

I - A353

斜張橋の最適ケーブルプレストレス力決定法に関する研究

東洋大学* 学生員 樋口幸太郎
(株)ヤマウラ 正会員 青島正三
東洋大学* 正会員 新延泰生

■ 1 : はじめに

斜張橋は、プレストレス力を導入した複数のケーブルを添加することで、梁に生じる断面力を低減することが出来る高次の不静定構造物である。

本報告においては、制約条件内で断面力を最小に導く最適ケーブルプレストレス力の決定法について、梁の曲げモーメントを最小に導く手法(定式化1)、構造系全体のひずみエネルギーを最小に導く手法(定式化2)の2種類の方法を提案し、比較検討を行うものである。

■ 2 : グローバル評価法による問題の定式化(定式化1)

● 2.1 死荷重のみを考慮した場合

主桁の各着目点における曲げモーメント $M_k(k=1, \dots, n)$ は、感度係数特性により、プレストレス力 δf_{pi} を感度変数とする線形結合式 $eq. (2.1)$ で定式化される。また制約条件は、曲げモーメントの上限値が $eq. (2.2)$ 、下限値が $eq. (2.3)$ 、ケーブルの許容張力が $eq. (2.4)$ のように定式化される。

目的関数

$$|M_k(\delta f_{pi})| = \left| M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right| \rightarrow \min. \quad eq. (2.1)$$

制約条件

$$M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \leq X \quad eq. (2.2)$$

$$M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \geq -X \quad eq. (2.3)$$

$$l_i \leq \delta f_{pi} \leq u_i, i=1, 2, \dots, m \quad eq. (2.4)$$

以上の線形問題は多目的であるため、グローバル評価法により最適解を求めた。

● 2.2 死荷重及び活荷重を考慮した場合

死荷重及び活荷重を考慮する場合は2ステップに分けて解析を行った。第1ステップとしては、移動等分布活荷重を移動集中荷重と考え、各着目点上に集中荷重が作用した場合を想定し、それぞれについて2.1の解析を行った。第2ステップとして、第1ステップで

得られた曲げモーメントの収束値に対する目的関数の相対偏差を求め、同一着目点における相対偏差の和 $eq. (2.5)$ を求める。 $eq. (2.5)$ は新たな目的関数となり、 $eq. (2.2)$ から $eq. (2.4)$ の制約条件のもとでグローバル評価法を実行することで活荷重を考慮した最適ケーブルプレストレス力を決定できる。

$$f_k(\delta f_{pi}) = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{M_k(f_{pi}) - \left(M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right)}{M_k(f_{pi})} \right\} \rightarrow \min. \quad eq. (2.5)$$

■ 3 : 外力仕事最小の基準に基づく問題の定式化(定式化2)

次に外力を梁の死荷重とした場合の外力仕事最小の基準に基づく定式化を行う。ここでの外力とは、主桁の死荷重を等価節点力に置き換え P_{ek} , M_{ek} として梁上の各節点(着目点)に加えたものを表す。変位の推定は、感度係数特性により、感度変数をプレストレス力 δf_{pi} とする線形結合式で表される。よって、プレストレス力導入時の外力仕事は $eq. (3.1)$ のように定式化される。外力仕事最小の基準に基づく問題においては、 $eq. (2.2)$ から $eq. (2.4)$ の制約条件に加え、 $eq. (3.2)$, $eq. (3.3)$ の制約条件を満たす最適解を最適ケーブルプレストレス力とした。

目的関数

$$\sum_{k=1}^n \left\{ P_{ek} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) + M_{ek} \left(\theta_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \theta_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) \right\} \rightarrow \min. \quad eq. (3.1)$$

制約条件

$$\sum_{k=1}^n \left\{ P_{ek} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) + M_{ek} \left(\theta_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \theta_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) \right\} \geq 0 \quad eq. (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^n \left\{ P_{ek} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) + M_{ek} \left(\theta_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \theta_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) \right\} \leq 0 \quad eq. (3.3)$$

■ 4 : モデルと数値解析

ここではモデルの梁断面および塔は同性能とし、ケーブルの添加本数が8本、16本、24本と異なる3種類の斜張橋モデルについて解析を行った。以下に各モ

キーワード：斜張橋、感度解析、グローバル評価法、外力仕事

* 東洋大学 大学院工学研究科 構造システム研究室

〒350-0815 埼玉県川越市鯨井2100

TEL : 0492-39-1391 FAX : 0492-31-4482

デルの断面諸量と8ケーブルモデルを示す。

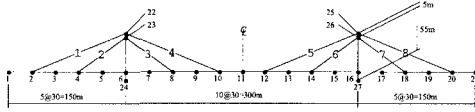


Fig.4-1 8ケーブルモデル寸法および節点番号

Table.4-1 断面諸量

部材	A (m ²)	I (m ⁴)	E (tf/m ²)
主桁	1.130	2.52	2.10E+07
塔	2.700	3.49	2.10E+07
ケーブル	0.102	0.00	2.10E+07

5：解析結果および考察

定式化1において、活荷重を考慮した場合の8ケーブルモデルにおける最適ケーブルプレストレス力の値をTable.5-1に示す。また、その場合に次の3荷重状態における曲げモーメント分布をFig.5-1に示す。

状態1) 梁の死荷重PDのみが作用した場合。

状態2) 梁の死荷重PD, 移動等分布荷重PL2, 移動分布荷重PL1が節点10に作用した場合。

状態3) 梁の死荷重PD, 移動等分布荷重PL2, 移動分布荷重PL1が節点17に作用した場合。

状態2において、曲げモーメントがプラス側へ頭出しているが、これはケーブル本数の多いマルチケーブルを採用することで低減され、さらに均一化されるものと思われる。

次に16ケーブルモデルを例に取り、定式化1および2による最適ケーブルプレストレス力（モデルの左半分のみ）をTable.5-2、曲げモーメントの推定値をFig.5-2、曲げモーメントの最大値及び最小値をTable.5-3に示す。

定式化2に比べ定式化1の方が収束幅が小さいのは、定式化1では曲げモーメントのみを考慮しているのに対し、定式化2では全断面力を考慮しているためと考えられる。また、外力仕事は変位に大きく関係しているため、定式化2では塔付近の曲げモーメントが大きくなっている。

6：おわりに

本研究の結果、定式化1では感度係数特性とグローバル評価法を用いることで、活荷重を考慮した最適ケーブルプレストレス力を決定することが出来た。このことは、架設時の張り出し工法において、建設重機移動時のケーブルプレストレス力の決定法としても有効である。

また定式化2は定式化1に比べ曲げモーメント分布

に部分的な差が観察されるが、定式化2は全断面力を考慮していることから、より合理的な方法と考えられる。また計算効率の面からも、マルチケーブル形式の斜張橋の解析には定式化2が有利である。

定式化2により活荷重を考慮することが出来れば計算効率の上からも有利であるが、定式化2による外力仕事の収束値はゼロになるため、定式化1で新たに目的関数を設けることはできない。ただし、定式化2により導かれたプレストレス力をもとに曲げモーメントを推定し、それをもとに定式化1と同様の解析を行うことは可能である。

Table.5-1 活荷重を考慮した最適ケーブルプレストレス力

Cable No.	1	2	3	4
張力 (tf)	2966.00	2208.30	2208.30	2966.00

Unit : tf

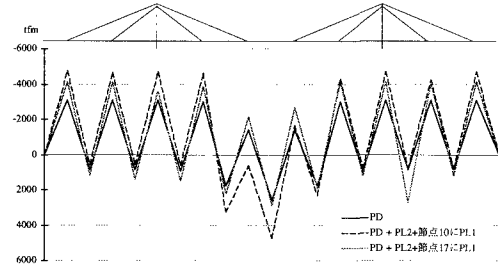


Fig.5-1 移動等分布荷重の通過による曲げモーメントの推移

Table.5-2 定式化別の最適ケーブルプレストレス力

Cable No.	1	2	3	4	5	6	7	8
初期張力	838.79	650.15	482.90	267.83	294.24	566.24	743.09	778.56
定式化1								
PRE ¹⁾	698.21	-650.15	-421.09	-21.61	-48.02	-304.43	-743.09	758.44
最適張力	1537.00	0.00	61.81	246.22	246.22	61.81	0.00	1537.00
定式化2								
PRE	1102.71	422.15	1297.70	1270.87	1244.46	1214.37	329.21	1162.94
最適張力	1941.50	1072.30	1780.60	1538.70	1538.70	1780.60	1072.30	1941.50

¹⁾ PRE : PRESTRESS

Unit : tf

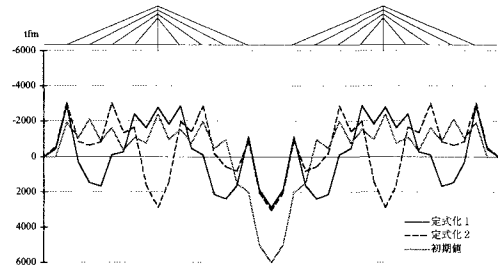


Fig.5-2 定式化の違いによる曲げモーメントの推移

Table.5-3 定式化の違いによる曲げモーメントの収束状態

	定式化1	定式化2	初期値
最大値	2869.41	3045.06	5992.97
最小値	-2868.29	-3043.48	-2410.40

Unit : tfm

参考文献：Ⅰ）土木学会：構造工学シリーズ1 構造システムの最適化（～理論と応用～）土木学会、1988年9月

Ⅱ）木下栄隆著：わかりやすい意志決定理論入門 近代科学社、1996年2月

Ⅲ）大塚久哲監修：長大斜張橋の解析と設計、部定式斜張橋研究会編 九州大学出版会、1991年4月

Ⅳ）青島正三：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、1999年2月