

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、主桁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を決定する際の評価規準である目的関数の置き方に着目し、二種類の方法を提案し、比較検討している。一つは、主桁の各着目点における曲げモーメントを同時に均一最小化するために多目的線形計画問題として解く手法(定式化1)であり、もう一つは、主桁の死荷重を外力とみなしこれによる外力仕事(=構造物全体のひずみエネルギー)を最小に導くため単一目的線形計画法として解く手法(定式化2)である。また、感度係数特性¹⁾を用いることで、いずれの定式化も容易に行うことが出来る。

2. グローバル評価法²⁾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 f_{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

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

制約条件

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

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

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

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ステップでは、移動等分布活荷重 p_1 を移動集中荷重に換算し、これが各着目点上に作用した場合に対しそれぞれ2.1の解析を行った。次に第2ステップでは、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を求める。これは新たな目的関数となり、制約条件 eq. (2.2) から eq. (2.4) 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。

3: 外力仕事最小の規準に基づく問題の定式化(定式化2)

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 f_{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。外力仕事最小の規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

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

制約条件 (eq. (2.2) ~ eq. (2.4) に加えて)

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

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

4. 解析モデル

解析は主桁と塔の断面性能は同一としてケーブルの添加本数のみが8本、16本、24本と異なる3種類の斜張橋モデルについて行った。ここでは、8ケーブル解析モデルの断面諸量を Table 4-1 に、モデル図を Fig. 4-1 に示す。

5. 解析結果および考察

定式化1において、Table 5-1 の5つの荷重状態に

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

** 株式会社ヤマウラ

〒399-4195 長野県駒ヶ根市北町 22 番 1 号 TEL : 0265-81-6010 FAX : 0265-82-3966

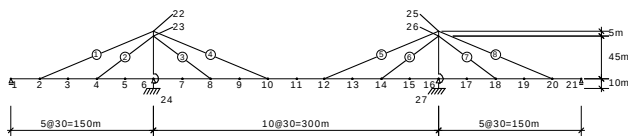


Fig.4-1 8 ケーブルモデル寸法および節点番号

Table.4-1 断面諸量

部材名称	断面積 m ²	断面二次モーメント m ⁴	ヤング係数 N/mm ²
主桁	1.13	2.52	2.00E+05
タワー	2.70	3.49	2.00E+05
ケーブル	0.10	0.00	2.00E+05

Table.5-1 荷重状態と適用ケーブルプレストレス力

case	荷重状態			適用ケーブルプレストレス力
	死荷重	等分布荷重 p_2	移動集中荷重に換算した等分布荷重 p_1	
1	○	×	×	人為的なケーブルプレストレス力の導入はしていない状態
2	○	×	×	現荷重状態を考慮した最適ケーブルプレストレス力
3	○	×	×	活荷重状態に対応可能なケーブルプレストレス力
4	○	○	節点11に作用	現荷重状態を考慮した最適ケーブルプレストレス力
5	○	○	節点11に作用	活荷重状態に対応可能なケーブルプレストレス力

ただし、○：作用している状態、×作用していない状態

おけるケーブルプレストレス力の値を Table5-2 に、曲げモーメント分布図を Fig.5-1 に示す。

定式化1では、状態2)に比べ3)の方が、また、状態4)に比べ5)の方がケーブルプレストレス力、曲げモーメント収束幅が大きくなった。この現象は単一の荷重状態を考慮することに比べ、考え得る複数の荷重状態まで適用可能にしたことで、幅のある荷重条件に対応したケーブルプレストレス力を採用したためと思われる。この手法は、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。

次に、死荷重状態における定式化別の最適ケーブルプレストレス力の値を Table5-3 に、曲げモーメント分布図を Fig.5-2 に示す。

定式化2に比べ定式化1の方がケーブルプレストレス力および曲げモーメントの値が小さいのは、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、定式化2において制約条件 eq. (3.3) を除き解析を行うと、先ず目的関数である外力仕事の最小値を求めた後、制約条件に基づき曲げモーメントが均一最小化される。この様子を Fig.5-3 に示すと、外力仕事を最小に導く解がB点であり、曲げモーメントの均一最小化を目的とした解がA点となる。A点における最適解は、定式化1によるものと同値となる。設計段階においてどちらの設計点を採用するかについては設計者の判断領域であるが、単一目的線形計画問題を解

Table.5-2 荷重状態別のケーブルプレストレス力 (kN)

	cable-1	cable-2	cable-3	cable-4	cable-5	cable-6	cable-7	cable-8
case 1)	11008	8982	10295	10972	10972	10295	8982	11008
case 2)	21647	17132	17132	21647	21647	17132	17132	21647
case 3)&5)	31038	19211	19211	31038	31038	19211	19211	31038
case 4)	28780	19312	19312	28780	28820	20079	20079	28820

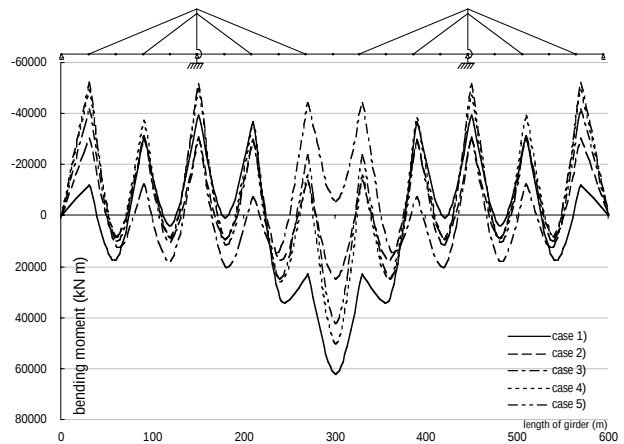


Fig.5-1 荷重状態別の曲げモーメント収束状態

Table.5-3 定式化別の最適ケーブルプレストレス力 (kN)

	cable-1	cable-2	cable-3	cable-4	cable-5	cable-6	cable-7	cable-8
multi-purpose programming method	21647	17132	17132	21647	21647	17132	17132	21647
criterion of external work minimum	24956	21914	21914	24956	24956	21915	21915	24956

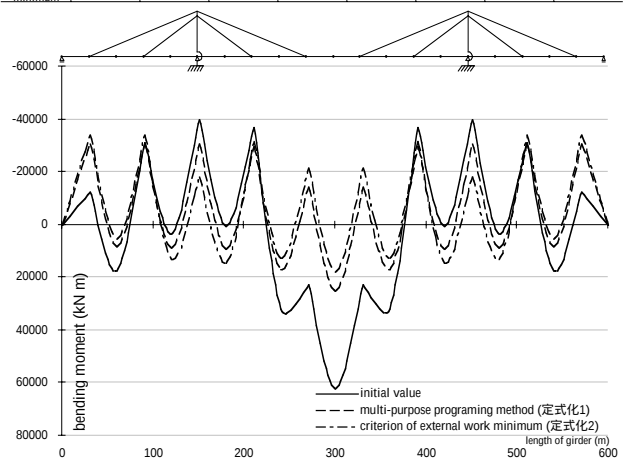


Fig.5-2 定式化の違いによる曲げモーメント収束状態

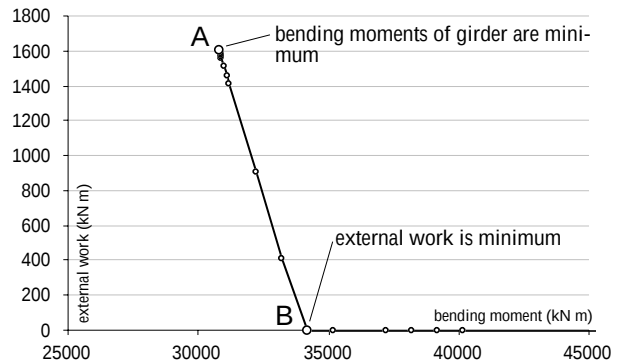


Fig.5-3 外力仕事と曲げモーメント最大値の関係を定式化2は定式化1に比べ計算時間も10分の1ほどで済み、また、全断面力を考慮することから力学的に非常に明確であり、今後の最適設計において有効な手法といえる。

参考文献：1) 新延泰生，松井邦人，菊田從勇：骨組構造物の応答感度係数の特性 土木学会論文集 No.450/I-20,pp75-83,1992

2) 木下栄蔵著：わかりやすい意志決定理論入門 近代科学社，1996年2月

3) 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

4) 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