

パソコンを利用したマトリックス構造解析法の教育

北海学園大学工学部土木工学科 正会員 ○当麻庄司

北海学園大学工学部土木工学科 正会員 高橋義裕

1. まえがき

現在大学課程の中で行われている構造解析法の教育は、依然として三連モーメント法やたわみ角法等の古典的解法に重点が置かれ、実務において主としてとられているコンピューターによる構造解析とは少しギャップがあるように思われる。大学においては実務における基礎的な力を修得させれば良いのであって、必ずしも実用的な手法を教えることにこだわる必要はないという考え方もあるが、しかし一方では実社会の変化にともなって実状に即した対応を学校側が取っていくという姿勢も当然求められる。

コンピューターを利用した教育をどのようにシステム化するかという問題は、コンピューターそのものがまだまだ発展段階にあり、それにつれて教育側も色々と模索の段階にあってこれから変化していくというのが実状であろうと思われる。しかし、コンピューターの発達が落ち着くまで教育の方も待っているわけにはいかず、現在は各々の大学で独自に工夫を凝らした教育を行っている。コンピューターそのものの教育については、どこの大学でも多かれ少かれコンピューター概論、情報処理工学等の科目名で取り入れられているが、コンピューターを一般の専門教育の中に取り入れていくことは徐々に広がっているものの、その方法は千差万別である。

最近のコンピューターの発達の特徴の1つにパソコンの高性能化が挙げられ、パソコンは場合によっては大型コンピューターよりも威力を発揮するようになってきた。それは、パソコンの特長を生かした用い方をするにより大型コンピューターよりも便利に使えるということであり、コンピューターの多用化によってそれぞれのコンピューターの得意とする範囲が段々と明確化されてきつつあることでもある。

本学では”マトリックス構造解析”と題した選択科目を4年次に設け、パソコンを利用して実務に直結した構造解析法の教育を行っているのでここで紹介する。そのために先ず、構造解析法の教育におけるコンピューター利用の現状について述べ、次に本校が行っている講義方法の例について説明し、最後にパソコン利用の利点についてまとめることにする。

2. 構造解析のコンピューター教育について

構造解析は最もコンピューターを利用する分野の1つであるにも関わらず、大学において構造力学の講義の中にコンピューターを取り入れる試みが行われるようになったのは、最近のことである。それは、コンピューターが始めは主として研究用に利用の重点が置かれていたことに対して、最近ではコンピューターの普及につれてより広く教育のレベルにまで浸透してきたことの現れである。もちろん、その背景にはコンピューターのめざましい発展があることは言うまでもない。

コンピューターを利用した構造解析法として、剛性法と呼ばれるマトリックス構造解析法が実務で主として用いられているが、これをいかに教育の中で効果的に取り扱うかというのはコンピューターの発達と合わせて種々変遷してきた。コンピューターが学内の計算センターという役割で導入された初期の頃、コンピューターによる構造解析法は講義の中で取り上げることはあっても、実際にコンピューターを利用した演習と直結させるにはいろいろと難しい問題があった。初期の計算センターの構想には研究という個人利用には適していても、講義という団体利用には適したように考えられていなかったからである。講義の中で多人数が同じ作業を行うためには操作の簡便性が要求されるが、計算センターの大型機は機能性に富む代わりに簡便性に欠ける。今ではコンピューターの機種も多用になり、各々の機能に適した形態で導入されるようになってきて、専門教育の講義の中でも手軽に利用できるようなシステムが準備されるように

なっている。パソコンを数十台並べて（場合によってはホスト機の端末を兼ねることもあるが）、講義に利用するのもその1つである。

パソコンより前の先駆的なものとしてポケコンを利用して成功している例があるが¹⁾、このような新しい試みは教育システムを開発（または導入）していくのに非常な労力が要求されることや、またポケコンはやはり操作性能の満足度が低いこともあって、なかなか一般化され難い面をもっている。しかし、この試みは計算センターではなし得ないポケコンの簡便さを利用して、一応の成果を挙げていることは否定できない。主に費用の面からの制約であったと思われるが、ポケコン教育の採用は大学全体の教育方針と言うよりも、教員個人あるいはせいぜい教室のレベルで先駆的に始めるために、やむを得ない過渡的段階にあったのではないかと考えられる。この形態の延長上に必然的に出てきたのが、最近のパソコン利用の形態であるといえる。コンピューター時代の進展にともない、もっと広いスケールで大学全体としてコンピューター教育の多用化を図らざるを得ない時期に遭遇して、研究目的の計算センターの大型機ではなし得ない部分を補うものとしてパソコンが一般教育用に採用されるようになってきたのは、当然の成行きと言える。

最近の高性能の16ビットパソコンを利用して大学教育を変革していく場合、そこには大きな応用性（または可能性）があるように思われる。その可能性を全て独自に開拓していくのは非常な労力を必要とし、日常的教育研究に追われている大学人にとってそのための時間を割くのは難しい。しかし、幸いなことにパソコンの大きな普及の波は、そういう個人の努力を軽減してくれるようになってきた。いろいろな部分で、パソコンを教育に利用できる環境が整ってきたのである。先ず最も大きなことは、パソコン用の出版物が大幅に増え、パソコンによる構造解析の解説書もたくさん出てきたことである²⁾。これらにはプログラムも掲載されているので、これを利用して演習を行うこともできる。また、ワープロやその外の方分野でもパソコン利用の機会が多くなってきたために、学生のパソコンに対する意識も当然利用すべき身近な道具として見なすようになり、積極的な興味の対象となってきている。もちろんその外に、パソコンの価格が下がってきていることも（ここでは性能を考慮した相対的な価格をいう）、利用環境が整ってきたことの大きな要因の1つでもある。このようにして、今やパソコンを教育に利用するための条件は大きく改善され、各々の教員の労力をそれ程費やさなくとも済むようになってきている。

3. 講義“マトリックス構造解析”の構成

本学で行っている講義“マトリックス構造解析”について、1学期間の授業15講に対する授業内容の構成を表1に示す。第1講目では、剛性法と呼ばれるマトリックス構造解析法の基本的な理論を、簡単なバネ部材によるモデルを使って理解させる。第2講目以降の構成は大きく4つの部分からなり、各部分では梁、トラス、ラーメンおよび有限要素法を取り扱う。各々の部分で先ず理論の説明を行った後、公開されているプログラムを入力して例題演習を行う。理論の部分では梁、トラス、ラーメンそして有限要素法と、何れも同じ剛性法のプロセスが繰り返されることになるので、個々の部分では十分に講義時間を割いて説明ができなくても、繰り返す内に剛性法についての理解が深まっていくことになる。剛性法の利点は、静定構造か不静定構造かの如何に関わらず同じプロセスで解くことができ、しかも梁、トラス、ラーメンあるいは板（有限要素法）と異なった種類の構造物に対しても同じプロセスをとる。それは最終的に次のマトリックス形式で表される。

$$\{F\} = [K] \{X\} \quad (1)$$

すなわち、上式は{力} = [バネ定数] {変位}という最も初歩的な力学の関係式を示しているにすぎないが、剛性法によるマトリックス構造解析では剛性マトリックス[K]の要素を求めることが主とした作業になる。そして、梁、トラス、ラーメンあるいは有限要素法において、相連点はこの剛性マトリックスの要素の求め方にあるのみで講義ではこの点の説明が中心になる。

例題演習のためのプログラム入力は約10人ずつで構成された1グループ毎に行う。各構造形式に対するプログラムの行数は約300であるので、一人当たり平均約30行をなるべくサブプログラム毎になるように分割して分担入力させる。実際に部分的ではあるが、学生自身がプログラムを入力することによって、プログラムの全体像を掴むことができる。別々に入力されたものを、最後にグループ毎に”MERGE”して1つのプログラムを作り上げる。学生のコンピューターに対する知識のレベルはまちまちであるので入りに相当時間のかかる者も中にはいるが、グループの中のコンピューター知識の高いものがリードしてほぼ1講の時間内にプログラム入力を終えることができる。各構造形式のプログラムの中には共通のサブルーチンもあるので、それらは再入力する必要はない。もちろん、1つにまとめたプログラムがすぐそのまま”RUN”できるとは限らないが、BASIC言語を用いているためにデバッグは容易である。

表-1 講義構成

講義日程	講義内容	
1	剛性法	バネモデルによる剛性マトリックス要素の作り方 構造全体の剛性マトリックスの作り方
2	梁	梁の剛性マトリックス要素の作り方 全体剛性マトリックスの作り方
3		マトリックス構造解析法(剛性法)の解法手順 調整剛性マトリックスの役割
4		材端力の評価方法 プログラムのフローチャートの説明
5		プログラムの入力と例題演習
6	トラス	トラスの剛性マトリックス要素の作り方 トラス部材の座標変換マトリックスの導き方
7		全体剛性マトリックスの作り方 手計算による計算例
8		プログラムの入力と例題演習
9	ラーメン	ラーメンの剛性マトリックス要素の作り方 ラーメン部材の座標変換マトリックスの導き方
10		全体剛性マトリックスの作り方 材端力の評価方法
11		プログラムの入力と例題演習
12	有限要素法	3角形平面要素の変位関数の仮定 変位とひずみの関係式
13		応力とひずみの関係式 変位と応力の関係式
14		仮想仕事の原理による定式化 剛性マトリックス要素の作り方
15		プログラムの入力と例題演習

もし時間があれば、教科書と全く同様の例題を解いて同じ結果が得られることを、時間内に確認する。そして、課題として各学生に固有の寸法を与えてコンピューター解析演習を行わせ、結果を提出させる。この時に、解析結果は必ず図示するようにさせることが肝要である。コンピューターで打ち出された結果を正しく評価する力がこれからの技術者に最も要求されることになるので、解析結果の断面力の符号の解釈等に注意させ、もし結果がおかしければ認識できる力を養わせる必要がある。しかし、この例題演習はたいてい講義が終った後、適当なときに各自が行って翌週提出することになることが多い。

以上のような本学におけるパソコンを利用したマトリックス構造解析に関する特徴をまとめると

- (1) 梁、トラス、ラーメンおよび有限要素法と幅広い構造解析法に触れること。
- (2) 各学生がコンピューター構造解析の演習を行いその評価法を身につけること。
- (3) 各学生がプログラムの入力に携わり、プログラムの全体像を理解すること。

となる。これらの項目はコンピューターに親しみながら構造解析を行う上で、是非とも必要なこと柄である。このように、プログラムの入力から解析演習まで短時間に行えるのは、何と言ってもパソコンの特長をうまく利用した結果であり、大型機ではこのような講義方法は難しいと思われる。

本学では1クラス約60人の学生に対して、以上のようにパソコンを利用して非常に効果的なマトリッ

クス構造解析法の教育を行っている。なお、学生が入力したフロッピーディスクはそのまま各学生の所有となるので、実社会において必要があれば利用していくことができる。

4. パソコン教育の特長

パソコンの教育への利用環境については前にも述べたように、教科書、マニュアル、ソフトが豊富に揃ってきたこと、あるいは学生の意識の向上等があって、非常に利用し易くなってきた。ここで利用したパソコンの特長をまとめると

- (1) BASIC言語であること。
- (2) フロッピーディスクに記憶させること。
- (3) 操作が簡単である。

となる。言語がインタプリター方式であるためにデバッグが容易であり、従って短時間にこのような分担作業方式で行ってもプログラムの入力が可能となる。また、フロッピーディスクでデータを管理するために教育側に余り負担が掛らず、各学生が自分で入力や例題演習を処理していくことができる。

また操作の簡便性については、特別にコンピューターの事前教育を行わなくても学生はすぐ使えるようになり、小回りの効く多人数教育に適していると言える。結論として、従来の大型汎用機やポケコンを利用した教育よりも、専門教育の中で導入していくためにはパソコンは優れた点が多いと言え、その役割は将来増大していくものと思われる。

5. あとがき

コンピューターを専門教育の中で利用するのは構造系の分野のみならず、測量、図学、耐震学、橋梁設計、土質工学等を含めて、あらゆる土木工学の分野で始まりつつあるが（既に始められている部分も多いが）、教育という多人数を同時に扱い、しかも特別な教育側の労力もなく導入していけるとすれば、パソコンが最も可能性（あるいは応用性）が大きいのではないと思われる。本学の”マトリックス構造解析”の講義方法は内容的に特に目新しいものはなく、あるとすればパソコンを先駆けて利用していることしかない。今後はこのようなパソコンを積極的に講義の中で利用していくことが非常に一般化されてくるであろうことは間違いないと思われる。そして、今後の課題とすれば、より可視化されたソフトが教育に求められるようになってくるであろう。コンピューターの計算結果を数字ではなしに、目で見える形で提供されるようなソフトの開発が進められ、学生は視覚的に理解できるような形の教育ができるようになれば、より教育効果が向上するものと思われる。

産業革命以来とも言われる現代のコンピューター革命の波は教育界にも急速に押し寄せてきており、この改革の波に乗り遅れるならば、気が付いたときには取り残されていたということにもなりかねない。心すべきである。

参 考 文 献

- 1) 中川建治：コンピューターを利用する教育法に関する一つの試み、土木学会誌、1987年5月。
- 2) 例えば、
藤井文夫：構造解析の手法、山海堂、昭和58年6月。
荒牧軍治、黒木健実：マイコン構造力学演習、理工図書、昭和59年6月。
塚本正文：マイコンによるマトリックス構造解析、国民科学社、昭和60年7月。
塚本正文：構造力学プログラミング技法—BASICによる—、森北出版、昭和62年1月。