

ファイバーモデルにおける横方向拘束効果の定式化

名古屋大学 工学部 学生会員 中島 望
 名城大学 理工学部 正会員 石川 靖晃
 名古屋大学 工学部 正会員 田邊 忠顕

1. はじめに

従来、RCフレーム構造物を解析する際に、ファイバーモデルは簡便かつ有用で、数多く用いられてきたが、スターラップによる横方向の拘束効果を取り入れた解析は行われてこなかった。その理由は、スターラップの拘束効果の力学的解明が不十分な事と、ファイバーモデルは単純な1次元モデルであり、これに横方向の効果を取り込む方法が未開発だった事による。

そこで、本研究ではスターラップの横方向拘束効果を定式化し、スターラップの拘束効果を考慮に入れた3次元定式化を行い、ファイバーモデルに取り込む方法の検討を行った。

2. スターラップの拘束効果に関する定式化

多数本のスターラップがコンクリート部材内に存在する場合に、トラス要素を用いて節点を多く設けるのは不可能であり、コンクリート要素内に存在する線部材の効果を考える。更に、そのスターラップとコンクリートとの付着は不完全とする。この場合の変形の適合条件から、

$$\sum_{i=1}^n l_i \Delta \varepsilon_{si} = \int_0^L \Delta \varepsilon_{cs} ds \quad \cdots (1)$$

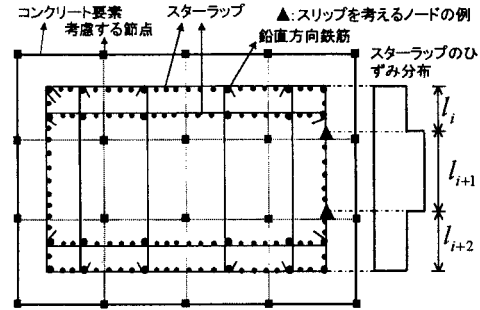
ここで、 $\Delta \varepsilon_{si}$: コンクリート i 要素における
スターラップのひずみ増分

$\Delta \varepsilon_{cs}$: コンクリート i 要素における
スターラップ位置のコンクリートのひずみ増分

l_i : となりあう軸方向鉄筋の間の
スターラップの長さ

L : スターラップ1本の長さ

$$\left(= \sum_{i=1}^n l_i \right)$$



図一1 橋脚断面

また、図一1においてスターラップの角度変化ならびに軸方向鉄筋との摩擦を考慮すると、その摩擦点の前後でスターラップのひずみに差が生ずる。そこでその差を摩擦係数 k_i を用いて表す。

$$\Delta \varepsilon_{s(i+1)} - \Delta \varepsilon_{si} = \frac{k_i}{l_i + l_{i+1}} \int_0^{l_i + l_{i+1}} \Delta \varepsilon_{cs} ds \quad \cdots (2)$$

ここで、 k_i は摩擦係数で本研究独自のものであり一般的なクーロン摩擦ではない。これによりスターラップとコンクリートとのすべりなどを考慮できる。(1)、(2) 式より最終的にマトリックス表示は (3) 式のようにになる。

$$\{\Delta \varepsilon_s\} = \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_{s1} \\ \Delta \varepsilon_{s2} \\ \vdots \\ \Delta \varepsilon_{s(n-1)} \\ \Delta \varepsilon_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 & \cdots & l_{n-1} & l_n \\ -1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & -1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \int_0^L \Delta \varepsilon_{cs} ds \\ \frac{k_1}{l_1 + l_2} \alpha_1 \\ \vdots \\ \frac{k_{n-2}}{l_{n-2} + l_{n-1}} \alpha_{n-2} \\ \frac{k_{n-1}}{l_{n-1} + l_n} \alpha_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \alpha_i = \int_0^{l_i + l_{i+1}} \Delta \varepsilon_{cs} ds \quad \cdots (3)$$

コンクリートのひずみ増分 $\{\Delta \varepsilon_c\}$ は、3次元アイソパラメトリック要素を採用して節点変位増分 $\{\Delta \bar{u}\}$ を用いて表すことができる。

$$\{\Delta \varepsilon_c\} = [B] \{\Delta \bar{u}\} \quad \cdots (4)$$

ここで、 $[B]$ は形状関数を全体座標で適当に微分したマトリックスである。(4)式を用いて各々のスターラップ位置におけるコンクリートのひずみ増分を(3)式に代入して計算すると、スターラップのひずみ増分もコンクリート要素の節点変位増分で表すことができる。

$$\{\Delta \varepsilon_s\} = [C] \{\Delta \bar{u}\} \quad \cdots (5)$$

ここで、 $[C]$ はスターラップの配置によって決定されるマトリックスである。
また、スターラップの増分ひずみエネルギー ΔU_s は(6)式で与えられる。

$$\Delta U_s = \int_L E_s A_s \{\Delta \varepsilon_s\}^T \{\Delta \varepsilon_s\} ds \quad \cdots (6)$$

ここで、 E_s : スターラップのヤング率

A_s : スターラップの断面積

(6)式に(5)式を代入すると、(7)式のようになる。

$$\Delta U_s = \int_L E_s A_s \{\Delta \bar{u}\}^T [C]^T [C] \{\Delta \bar{u}\} ds \quad \cdots (7)$$

ここで、増分区間内での最小ポテンシャルエネルギーの原理を用いると、

$$\frac{\partial \Delta U_s}{\partial \Delta \bar{u}} = \int_L E_s A_s [C]^T [C] \{\Delta \bar{u}\} ds \quad \cdots (8)$$

となるので、スターラップの要素剛性マトリックス $[K_s]$ が、

$$[K_s] = \int_L E_s A_s [C]^T [C] ds \quad \cdots (9)$$

と導ける。即ちスターラップを含むコンクリート要素において、スターラップの拘束効果を表現する支配方程式を得ることができる。

3. 解析手法

解析は先に述べた定式化を、3次元の無筋コンクリートの力の釣り合い式に導入することにより行った。但し、コンクリートは修正されたDrucker-Prager則に従う弾塑性体であると仮定した。さらに軸方向のコンクリートの応力 σ_z によるポアソン効果と、斜めひび割れが生じている場合の影響も考慮に入れている。

得られた数値計算例は、当日発表の予定である。

<参考文献>

- 1) 田邊忠顕・P. W. HONG : アンボンドPC構造物の組立て工程を考慮した応力解析, 土木学会論文報告集, No. 303, pp133-142, 1980年11月
- 2) 梅原秀哲・田邊忠顕・吉田弥智 : 鋼材の付着状態を考慮したPCラーメンの履歴挙動に関する研究, 土木学会論文集, No. 396, pp89-98, 1988年8月
- 3) 寺尾大輔 : せん断を考慮した外ケーブルPCはりの終局強度解析, 名古屋大学修士論文, 1998
- 4) 兵藤友昭 : ディビエーターでの摩擦を考慮した外ケーブル方式PC桁のFEM解析, 名古屋大学卒業論文, 1996