

VI-164

外力仕事最小基準による外ケーブル構造システムの
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*

東洋大学*

SK Engineering Co.,Ltd**

東洋大学*

学生員 齊籐智和

正会員 新延泰生

正会員 小山幸作

学生員 樋口幸太郎

1. はじめに

外ケーブル構造とは、橋梁の主桁の外側に複数のケーブルを配置し、プレストレス力を与えることにより剛性を向上させる工法である。この工法は、ケーブル定着部の局所的な施工で済むことやケーブルの損傷度合いの確認および取り換えが非常に容易であり、また、交通規制の大幅な削減など多くの利点を持つ。従って、現在の設計基準に適合しない構造物または新設橋に採用され始めている。しかし、様々な制約条件を満たす有用なケーブルプレストレス力の決定方法は確立されていない。

そこで、本研究では、最適ケーブルプレストレス力を外力仕事最小の基準から求めている。またケーブル形状については5種類の解析モデルを想定し、その中で最適なケーブル形状を求めた。

2. 解析モデルおよび荷重条件

外ケーブル構造の実例をもとに、また、検証実験を考慮し、5種類の解析モデルを考案した。これらの相違点は、ケーブルを支える縦部材の本数および配置である。梁自体の断面性能は同一とし、構造応答の変化を観察できるようにした。また、荷重の載荷状態は死荷重のみを想定し、梁の各節点(節点番号3~9)に1kgfの集中荷重を載荷した(Fig.2-1参照)。これらの条件より、ケーブルの形状とプレストレス力の関係を観察する。以下に本研究で採用したMODEL-5を示す。

MODEL-5

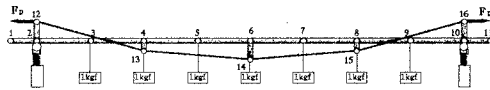


Fig.2-1 解析モデルの一例

3. 変位の変動量の推定方法

ケーブルプレストレス力を設計変数とする各変位の変動量の推定には感度解析法を用いた。ここで、設計変数に対する変位の感度係数は次式で示される。

$$\left\{ \frac{\partial v}{\partial f_{pi}} \right\} = [K]^{-1} \left\{ \frac{\partial F_p}{\partial f_{pi}} \right\} \quad \text{eq.(3-1)}$$

[K]: 剛性マトリクス

{v}: 変位ベクトル

{F_p}: ケーブルプレストレス力の荷重ベクトル

eq.(3-1)の左辺{∂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。この感度係数は定数となるので、応答の推定式はeq.(3-2)となる。

$$z_{k+1} = z_k + \sum_{i=1}^m \frac{\partial z_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \quad \text{eq.(3-2)}$$

4. 外力仕事最小の基準

本研究の外力は、主桁の死荷重を等価節点力P_{ek}、M_{ek}によって各節点に加えている。また、変位は感度係数特性により、プレストレス力δf_{pi}を感度係数とする線形結合式で表されるので、外力仕事最小の基準に基づく定式化は以下ようになる。

目的関数

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

制約条件

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \left\{ P_{0k} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) + M_{0k} \left(\theta_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \theta_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) \right\} &\leq X \\ \sum_{k=1}^n \left\{ P_{0k} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) + M_{0k} \left(\theta_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \theta_k}{\partial f_{pi}} \delta f_{pi} \right) \right\} &\geq -X \end{aligned} \quad \text{eq.(4-2)}$$

キーワード: 外ケーブル, 感度解析, 外力仕事

*東洋大学工学部

〒350-0815 埼玉県川越市飯井2100

**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 ライオンズマンション402号

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

TEL: 0492-22-9354 FAX: 0492-24-0230

5. ケーブルプレストレス力の最適化

集中荷重および曲げモーメントによる外力仕事を目的関数とする線形計画問題を解くことで、最適ケーブルプレストレス力を導き出すことが出来る。ここで、制約条件は、曲げモーメントの上限値および下限値を示すeq.(4-2)、その他にケーブルの許容応力を採用した。

6. 検証実験

死荷重を想定して荷重を載荷してある鋼材（梁）に外ケーブルを添加し、解析により求めたケーブルプレストレス力を分銅を用いて与える。今回の実験では、ケーブルの変形点(turning point)にベアリングを採用することにより、変形点における摩擦の抵抗によって張力が減少するのを最小限に留め、形状を容易に変化させる装置を作成した。この装置により梁のひずみを測定し、得られたひずみより曲げモーメントの値（実験値）を求め、解析より求めた推定値（理論値）と比較し、解析の妥当性を確認する。

7. 解析値と実験値の比較検討

以下に、本研究で最も曲げモーメントを最小かつ均一に軽減することが出来たMODEL-5の解析値と実験値の結果を示す。

表(Table.6-1)およびグラフ(Fig.6-1)より解析値と実験値がほぼ一致していることが分かる。つまり、

Table.(7-1): MODEL-5 曲げモーメントの解析値および実験値(kgf・cm)

節点番号	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適プレストレス力(kgf/1cable)					6.8				
初期値(解析値)	0.000	35.000	60.000	75.000	80.000	75.000	60.000	35.000	0.000
解析における最適ケーブルプレストレス力 Fopt=6.8(kgf/1cable)	0.000	9.906	2.187	1.997	8.818	1.997	2.187	9.906	0.000
実験における最適ケーブルプレストレス力 Fopt=6.8(kgf/2cable)	0.000	4.953	2.895	2.126	2.895	2.126	1.418	4.953	0.000

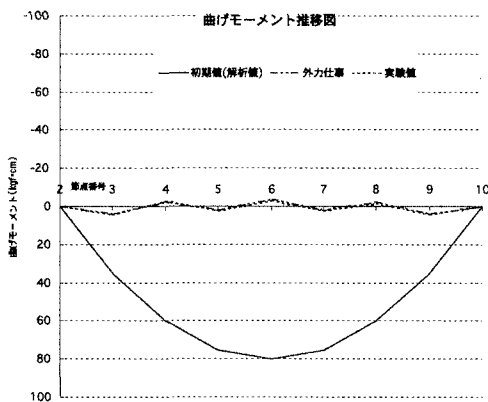


Fig.(7-1): MODEL-5 曲げモーメント推移図

解析の妥当性が確認された。本研究発表の間では他に4形状追加し比較検討を行う。

8. 結論

ケーブルの添加形状の変化による曲げモーメントの低減状況は、各MODELの曲げモーメントの解析値の表(Table.7-1)および曲げモーメント推移図(Fig.7-1)の通りとなり、主桁に発生する曲げモーメントを最小かつ均一に低減させたのはMODEL-5であった。初期値が梁中央部で80(kgf・cm)であったのに対し、約4(kgf・cm)まで低減している。ケーブルプレストレス力の面では、ケーブルの変形点での角度が大きなもの(MODEL-4)が、比較的小さい値をとっている。

Table.(8-1): 各MODELの曲げモーメントの解析値(kgf・cm)

節点番号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	外力(kgf)
INT.	0.00	35.00	60.00	75.00	80.00	75.00	60.00	35.00	0.00	0.00
MODEL-1	0.00	9.75	9.49	-0.76	-21.01	-0.76	9.49	9.75	0.00	8.15
MODEL-2	0.00	7.72	5.44	6.85	-1.85	6.85	5.44	7.72	0.00	6.60
MODEL-3	0.00	-0.47	-10.93	4.07	9.07	4.07	-10.93	-0.47	0.00	5.72
MODEL-4	0.00	30.14	-5.14	9.86	14.86	9.86	-5.14	30.14	0.00	5.25
MODEL-5	0.00	9.91	2.19	2.00	-3.82	2.00	2.19	9.91	0.00	6.76

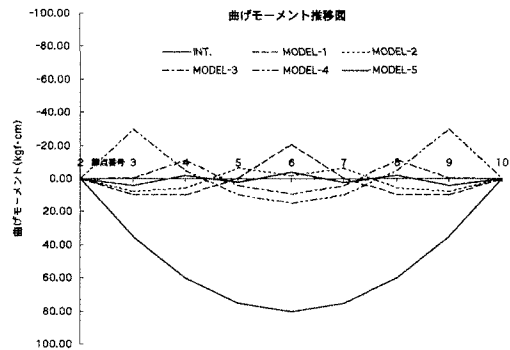


Fig.(8-1): 各MODELの曲げモーメント推移図

9. 今後の課題について

様々な制約条件を満たす最適ケーブル形状の理論的決定方法は未だ確立されていない。今後は、ケーブル変形点の座標を変数とし形状最適化の理論を用いて最適ケーブル形状を検討したい。

＜参考文献＞

1. 齊藤智和, 佐藤森太郎, 小林好実, 橋口幸太郎「外ケーブル構造システムのケーブル形状およびケーブルプレストレス力の最適化に関する研究」東洋大学学士論文
2. M.S.TROITSKY「PRESTRESSED STEEL BRIDGES Theory and Design」