

Br-77-04

道路事業調査費、
大規模材料構造調査

土 木 研 究 所 資 料

第1339号

コンクリート斜張橋のクリープ・乾燥収縮
解析用プログラム

昭和53年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

ま え が き

斜張橋は吊橋と比較した場合、ケーブルアンカーを必要としないため、架設現場が軟弱地盤地帯である場合が多い我国では、中、長スパンの橋梁にとって有利になる。このため、各地で鋼製の斜張橋が施工されるようになった。コンクリートの斜張橋については今のところその実施例は少ないが、次のような有利性を考えた場合、今後架設されていく可能性は大きいと思われる。すなわち、防蝕の必要性がないため維持管理が容易で、特に海岸に架設される場合には有利である。さらに、斜張橋の主桁には比較的大きな圧縮力が作用するが、一般に圧縮材にはコンクリート桁は鋼桁よりも有利であるといえる。

橋梁研究室ではコンクリート斜張橋の適用スパン長、最適スパン割、構造形式毎の特徴の把握等を行ない、コンクリート斜張橋の設計、施工法に関する研究を進めているが、コンクリート斜張橋の場合は鋼製の斜張橋と異なり、コンクリートのクリープ、乾燥収縮によって部材に長期変形を生じる。したがって、設計に際してこれらの影響を考慮していくことが必要となる。このため、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による断面力の変化、変形等を計算する構造解析用電算プログラムを開発した。すなわち、初期断面力を与えた場合のクリープ、乾燥収縮による断面力の変化および部材の変形を求めるプログラムである。なお、電算プログラミングについては、新日本技研(株)が担当した。また、取りまとめにあたっては、ピー・エス・コンクリート(株)の渡辺実氏の御協力をいただいた。

昭和53年2月

橋梁研究室長 佐 伯 彰 一

同 研究員 高 野 義 武



目 次

ま え が き

1. プログラムの適用できる構造形式	1
2. 解析の手順	2
3. クリープおよび乾燥収縮に関する解析理論	3
3.1 クリープおよび乾燥収縮によるひずみ	3
3.2 クリープおよび乾燥収縮に対応する等価節点力	3
3.3 クリープ換算剛性マトリックス	5
3.4 剛性方程式	6
3.5 クリープおよび乾燥収縮による P C 鋼材の張力変化による断面力の変化	10
3.6 クリープおよび乾燥収縮の基本式の精度について	14
3.7 斜張ケーブルの有効剛度	16
4. ユニット分割法	18
5. プログラム仕様	23
5.1 プログラムの流れ図	23
5.2 プログラムの制限事項	24
5.3 インプット・データ	25

あ と が き

1. プログラムの適用できる構造形式

構造解析用プログラムには死荷重，活荷重，温度変化の影響等すべての荷重条件を与えて，設計用断面力をアウトプットさせる設計プログラムがある。しかし，今年度開発したプログラムは設計プログラムとは異なり，コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による応力の変化，変位等を計算するための解析プログラムである。

斜張橋の構造は主桁の径間数および支持条件，タワーの数および支持条件，斜張ケーブルの配置形状および定着条件等によって種々な形式が考えられる。さらに，各架設段階では逐次構造系が変化する。したがって，今年度作成したプログラムはなるべく汎用性のあるものにするように

- 1) タワーの数
- 2) 径間数
- 3) タワーの支持条件
- 4) ケーブルの本数，配置形状
- 5) 主桁の支持条件
- 6) 主桁のPC鋼材の配置形状

などについては全て任意に選べるようにした。

また，このプログラムは斜張橋以外の骨組構造のクリープおよび乾燥収縮による断面力の変化，変位等を求める場合にも使用することができる。

2. 解 析 の 手 順

このプログラムを用いて、コンクリート斜張橋のクリープおよび乾燥収縮の解析を行なう手順は次のとおりである。

(1) 外力による断面力を算出する。

この計算はクリープおよび乾燥収縮がはじまる前の断面力を求めるものであり、鋼製の斜張橋の場合と同様な計算となる。

ただし、このプログラムではケーブルのサグの影響を考慮していないため、ケーブルのヤング係数としてはサグの影響を考慮したヤング係数を用いる必要がある。

(2) クリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を算出する。

(1)によって得られた断面力を用いて、クリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を計算する。

3. クリープおよび乾燥収縮に関する解析理論

コンクリート斜張橋のクリープと乾燥収縮によって生じる断面力変化の解析には応力法と変形法とが考えられる。応力法によると未知量の数が少なく、電算機容量も比較的少なくて済むが、適用できる構造系に限られて汎用性に欠ける面がある。一方、変形法によると未知量の数が多くなり、大きな電算機容量を必要とするが、任意の構造系への汎用性がある。コンクリート斜張橋の場合は架設段階に従って設計を進めて行く必要があるため、解析プログラムとしては汎用性のあるものを必要とする。そこで今回は変形法を用いた解析プログラムを作成した。

3.1 クリープおよび乾燥収縮によるひずみ

応力度が変化する場合の、クリープおよび乾燥収縮によって発生するコンクリートのひずみ ϵ_b を、近似的に(3.1)式で表わすことにする。

$$\epsilon_b = \frac{1}{E_b} \left(\sigma_{b0} + \frac{\sigma_{ks}}{2} \right) \varphi + \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_{\infty}} \varphi + \frac{\sigma_{ks}}{E_b} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、 σ_{b0} はクリープと乾燥収縮がないとした場合のコンクリート応力度であり、 σ_{ks} はクリープと乾燥収縮によって生ずるコンクリート応力度である。 E_b はコンクリートの弾性係数で一定と考える。 φ_{∞} , φ , $\epsilon_{s\infty}$ はそれぞれ、クリープ係数の最終値、任意時間でのクリープ係数および乾燥収縮度の最終値である。(3.1)式をさらに変形すると、

$$\epsilon_b = \frac{1}{E_{\varphi}} \eta \sigma_{b0} + \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_{\infty}} \varphi + \frac{1}{E_{\varphi}} \sigma_{ks} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、

$$E_{\varphi} = \frac{E_b}{1 + \varphi/2} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\eta = \frac{\varphi}{1 + \varphi/2}$$

上式の第1項、第2項はクリープと乾燥収縮による塑性ひずみであり、第3項は弾性ひずみとなる。したがって、第1項と第2項を初期ひずみとして取り扱い、かつ弾性係数が E_{φ} であるとして解析すればよいことになる。

ここで、 E_{φ} と η をそれぞれクリープ換算ヤング係数、クリープ換算係数と呼ぶことにする。

3.2 クリープおよび乾燥収縮に対応する等価節点力

部材*i-j*に関する初期ひずみによる等価節点力を求める。乾燥収縮による等価節点力は次のようである。

$$N_{si} = - N_{sj} = E_{\varphi} A_b \cdot \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_{\infty}} \varphi \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

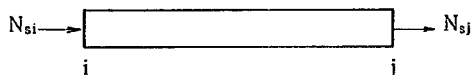


図-3.1 乾燥収縮による等価節点力

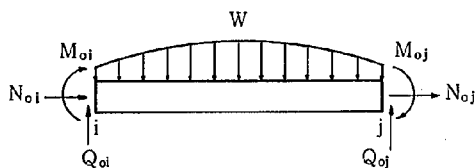


図-3.2 クリープ開始前に部材 i-j に作用している力

次に、(3.2)式第1項のクリープによる塑性ひずみに対応する等価節点力を求める。i-j 部材の任意点の応力度は部材端の断面力と部材に作用している外力によって定まる。したがって、 σ_{b0} によって生ずるクリープひずみに対応する等価節点力はこれらの断面力と外力によって表わすことができ、次式のようになる。

$$\begin{aligned} N_{ki} &= (N_{oi} + N_{wi}) \cdot \eta & N_{kj} &= (N_{oj} + N_{wj}) \cdot \eta \\ M_{ki} &= (M_{oi} + M_{wi}) \cdot \eta & M_{kj} &= (M_{oj} + M_{wj}) \cdot \eta \\ Q_{ki} &= (Q_{oi} + Q_{wi}) \cdot \eta & Q_{kj} &= (Q_{oj} + Q_{wj}) \cdot \eta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

ここで、 N_k , M_k , Q_k ; σ_{b0} によるクリープひずみに対応する等価節点力

N_o , M_o , Q_o ; クリープ、乾燥収縮開始前の部材断面力

N_w , M_w , Q_w ; 外力 w による等価節点力

$$\eta; \frac{\varphi}{1 + \varphi/2}$$

したがって、式(3.4)、(3.5)よりクリープおよび乾燥収縮に対応する i-j 部材の等価節点力は式(3.6)のように書くことができる。

$$\left[X_{\varphi 1} \right] = \begin{bmatrix} N_{ks, i} \\ Q_{ks, i} \\ M_{ks, i} \\ N_{ks, j} \\ Q_{ks, j} \\ M_{ks, j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_{oi} + N_{wi}) \cdot \eta + E_{\varphi} A_b \frac{\varepsilon_{s00}}{\varphi_{\infty}} \varphi \\ (Q_{oi} + Q_{wi}) \cdot \eta \\ (M_{oi} + M_{wi}) \cdot \eta \\ (N_{oj} + N_{wj}) \cdot \eta - E_{\varphi} A_b \frac{\varepsilon_{s00}}{\varphi_{\infty}} \varphi \\ (Q_{oj} + Q_{wj}) \cdot \eta \\ (M_{oj} + M_{wj}) \cdot \eta \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

3.3 クリープ換算剛性マトリックス

クリープおよび乾燥収縮に対応する節点力 $[X_\varphi]$ と節点変位 $[d_\varphi]$ との関係は次式のように書くことができる。

$$[X_\varphi] = [K_\varphi][d_\varphi] \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

ここで $[K_\varphi]$ は部材の剛性（剛性マトリックス）を表わしており、バネ部材についていえばバネ定数に相当するものである。クリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を解析する際に用いられる剛性マトリックスを、ここではクリープ換算剛性マトリックスと呼ぶことにする。

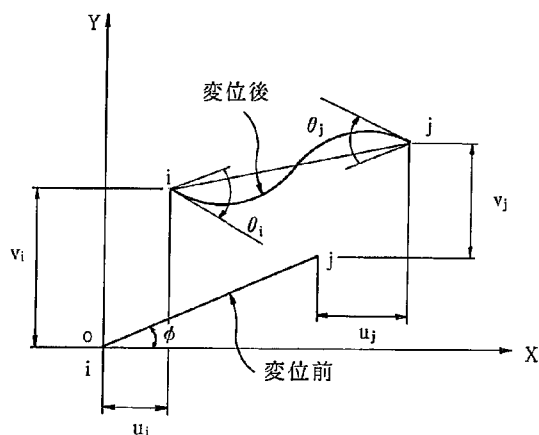


図-3.3 部材の節点変位

式(3.1), (3.2)を対比すると、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を解析するには、コンクリート部材のヤング係数 E_b をクリープ換算ヤング係数 E_φ で置き換えればよいことがわかる。すなわち、剛節部材のクリープ換算剛性マトリックスは(3.8)式で与えられる。

$$[\bar{K}_\varphi] = E_\varphi \begin{bmatrix} \frac{A_b}{\ell_b} & 0 & 0 & -\frac{A_b}{\ell_b} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12I_b}{\ell_b^3} & \frac{6I_b}{\ell_b^2} & 0 & -\frac{12I_b}{\ell_b^3} & \frac{6I_b}{\ell_b^2} \\ 0 & \frac{6I_b}{\ell_b^2} & \frac{4I_b}{\ell_b} & 0 & -\frac{6I_b}{\ell_b^2} & \frac{2I_b}{\ell_b} \\ -\frac{A_b}{\ell_b} & 0 & 0 & \frac{A_b}{\ell_b} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12I_b}{\ell_b^3} & -\frac{6I_b}{\ell_b^2} & 0 & \frac{12I_b}{\ell_b^3} & -\frac{6I_b}{\ell_b^2} \\ 0 & \frac{6I_b}{\ell_b^2} & \frac{2I_b}{\ell_b} & 0 & -\frac{6I_b}{\ell_b^2} & \frac{4I_b}{\ell_b} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

ここで、

$X\phi$; 構造全体の全体座標系に関する節点力ベクトル

$K\phi$; " " クリープ換算剛性マトリックス

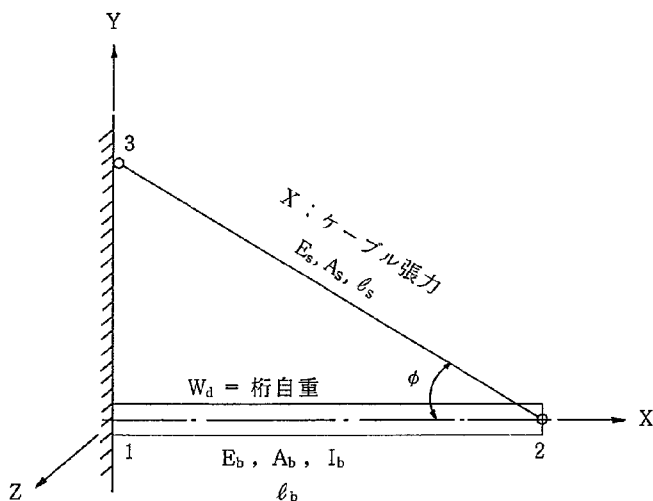
$D\phi$; " " 節点変位ベクトル

この剛性方程式を未知節点変位について解き、得られた節点変位を部材に関する剛性方程式に代入することによって、クリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を求めることができる。

以上で述べてきたクリープおよび乾燥収縮による断面力の変化を解析する方法が妥当であることを証明するために、あるいはこの方法を具体的に説明するために例題を示すことにする。

例題 1

図一 3.4 に示したような、自由端が斜張ケーブルで支持された片持梁について、クリープと乾燥収縮による斜張ケーブルの張力変化 X_{ks} を求めることにする。



図一 3.4 斜張ケーブルで支持された片持梁

各節点の支持条件より未知節点変位は節点 2 の X 方向変位 u_2 、Y 方向変位 v_2 および Z 軸回りの回転変位 θ_{z2} である。1—2 部材の未知節点変位に対応する要素を抜き出した剛性マトリックスは、コンクリート部材のクリープ換算ヤング係数 E_ϕ を考慮して、

$$\begin{array}{ccc}
u_2 & v_2 & \theta_{22} \\
[K_{12}] = & \begin{bmatrix} \frac{E\varphi A\varphi}{\ell_b} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12E\varphi I_b}{\ell_b^3} & -\frac{6E\varphi I_b}{\ell_b^2} \\ 0 & -\frac{6E\varphi I_b}{\ell_b^2} & \frac{4E\varphi I_b}{\ell_b} \end{bmatrix} & \dots\dots\dots(3.13)
\end{array}$$

部材 2-3 の未知節点変位に対応する要素を抜き出した剛性マトリックスは、全体座標系について次のようになる。この際、部材 2-3 はクリープしないのでヤング係数は斜張ケーブルのものをそのまま用いる。

$$\begin{array}{ccc}
u_2 & v_2 & \theta_{22} \\
[K_{23}] = & \begin{bmatrix} \frac{E_s A_s}{\ell_s} C^2 & \frac{E_s A_s}{\ell_s} C S & 0 \\ \frac{E_s A_s}{\ell_s} C S & \frac{E_s A_s}{\ell_s} S^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \dots\dots\dots(3.14)
\end{array}$$

したがって、構造全体の剛性マトリックスは、

$$\begin{array}{ccc}
u_2 & v_2 & \theta_{22} \\
\mathbf{K}\varphi = [K_{12}] + [K_{23}] & & \\
= & \begin{bmatrix} \frac{E\varphi A_b}{\ell_b} + \frac{E_s A_s}{\ell_s} C^2 & \frac{E_s A_s}{\ell_s} C S & 0 \\ \frac{E_s A_s}{\ell_s} C S & \frac{12E\varphi I_b}{\ell_b^3} + \frac{E_s A_s}{\ell_s} S^2 & -\frac{6E\varphi I_b}{\ell_b^2} \\ 0 & -\frac{6E\varphi I_b}{\ell_b^2} & \frac{4E\varphi I_b}{\ell_b} \end{bmatrix} & \dots\dots\dots(3.15)
\end{array}$$

また、節点 2 についての等価節点力ベクトルは、

$$\begin{array}{ccc}
\mathbf{X}\varphi = \begin{bmatrix} N_{KS,2} \\ Q_{KS,2} \\ M_{KS,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X \cos\phi \eta - E\varphi A_b \frac{\varepsilon_{s\infty}}{\varphi_{\infty}} \varphi \\ (X \sin\phi - \frac{W_d \ell_b}{2}) \eta \\ -\frac{W_d \ell_b^2}{12} \eta \end{bmatrix} & & \dots\dots\dots(3.16)
\end{array}$$

以上により、節点2の未知節点変位ベクトル $D\varphi$ は剛性方程式を解いて得られる。すなわち、

$$\begin{aligned} X\varphi &= K\varphi \cdot D\varphi \\ D\varphi &= K\varphi^{-1} \cdot X\varphi \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

求められた節点変位から、部材2-3の部材力、すなわち、コンクリートのクリープと乾燥収縮による斜張ケーブルの張力変化は次式によって得られる。

$$X_{ks} = \frac{E_s A_s}{\ell_s} (v_2 \cos \phi - u_2 \sin \phi) \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

いまここで、 $\phi = 0$ の場合について考えてみることにする。これは片持梁の図心位置に配置されたP C鋼材の張力の変化の計算に相当する。 $C = \cos 0 = 1$, $S = \sin 0 = 0$ から剛性方程式は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} -X\eta - E_\varphi A_b \frac{\varepsilon_{s\infty}}{\varphi_\infty} \varphi \\ -\frac{W_d \ell_b}{2} \eta \\ -\frac{W_d \ell_b^2}{12} \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_\varphi A_b}{\ell_b} + \frac{E_s A_s}{\ell_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12 E_\varphi I_b}{\ell_b^3} & \frac{6 E_\varphi I_b}{\ell_b^2} \\ 0 & \frac{6 E_\varphi I_b}{\ell_b^2} & \frac{4 E_\varphi I_b}{\ell_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$E_\varphi = \frac{E_b}{1+\varphi/2}$, $\eta = \frac{\varphi}{1+\varphi/2}$ であることを考慮して、 u_2 に関して剛性方程式を解くと、

$$u_2 = \frac{-\frac{X \cdot \varphi}{1+\varphi/2} - E_b A_b \frac{\varepsilon_{s\infty}}{\varphi_\infty} \frac{\varphi}{1+\varphi/2}}{\frac{E_b A_b}{(1+\varphi/2)\ell_b} + \frac{E_s A_s}{\ell_s}} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

クリープおよび乾燥収縮によるP C鋼材の張力の変化は、

$$X_{ks} = \frac{E_s A_s}{\ell_s} u_2 = - \frac{\frac{E_s A_s}{E_b A_b} \frac{\ell_b}{\ell_s} X\varphi + \frac{\varepsilon_{s\infty} \cdot \varphi}{\varphi_\infty} E_s A_s \frac{\ell_b}{\ell_s}}{1 + \frac{E_s A_s}{E_b A_b} \frac{\ell_b}{\ell_s} (1+\varphi/2)} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

ここで、 $\ell_b = \ell_s$, $\varphi = \varphi_\infty$, $A_s/A_b = \sigma_{cp}/\sigma_{pt}$, $X/A_b = \sigma_{cp}$ であるから、

$$X_{ks} = - \frac{A_s \left(\frac{E_s}{E_b} \varphi_\infty \sigma_{cp} + E_s \varepsilon_{s\infty} \right)}{1 + \frac{E_s}{E_b} \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} (1+\varphi_\infty/2)} \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

また、 $\frac{X_{KS}}{A_s} = \sigma_{P\varphi}$ であるから、最終的に次式が得られる。

$$\sigma_{P\varphi} = - \frac{\frac{E_s}{E_b} \varphi_{\infty} \sigma_{cp} + E_s \epsilon_{s\infty}}{1 + \frac{E_s}{E_b} \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} (1 + \varphi_{\infty}/2)} \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

$\sigma_{P\varphi}$; コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による P C 鋼材の応力度の減少量

σ_{cp} ; 考えている P C 鋼材の位置におけるコンクリートの圧縮応力度

σ_{cpt} ; 考えている P C 鋼材の位置におけるプレストレスを与えた直後のプレストレス

σ_{pt} ; プレストレスを与えた直後の P C 鋼材の引張応力度

(3.23) 式はプレストレストコンクリート設計施工指針の式と一致しているので、本解析法は妥当であるといえる。

3.5 クリープおよび乾燥収縮による P C 鋼材の張力変化による断面力の変化

P C 鋼材のプレストレス力は外力として取り扱うことにする。また、 $i-j$ 部材について考え、クリープおよび乾燥収縮開始前のプレストレス力を一定と仮定して Z_v で表わし、 t 時間後のクリープおよび乾燥収縮による張力変化を Z_{ks} で表わすことにする。

Z_v による等価節点力は 3.2 で説明したものと同様な方法で求められる。コンクリート部材の変形自体が計算過程で未知量であるから Z_{ks} も未知量である。

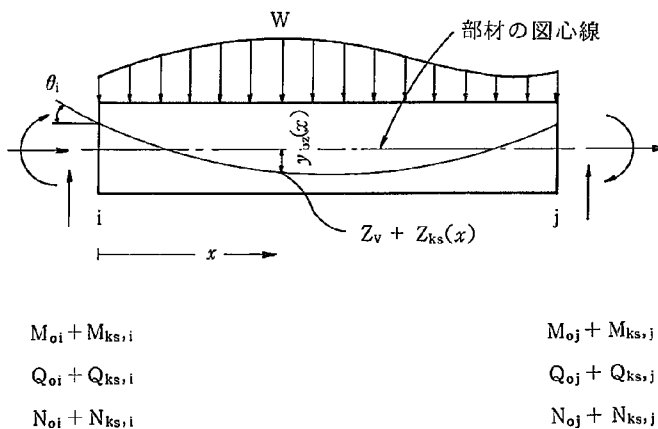


図-3.5 クリープおよび乾燥収縮による P C 鋼材の張力変化に関する等価節点力

まずクリープおよび乾燥収縮の終了後の状態について断面力の釣合条件を考えることにする。

添付 0 はクリープおよび乾燥収縮開始前の節点力を示し、この節点力は既知量である。また添字 ks はクリープおよび乾燥収縮による節点力の変化量を示し、この節点力は未知量である。この状態での任意の断面における曲げモーメント $M(x)$ および軸力 $N(x)$ は次の様に表わすことができる。すなわち、

$$\begin{aligned} M(x) = & M_{oi} + M_{ks,i} - (Z_v + Z_{ks}(0)) \cdot \cos \theta_0 \cdot y_{bz}(0) \\ & + \{Q_{oi} + Q_{ks,i} - (Z_v + Z_{ks}(0)) \cdot \sin \theta_0\} x \\ & + (Z_v + Z_{ks}(x)) \cos \theta_x \cdot y_{bz}(x) + M_w(x) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.24a)$$

$$\begin{aligned} N(x) = & N_{oi} + N_{ks,i} - (Z_v + Z_{ks}(0)) \cos \theta_0 \\ & + (Z_v + Z_{ks}(x)) \cos \theta_x + N_w(x) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.24b)$$

したがって、任意断面における P C 鋼材位置の応力度 $\sigma_b(x)$ は、

$$\sigma_b(x) = \left(\frac{M(x)}{I_b} y_{bz}(x) + \frac{N(x)}{A_b} \right) = \sigma_{b0}(x) + \sigma_{b,ks}(x) \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

となり、それに対応するひずみ $\epsilon_b(x)$ は次のようになる。

$$\epsilon_b(x) = \frac{1}{E_b} (\sigma_{b0}(x) + \frac{\sigma_{b,ks}(x)}{2}) \varphi + \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_{\infty}} \varphi + \frac{\sigma_{b,ks}(x)}{E_b} \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

ここで、P C 鋼材のひずみ $\epsilon_{bz}(x)$ とコンクリートのひずみ $\epsilon_b(x)$ の連続条件より、次式が成り立つ。

$$\frac{Z_{ks}(x)}{A_s E_s} = \epsilon_{bz}(x) = \epsilon_b(x) \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

この式を $Z_{ks}(x)$ について解いて、 M_{oi} 、 N_{oi} 、 Z_v などの既知量および $M_{ks,i}$ 、 $N_{ks,i}$ などの未知量によって $Z_{ks}(x)$ を表わすことが可能である。この $Z_{ks}(x)$ に対応する等価節点力を計算し、これを剛性方程式に代入すれば問題は解決したことになるが、この方法は一般に非常に複雑である。

そこで、ここでは繰返し計算法によることにした。まず第 1 回目の計算では $Z_{ks}(x)$ を近似的に求めて既知量として扱い、得られた解を用いて $Z_{ks}(x)$ のより精度の高い値を計算する。そしてその結果を用いてさらに第 2 回目の計算を行なう。 $Z_{ks}(x)$ の最初の近似値は、P C 鋼材位置のコンクリートのひずみ $\epsilon_b(x)$ をクリープ開始前に存在する応力だけから計算して求める。すなわち、乾燥収縮を省略した場合次のようになる。

$$Z_{ks}(x) = A_s E_s \epsilon_b(x) = A_s E_s \frac{1}{E_b} \sigma_{b0}(x) \cdot \varphi \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

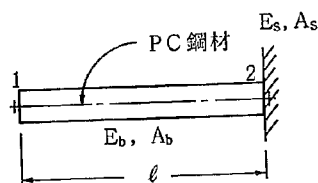
Z_v は、部材 $i-j$ にクリープ開始前に存在するコンクリート応力度 $\sigma_{b0}(x)$ を計算するためにだけ必要であり、したがって、 Z_v を外力として扱う場合、部材 $i-j$ に作用するものだけを考慮して部材端に作用するものは考慮してはならない。これに対して、 $Z_{ks}(x)$ は系に作用する外力になり、

$$\epsilon_b = \frac{1}{E_\varphi} \eta \sigma_{b0} + \frac{\sigma_{ks}}{E_\varphi} \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

という変換を行なった場合，弾性的なひずみ σ_{ks}/E_φ にのみ関係する量になる。したがって，等価節点力のある部材 $i-j$ について計算する場合には部材端に作用する荷重をも考慮する必要がある。

例題 2

図に示したようなプレストレストコンクリートの片持梁を考えよう。片持梁にはプレストレス力 Z_v のみが作用しているものとし，自重と乾燥収縮による影響は無視することにする。



図—3.6 プレストレストコンクリート片持梁

節点 1 に作用している断面力 N_{01} は Z_v であるから，コンクリートのクリープ変形による等価節点力 N_{k1} は，

$$N_{k1} = N_{01}\eta = Z_v \cdot \eta$$

となる。次に，P C 鋼材張力の変化量 $Z_{ks}(x)$ は，今の場合は全長にわたって一定であり，第 1 近似値として次式が得られる。

$$Z_{ks}^{\text{①}} = A_s \cdot E_s \frac{\sigma_{bo}}{E_b} \varphi = A_s E_s \frac{Z_v}{E_b A_b} \varphi$$

したがって，等価節点力 $N_{ks,1}^{\text{①}}$ は，

$$N_{ks,1}^{\text{①}} = - Z_{ks}^{\text{①}} = - \frac{E_s A_s}{E_b A_b} Z_v \cdot \varphi$$

以上により，節点 1 に関する剛性方程式は，

$$Z_v \cdot \eta - \frac{E_s A_s}{E_b A_b} Z_v \varphi = \frac{E_s A_b}{\ell} u_{ks,1}^{\text{①}}$$

これを解いてクリープ終了後の節点 1 の変形を求めると，

$$u_{ks,1}^{\text{①}} = \frac{\ell}{E_s A_b} \left(Z_v \eta - \frac{E_s A_s}{E_b A_b} Z_v \cdot \varphi \right)$$

したがって，コンクリートの断面力の変化量 $N_{ks,1}^{\text{①}}$ は，

$$N_{KS,1}^{\textcircled{O}} = u_{KS,1}^{\textcircled{O}} \frac{E_s A_b}{\ell} - N_{KS}$$

$$= - \frac{E_s A_s}{E_b A_b} \cdot Z_v \cdot \varphi$$

これで第1回目の計算が終了したわけである。次に第2回目の計算に入ることとする。コンクリートのひずみ ϵ_b を計算すると、

$$\begin{aligned} \epsilon_b &= \frac{1}{E_b} (\sigma_{b0} + \frac{\sigma_{KS}^{\textcircled{O}}}{2}) \varphi + \frac{\sigma_{KS}^{\textcircled{O}}}{E_b} \\ &= \frac{1}{E_b} \frac{N_{01}}{A_b} \varphi + (1 + \frac{\varphi}{2}) \frac{N_{KS,1}^{\textcircled{O}}}{E_b A_b} \end{aligned}$$

したがって、P C鋼材張力の変化量の第2近似値 $Z_{KS}^{\textcircled{O}}$ は、

$$\begin{aligned} Z_{KS}^{\textcircled{O}} &= A_s E_s \epsilon_b \\ &= \frac{E_s A_s}{E_b A_b} \{ N_{01} \cdot \varphi + (1 + \frac{\varphi}{2}) N_{KS,1}^{\textcircled{O}} \} \end{aligned}$$

コンクリートの断面力の変化量 $N_{KS,1}^{\textcircled{O}}$ は次のようになる。

$$N_{KS,1}^{\textcircled{O}} = - Z_{KS}^{\textcircled{O}}$$

以上に示した繰返し過程を必要な精度が得られるまで繰返す。

数値計算例として、 $E_s/E_b = 6$ 、 $A_s/A_b = 0.0146$ 、 $\varphi = 3.0$ を代入して計算すると以下の様な結果が得られる。ここで、この場合の正解は(3.23)式によって得られる。

$$\begin{aligned} Z_{KS} &= \frac{\frac{E_s A_s}{E_b A_b} \varphi}{1 + (1 + \varphi/2) \frac{E_s A_s}{E_b A_b}} Z_v \\ &= \frac{6 \times 0.0146 \times 3.0}{1 + 2.5 \times 6 \times 0.0146} \cdot Z_v \\ &= 0.2156 Z_v \end{aligned}$$

	$Z_{KS}^{(n)}$	$Z_{KS}^{(n)}/Z_{KS}$
1 回目	0.2628	1.219
2 "	0.2052	0.952
3 "	0.2179	1.011
4 "	0.2151	0.998

以上この例題では、繰返し回数は3回程度で十分収束している。

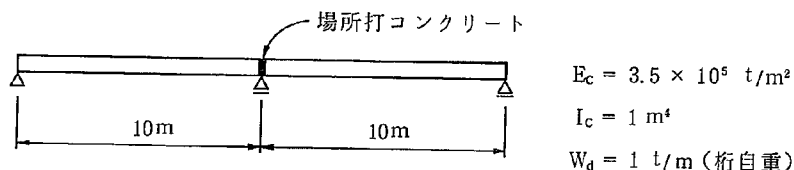
3.6 クリープおよび乾燥収縮の基本式の精度について

簡略化したクリープおよび乾燥収縮の基本式(3.2)を用いても、一般には設計計算上大きな問題は生じないであろう。しかしながら、斜張橋に関しては、簡略化した基本式を直接用いた場合、計算誤差が大きくなる恐れがある。このような問題はクリープ係数 φ を n 等分することによって解決することができる。すなわち、基本式中の φ のかわりに $\Delta\varphi = \varphi/n$ を用いて段階的に繰り返し計算すればよく、これによって厳密に計算したものと比較して十分な精度の解を得ることができる。

以上、簡略化した計算方法の精度を簡単な例題によって検討してみることにする。

例題 3

図一 3.7 に示したような、各径間ごとにプレキャスト桁を架設し、これらを支点上で結合した 2 径間連続桁について検討する。なお、クリープ係数は $\varphi = 2.0$ とし、コンクリートの材令差はないものとする。



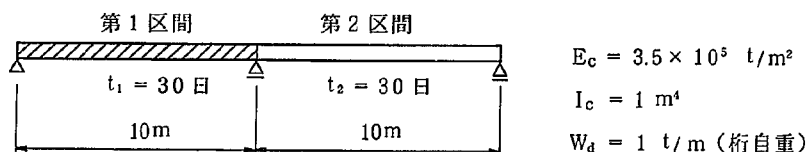
図一 3.7 プレキャスト桁を支点上で結合した連続桁

中間支点のクリープによる曲げモーメント (tm)

分割数 n	1	3	5
① 厳密解	-1 0.8 0	-1 0.8 0	-1 0.8 0
② 簡略解	-1 2.4 9	-1 0.9 3	-1 0.8 5
② / ①	1.1 5 6	1.0 1 2	1.0 0 5

例題 4

図一 3.8 に示したような、片押し式の分割施工によって架設される 2 径間連続桁について検討する。第 1 区間、第 2 区間の所要施工日数はそれぞれ $t_1 = 30$ 日、 $t_2 = 30$ 日 とし、各区間の最終クリープ係数を $\varphi = 2.0$ とする。ここで、クリープ進行度に関する補正係数を $x = 1/120$ とする。



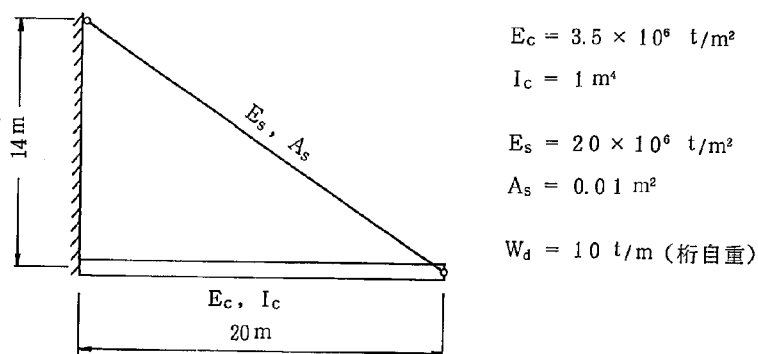
図一 3.8 分割施工によって架設される連続桁

中間支点のクリープによる曲げモーメント (tm)

分割数 n	1	3
① 厳密解	-5 2.1	-5 2.1
② 簡略解	-5 8.9	-5 2.5
② / ①	1.1 3 1	1.0 0 8

例題 5

図一 3.9 に示したような、支保工施工された、先端が斜張ケーブルで支持された片持梁について検討する。なおクリープ係数は $\varphi = 2.0$ とする。



図一 3.9 先端が斜張ケーブルで支持された片持梁

斜張ケーブルのクリープによる張力変化 (t)

分割数 n	1	3
① 厳密解	3 1.8	3 1.8
② 簡略解	3 4.5	3 1.9
② / ①	1.0 8 5	1.0 0 3

以上の計算結果からわかるように、クリープ係数を3等分した場合の誤差は2%以内におさまっている。したがって、クリープ係数を3等分程度に分割して繰り返し計算すれば、この例題については十分満足できる精度の解となる。

3.7 斜張ケーブルの有効剛度

斜張ケーブルの剛度は斜張ケーブルのサグ量によって影響を受ける。サグの影響を考慮した斜張ケーブルの有効剛度は(3.30)式によって示すことができる。

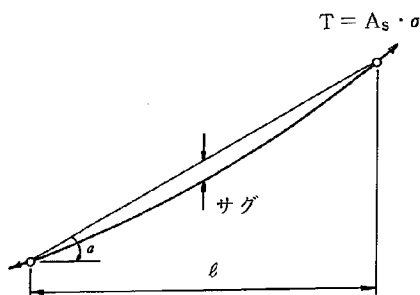
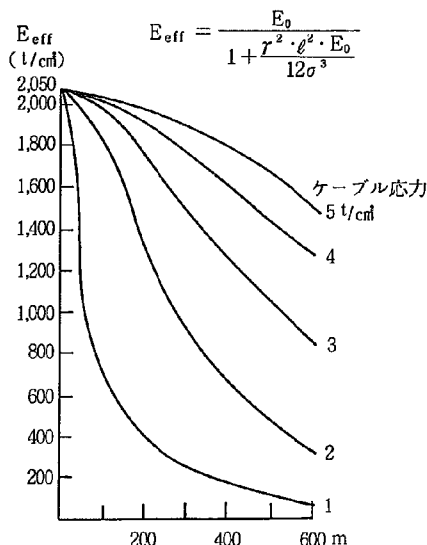


図 3.10 斜張ケーブルのサグ



図— 3.11 サグのある斜張ケーブルの有効ヤング係数 E_{eff}

$$A_s \cdot E_{eff} = \frac{A_s E_0}{1 + \frac{r^2 \ell^2 E_0}{12\sigma^3}} \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

ここで、

- A_s : ケーブル断面積
- E_0 : 直線ケーブルのヤング係数
- E_{eff} : サグのあるケーブルのヤング係数
- r : ケーブルの単位重量
- ℓ : ケーブルの水平長
- σ : ケーブルの引張応力度

(3.30) 式からわかるように、ケーブル応力の増大とともにケーブルの剛性が增大するので、

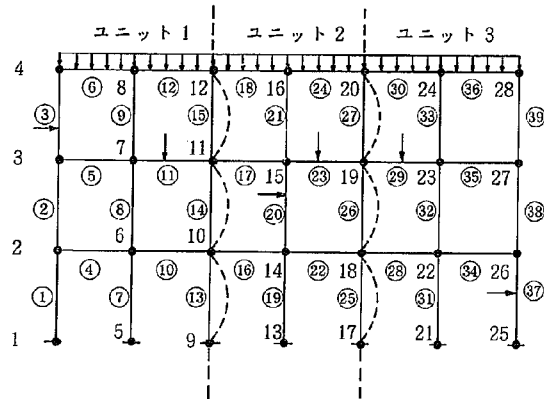
斜張ケーブルは高い応力を導入しておく必要がある。また斜張ケーブルの剛度は塔と桁定着部の水平距離 l の 2 乗に比例して減少する（図－3.11）。

斜張橋の構造解析に際しては、このサグの影響を考慮して求めた斜張ケーブルの有効ヤング係数を用いる必要がある。

4. ユニット分割法

この手法は解析の対象とする構造を幾つかの部分（これをユニットと称する）に分割して、1つのユニットについて剛性方程式を組み立て、全体の計算を小規模な逆行列計算の積み重ねに変換する手法である。おのおののユニットはユニット番号の小さい順に処理され、次のユニットに関連する未知数は後の段階へ持ち越されるのである。

この手法は、幾つもの荷重条件について計算が可能であり、また1つのユニットについての計算が、主記憶領域のなかで実行可能であればユニット数を増すことによって大きな構造を解析することができる。



図—4.1 ユニット分割

今、構造を幾つかのユニットに分割し、それぞれのユニットについてそれに含まれる節点を次の規則に従って3つのクラスに分類する。

表—4.1 節点のクラス分け

クラス		記号
1	他のいずれのユニットにも接続していない節点	A
2	前のユニット（番号の若い）には接続しているが、後のユニットには接続していない節点	
3	後のユニットには接続しているが、前のユニットには接続していない節点	

図-4.1 について節点のクラス分けを行なうと次のようになる。

表-4.2 節点のクラス分けの例

ユニット 番 号	ユニットに含まれる 部 材 番 号	クラス 1 の 節 点 番 号	クラス 2 の 節 点 番 号	クラス 3 の 節 点 番 号
1	① ② ③ ④ ⑤ ⑥	1, 2, 3, 4		9, 10, 11, 12
	⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫	5, 6, 7, 8		
	⑬ ⑭ ⑮			
2	⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑	13, 14, 15, 16	9, 10, 11, 12	17, 18, 19, 20
	㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗			
3	㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝	21, 22, 23, 24	17, 18, 19, 20	
	㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴	25, 26, 27, 28		

まず、ユニット1の剛性方程式をクラス1およびクラス2の節点が先にくるように配列する。

$$\begin{Bmatrix} F_1^A \\ F_1^B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1^{AA} & K_1^{AB} \\ K_1^{BA} & K_1^{BB} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1^A \\ \delta_1^B \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、下添字はユニット番号、上添字Aはクラス1とクラス2の節点（後のユニットとの境界上にない節点）、Bはクラス3の節点（後のユニットとの境界上にある節点）を表わす。

また、剛性マトリックスに付けた添字はそれぞれ、

AA ; 節点力ベクトル F_1^A と節点変位ベクトル δ_1^A とを関係づける剛性マトリックス

AB ; 節点力ベクトル F_1^A と節点変位ベクトル δ_1^B とを関係づける剛性マトリックス

BA ; 節点力ベクトル F_1^B と節点変位ベクトル δ_1^A とを関係づける剛性マトリックス

BB ; 節点力ベクトル F_1^B と節点変位ベクトル δ_1^B とを関係づける剛性マトリックス

であることを表わしている。(4.1)式を $\{F_1^A\}$ と $\{F_1^B\}$ について求めると、

$$\{F_1^A\} = [K_1^{AA}]\{\delta_1^A\} + [K_1^{AB}]\{\delta_1^B\} \quad \dots\dots\dots (4.2 a)$$

$$\{F_1^B\} = [K_1^{BA}]\{\delta_1^A\} + [K_1^{BB}]\{\delta_1^B\} \quad \dots\dots\dots (4.2 b)$$

この段階以後(4.2 a)式には、もはや加わる節点はないから $\{\delta_1^A\}$ を消去することができる。すなわち、

$$\{\delta_1^A\} = [K_1^{AA}]^{-1}(\{F_1^A\} - [K_1^{AB}]\{\delta_1^B\}) \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

これを(4.2 b)式に代入すると、

$$\{F_1^B\} - [K_1^{BA}][K_1^{AA}]^{-1}\{F_1^A\} = ([K_1^{BB}] - [K_1^{BA}][K_1^{AA}]^{-1}[K_1^{AB}])\{\delta_1^B\} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

(4.4) 式はユニット 1 とユニット 2 の境界に関する未知変位 $\{\delta_1^B\}$ と節点力 $\{F_1^B\}$ の間の関係を表わす。これで $\{\delta_1^A\}$ が消去され、ユニット 1 の特性がクラス B の節点で表わされたことになり、連立 1 次方程式の元数が $\{\delta_1^A\}$ の分だけ減少したことになる。ここで、

$$[K_1^{BB}] - [K_1^{BA}][K_1^{AA}]^{-1}[K_1^{AB}] = [K_{2M}^{22}] \quad \dots\dots\dots (4.5 a)$$

$$\{F_1^B\} - [K_1^{BA}][K_1^{AA}]^{-1}\{F_1^A\} = \{F_{2v}^2\} \quad \dots\dots\dots (4.5 b)$$

で表わすと、(4.4) 式は

$$\{F_{2v}^2\} = [K_{2M}^{22}]\{\delta_1^B\} \quad \dots\dots\dots (4.5 c)$$

となる。

このようにしてできたユニット 1 についての剛性方程式を次のユニット 2 に加えるのであるが、それには、ユニット 2 についての剛性方程式をクラス別に配置し直したものに、(4.5 c) 式を加えればよい。すなわち、ユニット 2 では、

$$\begin{Bmatrix} F_2^1 \\ F_2^2 \\ F_2^3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_2^{11} & K_2^{12} & K_2^{13} \\ K_2^{21} & K_2^{22} & K_2^{23} \\ K_2^{31} & K_2^{32} & K_2^{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_2^1 \\ \delta_2^2 \\ \delta_2^3 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで上添字はクラスを、下添字はユニット番号を表わす。 $\{\delta_1^A\}$ を消去した式は、ユニット 2 から見ればクラス 2 のみの節点から成っているため、(4.5 c) 式を(4.6)式の形に配列すると次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ F_{2v}^2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{2M}^{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_2^1 \\ \delta_2^2 \\ \delta_2^3 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.7 a)$$

ここで、

$$\{\delta_1^B\} = \begin{Bmatrix} \delta_2^1 \\ \delta_2^2 \\ \delta_2^3 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.7 b)$$

である。すなわち、(4.7 b) 式はユニット 1 について考えればクラス 3(B)の節点に関する節点変位であり、ユニット 2 について考えればクラス 2(A)の節点に関する節点変位になる。

(4.6) 式と(4.7 a)式を加え合せると、

$$\left\{ \begin{array}{c} F_2^1 \\ F_2^2 + F_{2v}^2 \\ F_2^3 \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{cc|c} K_2^{11} & K_2^{12} & K_2^{13} \\ K_2^{21} & K_2^{22} + K_{2M}^{22} & K_2^{23} \\ K_2^{31} & K_2^{32} & K_2^{33} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \delta_2^1 \\ \delta_2^2 \\ \delta_2^3 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

ここで、クラス1とクラス2の節点を表わす添字Aとクラス3を表わす添字Bを用いて書き改めると次のようになる。

$$\left\{ \begin{array}{c} F_2^A \\ F_2^B \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{c|c} K_2^{AA} & K_2^{AB} \\ \hline K_2^{BA} & K_2^{BB} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \delta_2^A \\ \delta_2^B \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

ここで、

$$\{F_2^A\} = \left\{ \begin{array}{c} F_2^1 \\ F_2^2 + F_{2v}^2 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ a})$$

$$\{F_2^B\} = \{F_2^3\} \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ b})$$

$$[K_2^{AA}] = \left[\begin{array}{cc} K_2^{11} & K_2^{12} \\ K_2^{21} & K_2^{22} + K_{2M}^{22} \end{array} \right] \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ c})$$

$$[K_2^{AB}] = \left[\begin{array}{c} K_2^{13} \\ K_2^{23} \end{array} \right] \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ d})$$

$$[K_2^{BA}] = [K_2^{31} \quad K_2^{32}] \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ e})$$

$$[K_2^{BB}] = [K_2^{33}] \quad \dots\dots\dots (4.10 \text{ f})$$

(4.9) 式は(4.1) 式と同じ形の式になっている。以上の過程を最終ユニットまで行なう。

(4.9) 式から $\{\delta_2^A\}$ を消去すると、

$$\{\delta_2^B\} = [K_2^{AA}]^{-1} (\{F_2^A\} - [K_2^{AB}]\{\delta_2^B\}) \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

となり、(4.4) ～ (4.5 c) 式と同様の手順に従うと次式が得られる。

$$\{F_{3v}^2\} = [K_{3M}^{22}]\{\delta_2^B\} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

$\{\delta_{i-1}^A\}$ まで消去された状態で次式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{c} F_i^A \\ F_i^B \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{c|c} K_i^{AA} & K_i^{AB} \\ \hline K_i^{BA} & K_i^{BB} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \delta_i^A \\ \delta_i^B \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

$\{\delta_i^A\}$ を消去すると,

$$\{\delta_i^A\} = [K_i^{AA}]^{-1} (\{F_i^A\} - [K_i^{AB}]\{\delta_j^B\}) \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

$$\{F_{i+1,v}^2\} = [K_{i+1,M}^{22}]\{\delta_j^B\} \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

さらに $\{\delta_{N-1}^A\}$ まで消去すると,

$$\{\delta_{N-1}^A\} = [K_{N-1}^{AA}]^{-1} (\{F_{N-1}^A\} - [K_{N-1}^{AB}]\{\delta_{N-1}^B\}) \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

$$\{F_{N,v}^2\} = [K_{N,M}^{22}]\{\delta_{N-1}^B\} \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

最後のユニット N では、その中に含まれる節点はすべてクラス 1 またはクラス 2 のみであり、その剛性方程式は次の式で与えられる。

$$[K_N^{AA}]\{\delta_N^A\} = \{F_N^A\} \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

したがって $\{\delta_N^A\}$ は次式で求められる。

$$\{\delta_N^A\} = [K_N^{AA}]^{-1} \{F_N^A\} \quad \dots\dots\dots (4.19)$$

この $\{\delta_N^A\}$ の中には、ユニット (N-1) のクラス 3 の節点変位 $\{\delta_{N-1}^B\}$ が含まれており、これを用いて (4.16) 式からユニット (N-1) のクラス 1 とクラス 2 の節点変位 $\{\delta_{N-1}^A\}$ が求まる。この計算を繰り返してユニット 1 まで行なうと、すべての未知節点変位が求められる。

ユニット分割法の計算過程では逆行列 $[K^{AA}]^{-1}$ の計算が演算時間や精度上重要である。本計算では Cholesky 法によってこの逆行列を求めている。この方法では行列 $[K^{AA}]$ はあらかじめ三角行列 $[R]$ とその転置行列 $[R]^T$ の積に変換される。

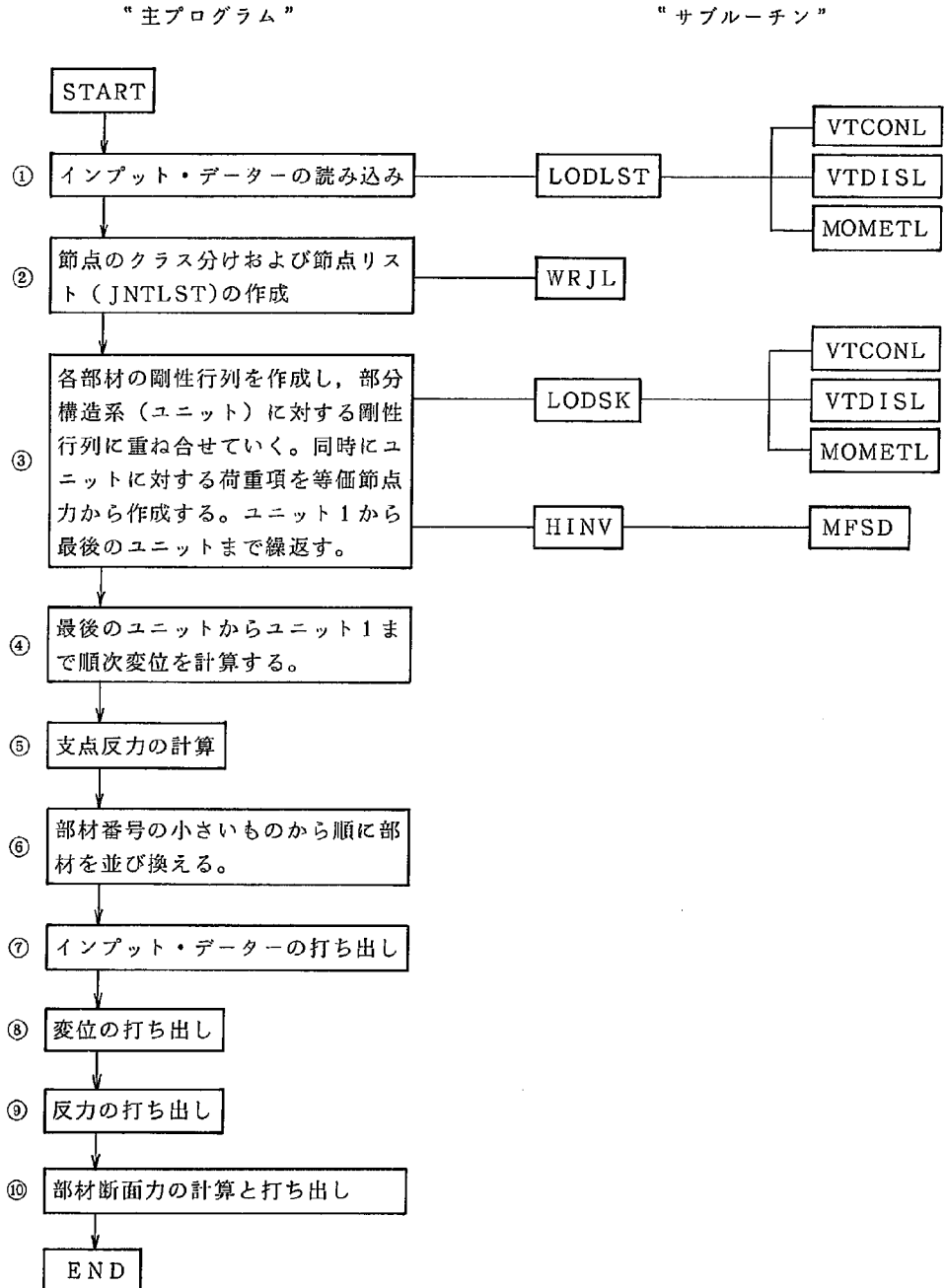
$$[K^{AA}] = [R] \cdot [R]^T \quad \dots\dots\dots (4.20)$$

この変換は、行列が正値対称であれば常に可能である。したがって、逆行列 $[K^{AA}]^{-1}$ は次式のように与えられる。

$$[K^{AA}]^{-1} = [R^{-1}]^T \cdot [R]^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.21)$$

5. プログラム仕様

5.1 プログラムの流れ図



サブルーチン名	サブルーチンの機能
LODLST	各部材に作用する外力を処理して等価節点力を求める。全節点について等価節点力をまとめる。
LODSK	クリープ解析の場合の等価節点力を求める。同時に部材内のPC鋼材のクリープによる断面力の変化量を計算する。
VTCONL	部材に作用する集中荷重を両端の節点力に変換する
VTDISL	“ 分布荷重 “
MOMETL	“ モーメント荷重 “
WRJL	クラス分けされた節点のリストをユニット毎に打ち出す。
HINV	対称行列 K_{AA} の逆行列 K_{AA}^{-1} を計算する。
MFSD	$K_{AA} = R \times R^T$ の変換を行なう。

5.2 プログラムの制限事項

(1) 構造系全体に関する制限事項

節 点 の 数	≤ 120
部 材 の 数	≤ 200
支 点 の 数	≤ 10
ユニットの数	≤ 6
荷重ケースの数	≤ 5

(2) 1ユニットに関する制限事項

節 点 の 数	合 計 で	≤ 30	ユニット数が1の場合 ≤ 20
	後に続くユニットと共有しているもの	≤ 10	
	後に続くユニットと共有していないもの	≤ 20	
支 点 の 数		≤ 3	

5.3 インプット・データ

プログラムに必要なインプット・データは次の4つから成る。

- 1) 解析の選択データ
- 2) 節点データ
- 3) 部材データ
- 4) 荷重データ

これらの内容については以下に詳述する。

(1) 解析の選択データ

解析の選択データは1枚のカードからなる。これは、解析が外力による弾性解析であるか、あるいはコンクリートのクリープと乾燥収縮による断面力の変化の解析であることを指示するものである。インプットの方法は表-5.1による。

表-5.1 解析の選択データ

FORMAT (3I5)

カラム	デ ー タ 内 容	適 用
5	解析の種類； IOPT	弾性解析の場合 IOPT = 1 クリープ、乾燥収縮解析の場合 IOPT = 2
6 ~ 10	クリープ、乾燥収縮解析 (IOPT = 2) の場合で、P C 鋼材が存在する場合の繰り返し計算数 ； ITEREN	一般に ITEREN = 3 で十分である。
11 ~ 15	IOPT = 2 の場合でクリープ係数の分割数； NFEN	$\Delta \phi = \phi/n$ における n の値で一般に NFEN = 3 で十分である。

(2) 節点データ

節点データは1節点につき1枚のカードが必要である。全節点についてカードを入れ終わったら、データの尽きた印として0のカードをインプットする。インプットの方法は表-5.2による。

表— 5.2 節点データ

FORMAT (I5, 5X, 2F10.4, 3I1, 7X, 3F10.4)

カラム	データ内容	適 用
1 ~ 5	節点番号	
11 ~ 20	X座標(m)	
21 ~ 30	Y座標(m)	
31	X方向変位の拘束条件	自由 = 0 拘束 = 1 弾性支持 = 3
32	Y方向変位の拘束条件	
33	回転の拘束条件	
41 ~ 50	X方向バネ定数 (t/m)	節点が弾性支持されているとしたときのみ入力する。
51 ~ 60	Y方向バネ定数 (t/m)	
61 ~ 70	回転バネ定数 (tm/rad)	

(3) 部材データ

部材データは、1部材について1枚のカードが必要であり、各ユニット毎に分けてインプットする。まず、ユニット番号を示すカードを1枚インプットし、そのユニットに属する部材のカードを全てインプットし、そして部材カードの尽きた印として部材番号0のカードを読み込ませる。これを全ユニットについて繰り返し、最後にユニットの尽きた印としてユニット番号が0のカードを1枚読み込ませる。インプットの方法は表—5.3による。

表— 5.3 部材データ

カラム	データ内容	適 用
ユニット・データ・カード FORMAT (10X, I5)		
11 ~ 15	ユニット番号	
部材データ・カード FORMAT (3I5, 3X, 2I1, 5E10.3)		
1 ~ 5	部材番号	
6 ~ 10	部材両端の節点番号, i 節点	剛結合 = 0 ピン結合 = 1
11 ~ 15	部材両端の節点番号, j 節点	
19	部材端の結合条件, i 節点	
20	部材端の結合条件, j 節点	
21 ~ 30	断面積 (m^2)	
31 ~ 40	断面2次モーメント (m^4)	
41 ~ 50	弾性係数 (t/m^2)	
51 ~ 60	クリープ係数 ϕ	
61 ~ 70	$t = \infty$ での乾燥収縮度とクリープ係数の比 $\epsilon_{s\infty}/\phi_{\infty}$	

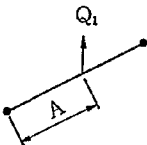
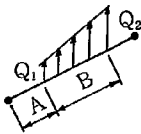
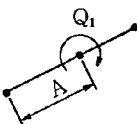
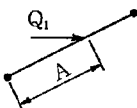
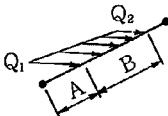
(4) 荷重データ

荷重データは外力による弾性解析の場合とクリープ、乾燥収縮による断面力の解析の場合とで異なる。

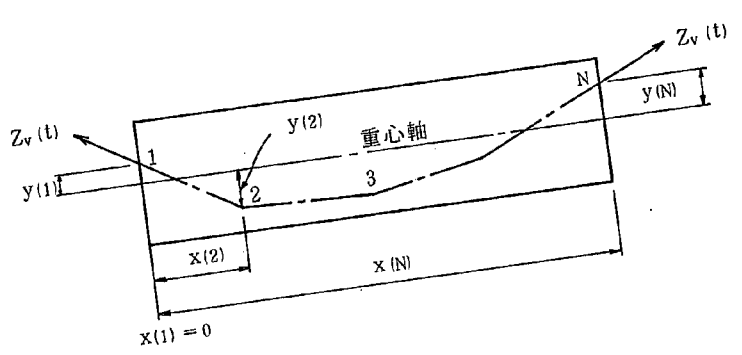
1) 外力による弾性解析の場合

外力は荷重ケース毎にまとめてインプットする。1つの荷重ケースに荷重はいくつあってもよい。まず、荷重ケース・データを1枚インプットし、その荷重ケースに属する荷重のカードを全てインプットし、終りにカードの尽きた印として0のカードを1枚読み込ませる。これを荷重ケースの数だけ繰り返し、最後に荷重ケースの尽きた印として荷重ケース番号が0のカードを1枚読み込ませる。インプットの方法は表-5.4による。

表-5.4 荷重データ 1)

カラム	デ ー タ 内 容	適 用
荷重ケース・データ・カード FORMAT (2A4, I7)		
1 ~ 8	荷重ケース名	
9 ~ 15	荷重ケース番号	
荷重データ・カード FORMAT (2I5, 7F10.3) FORMAT (20X, 6F10.3) : プレストレスカ		
1 ~ 5	荷重が作用する部材番号	
10	荷重の種類	鉛直方向集中荷重 = 1 " 分布荷重 = 2 モーメント荷重 = 3 水平方向集中荷重 = 4 " 分布荷重 = 5 プレストレス力 = 6
21 ~ 30	A (m)	荷重の種類が 1, 2, 3, 4, 5 の場合
31 ~ 40	B (m)	
41 ~ 50	Q_1 (t or t/m)	
51 ~ 60	Q_2 t or t/m)	
荷重の種類は下記のとおりとする。		
 1  2  3  4  5 Aの長さは部材左端（部材が鉛直の場合は部材下端）より部材軸に沿って測った長さである。荷重の符号は上図に示した方向を正とする。		

カラム	デ ー タ 内 容	適 用
11~20	プレストレス力 $z_v(t)$	
21~80	PC鋼材の折れ点の部材左端より部材軸に沿って測った長さ。 最大6個で、最初は部材左端で0(m)であり、最後は部材右端で部材長になる。 $x(m)$ 次に続くカードにインプットする。 PC鋼材折れ点の重心軸よりの偏心量 $y(m)$	荷重の種類が6の場合



Nは最大6である。
 yの符号は重心軸より上側の場合を正とする。

2) クリープおよび乾燥収縮による断面力変化の解析の場合

クリープおよび乾燥収縮による断面力変化の解析の場合には、荷重データはクリープ変形および乾燥収縮するコンクリート部材ごとにインプットする。この部材にPC鋼材が存在する場合はその断面積 $A_z(m^2)$ 、プレストレス力 $z_v(ton)$ 、PC鋼材の部材内の位置を2枚のカードでインプットする。さらに、部材に外力が作用している場合は、外力の数だけ荷重データを入れ、終りにデータの尽きた印として0のカードを1枚インプットする。以上のデータをコンクリート部材全てについてインプットし、最後に部材の尽きた印として部材番号が0のカードを読み込ませる。

表-5.4 荷重データ 2)

カラム	デ ー タ 内 容	適 用
節点力データ・カード FORMAT (3 I 5, 5 X, 6 F 10.3)		
1 ~ 5	部材番号	
1 0	P C 鋼材の有無の判定	有 = P C 鋼材の本数 (≤ 3) 無 = 0
1 5	外力の有無の判定	有 = 外力の数 無 = 0
2 1 ~ 3 0	部材左端の曲げモーメント (tm)	M_{oi}
3 1 ~ 4 0	" せん断力(t)	Q_{oi}
4 1 ~ 5 0	" 軸力(t)	N_{oi}
5 1 ~ 6 0	部材右端の曲げモーメント (tm)	M_{oj}
6 1 ~ 7 0	" せん断力(t)	Q_{oj}
7 1 ~ 8 0	" 軸力(t)	N_{oj}
部材節点力の符号は下図に示した方向を正とする。 		
P C 鋼材データ・カード FORMAT (8 F 10.3) FORMAT (2 0 X, 6 F 10.3) (P C 鋼材有と指示した場合のみインプットする。)		
1 ~ 1 0	P C 鋼材の断面積 A_z (m ²)	
1 1 ~ 2 0	プレストレス力 z_v (t)	
2 1 ~ 8 0	部材左端から部材軸に沿って測った P C 鋼材の折れ点位置 x (m) P C 鋼材の折れ点の重心軸から測った 偏心量 y (m)	最大 6 個で部材左端で 0.0 (m). 部材右端で部材長 2 枚目のカード
外力データ・カード FORMAT (5 X, 1 5, 1 0 X, 4 F 10.3) (外力有と指示した場合のみインプットする。)		
1 0	荷重の種類	1, 2, 3, 4, 5 のうち 1 つ
2 1 ~ 3 0	A(m)	荷重ケース・データ・カードを参照。
3 1 ~ 4 0	B(m)	
4 1 ~ 5 0	Q_1 (t or t/m)	
5 1 ~ 6 0	Q_2 (t or t/m)	

FORTRAN CODING SHEET

No. 1/3

業務名		ジョブ ネーム		研究室名		作成者		作成日													
C STATEMENT NUMBER		FORTRAN STATEMENT															IDENTIFICATION				
1	2	5	6	7	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	73	75	80	
					1) 解析の選択データ																
					ITEREN NEEN																
					(2) 節点データ																
					節点番号	X座標値	Y座標値	X,Y,R				X方向バネ定数	Y方向バネ定数	回転方向バネ定数							
					0	節点の終了															
					(3) 部材データ (2ユニット数での例)																
					部材番号	節点番号	節点番号														
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															
					0	部材の終了															

No 3/3

— 31 —

あ　と　が　き

今年度作成したコンクリート斜張橋の解析プログラムを用いて、各架設段階ごとにコンクリートのクリープおよび乾燥収縮による断面力の変化をも考慮した検討が可能になった。そこで今後はこの解析プログラムを用いて具体的な設計、施工法の調査研究を進めていく予定である。

コンクリート斜張橋の
クリープ・乾燥収縮
解析用プログラム

土木研究所資料第1339号
昭和53年3月(1978)

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室
佐伯彰一、高野義武

キーワード：コンクリート斜張橋・クリープ・乾燥収縮

コンクリート斜張橋のクリープと乾燥収縮による断面力の
解析理論と電算プログラム仕様をまとめたものである。



郵便はがき

下を20
さは円
いつ切
て手

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
橋梁研究室 御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

No. 23

No. 23

配布先氏名

配布先住所

