

1. はじめに

多段配筋や矩形以外の断面形状に対応するため、「分割法による RC 断面の $M\phi$ 計算」のエクセルマクロを掲載しましたが、実際の耐震照査や耐震解析においては、 $M\phi$ 関係の限界値（降伏点や終局点など）だけが必要になることが多いと思います。また、 $M\phi$ 関係を初期から終局に至るまで全て算出しようとすると、計算時間もかかります。そこで、 $M\phi$ 関係の限界値のみを求めるマクロを別途作成しました。なお、今回のものは円形断面に対応できるものです。

エクセルシートを添付していますので自由に使用していただいて結構ですが、計算結果の妥当性判断については、使用者に帰するものとします。また、ソースコードについても公開しています。

2. エクセルシートの内容

①部材直径や配筋条件などの断面諸元を入力し、また横拘束筋に関する条件を入力することで、ひび割れ、初期降伏、引張限界（引張許容ひずみ時）および圧縮限界における曲率および曲げモーメントを出力するエクセルマクロです。

②コンクリート圧縮限界ひずみ、および鉄筋引張許容ひずみの算出は、道路橋示方書・耐震設計編（H24 版）に基づいています。

③複数ケースの計算に対応するために、入力データをケースごとに 1 行で入力し、 $M\phi$ 限界値の出力も 1 ケースに 1 行ずつの出力になっています。

3. 入力データおよび出力データ

①入出力に関するエクセルシートは 4 つあり、「入力データ 1」、「入力データ 2」、「限界値」および「断面分割」です。「入力データ 1」と「入力データ 2」に必要なデータを入力すれば、「限界値」に $M\phi$ 限界値が出力されます。

②「入力データ 1」には、「ケース」、「断面半径(m)」、「鉄筋段数」、「半径分割数」、「コンクリート強度(N/mm²)」、「鉄筋仕様」、「鉄筋 1 段目の半径(m)、90° 当たり分割数および呼び径」、「鉄筋 2 段目の半径(m)、90° 当たり分割数および呼び径」、「鉄筋 3 段目の半径(m)、90° 当たり分割数および呼び径」、および「軸力(kN)」を入力します。ここに、「鉄筋段数」が最大 3 までの入力が可能です。また、「半径分割数」は分割法で $M\phi$ を求める際に、部材断面の半径分を分割する数です。さらに、「鉄筋の 90° 当たり分割数」とは、90° 区間に配置される軸方向鉄筋の間隔数で、90° 区間の鉄筋本数から 1 を引いたものになります。360° 区間内の 1 段あたりの軸方向鉄筋本数は、4 の倍数としています。

③「入力データ 2」には、「ケース」、「横拘束筋呼び径」、「横拘束筋有効長(cm)」、「横拘束筋ピッチ(cm)」、「断面形状」、「軸方向筋呼び径」、「 L_p 算出の軸方向筋本数」、「 L_p 算出の横拘束筋有効長(cm)」、「 L_p 算出のかぶり(cm)」および「橋脚高さ(m)」を入力します。ここで、「横拘束筋有効長」や「 L_p (塑性ヒンジ長)算出時の軸方向筋本数、横拘束筋有効長」などの設定方法は、道路橋示方書・耐震設計編（H24 版）や「道路橋の耐震設計における鉄筋コンクリート橋脚の水平カー水平変位関係の計算例（H24 版道示対応）（社）日本道路協会 橋梁委員会 耐震設計小委員会 平成 24 年 5 月」を参照してください。

④「限界値」には、ケースごとにひび割れ時、初期降伏時、引張許容ひずみ時（耐震性能 2）、引張許容ひずみ時（耐震性能 3）および圧縮限界時における曲率 (1/m)、曲げモーメント (kNm) および中立軸位置 (cm) が出力されます。

⑤「断面分割」には、分割法により断面高さ方向に分割した小断面のデータと鉄筋のデータを出力しています。番号の小さい方から大きい方に向かって、引張縁から圧縮縁に向かう出力となります。

4. Mφ 限界値計算

①Mφ 限界値の計算方法は、鉄筋の降伏ひずみ、鉄筋の引張許容ひずみ、コンクリートの圧縮限界ひずみなど、ひずみの限界値をもとに曲率を算出し、その曲率における中立軸位置を、直応力の力の釣り合いにより求め、さらにモーメントの釣り合いから抵抗曲げモーメントを求めるものです。ひずみの限界値から曲率を算出する際に、中立軸位置が既知であると仮定する必要があり、以下の式により限界時曲率を算出します。

$$\text{鉄筋降伏時： } \phi_y = \frac{f_y}{E_s} \frac{1}{h - x - cv_{t1}}$$

$$\text{引張許容ひずみ時： } \phi_{ut} = \frac{\varepsilon_{ut}}{h - x - cv_{t1}}$$

$$\text{圧縮限界ひずみ時： } \phi_{uc} = \frac{\varepsilon_{uc}}{x - cv_{c1}}$$

ここに、φ_y：鉄筋降伏時の曲率

f_y：鉄筋降伏強度

E_s：鉄筋ヤング係数

h：部材高さ

x：中立軸位置

cv_{t1}：引張側かぶり

φ_{ut}：引張許容ひずみ時の曲率

ε_{ut}：引張許容ひずみ

cv_{c1}：圧縮側かぶり

φ_{uc}：圧縮限界ひずみ時の曲率

ε_{uc}：圧縮限界ひずみ

②ひび割れ時の Mφ 限界値の計算方法は、「分割法による RC 断面の Mφ 計算」と少し異なっています。本マクロでは、道路橋示方書・耐震設計編（H24 版）に方法に従い、ひび割れ時の抵抗曲げモーメントを換算断面 2 次モーメントおよび換算断面積により算出し、その値を用いてひび割れ時の曲率を求めています。一方、先の「分割法による RC 断面の Mφ 計算」では、道示・耐震編のコンクリート応力ひずみ関係（圧縮側）を前提として力およびモーメントの釣り合いからひび割れ時曲率および曲げモーメントを算出しています。

本マクロでのひび割れ時の Mφ 限界値計算は、以下の式に従っています。

$$\text{ひび割れ時曲げモーメント： } M_c = \left(\frac{N}{A_c} + f_t \right) \cdot W_c$$

$$\text{ひび割れ時曲率： } \phi_c = \frac{M_c}{E_c I_c}$$

ここに、M_c：ひび割れ時曲げモーメント

N：軸力

A_c : 鉄筋の断面積を考慮した換算断面積

f_t : コンクリート引張強度

W_c : 鉄筋断面積を考慮した換算断面係数

ϕ_c : ひび割れ時曲率

E_c : コンクリートヤング係数

I_c : 鉄筋の断面 2 次モーメントを考慮した換算断面 2 次モーメント

5. 計算例

計算例としては、「道路橋の耐震設計における鉄筋コンクリート橋脚の水平力ー水平変位関係の計算例 (H24 版道示対応) (社) 日本道路協会 橋梁委員会 耐震設計小委員会 平成 24 年 5 月」(以下「道示計算例」と呼ぶ) に示される断面諸元を用いています。

エクセルシートに $M-\phi$ 曲線を示していますが、本マクロによる結果が「道示計算例」の結果とほぼ一致していることがわかります。

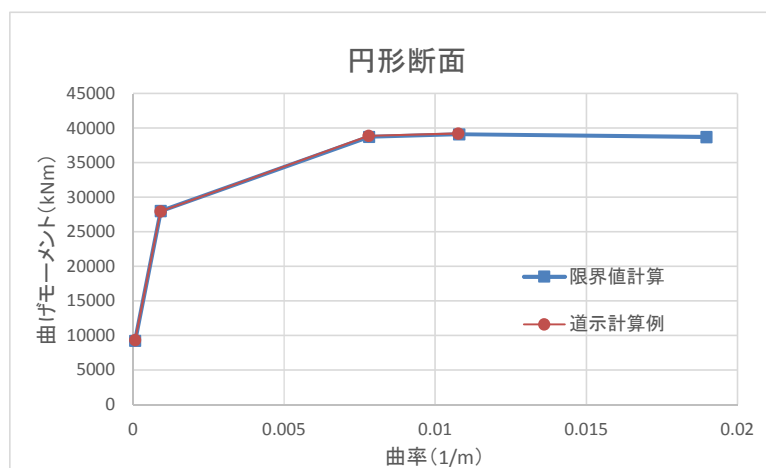


図 1 $M-\phi$ 関係