

大阪工業大学 正会員 赤尾親助  
 " " " 〇栗田章光

## 1. まえがき.

PC斜張橋の原典は, Torrojaの設計により1925年に完成したTempul水道橋(スペイン)であろう。Torrojaは, tendonをけたの外側へ出すことにより大きな偏心距離を設け, 低強度のケーブルで大きなプレストレスング力を導入した。その後, 約40年の空白はあったものの有名なMaracaibo橋以来, 最近のPasco-Kennewick Intercity Bridge(アメリカ)あるいはBrotonne橋(フランス)に至るまでPC斜張橋は急速な進展を示している。この分野において我国は相当な遅れを生じているものの現在工事中の小本川橋(鉄道橋)を契機にし, 振動・騒音および保身の点で有利なこの形式がかなり採用されるものと思われる。

本研究は, PC斜張橋の設計の際問題になると考えらるコンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響解析を試み, そのデータ提供を目的としている。そこで, まず, 本文ではPC斜張橋の基本部材であるRCげたについての簡易計算法を示し, 外的高次不静定構造の解析に適した形で整理している。PC, PC合成げたおよびその他の合成部材についての解析と計算例は, 文献\*1)の中に示してある。

## 2. 解析の基本式.

解析上の仮定を挙げれば次の様である。

- 1). コンクリートのヤング係数は一定とする。
- 2). コンクリートの材令に關係する初期載荷時の終局クリープに与える影響は, 補正係数を用いて行い, 以後の載荷に対するクリープ関数にはWixneyの法則を適用する。
- 3).  $\varphi_t = \varphi_{\infty}(1 - e^{-kt})$  のクリープ関数を用いる。
- 4). 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  $t$  における応力度  $\sigma_t$  を次の形に置く。

$$\sigma_t = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_1)(1 - e^{-kt}) \quad \dots\dots(1)$$

応力 ~ ひずみ関係は, F. Dischinger (1937) が提示し, A. Pucker (1961) が彼の著書の中で解説した式

$$\frac{d\varepsilon_t}{dt} = \frac{\sigma_t}{E_c} \frac{d\varphi_t}{dt} + \frac{1}{E_c} \frac{d\sigma_t}{dt} \quad \dots\dots(2)$$

を用いる。上式に, クリープ関数および式(1)を代入して, 時刻  $t_1$  より  $t_2$  まで積分し, その間の変化ひずみ  $\Delta\varepsilon_t = \varepsilon_{t_2} - \varepsilon_{t_1}$  を求めれば,

$$\Delta\varepsilon_t = \frac{1}{E_c} \left\{ \sigma_{t_1} \Delta\varphi_t + \Delta\sigma_t \left( 1 + \frac{\Delta\varphi_t}{2} \right) \right\} \quad \dots\dots(3)$$

ここに,  $\Delta\sigma_t = \sigma_{t_2} - \sigma_{t_1}$ ,  $\Delta\varphi_t = \varphi_{t_2} - \varphi_{t_1}$ 。  
 クリープによる時刻  $t_1$  より  $t_2$  までの変化ひずみに対しては, 当初応力度  $\sigma_{t_1}$  についてはクリープ係数  $\Delta\varphi_t$  を, 時間に伴う変化応力度  $\Delta\sigma_t$  についてはヤング係数として  $E_c/(1 + \Delta\varphi_t/2)$  を用いなければならないことが分る。乾燥収縮の場合, 当初応力度は無関係であるがひずみ変化は時間に伴うので乾燥収縮に対するクリープ係数を用いて上記と同様に扱うことができる。

また, ドイツにおけるPC設計施工指針<sup>\*2)</sup>(1972)では, 持続荷重の除荷後に現われる回復クリープ現象をうまく説明するために, H. Rüsch および H. Tors<sup>\*3)</sup>の提案に従って, クリープ係数を遅延弾性成分と流動変形成分に分けて規定している。本解析においては, H. Rüsch の著書<sup>\*4)</sup>あるいは, J. Haensel の論文に示されている様に比較的簡単に考慮することができる。

## 3. RCげたの解析.

### 3.1. コンクリートの乾燥収縮.

鉄筋の拘束を受けなかったときの自由な収縮ひずみを  $\varepsilon_s$  とし, 図1(b)を参照して, 当初のひずみ状態に戻すためには,

$$P_s = E_c I A_c \varepsilon_s \quad \dots\dots(4)$$

なる引張力をコンクリート断断面の重心位置  $G$  に作用

\*1) 赤尾, 栗田: "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の算定法", 関西道路研究会, No.A-1, 1973.

\*2) "Spannbeton, Richtlinien für Bemessung und Ausführung - DIN 4227", Beton-Kalender 1974, Teil-I.

\*3) H. Rüsch, D. Jungwirth 著, 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, 1976.11.

\*4) J. Haensel: "Effects of Creep and Shrinkage in Composite Construction", Ruhr-Univ. Bochum, 1975.

させればよい。次にコンクリートと鉄筋を付着させた後  $P_3$  を解放すれば、 $P_3$  はヤング係数比を

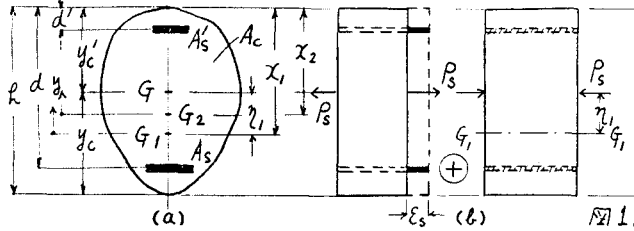


図1.

$$n_1 = (E_s/E_c)(1 + P_3/2) \quad \dots\dots(5)$$

とした換算断面の重心  $G_1$  に対し軸圧縮力および

$$M_3 = P_3 \cdot \eta_1 \quad \dots\dots(6)$$

なる曲げモーメントとなって作用する。したがって、収縮による応力変化は、圧縮を正として

$$\left. \begin{aligned} \text{コンクリート部 } \Delta \sigma_c &= E_c \varepsilon_s \left( \frac{A_c}{A_{i1}} + \frac{A_c \eta_1}{I_{i1}} y - 1 \right) \\ \text{鉄筋部 } \Delta \sigma_s &= E_s \varepsilon_s \left( \frac{A_c}{A_{i1}} + \frac{A_c \eta_1}{I_{i1}} y \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(7)$$

こに、 $E_{c1} = E_c / (1 + P_3/2)$ ,

$$\eta_1 = n_1 p (d - x_1) - n_1 p' (x_1 - d')$$

$$p = A_s/A_c, \quad p' = A_s'/A_c, \quad A_{i1} = A_c \{ 1 + n_1 (p + p') \}$$

$$I_{i1} = I_c + A_c \eta_1^2 + n_1 \{ A_s (d - x_1)^2 + A_s' (x_1 - d')^2 \}$$

### 3.2. コンクリートのクリープ

コンクリートの上下縁における当初応力度をそれぞれ  $\sigma_u, \sigma_l$  とし、コンクリート純断面の重心  $G$  におけるそれを  $\sigma_g$  と記す。図1(c)を参照して、収縮の場合と同様の操作を講ずる。重心  $G$  における自由なクリープひずみ  $\varepsilon_{qg}$  は

$$\varepsilon_{qg} = (\varphi/E_c) \times (\sigma_u y_c/h + \sigma_l y_c'/h)$$

となり、 $P_q$  は次の様になる。

$$P_q = E_{c2} \int_{A_c} \varepsilon_q dA = A_c (\sigma_u \frac{y_c}{h} + \sigma_l \frac{y_c'}{h}) \frac{2\varphi}{2+\varphi} \quad \dots\dots(8)$$

$P_q$  を作用させる位置は、図1(c)を参照して

$$\frac{E_{c2}}{P_q} \int_{A_c} \varepsilon_q \eta dA = \frac{1}{A_c \rho} (A_c \rho^2 + I_c) = \rho + \frac{r_c^2}{\rho} \quad \dots\dots(9)$$

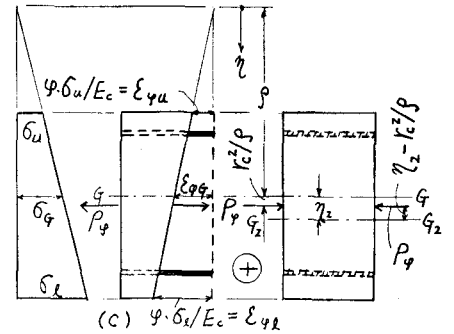
こに、 $\rho = (\sigma_u y_c + \sigma_l y_c') / (\sigma_l - \sigma_u)$ 。また、

$$\eta_2 = n_2 p (d - x_2) - n_2 p' (x_2 - d')$$

$$M_q = P_q (\eta_2 - r_c^2/\rho) \quad \dots\dots(10)$$

よって、変化応力度は、

$$\left. \begin{aligned} \text{コンクリート部 } \Delta \sigma_c &= \frac{P_q}{A_{i2}} + \frac{M_q}{I_{i2}} y - \sigma_c \frac{2\varphi}{2+\varphi} \\ \text{鉄筋部 } \Delta \sigma_s &= n_2 \left( \frac{P_q}{A_{i2}} + \frac{M_q}{I_{i2}} y \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(11)$$



こに、 $A_{i2}, I_{i2}$  はヤング係数比を  $n_2 = (E_s/E_c) \times (1 + \varphi/2)$  として計算した換算断面定数であり、そのときの重心軸は  $G_2$  である。

以上の収縮およびクリープによる軸ならびに曲げ変形を計算するための弾性荷重を表1に整理して示す。

任意の時間  $t$  隔 表1. 弾性荷重

|      | 収縮               | クリープ             |
|------|------------------|------------------|
| 曲げ変形 | $M_3/E_c I_{i1}$ | $M_q/E_c I_{i2}$ |
| 軸変形  | $P_3/E_c A_{i1}$ | $P_q/E_c A_{i2}$ |
| 基準軸  | $G_1$            | $G_2$            |

こにより、上記の計算式は全て適用できる。

### 4. 外的不静定構造の解析

不静定構造におけるコンクリートの収縮とクリープの影響は、次の様に2段階に分けて扱うものとする。

- 不静定力に変化が生じないとした場合の応力変化。
- 不静定力の変化により生じた断面力による応力変化。

$n$  次不静定構造の不静定力の変化量  $X_i$  を求める弾性方程式は、マトリックス表示して、

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ij} X_j &= K_i \quad \therefore X_i = \delta_{ij}^{-1} K_i \\ K_i &= - \int N_i E_{cn} dx - \int M_i E_{cm} dx, \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(12)$$

$$\delta_{ii} = \int \frac{N_i^2}{D_n} dx + \int \frac{M_i^2}{D_m} dx - \frac{1}{k_i}, \quad \delta_{ij} = \delta_{ji} = \int \frac{N_i N_j}{D_n} dx + \int \frac{M_i M_j}{D_m} dx$$

荷重項  $K_i$  中の  $E_{cn}, E_{cm}$  は表1におけるそれぞれの場合の軸および曲げ変形に関する弾性荷重で、形状係数の要素  $\delta_{ij}$  はせん断変形を無視しており、 $D_n, D_m$  はそれぞれの状態における伸びおよび曲げ剛性である。

$M_i (M_j), N_i (N_j)$  は  $X_i = 1 (X_j = 1)$  による断面力を表し、 $k_i$  はテーブルのバネ定数  $E_{ca} A_{ci} / l_i$  である。式(12)は、タワーの変形を無視しているが、簡単に考慮することができると。

計算結果については、講演当日に申し述べる。