エクセル表計算による複鉄筋矩形断面の許容曲げモーメント算出

日中構造研究所　松原勝己

1. はじめに

先に、「2.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（その 2)」において、許容時の断面仮定から多段配筋断面の許容曲げモーメントの解析式を提示しました。本報では、その解析式を複鉄筋矩形断面に適用し、同様の許容曲げモーメント式を導入することで、マクロを使用せずエクセル表計算により許容曲げモーメントを算出しました。ただし、複鉄筋断面としては、圧縮鉄筋量と引張鉄筋量は同一、圧縮鉄筋および引張鉄筋被りは同一という対称配筋を仮定しています。

以下に、エクセルへの入力データの作成方法や出力の説明、また使用した解析式について記載します。

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、結果の妥当性判断は使用者に委ねることとします。

2. 複鉄筋断面の許容曲げモーメント式

許容曲げモーメント式の提示に対し、複鉄筋矩形断面の対称配筋を仮定する。また、コンクリート応力から鉄筋応力への換算のためのヤング係数比は、圧縮鉄筋および引張鉄筋ともに、n（=15）を使用することとする。

「2.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（その 2)」で提示した許容曲げモーメントの解析式において、複鉄筋断面の条件を適用する。すなわち、配筋を圧縮および引張鉄筋の 2 段とし、圧縮鉄筋量 Asc と引張鉄筋量 Ast、圧縮および引張鉄筋被り cc および ct について、Ast=Asc、c=cc=ct=h－d（h：部材高、d：有効高）を適用する。

上記条件のもとに、4 つのモードに対し、以下の許容曲げモーメント式が得られる。

2.1 全断面圧縮時（中立軸比 k1>1）

中立軸位置が断面外かつ引張縁側にある場合である。中立軸比 k1 を k1=x1/h（x1：圧縮縁から中立軸までの距離、h：部材高）で定義したとき、k1>1 となるケースである。

このとき、中立軸比 k1、許容曲げモーメント Ma1 および圧縮鉄筋応力σ’s（圧縮正）が、次式の通り書くことができる。ここで、圧縮鉄筋応力の式を提示したのは、本報では圧縮鉄筋が許容応力度に達するモードについては考慮していないことから、以下の 4 つのモードにおいて圧縮鉄筋応力が許容に達していないことをチェックするためである。

$$k_1 = \frac{0.5+np_t}{-\bar{N}_c+1+2np_t} \tag{1}$$

$$\frac{M_{a1}}{bh^2} = \frac{\sigma_{ca}}{k_1}\left\{k_1^2 - k_1 + \frac{1}{3} + np_t(2k_1^2 - 2k_1 + 2\delta^2 - 2\delta + 1)\right\} + \frac{N}{bh}(0.5 - k_1) \tag{2}$$

$$\frac{\sigma_s'}{\sigma_{sa}} = \frac{k_1+\delta-1}{k_1}\frac{n\sigma_{ca}}{\sigma_{sa}} \tag{3}$$

ここに、k1：中立軸比

Ma1：許容曲げモーメント

N：軸力(圧縮正)

n：ヤング係数比(=15)

pt：引張鉄筋比(=Ast/(bh)、Ast：引張鉄筋量)

$\bar{N}_c$：σca で無次元した軸力(=N/(bhσca))

b：部材幅

h：部材高

σca：コンクリート許容応力度

σsa：鉄筋許容応力度

δ：部材高に対する有効高の比(=d/h)

d：有効高（圧縮縁から引張鉄筋までの距離）

σs'：圧縮鉄筋応力(圧縮正)

2.2 中立軸断面内かつ圧縮縁が許容時（中立軸比 k2：kb<k2<1）

中立軸が断面内にあり、かつ圧縮縁コンクリートが許容応力度に達する場合である。中立軸比 k2 を k2=x2/h（x2：圧縮縁から中立軸までの距離、h：部材高）で定義したとき、kb<k2<1 となるケースである。ここに、kb は圧縮縁と引張鉄筋が同時に許容応力度に達するとき（釣合時）の中立軸比である。このとき、中立軸比 k2、許容曲げモーメント Ma2 および圧縮鉄筋応力σ's（圧縮正）が、次式の通り書くことができる。

$$k_b = \frac{\delta}{\frac{\sigma_{sa}}{n\sigma_{ca}}+1} \tag{4}$$

$$k_2 = \bar{N}_c - 2np_t + \sqrt{(\bar{N}_c - 2np_t)^2 + 2np_t} \tag{5}$$

$$\frac{M_{a2}}{bh^2} = \frac{\sigma_{ca}}{k_2}\left\{\frac{k_2^3}{3} + np_t(2k_2^2 - 2k_2 + 2\delta^2 - 2\delta + 1)\right\} + \frac{N}{bh}(0.5 - k_2) \tag{6}$$

$$\frac{\sigma_s'}{\sigma_{sa}} = \frac{k_2+\delta-1}{k_2}\frac{n\sigma_{ca}}{\sigma_{sa}} \tag{7}$$

ここに、kb：釣合時の中立軸比（=xb/h）

xb：釣合時の中立軸位置

k2：中立軸比

Ma2：許容曲げモーメント

N：軸力(圧縮正)

n：ヤング係数比(=15)

pt：引張鉄筋比(=Ast/(bh)、Ast：引張鉄筋量)

$\bar{N}_c$：σca で無次元した軸力(=N/(bhσca))

b：部材幅

h：部材高

σca：コンクリート許容応力度

σsa：鉄筋許容応力度

δ：部材高に対する有効高の比(=d/h)
d：有効高（圧縮縁から引張鉄筋までの距離）
σs'：圧縮鉄筋応力(圧縮正)

2.3 中立軸断面内かつ引張が許容時（中立軸比 k3：0<k3<kb）

中立軸が断面内にあり、かつ引張鉄筋が許容応力度に達する場合である。中立軸比 k3 を k3=x3/h（x3：圧縮縁から中立軸までの距離、h：部材高）で定義したとき、0<k3<kb となるケースである。ここに、kb は圧縮縁と引張鉄筋が同時に許容応力度に達するとき（釣合時）の中立軸比である。このとき、中立軸比 k3、許容曲げモーメント Ma3 および圧縮鉄筋応力σ's（圧縮正）が、次式の通り書くことができる。

$$k_b = \frac{\delta}{\frac{\sigma_{sa}}{n\sigma_{ca}}+1} \tag{8}$$

$$k_3 = -n(\bar{N}_s + 2p_t) + \sqrt{n^2(\bar{N}_s + 2p_t)^2 + 2n(p_t + \bar{N}_s\delta)} \tag{9}$$

$$\frac{M_{a3}}{bh^2} = \frac{\sigma_{sa}}{n(\delta - k_3)}\left\{\frac{k_3^3}{3} + np_t(2k_3^2 - 2k_3 + 2\delta^2 - 2\delta + 1)\right\} + \frac{N}{bh}(0.5 - k_3) \tag{10}$$

$$\frac{\sigma_s'}{\sigma_{sa}} = \frac{k_3 + \delta - 1}{\delta - k_3} \tag{11}$$

ここに、kb：釣合時の中立軸比（=xb/h）
xb：釣合時の中立軸位置
k3：中立軸比
Ma3：許容曲げモーメント
N：軸力(圧縮正)
n：ヤング係数比(=15)
pt：引張鉄筋比(=Ast/(bh)、Ast：引張鉄筋量)
$\bar{N}_s$：σsa で無次元した軸力(=N/(bhσsa))
b：部材幅
h：部材高
σca：コンクリート許容応力度
σsa：鉄筋許容応力度
δ：部材高に対する有効高の比(=d/h)
d：有効高（圧縮縁から引張鉄筋までの距離）
σs'：圧縮鉄筋応力(圧縮正)

2.4 全断面引張時（中立軸比 k4<0）

中立軸位置が断面外かつ圧縮縁側にある場合である。中立軸比 k4 を k4=x4/h（x4：圧縮縁から中立軸までの距離、h：部材高）で定義したとき、k4<0 となるケースである。

このとき、中立軸比 k4、許容曲げモーメント Ma4 および圧縮鉄筋応力σ's（圧縮正）が、次式の通り書くことができる。

なお、本ケースの許容曲げモーメント式は、「2.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（その 2)」で提示した解析式から導出できる。複鉄筋断面に対する中立軸比の式(12)を用いて許容曲げモーメント式を求めることで､式(13)に示す中立軸比 k4 に依存しない式が得られる。

$$k_4 = \frac{\bar{N}_s\delta + p_t}{\bar{N}_s + 2p_t} \tag{12}$$

$$\frac{M_{a4}}{bh^2} = \frac{\sigma_{sa}}{2}(2\delta - 1)(2p_t + \bar{N}_s) \tag{13}$$

$$\frac{\sigma_s'}{\sigma_{sa}} = \frac{k_4 + \delta - 1}{\delta - k_4} \tag{14}$$

ここに、k4：中立軸比

Ma4：許容曲げモーメント

N：軸力(圧縮正)

n：ヤング係数比(=15)

pt：引張鉄筋比(=Ast/(bh)、Ast：引張鉄筋量)

$\bar{N}_s$： σ sa で無次元した軸力(=N/(bh σ sa))

b：部材幅

h：部材高

σ sa：鉄筋許容応力度

δ ：部材高に対する有効高の比(=d/h)

d：有効高（圧縮縁から引張鉄筋までの距離）

σ s’：圧縮鉄筋応力(圧縮正)

3. エクセルの入出力データ

3.1 ワークシート「入力データ」

ワークシート「入力データ」に、断面諸元等の入力パラメータを作成する。複数のパラメータを入力することで、複数データの処理が可能である。

入力パラメータは、以下の通りである。

(1)番号

データの数だけ 1 から順にデータ番号を入力する。

(2)部材高 h(cm)

部材高を cm 単位で入力する。

(3)部材幅 b(cm)

部材幅を cm 単位で入力する。

(4)コンクリート許容応力度 σ ca(N/mm2)

コンクリート許容応力度を、N/mm2 単位で入力する。

(5)鉄筋許容応力度 σ sa(N/mm2)

鉄筋許容応力度を、N/mm2 単位で入力する。

(6)引張鉄筋量 Ast(cm2)

引張鉄筋量を cm2 単位で入力する。対称配筋を仮定しているので、圧縮鉄筋量 Asc は Asc=Ast によ

り設定される。

(7)鉄筋被り c(cm)

鉄筋被りを cm 単位で入力する。ここに、引張鉄筋の被りは、引張縁から引張鉄筋中心までの距離である。また、圧縮鉄筋被りは対称配筋を仮定しているので、引張鉄筋被りと同一に設定される。

(8)軸力 N(kN)

部材断面に作用する軸力を、kN 単位で入力する。圧縮力を正として定義し、負値は引張力を意味する。

本ワークシートは、許容曲げモーメント等の計算値についても出力される。

本ワークシートへの出力値は、以下の通りであ。

(1)モード

計算された中立軸位置に応じて、4 つのモードのうち一つを出力する。4 つのモードは、全断面圧縮時、中立軸断面内で圧縮縁許容時、中立軸断面内で引張鉄筋許容時、および全断面引張時である。それぞれ、「圧縮」、「コン許容」、「鉄筋許容」、および「引張」で表示される。

(2)中立軸比 k

中立軸位置 x（圧縮縁からの距離）のとき、k=x/h（h：部材高）で定義される中立軸比を出力する。ここに、中立軸比が有効高ではなく部材高に対する比で定義していることに注意する。

(3)中立軸位置 x(cm)

中立軸位置を、cm 単位で出力する。

(4)許容曲げモーメント Ma(kNm)

許容曲げモーメントを、kNm 単位で出力する。

(5)Ma/(bh^2)（N/mm2）

応力単位で表示した許容曲げモーメントを、N/mm2 単位で出力する。この出力の目的は、軸力とともに応力単位で出力・グラフ化したとき、部材幅 b と部材高 h に無関係に表示できるためである。

(6)N/(bh)（N/mm2）

応力単位で表示した軸力（軸応力）を、N/mm2 単位で出力する。

(7)圧縮鉄筋 σ s'/ σ sa（圧縮正）

圧縮鉄筋の照査値（許容応力度に対する比）を出力する。本エクセルでは、圧縮鉄筋が許容応力度に達するモードを考慮していないことから、許容曲げモーメント時の圧縮鉄筋応力をチェックするために本照査値を出力している。本照査値が絶対値 1.0 以内であれば問題ないが、1.0 を超えている場合には圧縮鉄筋が許容応力度に達しているので別途検討が必要になる。

(8)Nmax

最大軸力を表示する。純圧縮状態でコンクリート応力が許容応力度に達したときの軸力とし、次式で算出している。この Nmax よりも大きい軸力に対しては解が求まらない。

$$N_{max} = bh\sigma_{ca} + 2nbhp_t\sigma_{ca}$$

ここに、b：部材幅、h：部材高、σ ca：コンクリート許容応力度、n：ヤング係数比、pt：引張鉄筋比

(9)Nmin

最小軸力を表示する。純引張状態で鉄筋応力が許容応力度に達したときの軸力とし、次式で算出している。この Nmin よりも小さい軸力に対しては解が求まらない。

$$N_{min} = -2bhp_t\sigma_{sa}$$

ここに、b：部材幅、h：部材高、σsa：鉄筋許容応力度、pt：引張鉄筋比

図 3.1-1 に、ワークシート「入力データ」の例を示す。

番号	部材高 h(cm)	部材幅 b(cm)	コン許容 σca (N/mm2)	鉄筋許容 σsa (N/mm2)	引張 鉄筋量 Ast(cm2)	鉄筋被り c(cm)	軸力 N(kN)
1	80	100	8	180	22.92	10	−800
2	80	100	8	180	22.92	10	−700
3	80	100	8	180	22.92	10	−600
4	80	100	8	180	22.92	10	−500
5	80	100	8	180	22.92	10	−400
6	80	100	8	180	22.92	10	−300
7	80	100	8	180	22.92	10	−200
8	80	100	8	180	22.92	10	−100
9	80	100	8	180	22.92	10	0
10	80	100	8	180	22.92	10	100
11	80	100	8	180	22.92	10	200
12	80	100	8	180	22.92	10	300
13	80	100	8	180	22.92	10	400
14	80	100	8	180	22.92	10	500
15	80	100	8	180	22.92	10	600
16	80	100	8	180	22.92	10	700
17	80	100	8	180	22.92	10	800
18	80	100	8	180	22.92	10	900
19	80	100	8	180	22.92	10	1000
20	80	100	8	180	22.92	10	1100
21	80	100	8	180	22.92	10	1200
22	80	100	8	180	22.92	10	1300
23	80	100	8	180	22.92	10	1400
24	80	100	8	180	22.92	10	1500
25	80	100	8	180	22.92	10	1600
26	80	100	8	180	22.92	10	1700
27	80	100	8	180	22.92	10	1800
28	80	100	8	180	22.92	10	1900

モード	中立軸比 k (=x/h)	中立軸 位置 x(cm)	許容曲げ モーメント Ma (kNm)	Ma/(bh^2) (N/mm2)	N/(bh) (N/mm2)	圧縮鉄筋 (σs'/σsa) (圧縮正)	Nmax (kN)	Nmin (kN)
引張	−11.4427	−915.414	7.536	0.0118	−1.0000	−0.939	6950.08	−825.12
引張	−1.5980	−127.839	37.536	0.0587	−0.8750	−0.697	6950.08	−825.12
引張	−0.4995	−39.957	67.536	0.1055	−0.7500	−0.454	6950.08	−825.12
引張	−0.0767	−6.137	97.536	0.1524	−0.6250	−0.212	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.0782	6.253	130.449	0.2038	−0.5000	−0.059	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.1304	10.430	164.684	0.2573	−0.3750	0.007	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.1667	13.335	197.995	0.3094	−0.2500	0.059	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.1954	15.635	230.455	0.3601	−0.1250	0.104	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.2196	17.565	262.170	0.4096	0.0000	0.144	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.2405	19.238	293.229	0.4582	0.1250	0.182	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.2590	20.721	323.705	0.5058	0.2500	0.218	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.2757	22.056	353.657	0.5526	0.3750	0.251	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.2909	23.272	383.132	0.5986	0.5000	0.284	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.3049	24.388	412.172	0.6440	0.6250	0.315	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.3178	25.422	440.811	0.6888	0.7500	0.346	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.3298	26.384	469.079	0.7329	0.8750	0.376	6950.08	−825.12
鉄筋許容	0.3411	27.284	497.002	0.7766	1.0000	0.405	6950.08	−825.12
コン許容	0.3529	28.232	520.798	0.8137	1.1250	0.431	6950.08	−825.12
コン許容	0.3718	29.743	524.384	0.8194	1.2500	0.443	6950.08	−825.12
コン許容	0.3914	31.314	528.382	0.8256	1.3750	0.454	6950.08	−825.12
コン許容	0.4118	32.945	532.676	0.8323	1.5000	0.464	6950.08	−825.12
コン許容	0.4329	34.632	537.147	0.8393	1.6250	0.474	6950.08	−825.12
コン許容	0.4546	36.372	541.675	0.8464	1.7500	0.483	6950.08	−825.12
コン許容	0.4770	38.162	546.143	0.8533	1.8750	0.492	6950.08	−825.12
コン許容	0.5000	40.000	550.435	0.8601	2.0000	0.500	6950.08	−825.12
コン許容	0.5235	41.882	554.438	0.8663	2.1250	0.507	6950.08	−825.12
コン許容	0.5476	43.805	558.047	0.8719	2.2500	0.514	6950.08	−825.12
コン許容	0.5721	45.767	561.162	0.8768	2.3750	0.521	6950.08	−825.12

対称配筋を仮定
（圧縮鉄筋量と引張鉄筋量は同じ、圧縮鉄筋被りと引張鉄筋被りは同じ）

圧縮鉄筋が許容に達するときは非考慮
（Abs(σs'/σsa)<1.0を確認すること）

図 3.1-1　ワークシート「入力データ」の例（一部）

3.2 ワークシート「k および Ma の計算」

2.に記載した解析式により、中立軸比と許容曲げモーメントを計算するためのワークシートである。本ワークシートの出力項目は、以下の通りである。

(1)番号
(2)部材高 h(m)
(3)部材幅 b(m)
(4) σca(kN/m2)：コンクリート許容応力度
(5) σsa(kN/m2)：鉄筋許容応力度
(6)有効高 d(m)
(7)引張鉄筋比 pt(小数)：pt=Ast/(bh)、Ast：引張鉄筋量
(8) δ (=d/h)：部材高に対する有効高の比
(9)N(kN)：軸力
(10)N/(bh σca)：σca で定義した無次元化軸力
(11)N/(bh σsa)：σsa で定義した無次元化軸力
(12)n：ヤング係数比(=15)
(13)kb：釣合時の中立軸比
(14)xb(m)：釣合時の中立軸位置
(15)k1：全断面圧縮時の中立軸比
(16)Ma1/(bh^2)(kN/m2)：全断面圧縮時の許容曲げモーメント（応力表示）

(17)k2：中立軸断面内で圧縮縁が許容時の中立軸比

(18)Ma2/(bh^2)(kN/m2)：中立軸断面内で圧縮縁が許容時の許容曲げモーメント（応力表示）

(19)k3：中立軸断面内で引張鉄筋許容時の中立軸比

(20)Ma3/(bh^2)(kN/m2)：中立軸断面内で引張鉄筋許容時の許容曲げモーメント（応力表示）

(21)k4：全断面引張時の中立軸比

(22)Ma4/(bh^2)(kN/m2)：全断面引張時の許容曲げモーメント（応力表示）

(23)モード：「圧縮」、「コン許容」、「鉄筋許容」、および「引張」の表示

(24)k(=x/h)：中立軸比

(25)x(cm)：中立軸位置

(26)Ma/(bh^2)(kN/m2)：許容曲げモーメント（kN/m2 での応力表示）

(27)Ma/(bh^2)(N/mm2)：許容曲げモーメント（N/mm2 での応力表示）

(28)Ma(kNm)：許容曲げモーメント

(29)σs'/σsa（圧縮正）：圧縮鉄筋応力の照査値（許容応力度に対する比）

(30)Nmax：最大軸力

(31)Nmin：最小軸力

図 3.2-1 に、ワークシート「k および Ma の計算」の例を示す。

										15			圧縮	圧縮	コン許容	コン許容	鉄筋許容	鉄筋許容	引張	引張									
番号	部材高 h(m)	部材幅 b(m)	σca (kN/m2)	σsa (kN/m2)	有効高 d(m)	引張鉄筋比 pt(小数)	δ (=d/h)	N (kN)	N/(bhσca)	N/(bhσsa)	n	kb	xb (m)	k1	Ma1/(bh^2) (kN/m2)	k2	Ma2/(bh^2) (kN/m2)	k3	Ma3/(bh^2) (kN/m2)	k4	Ma4/(bh^2) (kN/m2)	モード	k (=x/h)	x (cm)	Ma/(bh^2) (kN/m2)	Ma/(bh^2) (N/mm2)	Ma (kNm)	σs'/σsa (圧縮正)	Nmax (kN)	Nmin (kN)
1	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−800	−0.125	−0.00556	15	0.35	0.28	0.448388	1702.456	0.150228	914.0101	—	—	−11.4427	11.775	引張	−11.4427	−915.414	11.775	0.011775	7.536	−0.93911	6950.08	−825.12
2	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−700	−0.10938	−0.00486	15	0.35	0.28	0.454249	1680.49	0.156956	897.1217	—	—	−1.59799	58.65	引張	−1.59799	−127.839	58.65	0.05865	37.536	−0.69672	6950.08	−825.12
3	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−600	−0.09375	−0.00417	15	0.35	0.28	0.460265	1658.523	0.164183	881.403	—	—	−0.49947	105.525	引張	−0.49947	−39.9574	105.525	0.105525	67.536	−0.45433	6950.08	−825.12
4	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−500	−0.07813	−0.00347	15	0.35	0.28	0.466443	1636.556	0.171887	866.9227	—	—	−0.07671	152.4	引張	−0.07671	−6.13681	152.4	0.1524	97.536	−0.21194	6950.08	−825.12
5	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−400	−0.0625	−0.00278	15	0.35	0.28	0.472789	1614.589	0.180164	853.7472	0.078168	203.8273	0.147158	199.275	鉄筋許容	0.078168	6.253446	203.8273	0.203827	130.4495	−0.05877	6950.08	−825.12
6	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−300	−0.04688	−0.00208	15	0.35	0.28	0.479311	1592.622	0.189033	841.9394	0.13038	257.3189	0.285763	246.15	鉄筋許容	0.13038	10.4304	257.3189	0.257319	164.6841	0.007225	6950.08	−825.12
7	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−200	−0.03125	−0.00139	15	0.35	0.28	0.488014	1570.655	0.198531	831.5557	0.166685	309.3674	0.380023	293.025	鉄筋許容	0.166685	13.33477	309.3674	0.309367	197.9951	0.05885	6950.08	−825.12
8	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	−100	−0.01563	−0.00069	15	0.35	0.28	0.492908	1548.688	0.208695	822.6442	0.195439	360.0854	0.448284	339.9	鉄筋許容	0.195439	15.63514	360.0854	0.360085	230.4546	0.103654	6950.08	−825.12
9	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	0	0	0	15	0.35	0.28	0.5	1526.721	0.219562	815.2414	0.219562	409.6399	0.5	386.775	鉄筋許容	0.219562	17.56494	409.6399	0.40964	262.1695	0.144272	6950.08	−825.12
10	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	100	0.015625	0.000694	15	0.35	0.28	0.507299	1504.754	0.231164	809.3696	0.24048	458.1705	0.540535	433.65	鉄筋許容	0.24048	19.2384	458.1705	0.458171	293.2291	0.181996	6950.08	−825.12
11	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	200	0.03125	0.001389	15	0.35	0.28	0.514815	1482.787	0.243532	805.0344	0.259019	505.7896	0.573162	480.525	鉄筋許容	0.259019	20.72148	505.7896	0.50579	323.7054	0.217569	6950.08	−825.12
12	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	300	0.046875	0.002083	15	0.35	0.28	0.522556	1460.82	0.25669	802.2217	0.275704	552.5888	0.599989	527.4	鉄筋許容	0.275704	22.0563	552.5888	0.552589	353.6568	0.251468	6950.08	−825.12
13	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	400	0.0625	0.002778	15	0.35	0.28	0.530534	1438.853	0.270659	800.896	0.290896	598.6437	0.622437	574.275	鉄筋許容	0.290896	23.27166	598.6437	0.598644	383.132	0.284017	6950.08	−825.12
14	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	500	0.078125	0.003472	15	0.35	0.28	0.538759	1416.886	0.285452	800.9993	0.304854	644.0182	0.641497	621.15	鉄筋許容	0.304854	24.38831	644.0182	0.644018	412.1716	0.315452	6950.08	−825.12
15	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	600	0.09375	0.004167	15	0.35	0.28	0.547243	1394.919	0.301076	802.4503	0.317771	688.7665	0.657881	668.025	鉄筋許容	0.317771	25.42171	688.7665	0.688766	440.8105	0.345947	6950.08	−825.12
16	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	700	0.109375	0.004861	15	0.35	0.28	0.555999	1372.952	0.317532	805.1451	0.329798	732.9355	0.672118	714.9	鉄筋許容	0.329798	26.38381	732.9355	0.732936	469.0787	0.375636	6950.08	−825.12
17	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	800	0.125	0.005556	15	0.35	0.28	0.56504	1350.985	0.334812	808.9586	0.34105	776.5662	0.684602	761.775	鉄筋許容	0.34105	27.28401	776.5662	0.776566	497.0024	0.404626	6950.08	−825.12
18	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	900	0.140625	0.00625	15	0.35	0.28	0.574379	1329.018	0.352902	813.7469	0.351623	819.6947	0.695639	808.65	コン許容	0.352902	28.23216	813.7469	0.813747	520.798	0.430529	6950.08	−825.12
19	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1000	0.15625	0.006944	15	0.35	0.28	0.584032	1307.051	0.371783	819.3504	0.361595	862.3527	0.705466	855.525	コン許容	0.371783	29.74265	819.3504	0.81935	524.3843	0.442522	6950.08	−825.12
20	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1100	0.171875	0.007639	15	0.35	0.28	0.594016	1285.084	0.39143	825.5969	0.37103	904.569	0.714272	902.4	コン許容	0.39143	31.31437	825.5969	0.825597	528.382	0.453772	6950.08	−825.12
21	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1200	0.1875	0.008333	15	0.35	0.28	0.604346	1263.117	0.411812	832.3058	0.379981	946.3691	0.722209	949.275	コン許容	0.411812	32.94495	832.3058	0.832306	532.6757	0.464009	6950.08	−825.12
22	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1300	0.203125	0.009028	15	0.35	0.28	0.615043	1241.15	0.432896	839.2917	0.388496	987.7783	0.729399	996.15	コン許容	0.432896	34.63171	839.2917	0.839292	537.1467	0.474165	6950.08	−825.12
23	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1400	0.21875	0.009722	15	0.35	0.28	0.626124	1219.183	0.454648	846.3677	0.396613	1028.812	0.735942	1043.025	コン許容	0.454648	36.3718	846.3677	0.846368	541.6753	0.483374	6950.08	−825.12
24	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1500	0.234375	0.010417	15	0.35	0.28	0.637613	1197.217	0.477028	853.3488	0.404387	1069.494	0.741923	1089.9	コン許容	0.477028	38.16225	853.3488	0.853349	546.1432	0.491974	6950.08	−825.12
25	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1600	0.25	0.011111	15	0.35	0.28	0.64953	1175.25	0.5	860.0542	0.411787	1109.842	0.74741	1136.775	コン許容	0.5	40	860.0542	0.860054	550.4347	0.5	6950.08	−825.12
26	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1700	0.265625	0.011806	15	0.35	0.28	0.661902	1153.283	0.523525	866.3097	0.418899	1149.871	0.752463	1183.65	コン許容	0.523525	41.88203	866.3097	0.86631	554.4382	0.507489	6950.08	−825.12
27	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1800	0.28125	0.0125	15	0.35	0.28	0.674755	1131.316	0.547567	871.9492	0.425728	1189.596	0.757131	1230.525	コン許容	0.547567	43.80537	871.9492	0.871949	558.0475	0.514478	6950.08	−825.12
28	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	1900	0.296875	0.013194	15	0.35	0.28	0.688116	1109.349	0.572089	876.8156	0.432293	1229.031	0.761456	1277.4	コン許容	0.572089	45.76711	876.8156	0.876816	561.162	0.521002	6950.08	−825.12
29	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2000	0.3125	0.013889	15	0.35	0.28	0.702017	1087.382	0.597056	880.7618	0.438612	1268.188	0.765475	1324.275	コン許容	0.597056	47.7645	880.7618	0.880762	563.8875	0.527093	6950.08	−825.12
30	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2100	0.328125	0.014583	15	0.35	0.28	0.716491	1065.415	0.622436	883.6506	0.444703	1307.08	0.76922	1371.15	コン許容	0.622436	49.79491	883.6506	0.883651	565.5364	0.532784	6950.08	−825.12
31	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2200	0.34375	0.015278	15	0.35	0.28	0.731575	1043.448	0.648198	885.355	0.450579	1345.718	0.772716	1418.025	コン許容	0.648198	51.85586	885.355	0.885355	566.6272	0.538105	6950.08	−825.12
32	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2300	0.359375	0.015972	15	0.35	0.28	0.747308	1021.481	0.674313	885.7579	0.456255	1384.112	0.775989	1464.9	コン許容	0.674313	53.94504	885.7579	0.885758	566.8851	0.543084	6950.08	−825.12
33	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2400	0.375	0.016667	15	0.35	0.28	0.763732	999.514	0.700754	884.7518	0.461742	1422.272	0.779059	1511.775	コン許容	0.700754	56.06029	884.7518	0.884752	566.2411	0.547747	6950.08	−825.12
34	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2500	0.390625	0.017361	15	0.35	0.28	0.780894	977.547	0.727495	882.238	0.467051	1460.207	0.781945	1558.65	コン許容	0.727495	58.19961	882.238	0.882238	564.6323	0.552118	6950.08	−825.12
35	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2600	0.40625	0.018056	15	0.35	0.28	0.798845	955.58	0.754514	878.1265	0.472194	1497.925	0.784662	1605.525	コン許容	0.754514	60.36115	878.1265	0.878126	562.0009	0.55622	6950.08	−825.12
36	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2700	0.421875	0.01875	15	0.35	0.28	0.817641	933.6131	0.78179	872.335	0.477177	1535.435	0.787224	1652.4	コン許容	0.78179	62.5432	872.335	0.872335	558.2944	0.560074	6950.08	−825.12
37	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2800	0.4375	0.019444	15	0.35	0.28	0.837343	911.6461	0.809303	864.7888	0.482012	1572.744	0.789646	1699.275	コン許容	0.809303	64.7442	864.7888	0.864789	553.4648	0.563697	6950.08	−825.12
38	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	2900	0.453125	0.020139	15	0.35	0.28	0.858018	889.6792	0.837034	855.4196	0.486704	1609.859	0.791937	1746.15	コン許容	0.837034	66.96272	855.4196	0.85542	547.4686	0.567109	6950.08	−825.12
39	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3000	0.46875	0.020833	15	0.35	0.28	0.879739	867.7122	0.864968	844.1654	0.491262	1646.787	0.794108	1793.025	コン許容	0.864968	69.19743	844.1654	0.844165	540.2658	0.570324	6950.08	−825.12
40	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3100	0.484375	0.021528	15	0.35	0.28	0.902589	845.7453	0.893089	830.9696	0.495692	1683.535	0.796169	1839.9	コン許容	0.893089	71.44712	830.9696	0.83097	531.8205	0.573358	6950.08	−825.12
41	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3200	0.5	0.022222	15	0.35	0.28	0.926658	823.7783	0.921384	815.7809	0.5	1720.108	0.798128	1886.775	コン許容	0.921384	73.71069	815.7809	0.815781	522.0998	0.576223	6950.08	−825.12
42	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3300	0.515625	0.022917	15	0.35	0.28	0.952045	801.8114	0.949839	798.5526	0.504192	1756.513	0.799991	1933.65	コン許容	0.949839	75.98712	798.5526	0.798553	511.0737	0.578933	6950.08	−825.12
43	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3400	0.53125	0.023611	15	0.35	0.28	0.978862	779.8444	0.978444	779.2421	0.508274	1792.754	0.801767	1980.525	コン許容	0.978444	78.27549	779.2421	0.779242	498.7149	0.581497	6950.08	−825.12
44	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3500	0.546875	0.024306	15	0.35	0.28	1.007235	757.8775	1.007187	757.8105	0.51225	1828.838	0.80346	2027.4	圧縮	1.007235	80.57877	757.8775	0.757877	485.0416	0.583932	6950.08	−825.12
45	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3600	0.5625	0.025	15	0.35	0.28	1.037301	735.9105	1.036059	734.2224	0.516125	1864.768	0.805076	2074.275	圧縮	1.037301	82.98405	735.9105	0.735911	470.9827	0.58633	6950.08	−825.12
46	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3700	0.578125	0.025694	15	0.35	0.28	1.069217	713.9436	1.06505	708.4456	0.519903	1900.55	0.806622	2121.15	圧縮	1.069217	85.53734	713.9436	0.713944	456.9239	0.588728	6950.08	−825.12
47	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3800	0.59375	0.026389	15	0.35	0.28	1.103159	691.9766	1.094154	680.4508	0.523589	1936.188	0.8081	2168.025	圧縮	1.103159	88.25274	691.9766	0.691977	442.865	0.591126	6950.08	−825.12
48	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	3900	0.609375	0.027083	15	0.35	0.28	1.139327	670.0097	1.123361	650.2104	0.527186	1971.687	0.809516	2214.9	圧縮	1.139327	91.1462	670.0097	0.67001	428.8062	0.593524	6950.08	−825.12
49	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4000	0.625	0.027778	15	0.35	0.28	1.177948	648.0427	1.152666	617.7002	0.530698	2007.05	0.810873	2261.775	圧縮	1.177948	94.23582	648.0427	0.648043	414.7473	0.595922	6950.08	−825.12
50	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4100	0.640625	0.028472	15	0.35	0.28	1.219278	626.0757	1.182062	582.8976	0.534129	2042.282	0.812175	2308.65	圧縮	1.219278	97.54224	626.0757	0.626076	400.6885	0.59832	6950.08	−825.12
51	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4200	0.65625	0.029167	15	0.35	0.28	1.263674	604.0088	1.211543	545.7817	0.537481	2077.388	0.813425	2355.525	圧縮	1.263674	101.0891	604.0088	0.604109	386.6296	0.600718	6950.08	−825.12
52	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4300	0.671875	0.029861	15	0.35	0.28	1.311296	582.1418	1.241103	506.3334	0.540758	2112.366	0.814627	2402.4	圧縮	1.311296	104.9037	582.1418	0.582142	372.5708	0.603116	6950.08	−825.12
53	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4400	0.6875	0.030556	15	0.35	0.28	1.362718	560.1749	1.270738	464.5354	0.543962	2147.226	0.815782	2449.275	圧縮	1.362718	109.0174	560.1749	0.560175	358.5119	0.605514	6950.08	−825.12
54	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4500	0.703125	0.03125	15	0.35	0.28	1.418337	538.2079	1.300443	420.3713	0.547096	2181.968	0.816894	2496.15	圧縮	1.418337	113.467	538.2079	0.538208	344.4531	0.607912	6950.08	−825.12
55	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4600	0.71875	0.031944	15	0.35	0.28	1.47869	516.241	1.330214	373.8265	0.550163	2216.596	0.817965	2543.025	圧縮	1.47869	118.2952	516.241	0.516241	330.3942	0.61031	6950.08	−825.12
56	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4700	0.734375	0.032639	15	0.35	0.28	1.544407	494.274	1.360046	324.8871	0.553165	2251.113	0.818998	2589.9	圧縮	1.544407	123.5526	494.274	0.494274	316.3354	0.612709	6950.08	−825.12
57	0.8	1	8000	180000	0.7	0.002865	0.875	4800	0.75	0.033333	15	0.35	0.28	1.616238	472.3071	1.389937	273.5406	0.556104	2285.521	0.819993	2636.775	圧縮	1.616238	129.299	472.3071	0.472307	302.2765	0.615107	6950.08	−825.12

図 3.2-1　ワークシート「k および Ma の計算」の例（一部）

4. 計算例

4.1 計算条件

計算例の断面諸元を、表 4.1-1 に示す。配筋条件は、複鉄筋の対称配筋とした。
軸力値を-800～6900kN まで 100kN 刻みで変動させ、それぞれの許容曲げモーメントを算出した。

表 4.1-1　断面諸元

諸元	値	備考
部材高 h(cm)	80	
部材幅 b(cm)	100	
コンクリート許容応力度 σ ca(N/mm2)	8	σ ck=24N/mm2 を想定
鉄筋許容応力度 σ sa(N/mm2)	180	SD295 を想定
引張鉄筋量 Ast(cm2)	22.92（D19@125）	pt=Ast/(bh)=0.002865
鉄筋被り c(cm)	10	c/h=0.125
軸力 N(kN)	－800～6900（100 刻み）	

4.2 計算結果

図 4.2-1(a)および(b)に、本エクセルによる計算結果を、Ma-N 関係として示した。同図にはそれぞれ別マクロ 1「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（その 2)」および別マクロ 2「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」による計算結果も併記した。図によれば、両者の結果がほぼ一致していることがわかる。

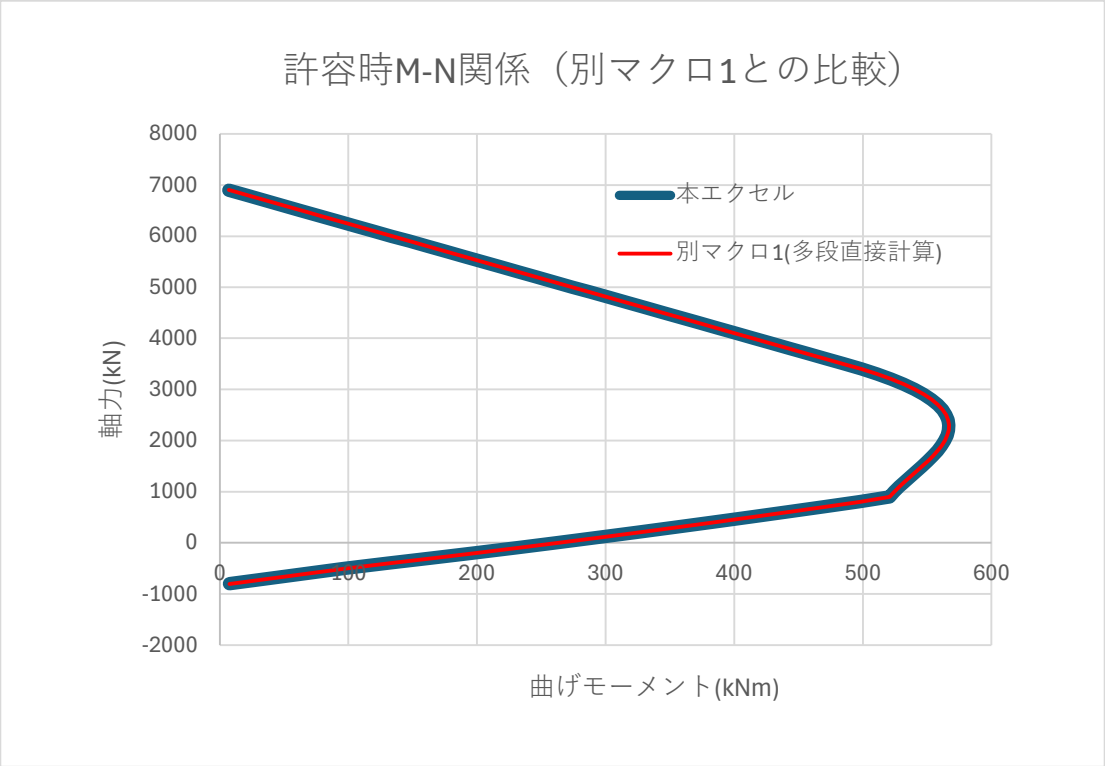

図 4.2-1(a)　計算結果（別マクロ 1 の結果を併記）

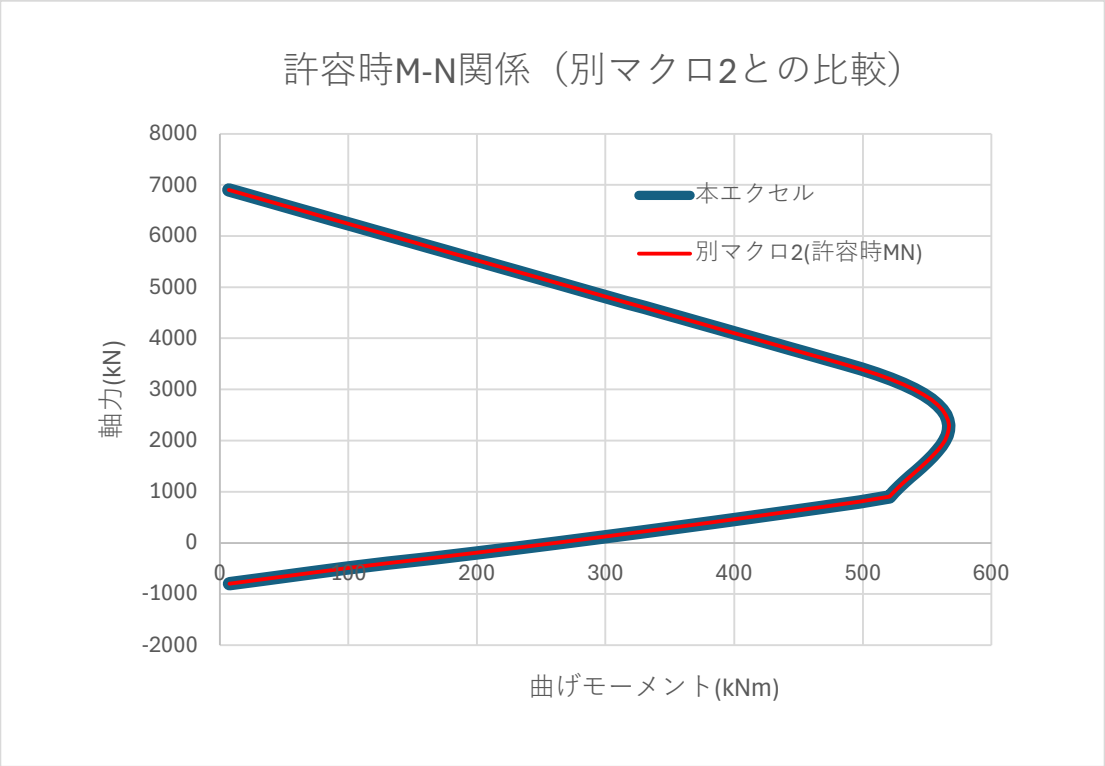

図 4.2-1(b)　計算結果（別マクロ 2 の結果を併記）

図 4.2-1(c)に、軸応力 N/(bh)と応力度表示の許容曲げモーメント Ma/(bh^2)の関係を示す。

同図の表記によれば、許容応力度、引張鉄筋比 pt および部材高に対する鉄筋被りの比 c/h が同一のとき、部材高さ h と部材幅 b に依らず適用可能となる。

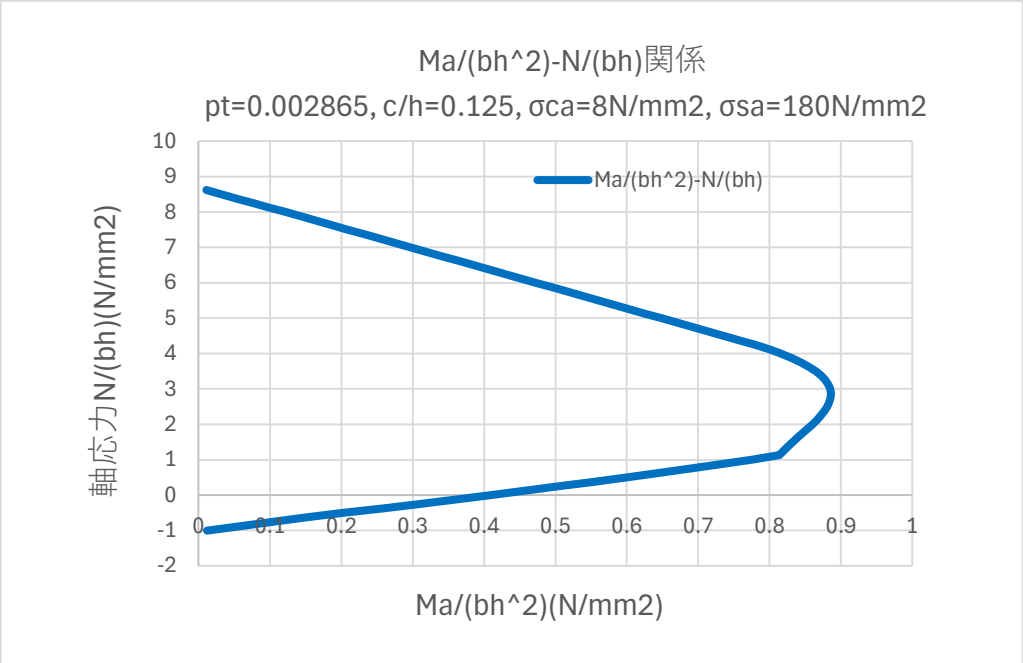

図 4.2-1(c)　計算結果（応力度表示の許容曲げモーメント）

図 4.2-2 に、軸力変化による許容時における中立軸比を示す。

図によれば、4 つのモードによる中立軸比 k1、k2、k3 および k4 が存在するが、軸力変化に伴ってモードが変遷し、軸力増大によって k4→k3→k2→k1 と中立軸比が移っていく様子がわかる。

図 4.2-3 に、許容時における圧縮鉄筋応力 σ s'の照査値（許容応力度に対する比）を示す。

図によれば、対象とした軸力の範囲内において、照査値の絶対値が 1.0 以下であり、圧縮鉄筋応力が許容応力度以内であることがわかる。

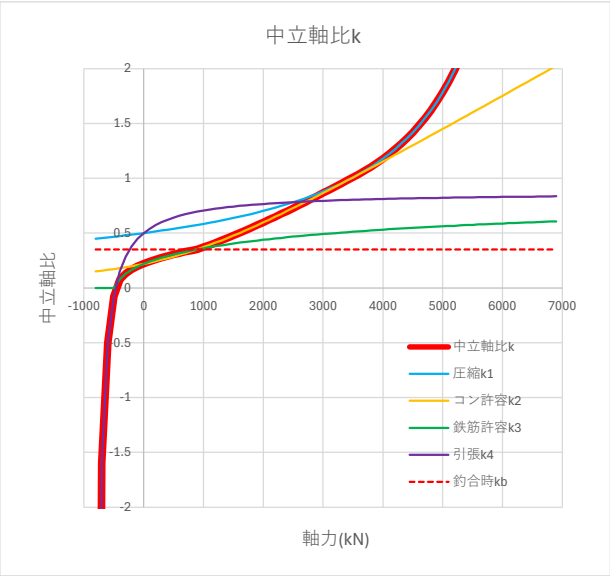

図 4.2-2　軸力による中立軸比の変化

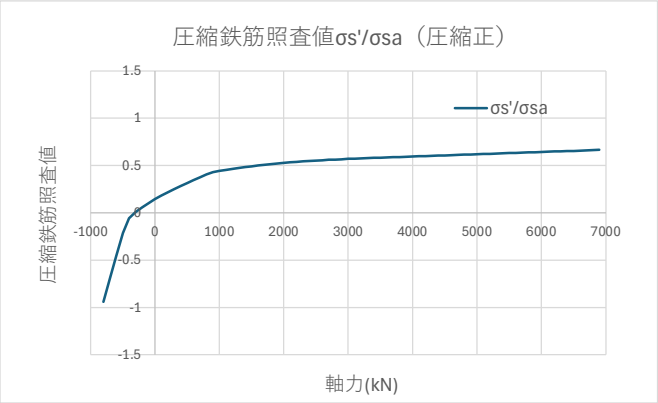

図 4.2-3　圧縮鉄筋応力の照査値