

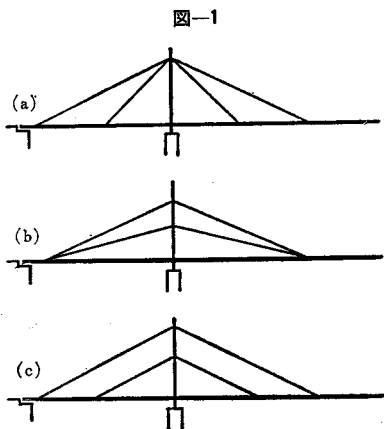
還元法による斜張橋の解析

長谷川 紀夫*
成岡 昌夫**

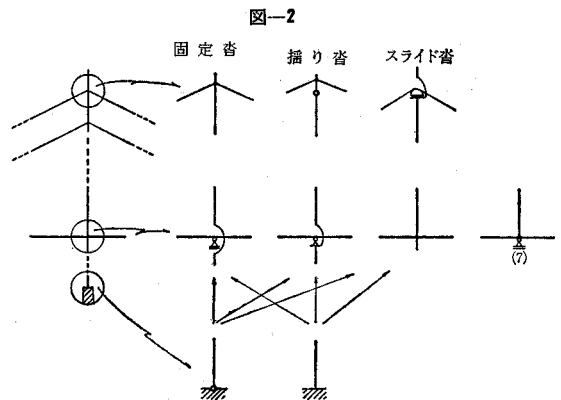
1. まえがき

斜張橋に対する計算法は、応力法¹⁾、Kani 法²⁾など、すでに多く発表されている。しかし、これらの多くのものは、構造系が異なるたびに、あらたに計算式を立て直おさねばならない不便がある。また、変形法による解法は、種々の剛、滑接構造物と同様に可能ではあるが、ケーブルと塔柱との取付けにおいて特殊な条件をもつような斜張橋に対しては、それらを考慮する必要がある。還元法による斜張橋の解析の研究として、Klumm の研究³⁾がある。

これは S. Falk の提唱した還元法^{4),5)}を斜張橋に発展させたものである。しかし、きわめて難解で、すぐには応用しがたい。本文では、最近における斜張橋の発展、特にドイツにおける発展にかんがみ、Klumm の研究とは独自に斜張橋の還元法による解析の研究と、HITAC-5020 E を対象としたプログラミングの研究とを行なった。



斜張橋の形式として、大別して、図-1 (a)~(c) に示す3つの形式がある。また、ケーブルの塔柱への取付条件、塔柱とけたとの結合の有無、および、塔柱の支持状態としては、図-2 に示すものがあり、その組合わせにより、さまざまな構造系が存在するわけである^{6),7)}。本文では、図-2 における種々の構造系の比較を行なうよう、これらすべての組合わせに適応できる一般性をもったプログラムを作ることを目的として、解析を進める。



2. 解析の概要

解析に際し、① 揺り沓およびスライド沓により塔柱に結合されているケーブルの塔柱におよぼす水平力は無視し、② ケーブルのサグは無視するものとし、1次理論により解析する。

(1) Feldmatrix (スパン伝達マトリックス)

けたの任意格間 l_K の左端と右端における断面力、変形量との関係は $\eta_K(l_K/l_0) = F_K \cdot \eta_K(0)$ で表わされ、Feldmatrix F_K はつぎのようになる⁸⁾。

* 正会員 名古屋大学受託研究員 日立造船(株)鉄構設計部橋設計課

** 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学教室

$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_0 l_K / A_K l_0^3 & u_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 1 & -l_K/l_0 & l_K^2 I_0 / 2 l_0^3 I_K & l_K^3 I_0 / 6 l_0^3 I_K & 0 & w_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 0 & 1 & -l_K I_0 / l_0 I_K & l_K^2 I_0 / 2 l_0^3 I_K & 0 & \varphi_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 0 & 0 & 1 & l_K/l_0 & 0 & M_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & Q_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & N_{K0}(l_K/l_0) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix}$$

(3) 解析の進め方

図-5 のような簡単な構造系を例にとり、同時に他の複雑な構造系に対する解析の進め方を示す。

格点①における変位、力ベクトル η_1 を初期ベクトル(未知ベクトル)とする。格点①

ここに、 I_0, l_0 は基準断面 2 次モーメント、および長さであり、マトリックス演算の精度をよくするため、各要素は無次元化したものである。

(2) Punktmatrix (格点伝達マトリックス)

断面変化格点における Punktmatrix は、7 次元マトリックスとなる。ケーブル取付格点、および、中間支点においては、ケーブル張力、および、中間支点拘束力による飛躍量が生じ、これらはすべて Punktmatrix P_i の第 7 列目に入る。

以下この第 7 列目だけを示す。

- a) ケーブル取付格点 (図-3 参照)
 $(0, 0, 0, 0, -T_m \cdot \sin \theta_m, -T_m \cdot \cos \theta_m, 1)$
- b) 中間支点 -1 (図-4 (a) 参照)
 $(0, 0, 0, 0, -R_K^S, 0, 1)$
- c) 中間支点 -2 (図-4 (b) 参照)
 $(0, 0, 0, 0, -R_K^S, -N_K^S, 1)$
- d) 中間支点 -3 (図-4 (c) 参照)
 $(0, 0, 0, -M_K^S, -R_K^S, -N_K^S, 1)$

の拘束条件により、 η_1 の要素に未知量と既知量が含まれるが、初期条件を考慮して未知量のみ取り扱う。ケーブル取付格点 (②, ③, ⑦, ⑧), および、中間支点 (⑤) を通過するたびに、未知であるケーブル張力 ($T_1 \sim T_n$), および、中間支点反力 (R_i^S) が Punktmatrix の中に現われる。ここで、これらの未知の値は、すべて外力マトリックスとして、Leitmatrix $L_i (= P_i \cdot F_i)$ の中へ未知要素のまま導入される。マトリックス演算を進める上において、Leitmatrix はすべて既知量のみ取り扱うので、要素の中に未知要素がある場合は、その段階で行きづまる。これらの未知要素をどのような形で、また、どのような方法で右端までもって行くかについて、以下順を追って述べる。

a) 初期ベクトル: η_1

左端条件として、図-6 (a)~(c) を考えると、初期ベクトル η_1 はつぎのような形で表わされる。

$$\eta_1 = A_0 \cdot C_0 \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) の A_0 は 図-6 (a)~(c) に示すとおりであり、 C_0 は (a) のとき ($u_1, \varphi_1, Q_1, 1$), (b) のとき ($\varphi_1, Q_1,$

図-3 ケーブル取付けた格点

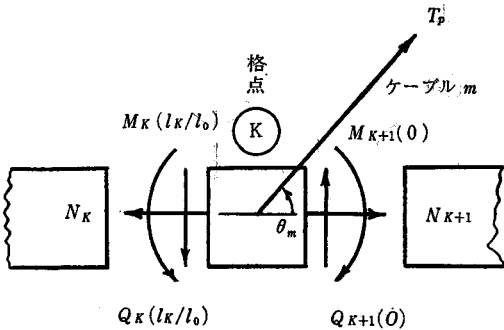


図-4 けたと塔柱の相互関係と飛躍量

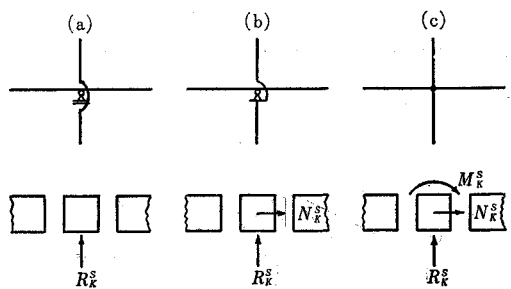


図-5

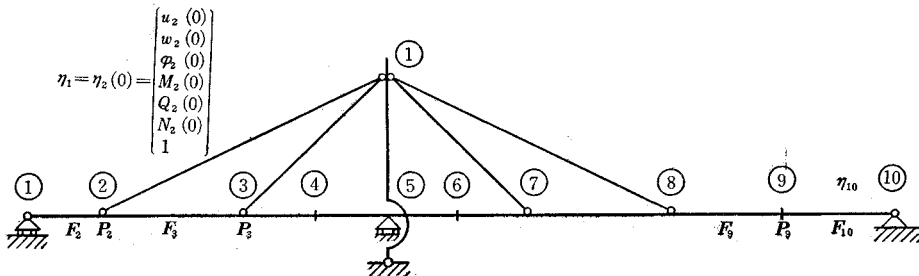
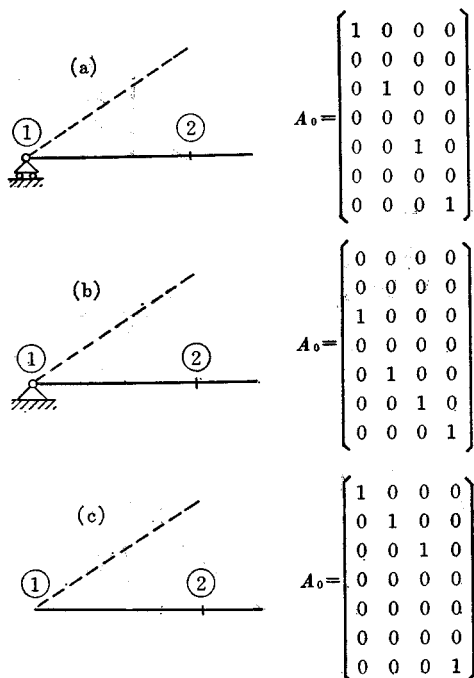


図-6



$N_i, 1), (c)$ のとき $(u_i, w_i, \varphi_i, 1)$ となる。図-6 に点線で示すように、格点①よりケーブルが出ている場合は、初期ベクトルとして、つぎの列ベクトル η_{0i} が加わる。

$$\eta_{0i} = (0, 0, 0, 0, -\sin \theta_i, -\cos \theta_i, 0) \cdot T_i \dots (2)$$

ここに、 T_i : 格点①より出るケーブル i の張力、 θ_i : ケーブル i のけたとなす角 (反時計回りに測る) である。

これはまた、最後の方程式が解かれ、変位、力のベクトル η_i を求める段階において、つぎのように修正される。

① 図-6 (a) の場合:

$$\eta_{0i} = (0, 0, 0, 0, 0, -\cos \theta_i, 0) \cdot T_i$$

② 図-6 (b) の場合:

$$\eta_{0i} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \cdot T_i$$

③ 図-6 (c) の場合: 修正の必要がない。

b) 任意の格点における変位、力ベクトル: η_i

任意格点 i における右側近傍の変位、力ベクトル η_i はつぎのように表わされる。

$$\begin{aligned} \eta_i &= P_i \cdot F_i + P_{i-1} \cdot F_{i-1} + \dots + P_2 \cdot F_2 \cdot \eta_1 \\ &= L_i \cdot L_{i-1} \cdot \dots \cdot L_2 \cdot \eta_1 \end{aligned} \dots (3)$$

$$L_i = P_i \cdot F_i$$

また、格点 i に至るまでの格点において、飛躍量が現れない場合は、式 (3) における P_i, P_{i-1}, \dots, P_2 は単位マトリックスであるので、式 (3) はつぎのような形で現わされる。

$$\eta_i = G_i \cdot \eta_1, G_i = F_i \cdot F_{i-1} \cdot \dots \cdot F_2 \dots (4)$$

ここに、右端格点における変位、力ベクトル η_n は式 (3)

の i を $n-1$ に置きかえたものに、さらに F_n を前掛けしたもとして表わされる。図-5 の斜張橋に対しては、右端の格点の変位、力ベクトル η_{10} を示すと、つぎようになる。

$$\eta_{10} = F_{10} \cdot F_9 \cdot L_8 \cdot L_7 \cdot F_6 \cdot L_5 \cdot F_4 \cdot L_3 \cdot L_2 \cdot \eta_1 \quad (5)$$

ここで、式 (4) の演算は容易に進めることができるが、式 (5) においては、Leitmatrix の中に未知量を含むので、つぎのような処置をする。

飛躍量を生じる格点 i の Leitmatrix L_i を式 (6) のように、既知要素のみ含んだもの A_i と未知要素のみ含んだもの K_i に分け、さらに、 K_i を未知量の数だけに分割する。

$$L_i = A_i + K_i = A_i + (K_{i1} + K_{i2} + \dots) \dots (6)$$

式 (6) の操作を式 (3)、または、式 (5) にほどこしマトリックス演算を進める。この際、 K_i の未知要素は、 η_i における未知量と同様に扱われ、右端の格点においては、 η_i における未知量と中間拘束による未知量を含んだ形の変位、力ベクトル η_n が求まる。

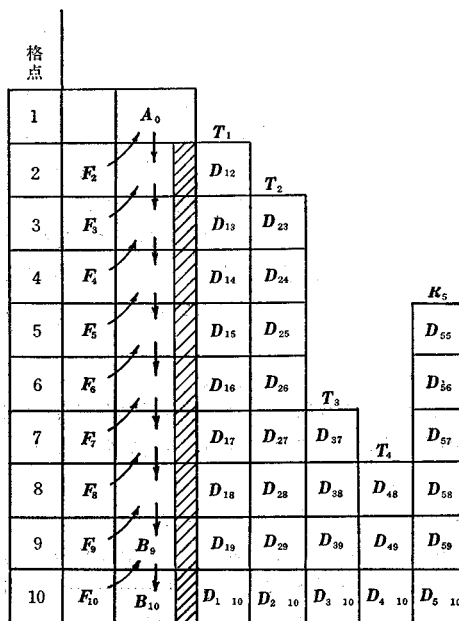
$$\eta_n = B_n \cdot C_0 + K_1 \cdot D_{1n} + K_2 \cdot D_{2n} + \dots + K_i \cdot D_{in} \dots (7)$$

ここに、 i : 左端格点より右端格点に至る間に現われる中間拘束の数である。

式 (7) において、 $B_n, D_{1n}, D_{2n}, \dots, D_{in}$ は η_1 , および K_i に対して演算されたマトリックスであり、 K_1, K_2, \dots, K_i は未知量 (ケーブル張力、中間支点拘束力) である。

式 (5) の演算過程を図示すると図-7 のようになる。

図-7



これを基礎マトリックス M として、任意の格点 i における変位、力のベクトルは、この基礎マトリックス M の相当する格点 i の行ベクトルをもって表わされる。

c) 右端境界条件

右端についても左端と同様に考えると、つぎのようになる。

① 水平方向可動の場合
 $w_n(l_n/l_0)=0, M_n(l_n/l_0)=0, N_n(l_n/l_0)=0$
(8)

② 水平方向固定の場合
 $u_n(l_n/l_0)=0, w_n(l_n/l_0)=0, M_n(l_n/l_0)=0$
(9)

③ 自由端の場合
 $M_n(l_n/l_0)=0, Q_n(l_n/l_0)=0, N_n(l_n/l_0)=0$
(10)

d) 連立方程式の作成

連立方程式の元数 N はつぎのようになり、

$$N = N(F) + N(R) + N(S) + N(M) + N(N) + N(D)$$

ここで、

- $N(F)$: 3 (η_1 における未知量の数)
- $N(R)$: 中間支点の数
- $N(S)$: 全ケーブル本数
- $N(M)$: 中間支点における回転拘束数
- $N(N)$: 中間支点における水平方向拘束数
- $N(D)$: 全塔柱における固定沓とスライド沓の数

以下に示す ①~③ により、 N 元連立方程式を得る。

① 右端境界条件、中間支点条件

式 (8), (9), (10) のいずれかの境界条件により、 η_1 における未知量の数と同数の三つの方程式が得られる。それらは η_1 における未知量、および中間拘束による未知量を雪だるま式に含んだ方程式である。また、中間支点条件 $w=0$ により、 R_K^S に対し、中間支点の数に等しい方程式が得られる。これらの方程式は基礎マトリックス M の中間支点到相当する部分より w の行をそのまま抜き出したものである。中間支点において現われる未知量は、 R_K^S のほか、図-4 (b), (c) に示す M_K^S, N_K^S も現われる場合がある。それらに関しては、③の項で述べる。

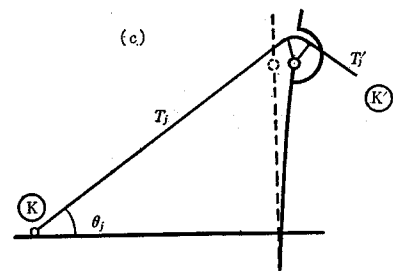
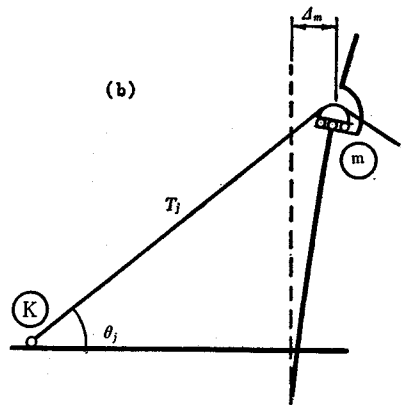
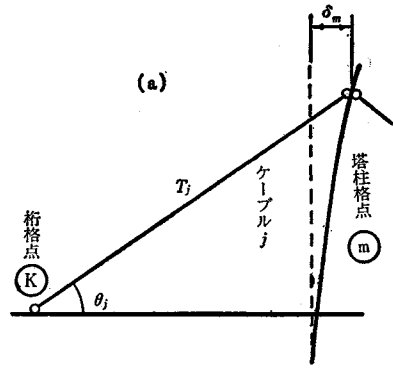
② ケーブルつり合い方程式

図-8 に示すように、ケーブルの塔柱側取付けに対し、三つの状態を考え、それぞれのつり合い方程式をつぎのようを得る。

(a) 固定沓の場合 (図-8 (a))
 $w_{K+1}(0) \cdot \sin \theta_j + \delta_m \cdot \cos \theta_j + (-u_{K+1}(0) \cdot \cos \theta_j) - (E_0 I_0 L_j / E_s A_{sj} l_0^3) \cdot T_j = 0$ (11)

(b) スライド沓の場合 (図-8 (b))

図-8 塔柱とケーブルの取付け



$$w_{K+1}(0) \cdot \sin \theta_j + \delta_m \cdot \cos \theta_j + (-u_{K+1}(0) \cdot \cos \theta_j) - (E_0 I_0 L_j / E_s A_{sj} l_0^3) \cdot T_j = 0$$
(12)

(c) 揺り沓の場合 (図-8 (c))

$$w_{K+1}(0) \cdot \sin \theta_j + w'_{K'+1}(0) \cdot \sin \theta_{j'} - (u_{K+1}(0) \cdot \cos \theta_j + u_{K'+1}(0) \cdot \cos \theta_{j'}) - \{E_0 I_0 (L_j + L_{j'}) / E_s A_{sj} \cdot l_0^3\} \cdot T_j = 0$$
(13)
 $T_j - T_{j'} = 0$ (13')

ここに、

- $w_{K+1}(0)$: けた格点 K における垂直変位
- θ_j : ケーブル j のけたとなす角
- T_j : ケーブル j の張力
- A_{sj} : ケーブル j の断面積 (m^2)
- L_j : ケーブル j の長さ (m)
- δ_m : 塔柱格点 m の水平変位

a_m : 塔柱格点 m における脊の変位
 E_s : ケーブルの弾性係数 (t/m^2)
 $u_{K+1}(0)$: けた格点 K における水平変位
 E_0 : 無次元化に用いた基準弾性係数
 I_0 : 無次元化に用いた基準断面二次モーメント
 式 (11), (12), (13), (13') のいずれかの式を用いることにより、ケーブル本数と同数の方程式を得る。それらの式で必要とされる $u_{K+1}(0)$, $w_{K+1}(0)$ は、基礎マトリックス M よりただちに得られる。

③ 塔柱のつり合い方程式

図-9 に示す塔柱格点 m に作用する水平力 P_m はつぎのようになる。

$$P_m = -\sum (T_i \cdot \cos \theta_i) \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 i : 塔柱格点 m に集るケーブル番号

ここで着目される塔柱格点 m とは、図-8 (a), (b) に示すような格点をいう。

いま、一塔柱に固定脊 a_1 個、スライド脊 a_2 個、揺り脊 a_3 個があるものとする。スライド脊、および揺り脊の場合、その水平力は塔柱のつり合いに関係なく、 a_1 個の固定脊に作用する水平力のみ扱おう。ただし、スライド脊においては a_2 個の未知量 a_i が現われるため、 a_2 個の方程式を必要とし、次式より求まる。

$$P_i = 0 \quad (i=1, 2, \dots, a_2) \dots\dots\dots(15)$$

固定脊 a_1 個に対し現われる a_1 個の未知量 δ_i については、図-2 に示す塔柱の支持状態に応じ得られる a_1 個のつり合い方程式も異なるので、以下順を追って述べる。

(a) 塔柱基部がピン支承の場合(図-10) : 塔頂より塔柱基部に向かって番号 $1, 2, \dots, m (=a_1)$ をつけ、けたと交わる点を 0 とする。以下、簡単な構造計算により、つぎの m 個の方程式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m P_i \cdot h_i - h_0 \cdot N_K^S - I_0 M_K^S &= 0 \\ \delta_2 &= (h_2/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{22} \cdot P_2 + \dots + \delta_{2m} \cdot P_m + \delta_{20} \cdot N_K^S + \delta_{20}^M \cdot M_K^S \\ \delta_3 &= (h_3/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{32} \cdot P_2 + \dots + \delta_{3m} \cdot P_m + \delta_{30} \cdot N_K^S + \delta_{30}^M \cdot M_K^S \\ \vdots & \\ \delta_m &= (h_m/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{m2} \cdot P_2 + \dots + \delta_{mm} \cdot P_m + \delta_{m0} \cdot N_K^S + \delta_{m0}^M \cdot M_K^S \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

また、①で述べた N_K^S, M_K^S に対し次式を得る。

$$u_{K+1}(0) = (h_0/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{02} \cdot P_2 + \dots + \delta_{0m} \cdot P_m + \delta_{00} \cdot N_K^S + \delta_{00}^M \cdot M_K^S \dots\dots(17)$$

$$\varphi_{K+1}(0) = (-I_0/h_1) \cdot \delta_1 + \theta_{02} \cdot P_2 + \dots + \theta_{0m} \cdot P_m + \theta_{00} \cdot N_K^S + \theta_{00}^M \cdot M_K^S \dots\dots(18)$$

ただし、

$$h_i : \text{格点番号 } i \text{ の塔柱基部よりの高さ (m)}$$

δ_i : 格点番号 i の水平方向変位

δ_{ij}, θ_{ij} : スパン h_1 の単純ばりにおいて、 j 点に単位集中荷重 $P=1$, または j 点に単位モーメント $M=1$ (このときは $\delta_{ij}^M, \theta_{ij}^M$) を作用させたときの、 i 点のたわみ、または回転角 (ともに無次元化されたものである)。

$u_{K+1}(0)$: 中間支点 (けた格点 k , 塔柱格点 0) におけるけたの軸方向変位

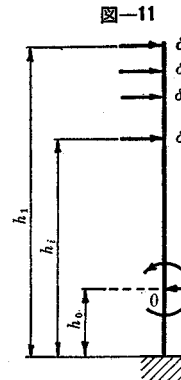
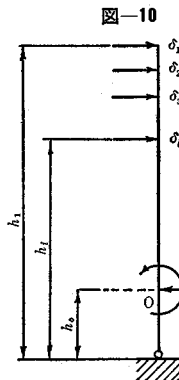
$\varphi_{K+1}(0)$: 中間支点 (けた格点 k , 塔柱格点 0) におけるけたの回転角

この際、けたと塔柱の結合状態 (図-4 (a)~(c)) により、つぎのようになる。

- ・図-4 (a) の場合 : 式 (16) における N_K^S, M_K^S の項が除去され、式 (17), (18) は不要となる。
- ・図-4 (b) の場合 : 式 (16), (17) の M_K^S 項が除去され、式 (17) は不要となる。
- ・図-4 (c) の場合 : 式 (16)~(18) 全部を必要とする。

(b) 塔柱基部が固定支承の場合(図-11) : (a) の場合と同様にして、式 (16)~(18) に相当する方程式はつぎのようになる。

$$\begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_m \\ u_{K+1}(0) \\ \varphi_{K+1}(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1m} & \delta_{10} & \delta_{10}^M \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2m} & \delta_{20} & \delta_{20}^M \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \dots & \delta_{mm} & \delta_{m0} & \delta_{m0}^M \\ \delta_{01} & \delta_{02} & \dots & \delta_{0m} & \delta_{00} & \delta_{00}^M \\ \theta_{01} & \theta_{02} & \dots & \theta_{0m} & \theta_{00} & \theta_{00}^M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \\ N_K^S \\ M_K^S \end{pmatrix} \dots\dots\dots(19)$$



式 (19) の右辺の係数マトリックスは (a) の場合と同じ意味を表わし、スパン h_1 の片持ばりをもとにして求めたものである。図-4 (a)~(c) の状態に応じ、式 (19) は (a) の場合と同様に扱われる。

(c) その他の場合(図-12) : 図-12 (a) の場合は、図-10 において $h_0=0$ とし求められ、図-12 (b) の場合はつぎのようになる。

$$\sum_{i=1}^m P_i - N_K^S = 0, \quad \sum_{i=1}^m (P_i \cdot h_i) - l_0 \cdot M_K^S = 0 \quad \dots\dots\dots(20)$$

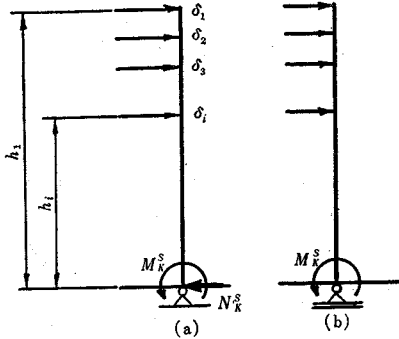
$$\varphi_{K+1}(0) = (-l_0/h_1) \cdot \delta_1 + \theta_{02} \cdot P_2 \dots \theta_{0m} \cdot P_m + \theta_{00}^M \cdot M_K^S + (l_0/h_1) \cdot u_{K+1}(0)$$

$$\delta_2 = (h_2/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{22} \cdot P_2 \dots \delta_{2m} \cdot P_m + \delta_{20}^M \cdot M_K^S + \{1 - (h_2/h_1)\} u_{K+1}(0)$$

$$\vdots$$

$$\delta_m = (h_m/h_1) \cdot \delta_1 + \delta_{m2} \cdot P_2 \dots \delta_{mm} \cdot P_m + \delta_{m0}^M \cdot M_K^S + \{1 - (h_m/h_1)\} u_{K+1}(0) \quad \dots\dots\dots(21)$$

図-12



式 (20) は必ず必要となり、格点 2, 3, ..., m に応じ式 (21) を用いる。

以上、(a)~(c) より、m 個の方程式、および N_K^S , M_K^S に対する方程式を得る。

このようにして、①~③より N 元連立方程式が作られる。それらの解は、ただちに基礎マトリックス M へ投入され、それぞれの格点の断面力、変位量が求められる。

3. プログラムの概要

このプログラムは若干の data を与えて、斜張橋のけたの任意格点における断面力、および、変位量、ケーブル張力、塔柱の変位量などに対する影響値、および影響面の計算を行なう。図-13 に Flow chart を示す。

4. 計算例

計算の対象としたのは尾道大橋であり、図-14 に示す。断面諸元はつぎのようである。

けた 断面: $I=0.202406 \text{ m}^4$, $A=0.14796 \text{ m}^2$ (等断面)
 ケーブル: $A_1=A_8=0.01388 \text{ m}^2$, $A_2=A_7=0.00832 \text{ m}^2$

$A_3=A_6=0.00896 \text{ m}^2$, $A_4=A_5=0.01224 \text{ m}^2$
 塔 柱: $I_1=I_2=0.01973 \text{ m}^4$, $A_1=A_2=0.08826 \text{ m}^2$
 (これは計算には不必要である)

図-14 において、けたの下に書いた 1 (左端支点), 2, ..., 10 (左側中間支点), 11, ..., 20 (中心), 21, ..., 30 (右側支点), 31, ..., 39 (右端支点) は、影響線を求める際の荷重載荷点を示す。けたの上に書いた ①, ②, ..., ⑩ は、還元法による計算の格点を示す。

計算結果のうち、けた格点 10, 20, 30 の曲げモーメント, M_{10} , M_{20} , M_{30} , けた格点 20 のたわみ w_{20} , ケーブル 1, 8 の張力 T_1 , T_8 を表-1 に示す。表-1 よりわかるように、各対称載荷に対し、相当する M , w , T はすべて対称となり、Output においては小数点以下 10 けたまで一致している。この計算では double precision を用

図-13 フローチャート

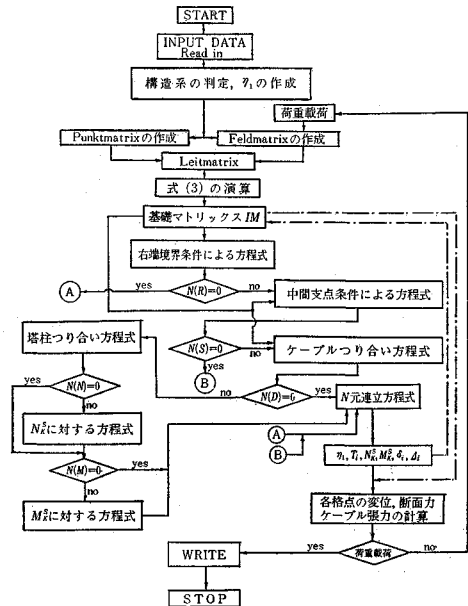


図-14 計算の対象とした尾道大橋

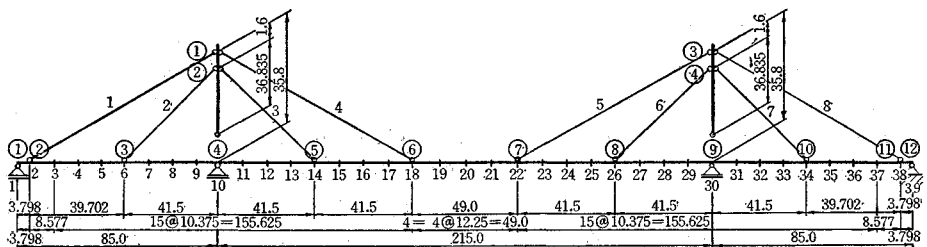


表-1 けたの曲げモーメント, たわみ, ケーブル張力の影響線の縦距

格点	M_{10}	M_{20}	M_{30}	w_{20}	T_1	T_2
1)	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.0000000	0.00000	0.00000
2)	-0.269238970	-0.070653047	-0.017956156	-0.0809657	-0.07380	-0.01949
3)	-0.989470931	-0.226034565	-0.058828612	-0.2648933	-0.28750	-0.06357
4)	-1.762257905	-0.330254123	-0.088799486	-0.3991036	-0.47701	-0.09541
5)	-2.623106424	-0.377134148	-0.106158926	-0.4759239	-0.61522	-0.11318
6)	-3.607523022	-0.360497067	-0.109197081	-0.4876818	-0.67000	-0.11505
7)	-4.653163709	-0.276864420	-0.096323976	-0.4273966	-0.61451	-0.09943
8)	-4.989319425	-0.160175046	-0.070673992	-0.3106685	-0.46372	-0.07081
9)	-3.732696183	-0.053522416	-0.036986282	-0.1605266	-0.24856	-0.03554
10)	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.0000000	0.00000	0.00000
11)	-3.579225912	-0.025710552	0.037123197	0.1557275	0.25498	0.03170
12)	-4.693525039	-0.088793949	0.077531634	0.3228531	0.50519	0.06446
13)	-4.237337525	-0.130399352	0.125951134	0.5254192	0.74338	0.10541
14)	-3.105103512	-0.091675920	0.187107518	0.7874683	0.96230	0.16169
15)	-2.040146540	0.116577522	0.263249211	1.1245948	1.15304	0.23976
16)	-1.181323756	0.704963493	0.346715047	1.5186007	1.30006	0.34333
17)	-0.516375705	1.914434849	0.427366460	1.9423895	1.38613	0.47544
18)	-0.033042930	3.985944443	0.49064888	2.3706653	1.39404	0.63911
19)	0.325691628	7.804413786	0.538768542	2.8153257	1.29152	0.86875
20)	0.499303120	13.160570234	0.499303120	3.0115991	1.10132	1.10132
21)	0.538768542	7.804413786	0.325691628	2.8153257	0.86875	1.29152
22)	0.495064888	3.985944443	-0.033042930	2.3706653	0.63911	1.39404
23)	0.427366460	1.914434849	0.427366460	1.9423895	0.47544	1.38613
24)	0.346715047	0.704963493	0.499303120	1.5186007	0.34333	1.30006
25)	0.263249211	0.116577522	-2.040146540	1.1245948	0.23976	1.15304
26)	0.187107518	-0.091675920	-3.105103512	0.7874683	0.16169	0.96230
27)	0.125951134	-0.130399352	-4.237337525	0.5254192	0.10541	0.74338
28)	0.077531634	-0.088793949	-4.693525039	0.3228531	0.06446	0.50519
29)	0.037123197	-0.025710552	-3.579225912	0.1557275	0.03170	0.25498
30)	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.0000000	0.00000	0.00000
31)	-0.036986282	-0.053522416	-3.732696183	-0.1605266	-0.03554	-0.24856
32)	-0.070673992	-0.160175046	-4.989319425	-0.3106685	-0.07081	-0.46372
33)	-0.096323976	-0.276864420	-4.653163709	-0.4273966	-0.09943	-0.61451
34)	-0.109197081	-0.360497067	-3.607523022	-0.4876818	-0.11505	-0.67000
35)	-0.106158926	-0.377134148	-2.623106424	-0.4759239	-0.11318	-0.61522
36)	-0.088799486	-0.330254123	-1.762257905	-0.3991036	-0.09541	-0.47701
37)	-0.058828612	-0.226034565	-0.989470931	-0.2648933	-0.06357	-0.28750
38)	-0.017956156	-0.070653047	-0.269238970	-0.0809657	-0.01949	-0.07880
39)	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.0000000	0.00000	0.00000

いたが、この程度のケーブル本数では、single precision で十分と思われる。計算時間は 3. で述べた output をすべて打出し、約 30 秒であった。

5. む す び

以上、還元法による斜張橋の解析を述べた。この解法では支点条件、塔柱とケーブル取付に対して図-2に示すような任意の場合に対して解析され、プログラムされているので、一般性があると信じている。中大橋(200~400m)として斜張橋が目目されている折から、この報告が参考となるところがあれば幸いである。

なお、けたにおけるケーブルの取付位置、ケーブルと塔柱との取付条件、および、けたと塔柱との結合状態、塔柱基部のすえつけ状態を種々に変化させた場合の、ケーブル張力、けたの曲げモーメント、軸方向力などの比較を行なったので、これらは別途発表する予定である。

参 考 文 献

- 1) 毛利外3名：摩耶大橋の設計と施工，土木学会誌，54-2

(昭和42.4)，pp. 18~23. また、山本・八谷：斜張橋の静的構造解析，三菱重工技報，3.6 (昭和41.12)，pp. 657~660.

- 2) 岡村：Kaniの方法による斜張橋の解法，土木技術，14.12 (昭和34.12)，4~10.
- 3) K. Klumm：Die Electronische Berechnung von Schrägseilbrücken, Informationen über electronisches Rechnen im Stassenwesen, Heft 7, Herausgegeben vom Aerbeitsausschluss "Electronisches Rechnen" der Forschungsgesellschaft für Strassenwesen e. V., Köln, 1962.
- 4) R. Kersten：Das Reduktionsverfahren der Baustatik, Berlin, Springer, 1962.
- 5) 熊野・成岡：Reduktion法とそれによる振り剛性のない格子桁の解法，土木学会誌，50-7 (昭和40.7)，pp. 93~99.
- 6) W. Protte und W. Tross：Simulation als Vorgehensweise bei der Berechnung von Schrägseilbrücken, Stahlbau, 45 (1966)，pp. 208~211.
- 7) 田村周平：西ドイツの新しい橋梁について，道路，(昭和42.6)，pp. 32~41.
- 8) 桑山・成岡：Reduction法によるリブアーチの解析，土木学会誌，52-9 (昭和42.9)，pp. 57~63.

(1967. 10. 30・受付)