本提供技術情報の概要説明

日中構造研究所　松原勝己

1. エクセル表計算による多段配筋矩形断面の許容曲げモーメント算出

先に、「多段配筋矩形 RC 断面に対する許容応力度照査時の M-N 関係の作成（その 2)」において、軸力値 N に対する許容曲げモーメント Ma を算出し、Ma-N 関係を作成しました。

本報告では、マクロを使用せず、エクセルの表計算機能により、指定軸力と断面諸元から多段配筋矩形断面の許容曲げモーメントを算出しています。ただし、多数ケースの一括処理は難しいため、1 ケースにつき 1 シートが必要です。

コンクリート応力から鉄筋応力を求めるためのヤング係数比は、圧縮鉄筋と引張鉄筋ともに n を使用しました。

「多段配筋矩形 RC 断面に対する許容応力度照査時の M-N 関係の作成（その 2)」（マクロ使用）で使用した計算条件を用い、本エクセルの計算結果と比較したところ、良い一致を示しました。

表 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 σca(N/mm2)	8
鉄筋許容応力度 σsa(N/mm2)	160

表 1-2　本エクセルの計算条件

ケース	計算条件
1	軸力 N=-3279.5kN（mode4）
2	軸力 N=-64.3kN（mode3）
3	軸力 N=1909.2kN（mode3）
4	軸力 N=7829.9kN（mode2）
5	軸力 N=16006kN（mode1）
6	軸力 N=20235kN（mode1）

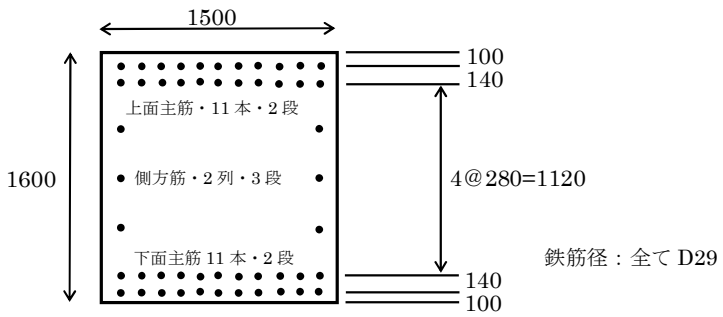


図 1-1　配筋

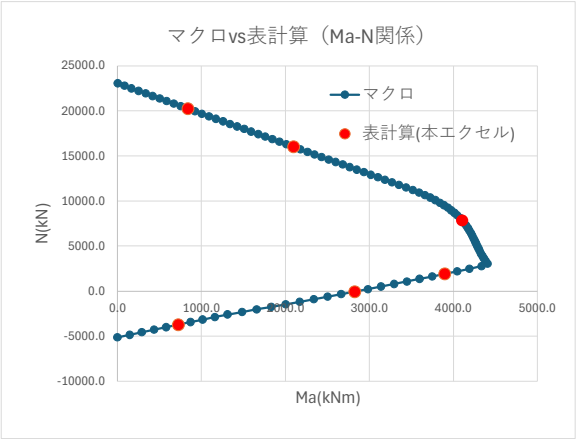


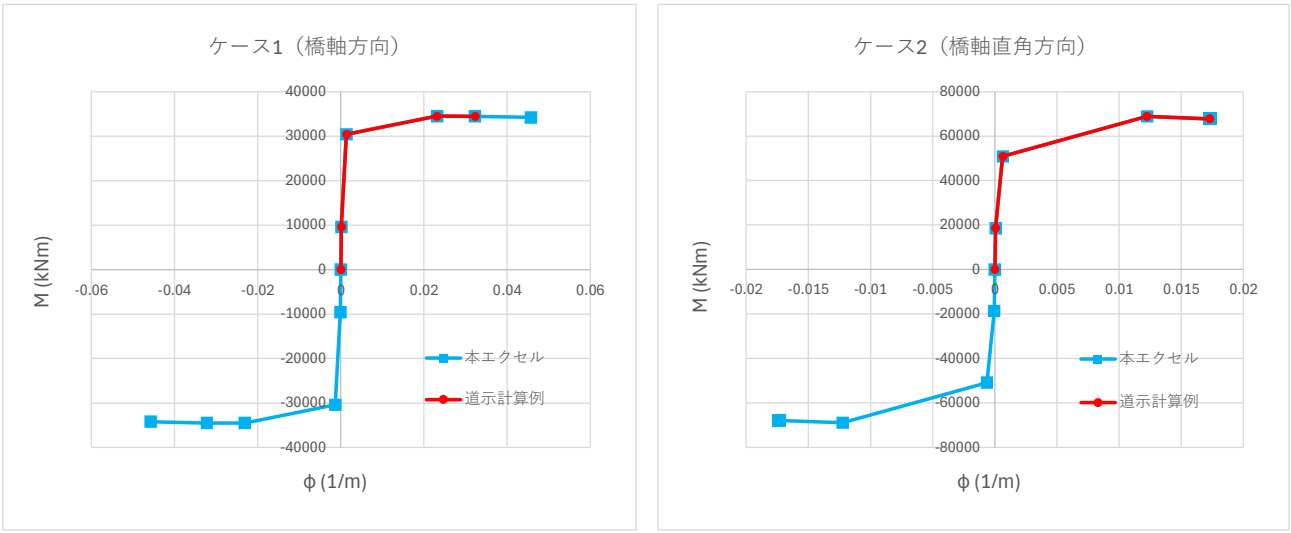
図 1-2　本エクセルとマクロの比較

2. 多段配筋矩形断面に対するMφ限界値算出のエクセルマクロ（その 2）

先の記事「3.多段配筋矩形断面に対するMφ限界値算出のエクセルマクロ」において、分割法を使用せずコンクリート圧縮応力の積分値に解析式を用い、また中立軸探索に 2 分法による収束計算を適用してMφ限界値の算出を行いました。本報告においても同様の手法を適用し、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」（道示Ⅴ）に提示されるコンクリート応力ひずみ関係（横拘束筋の拘束効果によるピーク応力後の下降勾配を考慮）を用いたときのMφ限界値の算出を実施しています。

計算例として、「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（当時） 平成 24 年 5 月」（以下、道示計算例と呼ぶ）に示される「矩形断面の橋軸方向」および「矩形断面の橋軸直角方向」の断面諸元を用いました。

図 2-1 に、本マクロによるMφ関係の計算結果を示します。同図には、道示計算例に提示される結果も併記しましたが、両者はほぼ一致していることがわかります。



(a)橋軸方向　　(b)橋軸直角方向

図 2-1　Mφ関係の計算結果

3. 多段配筋矩形断面に対するMφ限界値算出のエクセルマクロ

先に、「27.分割法によるRC断面のMφ計算プログラム」の「分割法による矩形RC断面のMφ限界値計算」において、多段配筋（側方鉄筋）を考慮可能なMφ算出のマクロを掲載しました。今回作成したマクロは、その更新版となります。更新点は、分割法を用いずにコンクリート圧縮応力の積分値を解析式により評価したことや、中立軸位置の算出に収束計算を適用したことにあります。また、コンクリートの応力ひずみ関係に、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）に提示されるもの（放物線と直線の組み合わせ）を用いています。

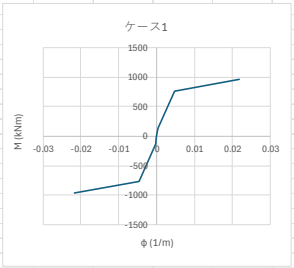
本マクロと市販ソフト、あるいは本マクロと過去作成したマクロの結果を比較し、ほぼ一致することを確認しています。

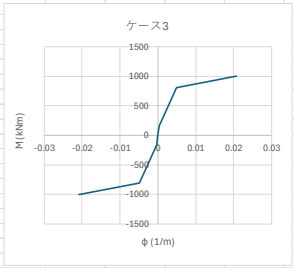
図 3-1　計算条件（入力データ）

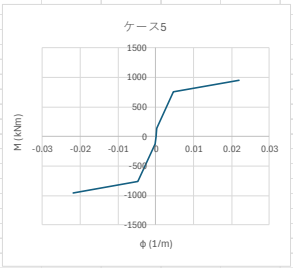
									第1段		第2段		第3段		第4段		第5段		第6段	
通し番号	断面高さ h(cm)	断面幅 b(cm)	コンヤング係数 ec(kN/mm2)	鉄筋ヤング係数 es(kN/mm2)	コン強度 fc(N/mm2)	鉄筋降伏強度 fy(N/mm2)	軸力 N(kN)	鉄筋段数 nst	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)	被り cv(cm)	鉄筋量 As(cm2)
1	70	70	25	200	24	345	230.1	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402
2	70	70	25	200	24	345	312.3	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402
3	70	70	25	200	24	345	427.0	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402
4	70	70	25	200	24	345	127.9	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402
5	70	70	25	200	24	345	206.9	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402
6	70	70	25	200	24	345	298.3	6	11	30.402	20.6	10.134	30.2	10.134	39.8	10.134	49.4	10.134	59	30.402

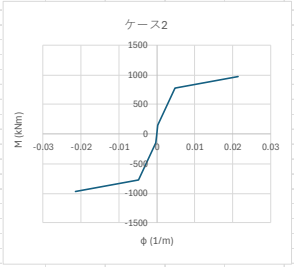
図 3-2　Mφ限界値の算出結果

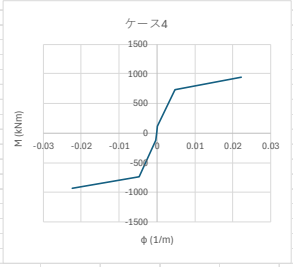
1	φ(1/m)	M(kNm)	2	φ(1/m)	M(kNm)	3	φ(1/m)	M(kNm)	4	φ(1/m)	M(kNm)	5	φ(1/m)	M(kNm)	6	φ(1/m)	M(kNm)
u(−)	−0.02179	−960.151	u(−)	−0.02137	−977.281	u(−)	−0.02079	−1001.04	u(−)	−0.02232	−938.735	u(−)	−0.02191	−955.312	u(−)	−0.02144	−974.37
y(−)	−0.00474	−760.636	y(−)	−0.00479	−777.895	y(−)	−0.00486	−801.761	y(−)	−0.00468	−738.985	y(−)	−0.00473	−755.754	y(−)	−0.00478	−774.965
c(−)	−0.00027	−136.238	c(−)	−0.00029	−145.828	c(−)	−0.00032	−159.215	c(−)	−0.00025	−124.315	c(−)	−0.00027	−133.538	c(−)	−0.00029	−144.195
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c(+)	0.000272	136.2384	c(+)	0.000292	145.8278	c(+)	0.000318	159.2154	c(+)	0.000249	124.3147	c(+)	0.000267	133.5378	c(+)	0.000288	144.1947
y(+)	0.00474	760.6363	y(+)	0.004792	777.8948	y(+)	0.004864	801.7608	y(+)	0.004675	738.9848	y(+)	0.004725	755.7537	y(+)	0.004783	774.9652
u(+)	0.021787	960.1511	u(+)	0.021366	977.2807	u(+)	0.020792	1001.045	u(+)	0.022319	938.7354	u(+)	0.021906	955.3117	u(+)	0.021437	974.37

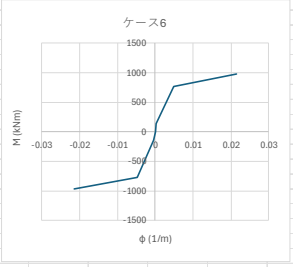












4. エクセル表計算による複鉄筋矩形断面の Mφ限界値算出

先に、「27.分割法による RC 断面の Mφ 計算プログラム」において、「分割法による矩形 RC 断面の Mφ限界値計算」のエクセルマクロを掲載しました。そこでは、マクロを使用することで、多段配筋断面や下降勾配を有するコンクリートの応力ひずみ関係にも、Mφ算出の適用が可能となっています。

本報告では、複鉄筋矩形 RC 断面に対象に、コンクリート応力ひずみ関係（放物線＋直線）や鉄筋応力ひずみ関係（バイリニア）としてコンクリート標準示方書に提示されるものを用い、中立軸算定式に解析式を適用することで、エクセル表計算によって Mφ限界値の算出を実装しました。これにより、エクセルのマクロ機能やソルバー機能を使用せずに計算実行が可能となり、また計算過程がより明示的になると思われます。エクセルによる計算結果は、市販ソフトによる結果と比較し、ほぼ一致することを確認しています。

表 4-1　計算条件

項目	値
断面高さ h(cm)	80
断面幅 b(cm)	100
コンクリートヤング係数 Ec(kN/mm2)	23.5
鉄筋ヤング係数 Es(kN/mm2)	200
コンクリート強度 fc(N/mm2)	16.154（=21/1.3：材料係数考慮）
鉄筋降伏強度 fy(N/mm2)	295
上面鉄筋被り cu(cm)	17
上面鉄筋量 asu(cm2)	13.247
下面鉄筋被り cd(cm)	70
下面鉄筋量 asd(cm2)	13.247
軸力 N(kN)	300,1000,4000

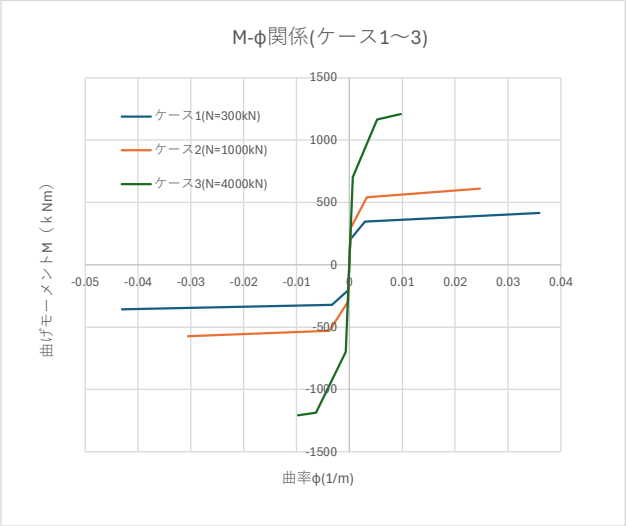


表 4-2　Mφ関係

5. 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）

「6.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。そこでは、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 5-1　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 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 As1(cm2)	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(cm2)	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）	

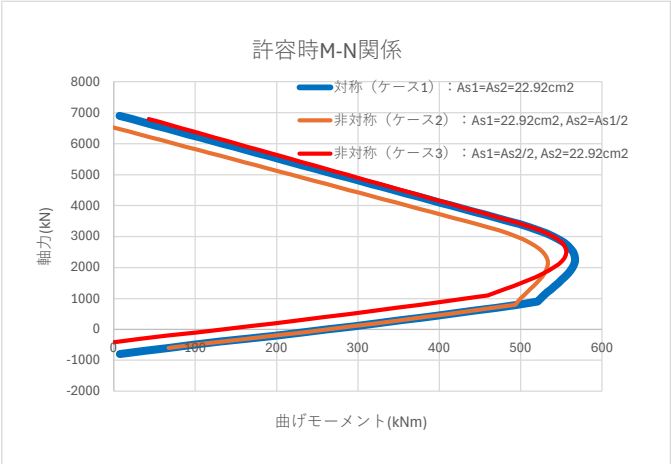


図 5-1　計算結果（許容時 Ma-N 関係）

6. 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

「7.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「7.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「9.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 6-1　計算条件

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）	

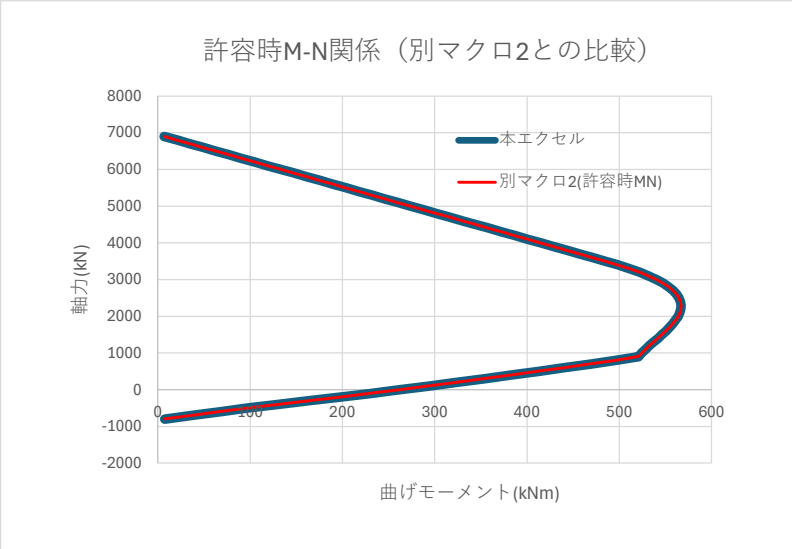


図 6-1　Ma-N 関係

7. 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）

「9.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。

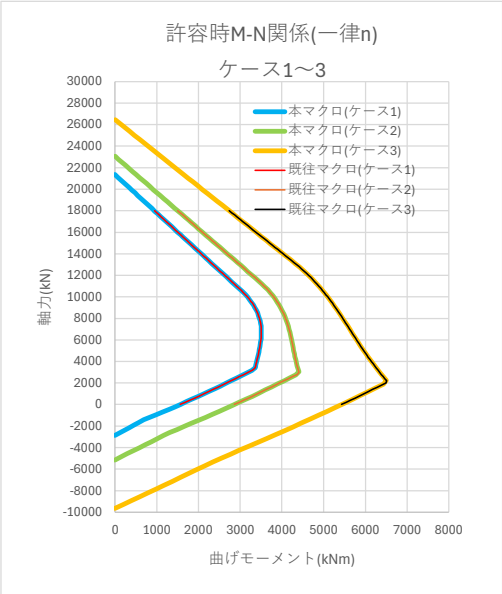


図 7-1 許容時 M-N 関係

許容曲げモーメント：ある作用軸力に対しコンクリートあるいは鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント
(σ ca=8N/mm², σ sa=160N/mm²)

ケース 1：片側主鉄筋比 0.29%
ケース 2：片側主鉄筋比 0.59%
ケース 3：片側主鉄筋比 1.18%

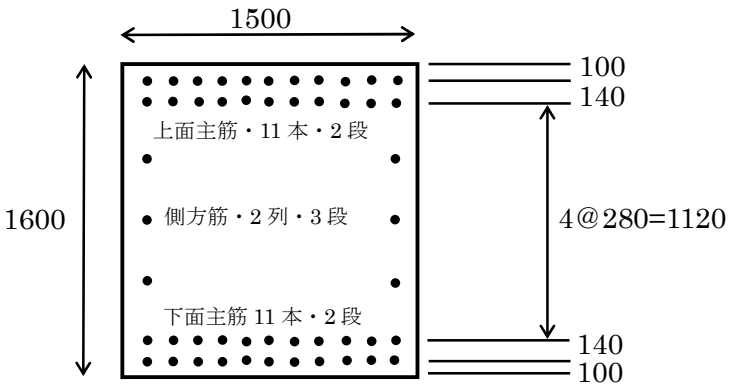


図 7-2 鉄筋配置

8. 静的線形解析結果を対象とした矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロ

梁要素モデルを用いた静的線形解析による断面力出力結果を前提とし、許容応力度照査（L1 対応）および部材耐力照査（L2 対応）のプログラムを、エクセルマクロを用いて作成しました。本マクロは、以前に掲載した「25.RC 断面照査計算プログラム」の更新版となります。主な更新点は、①断面諸元および照査対象要素を指定するシートのフォーマットを変更、②ES の出力フォーマットに従わない断面力の入力を可能、③許容応力度照査時の中立軸算定に収束計算（2 分法）を導入、になります。

本マクロについては、市販ソフトや他のソフトとの比較を行い、応力度や耐力が一致することを確認しています。

表 8-1 許容応力度照査結果(L1)

データ数	24																					
通し番号	要素番号	部位名	M (kN・m)	N (kN)	V (kN)	鉄筋応力 σs (N/mm2)	コンクリート応力 σc (N/mm2)	せん断応力 τ (N/mm2)	圧縮鉄筋応力 σs2 (N/mm2)	中立軸位置 xs (cm)	j	鉄筋許容 σsa (N/mm2)	コン許容 σca (N/mm2)	せん断許容 τa1 (N/mm2)	せん断許容 τa2 (N/mm2)	照査値 σs/σsa	照査値 σc/σca	照査値 τ/τa1	判定 (σs)	判定 (σc)	判定 (τa)	必要せん断補強筋量 Awn (cm2)	せん断補強筋量 Aw (cm2)	照査値 Awn/Aw	判定 (Awn)
1	113	頂版−1	37.612	−28.409	−10.324	128.194	4.281	−0.0516	5.654	7.676	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.486	0.408	0.086	OK	OK	OK	−	−	−	−
2	120	頂版−1	15.014	−25.565	−24.544	55.953	1.709	−0.1227	0.807	7.227	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.212	0.163	0.205	OK	OK	OK	−	−	−	−
3	123	頂版−2	−36.347	−22.342	−38.290	100.622	3.900	−0.1915	10.074	8.456	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.381	0.371	0.319	OK	OK	OK	−	−	−	−
4	33	頂版−2	−23.791	−21.615	23.765	67.820	2.543	0.1188	5.898	8.280	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.257	0.242	0.198	OK	OK	OK	−	−	−	−
5	31	頂版−1	2.874	−18.392	10.019	15.336	0.317	0.0501	−1.362	5.440	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.058	0.030	0.083	OK	OK	OK	−	−	−	−
6	2	頂版−1	5.028	−16.022	−6.571	21.271	0.570	−0.0329	−0.526	6.594	0.8696	264	10.5	0.6	2.7	0.081	0.054	0.055	OK	OK	OK	−	−	−	−
7	47	左側壁	31.636	−2.515	−29.80	157.037	3.491	−0.1224	0.013	7.002	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.595	0.291	0.194	OK	OK	OK	−	−	−	−
8	54	左側壁	−8.528	9.276	−27.86	15.538	0.667	−0.1144	3.616	10.965	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.059	0.056	0.182	OK	OK	OK	−	−	−	−
9	62	左側壁	−34.463	22.996	−6.43	66.558	2.681	−0.0264	13.526	10.547	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.252	0.223	0.042	OK	OK	OK	−	−	−	−
10	68	左側壁	−27.889	31.571	20.67	50.493	2.181	0.0849	11.917	11.010	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.191	0.182	0.135	OK	OK	OK	−	−	−	−
11	91	中壁	16.658	70.5	−1.07	29.138	1.894	−0.0057	13.684	10.613	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.110	0.158	0.009	OK	OK	OK	−	−	−	−
12	97	中壁	14.667	76.288	−5.24	22.354	1.667	−0.0280	12.894	11.353	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.085	0.139	0.045	OK	OK	OK	−	−	−	−
13	107	中壁	−10.318	90.841	−19.80	8.144	1.165	−0.1059	10.924	14.666	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.031	0.097	0.168	OK	OK	OK	−	−	−	−
14	112	中壁	−33.921	97.29	−28.79	70.556	3.845	−0.1540	24.875	9.671	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.267	0.320	0.244	OK	OK	OK	−	−	−	−
15	69	右側壁	5.544	13.51	14.46	8.219	0.437	0.0594	2.866	12.429	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.031	0.036	0.094	OK	OK	OK	−	−	−	−
16	75	右側壁	16.678	22.085	8.63	29.372	1.307	0.0355	7.359	11.207	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.111	0.109	0.056	OK	OK	OK	−	−	−	−
17	84	右側壁	2.764	35.805	−16.15	−0.158	0.228	−0.0663	2.602	29.356	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.001	0.019	0.105	OK	OK	OK	−	−	−	−
18	90	右側壁	−3.131	48.454	−5.37	−0.666	0.247	−0.0221	2.949	34.120	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.003	0.021	0.035	OK	OK	OK	−	−	−	−
19	39	底版−1	6.215	−23.011	−30.98	17.265	0.305	−0.1080	−0.052	6.922	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.065	0.025	0.171	OK	OK	OK	−	−	−	−
20	45	底版−1	−19.841	−25.839	4.76	51.143	1.173	0.0166	3.017	8.449	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.194	0.098	0.026	OK	OK	OK	−	−	−	−
21	92	底版−2	−7.971	−27.963	27.72	51.533	0.681	0.0966	−2.886	5.457	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.195	0.057	0.153	OK	OK	OK	−	−	−	−
22	114	底版−2	38.913	1.878	−61.65	68.387	2.273	−0.2148	12.355	10.978	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.259	0.189	0.341	OK	OK	OK	−	−	−	−
23	133	底版−1	−33.622	−1.482	−20.98	72.916	2.022	−0.0731	8.430	9.694	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.276	0.169	0.116	OK	OK	OK	−	−	−	−
24	131	底版−1	−27.092	−3.293	38.23	59.429	1.628	0.1332	6.637	9.612	0.8696	264	12	0.63	2.85	0.225	0.136	0.211	OK	OK	OK	−	−	−	−

表 8-2 曲げ耐力による照査結果(L2)

データ数	24																					
通し番号	要素番号	部位名	M (kN・m)	N (kN)	V (kN)	終局モーメント Mu (kN・m)	終局曲率 φu (1/m)	終局時中立軸位置 xu (cm)	降伏モーメント My (kN・m)	降伏曲率 φy (1/m)	降伏時中立軸位置 xy (cm)	ひび割れモーメント Mc (kN・m)	ひび割れ曲率 φc (1/m)	ひび割れ時中立軸位置 xc (cm)	釣合軸力 Nb (kN)	釣合モーメント Mb (kN・m)	釣合時中立軸位置 xb (cm)	mody	modu	modb	照査値 M/Mu	判定
1	113	頂版−1	48.148	−26.877	−14.116	105.8	0.06023	5.811	90.2	0.009774	7.908	24.4	0.0004519	14.109	2107.8	249.0	16.181	1	1	2	0.455	OK
2	120	頂版−1	19.861	−20.904	−28.336	106.3	0.06008	5.826	90.8	0.009798	7.946	24.7	0.0004573	14.297	2107.8	249.0	16.181	1	1	2	0.187	OK
3	123	頂版−2	−37.962	−14.134	−42.082	−122.9	−0.06233	5.615	−111.1	−0.010420	8.844	−25.1	−0.0004736	14.839	1666.1	230.3	16.181	1	1	2	0.309	OK
4	33	頂版−2	−8.986	−14.03	10.409	−122.9	−0.06233	5.615	−111.1	−0.010420	8.845	−25.1	−0.0004737	14.842	1666.1	230.3	16.181	1	1	2	0.073	OK
5	31	頂版−1	−5.016	−7.261	−5.707	−124.5	−0.05812	6.022	−111.2	−0.010321	8.709	−25.6	−0.0004745	14.868	1900.4	249.0	16.181	1	1	2	0.040	OK
6	2	頂版−1	−24.245	−1.288	−19.927	−125.1	−0.05795	6.039	−111.8	−0.010346	8.743	−25.9	−0.0004800	15.040	1900.4	249.0	16.181	1	1	2	0.194	OK
7	47	左側壁	43.579	−6.307	−29.792	84.5	0.06870	5.094	60.1	0.006866	6.518	37.3	0.0004151	17.052	3184.5	349.6	19.698	1	1	2	0.516	OK
8	54	左側壁	7.371	3.769	−31.228	85.6	0.06844	5.114	61.4	0.006896	6.611	37.9	0.0004215	17.328	3184.5	349.6	19.698	1	1	2	0.086	OK
9	62	左側壁	−37.789	19.204	−17.732	−159.0	−0.06586	5.315	−143.1	−0.007970	9.492	−40.0	−0.0004452	18.266	2508.4	349.6	19.698	1	1	2	0.238	OK
10	68	左側壁	−49.085	30.137	−5.501	−160.3	−0.06538	5.353	−144.4	−0.008001	9.565	−40.6	−0.0004524	18.534	2508.4	349.6	19.698	1	1	2	0.306	OK
11	91	中壁	37.404	60.935	−3.674	121.4	0.06854	5.107	110.9	0.010903	7.972	26.8	0.0006152	14.891	2185.7	249.1	15.126	1	1	2	0.308	OK
12	97	中壁	31.978	66.723	−12.429	121.9	0.06836	5.120	111.4	0.010926	8.000	27.0	0.0006212	15.008	2185.7	249.1	15.126	1	1	2	0.262	OK
13	107	中壁	−23.609	81.276	−43.001	−123.1	−0.06790	5.154	−112.7	−0.010983	8.070	−27.7	−0.0006364	15.293	2185.7	249.1	15.126	1	1	2	0.192	OK
14	112	中壁	−74.555	87.726	−61.874	−123.6	−0.06771	5.169	−113.3	−0.011009	8.101	−28.0	−0.0006431	15.416	2185.7	249.1	15.126	1	1	2	0.603	OK
15	69	右側壁	31.147	25.366	−1.628	159.7	0.06559	5.337	143.8	0.007987	9.533	40.3	0.0004493	18.418	2508.4	349.6	19.698	1	1	2	0.195	OK
16	75	右側壁	27.014	33.727	−13.064	160.7	0.06522	5.366	144.9	0.008011	9.588	40.8	0.0004548	18.620	2508.4	349.6	19.698	1	1	2	0.168	OK
17	84	右側壁	−29.55	50.877	−32.062	−90.9	−0.06720	5.208	−67.7	−0.007033	7.028	−40.8	−0.0004518	18.510	3184.5	349.6	19.698	1	1	2	0.325	OK
18	90	右側壁	−21.669	59.452	25.725	−91.9	−0.06698	5.225	−68.8	−0.007058	7.100	−41.3	−0.0004573	18.708	3184.5	349.6	19.698	1	1	2	0.236	OK
19	39	底版−1	40.983	2.172	−32.776	187.3	0.06127	5.712	167.4	0.006418	10.016	51.5	0.0003753	20.148	3251.0	482.3	23.216	1	1	2	0.219	OK
20	45	底版−1	−13.877	−7.616	−21.459	−158.6	−0.06271	5.581	−136.9	−0.006166	9.079	−50.4	−0.0003671	19.704	3458.4	482.3	23.216	1	1	2	0.087	OK
21	92	底版−2	−25.287	−13.597	−5.183	−95.0	−0.06890	5.080	−69.6	−0.005648	6.883	−48.4	−0.0003603	19.321	3692.8	451.9	23.216	1	1	2	0.266	OK
22	114	底版−2	57.902	51.161	−78.265	192.7	0.06447	5.429	175.1	0.006590	10.617	54.2	0.0004043	21.572	3016.7	451.9	23.216	1	1	2	0.301	OK
23	133	底版−1	−38.625	41.903	−29.598	−165.4	−0.06148	5.693	−144.3	−0.006265	9.458	−53.8	−0.0003914	20.969	3458.4	482.3	23.216	1	1	2	0.234	OK
24	131	底版−1	−32.758	36.982	47.51	−164.7	−0.06161	5.681	−143.5	−0.006256	9.421	−53.4	−0.0003890	20.850	3458.4	482.3	23.216	1	1	2	0.199	OK

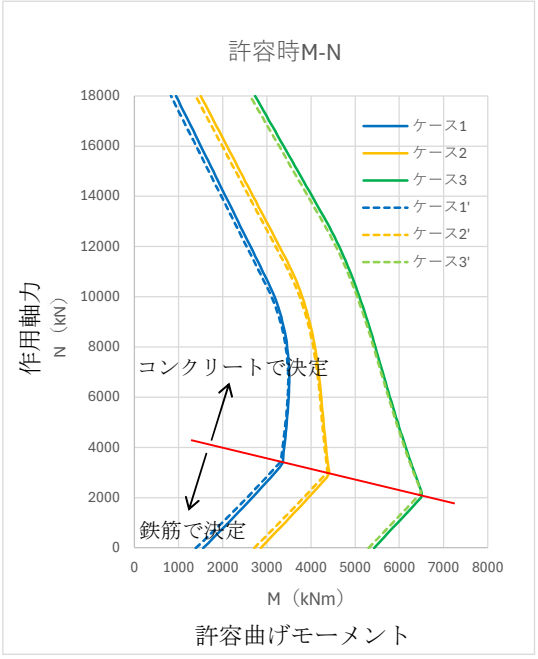
表 8-3 せん断耐力による照査結果(L2)

データ数	24														
通し番号	要素番号	部位名	M (kN・m)	N (kN)	V (kN)	有効高補正 βd	引張鉄筋補正 βp	軸力補正 βn	コンクリート負担分Vc(kN)	補強筋負担分Vs(kN)	せん断耐力 Vy(kN)	せん断スパン a(m)	Vmu(kN)	Vmu/Vy	照査値 V/Vy	判定
1	113	頂版−1	48.148	−26.877	−14.116	1.444	0.8840	0.9503	103.1	11.3	114.4	3.411	35.6	0.311	0.123	OK
2	120	頂版−1	19.861	−20.904	−28.336	1.444	0.8840	0.9613	104.3	11.3	115.6	0.701	174.0	1.505	0.245	OK
3	123	頂版−2	−37.962	−14.134	−42.082	1.444	0.9449	0.9772	113.3	11.3	124.6	0.902	157.9	1.267	0.338	OK
4	33	頂版−2	−8.986	−14.03	10.409	1.444	0.9449	0.9774	113.3	11.3	124.6	0.863	165.1	1.324	0.084	OK
5	31	頂版−1	−5.016	−7.261	−5.707	1.444	0.9449	0.9884	114.6	11.3	125.9	0.879	163.4	1.298	0.045	OK
6	2	頂版−1	−24.245	−1.288	−19.927	1.444	0.9449	0.9979	115.7	11.3	127.0	1.217	118.5	0.933	0.157	OK
7	47	左側壁	43.579	−6.307	−29.792	1.375	0.6571	0.9827	96.7	13.8	110.5	1.463	64.7	0.586	0.270	OK
8	54	左側壁	7.371	3.769	−31.228	1.375	0.6571	1.0052	98.9	13.8	112.7	0.236	406.0	3.604	0.277	OK
9	62	左側壁	−37.789	19.204	−17.732	1.375	0.8849	1.0143	134.4	13.8	148.2	2.131	86.6	0.584	0.120	OK
10	68	左側壁	−49.085	30.137	−5.501	1.375	0.8849	1.0224	135.4	13.8	149.2	8.923	20.8	0.140	0.037	OK
11	91	中壁	37.404	60.935	−3.674	1.469	0.9664	1.0472	124.3	10.6	134.9	10.181	13.8	0.102	0.027	OK
12	97	中壁	31.978	66.723	−12.429	1.469	0.9664	1.0517	124.8	10.6	135.4	2.573	54.7	0.404	0.092	OK
13	107	中壁	−23.609	81.276	−43.001	1.469	0.9664	1.0629	126.1	10.6	136.7	0.549	258.3	1.890	0.315	OK
14	112	中壁	−74.555	87.726	−61.874	1.469	0.9664	1.0529	124.9	10.6	135.5	1.205	118.2	0.872	0.457	OK
15	69	右側壁	31.147	25.366	−1.628	1.375	0.8849	1.0189	135.0	13.8	148.8	19.132	9.7	0.065	0.011	OK
16	75	右側壁	27.014	33.727	−13.064	1.375	0.8849	1.0251	135.8	13.8	149.6	2.068	90.1	0.602	0.087	OK
17	84	右側壁	−29.55	50.877	−32.062	1.375	0.6571	1.0697	105.2	13.8	119.0	0.922	109.7	0.922	0.269	OK
18	90	右側壁	−21.669	59.452	25.725	1.375	0.6571	1.0814	106.4	13.8	120.2	0.842	121.2	1.009	0.214	OK
19	39	底版−1	40.983	2.172	−32.776	1.319	0.8378	1.0015	142.1	16.3	158.3	1.250	174.3	1.101	0.207	OK
20	45	底版−1	−13.877	−7.616	−21.459	1.319	0.7838	0.9873	131.0	16.3	147.3	0.647	284.0	1.929	0.146	OK
21	92	底版−2	−25.287	−13.597	−5.183	1.319	0.6221	0.9626	101.4	16.3	117.6	4.879	22.1	0.187	0.044	OK
22	114	底版−2	57.902	51.161	−78.265	1.319	0.8378	1.0368	147.1	16.3	163.3	0.740	302.6	1.853	0.479	NG
23	133	底版−1	−38.625	41.903	−29.598	1.319	0.7838	1.0350	137.4	16.3	153.6	1.305	146.0	0.950	0.193	OK
24	131	底版−1	−32.758	36.982	47.51	1.319	0.7838	1.0309	136.8	16.3	153.1	0.689	275.3	1.798	0.310	OK

9. 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

「10.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、「18.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（「15. 矩形、T 形および円形 RC 断面の曲げ応力算出マクロ」）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。



許容曲げモーメント：ある作用軸力に対しコンクリートあるいは鉄筋が許容応力度に達するときの曲げモーメント

（σ ca=8N/mm^2, σ sa=160N/mm^2）

ケース 1：片側主鉄筋比 0.29%

ケース 2：片側主鉄筋比 0.59%

ケース 3：片側主鉄筋比 1.18%

ケース 1'～3'：側方筋考慮せず

図 9-1 許容時 M-N 関係

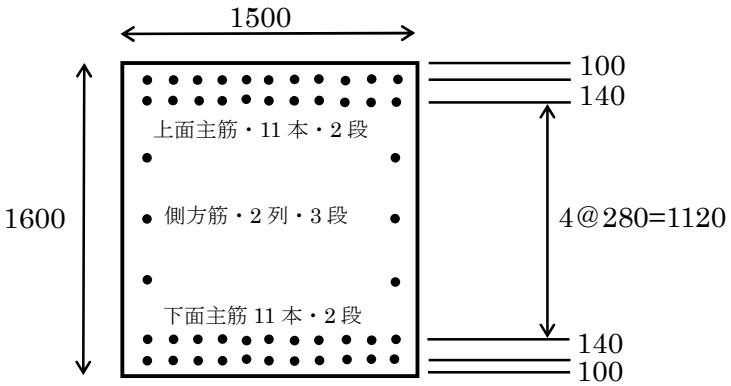


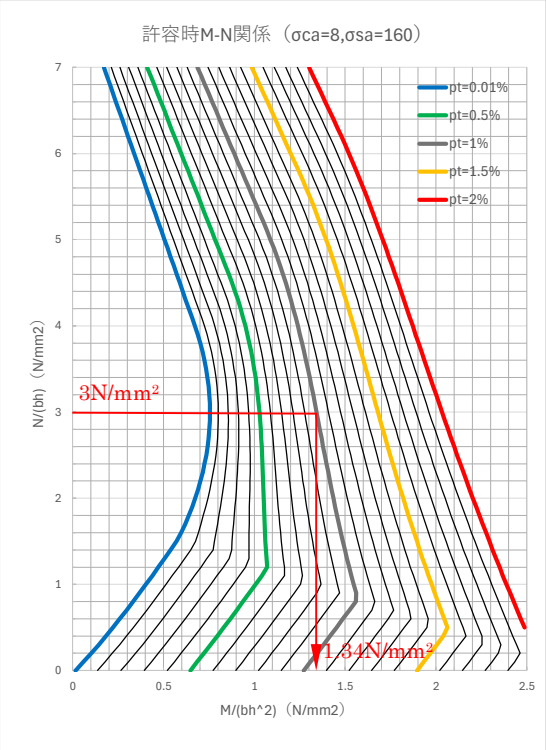
図 9-2 鉄筋配置

10. 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、「19.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、「17.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(=A_{s1}/(bh))

b：部材幅、h：部材高、A_{s1}：引張鉄筋量

A_{s2}：圧縮鉄筋量(=A_{s1}) [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/mm²)

横軸 M/(bh²)：応力次元の許容曲げモーメント(N/mm²)

軸応力 N/(bh)=3N/mm²、鉄筋比 pt=1%のときの例

左図より、M/(bh²)=1.34N/mm²

b=1.0m、h=0.5m のとき、

M=1.34×1000×500²=3.35×10⁸Nmm=<u>335kNm</u>

図 10-1 許容時 M-N 関係（σca=8N/mm²、σsa=160N/mm²）

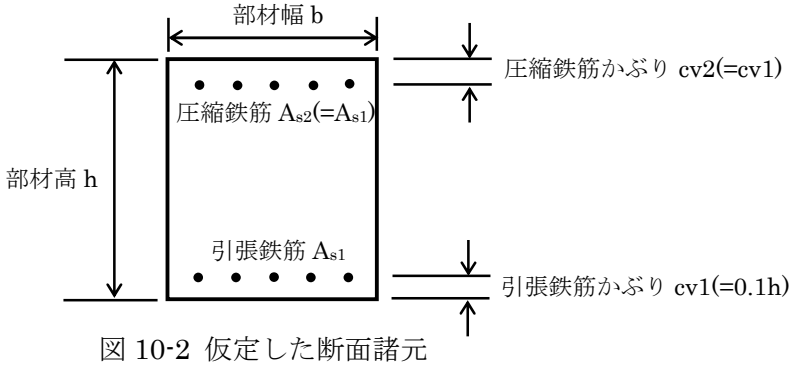


図 10-2 仮定した断面諸元

11. 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、「12.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 11-1 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)	コンクリート ヤング係数 ec(kN/mm2)	鉄筋 ヤング係数 es(kN/mm2)	コン強度 fc(N/mm2)	鉄筋 降伏強度 fy(N/mm2)	上面 鉄筋被り cu(cm)	上面 鉄筋量 asu(cm2)	下面 鉄筋被り cd(cm)	下面 鉄筋量 asd(cm2)	コン許容 σca (N/mm2)	鉄筋許容 σsa (N/mm2)	せん断許容 τa1 (N/mm2)	せん断許容 τa2 (N/mm2)	せん断 補強筋量 aw(cm2)	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-下端	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	89.37	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-下端	45	450	25	200	24	345	5	89.37	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頂版	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底版	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	15	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 11-2 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	0.012	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	4.134	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	0.012	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 11-3 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)	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)	有効高補正 βd	引張鉄筋補正 βp	軸力補正 βn	コンクリート負担分 vc(kN)	鉄筋負担分 vs(kN)	せん断耐力 vy(kN)	照査値 V/Vy	判定 (Vy)	a(=M/V) (m)	a/d	せん断スパン位置	ディープ判定	せん断耐力 vy_dp(kN)	照査値 V/Vy_dp	判定 (Vy_dp)	Vmu/Vy	破壊モード判定	Vmu/Vy_dp (ディープ)	破壊モード判定 (ディープ)	降伏判定
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	−207.08	458.847	225.697	1.414	0.926	1.064	637.366	0.000	637.366	0.354	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	647.386	0.349	OK	1.008	せん断	0.992	曲げ	未降伏(0)
2	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20001	ABSMAX	−190.677	451.667	206.589	1.414	0.926	1.063	636.768	0.000	636.768	0.324	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	646.778	0.319	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.43)
3	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20002	ABSMAX	−151.556	448.558	163.038	1.414	0.926	1.062	636.509	0.000	636.509	0.256	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	646.515	0.252	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.28)
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	−67.489	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	棒部材	646.721	0.169	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.04)
5	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	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	5.619	中央	a/d適用外				0.945	曲げ			未降伏(0)
6	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20005	ABSMAX	71.7241	372.998	42.7413	1.495	0.786	1.129	485.567	0.000	485.567	0.088	OK	2.936	14.681	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	52.6266	382.905	61.6092	1.495	0.998	1.068	582.946	0.000	582.946	0.106	OK	2.956	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	20.6384	374.466	88.0425	1.495	0.998	1.066	582.130	0.000	582.130	0.151	OK	1.594	7.968	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	−87.3617	460.388	167.703	1.414	0.926	1.064	637.494	0.000	637.494	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)
12	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20011	ABSMAX	−164.07	117.066	195.035	1.414	0.926	1.016	608.887	0.000	608.887	0.320	OK	1.225	4.900	端部	棒部材	630.627	0.309	OK	1.093	せん断	1.055	せん断	未降伏(0)
13	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20012	ABSMAX	−115.893	98.0451	140.521	1.414	0.926	1.014	607.302	0.000	607.302	0.231	OK	1.225	4.900	端部	棒部材	628.986	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	0.000	612.586	0.158	OK	1.218	4.873	端部	棒部材	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	3.06441	161.224	63.1784	1.495	0.998	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)
16	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20015	ABSMAX	34.6725	161.789	35.1029	1.495	0.998	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	39.6884	224.423	45.2163	1.495	0.998	1.040	567.629	0.000	567.629	0.080	OK	1.225	6.123	中央	a/d適用外				0.851	曲げ			未降伏(0.02)
18	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20017	ABSMAX	17.0774	218.141	76.0542	1.495	0.998	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)

12. 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 12-1 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/mm2)	鉄筋ヤング係数 es(kN/mm2)	コン強度 fc(N/mm2)	鉄筋降伏強度 fy(N/mm2)	上面鉄筋被り cu(cm)	上面鉄筋量 asu(cm2)	下面鉄筋被り cd(cm)	下面鉄筋量 asd(cm2)	コン許容σca (N/mm2)	鉄筋許容σsa (N/mm2)	せん断許容τa1 (N/mm2)	せん断許容τa2 (N/mm2)	せん断補強筋量 aw(cm2)	せん断補強筋ピッチ pch(cm)	上面主筋段数 nbu	下面主筋段数 nbd
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-下端	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-下端	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 12-2 断面諸元の入力（その 2：追加配筋）

			1段		2段		3段		4段		5段		6段		7段		8段		9段		10段	
通し番号	断面ID	追加配筋の段数	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)	鉄筋被り (cm)	鉄筋量 (cm2)
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-下端	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-下端	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 12-3 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	6.745	846.243	0.05189	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	6.740	845.717	0.05193	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	6.738	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	392.386	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 12-4 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)	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)	有効高補正 β_d	引張鉄筋補正 β_p	軸力補正 β_n	コンクリート負担分 vcd(kN)	鉄筋負担分 vsd(kN)	せん断耐力 vyd(kN)	照査値 V/Vy	判定 (Vy)	a (m)	a/d	せん断スパン位置	ディープ判定	せん断耐力 vyd_dp(kN)	照査値 V/Vy_dp	判定 (Vy_dp)	Vmu/Vy	破壊モード判定	Vmu/Vy_dp (ディープ)	破壊モード判定 (ディープ)	降伏判定
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	−207.08	458.847	225.697	1.414	0.926	1.064	637.366	0.000	637.366	0.354	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	647.386	0.349	OK	1.008	せん断	0.992	曲げ	未降伏(0)
2	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20001	ABSMAX	−190.677	451.667	206.589	1.414	0.926	1.063	636.768	0.000	636.768	0.324	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	646.778	0.319	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.43)
3	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20002	ABSMAX	−151.556	448.558	163.038	1.414	0.926	1.062	636.509	0.000	636.509	0.256	OK	1.317	5.269	端部	棒部材	646.515	0.252	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.28)
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	−67.489	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	棒部材	646.721	0.169	OK	1.008	せん断	0.993	曲げ	未降伏(0.04)
5	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20004	ABSMAX	−10.8568	458.948	70.8275	1.414	0.926	1.064	637.208	0.000	637.208	0.111	OK	1.405	5.619	中央	a/d適用外				0.945	曲げ			未降伏(0)
6	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20005	ABSMAX	71.7241	372.998	42.7413	1.495	0.786	1.129	485.567	0.000	485.567	0.088	OK	2.936	14.681	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	52.6266	382.905	61.6092	1.495	0.998	1.068	582.946	0.000	582.946	0.106	OK	2.956	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	20.6384	374.466	88.0425	1.495	0.998	1.066	582.130	0.000	582.130	0.151	OK	1.594	7.968	端部	a/d適用外				0.554	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	8.305	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	−87.3617	460.388	167.703	1.414	0.926	1.064	637.494	0.000	637.494	0.263	OK	1.576	8.305	端部	a/d適用外				0.842	曲げ			未降伏(0.05)

13.「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のもので、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。

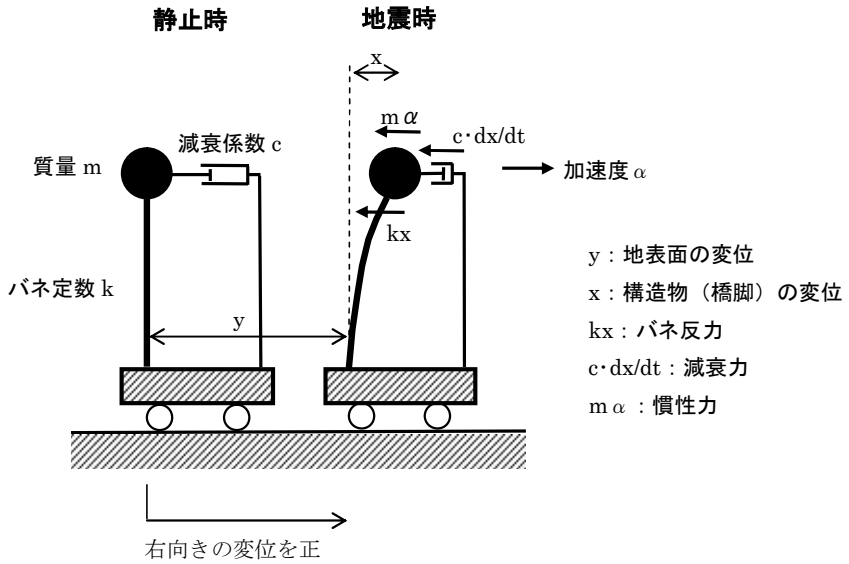


図 13-1 一自由度系振動モデル

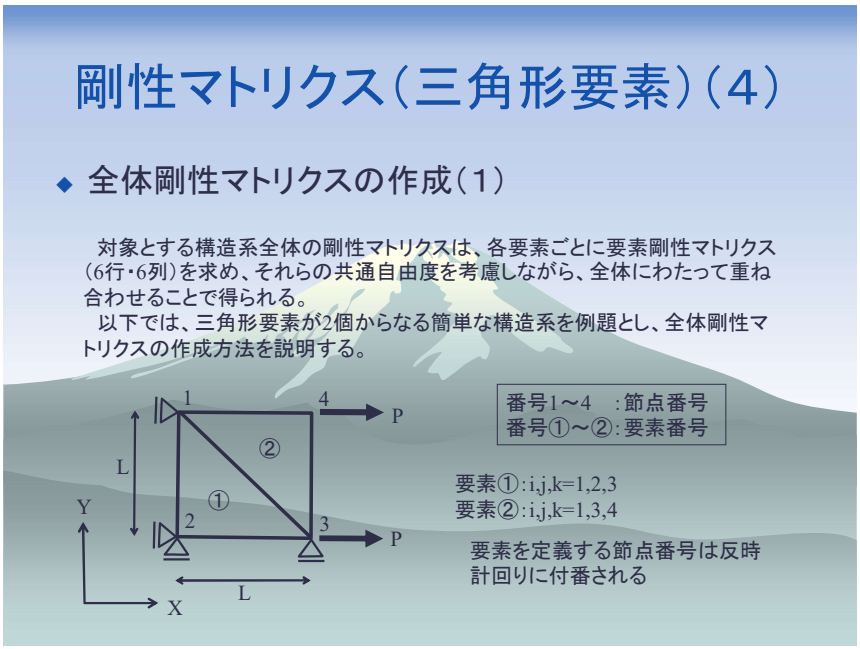


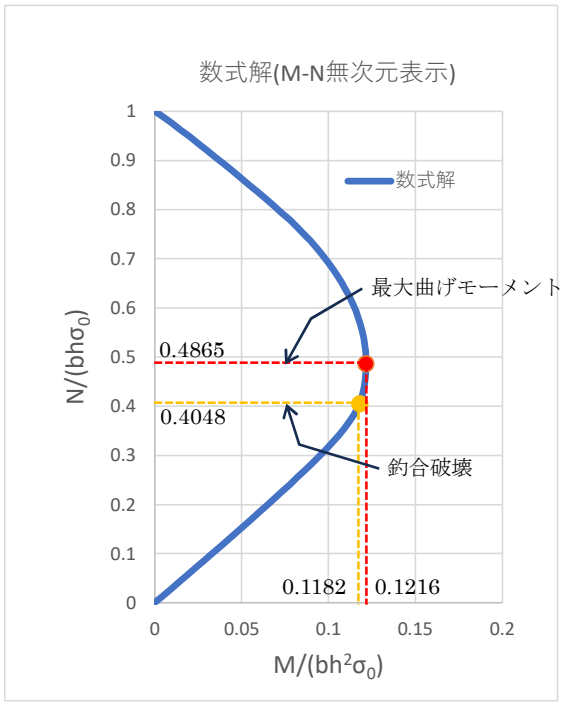
図 13-2 全体剛性マトリクスの作成

14. 無筋矩形断面に対する曲げ耐力の数式解について

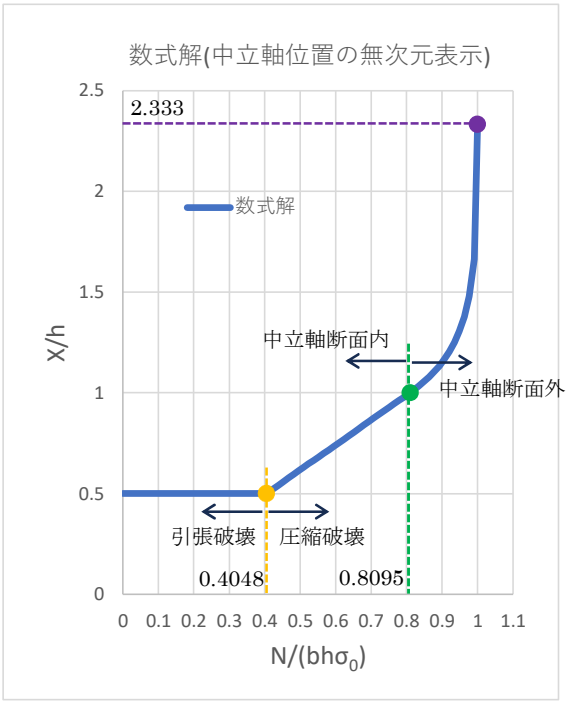
本資料は、無筋矩形断面の終局曲げ耐力（M-N カーブ）の数式解を誘導したものです。無筋断面の終局時の限界状態として、コンクリート圧縮縁でのひずみが 0.0035 になるとき、あるいはコンクリート引張領域が断面中心に達するときのいずれかを考慮しています。

後述の「18.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。



(a)M-N 曲線



(b)中立軸位置

図 14-1 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 σ 0)：無次元化軸力

横軸 M/(bh² σ 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）

σ 0：0.85f'c（f'c：コンクリート強度）

b：部材幅（m）

h：部材高（m）

15. 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「29.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 15-1 エクセルシート（矩形断面）

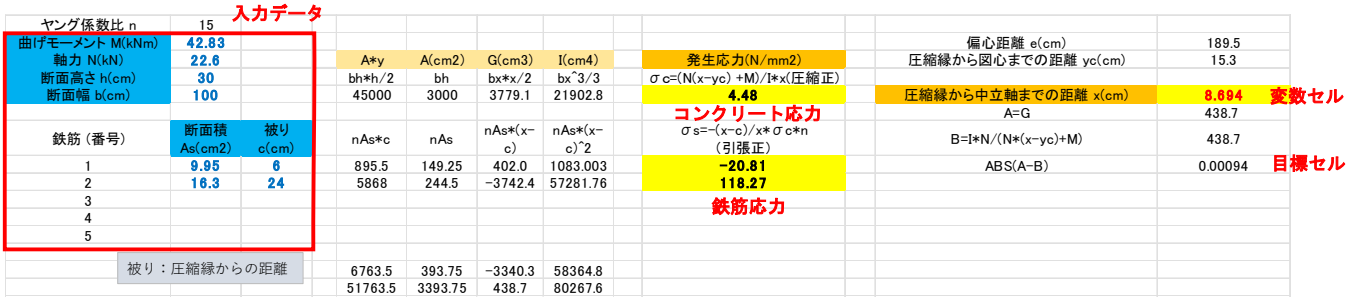


表 15-2 エクセルシート（T 形断面）

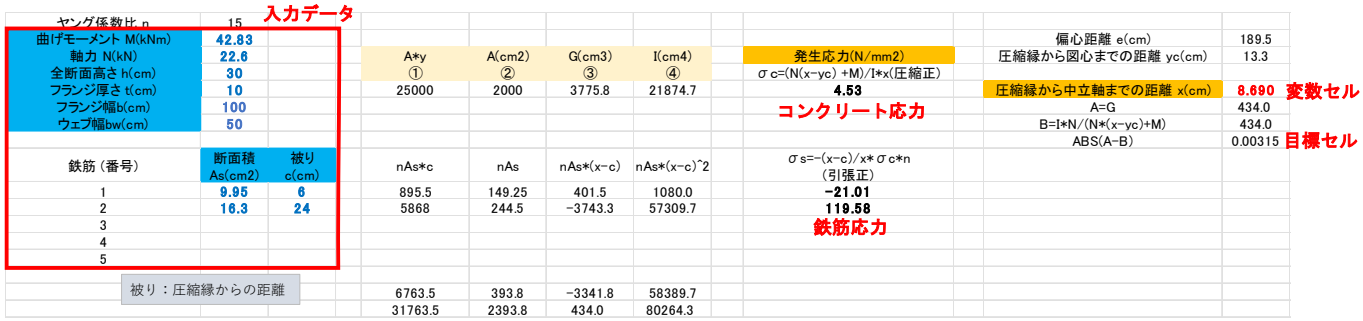
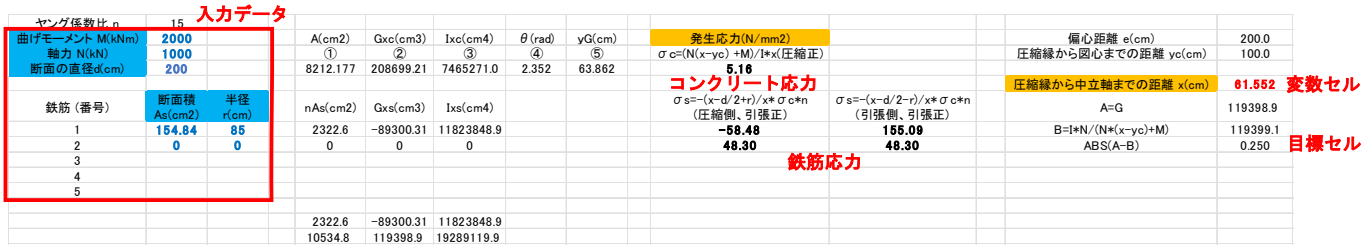


表 15-3 エクセルシート（円形断面）



16. 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。

「15.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 16-1 検証例

(a) 検証結果（矩形、マクロ vs 解析解）

			本マクロ			解析解						
ケース番号	M (kNm)	N (kN)	x (cm)	σc (N/mm2)	σs (N/mm2)	x (cm)	σc (N/mm2)	σs (N/mm2)	比 (x)	比 (σc)	比 (σs)	備考
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	ー	0.763	ー	ー	1.000	ー	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	-15.015	-0.305	55.249	ー	ー	55.249	ー	ー	1.000	全断面引張

(b) 検証結果（矩形、マクロ vs 市販ソフト）

			本マクロ		市販ソフト				
ケース番号	M (kNm)	N (kN)	σc (N/mm2)	σs (N/mm2)	σc (N/mm2)	σs (N/mm2)	比 (σc)	比 (σs)	備考
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	ー	0.763	0.000	1.000	ー	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	ー	55.249	0.000	55.249	ー	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、σc：コンクリート圧縮縁の応力(圧縮正)、σs：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 As1：11.46cm2、圧縮鉄筋量 As2：11.46cm2

有効高 d1：28cm、圧縮鉄筋かぶり d2：12cm

17. 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 17-1 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 σca(N/mm2)	鉄筋許容 σsa(N/mm2)	引張鉄筋被り d1(cm)	引張鉄筋量 As1(cm2)	圧縮鉄筋被り d2(cm)	圧縮鉄筋量 As2(cm2)
1	34.1	69.3	40	100	8	160	28	11.46	12	11.46
2	−24.47264	101.04269	40	100				11.46	12	11.46
3	22.9	−82.4	40	100	断面力と断面諸元の入力			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 σc(N/mm2)	鉄筋応力 σs(N/mm2)	圧縮鉄筋応力 σs'(N/mm2)	照査値 σc/σca	照査値 σs/σsa	判定 (σc)	判定 (σs)
10.542	3.167	78.669	6.569	0.396	0.492	OK	OK
13.355	2.034	発生応力度	.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 17-2 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(cm2)	圧縮鉄筋被り d2(cm)	圧縮鉄筋量 As2(cm2)	15 n	p1	p2	yc(cm) (=h/2)	コン+鉄筋 yc(cm) (図心)	鉄筋のみ yc(cm) (図心2)	e(cm) (=M/N)	yc=h/2を使用 δ (=(e−yc/d1))	γ (=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	20.000	−27.842	−1.7087	0.4286
4	8.4932242	198.5356	40	100	28						4093	20.000	20.000	20.000	4.278	−0.5615	0.4286
5	1.8841059	−103.08	40	100	28	中立軸位置と応力度の算出					4093	20.000	20.000	20.000	−1.828	−0.7796	0.4286

A (k^2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)	θ	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	−1.0108	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 σc (N/mm2)	引張正 σs (N/mm2)	引張正 σs' (N/mm2)	Ag (cm2)	yc=図心を使用 Ig (cm4)	Ag・コン無視 (cm2)	yc=図心2を使用 Ig・コン無視 (cm4)	yc=図心を使用 σc・圧縮 (N/mm2)	yc=図心を使用 σt・圧縮 (N/mm2)	σs・圧縮 (N/mm2)	σs'・圧縮 (N/mm2)	σc・引張 (N/mm2)	σt・引張 (N/mm2)	σs・引張 (N/mm2)	σs'・引張 (N/mm2)
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	−0.305	3.967	3.152	−1.286	−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_1）、x：圧縮縁から中立軸までの距離、d_1：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_1：引張鉄筋比（=As1/(bd_1)）、As1：引張鉄筋断面積、b：断面幅、p_2：圧縮鉄筋比（=As2/(bd_1)）、As2：圧縮鉄筋断面積、δ：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_1）、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、γ：有効高に対する圧縮鉄筋被りの比（=d_2/d_1）、d_2：圧縮鉄筋被り（圧縮縁から圧縮鉄筋までの距離）、σc：圧縮縁コンクリート応力（圧縮正）、σs, σ's：引張および圧縮鉄筋応力（引張正）

18. 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。

「17.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 18-1 エクセルシート

断面力と断面諸元の入力

ヤング係数比 n	15					
断面力	曲げモーメント M(kNm)	2500.0	2500.0			
	軸力 N(kN)	500.0		yc(図心)(cm)	80	
断面諸元	断面高さ h(cm)	160		yc(=h/2)(cm)	80	
	断面幅 b(cm)	150		e (cm)	500.000	
許容応力度	コンクリート σca(N/mm2)	8		δ(図心)	2.62500	
	鉄筋 σsa(N/mm2)	160		δ(h/2)	2.62500	

Ag (cm2)	28818
Ig(図心) (cm4)	68537862

配筋の入力

各種鉄筋パラメータの算出

鉄筋諸元	段数	被り ci(cm)	鉄筋量 Asi(cm2)	修正ci	鉄筋パラメータ	ci*Asi	pi	γi	pi γi	pi(γi+δ)(h/2)	pi γi(γi+δ)(h/2)	nAsi(x-ci)^2 (cm4)	pi(γi+δ)(図心)	pi γi(γi+δ)(図心)	nAsi(yc-ci)^2 (cm4)
	1	10	70.664	10		706.64	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	0.001225579	3324034.56
	3	52	12.848	52		668.096	0.0005353	0.325	0.000174	0.001579	0.0005133	85.2957584	0.001579	0.000513251	151092.48
	4	80	12.848	80		1027.84	0.0005353	0.5	0.000268	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	759801.435	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		0.006692	0.041823	0.022792737	21296802.6	0.0418229	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	2.7045	0.3208	−7.3227	−0.8731	0.3208	0.2902	0.5297	0.5450	0.3208
														kc(cm)	kt(cm)			
														29.7288	29.7288			

中立軸比 k の算出

中立軸位置 x(cm)	コンクリート応力 σc(N/mm2)	鉄筋応力 σs(N/mm2)	圧縮鉄筋応力 σs(N/mm2)	照査値 σc/σca	照査値 σs/σsa	判定 (σc)	判定 (σs)
51.335	4.311	124.295	−52.072	0.539	0.777	OK	OK

応力度の算出

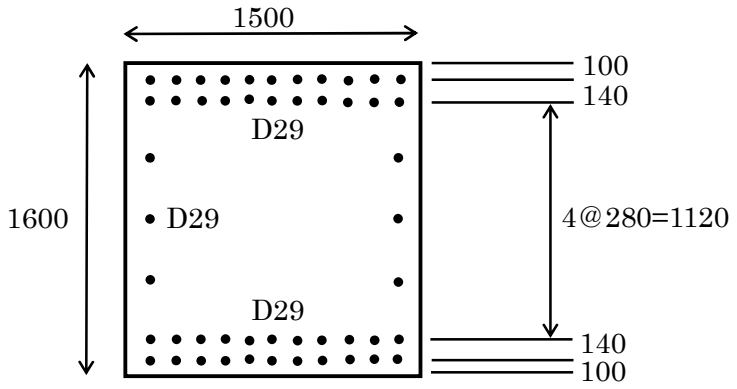


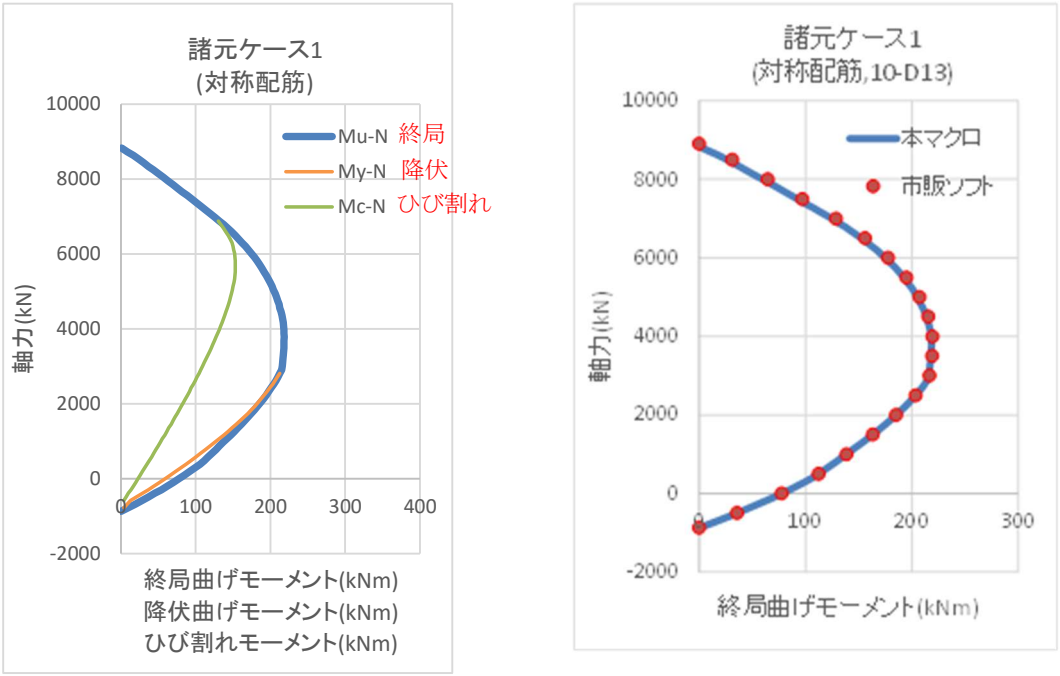
図 18-1 鉄筋配置

19. 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 19-1 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）】

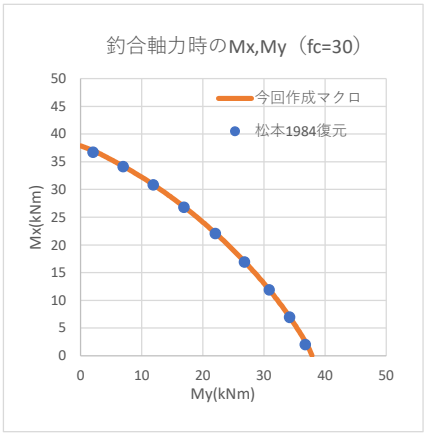
部材高 h：20cm、断面幅 b：135cm、
鉄筋ヤング係数 Es：200kN/mm2、鉄筋降伏強度 fy：345N/mm2、
コンクリートヤング係数 Ec：29.5kN/mm2、コンクリート強度 f'c：35N/mm2、
コンクリート引張強度 ft：2.46N/mm2、
引張鉄筋断面積 As1：12.67cm2（10-D13）、引張鉄筋かぶり cv1：6cm、
圧縮鉄筋断面積 As2：12.67cm2（10-D13）、圧縮鉄筋かぶり cv2：6cm

20. 矩形 RC 断面の二軸曲げ耐力の算出

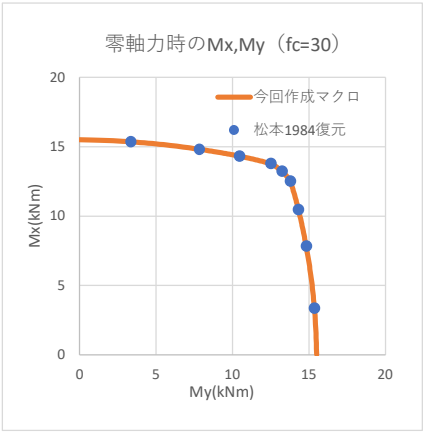
「19.矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成」の拡張版として、二軸曲げを受けるときの曲げ耐力を算出するマクロを作成しています。

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α（断面幅方向と中立軸がなす角度）とすると、ある傾斜角αと軸力値 N に依存して、断面高さ方向曲げモーメント Mx と断面幅方向曲げモーメント My の組（Mx,My）が一つ決まる（Mx と My 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。



(a)釣合軸力時



(b)ゼロ軸力時

図 20-1 Mx-My 関係

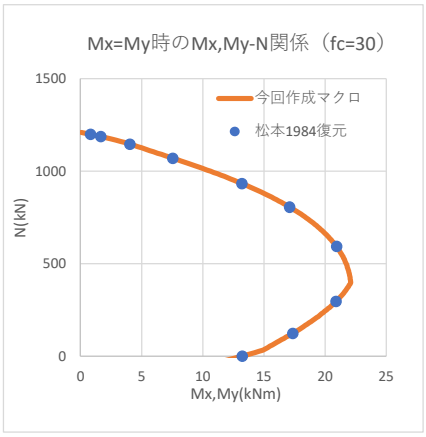


図 29-2 Mx,My-N 関係（Mx＝My 時）

【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/mm2、鉄筋降伏強度：378N/mm2

コンクリート強度：30N/mm2

21. 矩形 RC 断面の曲げ応力算出エクセル

本資料は、「15.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。

22. 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。

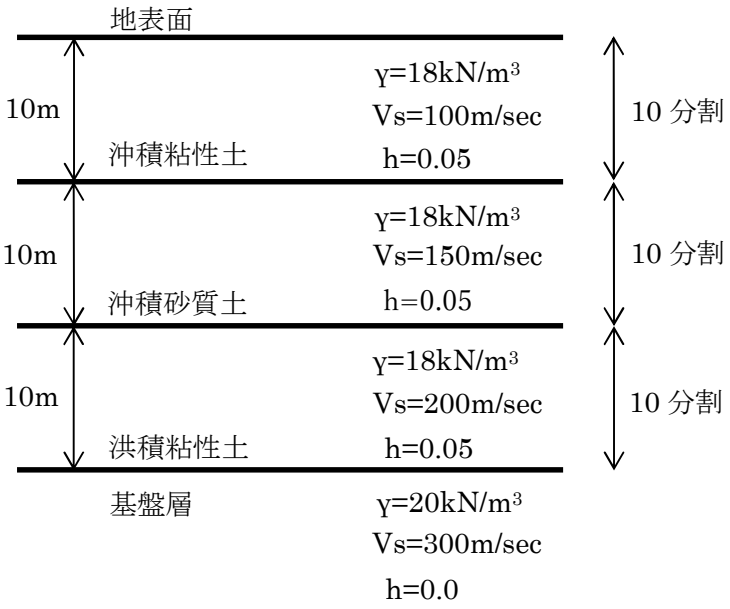
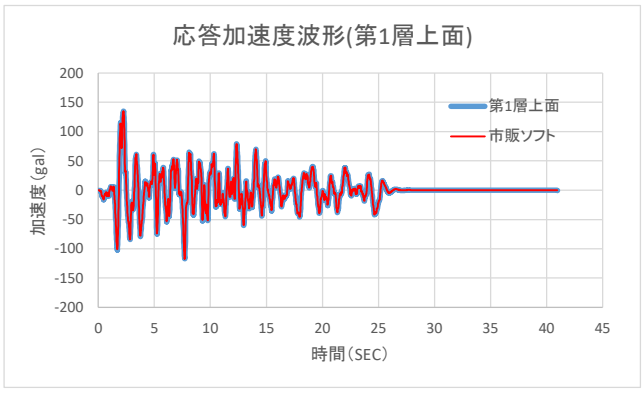
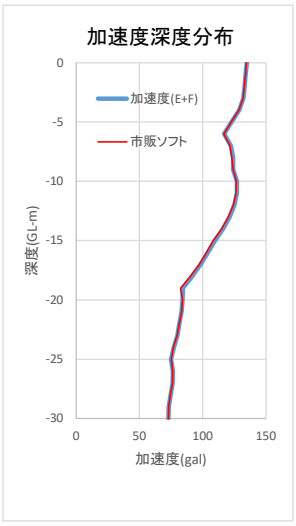


図 22-1　計算例の地層構成



(a)応答加速度波形



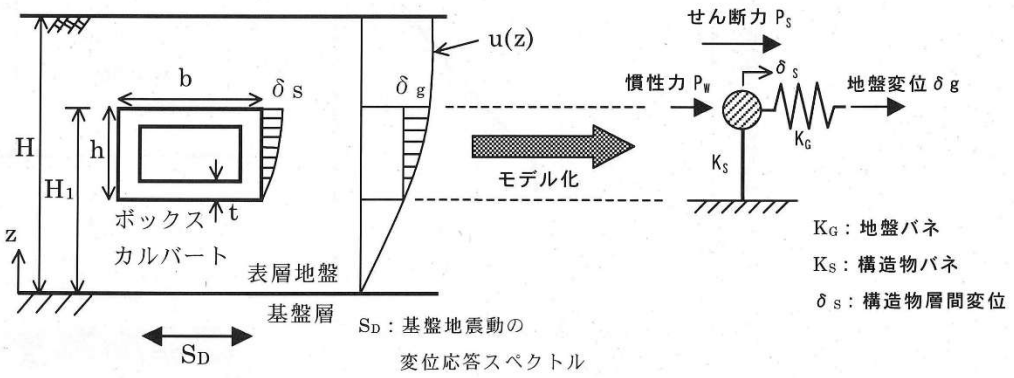
(b)加速度深度分布

図 22-2 計算結果

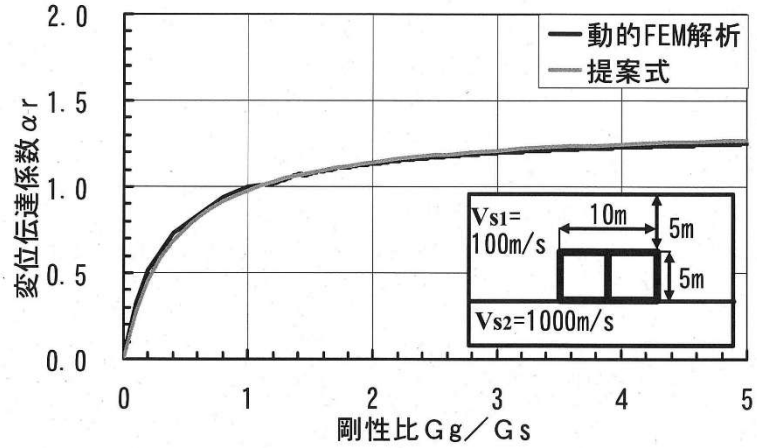
23. 地下構造物の耐震問題への理論解の活用

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 αr と剛性比 Gg/Gs の関係

図 23-1 地下構造物の地震時変形量の推定

【記号】

αr：自由地盤の変形量 δg に対する構造物の地震時層間変形量 δs の比（$=\delta s/\delta g$）

Gg：地盤のせん断剛性

Gs：構造物の等価せん断剛性

24. 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。

・Mφ計算（矩形）プログラム

矩形 RC 断面の Mφ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ー（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･k^2+b･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。

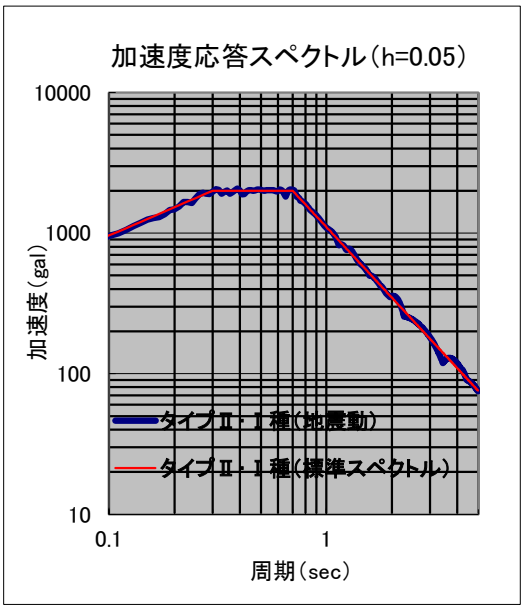


図 24-1 計算例

表 24-1 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

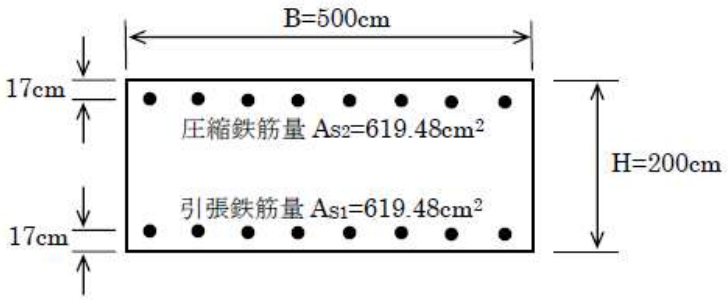


図 24-2 M-φ計算で仮定した RC 断面

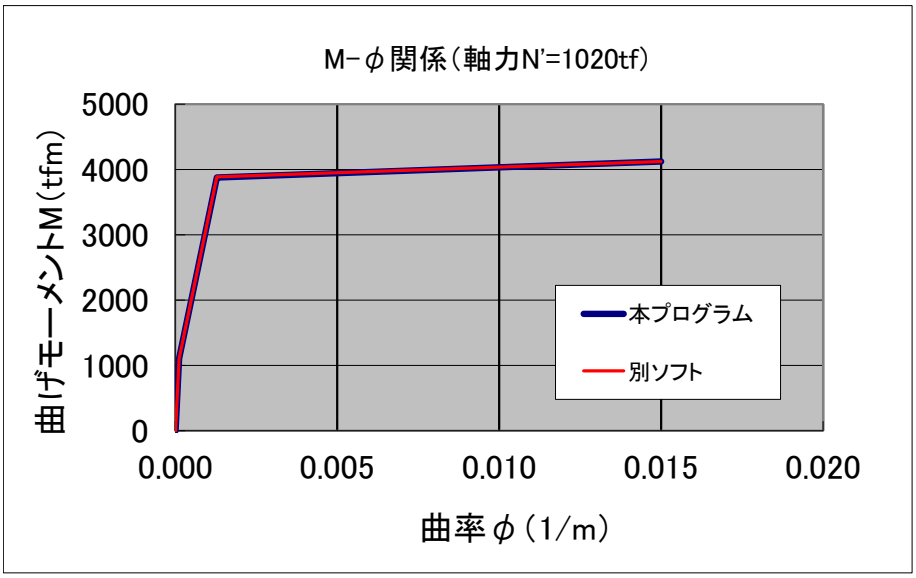


図 24-3 M-φ関係の計算結果

25. 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/m3）	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

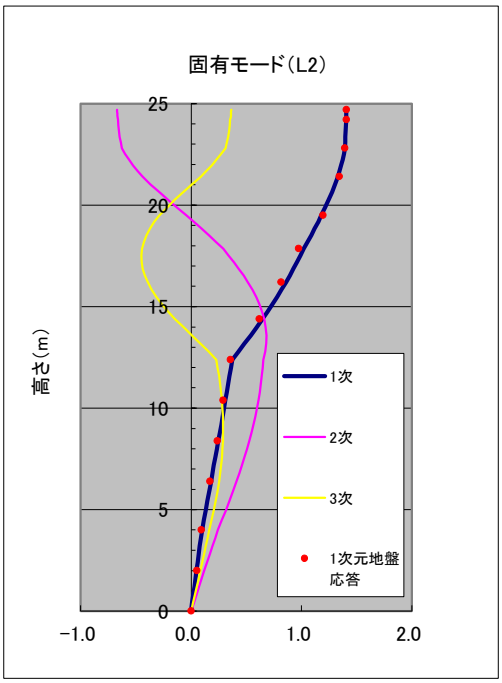


図 25-1 地盤の固有震動モードの計算例

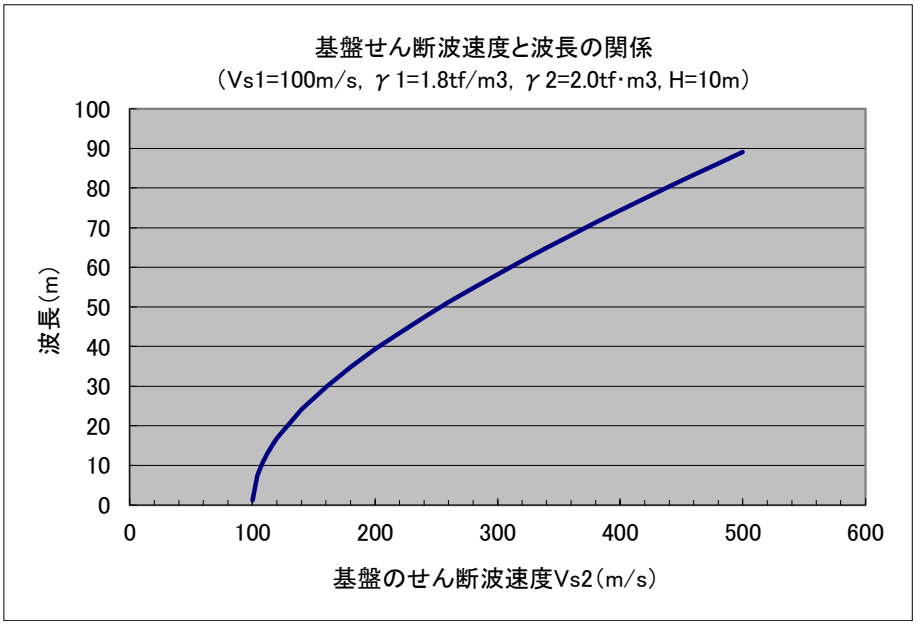


図 25-2 地盤変位波長の計算例

表 25-1 地盤の固有震動数の計算例

層数	20		
	単位体積重量（tf/m3）	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

26. 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（「32.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「23.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 26-1 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(cm2)	下筋断面積 Asd(cm2)	鉄筋ヤング係数 Es(kN/mm2)	コンクリートヤング係数 Ec(kN/mm2)	鉄筋降伏強度 fy(N/mm2)	コンクリート強度 fc(N/mm2)	鉄筋降伏強度（せん断補強筋） fwy(N/mm2)	鉄筋断面積（せん断補強筋） Aw(cm2)	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 26-2 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 σs (N/mm2)	コンクリート応力 σc (N/mm2)	せん断応力 τ (N/mm2)	圧縮鉄筋応力 σs2 (N/mm2)	中立軸位置 xs (cm)	j		超過率 σs/σsa	超過率 σc/σca
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

27. 分割法による RC 断面の Mφ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 Mφ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、Mφ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 Mφ限界値の算出が可能です。

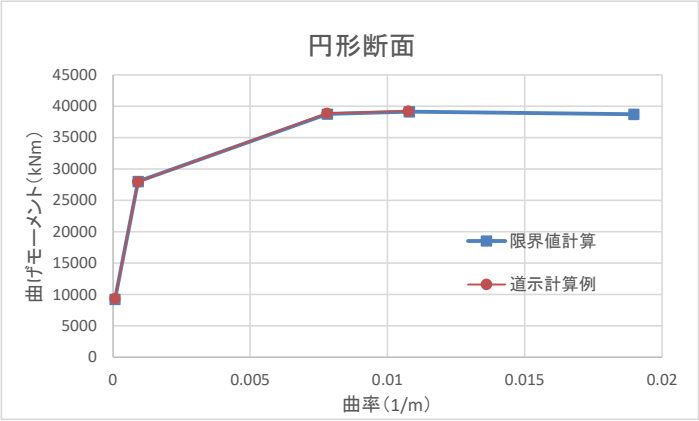


図 27-1 道示Ⅴに基づく M-φ限界値の計算例（円形断面）

・分割法による矩形 RC 断面の Mφ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、Mφ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 Mφ限界値の算出が可能です。

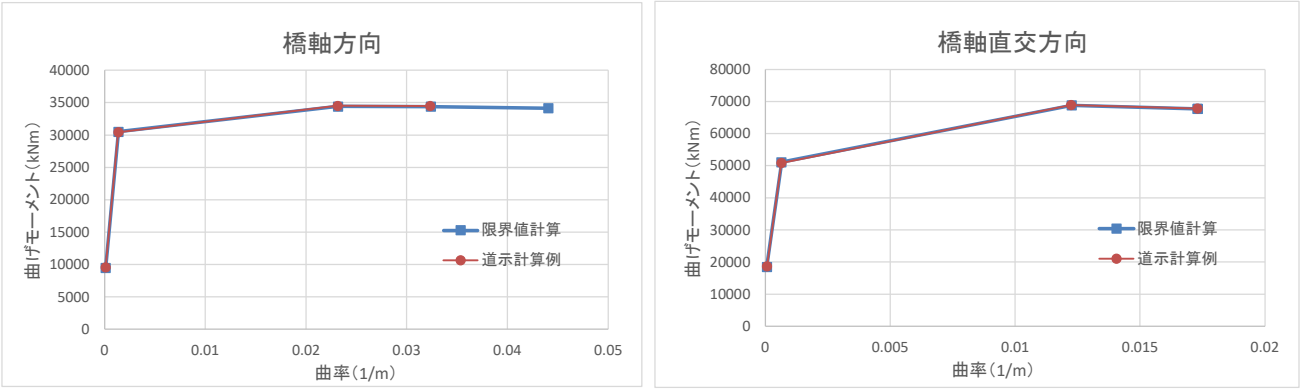


図 27-2 道示Ⅴに基づく M-φ限界値の計算例（矩形断面）

・分割法による RC 断面の Mφ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、Mφ関係を算出しています。本項の Mφ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 Mφ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 Mφ計算のエクセルマクロに貼り付けることにより、Mφ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、Mφ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 Mφ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。

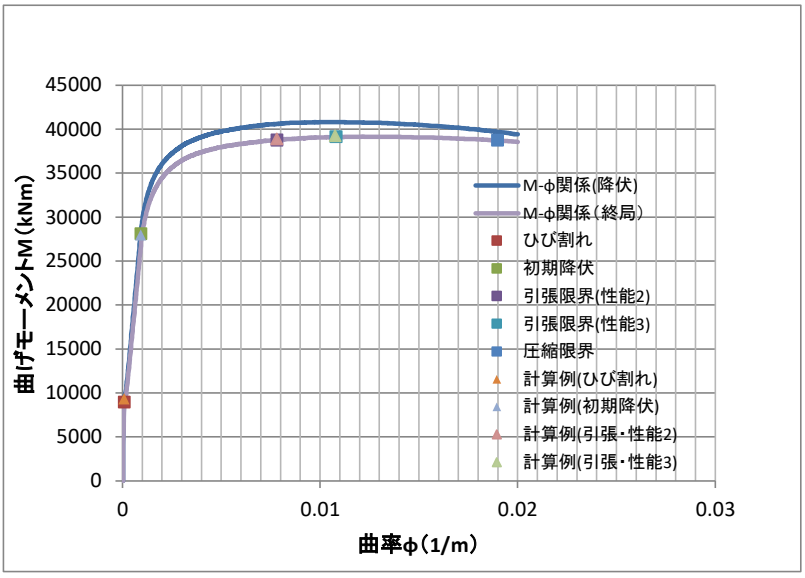


図 27-3 道示Ⅴに基づく M-φ関係の計算例（円形断面）

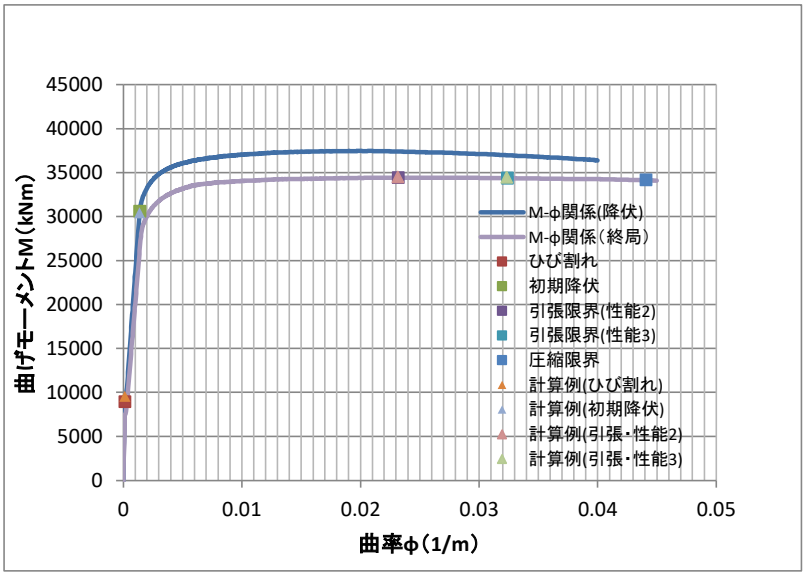


図 27-4 道示Ⅴに基づく M-φ関係の計算例（矩形断面・橋軸方向）

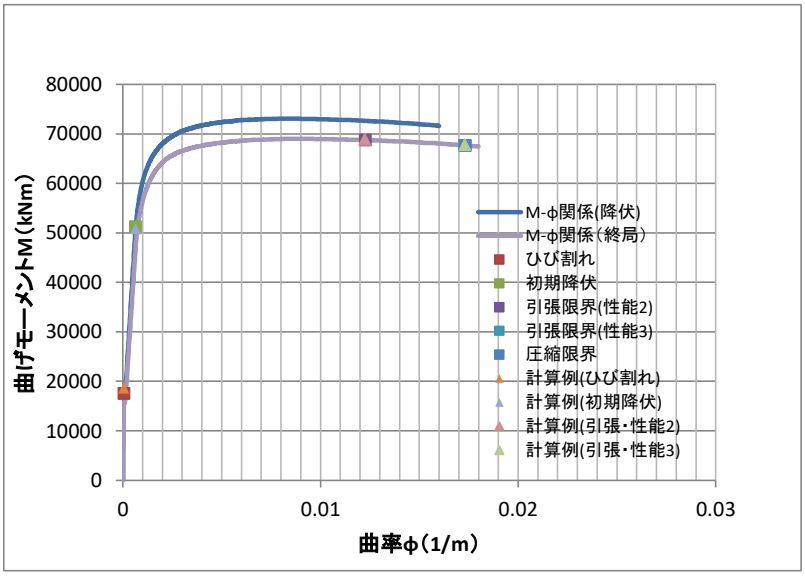


図 27-5 道示Ⅴに基づく M-φ関係の計算例（矩形断面・橋軸直角方向）

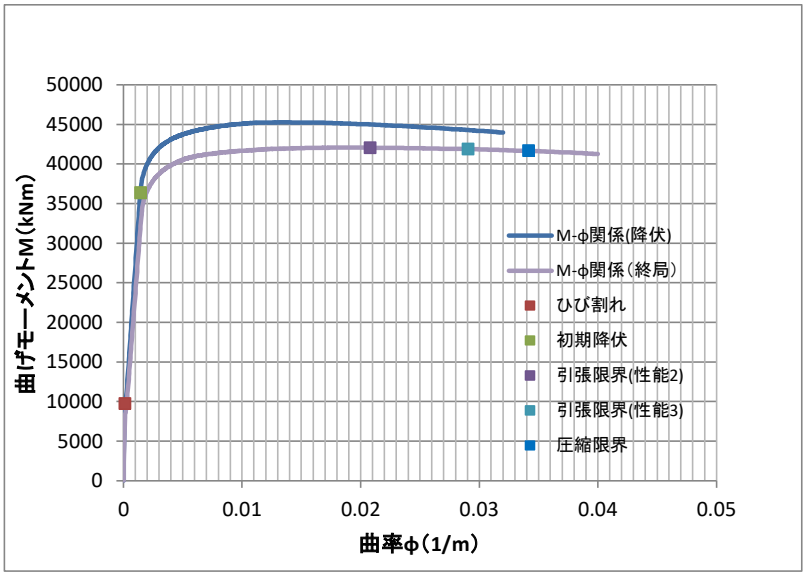


図 27-6 道示Ⅴに基づく M-φ関係の計算例（小判形断面・短辺方向）

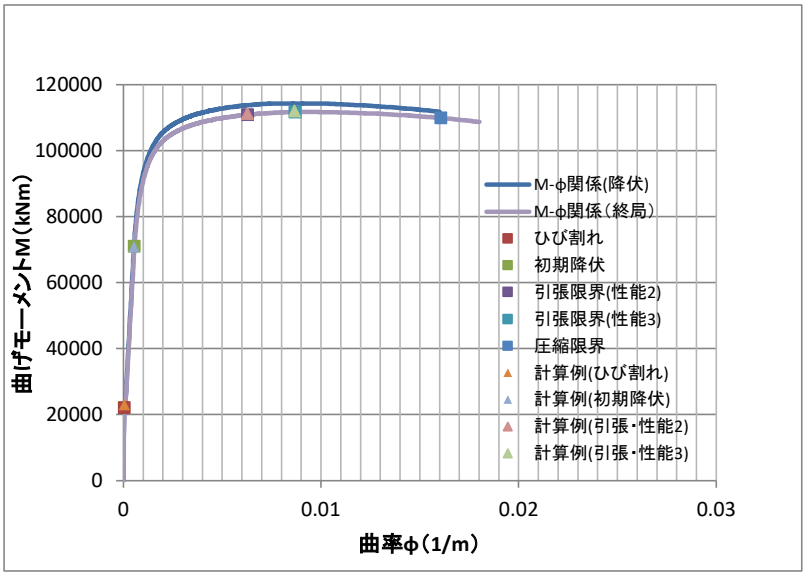


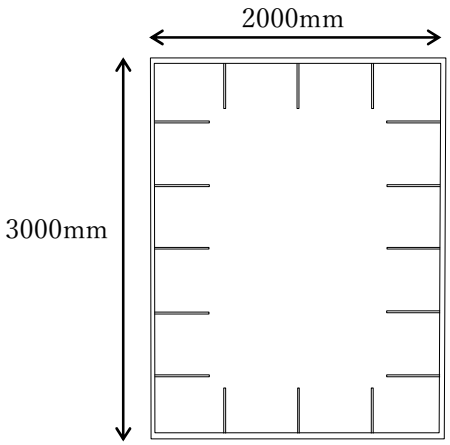
図 27-7 道示Ⅴに基づく M-φ関係の計算例（小判形断面・長辺方向）

28. 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。

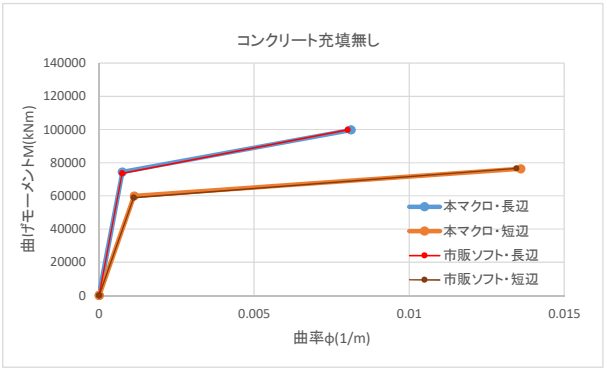
補剛材（リブ）の影響を考慮するために、鋼断面の外形の大きさを変更せず補剛材を含む断面積と断面 2 次モーメントが同一になるようなフランジ厚およびウェブ厚を算出し、その補正した断面厚さに対して Mφ関係を算定しています。

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。

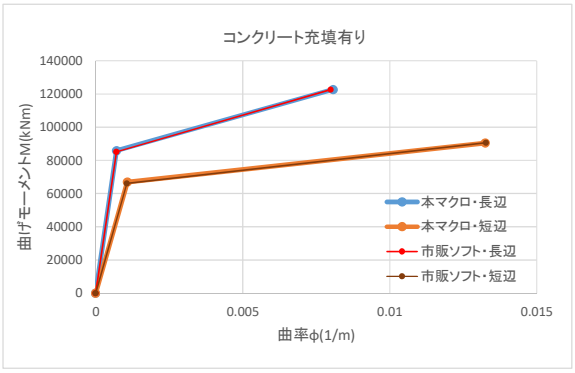


フランジ厚：35mm
ウェブ厚：35mm
リブ幅：8mm
リブ高さ：350mm
鋼材：SS400
軸力：4800kN(充填なし)、6000kN(充填あり)

図 28-1　計算対象とした矩形鋼断面



(a)コンクリート充填なし



(b)コンクリート充填あり

図 28-2　M-φ限界値の計算例

29. 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 29-1 断面諸元の入力（円形断面）

						配筋1段目			配筋2段目			配筋3段目					
ケース	断面半径 rd(m)	鉄筋段数 nst	半径分分割数	コンクリート強度fck (N/mm2)	鉄筋仕様	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	曲げモーメント M(kNm)	軸力 N'(kN)	せん断力 S(kN)
1	1	1	100	24	SD345	0.85	10	D22	0	0	0	0	0	0	2000	1000	0

表 29-2 照査結果（円形断面）

ケース	M (kNm)	N (kN)	S (kN)	鉄筋応力σs (N/mm2)	コンクリート応力σc (N/mm2)	せん断応力τ (N/mm2)	圧縮鉄筋応力σs2 (N/mm2)	中立軸位置x (cm)	鉄筋許容応力度σsa (N/mm2)	コンクリート圧縮許容応力度σca (N/mm2)	コンクリートせん断許容応力度τa (N/mm2)	超過率σs/σsa	判定	超過率σc/σca	判定	超過率τ/τa	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 29-3 断面諸元の入力（矩形断面）

						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					
ケース	全高h (cm)	分割数 ndv	幅b (cm)	コンクリート強度fck (N/mm2)	鉄筋仕様	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	曲げモーメント M(kNm)	軸力 N'(kN)	せん断力 S(kN)
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 29-4 照査結果（矩形断面）

ケース	M (kNm)	N (kN)	S (kN)	鉄筋応力σs (N/mm2)	コンクリート応力σc (N/mm2)	せん断応力τ (N/mm2)	圧縮鉄筋応力σs2 (N/mm2)	中立軸位置x (cm)	鉄筋許容応力度σsa (N/mm2)	コンクリート圧縮許容応力度σca (N/mm2)	コンクリートせん断許容応力度τa (N/mm2)	超過率σs/σsa	判定	超過率σc/σca	判定	超過率τ/τa	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

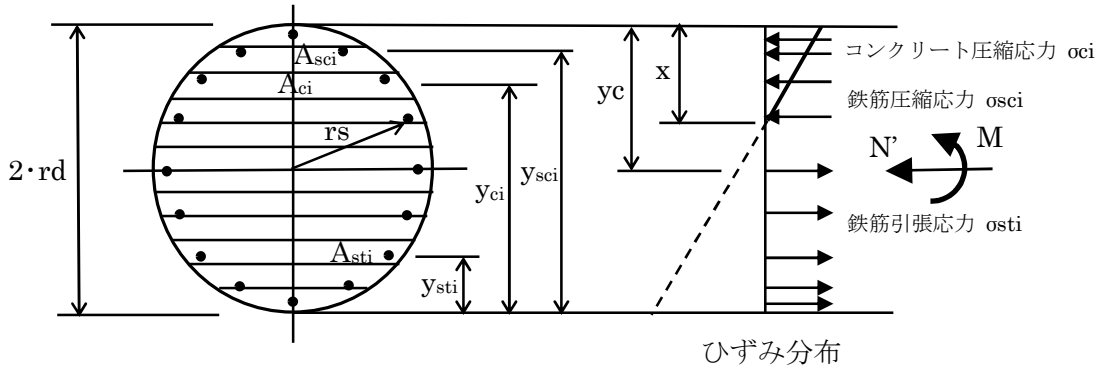


図 29-1 応力度計算の断面仮定

30. 修正物部・岡部法による主働土圧係数算出

道路橋示方書Ⅴ・耐震設計編 H24 に従い、L2 地震時の主働土圧係数算出を修正物部・岡部法によって行うエクセルマクロです。標準的な諸元や地盤強度に対しては主働土圧係数の算出式が同示方書に掲載されており、通常の設計計算にはそれらを使用することで対処可能です。地表面や壁体面が傾斜している場合など、示方書の算出式を直接に適用できないときには、修正物部・岡部法に従って主働土圧係数を計算する必要があります。

本資料は、計算したい最大の水平震度を指定し、水平震度と主働土圧係数の関係を算出するマクロになります。

表 30-1 計算条件の入力

ケース数	46									
ケースNo.	地表面の傾斜角 α（°）	壁体の傾斜角 θ（°）	壁体の摩擦角（ϕpeak対応）δ_{EP}（°）	壁体の摩擦角（ϕres対応）δ_{ER}（°）	内部摩擦角（ピーク強度）ϕpeak（°）	内部摩擦角（残留強度）ϕres（°）				備考
1	0	0	0	0	50	35				道示、土+コン、砂及び砂れき
2	0	0	0	0	45	30				道示、土+コン、砂質土
3	0	0	25	17.5	50	35				道示、土+土、砂及び砂れき
4	0	0	22.5	15	45	30				道示、土+土、砂質土
5	0	1	0	0	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=0、θ=1°
6	0	2	0	0	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=0、θ=2°
7	0	3	0	0	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=0、θ=3°
8	0	5	0	0	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=0、θ=5°
9	0	10	0	0	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=0、θ=10°
10	0	1	25	17.5	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=ϕ/2、θ=1°
11	0	2	25	17.5	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=ϕ/2、θ=2°
12	0	3	25	17.5	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=ϕ/2 、θ=3°
13	0	5	25	17.5	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=ϕ/2、θ=5°
14	0	10	25	17.5	50	35				道示、砂及び砂れき、δ_E=ϕ/2、θ=10°
15	0	1	0	0	45	30				道示、砂質土、δ_E=0、θ=1°
16	0	2	0	0	45	30				道示、砂質土、δ_E=0、θ=2°
17	0	3	0	0	45	30				道示、砂質土、δ_E=0、θ=3°
18	0	5	0	0	45	30				道示、砂質土、δ_E=0、θ=5°
19	0	10	0	0	45	30				道示、砂質土、δ_E=0、θ=10°
20	0	1	22.5	15	45	30				道示、砂質土、δ_E=ϕ/2、θ=1°
21	0	2	22.5	15	45	30				道示、砂質土、δ_E=ϕ/2、θ=2°
22	0	3	22.5	15	45	30				道示、砂質土、δ_E=ϕ/2、θ=3°
23	0	5	22.5	15	45	30				道示、砂質土、δ_E=ϕ/2、θ=5°
24	0	10	22.5	15	45	30				道示、砂質土、δ_E=ϕ/2、θ=10°

表 30-2 主働土圧係数の計算結果

ケースNo.	地表面傾斜角 α（°）	壁体傾斜角 θ（°）	壁体摩擦角 δ EP(°)	壁体摩擦角 δ ER(°)	内部摩擦角 ϕpeak(°)	内部摩擦角 ϕres(°)	主働破壊時震度(1次)	主働滑り角(1次)	a0(1次)	a1(1次)	主働破壊時震度(2次)	主働滑り角(2次)	a0(2次)	a1(2次)
1	0	0	0	0	50	35	0.0000	70.0000	0.2549	0.3640	0.5337	47.9517	0.2074	0.9019
2	0	0	0	0	45	30	0.0000	67.5000	0.3178	0.4142	0.5397	42.6766	0.2440	1.0846
3	0	0	25	17.5	50	35	0.0000	68.2828	0.2271	0.3460	0.4254	50.0402	0.2176	0.8099
4	0	0	22.5	15	45	30	0.0000	65.4497	0.2827	0.3971	0.4430	44.8765	0.2578	0.9707
5	0	1	0	0	50	35	0.0000	70.5000	0.2618	0.3671	0.5328	48.2616	0.2135	0.9060
6	0	2	0	0	50	35	0.0000	71.0000	0.2689	0.3701	0.5318	48.5723	0.2198	0.9103
7	0	3	0	0	50	35	0.0000	71.5000	0.2761	0.3731	0.5305	48.8942	0.2262	0.9144
8	0	5	0	0	50	35	0.0000	72.5000	0.2907	0.3789	0.5273	49.5575	0.2396	0.9225
9	0	10	0	0	50	35	0.0000	75.0000	0.3298	0.3930	0.5159	51.3344	0.2763	0.9428
10	0	1	25	17.5	50	35	0.0000	68.6926	0.2342	0.3513	0.4243	50.3101	0.2241	0.8186
11	0	2	25	17.5	50	35	0.0000	69.0995	0.2415	0.3566	0.4229	50.5894	0.2308	0.8271
12	0	3	25	17.5	50	35	0.0000	69.5032	0.2488	0.3620	0.4214	50.8680	0.2376	0.8357
13	0	5	25	17.5	50	35	0.0000	70.3010	0.2640	0.3729	0.4178	51.4389	0.2518	0.8533
14	0	10	25	17.5	50	35	0.0000	72.2334	0.3050	0.4013	0.4061	52.9083	0.2908	0.8998
15	0	1	0	0	45	30	0.0000	68.0000	0.3249	0.4159	0.5379	43.0018	0.2507	1.0855
16	0	2	0	0	45	30	0.0000	68.5000	0.3321	0.4175	0.5359	43.3357	0.2575	1.0864
17	0	3	0	0	45	30	0.0000	69.0000	0.3394	0.4191	0.5338	43.6724	0.2645	1.0875
18	0	5	0	0	45	30	0.0000	70.0000	0.3543	0.4222	0.5290	44.3731	0.2792	1.0894
19	0	10	0	0	45	30	0.0000	72.5000	0.3938	0.4298	0.5144	46.2378	0.3190	1.0953
20	0	1	22.5	15	45	30	0.0000	65.8553	0.2900	0.4013	0.4413	45.1542	0.2646	0.9770
21	0	2	22.5	15	45	30	0.0000	66.2580	0.2974	0.4055	0.4394	45.4383	0.2716	0.9833
22	0	3	22.5	15	45	30	0.0000	66.6577	0.3050	0.4098	0.4373	45.7290	0.2787	0.9896
23	0	5	22.5	15	45	30	0.0000	67.4481	0.3204	0.4184	0.4328	46.3128	0.2935	1.0028
24	0	10	22.5	15	45	30	0.0000	69.3650	0.3620	0.4413	0.4192	47.8246	0.3339	1.0385

（注）主働土圧係数 K_{EA}=a0+a1×kh（kh：水平震度）

31. 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。

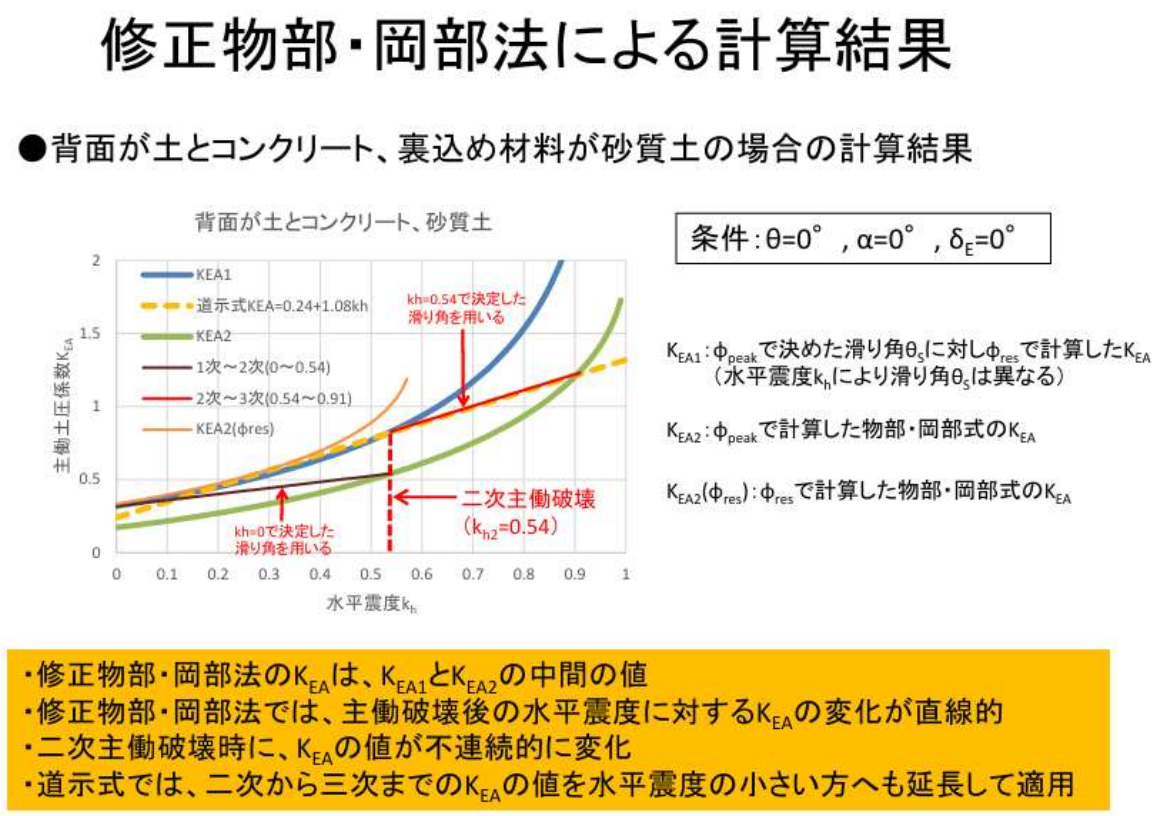


図 31-1 修正物部・岡部法による主働土圧係数の計算

32. シェル要素の L2 断面力照査用マクロ「RC 断面照査-シェル」

RC 構造物をシェル要素および梁要素モデル化した際の応答断面力を使用し、L1 対応の許容応力度照査および L2 対応の耐力照査を行うエクセルマクロです。

応答断面力の算出は、Midas-Civil（マイダスアイティジャパン）による線形解析を想定しており、Midas が掃き出す断面力 CSV ファイルを本マクロで読み込み、照査を実施しています。許容応力度照査での RC 断面弾性計算、および耐力照査における終局曲げモーメントの計算は、いずれも複鉄筋断面を仮定しています。複鉄筋 RC 断面での終局曲げモーメントの算出では、圧縮鉄筋が未降伏の場合、圧縮鉄筋が圧縮降伏する場合、および圧縮鉄筋が引張降伏する場合の 3 種のモードを考慮しています。

なお、シェル要素に対しては、面外の曲げ・せん断に対する照査を実施しており、面内せん断およびねじりについては考慮外となります。

表 32-1 断面諸元の入力

データ数	100																	
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(cm2)	下筋断面積 Asd(cm2)	鉄筋ヤング係数 Es (kN/mm2)	コンクリートヤング係数 Ec (kN/mm2)	鉄筋降伏強度 fy (N/mm2)	コンクリート強度 fc (N/mm2)	鉄筋降伏強度（せん断補強筋） fwy (N/mm2)	鉄筋断面積（せん断補強筋） Aw (cm2)	鉄筋ピッチ（せん断補強筋） Ss (cm)	鉄筋許容応力度 σsa (N/mm2)	鉄筋許容応力度（せん断補強筋） σsaw (N/mm2)	コンクリート許容応力度 σca (N/mm2)	コンクリートせん断許容応力度 τa (N/mm2)
頂版	1	20	100	6	14	8.447	8.447	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
頂版	2	20	100	4.7	15.3	8.447	8.447	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-1000	1	100	100	10	90	13.24	13.24	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-700	1	70	100	10	60	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-600	1	60	100	10	50	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-500	1	50	100	10	40	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-1000	2	100	100	11.6	88.4	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-700	2	70	100	11.9	58.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-600	2	60	100	11.9	48.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-500	2	50	100	11.9	38.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-380	1	38	100	11.45	26.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-484	1	48.4	100	11.45	36.95	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-560	1	56	100	11.45	44.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-664	1	66.4	100	11.45	54.95	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-768	1	76.8	100	11.45	65.35	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-887	1	88.7	100	11.45	77.25	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-1021	1	102.1	100	11.45	90.65	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
側壁1-1500上	1	150	100	11.45	138.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42

表 32-2 曲げ耐力による照査結果

データ数	3444															
通し番号	要素番号	部位	IND	M(kN・m)	N(kN)	V(kN)	終局モーメントMu(kN・m)	終局曲率 φu(1/m)	終局時中立軸位置 xu(cm)	釣合軸力 Nb(kN)	釣合モーメント Mb(kN・m)	釣合時中立軸位置 xb(cm)	modu	modb	超過率 M/Mu	判定
1	1496	頂版	1	-4.04	20.44	-4.21	-41.1	-0.0798	4.385	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.098	OK
2	1497	頂版	1	-2.36	32.51	-8.74	-41.7	-0.0791	4.426	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.057	OK
3	1498	頂版	1	0.15	36.94	-6.18	41.9	0.0788	4.441	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.004	OK
4	1499	頂版	1	1.82	37.11	-3.90	41.9	0.0788	4.442	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.043	OK
5	1500	頂版	1	2.65	35.65	-1.85	41.8	0.0789	4.437	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.063	OK
6	1501	頂版	1	2.64	33.03	0.08	41.7	0.0790	4.428	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.063	OK
7	1502	頂版	1	1.83	29.10	1.76	41.5	0.0793	4.414	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.044	OK
8	1503	頂版	1	0.61	25.54	1.97	41.3	0.0795	4.402	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.015	OK
9	1504	頂版	1	0.12	-0.81	-0.40	40.1	0.0811	4.314	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.003	OK
10	1505	頂版	1	0.45	-1.39	-0.91	40.0	0.0812	4.312	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.011	OK
11	1506	頂版	1	1.02	0.63	-1.27	40.1	0.0810	4.319	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.025	OK
12	1507	頂版	1	1.64	5.01	-1.09	40.3	0.0808	4.333	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.041	OK
13	1508	頂版	1	2.05	10.33	-0.49	40.6	0.0804	4.351	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.050	OK
14	1509	頂版	1	2.08	15.65	0.40	40.9	0.0801	4.369	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.051	OK
15	1510	頂版	1	1.54	20.63	1.86	41.1	0.0798	4.386	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.038	OK
16	1511	頂版	1	-0.05	24.98	4.53	-41.3	-0.0795	4.400	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.001	OK
17	1512	頂版	1	-7.24	53.66	-18.05	-42.7	-0.0778	4.499	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.169	OK
18	1513	頂版	1	-2.44	54.32	-12.20	-42.7	-0.0778	4.501	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.057	OK
19	1514	頂版	1	0.57	54.21	-9.59	42.7	0.0778	4.501	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.013	OK
20	1515	頂版	1	2.56	52.61	-7.09	42.7	0.0779	4.495	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.060	OK

表 32-3 NG 要素の抽出

曲げNG 要素数 14

通し番号	要素番号	部位	IND	M/Mu	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vy,Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	1281	側壁1-1500上	2	1.001	258.5	-40.3	170.8	0.351	曲げ
2	2111	側壁2-1000	2	1.234	187.1	61.4	72.8	0.251	曲げ
3	2112	側壁2-1000	2	1.218	185.1	62.1	122.3	0.252	曲げ
4	2113	側壁2-1000	2	1.191	177.5	55.9	139.4	0.248	曲げ
5	2114	側壁2-1000	2	1.122	173.0	66.7	218.8	0.255	曲げ
6	2120	側壁2-1000	2	1.651	301.3	126.4	102.7	0.3	曲げ
7	2121	側壁2-1000	2	1.930	288.1	56.3	155.1	0.3	曲げ
8	2122	側壁2-1000	2	2.096	284.5	28.0	172.2	0.3	曲げ
9	2123	側壁2-1000	2	2.054	286.5	35.9	269.5	0.3	曲げ
10	2129	側壁2-1000	2	1.938	368.8	143.0	133.7	0.3	曲げ
11	2130	側壁2-1000	2	2.440	361.0	53.6	175.0	0.3	曲げ
12	2131	側壁2-1000	2	2.959	366.1	3.1	186.3	0.2	曲げ
13	2132	側壁2-1000	2	3.046	390.4	12.4	291.1	0.2	曲げ
14	1046	側壁3-364	2	1.214	-84.5	27.7	-23.3	0.2	曲げ

せん断NG 要素数 22

通し番号	要素番号	部位	IND	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vy,Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	292	底版-1000	1	1.339	1.132	-123.4	-177.3	-173.5	0.814	曲げ
2	293	底版-1000	1	1.588	1.342	-129.5	-189.7	-199.1	0.829	曲げ
3	294	底版-1000	1	1.263	1.068	-98.7	-165.4	-168.8	0.802	曲げ
4	1681	底版-1000	1	1.308	1.106	149.4	-54.3	-224.0	0.711	曲げ
5	1684	底版-1000	1	1.227	1.037	159.5	-12.3	-227.6	0.686	曲げ
6	1703	底版-1000	1	1.493	1.262	-121.8	-47.4	-259.2	0.706	曲げ
7	331	底版-1000	2	1.681	1.751	92.9	50.7	304.8	0.338	曲げ
8	346	底版-1000	2	1.343	1.399	158.9	75.3	247.9	0.342	曲げ
9	347	底版-1000	2	2.087	2.174	69.6	105.0	401.3	0.340	曲げ
10	860	側壁3-364	1	99.000	99.000	2.1	-229.5	136.2	1003.879	せん断
11	868	側壁3-364	1	3.228	4.185	1.6	-76.3	141.0	0.055	曲げ
12	892	側壁3-364	1	1.681	2.180	0.1	52.4	146.3	0.042	曲げ
13	1046	側壁3-364	1	1.005	1.303	-5.6	416.7	-152.7	0.046	曲げ
14	1066	側壁3-364	1	1.873	2.429	-3.2	-132.3	37.4	0.090	曲げ
15	1090	側壁3-364	1	1.274	1.652	-0.6	112.6	-127.1	0.043	曲げ
16	1118	側壁3-364	1	1.338	1.735	0.2	174.3	-151.0	0.043	曲げ
17	865	頂版柱400×500	3	1.026	0.697	54.5	87.4	79.3	1.446	せん断
18	885	頂版柱400×500	3	1.129	0.762	59.7	88.7	86.7	1.448	せん断
19	865	頂版柱400×500	5	0.970	0.673	0.0	84.0	76.5	1.439	せん断
20	885	頂版柱400×500	5	1.062	0.738	0.0	85.2	83.9	1.442	せん断
21	895	頂版柱400×300	3	1.138	0.733	35.2	18.3	51.1	1.433	せん断
22	895	頂版柱400×300	5	1.098	0.709	0.0	16.2	49.4	1.427	せん断

曲げせん断NG 要素数 9

通し番号	要素番号	部位	IND	M/Mu	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vy,Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	1278	側壁1-1500上	2	1.249	1.321	1.164	284.2	-82.5	170.7	0.382	曲げ
2	1279	側壁1-1500上	2	1.326	1.453	1.279	283.5	-101.3	170.6	0.400	曲げ
3	1280	側壁1-1500上	2	1.217	1.351	1.190	274.9	-84.8	172.6	0.384	曲げ
4	1342	側壁1-1500下	2	1.228	1.274	1.122	393.5	46.2	237.4	0.352	曲げ
5	1343	側壁1-1500下	2	1.776	1.881	1.657	398.1	-87.0	237.8	0.386	曲げ
6	1344	側壁1-1500下	2	2.087	2.389	2.104	393.2	-136.1	228.4	0.446	曲げ
7	1345	側壁1-1500下	2	2.026	2.305	2.031	381.3	-136.4	220.0	0.446	曲げ
8	1346	側壁1-1500下	2	1.710	1.833	1.615	364.6	-102.1	214.5	0.401	曲げ
9	1347	側壁1-1500下	2	1.304	1.360	1.198	338.3	-38.5	213.3	0.350	曲げ

33. 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。

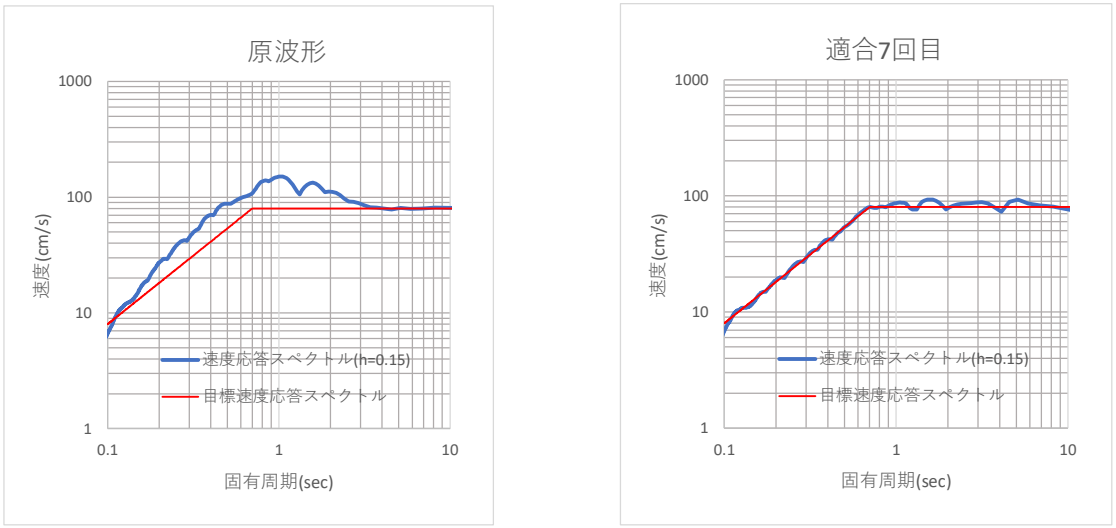


図 33-1 目標応答スペクトルとの適合

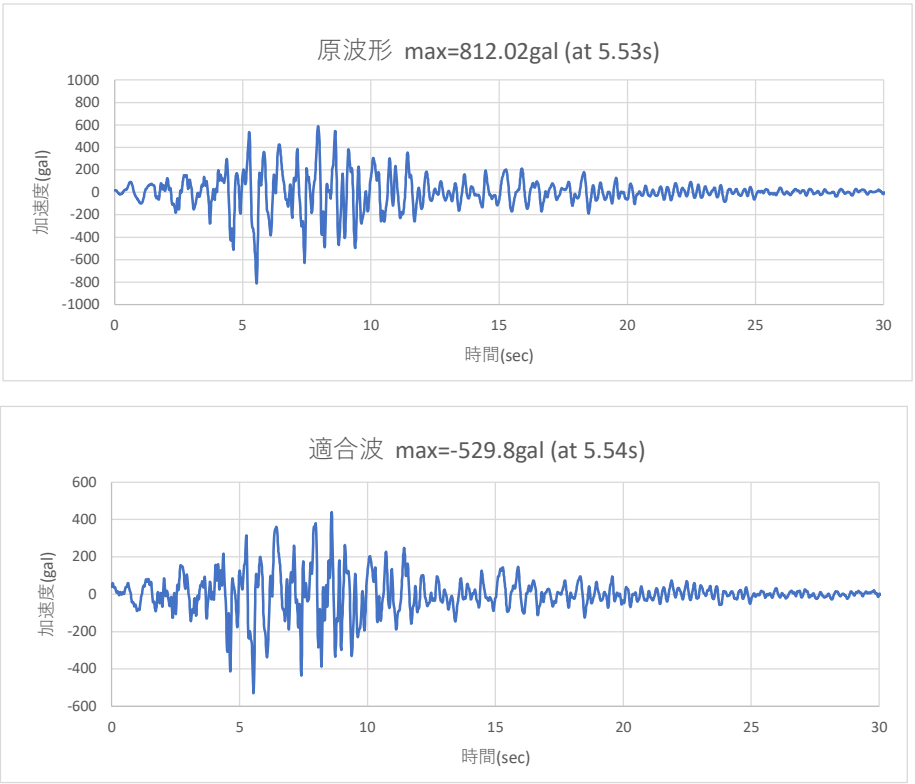


図 33-2 原波形と適合波形