

石川島播磨重工業株式会社 正員 ○吉永俊一郎  
同 正員 松下貞義

### §1. まえがき

橋梁の設計作業において、コンピューターは主として構造解析に利用されてきたが、これは構造解析の手順が機械的単純作業の繰り返しであり、コンピューターへの適用が比較的容易であったことによると思われる。しかし最近、コンピューターをより高度に利用すべく、構造解析に留まらず、さらに構造設計そのものから製図に到るまで応用され始めている。

我々は、橋梁設計を自動化する一つの試みとして、連続I桁を取り上げて、なるべく実用設計に近づける為に、ある程度の工場製作を配慮した、自動設計プログラムを開発してきたが、かなりの成果を得たので、ここに自動化へのアプローチの一手法として、紹介する。

### §2. 桁橋の設計と最適化

橋梁工事のように、人件費の全費用に占める割合の比較的大きい構造物の設計では、工場製作および現場架設に対する配慮が不可欠であり、かなりの設計経験と熟練を要求されるのが現状である。

従って最適設計法にしても、最小重量、最小鋼材費による最適化は、最近の人件費の高騰からみても、実用性にとほしいと思われる。I桁橋の設計に際し、普通設計者が配慮しているものを工場製作までに限って列記すれば、主として次のようである。

1. なるべく、鋼材費が小さいこと
2. なるべく、同一断面にして製作を同一パターンにする
3. なるべく、カッティングプランに乗り易いこと
4. なるべく、同時平行切断が可能ること
5. なるべく、溶接手間が少いこと
6. なるべく、横持ち、反転作業が少ないこと
7. なるべく、歪み直し手間がないこと

これらの項目は、その場その場の設計時点の状況に応じて、おのおのウエイトづけされて、full stressed design をベースとしながら、総合的に考慮、選択されている。

我々のプログラムにおいては、従来の full stressed design を基本として、上記項目のうち1～5までとある程度考慮する為に、Dynamic Programmingの手法を利用した。しかしその利用の方法としては、1～5の項目の相競合する要素の間の、最適値を定めるという、直接的な利用法ではなく上記項目のように「なるべく」という概念、すなわち可能性の追求というものの、プログラミングのむずかしさ、およびプログラムステップの増大化をさける為に、D.P.の手法を利用して、主桁断面の構成方法のプログラムを簡素化した。

図-1に概略フローチャートを示す。

### §3. 断面変化位置の決定

連続桁の断面変化位置については、次の二つの方法を並列させた。一つは断面変化位置を材料コストと製作コストのバランスした所で決定されると考え、これらの最適値問題としてD.P.E.応用する手法で、これは各所で試みられている。(1)(2)(3) 他の一つは先にあげた製作条件の内、項目2の「なるべく同一断面を作る」ことを考えて、連続桁の曲げモーメント図の凹凸を、適当な落差の間隔をもった水平線で切断し、それらと距離に順じて並べかえて、断面変化位置を決める方法である。前者は工場溶接継手部分における製作コストが、フランジ断面積の函数として単純には表わることができず、従ってスムージングされた結果が真の最適値とはいえないこと、又決定された断面変化位置が製作コストに非常に敏感で、安定性に乏しいことなどから、実用化には今一步の感がある。

後者については、一般的な曲げモーメント図に対しては、良好な結果を得るが、極端な異形の曲げモーメント図に対しては今後多少の改良が必要である。

ここで曲げモーメント図の補間は、三次曲線を使用しその係数は最小二乗法で求めているが、結果は非常に良い。(図-3)

### §4. 断面の構成

主桁の上下フランジ断面の構成条件は、お互いに隣接する断面番号を  $i, j$  とし、 $i, j$  断面の曲げモーメントを  $M_i, M_j$ 、材質ランクを  $Q_i, Q_j$ 、フランジ巾を  $B_i, B_j$ 、フランジ厚を  $T_i, T_j$  とすると

(一)、全断面が full stressed design になっていること。

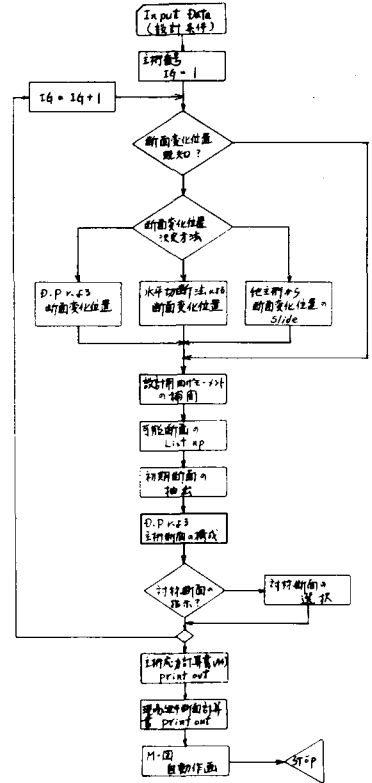
今曲げモーメントが  $|M_i| \geq |M_j|$  なら、

(二)、 $B_i \geq B_j, T_i \geq T_j, Q_i \geq Q_j$  なる断面で接続されていること。

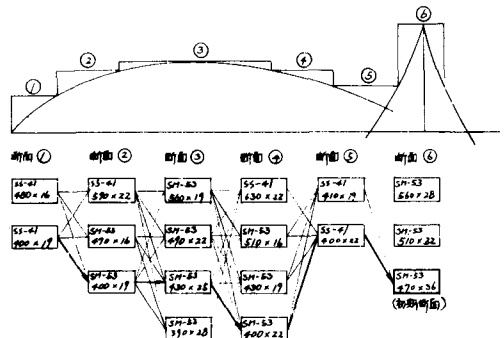
を満足しなければならぬことを、基礎条件としてさらにこの外に、ここでは§2.の3~5項を次のように考慮した。マブカッテングプラン(板取準備計画)が容易で、なるべく同時平行ガス切断を可能にする為に、

(三)、並列主桁の間で、なるべく同一板厚、同一長さのフランジ断面を探す。

なるべく溶接手間を少なくする為に、



(図-1)



(四) 並列主桁の間で、(三)と同様に同一板厚同一長さ、そしてさらに着目主桁の長さ方向に、板中一定のフランジ断面を可能な限り採す。

これは、一枚一枚のフランジを個々に、タブプレートをつけて、突合せ溶接を行う代りに板厚の違う原板を、まず突合せ溶接をして、後に所要フランジ中に、同時平行ガス切断を行うことをねらったものである。

上記の断面構成の為の四条件全部を満足するように、設計することはその時、その状況によって、可能な時もあり、実際上不可能な時もある。従って、条件(一)、(二)を基本としながら、条件(三)、(四)を満足する可能性をきわめる為に、次のような方法をとった。すなわち、図-1のように、まず各断面毎に full stressed design として使用可能なフランジ断面を全て、リストアップしておいて、これらの中から、決定断面を選択して行く問題を、D.P. による最適経路の問題と考えた。(図-2)

これを D.P. におけるベルマンの最適性の原理に適用して

「ある地点に、最適経路上の地点と仮定して、そこから、先の目的地までの、最適経路を求めれば、その地点が、最適経路上の点であると、仮定したときの最適経路全体の一部が求まったことになる」ように考えて、最適性原理による関数方程式

$$f_n = \text{MIN}[g_n + f_{n-1}]$$

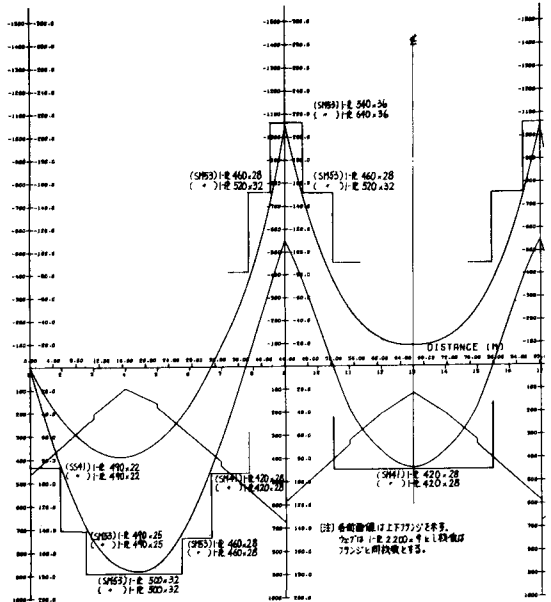
$$f_1 = g_1$$

とおけば、コスト関数  $g_n$  は

$$g_i = \alpha |B_i - B_j| + \beta |Q_i - Q_j| + \gamma |T_i - T_j| + \delta |B_0 - B_i| + \epsilon |T_i - \bar{T}_i| + \zeta |Q_i - \bar{Q}_i| + \mu |Q_i - Q_{fix}| + \rho |B_i \times T_i|$$

ここで、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \mu, \rho$  は断面選択に用いる、ウエイト付けのための、コストである。

MOMENT & SHEAR DIAGRAM (GIRDER-1)



(図-3)

```

G-1 GIRDER SECT. NO. 7 (X FROM 41.500 TO 47.000M.)
(X FROM 85.300 TO 90.500M.)
MEMAX = -362.125 T-M
MEMIN = -1050.180 T-M

* NORMAL SECTION * PM=1050.180 T-M
*** SECTION (CM) ***** Y (CM) AY(CM) AY2(CM)
(SM-53) I=PL 54.0 * 3.0 = 194.40 111.00 21733.9 2427852.
(SM-53) I=PL 230.0 * 3.0 = 198.00 798.00 798600.
(SM-53) I=PL 64.0 * 3.0 = 750.40 -311.80 -25758.7 2979625.
-----
TOTAL 522.90 -4024.9 6108277.

DELTA = -6.44 CM YI = 120.04 CM
IS = 5092267. CM4 YL = 107.14 CM

*** STRESS (KG/CM2) ***** ALLOWABLE STRESS
SU = M * YI / IS = -2075. KG/CM2 (-2100. KG/CM2)
SL = M * YL / IS = 1850. KG/CM2 ( 1875. KG/CM2)

*** RESISTIBLE MOMENT (T-M) ***** (C) COMPRESSION
RML = SLA * IS / YL = -1063.847 T-M (C) TENSION
  
```

(図-4)

$B_0$  ; 初期断面のフランジ中

$T_i$  ; 並列する他の主桁の  $i$  断面のフランジ厚

$\bar{Q}_i$  ; 並列する他の主桁の  $i$  断面のフランジ枚数のランク

$Q_{fix}$  ; 下フランジの枚数ランク (上下フランジを同一枚数にする為のもの)

この場合、コストの定数  $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \rho$  は最適値そのものを、うんぬんするものではなく、選択順序のみを決めるためのものであるため、それらの決め方は、非常に簡単である。

例えば、 $\alpha$  についていえば、

$$\left| \frac{M_i}{M_j} \right| \geq 1 \quad \text{かつ} \quad B_i < B_j \quad ; \quad \alpha \Rightarrow \alpha_1$$

$$\left| \frac{M_i}{M_j} \right| \geq 1 \quad \text{かつ} \quad B_i \geq B_j \quad \text{かつ} \quad B_i - B_j > \Delta B \quad ; \quad \alpha \Rightarrow \alpha_2$$

$$\left| \frac{M_i}{M_j} \right| \geq 1 \quad \text{かつ} \quad B_i \geq B_j \quad \text{かつ} \quad B_i - B_j \leq \Delta B \quad ; \quad \alpha \Rightarrow \alpha_3$$

( $\Delta B$  は input で与えられた最大板中差)

として、 $\alpha_1 \gg \alpha_2 \gg \alpha_3$  として、具体的に定数を決めておけばよい。

図-3, 図-4 に本プログラムを適用した結果を示す。

#### 5. あとがき

普通のプログラミングの方法では、むづかしく又ステップ数が、莫大になるであろう。設計の熟練を要する断面決定を、そのプログラムの簡素化のために、D.P. を応用した例を示した。構造物の設計のように、単に力学的見地だけでなく、考慮すべきことが多岐にわたり、それらの総合的判断を要するものには、必ず「なるべく」という概念が入ってくる。従って、これらの要素を、単一化、又は単純化して出てきた、最適値そのものを、使用することに懸念が残るような場合には、D.P. の亜流の使いかたによることも、自動設計の実用化への近道の一つと思われる。

#### 参考文献

- (1) R. Rayani, G.G. Goble "Optimum design of constant-depth plate girders" ASCE, April, 1966 ST2
- (2) G.G. Goble "Optimum design of mixed steel composite girders" ASCE, December, 1966 ST6
- (3) "Structural synthesis" (Volume 2) CASE Institute of Technology, July 1965.