

# 外ケーブルによる桁の補強に関する基礎的研究

東洋大学 学生員 福島啓之  
東洋大学 学生員 樋口幸太郎  
東洋大学 正会員 新延泰生

## 概 要

本研究は、主桁の外側に外ケーブルを添加することにより任意の荷重条件に対する欠損した桁の耐荷力を増大させることを目的としている。そこで、解析モデルを用いて、外ケーブルの添加形状および添加位置と欠損した桁の補強効果を検討する。その際必要となるケーブル張力は、構造物全体の外力仕事を最小にする原理に基づく方法を通して推定していく。

## 感度解析法

ケーブル張力を設計変数とする各変位及び断面力の感度係数は以下の式で表される。

$$\left\{ \frac{\partial v}{\partial f_{pi}} \right\} = [K^{-1}] \left\{ \frac{\partial F_P}{\partial f_{pi}} \right\} \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{\partial r_j}{\partial f_{pi}} \right\} = [K_j] \left\{ \frac{\partial v_j}{\partial f_{pi}} \right\} + \left\{ \frac{\partial F_P}{\partial f_{pi}} \right\} \quad (2)$$

(1) 式の左辺  $\{\partial v / \partial f_{pi}\}$  は  $i$  部材の設計変数  $f_{pi}$  に対する変位の感度係数を表し、(2) 式の左辺  $\{\partial r_j / \partial f_{pi}\}$  は、 $j$  部材の設計変数  $f_{pi}$  に対する断面力の感度係数を表す。 $[K]$ 、 $\{v\}$ 、 $\{F_P\}$  は、それぞれ剛性マトリクス、変位ベクトル、荷重ベクトルを表している。これらの感度係数は定数となり、張力導入後の応答は以下の式で示される。

$$z_k = z_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial z_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \quad (3)$$

## 外力仕事最小の基準による方法

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、変位はケーブルプレストレス力  $f_{pi}$  を感度変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、以下のようになる。

《目的関数》

$$\left| v_k(f_{pi}) \right| = \left| \sum_{k=1}^n P_{ek} \left( v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \right) \right| \Rightarrow \min \quad (4)$$

《制約条件》

$$l_i \leq f_{pi} \leq u_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \leq X \quad M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \geq -X \quad (6)$$

$$N_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial N_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \leq N_a \quad (7)$$

## 解析モデルと荷重条件

検証実験を想定し、図-1に示す3種類の解析モデルを考案した。それらの相違点は、ケーブルの本数、偏向点の位置と数である。梁自体の断面諸量は、表-1に示すように同一とし、節点の変位及び断面力の変動量を比較できるものとしている。荷重の載荷状態としては、死荷重と活荷重を想定し、死荷重は各節点に9.8Nずつ集中荷重として載荷した。活荷重については、4.9Nを移動荷重として載荷した。また、摩擦による張力減少を抑えるため偏向点にはベアリングを設置し、桁の軸力に関しては導入しないものとする。

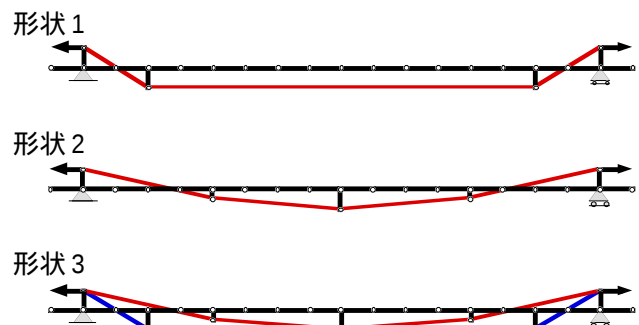


図-1 モデル形状

表-1 断面諸量

| ヤング率<br>(N/cm <sup>2</sup> ) | 断面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 断面2次モーメント<br>(cm <sup>4</sup> ) |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| $2.1 \times 10^7$            | 4.5                       | 0.30375                         |

## 解析方法

解析内容として以下の3ケースについて、感度解析法及び外力仕事最小基準による方法を用いて解析を進めていく。

1. 全部材とも欠損なし
2. 梁中央9・10の2部材欠損
3. 梁左側3・4の2部材欠損

なお、2・3に関しては、断面積、断面二次モーメントをそれぞれ欠損なし時の1/2、1/8として設定した。

## 解析結果

結果については、3形状のうち最も桁に対する補強効果が大きい形状3を例に挙げ、説明する。また、図-2、図-3には、それぞれ形状3の概略図、荷重載荷状態を示す。

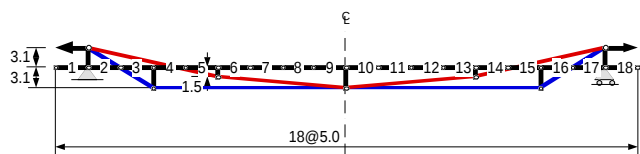


図-2 概略図

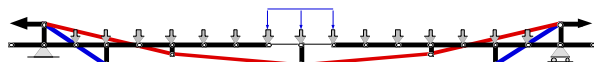


図-3 死荷重・活荷重載荷状態

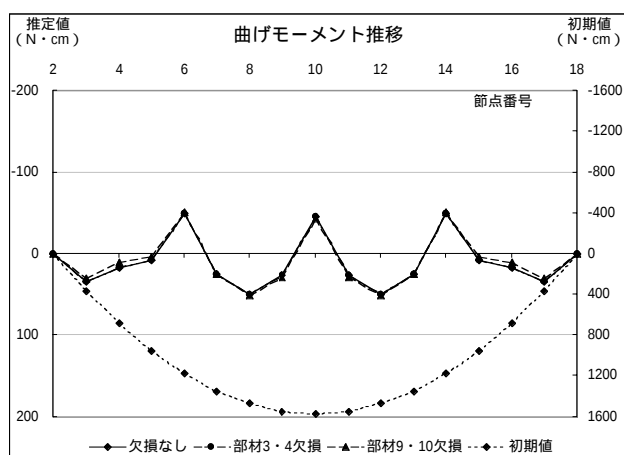


図-4 曲げモーメント推移図

表-2 ケーブルプレストレス力

|       | 欠損部材なし | 部材9・10欠損 | 部材3・4欠損 |
|-------|--------|----------|---------|
| 赤ケーブル | 242.75 | 240.25   | 242.75  |
| 青ケーブル | 17.766 | 19.782   | 17.766  |

図-4には各節点の曲げモーメント推移図を示し、グラフよりケーブル張力導入前（死荷重載荷時）に比べ最適張力導入後は、各節点の曲げモーメントが大きく減少していることがわかる。また、今回比較のため欠損部材の有無についても解析した結果、断面力に多少の変化が生じた。理論的には欠損部材の有無は断面力に影響しないが、これは各節点の外力仕事を目的関数に設定したため、死荷重によって生じる変位の値の差がこのような結果になったと考えられる。表-2にはその際のケーブルプレストレス力の値を示した。

次に、変位のグラフについては桁中央の9・10部材が欠損し、桁中央（節点9・10・11）に活荷重4.9Nを載荷

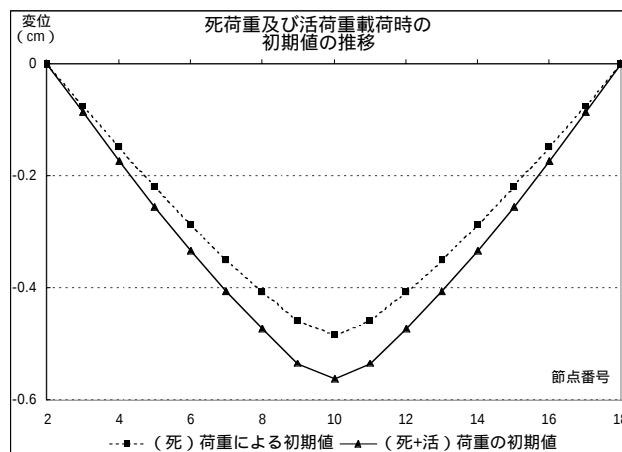


図-5 初期変位分布図

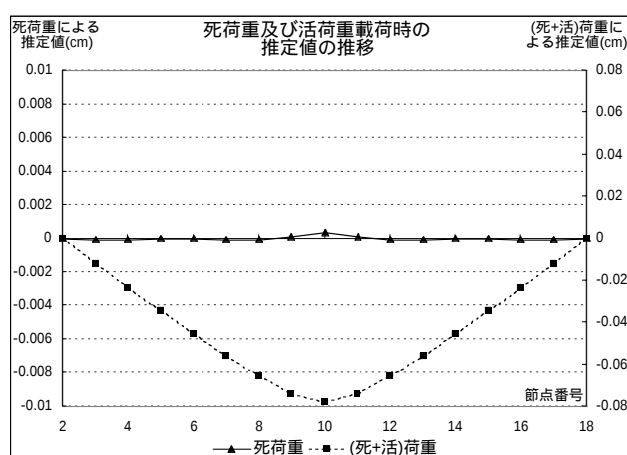


図-6 推定変位分布図

した状態を想定した。図-5と図-6は、それぞれ形状3の初期変位及び推定変位を示している。これより最大変位の低減率を比較すると、死荷重、活荷重それぞれ100.29%、86.32%と減少効果が大きいことが分かる。

## 検討・考察

以上の結果より、外ケーブルを添加することにより桁断面内に生じる断面力の回復及び各節点の変位の改善に対して効果があった。したがって、今回提案する解析方法は、任意の荷重条件に対して適用可能であることが分かる。例えば、死荷重と活荷重を考慮した解析ができ、その際必要となるケーブルプレストレス力を推定することができる。また、各形状の比較した数値については、講演時に発表する。

## 今後の課題

これからは、実際の断面寸法や設計条件に近づけ、様々な形状・荷重条件における桁全体の剛性効果について解析を検討していきたい。

キーワード 外ケーブル、桁の補強効果、外力仕事最小基準

東洋大学工学部 〒350-0815 埼玉県川越市鯨井 2100

tel0492-39-1391

fax0492-31-4482

参考文献

「補修・補強の実践手法」 日経コンストラクション

福島啓之・多田耕平・田村祐介「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」 東洋大学学士論文