

斜張橋の最適設計に関する一考察

大阪大学工学部 正会員 前田 幸雄

大阪大学工学部 正会員 林 正

大阪大学工学部 学生員 〇 鞆 一

1. まえがき

種々の力学的な長所を有する斜張橋は、美観的にも優れていることなどから、数多く建設されるようになった。しかし、ケーブル部材と他の鋼部材の許容応力度と費用が著しく異なり、ケーブルと主桁の剛比のわずかな変化が諸応力および変形量に敏感に影響するたため¹⁾、経済的な斜張橋と設計するためには何らかり最適設計の手法が必要であると考えられる。既に、最適基準法を用いた斜張橋の設計法が発表されているが²⁾、本研究では非線形計画法のSLPを用いた。斜張橋のような数多くの設計変数をもつ最適値問題に対して計算効率を上げるために、構造特性を考慮した計算手法を用いることにより、形式や基本寸法が設定された斜張橋の概略設計に適用できる、実用的な最適設計を試みた。

2. 設計条件

(1) 斜張橋と平面骨組構造物とみなし、微小変形理論に基づいて構造解析を行なう。

(2) 部材の照査は曲げ応力と軸方向応力についてのみ行なう。

(3) 全体座屈は考慮しない。

(4) 目的関数には材料の価格と考慮した換算重量を用いる。

主桁と塔の鋼種はSS41, SM50、

ケーブルにはPWSを用い、価格

の比率は、1.0 : 1.15 : 2.0とする。

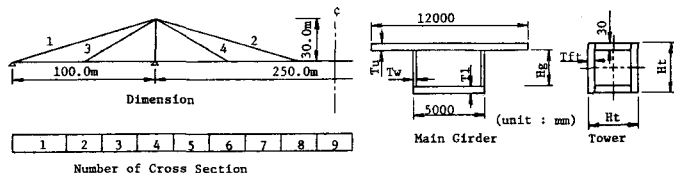


図-1. 斜張橋の設計諸元

(5) 設計変数には図-1に示した英字の断面寸法とケーブルの断面積を用いた。

(6) 応力度に関する制約条件のほかに、活荷重によるたわみ制限を考慮した。

3. 最適化計算の効率化手法

(1) プレストレスの決定法 : 最適なプレストレスとして、死荷重による主桁の曲げモーメントを均一化し、同時にキャンバー調整が行なえるものと考えた。計算方法は、主桁のケーブル支持点を支点に置き換え、多径間連続はりとして支点反力を求め、それと釣り合うプレストレスを導入し、側径間の最上段ケーブルについては、一つの塔に関してプレストレスの水平成分が零となるように決定する。プレストレスをSLPの設計変数として扱っても死荷重載荷状態において所定の完成形状が得られず、この簡易計算法による値の方がより実用的であると考えられる。プレストレスの効果は図-2より明らかであり、主桁、塔、ケーブルの軸力の増加はわずかである。

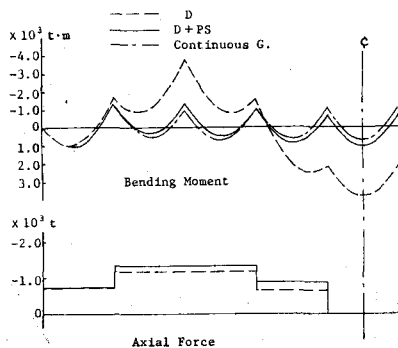


図-2. プレストレスによる主桁の断面力

(2) 活荷重の載荷方法 : SLPにおける構造解析の計算量を少なくするために、活荷重の載荷位置を限定する手法を用いた。すなわち、最適計算の前に各部材の応力度の影響線と求め、許容応力度に対して作用応力度の小さな荷重や作用応力度の差が5%以内の荷重を省略する。この計算方法により、図-1の斜張橋に対して、図-3のような8種類の活荷重位置を用いればよい。

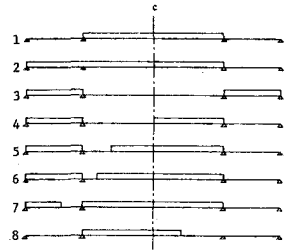


図-3. 活荷重載荷位置

(3) 応力比関数 : 一つの設計荷重 P_i によって部材 m に生じる応力度 $\sigma_{i,m}$ に対して、次の応力比関数 $\alpha_{i,m}$ を定義する。

$$\alpha_{i,m} = \frac{\pm \sigma_t + \sigma_{b,t/c}}{\sigma_{a,t/c}} \quad \text{or} \quad \alpha_{i,m} = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}}$$

全部材の $\alpha_{i,m}$ からその最小値 $\alpha_{i,\min}$ ととり出すと、 P_i に対する構造物の照査式は次の一つで表わすことができる。

$$\alpha_{i,\min} \geq 1.0, \quad \alpha_{i,\min} = \min \{ \alpha_{i,m} \}$$

したがって、応力比関数 $\alpha_{i,\min}$ を用いると、各部材の応力度を制約条件にした場合に比べて、その数は各段に減少する。

(4) 2段階最適化手法 : 複数鋼種の採用、計算の効率化、最適解の信頼性の向上などを計るために、図-4に示すような2段階最適化手法を用いた。

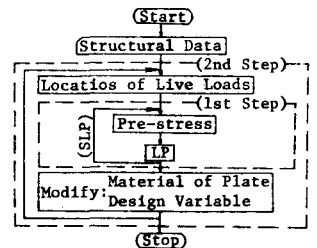


表-1. 主桁の設計変数 (unit : mm)

Step No.		No. of Cross Section									Hg
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1st	Initial	Tu				18.0					2500
	Tw					10.0					
	Tl					40.0					
	Tu					18.0					
	Optimum	Tu	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	2960
2nd	Initial	Tl	13.0	23.9	13.0	25.8	13.0	19.6	13.0	13.0	3000
	Tu					18.0					
	Optimum	Tl	13.0	23.0	13.0	25.0	13.0	19.0	13.0	13.0	2200
	Tu					18.0					
	Optimum	Tl	13.0	14.5	13.0	18.0	13.0	13.0	13.0	20.8	

* : SM50

4. 数値計算例
図-1の斜張橋について最適設計を行なう。死荷重強度は5.5 t/m、活荷重強度は3.0 t/mとし、衝撃係数は0.2とした。設計変数に対して、次の制約条件を与えた。

$$Tu \geq 18 \text{ mm}, Tl \geq 13 \text{ mm}, Tw \geq 10 \text{ mm}, Ht \leq 1600 \text{ mm}$$

第1段階として図-3の1~4の活荷重位置と全断面一定の Tu 、 Hg と $Ac1$ ~4、 $Tw1$ ~9、 $Tl1$ ~9、 Ht 、 Tft の26個の設計変数を選んだ。表-1,2の第1段階の最適解より、第2段階では、 $Tl2$ 、 $Tl4$ 、 $Tl6$ 、 $Tl9$ をSM50に変更し、 $Tl1$ 、 $Tl3$ 、 $Tl5$ 、 $Tl7$ については同じ板厚を用い、 Tw は10mmと固定し、設計変数を14個に減少させた。活荷重位置は図-3の1~8を用いた。表-1,2より、第2段階の目的関数が第1段階の値より減少しており、2段階最適化の効果によるものと考えられる。

表-2. 目的関数とケーブル塔の設計変数

Step No.	Variable	Objective Function(t)	Area of Cable (mm ²)				Tower (mm)	
			Ac1	Ac2	Ac3	Ac4	Ht	Tft
1st	Initial	2170	0.04	0.04	0.03	0.03	1600	30.0
	Optimum	1660	0.0404	0.0273	0.0184	0.0254	1600	14.5
2nd	Initial	1720	0.04	0.03	0.02	0.025	1600	30.0
	Optimum	1640	0.0503	0.0372	0.0189	0.0189	1600	21.0

5. あとがき

本解法によって、多変数に対しても、任意に与えた初期値に対して十分な収束解が得られており、概略設計に必要な値はほぼ得られるものと考えられる。なお、ここで示した数値計算例はACOS-900により計算され、その計算時間は2段階の合計で約8分であった。

- 1) 前田・林・井本 : 斜張橋の剛性による静力学的特性に関する一考察, 土木学会論文報告集, No.199, 1972.
- 2) 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, No.253, 1976.
- 3) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, 1973, pp. 98~99.