

(株) 片山鉄工所 正員 中平 進夫
同 上 正員 小澤 健作
京都大学工学部 正員 山田 善一

1. まえがき

アーチ系橋のCADシステムを開発する場合、従来、設計者の経験的な勘や数回の試算で決定されていた部分に、論理的に明解な手段となる最適化手法を適用することにより、設計時間の短縮と、より経済的でしかも合理的な設計を可能にすることができる。ところで、アーチ系橋の最適設計を行なう場合、設計変数の数かなり多く、制約条件や目的関数の内容も複雑となるので、計算に多くの時間と費用を要する。本報告は、設計過程をその階層ごとに分け、その階層ごとに最適化を行ない、全体的な最適化をめざす方法について考察したものである。

2. 最適設計法の概要

アーチ系橋にかぎらず不静定構造物を設計する場合に、より経済的に設計するためには、最適な骨組寸法、最適な断面構成、最適な材料選択を行なわなければならない。そこで、本報告ではアーチ系橋の最適桁高および最適なライズとスパンとの比 f/L を求めることにする。最適化手法としてはSLP手法を用い、目的関数としては、主構の鋼重を考える。適用する断面形状は、Box断面およびI断面とし、アーチリブ、補剛桁および腹材の各断面の寸法決定は、道路橋示方書（昭和55年2月、以下道示）の規定を満足するようにSuboptimizationを適用して行なう。

問題をモデル化するにあたり、下記の仮定を設ける。

(a) 部材断面は上下左右ともに対称とし、ダイヤフラムまたは十分剛な横方向補剛材が配置されているものとする。

(b) アーチ軸線は、各格点間で直線である。

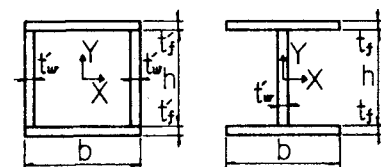
(c) プレートガーダーの垂直補剛材の鋼重におよぼす影響については、ウェブ厚を1mm厚くすることにより、水平補剛材は一段につき、ウェブの断面積を12cm²増加することにより考慮する。

(d) 縦方向補剛材が部材の断面積におよぼす影響については、補剛材1本につき18cm²として板厚に換算し、その場合には、横方向補剛材の換算板厚として2.5mm考慮するものとする。

(e) 軸力が引張となる部材は引張部材と考え、引張部材のウェブの板厚に関しては、プレートガーダーの板厚の制限を適用する。

3. 断面決定のSuboptimization

図-1に示すような断面形状をもつ、長さ l の部材の断面力が与えられた場合に必要とする最小断面積および断面寸法を求めることとする。設計変数としては、フランジ幅 b 、フランジ厚 t_f 、ウェブ高 h 、ウェブ厚 t_w の4変数を考える。ただし、アーチリブおよび補剛桁の断面決定においては、フランジ幅およびウェブ高は与えられたものとして扱い、フランジ厚、ウェブ厚の2変数のみを考える。制約条件としては、道示にしたがい、許容応力度に関するもの、板厚に関するもの、部材の細長比に関するもの、部材の安定の照査に関するものなどとする。目的関数として断面積を考え、SLP手法を適用して最適解を求める。図-2に



t_f , t_w : フランジおよびウェブの換算板厚

図-1 断面形状

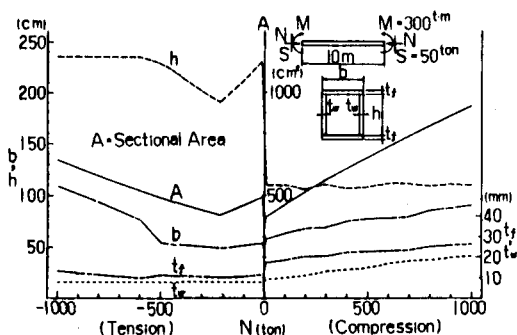


図-2 M, N, S を受けるBox断面部材

軸力と曲げモーメントとせん断力を受けるBox断面部材について計算した結果を示す。

4. 全体系の最適化

設計変数としては、アーチリブの桁高 H_R 、補剛桁の桁高 H_a 、桁のフランジ幅 B 、およびアーチライズ f を考える。目的関数として主構の鋼重を考える。すなわち、

$$F(B, H_R, H_a, f) = w \left(\sum_{i=1}^n A_{Ri} d_i + \sum_{j=1}^m A_{aj} \ell_j + \sum_{k=1}^p A_{hk} h_k \right) \rightarrow \text{Min}$$

ここに、 w は鋼材の単位重量、 $A_R, A_a, A_h, d, \ell, h$ はそれぞれアーチリブ、補剛桁、腹材の断面積および部材長を示す。

全体的な最適化をめざす場合の制約条件としては、a) たわみの制限、b) 部材の細長比の制限、c) 変位の影響を考慮しないための制限、d) アーチ面外座屈の制限、e) ランガーアーチのための制限、f) 桁高の制限、g) 桁高とフランジ幅との関係、b) 曲げ座屈制限 を考える。設計変数を無次元化して、目的関数および制約条件式をテラー級数展開することにより線形化し、SLP手法を用いて最適解を求める。たわみおよび部材剛度などの感度係数は、設計過程をその階層ごとにわけて取扱っているため、中心差分により数値微分する。

5. 数値計算例および考察

図-3に示す横断面形状および荷重のアーチ系橋について計算した結果を表-1に示す。解析骨組形状は図-4に示す4タイプを考えた。荷重載荷ケースは図-5に示す3ケースとした。部材断面はアーチリブ、腹材はBox断面、補剛桁はI断面とし、材質は、アーチリブ、補剛桁ともにSM53、腹材についてはSS41として計算した。表より、アーチ系橋の諸形式の中で最小重量となるのはニールセン形式であり、特に斜材にプレストレスを導入することにより、より経済的となる。また、上路型式は、一般に補剛桁に軸力が生じないため、変位の影響を考慮しないで設計する場合には、橋全体の剛性を高める必要から下路型式に比べ重量は重くなる。最適なライズとスパンとの比 f/L は、いずれの形式においても実績橋梁の値よりも大きくなる。また、上路に比べ下路の方が f/L は大きくなる。アーチリブおよび補剛桁の桁高については、アーチ形式の場合、実績橋梁の値とはほぼ等しくなり、ランガー形式の場合、実績橋梁の値よりも低くなり、上路は下路に比べ若干高くなる。

6. あとがき

アーチ系橋のCADシステムを開発する場合、設計過程を適切な階層にわけ、その階層ごとに最適化を行ない、逐次設計変数を減らすことにより、大規模で複雑な構造物の最適設計を行なうための一つの方法を示した。今後、製作費などのコストを考慮すること、影響線解析を行なうことにより、より実用的となる。

(参考文献)

1) 小澤, 梅下, 中平: 合成桁の最適設計、第20回橋梁・構造工学研究発表会、PP123~126、1973年11月
2) 奥村, 大久保: Suboptimizationによる鋼連続桁の最適設計、土木学会論文報告集、第215号、1973年7月
3) 山田, 大宮司: 斜張橋の最適基準設計に関する研究、土木学会論文報告集、第253号、1976年9月

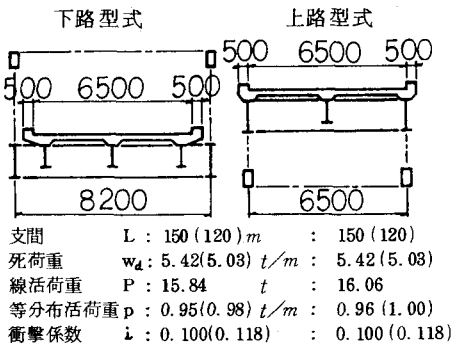


図-3 横断面形状および荷重

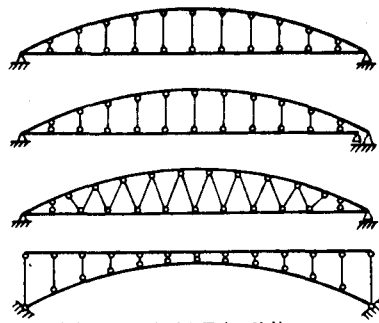


図-4 解析骨組形状

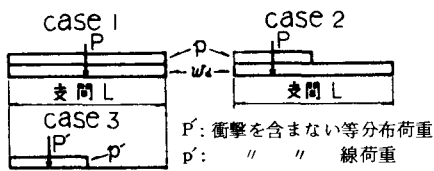


図-5 荷重載荷ケース

表-1 アーチ系橋の計算結果

	L(m)	W(ton)	f/L	H _a /L	H _R /L
ローゼ	150	157.9	1/4.6	1/244	1/54
ランガー	-	56.4	1/4.3	1/262	1/59
アーチ(1)	-	339.4	1/5.1	1/44	1/324
アーチ(2)	-	192.8	1/5.2	1/250	1/33
逆ローゼ	-	273.1	1/5.2	1/105	1/36
逆ランガー	-	223.0	1/6.2	1/217	1/34
逆アーチ	-	369.9	1/5.7	1/45	1/246
ニールセン	-	154.9	1/5.4	1/178	1/226
ランガー	120	96.7	1/4.4	1/244	1/51
逆ローゼ	-	122.2	1/6.3	1/212	1/32
ニールセン	-	90.5	1/5.4	1/206	1/209