

## キャットウォークの立体的解析

正員 渡 辺 昇\*

正員 薄 木 征 三\*\*

学生員 ○日 野 英 彦\*\*\*

## 1. 要 旨

最近長大径間吊橋の架設に伴って、その足場となるキャットウォークの解析が注目を集めてきている。それは吊橋用主ケーブルを張り渡すに先立って、そのほぼ真下に設けられ、主ケーブルを支え、そして作業足場となるためそのでき工合と風に対する安定性がケーブル架設に重要となる訳である。アメリカを始め諸外国の長大吊橋のキャットウォークには設計風速が小さく、又我国に於て長大吊橋の建設例がないため、そのキャットウォークについて十分な研究が行なわれておらず、その力学特性が把握されていないのが現状である。

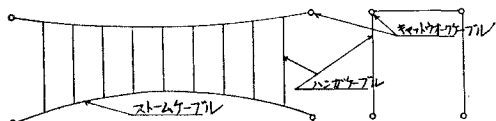


図-1.1

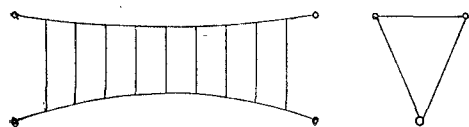


図-1.2

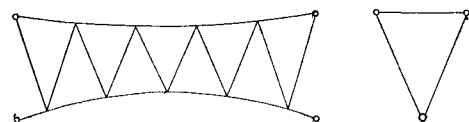


図-1.3

従来キャットウォークケーブルでは風による変形を小さくするためにストームケーブルを使用することが通例となっている。ストームケーブルとキャットウォークケーブル

は図-1.1のごとくハンガーが鉛直にはられたものと、ストームケーブル2本をまとめて図-1.2のごとく三角形閉断面を形成するとともに、鉛直ハンガーの代わり、ワーレン型の斜めハンガーをもちいるものがある(図-1.3)。これらの理論解析には鉛直荷重に対して従来の微分方程式による吊橋の理論を用い、風荷重などの横荷重に対してはケーブルの換算板厚を仮定して、キャットウォーク全体を変断面箱桁として解いてある。しかしこれらの解析法では、ケーブルの変位及び振り角などしか求められておらず、各部材の軸力は求められていない。又図-1.2のように三角形断面の箱桁と考えて曲げ応力、ねじり応力を求めたとしても、これをハンガーの各部材に軸力として分配する場合、その分配理論は今のところ正確なものがないというのが現状である。

このように考えてくるとキャットウォークを箱桁と仮定する理論を別に置いて、むしろ全体をトラス構造として解析する方が各部材の軸力の実値を得るのに適しているのではないと思われる。そこで本論文は図-1.3のようなワーレン型ハンガーをもつキャットウォークを立体トラスとして解析したのでここに報告する。なおここで考えるキャットウォークは剛性を増す目的でストームケーブルを支点部で二又にする構造を考え、又ハンガーも耐風性を考えてワーレン型を採用した(図-1.4)。

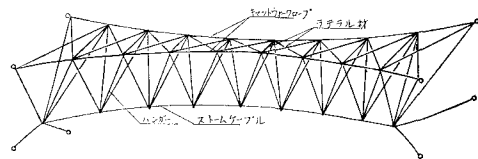


図-1.4

## 2. 解析順序

## 2-1 「状態 I」

図-2.1のようにまずキャットウォークケーブルを空中

\* 北海道大学教授 工博

\*\* 北海道大学助手

\*\*\* 北海道大学大学院

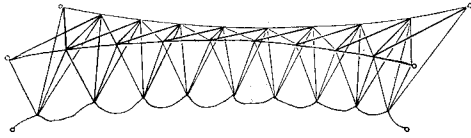


図-2.1 [状態 I]

に架設しハンガーとストームケーブルは自重の型で吊り下った状態を「状態 I」と呼ぶ。この状態では、キャットウォークケーブル内には、キャットウォークケーブルの自重、ハンガーの自重、ストームケーブルの自重による軸力が生じ、ハンガー内にはハンガーの自重ストームケーブルの自重による軸力が生じ、ストームケーブル内には軸力が生じていない。

## 2-2 「状態 II」

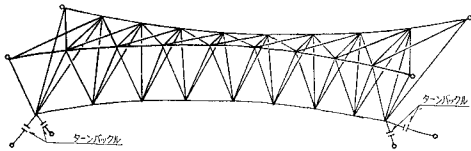


図-2.2 [状態 II]

図-2.2のように構造がきまったところで、次にストームケーブル内に挿入されていたターンバックルをねじりながらストームケーブルにプレテンションを導入する。そうすると、キャットウォークケーブルや、ハンガーの各部材も一斉に緊張される形になるから、その時の各部材のプレテンション軸力を求める。このプレテンション導入時を「状態 II」と呼ぶ。

## 2-3 「状態 III」

プレテンションの導入が終わったところで、キャットウォークケーブルの上全面に、金網や高欄などの死荷重や作業員、風荷重などの活荷重を作用させ、その時の各部材の軸力を求める。キャットウォーク完成後の荷重が載った時の状態を「状態 III」と呼ぶ。「状態 III」の構造は図-1.4で示されたものである。

以上の状態 I, II, III の各部材の軸力の集計において、どの部材にも負の軸力、即ち圧縮力が生じないことが必要である。何故ならザイル構造からなるキャットウォークを立体トラスとして解析すると、ある部材に圧縮力が生じていると、その部材はたるんでトラスとしての仮定がなりたたなくなる訳である。又引張軸力の最大値がその引張許容軸力をこえてはならない。

図-2.1 の状態では節点数 29, 必要部材数 87 本, 使用部材数 92 本で 5 次不静定の立体トラスとなり、「状態 II」, 「状態 III」では「状態 I」よりも部材数が増えるから、構造は不安定となることはない。よって不静定次数が多くなっても立体トラスとしての解析は可能である。

## 3. 解析方法

立体トラスを解析する場合、従来の応力法では多次不静定になるとかなり計算がめんどろになる。それでここでは変形法の 1 種である直接剛性法によるマトリックス解析を行なった。

### 3-1 空間座標にある 1 本のトラス部材の剛性マトリックス

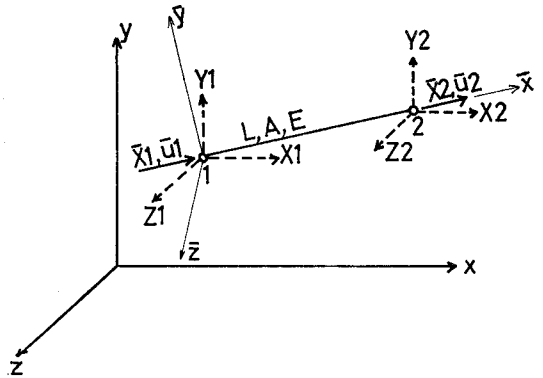


図-3.1

今図-3.1のように基準座標  $xyz$  系に 1 本のトラス部材がある。この部材は  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  座標系の  $\bar{x}$  軸上にある。この座標系を基準座標系と区別して - の棒をつけて表わし局部座標と呼ぶ。 $xyz$  系の節点力, 変位を  $X, Y, Z$  と  $u, v, w$  とし、同様に  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  系のそれらを  $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$  と  $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$  とする。この部材は軸方向荷重しか耐えることができないため  $\bar{X}_1$  と  $\bar{X}_2$  の節点力のみが働き、部材と直角方向の  $\bar{y}, \bar{z}$  成分の節点力はない。今節点 2 を固定すると  $\bar{X}_1$  は外力となり  $\bar{X}_2$  は反力となる。これらの関係を式で示すと

$$\left. \begin{array}{ll} \bar{X}_1 = \bar{X}_1 & \bar{u}_1 = \bar{u}_1 \\ \bar{Y}_1 = 0 & \bar{v}_1 = 0 \\ \bar{Z}_1 = 0 & \bar{w}_1 = 0 \\ \bar{X}_2 = -\bar{X}_1 & \bar{u}_2 = 0 \\ \bar{Y}_2 = 0 & \bar{v}_2 = 0 \\ \bar{Z}_2 = 0 & \bar{w}_2 = 0 \end{array} \right\} \quad (3.1)$$

となり、スフックの方則より部材の断面積を  $A$ , ヤング率を  $E$ , 長さを  $L$  とすると

$$\bar{X}_1 = \frac{AE}{L} \bar{u}_1 \quad (3.2)$$

となる。次に節点 1 を固定すると同様に

$$\left. \begin{array}{ll} \bar{X}_1 = -\bar{X}_2 & \bar{u}_1 = 0 \\ \bar{Y}_1 = 0 & \bar{v}_1 = 0 \\ \bar{Z}_1 = 0 & \bar{w}_1 = 0 \\ \bar{X}_2 = \bar{X}_2 & \bar{u}_2 = \bar{u}_2 \\ \bar{Y}_2 = 0 & \bar{v}_2 = 0 \\ \bar{Z}_2 = 0 & \bar{w}_2 = 0 \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{AE}{L} \bar{u}_2 \quad (3.4)^{*1}$$

\*1が得られる。(3.1), (3.2), (3.3), (3.4) 式を1つのマトリックス表式にまとめると

$$\begin{pmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{Y}_1 \\ Z_1 \\ \bar{X}_2 \\ \bar{Y}_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{w}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{w}_2 \end{pmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{w}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{w}_2 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

となる。(3.5) は  $\bar{u}_1 \neq 0$ ,  $\bar{v}_1 \neq 0$ ,  $\bar{w}_1 \neq 0$  と  $\bar{u}_2 \neq 0$ ,  $\bar{v}_2 \neq 0$ ,  $\bar{w}_2 \neq 0$  なる二つの独立な変形状態を表わした型で、いずれかの支点条件を入れれば、(3.1), (3.2) 式か (3.3), (3.4) 式のどちらか一方の式と一致する。これは所謂剛性マトリックス法と呼ばれ、 $\bar{x}$  軸に沿った節点1と2を結ぶトラス部材の力と変位の関係を示し、簡単に書くと

$$\bar{\mathbf{X}} = \bar{\mathbf{K}} \cdot \bar{\mathbf{u}} \quad (3.6)$$

で示される。ここに

$$\bar{\mathbf{K}} = \frac{AE}{L} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

である。

(3.5), (3.6), (3.7) 式は  $\bar{x}$  軸にそった部材即ち局部座標系の解析であったが実際トラス構造を考える場合、構造全体に都合のよい基準座標で表わさなければならない。ここで座標変換マトリックスという両座標の関係を示すマトリックスによって\*2

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \frac{A_a, E_a}{L_a} \begin{pmatrix} \lambda_a^2 & & & & & \\ \lambda_a \cdot \mu_a & \mu_a^2 & & & & \\ \lambda_a \cdot \nu_a & \mu_a \cdot \nu_a & \nu_a^2 & & & \\ -\lambda_a^2 & -\lambda_a \cdot \mu_a & -\lambda_a \cdot \nu_a & \lambda_a^2 & & \\ -\lambda_a \cdot \mu_a & -\mu_a^2 & -\mu_a \cdot \nu_a & \lambda_a \cdot \mu_a & \mu_a^2 & \\ -\lambda_a \cdot \nu_a & -\mu_a \cdot \nu_a & -\nu_a^2 & \lambda_a \cdot \nu_a & \mu_a \cdot \nu_a & \nu_a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

同様に部材  $b$  についてもまとめると

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \frac{A_b \cdot E_b}{L_b} \begin{pmatrix} \lambda_b^2 & & & & & \\ \lambda_b \cdot u_b & u_b^2 & & & & \\ \lambda_b \cdot \nu_b & \mu_b \cdot \nu_b & \nu_b^2 & & & \\ -\lambda_b^2 & -\lambda_b \cdot \mu_b & -\lambda_b \cdot \nu_b & \lambda_b^2 & & \\ -\lambda_b \cdot \mu_b & -\mu_b^2 & -\mu_b \cdot \nu_b & \lambda_b \cdot \mu_b & \mu_b^2 & \\ -\lambda_b \cdot \nu_b & -\mu_b \cdot \nu_b & -\nu_b^2 & \lambda_b \cdot \nu_b & \mu_b \cdot \nu_b & \nu_b^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ w_3 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

となる。二つの部材  $a, b$  の剛性マトリックスを  $\mathbf{K}_a, \mathbf{K}_b$  として  $3 \times 3$  の分割マトリックスを利用し

$$\mathbf{K}_a = \begin{bmatrix} [A_{11}] & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [A_{22}] \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K}_b = \begin{bmatrix} [B_{11}] & [B_{12}] \\ [B_{21}] & [B_{22}] \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

のように簡単にする。今部材  $a, b$  が図-3.2のように連結された場合のすべての変形状態を示す力と変位の関係式は

$$^{*2} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{pmatrix} \lambda^2 & & & & & \\ \lambda \mu & \mu^2 & & & & \\ \lambda \nu & \mu \nu & \nu^2 & & & \\ -\lambda^2 & -\lambda \mu & -\lambda \nu & \lambda^2 & & \\ -\lambda \mu & -\mu^2 & -\mu \nu & \lambda \mu & \mu^2 & \\ -\lambda \nu & -\mu \nu & -\nu^2 & \lambda \nu & \mu \nu & \nu^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

が得られる。ここで  $\lambda, \mu, \nu$  は  $x, y, z$  軸と  $\bar{x}$  軸との方向余弦である。この (3.8) 式がトラス部材1本の基準座標系に直した力と変位の関係を表わす式である。(3.6) 式と同様に (3.8) 式を簡単にすると

$$\mathbf{X} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{u} \quad (3.9)$$

となり  $\mathbf{K}$  を立体トラスの剛性マトリックスと呼んでいる。この  $\mathbf{K}$  は局部座標の  $\bar{\mathbf{K}}$  と区別され、実際の構造物を解く場合この  $\mathbf{K}$  を使わなければならない。

### 3-2 立体トラスの剛性マトリックス

今空間座標間に2本のトラス部材がピンで結合されている部材  $a$  については (3.8) 式で求めたようにして添字  $a$  をつけて示すと、

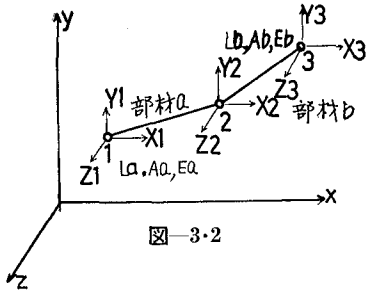


図-3.2

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A11] & [A12] & 0 \\ [A21] & [A22]+[B11] & [B12] \\ 0 & [B21] & [B22] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ w_3 \end{Bmatrix} \quad (3.13)$$

となる。これは所謂直接剛性法と呼ばれる解析方法で、構造全体の剛性マトリックスの次数に合わせて、個々の部材の剛性マトリックスの対応しない要素を零にして、その次数を拡張させ、そのおのおのを重ね合わせれば求める剛性マトリックスとなる。即ち  $K_a$ ,  $K_b$  はそれぞれ

$$K_a = \begin{bmatrix} u_1 v_1 w_1 & u_2 v_2 w_2 & u_3 v_3 w_3 \\ [A11] & [A12] & [0] \\ [A21] & [A22] & [0] \\ [0] & [0] & [0] \end{bmatrix}, \quad (3.14)$$

$$K_b = \begin{bmatrix} u_1 v_1 w_1 & u_2 v_2 w_2 & u_3 v_3 w_3 \\ [0] & [0] & [0] \\ [0] & [B11] & [B12] \\ [0] & [B21] & [B22] \end{bmatrix}$$

で示される。ここで  $K$  要素と  $u$  又は  $X$  との要素の対応が分るように  $u$  列を  $K$  マトリックスの上に横に並べて書いた。結局節点が  $n$  個ある立体トラスであれば  $6n \times 6n$  の剛性マトリックスの中に、ある1本の部材の剛性マトリックスが (3.14) 式のような型で入っている。部材が  $m$  本あれば (3.14) 式のような剛性マトリックスが  $m$  個あり、構造全体の剛性マトリックスは (3.13) 式のごとくそれらを全部重ね合わせればよい。

### 3-3 軸力を求める

立体トラス構造全体の剛性マトリックスが求まると、このマトリックスに支点条件としての境界条件を入れる。(3.13) 式をもう一度 (3.9) 式のように表示すると

$$X = K \cdot u \quad (3.15)$$

で表わされる。今  $u$  の列マトリックスは2つの部分マトリックス  $u_\beta$ ,  $u_a$  に分ける。

同様に  $X$  についても  $X_a$ ,  $X_\beta$  に分けると (3.15) 式は

$$\begin{Bmatrix} X_a \\ X_\beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{a\beta} \\ K_{\beta a} & K_{\beta\beta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_a \\ u_\beta \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

となる。 $u_a$  は支点変位で普通零マトリックスで、それに対応する  $X_a$  は反力となり、 $u_\beta$  は未知変位、 $X_\beta$  は外荷重を示すマトリックスである。これらは (3.13) 式を単に  $X$ ,  $u$  のマトリックス間で自由に入れ換えることができる。しかし  $K$  マトリックスは (3.13) 式を (3.16) 式の型にするため  $u$  の順序を入れかえるとき、その行と列も入れ換えなければならない。この操作を施して  $u_a$ ,  $u_\beta$  の次数に合わせ (3.16) 式のごとく分割する。

(3.16) 式は次のように又表わされる。

$$X_a = K_{aa} \cdot u_a + K_{a\beta} \cdot u_\beta \quad (3.17)$$

$$X_\beta = K_{\beta a} \cdot u_a + K_{\beta\beta} \cdot u_\beta \quad (3.18)$$

今境界条件として  $u_a$  が零マトリックス即ち変位がすべて0であれば (3.18) 式は

$$X_\beta = K_{\beta\beta} \cdot u_\beta \quad (3.19)$$

$$u_\beta = K_{\beta\beta}^{-1} \cdot X_\beta \quad (3.20)$$

となる。(3.20) 式より未知変位が分りこれを (3.17) 式に代入すると

$$X_a = K_{a\beta} \cdot u_\beta = K_{a\beta} \cdot K_{\beta\beta}^{-1} \cdot X_\beta \quad (3.21)$$

となる。この (3.21) 式より  $X_a$  の未知反力が求まる。

次に実際の部材の軸力を求めると、今部材が節点  $i$  と  $j$  を結ぶものであれば

$$S_{ij} = \left( \frac{AE}{L} \right) \left[ \lambda \mu \nu \right]_{ij} \begin{Bmatrix} u_j - u_i \\ v_j - v_i \\ w_j - w_i \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

で求められる。 $\frac{AE}{L}$  は部材  $i-j$  のものであり  $\lambda, \mu, \nu$  は (3.8) 式で示されたものと同じで  $(u, v, w)$  は (3.20) 式より知れるところである。

## 4. キャットウォークの数値計算

図-4.1 のようなキャットウォークについて電子計算機を使い実際に計算を行なった。

### 4-1 使用材料

キャットウォークケーブル  $\phi 35.5$  (JIS 4号)

$$A = 8.76 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$E = 10^8 \text{ ton/m}^2$$

許容引張軸力 58.5 ton (1本当り)

$$\text{自重 } 4.18 \times 10^{-3} \text{ ton/m}$$

ストームケーブル  $\phi 50$  (JIS 14号)

$$A = 1.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$E = 10^8 \text{ ton/m}^2$$

許容引張軸力 159 ton

$$\text{自重 } 10.8 \times 10^{-3} \text{ ton/m}$$

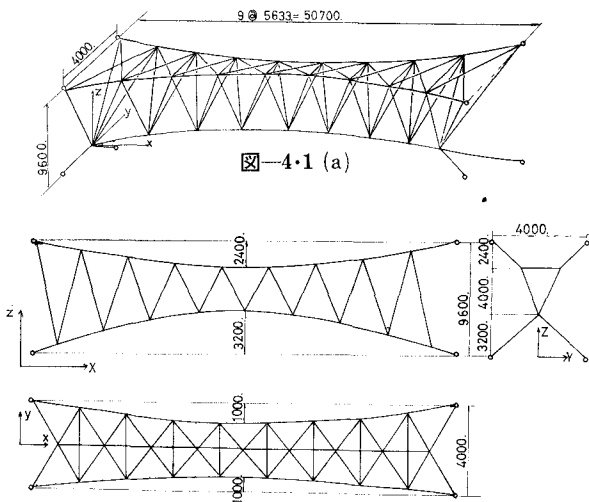


図-4.1 (a)

図-4.1 (b)

ハンガーケーブル  $\phi$  12.5 (JIS 3号)

$$A = 6.06 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$E = 10^8 \text{ ton/m}$$

許容引張軸力 8 ton

$$\text{自重 } 0.569 \times 10^{-3} \text{ ton/m}$$

ラテラル材 (横木)

$$A = 5.33 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$E = 10^8 \text{ ton/m}$$

$$\text{自重 } 32 \times 10^{-3} \text{ ton/m}$$

#### 4-2 荷重の計算

[i] 「状態 I」の荷重 図-4.2

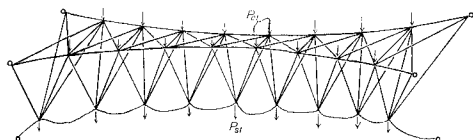


図-4.2 [状態 I]

(a) キャットウォークケーブルの節点荷重  $P_{C1}$

キャットウォークケーブルの自重

$$4.18 (\text{kg/m}) \times 5.633 (\text{m}) \times 2 = 47.092 \text{ kg}$$

ストームケーブルの自重

$$10.8 (\text{kg/m}) \times 5.633 (\text{m}) \times 1/2 = 30.418 \text{ kg}$$

ハンガーケーブル自重 (ハンガ長平均 5.765 m)

$$0.569 (\text{kg/m}) \times 5.765 (\text{m}) \times 2 = 6.561 \text{ kg}$$

横木の自重

$$32 (\text{kg/m}) \times 2 \text{ m} \times 1 = 64 \text{ kg}$$

$$\text{計 } P_{C1} = 0.148 \text{ ton}$$

(b) ストームケーブルの節点荷重  $P_{S1}$

ストームケーブルの自重

$$10.8 \text{ kg/m} \times 5.633 \text{ m} \times 1 = 60.836 \text{ kg}$$

ハンガーケーブルの自重

$$0.569 \text{ kg/m} \times 5.765 \text{ m} \times 4 = 13.121 \text{ kg}$$

$$\text{計 } P_{S1} = 0.074 \text{ ton}$$

[ii] 「状態 II」

プレストレス量はストームケーブルの支点部材の軸方向に  $T=50 \text{ ton}$  をかける。

[iii] 「状態 III」 図-4.3

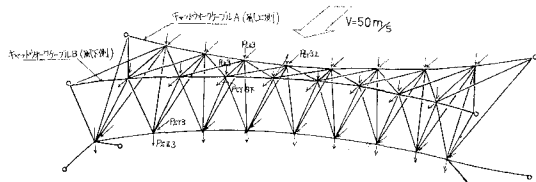


図-4.3

(a) キャットウォーク付加物の荷重とケーブルストランド作業人間の荷重

$q_1$ : ハンドロープ, ハンドボール, 横木, エキスパンダメタル等

$$q_1 = 77.6 \text{ kg/m} \times 5.633 \text{ m} = 437.1 \text{ kg}$$

$q_2$ : ケーブルストランド, 作業人間等

$$q_2 = 16.0 \text{ kg/m} \times 5.633 \text{ m} = 90.1 \text{ kg}$$

$P_{C23}$ : キャットウォークケーブルの節点荷重

$$P_{C23} = \frac{q_1 + q_2}{3} = 0.176 \text{ kg}$$

$P_{S23}$ : ストームケーブルの節点荷重

$$P_{S23} = P_{C23} = 0.176 \text{ kg}$$

(b) 風荷重

風荷重を求める場合, 次の式

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot A_D (\text{kg})$$

$$\rho: \text{空気密度 } \frac{1}{8} (\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$$

$C_D$ : 抗力係数

$A_D$ : 構造物の投影面積 ( $\text{m}^2/\text{m}$ )

から得られる。ここでは設計風速として  $V=50 \text{ m/sec}$  と仮定し表-4.1 に計算値をのせる。

表-4.1 で示される風荷重は図-4.4 のような状態で見えている。

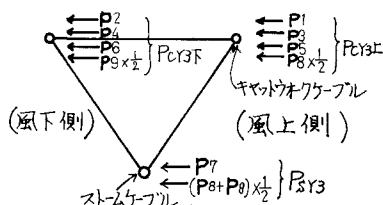


図-4.4

表-4.1

| 風 上 側                                                                                             | 風 下 側                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| キャットウォークケーブル<br>$A_D=0.071 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=1.0$<br>$P_1=62.491 \text{ kg}$          | $A_D=\text{m}^2/\text{m}$<br>$C_D=1.0$<br>$P_2=62.491 \text{ kg}$         |
| ハンドロープ、通信照明<br>$A_D=0.245 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.7$<br>$P_3=151.387 \text{ kg}$          | $A_D=0.245 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.7$<br>$P_4=151.387 \text{ kg}$ |
| キャットウォーク付加物<br>$A_D=0.076 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=1.1$<br>$P_5=107.380 \text{ kg}$          | $A_D=0.076 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.8$<br>$P_6=53.690 \text{ kg}$  |
| ハンガーケーブル<br>$A_D=0.035 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.7$<br>$P_8=22.004 \text{ kg}$              | $A_D=0.035 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.7$<br>$P_9=22.004 \text{ kg}$  |
| ストームケーブル (風上、風下に関係ない)<br>$A_D=0.052 \text{ m}^2/\text{m}$<br>$C_D=0.7$<br>$P_7=31.686 \text{ kg}$ |                                                                           |

キャットウォークケーブルにかかる風荷重

風 上 側

$$P_{Cr3上} = P_1 + P_3 + P_5 + P_8 \times \frac{1}{2} = 0.332 \text{ t}$$

風 下 側

$$P_{Cr3下} = P_2 + P_4 + P_6 + P_9 \times \frac{1}{2} = 0.279 \text{ t}$$

ストームケーブルにかかる風荷重

$$P_{Sr3} = P_7 + (P_8 + P_9) \times \frac{1}{2} = 0.054 \text{ ton}$$

#### 4-3 計算結果

3.で述べた直接剛性法により電子計算機を使いマトリックスの演算を行なった。図-4.3のような構造のとき節点数が33個あるので構造全体の剛性マトリックスは99×99の大きなデイメンジョンが必要となり、このまま計算を行なえば不経済となる。そこで文献<sup>6)</sup>に載ってある方法で計算するとかかなりデイメンジョンが節約された。

##### [i] キャットウォークケーブル

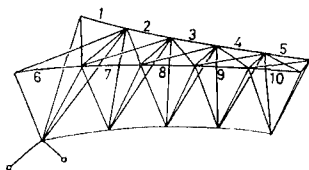


図-4.5 キャットウォークケーブル

表-4.2

| 部材 | 状態 I<br>(t) | 状態 II<br>(T・t) | 状態 III<br>(t) | T=50t 導入<br>したときの合<br>計軸力 (t) |
|----|-------------|----------------|---------------|-------------------------------|
| 1  | 3.3548      | 1.3302         | 8.3380        | 78.2033                       |
| 2  | 3.2685      | 1.2720         | 5.0319        | 71.8994                       |
| 3  | 3.0676      | 1.1959         | 1.5768        | 64.4384                       |
| 4  | 3.0058      | 1.1494         | -1.1976       | 59.2772                       |
| 5  | 2.9780      | 1.1334         | -2.2896       | 57.3569                       |
| 6  | 3.3548      | 1.3302         | -4.8184       | 65.0469                       |
| 7  | 3.2685      | 1.2720         | -2.1121       | 64.7554                       |
| 8  | 3.0676      | 1.1959         | 0.6558        | 63.5174                       |
| 9  | 3.0058      | 1.1494         | 2.8855        | 63.3603                       |
| 10 | 2.9780      | 1.1334         | 3.7587        | 63.4042                       |

##### [ii] ラテラル材

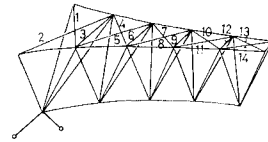


図-4.6 ラテラル材

表-4.3

| 部材 | 状態 I<br>(t) | 状態 II<br>(T・t) | 状態 III<br>(t) | T=50t 導入<br>したときの合<br>計軸力 (t) |
|----|-------------|----------------|---------------|-------------------------------|
| 1  | 1.2860      | 0.5112         | 2.2522        | 29.0982                       |
| 2  | 1.2860      | 0.5112         | -0.8889       | 25.9566                       |
| 3  | -1.2415     | -0.5003        | -0.6218       | 26.8773                       |
| 4  | 1.3287      | 0.5164         | 0.2148        | 29.3620                       |
| 5  | 1.3287      | 0.5164         | -1.0283       | 26.1209                       |
| 6  | -1.1137     | -0.4454        | -0.4612       | -23.8469                      |
| 7  | 1.4205      | 0.5498         | 1.9567        | 30.8682                       |
| 8  | -1.4205     | 0.5948         | -0.9297       | 27.9818                       |
| 9  | 1.0348      | -0.4118        | -0.3346       | 21.9574                       |
| 10 | 1.4765      | 0.5633         | 1.3010        | 30.9371                       |
| 11 | 1.4765      | 0.5633         | -0.4739       | 29.1671                       |
| 12 | -0.9811     | -0.3872        | -0.2519       | -20.5950                      |
| 13 | 1.4925      | 0.5665         | 0.3670        | 30.1855                       |
| 14 | 1.4925      | 0.5665         | 0.3670        | 30.1855                       |

##### [iii] ハンガーケーブル

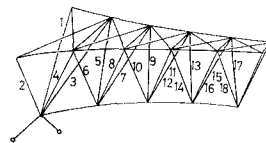


図-4.7 ハンガーケーブル

表-4.4

| 部材 | 状態 I<br>(t) | 状態 II<br>(T・t) | 状態 III<br>(t) | $T=50\text{ t}$ 導入<br>したときの合<br>計軸力 (t) |
|----|-------------|----------------|---------------|-----------------------------------------|
| 1  | 0.0164      | 0.8625         | -0.2216       | 42.9218                                 |
| 2  | 0.0164      | 0.8625         | -0.2238       | 42.9206                                 |
| 3  | 0.0213      | 0.0173         | -0.6194       | 0.2679                                  |
| 4  | 0.0213      | 0.0173         | -0.3579       | 0.5294                                  |
| 5  | 0.0240      | 0.0656         | -0.8597       | 4.1612                                  |
| 6  | 0.0240      | 0.0656         | -0.0583       | 3.3598                                  |
| 7  | 0.0167      | 0.0195         | -0.7828       | 0.2094                                  |
| 8  | 0.0167      | 0.0195         | -0.1752       | 0.8170                                  |
| 9  | 0.0254      | 0.0654         | 0.8717        | 4.1666                                  |
| 10 | 0.0254      | 0.0654         | -0.0234       | 32.715                                  |
| 11 | 0.0264      | 0.0254         | -0.7498       | 0.5476                                  |
| 12 | 0.0264      | 0.0254         | -0.0510       | 1.2464                                  |
| 13 | 0.0253      | 0.0612         | 0.6318        | 3.7171                                  |
| 14 | 0.0253      | 0.0612         | -0.0357       | 3.0496                                  |
| 15 | 0.0283      | 0.0367         | -0.4265       | 1.4343                                  |
| 16 | 0.0283      | 0.0367         | 0.0024        | 1.8632                                  |
| 17 | 0.0259      | 0.0506         | 0.1270        | 2.6849                                  |
| 18 | 0.0259      | 0.0506         | -0.0069       | 2.5510                                  |

## [iv] ストームケーブル

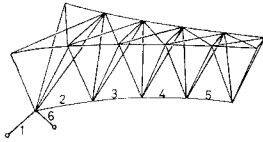


図-4.8 ストームケーブル

表-4.5

| 部材 | 状態 I<br>(t) | 状態 II<br>(T・t) | 状態 III<br>(t) | $T=50\text{ t}$ 導入<br>したときの合<br>計軸力 (t) |
|----|-------------|----------------|---------------|-----------------------------------------|
| 1  | 0           | 1.7926         | -1.6165       | 88.0115                                 |
| 2  | 0           | 2.8620         | -1.7861       | 141.3139                                |
| 3  | 0           | 2.8686         | -1.0315       | 142.0685                                |
| 4  | 0           | 2.8854         | -0.2457       | 144.0243                                |
| 5  | 0           | 2.9006         | -0.3004       | 144.7296                                |
| 6  | 0           | 1.7926         | -1.3933       | 88.2347                                 |

## [v] 計算結果の説明

表-4.2 から表-4.5 を見ると「状態 I」と「状態 II」ではキャットウォーク、ハンガー、ストームのいずれのケーブルにも負の軸力が生じていないためトラスとしての解析は成り立つことが分る。しかし表-4.3 のラテラル材のう

ち 3, 6, 9, 12 の部材に負の軸力が生じている。しかし普通ラテラルとなる部材には木材を使用しているのでケーブルとラテラル材の緊結さえ十分であればこの負の軸力に耐えることができ問題はない。「状態 III」ではいずれのケーブルにも負の軸力が生じているが、「状態 II」で負の軸力を打ち消すようなプレストレスが入っていれば、それはキャンセルされ部材に引張力が働らく。表-4.4 ではハンガーケーブルのうち支点側の部材は、その合計軸力が大きな値を示している。それはストームケーブルにプレストレスを導入する時、その力が支点部のハンガーに集中されるからであり、実際キャットウォークの架設にあたり、支点部のハンガーは特別にストームケーブル材などを並用するのが良い。

## 5. あとがき

普通ストームケーブルは可撓性であり、支間が大きくなればなる程各ザイルの変形量が大きくなる。即ちトラス解析の一次理論であるところの節点の変位は変わらないという仮定に反する。しかし直接剛性法によれば簡単に節点の変位が求まるので、もとの節点の座標に変位をたしてやるという単純な方法で、逐次計算を行えばかなりの精度を上げることができる。4 で示した程度の構造では変形量が小さいので一次理論で十分であった。

なお従来のキャットウォーク解析ではラテラル部材の性状は分らなかったが立体トラスとして解析してみると、かなりの負の軸力が生じている。これは風荷重に対して重要な意味をもち、又キャットウォークの剛性を高めるためにもラテラル材は有効であると思われる。

## 参考文献

- 1) 村上己里：「長大吊橋に用いるキャットウォークの耐風設計について」，第 22 回年次学術講演会概要，土木学会，昭和 42 年 5 月。
- 2) 村上・三田村：「長大吊橋に用いるキャットウォークの一試案と，その風荷重応力及び温度変化の影響について」，土木学会論文集第 150 号，昭和 43 年 3 月。
- 3) 大地羊三：「立体骨組構造物の解法」，土木学会論文集第 69 号，昭和 35 年 7 月。
- 4) 池田・原田・菅・東原：「キャットウォークの静力学的模型実験について」，第 23 回年次学術講演会概要，土木学会，昭和 43 年 10 月。
- 5) 渡辺・薄木・日野：「ワーレン型ハンガーを有するキャットウォークの解析」，第 9 回日本道路会議一般論文集，昭和 44 年 10 月。
- 6) 渡辺・薄木・日野：「対称性のある骨組構造の変形法による解析方法の研究，第 1 報」，土木学会北海道支部論文集，昭和 45 年 2 月。