

長崎大学工学部 正 員 小西保則
長崎大学工学部 学生員 櫻井弘幸

1 まえがき

タイドアーチなどのように構造物が複雑になり部材数が多くなると変数・制約条件式共にその数が多くなる。そこで Suboptimization により変数・制約条件式の数を減らすことが出来、複雑な構造物または部材数の多い構造物に対しても容易に最適設計が可能で、合成桁トラスについて最適設計を行った結果を先に発表した。¹⁾²⁾ 本研究においては、タイドアーチのアーチリア、タイ、ハンガー部材について真の制約条件となる 1 部材要素の変数に等しい数の制約条件式を算式とし、之を用いて各部材要素の変数を全体に渡って共通変数の関数として表わし、之を目的関数に代入することによって、変数および制約条件式の数を減じ、その後全体にわたって共通変数について最適設計を行って最適値を求めた。その結果について発表する。

2 最適設計手法

Suboptimization の方法として変数もある 1 つの部材要素のみの変数 X と構造物全体に共通変数 Y に分ける。先ず X について一定の Y に対して前述の方法で X を求め、 X を Y の関数として表わす。之を用いて構造物全体の制約条件式・目的関数を Y の関数とし SUMT 法により最適設計を行ない最適値を求めた。制約条件のない場合の最適化の手法として Davidon-Fletcher-Powell の提案した手法を用いた。

3 タイドアーチの最適設計

本研究の手法を用いて Fig. 1, Fig. 2 に示す 10 格間のタイドアーチについて最適設計を行った。

設計条件: 1) 支間: 80m,
2) 橋種: 1 等橋 (TL20),
3) 示方書: 鋼道路橋設計示方書, 4) 有効幅員: 10m,
5) 型式: 2-ヒンジド・タイドアーチ, 6) アーチ軸線形

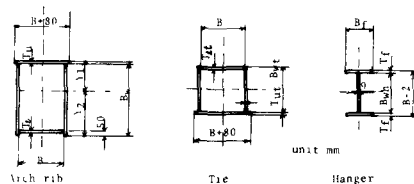


Fig. 3 Cross section

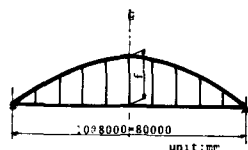


Fig. 1 Side elevation

状: 放物線

設計変数: 設計変数の内 X に属するものは鋼棒 S ($S=4$, 41キロ鋼: $S=5$, 50キロ鋼; $S=6$, 60キロ鋼とし、ハンガーについては $S=4$ とする), アーチリアの $Tu1 \sim Tu5$, $Te1 \sim Te5$, タイの Twt , ハンガーの $Tf1 \sim Tf5$, $Bf1 \sim Bf5$ の 21 個とし、 Y に属するものは f , B , アーチリアの Bw , Tw , タイの But の 5 個とする。他に $Tut = Twt \times (B+4.0)/(B+8.0)$, $Tet = Twt \times (B+4.0)/B$ で計算する。これらの記号は Fig. 3 に示す。

制約条件式:

1) アーチリア部材:

$$\sigma_{umi} / \sigma_{rai} + \sigma_{uni} / \sigma_{rai} - 1.0 \leq 0 \quad (i=1 \sim 5) \quad \text{----- (1)}$$

$$\sigma_{emi} / \sigma_{rai} + \sigma_{eni} / \sigma_{rai} - 1.0 \leq 0 \quad (i=1 \sim 5) \quad \text{----- (2)}$$

$$l_i / r_{gi} - 1.20 \leq 0 \quad (i=1 \sim 5) \quad \text{--- (3)}, B / \delta_i - Tu_i \leq 0 \quad (i=1 \sim 5)$$

$$B / \delta_i - Te_i \leq 0 \quad (i=1 \sim 5) \quad (5), Te_i - Ta \leq 0 \quad (i=1 \sim 5 \text{ の内最大の } Te_i \text{ を用いる}) \quad \text{----- (6)}$$

$$Bw / \delta_{wi} - Tw \leq 0 \quad (i=1 \sim 5 \text{ の内最大の } Bw / \delta_{wi} \text{ を用いる}) \quad \text{----- (7)}$$

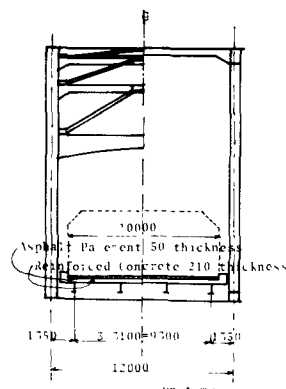


Fig. 2 Cross section of bridge

2) タイ部材:

$\sigma_c - \sigma_{at} \leq 0 \dots (8)$, $l/r_y - 200 \leq 0$ または $l/r_x - 200 \leq 0$ の内 l/r_y , l/r_x の大きい方を用いる。-----(9), $B/80 - T_{ut} \leq 0 \dots (10)$ $B/80 - T_{et} \leq 0 \dots (11)$

3) ハンガー部材:

$\sigma_{ci} - \sigma_{at} \leq 0$ ($i=1 \sim 5$) (12), $l_{ci}/r_{xi} - 200 \leq 0$ ($i=1 \sim 5$) または $l_{gi}/r_{xi} - 200 \leq 0$ ($i=1 \sim 5$) の内 l_{ci}/r_{xi} , l_{gi}/r_{xi} のどちらか大きい方を用いる。-----(13), $B_{fi}/32 - T_{fi} \leq 0$ ($i=1 \sim 5$) -----(14) 全体について $S - S_a \leq 0 \dots (15)$

ここに σ_{mi} , σ_{ni} : 上フランジの合成圧縮応力が最大になるような載荷状態のもとでの曲げモーメントおよび圧縮直応力による上フランジ縁端圧縮応力度, σ_{mi} , σ_{ni} : 下フランジの合成圧縮応力が最大になるような載荷状態のもとでの曲げモーメントおよび圧縮直応力による下フランジ縁端圧縮応力度, σ_{ai} : アーチリアの許容曲げ圧縮応力度, σ_{ui} : アーチリアの許容圧縮応力度, σ_a : タイおよびハンガーの許容引張応力度, r_{gi} : アーチリア, タイ, ハンガーの $y-y$ 軸に関する最小回転半径, r_{xi} : アーチリア, タイ, ハンガーの $x-x$ 軸に関する最小回転半径, t_i : アーチリアのせん断応力度, t_a : アーチリアの許容せん断応力度, δ_i : アーチリア上・下フランジアレットの局部座屈防止のための板幅と板厚の比, δ_w : アーチリアのウェブアレットの座屈防止のためのウェブアレット高さおよび板厚の比である。なお, 板厚 t は最小 9mm とした。

目的関数: 目的関数は次式で計算する。 $COST = V \times \{0.3F1 + (0.764 + 0.236F2) \times 0.7\} \dots (16)$

ここに V : アーチ各部材の Volume である。また鋼材費と製作費の比率は SS41 材で 0.3:0.7 とし鋼材費と製作費の内容容積費は鋼材の関数とし, 次式のように数式化した。鋼材費: $F1 = 0.084S^2 - 0.595S + 2.036$, 溶接費: $F2 = 0.0865S^2 - 0.7415S + 2.582 \dots (17)$ また溶接費以外の製作費と容積費との比率は 0.764:0.236 とした。これらの諸数値は昭和 40 年から現在までの 15 年間の橋梁製作会社の実績の推移にもとづいて算定した。

許容応力および δ の数式化: ここで σ_{ai} , σ_{at} , σ_a , t_a , δ , δ_b はいずれも S の関数とし次式のように定式化した。 $\sigma_a = \sigma_{at} = 100S^2 - 400S + 1400 \dots (18)$, $t_a = 50S^2 - 150S + 600 \dots (19)$ (20)

$Fq1 = 2S^2 - 23S + 80$, $Fq2 = -13S + 145$, $\sigma_{u2} = 1.7S^2 - 10.7S + 24$, $\sigma_{u3} = 150S^2 - 3050S + 16500$ とし, $\lambda = l/r$ とすると $\lambda < Fq1$ $\sigma_a = \sigma_{ai} \dots (21)a$, $Fq1 \leq \lambda \leq Fq2$ $\sigma_a = \sigma_{ai} - \sigma_{u2}(\lambda - Fq1) \dots (21)b$, $Fq2 < \lambda$ $\sigma_a = 1.2 \times 10^7 / (\sigma_{u3} + \lambda^2) \dots (21)c$, $\delta = -6S + 64 \dots (22)$, $\delta_b = b/(a_1\psi^2 + a_2\psi + a_3) \dots (23)$ $\psi = (\sigma_1 - \sigma_2)/\sigma_1$, ここで σ_1 , σ_2 はそれぞれ腹板に作用する最大応力度および最小応力度で $a_1 = 0.5S^2 - 8.5S + 52$, $a_2 = -0.5S^2 + 4.5S - 6$, $a_3 = \delta \dots (23)a$ である。

4 最適設計結果

最適値を求めるための準備計算として, アーチリアの一定のモーメント, 圧縮力に対して, アーチリア弦長のウェブ高 B_w , 弦幅 B を変えて計算した結果を Fig. 4 に示す。これによると $S=5$ では最適値は $B_w = 140\text{cm}$, $B = 70\text{cm}$ 位と推定される。最適設計結果については当日発表する。

参考文献:

1) 小西保則: Suboptimization による合成工形けたの最適設計について, 土木学会, 第 33 回年次学術講演会講演概要集, 第 1 部 PP 264 - PP 265, 1978-9。

2) 小西保則: Suboptimization によるトラスの最適設計, 土木学会, 西部支部学術講演会講演概要集, PP 17 - PP 18, 1979-2。

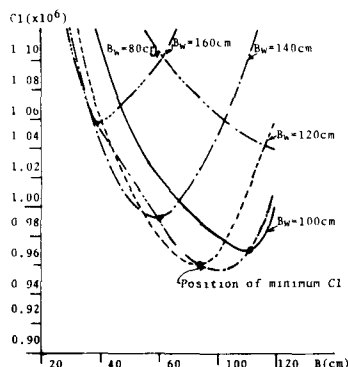


Fig. 4 Variation of Cl with B