がかかるため、与えた条件に対して正しい解が出ているかどうかを確認する作業も初心 者にとっては容易ではない。最近では汎用有限要素法プログラムなども入手可能になり、それらのプログラ ムの機能には目を見張るものがあるが、初心者が荷重と変形、応力の関係に対して正しい理解を得るための ものとしてはやや重厚過ぎる感が有る。そこで著者らは上記の 5 つのステップをリアルタイムに行い、「頭 に浮かんだ問題を目の前で今すぐに解き、何かを変更したければマウスの操作だけですぐにそれが出来るよ うな有限要素解析ソフト<sup>4</sup>」の製作を試みた。

3. 有限要素法ソフト「みえる FEM(仮称)」の概略

今回試作したソフト「みえる FEM」は、初心者が有限要素法を易しくビジュアル的に理解できることを 追求したものである。プログラム開発環境は Pascal をベースとした Delphi を用いた。対象としている問 題は 2 次元平面問題(平面ひずみ、平面応力問題のどちらかを選択できるようになっている)であり、構 成則は等方等質の線形弾性とし、三角形定ひずみ要素を採用している。付帯する機能はなるべくシンプルに し、種々の条件変更の際、あるいはマウスを動かしている間も常に解析を続けることによって荷重と変位、 応力の変化をリアルタイムに見えるようにした。マウスにより選択・操作できる項目は、以下の通りである。

- (1) 問題の種類(何種類かの問題が予め登録されており、そこから任意の問題を選択できる。)
- (2) 荷重(任意の節点に集中荷重を載荷し、その大きさ方向を変える事が出来る。)
- (3) 変位境界条件(任意の節点の境界条件を自由、x 方向固定、y 方向固定、xy 方向固定のどれ かに指定できる。)
- (4) 節点の座標(任意の節点をマウスで移動できる。即ち対象領域の形状を任意に変更できる。)

キーワード:有限要素法、視覚的理解、みえるFEM

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部建設学科(土木系教室) TEL 078 (803) 6015

- (5) 要素の追加、削除(要素を任意の場所から付け足したり、削除したりできる。つまり、マニ ュアル方式でメッシュジェネレーションが出来ることを意味する。)
- (6) 要素の材料物性(任意の要素を選択し、その部分の弾性係数、ポアソン比などを変更できる。)

図-1 にプログラムのフローチャートを示す。これらの機能を用いれば、「任意の形状のメッシュに自由に載荷し、そのときの変形、応力状態、反力の状態などをリアルタイムで視覚的に確認できる」ことが分かる。 したがって有限要素法に初めて取り組もうとする場合に習得しておきたい、あるいは習熟して欲しい以下の ような問題に対しても有効に利用出来ることが考えられる。

- 任意の形状、荷重条件において変形、応力の状態が「予想できる」ようになるか?
- ・ 境界条件が変更されると結果がどのように影響されるか?
- どこに応力が集中するか?また、反力の方向はどうか?
- ・ メッシュの一部が硬くなったり柔らかくなったりすると結果はどのようになるか?
- メッシュの形状が変わると応力状態はどのようになるか?
- (例えば)与えられた荷重条件でどこにも引っ張り応力が出ないようにするにはメッシュをどのよう な形状にしなければならないか?(形状最適化問題)
- 応力の設計基準値が与えれらた場合、それらを満たすように様々なパラメータをどのように設定できるか?(簡単な設計問題の演習)



## 4. おわりに

基礎理論の理解、プログラミング技術の 勉強、開発過程でのバグとの格闘、数々の 応用問題を解いて得られる「どこが急所か 分かる感覚」などを味わいながら有限要素 法を習得していくのがこれまでの通例であ った。これらのステップは時間をかけて一 つ一つ辿っていく事が望ましい事も事実で ある。しかしながら、はじめて力学問題を コンピュータを使って解こうとする初心者 が「答えが見える楽しさ」を味わいながら、 「なぜこのような答えになるのか?」、「ど うやってこのような答えが出てきたの か?」のいう疑問を抱いてから、さらに深 く解析について学んでいくプロセスがあっ ても良いと思われる。先述したように、こ の試作版では機能を絞ってはいるが、すで に最適構造設計演習、許容応力度法に基づ く設計演習等も行える構成にしているので、 今後は教育の現場で実際に適用し、その効 果を確認すると共に、更なる発展の方向を 探っていく予定である。

## 参考文献

 Gregory R. Miller、Stephen C. Cooper: *VISUAL MECHANICS*、PWS Publishing Company、1998.
三好俊郎:有限要素法入門、培風館、1978.
矢川元基、半谷裕彦:有限要素法基礎、朝 倉書店、1994.

4) 笠原敏志: Delphi を用いた対話型有限要素 法プログラムの開発に関する基礎的研究、卒 業研究、神戸大学工学部建設学科、2000.3.