

(I-82) 外ケーブル構造のケーブル形状及びケーブルプレストレス力の最適化に関する研究

東洋大学^{*1} 学生員 樋口幸太郎
 東洋大学 正会員 新延泰生
 SKエンジニアリング^{*2} 正会員 小山幸作
 東洋大学 学生員 青島正三

① はじめに

外ケーブル構造は、現在の橋梁設計基準に適合しない既存橋梁に対して緊張力を与えることにより、堅固にし補強する目的をもつ。またそれと同様に、新設橋に適用することで、建設コストを削減できる有益な方法でもある。

本報告は、以上のような多くの利点を持つ外ケーブル構造の、ケーブル形状及びケーブルプレストレス力の最適に関する研究報告を行うものである。

② 感度解析

ケーブルの張力を設計変数とする変位および断面力の感度係数は次式で与えられる。

$$[K] \left\{ \frac{\partial v}{\partial f_{pi}} \right\} = \left\{ \frac{\partial F_p}{\partial f_{pi}} \right\} \quad \dots\dots\dots \text{eq. (2.1)}$$

$$\left\{ \frac{\partial \tau_j}{\partial f_{pi}} \right\} = [K] \left\{ \frac{\partial v_j}{\partial f_{pi}} \right\} + \left\{ \frac{\partial F_{pj}}{\partial f_{pi}} \right\} \quad \dots\dots\dots \text{eq. (2.2)}$$

[K]：剛性マトリクス

{v}：変位ベクトル

{F_p}：荷重ベクトル

eq. (2.1)の右辺{∂v/∂f_{pi}}はi部材の設計変数f_{pi}に対する変位の感度係数を示す。またeq. (2.2)の{∂τ_j/∂f_{pi}}は、j部材の設計変数f_{pi}に対する断面力の感度係数を示す。これらの感度係数は定数になるので、応答の推定式はeq. (2.3)で行える。

$$z_{k+1} = z_k + \sum_{i=1}^m \frac{\partial z_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \quad \dots\dots\dots \text{eq. (2.3)}$$

③ グローバル評価法

グローバル評価法（多目的線形計画法）とは、それ

ぞれの目的関数による単一目的線形計画法を解いて得られる理想値から目的関数の相対偏差を求め、次にその結果を目的関数の係数に持つ線形計画法を解くことにより、最良な妥協解を得る方法である。

本研究では、目的関数を外ケーブルのプレストレス力とし、制約条件には、①曲げモーメントの上限値及び下限値、②ケーブルの許容応力を採用した。

④ 数値解析

荷重試験を想定した解析モデル要素図をFig. 4-1に示す。

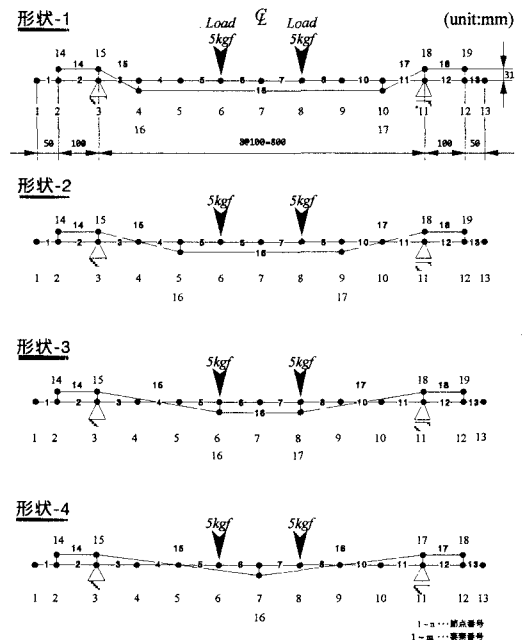


Fig. 4-1：モデル形状および荷重状態

解析モデル形状には4形状のモデルを用意した。それぞれは梁自体の断面性能および形状は同一であるが、ケーブル形状の違いによる応答の変化を観察するために、ケーブルの張り様に変化をもたせた。

キーワード：外ケーブル、感度解析、グローバル評価法

※1 東洋大学工学部 〒350-0815 埼玉県川越市鯉井2100

※2 有限会社 SK エンジニアリング 〒350-0066 埼玉県川越市連雀町30 番地4 ライオンマンション402号

TEL：0492-39-1391 FAX：0492-31-4482

TEL：0492-22-9354 FAX：0492-24-0230

ケーブルの形状を変化させるためには斜張橋のような塔が必要である。本研究においては、ケーブルと塔との摩擦を無視するために、実際のモデルではケーブル形状の変形点に、ベアリングを採用することを想定し解析を行った。

荷重条件は4形状のモデルとも同一条件とし、梁中央部分から両端に100mm離れた位置(節点6番, 8番)にそれぞれ集中荷重 5kgf づつを加えるものとする。(Fig. 4-1 参照。)

以上の条件下で感度解析を行った。感度解析では設計変数をケーブルプレストレス力とする、曲げモーメントの感度係数および変位の感度係数を求めた。また同時にそれぞれの初期値も求めた。ただし、実際のモデルは梁の両側にケーブルを1本ずつ張るため、感度係数の値はケーブル1本当たりの感度係数を2倍にし表示している。

グローバル評価法においては、設計変数をケーブルプレストレス力とし、先に求めた感度係数と目的関数を掛け合わせたものの和に初期値を加えることで、各節点の曲げモーメントが求められるようにした。

制約条件には曲げモーメントの上限値・下限値を±10000kgf・cmとした。またケーブルの許容張力を2ケーブルで100kgf、つまり1本のケーブル当たり50kgfのプレストレス力がかかることができるよう設定した。

5 最適値の推定

グローバル評価法により、曲げモーメント分布を最小かつ均一にする、各モデルの最適ケーブルプレストレス力は Table. 5-1 のように推定される。

曲げモーメントの初期値とグローバル評価によって求められた最適化後の曲げモーメントの推定値を Table. 5-2、分布図を Fig. 5-1 に示す。そのときの変位の推定値はを eq. (2.3)により推定した。変位の初期値と最適化後の推定値を Table. 5-3、変位推定図を Fig. 5-2 に示す。

6 比較/検討

同一の荷重条件下におけるモデル別の最適値を比較すると、制約条件内で曲げモーメントの推定値がもっとも小さく収束するものは形状2, 1, 3, 4の順であった。それぞれの収束率は57%, 48%, 43%, 30%である。曲げモーメント分布の均一性の面では、形状1, 2, 3, 4の順となった。

このことより、形状3, 4に対し形状1, 2は、曲げモーメントを収束および均一化させる形状であること

が判る。これはケーブルの傾き角をみても予想できることであるが、今回の解析結果は傾き角の大きい形状・1のモデルよりも、傾き角の小さな形状・2のモデルの方が収束性の面では優れていることを示す結果となった。

Table. 5-1
モデル別最適ケーブルプレストレス力

	形状-1	形状-2	形状-3	形状-4
最適プレストレス力 (kgf)	14.634	17.978	17.663	20.053

Table. 5-2

節点番号	節点座標 (cm)	形状-1 初期値	形状-1 推定値	形状-2 初期値	形状-2 推定値	形状-3 初期値	形状-3 推定値	形状-4 初期値	形状-4 推定値
1	10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	20	63.0136	48.9977	64.8480	64.8479	67.0878	99.9983	67.4494	123.9996
5	30	95.6422	23.0608	121.4630	-65.0020	123.6320	90.7214	123.6720	123.6719
6	40	150.9370	78.3356	148.0650	58.8265	176.6460	-8.6209	176.3650	119.8147
7	50	152.7020	80.1206	149.8300	60.5915	148.9990	61.2184	175.5280	49.7041
8	60	150.9370	78.3356	148.0650	58.8265	176.6460	-8.6209	176.3650	119.8147
9	70	95.6422	23.0608	121.4630	-65.0020	123.6320	90.7214	123.6720	123.6719
10	80	63.0136	48.9977	64.8480	64.8479	67.0878	99.9983	67.4494	123.9996
11	90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
max			152.7020	80.1206	149.8300	64.8479	176.6460	99.9983	176.3650
min									123.9996

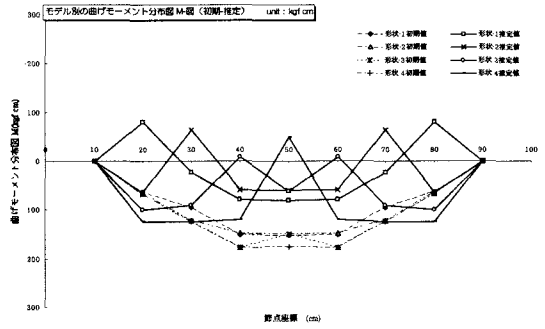


Fig. 5-1

Table. 5-3

節点番号	節点座標 (cm)	形状-1 初期値	形状-1 推定値	形状-2 初期値	形状-2 推定値	形状-3 初期値	形状-3 推定値	形状-4 初期値	形状-4 推定値
1	10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	20	-0.0568	-0.0208	-0.0603	-0.0272	-0.0653	-0.0456	-0.0698	-0.0624
5	30	-0.1059	-0.0414	-0.1105	-0.0443	-0.1203	-0.0756	-0.1290	-0.1054
6	40	-0.1400	-0.0585	-0.1440	-0.0569	-0.1559	-0.0915	-0.1690	-0.1292
7	50	-0.1519	-0.0648	-0.1557	-0.0616	-0.1675	-0.0962	-0.1828	-0.1356
8	60	-0.1400	-0.0585	-0.1440	-0.0569	-0.1559	-0.0915	-0.1690	-0.1292
9	70	-0.1059	-0.0414	-0.1105	-0.0443	-0.1203	-0.0756	-0.1290	-0.1054
10	80	-0.0568	-0.0208	-0.0603	-0.0272	-0.0653	-0.0456	-0.0698	-0.0624
11	90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
max		-0.1519	-0.0648	-0.1557	-0.0616	-0.1675	-0.0962	-0.1828	-0.1356
min		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

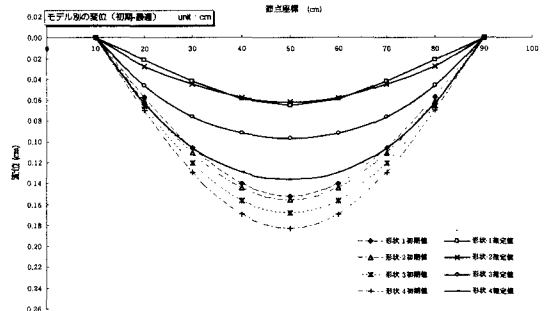


Fig. 5-1

<参考文献>

- 1) 林聡「斜張橋の最適ケーブルプレストレス力の決定法に関する研究」東洋大学修士論文
- 2) 茨木俊秀・福島雅夫著「最適化プログラミング」
- 3) M. S. TROITSKY「PRESTRESSED STEEL BRIDGES Theory and Design」