

(62) PC斜張橋のクリープの影響を考慮した斜材導入張力の設定

フジタ工業 正会員 ○石村 玄二
同 上 江口 孝
同 上 池庄司 和臣

1. ま え が き

PC斜張橋はクリープ性状の異なるコンクリート部材と斜材より構成されているため、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の進行にともなって不静定力が発生する。従って、断面力の算出にあたっては、持続荷重に対応するクリープの影響を考慮する必要がある。

これまでのPC斜張橋のクリープ解析は、解析の不確実性や計算の複雑さなどから構造系の完成以降についてのみ検討されているものが多い。しかしながら、施工が長期にわたる場合には施工中のクリープの影響を無視できない。

斜材の調整力は、斜張橋特有なもので、断面力の低減と均一化を計ることを主目的に、施工中及び完成後にその応力状態に応じて導入される。この調整力の導入時期と大きさをいくりに設定するかは、設計者にとって難しい問題である。

斜材の調整力に関する方法についてはこれまでもいくつか提案されているが、施工中のクリープの影響を考慮した導入張力の設定方法についてはまだ提案されていない。本報告では、最終張力に対する斜材設置時導入張力の設定について、施工中のクリープの影響を考慮した計算方法を述べる。

なお、説明を容易にするため施工段階を追ったクリープ解析及び乾燥収縮の計算方法については本報告ではふれないものとする。

2. 計算条件の説明

2-1 計算の概要

PC斜張橋の斜材張力は人為的に与える調整力と荷重作用による張力とクリープの影響による張力の和により完成後の最終張力に達する。

調整力は斜材設置時の導入張力と設置後必要に応じて与える張力に大きく分けることができる。

本計算は、完成後の斜材張力を既知として斜材設置時の導入張力を求めるものである。

2-2 斜材最終張力

クリープ終了時の各斜材の最終張力を T として式(1)のように整理する。

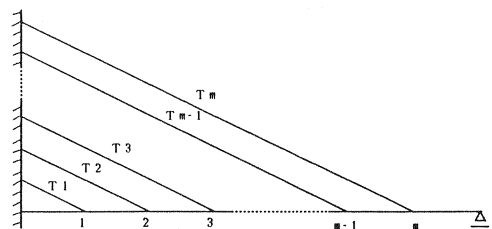


図-1 斜材最終張力 T

PC斜張橋では、主桁の断面力が全長にわたって均一に分布することが望ましく、一般に斜材定着位置を支点とする連続桁のモデルにより軀体寸法を仮定する方法が用いられる。

$$T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \vdots \\ T_m \end{pmatrix} \quad \text{----- (1)}$$

構造系の完成モデルで概略検討を行い最終張力の設計値を設定する。

2-3 斜材導入張力

張出し施工にともなって設置される斜材に与える初期の調整力を導入張力 T_0 として式(2)のように表す。

$$T_0 = \begin{pmatrix} T_{01} \\ T_{02} \\ T_{03} \\ \vdots \\ T_{0m} \end{pmatrix} \quad \text{---- (2)}$$

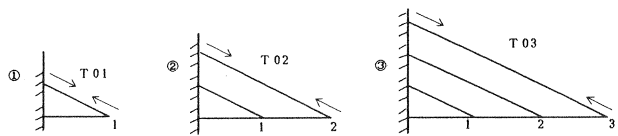


図-2 斜材導入張力 T_0

3. 計算データの準備

3-1 既知荷重に対する弾性解析

PC斜張橋では施工時及び完成時の様々な荷重作用に対する検討がなされるが、本論文では主な荷重である死荷重(D)、施工時荷重(ER)、主桁内プレストレス力(PS)、についてのみ考慮するものとする。各荷重に対して施工段階を追った弾性解析を行ない、各張力変化の集計により最終張力を求める。図-3、式(3)に死荷重による施工段階の一例を示す。

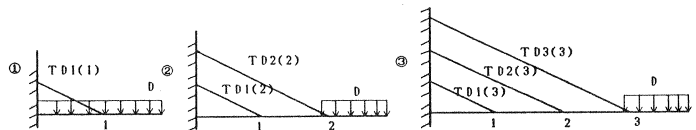


図-3 死荷重による張力変化

$$\begin{pmatrix} TD_1 \\ TD_2 \\ TD_3 \\ \vdots \\ TD_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} TD_1(1)+TD_1(2)+TD_1(3)+\dots+TD_1(m) \\ TD_2(2)+TD_2(3)+\dots+TD_2(m) \\ TD_3(3)+\dots+TD_3(m) \\ \vdots \\ TD_m(m) \end{pmatrix} \quad \text{----- (3)}$$

$$T_d = \begin{pmatrix} TD_1 \\ TD_2 \\ TD_3 \\ \vdots \\ TD_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} TER_1 \\ TER_2 \\ TER_3 \\ \vdots \\ TER_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} TPS_1 \\ TPS_2 \\ TPS_3 \\ \vdots \\ TPS_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Td_1 \\ Td_2 \\ Td_3 \\ \vdots \\ Td_m \end{pmatrix} \quad \text{----- (4)}$$

各既知荷重に対する最終張力 T_d を式(4)のように整理する。

ここに、
 T_D : 死荷重による最終張力
 T_{ER} : 施工時荷重による最終張力
 T_{PS} : 主桁内プレストレスによる最終張力
 T_d : 既知荷重による最終張力

3-2 既知荷重に対するクリープ解析

既知荷重(死荷重、施工時荷重、主桁内プレストレス力)に対する施工段階を追ったクリープ解析を行ない、クリープによる

$$T_{crd} = \begin{pmatrix} T_{crd1} \\ T_{crd2} \\ T_{crd3} \\ \vdots \\ T_{crdm} \end{pmatrix} \quad \text{----- (5)}$$

張力変化の累計 T_{crd} を式 (5) のように整理する。

3-3 単位導入張力による各斜材の弾性変化量

施工段階毎に設置する斜材 n に単位張力を与えることによって他の斜材に発生する張力変化量 Δn を求める。

$$\Delta n = \begin{pmatrix} \delta_{1,n} \\ \delta_{2,n} \\ \delta_{3,n} \\ \vdots \\ \delta_{n-1,n} \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{----- (6)}$$

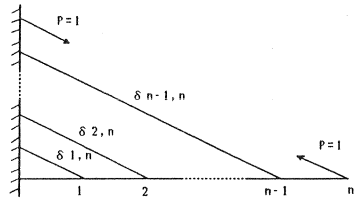


図-4 単位張力による変化

全斜材について単位張力による弾性マトリックス Δ を以下のように整理する。

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_1 & \Delta_2 & \Delta_3 & \cdots & \Delta_{m-1} & \Delta_m \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & \delta_{1,2} & \delta_{1,3} & \cdots & \delta_{1,m-1} & \delta_{1,m} \\ 0 & 1 & \delta_{2,3} & \cdots & \delta_{2,m-1} & \delta_{2,m} \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & \delta_{3,m-1} & \delta_{3,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \delta_{n,m-1} & \delta_{n,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{----- (7)}$$

3-4 単位導入張力による各斜材のクリープ変化量

3-3 と同様な単位張力を作用させた場合、斜材張力は弾性変化と共にクリープの影響により経時的に変化する。このときの単位張力によるクリープ解析を行い張力変化の累計 Λn を求め、全斜材について単位張力によるクリープマトリックス Λ を式 (8) のように整理する。

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_1 & \Lambda_2 & \Lambda_3 & \cdots & \Lambda_{m-1} & \Lambda_m \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \lambda_{1,1} & \lambda_{1,2} & \lambda_{1,3} & \cdots & \lambda_{1,m-1} & \lambda_{1,m} \\ \lambda_{2,1} & \lambda_{2,2} & \lambda_{2,3} & \cdots & \lambda_{2,m-1} & \lambda_{2,m} \\ \lambda_{3,1} & \lambda_{3,2} & \lambda_{3,3} & \cdots & \lambda_{3,m-1} & \lambda_{3,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \lambda_{n,1} & \lambda_{n,2} & \lambda_{n,3} & \cdots & \lambda_{n,m-1} & \lambda_{n,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \lambda_{m,1} & \lambda_{m,2} & \lambda_{m,3} & \cdots & \lambda_{m,m-1} & \lambda_{m,m} \end{pmatrix} \quad \text{----- (8)}$$

4. 計算方法

4-1 基本計算式

斜材の調整力は施工時及び完成時の主桁の断面力変化や斜材張力変化のバランス等を考慮して様々な方法が取られる。ここで『斜材に与える調整力は斜材設置時に与える導入張力のみである』と仮定すると、以下の関係式が成立する。

$$T = (\Delta + \Lambda) \cdot T_0 + (T_d + T_{crd}) \quad \text{----- (9)}$$

ここに、
 T : 斜材最終張力
 Δ : 単位導入張力による弾性マトリックス
 Λ : 単位導入張力によるクリープマトリックス
 T_0 : 求める斜材の導入張力
 T_d : 既知荷重による斜材最終張力

T crd: 既知荷重に対するクリープによる張力変化の累計

($\Delta + \Lambda$) の逆マトリックスを ($\Delta + \Lambda$)⁻¹ とすると、

$$T_0 = (\Delta + \Lambda)^{-1} \cdot [T - (T_d + T_{crd})] \quad \text{----- (10)}$$

式(8)などにより、式(10)は次のように表される。

$$\begin{pmatrix} T_{01} \\ T_{02} \\ T_{03} \\ \vdots \\ \vdots \\ T_{0m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+\lambda_{1,1} & \delta_{1,2}+\lambda_{1,2} & \delta_{1,3}+\lambda_{1,3} & \cdots & \delta_{1,m}+\lambda_{1,m} \\ \lambda_{2,1} & 1+\lambda_{2,2} & \delta_{2,3}+\lambda_{2,3} & \cdots & \delta_{2,m}+\lambda_{2,m} \\ \lambda_{3,1} & \lambda_{3,2} & 1+\lambda_{3,3} & \cdots & \delta_{3,m}+\lambda_{3,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_{m,1} & \lambda_{m,2} & \lambda_{m,3} & \cdots & 1+\lambda_{m,m} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ T_m \end{pmatrix} - \left(\begin{pmatrix} T_{d1} \\ T_{d2} \\ T_{d3} \\ \vdots \\ \vdots \\ T_{dm} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{crd1} \\ T_{crd2} \\ T_{crd3} \\ \vdots \\ \vdots \\ T_{crdm} \end{pmatrix} \right)$$

----- (11)

4-2 計算フロー図

式(11)により1回の計算で斜材導入張力が得られる。図-5にシステム化する場合の計算フロー図を示す。

5. あとがき

本報告で述べた基本式は『斜材に与える調整力は各斜材設置時に与える導入張力のみである』という仮定で成立する式である。

ここで得られた導入張力は設計に際しそのまま用いることもできるが、施工段階に適した主桁の断面力や斜材張力のバランス等を検討することにより修正を加えればより経済的な部材設計となる。また、文中では左右対称構造の片側のモデルについて説明したが、非対称構造においても同様な方法で求めることができる。

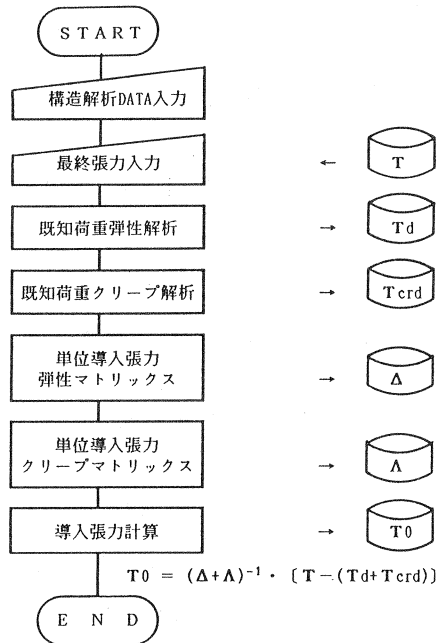


図-5 計算のフロー図

通常の設計では、設計者の経験や過去の実施例に基づいて試行錯誤により斜材に与える調整力の決定がなされており、様々な荷重作用やクリープの影響により大変な労力を要している。本論文のようにクリープの影響を含む斜材導入張力を自動設定しておけば、これを基に他の検討要因に対する修正を加えることにより効率的に設計を進めることができ、煩雑なPC斜張橋設計の簡略化に役立つものと考えられる。