

熊本大学工学部	正員	○小林 一郎
熊本大学工学部	正員	三池 亮次
佐賀県庁	正員	杉野 朗

1 はじめに

本研究は影響線マトリックスを用いた最適設計の手法を斜張橋に適用するものである¹⁾。斜張橋においては、部材断面の決定と同時にプレストレス量の最適解を求める必要や、桁、塔、ケーブルといった異なる材料からなる構造のコスト評価等、数理計画手法を用いるべき要素が多くあり、既にいくつかの研究が行われている^{2,3)}。今回は影響線解析を考慮し、主桁の板厚、桁高、ケーブルの断面積等の断面量とプレストレス量を同時に設計変数として採用し最適弾性設計を行った。

2 影響線解析

影響線マトリックス Γ は、外力を部材断面力に線形変換するマトリックスであり、これを用いると、部材両端の上・下縁端4ヶ所の応力度(仮りに、 $\sigma_o, j; j=1-4$ とする)あるいはせん断応力度はマトリックス演算によって容易に求められることは既に示した通りである⁴⁾。本解析においては、ケーブルのプレストレス量を設計変数としたため、最適化(SLPを使用)の各反復段階で影響線図が大きく変化するが、そのような場合においても影響線解析や感度係数の算出は容易に行うことが出来る(プレストレスによる応力度を $\sigma_p, j; j=1-4$ とする)。主桁の任意の部材の最大応力度のうち正のものを σ_1 、負のものを σ_2 とすると次式となる。

$$\sigma_1 = \max(\sigma_o, j + \sigma_p, j), \sigma_2 = \min(\sigma_o, j + \sigma_p, j) \quad ; \quad \text{ただし、} j=1-4 \quad (1)$$

3 最適設計

- (1)荷重:死荷重強度 p_d は、最適化計算の過程において変化させるべきであるが、今回は定数として与えた。活荷重については、与えられた幅員から分布荷重と線荷重の強度 p_l, P_l を求めるものとする。
- (2)設計変数:主桁については、図-1に示す断面について上・下フランジ厚 T_u, T_l 、ウェブ厚 T_w を部材ごとの変数とし、桁高 h_g は全径間にわたって共通の変数とする。ケーブルについては、断面積 A_c とプレストレス量 P_s を設計変数とした。塔については、剛性を変化させても主桁やケーブルの断面力にそれ程大きな影響を及ぼさないと考え最適設計は行わない。
- (3)制約条件:部材の応力と板厚に関する制限として次のものを用いる。

$$\sigma_{ca} \leq \sigma_2, \quad \sigma_1 \leq \sigma_{ta} \quad (2)$$

$$\tau_{\max} \leq \tau_a \quad (3)$$

$$(\sigma_{\max}/\sigma_a)^2 + (\tau_{\max}/\tau_a)^2 \leq 1.2 \quad (4)$$

$$1.8\text{cm} \leq T_u \leq 3.0\text{cm}, \quad 1.3\text{cm} \leq T_l, T_w \leq 5.0\text{cm} \quad (5)$$

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{ta} \quad (6)$$

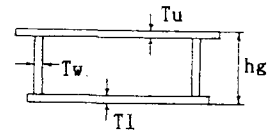


図-1 主桁の断面形状

ただし、 σ_{ca}, σ_{ta} は圧縮及び引張許容応力度、 τ_a はせん断許容応力度、 $\sigma_{\max}, \tau_{\max}$ は部材最大の直応力度とせん断応力度である。また、式(4)は合成応力に関する制約条件であり、式(6)はケーブルの応力に関する制約条件である。式(5)で示した板厚の下限値は、文献2)を参考にして定めた。

- (4)目的関数:使用材料のコスト比を主桁とケーブルで1.0:2.0とし、体積に換算して最小値を探索する。

4 数値計算例

図-2に示すモデルは部材数28で設計変数は対称性を考慮して36変数である(モデルは文献2)より引用)。荷重条件は $p_d=55\text{kg/cm}$ 、 $P_l=43700\text{kg}$ 、 $p_l=30\text{kg/cm}$ とした。主桁はSM41を使用し、 $\sigma_{ca}=-1400\text{kg/cm}^2$ とし、ケーブルは、 $\sigma_{ta}=5000\text{kg/cm}^2$ とした。プレストレス量 P_s に関しては、非負条件のみであり、活荷

重に対するたわみ制限は考慮していない。参考のためプレストレス量を設計変数として考慮した場合をケース1、考慮しない場合をケース2として計算した。図-3には、両ケースの初期値と最適値の最大曲げモーメント図を示し、表-1には、最適値を示した。表中の H_{opt} は桁高 hg の最適値、 V_{opt} は H_{opt} のときの体積であり、 σ/σ_a は式(4)より誘導される直応力度の制限値 σ_a と実応力度との比である。プレストレスを考慮することにより体積は10%程減少している。

5 あとがき

今後は、たわみ制限を導入し、より大規模なモデルを計算し、桁とケーブルの最適剛比、最適塔高等について検討して行きたい。

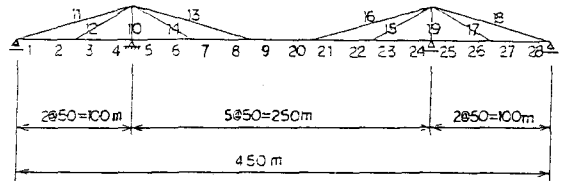


図-2 計算モデル

表-1 最適解の比較

ケース 1		主 桁							
NO.	A (cm ²)	I × 10 ⁷ (cm ⁴)	Tu (cm)	Tl (cm)	Tw (cm)	τ/τ_a (%)	σ/σ_a (%)	σ/σ_a (%)	
1	3525	3.1927	1.80	1.33	1.30	31.24	50.26	100.00	
2	3496	3.1499	1.80	1.30	1.30	45.53	47.90	102.00	
3	3860	3.5335	1.80	1.30	1.58	32.39	24.45	100.00	
4	3496	3.1499	1.80	1.30	1.30	38.70	22.97	80.36	
5	3496	3.1499	1.80	1.30	1.30	36.26	16.75	78.21	
6	4301	3.9405	1.80	1.92	1.92	29.36	25.66	97.71	
7	3632	4.2995	1.80	1.40	1.40	46.86	56.09	93.29	
8	3496	3.1499	1.80	1.30	1.40	27.14	32.13	99.64	
9	3496	3.1499	1.80	1.30	1.30	43.79	69.49	100.00	

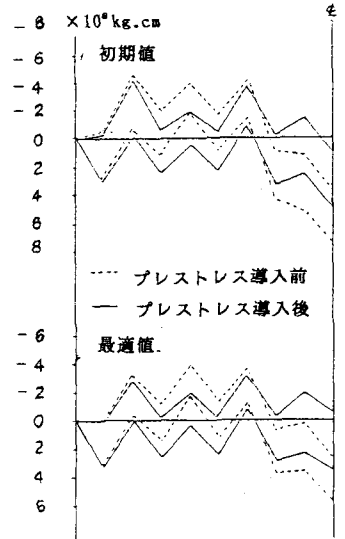
ケーブル			
NO.	A (cm ²)	P _s × 10 ⁶ (kg)	σ/σ_a (%)
1	359.3	1.2140	100.00
2	221.1	0.8361	96.26
3	305.2	1.1570	100.00
4	231.1	1.0242	100.00

$H_{opt}=203.57$ (cm)
 $V_{opt}=0.22031 \times 10^8$ (cm³)

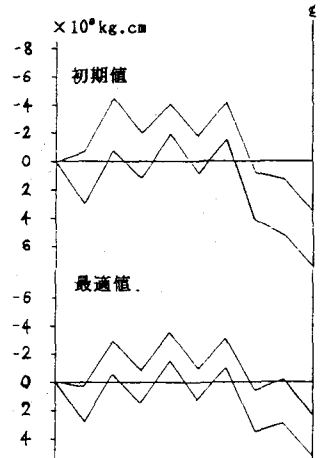
ケース 2		主 桁							
NO.	A (cm ²)	I × 10 ⁷ (cm ⁴)	Tu (cm)	Tl (cm)	Tw (cm)	τ/τ_a (%)	σ/σ_a (%)	σ/σ_a (%)	
1	3555	3.9149	1.80	1.30	1.30	28.15	46.10	92.21	
2	3910	4.3658	1.80	1.56	1.56	37.55	45.98	82.71	
3	3555	3.9149	1.80	1.30	1.30	32.60	31.46	100.00	
4	3609	3.9627	1.85	1.30	1.30	43.30	62.01	100.29	
5	3637	3.9864	1.88	1.30	1.30	41.08	59.36	100.14	
6	3983	4.4527	1.80	1.62	1.62	28.84	33.61	99.79	
7	3799	4.3260	1.80	1.57	1.30	60.03	50.34	100.14	
8	3798	4.3247	1.80	1.57	1.30	16.74	49.99	99.86	
9	4398	5.1606	1.91	2.12	1.30	42.88	100.21	100.21	

ケーブル		
NO.	A (cm ²)	σ/σ_a (%)
1	481.3	65.37
2	335.3	61.43
3	421.6	61.45
4	306.8	69.88

$H_{opt}=225.01$ (cm)
 $V_{opt}=0.24332 \times 10^8$ (cm³)



a) ケース 1



b) ケース 2

図-3 曲げモーメントの初期値と最適値

参考文献 1) 小林, 吉本, 三池 : 接続マトリックスを用いた骨組構造物の最適設計, 土木学会論文報告集, 第337号, 1983. 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, 第253号, 1976. 3) 林, 前田 : 大径間斜張橋の最適弾性設計, 第36回年譜概要集 I, 4) 小林, 杉野, 三池 : 斜張橋の最適設計に関する研究, 昭和59年度西部支部研究発表会概要集.