

パソコンを利用した橋梁設計演習

北海学園大学土木工学科 正会員 当麻庄司

1. まえがき

最近、パソコンが発達してきたことにより、コンピューターを個人的に利用できる態勢が整い、それに応じた新たな教育方法がとれるようになってきた。特に、土木工学においては一般専門教育においてもコンピューターを利用する科目が多く、パソコンを利用した教育が広がりつつある¹⁾。ここで述べるパソコンによる橋梁設計演習もその1つの試みである。

鋼構造物の設計に関する教育として、わが国の土木工学科では橋梁構造物を対象にして設計演習を行っている学校がほとんどだと思われる。本学においても選択科目として橋梁工学Iおよび橋梁工学IIを設け、それぞれ合成桁橋およびトラス橋の設計演習を行っている。これらの設計演習においては、積極的に設計に取り組めるように各学生に異なる設計条件を与えている。学生は教科書に示された設計計算例にならって設計を進めるものの、往々にして教科書の計算例の数字を自分の設計条件に合うように置き換えるだけの消極的な設計作業に陥りがちである。また、学生が計算ミスをおかしている場合があっても、教員はそれを学生一人ひとりについて細かくチェックすることは不可能である。学生側にとっては、自分の計算結果が正しいかどうかについていつも不安を抱きながら設計計算を進めているわけで、ここに何らかの自分の設計条件に合った設計計算のガイドとなるべきものがあれば非常に参考になる。

そこで、本学では教科書の設計例にならって自動設計のできるパソコン用プログラムを開発して、これを学生の設計ガイドとして用いることにした²⁾。学生はある程度設計計算が進んだ段階のチェックポイント毎に、このプログラムを用いて自分の計算をチェックする。そうすることにより、学生は自分が行った設計計算とコンピューターによる自動設計を対比しながら、自分の設計を積極的に進めていくことができる。

2. 自動設計プログラム

2.1 合成桁橋

合成桁橋やトラス橋の設計は、元来全て手計算で行われていたものであり、これをコンピューターで自動設計化するために複雑な計算が必要という訳でもない。ただ、設計に含まれる本来人間が判断すべき事項も、コンピューターに判断させるとなると大胆な割り切り方が必要となる。そこで、そのようなところでは設計者の意志が反映できるように、プログラムでは修正ができるようにしている。

このパソコン用の橋梁自動設計プログラムは、入力条件を極力少なくした。例えば、合成桁橋の場合は支間、幅員および主桁本数の3条件のみである。後は、"RETURN"キーを押すだけで、教科書の設計例にならって自動的に設計を進めて行くことができる。表-1に合成桁橋のこ

表-1 合成桁橋の自動設計

画面 1	設計	タイトル：合成桁橋の設計
画面 2	条件	設計条件入力
画面 3	条件	設計条件確認
画面 4	条件	一般図
画面 5	床	荷重強度
画面 6	版	断面力
画面 7	版	応力度および配筋図
画面 8	主	荷重強度と衝撃係数
画面 9		現場継ぎ手と断面変化点
画面 10		曲げモーメントの影響線
画面 11		曲げモーメントの値
画面 12		せん断力の影響線
画面 13		せん断力の値
画面 14		断面決定（外桁断面-1）
画面 15		断面決定（外桁断面-2）
画面 16		断面決定（外桁断面-3）
画面 17		断面決定（内桁断面-1）
画面 18		断面決定（内桁断面-2）
画面 19		断面決定（内桁断面-3）
画面 20	桁	鋼桁の断面定数
画面 21	補剛材	合成桁の断面定数
画面 22		合成前死荷重による応力度
画面 23		合成後死荷重と活荷重による応力度
画面 24		死荷重と活荷重による応力度
画面 25		コンクリートの乾燥収縮による応力度
画面 26		コンクリートのクリープによる応力度
画面 27		主荷重による応力度
画面 28		床版と鋼桁の温度差による応力度
画面 29		主荷重と温度差による応力度
画面 30		コンクリートの隆伏に対する安全度
画面 31		鋼桁の隆伏に対する安全度
画面 32	材	支点上の補剛材と中間補剛材の間隔
画面 33		中間補剛材と水平補剛材の断面
画面 34	現場	上フランジの現場継ぎ手
画面 35	現場	下フランジの現場継ぎ手
画面 36	継手	腹板の現場継ぎ手（外桁）
画面 37	手	腹板の現場継ぎ手（内桁）
画面 38		ずれ止めに働く水平せん断力
画面 39		ずれ止めの間隔
画面 40		たわみの計算

ンピューター画面の構成を示す。最初に基本の3条件を設計条件として入力すると（画面2）、次にその外の必要な設計条件はコンピューターが一応の値を定める（画面3）。設計者はここで対話式にこれらの設計条件を修正することができる。例えば、主桁間隔は床版の厚さが連続部と片持部でバランスするようにしてコンピューター内では定められているが、ここで設計者は自分の判断を入れることができる。

設計とは単なる計算業務ではなく、その背景に含まれる構造設計の要素を理解しなければならない。その意味から、設計を視覚的に捉えることは重要であり、プログラムではできるだけ図化して表現するように心がけた。図1に、その1例として設計条件を図示した一般図（画面4）を示す。本図に示された側面図、平面図および断面図を見ることにより、合成桁橋の全体像を把握することができる。

また、図2には断面決定をするためのコンピューター画面（画面16）を示すが、この画面で設計者は断面寸法を修正入力すると直ちに応力度の算定結果が得られる。この画面には各段階における作用応力度とそれに対する許容応力度が示されている。もし、作用応力度が許容応力度を上回っていればその部分は赤色で表示されるので、設計者は容易に認識することができ、修正入力するための参考となる。

主桁の断面決定（画面14-19）においては、設計経験のない学生にとっては手計算による繰返し計算に手間を取り過ぎ、設計に対する興味を失わせることにもなりかねないが、コンピューターを利用することにより学生は容易に対話式で最適な断面を求めることができる。

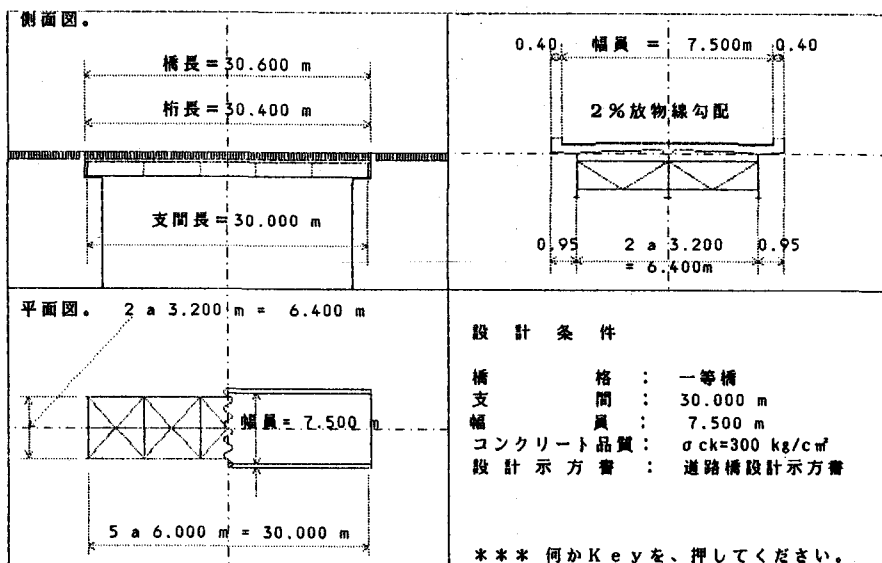


図1 合成桁橋の一般図（画面4）

外桁断面-3

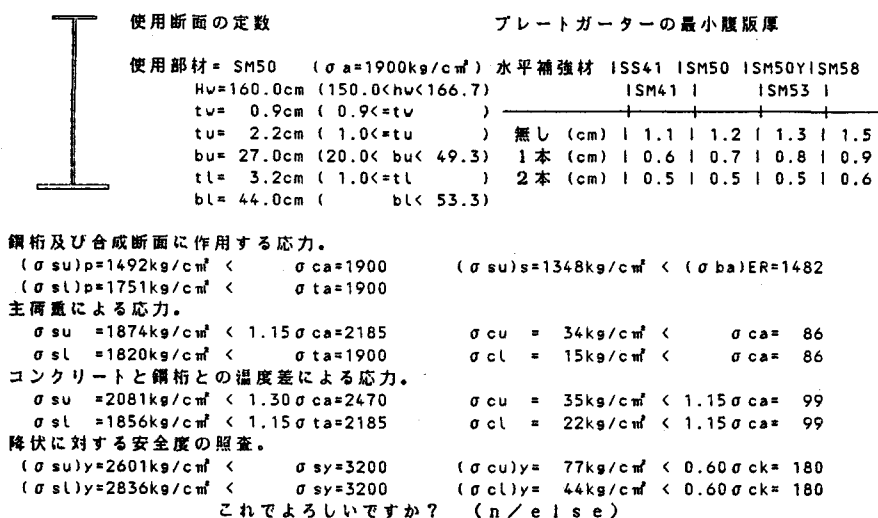


図2 合成桁橋の断面決定（画面16）

2.2 トラス橋

合成桁橋はプレートガーダーという梁構造であるのに対し、トラス橋は細長い部材からなる骨組み構造である。これらの2つが鋼構造物を代表する最も典型的な形式であると言っても良い。この2形式の設計を修得すれば他の形式はその応用であると思えることができる。

トラス橋自動設計のコンピューター画面を表-2に示す。ここでは、床版の設計は合成桁橋と同じであるので省略している。トラス橋の設計構造物単位としては、縦桁、床桁、主構トラス、上横構、下横構そして橋門構と数多くあり、それぞれについて荷重強度、断面力そして応力の算定（すなわち断面決定）が行われている。

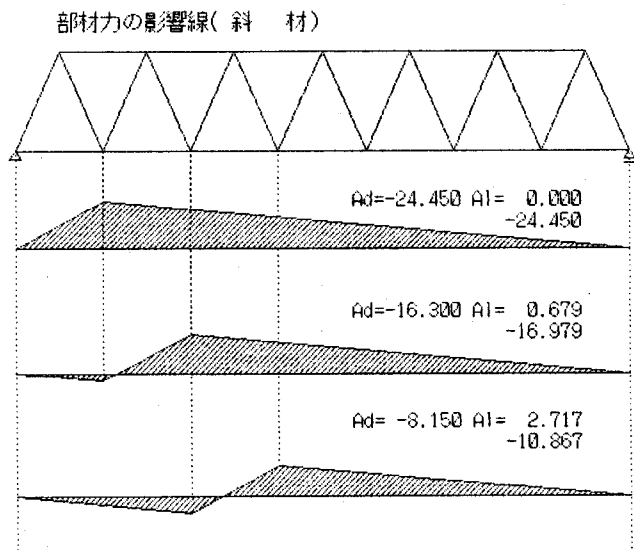


図3 トラスの部材力影響線(画面24)

上弦材の断面 $N(U-3) = -246.877 (t)$

	$A_g (cm^2)$	$z (cm)$	$A_{gz} (cm^3)$	$I (cm^4)$
1-Top pl 370 × 19	70.3	17.95	1262	22651
2-Web pls 340 × 19	129.2	-	-	12446
1-Bott pl 310 × 19	58.9	13.05	769	10031
	258.4		493	45128

$e = 1.91 (cm)$

$I_y = 44185 (cm^4)$ $I_z = 47699 (cm^4)$
 $I_z > I_y$

$r_y = 13.1 (cm)$
 $1/r_y = 54.62 < 120$

$\sigma_{ca} = 1109 (kg/cm^2)$
 $\sigma_c = 955 (kg/cm^2)$

これでよろしいですか (Y or N)

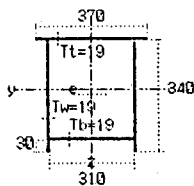


図4 トラス主構の断面決定(画面29)

表-2 トラス橋の自動設計

画面1	設計	タイトル: トラス橋の設計
画面2	条件	設計条件入力
画面3	条件	設計条件確認
画面4	条件	一般図
画面5	縦桁	荷重の種類と強度
画面6		反力の影響線図
画面7		死荷重強度
画面8		活荷重強度
画面9	桁	曲げモーメント
画面10		せん断力
画面11		断面決定(外縦桁)
画面12		断面決定(内縦桁)
画面13	床	活荷重強度
画面14		死荷重強度
画面15		断面力の影響線図
画面16		曲げモーメント
画面17	桁	せん断力
画面18		断面決定(中間床桁)
画面19		断面決定(端床桁)
画面20	主	死荷重強度
画面21		活荷重強度
画面22		影響線の縦距と面積
画面23		部材力の影響線図(上弦材)
画面24		部材力の影響線図(斜材)
画面25		部材力の影響線図(下弦材)
画面26		部材力表
画面27		上弦材の断面決定(U-1)
画面28		上弦材の断面決定(U-2)
画面29		上弦材の断面決定(U-3)
画面30		斜材の断面決定(D-1)
画面31		斜材の断面決定(D-2)
画面32		斜材の断面決定(D-3)
画面33		斜材の断面決定(D-4)
画面34		斜材の断面決定(D-5)
画面35		斜材の断面決定(D-6)
画面36		斜材の断面決定(D-7)
画面37	上横構	下弦材の断面決定(L-1)
画面38		下弦材の断面決定(L-2)
画面39		下弦材の断面決定(L-3)
画面40		下弦材の断面決定(L-4)
画面41	下横構	上弦材の断面表
画面42		圧縮斜材の断面表
画面43		引張斜材の断面表
画面44		下弦材の断面表
画面45	橋門構	荷重強度と部材力
画面46		斜材の断面決定
画面47		支材の断面決定
画面48		荷重強度と部材力
画面49	橋門構	断面決定
画面50		荷重強度と断面力
画面51		断面決定
画面52		端柱の応力照査
画面53	橋門構	たわみの計算
画面54		たわみの制限

図3にトラスの部材力影響線の計算例として、斜材についてのコンピューター画面(画面24)を示す。影響線の縦距や面積は、画面22で既に一覧表として示されているが、図3はさらに理解し易いようにそれを図示したものである。図4には主構上弦材の断面決定のコンピューター画面(画面29)を示す。ここで、設計者は画面の算定結果を参考にしながら、断面寸法を修正することができる。

3. フォームペーパー

学生は設計を進めるにしても初めてのことで、何事にも初めてのことにについては手順が分からずに時間を浪費することが多い。そこで、学生には設計手順を分かり易くするように、フォームペーパーを準備した。フォームペーパーとは、そこに数字を記入するだけで設計を進めて行けるように様式化した用紙のことである。

学生が設計を進める時、学生自身の設計計算よりもコンピューターの自動設計を先行させると、学生はコンピューターの自動設計を頼りにし過ぎることになり、学生の自主性が失われ設計に対する理解が浅くなる恐れがある。あくまでコンピューターの自動設計は、学生が設計を進める上での補助的な道具として、利用されなければならない。そのためには、学生はまずフォームペーパーに従って設計を進める。そして、学生が各々行うその設計計算をチェックするためにコンピューターの自動設計を用いるようにする。例えば、トラス橋の場合には、縦桁、床桁、主構、等の各設計構造物単位毎の断面決定を行う時に、コンピューターを利用して最適断面を求める。

学生はフォームペーパーに従って設計を進めることにより、設計計算の全体の流れが理解し易くなる。設計手順のよく理解していない学生は、往々にして目先の”計算”に気を取られて、”設計”は理解していないことが多い。フォームペーパーを利用することにより、より深く設計の全体像を把握することができる。

4. あとがき

橋梁設計は設計示方書がよく整備されていて、構造設計への理解を深めるためには良い対象構造物であると言える。しかし、最近の大学における学生の負担は土木工学の範囲が広がるにつれて増大してきており、橋梁設計もその中で選択科目となり、これを履修しない学生も出てきた。橋梁設計のような構造設計演習はあまりにも手間が掛かり、学生にとってはやりづらい科目となっている。そこに、ここで述べたようなコンピューター利用のような工夫が行われないと、益々構造設計がなおざりにされていく恐れがある。

また、現在では設計の実務においても計算作業そのものはコンピューターが行っているのであるから、技術者に要求されるのはその結果への正しい判断力であり、学校においてもその要求に沿った方向で教育が進められるのが望ましい。教育においてコンピューターを用いる時には、小学校の算数において電卓を用いるような弊害がもたらされるのではないかという懸念が常に提起される。もちろん、そういう危険性があることは否定できないが、それはどのようにコンピューターを用いるかという方法次第で改善できると思われる。新しい便利な道具が出てきた時には積極的にそれを教育にも取り入れるべきであり、それまでの古い方法にとって変わるためには当然工夫も必要である。最もおろかしいのは、いつまでも古い方法に固執してそこに進歩がないことである。

参 考 文 献

- 1) 当麻庄司：パソコンを利用したマトリックス構造解析法の教育、第12回電算機利用シンポジウム、土木学会、昭和62年10月。
- 2) 当麻庄司：BASICによる橋梁工学、共立出版、昭和64年2月出版予定。