

V-286

ファイバーモデルにおける横方向拘束効果の定式化と
軸方向コンクリートの構成則に関する研究

名古屋大学大学院 工学研究科 学生会員 中島 望
 名城大学 理工学部 正会員 石川 靖晃
 名古屋大学大学院 工学研究科 フェロー会員 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は、様々な形で構造物のモデル化がなされてきたが、その中でも特にファイバーモデルは、部材の断面剛性の決定に簡便かつ有用で、数多く用いられている。しかし、このファイバーモデルに、スターラップ(横方向拘束鉄筋)による横方向の拘束効果を取り入れた解析は困難であり、厳密な意味では行われてこなかった。その理由は、ファイバーモデルはコンクリート構成則として単純な 1 次元のモデルを用いており、これにスターラップの拘束のような横直交方向の効果を取り込む方法が未開発だった事による。現在の設計では、一軸コンクリートの強度をスターラップの量に応じて、割り増しを行う程度の修正に止まっている。

そこで、本研究ではファイバーモデルに横方向拘束効果を導入するための前段として、スターラップによる横方向拘束効果の定式化を行い、3 次元有限要素解析を行うことで、横方向拘束効果を考慮した一軸コンクリート構成則を求める方法を検討した。

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、

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

ここで、 $\Delta \varepsilon_{si}$: スターラップの i 番目の要素
 におけるひずみ増分
 $\Delta \varepsilon_c$: スターラップ位置におけるコ
 ンクリートのひずみ増分
 l_i : スターラップの i 番目の要素に
 おける長さ
 L : スターラップ 1 本の長さ

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

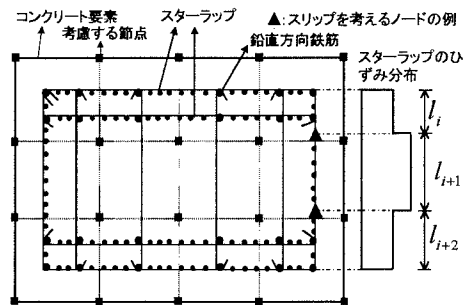


図-1 橋脚断面

また、図-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。

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

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。式 (1)、(2) より最終的にスターラップに生じるひずみ増分は次式で表される。

キーワード：スターラップによる横方向拘束効果、一軸コンクリート構成則
 連絡先：名古屋大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 TEL：052-789-4484

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

コンクリートのひずみ増分は、コンクリート要素の節点変位増分を用いて表すことができるので、式 (3) より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。さらにスターラップの折れ曲がった箇所による腹圧力を考慮に入れて、スターラップによるひずみエネルギーを求め、最小ポテンシャルエネルギーの原理を用いることにより、スターラップの腹圧力を考慮したスターラップの要素剛性マトリクスを得ることができる。

3 コンクリート柱の単調軸載荷に対する数値解析

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重ね合わせるにより行った。また解析モデルを図-2 および図-3 に、各物性値を表-1 に示す。無筋コンクリートの構成則としては Drucker-Prager を用いており、図 4～6 中の点線で描かれているように硬化パラメータを決定している。解析は軸方向変位制御で行い、解析ケースとしてスターラップは D10、D16、および D22 の 3 パターン用いた。

各ケースにおいて、図-2 における上段のスターラップの外側と内側（図-3 中の点 A～C）の軸応力と軸ひずみの関係を、図-4～6 に示す。

これを見るとスターラップの断面積が大きいほど、スターラップの内側の軸応力が大きくなり拘束効果は大きくなると言えるが、ピーク以降の軸応力の減少率も大きくなることがわかる。

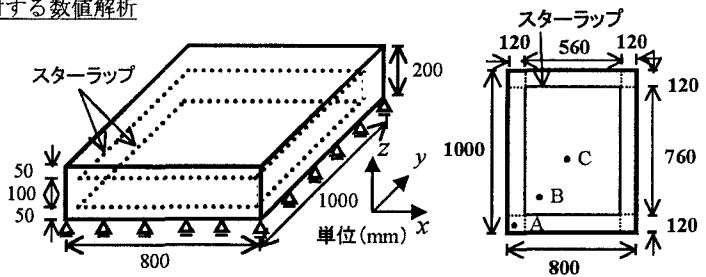


図-2 解析モデル

図-3 断面図（単位 mm）

表-1 解析に用いた物性値

コンクリート		
ヤング率 E_c (kgf/cm ²)	一軸圧縮強度 f'_c (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν
2.0×10^5	366	0.17

スターラップ				
公称	断面積 A_s (cm ²)	鉄筋比 (%)	ヤング率 E_s (kgf/cm ²)	降伏点 (kgf/cm ²)
D10	0.713	0.178	2.1×10^6	3000
D16	1.986	0.497		
D22	3.871	0.968		

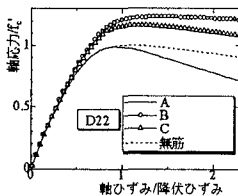


図-4 応力-ひずみ関係 (D22)

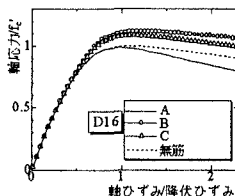


図-5 応力-ひずみ関係 (D16)

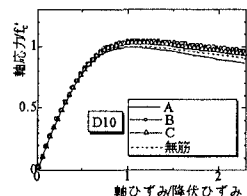


図-6 応力-ひずみ関係 (D10)

4 結論

本研究の定式化により、一軸コンクリート構成則にスターラップの拘束効果を反映する事ができたが、解析例は単調軸載荷のみであり、様々な応力状態に対する検討が必要である事は言うまでもない。