

剛性マトリックス法によるPC連続合成桁の乾燥収縮応力解析

SHRINKAGE STRESS ANALYSIS OF CONTINUOUS COMPOSITE PRESTRESSED CONCRETE GIRDER
BY STIFFNESS MATRIX METHOD

* ** *** ****

宮本 裕 川上 洵 小泉隆浩 石田 宏

By Yutaka MIYAMOTO, Makoto KAWAKAMI, Takahiro KOIZUMI, and Hiroshi ISHIDA

Continuous composite prestressed concrete girders, in which firstly simply supported precast prestressed beams are erected, secondly those are connected with reinforcing steel or prestressing steel on the intermediate piers and finally concrete slab are casted on the continuous girders, have been applied for superhighway bridges.

Elastic stress analysis of these girders with constant cross section or variable cross sections has been performed by force method, however elastic and shrinkage stress analysis of the continuous girders with variable cross sections is more preferably done by stiffness matrix method rather than the above force method.

In this study, the general theory of shrinkage stress for continuous composite girders using stiffness matrix method has been developed by the extension of stress analysis for steel-concrete composite girders already obtained by authors.

The numerical examples for two continuous girders were shown and the calculated results were compared and discussed.

1. ま え が き

自動車専用道路などの建設において工期を短縮し高品質のプレキャスト部材を活用するために、プレキャストPC桁と現場打ち床版を組み合わせたプレストレストコンクリート合成桁(PC合成桁)が広く用いられている。筆者らはこれまで、鋼合成桁の解法として剛性マトリックス法(変位法・変形法)による解法を発表してきた^{5), 6), 7), 8)}。本論文においては、これらの成果をさらにPC合成桁の乾燥収縮応力解析にまで発展させて、拡張された連続合成桁の一般理論を提案するものである。なお連続合成桁の応力に関する基本式は内外で種々提案^{1), 2)}されているが、彦坂によるものを用いた⁴⁾。この一般的な連続合成桁の理論であるPC合成桁の式において、主桁の乾燥収縮やクリープを無視した特別な場合が鋼合成桁とすることができる。

* 工博	岩手大学教授	工学部土木工学科	(〒020 盛岡市上田4丁目3-5)
* * 工博	秋田大学助教授	鉱山学部土木工学科	(〒010 秋田市手形学園町1-1)
* * * 運輸省		第二港湾建設局	(〒220 横浜市西区高島1-2-5)
* * * * 工博	岩手大学助教授	工学部土木工学科	(〒020 盛岡市上田4丁目3-5)

記号および断面諸値

この論文で用いられる記号と断面諸値は文献4)に従ってつぎのようになる。なお脚字1はプレキャスト主桁、脚字2は場所打ち床版に関する量を表すものとする。

E_1, E_2 : コンクリートのヤング係数

A_1, A_2 : 主桁および床版の断面積

I_1, I_2 : 主桁および床版のそれぞれの重心軸 (C_1-C_1 および C_2-C_2) に関する断面2次モーメント

$n = E_1/E_2$: 主桁と床版のコンクリートのヤング係数比

a_1 : 合成断面の重心軸 ($V-V$) から主桁の重心軸 (C_1-C_1) までの距離

a_2 : 合成断面の重心軸 ($V-V$) から床版の重心軸 (C_2-C_2) までの距離

$a = a_1 + a_2$: C_1-C_1 から C_2-C_2 までの距離

$I_v = I_1 + A_1 a_1^2 + (I_2 + A_2 a_2^2) / n$: $V-V$ に関する合成断面の換算総断面2次モーメント

y_1, y_1' : C_1-C_1 から主桁下縁および上縁までの距離

y_2, y_2' : C_2-C_2 から床版下縁および上縁までの距離

2. 解析理論

合成桁に作用する外力としてのモーメント M_0 と合成断面の重心に働く軸力 N_0 が与えられると、各断面への配分量は次式で求められる。

$$M_{10} = \frac{I_1}{I_v} M_0, \quad N_{10} = \frac{a_2}{a} N_0 + \frac{A_1 a_1}{I_v} M_0, \quad M_{20} = \frac{I_2}{n I_v} M_0, \quad N_{20} = \frac{a_1}{a} N_0 - \frac{A_2 a_2}{I_v} M_0 \quad (1)$$

時刻 $t = 0$ のときの各断面に分配された断面力 $M_{10}, N_{10}, M_{20}, N_{20}$ はコンクリートのクリープおよび収縮により $M_{1t}, N_{1t}, M_{2t}, N_{2t}$ だけ変化するが、PC連続合成桁では2次不静定モーメントが発生するため、これらの変化量は2次不静定モーメントが生じない場合の解 $M_{1t}^0, N_{1t}^0, M_{2t}^0, N_{2t}^0$ と、2次不静定モーメントに起因する量 $M_{1tt}, N_{1tt}, M_{2tt}, N_{2tt}$ との和になる。

$$M_{1t} = M_{1t}^0 + M_{1tt}, \quad N_{1t} = N_{1t}^0 + N_{1tt} = -N_{2t}, \quad M_{2t} = M_{2t}^0 + M_{2tt}, \quad N_{2t} = N_{2t}^0 + N_{2tt} \quad (2)$$

ここで、 $M_{1t}^0, N_{1t}^0, M_{2t}^0$ は、それぞれ以下の式で表わされる。

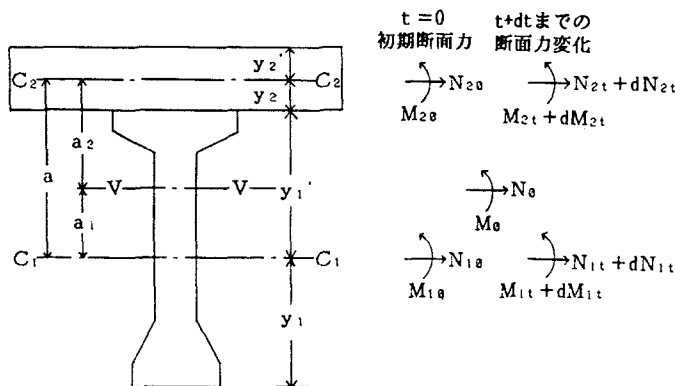


図-1 合成桁における軸力及び曲げモーメント

$$\left. \begin{aligned} M_{1t}^0 &= \alpha N \frac{\varphi^2}{\varphi} \{1 - \exp(-\alpha \varphi)\} & N_{2t}^0 &= -N_{1t}^0 = N \frac{\varphi^2}{\varphi} \{1 - \exp(-\varphi_2)\} \\ M_{2t}^0 &= \left(\frac{m I_2}{n I_1} M_{10} - M_{20} \right) \{1 - \exp(-\varphi_2)\} \\ &+ \frac{I_2}{n I_1} \alpha N \frac{\alpha}{1 - \alpha} \{1 - \exp(-\varphi_2)\} \frac{\varphi^2}{\varphi} - \{1 - \exp(-\alpha \varphi)\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 $N = \frac{E_2 A_2 S_n}{\varphi_{2n}} - N_{20} + \frac{m A_2}{n A_1} (N_{10} - \frac{A_1 \alpha}{I_1} M_{10})$ 、 $m = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$ (m は定数)

$$\alpha = 1 / \left\{ 1 + \frac{A_2}{n A_1} \left(1 + \frac{A_1 \alpha^2}{I_1} \right) \right\}, \quad \varphi = \left(1 + \frac{1 - \alpha}{\alpha} m \right) \varphi_2 = \varphi_2 + \frac{1 - \alpha}{\alpha} \varphi_1$$

また φ_1, φ_2 は $t=0$ 以降のプレキャスト桁および床版のクリープ係数、さらに $t \rightarrow \infty$ における両者の乾燥収縮ひずみ差を S_n 、 φ_2 の終局値を φ_{2n} とする。

さらに M_{1tt} 、 N_{2tt} 、 M_{2tt} は、それぞれ文献 4) では応力法でつぎのように計算している。

$$\left. \begin{aligned} M_{1tt} &= - (1 - \exp(-\varphi_1)) \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{10}}{E_1 I_1} dx + \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{1t}^0}{E_1 I_1} dx \\ N_{2tt} &= -N_{1tt} = \bar{\alpha} \frac{A_2 \alpha}{n I_1} \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{1t}^0}{E_1 I_1} \frac{\alpha}{\bar{\alpha} - \alpha} dx \\ &- \frac{A_2 \alpha}{n I_1} (1 - \exp(-\bar{\alpha} \varphi')) \left\{ \bar{\alpha} \frac{\varphi_2}{\varphi'} \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J}{E_1 I_1} \alpha N \frac{\alpha}{\bar{\alpha} - \alpha} dx \right. \\ &\quad \left. + \frac{\varphi_1}{\varphi'} \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{10}}{E_1 I_1} dx \right\} \\ M_{2tt} &= \frac{I_2}{n I_1} (1 - \exp(-\varphi_2)) \left\{ \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J}{E_1 I_1} \alpha N \frac{\alpha}{1 - \alpha} dx \right. \\ &\quad \left. + m \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{10}}{E_1 I_1} dx - \frac{I_2}{n I_1} \Sigma B_J \int_0^l \frac{M_J M_{1t}^0}{E_1 I_1} \frac{\alpha}{1 - \alpha} dx \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで $\bar{\alpha} = 1 / \left(1 + \frac{A_2}{n A_1} \right)$ 、 $\varphi' = \varphi_2 + \frac{1 - \bar{\alpha}}{\bar{\alpha}} \varphi_1$

また B_J は連続桁を応力法で解析する際に、中間支点の不静定モーメントを仕事方程式の連立方程式から計算して得られた解に計算のために便利なように中間表現をほどこした量であり、

$B_J = - \frac{1}{|D|} \Sigma A_{Ji} M_i$ となる。なお $|D|$ は仕事方程式の係数の行列式であり、 A_{Ji} はその余因数で

あり、 M_i は基本系の第 i 支点に単位モーメントを作用させたときの曲げモーメントである（くわしくは文献 4) を参照のこと）。

このようにすると変断面の区間ごとに積分計算をしさらにそれを全区間で合計することになり、かなりの計算量を必要とし汎用的な解法になりにくい（分割や連続桁の径間数の増加に対応するのが容易でない）。

そこで汎用的な計算機のプログラミングに適するように、変位法では M_{1tt} 、 N_{2tt} 、 M_{2tt} は剛性マトリックスを用いて求めることができる。

まず M_{1tt} を計算するには、次の剛性マトリックスを用いる。

$$\begin{Bmatrix} Q_v(0)/E_1 I_v \\ M_v(0)/E_1 I_v \\ Q_v(l)/E_1 I_v \\ M_v(l)/E_1 I_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12/\varphi^3 & -6/\varphi^2 & -12/\varphi^3 & -6/\varphi^2 \\ & 4/\varphi & 6/\varphi^2 & 2/\varphi \\ \text{Sym.} & & 12/\varphi^3 & 6/\varphi^2 \\ & & & 4/\varphi \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ y(l) \\ y'(l) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} (\bar{M}_{1t}^0(1) - \bar{M}_{1t}^0(2))/(E_1 I_1 \varphi) \\ -\bar{M}_{1t}^0(1)/E_1 I_1 \\ (\bar{M}_{1t}^0(2) - \bar{M}_{1t}^0(1))/(E_1 I_1 \varphi) \\ \bar{M}_{1t}^0(2)/E_1 I_1 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

ここで、剛性マトリックスの荷重項として $\bar{M}_{1t}^0 = \{1 - \exp(-\varphi_1)\} M_{10} + M_{1t}^0$ とおく。この剛性マトリックスを用いて Q_v と M_v が求められるが、その M_v から、 $M_{1tt} = M_v(I_1/I_v)$ として M_{1tt} を計算する

ことができる。なお式(5)の右辺の荷重項 $\bar{M}_{1t}^0(1)$, $\bar{M}_{1t}^0(2)$ は荷重を台形分布荷重と考えたときの左端および右端の値である(同様の表現を次の式(6)と式(7)においても用いる)。

ちなみに文献2)において、この式(5)に相当する剛性マトリックス式が誘導されているが、その誘導方法は著者たちの文献5)とほとんど同じである。

N_{2tt} を求めるには、つぎの剛性マトリックスを使って計算する。

$$\begin{Bmatrix} Q_v(0)/E_1 I_v \\ M_v(0)/E_1 I_v \\ Q_v(l)/E_1 I_v \\ M_v(l)/E_1 I_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12/l^3 & -6/l^2 & -12/l^3 & -6/l^2 \\ & 4/l & 6/l^2 & 2/l \\ & \text{Sym.} & 12/l^3 & 6/l^2 \\ & & & 4/l \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ y(l) \\ y'(l) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} (\bar{N}_{2t}^0(1) - \bar{N}_{2t}^0(2))/(E_1 I_1 l) \\ -\bar{N}_{2t}^0(1)/E_1 I_1 \\ (\bar{N}_{2t}^0(2) - \bar{N}_{2t}^0(1))/(E_1 I_1 l) \\ \bar{N}_{2t}^0(2)/E_1 I_1 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

ここで荷重項はつぎのようになる。

$$\bar{N}_{2t}^0 = \bar{\alpha} M_{1t}^0 \frac{\alpha}{\bar{\alpha} - \alpha} - \{1 - \exp(-\bar{\alpha} \varphi')\} \left(\bar{\alpha} \frac{\varphi_2}{\varphi}, \alpha N \frac{\alpha}{\bar{\alpha} - \alpha} + \frac{\varphi_1}{\varphi}, M_{10} \right)$$

そして、この剛性マトリックスを使って Q_v と M_v を計算してから、 N_{2tt} はその M_v より

$$N_{2tt} = \frac{A_2 \alpha}{n I_1} (M_v \frac{I_1}{I_v}) \text{ として形式的に求められる。}$$

同様に $\bar{M}_{2tt}$ を求めるには、つぎの剛性マトリックスにおいて

$$\begin{Bmatrix} Q_v(0)/E_1 I_v \\ M_v(0)/E_1 I_v \\ Q_v(l)/E_1 I_v \\ M_v(l)/E_1 I_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12/l^3 & -6/l^2 & -12/l^3 & -6/l^2 \\ & 4/l & 6/l^2 & 2/l \\ & \text{Sym.} & 12/l^3 & 6/l^2 \\ & & & 4/l \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ y(l) \\ y'(l) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} (\bar{M}_{2t}^0(1) - \bar{M}_{2t}^0(2))/(E_1 I_1 l) \\ -\bar{M}_{2t}^0(1)/E_1 I_1 \\ (\bar{M}_{2t}^0(2) - \bar{M}_{2t}^0(1))/(E_1 I_1 l) \\ \bar{M}_{2t}^0(2)/E_1 I_1 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

荷重項として

$$\bar{M}_{2t}^0 = \{1 - \exp(-\varphi_2)\} \left(\alpha N \frac{\alpha}{1 - \alpha} + m M_{10} \right) - M_{1t}^0 \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

を用いて、この剛性マトリックスを使って Q_v と M_v を計算してから、 M_{2tt} はその M_v より

$$M_{2tt} = \frac{I_2}{n I_1} (M_v \frac{I_1}{I_v}) \text{ として求めることができる。}$$

これによって、式(3)の断面力変化量が求められれば、クリープおよび収縮差応力が次式で算定される。

$$\left. \begin{aligned} \text{主桁下縁 } \sigma_{1t} &= \frac{N_{1t}}{A_1} + \frac{M_{1t}}{I_1} y_1, & \text{主桁上縁 } \sigma_{1t}' &= \frac{N_{1t}}{A_1} - \frac{M_{1t}}{I_1} y_1', \\ \text{床版下縁 } \sigma_{2t} &= \frac{N_{2t}}{A_2} + \frac{M_{2t}}{I_2} y_2, & \text{床版上縁 } \sigma_{2t}' &= \frac{N_{2t}}{A_2} - \frac{M_{2t}}{I_2} y_2', \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

特別の場合として、前述の各式において $\varphi_1 = 0$ とすれば、プレキャスト主桁のクリープを無視し、場所打ち床版コンクリートのみのみを考慮した場合、つまり合成桁の主桁部分が鋼桁の場合の応力が求められる ($m = 0$, $\varphi = \varphi' = \varphi_2$ とおくと式(3)から(7)まではすでに誘導した鋼合成桁の変形法の式^{7), 8)} に一致することが確かめられる)。

3. 計 算 例

図-2のような変断面2径間連続合成桁（床版160cm×16cm，ハンチ5.9cm）の節点③について、

(A) 鋼合成桁に関する計算方法^{5), 7), 8)}による乾燥収縮応力値

鋼桁のヤング係数 $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、床版のヤング係数 $E_c=3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

(B) 本報告のPC合成桁に関する計算方法による乾燥収縮応力値

$\varphi_1=0, \varphi_2=4.0$ 、鋼桁のヤング係数 $E_1=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、床版のヤング係数 $E_2=3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の場合

$\varphi_1=\varphi_2=4.0$ 、PC桁のヤング係数 $E_1=3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、床版のヤング係数 $E_2=3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の場合

を求めた。その計算結果の表-1において、(B)の $\varphi_1=0, \varphi_2=4.0$ の場合の値と(A)の値とは一致している。なお最終収縮度 $S_n=15 \times 10^{-5}$ である。(B)の $\varphi_1=\varphi_2=4.0$ は、任意のデータの場合ができるという例としてあげた。

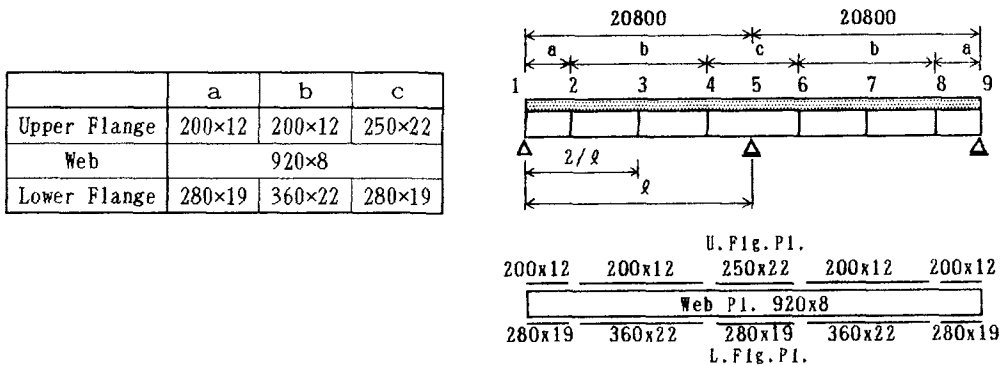


図-2 2径間連続合成桁

表-1 2径間連続合成桁の乾燥収縮応力 (kg/cm^2)

case	A	B	
σ	$\varphi=4.0$	$\varphi_1=0, \varphi_2=4.0$	$\varphi_1=\varphi_2=4.0$
σ_{1t}	-148.8	-148.9	-76.3
σ_{1t}'	-64.2	-64.2	-42.4
σ_{2t}	6.3	6.3	3.6
σ_{2t}'	6.7	6.7	4.8

次に図-3のような3径間連続PC合成桁を考える。これは日本道路公団が採用しているPC連続合成桁（変断面、支間 35m+35m+35m）の一例であり、参考文献4)の計算例と比較することができる。

主桁のPC鋼材断面積は $A_p=66.89 \text{ cm}^2$ 、床版断面は $A_2=5248 \text{ cm}^2$ 、 $I_2=3.01 \times 10^5 \text{ cm}^4$ で、他の断面諸値は表-2のようになる。

また材料の諸定数は $E_1=3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_2=3.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $n=E_1/E_2=1.08$ 、 $S_n=9 \times 10^{-5}$ であり、クリープ係数は参考文献4)にならって、① $\varphi_1=0.4, \varphi_2=2$ 、② $\varphi_1=0.8, \varphi_2=2$ 、③ $\varphi_1=0.4, \varphi_2=4$ 、④ $\varphi_1=0.8, \varphi_2=4$ とした。

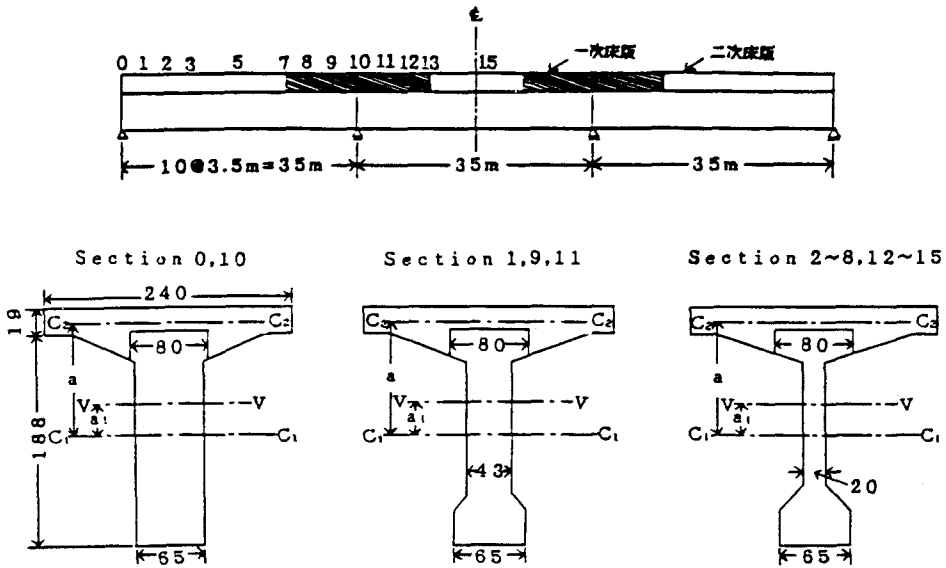


図-3 3径間連続PC合成桁

表-2 3径間連続PC合成桁における断面諸量

断面	0, 10	1, 9, 11	2~8, 12~15
A_1 (cm ²)	12637	9536	6748
I_1 (cm ⁴)	3.921×10^7	3.427×10^7	3.053×10^7
I_v (cm ⁴)	7.357×10^7	6.626×10^7	5.957×10^7
a_1 (cm)	27.4	33.5	42.7
a (cm)	98.4	99.2	101.8
y_1 (cm)	96.9	96.2	93.6
y_1' (cm)	93.1	93.8	96.4
α	0.3861	0.3438	0.2961
$\bar{\alpha}$	0.7217	0.6618	0.5807

計算結果を比較したものが表-3である。また図-4は桁軸方向に沿って計算結果をプロットしたものである。

表-3 3径間連続桁における乾燥収縮応力 (kg/cm²)

断面	断面	5				10				15			
		σ_{1t}	σ_{1t}'	σ_{2t}	σ_{2t}'	σ_{1t}	σ_{1t}'	σ_{2t}	σ_{2t}'	σ_{1t}	σ_{1t}'	σ_{2t}	σ_{2t}'
$\varphi_1=0.8$	彦坂 ⁴⁾	-2.9	-8.9	-	7.3	-5.0	-3.8	-	10.6	-10.2	-5.1	-	10.1
$\varphi_2=2$	本方法	-2.6	-9.0	7.6	7.1	-5.9	-4.2	10.5	10.7	-9.6	-5.4	9.5	9.8
$\varphi_1=0.4$	彦坂 ⁴⁾	-1.7	-7.2	-	5.5	-3.8	-2.0	-	7.0	-7.3	-3.1	-	6.8
$\varphi_2=4$	本方法	-1.4	-7.3	5.6	5.5	-4.4	-2.3	7.1	7.1	-6.8	-3.4	6.5	6.6

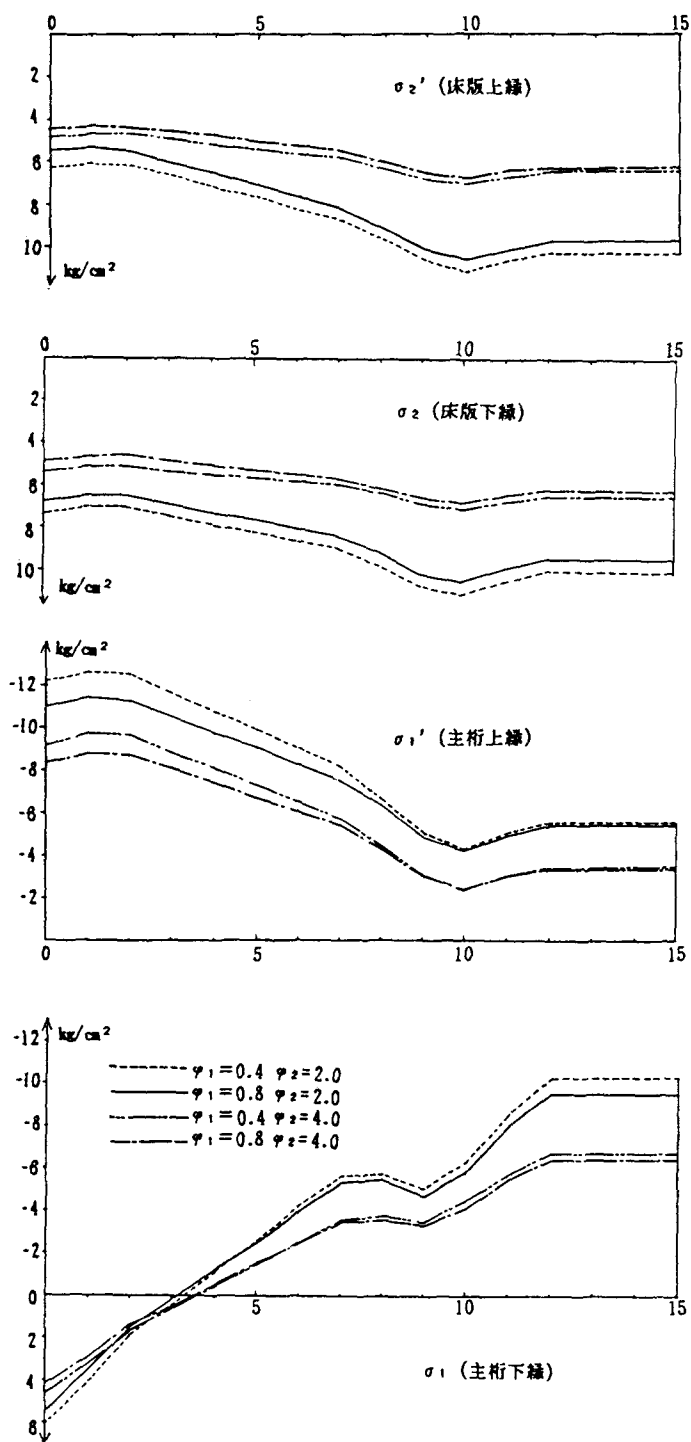


図-4 床版および主桁における乾燥収縮応力（横軸の数字は桁の節点番号を表す。）

2つの方法による計算結果はかなりよく一致している。計算の入力断面が参考文献4)では節点0から15までしか与えられていないので、本計算では要素の両端の数値の平均をその要素の数値(たとえば節点1の断面積 A_1 と節点2の断面積 A_2 の平均をこの両節点にはさまれる要素の断面積 A_1 とする)としたが、この断面の仮定方法に誤差の原因があると思われる。

また文献4)では応力法によるため、モールの定理を使った変断面桁の積分計算の有効数字の桁落ち誤差があるのではないかと考えられる。これに対して本方法では、一律に剛性マトリックスで計算するため、桁落ち誤差のおそれは少ないと考えられる。

4. あ と が き

本論文において、彦坂の提案した連続合成桁に関する一般的理論を変位法で解析し、計算結果を検討した。得られた結論を列記すると以下のようになる。

- 1) この理論は煩雑ではあるが、クリープ係数、ヤング係数などの材料定数の仮定のもとで、理論的には厳密なものである。
- 2) 連続合成桁の支点条件による不静定構造の解析部分を応力法によっていたものを⁴⁾、連続支持条件、変断面などに容易に対応できる、より汎用性のある剛性マトリックス法で解くことができるようにした。
- 3) 剛性マトリックスの荷重項をおきかえることで、相似表現形式の分配断面力 M_{1tt} 、 N_{1tt} 、 M_{2tt} が同一の手法の計算であつかえるようにした。
- 4) 数値計算で示したとおり変断面も容易に解くことができる。

本理論をさらに発展させると、P C鋼材によるプレストレスのクリープ応力解析なども計算可能であるが、本論文ではこれを割愛した。また著者らは実橋の測定データを手入しているが、それらのデータは乾燥収縮応力、P C応力、死荷重応力など諸々の応力の合計結果であり、目下応力計算中であり応力総和としての解析値と実測値を比較して今後発表する予定である。

本研究の一部は西ドイツ・アレキサンダー・フォン・フンボルト財団研究員としての研究成果に基づくものであり、同財団に感謝する。

参考文献

- 1) 中井博編:プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、1988
- 2) 佐藤・渡辺・佐藤:変位法によるコンクリート構造物のクリープ・乾燥収縮解析の基礎理論、プレストレスト・コンクリート、Vol. 22, No. 2, pp. 59-66, 1980
- 3) 彦坂: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, No. 199, pp. 21-31, 1972
- 4) 彦坂: P C 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
- 5) 渡辺・宮本・小嶋:剛性マトリックスによる連続合成桁の乾燥収縮および温度差応力解析、橋梁と基礎、Vol. 12, No. 6, pp. 13-17, 1978
- 6) 宮本・渡辺:変断面連続合成桁のP C鋼材によるプレストレスのクリープ応力解析、土木学会第35回年次学術講演会講演概要集 I-33, 1980
- 7) Watanabe and Miyamoto: Stiffness Matrix Analysis of Shrinkage Stress and Stress due to Support Settlement in Continuous Composite Girder, J. Civil Eng. Design, Vol. 2, No. 3, pp. 247-259, 1980
- 8) Miyamoto: Berechnung des Durchlaufverbundträgers mit Hilfe des Weggrößenverfahrens, FG Werkstoffmechanik TH Darmstadt FF-7/ 1982

(1989年10月2日受付)