

1. 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（その2）

「2.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」において、マクロを使用せず表計算により複鉄筋矩形断面の許容曲げモーメントを算出するエクセルを示しました。ここでは、対称配筋、すなわち圧縮および引張鉄筋の鉄筋量や被りが同一の条件を考慮していました。

本報告では、許容時の断面仮定から直接的に許容時の中立軸位置や抵抗曲げモーメントの解析式を導入する同様の方法を用いることで、圧縮および引張鉄筋の鉄筋量や被りが異なる非対称配筋の複鉄筋断面に対する許容曲げモーメント算出を、エクセル表計算によって実行しています。

表 1-1 断面諸元

諸元		値	備考
部材高 h(cm)		80	
部材幅 b(cm)		100	
有効高 d1(cm)		70	引張鉄筋被り 10cm
コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )		8	$\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ を想定
鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )		180	SD295 を想定
引張鉄筋量 As1(cm <sup>2</sup> )	ケース 1	22.92	D19@125
	ケース 2	22.92	D19@125
	ケース 3	11.46	圧縮鉄筋量の 1/2
圧縮鉄筋量 As2(cm <sup>2</sup> )	ケース 1	22.92	引張鉄筋量と同じ(対称)
	ケース 2	11.46	引張鉄筋量の 1/2
	ケース 3	22.92	D19@125
圧縮鉄筋被り d2(cm)		10	
軸力 N(kN)		-800~6900 (100 刻み)	

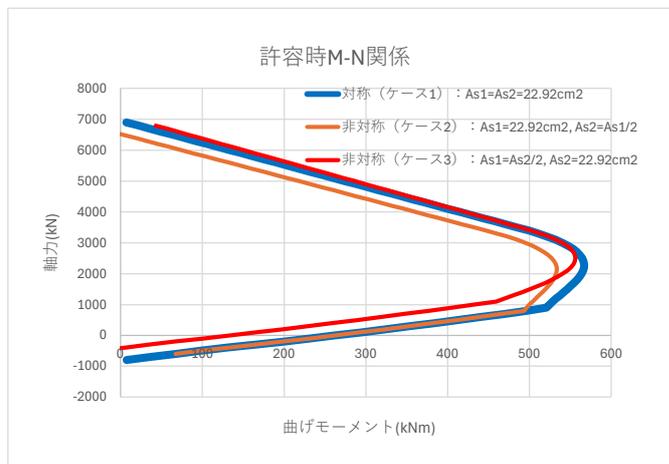


図 1-1 計算結果（許容時 Ma-N 関係）

## 2. 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

「3.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、RC 断面が許容応力度に達するときの断面仮定をもとに、中立軸比と許容曲げモーメントの解析式を提示し、許容時 M-N 関係を算出するマクロを作成しました。

本報では、上記の多段配筋に対する解析式を複鉄筋断面に適用することで、マクロを使用せずエクセルの表計算によって許容曲げモーメントを求めています。これにより、セル内に埋め込んだ解析式を直接に確認できるとともに操作性が良好になると思われます。ただし、対称配筋条件を仮定し、またコンクリート応力から鉄筋応力の換算に用いるヤング係数比は圧縮・引張鉄筋ともに  $n (=15)$  を使用しました。

別マクロ 1「3.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)」や別マクロ 2「5.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」の計算結果と比較し、M-N 関係が一致することを確認しています。

表 2-1 計算条件

諸元	値	備考
部材高 $h(\text{cm})$	80	
部材幅 $b(\text{cm})$	100	
コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$	8	$\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ を想定
鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}(\text{N/mm}^2)$	180	SD295 を想定
引張鉄筋量 $A_{st}(\text{cm}^2)$	22.92 (D19@125)	$p_t=A_{st}/(bh)=0.002865$
鉄筋被り $c(\text{cm})$	10	$c/h=0.125$
軸力 $N(\text{kN})$	-800~6900 (100 刻み)	

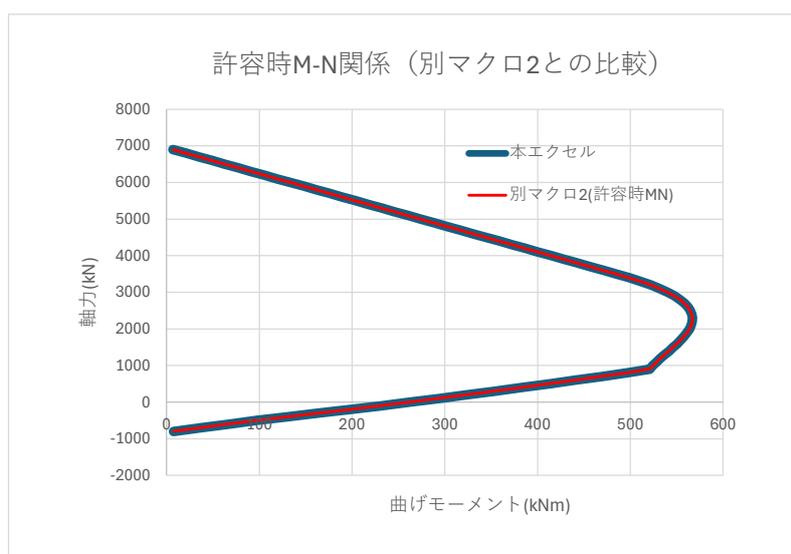


図 2-1 M-N 関係

### 3. 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）

「5.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」において、多段配筋矩形断面の許容曲げモーメントと軸力の関係図（許容時 M-N 関係）を作成しました。

本報では同様の関係図の作成を、計算手法を変更して実施しています。前回の方法では、「エクセル表計算による多段配筋矩形断面の曲げ応力算出」をソルバーとして使用し、指定した軸力に対し作用曲げモーメントを変化させて発生応力が許容応力度に達するときを探索することにより許容曲げモーメントを算出しました。今回の方法では、RC 断面が許容応力度に達するときの断面仮定から中立軸算定式と許容曲げモーメント式を直接に導出しています。この解析式の導出には、柳町涼太・野村圭介(2021)「多段配筋 RC 部材の拡張許容曲げモーメント算定式の提案、コンクリート工学年次論文集、Vol.43、No.2」を参照しました。

前回作成したマクロによる許容時 M-N 関係と今回の計算結果を比較し、ほぼ一致することを確認しています。

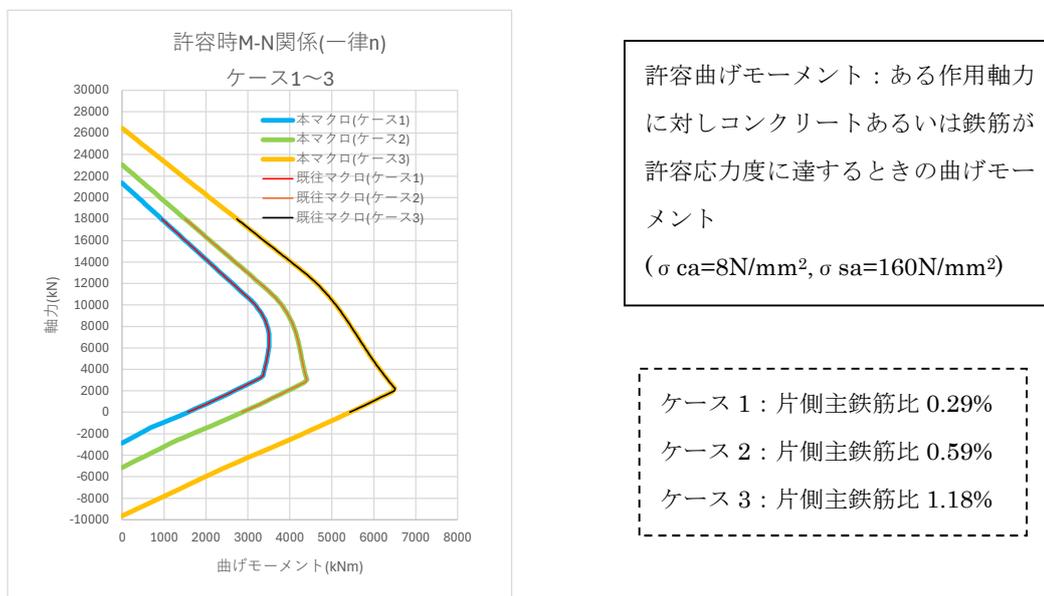


図 3-1 許容時 M-N 関係

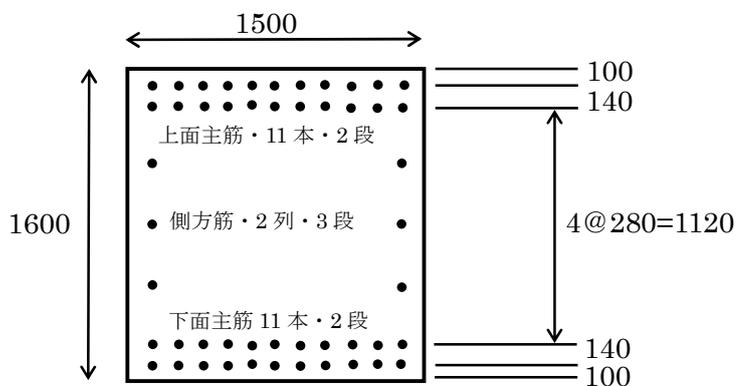


図 3-2 鉄筋配置



## 5. 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

「6. 複鉄筋矩形 RC 断面に対する許容応力度照査時の M-N 関係図の作成」において、複鉄筋断面の許容曲げモーメントと軸力の関係図（許容時 M-N 関係）を作成しました。本報では、多段配筋の矩形 RC 断面に対して、同様の M-N 関係図の作成を行っています。

本報は、「14. エクセル表計算による多段配筋矩形断面の曲げ応力度算出」で提示したエクセルシートをソルバーとして利用し、軸力値の変化による許容曲げモーメントの計算にマクロを併用することにより、許容時の M-N 関係を算出しました。本エクセルによる M-N 関係を作用断面力とし、別マクロ（「12. 矩形、T 形および円形 RC 断面の曲げ応力度算出マクロ」）を使用して発生応力を計算した結果、許容応力度に達することを確認しています。

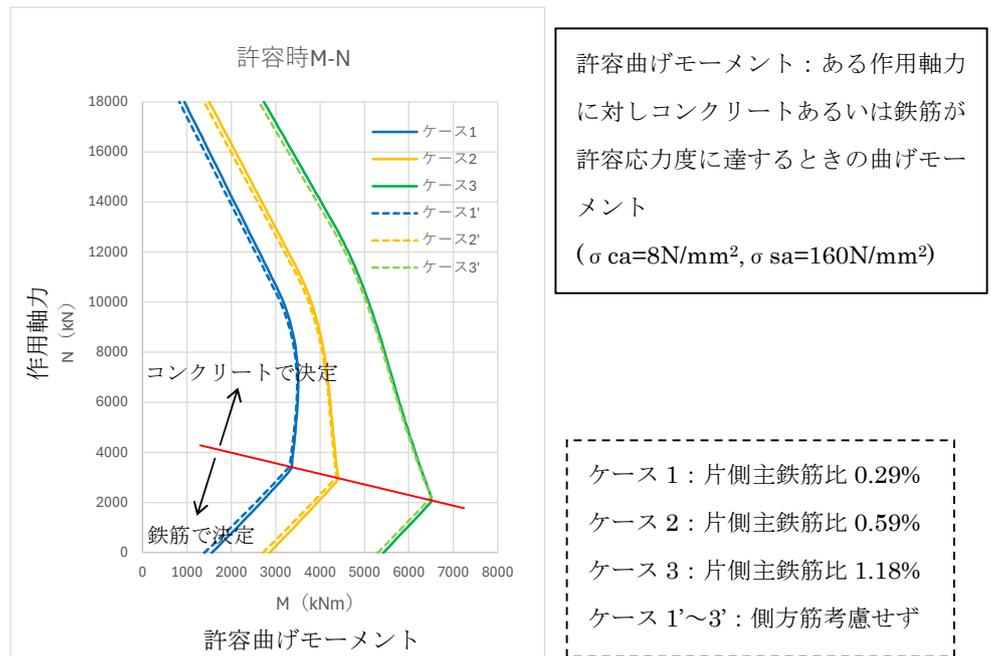


図 5-1 許容時 M-N 関係

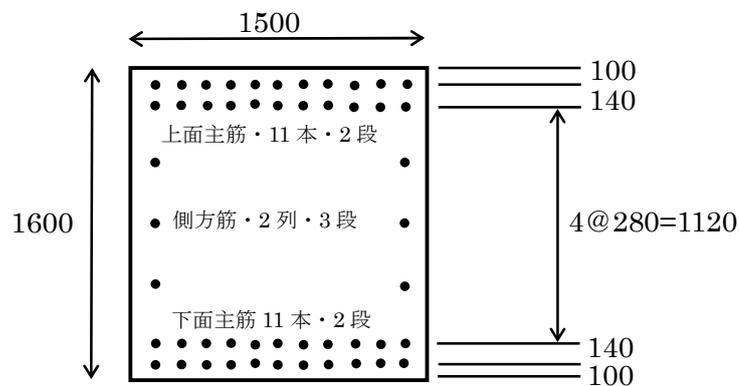


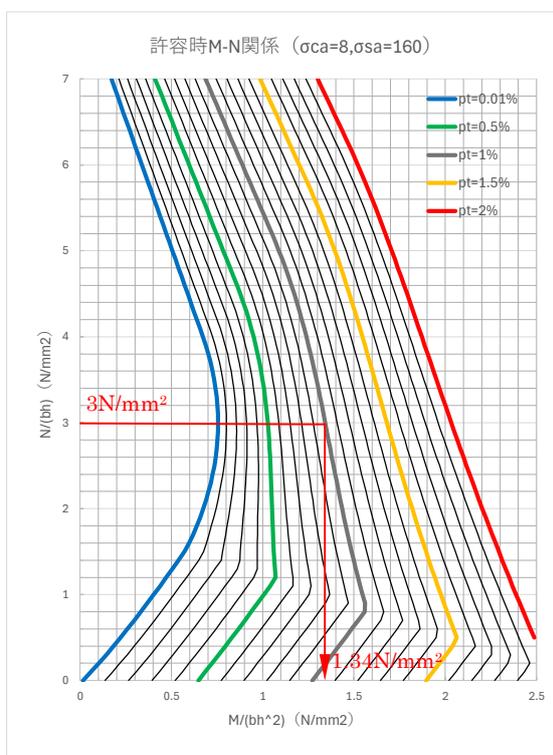
図 5-2 鉄筋配置

## 6. 複鉄筋矩形 RC 断面に対する許容応力度照査時の M-N 関係図の作成

先に、「15. 矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成」において、矩形 RC 断面に対し、終局時、降伏時およびひび割れ時における M-N 関係を算出するエクセルマクロを掲載しました。本報では、許容応力度照査時の M-N 関係、すなわちコンクリート圧縮縁あるいは引張鉄筋が許容応力度に達するときの M-N 関係について報告しています。

土木分野での許容応力度照査では、設計断面力と断面諸元から発生応力を求め、許容応力度と比較を行うことで安全性を確認することが多いですが、建築分野では「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」(建築 RC 規準)において、許容時の M-N 関係が提示されています。

本報では、「13. エクセル表計算による複鉄筋矩形断面の曲げ応力度算出」で提示したエクセルシートをソルバーとして利用し、軸力値の変化による許容曲げモーメントの計算にマクロを併用することにより、許容時の M-N 関係を算出しました。本エクセルによる結果と建築 RC 規準に提示される M-N 図を比較し、ほぼ一致することを確認しています。



pt : 引張鉄筋比(=As<sub>1</sub>/(bh))

b : 部材幅、h : 部材高、As<sub>1</sub> : 引張鉄筋量

As<sub>2</sub> : 圧縮鉄筋量(=As<sub>1</sub>) [対称配筋]

cv1 : 引張鉄筋かぶり(=0.1h)

cv2 : 圧縮鉄筋かぶり(=cv1) [対称配筋]

縦軸 N/(bh) : 軸応力(N/mm<sup>2</sup>)

横軸 M/(bh<sup>2</sup>) : 応力次元の許容曲げモーメント(N/mm<sup>2</sup>)

軸応力 N/(bh)=3N/mm<sup>2</sup>、鉄筋比 pt=1%のときの例

左図より、M/(bh<sup>2</sup>)=1.34N/mm<sup>2</sup>

b=1.0m、h=0.5m のとき、

M=1.34 × 1000 × 500<sup>2</sup>=3.35 × 10<sup>8</sup>Nmm=335kNm

図 6-1 許容時 M-N 関係 (σ<sub>ca</sub>=8N/mm<sup>2</sup>、σ<sub>sa</sub>=160N/mm<sup>2</sup>)

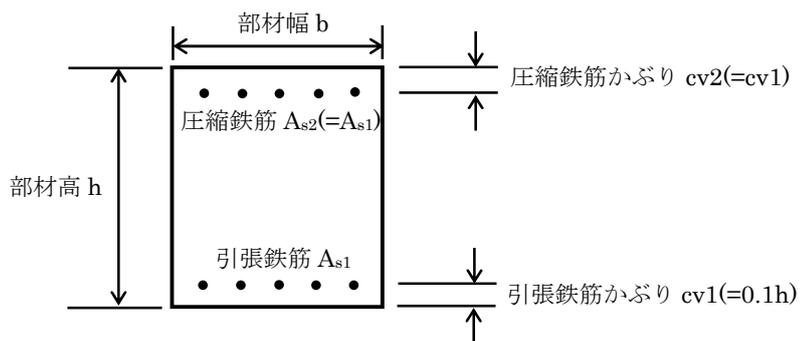


図 6-2 仮定した断面諸元

## 7. 複鉄筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロに関して

構造物を梁要素でモデル化したときの地震時応答値を使用し、梁の照査を行うマクロです。動的応答値を求める構造解析ソフトは TDAPIII を想定し、複鉄筋の矩形 RC 断面に対する曲げおよびせん断照査を行います。照査用断面力として、応答時刻歴波形の最大値（曲率およびせん断力）を使用しています。

なお、最大曲率発生時および最大せん断力発生時の断面力の抽出については、「8.多段配筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロについて」に掲載した最大値抽出マクロにより実施可能です。

照査方法については、「公益社団法人 日本水道協会 水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版」を参照しています。

表 7-1 断面諸元の入力

通し番号	断面ID	断面高さ h(cm)	断面幅 b(cm)	コンヤング係数 es(kN/mm <sup>2</sup> )	鉄筋ヤング係数 es(kN/mm <sup>2</sup> )	コン強度 fc(N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋降伏強度 eu(N/mm <sup>2</sup> )	上面鉄筋被り asu(cm)	上面鉄筋量 asu(cm <sup>2</sup> )	下面鉄筋被り asd(cm)	下面鉄筋量 asd(cm <sup>2</sup> )	コン許容 σca (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋許容 σsa (N/mm <sup>2</sup> )	せん断許容 τa1 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断許容 τa2 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断補強筋量 aw(cm <sup>2</sup> )	せん断補強筋ピッチ pch(cm)
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	30	450	25	200	24	345	5	43.692	20	89.37	13.5	294	0.675	3	0	12.5
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
4	A-A-要素特性7-池③右壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
5	A-A-要素特性7-池③右壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
6	A-A-要素特性8-池③左壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
7	A-A-要素特性8-池③左壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
8	A-A-要素特性9-池③底版-端部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	128.925	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
9	A-A-要素特性9-池③底版-中央	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	29.79	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
10	A-A-要素特性9-池③底版-柱部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	59.58	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
11	A-A-要素特性10-池①頂壁	45	450	25	200	24	345	9	91.206	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
12	A-A-要素特性11-池①右壁	45	450	25	200	24	345	12	69.678	31	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
13	A-A-要素特性12-池①左壁	45	450	25	200	24	345	9	69.678	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
14	A-A-要素特性13-池①底壁	60	450	25	200	24	345	12	91.206	41	91.206	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
15	A-A-要素特性21-池③柱	60	50	25	200	24	345	5	11.613	45	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10
16	A-A-要素特性22-池①隔壁	45	450	25	200	24	345	12	91.206	28	91.206	13.5	294	0.675	3	0	12.5
17	A-A-要素特性21-池③柱-端部	70	65	25	200	24	345	5	11.613	50	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10
18	複鉄筋対称配筋(4-D19)-許容	40	100	25	200	24	345	12	11.46	28	11.46	8	160	0.45	2	2.534	12.5

表 7-2 照査結果（曲げ）

通し番号	断面ID id_sec(i)	要素番号 ielm(i)	I,J端 id_ij(i)	曲げモーメント mf_inp(i) (kNm)	軸力 nf_inp(i) (kN)	せん断力 sf_inp(i) (kN)	応答曲率 φ(1/m)	中立軸 xu(i) (cm)	終局曲げモーメント Mu(kNm)	終局曲率 φu(1/m)	照査値 φ/φu	判定 (φu)
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	-208.186	460.663	226.064	1.78E-06	6.750	846.307	0.05185	0.000	OK
2	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20001	ABSMAX	-191.756	453.468	206.981	0.004693	6.745	845.782	0.05189	0.090	OK
3	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20002	ABSMAX	-152.552	450.282	163.496	0.003103	6.743	845.549	0.05191	0.060	OK
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	99.8159	392.386	19.3428	0.000963	4.188	366.743	0.08357	0.12	OK
5	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20004	ABSMAX	94.1412	255.115	21.1109	0.000733	4.134	352.400	0.08466	0.009	OK
6	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20005	ABSMAX	83.2902	254.532	39.3199	0.000569	4.134	352.339	0.08466	0.007	OK
7	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20006	ABSMAX	64.334	120.716	57.6871	0.000439	4.635	580.377	0.07551	0.006	OK
8	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20007	ABSMAX	60.7265	44.9068	12.1438	0.000415	4.583	572.348	0.07636	0.005	OK
9	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20008	ABSMAX	54.4036	41.3532	35.4933	0.000371	4.052	330.053	0.08637	0.004	OK
10	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20009	ABSMAX	-88.8803	368.09	167.247	0.000607	6.673	839.133	0.05245	0.12	OK
11	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20010	ABSMAX	-233.355	388.537	224.013	1.99E-06	6.699	841.037	0.05224	0.000	OK
12	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20011	ABSMAX	-164.231	117.813	194.973	1.4E-06	6.336	815.134	0.05524	0.000	OK
13	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20012	ABSMAX	-116.064	98.7268	140.539	0.001622	6.310	813.275	0.05547	0.029	OK
14	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20013	ABSMAX	-45.798	94.6283	96.1471	0.000313	6.305	812.875	0.05551	0.006	OK
15	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20014	ABSMAX	45.8223	315.466	7.25024	0.000313	4.771	600.949	0.07336	0.004	OK
16	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20015	ABSMAX	50.7925	569.677	7.66687	0.000347	4.954	627.668	0.07065	0.005	OK
17	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20016	ABSMAX	54.6272	556.891	18.9348	0.000373	4.945	626.328	0.07079	0.005	OK
18	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20017	ABSMAX	57.0004	158.286	14.24	0.000389	4.661	584.352	0.07509	0.005	OK
19	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20018	ABSMAX	49.8781	152.261	38.9231	0.000341	4.095	341.649	0.08548	0.004	OK
20	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20019	ABSMAX	-77.3063	215.956	156.849	0.000528	6.468	824.628	0.05411	0.010	OK

表 7-3 照査結果（せん断）

通し番号	断面ID id_sec(i)	要素番号 ielm(i)	I,J端 id_ij(i)	せん断力 sf_inp(i) (kN)	軸力 nf_inp(i) (kN)	有効な補正 β <sub>1</sub>	有効な補正 β <sub>2</sub>	コンクリート引張強度 f <sub>ctm</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋引張強度 f <sub>yk</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	せん断力 V <sub>u</sub> (kN)	照査値 V <sub>u</sub> /V <sub>u,c</sub>	判定	せん断スパン比 a/d	せん断スパン比	せん断力 V <sub>u,c</sub> (kN)	照査値 V <sub>u</sub> /V <sub>u,c</sub>	判定	V <sub>u</sub> /V <sub>u,c</sub> (デフォルト)	破壊モード (デフォルト)	再判定					
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	-207.08	459.847	226.697	1.414	0.926	1.064	637.968	0.000	637.968	0.354	OK	1.317	5.269	端部	647.386	0.349	OK	1.008	せん断	0.982	曲げ 未降伏(0.3)	
2	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20001	ABSMAX	-180.877	451.867	206.589	1.414	0.926	1.063	636.768	0.000	636.768	0.324	OK	1.317	5.269	端部	646.778	0.319	OK	1.008	せん断	0.983	曲げ 未降伏(0.43)	
3	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20002	ABSMAX	-151.256	448.558	163.038	1.414	0.926	1.062	636.509	0.000	636.509	0.296	OK	1.317	5.269	端部	646.515	0.292	OK	1.008	せん断	0.983	曲げ 未降伏(0.28)	
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	-64.468	450.995	109.137	1.414	0.926	1.063	636.712	0.000	636.712	0.171	OK	1.317	5.269	端部	646.721	0.169	OK	1.008	せん断	0.983	曲げ 未降伏(0.4)	
5	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20004	ABSMAX	-10.8568	456.948	70.8375	1.414	0.926	1.064	637.208	0.000	637.208	0.111	OK	1.405	5.819	中央	a/d適用外			0.945	曲げ		未降伏(0.1)	
6	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20005	ABSMAX	71.7241	372.988	42.7413	1.495	0.988	1.129	485.567	0.000	485.567	0.088	OK	2.936	14.881	端部	a/d適用外			0.256	曲げ		未降伏(0.04)	
7	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20006	ABSMAX	52.6268	382.005	61.8092	1.495	0.988	1.088	582.946	0.000	582.946	0.106	OK	2.958	14.782	端部	a/d適用外			0.353	曲げ		未降伏(0.03)	
8	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20007	ABSMAX	374.466	88.0425	1.495	0.988	1.068	582.130	0.000	582.130	0.151	OK	1.994	7.988	端部	a/d適用外			0.655	曲げ		未降伏(0.01)		
9	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20008	ABSMAX	-23.4461	460.661	123.13	1.414	0.926	1.064	637.517	0.000	637.517	0.193	OK	1.576	6.305	端部	a/d適用外			0.842	曲げ		未降伏(0.01)	
10	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20009	ABSMAX	-67.2617	460.388	167.763	1.414	0.926	1.064	637.484	0.000	637.484	0.263	OK	1.576	6.305	端部	a/d適用外			0.842	曲げ		未降伏(0.05)	
11	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20010	ABSMAX	-232.058	479.183	223.907	1.414	0.926	1.067	639.061	0.000	639.061	0.350	OK	1.576	6.305	端部	a/d適用外			0.841	曲げ		未降伏(0.1)	
12	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20011	ABSMAX	-164.07	117.698	195.035	1.414	0.926	1.016	608.887	0.000	608.887	0.200	OK	1.225	4.900	端部	端部材	630.627	0.309	OK	1.093	せん断	1.055	せん断 未降伏(0.15)
13	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20012	ABSMAX	-115.883	98.0651	149.521	1.414	0.926	1.014	607.202	0.000	607.202	0.231	OK	1.225	4.900	端部	端部材	628.866	0.223	OK	1.093	せん断	1.055	せん断 未降伏(0.15)
14	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20013	ABSMAX	-45.405	161.451	96.9074	1.414	0.926	1.022	612.586	0.158	OK	1.218	4.873	端部	端部材	635.442	0.153	OK	1.098	せん断	1.058	せん断 未降伏(0.03)		
15	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20014	ABSMAX	3.08441	161.224	63.1784	1.495	0.988	1.029	561.521	0.000	561.521	0.113	OK	1.532	7.659	中央	a/d適用外			0.680	曲げ		未降伏(0.1)	
16	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20015	ABSMAX	34.6725	161.789	35.1029	1.495	0.988	1.029	561.575	0.000	561.575	0.063	OK	1.532	7.659	中央	a/d適用外			0.680	曲げ		未降伏(0.02)	
17	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20016	ABSMAX	39.8884	224.423	45.2163	1.495	0.988	1.040	567.629	0.000	567.629	0.080	OK	1.225	6.123	中央	a/d適用外			0.651	曲げ		未降伏(0.12)	
18	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20017	ABSMAX	17.0774	218.141	76.0542	1.495	0.988	1.039	567.022	0.000	567.022	0.134	OK	1.525	7.627	端部	a/d適用外			0.683	曲げ		未降伏(0.01)	
19	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20018	ABSMAX	-19.1712	289.173	113.353	1.414	0.926	1.040	623.228	0.000	623.228	0.182	OK	1.503	6.012	端部	a/d適用外			0.888	曲げ		未降伏(0.01)	
20	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20019	ABSMAX	-75.8524	290.393	158.067	1.414	0.926	1.040	623.330	0.000	623.330	0.254	OK	1.503	6.012	端部	a/d適用外			0.888	曲げ		未降伏(0.05)	

### 8. 多段配筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロに関して

構造物を梁要素でモデル化したときの地震時応答値を使用し、梁の照査を行うマクロです。動的応答値を求める構造解析ソフトは TDAPIII を想定し、多段配筋の矩形 RC 断面に対する曲げおよびせん断照査を行います。照査用断面力として、応答時刻歴波形の最大値（曲率およびせん断力）を使用しています。また、照査時の同時刻性を考慮するため、最大曲率発生時および最大せん断力発生時の断面力を抽出するマクロも用意しています。

照査方法については、「公益社団法人 日本水道協会 水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版」を参照しています。

表 8-1 断面諸元の入力（その 1）

通し番号	断面ID	断面高さ h(cm)	断面幅 b(cm)	コンヤング係数 $ec(kN/mm^2)$	鉄筋ヤング係数 $es(kN/mm^2)$	コン強度 $fc(N/mm^2)$	鉄筋降伏強度 $fy(N/mm^2)$	上面鉄筋量 $as_u(cm^2)$	上面鉄筋量 $as_d(cm^2)$	下面鉄筋量 $as_b(cm^2)$	下面鉄筋量 $as_s(cm^2)$	コン許容 $\sigma_{cs}(N/mm^2)$	鉄筋許容 $\sigma_{st}(N/mm^2)$	せん断許容 $\tau_{a1}(N/mm^2)$	せん断許容 $\tau_{a2}(N/mm^2)$	せん断補強筋長 $as_w(cm^2)$	せん断補強筋ピッチ $psl(cm)$	上面主筋配量 $n_{bu}$	下面主筋配量 $n_{bd}$
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	30	450	25	200	24	345	5	43.692	20	89.37	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
4	A-A-要素特性7-池③右壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
5	A-A-要素特性7-池③右壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	89.37	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
6	A-A-要素特性8-池③左壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
7	A-A-要素特性8-池③左壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	89.37	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
8	A-A-要素特性9-池③底版-端部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	128.925	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5	1	1
9	A-A-要素特性9-池③底版-中央	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	29.79	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5	1	1
10	A-A-要素特性9-池③底版-柱部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	59.58	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5	1	1
11	A-A-要素特性10-池①頂版	45	450	25	200	24	345	9	91.206	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
12	A-A-要素特性11-池①右壁	45	450	25	200	24	345	12	69.678	31	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
13	A-A-要素特性12-池①左壁	45	450	25	200	24	345	9	69.678	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
14	A-A-要素特性13-池①底版	60	450	25	200	24	345	12	91.206	41	91.206	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5	1	1
15	A-A-要素特性21-池③柱	60	50	25	200	24	345	5	11.613	45	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10	1	1
16	A-A-要素特性22-池①隔壁	45	450	25	200	24	345	12	91.206	28	91.206	13.5	294	0.675	3	0	12.5	1	1
17	A-A-要素特性21-池③柱-端部	70	65	25	200	24	345	15	11.613	50	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10	1	1

表 8-2 断面諸元の入力（その 2：追加配筋）

通し番号	断面ID	追加配筋の段数	鉄筋量 (cm)	鉄筋量 (cm <sup>2</sup> )															
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	0																	
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	0																	
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	0																	
4	A-A-要素特性7-池③右壁-上部	0																	
5	A-A-要素特性7-池③右壁-下部	0																	
6	A-A-要素特性8-池③左壁-上部	0																	
7	A-A-要素特性8-池③左壁-下部	0																	
8	A-A-要素特性9-池③底版-端部	0																	
9	A-A-要素特性9-池③底版-中央	0																	
10	A-A-要素特性9-池③底版-柱部	0																	
11	A-A-要素特性10-池①頂版	0																	
12	A-A-要素特性11-池①右壁	0																	
13	A-A-要素特性12-池①左壁	0																	
14	A-A-要素特性13-池①底版	0																	
15	A-A-要素特性21-池③柱	1	25	7.742															
16	A-A-要素特性22-池①隔壁	0																	
17	A-A-要素特性21-池③柱-端部	0																	

表 8-3 照査結果（曲げ）

通し番号	断面ID	要素番号	I,J端	曲げモーメント	軸力	せん断力	応答曲率	中立軸	終局曲げ	終局曲率	照査値	判定
id_sec(i)	ielm(i)	id_ij(i)	mf_inp(i)	mf_inp(i)	sf_inp(i)	φ(1/m)	xu(i)	Mu(kNm)	φu(1/m)	φ/φu	(φu)	
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	-208.186	460.663	226.064	1.78E-06	6.745	846.243	0.05189	0.000	OK
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20001	ABSMAX	-191.756	453.468	206.981	0.004693	6.740	845.717	0.05193	0.090	OK
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20002	ABSMAX	-152.552	450.282	163.496	0.003103	6.738	845.484	0.05194	0.060	OK
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	99.8159	392.366	19.3428	0.000963	4.184	366.642	0.08366	0.012	OK
5	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20004	ABSMAX	94.1412	255.115	21.1109	0.000733	4.130	352.289	0.08474	0.009	OK
6	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20005	ABSMAX	83.2902	254.532	39.3199	0.000569	4.130	352.228	0.08475	0.007	OK
7	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20006	ABSMAX	64.334	120.716	57.6871	0.000439	4.628	580.206	0.07562	0.006	OK
8	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20007	ABSMAX	60.7265	44.9068	12.1438	0.000415	4.577	572.182	0.07648	0.005	OK
9	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20008	ABSMAX	54.4036	41.3532	35.4933	0.000371	4.048	329.933	0.08645	0.004	OK
10	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20009	ABSMAX	-88.8803	368.09	167.247	0.000607	6.663	838.919	0.05253	0.012	OK

表 8-4 照査結果（せん断）

通し番号	断面ID	要素番号	I,J端	曲げモーメント	軸力	せん断力	有効高	引張鉄筋	コンクリート	鉄筋	せん断	照査値	判定	a	a/d	せん断スパン	ディープ	せん断力	照査値	判定	Vmu/Vy	破壊モード	Vmu/Vy,sp	破壊モード	判定
id_sec(i)	ielm(i)	id_ij(i)	mf_inp(i)	mf_inp(i)	sf_inp(i)	h_e	σ_s	σ_s	σ_c	σ_s	σ_c	V/Vy	OK	(cm)	(%)	検査	判定	(kN)	(kN)	OK	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	-207.08	458.547	223.891	1.414	0.926	1.064	637.866	0.000	637.866	0.354	OK	1.317	5.269	端部	647.388	0.349	OK	1.008	せん断	0.992	曲げ	未検出(0)
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20001	ABSMAX	-190.877	451.687	206.589	1.414	0.926	1.063	636.768	0.000	636.768	0.324	OK	1.317	5.269	端部	646.778	0.319	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未検出(0.43)
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20002	ABSMAX	-151.536	448.538	163.038	1.414	0.926	1.062	636.509	0.000	636.509	0.296	OK	1.317	5.269	端部	646.515	0.292	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未検出(0.28)
4	A-A-要素特性6-池③右壁-上部	20003	ABSMAX	-87.488	450.995	109.137	1.414	0.926	1.063	636.712	0.000	636.712	0.171	OK	1.317	5.269	端部	646.721	0.169	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未検出(0.04)
5	A-A-要素特性6-池③右壁-下部	20004	ABSMAX	-10.8568	458.948	70.8375	1.414	0.926	1.064	637.208	0.000	637.208	0.111	OK	1.405	5.819	中央	a/g適用外				0.945	せん断		未検出(0)
6	A-A-要素特性6-池③左壁-上部	20005	ABSMAX	71.7241	372.998	42.7413	1.495	0.789	1.028	485.987	0.000	485.987	0.068	OK	2.936	14.681	端部	a/g適用外				0.258	曲げ		未検出(0.04)
7	A-A-要素特性6-池③左壁-下部	20006	ABSMAX	52.8268	382.995	61.6092	1.495	0.998	1.068	582.846	0.000	582.846	0.108	OK	2.956	14.782	端部	a/g適用外				0.353	曲げ		未検出(0.03)
8	A-A-要素特性6-池③底版-端部	20007	ABSMAX	20.8384	374.466	88.0425	1.495	0.998	1.068	582.190	0.000	582.190	0.151	OK	1.594	7.988	端部	a/g適用外				0.854	曲げ		未検出(0.01)
9	A-A-要素特性6-池③底版-中央	20008	ABSMAX	-23.4461	460.661	122.13	1.414	0.926	1.064	637.517	0.000	637.517	0.182	OK	1.576	6.305	端部	a/g適用外				0.842	曲げ		未検出(0.01)
10	A-A-要素特性6-池③底版-柱部	20009	ABSMAX	-87.3817	460.388	167.703	1.414	0.926	1.064	637.484	0.000	637.484	0.283	OK	1.576	6.305	端部	a/g適用外				0.842	曲げ		未検出(0.05)

## 9. 「動的解析の基礎」と「FEMの初歩解説」

「動的解析の基礎」は、動的問題を解析的に解く際の基本的事項の理解を促すための資料として作成したもので、弊社の研修会にて使用したものです。一自由度系の振動問題を対象とし、運動方程式の立て方から始まり、応答スペクトルや修正震度法における設計震度の考え方までを記載しています。

「FEMの初歩解説」は、FEMのモデル化方法の考え方と変位法FEMで最も基本となる剛性マトリクスの作成方法について、その初歩を解説したものです。弾性体の力学の基礎から始まり、三角形要素を対象に、要素剛性マトリクスの誘導、全体剛性マトリクスの作成、そして変位および反力の求め方までを解説しています。

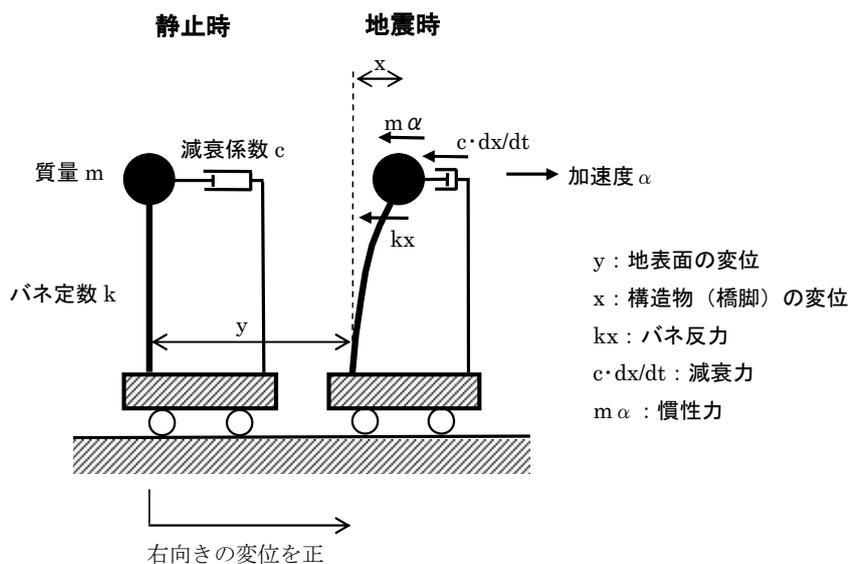


図 9-1 一自由度系振動モデル

## 剛性マトリクス(三角形要素)(4)

### ◆ 全体剛性マトリクスの作成(1)

対象とする構造系全体の剛性マトリクスは、各要素ごとに要素剛性マトリクス(6行・6列)を求め、それらの共通自由度を考慮しながら、全体にわたって重ね合わせることで得られる。

以下では、三角形要素が2個からなる簡単な構造系を例題とし、全体剛性マトリクスの作成方法を説明する。

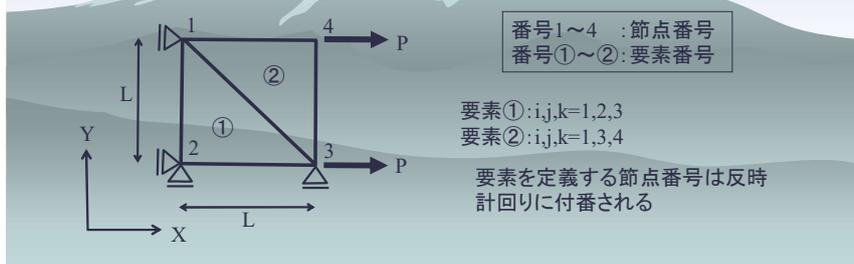


図 9-2 全体剛性マトリクスの作成

## 10. 無筋矩形断面に対する曲げ耐力の数式解について

本資料は、無筋矩形断面の終局曲げ耐力（M-N カーブ）の数式解を誘導したものです。無筋断面の終局時の限界状態として、コンクリート圧縮縁でのひずみが 0.0035 になるとき、あるいはコンクリート引張領域が断面中心に達するときのいずれかを考慮しています。

後述の「15. 矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成」において、M-N カーブ算出のマクロを作成していますが、そのマクロにおいて鉄筋量を微少に設定し、かつひび割れの定義を引張側外縁から断面中心に変更することで、本数式解と一致することを確認しています。

また、本数式解を実装したエクセル（ソルバーとマクロを併用）も掲載しています。

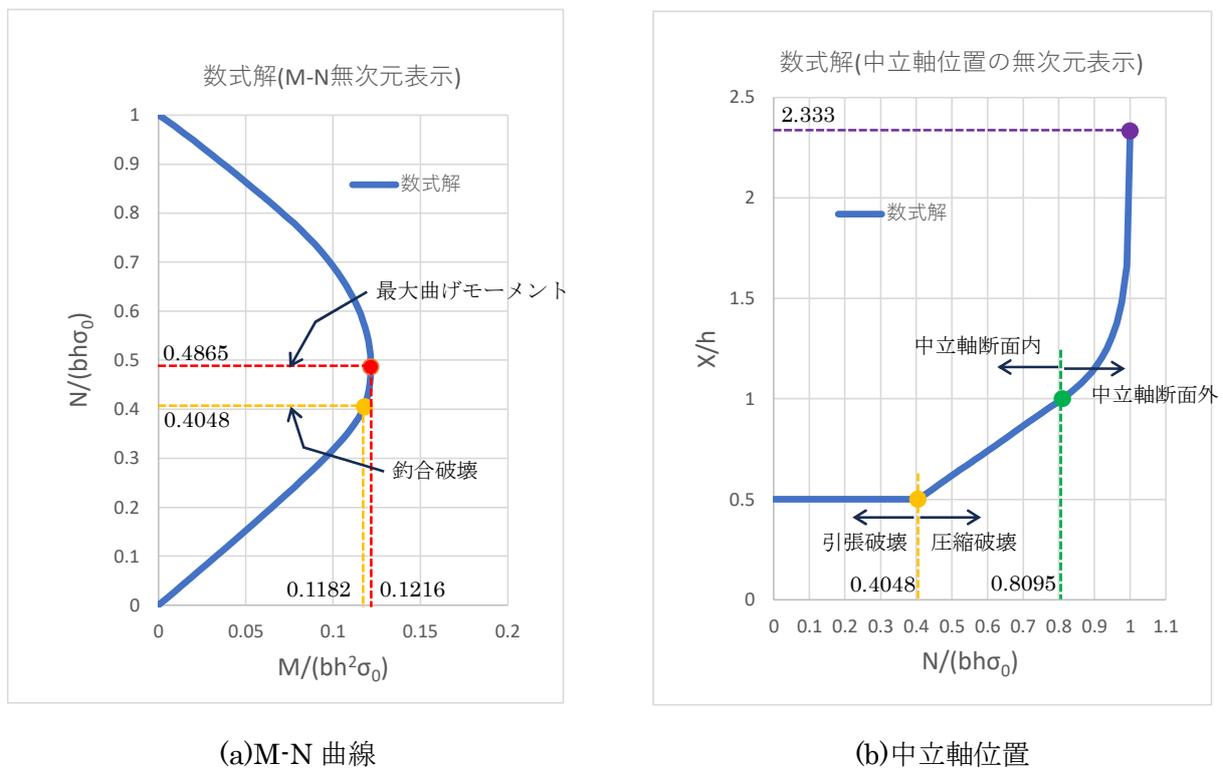


図 10-1 無筋矩形断面の終局時 M-N 相互作用図（無次元表示）

### 【記号の説明】

縦軸  $N/(bh\sigma_0)$  : 無次元化軸力

横軸  $M/(bh^2\sigma_0)$  : 無次元化曲げモーメント

$N$  : 軸力 (kN)

$M$  : 曲げモーメント (kNm)

$\sigma_0$  :  $0.85f'_c$  ( $f'_c$  : コンクリート強度)

$b$  : 部材幅 (m)

$h$  : 部材高 (m)

### 11. 矩形、T形および円形 RC 断面の曲げ応力算出エクセル

矩形、T形および円形 RC 断面に対し、RC 断面弾性計算を行い曲げ応力度（コンクリート圧縮応力および鉄筋引張応力）を算出するエクセルです。本エクセルでは、マクロは使用せず、エクセルのソルバー機能（陽に解けない方程式の解を収束計算によって算出を行うエクセルに付随した機能）を用いています。

後述の記事で「25.分割法による RC 断面の応力度計算プログラム」を掲載していますが、そこでの中立軸位置の算定式が、分割法を使用したやや複雑な形をしていました。それに対し、本エクセルでは中立軸位置の算定式が、換算断面 1 次モーメント、換算断面 2 次モーメントおよび軸力偏心位置から中立軸までの距離で表現できることを利用し、各種形状の断面に対し分割法を使用することなく、またエクセル表計算（ソルバー機能使用）での実装が可能になりました。

表 11-1 エクセルシート（矩形断面）

ヤング係数比 n		15		入力データ									
曲げモーメント M(kNm)	42.83	A*y	A(cm2)	G(cm3)	I(cm4)	発生応力(N/mm2)		偏心距離 e(cm)		189.5			
軸力 N(kN)	22.6	bh*h/2	bh	bx*x/2	bx^3/3	$\sigma_c = (N(x-y_c) + M) / I * x$ (圧縮正)		圧縮線から図心までの距離 yc(cm)		15.3			
断面高さ h(cm)	30					4.48		圧縮線から中立軸までの距離 x(cm)		8.694		変数セル	
断面幅 b(cm)	100					コンクリート応力		A=G		438.7			
						$\sigma_s = -(x-c) / x * \sigma_c * n$ (引張正)		B=I*N / (N*(x-y_c) + M)		438.7			
鉄筋 (番号)	断面積 As(cm2)	被り c(cm)	nAs*c	nAs	nAs*(x-c)	-20.81		ABS(A-B)		0.00094		目標セル	
1	9.95	6	895.5	149.25	402.0	118.27							
2	16.3	24	5868	244.5	-3742.4	鉄筋応力							
3													
4													
5													
被り：圧縮線からの距離		6763.5	393.75	-3340.3	58364.8								
		51763.5	3393.75	438.7	80267.6								

表 11-2 エクセルシート（T形断面）

ヤング係数比 n		15		入力データ									
曲げモーメント M(kNm)	42.83	A*y	A(cm2)	G(cm3)	I(cm4)	発生応力(N/mm2)		偏心距離 e(cm)		189.5			
軸力 N(kN)	22.6	①	②	③	④	$\sigma_c = (N(x-y_c) + M) / I * x$ (圧縮正)		圧縮線から図心までの距離 yc(cm)		13.3			
全断面高さ h(cm)	30					4.53		圧縮線から中立軸までの距離 x(cm)		8.690		変数セル	
フランジ厚さ t(cm)	10					コンクリート応力		A=G		434.0			
フランジ幅 b(cm)	100					$\sigma_s = -(x-c) / x * \sigma_c * n$ (引張正)		B=I*N / (N*(x-y_c) + M)		434.0			
ウェブ幅 bw(cm)	50					-21.01		ABS(A-B)		0.00315		目標セル	
1	9.95	6	895.5	149.25	401.5	119.58							
2	16.3	24	5868	244.5	-3743.3	鉄筋応力							
3													
4													
5													
被り：圧縮線からの距離		6763.5	393.8	-3341.8	58389.7								
		31763.5	2393.8	434.0	80264.3								

表 11-3 エクセルシート（円形断面）

ヤング係数比 n		15		入力データ										
曲げモーメント M(kNm)	2000	A(cm2)	Gx(cm3)	Ixc(cm4)	$\theta$ (rad)	yG(cm)	発生応力(N/mm2)		偏心距離 e(cm)		200.0			
軸力 N(kN)	1000	①	②	③	④	⑤	$\sigma_c = (N(x-y_c) + M) / I * x$ (圧縮正)		圧縮線から図心までの距離 yc(cm)		100.0			
断面の直径 d(cm)	200						5.16		圧縮線から中立軸までの距離 x(cm)		61.552		変数セル	
							コンクリート応力		A=G		119398.9			
鉄筋 (番号)	断面積 As(cm2)	半径 r(cm)	nAs(cm2)	Gxs(cm3)	Ixs(cm4)		$\sigma_s = -(x-d/2+) / x * \sigma_c * n$ (圧縮側、引張正)		B=I*N / (N*(x-y_c) + M)		119399.1			
1	154.84	85	2322.6	-89300.31	11823848.9		-58.48		ABS(A-B)		0.250		目標セル	
2	0	0	0	0	0		48.30							
3							鉄筋応力							
4														
5														
被り：圧縮線からの距離		2322.6	-89300.31	11823848.9										
		10534.8	119398.9	19289119.9										

## 12. 矩形、T形および円形 RC 断面の曲げ応力算出マクロに関して

矩形、T形および円形 RC 断面に対し、RC 断面弾性計算を行い曲げ応力度（コンクリート圧縮応力および鉄筋引張応力）を算出するエクセルマクロです。

「11.矩形、T形および円形 RC 断面の曲げ応力算出エクセル」と同じロジックを使用して、エクセルマクロ（VBA）で実装したものです。先のエクセルでは、ソルバー機能を利用したエクセル表計算を用いており、計算手順を明示的に理解しやすいという利点がありますが、1断面1シートのデータを作成する必要があり、多数の断面を一括処理するには手間がかかるという欠点があります。そこで、多数の梁要素でモデル化された構造物の応力度照査に使用するため、マクロを利用して多断面を一括処理するようにしたものです。

表 12-1 検証例

(a) 検証結果（矩形、マクロ vs 解析解）

ケース番号	M (kNm)	N (kN)	本マクロ			解析解			比 (x)	比 ( $\sigma_c$ )	比 ( $\sigma_s$ )	備考
			x (cm)	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	x (cm)	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )				
1	34.1	69.3	10.542	3.167	78.669	10.542	3.167	78.669	1.000	1.000	1.000	圧縮軸力/正曲げ
2	-24.5	101.0	13.355	2.034	33.461	13.355	2.034	33.462	1.000	1.000	1.000	圧縮軸力/負曲げ
3	22.9	-82.4	6.774	2.478	116.457	6.774	2.478	116.457	1.000	1.000	1.000	引張軸力/正曲げ
4	8.5	198.5	49.885	0.763	-5.021	-	0.763	-	-	1.000	-	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	-15.015	-0.305	55.249	-	-	55.249	-	-	1.000	全断面引張

(b) 検証結果（矩形、マクロ vs 市販ソフト）

ケース番号	M (kNm)	N (kN)	本マクロ		市販ソフト		比 ( $\sigma_c$ )	比 ( $\sigma_s$ )	備考
			$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )			
1	34.1	69.3	3.167	78.669	3.167	78.670	1.000	1.000	圧縮軸力/正曲げ
2	-24.5	101.0	2.034	33.461	2.034	33.463	1.000	1.000	圧縮軸力/負曲げ
3	22.9	-82.4	2.478	116.457	2.478	116.455	1.000	1.000	引張軸力/正曲げ
4	8.5	198.5	0.763	-	0.763	0.000	1.000	-	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	-	55.249	0.000	55.249	-	1.000	全断面引張

(注) M：曲げモーメント、N：軸力(圧縮正)、x：圧縮縁から中立軸までの距離、 $\sigma_c$ ：コンクリート圧縮縁の応力(圧縮正)、 $\sigma_s$ ：引張鉄筋応力(引張正)

(c) 計算ケース（矩形断面）

ケース番号	曲げモーメント(kNm)	軸力(kN)	備考
1	34.1	69.3	圧縮軸力・正曲げ
2	-24.5	101.0	圧縮軸力・負曲げ
3	22.9	-82.4	引張軸力・正曲げ
4	8.5	198.5	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	全断面引張

### 【断面諸元】

断面高さ h：40cm、断面幅 b：100cm

引張鉄筋量  $A_{s1}$ ：11.46cm<sup>2</sup>、圧縮鉄筋量  $A_{s2}$ ：11.46cm<sup>2</sup>

有効高 d1：28cm、圧縮鉄筋かぶり d2：12cm

### 13. エクセル表計算による複鉄筋矩形断面の曲げ応力度算出

複鉄筋矩形断面に対し、RC 断面弾性計算を行い曲げ応力度（コンクリート圧縮応力および鉄筋引張応力）を算出するエクセルです。本エクセルでは、マクロおよびソルバー機能の両者ともに使用せず、セルに数式を埋め込んだ表計算機能のみを使用しています。

RC 断面計算での曲げ応力度算出にあたり中立軸位置の算定が必要になりますが、RC 矩形断面に曲げモーメントと軸力が作用する場合、中立軸位置を定める方程式が断面諸元や軸力偏心位置をパラメータとした3次方程式で表されます。本エクセルでは、3次方程式の解法として解の公式（カルダノの方法）を用いることで、マクロやソルバー機能の使用を回避しています。

本エクセルでは、1断面1行の入力データとし、複数断面に対する曲げ応力度計算も可能としています。

表 13-1 エクセルシート「入力データおよび発生応力」

通し番号	曲げモーメント M(kNm)	軸力 N(kN)	全高 h(cm)	断面幅 b(cm)	コン許容 $\sigma_{ca}(N/mm^2)$	鉄筋許容 $\sigma_{sa}(N/mm^2)$	引張鉄筋被り d1(cm)	引張鉄筋量 As1(cm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋被り d2(cm)	圧縮鉄筋量 As2(cm <sup>2</sup> )	
1	34.1	69.3	40	100	8	160	28	11.46	12	11.46	
2	-24.47264	101.04269	40	100	<b>断面力と断面諸元の入力</b>			11.46	12	11.46	
3	22.9	-82.4	40	100				11.46	12	11.46	
4	8.5	198.5	40	100				11.46	12	11.46	
5	-1.9	-103.1	40	100		12	240	28	11.46	12	11.46

中立軸位置 x(cm)	コン応力 $\sigma_c(N/mm^2)$	鉄筋応力 $\sigma_s(N/mm^2)$	圧縮鉄筋応力 $\sigma_{s'}(N/mm^2)$	照査値 $\sigma_c/\sigma_{ca}$	照査値 $\sigma_s/\sigma_{sa}$	判定 ( $\sigma_c$ )	判定 ( $\sigma_s$ )	
10.542	3.167	78.669	6.569	0.396	0.492	OK	OK	
13.355	2.034	<b>発生応力度</b>	.096	0.254	0.209	OK	OK	
6.774	2.478		.671	0.310	0.728	OK	OK	
圧縮	0.763		.691	0.095	-0.031	OK	OK	
引張	0.000		55.249	34.698	0.000	0.230	OK	OK

表 13-2 エクセルシート「中立軸および応力計算」

通し番号	曲げモーメント M(kNm)	軸力 N(kN)	全高 h(cm)	断面幅 b(cm)	引張鉄筋被り d1(cm)	引張鉄筋量 As1(cm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋被り d2(cm)	圧縮鉄筋量 As2(cm <sup>2</sup> )	n	p1	p2	yc(cm) (=h/2)	yc(cm) (図心)	yc(cm) (図心2)	e(cm) (=M/N)	$\delta$ (=(e-yc)/d1)	$\gamma$ (=d2/d1)
1	34.131827	69.25827	40	100	28	11.46	12	11.46	15	0.004093	0.004093	20.000	20.000	20.000	49.282	1.0458	0.4286
2	24.47264	101.0427	40	100	28	11.46	12	11.46	15	0.004093	0.004093	20.000	20.000	20.000	24.220	0.1507	0.4286
3	22.93878	-82.3881	40	100	28							4093	20.000	20.000	-27.842	-1.7087	0.4286
4	8.4932242	198.5356	40	100	28							4093	20.000	20.000	4.278	-0.5615	0.4286
5	1.8841059	-103.08	40	100	28							4093	20.000	20.000	-1.828	-0.7796	0.4286

A (k <sup>2</sup> の係数)	B (kの係数)	C (定数項)	P	Q	判別式 D	実根の数	r1 (r)	r2 (r)	$\theta$	k1	k2	k3	kc (cm)	kt (cm)
3.1374	1.2967	-0.9863	-1.9843	-0.0549	-0.28863	3	0.537943761	0.537943761	1.519752	0.377	-2.4404	-1.07346	6.392	6.392
0.4522	0.6373	-0.5153	0.5691	-0.6045	0.09819	1	0.615614907	-0.011089765	0	0.477	-	-	6.392	6.392
-5.1260	-0.7326	0.4631	-9.4911	-10.7654	-2.69160	3	5.627187427	5.627187427	0.295847	5.249	-0.3647	0.241939	6.392	6.392
-1.6845	0.1126	-0.1405	-0.8333	-0.4314	0.02510	1	0.374120506	0.057282786	0	1.668	-	-	6.392	6.392
-2.3387	-0.0481	-0.0258	-1.8713	-1.1018	0.01275	1	0.618295635	0.392499768	0	2.364	-	-	6.392	6.392

中立軸比 k	中立軸位置 x(cm)	圧縮正 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張正 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張正 $\sigma_{s'}$ (N/mm <sup>2</sup> )	yc=図心を使用 Ag (cm <sup>2</sup> )	yc=図心を使用 Ig (cm <sup>4</sup> )	yc=図心2を使用 Ag-コン無視 (cm <sup>2</sup> )	yc=図心2を使用 Ig-コン無視 (cm <sup>4</sup> )	yc=図心を使用 $\sigma_c$ ・圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	yc=図心を使用 $\sigma_s$ ・圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ ・引張 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ ・引張 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{s'}$ ・引張 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{s'}$ ・引張 (N/mm <sup>2</sup> )		
0.377	10.542	3.1671	78.669	6.569	4343.8	555336.5	343.8	22003.2	1.389	-1.070	4.984	-9.767	33.039	-29.010	155.929	-216.364
0.477	13.355	2.0343	33.462	-3.096	4343.8	555336.5	343.8	22003.2	1.114	-0.649	1.799	-8.777	25.184	-19.306	89.383	-177.553
0.242	6.774	2.4779	116.457	28.671	4343.8	555336.5	343.8	22003.2	0.636	-1.016	7.802	-2.112	18.454	-23.247	161.048	-89.156
1.668	圧縮	0.7629	-5.021	-8.691	4343.8	555336.5	343.8	22003.2	0.763	0.151	-5.021	-8.691	13.495	-1.945	-40.301	-132.941
2.364	引張	0.0000	55.249	34.698	4343.8	555336.5	343.8	22003.2	-0.169	-3.967	3.152	-4.711	55.249	34.698		

【中立軸方程式および応力度算定式（中立軸が断面内、N≠0）】

$$k^3 + 3\delta k^2 + 6n\{p_1(1 + \delta) + p_2(\delta + \gamma)\}k - 6n\{p_1(1 + \delta) + p_2\gamma(\delta + \gamma)\} = 0$$

$$\sigma_c = \frac{N/(bd_1)}{\frac{1}{2}k - np_1 \frac{1-k}{k} + np_2 \frac{k-\gamma}{k}}, \sigma_s = \left(\frac{1}{k} - 1\right)n\sigma_c, \sigma_{s'} = -\left(1 - \frac{\gamma}{k}\right)n\sigma_c$$

ここに、k：中立軸比（=x/d<sub>1</sub>）、x：圧縮縁から中立軸までの距離、d<sub>1</sub>：有効高（圧縮縁から引張鉄筋までの距離）、n：ヤング係数比（=15）、p<sub>1</sub>：引張鉄筋比（=As<sub>1</sub>/(bd<sub>1</sub>))、As<sub>1</sub>：引張鉄筋断面積、b：断面幅、p<sub>2</sub>：圧縮鉄筋比（=As<sub>2</sub>/(bd<sub>1</sub>))、As<sub>2</sub>：圧縮鉄筋断面積、 $\delta$ ：圧縮縁から軸力偏心位置までの距離の有効高に対する比（=(e-yc)/d<sub>1</sub>）、yc：圧縮縁から断面図心までの距離、e：断面図心から軸力偏心位置までの距離（=M/N）、M：曲げモーメント、N：軸力、 $\gamma$ ：有効高に対する圧縮鉄筋被りの比（=d<sub>2</sub>/d<sub>1</sub>）、d<sub>2</sub>：圧縮鉄筋被り（圧縮縁から圧縮鉄筋までの距離）、 $\sigma_c$ ：圧縮縁コンクリート応力（圧縮正）、 $\sigma_s$ 、 $\sigma_{s'}$ ：引張および圧縮鉄筋応力（引張正）

### 14. エクセル表計算による多段配筋矩形断面の曲げ応力度算出

多段配筋矩形断面に対し、RC 断面弾性計算を行い曲げ応力度（コンクリート圧縮応力および鉄筋引張応力）を算出するエクセルです。本エクセルでは、マクロおよびソルバー機能の両者ともに使用せず、セルに数式を埋め込んだ表計算機能のみを使用しています。

「13.エクセル表計算による複鉄筋矩形断面の曲げ応力度算出」の拡張版として、多段配筋矩形断面に対する中立軸位置や曲げ応力度の算定式を導出し、同一のロジックによりマクロやソルバー機能の使用を回避して解を求めています。本エクセルでは、1断面に1シートのデータ入力が必要になります。

上記エクセルでは1断面に1シートのデータ入力が必要になるため、応力計算のソルバーに上記エクセルのワークシートを利用し、入力データ設定と出力処理にマクロを使用することで、データ入力と出力形式を簡素化するマクロ併用版を追加しました。

表 14-1 エクセルシート

断面力と断面諸元の入力				ヤング係数比		各種鉄筋パラメータの算出													
断面力	曲げモーメント M(kNm)	2500.0	2500.0	yc(図心) (cm)	80	Ag (cm <sup>2</sup> )	28818												
	軸力 N(kN)	500.0		yc(h/2) (cm)	80	Ig(図心) (cm <sup>4</sup> )	68937862												
断面諸元	断面高さ h(cm)	160		e (cm)	500.000														
	断面幅 b(cm)	150		δ(図心) (h/2)	2.62500														
許容応力度	コンクリート σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	8		δ(h/2)	2.62500														
	鉄筋 σ <sub>sa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	160																	
鉄筋諸元	段数	繰り oi(cm)	鉄筋量 Asi(cm <sup>2</sup> )	修正ci	鉄筋 パラメータ	ci*Asi	pi	γi	pi*γi	pi*γi*δ (h/2)	pi*γi*δ (h/2)	nAsi*(ci-oi) <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	pi*γi*δ (図心)	pi*γi*δ (図心)	nAsi*(ci-oi) <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )				
	1	10	70.664	10		706.4	0.0029443	0.0625	0.000184	0.007913	0.00049456	1811004.84	0.007913	4.9456E-04	5193804				
	2	24	70.664	24		1695.936	0.0029443	0.15	0.000442	0.008171	0.0012256	791988.613	0.008171	0.00122579	3324034.56				
	3	52	12.848	52		1688.096	0.0005353	0.325	0.000174	0.001579	0.0005133	852957584	0.001579	0.000513251	151092.48				
	4	80	12.848	80		1027.84	0.0005353	0.5	0.000258	0.001673	0.0008365	158357.622	0.001673	0.000836458	0				
	5	108	12.848	108		1387.584	0.0005353	0.675	0.000361	0.001767	0.0011925	618814.908	0.001767	0.001192455	151092.48				
	6	136	70.664	136		9610.304	0.0029443	0.85	0.002503	0.010232	0.0086968	7598014.35	0.010232	0.008696825	3324034.56				
	7	150	70.664	150		10599.6	0.0029443	0.9375	0.00276	0.010489	0.0098336	10318537	0.010489	0.009833613	5193804				
	8			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	9			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	10			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	11			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	12			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	13			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	14			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	15			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	16			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	17			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	18			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	19			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	20			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
		総和	321.2			総和	25696	0.0133833	0.006682	0.041823	0.022792737	21296802.6	0.041823	0.022792737	17337862.1				
	A	B	C	P	Q	判別式D	実根の数	r1	r2	r	θ	k1	k2	k3	k(RC)	k(N=0)	k(圧縮)	k(引張)	k
	7.8750	3.7641	-2.0513	-16.9078	24.24377	-32.07864	3	-	-	13.3798	2.7945	0.3208	-7.3227	-0.8731	0.3208	0.2902	0.5297	0.5450	0.3208
															k(c)	k(cm)			
															29.7298	29.7298			
	中立軸位置 x(cm)	コンクリート応力 σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋応力 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 σ <sub>c</sub> /σ <sub>ca</sub>	照査値 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	判定 (σ <sub>c</sub> )	判定 (σ <sub>s</sub> )											
	51.335	4.311	124.295	-52.072	0.539	0.777	OK	OK											

応力度の算出

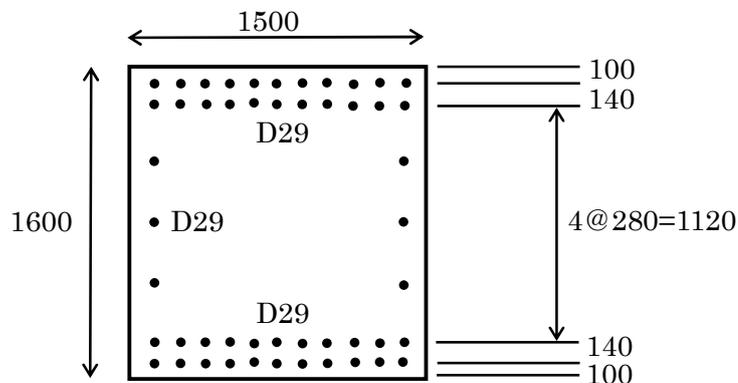


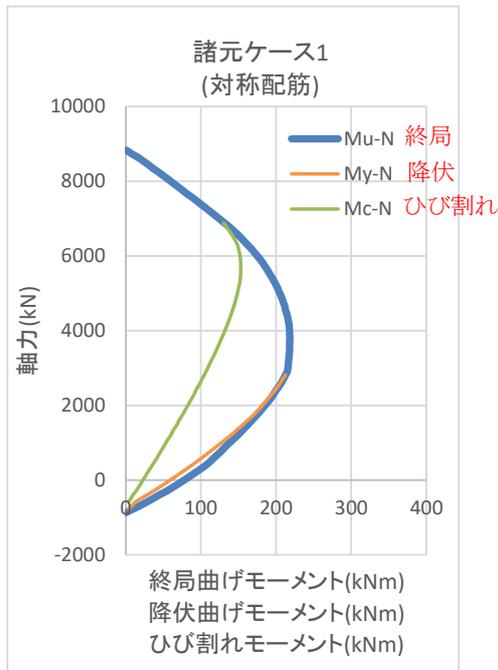
図 14-1 鉄筋配置

## 15. 矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成

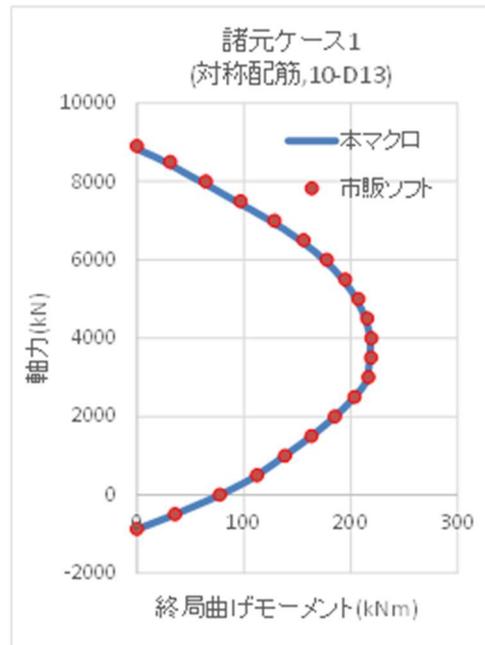
矩形 RC 断面の M-N 相互作用図を作成するエクセルマクロです。コンクリートおよび鉄筋の応力ひずみ関係および圧縮縁コンクリートの限界ひずみについては、コンクリート標準示方書あるいは道路橋示方書Ⅲ・コンクリート橋編に従っています。

一般に、矩形 RC 断面の曲げ耐力(コンクリート圧縮縁が限界ひずみに達するときの曲げモーメント)は、軸力の大きさに依存し、ある一定の軸力(釣合軸力)までは軸力増大とともに曲げ耐力が増大し、その軸力を超えると曲げ耐力が減少することがわかっています。したがって、曲げ耐力を横軸に、軸力を縦軸にプロットすると、釣合軸力付近で曲げ耐力がピークとなる放物線に似た形状のグラフが描かれます。このグラフが M-N 相互作用図と呼ばれています。

RC 断面諸元と軸力値を既知とすれば、曲げ耐力を算出できるので、上記の M-N カーブを描くことが可能になります。本マクロでは、複数のケースについて M-N カーブの算出が可能で、また「追加配筋データ」を使用することで多段配筋断面にも対応しています。



(a) M-N 相互作用図



(b) 市販ソフトとの比較

図 15-1 矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成例

### 【断面諸元 (諸元ケース 1)】

部材高  $h$  : 20cm、断面幅  $b$  : 135cm、

鉄筋ヤング係数  $E_s$  : 200kN/mm<sup>2</sup>、鉄筋降伏強度  $f_y$  : 345N/mm<sup>2</sup>、

コンクリートヤング係数  $E_c$  : 29.5kN/mm<sup>2</sup>、コンクリート強度  $f'_c$  : 35N/mm<sup>2</sup>、

コンクリート引張強度  $f_t$  : 2.46N/mm<sup>2</sup>、

引張鉄筋断面積  $A_{s1}$  : 12.67cm<sup>2</sup> (10-D13)、引張鉄筋かぶり  $cv_1$  : 6cm、

圧縮鉄筋断面積  $A_{s2}$  : 12.67cm<sup>2</sup> (10-D13)、圧縮鉄筋かぶり  $cv_2$  : 6cm

## 16. 矩形 RC 断面の二軸曲げ耐力の算出

「15. 矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成」の拡張版として、二軸曲げを受けるときの曲げ耐力を算出するマクロを作成しています。

一軸曲げの場合には、中立軸が断面高さ方向に直交しますが、二軸曲げでは中立軸が傾斜します。その傾斜角を  $\alpha$ （断面幅方向と中立軸がなす角度）とすると、ある傾斜角  $\alpha$  と軸力値  $N$  に依存して、断面高さ方向曲げモーメント  $M_x$  と断面幅方向曲げモーメント  $M_y$  の組 ( $M_x, M_y$ ) が一つ決まる ( $M_x$  と  $M_y$  の関係が定まる) ことになります。

本資料では、松本進（1984）「軸力・二軸曲げを受ける鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析方法 鹿児島大学工学部研究報告 第 26 巻」を参照してプログラムを作成しました。本マクロの結果と松本(1984)や他文献の結果を比較し、ほぼ一致することを確認しています。

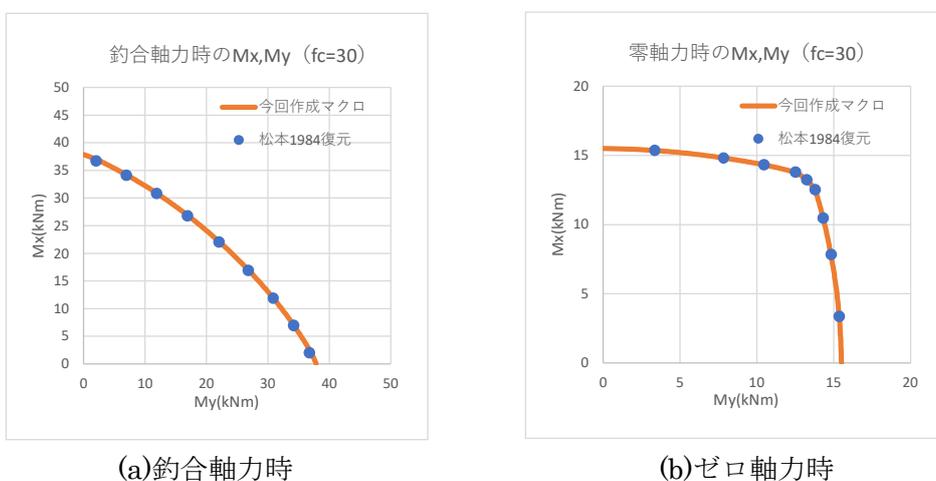


図 16-1  $M_x$ - $M_y$  関係

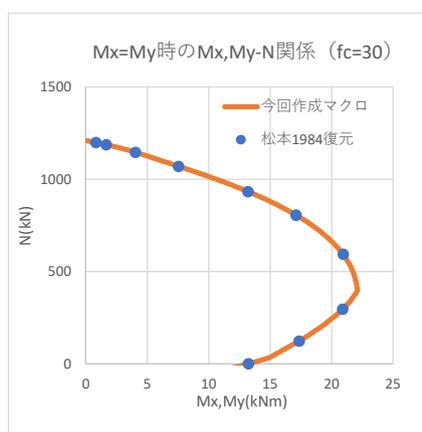


図 16-2  $M_x, M_y$ - $N$  関係 ( $M_x = M_y$  時)

### 【断面諸元 (ケース 3)】

断面幅：20cm、断面高さ：20cm

鉄筋量：4×D13（四隅にそれぞれ 1 本）、鉄筋かぶり：3cm

鉄筋ヤング係数：180kN/mm<sup>2</sup>、鉄筋降伏強度：378N/mm<sup>2</sup>

コンクリート強度：30N/mm<sup>2</sup>

## 17. 矩形 RC 断面の曲げ応力算出エクセル

本資料は、「11.矩形、T 形および円形 RC 断面の曲げ応力算出エクセル」の記載内容のうち、矩形断面の内容と同一になります。

## 18. 成層地盤の地震応答計算プログラム

従来から耐震設計計算で多用される一次元地盤応答解析ソフト **SHAKE** と同様の計算を、エクセル **VBA** で実装したものです。

通例の一次元地盤応答解析では、減衰を考慮するための複素剛性や振幅と位相を同時に考慮する複素振幅を用いる、いわゆる複素応答解析手法が適用されます。したがって、プログラムコーディングに複素変数が使用されますが、**VBA** での実装には複素数の扱いが面倒なため、複素数計算を実数計算に置き換えて実行しています。

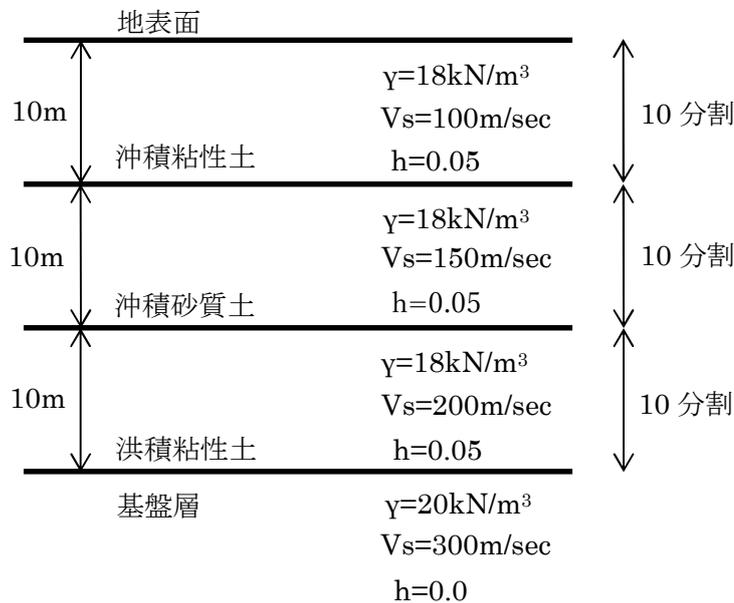
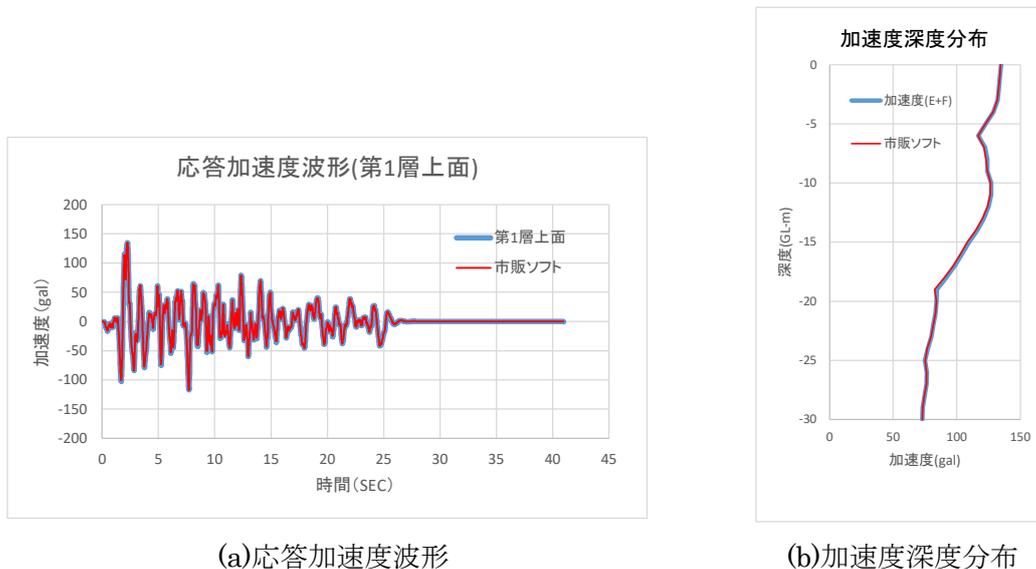


図 18-1 計算例の地層構成



(a) 応答加速度波形

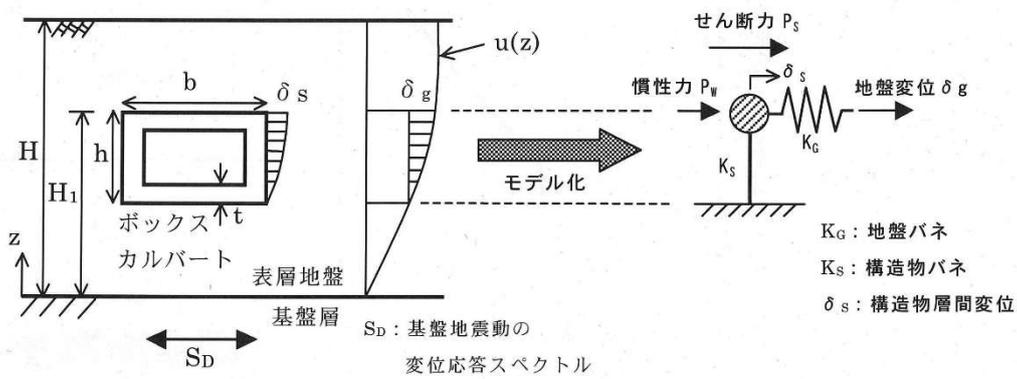
(b) 加速度深度分布

図 18-2 計算結果

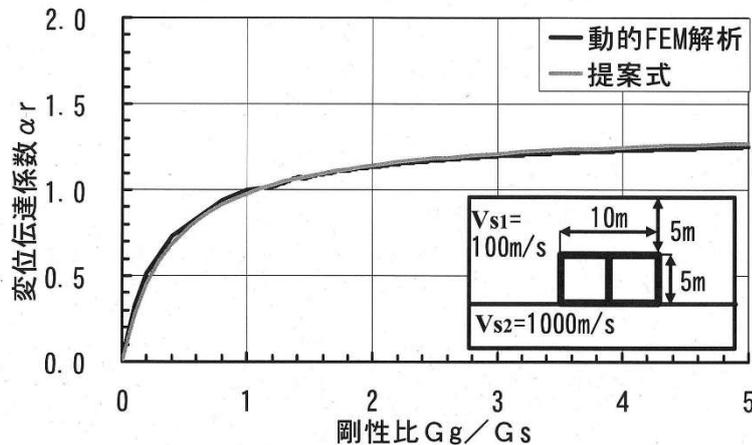
## 19. 地下構造物の耐震問題への理論解の活用

近年の地下構造物の耐震設計では、コンピュータを活用した数値解析を適用することが通例で、対象構造物や地盤の複雑な形状や材料特性を実際に近い形でモデル化することが可能となっています。そのため、コンピュータが出現する以前に主流であった理論解を適用する設計手法は、現在では影を潜めていると言ってもよいと思います。しかしながら、理論解には、解析結果を支配するパラメータが明確となり、結果全体を俯瞰的に理解し易いという利点があります。

本資料では、理論解の有用性を再確認するため、①線状地中構造物の軸方向耐震検討に用いる地盤バネ、②水平地盤の地震時変位応答、および③地中ボックスカルバートの地震時変位の推定に関して理論解の活用例を紹介します。



(a)地震時変形量を推定するための解析モデル



(b)変位伝達係数  $\alpha_r$  と剛性比  $G_g/G_s$  の関係

図 19-1 地下構造物の地震時変形量の推定

### 【記号】

$\alpha_r$ : 自由地盤の変形量  $\delta_g$  に対する構造物の地震時層間変形量  $\delta_s$  の比 ( $= \delta_s / \delta_g$ )

$G_g$ : 地盤のせん断剛性

$G_s$ : 構造物の等価せん断剛性

## 20. 耐震簡易プログラム

以下の2種のプログラム（エクセルマクロ）を掲載しています。

### ・応答スペクトルプログラム

地震動波形、固有周期範囲および減衰値を入力することで、加速度、速度および変位応答スペクトルを算出するプログラムです。応答スペクトルの計算手法には、ニガム法を使用しています。ニガム法は、時間ステップ間の入力加速度の直線性を仮定し、1自由度振動系の厳密解を適用して、現ステップの変位と速度および現ステップと次ステップの入力加速度から、次ステップの変位および速度を算出し、その手順を全時間ステップに亘って実行する計算手法です。

### ・ $M\phi$ 計算（矩形）プログラム

矩形RC断面の $M\phi$ 関係を算出するプログラムです。コンクリートの応力ひずみ関係はコンクリート標準示方書に従い（放物線と直線の組合せ）、鉄筋の応力ひずみ関係はバイリニア（降伏まで線形）を仮定しています。ひび割れ時、降伏時および終局時の定義は、それぞれコンクリート引張縁が引張強度に達したとき、引張鉄筋が降伏したとき、およびコンクリート圧縮縁のひずみが0.0035に達したときとしています。

ひび割れ時、降伏時および終局時の曲げモーメントおよび曲率は、複鉄筋RC断面に対する解析解（掲載資料「降伏および終局曲げモーメント（矩形）」を参照）を使用して算出しています。中立軸比 $k (=x/d$ 、 $x$ : 圧縮縁から中立軸までの距離、 $d$ : 有効高)の算定式は、ひび割れ時において $k$ の1次方程式、降伏時において $k$ の1次、2次あるいは3次方程式、終局時において $k$ の1次あるいは2次方程式で表されます。ここに、3次方程式 $f(k)=k^3+a\cdot k^2+b\cdot k+c=0$ の求解では、 $k$ を変更し $f(k)$ が符号変化する $k$ を探しています。

なお、終局時には引張鉄筋は降伏しているものとし、引張鉄筋が降伏する前に終局に達するモードは考慮外となります。

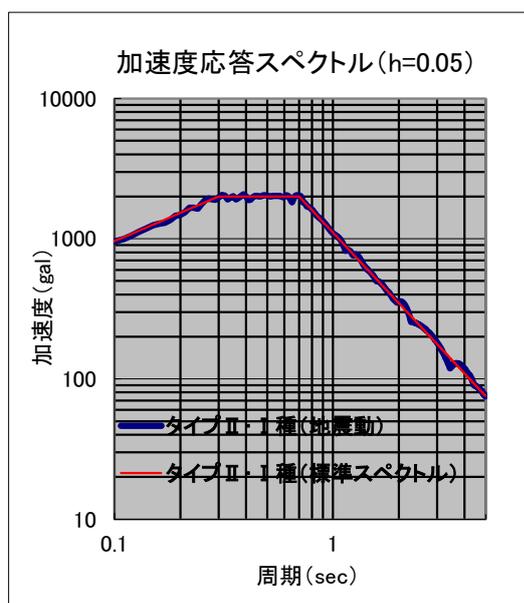


図 20-1 計算例

表 20-1 入力データ例（一部）

入力加速度データ数	3000							
1行あたり加速度データ数	8							
加速度時間刻み(秒)	0.01							
計算する最小固有周期(秒)	0.04							
計算する最大固有周期(秒)	5							
固有周期間隔(秒)	0.01							
減衰定数(少数)	0.05							
	16.17	17.104	17.838	18.118	17.889	17.183	15.983	14.183
	11.743	8.865	5.834	2.806	-0.241	-3.326	-6.308	-8.958
	-11.179	-13.049	-14.655	-15.932	-16.748	-17.103	-17.161	-17.055
	-16.715	-15.95	-14.686	-13.034	-11.119	-8.918	-6.349	-3.434
	-0.369	2.64	5.6	8.619	11.654	14.48	16.862	18.738

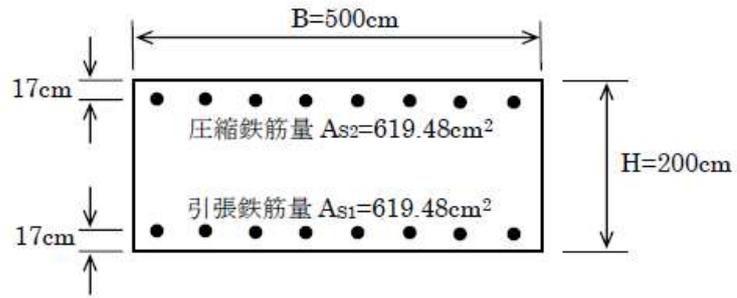


図 20-2 M- $\phi$  計算で仮定した RC 断面

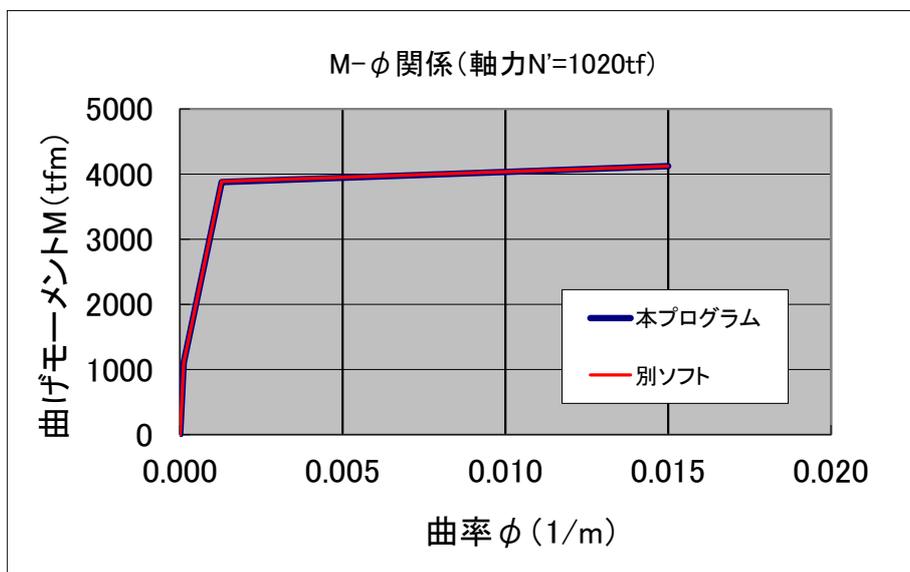


図 20-3 M- $\phi$  関係の計算結果

## 21. 地盤計算プログラム

以下の3種のプログラムを（エクセルマクロ）を掲載しています。

### ・地盤の固有震動モードの計算プログラム

成層地盤の固有震動モードを計算するプログラムです。地盤の単位体積重量、層厚、せん断波速度および減衰定数を入力し、複数次の固有振動数、刺激係数、固有モードおよびモード減衰定数を計算します。入力した減衰定数は、固有振動数や固有モードには関係せず、モード減衰定数に関係します。

### ・地盤変位波長の計算プログラム

線状地中構造物の縦断方向の耐震設計において、現行の設計指針では地震時地盤変位量と地盤変位波長を設定し、構造物の地震時応答量を算出します。この地盤変位波長の設定には、表層と基盤の波長の調和平均値がよく使用されます。本資料では、2層系地盤における表面波（Love波）の群速度極小時の波長を用いる方法を提示するとともに、計算プログラムをエクセルマクロに実装しました。

表層と基盤の単位体積重量、表層と基盤のせん断波速度および表層厚を入力することで、地盤変位波長が計算されます。

### ・地盤の固有振動数計算プログラム

成層地盤の固有振動数を計算するプログラムです。地盤の単位体積重量、層厚およびせん断波速度を入力し、複数次の固有振動数を計算します。計算される最大の固有振動数は、マクロ内でデフォルト値として10Hzを設定しています（10Hzよりも小さい固有振動数が複数個計算される）。

成層地盤のせん断自由振動に関する運動方程式をもとに、地表面のせん断応力をゼロとする条件から固有方程式を導入し、固有方程式を満足する振動数を繰り返し計算によって定めています。

層数	14			
	単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)	せん断波速度 (m/s)	減衰定数 (小数)
1	1.67	0.5	65	0.204
2	1.67	1.4	110	0.205
3	1.67	1.4	68	0.254
4	1.57	1.9	66	0.138
5	1.57	1.65	69	0.161
6	1.57	1.65	76	0.14
7	1.57	1.82	74	0.144
8	1.57	2	72	0.148
9	1.67	2	152	0.102
10	1.67	2	152	0.103
11	1.67	2	153	0.103
12	1.67	2.38	154	0.104
13	1.96	2	164	0.196
14	1.96	2	169	0.19

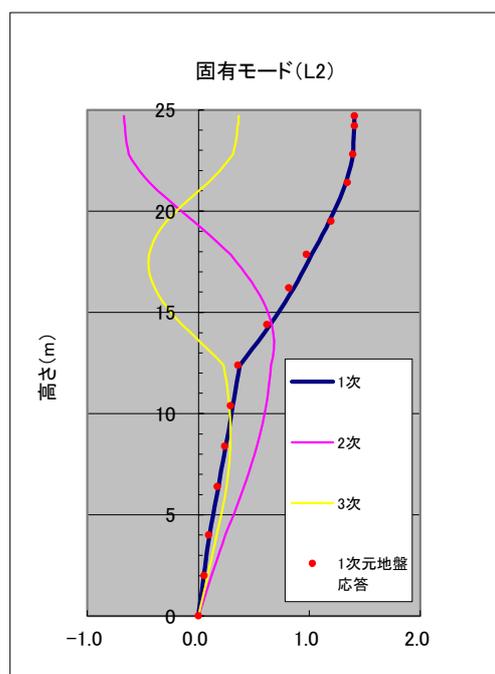


図 21-1 地盤の固有震動モードの計算例

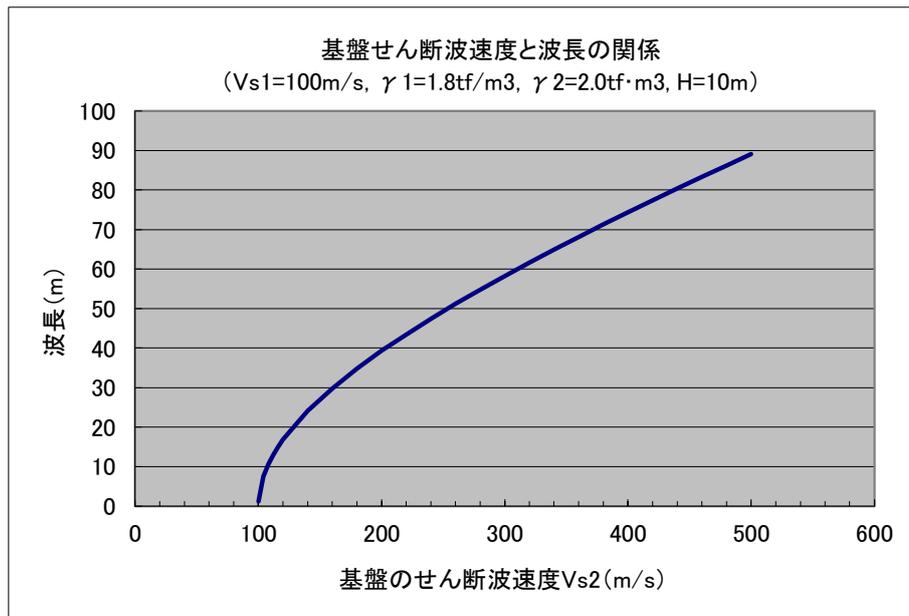


図 21-2 地盤変位波長の計算例

表 21-1 地盤の固有震動数の計算例

層数	20		
	単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)	せん断波速度 (m/s)
1	1.9	1	120
2	1.9	1	120
3	1.9	1	120
4	1.9	1	130
5	1.9	1	140
6	1.9	1	150
7	1.9	1	160
8	1.9	1	170
9	1.9	1	170
10	1.9	1	180
11	1.9	1	190
12	2	1	190
13	2	1	190
14	2	1	190
15	1.8	3.5	230
16	1.8	9	250
17	1.9	1.3	310
18	1.9	6.7	330
19	1.7	10.7	490
20	1.7	27	530

次数	固有円振動数(rad/sec)	固有振動数(Hz)	固有周期(sec)
1	8.892	1.4151	0.7067
2	20.286	3.2285	0.3097
3	32.487	5.1704	0.1934
4	46.394	7.384	0.1354
5	58.612	9.328	0.1072

## 22. RC 断面照査計算プログラム

RC 構造物の断面照査を行うエクセルマクロ (VBA) です。L1 地震時には許容応力度照査を、L2 地震時には部材耐力照査を適用しています。ここで、許容応力度照査とは RC 断面弾性計算によって求めたコンクリートおよび鉄筋の発生応力度を許容応力度と比較する照査であり、一方、部材耐力照査とはコンクリートおよび鉄筋の応力ひずみ関係の非線形性を考慮した曲げ終局モーメントおよび L2 せん断耐力を発生断面力と比較する照査を指しています。

発生断面力の計算には、市販ソフト ES (フォーラムエイト) による線形解析を想定し、断面力出力結果をワークシートに貼り付けることとしています。

複鉄筋 RC 断面を仮定し、許容応力度照査には RC 断面弾性計算の解析解 (「28.シェル要素の L2 断面力照査用マクロ「RC 断面照査-シェル」に関して」の説明資料参照) を、部材耐力照査には「19.耐震簡易プログラム」のうち「Mφ計算 (矩形) プログラム」で提示した耐力式を適用しています。

表 22-1 断面諸元の入力

データ数	24													
部位	IND	部材厚 h(cm)	幅 b(cm)	上筋位置 du(cm)	下筋位置 dd(cm)	上筋断面積 Asu(cm <sup>2</sup> )	下筋断面積 Asd(cm <sup>2</sup> )	鉄筋ヤング係数 Es(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリートヤング係数 Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	鉄筋降伏強度 fy(N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート強度 fc(N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋降伏強度 (せん断補強筋) fwy(N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋断面積 (せん断補強筋) Aw(cm <sup>2</sup> )	鉄筋ピッチ (せん断補強筋) Ss(cm)
頂版	113	30	100	7	23	19.404	15.888	200	22	295	18	295	2.534	120
頂版	120	30	100	7	23	19.404	15.888	200	22	295	18	295	2.534	120
頂版	123	30	100	7	23	19.404	7.944	200	22	295	18	295	2.534	120
頂版	33	30	100	7	23	19.404	7.944	200	22	295	18	295	2.534	120
頂版	31	30	100	7	23	19.404	15.888	200	22	295	18	295	2.534	120
頂版	2	30	100	7	23	19.404	15.888	200	22	295	18	295	2.534	120
左側壁	47	35	100	7	28	19.404	7.944	200	23.5	295	21	295	2.534	120
左側壁	54	35	100	7	28	19.404	7.944	200	23.5	295	21	295	2.534	120
左側壁	62	35	100	7	28	19.404	7.944	200	23.5	295	21	295	2.534	120
左側壁	68	35	100	7	28	19.404	7.944	200	23.5	295	21	295	2.534	120
中壁	91	27	100	5.5	21.5	19.404	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
中壁	97	27	100	5.5	21.5	19.404	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
中壁	107	27	100	5.5	21.5	19.404	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
中壁	112	27	100	5.5	21.5	19.404	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
右側壁	69	35	100	7	28	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
右側壁	75	35	100	7	28	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
右側壁	84	35	100	7	28	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
右側壁	90	35	100	7	28	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	39	40	100	7	33	15.888	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	45	40	100	7	33	15.888	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	92	40	100	7	33	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	114	40	100	7	33	7.944	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	133	40	100	7	33	15.888	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120
底版	131	40	100	7	33	15.888	19.404	200	23.5	295	21	295	2.534	120

表 22-2 L1 許容応力度照査の例

データ数	24													
通し番号	要素番号	部位	IND	M (kN・m)	N (kN)	V (kN)	鉄筋応力 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 応力 σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 応力 τ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 応力 σ <sub>s2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	中立軸 位置 xs (cm)	j	超過率 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	超過率 σ <sub>c</sub> /σ <sub>ca</sub>
1	113	頂版	113	37.612	-28.409	-10.324	127.366	4.265	-0.0449	5.737	7.690	1	0.472	0.406
2	120	頂版	120	15.014	-25.565	-24.544	55.742	1.704	-0.1067	0.813	7.230	1	0.206	0.162
3	123	頂版	123	-36.347	-22.342	-38.290	100.376	3.902	-0.1664	10.165	8.471	1	0.372	0.372
4	33	頂版	33	-23.791	-21.615	23.765	67.909	2.550	0.1033	5.942	8.287	1	0.252	0.243
5	31	頂版	31	2.874	-18.392	10.019	15.128	0.312	0.0435	-1.346	5.437	1	0.056	0.030
6	2	頂版	2	5.028	-16.022	-6.571	21.008	0.565	-0.0286	-0.501	6.609	1	0.078	0.054
7	47	左側壁	47	31.636	-2.515	-29.80	156.344	3.481	-0.1064	0.078	7.010	1	0.579	0.332
8	54	左側壁	54	-8.528	9.276	-27.86	15.391	0.662	-0.0995	3.604	10.985	1	0.057	0.063
9	62	左側壁	62	-34.463	22.996	-6.43	66.057	2.668	-0.0230	13.506	10.565	1	0.245	0.254
10	68	左側壁	68	-27.889	31.571	20.67	49.882	2.165	0.0738	11.884	11.040	1	0.185	0.206
11	91	中壁	91	16.658	70.5	-1.07	29.022	1.891	-0.0050	13.683	10.626	1	0.107	0.180
12	97	中壁	97	14.667	76.288	-5.24	22.321	1.666	-0.0244	12.889	11.357	1	0.083	0.159
13	107	中壁	107	-10.318	90.841	-19.80	8.140	1.165	-0.0921	10.919	14.666	1	0.030	0.111
14	112	中壁	112	-33.921	97.29	-28.79	70.321	3.840	-0.1339	24.876	9.681	1	0.260	0.366
15	69	右側壁	69	5.544	13.51	14.46	8.075	0.432	0.0516	2.843	12.468	1	0.030	0.041
16	75	右側壁	75	16.678	22.085	8.63	29.010	1.296	0.0308	7.331	11.236	1	0.107	0.123
17	84	右側壁	84	2.764	35.805	-16.15	-0.302	0.213	-0.0576	2.469	9999.000	1	-0.001	0.020
18	90	右側壁	90	-3.131	48.454	-5.37	-0.529	0.253	-0.0192	2.984	9999.000	1	-0.002	0.024
19	39	底版	39	6.215	-23.011	-30.98	17.295	0.307	-0.0938	-0.038	6.943	1	0.064	0.029
20	45	底版	45	-19.841	-25.839	4.76	50.816	1.168	0.0144	3.024	8.460	1	0.188	0.111
21	92	底版	92	-7.971	-27.963	27.72	49.780	0.658	0.0840	-2.786	5.459	1	0.184	0.063
22	114	底版	114	38.913	1.878	-61.65	68.016	2.267	-0.1867	12.367	11.000	1	0.252	0.216
23	133	底版	133	-33.622	-1.482	-20.98	72.517	2.017	-0.0635	8.451	9.714	1	0.269	0.192
24	131	底版	131	-27.092	-3.293	38.23	59.349	1.627	0.1158	6.636	9.615	1	0.220	0.155

## 23. 分割法による RC 断面の M $\phi$ 計算プログラム

以下の 3 種のプログラム（エクセルマクロ）を掲載しています。

### ・分割法による円形 RC 断面の M $\phi$ 限界値計算

RC 円形断面を対象として、道路橋示方書 V・耐震設計編 H24 版に従うコンクリートと鉄筋の応力ひずみ関係および限界ひずみを使用し、部材高さ方向に断面分割を行う分割法により、M $\phi$  関係の限界値（ひび割れ時、降伏時および終局時）を算出しています。

断面半径方向に最大 3 段までの軸方向鉄筋配置を考慮できます。また、複数ケースの断面諸元に対して M $\phi$  限界値の算出が可能です。

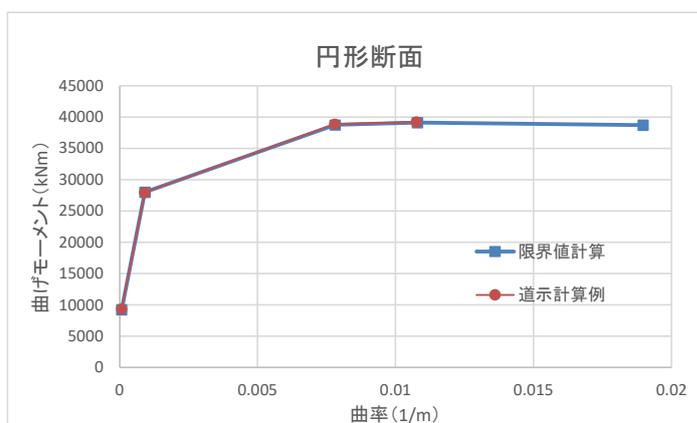


図 23-1 道示 V に基づく M $\phi$  限界値の計算例（円形断面）

### ・分割法による矩形 RC 断面の M $\phi$ 限界値計算

RC 矩形断面を対象として、道路橋示方書 V・耐震設計編 H24 版に従うコンクリートと鉄筋の応力ひずみ関係および限界ひずみを使用し、部材高さ方向に断面分割を行う分割法により、M $\phi$  関係の限界値（ひび割れ時、降伏時および終局時）を算出しています。

圧縮側および引張側の軸方向配筋をそれぞれ 2 段まで、また側方鉄筋の配置を考慮できます。さらに、複数ケースの断面諸元に対して M $\phi$  限界値の算出が可能です。

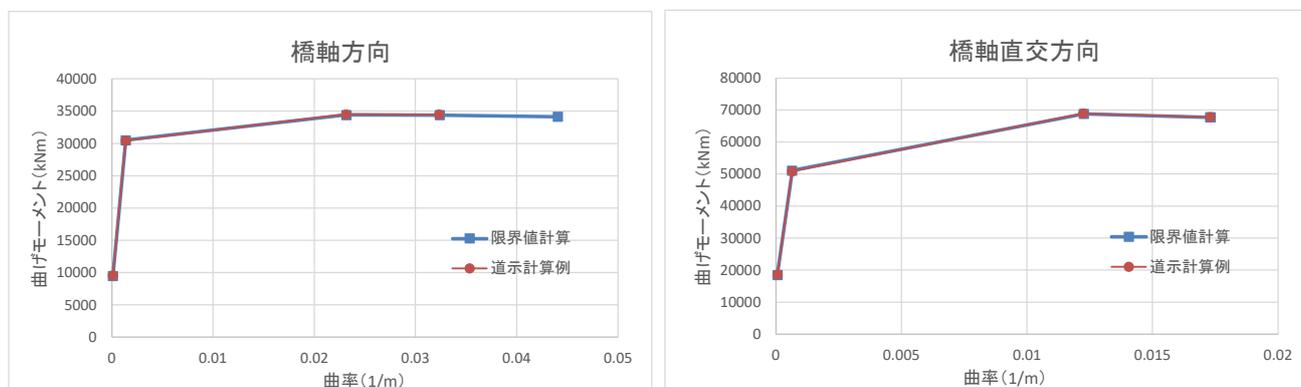


図 23-2 道示 V に基づく M $\phi$  限界値の計算例（矩形断面）

・分割法による RC 断面の  $M-\phi$  計算プログラム

RC の円形断面、矩形断面および小判形断面を対象として、道路橋示方書 V・耐震設計編 H24 版に従うコンクリートと鉄筋の応力ひずみ関係および限界ひずみを使用し、部材高さ方向に断面分割を行う分割法により、 $M-\phi$  関係を算出しています。本項の  $M-\phi$  関係は、限界値だけでなく、曲率ゼロから終局までを連続的に算出しています。

断面分割と  $M-\phi$  計算のマクロが別になっており、断面分割マクロによって作成された断面分割データを  $M-\phi$  計算のエクセルマクロに貼り付けることにより、 $M-\phi$  算出を実行します。断面分割マクロは断面形状によりプログラム内容が異なりますが、 $M-\phi$  計算マクロは断面形状に依らず同一のプログラムとなっています。

本マクロで計算された  $M-\phi$  関係は、「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-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」に提示される事例と比較し、ほぼ一致することを確認しています。

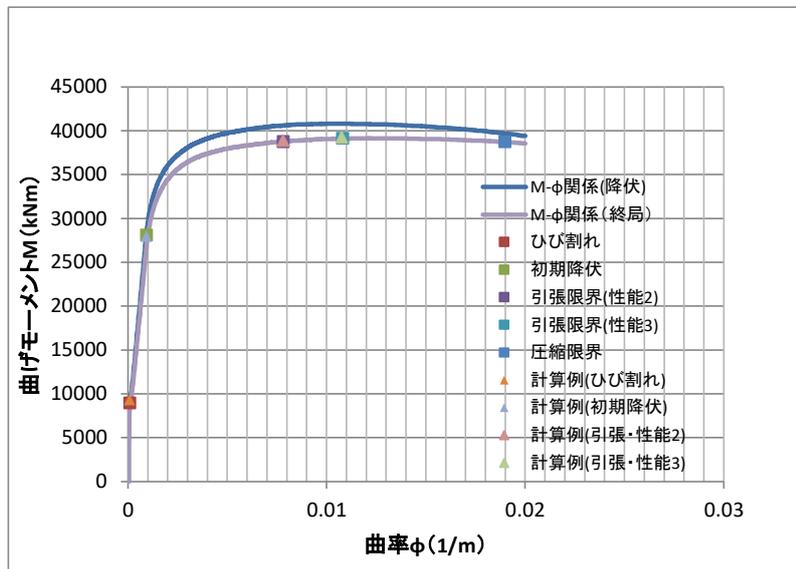


図 23-3 道示 V に基づく  $M-\phi$  関係の計算例 (円形断面)

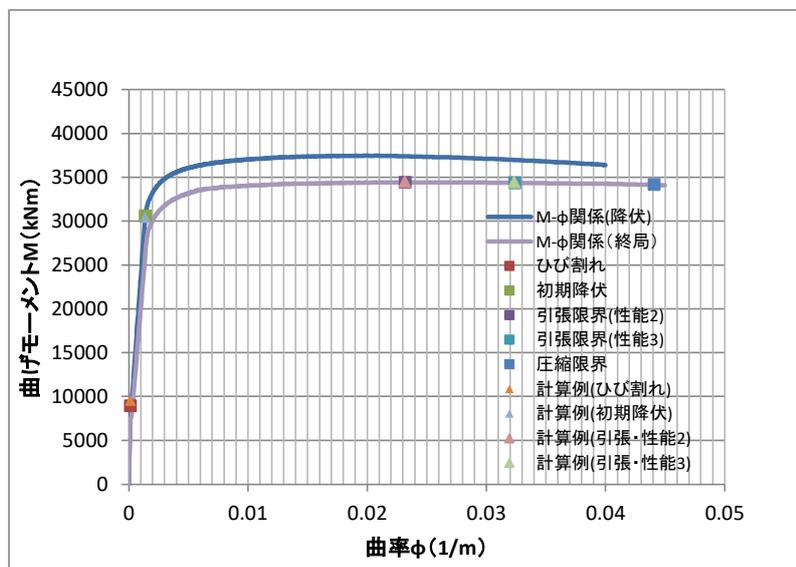


図 23-4 道示 V に基づく  $M-\phi$  関係の計算例 (矩形断面・橋軸方向)

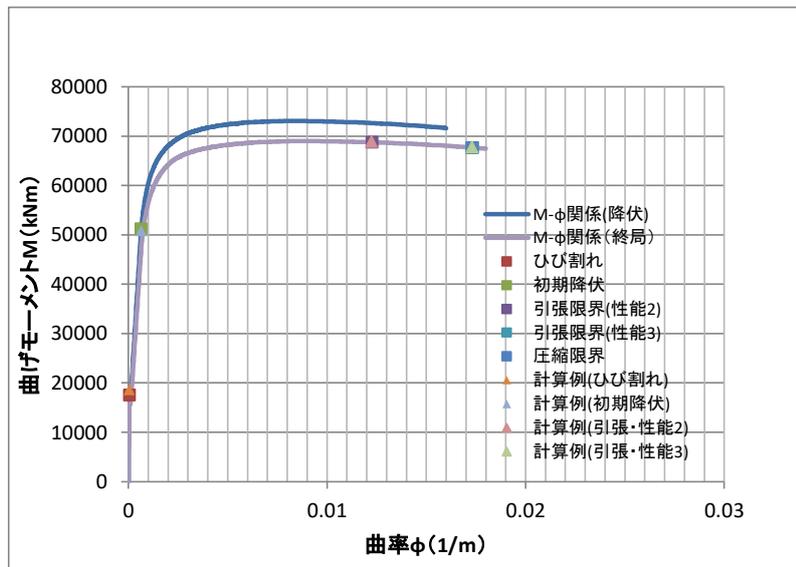


図 23-5 道示 V に基づく M- $\phi$  関係の計算例 (矩形断面・橋軸直角方向)

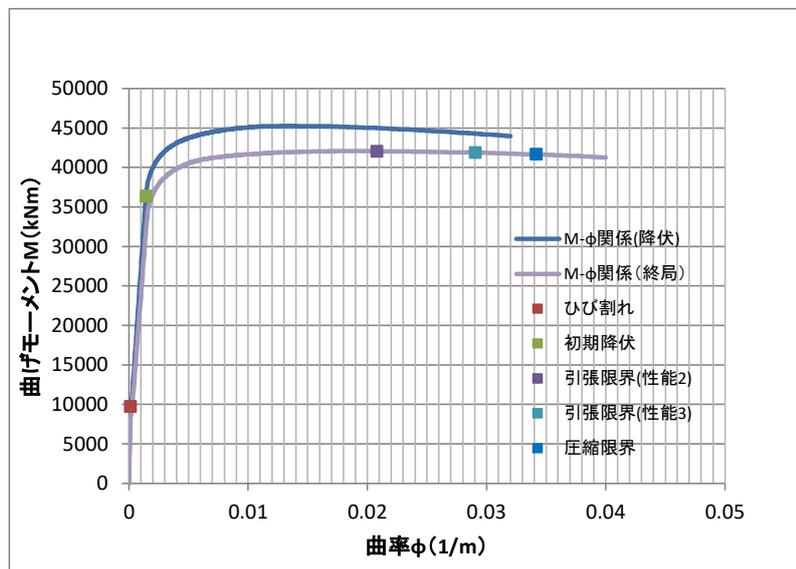


図 23-6 道示 V に基づく M- $\phi$  関係の計算例 (小判形断面・短辺方向)

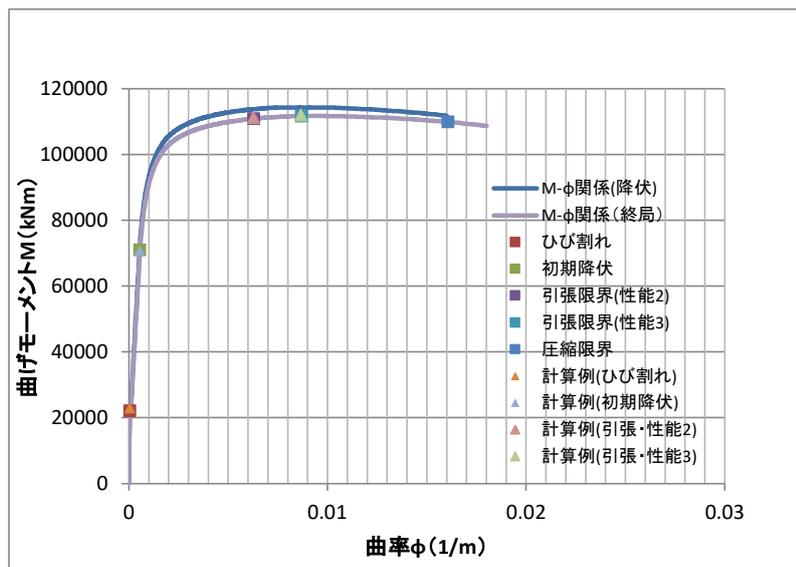


図 23-7 道示 V に基づく M- $\phi$  関係の計算例 (小判形断面・長辺方向)

## 24. 分割法による鋼断面の Mφ 計算プログラム

矩形鋼断面を対象として、道路橋示方書 V・耐震設計編 H24 版に従う鋼材の応力ひずみ関係および限界ひずみを使用し、部材高さ方向に断面分割を行う分割法により、Mφ 関係の限界値（降伏時および終局時）を算出しています。

補剛材（リブ）の影響を考慮するために、鋼断面の外形の大きさを変更せず補剛材を含む断面積と断面 2 次モーメントが同一になるようなフランジ厚およびウェブ厚を算出し、その補正した断面厚さに対して Mφ 関係を算定しています。

複数ケースの断面諸元に対して Mφ 限界値の算出が可能です。

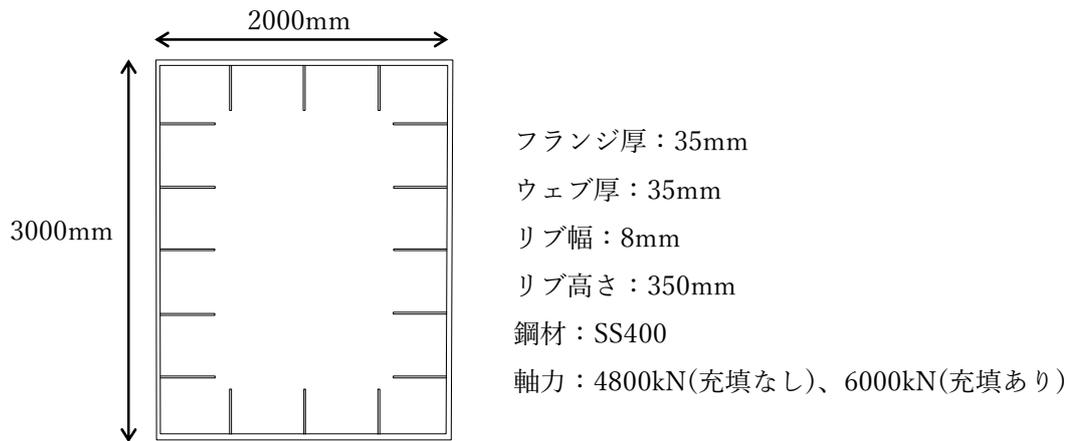


図 24-1 計算対象とした矩形鋼断面

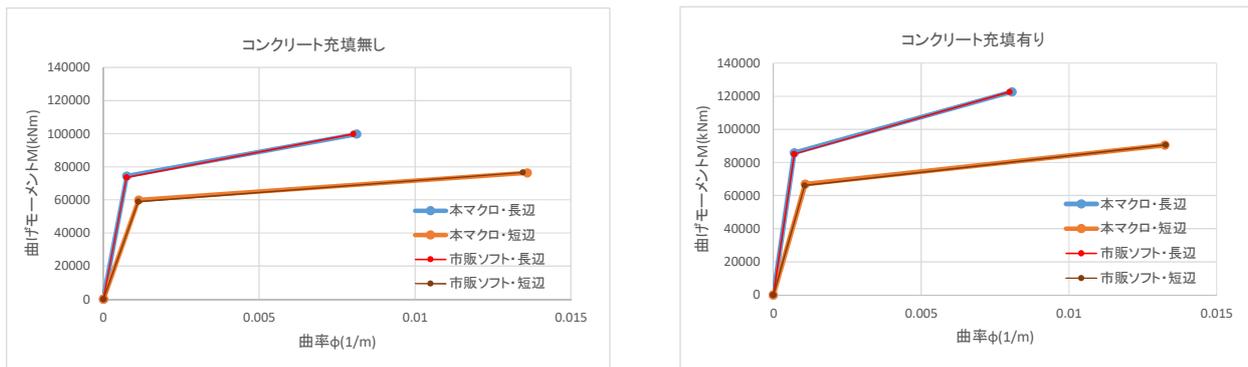


図 24-2 M-φ 限界値の計算例

## 25. 分割法による RC 断面の応力度計算プログラム

分割法を使用し、矩形断面および円形断面の RC 断面弾性計算を行い、コンクリートおよび鉄筋の応力度を算出するプログラム（エクセルマクロ）です。分割法を使用することで、多段配筋断面にも対応可能となります。

矩形断面に対しては、圧縮側および引張側のそれぞれに 2 段までの軸方向鉄筋配置、また側方鉄筋の配置が可能です。円形断面に対しては、断面半径方向に最大 3 段までの軸方向鉄筋配置が可能です。

表 25-1 断面諸元の入力（円形断面）

ケース	断面半径 rd(m)	鉄筋段数 nst	半径分割数	コンクリート強度 fck (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋仕様	配筋1段目			配筋2段目			配筋3段目			曲げモーメント M(kNm)	軸力 N'(kN)	せん断力 S(kN)
						半径 rs(1)(m)	90° 当たり分割	径	半径 rs(2)(m)	90° 当たり分割	径	半径 rs(3)(m)	90° 当たり分割	径			
1	1	1	100	24	SD345	0.85	10	D22	0	0	0	0	0	0	2000	1000	0

表 25-2 照査結果（円形断面）

ケース	M (kNm)	N (kN)	S (kN)	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断応力 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋応力 $\sigma_{s2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	中立軸位置 x (cm)	鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート圧縮許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリートせん断許容応力度 $\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 $\sigma_s / \sigma_{sa}$	判定	超過率 $\sigma_c / \sigma_{ca}$	判定	超過率 $\tau / \tau_a$	判定
1	2000	1000	0	155.19	5.18	0	58.78	61.7	294	13.5	0.675	0.528	OK	0.383	OK	0	OK

表 25-3 断面諸元の入力（矩形断面）

ケース	全高 h (cm)	分割数 ndv	幅 b (cm)	コンクリート強度 fck (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋仕様	上筋の1段目		上筋の2段目		下筋の1段目		下筋の2段目		側方鉄筋			曲げモーメント M(kNm)	軸力 N'(kN)	せん断力 S(kN)				
						径	本数	かぶり (cm)	径	本数	かぶり (cm)	径	本数	かぶり (cm)	径	本数				かぶり (cm)	径	本数	段数
1	30	50	100	18	SD295	D16	8	7	0	0	7	D19	8	7	0	0	7	0	0	0	50.00	50.00	0

表 25-4 照査結果（矩形断面）

ケース	M (kNm)	N (kN)	S (kN)	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断応力 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋応力 $\sigma_{s2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	中立軸位置 x (cm)	鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート圧縮許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリートせん断許容応力度 $\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 $\sigma_s / \sigma_{sa}$	判定	超過率 $\sigma_c / \sigma_{ca}$	判定	超過率 $\tau / \tau_a$	判定
1	50	50	0	100.23	5.009	0.0000	21.769	9.85	264.0	10.5	0.6000	0.380	OK	0.477	OK	0.000	OK

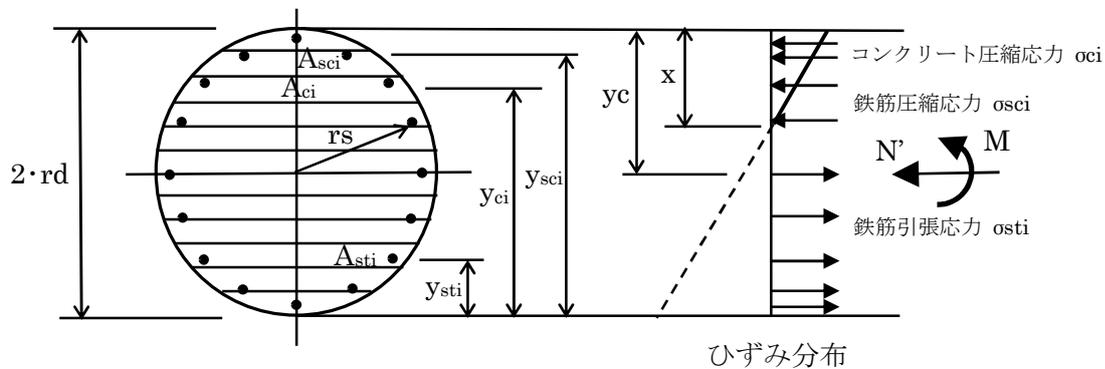


図 25-1 応力度計算の断面仮定



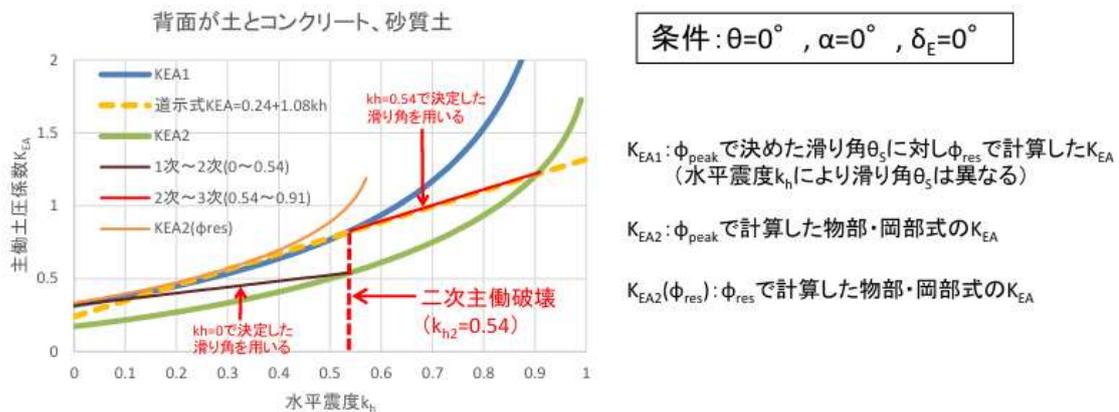
## 27. 設計で用いる土圧理論の概説

設計で一般的に使用される土圧理論（ランキン土圧およびクーロン土圧）と修正物部・岡部法による主働土圧の考え方について概説したものです。

本資料は、「龍岡文夫・古関潤一(2010)：初級講座 この式どうやってできたの？ どう使うの？ 第5・6回地震時土圧（その1・その2）基礎工2010年2・3月」と「右城猛(2013)：擁壁の設計法と計算例 第3章土圧 理工図書」を参照しています。

# 修正物部・岡部法による計算結果

## ● 背面が土とコンクリート、裏込め材料が砂質土の場合の計算結果



- ・修正物部・岡部法の  $K_{EA}$  は、 $K_{EA1}$  と  $K_{EA2}$  の中間の値
- ・修正物部・岡部法では、主働破壊後の水平震度に対する  $K_{EA}$  の変化が直線的
- ・二次主働破壊時に、 $K_{EA}$  の値が不連続的に変化
- ・道示式では、二次から三次までの  $K_{EA}$  の値を水平震度の小さい方へも延長して適用

図 27-1 修正物部・岡部法による主働土圧係数の計算



## 29. 下水道耐震指針に基づく適合波作成

「下水道施設耐震計算例 2015 年版 Q&A(管路施設編) 2018 年 8 月 1 日」の記載によれば、地下構造物が基盤付近に設置される場合に、地震時地盤変位の設計式が変位を過大に評価することを踏まえ、一次元地盤応答解析による地盤変位の算出が推奨されています。その際、下水道耐震設計指針の設計速度応答スペクトルに適合する工学的基盤位置での地震動波形の作成が必要となります。

本資料では、位相特性を既知した地震波から目標応答スペクトルに適合する地震波を作成するマクロを作成しています。

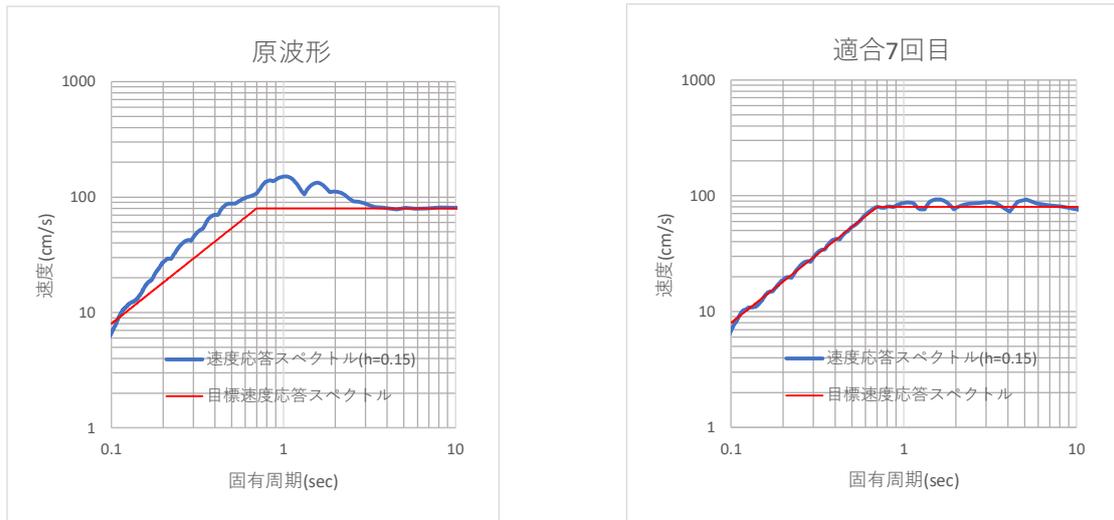


図 29-1 目標応答スペクトルとの適合

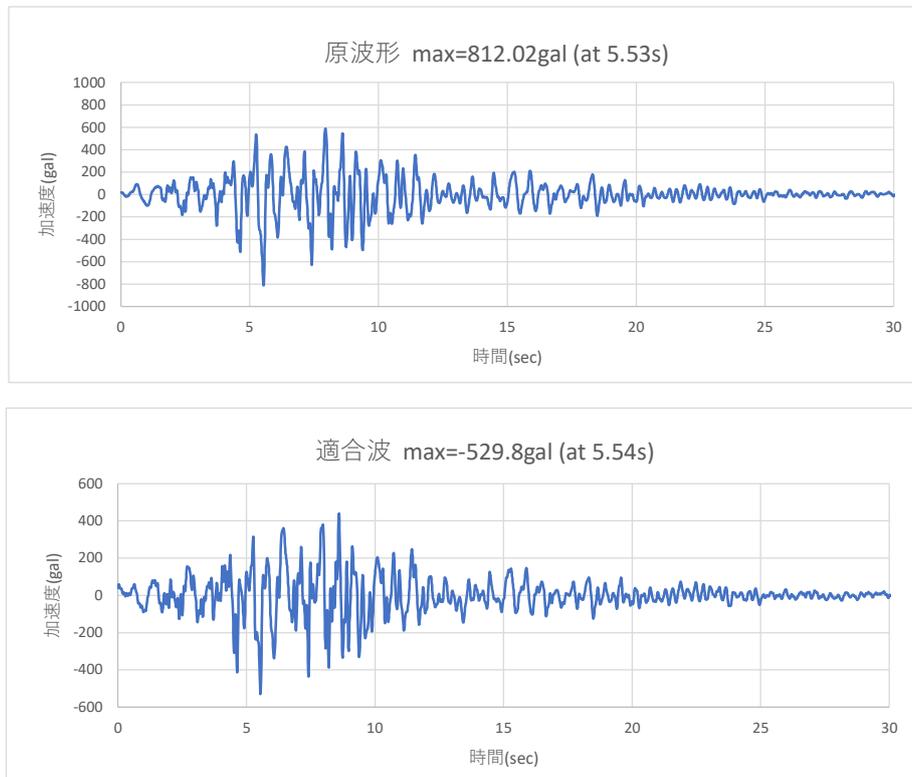


図 29-2 原波形と適合波形