

I-135

斜張橋の最適設計への多段階決定法の適用について

熊本大学工学部 正 員 ○小林 一郎

日本技術開発(株) 正 員 宮本 宏一

熊本大学工学部 正 員 三池 亮次

1. まえがき 高次の不静定構造である長大斜張橋へ最適設計を適用する場合、設計変数および制約条件式数が多くなり、どのような最適化手法を用いても計算時間の増大あるいは解の収束性の悪化は避けられない。本研究は計算時間・計算機容量の減少を図るため、斜張橋の最適設計への多段階決定法の適用を試みたものである。なお、大規模構造物の最適設計においては構造解析を効率良く行うための工夫も重要な問題となるが、ここでは応力法を用いた。

2. 最適設計問題の設定と多段階決定法 構造物の多段階決定法によれば、最適設計問題を構造全体に関する最適化(2次レベルの問題)と部材断面に関する最適化(1次レベルの問題)とに分離することが可能である。ただし、斜張橋のような不静定構造の場合、上記の二つのレベルに分離することは不可能であ。ここでは、図1に示すように、ケーブル断面積を2次レベルの設計変数に加えることにより、1次レベルでは静定部材について部材ごとの最適化を行い、2次レベルにおいては最小重量設計を行う方法を用いる。1次レベルの問題においては全応力設計解が得られるため常に全域解に収束するという保証はないが、1次レベルの解は2次レベルの変数の値の改善に伴い逐次改良されるため、十分に実用に供しうる結果が得られる。斜張橋の力学的特性を考慮して近似的に、斜張橋の最適設計問題を次のように定める¹⁾。

[1次レベルの問題]

- 1) 設計変数：主桁については板厚で、図2-(a)に示す t_u 、 t_l 、 t_w とする。塔に関しては、図2-(b)に示す板厚 t_h 、 t_f 、および部材幅 B_f 、 B_h とする。
- 2) 制約条件：応力度の制約、部材の安定・合成応力度の照査式による制約、板厚制限、塔の部材幅の上下限。ただし、板厚については、リップ断面を考慮した換算板厚²⁾とし、主桁にはSS41、塔はSM58を使用するものとする。
- 3) 目的関数：各部材の断面積

[2次レベルの問題]

- 1) 設計変数：ケーブルの断面積 A_c 、および桁高 H_g 。
- 2) 制約条件：ケーブルの応力度の制約、ケーブル断面積の上下限、桁高の上下限。ただし、ケーブルの許容応力度 $\sigma_{a1} = 5600 \text{ kg/cm}^2$ とする。
- 3) 目的関数：重量 W (ただし、使用材料の単価を勘案したコスト係数を用いて換算)。

$$W = \sum \rho_g C_g A_g L_g + \sum \rho_t C_t A_t L_t + \sum \rho_c C_c A_c L_c \quad (1)$$

ここに、添字 g 、 t 、 c は主桁、塔、ケーブルを表すものとし、 A は断面積、 L は部材長、 ρ は単位体積重

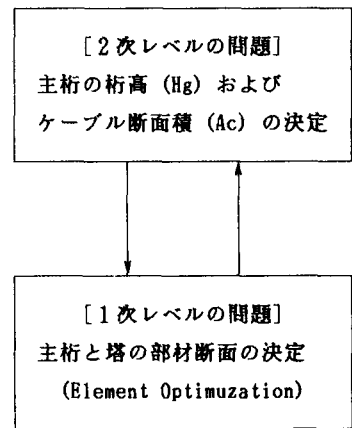
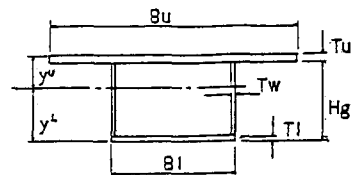
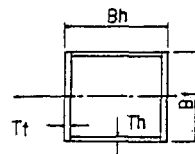


図1 本法の多段階決定法の概要



(a) 主桁



(b) 塔

図2 部材の断面形状

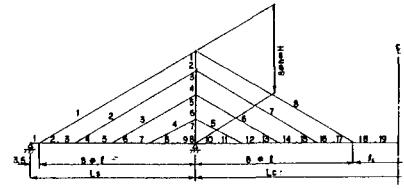
量である。また、コスト係数は $C_g:C_t:C_c = 1.0:1.2:2.0$ とした。

上記の問題では、はじめにケーブルの断面積、桁高を与えて主桁と塔のelement optimizationを行い、次に全体の目的関数が改善されるように、ケーブルの断面積、桁高を変化させて全域的な最適解を求めようとするものである。本法では、応力法を用いるため構造解析およびプレストレス量の決定が効率良く行われ、計算時間が大幅に短縮される。なお、プレストレス量の決定については死荷重載荷時(完成系)において、1) センタースパンのケーブル定着点鉛直方向変位をゼロとし、2) 塔基部に曲げモーメントが生じないという条件より求めた。また、各レベルの問題は、差分により感度係数を計算し、SLPを用いて解の探索を行った。

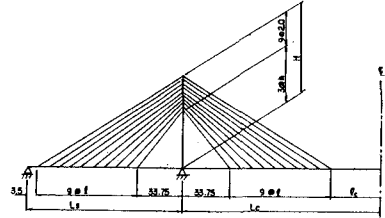
3. 数値計算例 大和川橋梁を基本にして、図3に示すハープ形式(3、4段)とファン形式(3、4、10段)の3径間連続斜張橋(橋長645.5m)をモデルとして数値計算を行った。また、主径間長 L_c と側径間長 L_s の比は $L_c/L_s=2.44$ と 2.2 の2種類を用いた。部材断面力の算出は影響線解析により求めるものとし、2次レベルの変数の値が改善されるたびにプレストレス量の決定を含めた応力の再計算を行った。設計荷重としては、死荷重強度は定数として $w_d=18.18$ ton/m、活荷重は等分布荷重 $w_l=4.635$ ton/m、線荷重 $p_l=108.622$ tonを設定した。衝撃を考慮したが、ケーブルについては定数とし衝撃係数 $i=0.2$ を与えた。応力度の算出に必要となる有効座屈長 β は、塔については、面内では上端ピン、下端固定より $\beta=0.8$ とし、面外については上端自由、下端固定より $\beta=2.1$ としたが、ハープ形式のときは軸力を台形分布として β を算定した。主桁については、面内はケーブル定着点間隔、面外は軸圧縮力の作用範囲でその全長を座屈長とした。塔高 H は50, 60, 70mの3ケースについて解析を行った。

図4は、ファン形式(10段)の最適解における主桁の上下フランジの応力分布であり、表1は各モデルの $L_c/L_s=2.44$ における最適解である。表中のコスト G, T, C は式(1)の右辺の第1項から3項に対応している。ファン形式(10段)の重量が最小となった。また、ケーブル本数の少ない場合は、塔高60 m付近に最適解があるものと考えられる。ケーブル本数が増えるに従って桁高 H_g は減少している。ハープ形式とファン形式の比較では、ファン形式の値が小さくなる傾向にあるが、この程度のスパンにおいては、両形式の優劣はつけられないものと思われる。なお、 H/L_c と最適解の関係、 $L_c/L_s=2.2$ の場合の結果等の詳細については、講演時に報告する予定である。

参考文献：1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980。2) 山田、大宮司：斜張橋の最適基準設計に関する研究，土木学会論文集，第253号，1976。

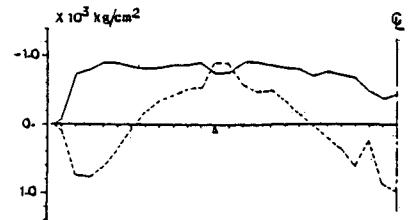


ハープ形式

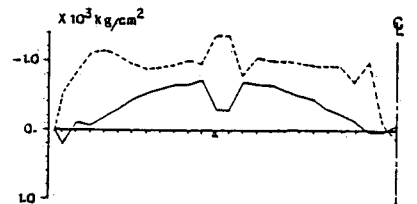


ファン形式

図3 解析モデル



(a) 影響線図正側載荷



(b) 影響線図負側載荷

図4 主桁の応力度分布

表1 最適解の比較

		増高	コスト × 10 ³ ton					
		■	コストG	コストT	コストC	Total	Hg(cm)	
ハーブ形式	3段	50	4.955	0.447	1.300	6.702	445.00	
		60	4.710	0.582	1.162	6.453	421.53	
		70	4.570	0.734	1.061	6.366	393.14	
	4段	50	4.844	0.457	1.132	6.366	414.35	
		60	4.612	0.589	1.211	6.412	388.00	
		70	4.458	0.739	1.219	6.417	372.88	
	ファン形式	3段	50	4.678	0.534	1.251	6.464	417.95
			60	4.467	0.714	1.128	6.309	364.82
			70	4.348	0.921	1.103	6.411	342.15
ファン形式	4段	50	4.483	0.535	1.444	6.463	356.67	
		60	4.377	0.713	1.192	6.281	335.01	
		70	4.321	0.916	1.134	6.372	324.13	
		10段	60	4.292	0.711	1.183	6.187	310.62