

大阪工業大学 正員 赤尾 親助  
 大阪工業大学 正員 ○栗田 章光  
 同大学院 学生員 平城 弘一

1. まえがき. 本文は、文献<sup>(\*)</sup>1)の解法に基づき、一連の合成構造部材におけるコンクリートの収縮およびクリープによる影響の算定法の1つとして *preflex*ばりの場合について述べている。さて、コンクリートの収縮およびクリープの問題についてはすでに多くの研究成果があり、中でも H. Trost は、F. Dischinger の提示した時間歪に因する微分方程式に基づき、材令の影響を厳密に考慮し、Relaxation 関数を導入して充満な解を与え、B. Fritz の解と比較を行っているが、結果としてその差は5%内外である。ところで、種々の条件の下におけるコンクリートのクリープ関数を正確に決定するためのデータが不足している点において、この方面については更に基本的な研究が望まれる。そこで、本解法は、クリープ関数および Relaxation 関数を簡単な数学的近似を用いて表現することにより、計算式は非常に簡略化され、しかも変化応力度が直接算定でき、更に、Sattler の厳密解による結果とほとんど差がなけりといふ長に特長づけられる。以下、*preflex*ばりの各施工段階ごとの応力変化量および変形量の計算式を誘導する。

2. 解法の基本式. 解析上の仮定を挙げれば、次の様である。(a)コンクリートの弾性係数は一定とする。(b)コンクリートの材令に対する初期乾時の終局クリープに与える影響は補正係数(K)を用いて行い、以後の載荷に対するクリープ関数には Whitney の法則を用い、各荷重段階ごとに当初応力度を求めて計算を進める。(c)当初応力度  $\sigma_0$  が最終的に  $\sigma_1$  に変化するものとし時刻  $t_1$  における応力度  $\sigma_{t_1}$  を次の様におく。

$$\sigma_{t_1} = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_1)(1 - e^{-kt_1}) \dots \dots \dots (1) \quad \text{文献}^{(*)}4) \text{によれば時刻} t_1 \text{より} t_2 \text{までに生ずる変化歪} \Delta \epsilon_{t_1, t_2}$$

$$\Delta \epsilon_{t_1, t_2} = \{ \sigma_{t_1} \phi_{t_2} + \Delta \sigma_{t_1} (1 + \phi_{t_2}/2) \} / E_c \dots \dots \dots (2) \quad \text{こゝに、} \Delta \epsilon_{t_1, t_2} = \epsilon_{t_2} - \epsilon_{t_1}, \Delta \sigma_{t_1} = \sigma_{t_2} - \sigma_{t_1}, \phi_{t_2} = \phi_{t_2} - \phi_{t_1} \dots \dots \dots (3)$$

となり、時刻  $t_1$  より  $t_2$  までの変化歪については、 $t_1$  における当初応力度  $\sigma_{t_1}$  に対してクリープ係数  $\phi_{t_2}$  を、 $t_2$  に至るまでの時間を伴う変化応力度  $\Delta \sigma_{t_1}$  に対して弾性係数として  $E_c / (1 + \phi_{t_2}/2)$  を用いたばりることが分る。

*preflex*ばりにおけるコンクリートの収縮およびクリープの影響については、版のコンクリート打設前までと打設後の2段階に分けて取り扱う。更に、各段階において、乾燥収縮とクリープを分けて考える。

3. 版コンクリート打設前における部材の応力変化.

(i) 下縁コンクリートの乾燥収縮. 下縁コンクリートの最終収縮度と  $\epsilon_s$ 、収縮に伴うクリープ係数を  $\phi_{2t}$  とし時刻  $t$  におけるそれらを、

$$\epsilon_{st} = \epsilon_s \phi_{2t} / \phi_2, \quad \phi_{2t} = \phi_2 (1 - e^{-kt}) \dots \dots \dots (4)$$

と表わす。図-1に示すように下縁コンクリートが鋼桁による拘束をうけなかつた場合の自由な収縮歪  $\epsilon_{st}$  と  $P_{st}$  なる引張力とを加えても

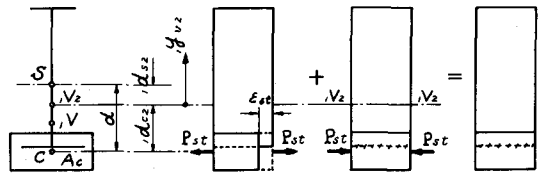


図-1.

とのひずみ状態に戻した後、合成させて  $P_{st}$  を解放し、この両者を重ね合わせると変化応力度は、  
 ・下縁コンクリート部  $\sigma_c = (P_{st} / A_{c2} + M_{st} i_{c2} / I_{c2}) / N_{c2} - E_{c2} \epsilon_{st} \dots \dots \dots (5)$  ・鋼桁部  $\sigma_s = P_{st} / A_{s2} + M_{st} i_{s2} / I_{s2} \dots \dots \dots (6)$   
 こゝに、 $P_{st} = E_{c2} A_c \epsilon_{st}$  ,  $M_{st} = -P_{st} i_{c2}$  ,  $E_{c2} = E_c / (1 + \phi_{2t} / 2)$  ,  $N_{c2} = E_s / E_{c2}$  であり、 $A_{c2}$ 、 $I_{c2}$  は  $N_{c2}$  を用いて算定した鋼桁と下縁コンクリートとの換算合成断面積と断面2次モーメントであり、応力度は圧縮を正とし、 $i_{c2}$  は換算合成重心、 $V_2$  より上方に向けて正方向とする。

(ii) 下縁コンクリートのクリープ

終局クリープ係数を  $\varphi_1$  とすれば、

$$\varphi_{1t} = \varphi_1 (1 - e^{-kt}) \dots\dots (7)$$

鋼材の拘束をうける場合の自由なクリープ量を  $\varepsilon_{\varphi t}$ 、下縁コンクリート重心におけるそれを  $\varepsilon_{\varphi 0,t}$  とすれば、

$$P_{\varphi t} = E_{c1,t} \int_{Ac} \varepsilon_{\varphi t} dA = E_{c1,t} \cdot \varepsilon_{\varphi 0,t} \cdot Ac \dots\dots (8)$$

なる引張力をコンクリート断面に作用させて当初のひずみ状態に戻した後、鋼材とコンクリートを結合して  $P_{\varphi t}$  を解放すれば合成断面には軸圧縮力  $P_{\varphi t}$  と、曲げモーメント  $M_{\varphi t}$  が作用することになり、結局、変化応力度は次式より求められる。

・下縁コンクリート部  $\Delta \sigma_c = (P_{\varphi t}/A_{01} + M_{\varphi t} \cdot i_{01}/I_{01})/n_{1t} - \sigma_c \cdot 2\varphi_{1t}/(2+\varphi_{1t}) \dots\dots (9)$

・鋼材部  $\Delta \sigma_s = P_{\varphi t}/A_{01} + M_{\varphi t} \cdot i_{01}/I_{01} \dots\dots (10)$

ここに、 $N_{c1} = (M_{\varphi t} - M_{d1}) \cdot i_{01} / Ac / n_{1t}$ 、 $M_{\varphi t}$ 、 $M_{d1}$  は *preflexion* および鋼材と下縁コンクリートの自重によるモーメントを示し、 $P_{\varphi t} = N_{c1} \cdot 2\varphi_{1t}/(2+\varphi_{1t})$ 、 $M_{\varphi t} = -P_{\varphi t} (i_{01} + k^2/d_c)$ 、 $E_{c1,t} = Ec/(1+\varphi_{1t}/2)$ 、 $n_{1t} = Es/E_{c1,t}$ 、 $A_{01}$ 、 $I_{01}$  は  $n_{1t}$  を用いて求めた換算合成断面値であり、 $i_{01}$  は下縁コンクリートの断面2次半径である。

4. 版コンクリート打設後の部材の応力変化。版コンクリートの弾性係数を  $E_c'$ 、最終収縮度を  $\varepsilon_s'$ 、クリープ係数を  $\varphi_2'$  とする。なお、腹部コンクリートの影響は無視し、前と同様に解析し結果だけを示す。

(i). コンクリートの乾燥収縮 (図-3)

・版コンクリート部  $\sigma_c' = (P_s/2A_{02} + M_s \cdot i_{02}/I_{02})/n_c' - Ec_2' \cdot \varepsilon_s' \dots\dots (11)$

・鋼材部  $\sigma_s = P_s/2A_{02} + M_s \cdot i_{02}/2I_{02} \dots\dots (12)$

・下縁コンクリート部  $\sigma_c = (P_s/2A_{02} + M_s \cdot i_{02}/2I_{02})/n_{\bar{c}} - Ec_{\bar{c}} \cdot \varepsilon_s (1 - \varphi_{2t}/\varphi_2) \dots\dots (13)$

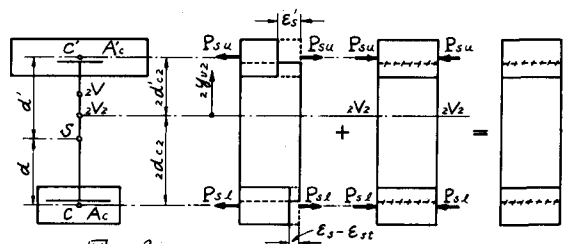


図-3

ここに、 $Ec_2' = Ec'/(1+\varphi_2/2)$ 、 $Ec_{\bar{c}} = Ec/(1+\varphi_2/2)$ 、 $P_s = P_{s2} + P_{s1}$ 、 $M_s = P_{s1} \cdot 2dc_2' - P_{s2} \cdot 2dc_2$ 、 $n_c' = Es(1+\varphi_2/2)/Ec'$ 、 $n_{\bar{c}} = Es(1+\varphi_2/2)/Ec$ 、 $2A_{02}$ 、 $2I_{02}$  は  $n_c'$ 、 $n_{\bar{c}}$  を用いて求めた換算合成断面値。

(ii). コンクリートのクリープ (図-4)

クリープを考慮する当初応力度は、下縁コンクリート部に対しては、

$$\sigma_{c1} = \sigma_c + \Delta \sigma_{c2} + \sigma_{c3} \dots\dots (14)$$

ここに、 $\sigma_c$  は *Preflexion* のリリースによる曲げモーメント ( $-M_{\varphi t}$ )、*preflexion* の自重による曲げモーメント ( $M_{d1}$ ) および版コンクリート打設による曲げモーメント ( $M_{d2}$ ) による応力抵抗断面は  $n = Es/Ec$  を用いた換算断面に作用し、 $\sigma_c = (M_{d1} - M_{\varphi t} + M_{d2}) \cdot i_{01} / n \cdot I_{01} \dots\dots (15)$ 、 $\Delta \sigma_{c2}$  は版コンクリート打設直前までの変化応力度で式(5)、(9)より求められる。 $\sigma_{c3}$  は版コンクリートの硬化後に作用する後死荷重による曲げモーメント ( $M_{d3}$ ) による応力で、 $\sigma_{c3} = M_{d3} \cdot i_{01} / n \cdot I_{01} \dots\dots (16)$ 。次に、版コンクリート部については  $\sigma_c' = M_{d3} \cdot i_{01} / n' \cdot I_{01} \dots\dots (17)$ 。ここに、 $n' = Es/Ec'$ 、 $I_{01}$  は  $n'$  を用いた換算断面2次モーメント。

・版コンクリート部  $\Delta \sigma_c' = (P_{\varphi}/A_{01} + M_{\varphi} \cdot i_{01}/2I_{01})/n_c' - \sigma_c' \cdot 2\varphi_1'/(2+\varphi_1') \dots\dots (18)$

・鋼材部  $\Delta \sigma_s = P_{\varphi}/2A_{01} + M_{\varphi} \cdot 2i_{01}/2I_{01} \dots\dots (19)$

・下縁コンクリート部  $\Delta \sigma_c = (P_{\varphi}/2A_{01} + M_{\varphi} \cdot 2i_{01}/2I_{01})/n_{\bar{c}} - \sigma_c \cdot 2\varphi_1/(2+\varphi_1) \dots\dots (20)$

ここに、 $n_c' = Es(1+\varphi_1/2)/Ec'$ 、

$n_{\bar{c}} = Es(1+\varphi_1/2)/Ec$ 、 $P_{\varphi} = \sigma_{c3} \cdot Ac \cdot 2\varphi_1/(2+\varphi_1)$

$P_{\varphi} = (M_{d3} \cdot 2dc_1' \cdot Ac' / n_c' \cdot I_{01}) \cdot 2\varphi_1'/(2+\varphi_1')$ 、 $P_{\varphi} = P_{\varphi u} + P_{\varphi l}$ 、 $M_{\varphi} = P_{\varphi u} (2dc_1' + k^2/d_c) - P_{\varphi l} (2dc_1 + k^2/d_c)$

$S = (\sigma_{c1,t} \cdot y_{c1} + \sigma_{c2,t} \cdot y_{c2}) / (\sigma_{c1,t} - \sigma_{c2,t})$ 、 $2A_{01}$ 、 $2I_{01}$  は  $n_c'$ 、 $n_{\bar{c}}$  を用いて求めた換算断面値。

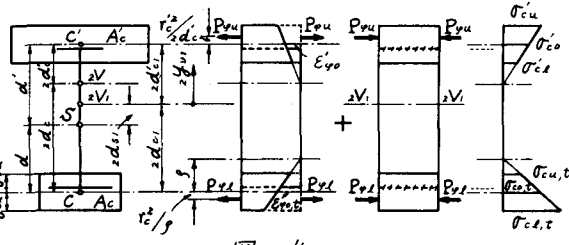


図-4

5. 変形を求めるための弾性荷重

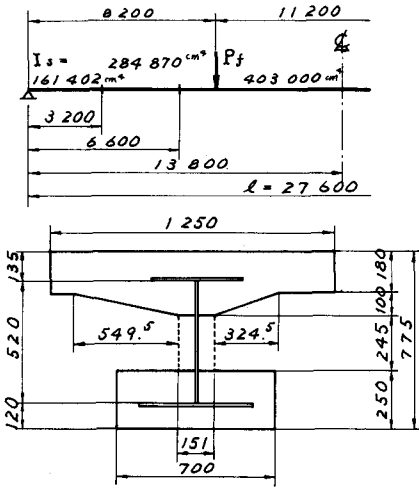
版のコンクリート打設前および打設後において、乾燥収縮およびクリープによる変形を求めるための弾性荷重を一括して示せば表-1のとおりである。

表-1

	版コンクリートの打設前		版コンクリートの打設後	
	4x 縮	7リ-7°	4x 縮	7リ-7°
曲げ変形	$M_{st}/E_s \cdot I_{U2}$	$M_{pt}/E_s \cdot I_{U1}$	$M_s/E_s \cdot I_{U2}$	$M_p/E_s \cdot I_{U1}$
軸変形	$P_{st}/E_s \cdot A_{U2}$	$P_{pt}/E_s \cdot A_{U1}$	$P_s/E_s \cdot A_{U2}$	$P_p/E_s \cdot A_{U1}$
基準軸	$\sqrt{2}$	$\sqrt{1}$	$2\sqrt{2}$	$2\sqrt{1}$

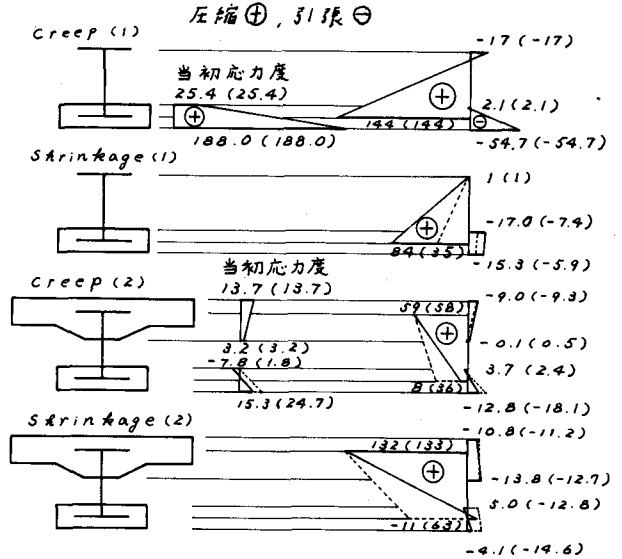
6. 数値計算例

図-5に示す様な断面寸法を有する preflexばりを例にとる。preflexion荷重は  $P_f = 35.3 \text{ ton}$  であり、版のコンクリート打設までに下縁コンクリートの収縮およびクリープが共に25%進行するものと仮定した場合を計算I、版のコンクリート打設前までに下縁コンクリートの収縮は終了し、クリープが25%進行するとした場合を計算IIとして各段階における応力の応力変化量を示せば図-6のとおりである。同じく、表-2には応力の収縮およびクリープによるたわみ量の計算結果を示した。



$E_c = 3.35 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$      $E'_c = 3.00 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$   
 $\varphi_1 = 2.0$      $\varphi'_1 = 2.0$   
 $E_s = 18 \times 10^5$      $\varphi_2 = 4.0$      $E'_s = 18 \times 10^5$      $\varphi'_2 = 4.0$

図-5



----- ( ) 計算 I ( $E_{st} = 4.5 \times 10^5$ ,  $\varphi_{st} = 1.0$ )  
 ————— 計算 II ( $E_s = 18 \times 10^5$ ,  $\varphi_2 = 4.0$ )

図-6

7. まとめ preflexばりにおいて従来計算されてはなかったコンクリートの収縮およびクリープによるたわみ量を突橋を例にとり算定した結果、表-2にみられる様に、最終的には僅かではあるがより上りを生じることが明らかとなった。プレビーム道路橋設計施工指針(案)に従って設計した場合(計算II)、下縁コンクリートを除くとは安全側となり、通常、活荷重に対し下縁コンクリート断面は無視されるので問題は残らない。記号は主に文献<sup>x5)</sup>に従った。なお、他の合成構造部材、例えば R-C 桁、P-C 桁、P-C 合成桁等についての解析も実施してはいるので、いずれ総括して報告する予定である。

表-2 応力のたわみ量 (cm)

	計算 I	計算 II
Shrinkage (1)	-0.28	-0.69
Creep (1)	-1.17	-1.17
Shrinkage (2)	0.52	1.11
Creep (2)	-0.02	-0.02
$\Sigma$	-0.95	-0.77

\*1). M, Yasumi: Tech. Rept. of Osaka Univ. Vol. 15, No. 651, 1965. \*2). Id, Trost: Beton und Stahlbetonbau, H10/11, 1967.  
 \*3). Id, Trost: Stahlbau, H11, 1968. \*4). 赤尾, 栗田: 関西道路研究会資料 No. 1, 1973, 5.  
 \*5). プレビーム振興会: プレビーム道路橋設計施工指針(案), 1972. \*6). A. Pucher: Lehrbuch des Stahlbetonbaus. 1961.  
 \*7). A. M. Neville: Creep of Concrete, north-holland, 1970. \*8). 猪股: コンクリートジャーナル, Vol. 7, No. 3, 1969.