

ファイバーモデルにおけるせん断中心の移動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	学生会員	山本佳士
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

鉄筋コンクリート長柱が二軸曲げを受けると、ねじり変形が生じることが報告されている¹⁾。ねじり変形の発生は理論的には、せん断中心が移動することによりねじりモーメントが発生することで説明できるが、二軸曲げを受ける鉄筋コンクリート長柱のたわみ変形により付加的に生じるねじり変形については、理論的、解析的にいまだ未解明の問題である。そこで本研究では、ファイバーモデルによる RC 長柱の解析結果に基づき、曲げによって生じるせん断流を解析するとともに、せん断中心の移動とそれに伴うねじりモーメントの発生を解析的に評価することで、二軸曲げを受ける RC 長柱に生じるねじりモーメント発生メカニズムについて検討を行う。

2. ねじりに対する理論的検討^{3), 4)}

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、

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

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)に示すように与えられる。

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

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。

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

ここでせん断剛性 G は一定と仮定した。

式(3)で求められるせん断流 q に対し、図 2 に示すように y 軸に平行なせん断流 q を q_y 、 z 軸に平行なせん断流 q を q_z とする。せん断中心に作用する Q_y 、 Q_z とせん断流 q に対し点 O まわりのモーメントの釣り合いを考えると、せん断中心 $S(e_y, e_z)$ は動径を r_0 として式(4)により求めることができる。

$$e_z = \oint q_y r_0 ds / Q_y \quad (4)$$

$$e_y = -\oint q_z r_0 ds / Q_z \quad (5)$$

実際には Q_y 、 Q_z は、図-3 に示すよう図心軸線上に作用するので、

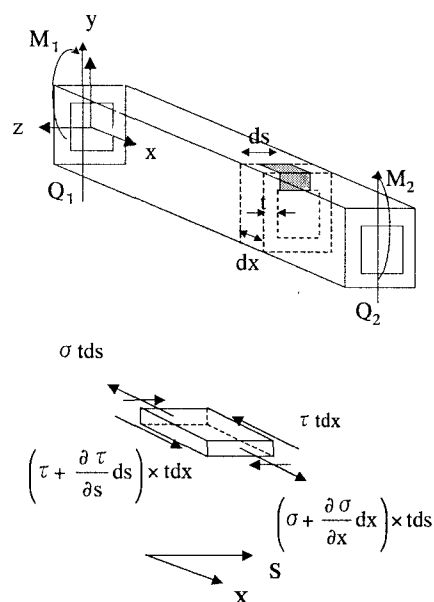


図-1 微小要素

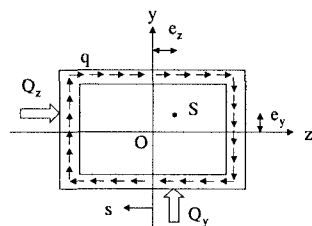


図-2 せん断中心

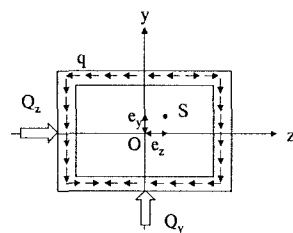


図-3 ねじりモーメント

せん断中心の移動により発生するねじりモーメント M_x が次式で得られる。

$$M_x = Q_y e_z - Q_z e_y \quad (6)$$

以上に示したように、部材各断面の曲げ応力が与えられれば、曲げ応力勾配によりせん断流が求められ、さらに、得られたせん断流の評価から、せん断中心、せん断中心の移動により発生するねじりモーメントを求めることができる。

3. ファイバーモデルへの適用

ファイバーモデルは、部材断面を適当な大きさのセルに分割し、セル毎に応力-ひずみ関係を適用することで、RC 部材の非線形特性を解析する手法である²⁾。モーメント勾配が生じている部材断面（図-4）に対し、ファイバーモデルによる解析によって得られた2つの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ならびに鉄筋に生じるせん断流の板厚中心線方向の勾配を求められる。各微小分割要素の和をとることで、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。

$$q = q_0(i) + \sum_{i=1}^n \frac{q_0(i)}{t(i)} \frac{ds(i)}{\sum_{i=1}^n \frac{ds(i)}{t(i)}} \quad (7)$$

ここで $q_0(i)$ は次式となる。

$$q_0(i) = - \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_2(i) - \sigma_1(i)}{dx} A(i) - \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{s2}(i) - \sigma_{s1}(i)}{dx} A_s(i) + q_0(i-1) \quad (8)$$

ここで σ 、 σ_s はそれぞれコンクリート、鉄筋断面の軸応力である。

4. 解析モデル

RC 長柱のたわみ変形により付加的に生じるねじり変形を測定した例として、平澤ら¹⁾が行った実験供試体を対象として、せん断中心の移動ならびにねじりモーメントの発生を解析的に検討する。平澤らが行った実験供試体は、図-6 に示すような断面を有し偏心軸力を受ける RC 長柱である。供試体は、11 節点 10 要素のはり要素を用い、各要素は部材軸方向に 10 分割、y 方向に平行な薄肉を 35 分割、z 方向に平行な薄肉を 20 分割したファイバーとし、軸力と偏心軸力によるモーメントを外力として作用させた。

5. まとめ

ファイバーモデルにより得られた曲げ応力度から、せん断中心とねじりモーメントを算出する理論的考慮を行った。解析モデルに対する詳細な解析結果については、当日発表を行う。

参考文献

- 1) 平澤征夫：2 軸曲げを受ける鉄筋コンクリート柱部材の力学的挙動に関する基礎的研究，京都大学博士論文 1974
- 2) 渡邊綾子，中村光：静的・動的 RC3 次元ファイバープログラムの開発，山梨大学卒業論文，2000
- 3) 小松定夫：薄肉構造物の理論と計算 I，山海堂，1969
- 4) 伊藤学：鋼構造学，コロナ社，1985

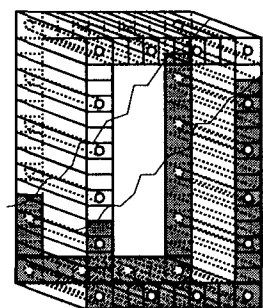


図-4 要素分割

(網掛け部はひび割れ発生要素)

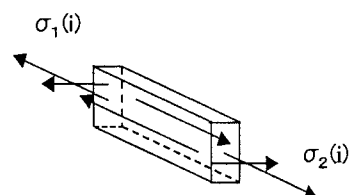
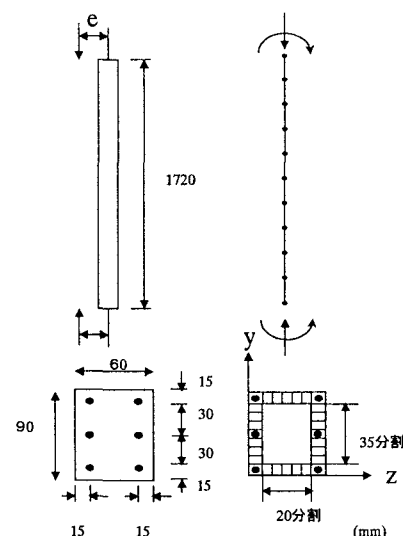


図-5 微小分割要素の応力の釣り合い



(a) 実験供試体 (b) 解析モデル

図-6 実験供試体と解析モデル