

# 電算機による構造力学演習の管理とプログラム学習化の試み

愛知工業大学 正会員 ○ 四俣正俊\*  
青木徹彦\*\*

**1. はじめに** 筆者らの分担する構造力学および演習のうち、構造力学Ⅰは2年次(約230名受講)必修4単位であり、構造力学Ⅱは3年次(受講者約190名)選択4単位であるが、いずれも実質的には演習とセットで、2コマ連続授業(1コマ=90分)を週1回、1年間行っている。演習は構力Ⅰ、Ⅱ各1単位。構造力学Ⅱの単位のとれず者は受講者の7割弱である。現在、本学科における教育上共通の問題点は次の2点と考えられる。才Ⅰは学生の質の問題であり、基礎学力および学習意欲がかなり不足している。才Ⅱは学生の量の問題である。土木工学科の入学者は200名前後であるが、留年生、再履習生を含めると1班1班1クラス200名を越える授業が行なわれる。これからの問題点の改善には長期間が必要であり、これに対し現在、つぎのような対応策をとっている。1) 授業中、私語を3回注意した者は単位を認めない。2) 私語をしたものは立たせる。あるいは質問に答えさせる。3) 演習テストの採点を当番制で学生5~10名のグループに責任を持たせて行う。4) 返却された答案の誤りについて検討させ、なぜ間違えたかについてレポートを再提出させる。5) スタッフ毎に細かくテストを行う。6) 各スタッフまで合格するまでテストを繰返す。などである。さらにこれから対応策の一環として計算機を利用する計画を進めている。以下才Ⅱ節で、主に学生の量に対応する演習管理について(構力Ⅰ)、才Ⅰ節で、学生の質に対応する方法としてのプログラム学習化の試みについて(構力Ⅱ)述べることにする。

## 2. 計算機を利用した構造力学演習の管理\*

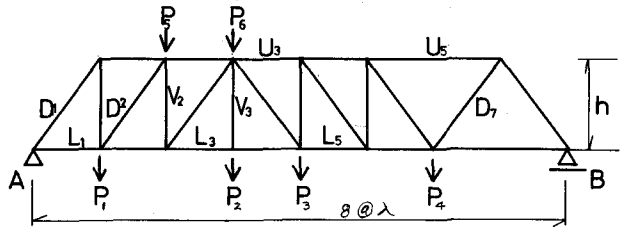
**2.1 背景** 多人数教育で最も困難なことは各学生の能力段階に応じた個別の指導であることは言を待たないが、単独に演習課題の実施だけでも効果的に行おうとすれば容易にできることではない。構力Ⅰでは演習の出題を大体において3つのパターンで実施している。「宿題」と「テスト」と「自由に相談させる課題」である。このうち「宿題」の一部と「テスト」については、まえがきで述べた「学生の当番グループが責任をもって採点返却する」方式を取入れて、早いレスポンスによる一般学生への教育効果、採点経験による当番学生への教育効果、教員の労力軽減という一石三鳥をねらっている。また「宿題」の一部と「自由に相談させる課題」では計算機により、全員に異なる数値を与え、解き方を教わりながらも自分の問題と取り組むことも目指している。この種の演習管理は東北工業大学で既に行われており<sup>1)</sup>、目的はいいものではないが、土木工学科の他の教員も手軽に利用できるような形を模している。

**2.2 現在の内容** 現在実施しようとしている「自由に相談させる課題」の流れは試行錯誤の結果、以下の様なものに固まって来た。なお現在のところ問題は数値解を求めるものに限られている。図1にトラスの例をあける。黑板に同図に書き、この例では各人に3枚づつマークカードを配布する。図中でLMNは各人の5桁の学籍番号の下3桁を構成する数値である。時間や自由に相談させ、質問も受けける。解答後回収したマークカードを計算機で処理し、各人の「学籍番号、解答、正解、評点」を学籍番号順にラインプリンターに出力させ、1~2日の内に教室に掲示する。同時に各人の評点をMTに記録する。教員はMTを必要の時点で参照し、統計処理や成績の整理に利用する。以上が現在実施しようとしている処理であるが、この計画で特に注意すべき点はマークカードを正確に記入させるということである。このためまずマークカードのフォーマットをひとつに決めて固定し、各科目を通じて変えがたい予定である。これを図2に示す。ここではカード1枚40カラムを8カラムづつ5つのファイルに分け最初のファイルに識別データ、残り4ファイルに答をひとつづつ記入する。また学生が始めて利用する際にパンフレットを配布し、若干の練習を行わせることにしている。パンフレットには鉛筆の逆さず、マークの形、マークカードの端に印刷してあるコードの見方、データのタイプE, F, G

の表現法等がかなり詳細に説明してある。

### 2.3 展望

本学では今春まで、マークカードはミニコンYMP-2/MX でしか利用できなかった。ミニコンでは操作上、広く他の教室に利用してもらうのは困難であり、また記憶容量上の制約から、カードを1種類づつ採点しなればならなかった。今回IBM 370/138が稼働に入り、マークカードも使えるため、正解を求めるサブルーチンの作成だけを手回してもらえば計算機に慣れていない教員にも容易に利用できることとなった。現在出席カードを用いたり、出席をとる代わりに小テストを行なっている教員からも利用したいという希望が出されている。将来の方向としては、本来の演習に利用する立場からすると、丁を利用したオンライン即時応答が望ましいが、土木工学科の教室に1~2名の対話形式の端末を設置することは可能であるが、学生がkeyを押していたのでは



解答の単位は tf  
 有効数字3桁 (誤差1%以内は正解)  
 カード No. 1 ;  $R_A, R_B, D_1, D_2$   
 " No. 2 ;  $V_2, V_3, L_1, L_3$   
 " No. 3 ;  $U_3, U_5, L_5, D_7$   
 $h = (7+L)m, \lambda = (5+M/10)m$   
 $P_1 = N$  tf  
 $P_2 = (10-N)$  tf  
 $P_3 = (10-M)$  k  
 $P_4 = (3+M)$  k  
 $P_5 = (M+4)$  k  
 $P_6 = (1+L)$  k

図-1 出題例 - トラス

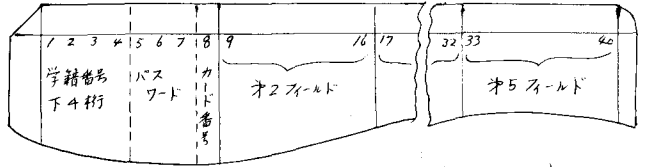


図-2 マークカードのフォーマット

とても200名をこなせないので、2つの方向を検討中である。ひとつは端末を多く持つ計算機センターの教室を使い、クラスを分割して利用する方法である。もうひとつは土木工学科の端末にマークカードを読み取る装置を設置する方法である。当面後者を優先する予定である。

### 3. 学習プログラム化の試み\*\*

教育は本来、個々の能力に合った方法で、その能力を伸ばしていくのが理想であり、これに近づけるべく、近年、教育を工学的にアプローチしようという研究が進められている。<sup>2)3)</sup>

今日のように大学が一般大衆化し、その数のみを受入れているような場においては教育とは何か、どうすべきかを答えることは難しいことであるが、少なくともこれを現在より効率的に行う余地は残されているように思える。ここで述べるのは、構造力学II演習の一部を学習プログラム化し、これをを用いて、4年生のうち卒業に必要な単位不足者を対象に補講演習を行ないつつ、プログラム学習に関する基礎的な問題点を検討したもので、今後のプログラム学習の手がかりを得ようとする試みをまとめたものである。

#### 3.1. 学習プログラムの内容と実施方法

学習内容は1) 静定ばりの復習、2) 仮想仕事の原理、3) 単位荷重法による変位の計算法、および4) 弾性方程式法による不静定ばりの解法の4項目で、これら基本項目に関しては直線形のプログラムとなっている。各項目は(A)原理、考え方の解説、(B)例題と答、(C)問題、(D)解答、そして(E)補足説明に5区分した。このうち(A)原理、考え方の解説では内容をさらに小さなステップに分け、B4判上質紙を横置きにしたものを4つ折にし、その学向を1フレーム単位として、1ステップを書き込んでプリントした。個々の例題や問題もこの1フレーム単位の大まきか、B4判2つ折を1フレームの大まきとしておいた。各問題は解答手順に従って、さらに4~8項目のステップに細分し、解答場所を空欄①  とつけて考えつつまづま箇所の把握と採点の容易を期した。学習内容の項目はA~Eの区分を表1に示す。( )内はフレーム数である。

学習対象者は4年生のうち卒業単位不足者のうち希望者14名である。補講演習として土曜の午後1:00~最後6:30(できた者は途中で帰ってよい)をも3回、さらに個別に数名の学生に対して2~12時間の補強テストを行ない

つづ、プログラムの追加、修正を行なった。テストは解答後、用意された正解をみて自己採点し、できなかったところはすべて、「どこが、なぜ間違ったか」について書込んだけれど、もう一度その問題をやり直す。

演習1の回目は Pre Test として、静定はりについての簡単な問題も題を出した。解答の終わった学生は教室の前2列におかれている正解をみて自分の答案を赤ボールペンで採点する。できなかった箇所は理由を書込み、再解答して提出する。すべてできた者は帰ってよい。

才2回目は Pre Test ができた者は学習項目 2.3へ進み、已分 A, B を読み、C, D を前回と同様の方法で進む。才2, 3項も済んだ者は才4項へ進んでよい。才3項へテストで正解をみても解の方のわからない者は教官のところに来て、さらにわかり易く説明した補足説明テキストを受取り、それをみて解法を考える。これは別紙に解答し提出する。Pre test で行語っている者も、追加説明テキストを受取って、別紙に解答し、提出する。

才3回目は才2, 3項目のできていない者はその続き、できた者は才4項へ進み、前回と同様の過程を進む。

### 3.2 実施結果とその検討

(1) Pre test は平均的學生が30分程度でできる問題であったが、早くできた者で約1時間、3, 4名は2時間かかってもできなかった。正解率は6割強で、1, 2年間のブランクがあったとはいえ、このような結果は予想していなかったため、行語った学生に対しては、その場で解説用補足テキストを作成し与えた。自動化を目的としているため、口頭による説明は行わず、すべて筆記によるわかり易い説明を心がけた。

(2) 学習項目の才2, 才3では A, B のフレーム数が多い、ためかテストの正解率は予想より高く、6割強であった。また才3項のすべての問題に積分の計算があり、計算ミスが不正解の原因の半数を占めていた。一方残りは解法を正しく理解していないことに起因しており、工学演習のように数値で確かめることが要求される問題が多い場合、解答のみをチェックするシステムをそのまま導入すると、この両者を判別することは難かしくなる。

(3) 「どこが、なぜ間違ったか」を記入させることにより、学習プログラム製作者はプログラムの各枝をつくらせとて有力な情報を得ることが出来る。こちらで想像のつかないような簡単なところで、多くの学生がつまづきを示している。間違がいも学生に確認させることは、本人にとっても学習の強化に効果的だと思えることも思われる。

(4) 学習者は自分の答がまちがっているということを知らされた

だけでも、自分で正しい考え方を、やり方を考え出すか、思い出すことがたまたまある。答が間違っていたとき、すぐに次のフレームで解法の詳細な説明を受けることをせず、しばらくは自分でその方法、解法を考えてみる方が大きな学習効果を得られるように思われる。

(5) 以上の検討より、学習プロセスの基本的パターンを作ってみると図3のようなフローチャートが得られる。

(6) 学習プログラムは、はじめから完成度の高いものをつくることは極めて難かしい。プログラム学習工学の循環

表1 学習区分と学習項目

(a) 学習区分	
A.	原理、考え方の解説
B.	例題 / 答
C.	問題(テスト)
D.	解答
E.	補足説明

(b) 学習項目とその区分(2L-4数)	
1.	静定はりの曲げモーメント式, M図, θ図 C(6), D(6), E(7)
2.	仮想仕事の原理, 内部仮想仕事の計算 A(4), B(5)
3.	単位荷重法と変位計算 A(2), B(2), C(4), D(4)
4.	弾性方程式法と不安定はりの解法 A(4), B(1), C(2), D(2), E(2)

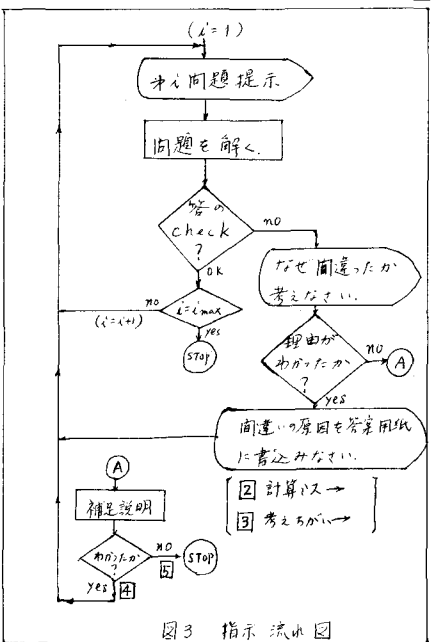


図3 指示流図

してない今日、従来のテキストをフレームに分解することから始め、実施 Trial のくり返しによってプログラムの内容の追加、変更、修正をつまみ替えて完成度を上げていくのがよいと思われ。

3.4 CAI のアプローチ プログラム学習による問題提示、解答チェック、次の指示、解法の説明、ヒントを与える場合、コンピュータの問題を Assist してもらうからによって次の手順の方法が考えられる。1) すべてをテキストのみで行う。2) テキストを主体とし、学習の流れのみを別紙に記録するか、マークカードに書込む。3) テキストを用いて問題を与え、答え、指示を計算機に入出力させる。4) テキストは用いないが、あるいは補助的に使用し、主に計算機によって上記 Instruction を行う。

これらに對してはそれぞれ次の特徴が考えられる。1) は完成度の高いテキストなら練習用としてどこでも手軽に利用できる。完成度が低い場合は指導者がその場において指示を与える必要がある。2) は学習の過程が連続できる。OFF LINE でコンピュータを利用できる他りと同じ。3) 入出力装置と学習者のそばにおく必要があるが数人に一台でよく、指示や応答がダイナミックになる。学習管理も初歩よく正確に行われる。4) は1人1名の端末器とこれに連動したランダムアクセスビデオ、またはスライドなど高度の教育機器があれば、効果的な学習が行われる可能性がある。

ところで構造力学演習では主題の問題を解くのに5分~30分、あるいはそれ以上の時間が必要である反面、入出力の時間は構造解析を行う数ではないから極めて短い時間である。また問題や解答に図形を用いることも多い。コンピュータ利用に際しては設備費などもこれらの特徴も充分考慮する必要がある。テキストと計算機ソフトウェアは学習プログラムの完成度に応じて上記1)~4)へも移行することが考えられる。設備が許せば3)が望ましいが、ここには現実としてこの学習の流れをマークカードに記入させる方法を試みている。マークカードに記入する項目は前記図2と同じく、①学籍番号、パスワード、カード番号を記入し、オフィールド以下に、②問題番号③フレーム番号と図3の□内に示した数字、そのステップにおける指示行番号を0~5までの数値で記入する。この情報だけでも指導者は自らの学生やクラス全体の学習プロセスが把握でき、またプログラム内容の欠陥を知ることが出来るであろう。

3.5 まとめ 構造力学II演習の一部をプログラム化し、かつて単位を取れなかった卒業予定者14名を対象に補講演習を行いつつ、いわば臨場実験的にプログラム学習を試みた。学習プログラムの作製では学生がどこまでまづかを知る事、またそのとき、どのような指示を与えるべきかの判断が最も重要なことであると思われ。学生は初歩的、基礎的と思われるところで、以外にまづかしていることがよくわかった。これらの学生に對してはあらかる部分の演習をくり返し行なわせるプログラムを考える必要がある。今回の実施で学習コースを最も早く終了した者は15時間で、また最も遅い者は約30時間かかった。一斉授業・演習ではこのような差をつけることは難しいため、遅い者はわかすないうちに前に進んでしまう。逆にまづか者は能力も逆ばせしていることになる。一斉授業に学習プログラムをどのように取り入れるかはこれから課題であるが、留年生は少いグループに短期間で基礎から再教育を行う場合には効果が上がるとであろう。

学習プログラムの作製に机上作業をつくらうら、数名の学生を相手に、教師がコンピュータに代ったつもりで答えをチェックと次の指示を与える模擬実施の試行のくり返しが必要と思われ。

今後の問題点として①、プログラム作製には簡単なものでも多大の時間と労力が必要であること。②不正解のときとれは再考と時間を与えるが、またその管理はどのようにすればよいか。③型にはまった考えに陥らないようにはどうすべきかなどが、今後の研究に待つところが多い。教育の工学的視点に立った研究が一層進展することを願うものである。

参考文献 1) 秋田地 “マークカードを利用した即時採点方式による演習”, 土木学会誌 Vol. 62, No. 10, pp. 11-16, 1970  
2) 電気学会 情報技術の教育への利用専ら委員会編, “新しい時代への教育工学” 情報技術と教育誌 - 1979-209 昭47.  
3) 電気通信学会 技術研究報告, Vol. 28, No. 47, 1978年6月