

船橋河橋梁製作所 正員 長崎富彦

長岡技術科学大学 正員 鳥居邦夫

§ 1. まえがき

斜張橋を設計する場合、構造形式の選定は構成要素の多いことにより非常に困難な問題であり、また経済性を左右するため重要な問題でもある。そこで本研究は、斜張橋の比較設計に適用できるような、簡単に計算できる最適設計法を提案する。本設計法は適合条件の設定法に検討を加え、不静定構造物に必要な不可欠である繰り返し計算のループを断ち切り、かつ最適断面を追求するものである。

§ 2. 設計理論

本設計法を図1の例を用いて説明する。従来の設計法では不静定力の算出を幾何学適合条件に求めていた。この設計法では、断面剛性と断面力がお互い影響を及ぼすため、繰り返し計算が必要となる。これに対して本設計法では、最適設計問題で用いられる目的関数を最小とすることにこの不静定力を決定する。例の場合、仮に目的関数を桁の曲げモーメント二乗和とすれば、これを最小とする不静定力は、

$$X^* = 5 w L_G / 8 \quad (1)$$

と計算され、断面力は図2のようになる。断面寸法はこの断面力より設計される。しかしながら、このようにして求めた不静定力では適合条件を当然満たしていない。求めた断面を用いて適合条件より計算される不静定力は、

$$X^C = 4 w L_G / 8 \quad (2)$$

となり、断面力は図3のようになる。すなわち不適合量として図2と図3の断面力の差が存在するわけである。この不適合量をキャンセルするために、その分だけプレストレスを導入する。その量はの場合

$$X^P = X^* - X^C = w L_G / 8 \quad (3)$$

であり、断面力は図4のように求められる。プレストレスの導入法は鋼構造物の場合特に簡単であり、製作時に部材をプレストレスに対応した量だけ変形させて造っておけばよい。つまり部材にプレストレインを与えておくわけである。この場合、プレストレインは図5のように計算される。

構造物の完成時には図3と図4の断面力が加え合わされ、図2と一致した断面力が作用するため、ここで部材の断面寸法を設計し直す必要は全くないことがわかる。

§ 3. 目的関数の最小化法

最適設計問題において、目的関数は一般に次のように定義される。

$$f = \sum_{i=1}^n c_i A_i L_i \quad (4)$$

ここに、 c ：鋼材の価格、 A ：断面積、 L ：部材長、 n ：部材数である。ここで断面積を軸力 N と曲げモーメント M の関数として表わし、式(4)の目的関数を次のように変形する。

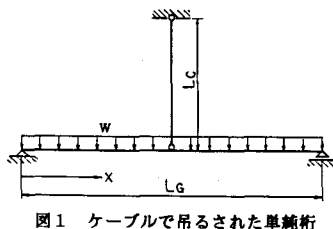


図1 ケーブルで吊るされた単純桁

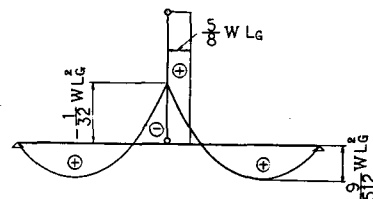


図2 目的関数を最小とする断面力

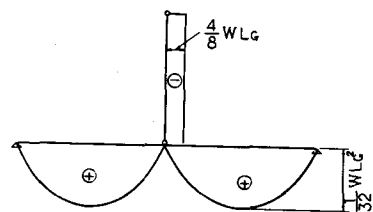


図3 適合条件より求められる断面力

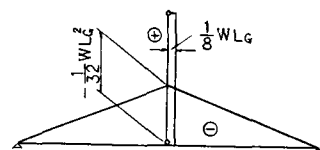


図4 プレストレスによる断面力

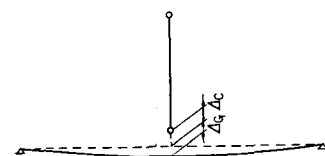


図5 プレストレイン量 (製作図)

$$f = \sum_{i=1}^n c_i \left\{ a_i \frac{N_i^2}{\sigma_{Nai}} + b_i \frac{M_i^2}{\sigma_{Mai}} \right\} L_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 a, b は断面形状の性質より計算される定数である。 σ は許容応力を表わす。

式 (5) における目的関数の最小化は、次の連立方程式を解くことになる。

$$\frac{\partial f}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\sum_{i=1}^n c_i \left\{ a_i \frac{N_i^2}{\sigma_{Nai}} + b_i \frac{M_i^2}{\sigma_{Mai}} \right\} L_i \right] = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

($j = 1 \dots m$)

X は不静定力、 m は不静定次数である。一方、エネルギー法に基づく最小仕事の原理

$$\frac{\partial U}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{N_i^2}{2EA_i} + \frac{M_i^2}{2EI_i} \right\} L_i \right] = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

($j = 1 \dots m$)

に着目すれば、

$$EA_i = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{Nai}}{c_i a_i}, \quad EI_i = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{Mai}}{c_i b_i} \quad \dots\dots\dots (8)$$

と置くことによって、式 (6) と式 (7) は一致することがわかる。このことは、部材の断面剛性を式 (8) によって決め、構造物をそのまま構造解析することによって最適値が求められることを表わしている。従って本設計法は、構造解析汎用プログラミングによって計算することができるため、設計者はすぐ利用できる。

§ 4. プレストレス導入法の相違点

従来斜張橋のプレストレスは、ケーブルの張力調整によってのみ導入されている (図 6 a)。本設計法では、すべての不静定力に対してプレストレスを導入しなければならないため、主桁の変形によってもプレストレスが導入される (図 6 b)。

§ 5. 数値計算例

計算モデルは末広大橋を参考にして決めた。荷重は死荷重および活荷重中央径間満載とした。図 7 は本設計法と SLP 法を適用した結果を示す。両者において断面寸法には最大 20 % もの差があったが、目的関数の差は 1 % 以内であった。

§ 6. あとがき

本設計法は、構造解析を一回しか要しないため非常に簡単に計算できる。従って斜張橋の比較設計にも利用できるものと考えられる。またこの設計法は、斜張橋のみならずプレストレスを容易に導入できる構造物ならばあらゆるものに適用できる。最後に、本設計法は荷重条件を一種類しか適用できず、今後数種類の荷重条件にも適用できるよう改善することを研究課題とする。

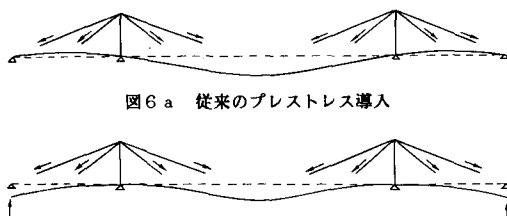


図 6 a 従来のプレストレス導入

図 6 b 本設計のプレストレス導入

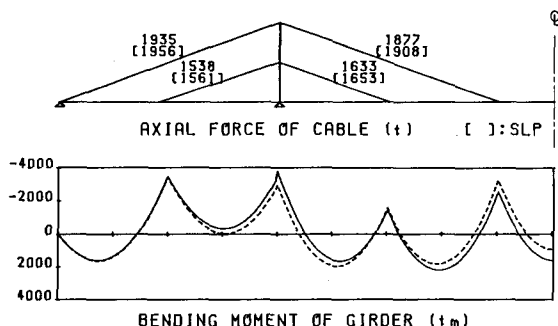


図 7 3 径間 Harp-Type 斜張橋の最適断面力

参考文献 1) 山田・大宮司・今村: 斜張橋の最適パラメーター設計, 橋梁と基礎, 昭53. 1, 53. 2 2) 前田・林・坂本: SLP による骨組構造物の最適設計, JSSCマトリクス解析法研究発表論文集, 昭56. 7 3) 鳥居・額谷: プレストレスを導入した不静定構造物の設計について, 第36回年次講演概要集, 昭56. 10