

# 連続格子合成げたのクリープ解析

外崎 忍<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 函館工業高等専門学校教授 土木工学科 (〒042 函館市戸倉町14番1号)

連続格子合成げたは、高次不静定であり合成断面と構造系の変化を伴う多段階施工により完成する。この構造のクリープおよび乾燥収縮による断面力、変位の経時変化の適切な解法はまだ提案されていない。本論文では、階差法と剛性マトリックス法を組み合わせた解法を提示する。また合成断面は機械的性質の異なる複数のコンクリート断面および鋼断面より構成される。計算例として、使用状態における2径間連続格子PC合成げたについて結果を示し考察する。

**Key Words:** creep analysis, continuous grillage girder, composite section, step-by-step method, stiffness matrix method

## 1. まえがき

本研究は多段階施工の連続格子合成げたのクリープ、乾燥収縮による変位、断面力の階差法と剛性マトリックス法の組み合わせによる解析を目的としたものである。

解法のもととなるクリープ、乾燥収縮に関するひずみ式は初期応力度によるクリープひずみ、発生したクリープ応力度による弾性ひずみとクリープひずみおよび乾燥収縮度を含む積分方程式となるが、この式を直接構造物の解析に適用することは困難であり、現在よく用いられる解法としては次の3種類が挙げられる。

① 微分方程式に変換する方法。② 発生したクリープ応力度によるひずみを弾性係数に組み込む有効弹性係数法。③ クリープ発生期間またはクリープ係数を分割し、発生した力を累積する階差法（段階的に数値積分を行う方法であるが階差法は文献1), 2)による名称）。

微分方程式による解法では、コンクリート合成げたについては彦坂<sup>3)</sup>、鋼合成げたについてはSattler<sup>4), 5)</sup>、彦坂<sup>6)</sup>、階差法による解法では、コンクリート合成げたについて大浜、小林<sup>7)</sup>の研究が発表されている。

文献3), 7)では種類の異なるコンクリートのクリープ係数は変えており精密な解法となっている。

近年はクリープひずみを初期急速ひずみ、フローひずみおよび遅れ弾性ひずみ（進行速度はフローより早く、除荷の際回復性がある）の複数の成分に分けて考えるようになつたが<sup>1), 2)</sup>、クリープ力解析では初期急速ひずみは考慮されないことが多い。

クリープの複数の成分を考慮した解法では、有効弹性係数法により鋼合成げたについてTrost<sup>8), 9)</sup>、Kurita、Nakai<sup>10)</sup>の研究が発表されている。

以上の解法はいずれも対象が連続げたであり、解析手法は応力法によっている。本研究の対象である連続格子げたは高次不静定構造となるため剛性マトリックス法によるのが適当と思われる。剛性マトリックス法を適用するには有効弹性係数法か階差法が対象となる。

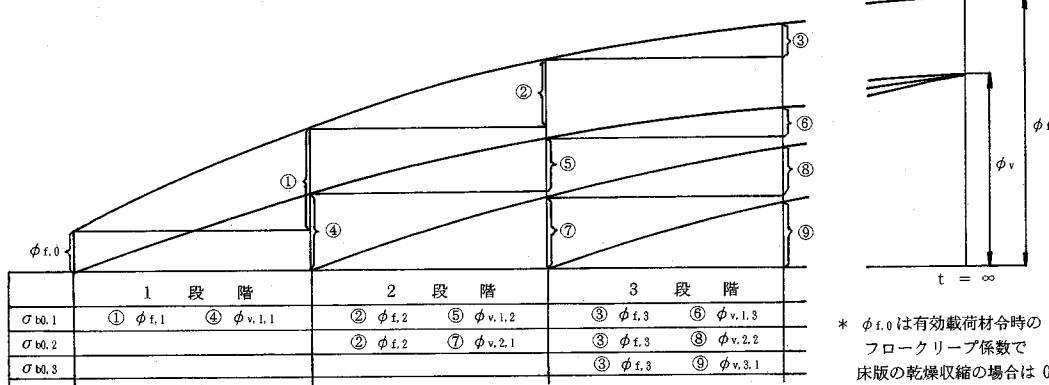
有効弹性係数法による解法はクリープ係数と断面内の応力度、ひずみはリラクセーション係数により関係付けられるが、クリープ係数と不静定力の関係付けには何らかの方法が必要である。階差法による解法はクリープ係数を分割するので分割区間ではクリープの進行と断面内の応力度、ひずみおよび不静定力は線形に近似することができる。従って適用は可能である。

Elbadryらは、多段階施工の合成げたの面内載荷構造に対し、有効弹性係数法、階差法および剛性マトリックス法を組み合わせた解法を発表している<sup>11)</sup>。この解法は、クリープ部材の剛性マトリックスにはAgeadjusted transformed section法を用い、またクラックの生じた場合にも対処できるなど精細である。

クリープの複数の成分を考慮した階差法によるクリープ力解析に関してはRüschら<sup>12), 13)</sup>、星埜、佐伯<sup>11)</sup>の研究に詳しく示されている。

本研究は面外載荷構造を対象とするが、階差法と剛性マトリックス法を組み合わせた解法によるものであり、クリープ部材の剛性マトリックスおよび等価節点力の解法には、Rüschらの方法を拡張した階差法を用いている。また面外載荷構造であるため、ねじりのクリープを考慮した。ねじりに関するクリープ性状は、岡島ら<sup>12)</sup>の研究によれば中空円筒供試体のねじり載荷試験より純圧縮の場合に類似しているという結論が得られている。

一般的の断面の場合にもこの結果があてはまるものと仮



図一 1 初期応力度と各段階のクリープ係数

定し、ねじりに対するクリープ係数は曲げのそれと同じとした。また曲げにおける弾性ひずみとクリープひずみの関係はねじりについても成立するものとした。

## 2. 階差法によるクリープ解析の概要

本研究は Rüsch らの理論に従い、次の様な近似的処理を施す。(1) 進行速度の早い遅れ弾性クリープを全部先に発生させ、その後にフロークリープを発生させる。(2) 弾性係数を一定とする。(3) フロークリープ係数を等分割する。(4) フロークリープによる応力度の増分には  $1/2$  を乗ずる。計算は遅れ弾性クリープに対し 1 回、フロークリープに対し分割数だけ繰り返し行う。

不静定合成曲げたのクリープ、乾燥収縮により発生する力は初期作用力のクリープによる断面内の力、乾燥収縮によるクリープを伴った断面内の力、節点拘束力（応力法の不静定力による断面力と同じ）による弹性断面力とそのクリープによる断面内の力となる。これらの力は繰り返し計算の度毎に生じ、これを累計する。図一 1 に荷重段階毎の応力度と有効材令  $t$  およびクリープ係数の関係を示す。 $\sigma_{b0.1}$  は自重、プレストレスなどの初期作用力とそのクリープによる断面内の力の合計、 $\sigma_{b0.2}$  以降は構造系や断面構成の変化により発生する節点拘束力とそのクリープによる断面内の力の合計を示す。

$\phi_v$  は遅れ弾性クリープ係数の最終値、 $\phi_f$  はフロークリープ係数の最終値、 $\phi_{f,m}$  は  $m$  段階のフロークリープ係数、 $\phi_{v,p,q}$  は  $\phi$  を初段階とする  $q$  段階目の遅れ弾性クリープ係数を表す。

## 3. 合成断面の分担断面力およびひずみ

合成断面の初期分担断面力およびクリープ終了後の分担断面力、ひずみを文献 13) に示される方法を拡張して

求める。

### (1) 初期断面力の鋼およびコンクリート断面の分担断面力

クリープ開始時の初期断面力の鋼およびコンクリート断面の分担断面力を求める。図一 2 に示すように  $m$  個の鋼断面と  $n$  個のコンクリート断面により合成断面が構成されているものとする。

$E_{si}, G_{si}, A_{si}, I_{si}, J_{si}$  は  $i$  番目の鋼断面の弾性係数、せん断弾性係数、断面積、断面 2 次モーメント、ねじり抵抗モーメントを示す。 $E_{bj}, G_{bj}, A_{bj}, I_{bj}, J_{bj}$  は  $j$  番目のコンクリート断面の諸値を示す。合成断面上縁より鋼断面、コンクリート断面図心までの距離を  $\eta_{si}, \eta_{bj}$  とすると式(1)より合成断面図心までの距離  $\eta$  が求まる。

$$\eta = \frac{\sum(E_{si}A_{si}\eta_{si}) + \sum(E_{bj}A_{bj}\eta_{bj})}{\sum(E_{si}A_{si}) + \sum(E_{bj}A_{bj})} \quad (1)$$

従って合成断面図心より構成断面図心までは、

$$y_{si} = \eta_{si} - \eta, \quad y_{bj} = \eta_{bj} - \eta \text{ となる。}$$

次に合成断面図心における初期断面力と分担断面力の釣合い条件より分担断面力は式(2)のよう表される。ただし  $N, M, T$  は初期断面力の軸力、曲げモーメント、ねじりモーメントを、 $N_{si}, M_{si}, T_{si}$  は鋼の分担断面力の諸値（軸力、曲げモーメント、ねじりモーメント）を、 $N_{bj}, M_{bj}, T_{bj}$  はコンクリートの分担断面力の諸値を示す。

$$N_{si} = \frac{E_{si}A_{si}}{EA} N + \frac{E_{si}A_{si}y_{si}}{EI} M$$

$$M_{si} = \frac{E_{si}I_{si}}{EI} M$$

$$N_{bj} = \frac{E_{bj}A_{bj}}{EA} N + \frac{E_{bj}A_{bj}y_{bj}}{EI} M$$

$$M_{bj} = \frac{E_{bj}I_{bj}}{EI} M$$

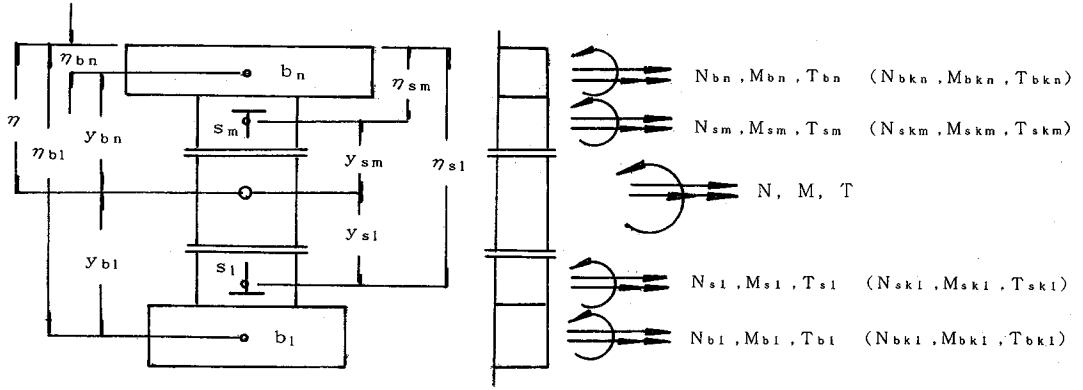


図-2 断面記号および断面力

$$\left. \begin{aligned} T_{si} &= \frac{G_{si} J_{si}}{GJ} T \\ T_{bj} &= \frac{G_{bj} J_{bj}}{GJ} T \\ EA &= \sum E_{si} A_{si} + \sum E_{bj} A_{bj} \\ EI &= \sum E_{si} (A_{si} y_{si}^2 + I_{si}) \\ &\quad + \sum E_{bj} (A_{bj} y_{bj}^2 + I_{bj}) \\ GJ &= \sum G_{si} J_{si} + \sum G_{bj} J_{bj} \\ EI, GJ & \text{は合成断面の曲げ剛性およびねじり剛性である。} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

### (2) クリープ、乾燥収縮により発生する断面の分担断面力およびひずみ

任意の着目段階、着目分割におけるクリープ、乾燥収縮による鋼断面  $i$ 、コンクリート断面  $j$  の応力度、ひずみの関係は式(3)で表される。ここでクリープ開始時のコンクリート作用応力度は  $\sigma_{bj}$ 、これに対する遅れ弾性クリープ係数は  $\phi_{vj}$ 、 $n$  分割したフロークリープ係数は  $\Delta\phi_{fj}$  (各段階の  $\phi_{vj}$ 、 $\phi_{fj}$  は図-1に示す、 $ij$  は断面の番号を示す)。クリープによりコンクリート断面に発生する応力度は  $\sigma_{bkj}$ 、これに対する遅れ弾性クリープ係数は  $\phi_{v1j}$ 、ひずみは  $\epsilon_{bkj}$ 、鋼断面に発生する応力度は  $\sigma_{ski}$ 、ひずみは  $\epsilon_{ski}$ 、 $\Delta\epsilon_{sj}$  は  $n$  分割した乾燥収縮度を示す。繰り返し計算1回目は  $R_1=1$ 、 $R_2=0$ 、2回目以降は  $R_1=0$ 、 $R_2=1$ 、となる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ski} &= E_{si} \epsilon_{ski} \\ \sigma_{bkj} &= \frac{E_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \epsilon_{bkj} \\ &\quad - \sigma_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \\ &\quad - \Delta\epsilon_{sj} \frac{E_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

合成断面のひずみを  $\epsilon$ 、角ひずみを  $\chi$  とすると鋼断面  $i$ 、コンクリート断面  $j$  の図心のひずみ

$\epsilon_{ski} = \epsilon + y_{si}\chi$ 、 $\epsilon_{bkj} = \epsilon + y_{bj}\chi$   
よりクリープ、乾燥収縮による分担断面力は式(4)で表される。

$$\left. \begin{aligned} N_{ski} &= E_{si} A_{si} (\epsilon + y_{si}\chi) \\ M_{ski} &= E_{si} I_{si} \chi \\ N_{bj} &= \frac{E_{bj} A_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} (\epsilon + y_{bj}\chi) \\ &\quad - N_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \\ &\quad - \Delta\epsilon_{sj} \frac{E_{bj} A_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \\ M_{bj} &= \frac{E_{bj} I_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \chi \\ &\quad - M_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで  $N_{bj}$ 、 $M_{bj}$  は式(2)による分担断面力である。クリープ、乾燥収縮により発生する力は釣合いの状態にあり、合成断面の軸力の釣合い式と図心のモーメントの釣合い式(5)より式(6)が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma N_{ski} + \Sigma N_{bj} &= 0 \\ \Sigma M_{ski} + \Sigma M_{bj} + \Sigma y_{si} N_{si} \\ &\quad + \Sigma y_{bj} N_{bj} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$a_{11}\epsilon + a_{12}\chi = a_{13}$$

$$a_{21}\epsilon + a_{22}\chi = a_{23}$$

$$a_{11} = \sum E_{si} A_{si} + \sum \frac{E_{bj} A_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}$$

$$a_{12} = \sum E_{si} A_{si} y_{si} + \sum \frac{E_{bj} A_{bj} y_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}$$

$$\begin{aligned} a_{13} &= \sum N_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \\ &\quad + \sum \Delta\epsilon_{sj} \frac{E_{bj} A_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2} \end{aligned}$$

$$a_{21} = a_{12}$$

$$a_{22} = \sum E_{si} I_{si} + \sum E_{si} A_{si} y_{si}^2$$

$$+ \sum \frac{E_{bj} I_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta\phi_{fj}/2}$$

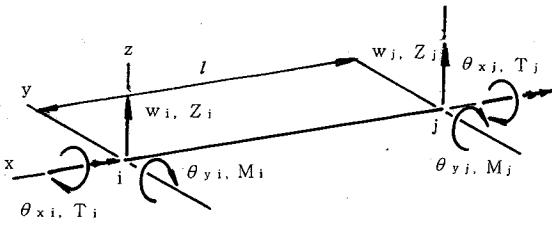


図-3 単一部材の材端力と変位

$$\begin{aligned}
 & + \sum \frac{E_{bj} A_{bj} y_{bj}^2}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2} \\
 a_{23} = & \sum M_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2} \\
 & + \sum N_{bj} y_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2} \\
 & + \sum \Delta \epsilon_{sj} \frac{E_{bj} A_{bj} y_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2}
 \end{aligned}$$

ねじりについても同様であり、クリープによる分担断面力は式(7), 釣合式(8)よりねじり角ひずみ  $\omega$  は式(9)のように導かれる。

$$\left. \begin{aligned}
 T_{ski} &= G_{si} J_{si} \omega \\
 T_{bj} &= \frac{G_{bj} J_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2} \omega \\
 &- T_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2}
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\sum T_{ski} + \sum T_{bj} = 0 \quad (8)$$

$$\omega = \frac{\sum T_{bj} \frac{R_1 \cdot \phi_{vj} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2}}{\sum G_{si} J_{si} + \sum \frac{G_{bj} J_{bj}}{1 + \phi_{v1j} + R_2 \cdot \Delta \phi_{fj}/2}} \quad (9)$$

式(6), (9)により  $\epsilon$ ,  $\chi$  および  $\omega$  が求まり、次に式(4), (7)より分担断面力が求められる。

#### 4. 剛性マトリックス法による解法

節点の変位、材端力および剛性マトリックスの構成は慣用されている弾性計算法と同じにする<sup>18)</sup>。

弾性計算法によるとねじりを考慮し、主げた、横げた、の部材軸方向の変形は拘束されない。自重、プレストレスおよび乾燥収縮によってクリープ角ひずみを生ずるが、弾性解法の中間荷重による角ひずみと同様に扱われる。

以下変断面（クリープ係数の変化を含む）部材の部材座標系剛性マトリックスおよび等価節点力の解法について述べる。これ以外は弾性計算法と同じである。

(3. および図-2 ではモーメントの向きを曲げモーメントの規約に合わせているが、剛性マトリックス法の規約に変換する必要がある)

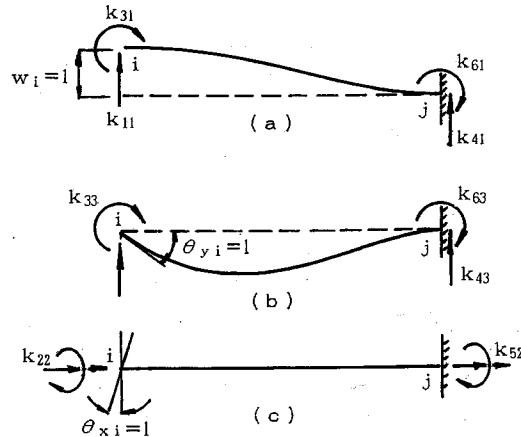


図-4 部材座標系剛性マトリックス要素

#### (1) 部材座標系剛性マトリックスの解法

けた橋は面外荷重が作用するが図-3 に示すように座標のとり方は面を  $x$ ,  $y$  方向、面外を  $z$  方向とする。この場合の単一部材の材端の力と変位の関係は式(10)で示される。

$$\begin{bmatrix} Z_i \\ T_i \\ M_i \\ Z_j \\ T_j \\ M_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{61} & \dots & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_j \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \end{bmatrix} \quad (10)$$

または  $[f_g] = [k_g][\delta_g]$

マトリックス  $[k_g]$  の1列目の要素は、図-4 (a)の片持ばりに  $z$  方向たわみ  $w_i=1$  を与え、他の変位を拘束した場合の力と反力を、2列目は図-4 (c) のように  $x$  軸まわりのねじり角  $\theta_{xi}=1$  を与え、他の変位を拘束した場合の力と反力を、3列目は図-4 (b) のように  $y$  軸まわりのたわみ角  $\theta_{yi}=1$  を与え、他の変位を拘束した場合の力と反力をである。

$k_{11}$ ,  $k_{31}$  は  $k_{11}=1$  とした場合の  $i$  点のたわみ、たわみ角を  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{21}$ ,  $k_{31}=1$  とした場合と同じく  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{22}$  とすると式(11)より求められる。

$$\left. \begin{aligned}
 k_{11}\delta_{11} + k_{31}\delta_{12} &= 1 \\
 k_{11}\delta_{21} + k_{31}\delta_{22} &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$k_{41}$ ,  $k_{61}$  は  $k_{11}$ ,  $k_{31}$  の反力を、たわみ角は弾性たわみ、たわみ角とクリープたわみ、たわみ角の和で仮想仕事の原理を応用して式(12)より求められる。

$$\int (\chi_v + R_2 \cdot \chi_f/2 + \frac{1}{EI}) \bar{M} M dl \quad (12)$$

$\chi_v$ ,  $\chi_f$  は着目段階  $m$  の各点の単位曲げモーメント当たりのクリープ角ひずみで式(2), (6)より求める。式

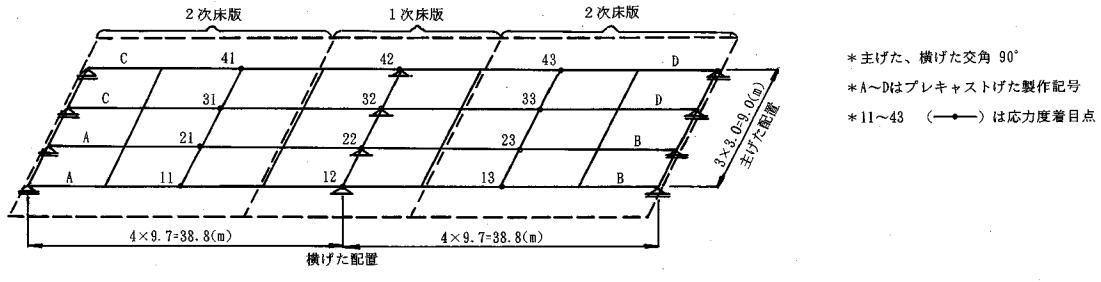


図-5 主げた横げた配置および応力度着目点

(6)の $\phi_{vj}$ ,  $\phi_{v1j}$ には図-1の $\phi_{v,m,1}$ を $\Delta\phi_{fj}$ には $\Delta\phi_{f,m}$ を用いる。 $x_v$ は遅れ弾性クリープによる角ひずみ,  $x_f$ はフロークリープによる角ひずみで,  $R_2$ は繰り返し計算1回目は0, 2回目以降は1である。EIは式(2)より求める。 $M$ は*i*点に単位の垂直力またはモーメントが作用する場合の各点の曲げモーメント,  $\bar{M}$ は仮想荷重による各点の曲げモーメントである。

$k_{13}$ ,  $k_{33}$ ,  $k_{43}$ ,  $k_{63}$ も同じ方法で求められる。

$k_{22}$ は $k_{22}=1$ とした場合の*i*点のねじり角を $\delta_{11}$ とすると式(13)より求められる。

$$k_{22}=1/\delta_{11} \quad (13)$$

ねじり角も弾性ねじり角とクリープねじり角の和で式(14)より求める。

$$\int(\omega_v + R_2 \cdot \omega_f / 2 + \frac{1}{GJ}) \bar{T} T dl \quad (14)$$

式(12)の場合と同様で $\omega_v$ ,  $\omega_f$ は各点の単位ねじりモーメント当たりのクリープねじり角ひずみで式(2), (9)より求める。その他についても式(12)の場合と同様である。式(10)の4列目～6列目の要素も図-4(a), (b), (c)の固定端を逆にして同様な方法で求める。その他の要素の値は0である。

## (2) 等価節点力の解法

弾性解法では着目部材の中間荷重による変形を両節点で拘束した状態の反力(モーメント, ねじりモーメントを含む)を求め, この逆向きの力を等価節点力とする。

クリープ部材は中間荷重や着目段階, 分割以前に生じた節点拘束力などの作用断面力によってクリープ変形を生じ, また拘束した状態の反力によってもクリープ変形を生ずる。クリープ部材の等価節点はこれらのクリープ変形を考慮して弾性解法と同様に求められる<sup>13), 14)</sup>。

### a) 曲げに対する等価節点力

応力法により両端固定ばかりの左右端の不静定モーメント $X_1$ ,  $X_2$ を求める。節点番号1は図-3の*i*に, 2は*j*に相当するものとする。式(15)は弾性方程式と同様で節点1, 2におけるたわみ角の適合条件を示す。

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{10} + \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 = 0 \\ \delta_{20} + \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 = 0 \end{array} \right\} \quad (15)$$

$\delta_{10}$ ,  $\delta_{20}$ は着目段階, 着目分割以前に生じたすべての応力度による1, 2点のクリープたわみ角で $\delta_{10}$ を式(16)に示すが $\delta_{20}$ も同様である。

$$\delta_{10} = \int(R_1 \cdot \sum x_{v0} + R_2 \cdot \sum x_{f0}) \bar{M}_1 dl \quad (16)$$

$x_{v0}$ は遅れ弾性クリープによる角ひずみ,  $x_{f0}$ はフロークリープによる角ひずみで, 図-1に示すように段階毎にクリープ係数が異なるので, それぞれの断面力, 応力度に対応するクリープ係数を用いて式(2), (6)より求める。着目段階を*m*とすると, 式(6)の $\phi_{vj}$ ,  $\phi_{v1j}$ には図-1の $\phi_{v,p,q}$ を,  $\Delta\phi_{fj}$ には $\Delta\phi_{f,m}$ を用いる。各点のクリープ角ひずみはこれらを合計する。繰り返し計算の1回目は $R_1=1$ ,  $R_2=0$ で2回目以降は $R_1=0$ ,  $R_2=1$ である。また $\bar{M}_1$ は仮想荷重による各点の曲げモーメントである。 $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{21}$ は単位の不静定力によるたわみ角で弾性たわみ角とクリープたわみ角の和であり $\delta_{12}$ を式(17)に示すが他も同様である。

$$\delta_{12} = \int(x_v + R_2 \cdot x_f / 2 + \frac{1}{EI}) \bar{M}_1 M_2 dl \quad (17)$$

右辺の各記号は式(12)の場合と同様である。

### b) ねじりに対する等価節点力

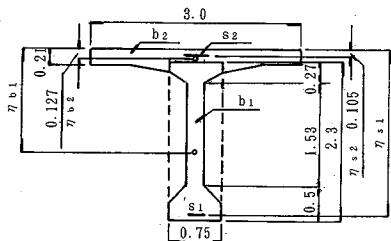
応力法により両端固定ばかりの不静定ねじりモーメントを求めるが, 1点の不静定ねじりモーメントを $X$ とすれば2点では $X$ と中間の作用ねじりモーメントとの反力として求まる。 $X$ は1点の適合条件を示す式(18)より求まる。

$$\delta_{10} + \delta_{11}X = 0 \quad (18)$$

また $\delta_{10}$ ,  $\delta_{11}$ は式(19)に示す。

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{10} = \int(R_1 \cdot \sum \omega_{v0} + R_2 \cdot \sum \omega_{f0}) \bar{T}_1 dl \\ \delta_{11} = \int(\omega_v + R_2 \cdot \omega_f / 2 + \frac{1}{GJ}) \bar{T}_1 T_1 dl \end{array} \right\} \quad (19)$$

式(18), (19)は各記号を式(15), (16), (17)の角ひずみ $\chi$ をねじり角ひずみ $\omega$ , モーメント $M$ をねじりモーメント $T$ , 曲げ剛性 $EI$ をねじり剛性 $GJ$ に置き換れば同じ意味である。



\* 単位 m (図-7, 図-8共通)

図-6 主げた断面

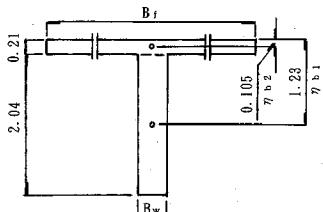


図-7 横げた断面

表-1 主げた断面諸値

断面諸値	支間中央		中間支点	
	アーチキスト i=1, j=1	床版 i=2, j=2	アーチキスト i=1, j=1	床版 i=2, j=2
A <sub>bj</sub> (m <sup>2</sup> )	0.8414	0.7245	1.7021	0.7245
I <sub>bj</sub> (m <sup>4</sup> )	0.5256	0.00473	0.7594	0.00473
J <sub>bj</sub> (m <sup>4</sup> )	0.0178	0.00926	0.2571	0.00926
$\eta_{bj}$ (m)	1.4094	0.1050	1.3525	0.1050
E <sub>bj</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	3.100x10 <sup>8</sup>	2.800x10 <sup>8</sup>	3.100x10 <sup>8</sup>	2.800x10 <sup>8</sup>
G <sub>bj</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	1.292x10 <sup>8</sup>	1.167x10 <sup>8</sup>	1.292x10 <sup>8</sup>	1.167x10 <sup>8</sup>
A <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> )	0.00557		0.00742	0.00924
$\eta_{si}$ (m)	2.3140		1.1600	0.1050
E <sub>si</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	2.000x10 <sup>7</sup>		2.000x10 <sup>7</sup>	2.000x10 <sup>7</sup>

\* 記号は図-2参照

\* 単位 ltf=9.8kN, ltfm=9.8kNm (以降の図表に共通)

表-2 横げた断面諸値

断面諸値	主げた支間中央		主げた中間支点	
	アーチ j=1	フランジ j=2	アーチ j=1	フランジ j=2
B <sub>t</sub> (m)	9.700		9.700	
B <sub>w</sub> (m)	0.300		1.500	
A <sub>bj</sub> (m <sup>2</sup> )	0.6120	2.0370	3.0600	2.0370
I <sub>bj</sub> (m <sup>4</sup> )	0.21220	0.00749	0.06120	0.00749
J <sub>bj</sub> (m <sup>4</sup> )	0.01680	0.02991	0.23930	0.02991
$\eta_{bj}$ (m)	1.2300	0.1050	1.2300	0.1050
E <sub>bj</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	2.800x10 <sup>8</sup>	2.800x10 <sup>8</sup>	2.800x10 <sup>8</sup>	2.800x10 <sup>8</sup>
G <sub>bj</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	1.167x10 <sup>8</sup>	1.167x10 <sup>8</sup>	1.167x10 <sup>8</sup>	1.167x10 <sup>8</sup>

表-3 荷重状態

荷重種別	構造系	荷 重	荷 重 図
主げた アーチキスト部 重量	単純げた	P <sub>1</sub> =5.257(tf)、アーチキスト部換算 P <sub>2</sub> =10.515(tf) P <sub>3</sub> =0.715(tf)、横げた P <sub>4</sub> =0.715(tf)、 P <sub>5</sub> =2.933(tf)、 w=2.145(tf/m)、等分布荷重	
場所打ち 横げた重量	連続げた	P <sub>0</sub> =1.683(tf)、耳げた P <sub>1</sub> =3.366(tf)、中げた	
1次床版 重量	格子げた1	w=1.811(tf/m)	
2次床版 重量	格子げた2	w=1.811(tf/m)	
橋面荷重 重量	格子げた3	w <sub>0</sub> =0.552(tf/m)、耳げた w <sub>1</sub> =1.665(tf/m)、中げた	

表-4 プレストレス

載荷点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主げた P <sub>t</sub> (tf)	591.5	595.7	612.3	632.6	626.0	613.7	596.7	753.4	747.2
アーチキスト部 M <sub>t</sub> (tfm)	-58.6	-147.2	-448.3	-564.0	-566.3	-458.0	-202.5	177.0	190.9
載荷点	7 <sub>R</sub>	8 <sub>L</sub>	8 <sub>R</sub>	9 <sub>L</sub>	1	2	3	4	5
1次床版 P <sub>t</sub> (tf)	214.7	214.7	858.9	858.9	1	2	3	4	5
M <sub>t</sub> (tfm)	171.6	171.6	735.7	735.1	6	7 <sub>R</sub>	18 <sub>R</sub>	19 <sub>L</sub>	
					8x4.85=38.8 m				

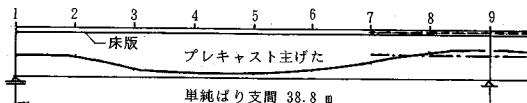
\* プレストレス導入時 プレストレス力 P<sub>t</sub>  
\* ピン支点での偏心モーメント M<sub>t</sub>

## 5. 計算例

計算例は図-5に示す実橋規模の2径間連続格子PC合成げたである。完成までの施工順序を以下に示す。またPC鋼の配置は図-8に示す。

① プレキャスト主げた(単純びり)を製作する。

- ② プレキャスト主げたを架設し、中間支点上で連続ケーブルを緊張して連結し、連続げたとする。
- ③ 横げたのうち、腹部相当分を施工する。(横締めPC鋼の緊張後、構造系は格子げた1となる)
- ④ 1次床版を施工する。(床版PC鋼の緊張後、構造系は格子げた2となる)



\* プレキャスト主げたケーブル  
床版ケーブル 連続ケーブル  
\* 7~9区間では計算の上でプレキャスト主げたケーブルと連続ケーブルは断面積のみ合算した。(二つのケーブルによる断面二次モーメントは影響が少ないので考慮されていない)

図-8 PC鋼の配置

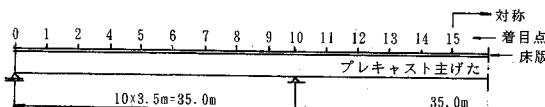


図-9 構造図

表-7 Nタイプのプレキャスト主げた自重、プレストレスおよび乾燥収縮度に対するクリープ係数

構造系 クリープ係数	単純げた		連続げた		格子げた1				格子げた2				格子げた3								
	$\phi_{v1}$	$\phi_{v11}$	$\phi_{v2}$	$\phi_{v21}$	$\phi_{v12}$	$\phi_{v3}$	$\phi_{v31}$	$\phi_{v22}$	$\phi_{v13}$	$\phi_{v4}$	$\phi_{v41}$	$\phi_{v32}$	$\phi_{v23}$	$\phi_{v14}$	$\phi_{v5}$	$\phi_{v51}$	$\phi_{v42}$	$\phi_{v33}$	$\phi_{v24}$	$\phi_{v15}$	
主げた	A 0.70	0.21	0.10	0.18	0.02	0.10	0.18	0.03	0.02	0.05	0.17	0.03	0.02	0.01	1.31	0.40	0.23	0.19	0.17	0.14	
プレキャスト部	B 0.58	0.18	0.15	0.18	0.03	0.10	0.18	0.03	0.02	0.07	0.17	0.03	0.02	0.02	1.36	0.40	0.23	0.19	0.17	0.15	
	C 0.62	0.20	0.14	0.18	0.02	0.10	0.18	0.03	0.02	0.06	0.17	0.03	0.02	0.02	1.34	0.40	0.23	0.19	0.17	0.14	
	D 0.50	0.17	0.16	0.18	0.03	0.12	0.18	0.03	0.03	0.08	0.17	0.03	0.02	0.02	1.40	0.40	0.23	0.19	0.17	0.15	
横げた $\phi_{v17}$						0.39	0.18			0.15	0.17	0.03			1.76	0.40	0.23	0.19			
1次床版										0.38	0.17					1.94	0.40	0.23			
2次床版																2.48	0.40				

\* クリープ係数の添字は図-1と同じ  
に対する値である

\* プレキャスト主げた記号は図-5参照  
\* 表内の値はプレキャスト主げた自重、プレストレス  
乾燥収縮に対するフロークリープ係数のうち主げた部は  $\phi_{v1} \sim \phi_{v5}$  は表内の値と同じ、1次床版の  $\phi_{v14}$  は 0.84、2次床版の  $\phi_{v15}$  は 2.78、  
また遅れ弾性クリープ係数は自重、プレストレスの場合と差は僅少であるので表内の値と同じとする

⑤ 2次床版を施工する。(床版横縫めPC鋼の緊張後、構造系は格子げた3となる)

⑥ 地覆、高欄、舗装を施工して完成する。

完成までの施工状態、施工状態に対する構造系、経過日数を表-5に示す。

工程はプレキャスト主げた製作後日数をおかないで引き続き施工する場合(Nタイプ)と製作後日数をおいて施工する場合(Lタイプ)の2種類とした。

断面諸値は図-6、7、表-1、2に、各施工段階の荷重とプレストレスは表-3、4に示す。

クリープ係数、乾燥収縮度は文献15)、16)に準拠したが算出の条件は、相対湿度70%、コンクリートの材令算出に必要な温度T=15°(一定)、部材の仮想厚さ  $h_{th}$  は主げたプレキャスト部53cm、横げた腹部45cm、床版41.4cmとした。プレキャスト主げた自重、プレストレスおよび乾燥収縮に対するクリープ係数を表-7、乾燥収縮度を表-6に示す。PC鋼のリラクセーションは5%と

表-5 施工状態と経過日数

施工状態	構造系	Nタイプ				Lタイプ			
		A	B	C	D	A	B	C	D
ア'レキヤスト主げたコンクリート打設	単純げた	0	14	7	21	0	14	7	21
		3	17	10	24	3	17	10	24
		35	35	35	35	114	114	114	114
		41	41	41	41	120	120	120	120
横げたコンクリート打設	連續げた	55	55	55	55	134	134	134	134
		61	61	61	61	140	140	140	140
1次床版コンクリート打設	格子げた1	75	75	75	75	154	154	154	154
	ア'レキヤスト	81	81	81	81	160	160	160	160
2次床版コンクリート打設	格子げた2	95	95	95	95	174	174	174	174
	ア'レキヤスト	98	98	98	98	177	177	177	177
橋面荷重	格子げた3	118	118	118	118	197	197	197	197
		∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

\* A、B、C、Dは図-5参照

表-6 Nタイプの乾燥収縮度

	単純げた	連續げた	格子げた1	格子げた2	格子げた3
A	-0.1875	-0.0750	-0.0625	-0.2500	-1.6000
B	-0.1375	-0.0750	-0.0625	-0.3750	-1.6375
C	-0.1625	-0.0750	-0.0625	-0.3750	-1.6125
D	-0.1250	0.6250	-0.0625	-0.5000	-1.6500
1次床版				-0.1500	-1.8500
2次床版					-2.0000

\* (×10-4)

して導入プレストレスから差し引いた。またフロークリープ係数分割数  $n_m$  は各段階とも 5 とした。

各荷重およびプレストレス別応力度の結果の一部を初期応力度とともに表-8に示す。クリープ応力度の合計および乾燥収縮応力度を表-9、10に示す。またこの場合の初期応力度の合計を表-11に示す。

以上の計算結果に対して考察を行う。

(1) プレキャスト主げたの材令差の影響によって幅員中央、中間支点を対称軸にした同じ位置で応力度差を生ずる。設計上はクリープ、乾燥収縮終了後の持続応力度(初期応力度+クリープ、乾燥収縮応力度)の応力度差が問題となるが、設定した施工過程では大きな差とはならない。

(2) 次にNタイプとLタイプの比較を行う。着目点、着目断面位置によりNタイプとLタイプの応力度差の大小は異なるがクリープ、乾燥収縮終了後の持続応力度はプレキャスト主げたコンクリートおよびPC鋼では

表-8 荷重およびプレストレス別応力度

着目点	断面位置	プレキャスト主げた自重	プレキャスト主げた自重	横げた自重	1次床版自重	1次床版自重	2次床版自重	橋面荷重
初期応力度	B <sub>1u</sub>	103.4	-55.9	3.7	1.9	-22.0	25.8	5.3
	B <sub>1L</sub>	-93.3	191.9	-3.1	-1.6	18.6	-21.8	-12.6
	B <sub>2u</sub>							6.2
	S <sub>1</sub>	10906.0	16.5	8.7	-98.9	116.0	72.2	
12	B <sub>1u</sub>	0.0	72.9	-4.9	-10.2	68.3	-19.1	-11.8
	B <sub>1L</sub>	0.0	15.1	5.0	10.3	-23.6	36.3	22.5
	B <sub>2u</sub>					68.9	-21.6	-13.4
	S <sub>1</sub>	10069.0	5.2	10.8	-193.1	-25.9	-16.1	
	S <sub>2</sub>					9299.0	138.0	85.5
クリープ応力度	B <sub>1u</sub>	-67.2	51.1	-1.2	-0.8	6.7	-10.3	1.4
	B <sub>1L</sub>	55.8	-74.5	0.2	0.3	0.2	2.6	0.8
	B <sub>2u</sub>	8.5	1.9	0.9	0.4	-6.0	6.2	-0.6
	S <sub>1</sub>	601.4	-1766.0	32.8	12.9	-196.1	183.7	107.4
12	B <sub>1u</sub>	-22.6	-5.0	1.6	5.2	-0.2	2.4	-0.1
	B <sub>1L</sub>	37.5	-33.6	-0.1	-3.0	4.6	-5.9	-0.5
	B <sub>2u</sub>	-16.0	34.3	-1.7	-2.4	-21.4	7.3	2.7
	S <sub>1</sub>	-27.7	-499.4	-2.7	-7.2	-380.0	-26.6	-22.5
	S <sub>2</sub>	306.3	-671.5	30.3	44.4	-840.6	187.1	141.8
13	B <sub>1u</sub>	-68.1	51.3	-1.3	-0.8	7.0	-10.6	1.3
	B <sub>1L</sub>	56.0	-74.5	0.2	0.3	0.0	2.7	0.8
	B <sub>2u</sub>	8.9	1.7	1.0	0.5	-6.1	6.3	-0.6
	S <sub>1</sub>	588.1	-1756.8	33.9	13.3	-201.7	187.5	110.2

\* この注釈は表-8、9、10、11、15に共通  
 \* (単位 kgf/cm<sup>2</sup>)  
 \* B<sub>1u</sub>は主げたプレキャスト部上縁応力度  
 \* B<sub>1L</sub>は " 下 "  
 \* B<sub>2u</sub>は床版上縁応力度  
 \* S<sub>1</sub>は主げたプレキャスト部PC鋼応力度  
 \* S<sub>2</sub>は1次床版PC鋼応力度  
 \* コンクリートは圧縮側(+)、PC鋼は引張側(+)  
 \* 着目点は図-5参照  
 \* 着目点 31、32、33、41、42、43は21、22、23、11、12、13に対応

表-9 N タイプのクリープ応力度の合計および乾燥収縮応力度

着目点	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
クリープ応力度	B <sub>1u</sub>	-20.3	-18.7	-21.1	-23.3	-15.0	-24.2	-23.6	-16.1	-24.4	-20.7	-19.6
	B <sub>1L</sub>	-14.8	-1.1	-14.5	-11.8	-4.5	-11.4	-12.0	-4.0	-11.8	-14.9	-0.9
	B <sub>2u</sub>	11.5	2.8	11.7	11.3	2.3	11.5	11.6	2.8	11.9	11.7	3.4
	S <sub>1</sub>	-1023.9	-966.0	-1025.5	-1021.8	-985.4	-1024.6	-1018.1	-1017.5	-1023.3	-971.2	-1023.8
	S <sub>2</sub>		-802.2			-809.6			-822.8		-817.2	
収縮応力度	B <sub>1u</sub>	2.0	-4.4	1.7	2.1	-4.4	1.7	2.0	-4.4	1.6	2.0	-4.4
	B <sub>1L</sub>	-3.1	3.6	-3.0	-3.1	3.7	-3.0	-3.2	3.5	-3.1	-3.2	3.6
	B <sub>2u</sub>	-1.7	-6.7	-1.6	-1.7	-6.7	-1.6	-1.6	-6.6	-1.5	-1.6	-6.6
	S <sub>1</sub>	-348.3	-368.3	-350.1	-348.2	-368.4	-349.9	-347.9	-368.5	-349.5	-347.7	-368.5
	S <sub>2</sub>		-271.6			-271.3			-274.7		-274.4	

表-10 L タイプのクリープ応力度の合計および乾燥収縮応力度

着目点	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
クリープ応力度	B <sub>1u</sub>	-18.0	-14.5	-18.6	-20.7	-11.1	-21.3	-20.8	-11.3	-21.4	-18.1	-14.7
	B <sub>1L</sub>	-14.0	-0.7	-18.7	-11.3	-3.8	-11.0	-11.3	-3.8	-11.1	-14.0	-0.9
	B <sub>2u</sub>	9.4	-1.2	9.6	9.3	-1.7	9.4	9.4	-1.5	9.6	9.6	-0.9
	S <sub>1</sub>	-1056.2	-945.4	-1055.2	-1053.8	944.9	1052.5	1045.6	943.7	-1045.5	-1049.7	-943.8
	S <sub>2</sub>		-714.0			721.3			725.9		-720.3	
収縮応力度	B <sub>1u</sub>	2.8	-4.2	2.5	2.8	-4.2	2.5	2.7	-4.2	2.5	2.7	-4.2
	B <sub>1L</sub>	-2.6	4.5	-2.6	-2.6	4.5	-2.6	-2.7	4.4	-2.6	-2.7	4.4
	B <sub>2u</sub>	-2.4	-7.6	-2.3	-2.4	-7.6	-2.3	-2.3	-7.6	-2.3	-7.6	-2.3
	S <sub>1</sub>	-351.7	-364.3	-352.6	-351.6	364.3	-352.6	-351.4	-364.1	-352.9	-351.4	-364.1
	S <sub>2</sub>		-253.2			253.2			-254.6		-254.6	

表-11 初期応力度

着目点	11	12	13	21	22	23
初期応力度	62.3	95.0	62.3	66.5	91.0	66.5
B <sub>1u</sub>	78.0	65.5	78.0	73.7	68.7	73.7
B <sub>1L</sub>	6.2	33.9	6.2	6.8	34.9	6.8
B <sub>2u</sub>	11021.0	9850.0	11021.0	11044.0	9856.0	11044.0
S <sub>1</sub>						
S <sub>2</sub>	9523.0			9516.0		

大きな差とはならない。床版コンクリートではN タイプとL タイプでかなりの差が見られる。クリープ、収縮合計応力度でみると支点部ではL タイプの方が約2倍の引張応力度を生じ初期応力度を考慮しても差がかなりありL タイプは不利である。また支間中央部ではL タイプ

の方が応力度が小さくなっているが、圧縮応力度であり活荷重による負の曲げモーメントにたいしては小さい方が不利となる。

(3) PC 鋼を合成した場合と無視した場合を比較する。図-5、着目点12のクリープ、乾燥収縮による節点拘束力(中間支点の不静定力に相当)を表-12に示す。死荷重のように曲げひずみのみを生ずる載荷の場合はPC 鋼無視の影響は少ないが、プレストレスや乾燥収縮のように軸方向ひずみを伴う場合はPC 鋼無視の影響は大きい。

表-12 PC 鋼無視の影響

構造系	プレキャストげた 自重作用		プレキャストげた プレストレス作用		乾燥収縮	
	合成	無視	合成	無視	合成	無視
連続げた	-57.75	59.57	35.65	41.43	-0.57	0.
格子げた1	-39.37	-40.68	23.83	28.07	-0.46	0.
格子げた2	-26.93	-27.65	27.42	30.48	-5.90	-5.68
格子げた3	-234.98	-245.44	376.62	423.43	-39.85	-24.56

\* 単位はモーメント (tfm)

\* Nタイプ

\* 符号は曲げモーメントの規約に合わせてある

表-13 断面諸値

断面諸値	プレキャスト主げた j=1			床版 j=2
	pt0, 10	pt1, 9, 11	pt2~8	
A <sub>bj</sub> (m <sup>2</sup> )	1.2637	0.9536	0.6748	0.5248
I <sub>bj</sub> (m <sup>4</sup> )	0.3921	0.3427	0.3053	0.00301
η <sub>bj</sub> (m)	1.1010	1.1080	1.1134	0.1160
E <sub>bj</sub> (tf/m <sup>2</sup> )	3.50x10 <sup>6</sup>	3.50x10 <sup>6</sup>	3.50x10 <sup>6</sup>	3.25x10 <sup>6</sup>

\* 記号は図-2 参照

表-14 プレキャスト主げた初期断面力

着目点	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
自重曲げモーメント	0.0	105.2	181.0	235.2	267.9	279.4	268.7	237.6	184.3	107.4	0.0	107.9	185.4	239.1	271.3	282.3
プレストレス偏心モーメント	-63.7	-99.5	-237.1	-354.8	-415.2	-415.2	-411.0	-303.9	-111.3	-30.0	16.6	27.3	-116.7	-303.9	-388.5	-388.5

\* プレストレス軸力は全着目点 535.1 tf

\* モーメントの単位は tfm

\* 着目点は図-9 参照

表-15 既往の研究の計算値との比較

着目点	プレキャスト主げた自重				プレキャスト主げたプレストレス				乾燥収縮				
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	
pt. 5	B <sub>1u</sub>	-38.1	-39.7	-37.8	-31.3	34.9	35.6	34.3	28.7	8.9	9.8	9.1	8.7
	B <sub>1L</sub>	26.5	27.0	25.8	21.5	-37.7	-38.5	-36.5	-30.0	2.9	2.9	2.6	2.4
	B <sub>2u</sub>	8.7	8.9	8.3	6.7	-0.8	-0.4	-0.6	-7.3	-7.8	-7.2	-6.9	
pt. 10	B <sub>1u</sub>	-14.5	-14.6	-14.7	-12.9	17.1	15.7	16.3	14.6	3.8	4.3	3.7	3.9
	B <sub>1L</sub>	23.0	23.9	23.4	19.9	-38.9	-40.5	-38.9	-32.5	5.0	5.6	5.2	4.8
	B <sub>2u</sub>	-9.6	-11.8	-10.9	-8.7	25.6	31.0	28.0	22.0	-10.0	-11.9	-10.7	-10.5
pt. 15	B <sub>1u</sub>	-46.5	-47.7	-45.8	-38.4	48.0	47.7	46.5	39.4	5.1	6.1	5.5	5.6
	B <sub>1L</sub>	42.6	42.7	41.2	34.5	-67.8	-68.6	-65.0	-53.6	10.2	10.5	9.5	9.0
	B <sub>2u</sub>	3.4	2.7	2.5	2.1	11.7	13.6	12.2	9.4	-10.1	-10.9	-9.8	-9.5

\* PC 鋼断面は考慮されない

\* 着目点は図-9 参照

\* ①は彦坂法の計算値で、クリープ係数は分離せず、プレキャスト主げた部 0.8 床版部 2.0

\* ②、③は本稿法の計算値でクリープ係数は①に同じ、②はクリープ係数を分割しない場合、③は分割を 5 とした場合

\* ④は本稿法の計算値で、クリープ係数は分離し、プレキャスト主げた部 フロー 0.4 遅れ弾性 0.4

床版部 フロー 1.6 遅れ弾性 0.4 フロークリープ係数の分割は 5

\* 乾燥収縮度は床版部に対して  $-9.0 \times 10^{-6}$ 

## 6. 既往の研究との比較

文献 3) 彦坂法の計算結果と比較する。対象は 3 段間連続 PC 合成げたで、プレストレスされたプレキャスト主げた（単純げた）を架設し、連続ケーブルによって連続げたとした後、床版が施工された構造についてである。

構造を図-9、断面諸値を表-13、プレキャスト主げた初期断面力を表-14、既往の研究の計算値との比較を表-15 に示す。彦坂法ではクリープ係数は遅れ弾性とフローに分離されていないが、分離しない場合の計算は、式(3)以降で遅れ弾性クリープによる項を 0 とし、分離しないクリープ係数をフロークリープ係数の項とする。またクリープ係数は実際の工程より求めた値ではない。以上について考察を行う。

(1) クリープ係数の分割は 5 程度で計算値は収束状態となるが、分割数 5 の場合の計算値を表-15 ③に示す。①彦坂法との差は小さい。②はクリープ係数を分割しない場合であるが、さほど差は増えない。

(2) ④はクリープ係数を分離した場合の計算値であ

る。プレキャスト主げた自重、プレストレスに対しては減少傾向になるが、乾燥収縮に対しては異なる結果となっている。

## 7. 結論

本論文では多段階施工の連続格子げたのクリープ、乾燥収縮に関する構造解析の一方法について述べた。

計算例および既往の研究との比較より得られた結論を示すと以下のようである。計算例については、設定された条件下の結果として述べる。

(1) プレキャスト主げたと床版コンクリートとの施工時期の差は床版部クリープ応力度にかなりの影響がある。

(2) 鋼材を無視した場合は、プレストレスや乾燥収縮による節点拘束力にかなりの影響がある。

(3) クリープ係数を分離しない場合で、文献 3) 彦坂法とのクリープ応力度の誤差は実用上差し支えない範囲と思われる。

## 参考文献

- 1) Rüsch, H., Jungwirth, D. und Hilsdorf, H.: Kritische Sichtung der Verfahren zur Berücksichtigung der Einflüsse von Kriechen und Schwinden des Betons auf das Verhalten der Tragwerke, *Beton- und Stahlbetonbau*, Heft 3, pp. 49-60, Heft 4, pp. 76-86, Heft 6, pp. 152-158, 1973.
- 2) リュッシャ, H. ユンクビルト, D. (百島祐信訳) : コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮, 鹿島出版会, pp. 13-110, 1980.
- 3) 彦坂 照: PC合成連続桁のクリープおよび収縮応力解析, プレストレストコンクリート, Vol. 15, No. 3, pp. 20-28, 1973年6月。
- 4) Sattler, K.: *Theorie der Verbundkonstruktionen Spannbeton Stahlträger in Verbund mit Beton Band 1*, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, pp. 158-174, 1959.
- 5) 橋 善雄: 連続合成桁橋, 理工図書, pp. 43-54, 1966.
- 6) 彦坂 照: 変断面連続合成桁橋のクリープおよび収縮応力解法, 土木学会論文報告集, 第199号, pp. 21-31, 1972年3月。
- 7) 大浜文彦, 小林和夫: プレキャストコンクリート連続合成ばかりの力学的挙動に関する研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp. 135-145, 1972年10月。
- 8) Torst, H.: Auswirkungen des Superpositionsprinzips auf Kriech- und Relaxationsprobleme bei Beton und Spannbeton, *Beton- und stahlbetonbau*, Heft 10, pp. 230-238, Heft 11, pp. 261-269, 1967.
- 9) Torst, H.: Zur Berechnung von stahlverbundträgern im Gebrauchszustand auf Grund neuerer Erkenntnisse des viskoelastischen Verhaltens des Betons, *Der Stahlbau*, Heft 11, pp. 321-331, 1968.
- 10) Kurita, A. and Nakai, H.: An Analysis for Long-Term Behavior of Steel-Concrete Composite Girders by taking into Account of Creep Recovery, *Structural Eng. /Earthquake Eng.*, Vol. 9, No. 2, 117s-128s, July 1992, Japan Society of Civil Engineers (Proc. of JSCE No. 450/I-1-20).
- 11) 星埜正明, 佐伯彰一: コンクリート斜張橋のクリープ解析, 土木学会論文報告集, 第295号, pp. 103-113, 1980年3月。
- 12) 岡島達雄, ほか: 複合応力を受けるコンクリートのクリープ, 日本建築学会論文報告集, 第242号, pp. 1-7, 1976年4月。
- 13) レオンハルト, F. (成井 信. ほか訳): プレストレストコンクリート (レオンハルトのコンクリート講座5), 鹿島出版会, pp. 245-257, 1983年。
- 14) 三本木茂夫, 吉村信敏: 有限要素法による構造解析プログラム(コンピュータによる構造工学講座I-1-B), 培風館, pp. 47-86, 1970年。
- 15) 土木学会: コンクリート標準示方書(平成3年版), 設計編: 土木学会, pp. 16-49, 1991年。
- 16) 日本道路協会: 道路橋示方書, 同解説(I共通編, IIIコンクリート橋編), 丸善, pp. 32-44, pp. 239-247, 1990年。
- 17) Elbadry, M., M. Ghali, A: Serviceability Design of Continuous Prestressed Concrete Structures, PCI Journal, Vol. 34, No. 1, pp. 55-91, 1989.
- 18) 大地羊三: 变形法による構造解析(数学ライブラリー8), 森北出版, pp. 89-96, 1968年

(1994.5.6 受付)

## CREEP ANALYSIS OF CONTINUOUS GRILLAGE COMPOSITE GIRDERS

Shinobu TONOZAKI

Continuous grillage composite girders are statically indeterminate to a high degree, and they are completed by multi-stage constructions which involve variations of composite section and structural system. In these structures, suitable analysis of time-dependent change in forces and deformations due to creep and shrinkage, are not proposed yet. An analysis combined with the step-by-step method and the stiffness matrix method is proposed in this paper. Furthermore, the composite section is composed of plural concrete section and steel section which have different mechanical properties. The author reports the result of calculations on a two-span continuous grillage PC composite girder under service load condition and discuss them in this paper.