

## 斜張橋形式連続合成桁について

大阪工業大学      ○赤尾 親助  
同 大学院      栗田 章光  
栗本鉄工所      村田 広治

### 1. まえがき

連続合成桁の設計施工については、中間支臺部の床版コンクリートに生じる引張応力に対する処置が従来より問題とされ、種々の方式が工夫されてきた。その一つとしては、支臺の上昇、降下、あるいはPC鋼材を用いるプレストレスにより、引張応力を許容範囲内におさえ、全全間にわたり全断面合成とする方法があるが、設計施工が複雑化する割にスパンが延びないことより、現在、この方式の連続合成桁の架設は、あまり見られないようである。また、一オには、引張応力の生じる床版コンクリート部を、鉄筋コンクリートばかりと同様の考え方に基き、コンクリートの引張抵抗を無視し、中に配置した橋軸方向鉄筋によつて、ひびわれを許容限度内におさえることとし、従つて彎曲げモーメント領域では鋼部断面のみを有効とする断続合成桁、もしくは部分合成桁形式がある。この方式は、従来より多数架設されている非合成の連続桁が、實際上、大部分が合成桁としての力学的性状を示していると思せられるが、一つの合理的な解決法であるか、可能スパンは、全全間全断面合成の方式に比して小さくなることは避けられない。

著者は、斜張橋形式と連続合成桁とを組み合わせ、斜張ケーブルを利用して橋桁にプレストレスを与えることにより、全全間を全断面合成の連続桁として架設する工法を提案<sup>1)</sup>し、検討を行つて來た。本方式は、つぎのような特徴をもち、鋼床版を用いる斜張橋と比肩し得る程度の全間とすることが可能であると信せられる。

- i) 斜張ケーブルによるプレストレスは、ケーブル張力が桁に対し大きく偏心して作用するためプレストレス力が比較的小さくて済む。
- ii) プレストレス導入の時期と大きさを適当にえらぶことによつて、橋体部材の強度を十分に利用し得るような断面力の再配分が可能となる。
- iii) ケーブルが定着されている状態では、構造系は斜張橋となるから、その特性としての断面力の減少が期待できる。
- iv) 上記の特性を活用することにより、可能スパンはかなり増大できる。

著者等は、種々のスパンの本形式橋梁について、全間比、ケーブル形状、床版打込、プレストレス導入などについて、施工順序と関連させながら試算を行い、一応の検討を終えたのでその結果を報告する。

### 2. 構造および施工方法

本構造形式では、従来の連続合成桁の構造部分に、さらに塔、ケーブル、ケーブル定着部を追加されることになる。従つて、鋼主桁としてI形断面を採用するものとするは、二主桁形式が適当であり、この形式が断面としては、最も経済的であると考えられる。通常の斜張橋に見られるように、合成箱

桁を中央に置いた単列形式(図-16)も可能であり、美觀的に、また下部構造の奥にも特徴があるが、設計試算は、一応二主桁形式を対象として行っている。

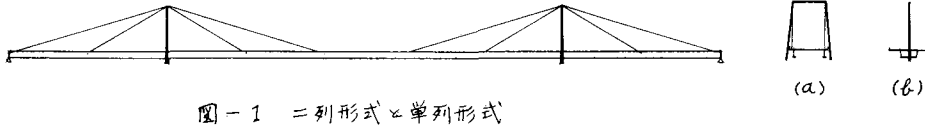


図-1 二列形式と単列形式

通常の連続合成桁程度のスパンの場合、プレストレス力は比較的小さくて済むので、ケーブルとして、PC鋼材数組で足りると考えられ、その場合、ポストテンション方式のPC部材と同様の定着方法ならびに構造を用いることができ、定着ブロックと鋼部との結合には、スタッドアンカーなどを利用できると考えられる。スパンを増大した場合には、ケーブル張力は1000tのオーダーとなるので(試算設計2および3)、PWS等の利用が有利とならう。

プレストレスの導入を含む施工方法としては、種々の方法が考えられる。

i) 鋼桁架設 — 全床版打込養生 — ケーブル緊張 — 活荷重作用(図-2a)

この方法では、ケーブル緊張時にケーブル定着部、およびその外側に作用する負曲げモーメントにより、床版コンクリートに引張応力が生ずることになるので、支梁の上昇、降下を併用する必要が生じ、施工が複雑化することになる。

ii) 鋼桁架設 — 中間支梁部床版打込養生 — ケーブル緊張 — 支間部床版打込養生 — 活荷重作用(図-2b)

この方法では、床版コンクリートの打込養生が二段階になるが、最も可能性の高い方法であり、本文の考察は、この方式について行われている。

iii) 鋼桁架設 — ケーブル緊張 — 支間部床版打込養生 — ケーブル緊張力弛張 — 中間支梁部床版打込養生 — ケーブル再緊張 — 活荷重作用(図-2c)

プレストレスを鋼部応力の再配分にも有利に用いようという考え方で、この方法では、正曲げモーメント域においても、或程度死荷重合成される形となるが、最初のケーブル緊張は、鋼桁のみの状態で行われる奥に問題があり、プレストレスも導入、解放、再導入と繰り返されるから、設計施工ともに複雑化する欠点もある。

さて、ii)の方法を採用する場合、最初に打ち込まれる中間支梁部の床版荷重をうける構造系を連続鋼桁とする場合と、斜張橋系とする場合が考えられ、試算1では図-3a、試算2,3では図-3bをとっている。

ケーブル緊張時には、図-4aに示すような追加支梁反力が生じ、この反力は、床版に導入されるプレストレスを減らす方向に影響

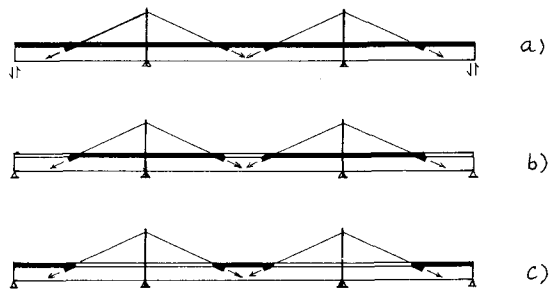


図-2 施工方法

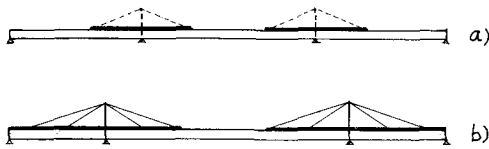


図 - 3

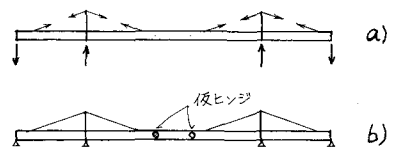


図 - 4

し、またケーブル定着部付近、およびその外側に負曲げモーメントが作用するため、先端のケーブル定着部付近の床版コンクリートに引張応力を生じさせることになるが、その反面、正曲げモーメント領域の鋼断面に対しては、有利なプレストレスを与えることになる。この影響をなくすことが、必ずしも有利であるとは云えないが、図-4bのように、中央全間のケーブル定着部付近に仮ヒンジを設けることとすれば、プレストレス導入は、静定の張出桁に対して行われることになるので、追加反力の影響はなくなる。仮ヒンジを設ける架設工法は、桁に対する死荷重応力調整の目的で、通常の斜張橋においても行われることもあり、検討の余地ある方法ではあるが、本文の試算設計においては、構造の複雑化をさけるため、連続鋼桁を採用している。

### 3. 構造解析について

本形式では、プレストレスを用いる他の橋梁構造同様、プレストレスの導入、その他の荷重をうける段階に応じて、構造系、ならびに断面諸値が変化して行く。従つて、それらのそれぞれの系における影響線求めておき、設計を進めることになるが、それについては、一般の予静定構造における諸解法を利用すればよく、試算設計については、剛性マトリックス法を用い、一部に弾性方程式法を併用している。ここでは、合成構造に特有な床版コンクリートのクリープ、収縮の影響に関する解析、ならびに、床版の有効幅に関する解析をあげることにする。

#### 3.1 コンクリートの収縮、クリープの影響

F. Chichoré 式に基く安定の方法によつて<sup>2)</sup>いるが、ケーブルを有するため、軸力による応力、ならびに軸縮み歪を考慮しなければならない。予静定構造における床版コンクリートのクリープ、収縮の影響は、つぎの2段階に分けて求めるものとする。

A. 予静定力に変化が生じないとした場合の応力変化

a) クリープの影響

$$F. Chichoré \text{ の微分方程式, } \frac{d\epsilon_t}{dt} = \frac{\sigma_t}{E_c} \frac{d\rho_t}{dt} + \frac{1}{E_c} \frac{d\sigma_t}{dt} \quad (1)$$

ここに  $\sigma_t$ : 時間  $t$  におけるコンクリートの応力度,  $\epsilon_t$ : 時間  $t$  におけるコンクリートのひずみ度,  $\rho_t$ : 時間  $t$  におけるコンクリートのクリープ度,  $E_c$ : コンクリートのヤング率(一定とする), において、

$$\rho_t = \rho(1 - e^{-\lambda t}) \quad (2)$$

と表わし、当初応力度  $\sigma_0$  がクリープにより  $\Delta\sigma$  だけ変化した場合のひずみを近似的に求める。

$$\sigma_t = \sigma_0 + \Delta\sigma(1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

とき、(2),(3)式を(1)式に代入し、 $t=0 \sim \infty$ まで積分すれば

$$\varepsilon_{\infty} = \frac{1}{E_c} \left\{ \sigma_0 (1+\varphi) + \Delta \sigma \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right) \right\} \quad (4)$$

当初応力度  $\sigma_0$  に応ずるひずみ度  $\varepsilon_0$  よりの変化ひずみを、 $\Delta \varepsilon$

$$\text{とかけば、} \quad \Delta \varepsilon = \varepsilon_{\infty} - \varepsilon_0 = \left\{ \sigma_0 \varphi + \Delta \sigma \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right) \right\} / E_c$$

これより、変化応力度  $\Delta \sigma$  は、 $E_{c1} = E_c / (1 + \frac{\varphi}{2})$  とし、

$$\Delta \sigma = E_{c1} \Delta \varepsilon - \sigma_0 \cdot 2\varphi / (2 + \varphi) \quad (5)$$

$\Delta \varepsilon$  は、平面ひずみの条件から、断面の上下縁の変化ひずみの商数として、 $\Delta \varepsilon = \Delta \varepsilon_u \cdot y / h + \Delta \varepsilon_l \cdot (h - y) / h$  (6)

(5)式より合成断面の変化応力は、

コンクリート断面については、

$$\Delta \sigma_{cy} = E_{c1} \Delta \varepsilon - \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \sigma_{cy}$$

鋼断面については、

$$\Delta \sigma_{sy} = E_s \Delta \varepsilon \quad (7)$$

(7)に(6)を代入し、合成全断面について、つりあい条件、 $\int_{A_v} \Delta \sigma \cdot dA = 0$ , および  $\int_{A_v} \Delta \sigma \cdot y \cdot dA = 0$  を適用すれば、変化ひずみか求まる。

$$\Delta \varepsilon_u = \frac{N_c}{E_s} \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left( \frac{d_{cl} y_{cl}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right), \quad \Delta \varepsilon_l = \frac{N_c}{E_s} \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left( -\frac{d_{cl} y_{sl}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) \quad (8)$$

ここに、 $\int_{A_c} \sigma_{cy} dA = N_c$ ,  $\int_{A_c} \sigma_{cy} \cdot y dA = N_c (d_{cl} + y_{s1})$ ,  $I_{v1}$ ,  $A_{v1}$  は、 $n_1 = n(1 + \frac{\varphi}{2})$  を用いて求めた鋼部換算の合成断面2次モーメント、および換算断面積、図-5の  $V_1$  は、ヤング率比を  $n_1$  としたときの合成図心点を示し、 $d_{cl}$ ,  $y_{s1}$ ,  $y_{cl}$  は図面を参照。(8)式の変化ひずみを(7)に代入すれば、変化応力度は、

$$\left. \begin{aligned} \text{床版上縁} \quad \Delta \sigma_{cu} &= \frac{N_c}{n_1} \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left( \frac{d_{cl} y_{cl}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) - \sigma_{cu} \frac{2\varphi}{2 + \varphi}, & \text{鋼部上縁} \quad \Delta \sigma_{su} &= N_c \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left\{ \frac{d_{cl}}{I_{v1}} (h_s - y_{s1}) + \frac{1}{A_{v1}} \right\} \\ \text{床版図心} \quad \Delta \sigma_{co} &= \frac{N_c}{n_1} \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left( \frac{d_{cl}^2}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) - \sigma_{co} \frac{2\varphi}{2 + \varphi}, & \text{鋼部下縁} \quad \Delta \sigma_{sl} &= N_c \frac{2\varphi}{2 + \varphi} \left\{ -\frac{d_{cl} y_{s1}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$N_c$  はクリープをおこす当初の持続荷重状態において、床版コンクリートに作用している圧縮力の合力で、曲げモーメント  $M_d$ , 軸力  $N_d$  が作用している場合は、

$$N_c = \left( \frac{N_d}{A_v} + \frac{M_d}{I_v} d_c \right) \frac{A_c}{n} \quad (10)$$

ここに、 $A_v$ ,  $I_v$  は、鋼部換算の断面値、応力および、ひずみは、圧縮を正にとつてある。

#### 6). 収縮の影響

収縮ひずみが拘束されると、クリープ現象が生じ、その影響を緩和する働きをする。クリープ度としては  $\varphi_2 = 2\varphi_1$  にとる。収縮によって生ずる応力度変化を  $\Delta \sigma$  とすれば、変化ひずみは、 $\Delta \sigma$  に対しては  $E_c$  の代りに、 $E_{c1} = E_c / (1 + \frac{\varphi}{2})$  を考え、

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_d + (\Delta \sigma / E_{c1}) \quad (11)$$

従って、応力度変化は、コンクリート断面については  $\Delta \sigma_{cy} = -E_{c1} (\varepsilon_d - \Delta \varepsilon)$

鋼断面については、

$$\Delta \sigma_{sy} = E_s \Delta \varepsilon$$

前同様に、(12)式に(6)を代入し、全断面についてのつりあい条件を適用すれば、

$$\Delta \varepsilon_u = \varepsilon_d \frac{A_c}{n_1} \left( \frac{d_{cl} y_{cl}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right), \quad \Delta \varepsilon_l = \varepsilon_d \frac{A_c}{n_1} \left( -\frac{d_{cl} y_{s1}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) \quad (13)$$

変化応力度は、

$$\left. \begin{aligned} \text{床版上縁} \quad \Delta \sigma_{cu} &= \varepsilon_d E_{c1} \left\{ \frac{A_c}{n_1} \left( \frac{d_{cl} y_{cl}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) - 1 \right\}, & \text{鋼部上縁} \quad \Delta \sigma_{su} &= \varepsilon_d E_{c1} A_c \left\{ \frac{d_{cl}}{I_{v1}} (h_s - y_{s1}) + \frac{1}{A_{v1}} \right\} \\ \text{床版図心} \quad \Delta \sigma_{co} &= \varepsilon_d E_{c1} \left\{ \frac{A_c}{n_1} \left( \frac{d_{cl}^2}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right) - 1 \right\}, & \text{鋼部下縁} \quad \Delta \sigma_{sl} &= \varepsilon_d E_{c1} A_c \left\{ -\frac{d_{cl} y_{s1}}{I_{v1}} + \frac{1}{A_{v1}} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

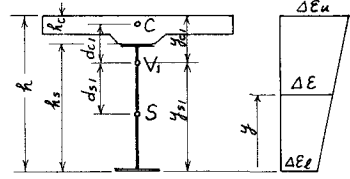


図 - 5

B. クリープ、収縮に基づく不静定力変化によって生じる断面力変化  $\Delta M$ 、および  $\Delta N$  による応力変化つぎにあげるような断面の曲げ変形の変化量、ならびに軸縮変化量による不静定力変化  $\Delta X$  を求め、それより合成桁断面力変化  $\Delta M$ 、および  $\Delta N$  による桁応力を求め、前項 A. により求めた変化応力に加算すれば、全応力変化が求められる。

a) 断面の曲げ変形の変化量としては、当初  $\frac{d\theta}{dx} = \frac{M_d}{EI_v}$

フリー-エンドによる断面の角変形

収縮による断面の角変形

$$\Delta\left(\frac{d\theta}{dx}\right) = \frac{\Delta\epsilon_u - \Delta\epsilon_r}{R} = \frac{N_c d c_1}{E_s I_{v1}} \cdot \frac{2\varphi}{2+\varphi}, \quad \Delta\left(\frac{d\theta}{dx}\right) = \frac{\Delta\epsilon_u - \Delta\epsilon_r}{R} = \epsilon_s \frac{A_c d c_1}{n_1 I_{v1}} \quad (15)$$

b) 断面の軸方向ひずみの変化量としては、当初  $\frac{du}{dx} = \frac{N_d}{EA_v}$

フリー-エンドによる軸方向ひずみ量 (合成図心より  $V_1$  において)  $\Delta\left(\frac{du}{dx}\right) = -\frac{N_c}{E_s A_{v1}} \cdot \frac{2\varphi}{2+\varphi}$

収縮による軸方向ひずみ量 (合成図心より  $V_1$  において)  $\Delta\left(\frac{du}{dx}\right) = -\epsilon_s \frac{A_c}{n_1 A_{v1}}$

(16)

$\Delta M$ 、および  $\Delta N$  による合成桁断面応力度を求める場合、これらは時間を伴う変化であるから、ヤング率比を、 $n_1 = n\left(1 + \frac{\varphi}{2}\right)$  とした合成断面諸値を用いるものとする。

### 3.2 偏心軸力をうける合成床版の有効幅

本構造形式では、プレストレスは主桁位置において集中的に導入されるから、床版内に PC 鋼材を分散配置する場合と異なり、床版内のプレストレス応力の分布状態が、特に幅員の異なる場合などに考慮を要する問題であると考えられた。プレストレスによる軸力をうける場合の床版の有効幅に関しては、H. Bechert の解析<sup>3)</sup>があるが、軸力が偏心して作用する形では取扱っておらず、合成桁では、合成図心位置は有効幅によって変ってくるため、鋼部図心位置に床版が取り付けられるような特殊な場合を除き、一般には正確でない。そこで H. Bechert の方法を、このような場合に対して拡張することを試みた。<sup>4)</sup>

#### a) 交叉格子

床版を主桁上縁で結合されたシヤイ<sup>5)</sup>と考え、これを無数の主、横桁からなる交叉格子とみなして、その軸方向変位  $u$  を固有関数に展開すれば、

$$u = \sum A_i \psi^i(y) \Phi_i(x) B_i \quad (17)$$

ここに  $\Phi_i = \cos \frac{i\pi x}{L}$ 、 $A_i = \left(\int_0^L \Phi_i^2 dx\right)^{-1} = \frac{2}{L}$ 、 $B_i$  は荷重を固有関数に展開したときの係数、 $\psi^i(y)$  は次の微分方程式より求められる。

$$E_c J_y \frac{d^4 u}{dy^4} + C_x^i u = 0 \quad (18)$$

ここに  $E_c J_y$  は横げたの曲げ剛度、 $C_x^i$  は  $\Phi_i$  に対応するバネ常数である。

$4\gamma_i^2 = C_x^i / E_c J_y$  とおき、図-7 の場合の  $\psi$  を求めると、

$$\psi_A^i(y) = \frac{1}{4\gamma_i^2 E_c J_y} (f_1^i \cosh \gamma_i y \cos \gamma_i y + f_2^i \sinh \gamma_i y \sin \gamma_i y) \quad (19)$$

$$f_1^i = \frac{\cosh \gamma_i b \sin \gamma_i b + \sinh \gamma_i b \cos \gamma_i b}{\sinh^2 \gamma_i b + \sin^2 \gamma_i b}, \quad f_2^i = \frac{\cosh \gamma_i b \sin \gamma_i b - \sinh \gamma_i b \cos \gamma_i b}{\sinh^2 \gamma_i b + \sin^2 \gamma_i b}$$

$$y = b \text{ では } \psi_A^i(b) = \frac{f_{3A}^i}{4\gamma_i^2 E_c J_y}, \quad f_{3A}^i = \frac{\sinh \gamma_i b \cosh \gamma_i b + \sin \gamma_i b \cos \gamma_i b}{\sinh^2 \gamma_i b + \sin^2 \gamma_i b} \quad (20)$$

$$\text{また } \int_0^b \psi_A^i(y) dy = \frac{1}{4\gamma_i^2 E_c J_y} \cdot \frac{1}{C_x^i}$$

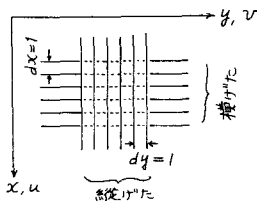


図-6 交叉格子

6) 偏心軸力が作用する場合の有効幅

軸力は鋼部圆心より  $e(x)$  だけ偏心して作用するものとする。  
床版の補剛作用により、版中には軸力  $X$  が、同時に、鋼部上縁の接触線に沿い、引張力が作用する。接触線位置における鋼部のひずみは、 $\varepsilon_R = \frac{1}{E_s I_s} \{ V(r + e \cdot d) - X(r^2 + d^2) \}$ ,  $r^2 = I_s / A_s$

図-2 の場合について、有効幅  $2\lambda e$  の合成断面を考えよ、床版との接触線位置におけるひずみは、図-1 を参照して

$$\varepsilon_V = \frac{V}{E_s A_V} + \frac{V}{E_s I_V} (e - d + d_c), \quad \varepsilon_R \text{ と } \varepsilon_V \text{ を等置し、}$$

$$A_V = A_s + \frac{2\lambda e t}{n}, \quad A_V d_c = A_s d, \quad I_V = A_s (r^2 + d^2 - d \cdot d_c) \text{ の関係を用い}$$

$$\text{よって、} \quad \lambda_e = \frac{n I_s}{2t} \cdot \frac{X}{V(r^2 + e \cdot d) - X(r^2 + d^2)} \quad (21)$$

軸力  $V$  は一定、偏心量は  $e(x)$  とし、つぎのように Fourier 級数に展開する。

$$V = V \sum \frac{4}{i\pi} \sin \frac{i\pi x}{L}, \quad V e = V \sum e_i \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (22)$$

$$\text{版中の圧縮力の合力は、鋼部に作用する } X \text{ に等しいことより、} \quad X = \sum \frac{4}{i\pi} X_i \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (23)$$

交叉格子縦筋に作用する軸圧縮力は、接触線位置において

$$n_x(y=b) = \sum \frac{2\gamma_i f_{s,A}}{i\pi} X_i \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (24)$$

ひずみの適合条件  $(\varepsilon_R)_x = (\varepsilon_C)_x$  にこれらの関係を代入すれば、 $X_i$  が得られる。(23)より  $X$  を得て(21)に代入すれば、結局

$$\lambda_e = \sum \frac{(4/i\pi) r^2 + e_i d}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \bigg/ \sum \frac{\{(4/i\pi) r^2 + e_i d\} \gamma_i f_{s,A}}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (25)$$

(25)式において、 $e_i = 0$  とおけば、鋼部圆心位置に軸力が作用する場合、 $e_i = 4e/i\pi$  とおけば、一定偏心量の場合となるが、この両者に対する有効幅は等しく、

$$\lambda_e = \sum \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \bigg/ \sum \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (26)$$

また、床版コンクリートの収縮を、鋼部が拘束することによる変化応力の分布に関する有効幅について、結果は(26)式に一致するが、この場合は、同式の  $n$  を  $n_1 = n(1 + \frac{\phi}{2})$  にしなければならない。これらは、有効幅が床版コンクリートと鋼部との接触線におけるひずみの経過状態のみに影響され、 $x$  の大きさには無関係であることを想起すれば、当然のことであることが知られる。また(26)式において、 $d=0$  とすれば、H. Behert の求めた一定軸力の場合の式に一致する。さらに、(25)式の分母に軸力  $V$  を乗じ、 $V \rightarrow 0$ ,  $V e_i = m_i$  とおけば、曲げをうける場合の有効幅の式が得られる。

$$\sum \frac{m_i}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \bigg/ \sum \frac{m_i \gamma_i f_{s,A}}{d^2 + r^2 + (n I_s / 2t) \gamma_i f_{s,A}} \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (27)$$

ここに  $m = \sum m_i \sin(i\pi x/L)$  (28),  $m$  は筋に作用する曲げモーメントである。以上により、(25)式は、あらゆる場合を包含していることがわかる。この解析に基づき、種々の荷重状態についての計算を行った結果、示方書規定の有効幅算定のもとになっている曲げをうける状態に比し、偏心プレストレスの場合も、ほとんど差異のないことが認められたが、ケーブル定着点の近くでは、当然

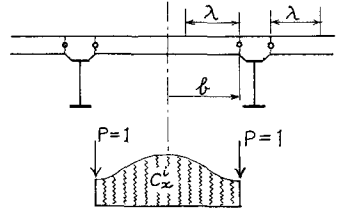


図-7

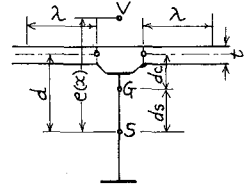


図-8

応力は集中する故、適当な補強を行っておく必要がある。

#### 4. 試算設計について

以上の考察にもとづき、斜張橋形式の連続合成桁道路橋について試算を行ったので、その概要を述べる。

##### A. 試算設計1

比較的小径間の2径間連続合成桁を斜張橋形式とする場合を想定して行ったものである。諸元は図-9に示す通りで、有効幅員6m、 $2 \times 40$ mの一等橋である。中間支梁における断面応力度を、表-1にまとめて示す。

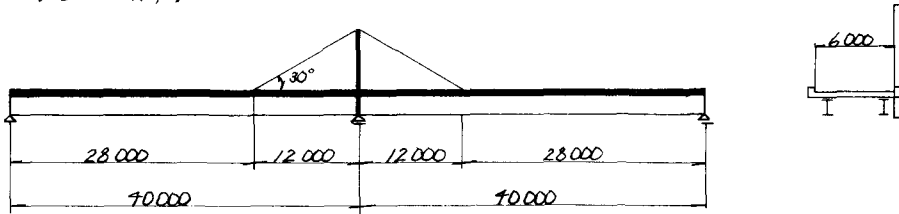


図-9. 試算設計1の仮定諸元。

表中の荷重段階番号は

1. 鋼桁架設時の応力
2. 中間支梁部の床版打設時応力
3. プレストレス導入時の応力
4. 支間部の床版打設時の応力
5. 橋体完成後に作用する付加死荷重と活荷重による応力
6. 7. 持続荷重下におけるクリープ、収縮の影響を表わす。

本橋のケーブル張力(各主桁当り)は、プレストレス導入時で約160t、全荷重作用時で200tと比較的小さく、また、中間支梁部における鋼桁断面は、本試算の出

発点となった、同幅員で支梁上昇下降法を用いた二等橋、 $2 \times 32.6$ mの断面を約12%増加した程度で足りており、本形式により、鋼断面の縮小、スパンの増大が可能であることが分かるがかわれる。  
なお、この試算<sup>5)</sup>に併せて、縮尺1/40の真鍮桁を用いた模形実験も実施している。

##### B. 試算設計2

斜張橋本来の特性を活かす形の寸法比をとり、スパンを増大したもので、橋体諸元は、図-10に示すような有効幅員10mの一等橋である。施工順序は、図-11に示すように、鋼桁自重および、床版1期打設をうける系は、鋼桁のみの斜張橋系、つぎに床版Iの硬化後、ケーブルを緊張し、以後に作

表-1 応力集計表

|    | 荷重段階             | 応力   | 支梁上断面         |               |               |               |
|----|------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|    |                  |      | $\sigma_{cu}$ | $\sigma_{co}$ | $\sigma_{su}$ | $\sigma_{se}$ |
| 1  |                  |      |               |               | -399          | 341           |
| 2  |                  |      |               |               | -404          | 346           |
| 3  |                  |      | 165           | 145           | 712           | -2546         |
| 4  |                  |      | -66           | -36           | -412          | 1485          |
| 5  |                  |      | -55           | -46           | -252          | 1385          |
| 6  | 不静応力に変<br>化なし    | クリープ | -45           | -37           | 448           | -85           |
|    |                  | 収縮   | -8            | -8            | 162           | -15           |
| 7  | 不静応力の変化<br>によるもの | クリープ | -9            | -8            | -80           | 272           |
|    |                  | 収縮   | -4            | -4            | -74           | 159           |
| 8  | 1+2              |      |               |               | -864          | 688           |
| 9  | 8+3              |      | 165           | 145           | -92           | -1859         |
| 10 | 9+4              |      | 99            | 90            | -407          | -373          |
| 11 | 10+5             |      | 43            | 44            | -659          | 1012          |
| 12 | 11+6             |      | -11           | -2            | -29           | 865           |
| 13 | 12+7             |      | -25           | -14           | -190          | 1317          |

用する死荷重等による負曲げモーメントによる床版引張応力と、許容値内にあてめるのに必要な大きさのプレストレスを導入する。本試算では、付加張力は外側ケーブルに $+100t$ 、内側ケーブルに $-75t$ を与えることになっている。床版が二期打設を終り、コンクリートが硬化した後に作用する後死荷重、活荷重に対しては、構造系は全空間合成斜張橋として働く。

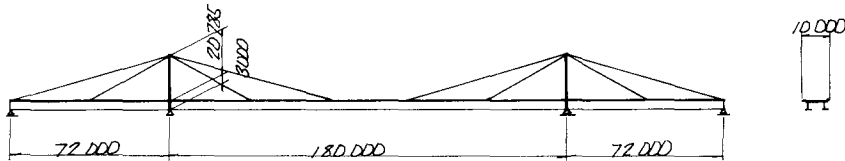


図-10. 試算設計2の仮定諸元.

図-12は、各荷重段階における主桁曲げモーメントを示している。荷重段階番号に対し、それをうける構造系は(図-11)、つぎの通りである。

- ① 鋼桁自重 : A
- ② 床版 I : A
- ③ プレストレス : B
- ④ 床版 II : C
- ⑤ 後死荷重 : D
- ⑥ 活荷重( $M_{min}$ ) : D
- ⑦ 活荷重( $M_{max}$ ) : D

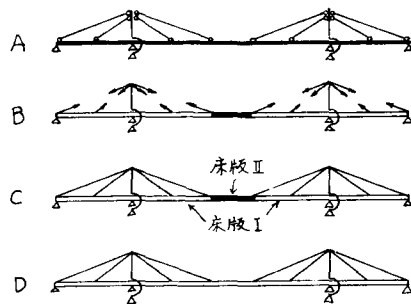


図-11. 構造系の推移

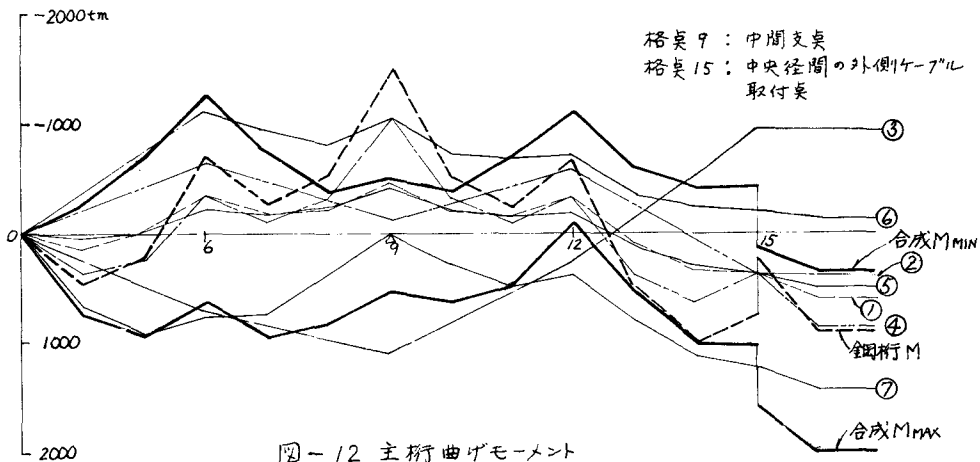


図-12 主桁曲げモーメント

試算設計2の平均主桁断面は、SM50を用いて、上フランジ $450 \times 22$ 、下フランジ $1000 \times 50$ 、ウェブ $3000 \times 12$ 程度となる。最大反力は、塔に $1000t$ 、中間支臺 $460t$ 、端支臺では最大 $170t$ で、ここには常時で $75t$ の反力が生ずる。概算鋼重は $1100t$ となるが、比較計算の結果、これを同形式の鋼床版橋とした場合は約 $1300t$ 、また同一スパン割りの連続トラスとすれば約 $1450t$ となり、本形式の特徴が十分出ているものと思われる。<sup>6)</sup>

### C. 試算設計3.

試算設計2と同一の構造であるが、車道幅員を13mとし、両側に1.5mの歩道を設けて、径間長をさらに増大したものである。橋体諸元は図-13に示す通りで、全径間長は378mとなっている。各荷重段階と、それをうける構造系は、試算設計2と同様に採られている。

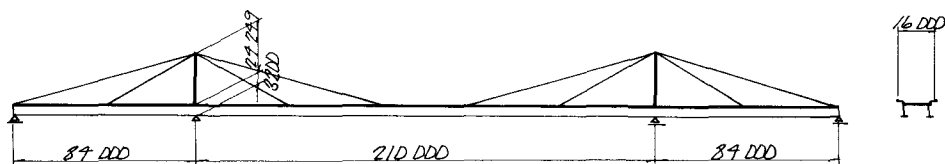
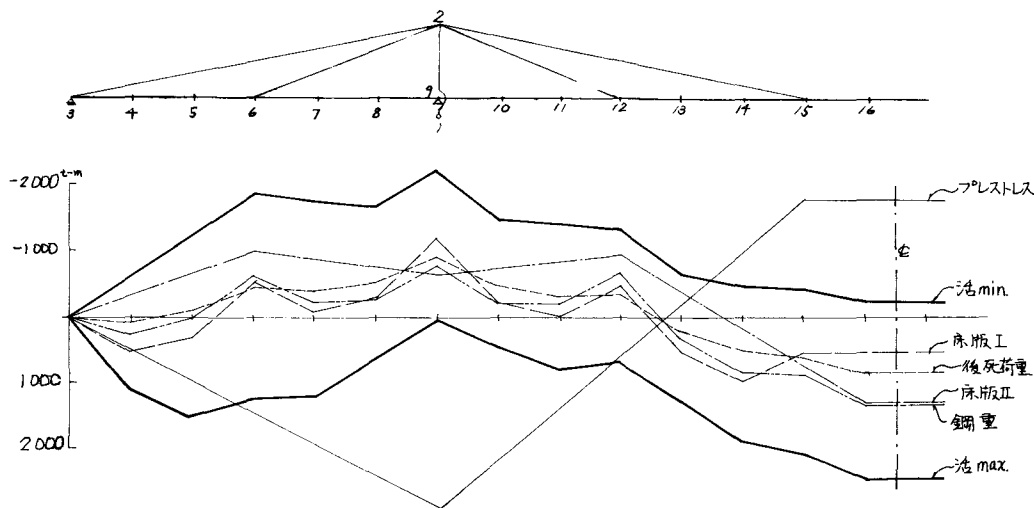


図-13. 試算設計3の仮定諸元.

本橋では、死荷重モーメントを軽減するため、比重1.9の軽量コンクリートを使用することとしている。床版Iを打設、養生後にプレストレスを導入するか、一応、外側ケーブルに200t、内側ケーブルには変化なしとなっている。ケーブルを順次緊張するときは、他のケーブル張力が変化するから、一度に全ケーブルを操作するのではなれば、変化なしの内側ケーブルも矢張り緊張力を加える必要があり、厄介なようであるが、逆にこれを利用しケーブル張力の自由な調整が可能になる。本橋



|     |      |     |      |     |      |      |      |         |
|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|---------|
| 500 | 750  |     |      |     | 750  | 1050 | 600  | U.F.B 巾 |
| 25  | 20   |     |      |     | 37   | 50   | 28   | 〃 厚     |
| 18  | 15   |     | 18   |     | 15   |      |      | Web 厚   |
| 520 | 1200 | 900 | 1200 | 900 | 1200 | 720  | 1000 | L.F.B 巾 |
| 25  | 55   | 42  | 55   | 42  | 65   | 32   | 45   | 〃 厚     |

| 点 | 最大反力 t   | ケーブル | 最大張力 t | 使用 PWS                           |
|---|----------|------|--------|----------------------------------|
| 1 | 1590     | 2~3  | 1251   | 7-PWS 187 (253 mm <sup>2</sup> ) |
| 3 | 273 (引板) | 2~6  | 777    | 7-PWS 170 (193 " )               |
| 9 | 756      | 2~12 | 1086   | 7-PWS 167 (233 " )               |
|   |          | 2~15 | 1072   | 7-PWS 167 (233 " )               |

図-14. 橋梁番号、主桁曲げモーメント、主桁断面表、使用ケーブル表.

のプレストレス量は、後述の理由で、尚検討の余地がある。図-14に、格点番号、各荷重段階における主桁曲げモーメント図、主桁断面、ならびに使用ケーブルの概要を示した。試算設計2, 3ともに塔高は低めに選ばれており、ケーブル傾斜が小さく、プレストレス時に働らく軸圧縮力や、床版の引張応力を打ち消すのに大きな役割をしているが、その影響のためクリープの影響は通常のものに比べ大きくなっているようである。中央径間の外側ケーブルの定着点（格点15）の付近では、プレストレス導入時に、床版に若干の引張応力が生じることになるので、この付近の床版打設を床版IIの施工時に行うなどの考慮が必要ようである。表-2に主要断面の応力の集計結果を示すが、径間中央に近い格点16で、前述のクリープの影響で、持続荷重状態において床版に僅かながら引張が残る結果を示しているが、これはプレストレス量の調整を検討すれば、改善することが可能と考えられる。本橋には、ケーブルにPWSを用いることとし、擬算鋼量は、ケーブルワイヤー重量240tを含め、約1800tとなった。尚、主桁断面の材質はSM58を使用するものとしている。

表-2 主要断面応力集計表

|    | 応力             | 格点 6          |               |               |               | 格点 9          |               |               |               | 格点 16         |               |               |               |
|----|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|    |                | $\sigma_{cu}$ | $\sigma_{co}$ | $\sigma_{su}$ | $\sigma_{se}$ | $\sigma_{cu}$ | $\sigma_{co}$ | $\sigma_{su}$ | $\sigma_{se}$ | $\sigma_{cu}$ | $\sigma_{co}$ | $\sigma_{su}$ | $\sigma_{se}$ |
| 1  | 鋼桁架設           |               |               | 575           | -738          |               |               | 581           | -739          |               |               | -1780         | 888           |
| 2  | 床版I打設          |               |               | 758           | -678          |               |               | 1157          | -772          |               |               | -605          | 363           |
| 3  | プレストレス         | -35.8         | -28.3         | -187          | 779           | -66.5         | -50.7         | -233          | 789           |               |               | 2059          | -1232         |
| 4  | 床版II打設         | 10.6          | 5.5           | 13            | -387          | -1.2          | -3.0          | -27           | -667          |               |               | -1951         | 870           |
| 5  | 微重荷重           | 2.6           | 0.3           | -8            | -192          | 12.7          | 7.7           | 29            | -358          | -17.5         | -11.8         | -77           | 709           |
| 6  | 活荷重I           | -21.0         | -19.1         | -55           | 787           | 0.5           | 0.7           | 5             | 17            | -51.6         | -37.7         | -138          | 1187          |
| 7  | 活荷重II          | 26.5          | 16.7          | 55            | -777          | 33.5          | 20.7          | 63            | -700          | 5.8           | 3.7           | 16            | -133          |
| 8  | 不変応力の<br>変化なし  | クリープ<br>収縮    | 1.1           | 2.1           | -217          | 26            | 11.5          | 5.7           | -753          | 65            | 7.1           | -87           | 19            |
| 9  | 不変応力の<br>変化による | クリープ<br>収縮    | 2.1           | 3.0           | -273          | 37            | 2.5           | 3.6           | -236          | 72            | 2.7           | 3.8           | -281          |
| 10 | 温度変化           | ±0.6          | ±3.2          | ±222          | ±5            | ±1.8          | ±7.3          | ±217          | ±4            | ±1.7          | ±7.7          | ±217          | ±1            |
| 11 | 1 + 2          |               |               | 1053          | -1916         |               |               | 1740          | -1711         |               |               | -2085         | 1251          |
| 12 | 11 + 3         | -35.8         | -28.3         | 719           | -772          | -66.5         | -50.7         | 1507          | -722          |               |               | -31           | 19            |
| 13 | 12 + 4         | -25.2         | -22.8         | 732           | -1351         | -67.7         | -53.7         | 1720          | -839          |               |               | -1982         | 887           |
| 14 | 13 + 5         | -22.6         | -22.5         | 729           | -1523         | -55.0         | -76.0         | 1509          | -1297         | -17.5         | -11.8         | -1572         | 1273          |
| 15 | 14 + 6         | -33.6         | -36.6         | 869           | -1239         | -57.5         | -95.3         | 1507          | -1227         | -67.1         | -46.5         | -1667         | 782           |
| 16 | 15 + 7         | 3.9           | -6.1          | 779           | -2270         | -21.5         | -25.1         | 1572          | -2197         | -11.7         | -7.7          | -1513         | 1160          |
| 17 | 16 + 8 + 9     | -1.7          | -3.3          | 367           | -1805         | -11.7         | -13.0         | 1006          | -1719         | 1.5           | 1.6           | -1873         | 1115          |
| 18 | 17 + 6         | -22.7         | -7.7          | 509           | -1316         | -11.7         | -12.3         | 1011          | -1677         | -50.1         | -33.1         | -1781         | 2307          |
| 19 | 17 + 7         | 29.6          | 13.1          | 617           | -2552         | 22.1          | 7.7           | 1079          | -2619         | 7.3           | 5.5           | -1827         | 782           |
| 20 | 17 + 10/2      | -1.6          | -1.7          | 675           | -1308         | -11.0         | -10.3         | 1115          | -1716         | 22            | 7.1           | -1753         | 1116          |
| 21 | 20 + 6         | -22.6         | -15.8         | 620           | -1317         | -10.5         | -10.1         | 1120          | -1677         | -77.7         | -30.6         | -2071         | 2305          |
| 22 | 20 + 7         | 29.7          | 19.7          | 730           | -2555         | 23.5          | 10.1          | 1183          | -2616         | 8.0           | 8.0           | -1737         | 783           |

本形式橋梁の施工方法に関しては、著者の一人により特許申請中であることを付記する。

#### 参考文献

- 1) 赤尾, 杉本: "斜張橋形式の連続合成桁について", 土木学会関西支部年次学術講演会概要, I, 30, 1968. 5
- 2) M. Yasumi: "Simplified Treatment according to F. Chichokei of the Effect of Creep and Shrinkage in Composite Girders", Technol. Repts. Osaka Univ. 1965.
- 3) H. Bechert: "Die Vollmittragende Breite bei Plattenbalken", Beton und Stahlbetonbau. Heft 12, 1955.
- 4) 赤尾, 宮脇, 栗田: "偏心軸力が集中的に作用する合成床版の有効幅について", 土木学会24周年年次学術講演会講演集 I-131, 1969. 9
- 5) 赤尾, 杉本: "斜張橋形式連続合成桁", 大阪工業大学紀要理工篇, Vol 13, 1969.
- 6) 赤尾, 村田: "斜張橋形式の連続合成桁について(II報)", 土木学会24周年年次学術講演会講演集 I-154, 1969. 9