

# 多段配筋矩形 RC 断面に対する許容応力度照査時の M-N 関係図の作成

日中構造研究所 松原勝己

## 1. はじめに

土木分野において、RC 断面の終局時における M-N 関係図が比較的良好に利用される。縦軸に軸力  $N$  を、横軸に曲げモーメント  $M$  とし、M-N 曲線上の断面力  $(M,N)$  に達したとき RC 断面の終局時を表すものである。一般に終局時の M-N 関係は、ある軸力値に対して終局曲げモーメントがピーク値を有し、そのピーク値以下では軸力が大きくなるとともに終局曲げモーメントが増大し、一方そのピーク値以上では軸力が大きくなるとともに終局曲げモーメントが減少する傾向を示す、オニギリ型の閉曲線で表される。このとき、曲げモーメントおよび軸力の設計断面力の組み合わせ  $(M_d, N_d)$  が、M-N 曲線の内部にあるとき、終局に対する安全性が確保できると判断される。

許容応力度照査においては、M-N 曲線は余り利用されず設計断面力から発生応力を求め許容応力度と比較することで安全性を確認することが多いが、建築 RC 規準（「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2018 改定 日本建築学会」）においては許容時における M-N 関係図が、長期および短期設計時に対して提示されている。

以下では、多段配筋矩形 RC 断面に対し、許容応力度照査における M-N 関係算出のエクセルを作成したので、その入出力方法や計算例について説明を行う。M-N 関係図は、以前に提示した「エクセル表計算による多段配筋矩形 RC 断面の曲げ応力度算出」をソルバーとして利用し、軸力値の変化による繰返し計算にはエクセルマクロを併用することにより、作成を行った。

なお、掲載したエクセルは自由に使用していただいて結構ですが、結果の妥当性判断については使用者に委ねることとします。また、ソースコードについても公開しています。

## 2. 入出力データ

### (1) シート「入力データ」

データの入力を行うワークシートである。

入力データは、以下となる。

- ・ ケース

ケース番号を 1 から順に入力する。ケース番号が空欄になったとき、データ入力終了と判断し、計算をストップさせる。

- ・ 部材高  $h(\text{cm})$  : RC 断面の部材高を  $\text{cm}$  単位で入力する。

- ・ 部材幅  $b(\text{cm})$  : RC 断面の部材幅を  $\text{cm}$  単位で入力する。

- ・ コン許容  $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$  : コンクリート許容応力度を  $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。

・鉄筋許容  $\sigma_{sa}$ (N/mm<sup>2</sup>) : 鉄筋許容応力度を N/mm<sup>2</sup> 単位で入力する。

・軸力の数  $nnd$  :

許容曲げモーメントを算出する際の軸力設定値の数を入力する。後述の  $nmin$  と  $nmax$  の区間を  $nnd-1$  の数で等分割した軸力値が設定される。

・軸力最小値  $nmin$ (kN) :

許容曲げモーメントを算出する際の軸力設定値の最小値を kN 単位で入力する。

・軸力最大値  $nmax$ (kN) :

許容曲げモーメントを算出する際の軸力設定値の最大値を kN 単位で入力する。

・曲げモーメント最大値  $mmax$ (kNm) :

許容曲げモーメント算出時の最大の曲げモーメント値を kNm 単位で入力する。ある設定軸力に対し、0 (実際には 0.001kN) ~  $mmax$  までの範囲で許容曲げモーメントの探索を行う。

・被り  $cv$ (cm) :

鉄筋の被り (コンクリート圧縮縁から鉄筋中心までの距離) を cm 単位で入力する。後述の鉄筋量と同様に、鉄筋段数分の被りを入力する。被りのデータが空欄になった時点でデータの読み込みを終了する。

・鉄筋量  $As$ (cm<sup>2</sup>) :

鉄筋量を cm<sup>2</sup> 単位で入力する。上記の被りと同様に、鉄筋段数分の鉄筋量を入力する。

## (2)シート「MN 関係」

許容曲げモーメントと軸力の関係を出力する。

## (3)シート「MN 関係 2」

許容曲げモーメント  $M$  を  $bh^2$  で除した値  $M/(bh^2)$  ( $b$  : 部材幅、 $h$  : 部材高) と軸力  $N$  を  $bh$  で除した値  $N/(bh)$  の関係を出力する。

この関係を用いることで、部材幅と部材高に依存しない結果を表示できる。ただし、許容応力度と鉄筋被りを変更した場合には結果が異なる。

## (4)シート「応力計算」

既往のエクセルシート「エクセル表計算による多段配筋矩形 RC 断面の曲げ応力度算出」で提示したワークシートと同一である。(最外圧縮鉄筋の照査値と判定結果を追加)

本エクセルマクロにおいて、断面諸元および断面力からコンクリートおよび鉄筋の曲げ応力度を算出するソルバーとして利用した。詳細は、「エクセル表計算による多段配筋矩形 RC 断面の曲げ応力度算出」を参照されたい。

#### (5)シート「許容曲げモーメント」

最外引張鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「鉄筋」と表示）、コンクリート圧縮縁が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「コン」と表示）および最外圧縮鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「C 鉄筋」と表示）を出力する。

なお、マクロ内において、**iflag2=1** とすることで上記データが出力される（現在、**iflag2=1**）。

#### (6)シート「許容曲げモーメント 2」

(5)と同様に、最外引張鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「鉄筋」と表示）、コンクリート圧縮縁が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「コン」と表示）および最外圧縮鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント（ワークシート内で「C 鉄筋」と表示）を出力するシートになるが、無次元化した軸力値および曲げモーメント値としている。すなわち、以下に示す M-N 関係として出力される。

なお、マクロ内において、**iflag2=1** とすることで上記データが出力される（現在、**iflag2=1**）。

最外引張鉄筋あるいは最外圧縮鉄筋が許容応力度に達する場合：

無次元軸力  $N/(bh \sigma_{sa})$  と無次元曲げモーメント  $M/(bh^2 \sigma_{sa})$  の関係

(b：部材幅、h：部材高、 $\sigma_{sa}$ ：鉄筋許容応力度)

コンクリート圧縮縁が許容応力度に達する場合：

無次元軸力  $N/(bh \sigma_{ca})$  と無次元曲げモーメント  $M/(bh^2 \sigma_{ca})$  の関係

(b：部材幅、h：部材高、 $\sigma_{ca}$ ：コンクリート許容応力度)

#### (7)シート「収束状況」

M-N 関係を求めるには、軸力 N を固定し発生応力が許容応力度に等しくなる曲げモーメント M を繰り返し計算により算出している。この繰り返し計算時の収束状況を出力するワークシートである。

ケース番号、軸力値、およびモード（引張鉄筋許容応力、コンクリート許容応力あるいは圧縮鉄筋許容応力のいずれで決定されるか、それぞれを「鉄筋」、「コン」および「C 鉄筋」で表示）に応じて、収束に至った繰り返し計算回数と曲げモーメント値の収束過程を出力する。

なお、マクロ内において、**iflag1=1** とすることで上記データが出力される（現在、**iflag1=1**）。

表 2-1～5 に、ワークシート「入力データ」、「MN 関係」、「MN 関係 2」、「許容曲げモーメント」、「許容曲げモーメント 2」および「収束状況」の例（一部）を示す。





### 3. 許容時 M-N 関係の算出手順

許容時 M-N 関係の算出は、以下の手順によった。

- (1) 入力パラメータとして、部材高  $h(\text{cm})$ 、部材幅  $b(\text{cm})$ 、コンクリート許容応力度  $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$ 、鉄筋許容応力度  $\sigma_{sa}(\text{N/mm}^2)$ 、軸力の数  $n_{nd}$ 、軸力最小値  $n_{\min}(\text{kN})$ 、軸力最大値  $n_{\max}(\text{kN})$ 、最大曲げモーメント値  $m_{\max}(\text{kNm})$ 、鉄筋被り  $cv(\text{cm})$  (鉄筋段数分)、鉄筋量  $As(\text{cm}^2)$  (鉄筋段数分) を設定する。
- (2) 上記入力パラメータにより RC 断面の発生応力 (コンクリート圧縮縁応力、最外引張鉄筋応力および最外圧縮鉄筋応力) を求めるには、「エクセル表計算による多段配筋矩形 RC 断面の曲げ応力度算出」のエクセルシートを利用する。
- (3) 上記エクセルのワークシート「応力計算」に、部材高  $h$ 、部材幅  $b$ 、コンクリート許容応力度  $\sigma_{ca}$ 、鉄筋許容応力度  $\sigma_{sa}$ 、鉄筋被り  $cv(i)$ 、および鉄筋量  $ast(i)$  を入力する。
- (4) ワークシート「応力計算」に軸力値  $N(\text{kN})$  を入力する。
- (5) ワークシート「応力計算」に曲げモーメント値  $M(\text{kN})$  を入力し、最外引張鉄筋の発生応力を求める。具体的には、最大曲げモーメント  $m_{\max}$  と最小曲げモーメント  $0.001\text{kNm}$  の区間を 10 等分した 11 個の曲げモーメントに対して最外引張鉄筋の発生応力  $\sigma_s$  を求める。11 個の発生応力について照査値  $\sigma_s/\sigma_{sa}$  が 1.0 を超える箇所とその 1 つ前の箇所の間に鉄筋許容応力度に達する曲げモーメントがあると判断する。さらに、その 2 箇所の曲げモーメント値 ( $M_1$ 、 $M_2$ ) を初期値とし、2 分法による繰返し計算により鉄筋許容応力度に達する曲げモーメント  $M_s$  を算出する。2 分法では、 $M_3=(M_1+M_2)/2$  に対して再度鉄筋発生応力を計算し、照査値が 1.0 となる曲げモーメントを探索する (許容誤差  $\varepsilon=0.00001$ 、 $ABS(M_3-M_1)/M_3<\varepsilon$ )。
- (6) (5)と同様の探索を、コンクリート圧縮縁応力についても実施し、コンクリート許容応力度に達する曲げモーメント  $M_c$  を算出する。
- (7) (5)と同様の探索を、最外圧縮鉄筋の発生応力についても実施し、鉄筋許容応力度に達する曲げモーメント  $M_{sc}$  を算出する。
- (8)  $M_s$  と  $M_c$  のうち小さい方を、許容曲げモーメント  $M_a$  とする。さらに、 $M_{sc}$  が  $M_c$  よりも小さいときには、 $M_{sc}$  を許容曲げモーメント  $M_a$  とする。
- (9) (4)に戻り、別の軸力値についても許容曲げモーメントを算出し、設定した全ての軸力値に対する許容曲げモーメントを求める。
- (10) 許容曲げモーメントと軸力の組み合わせ ( $M_a, N$ ) を、横軸を曲げモーメント、縦軸を軸力としてプロットすることで、許容時 M-N 関係図が得られる。

## 4. 計算例

### 4.1 多段配筋断面の例

#### (1) 計算条件

表 4.1-1 に計算に使用した諸元値を示す。また、計算ケースは、表 4.1-2 に示す 6 ケースとした。

図 4.1-1 に、鉄筋配置を示す。6 ケースともに鉄筋位置は同じであり、主鉄筋の断面積と側方鉄筋の考慮が異なっている。

表 4.1-1 諸元値

項目	諸元値
断面高さ h(cm)	160
断面幅 b(cm)	150
コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	8
鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	160

表 4.1-2 計算ケース

ケース	計算条件
1	ケース 2 と同じ鉄筋配置で、片側の主鉄筋量を 1/2 (片側主鉄筋比 0.29%)
2	上下面主筋 11 本・2 段、側方鉄筋・2 列・3 段、鉄筋径 D29 (片側主鉄筋比 0.59%)
3	ケース 2 と同じ鉄筋配置で、片側の主鉄筋量を 2 倍 (片側主鉄筋比 1.18%)
1'	ケース 1 の鉄筋配置において、側方鉄筋を無視
2'	ケース 2 の鉄筋配置において、側方鉄筋を無視
3'	ケース 3 の鉄筋配置において、側方鉄筋を無視

(\*1)主鉄筋比は全断面積(=bh)に対する比である

(\*2)ケース 1~3 は鉄筋配置が同じ。ケース 1'~3'は鉄筋配置が同じ。

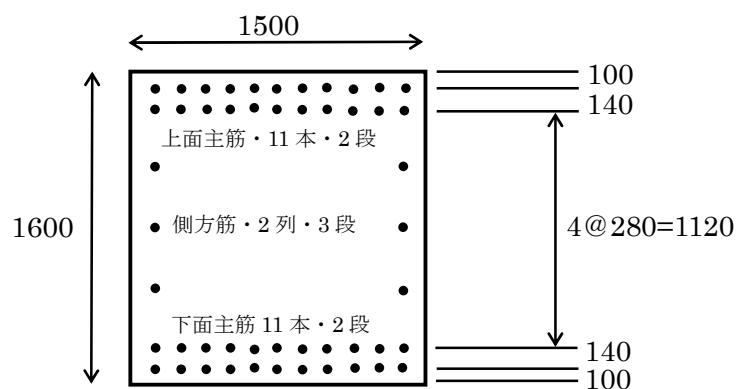


図 4.1-1 鉄筋の配置

## (2) 計算結果

図 4.1-2 に、本マクロによって算出した M-N 関係を示す。

表 4.1-3 に、幾つかの軸力値における許容曲げモーメントの値を示す。

図 4.1-2 によれば、許容曲げモーメントの値は軸力の大きさによって変化し、ある軸力でピークを有することがわかる。図中には、コンクリート許容応力度  $\sigma_{ca}$  および引張鉄筋許容応力度  $\sigma_{sa}$  で決定される領域を示しているが、その境界位置（コンクリート圧縮縁と引張鉄筋が同時に許容応力度に達する）で許容曲げモーメントのピーク値となっている。

図 4.1-2 の実線と破線は、側方筋を考慮した場合と無視した場合を示すが、本ケースの場合、その差異は 1~8%程度である。

本マクロの検証のため、先に作成した「矩形、円形、T 形 RC 断面の曲げ応力算出マクロ」を使用し、表 4.1-3 に示す設定軸力と許容曲げモーメントを作用断面力として発生応力を計算した。

その結果を、表 4.1-4 に示す。同表によれば、コンクリートあるいは引張鉄筋の発生応力のいずれかが許容応力度に達していることがわかる。

許容曲げモーメント  $M_a$  は、コンクリート圧縮縁が許容応力度に達する曲げモーメント  $M_c$ 、最外引張鉄筋が許容応力度に達する曲げモーメント  $M_s$ 、および最外圧縮鉄筋が許容応力度に達する曲げモーメント  $M_{sc}$  の 3 つの値のうち、最小値を採用している。先に示した図 4.1-2 では、 $M_c$  あるいは  $M_s$  が許容曲げモーメントになり、 $M_{sc}$  は許容曲げモーメントには採用されていない。これを見るために、この 3 種の許容曲げモーメント ( $M_c, M_s, M_{sc}$ ) を全てプロットしたものを、図 4.1-3 に示す。

図 4.1-3 によれば、設定軸力の範囲内において、3 種の許容曲げモーメントのうち最小となるのは、 $M_s$  あるいは  $M_c$  であることがわかる。



表 4.1-3 許容曲げモーメント

本マクロ			
N(kN)	ケース1 Ma(kNm)	ケース2 Ma(kNm)	ケース3 Ma(KNm)
1000	2132.1	3412.4	5965.8
2000	2672.6	3944.6	6492.1
4000	3394.4	4338.9	6144.7
8000	3462.3	4088.5	5458.2
12000	2629.9	3286.4	4637.8
16000	1505.8	2097.2	3380.2

本マクロ			
N(kN)	ケース1' Ma(kNm)	ケース2' Ma(kNm)	ケース3' Ma(KNm)
1000	1991.0	3285.0	5854.8
2000	2553.4	3834.3	6393.4
4000	3356.4	4308.5	6118.6
8000	3430.0	4053.0	5416.4
12000	2542.4	3199.1	4564.0
16000	1399.2	1991.0	3276.4

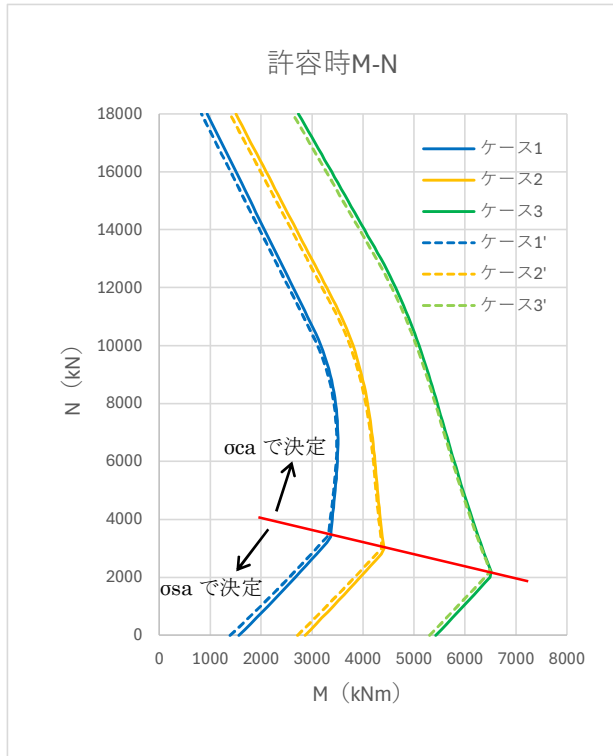


図 4.1-2 M-N 関係

表 4.1-4 別マクロによる発生応力の算出結果

(a) ケース 1~3

別マクロ(ケース1)					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
2132.1	1000.0	48.841	5.150	159.999	-61.433
2672.6	2000.0	56.446	6.436	159.998	-79.434
3394.4	4000.0	71.144	8.000	133.006	-103.133
3462.3	8000.0	121.119	8.000	28.614	-110.093
2629.9	12000.0	182.580	8.000	-21.413	-113.428
1505.8	16000.0	318.875	8.000	-63.552	-116.237

別マクロ(ケース2)					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
3412.4	1000.0	53.752	5.957	159.999	-72.732
3944.6	2000.0	59.688	7.050	160.000	-88.029
4338.9	4000.0	72.912	8.000	126.874	-103.542
4088.5	8000.0	114.125	8.000	37.722	-109.485
3286.4	12000.0	166.842	8.000	-12.114	-112.808
2097.2	16000.0	261.447	8.000	-51.152	-115.410

別マクロ(ケース3)					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
5965.8	1000.0	59.764	7.065	160.001	-88.240
6492.1	2000.0	63.950	7.927	160.001	-100.314
6144.7	4000.0	74.896	8.000	120.332	-103.977
5458.2	8000.0	104.776	8.000	51.795	-108.546
4637.8	12000.0	145.590	8.000	3.634	-111.758
3380.2	16000.0	202.532	8.000	-31.125	-114.075

(b) ケース 1'~3'

別マクロ(ケース1')					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1991.0	1000.0	47.084	4.880	160.000	-57.652
2553.4	2000.0	55.346	6.237	160.001	-76.652
3356.4	4000.0	70.483	8.000	135.381	-102.975
3430.0	8000.0	123.393	8.000	25.876	-110.275
2542.4	12000.0	187.914	8.000	-24.212	-113.614
1399.2	16000.0	341.445	8.000	-67.283	-116.485

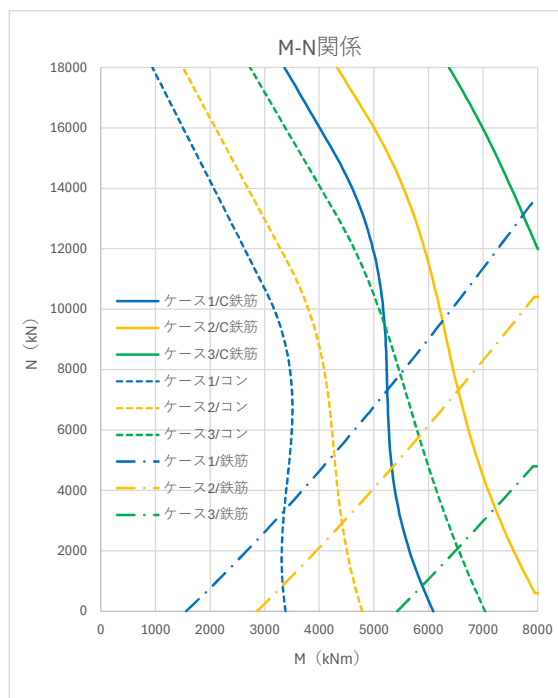
別マクロ(ケース2')					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
3285.0	1000.0	52.598	5.760	159.999	-69.975
3834.3	2000.0	58.905	6.897	160.000	-85.898
4308.5	4000.0	72.508	8.000	128.247	-103.450
4053.0	8000.0	115.842	8.000	35.383	-109.641
3199.1	12000.0	170.635	8.000	-14.512	-112.968
1991.0	16000.0	274.179	8.000	-54.349	-115.623

別マクロ(ケース3')					
M(kNm)	N(kN)	中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )
5854.8	1000.0	59.126	6.940	160.001	-86.497
6393.4	2000.0	63.484	7.827	159.998	-98.912
6118.6	4000.0	74.695	8.000	120.979	-103.935
5416.4	8000.0	105.779	8.000	50.167	-108.656
4564.0	12000.0	148.037	8.000	1.592	-111.894
3276.4	16000.0	208.208	8.000	-33.548	-114.237

(\*1)別マクロは、「矩形、円形、T形 RC 断面の曲げ応力算出マクロ」を使用

(\*2)コンクリート応力は圧縮が正、鉄筋応力は引張が正



(\*C 鉄筋：圧縮鉄筋が許容応力度に達する (Msc)  
鉄筋：引張鉄筋が許容応力度に達する (Ms)  
コン：コンクリートが許容応力度に達する (Mc)

図 4.1-3 3種の許容曲げモーメント (ケース 1~3)

## 4.2 インターネット記事の例 (複鉄筋)

### (1) 計算条件

ネット記事「RC 柱の許容曲げモーメントの計算」(<https://exstructure.main.jp/pdf/m00007.pdf>)によれば、複鉄筋矩形 RC 断面に対し、許容曲げモーメントの解析解が誘導されており、その解を用いた計算例が提示されている。その計算例と同じ条件を使用し、本マクロにより許容曲げモーメントを算出した。表 4.2-1 に、計算条件を示す。

表 4.2-1 計算条件

項目	諸元値
断面高さ h(cm)	65
断面幅 b(cm)	65
コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	16
鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	345
圧縮鉄筋被り $c_c$ (cm)	7
圧縮鉄筋量 $A_{sc}$ (cm <sup>2</sup> )	14.35
引張鉄筋被り $c_t$ (cm)	7
引張鉄筋量 $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )	14.35

(2) 計算結果

図 4.2-1 と表 4.2-1 に計算結果を示す。本マクロとネット記事の値は、ほぼ一致している。

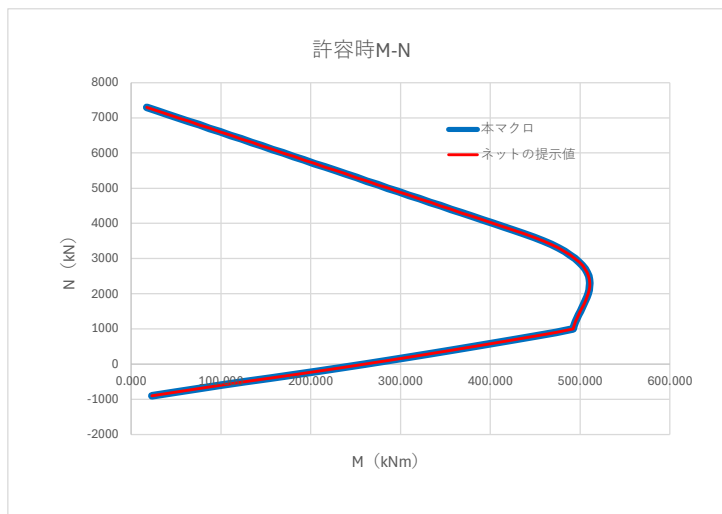


図 4.2-1 M-N 関係の比較（ネット記事の例）

表 4.2-1 許容曲げモーメントの比較（ネット記事の例）

N(kN)	本マクロ(A) Ma (kNm)	ネット提示(B) Ma (kNm)	比 (A/B)
-900	22.988	23	0.999
-800	48.489	48.5	1.000
-700	73.988	74	1.000
-600	99.488	99.5	1.000
-500	126.255	126.3	1.000
-400	154.396	154.4	1.000
-300	181.833	181.8	1.000
-200	208.578	208.6	1.000
-100	234.707	234.7	1.000
0	260.294	260.3	1.000
100	285.398	285.4	1.000
200	310.066	310.1	1.000
300	334.338	334.3	1.000
400	358.248	358.2	1.000
500	381.823	381.8	1.000
600	405.092	405.1	1.000
700	428.075	428.1	1.000
800	450.780	450.8	1.000
900	473.244	473.2	1.000
1000	492.345	492.3	1.000
1100	493.407	493.4	1.000
1200	494.799	494.8	1.000
1300	496.454	496.5	1.000
1400	498.292	498.3	1.000
1500	500.248	500.2	1.000
1600	502.233	502.2	1.000
1700	504.166	504.2	1.000
1800	505.990	506	1.000
1900	507.609	507.6	1.000
2000	508.964	509	1.000
2100	509.989	510	1.000
2200	510.604	510.6	1.000
2300	510.758	510.8	1.000
2400	510.392	510.4	1.000
2500	509.454	509.5	1.000
2600	507.887	507.9	1.000
2700	505.639	505.6	1.000
2800	502.680	502.7	1.000
2900	498.959	499	1.000
3000	494.440	494.4	1.000
3100	489.093	489.1	1.000
3200	482.875	482.9	1.000
3300	475.770	475.8	1.000
3400	467.743	467.7	1.000
3500	458.771	458.8	1.000
3600	448.825	448.8	1.000
3700	437.897	437.9	1.000
3800	426.244	426.2	1.000
3900	414.562	414.6	1.000
4000	402.880	402.9	1.000
4100	391.198	391.2	1.000
4200	379.516	379.5	1.000
4300	367.834	367.8	1.000
4400	356.153	356.2	1.000
4500	344.471	344.5	1.000
4600	332.789	332.8	1.000
4700	321.107	321.1	1.000
4800	309.425	309.4	1.000
4900	297.743	297.7	1.000
5000	286.061	286.1	1.000
5100	274.379	274.4	1.000
5200	262.696	262.7	1.000
5300	251.018	251	1.000
5400	239.336	239.3	1.000
5500	227.654	227.7	1.000
5600	215.972	216	1.000
5700	204.290	204.3	1.000
5800	192.607	192.6	1.000
5900	180.926	180.9	1.000
6000	169.244	169.2	1.000
6100	157.562	157.6	1.000
6200	145.882	145.9	1.000
6300	134.200	134.2	1.000
6400	122.518	122.5	1.000
6500	110.835	110.8	1.000
6600	99.153	99.2	1.000
6700	87.473	87.5	1.000
6800	75.791	75.8	1.000
6900	64.109	64.1	1.000
7000	52.427	52.4	1.001
7100	40.746	40.7	1.001
7200	29.064	29.1	0.999
7300	17.382	17.4	0.999

### 4.3 建築 RC 規準の例（複鉄筋）

#### (1) 計算条件

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2018 改定 日本建築学会」に提示される「柱の短期許容曲げモーメント-軸方向力関係」を再現するため、表 4.3-1 に示す計算条件を設定した。

表 4.3-1 計算条件

項目	諸元値
断面高さ h(cm)	100
断面幅 b(cm)	100
コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	16 (短期)
鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	345 (短期)
圧縮鉄筋被り $c_c$ (cm)	10
圧縮鉄筋量 $A_{sc}$ (cm <sup>2</sup> )	鉄筋比 $pt=0.001\% \sim 2\%$ (刻み幅 0.1%)
引張鉄筋被り $c_t$ (cm)	10
引張鉄筋量 $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )	鉄筋比 $pt=0.001\% \sim 2\%$ (刻み幅 0.1%)

(\*)鉄筋比  $pt$  は全断面積に対して定義している ( $pt=As/(bh)$ )

#### (2) 計算結果

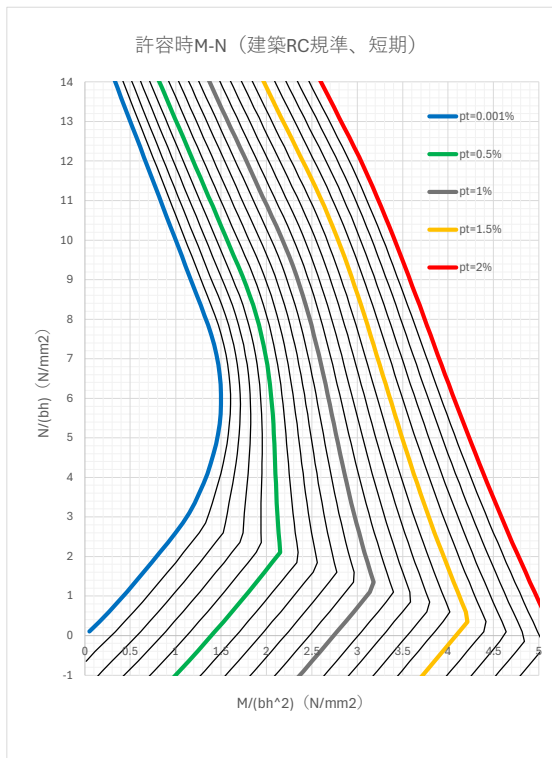
図 4.3-1 に、許容曲げモーメント  $M_a$  と軸力  $N$  の関係を示す。同図は、横軸および縦軸ともに応力度の単位を有しており、横軸は  $M/(bh^2)$  で縦軸は  $N/(bh)$  で表されている。この表示により、部材厚  $h$  と部材幅  $b$  に依存しない図になっている。また、図のパラメータは鉄筋比  $pt$  ( $=As/(bh)*100$ 、単位%) であり、0% (実際には 0.001%) から 2% までを 0.1% 刻みで描画している。

図 4.3-1 によれば、建築 RC 規準の許容曲げモーメント-軸力関係を、本マクロによりほぼ再現できていることがわかる。

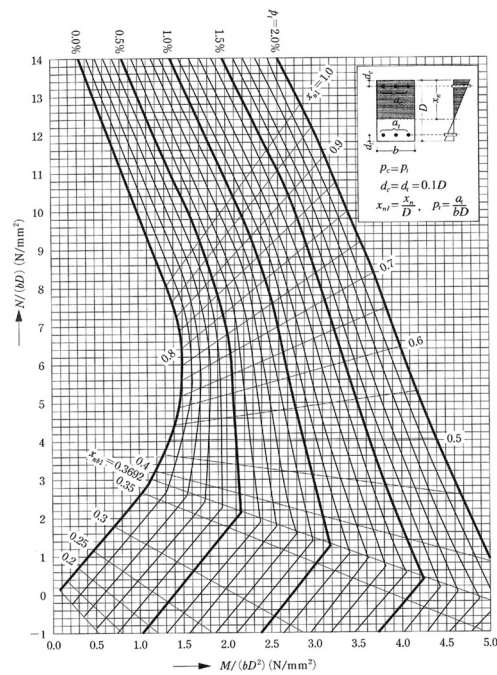
図 4.3-2~4 に、引張鉄筋が許容応力度に達する場合、コンクリート圧縮縁が許容応力度に達する場合、および圧縮鉄筋が許容応力度に達する場合について、許容時の  $M-N$  関係を示す。同図は、横軸および縦軸ともに無次元量であり、横軸は  $M/(bh^2 \sigma_{sa})$  あるいは  $M/(bh^2 \sigma_{ca})$  で縦軸は  $N/(bh \sigma_{sa})$  あるいは  $N/(bh \sigma_{ca})$  で表されている。この表示により、部材厚  $h$ 、部材幅  $b$  および許容応力度に依存しない図になっている。また、図のパラメータは鉄筋比  $pt$  ( $=As/(bh)*100$ 、単位%) であり、0% (実際には 0.001%) から 2% までを 0.1% 刻みで描画している。

図 4.3-2~4 によれば、建築 RC 規準・旧版 1982 改定の許容時  $M-N$  関係を、本マクロによりほぼ再現できていることがわかる。

なお、図 4.3-3 において、本マクロの  $pt=0.001\%$  のケースと建築 RC 規準・旧版の  $pt=0\%$  のケースを比較すると、縦軸が負の領域で差異が見られる。これは、本マクロでは引張鉄筋比  $pt$  をゼロとする計算が不可のため、 $pt$  に小さな値を設定したためである。建築 RC 規準での  $pt=0\%$  は、無筋断面という意味ではなく、指定した引張鉄筋位置(引張縁から  $0.1h$  の位置)においてコンクリート応力が  $\sigma_{sa}/n$  ( $n$ : ヤング係数比で 15) に達するときの  $M-N$  関係を示していると考えられる。



(a)本マクロによる再現



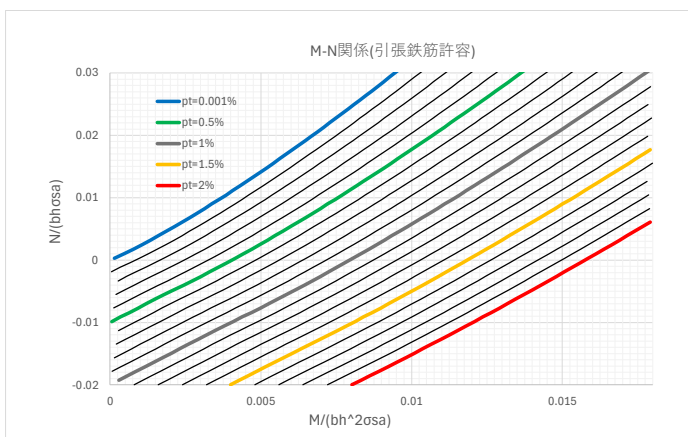
解説図 14.4 柱の短期許容曲げモーメント-軸方向力関係  
(F<sub>24</sub>, SD 345 : f<sub>c</sub> = 16N/mm<sup>2</sup>, f<sub>t</sub> = 345N/mm<sup>2</sup>, n = 15)

(b)建築 RC 規準の提示

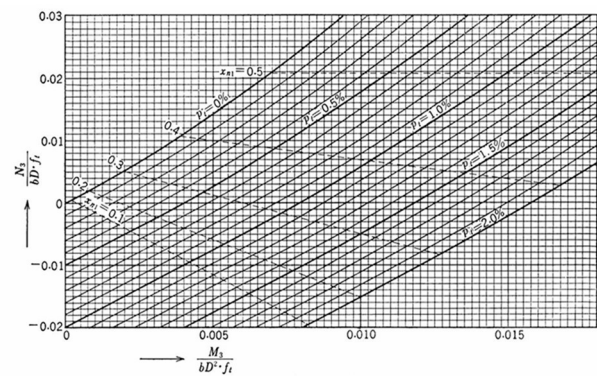
(\*)横軸 :  $M/(bh^2)$  (単位 :  $N/mm^2$ )、縦軸 :  $N/(bh)$  (単位 :  $N/mm^2$ )

b : 部材幅(mm)、h : 部材高(mm)、M : 曲げモーメント(Nmm)、N : 軸力(N)

図 4.3-1 許容曲げモーメント  $M_a$  と軸力  $N$  の関係 (短期)



(a)本マクロ



$p_t = p_c = a_i/bD$ ,  $n = 15$   
図 15.2 (c) 長方形断面柱 (引張鉄筋で耐力のきまる場合)

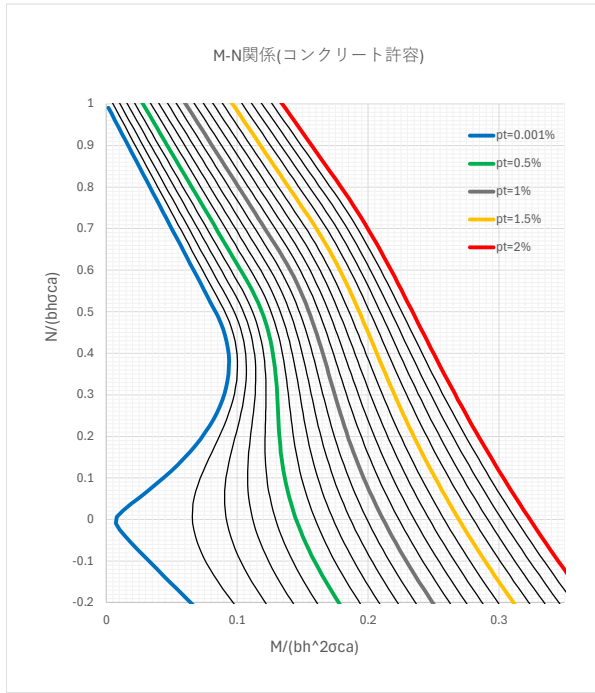
(b)建築 RC 規準・旧版 1982 改定

(\*)横軸 :  $M/(bh^2 \sigma sa)$  (無次元)、縦軸 :  $N/(bh \sigma sa)$  (無次元)

b : 部材幅(mm)、h : 部材高(mm)、M : 曲げモーメント(Nmm)、N : 軸力(N)

$\sigma sa$  : 鉄筋許容応力度( $N/mm^2$ )

図 4.3-2 許容時 M-N 関係 (引張鉄筋が許容応力に達する場合)



(a)本マクロ

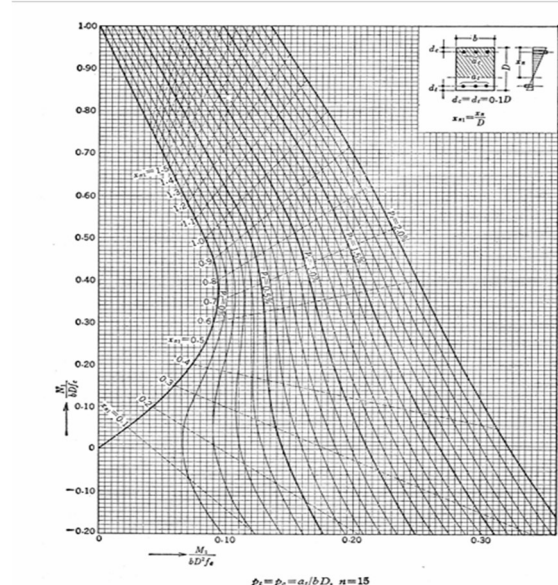


図 15.2 (a) 矩形断面柱 (コンクリートで耐力のきまる場合)

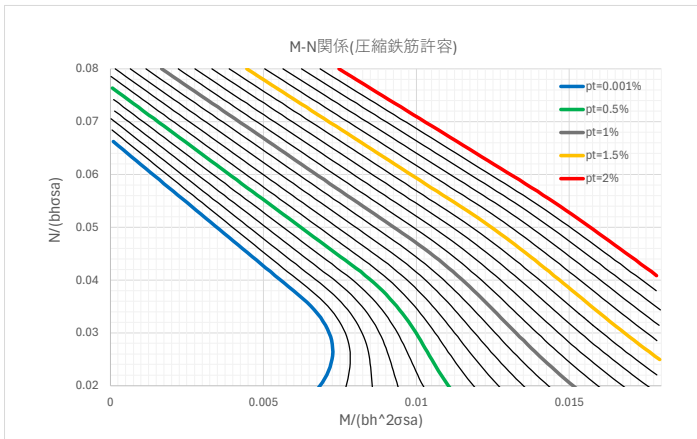
(b)建築 RC 規準・旧版 1982 改定

(\*)横軸： $M/(bh^2 \sigma ca)$  (無次元)、縦軸： $N/(bh \sigma ca)$  (無次元)

$b$  : 部材幅(mm)、 $h$  : 部材高(mm)、 $M$  : 曲げモーメント(Nmm)、 $N$  : 軸力(N)

$\sigma ca$  : コンクリート許容応力度(N/mm<sup>2</sup>)

図 4.3-3 許容時 M-N 関係 (コンクリート圧縮縁が許容応力に達する場合)



(a)本マクロ

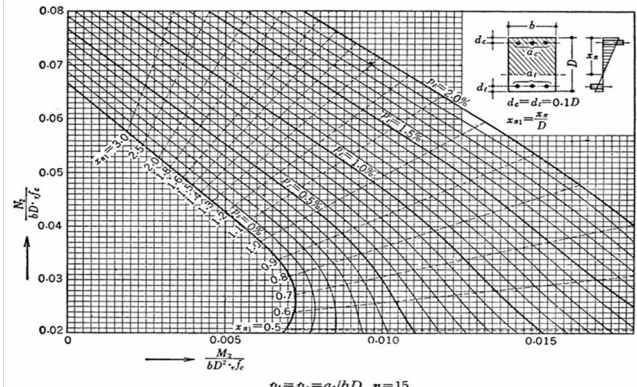


図 15.2 (b) 長方形断面柱 (圧縮鉄筋で耐力のきまる場合)

(b)建築 RC 規準・旧版 1982 改定

(\*)横軸： $M/(bh^2 \sigma sa)$  (無次元)、縦軸： $N/(bh \sigma sa)$  (無次元)

$b$  : 部材幅(mm)、 $h$  : 部材高(mm)、 $M$  : 曲げモーメント(Nmm)、 $N$  : 軸力(N)

$\sigma sa$  : 鉄筋許容応力度(N/mm<sup>2</sup>)

図 4.3-4 許容時 M-N 関係 (圧縮鉄筋が許容応力に達する場合)