

I-294 合成化した橋の自動設計に関する二三の考察(その2)

大阪大学 正員 前田幸雄
(株)酒井鉄工所 正員。内修治
(株)酒井鉄工所 正員 神谷信彦

1. まえがき 現在 電子計算機を使って自動設計プログラムが各種開発されているが、自動設計とは、本来電子計算機を使ってある設計条件のもとで、安全かつ機能的・経済的なものとなるよう、自動的に設計情報・製図を行いとして生産情報を与えるというトータルシステムの一部としての役割りをもっているといえる。ここでは設計計算に限定して自動設計の見地から、合成化した橋をとりあげ、自動設計と制約条件としての道路橋示方書との関連、そして設計手法としての最適設計などについて、二三の考察を行った。

2. 自動設計プログラムと道路橋示方書 自動設計における問題点として、次の二つをあげることができる。

1) 設計計算は計算時間がかかる。ほとんどがチェックや判断という論理演算から成り立っている。論理的な道筋を決定していく手順は、構造解析に用いられる数値計算の手順と比較して、はるかに複雑である。

2) 設計の手段は、種々の規則や示方書で定められて制約条件によって、広範囲にわたって制限されている。これらの規則や示方書は、手計算に便りなように記されており、電子計算機への応用には不向きといえる。

これらのことから、構造物を設計するとき、設計者は独自の判断基準や経験に基づいて、非常に複雑な判断を行っているといえる。よって規則や示方書などの制約条件に含まれて設計上の論理を明確にすれば、これは自動設計への大きな助けになるものと思われる。

道路橋示方書の条文を、設計の流れにそって分類すると、1) 道路橋として的一般仕様、2) 荷重と定数、3) 断面力算定、4) 部材の応力と形状の照査、5) 変形の照査(剛性)、6) 連結、7) 許容応力、8) 施工などになる。これらの関係を図-1に示す。主けん・横けん・片橋構・横構などは、鋼橋の構造によって必要に応じて構成されるものであり、これは 8 の 8 の部材構成について、部材・許容応力・剛性そして連結とに枝分かれしていく。筆者らは図-1に基づき示方書の各条文を組織化するため、ツリーチャート(Tree Chart)を作成した。今後ますます自動設計が進むことから、示方書を組織化する必要が生じてくるものと思われる。

示方書をツリーチャート化する場合、示方書には次の概念がとり入れられているのが望ましいといえる。

1) 現在の示方書では、一つの事項に関連した条文があちらこちらに分散されているが、関連条文は一つにまとめられること。

2) 自動設計では、制約条件が非常に多くなるので、示方書の制約条件を、例えば「部材に関するもの」「連結に関するもの」といった形にすべての条文を論理的に分類されること。

3) 示方書をツリーチャート化した場合、すべての条文の関連性および各条文の位置(レベル)が明白であること。このため、各条文は、例えば、部材の指定(一次部材やフランジ)、応力状態(引張応力や圧縮応力)、限界状態(耐荷力や降伏応力)そして計算式(曲げ応力度や乾燥収縮による応力度算定式)などに分類でき、さらにこれらの中間に付けてレベルを設定できること。

示方書の条文をツリーチャート化することによって、ある部材を設計するとき、その制約条件の相互関係が明確になり、さらに製作上あるいは建設上の制約条件をも考慮すれば、より合理的な最適設計が可能となる。

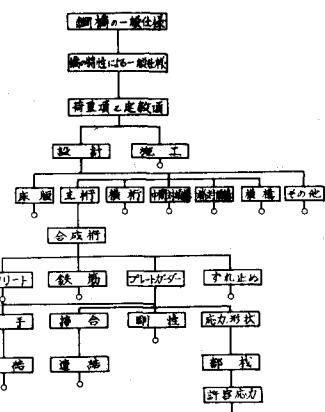


図-1

3. 設計手法 構造物を設計するとき、その設計手法は必ずしも確立されているとはいえない。われわれが構造物を設計するとき、最適設計を意識的にやらないは無意識に行っている。これは上限のチェックを行つてはいることになる。一方、すでに決められた設計諸量を示す書に照らしてチェックする場合、これは安全性と機能性からみに下限のチェックを行つてはいることになる。前者が設計アプローチ、後者がチェックアプローチと呼ばれるが、両者は設計の立場からは一対のものと切り離して考えることはできない。リリーチャートを作成すれば、チェックアプローチおよび設計アプローチが明確になり、最適設計を行うときその条文の影響する範囲を容易に見出すことができる。したがって、部材としての最適設計、主けに・対傾構・横構などの最適設計、そして橋梁全体としての最適設計とレベルを設定することができる。以下具体例について述べる。

3-1 主けた： 橋長・けたの配置・本数およびけた高さは、基本計画により決定されることが多い。合流げた橋の場合、設計変数としてコンクリートなどを含んで最適設計は、実際上困難なことが多いことから、実用上単純化する場合 Fully Stressed 状態で断面決定を行い、この段階で許容応力・最小断面・幅厚比などを満足するようとする。次に D.P. (Dynamic Programming) 手法を用いて、材料費・製作費を考慮して断面変化数・断面変化位置・材質として断面寸法を決定する。材料価格(C_m)と製作価格(C_f)はその時に応じて変化するため、ここでは等断面の場合(水平補剛材は考慮)を基本にした γ (=製作費/材料費) という無次元パラメータを用いて、トータルコストを表わす。このようにして求めた最適解を図-2 に示す。図-2 において材料費に関して SS41:SM50Y:SM58 = 1.00:1.25:1.50 とし、製作費については滑接延長・材質重量に関するものだけを考慮する。

3-2 対傾構： 一次部材として荷重分配を行う場合、図-3 のトラス骨組で算出曲げ剛度が一定のとき、骨組の重量を最少にする部材面積は次式で与えられる。二次部材としての対傾構は横構を準じる。

$$A_1 = (1 + \gamma \cdot \beta) I / \alpha$$

$$A_2 = \beta (1 + \gamma \cdot \beta) I / \alpha \cdot \gamma$$

$$A_1/A_2 = \gamma / \beta = 1.225 \sin \theta$$

3-3 横構： 横構の部材は偏心圧縮力を受けるT形断面柱として最適設計を行い、その結果を図-4 に示す。最適設計手法として SUMT 法 (Sequential Unconstrained Minimization Technique) を用いた。図-4 より部材力 P (ton) が与えられれば断面積 A (cm²) および $\gamma = t_w h_w / t_b b_f$ が求まり、つゞいて形状と幅厚比が大きくなるように決まる。また市販の橋梁用 CT 形鋼は約 1割不経済といえる。横構として何種類かの部材を用ひるとき、主けたと同様な手法により最適解が求まる。

4. おとがき 制約条件としての道路橋示方書と自動設計との関係について検討を行い、リリーチャートを作成したが、こうした組織化を行うことによつて各条文を系統的に整理することが、設計手法として最適設計を考慮した合理的な設計が可能となる。

- 文献 1) 竹内修治・神谷信彦“合成げた橋の自動設計に関する二三の考察”土木学会関西支部 年次学術講演会(昭和50年度)
2) 建設物価調査会“建設物価”(昭和50年6月) 3) 日本橋梁建設協会・鉄骨構築研究会共編“鋼道踏橋原価計算表”(昭和47年度)

支間 40M, 1等橋, $M_0 = 404.5$ ton, $M_v = 385.4$ ton
床版厚 20cm, ハニチ Tom, ガード高 2150mm

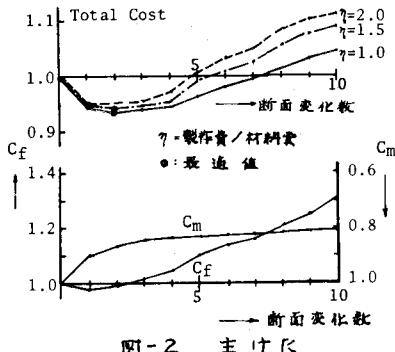
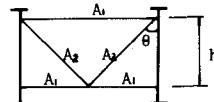


図-2 主けた



$$\text{横構曲げ剛度 } I = \frac{\alpha I}{1 + \beta^2 \cdot \frac{A_1}{A_2}}$$

$$\alpha = 4h^2/9$$

$$\beta^2 = 1/3 \sin^2 \theta$$

$$\beta^2 = 1/2 \sin \theta$$

図-3 対傾構

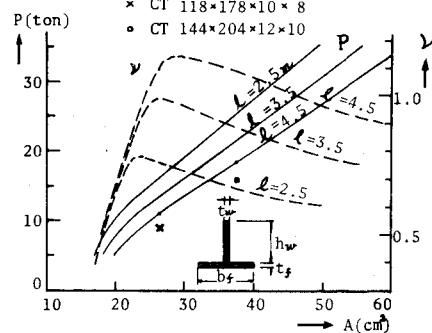


図-4 横構部材