I－145　ケーブルトラス橋の設計解析に関する一つの手法について

○摂南大学　学生員　野上　佳重　　摂南大学　正会員　波田　凱夫
摂南大学　正会員　頭井　洋

１．はじめに

最近ケーブルのみを主要な構造部材として、これらを立体トラス状に組み合わせて簡易な橋を作る試みが諸処に見られるようである。ケーブルは引張力にのみ抵抗する部材であるから、それらを組み合わせた構造では剛性を確保するために部材にプレストレスが導入される。このようなケーブルトラス橋を設計するに当たっては、次の２つのことが要求される。①橋体の架設完了後、全死荷重が作用する状態（完成状態）で、橋の全体形状が設計上設定された目標形状に一致すること。②全ケーブル部材にあらかじめ規定されたプレストレスが導入されており、構造全体の剛性が確保されていること。これらの要求を同時に満たすことは一般に不可能であり、①の要求を満たそうとすればするほど②を満たすことは困難となり、またその逆もいえる。すなわちこれらの２条件はたがいに背反の関係にある。実際の設計に当たっては、①と②をどの程度満たした状態で所要の解を見いだすかは設計者の意図にまかされることとなる。

本研究は著者の一人が過去に公表した手法(*)を応用して、ケーブルトラス橋を設計するための一つの考え方を示すものである。

２.設計解析法の概要

ｆおよびM_Tをそれぞれ構造物の自由度および部材の総数、Ｘをｆ×１の接点座標ベクトル、ＰをM_T×１の部材力ベクトルとするとき、ケーブル構造の完成状態を次のように表現することができる。

つり合い条件式	：　$g_i(X, P)=0 \quad i=1,\cdots,f$	（１）
部材の非抗圧性の条件	：　$P_j>0 \quad j=1,\cdots,M_T$	（２）
構造物に要求される”望ましさ”	：　$W_0(X, P)\rightarrow max$	（３）

ここで、（１）と（２）は力学的条件であり、（３）は一つの概念量を規定し、この値の大小によよって解の適・不適を判断しようとするものである。

具体的には、（３）について設計条件

①つり合い形状があらかじめ設定された目標形状に出来るだけ近いこと

②任意に指定された部材の張力があらかじめ規定された値になること

③任意に選ばれた部材の張力が目標として設定された値に出来るだけ近いものであること

を課し、これに対応するための目標関数

$$W = \sum_{i=1}^{f}\left(\frac{R_i}{q_{xi}}\right)^2+\sum_{m=1}^{M}\left(\frac{\phi_m-\phi_{0m}}{q_{\phi m}}\right)^2 = \|\boldsymbol{AR}\|^2+\|\boldsymbol{B}(\phi-\phi_0)\|^2 \qquad (4)$$

を定義して、（１）と（２）を拘束条件として、これを最小化することによって”望ましさ”が満たされたものと考える。ここに、

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}\frac{1}{q_{x1}} & & & 0\\ & \frac{1}{q_{x2}} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{q_{xf}}\end{bmatrix},\ \boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}\frac{1}{q_{\phi 1}} & & & 0\\ & \frac{1}{q_{\phi 2}} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{q_{\phi M}}\end{bmatrix}$$

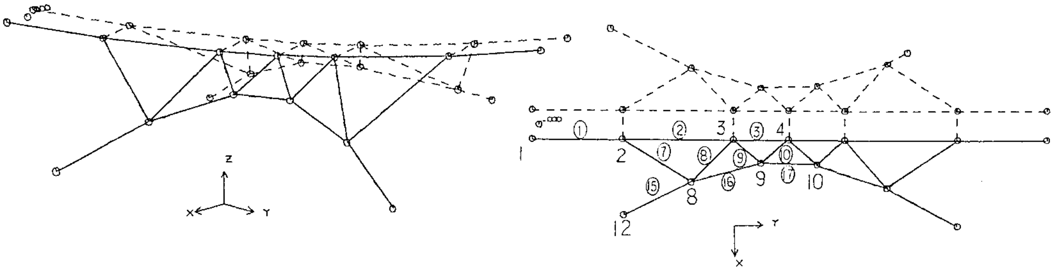
である。Ｒｉは目標形状と完成形状の節点座標差、ϕ_mは設計変数となる未知の張力係数（張力／部材）、ϕ_{0m}は部材ｍについて③で設定される目標張力係数であり、Ｒ，ϕおよびϕ_0はこれらの値をそれぞれベクトル表示したものである。q_{xi}と$q_{\phi m}$は、①あるいは③のいずれに重きをおいた形で要求されるかに応じて、設計上の判断によって設定される常数であり、それぞれR_iおよびϕ_mと同じ単位をもつものとする。ＡおよびＢはこれらの逆数を対角線上に並べた行列であり、また、式（４）のＡとＢはそれぞれ形状および部材力に関して一種の重みをあらわす量であると考えることができる。

３.数値計算例および考察

ここでは、図－１のような３次元のケーブルトラス橋を例にＣａｓｅ－１（形状重視）とＣａｓｅ－２（部材力重視）の結果を示す。

文献

(*)波田・中西：最適値問題の手法による吊構造の形状決定解析，日本建築学会論文報告集，Ｎｏ２３８号，１９７５，１２



図－１　解析モデルおよび接点・部材番号

接点番号	荷重 (t)	目標座標 X	目標座標 Y	目標座標 Z	Case-1 Dx	Case-1 Dy	Case-1 Dz	Case-2 Dx	Case-2 Dy	Case-2 Dz
1	0.000	1.000	-0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.945	1.000	6.000	-0.363	-0.013	0.002	0.020	0.032	0.264	-0.267
3	-0.540	1.000	14.000	-0.521	-0.027	0.001	-0.046	0.124	0.073	-0.476
4	-0.360	1.000	18.000	-0.460	-0.035	0.002	-0.076	0.124	-0.044	-0.510
8	0.000	3.859	11.000	-3.364	0.047	0.005	0.047	-1.056	0.051	0.943
9	0.000	2.569	16.000	-2.071	0.021	0.006	0.048	-0.889	0.036	0.651
10	0.000	2.677	20.000	-2.071	0.015	0.023	0.061	-0.949	-0.167	0.704
12	0.000	6.134	6.103	-5.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表－１　目標座標および目標系とつり合い系の座標差（m）

部材	部材力	Case-1	Case-2
1	35.000	38.794	36.525
2	35.000	38.739	34.195
3	35.000	39.596	33.978
7	3.000	0.022	2.499
8	3.000	1.521	2.232
9	3.000	0.055	2.100
10	3.000	1.271	2.043
15	5.000	4.106	5.779
16	5.000	2.754	4.891
17	5.000	1.769	4.746

表－２　目標系およびつり合い系の部材力（t）

	Case-1	Case-2
$\|\|R\|\|^2$	0.0565	14.4110
$\|\|\Phi\|\|^2$	18.2248	0.0000

表－３

$\|\|R\|\|^2$：つり合い系と目標系の座標差の２乗和

$\|\|\Phi\|\|^2$：つり合い系と目標系の張力係数の差の２乗和

表－１よりＣａｓｅ－１では差が少なく、表－２からＣａｓｅ－２は目標部材力に近い値となっていることがわかる。また、表－３における $\|\|R\|\|^2$、$\|\|\Phi\|\|^2$ の値を比較すれば、Ｃａｓｅ－１は形状の方に、Ｃａｓｅ－２は部材力の方に重みをおいた解であることが明かである。

４．おわりに

この手法では、構造の安定，不安定，静定，不静定に関係なく適応でき、計算の前に部材断面諸元を与える必要がないので、計算終了後適切な安全率をもって部材設計ができるなどの利点があり、形状と部材力に関して設計上想定される制約条件を可能な限り満足するようなつり合い状態を見いだすことができる。

本研究の実施に当たっては中村圭一（㈱奥村組）と信川泰秀（丸五基礎工業㈱）の両氏の協力を得た。また、モデルの諸元については日本国土開発㈱生木泰秀氏と生山法裕氏よりデータの提供を得た。ここに記して深謝の意を表する。