

多数の学生を対象とする演習の処理に コンピューターを活用した例

秋田 宏*・松山 正将**
神 正 照***

まえがき

大学において演習やレポートを採点する際、他人の答を丸写しにしたと思われるものに出会うことは珍しくないようである。実際、筆者らの一人秋田が、東北工業大学において、昭和 46 年度に土木工学科 2 年生の構造力学演習を担当したときは、よく似た答案が多いのに閉口したものであった。他人のものを参考にしたとしても、さらに自分なりに考えて、元の答案より良いものをつくるのであれば、あながち悪いともいえないが、意味もわからないまま写すために誤りがそのまま伝わったり、ときには増えてゆくに至っては、演習の意味が無くなるのである。

以上の反省から、47 年度は、コンピューターを利用

することにより学生全員に異なった数値の計算問題を与え、その代わり、自由に相談させながら、解かせる方法を試みたり。全く単純な方法であるが結果は非常に良好であり、単に丸写しをさせないという消極的な面ばかりでなく、自由に相談させることによって、演習の効果を上げるといふ積極的な面を再認識するに至ったのである。

さらに 48 年度は、多数教育用のティーチングマシンへの一段階として、コンピューターによる採点、計を試し、一応の成果を得ている²⁾。教官 2 名に学生 300 人といった私立大学の現状では、毎週の演習を教員採点のみに頼るのは困難であり、コンピューターによる採点は非常に有効であると考えられる。

近年、コンピューターを利用した教育に関して議論が盛んであり^{3)~6)}、土木教育における一つの問題提起として、以下具体的に報告したい。

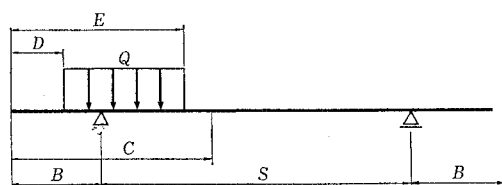
1. 授業の手順

授業は毎日が 10 点満点のテスト形式とし、前期、後期それぞれ 10 回のテストにより（補テストを含めると 11 回）、合計 60 点以上を合格とする。個々の授業の手順は以下のとおりである。

① 当該授業の 1 週間前から、図-1 のような値をはり出し、あらかじめ学生たちに控えさせる。

GAKUSEKI	S	B	D	E	C
74101	12.0	6.0	3.0	8.0	11.0
74102	12.0	5.0	0.	12.0	10.0
74103	10.0	5.0	3.0	9.0	9.0
74104	12.0	6.0	2.0	9.0	15.0
74105	10.0	4.0	1.0	6.0	8.0
74106	15.0	7.0	1.0	10.0	11.0
74107	12.0	5.0	0.	6.0	14.0
74108	10.0	5.0	2.0	10.0	13.0
74109	12.0	6.0	1.0	11.0	9.0
74110	10.0	4.0	0.	7.0	12.0
74111	15.0	7.0	0.	11.0	15.0
74112	15.0	5.0	3.0	8.0	14.0
74113	10.0	5.0	1.0	12.0	7.0
74114	12.0	6.0	0.	12.0	13.0
74115	15.0	7.0	0.	6.0	9.0

図-1 あらかじめ学生に掲示する数値



(課題-001, 図の張出しばりて C 点に関する影響線図を描き, それを用いて C 点の曲げモーメントとせん断力を求めよ.)

図-2 当日示す図面

* 正会員 工修 東北工業大学助教授 工学部土木工学科
** 正会員 東北工業大学助手 工学部土木工学科
*** 東北工業大学助手 計算センター

CARD	GAKUSEKI	TEN	RM	TEN	SFL	TEN	SFR	TEN	KEI	GOKEI
19	■	4	-4,375	2	0,625	2	0,625	2	10	53
79	■	4	15,000	0	3,000	0	3,000	0	4	32
13	■	4	10,800	2	-1,800	2	-1,800	2	10	28
62	■	4	-2,625	2	0,875	2	0,875	2	10	60
48	■	4	-4,500	2	0,750	2	0,750	2	10	60
86	■	4	-29,700	2	2,700	2	2,700	2	10	60
0	■	0	-9,000	0	3,000	0	3,000	0	0	14
17	■	0	4,800	0	-2,400	0	-2,400	0	0	20
12	■	4	-6,000	2	6,000	2	6,000	2	10	29
70	■	2	-2,100	2	1,050	2	1,050	2	8	42
10	■	4	-23,100	0	3,300	2	3,300	2	8	27
8	■	0	3,000	0	-0,500	2	-0,500	2	4	26
20	■	4	2,500	2	10,050	2	10,050	2	10	55
6	■	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0	0
3	■	4	-62,400	2	4,800	2	4,800	2	10	58

(最初の TEN 欄は図面の得点, 以下正解と得点を列記, KEI 欄がこの回の合計, GOKEI 欄はこの回までの通算合計)

図-3 コンピューターによる採点結果

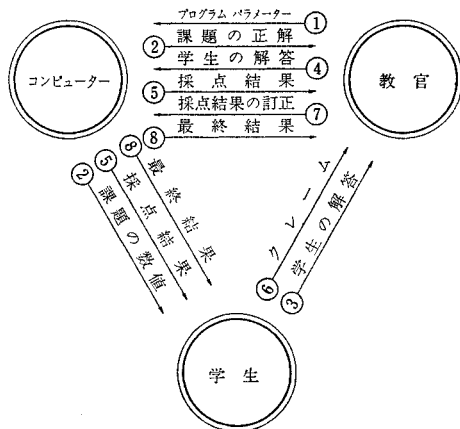


図-4 教官、学生、コンピューターの関係

② 当日は図-2のような図面を示し、各数値が何を表すか、答として何を求めるべきかを説明する。

③ 解答に際しては、学生どうしの相談、参考書類の参照は全く自由とする。ただし、答案の提出は時間内に限る。

④ 問題で要求した図面については教官が採点し、さらに学生たちの答をカードにパンチし、コンピューターに採点させる。

⑤ 採点結果(図-3)をはり出すと同時に学生に答案を返し、その後の1週間、クレームを受け付ける。

⑥ クレームにより訂正したものを成績データとして収録する。

以上のサイクルで、教官、学生、コンピューターの相互関係は図-4のように表される。

2. 数値が異なることの利害

この演習方法は、学生会員に異なった数値の計算問題を与えるので、単に同一の問題、または数種の異なった問題を与える方法に比べて、以下のような極めて優れた点をもつ。

① 学生たちは、他人の解答を意味もわからずに丸写しすることができなくなり、解法を友人に聞いたとしても、最小限自分で計算せざるを得ない。

② 相談を自由にさせても構わないので、学生たちは互いに教えたり教えられたりしながら理解

を増すことができる。

③ 友人の答を見てもそのままでは自分の答が正しいかどうかかわからず、必然的に荷重の位置やスパン等のパラメーターの変化により、たわみなり曲げ応力などの物理量がどのように影響されるかを判断することになる。

反面、欠点としては出題が数値計算に限られるので、代数計算や概念としての理解度のテストが軽視される。しかしながら、これらについては講義の面で重点を置くことにより、また、演習の面でも問題をくふうすることにより十分補えるものと考えられる。むしろ、具体的な数値を与えるので、学生たちは現実的な物理量の大きさや、単位あるいは単位の換算などを理解することができる。

さらに、採点を教官が行うにしろ、コンピューターに行わせるにしろ、かなり機械的にできるので、学生数が多い場合にも対処できる利点がある。採点を最終的な答のみによって機械的に行うことが好ましくないのは当然であり、筆者らは、一つの問題中に設問を3~5個つけて途中経過を採点の対象としたり、図面を描かせるなどのくふうをしている。一方、採点が機械的になるのはこの方法の欠点というよりも、学生数が教官数に比して多過ぎることから生じるのであって、むしろ、この方法であればこそ、機械的ではあるが、毎週、採点した答案を学生たちに返すことができるのである。

実際にこの方法を遂行してみた結果、コンピューターによる機械的採点法では、次のものは区別なく減点されている。

- ① 最初に問題の数値を写し間違えた場合
- ② 解法の考え方が誤っている場合
- ③ 計算を間違えた場合

GAKUSEKI	S	B	D	E	C	BM	SFL	SFR
74101	12.0	6.0	3.0	8.0	11.0	-4.4	0.6	0.6
74102	12.0	5.0	0.	12.0	10.0	15.0	3.0	3.0
74103	10.0	5.0	3.0	9.0	9.0	10.8	-1.8	-1.8
74104	12.0	6.0	2.0	9.0	15.0	-2.6	0.9	0.9
74105	10.0	4.0	1.0	6.0	8.0	-4.5	0.8	0.8
74106	15.0	7.0	1.0	10.0	11.0	-29.7	2.7	2.7
74107	12.0	5.0	0.	6.0	14.0	-9.0	3.0	3.0
74108	10.0	5.0	2.0	10.0	13.0	4.8	-2.4	-2.4
74109	12.0	6.0	1.0	11.0	9.0	-6.0	6.0	6.0
74110	10.0	4.0	0.	7.0	12.0	-2.1	1.1	1.1
74111	15.0	7.0	0.	11.0	15.0	-23.1	3.3	3.3
74112	15.0	5.0	3.0	8.0	14.0	3.0	-0.5	-0.5
74113	10.0	5.0	1.0	12.0	7.0	2.1	10.1	10.1
74114	12.0	6.0	0.	12.0	13.0	0.0	0.0	0.0
74115	15.0	7.0	0.	6.0	9.0	-62.4	4.8	4.8

図-5 教官用のひかえの数値と正解

```

*** SYUSSEKI NINZU =198
*** HEIKIN AVE = 7.712
*** SETSUMON MANTEN ZEROTEN SONOTA
    ZU    133    45    20
    BM    158    39    1
    SFL   159    36    3
    SFR   157    38    3
*** ZEROTEN KARA MANTEN MADE NO HUNRUI ***
    DTEN    10
    1TEN    0
    2TEN    8
    3TEN    0
    4TEN    21
    5TEN    0
    6TEN    31
    7TEN    0
    8TEN    19
    9TEN    1
    10TEN   108

```

図-6 採点結果の整理

- ④ 解答欄に記入する際に間違えた場合
- ⑤ パンチミスをした場合
- ⑥ プログラムミスで正解が誤っている場合

結局、これらについてはクレームを受け付け、⑤、⑥は教官側のミスであるから全面的に訂正し、①、④については配点の半分を与えることとし、②、③は無視している。クレームを受け付けて成績データを修正することは非常に煩雑であるが、後述するように、この段階で学生の考え方の誤りを発見することが多く、重要な過程である。また、マスプロ教育の私学では、教官と学生たちとの間の貴重なコミュニケーションの場としての効用も

ある。

3. コンピューターによる採点の利害

この演習方法は、文字読取装置を備えて学生の答をそのまま機械に読ませ、採点結果をただちに打ち出させることができれば理想的なわけである。そうすれば設問数をふやして途中経過をより細かく

採点することもでき、さらには、解法の基本式等も採点の対象とすることができよう。これは、真に多数の学生を対象としたティーチングマシンであり、一般に考えられているような1人の学生が端末装置を独占する方式のティーチングマシンが経済的にひき合わない実状に照らして、より合理的な方式といえる。

現在は、文字読取装置が無いために、過渡的な方法として学生の答をカードにパンチしているが、所要時間は莫大なものであり、加えてパンチミスも起こりうるので満足すべき状態ではない。しかしながら、47年度に行ったように、図-5の解答により教官が採点する方法では

- ① 学生たちの答案を番号順にそろえる必要がある。
 - ② 誤った解答に対して、ひとつひとつ正解を書き込むのが大変である。
 - ③ 成績の記帳、集計が煩雑である。
- などの不便な面があり、これらは解決されたわけである。さらに、図-3のGOKEI欄のように通算得点を出す場合、図-6のように設問別にでき具合を調べる場合、図-7のように成績を分類する場合などには、この方式は非常に大きな威力を発揮するのである。

4. 学生たちの反応

教育上の効果を判定することは極めて難しいことであるが、筆者らは、以下に示すような学生たちの反応により、この方法が効果的であると判断している。

1週間前から問題の概要および数値を掲示してあるために、学生たちもそれぞれに問題を予想し、準備してするのが認められる。例えば、当日公表した内容が彼らの意表をついているときなどは、「先生！キタネー！」と

TEN	0	10	20	30	40	50	60	NINZU
0	-- 9	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 21)
10	-- 19	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 10)
20	-- 29	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 6)
30	-- 39	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 19)
40	-- 49	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 23)
50	-- 59	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 30)
60	-- 69	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 49)
70	-- 79	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 32)
80	-- 89	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 29)
90	-- 100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	( 10)

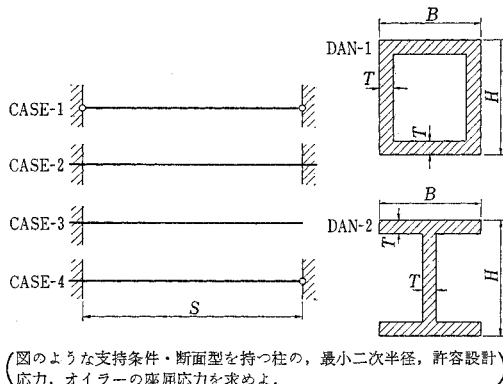
GAKUSEI NINZU = 229
60 TEN YORI UENO NINZU = 120

図-7 学期末の集計，得点別の分類

騒ぐのである。中には、変数が何を表すのか確実にはわからないので、可能な問題を何種類か想定し、すべて計算したうえで出席する者すらある。

授業中の議論は非常に活発であり、お互いの問題や答を比較させながら学ばせるという意図は達成されているように見える。例えば、図-2の問題の場合、D、E、Cの値いかんによっては荷重の合力が支点上にくるために、断面力がすべて0になることがある。幸か不幸か(理解している者にとっては幸なはずであるが)、そんなケースにあたった学生が周囲に同じ答の者がいないと不安になり、同じ条件の者を探しまわるといった光景も見られる。

直接成績にかかわるだけに、クレームもなかなか盛んである。「学籍番号を書き忘れて欠席扱いにされたので」とか、「計算は正しかったが解答欄に記入する際間違えた」といった、単に点数をふやすだけのものも多い。注目すべきものは、「もう一度計算し直してみたけれど私の答は合っている。コンピューターの答が間違いではないか」というクレームである。もちろん、プログラムミス



(図のような支持条件・断面型を持つ柱の、最小二次半径、許容設計応力、オイラーの座屈応力を求めよ。)

図-8 課題-017

によるコンピューターの答の間違いもときにはあるが、後を断たないのは学生が問題の数値を写し違えたことが原因の場合である。しかし、教育上重要なのは、この機会に学生の理解の仕方、考え方に誤りがあることを発見する機会が多いことである。例えば、図-8の問題で、I型断面柱の断面二次モーメント I_y を

$$I_x = \frac{1}{12} \{B \cdot H^3 - (B - T) \cdot (H - 2T)^3\}$$

と全く同じ方法で

$$I_y = \frac{1}{12} \{H \cdot B^3 - (H - 2T) \cdot (B - T)^3\}$$

として計算していたり、単純支持でない場合にもスパンをそのまま座屈長として計算していたりする。これは、たまたま隣の友人が箱型断面柱を解いていたのを機械的にまねしたとか、教科書の座屈公式を記号の意味もよく理解しないままに用いたため等であろう。

5. 技術上の特記すべき点

この方法を実施するうえで、問題を作製するとき、また計算プログラムをつくるときなどに特記すべき事柄を以下に述べる。

図-2の問題について、各数値を変化させる範囲は表-1のとおりである。すなわち、学生数300に対して数値の組は3150あり、この中からなるべく似た数値の問題ができないように選ぶわけである。さらに、問題の内容が現実的であるため、また、学生たちにとって計算の難易が極端に不公平にならないように、不適当な数値の組を除く必要がある。

本学の学生の場合、実験とか実習で班分けされる関係上、学籍番号の近い者どうし仲が良いという傾向が見られる。そこで、似た数値の問題がならないように独自

表-1 課題-001の数値の範囲

変数	数値の範囲	備考
S	10 12 15	$D \geq B - 1$ $C \leq B + 1$ $C \geq B + S - 1$ } を除く
B	3,4,5 4,5,6 5,6,7	
D	0~4	
E	6~12	
C	6~15	

数値の組総数 = $3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 10 = 3150$

表-2 現在までに製作・実施した課題一覧

製作番号	出題内容	カード枚数
001	IL を用い張出ばりの BM と SF を求める	124
002	単純ばりでの BM と SF を求める	132
003	単純ばりでの BM _{max} とその位置を求める	135
004	I 型断面片持ばりの縁応力を求める	118
005	間接荷重による BM と SF を求める (集中)	124
006	移動荷重による BM _{max} とその荷重位置を求める	149
007	IL を用い単純ばりの BM と SF を求める	130
008	箱型断面単純ばりのたわみを求める	134
009	単純ばりまたは片持ばりのたわみ曲線を求める	119
010	非対称な I 型または箱型断面ばりの縁応力を求める	127
011	矩形断面単純ばりのたわみを求める	131
012	IL を用い片持ばりの BM と SF を求める	125
013	矩形断面片持ばりのたわみを求める	162
014	3 径間連続ばりを解く	211
015	支点沈下のある 3 径間連続ばりを解く (全支点)	215
016	支点沈下のある 3 径間連続ばりを解く (1 支点)	184
017	箱型, I 型断面柱の座屈応力を求める	162
018	対称な 4 径間連続ばりを解く	206
019	I 型または箱型断面の核を求める	149
020	単純トラスの部材力を求める	165
021	IL を用いて単純トラスの部材力を求める	378
022	単純トラスのたわみを求める	372
023	一次不静定ばりを解く	153
024	単純ばりまたは片持ばりの BM と SF を求める	197
025	間接荷重による BM と SF を求める (台形)	233
026	I 型または箱型断面, 単純ばりまたは片持ばりの縁応力を求める	127
027	円環断面片持ばりのたわみを求める	120
028	単純ばり, 張出ばり, 片持ばりのたわみを仮想仕事法により求める	166

の式による疑似乱数⁸⁾を用いたが, 詳細は省略する。

表-2 に現在までに作製, 使用した問題を掲げる。実際に出題してみて, 004 のような 1 種類のはり, 1 種類の断面型で, 単に荷重の位置やはりの寸法を変えただけの問題よりも, 026 のように, 2 種類のはり, 2 種類の断面型を 1 つの問題に取り入れた方がよいようである。学生たちにとっては多少不公平な面もあるが, 全員が全く同じ公式, 同じ考え方で解けてしまうよりも, 少し条件の違いものを混せて比較・検討させながら解かせる方が (前節のクレームの例でもわかるように), より演習効果があると考えられる。

計算問題が主なので, 計算尺を用いて解かせることとした。現在までの出題に関する限り, 乗除, 加算のみの計算では相対誤差が 2% を越えることはまれであるが, 減算が混じってきて桁落ちが起ると, はなはだしく大き

な誤差となる。極端な場合, 正確な計算で

$$A - B = 0$$

となるべきところ, A, B に誤差があったために 0 とならなければ, これは 100% の誤差と考えられる。したがって, コンピューターに採点させる場合, 誤差の許容範囲も計算させる必要が生じるのである

毎週のテストの成績を保存してコンピューターに集計させるためには, 磁気テープを用いる必要がある。そうすれば, 図-3 の GOKEI 欄のように, 学期中途における通算成績も容易に得られる。

あとがき

以上のような演習方法は, 原理が簡単なわりには実施例が少ないようである。このような演習用プログラムは製作にはかなり労力を費やすものであり, 相互に情報を交換しプログラムの共同利用を図るべきものと考えられる。また, 教育方法に関する議論も広く行われるべきであり, 筆者らが浅学非才も顧みずにこのような一文を呈した意図もそこに尽きるわけである。これを機に, 大方のご諸賢より何かとご指導いただければ, 若輩の筆者らにとって望外の喜びと感ずる次第である。

この演習方法を実施するにあたり, 東北工業大学の高橋龍夫教授には種々のご助言をいただいた。また, 必要な計算は同学計算センターの TOSBAC-3400/41 によった。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 秋田宏・松山正将: コンピュータを利用した演習の一方, 東北大学大型計算機センター広報 SENAC, Vol. 6, No. 4, 1973, pp. 16-23.
- 2) 秋田宏・松山正将・神正照: コンピュータを利用した大学における演習の実例, TOSBAC REPORT, No. 11, 1973, pp. 48-56.
- 3) 宮脇一男: 教育工学とはなにか, コンピュータ・サイエンス誌 bit, 4, 1969, pp. 317-323.
- 4) 山下隆一: 教育の機械化について, HITAC ユーザ研究会第 4 回大会記念論文集, 1967, pp. 245-257.
- 5) 中村元和・水越明男: 電子計算機を利用した授業の一例, 電子通信学会教育技術研究会資料, E70-25, 1970.
- 6) 大地羊三: コンピュータによる土木工学演習, 森北出版, 1973.
- 7) 司馬正次: 教育とコンピュータ, 培風館, 1972.
- 8) 脇本和昌: 乱数の知識, 初等情報処理講座 5, 森北出版, 1970, pp. 24-35. (1973.11.21・受付)

トンネル工学シリーズ 8・土木学会トンネル工学委員会編

トンネル施工の省力化と環境対策 ●第 7 回トンネル工学シンポジウム●

B5・140 ページ 活版印刷 1 600 円 会員特価 1 450 円 (〒 140)

48 年 11 月に行われたシンポジウムの講演集。トンネル施工の省力化と環境対策に関し具体的問題を 8 件収録。1,2,5,6,7 それぞれバックナンバーがあります。詳細はお問合せ下さい。