

ファイバーモデルにおけるせん断中心の移動解析と ねじりモーメント発生メカニズムに関する研究

名古屋大学大学院 学生会員

○山本 佳士

名古屋大学大学院 学生会員

N.BONGOCHGETSAKUL

名古屋大学大学院 正会員

中村 光

名古屋大学大学院 フェロー会員

田邊 忠顕

1. はじめに

過去の研究では、2軸曲げを受けるRC部材がねじり変形を起こすという現象が報告されている¹⁾。これは、RC部材が非対称な断面抵抗機構を形成し、せん断中心の移動により、ねじりモーメントが発生して起こる現象と考えられている。しかしながら、現在用いられる多くのファイバーモデルでは、この現象を無視し、必ずしも実現象を適切に評価するに至っていない。そこで本研究では、RC3次元ファイバーモデルに、せん断中心の移動、およびせん断中心の移動により発生する付加ねじりモーメントを導入する手法の提案を行った。さらに、本解析手法とシェル解析を用いて、中空断面を有するRC長柱の2軸曲げ解析を行うとともに、解析結果に基づき2軸曲げによるねじりモーメント発生メカニズム、せん断中心の移動について検討を行った。

2. 薄肉構造部材の曲げ理論

本研究では、中空断面を有するRC柱を対象とし、薄肉構造物の曲げ理論を用いてせん断流を解析することにより、せん断中心、および発生ねじりモーメントを算定する手法を提案している。

図-1に示すような曲げを受ける中空断面の微小要素 $dx \times ds \times t$ を取り出し、部材軸方向(x方向)の力の釣り合いを考えると、

$$\frac{\partial(\sigma)}{\partial x} + \frac{\partial(\tau)}{\partial s} = 0 \quad (1)$$

これを板厚中心線座標 s について積分することで、曲げ解析より得られる軸応力勾配に対し、微小要素に発生するせん断流が式(2)により求められる。

$$q_0(s) = \tau t = - \int_0^s \frac{\partial(\sigma t)}{\partial x} ds + q|_{s=0} \quad (2)$$

ここで、 q_0 は開断面におけるせん断流である。

RC断面は、ひび割れ発生後も閉断面であると仮定すれば、せん断ひずみの適合条件を考慮して最終的に断面に生じるせん断流は次式となる。

$$q(s) = q_0(s) - \oint \frac{q_0(s)}{Gt} ds \bigg/ \oint \frac{ds}{Gt} \quad (3)$$

なお、 G はせん断剛性であり、本研究では一定値と仮定した。

曲げによるせん断流のせん断中心まわりに関するモーメントは0であることから、せん断中心は次式により算定される。

$$e_z = \frac{q_{y, \text{right}} - q_{y, \text{left}}}{q_{y, \text{right}} + q_{y, \text{left}}} r_z, \quad e_y = \frac{q_{z, \text{upper}} - q_{z, \text{lower}}}{q_{z, \text{lower}} - q_{z, \text{upper}}} r_y \quad (4)$$

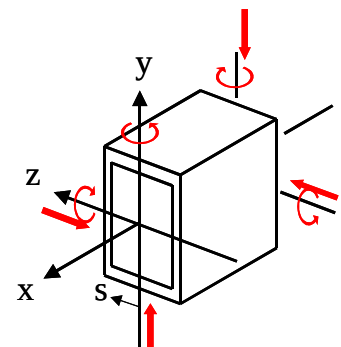


図-1 応力の釣り合い

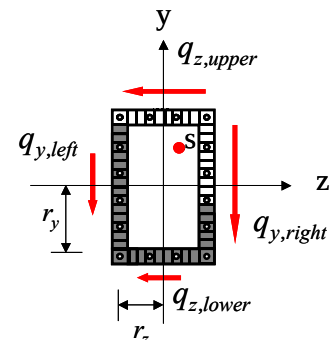


図-2 せん断流の釣り合い

キーワード せん断中心、ねじりモーメント、2軸曲げ、ファイバーモデル

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 TEL 052-789-5478

3. ファイバーモデルによるせん断中心およびねじりモーメントの導出

モーメント勾配が生じている部材断面に対し、通常のファイバーモデル解析により得られた隣接する2断面の軸応力の差から、式(1)を用いて各分割要素に対するコンクリート、補強筋に生じるせん断流の板厚中心線方向の勾配を算出する。ここで、各微小分割セル毎のせん断流の和をとることにより、材料特性ならびに非線形特性を考慮した断面に生じるせん断流を得ることができる。次に式(4)を用いてせん断中心を算定し、せん断中心位置と部材に作用するせん断力から、発生ねじりモーメントが次式で与えられる。

$$T = Q_y e_z - Q_z e_y \quad (5)$$

ここで Q_y , Q_z は断面せん断力, e_y , e_z は断面の重心を原点とする直行座標系におけるせん断中心位置である。

4. 2方向水平力を受ける RC 長柱の解析

本研究に対応する実験は厳密には皆無であるため、本研究では、数値解析による解析結果に対し理論的考察を行う。また、力学的に確立された有限要素法であるシェル要素を用いて、ファイバーモデルと同様の RC 長柱の解析を行い、それぞれの要素における特性の違いはあるが、解析結果に対して比較検討を行った。

解析対象とした RC 中空断面長柱を図-3 に示す。中空断面の板厚は 20[mm] とした。軸方向鉄筋に異形棒鋼 SD30 ($\sigma_{sy} = 338\text{Mpa}$) の直径 10mm のもの 4 本をかぶり 1cm で配筋したもので、コンクリート圧縮強度は $\sigma_c = 35\text{Mpa}$ である。拘束条件は、柱下端部を全自由度固定、柱上端を自由端とし、このような長柱に対して、柱上端を 45° 方向に、断面の重心を通過するように水平力を载荷した。図-4 は、柱上端点における強軸方向の荷重 - 変位関係であり、図-5 は、柱上端に作用する水平荷重と固定端に作用するねじりモーメントの関係を示している。図-4 と図-5 から荷重-変位関係は一致が見られるが、ねじりの発生状況には大きな差が見られる。ファイバーモデルの解析結果に着目すると、ひび割れ発生と同時にねじりモーメントが発生し、鉄筋が降伏すると同時に大きくせん断中心が移動しそれに伴いねじりモーメントも大きく発生する様子が確認された。図-6 に柱下端 25[mm] の断面におけるせん断中心の移動の様子を示す。せん断中心が载荷方向から強軸方向に傾いて直線的に移動することが確認された。

5. まとめ

せん断中心の移動を考慮したファイバーモデルを提案し 2 軸曲げによるせん断中心の移動とねじりモーメントの発生を評価した。ファイバーモデルとシェル要素解析との結果の差は、せん断剛性およびねじり剛性の違いが影響していると考えられ、せん断剛性およびねじり剛性の適切な評価が今後の課題である。

参考文献

- 1) 平澤征夫(1974): 2 軸曲げを受ける鉄筋コンクリート柱部材の力学挙動に関する基礎的研究, 京都大学博士論文

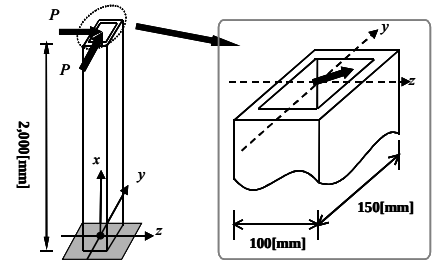


図-3 解析モデル

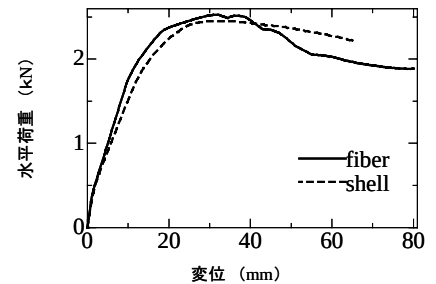


図-4 荷重-変位関係

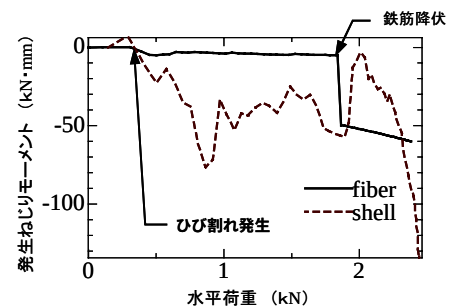


図-5 発生ねじりモーメントの様子

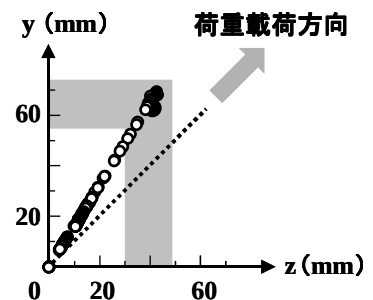


図-6 せん断中心の移動の様子