

(VI-11) 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 正会員 新延泰生

東洋大学 学生員 斉藤智和

◆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桁の補強効果を検討する。その際必要となるケーブルプレストレス力は、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。

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

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

$[K]$: 剛性マトリクス

$\{v\}$: 変位ベクトル

$\{F_p\}$: 荷重ベクトル

(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。これらの感度係数は定数となるので、応答の推定式は以下の式となる。

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

◆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》

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

《制約条件》

$$M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \leq X \quad M_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial M_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \geq -X \quad (5)$$

$$l_i \leq f_{pi} \leq u_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

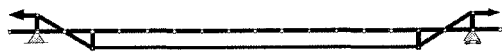
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^n P_{ek} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \right) \leq 0 \\ \sum_{k=1}^n P_{ek} \left(v_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial v_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \right) \geq 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$N_k^0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial N_k}{\partial f_{pi}} f_{pi} \leq N_a \quad (8)$$

◆解析モデル

検証実験を想定し、図1に示す3形状を考案した。

形状1



形状2



形状3



図-1 モデル形状

表-1 断面性能

ヤング率 (N/cm ²)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)
2.1 × 10 ⁷	4.5	0.30375

表-1に示すように、梁自体の断面性能は同一とし、各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。荷重条件として死荷重を各節点に9.8Nずつ集中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。

◆解析方法・結果

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。

(i)全部材とも欠損なし

(ii)梁中央9・10の2部材欠損

(iii)梁左側3・4の2部材欠損

なお、(ii)・(iii)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。

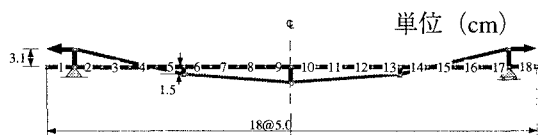


図-2 形状2概略図

表-2 ケーブルプレストレス力

最適ケーブルプレストレス力 (N)		
欠損部材なし	部材9・10欠損	部材3・4欠損
267.8	262.6	273.1

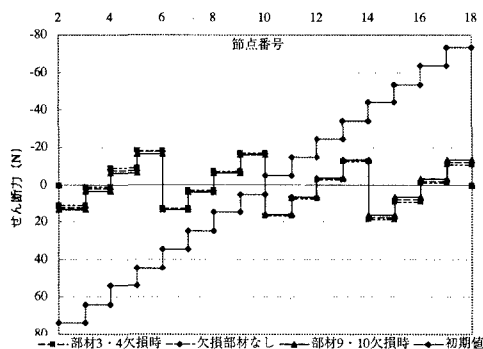


図-3 セン断力の推移図

表-3 セン断力分布表

節点番号	2	3	4	5	6	7	8	9	10
初期値	73.5	63.7	53.9	44.1	34.3	24.5	14.7	4.9	-4.9
欠損部材なし	12.0	2.2	-7.7	-17.5	12.9	3.1	-6.7	-16.5	16.5
部材9・10欠損時	13.1	3.3	-6.5	-16.3	13.3	3.5	-6.3	-16.1	16.1
部材3・4欠損時	10.7	0.9	-8.9	-18.7	12.5	2.7	-7.1	-16.9	16.9

結果については、3形状のうち形状2を例にとって説明する。図-2には形状2の概略図を示し、図-3と図-4にはせん断力図及び曲げモーメント図を示した。グラフでは、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、各節点のせん断力・曲げモーメントともに大き

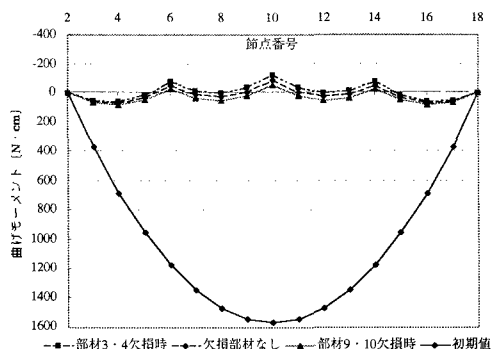


図-4 曲げモーメント推移図

表-4 曲げモーメント分布表

節点番号	2	3	4	5	6	7	8	9	10
初期値	0.0	367.7	686.5	956.1	1176.8	1348.4	1471.0	1544.6	1569.1
欠損部材なし	0.0	59.8	70.6	32.3	-55.0	9.5	25.0	-8.6	-91.2
部材9・10欠損時	0.0	65.7	82.5	50.1	-31.2	35.4	52.9	21.4	-59.1
部材3・4欠損時	0.0	53.7	58.4	14.0	-79.4	-17.0	-3.7	-39.4	-124.1

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。

◆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って桁断面内に生じる断面力の回復に効果があった。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。

◆今後の課題

さらに実際の設計条件に近づけ、活荷重に対する桁全体の剛性について解析を検討していきたい。また、ケーブル張力導入時に生じる軸力に関しても検証実験用試験体に載荷できるように偏向点及び縦部材の定着点を工夫していきたい。

〈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 埼玉県川越市鯉井2100

tel0492-39-1391

fax0492-31-4482

〈参考文献〉 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」 東洋大学学論文