

斜張橋の多段階最適設計に関する研究

熊本大学工学部 学生員 ○宮本 宏一

熊本大学工学部 学生員 伊東 貢

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

1. まえがき 斜張橋は高次の不静定構造であるうえに設計においては、1) 塔、主桁、ケーブルといった異なる部材要素の断面量の決定と、2) ケーブルのプレストレスの決定という2種類の性格の違う最適化を同時に行わなければならない。又、構造物が長大化するにつれ、設計変数の低減、制約条件式の選択等を行い最適設計を効率良く行うための工夫も重要な問題となる。本報告は、構造解析に応力法を用い、多段階決定法により斜張橋の最適設計を試みたものである。

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。しかし、斜張橋のような不静定構造の場合、厳密に上記の二つのレベルに分離することは不可能だが、いま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次レベルの問題〕

構造解析より得られる部材力をもとに主桁および塔の各部材の最適化を行う。設計変数は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次レベルの問題〕

余り材であるケーブルの断面積、および桁高 H_g を設計変数とし、全体系の最適化を行う。

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、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次レベルの変数により逐次改良されるため、十分に実用に供し得る解が求められる。さらに、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、各レベルの問題は、差分により感度計算を行いSLPを用いて解の探索を行った。

3. 数値計算例 図-1に示す3径間連続斜張橋をモデルとして、数値計算を行う。ケーブルプレストレス量は、死荷重載荷時の中央径間側のケーブル定着点鉛直方向変位が零、ケーブル張力の水平分力の総和が零という制約条件のもとで決定し¹⁾、部材断面力の算出は影響線解析によって行う。これらの値は2次レベルの変数の値が改善されるたびに再解析した。設計荷重としては、死荷重強度 $w_d = 18.18 \text{ ton/m}$ 、活荷重は等分布荷重 $w_l = 4.635 \text{ ton/m}$ 、線荷重 $p_l = 108.622 \text{ ton}$ を設定し、 w_d の修正はしない。各レベルの制約条件および目的関数は以下の通りである。

(1) 1次レベル

1) 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²⁾、板厚制限、塔の部材幅の上下限

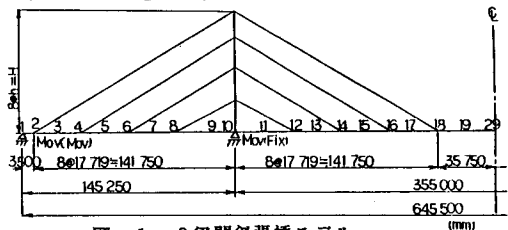
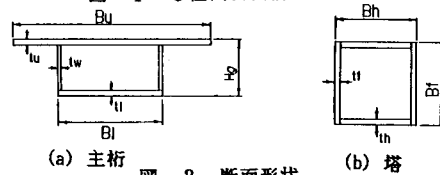


図-1 3径間斜張橋モデル



(a) 主桁 図-2 断面形状 (b) 塔

ただし、板厚については、リブ断面を考慮した換算板厚³⁾とし、主桁にはSS
41、塔はSM58を使用するものとする。

2) 目的関数：各部材の断面積

(2) 2次レベル

1) 制約条件：ケーブルの応力度、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。

2) 目的関数：使用材料の単価を勘案したコスト係数を用いて換算した重量を
目的関数とし、次式で与える。

$$\text{COST} = \sum \rho_g C_g A_g L_g + \sum \rho_t C_t A_t L_t + \sum \rho_c C_c A_c L_c \text{-----}(1)$$

ここに、添字 g、t、c は主桁、塔、ケーブルを表すものとし、

$C_g:C_t:C_c = 1.0:1.2:2.0$ とした。 ρ は単位体積重量である。

計算に当っては、塔高Hを60m(CASE 1)、50m(CASE 2)、70m(CASE 3)

の3ケースの解析を行った。図-3にCASE 1の解の収束状況を示す。

解はなめらかに収束しており、また桁高についても良好な解が得られている。これに関連して図-4に最適解における主桁の曲げモーメント、図-5に主桁の断面積、図-6に塔の断面積と断面2次モーメントを示す。主桁の中間支点付近の断面積が他に比べ突出しているが、これは最下段のケーブルが活荷重に対して有効に働かないため、中間支点付近の主桁に大きな曲げモーメントが生じるからであると思われる。表-1は簡単な比較のために、塔高Hのみを変化させて、最適設計を行った結果である。なお、塔の有効座屈長は支持条件を面外で1端固定、他端自由、面内で1端固定、他端ピンとし、軸力を台形分布として算定した。CASE 3のとき主桁のコストは最小となり、桁高も小さくなるが、その反面、塔のコストは最大になっている。CASE 2では逆の結果となっている。このためCASE 2でコストは最小となる。ところで、表-1中のWEIGHTはそれぞれの最適解における、コスト係数を考慮しないで、総重量を計算したものであるが、この場合CASE 3で最小となり、式(1)で導入したコスト係数の効果が良く表われている。以上の結果、提案している最適化手法は、斜張橋の最適設計に十分適用可能であると思われる。

他のモデルについての結果は、講演時に発表する予定である。

参考文献

- 1) 松木他：応力法を用いた斜張橋の構造解析について、西部支部研究発表会概要集,1986。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・解説,1980。
- 3) 山田、大宮司：斜張橋の最適基準設計に関する研究、土木学会論文集，第253号,1976。

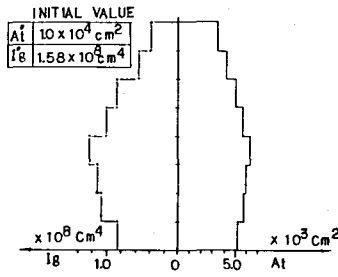


図-6 塔の断面変化

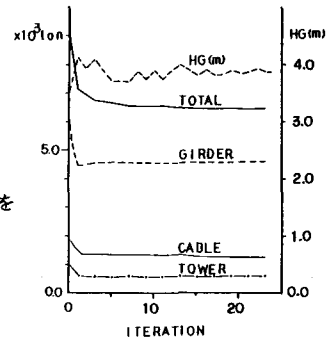


図-3 解の収束状況

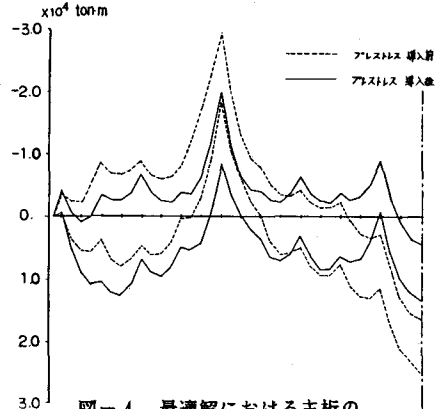


図-4 最適解における主桁の曲げモーメント

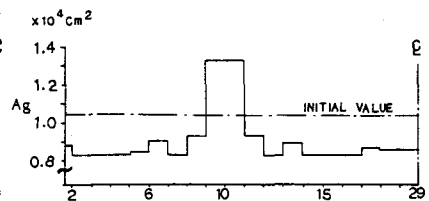


図-5 主桁の断面変化

表-1 各ケースの最適解

	10 ³ ton		
	CASE 1	CASE 2	CASE 3
GIRDER	4.610	4.844	4.458
TOWER	0.589	0.457	0.739
CABLE	1.211	1.318	1.219
COST	6.410	6.619	6.417
WEIGHT	5.706	5.884	5.683
Hg (m)	3.88	4.14	3.73
H (m)	60.0	50.0	70.0
h (m)	7.50	6.25	8.75