

土木構造物の設計演習に関する教育用ソフトの開発

金沢市立工業高校 ○ 山 崎 稔
金沢工業大学 本 田 秀 行

1. まえがき

近年、工業高校では全国的に入学する生徒の学力の著しい低下の傾向があり、金沢市立工業高校（以下本校）でもその例外ではなく、先生方が授業の内容や進め方にさまざまな工夫を凝らしている。それに平行するような形で、生徒が学ばなければならない内容が増えてきている。と同時に、工業高校らしさの特徴を打ち出すような情報機器を利用した教育の必要性も叫ばれている。このような情報教育は生徒にとって大きな負担ではあるが、ポケコン・パソコン等を自由に使えることがあたりまえの時代となっている社会的背景から、本校でもパソコン本体の数は全科を合わせると200台以上設置されている。また、2、3年前から生徒一人一人にポケコンを購入させることによってさまざまな授業で活用され、情報教育の充実が図られている。

本校土木科でも、応用力学、土木設計をはじめ、計算をする科目に対する生徒の興味・関心を持たせるため、上述の教育的及び社会的現状を踏まえた上で、授業中のポケコンやパソコンの活用方法について工夫している。さらに、土木の専門科目の授業にパソコン等を導入するのみならず、情報技術検定を受検するための指導等を行ない、情報教育に対する指導体制も整えつつある。しかし、専門科目の授業に十分に生かせるようなより適切で実用性のある教育用ソフトは意外に少ないのが現状である。

以上のことから、土木の専門科目に興味・関心を持たせ、学習意欲の向上を図るとともに教育効果を高めるためには、より適切な教育用ソフトの開発が必要となってくる。そこで、本研究では、パソコンを用いた土木構造物の設計演習に関する教育用ソフトの開発を行ったので以下に報告する。具体的には次の三つである。

- ・スラブ橋の設計演習に関する教育用ソフトの開発
- ・プレートガーダー橋の設計演習に関する教育用ソフトの開発
- ・倒立T形擁壁の設計演習に関する教育用ソフトの開発

2. 目的と内容

(1) 使用言語とプログラミング

本校には、CAI教室があり、PC-SCAIという教育用ソフト開発専用のソフトがある。各教科・学科から選ばれたCAI委員の先生方が熱心にソフトの開発に取り組んでいる。本来なら、このソフトを使って開発すれば良いのだが、なにぶんにもプログラミングの経験が浅いこともあり、一番身近なBASICを使用言語として選んだ。これは、本校の土木科の生徒は、「情報技術」という科目の中でBASICを勉強しており、また平成6年度から教育課程に組み込まれる「課題研究」の一分野である『プログラミング』の教材としても使えるように配慮したためでもある。MS-DOS版BASICによりプログラミングし、生徒に理解しやすいように、使用するBASICの命令は基本的なものに限定した。

1クラス40人の生徒が一斉に授業に参加して使っても支障のないように設計条件を8種類とした。つまり名簿の番号によって設計条件が異なるため、隣や前後の生徒の画面を見ても丸写しできないようになっている。なお、使用した主な命令は次のようなものである。

```
DIM PRINT GOTO IF FOR~NEXT GOSUB~RETURN  
READ~DATA LINE CIRCLE PAINT
```

(2) スラブ橋の設計演習に関する教育用ソフトの開発

まず、「土木設計」の中で扱っている構造物の設計演習の中で最も基本的で、計算の簡単な単純スラブ橋

を取り上げた。主鉄筋を設計計算させることが主な内容である。活荷重の計算式及び死荷重による分布荷重を理解し、モーメントを計算し、断面つまり鉄筋量と鉄筋間隔の設計計算を生徒に習熟させることが目的である。

高等学校の授業においては、教科書¹⁾が主要な教材である。学習形態としてはパソコン、電卓、教科書、筆記用具、プリント等を総動員し、パソコンと対話しながら、教科書の内容に沿って教科書の中のグラフや表を用いて計算を進めていく。

表－1 スラブ橋の設計（条件と計算値）

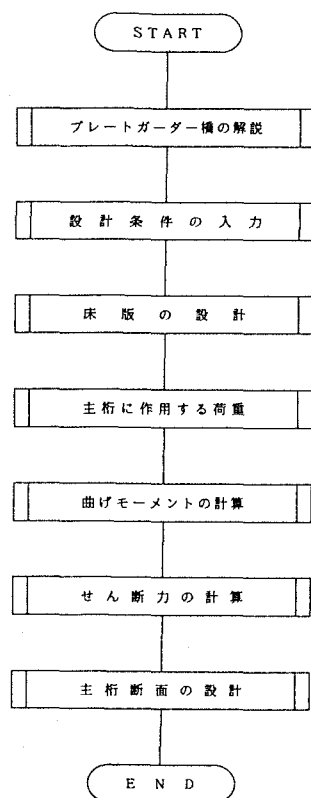
N0.	1	2	3	4	5	6	7	8
等級	1	1	1	1	2	2	2	2
幅員 (m)	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0
有効幅員 (m)	9.0	9.0	7.0	7.0	7.0	7.0	5.0	5.0
支間 (m)	10.0	7.0	10.0	7.0	8.0	5.0	8.0	5.0
許容応力 (kg/cm ²)								
コンクリート σ_{cc}	270	240	270	240	240	210	240	210
鉄筋 σ_s	2000	1800	2000	1800	1800	1400	1800	1800
床版厚 (cm)	60.0	45.0	60.0	45.0	60.0	35.0	50.0	35.0
地盤高 (cm)	40.0	40.0	40.0	40.0	35.0	35.0	35.0	35.0
有効高さ (cm)	52.0	40.0	52.0	40.0	41.0	29.0	41.0	29.0
主鉄筋								
径 (mm)	D25	D22	D25	D22	D22	D22	D22	D22
間隔 (mm)	100	100	100	100	100	125	100	125
鉄筋量 (cm ²)	50.67	38.71	50.67	38.71	38.71	30.97	38.71	30.97
応力 コンクリート σ_c (kg/cm ²)	85.4 (95%)	76.8 (96%)	85.9 (95%)	77.2 (97%)	77.4 (97%)	67.1 (96%)	78.1 (98%)	67.7 (97%)
応力 鉄筋 σ_s (kg/cm ²)	1809 (90%)	1639 (91%)	1819 (91%)	1647 (92%)	1671 (93%)	1345 (96%)	1687 (94%)	1357 (97%)
配筋鉄筋								
径 (mm)	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13
間隔 (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
鉄筋量 (cm ²)	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45

設計条件はあらかじめ与えておき、生徒はその条件にしたがって計算を進めていく。画面上に出てきた、「？」の記号の部分に自分で計算した数値をキーボードから入力する。数値が正解でないときには、何回でも数値を入力し直す。また、ハードコピーをとりながら最後まで計算を進めていけば設計計算書ができるシステムとなっている。

各サブルーチンごとにプログラミングし、最終的に全体をまとめる形で作成している。全体の流れとしては煩雑さはないが、画面設計²⁾にかなりの時間を費やしている。例えば各々の画面で用いる図形はできるだけ共通して使えるものとし、同じ図形を同じ位置に配置した。また、表－1に8種類の条件と計算結果の一覧を示す。応力はすべて許容応力に対して90%以上となっており、設計例としては適切な値であると思われる。

(3) プレートガーダー橋の設計演習に関する教育用ソフトの開発
プレートガーダー橋の設計は、「土木設計」の中で扱っている構造物の設計の中でも一番時間を費やされる分野である。つまり、授業においては1時間1時間が全体の中のどの部分を勉強しているのかが不明瞭になる。そこで、全体の流れを押さえながら設計計算ができるように、しかも生徒自身も計算に参加できるようなソフトを開発することが必要である。

設計計算のフローチャートを図－1に示す。かなり大きなプログラムとなったために、いくつかのブロックに分けて作成し、CHAIN文を用いてプログラムを引き継ぎながら実行する形式にした。



図－1 フローチャート

生徒が実際に行う計算は断面2次モーメントを計算し、主桁の断面を決定する箇所である。設計断面は応力的に安全側にならなければ、繰り返し計算ができるようにした。入力の方は前述（2）と同様にして、画面上の「？」の記号の部分に自分で計算した数値をキーボードから入力する。もし、数値が正解でないときには、何回でも数値を入力し直すようになっている。

（4）倒立T形擁壁の設計演習に関する教育用ソフトの開発

上述の二つが橋の設計であったのに対して、「擁壁の設計」は土質の知識も必要とする。橋の設計では応力による判定が設計計算の中心であるが、ここでは安定性の判定が設計の中心となる。つまり、転倒に対する検算、滑動に対する検算、地盤の支持力に対する検算の三つの安定性について生徒が理解できるようにすることを目的とする。

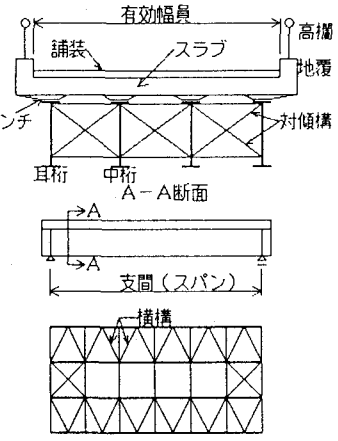
三つの安定性の計算については生徒が演習しながら検討するが、前壁及び底板の設計に関しては自動的に計算するような流れとなっている。設計条件は擁壁の高さ、過載荷重、コンクリート及び鉄筋の許容応力を変えた8種類を設定した。土の内部摩擦角は30°の確定値を用い、計算を容易にした。

3. 実行例と考察

プレートガーダー橋の設計演習について、実行例を示す。まず、初期画面として設計の題名を表示し、教科書、電卓等の準備ができたかどうかを確認する。名列番号を入力すると、設計条件が表示される。次に、図一2のようなプレートガーダー橋の説明画面に変わる。設計条件の入力により、主桁本数、主桁間隔を生徒が決定する。その後、自動的に計算されていく床版の設計、主桁に作用する曲げモーメント、断面変化点及びせん断力の計算までの流れを生徒は画面上で確認する。

プレートガーダー橋とはどのような橋かを確認する。名列番号を入力すると、設計条件が表示される。次に、図一2のようなプレートガーダー橋の説明画面に変わる。設計条件の入力により、主桁本数、主桁間隔を生徒が決定する。その後、自動的に計算されていく床版の設計、主桁に作用する曲げモーメント、断面変化点及びせん断力の計算までの流れを生徒は画面上で確認する。

プレートガーダー橋とはどのような橋か
右図のように、橋の幅員に応じて適当な本数の鋼材を並べ、その上に鉄筋コンクリートスラブを設ける。主げた中心間隔は最大4.0m、地盤の内側から上げた中心まで1.0m以内とする。
横構とは、風荷重や地震荷重などの水平力に抵抗するため、主げたの下部にトラス状に連結した部材。
対傾構とは、主げたの横断面のねじれを防ぐため、斜めに交差して用いる部材。



次の画面に移りますか？
Yes or No

図一2 実行例1

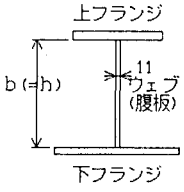
主桁断面の設計から生徒自身が計算を始める。図一3のように主桁の桁高、ウェブ厚及びフランジの必要断面積を計算し、図一4～図一6のようにフランジの断面寸法を試行錯誤で決めながら応力を計算し、許容応力度以内かどうかを判定する。ただし参考値があるため、数回の試行で断面の決定が可能である。

このソフトを用いて実際に生徒に演習をさせる場合、それぞれ50分授業で2、3時間は必要である。教室では、週2時間の授業で1～2か月かかって勉強するものが、パソコンを用いることにより数時間に集約して設計全体を把握しながら演習できるといふ点では教育的な効果は十

7. 主桁(中桁)断面の設計
(1) 桁高の決定
教科書131ページ11行目より、支間長の1/15をとることにすれば、
 $h = L/15 = 3500/15 \text{ (cm)}$
 $= 230 \text{ cm}$
(切り捨てて10cm単位とする。)
(2) ウェブ厚 t_w
SM53を使用し、教科書132ページの表および右下の表より水平補剛材1本用いれば、
 $t_w \geq b/209 = h/209 = 230/209$
 $= 1.10 \text{ cm}$
したがって、11mmとする。
(3) フランジの必要断面積
フランジの必要断面積は、教科書132ページの式(3-16)で、 $\sigma_{ta} = \sigma_{ca}$ とおけば、
 $At = M/(\sigma_{ta} \cdot h) - t \cdot h/6$
 $Ac = M/(\sigma_{ca} \cdot h) - t \cdot h/6$
となる。 $M = 849.4 \cdot 100000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ 、
 $\sigma_{ta} = \sigma_{ca} = 2100 \text{ kg/cm}^2$ であるから、代入して At, Ac を求めなさい。
 $At = Ac = 133.7 \text{ cm}^2$

次の画面に移りますか？ Yes or No

設計条件
スパン $L = 35 \text{ m}$ 鋼種 SM53
最大モーメント $M = 849.4 \text{ t} \cdot \text{m}$
許容応力 $\sigma_a = 2100 \text{ kg/cm}^2$



最小ウェブ厚 (b=h)			
鋼種	なし	水平補剛材	水平補剛材
SM41	b/152	b/256	b/256
SM50	b/130	b/220	b/220
SM53	b/123	b/209	b/209

ただし、8mm以上

図一3 実行例2

分あると思われる。また、構造物の説明、設計計算の各画面における断面図等はカラー画面であり、教科書と異なり視覚に訴えることにより、土木の専門科目に興味を持たせるといふ意味では十分効果がある。さらに、実行例は生徒がパソコンと対話しながら設計演習を進める形態をとっているが、入力部分を削れば自動的に設計計算をするプログラムにすることもことも可能である。

4. あとがき

三つの項目についてソフトの開発を行ったが、それぞれの設計演習の全体を網羅しているわけではない。例えば、スラブ橋については、設計した結果を製図することが必要であり、プレートガーダー橋については主桁を一本設計しただけで設計全体の一部に過ぎない。しかし、設計の基本的事項についてはプログラムが完成している。より詳細な設計内容については、教育内容とあいまってプログラムの拡張の必要性があり、今後の課題である。

また、プログラムの運用及び授業形態に関しては、40人一斉に演習する場合の指導する先生の数や時間数など、検討しなければならない問題も抱えている。

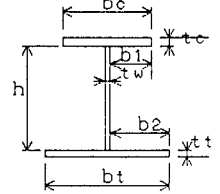
本研究の目的である生徒に土木の専門科目に興味・関心を持たせるといふ意味では、十分効果が期待できるソフトが開発できた。実際に生徒に演習をさせながら、問題点が出てくれば改良を加えて授業に活用していく方針である。

参考文献

- 1) 奥村敏恵、三宅政光：土木設計2改訂版、実教出版、1987.
- 2) 東田幸樹、和田玲子：CAI教材の作り方、啓学出版、1986.

(4) フランジの断面寸法
 上下フランジの板厚を、右下の表を参考に計算しなさい。板厚と幅をいくりにしますか？
 上フランジ：
 表より $t_c = 23$ mm よって $t_c = 25$ mm とする。
 $A_c/t_c = 536$ mm よって $b_c = 540$ mm とする。
 下フランジ：
 表より $t_t = 20$ mm よって $t_t = ??$ mm とする。

設計条件
 スパン $L = 35$ m 鋼種 SM53
 最大モーメント $M = 849.4$ t·m
 許容応力 $\sigma_a = 2100$ kg/cm²



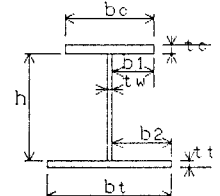
	t_c	t_t
SM41	SGR(Ac/26.2)	SGR(At/32)
SM50	SGR(Ac/22.4)	SGR(At/32)
SM53	SGR(Ac/21.4)	SGR(At/32)

$A_c = A_t = 134 \cdot 100$ mm²

図-4 実行例3

(4) フランジの断面寸法
 上下フランジの板厚を、右下の表を参考に計算しなさい。板厚と幅をいくりにしますか？
 上フランジ：
 表より $t_c = 23$ mm よって $t_c = 25$ mm とする。
 $A_c/t_c = 536$ mm よって $b_c = 540$ mm とする。
 下フランジ：
 表より $t_t = 20$ mm よって $t_t = 22$ mm とする。
 $A_t/t_t = 609$ mm よって $b_t = 610$ mm とする。

設計条件
 スパン $L = 35$ m 鋼種 SM53
 最大モーメント $M = 849.4$ t·m
 許容応力 $\sigma_a = 2100$ kg/cm²



必要面積を満たします
 下の表を満たします
 OKです

	上フランジ	下フランジ
SM41	$t_c \geq b_1/13.1$	$t_t \geq b_2/16$
SM50	$t_c \geq b_1/11.2$	$t_t \geq b_2/16$
SM53	$t_c \geq b_1/10.7$	$t_t \geq b_2/16$

	t_c	t_t
SM41	SGR(Ac/26.2)	SGR(At/32)
SM50	SGR(Ac/22.4)	SGR(At/32)
SM53	SGR(Ac/21.4)	SGR(At/32)

$A_c = A_t = 134 \cdot 100$ mm²

次の画面に移りますか？Yes or No

図-5 実行例4

(5) 応力度の検算 (教科書130 ページ参照)
 断面二次モーメントの計算

部材	寸法 (mm-mm)	A_g (cm ²)	y (cm)	Q_x (cm ³)	$I_x = Q_x \cdot y$ (cm ⁴)
1-Flg.pl.	540×25	135.0	116.25	15694	1824000
1-Web.pl.	2300×11	253.0	--	--	1350000
1-Flg.pl.	610×22	134.2	-116.1	-15581	1809000
計		522.2		113	4983000

したがって、 x 軸と中立軸の偏心距離 δ は、
 $\delta = Q_x / A_g = 113 / 522.2 = 0.22$ cm
 となる。中立軸に対する断面二次モーメント I は、
 $I = I_x - A_g \cdot \delta \cdot \delta = 4983000 - 522.2 \cdot 0.2 \cdot 0.2$
 $= 4983 \cdot 1000$ cm⁴ となる。

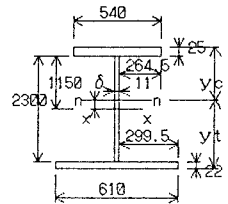
桁の曲げ応力度 σ_c 、 σ_t は、
 $y_c = 230/2 + 2.5 - 0.2 = 117.3$ cm
 $y_t = 230/2 + 2.2 + 0.2 = 117.4$ cm であるから、

$$\sigma_c = M \cdot y_c / I = 849.4 \cdot 100000 \cdot 117.3 / (4983 \cdot 1000) = 1999 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = M \cdot y_t / I = 849.4 \cdot 100000 \cdot 117.4 / (4983 \cdot 1000) = 2001 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ta} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

上フランジはOKです。下フランジはOKです。
 したがって、中央断面を決定する。同様にして他のセクションの断面も決定できる。
 以上で設計演習を終わります。コピーをとってから(E)を押さないで。

設計条件
 スパン $L = 35$ m 鋼種 SM53
 最大モーメント $M = 849.4$ t·m
 許容応力 $\sigma_a = 2100$ kg/cm²



OK (95%)

OK (95%)

図-6 実行例5