

信州大学工学部 正 吉 澤 孝 和 ○ 学 島 崎 俊 昭

【本研究の目的】 Vトラス橋は、トラス構により構造系の剛度を保持し、系の中に配置したテンダンの張力を調整することにより変形及び部材応力を所定の状態に制御することを目的とした構造物である。^(*)

設計荷重は「平常荷重」と「過大荷重」に分けて考える。前者は橋梁の自重に平常時の活荷重を加え合わせたものである。後者はごくまれにしか作用しないような活荷重で、例えば巨大な車両の通過とか、天災や人災等の異常時を想定した場合の荷重である。

この系のトラス構は平常荷重により設計する。そして過大荷重に対してはテンダンの張力調整により荷重配分を図り、トラス構の変形及び部材力が平常時の状態から著るしく異なることのないように制御する。

本研究はテンダンによりこのような制御がどの程度まで可能であるかを、数値解析により検討するものである。

【テンダンによる調整係数】 テンダンは上弦材及び下弦材の中に配置され

所定の節点間を結合して種々の緊張力を発生する。トラスとテンダンは一体化した構造物となるため、厳密に言えば系全体の剛度はテンダン張力の関数となる。但しトラス部材の平均断面積に比してテンダンの断面積が約5%以下の場合には、この剛度変化の影響は無視できる。従つて系の中に配置した各々のテンダンがトラス構の状態ベクトルに及ぼす影響を求めておき、これを適宜組み合わせることにより、種々の制御状態をつくり出すことができる。

テンダン(i)の張力 T_i によりトラスの節点[j]のたわみが w_{ji} だけ変化し、部材(k)の軸力が f_{ki} だけ変化

したものとすれば次式が書き出される：

$$w_{ji} = \alpha_{ji} \cdot T_i \quad (1)$$

$$f_{ki} = \beta_{ki} \cdot T_i \quad (2)$$

α を「たわみ調整係数」、 β を「部材力調整係数」と呼ぶ。

【応答制御解析〔逆行列法〕】

系全体についてたわみを生ずる節点数を m 、トラス部材数を n 、テンダンの本数を p とすると、各テンダんに： $T_1 T_2 \cdots T_1 \cdots T_p$ なる張力を発生させた場合における制御効果は次のようにあらわされる：

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_j \\ \vdots \\ w_m \\ f_1 \\ \vdots \\ f_k \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1i} & \cdots & \alpha_{1p} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2i} & \cdots & \alpha_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{j1} & \alpha_{j2} & \cdots & \alpha_{ji} & \cdots & \alpha_{jp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \cdots & \alpha_{mi} & \cdots & \alpha_{mp} \\ \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1i} & \cdots & \beta_{1p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{k1} & \beta_{k2} & \cdots & \beta_{ki} & \cdots & \beta_{kp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \cdots & \beta_{ni} & \cdots & \beta_{np} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_i \\ \vdots \\ T_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

これを記号式であらわせれば：

$$\mathbf{V} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{T} \quad (4)$$

$m+n=p$ なる場合には、制御すべき状態ベクトル即ち $\mathbf{V}$ の要素の数値を設定しておけば、上式を解いて制御に必要なテンダンの張力 $\mathbf{T}$ を定めることができる。

一般には、 $m+n \neq p$ であるから、 $\mathbf{V}$ と $\mathbf{T}$ の要素の数が等しくなるように、制御すべき状態ベクトル w, f 及び緊張するテンダンを選択して、 $\mathbf{C}$ が正方行列になるように縮小した上で解くことになる。但し得られた解に対しては次の2つの制約が伴う：

(*)吉澤：Vトラス橋の試案，土木学会年次学術講演会講演概要集，1956年10月

(a) テンドンの張力は許容応力度以内であること。

(b) テンドンの張力は負とならないこと。

この条件を満足しない場合は、制御用のテンソンを選択しなおして解析を行う。

【応答制御解析〔累加法〕】 各テンソンに発生する

張力は数段階に分けて

設定した一定値のみとする。従って制御ベクトル $\mathbf{V}$ の値は所定の値とはならず $\mathbf{V}'$ となる。よって次のように誤差 e が最小になるような条件を探索する：

$$\|\mathbf{V} - \mathbf{V}'\| = e \rightarrow \min \quad (5)$$

この場合に作動させるテンソンの数には制限がない。

$\mathbf{V}'$ の要素の値は次式で算出される：

$$w_j = \sum_{i=1}^p k \cdot \delta \cdot \alpha_{ji} \quad (6)$$

$$f_k = \sum_{i=1}^p k \cdot \delta \cdot \beta_{ki} \quad (7)$$

k はテンソンの張力の段階を示す係数， δ は 1 または 0 の値をとるものとする。

【制御解析例】 図 1 に示す V トラスにおいてテンソン ①～⑥ によるたわみ調整係数はつぎのようになる。単位は 10^{-7} cm/kN である。

	[3]	[5]	[7]	[9]	[11]	[13]	[15]
①	134	238	1144	2652	4849	7850	9970
②	29	552	1473	2820	4629	6934	9774
③	967	2564	4309	6106	7805	9161	9775
④	734	2030	3550	5235	6990	8658	9970
⑤	410	1312	2020	2515	2780	2791	2523
⑥	297	983	2368	3372	3959	4084	3692
⑦	195	679	1701	3334	4351	4680	4230

これらのテンソンを用いて、図示のような荷重を受ける V トラスの下弦材節点のたわみ曲線 (N0) を各節点とも上方向に 10 % ずつ調整して曲線 (00) の状態をつくり出すことを試みる。その結果が C1, C2, 及び C3 曲線である。制御設計は累加法による。各テンソンには：100kN から 800kN までの張力を 100kN きざみの段階で与えるものとした。テンソンの選定によっては C3 のようなオーバーコントロールも生ずる。C2 は制御目的曲線にかなり接近しており、誤差の最大値も 1.5mm である。

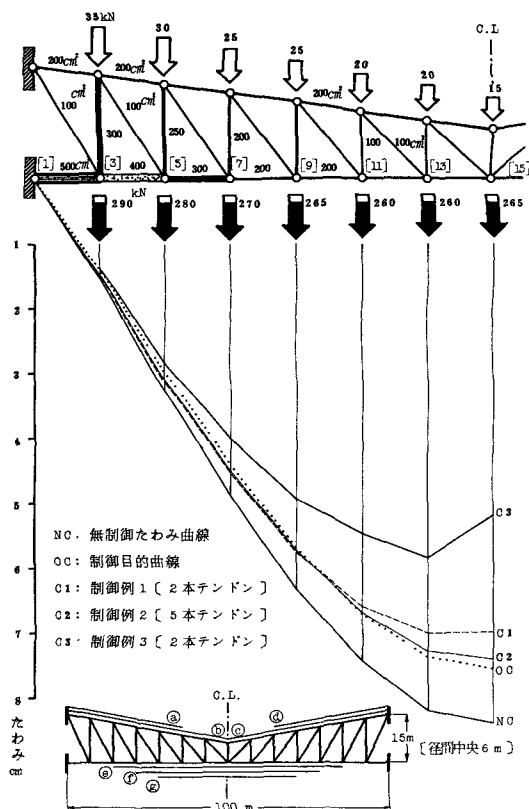


図 1 V トラスの下弦材節点たわみ制御解析例

	NC	C1	C2	C3
①	0	800	300	0
②	0	0	0	800
③	0	0	0	800
④	0	800	300	0
⑤	0	0	300	0
⑥	0	0	500	0
⑦	0	0	300	0

それぞれの制御における各テンソンの発生張力 (kN) は左表のようになる。

逆行列法により制御解析を行う場合は、制御すべき状態ベクトルの数とともに用いるテンソンの数が増える。この場合、多数のテンソン張力に関して上記の制約条件を満足させる事が困難となる。

最も単純な例として、図 1 の節点 [13] 及び右側の対称位置にある節点 [17] のたわみを 8.2 mm 上昇させる制御問題に関しては、テンソン ①と④の張力が 498 kN と定められる。8.2 mm の上昇は図 1 の曲線 (00) に当該節点のみは一致するが、他の節点では最大 2.6 mm の誤差を生ずる。

逆行列法を用いる場合、制御すべき状態ベクトルの値にある程度の幅をもたせると、解を得やすくなる。