

応力法を用いた斜張橋の構造解析について

熊本大学工学部 学生員 ○松木 重夫  
 熊本大学工学部 学生員 佐々木 高  
 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. はじめに 骨組構造物の最適設計は、一般には、感度解析も含めた構造解析と最適化の2つの部分から成っているが、これまでは、主として最適化手法の研究が活発に行われてきた。しかし、大規模構造物の最適設計を行う場合、計算の合理化に最も関与しているのは構造解析であり<sup>1)</sup>、対象とする構造物への構造解析手法の適用性の検討は重要なテーマであると思われる。本報告は構造解析法として応力法を用い、主に斜張橋を対象として、上記のような数値計算上の問題点の解決を試みたものである。また、プレストレス量の決定については、完成系のケーブル張力を不静定力と考え、死荷重に対するケーブル定着点鉛直方向変位をゼロとする条件を最適性基準として用いることによって、プレストレス量の計算を容易に行うことができることを示す。

2. プレストレスの導入について 図-1 (a) に示す系を解く場合、応力法では、図-1 (b) の基本系に不静定外力 {q} が作用した構造を考える。外力を {p} とすると、部材断面力 {p m} は

$$\{p m\} = [B o]\{p\} + [B q]\{q\} \quad (1)$$

となる。ここで[B o], [B q]はそれぞれ外力 {p} と不静定力 {q} の作用する位置に単位力が働いたときの部材断面力であり、不静定力 {q} は、適合条件より求まる。剛結合部材においては、一般に内的不静定次数を低減させる場合、1部材について、軸力N、せん断Q、曲げモーメントMの3つの不静定力を考慮しなければならないが、一般に斜張橋の場合では、ケーブルをすべて取り除けば基本静定系(いわゆる樹状構造)が得られる。このためマルチケーブル長大斜張橋であっても、{q} を求めるための連立方程式の次数は、それ程大きくならない。

斜張橋にプレストレス {p s} を導入する場合、最適性基準としては1) 死荷重による変位をゼロとする。2) 主桁の曲げモーメントの最大値を最小にする。3) 桁のひずみエネルギーを最小にする<sup>2)</sup>。等のいくつかの提案がなされている。本報告では、最適化のための計算を極力省略するという方針から基本的には1) の方法を採用し、プレストレス量そのものを設計変数としないものとする。図-1 (b) の基本静定系において外力 {p} を等分布死荷重と等価な節点荷重におきかえたものを {p d} とする。適合条件より {p d} が作用したときの不静定外力 {q d} が求められる(図-3 参照)。ケーブル定着点の鉛直方向変位を {d} とすると

$$\{d\} = [B s]^{-1} [F][B o]\{p d\} + [B s]^{-1} [F][B q]\{q d\} \quad (2)$$

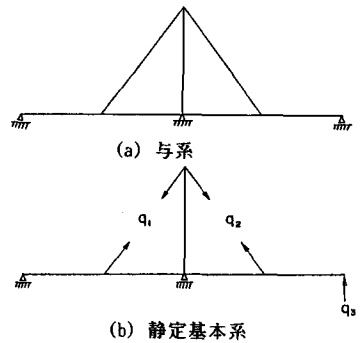


図-1 応力法による構造解析

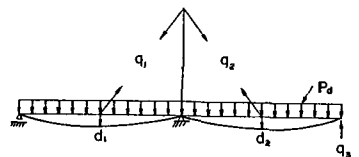


図-2 死荷重による変位

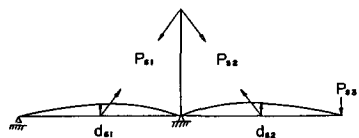


図-3 プレストレスによる変位

ここに、 $[B s]$ は、ケーブル定着点に単位荷重が作用したときの部材力、 $[F]$ は、たわみ性マトリックスである。これに対して図-3は、基本系に外力として $\{p\}$ のかわりに $\{p s\}$ を作用させるが、その作用方向は、図-2の $\{q d\}$ と同一の方向である。ここで、注意しなければならないことは、応力法の特徴として、 $\{p d\}$ あるいは $\{p s\}$ の成分として支点反力(図-2, 3の $q_3$ および $p s_3$ )を含む点である。 $\{p s\}$ による変位を $\{d s\}$ とすると

$$\{d s\} = [B s]^{-1} [F] [B q] \{p s\} \quad (3)$$

となる。ここで、 $\{d\}$ と $\{d s\}$ の和はゼロであり、かつ、基本系をつくる際に取り除かれた支承部分の変位がゼロという条件より $\{p s\}$ が求まる。応力法を用いる場合、プレストレスを考慮した斜張橋の最適設計においても、常に基本静定基本系のみについて構造解析を行い、部材力は式(1)において不静定力 $\{q\}$ のかわりに $\{p s\}$ を用いれば良いことになる。

3. 適用計算例 主桁および塔の断面形状は、図-4、5のようなものとし、図-6に示した3径間斜張橋モデルを対象として、最適プレストレス量の決定について計算例を示す。計算容量の減少という本法の特徴を確かめるため数値計算に当っては富士通 FM-16  $\beta$  (CP/M-86 + DR-Portran) を使用した。

次の3つのケースについて、等分布死荷重に対する最適プレストレス量(完成系の張力)の計算を行う。

- 1) DEAD --- プレストレスを考慮しない。ケーブル張力は不静定力 $\{q\}$ そのものとなる。
- 2) CASE 1 --- すべてのケーブル定着点鉛直方向変位をゼロとするようプレストレス $\{p s\}$ を導入する。
- 3) CASE 2 --- 主径間側のみケーブル定着点鉛直方向変位がゼロとなるようプレストレス量を決定し、側径間側のケーブル張力は従属変数とする。つまり、主径間側と側径間側の対応するケーブルにおいて張力の水平方向成分を等しくする。

なお、死荷重強度は181.8 kg/cm、主桁の断面形状は長方形箱型で断面積 $A_g=10990\text{cm}^2$ 、断面2次モーメント $I_g=2.806 \times 10^8\text{cm}^4$ 、塔の断面積 $A_t=1031\text{cm}^2$ 、断面2次モーメント $I_t=2.318 \times 10^8\text{cm}^4$ 、ケーブルの断面積は上段2本を $800\text{cm}^2$ 、下段2本を $600\text{cm}^2$ とした。図-5は各ケースの主桁の曲げモーメントおよび軸力分布の比較を、図-6は塔について同様の比較を行ったもので、図-6(a)の曲げモーメント図において、CASE 2の曲げモーメントは全てゼロとなっている。プレストレスを導入したCASE 1, CASE 2とDEADとを比較すると、主桁の曲げモーメントの最大値(センタースパンの中央点)で28%とかなり改善されることがわかるが、CASE 1とCASE 2とではそれ程変化していない。しかし、塔についてはCASE 1とCASE 2の間で曲げモーメントに大きな差がでてくる。このことから、死荷重に対してケーブル定着点鉛直方向変位をゼロとする場合においても塔基部に曲げモーメントが生じないように、CASE 2のような基準を用いることが望ましい。

参考文献 1) 泊、小林他：部分定着式斜張橋の最適設計、西部支部研究発表会、1985 2) 山田、古川他：斜張橋ケーブルの最適プレストレス量決定に関する研究、土木学会論文集 第356号/I-3, PP.415-423, 1985.

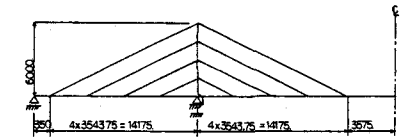
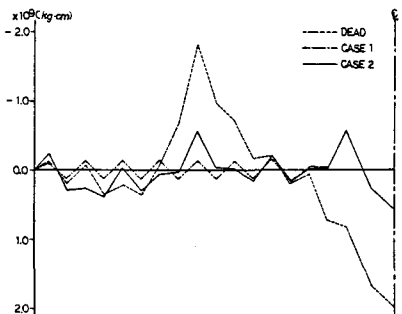
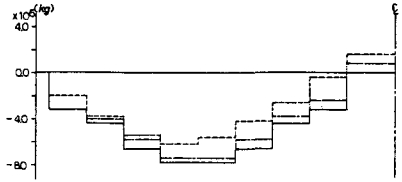


図-4 3径間斜張橋モデル

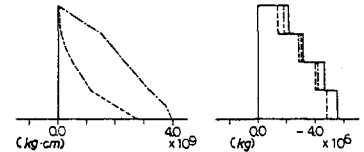


(a) 曲げモーメント

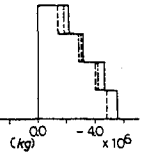


(b) 軸力

図-5 各ケースによる主桁の部材力



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力

図-6 各ケースによる塔の部材力