

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐震性照査では、静的あるいは動的な構造解析により発生断面力を算出し、それに基づき許容応力度照査あるいは部材耐力照査などの RC 断面照査（梁部材を仮定）を行って構造物の安全性を検討します。RC 断面照査は、市販のソフトで対応が可能ですが、設計指針の違いに細かく対応したい場合や、構造解析ソフトと照査方法の整合性を図りたい場合など、エクセルマクロで作成しておく都合が良い場合があります。そこで、近年耐震診断の頻度が多い上水道施設の RC 断面照査を主たる目的として、許容応力度照査および部材耐力照査のプログラムを、エクセルのマクロ（VBA）を用いて作成しました。

許容応力度照査（応力度計算）の計算手法およびせん断耐力の算定に関しては、後述の参考資料を参照してください。また、降伏および終局時の曲げ耐力については、別途掲載している資料「降伏時および終局時曲げモーメントの誘導」を参照してください。

エクセルシートを添付しているので、自由に使っていただいて結構ですが、計算結果の妥当性判断については使用者に帰するものとします。また、プログラムソースについても公開しています。

## 2. 計算の流れ

上水道施設の耐震指針（「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 社団法人 日本水道協会」）に示される照査方法に基づいて RC 断面照査を行うマクロであり、許容応力度照査、曲げ耐力照査、せん断耐力照査および破壊モード判定が可能です。以下の手順で照査を実施しています。

- (1) 構造解析によって算出された発生断面力の読み込み。ここでは、Engineer's Studio（フォーラムエイト作成、以下 ES と表記）のワード出力形式でのアウトプットを用いています。
- (2) 部材ごとの断面諸元（部材厚や鉄筋量など）の読み込み。
- (3) 軸力を考慮した曲げ耐力を算出して L2 時の発生断面力と比較し曲げ照査を実施。
- (4) L1 時の発生断面力から発生応力度を算出。
- (5) せん断耐力を算出して L2 時の発生断面力と比較し、せん断照査および破壊モード判定を実施。

## 3. マクロの内容

### (1) 発生断面力の読み込みフォーマット

発生断面力の読み込みは、ES の出力フォーマット（ワード出力）をエクセルシートに貼り付け、その値をエクセルマクロに取り込むことで実施しています。

### (2) L1 照査時の応力度算定

具体的算出方法は誘導した解析式を用いた計算ですが、計算仮定やモデル仮定は 2002 年版コンクリート標準示方書（土木学会）に準拠しています。

### (3) L2 照査時の曲げ耐力の算定

具体的算出方法は誘導した解析式を用いた計算ですが、計算仮定やモデル仮定は 2002 年版下水道施設耐震計算例（社団法人 日本下水道協会）と同じです。

#### (4) L2 照査時のせん断耐力の算定

せん断耐力式は、2009 年版水道施設耐震工法指針・設計事例集の算定式に従っています。この算定式は 2007 年版コンクリート標準示方書（土木学会）と同じです。

#### (5) 安全係数

安全係数は 2009 年度版水道施設耐震工法指針・設計事例集に従い、曲げ照査に関しては全て 1.0、せん断照査に関しては、コンクリート材料係数 1.3、コンクリート部材係数 1.3 および鉄筋部材係数 1.1 としています。（後に示す計算例では、曲げ照査時のコンクリート材料係数を 1.3 としています）

#### (6) 破壊モード判定

2002 年版下水道施設耐震計算例（社団法人 日本下水道協会）と同じ方法を用いています。せん断スパンは発生せん断力に対する発生曲げモーメントの比で求め、曲げ終局時のせん断力は鉄筋降伏強度を 2 割増しとして算出しています。

### 4. 入力項目および使用時の留意点

#### (1) 入力シートの説明

エクセルのシートが全部で 8 つあります。すなわち、「断面諸元」、「応力度計算」、「耐力計算(軸力考慮)」、「せん断耐力」、「耐力計算(軸力無し)」、「耐力計算(破壊モード)」、「発生断面力 L2」および「発生断面力 L1」です。このうち、「断面諸元」、「発生断面力 L2」および「発生断面力 L1」にデータを作成することで、L1 および L2 の照査が実施できます。「断面諸元」には、部位、要素位置、部材厚、部材幅などの諸元や材料定数を入力します。また、「発生断面力 L2」と「発生断面力 L1」には、構造解析で得られた発生断面力の出力結果を貼り付けます。

#### (2) 「断面諸元」の入力項目

部位、要素位置（要素番号）、部材厚、部材幅、上筋位置、下筋位置、上筋断面積、下筋断面積、鉄筋ヤング係数、コンクリートヤング係数、鉄筋降伏強度（主鉄筋）、コンクリート強度、せん断補強筋強度、せん断補強筋面積、せん断補強筋ピッチ

#### (3) 「発生断面力 L2」および「発生断面力 L1」の入力

本マクロでは、ES から出力される断面力一覧表（ワード出力）を使用しています。この一覧表には、以下の情報、着目点、荷重ケース、N'（軸力）、Syp（せん断力）、Szp（面外方向せん断力）、T（ねじりモーメント）、Myp（面外方向曲げモーメント）、Mzp（曲げモーメント）がストアされています。2次元問題ではこのうち、N'、Syp および Mzp を照査に用いています。なお、ES 以外の構造解析ソフトを用いる場合には、断面力の入力フォーマットを変更しそれに伴いマクロの修正が必要となります。

#### (4) 使用時の留意点

・断面力の着目点には、「○○○:x=□□□」の形で要素番号と座標を入力しています。○○○が要素番号を、□□□が梁要素 i 端からの距離を表していますが、この要素番号と各シートの要素番号を対比させて、断面力を埋め込んでいます。

・断面力の荷重ケースには、予めユーザーが、L2 照査で用いる断面力には「L2 地震時」を、L1 照査で用いる断面力には「L1 地震時」と指定しておく必要があります。（マクロ内でそのラベルを用いてデータを抽出しています）

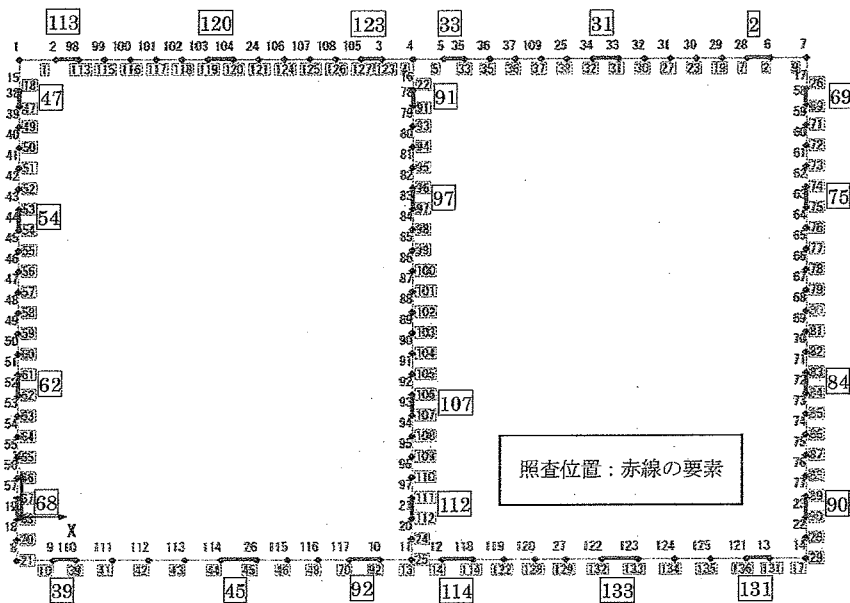
- ・ 8つのエクセルシートの全てにおいて、最初の一行目に、データ数を入力する必要があります。
- ・ 「断面諸元」データの「上筋」は正曲げが作用するときの圧縮側の鉄筋を、「下筋」は正曲げが作用するときの引張側の鉄筋を表しています。
- ・ 「断面諸元」データの「部位」と「IND」は、「応力度計算」から「耐力計算（破壊モード）」までのシートの「部位」と「IND」に対応します。「部位」と「IND」が同一の断面諸元データを用いて応力度や耐力が計算されます。INDには要素番号と同じ数字を入れておきます。

## 5. 計算例の説明

計算例は2連の箱型ラーメン構造で、下図に示すように部材の複数個所位置での照査を行っています。また、各要素の両端における断面力のうち大きい方の断面力を用いて照査を行っています。

計算例では、L1時の断面力に対して許容応力度照査を、L2時の断面力に対して曲げ耐力およびせん断耐力に関する照査を実施しています。

また、ESの照査機能を用いて、L1時の発生応力度、L2時の曲げおよびせん断耐力を求めています。本マクロを使用して求めた結果と良い一致を示しています。



付図 計算例で使用したモデル

エクセルシート「断面諸元」のデータ例

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> )	鉄筋断面種 (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

エクセルシート「応力度計算」のデータ例（許容応力度照査）

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 $\sigma_s$ (N/mm2)	コンクリート 応力 $\sigma_c$ (N/mm2)	せん断 応力 $\tau$ (N/mm2)	圧縮鉄筋 応力 $\sigma_{s2}$ (N/mm2)	中立軸 位置 xs (cm)	超過率 $\sigma_s/\sigma_{sa}$	超過率 $\sigma_c/\sigma_{ca}$	ESの $\sigma_s$	ESの $\sigma_c$	ESの $\tau$	比( $\sigma_s$ )	比( $\sigma_c$ )	比( $\tau$ )
1	113	頂版	113	37.612	-28.409	-10.324	127.366	4.265	-0.0449	5.737	7.690	0.472	0.406	128.2	4.28	0.045	0.993	1.00	1.00
2	120	頂版	120	15.014	-25.565	-24.544	55.742	1.704	-0.1067	0.813	7.230	0.206	0.162	55.9	1.71	0.107	0.997	1.00	1.00
3	123	頂版	123	-36.347	-22.342	-38.290	100.376	3.902	-0.1664	10.165	8.471	0.372	0.372	101.3	3.95	0.166	0.991	0.99	1.00
4	33	頂版	33	-23.791	-21.615	23.765	67.909	2.550	0.1033	5.942	8.287	0.252	0.243	68.3	2.58	0.103	0.994	0.99	1.00
5	31	頂版	31	2.874	-18.392	10.019	15.128	0.312	0.0435	-1.346	5.437	0.056	0.030	15.3	0.32	0.044	0.989	0.98	0.99
6	2	頂版	2	5.028	-16.022	-6.571	21.008	0.565	-0.0286	-0.501	6.609	0.078	0.054	21.3	0.57	0.029	0.986	0.99	0.98
7	47	左側壁	47	31.636	-2.515	-29.80	156.344	3.481	-0.1064	0.078	7.010	0.579	0.332	157	3.49	0.106	0.996	1.00	1.00
8	54	左側壁	54	-8.528	9.276	-27.86	15.391	0.662	-0.0995	3.604	10.985	0.057	0.063	15.6	0.67	0.1	0.987	0.99	0.99
9	62	左側壁	62	-34.463	22.996	-6.43	66.057	2.668	-0.0230	13.506	10.565	0.245	0.254	66.8	2.7	0.023	0.989	0.99	1.00
10	68	左側壁	68	-27.889	31.571	20.67	49.882	2.165	0.0738	11.884	11.040	0.185	0.206	50.6	2.19	0.074	0.986	0.99	1.00
11	91	中壁	91	16.658	70.5	-1.07	29.022	1.891	-0.0050	13.683	10.626	0.107	0.180	29.2	1.9	0.005	0.994	1.00	1.00
12	97	中壁	97	14.667	76.288	-5.24	22.321	1.666	-0.0244	12.889	11.357	0.083	0.159	22.4	1.67	0.024	0.996	1.00	1.02
13	107	中壁	107	-10.318	90.841	-19.80	8.140	1.165	-0.0921	10.919	14.666	0.030	0.111	8.15	1.17	0.092	0.999	1.00	1.00
14	112	中壁	112	-33.921	97.29	-28.79	70.321	3.840	-0.1339	24.876	9.681	0.260	0.366	70.8	3.86	0.134	0.993	0.99	1.00
15	69	右側壁	69	5.544	13.51	14.46	8.075	0.432	0.0516	2.843	12.468	0.030	0.041	8.19	0.438	0.052	0.986	0.99	0.99
16	75	右側壁	75	16.678	22.085	8.63	29.010	1.296	0.0308	7.331	11.236	0.107	0.123	29.4	1.31	0.031	0.987	0.99	0.99
17	84	右側壁	84	2.764	35.805	-16.15	-0.302	0.213	-0.0576	2.469	0.000	-0.001	0.020	0	0.22	0.058	-	0.97	0.99
18	90	右側壁	90	-3.131	48.454	-5.37	-0.529	0.253	-0.0192	2.984	0.000	-0.002	0.024	0	0.22	0.019	-	1.15	1.01
19	39	底版	39	6.215	-23.011	-30.98	17.295	0.307	-0.0938	-0.038	6.943	0.064	0.029	17.9	0.35	0.094	0.966	0.88	1.00
20	45	底版	45	-19.841	-25.839	4.76	50.816	1.168	0.0144	3.024	8.460	0.188	0.111	51.2	1.18	0.014	0.993	0.99	1.03
21	92	底版	92	-7.971	-27.963	27.72	49.780	0.658	0.0840	-2.786	5.459	0.184	0.063	51.3	0.68	0.084	0.970	0.97	1.00
22	114	底版	114	38.913	1.878	-61.65	68.016	2.267	-0.1867	12.367	11.000	0.252	0.216	69.9	2.38	0.187	0.973	0.95	1.00
23	133	底版	133	-33.622	-1.482	-20.98	72.517	2.017	-0.0635	8.451	9.714	0.269	0.192	73.2	2.04	0.064	0.991	0.99	0.99
24	131	底版	131	-27.092	-3.293	38.23	59.349	1.627	0.1158	6.636	9.615	0.220	0.155	59.6	1.64	0.116	0.996	0.99	1.00

エクセルシート「耐力計算（軸力考慮）」のデータ例（曲げ耐力に対する照査）

データ数 24

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 $\phi_u$ (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 $\phi_y$ (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 $\phi_c$ (1/m)	ひび割れ時 中立軸位置 xc (cm)	約合軸力 Nb (kN)	約合モー メント Mb (kN・m)	約合時中 立軸位置 xb (cm)	mody	modu	modb	超過率 M/Mu	判定	ESのMu	比(Mu) (XLS/ES)
1	113	頂版	113	48.148	-26.877	-14.116	99.1	0.05575	6.278	88.2	0.010237	8.591	24.4	0.0004519	14.109	1644.7	209.4	16.181	1	1	2	0.486	OK	99.1	1.000
2	120	頂版	120	19.861	-20.904	-28.336	99.6	0.05560	6.295	88.7	0.010265	8.631	24.7	0.0004573	14.297	1644.7	209.4	16.181	1	1	2	0.199	OK	99.6	1.000
3	123	頂版	123	-37.962	-14.134	-42.082	-116.8	-0.05468	6.403	-108.8	-0.011137	9.756	-25.1	-0.0004736	14.839	1203.1	195.0	16.181	1	1	2	0.325	OK	116.8	1.000
4	33	頂版	33	-8.986	-14.03	10.409	-116.8	-0.05465	6.404	-108.8	-0.011137	9.756	-25.1	-0.0004737	14.842	1203.1	195.0	16.181	1	1	2	0.077	OK	116.9	0.999
5	31	頂版	31	-5.016	-7.261	-5.707	-117.7	-0.05292	6.614	-108.6	-0.010919	9.491	-25.6	-0.0004745	14.868	1437.3	211.8	16.181	1	1	2	0.043	OK	117.8	0.999
6	2	頂版	2	-24.245	-1.288	-19.927	-118.2	-0.05275	6.636	-109.2	-0.010951	9.531	-25.9	-0.0004800	15.040	1437.3	211.8	16.181	1	1	2	0.205	OK	118.3	0.999
7	47	左側壁	47	43.579	-6.307	-29.792	77.3	0.06399	5.470	59.0	0.007065	7.123	37.3	0.0004151	17.052	2526.6	281.4	19.698	1	1	2	0.564	OK	77.3	1.000
8	54	左側壁	54	7.371	3.769	-31.228	78.4	0.06371	5.493	60.2	0.007098	7.220	37.9	0.0004215	17.328	2526.6	281.4	19.698	1	1	2	0.094	OK	78.4	0.999
9	62	左側壁	62	-37.789	19.204	-17.732	-152.4	-0.05757	6.080	-140.5	-0.008432	10.507	-40.0	-0.0004524	18.266	1850.8	293.4	19.698	1	1	2	0.248	OK	152.4	1.000
10	68	左側壁	68	-49.085	30.137	-5.501	-153.7	-0.05709	6.130	-141.8	-0.008471	10.588	-40.7	-0.0004524	18.534	1850.8	293.4	19.698	1	1	2	0.319	OK	153.7	1.000
11	91	中壁	91	37.404	60.935	-3.674	118.1	0.06293	5.582	108.8	0.011489	8.662	26.8	0.0006152	14.891	1680.6	212.7	15.126	1	1	2	0.322	OK	116.1	1.000
12	97	中壁	97	31.978	66.723	-12.429	116.6	0.06274	5.578	109.1	0.011511	8.687	27.0	0.0006212	15.008	1680.6	212.7	15.126	1	1	2	0.322	OK	116.6	1.000
13	107	中壁	107	-23.609	81.276	-43.001	-117.8	-0.06228	5.620	-110.7	-0.011590	8.773	-27.7	-0.0006364	15.293	1680.6	212.7	15.126	1	1	2	0.200	OK	117.8	1.000
14	112	中壁	112	-74.555	87.726	-61.874	-118.3	-0.06207	5.639	-111.0	-0.011612	8.798	-28.0	-0.0006431	15.416	1680.6	212.7	15.126	1	1	2	0.630	OK	118.4	0.999
15	69	右側壁	69	31.147	25.366	-1.628	153.2	0.05730	6.108	141.3	0.008455	10.555	40.4	0.0004493	18.418	1850.8	293.4	19.698	1	1	2	0.203	OK	153.2	1.000
16	75	右側壁	75	27.014	33.727	-13.064	154.1	0.05694	6.147	142.5	0.008487	10.620	40.9	0.0004548	18.620	1850.8	293.4	19.698	1	1	2	0.175	OK	154.1	1.000
17	84	右側壁	84	-29.55	50.877	-32.062	-83.5	-0.06244	5.606	-66.3	-0.007261	7.687	-40.6	-0.0004518	18.510	2526.6	281.4	19.698	1	1	2	0.354	OK	83.5	1.000
18	90	右側壁	90	-21.669	59.452	25.725	-84.4	-0.06221	5.626	-67.4	-0.007290	7.767	-41.1	-0.0004573	18.708	2526.6	281.4	19.698	1	1	2	0.257	OK	84.5	0.999
19	39	底版	39	40.983	2.172	-32.776	179.7	0.05562	6.293	165.0	0.006709	11.016	51.5	0.0003753	20.148	2475.8	404.3	23.216	1	1	2	0.228	OK	179.7	1.001
20	45	底版	45	-13.877	-7.618	-21.459	-151.0	-0.05780	6.055	-135.1	-0.006400	9.952	-50.4	-0.0003671	19.704	2883.2	399.7	23.216	1	1	2	0.092	OK	151.1	1.000
21	92	底版	92	-25.287	-13.597	-5.183	-87.8	-0.06419	5.453	-68.8	-0.005793	7.540	-48.4	-0.0003603	19.321	2917.5	362.9	23.216	1	1	2	0.288	OK	87.8	1.001
22	114	底版	114	57.902	51.161	-78.265	186.1	0.05619	6.229	172.4	0.006950	11.776	54.3	0.0004043	21.572	2241.6	378.3	23.216	1	1	2	0.311	OK	186.9	1.001
23	133	底版	133	-38.625	41.903	-29.598	-157.7	-0.05654	6.191	-142.3	-0.006518	10.370	-53.7	-0.0003914	20.969	2683.2	399.7	23.216	1	1	2	0.245	OK	157.7	1.000
24	131	底版	131	-32.758	36.982	47.51	-157.0	-0.05666	6.177	-141.7	-0.006507	10.332	-53.4	-0.0003890	20.850	2683.2	399.7	23.216	1	1	2	0.209	OK	157	1.000

(注)この「耐力計算（軸力考慮）」のデータは、曲げ耐力算出時のコンクリート材料係数  $gmc=1.3$  として計算されたものである

エクセルシート「せん断耐力」のデータ例（せん断耐力に対する照査）

データ数 24

通し番号	要素番号	部位	IND	M (kN・m)	N (kN)	V (kN)	有効高補正 $\beta_d$	引張鉄筋補正 $\beta_p$	軸力補正 $\beta_n$	コンクリート負 担分 $V_c$ (kN)	補強筋負担 分 $V_s$ (kN)	せん断耐力 $V_y$ (kN)	せん断スパン $a$ (m)	$V_{mu}$ (kN)	$V_{mu}/V_y$	超過率 $V/V_y$	判定	ESの $V_y$	比( $V_y$ ) (XLS/ES)
1	113	頂版	113	48.148	-26.877	-14.116	1.444	0.8840	0.9503	103.0	11.3	114.4	3.411	35.6	0.311	0.123	OK	114.2	1.001
2	120	頂版	120	19.861	-20.904	-28.336	1.444	0.8840	0.9613	104.2	11.3	115.5	0.701	173.9	1.505	0.245	OK	115.5	1.000
3	123	頂版	123	-37.962	-14.134	-42.082	1.444	0.9449	0.9772	113.3	11.3	124.6	0.902	157.8	1.267	0.338	OK	124.5	1.001
4	33	頂版	33	-8.986	-14.03	10.409	1.444	0.9449	0.9774	113.3	11.3	124.6	0.863	164.9	1.324	0.084	OK	124.5	1.001
5	31	頂版	31	-5.016	-7.261	-5.707	1.444	0.9449	0.9884	114.5	11.3	125.9	0.879	163.4	1.298	0.045	OK	125.8	1.001
6	2	頂版	2	-24.245	-1.288	-19.927	1.444	0.9449	0.9979	115.6	11.3	127.0	1.217	118.4	0.933	0.157	OK	127	1.000
7	47	左側壁	47	43.579	-6.307	-29.792	1.375	0.6571	0.9827	96.6	13.8	110.4	1.463	64.7	0.586	0.270	OK	110.7	0.997
8	54	左側壁	54	7.371	3.769	-31.228	1.375	0.6571	1.0052	98.8	13.8	112.6	0.236	405.8	3.603	0.277	OK	112.7	0.999
9	62	左側壁	62	-37.789	19.204	-17.732	1.375	0.8849	1.0143	134.3	13.8	148.1	2.131	86.6	0.585	0.120	OK	148.1	1.000
10	68	左側壁	68	-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	149.1	1.000
11	91	中壁	91	37.404	60.935	-3.674	1.469	0.9664	1.0472	124.2	10.6	134.8	10.181	13.8	0.102	0.027	OK	135.2	0.997
12	97	中壁	97	31.978	66.723	-12.429	1.469	0.9664	1.0517	124.7	10.6	135.3	2.573	54.6	0.404	0.092	OK	135.8	0.997
13	107	中壁	107	-23.609	81.276	-43.001	1.469	0.9664	1.0629	126.1	10.6	136.7	0.549	258.2	1.890	0.315	OK	137.1	0.997
14	112	中壁	112	-74.555	87.726	-61.874	1.469	0.9664	1.0529	124.9	10.6	135.5	1.205	118.1	0.872	0.457	OK	135.5	1.000
15	69	右側壁	69	31.147	25.366	-1.628	1.375	0.8849	1.0189	134.9	13.8	148.7	19.132	9.7	0.065	0.011	OK	149	0.998
16	75	右側壁	75	27.014	33.727	-13.064	1.375	0.8849	1.0251	135.7	13.8	149.5	2.068	90.1	0.602	0.087	OK	149.9	0.998
17	84	右側壁	84	-29.55	50.877	-32.062	1.375	0.6571	1.0697	105.2	13.8	119.0	0.922	109.5	0.921	0.269	OK	119.4	0.996
18	90	右側壁	90	-21.669	59.452	25.725	1.375	0.6571	1.0814	106.3	13.8	120.1	0.842	121.0	1.007	0.214	OK	121.3	0.990
19	39	底版	39	40.983	2.172	-32.776	1.319	0.8378	1.0015	142.0	16.2	158.3	1.250	174.3	1.101	0.207	OK	158.3	1.000
20	45	底版	45	-13.877	-7.616	-21.459	1.319	0.7838	0.9873	131.0	16.2	147.2	0.647	283.9	1.929	0.146	OK	147.6	0.997
21	92	底版	92	-25.287	-13.597	-5.183	1.319	0.6221	0.9626	101.4	16.2	117.6	4.879	22.1	0.188	0.044	OK	117.8	0.998
22	114	底版	114	57.902	51.161	-78.265	1.319	0.8378	1.0368	147.0	16.2	163.3	0.740	302.7	1.854	0.479	NG	163.5	0.999
23	133	底版	133	-38.625	41.903	-29.598	1.319	0.7838	1.0350	137.3	16.2	153.5	1.305	145.9	0.950	0.193	OK	154	0.997
24	131	底版	131	-32.758	36.982	47.51	1.319	0.7838	1.0309	136.8	16.2	153.0	0.689	275.1	1.798	0.310	OK	153.1	0.999

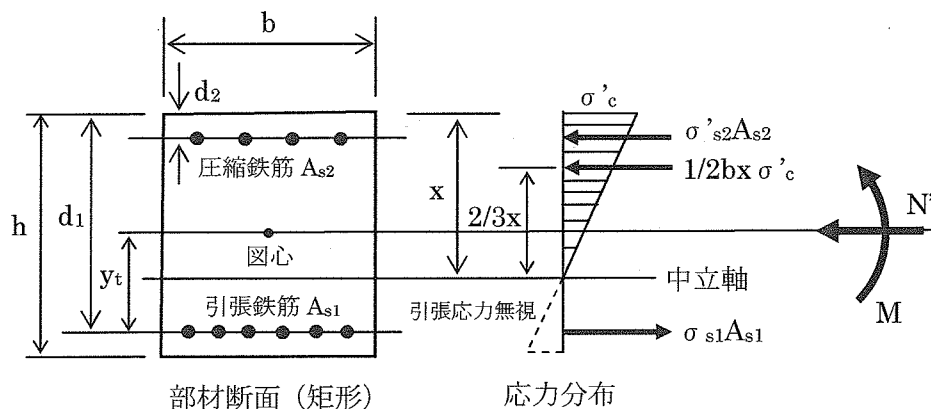
エクセルシート「発生断面力 L1」のデータ例

データ数	48						
着目点	荷重ケース	N'(kN)	Syp(kN)	Szp(kN)	T(kNm)	Myp(kNm)	Mzp(kNm)
113:x=0.000	L1地震時	-28.409	-7.954	0.006	0.002	-0.003	37.612
113:x=0.250	L1地震時	-27.935	-10.324	0.006	0.001	-0.001	35.327
120:x=0.000	L1地震時	-25.565	-22.174	0.009	-0.001	0.009	15.014
120:x=0.250	L1地震時	-25.091	-24.544	0.01	-0.002	0.011	9.174
123:x=0.000	L1地震時	-22.721	-36.394	0.012	-0.005	0.025	-28.878
123:x=0.200	L1地震時	-22.342	-38.29	0.013	-0.005	0.028	-36.347
33:x=0.000	L1地震時	-21.615	23.765	-0.006	0.001	0.031	-23.791
33:x=0.200	L1地震時	-21.236	21.869	-0.005	0.001	0.03	-19.228
31:x=0.000	L1地震時	-18.866	10.019	-0.002	-0.002	0.025	0.666
31:x=0.250	L1地震時	-18.392	7.649	-0.002	-0.002	0.025	2.874
2:x=0.000	L1地震時	-16.022	-4.201	0.001	-0.005	0.025	5.028
2:x=0.250	L1地震時	-15.548	-6.571	0.001	-0.006	0.025	3.681
47:x=0.000	L1地震時	-2.515	-29.497	0.011	-0.017	-0.011	31.636
47:x=0.175	L1地震時	-1.014	-29.797	0.012	-0.017	-0.009	26.444
54:x=0.000	L1地震時	7.561	-27.862	0.011	-0.016	0.004	-3.088
54:x=0.200	L1地震時	9.276	-26.44	0.011	-0.016	0.006	-8.528
62:x=0.000	L1地震時	21.281	-6.43	0.005	-0.012	0.02	-33.55
62:x=0.200	L1地震時	22.996	-2.663	0.004	-0.012	0.022	-34.463
68:x=0.000	L1地震時	31.571	15.734	0	-0.008	0.025	-27.889
68:x=0.275	L1地震時	33.929	20.673	-0.002	-0.007	0.025	-22.888
69:x=0.000	L1地震時	12.01	14.46	0.004	0.032	-0.001	3.036
69:x=0.175	L1地震時	13.51	14.16	0.004	0.032	0	5.544
75:x=0.000	L1地震時	20.37	8.632	0.002	0.031	0.004	15.194
75:x=0.200	L1地震時	22.085	6.095	0.002	0.031	0.004	16.678
84:x=0.000	L1地震時	35.805	-16.145	0.149	0.027	0.02	2.764
84:x=0.200	L1地震時	37.52	-9.921	0.252	0.028	0.061	0.187
90:x=0.000	L1地震時	46.095	-1.275	-0.048	0.029	0.282	-2.286
90:x=0.275	L1地震時	48.454	-5.37	-0.391	0.028	0.225	-3.131
39:x=0.000	L1地震時	-23.011	-30.979	0.775	0.04	0.097	6.215
39:x=0.300	L1地震時	-23.506	-25.039	0.481	0.035	0.284	-2.179
45:x=0.000	L1地震時	-25.839	-0.934	-0.234	0.015	0.367	-19.841
45:x=0.350	L1地震時	-26.43	4.763	-0.341	0.01	0.266	-19.174
92:x=0.000	L1地震時	-27.963	20.684	-0.663	-0.005	-0.176	-7.971
92:x=0.350	L1地震時	-28.564	27.723	-0.813	-0.011	-0.433	0.483
114:x=0.000	L1地震時	1.878	-61.648	1.075	0.058	-0.471	38.913
114:x=0.350	L1地震時	1.275	-53.278	0.933	0.05	-0.119	18.787
133:x=0.000	L1地震時	-0.879	-20.976	0.515	0.021	0.787	-28.012
133:x=0.350	L1地震時	-1.482	-10.96	0.34	0.013	0.94	-33.622
131:x=0.000	L1地震時	-3.293	25.344	-0.963	-0.018	0.749	-27.092
131:x=0.300	L1地震時	-3.811	38.226	-1.68	-0.029	0.357	-17.591
91:x=0.000	L1地震時	70.5	-0.962	-0.004	-0.005	0.039	16.658
91:x=0.075	L1地震時	70.996	-1.072	-0.004	-0.005	0.039	16.581
97:x=0.000	L1地震時	76.288	-4.16	-0.004	-0.006	0.038	14.667
97:x=0.200	L1地震時	77.611	-5.242	-0.004	-0.007	0.038	13.728
107:x=0.000	L1地震時	89.518	-18.094	-0.004	-0.013	0.037	-6.529
107:x=0.200	L1地震時	90.841	-19.802	-0.004	-0.014	0.037	-10.318
112:x=0.000	L1地震時	96.133	-27.1	-0.004	-0.017	0.036	-29.031
112:x=0.175	L1地震時	97.29	-28.791	-0.004	-0.018	0.036	-33.921

エクセルシート「発生断面力 L2」のデータ例 (一部)

データ数	192						
着目点	荷重ケース	N'(kN)	Syp(kN)	Szp(kN)	T(kNm)	Myp(kNm)	Mzp(kNm)
113:x=0.000	L2地震時	-26.877	-11.746	0.007	0.002	-0.002	48.148
113:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.575	2.944	0.001	0.002	0.001	8.811
113:x=0.000	積載荷重	0.105	1.824	0	0	0	-0.118
113:x=0.000	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.002	4.524
113:x=0.250	L2地震時	-25.881	-14.116	0.007	0.001	0	44.915
113:x=0.250	死荷重 (St.)	-5.575	1.106	0.001	0.001	0.001	9.317
113:x=0.250	積載荷重	0.105	1.449	0	0	0	0.291
113:x=0.250	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.002	4.439
120:x=0.000	L2地震時	-20.904	-25.966	0.01	-0.001	0.012	19.861
120:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.575	-8.081	0.003	-0.001	0.004	4.958
120:x=0.000	積載荷重	0.105	-0.426	0	0	0	0.931
120:x=0.000	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.002	4.013
120:x=0.250	L2地震時	-19.908	-28.336	0.011	-0.002	0.015	13.072
120:x=0.250	死荷重 (St.)	-5.575	-9.919	0.004	-0.001	0.005	2.708
120:x=0.250	積載荷重	0.105	-0.801	0	0	0	0.777
120:x=0.250	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.002	3.928
123:x=0.000	L2地震時	-14.931	-40.186	0.014	-0.005	0.031	-29.733
123:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.575	-19.106	0.006	-0.003	0.011	-15.424
123:x=0.000	積載荷重	0.105	-2.676	0.001	-0.001	0.001	-1.396
123:x=0.000	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.003	3.498
123:x=0.200	L2地震時	-14.134	-42.082	0.014	-0.005	0.034	-37.962
123:x=0.200	死荷重 (St.)	-5.575	-20.576	0.006	-0.004	0.012	-19.392
123:x=0.200	積載荷重	0.105	-2.976	0.001	-0.001	0.001	-1.961
123:x=0.200	動水圧 (L2)	2.871	-0.341	0	0	0.003	3.429
33:x=0.000	L2地震時	-14.03	10.409	-0.002	-0.003	0.035	-8.986
33:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.136	20.92	-0.005	0.004	0.014	-20.191
33:x=0.000	積載荷重	0.135	3	-0.001	0.001	0.001	-2.017
33:x=0.000	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.006	6.877
33:x=0.200	L2地震時	-13.234	8.513	-0.002	-0.003	0.035	-7.095
33:x=0.200	死荷重 (St.)	-5.136	19.45	-0.005	0.003	0.013	-16.154
33:x=0.200	積載荷重	0.135	2.7	-0.001	0.001	0.001	-1.447
33:x=0.200	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.006	5.313
31:x=0.000	L2地震時	-8.256	-3.337	0.001	-0.006	0.035	-3.885
31:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.136	10.263	-0.002	0.001	0.009	2.408
31:x=0.000	積載荷重	0.135	0.825	0	0	0	0.757
31:x=0.000	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.008	-4.441
31:x=0.250	L2地震時	-7.261	-5.707	0.002	-0.006	0.036	-5.016
31:x=0.250	死荷重 (St.)	-5.136	8.425	-0.002	0.001	0.008	4.744
31:x=0.250	積載荷重	0.135	0.45	0	0	0	0.917
31:x=0.250	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.009	-6.395
2:x=0.000	L2地震時	-2.283	-17.557	0.004	-0.009	0.041	-19.559
2:x=0.000	死荷重 (St.)	-5.136	-0.762	0	-0.001	0.007	9.533
2:x=0.000	積載荷重	0.135	-1.425	0	0	0	0.308
2:x=0.000	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.012	-16.165
2:x=0.250	L2地震時	-1.288	-19.927	0.005	-0.01	0.042	-24.245
2:x=0.250	死荷重 (St.)	-5.136	-2.6	0.001	-0.002	0.007	9.112
2:x=0.250	積載荷重	0.135	-1.8	0	0	0	-0.095
2:x=0.250	動水圧 (L2)	9.482	-7.816	0.002	-0.003	0.012	-18.119

RC 部材断面として、下図に示すような複鉄筋（引張側および圧縮側に鉄筋が配置）の長方形断面を仮定する。



<記号の意味>

- $d_1$  : 有効高（圧縮縁から引張鉄筋中心位置までの距離）
- $d_2$  : 圧縮鉄筋の芯かぶり（圧縮縁から圧縮鉄筋中心位置までの距離）
- $A_{s1}$  : 引張鉄筋断面積
- $A_{s2}$  : 圧縮鉄筋断面積
- $b$  : 部材幅
- $x$  : 圧縮縁から中立軸までの距離
- $\sigma'_c$  : 圧縮縁でのコンクリート圧縮応力
- $\sigma_{s1}$  : 引張鉄筋の応力
- $\sigma'_{s2}$  : 圧縮鉄筋の応力
- $N'$  : 部材断面に作用する軸力（圧縮力を正とする）
- $M$  : 部材断面に作用する曲げモーメント（上縁側に圧縮を発生させる方向を正とする）
- $E_s$  : 鉄筋のヤング係数
- $E_c$  : コンクリートのヤング係数
- $n$  : ヤング係数比（ $=E_s/E_c$ ）

圧縮鉄筋応力  $\sigma'_{s2}$  および引張鉄筋応力  $\sigma_{s1}$  は、コンクリート圧縮応力  $\sigma'_c$  により、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = E_s \frac{\sigma'_c}{E_c} \frac{x - d_2}{x} = n\sigma'_c \frac{x - d_2}{x} \quad (1)$$

$$\sigma_{s1} = E_s \frac{\sigma'_c}{E_c} \frac{d_1 - x}{x} = n\sigma'_c \frac{d_1 - x}{x} \quad (2)$$

RC 断面における軸力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = \frac{1}{2} b \sigma'_c x + A_{s2} \sigma'_{s2} - A_{s1} \sigma_{s1} \quad (3)$$

また、RC 断面における引張鉄筋位置回りのモーメントの釣り合いにより、次式が成立する。

$$M + N'y_t = \frac{1}{2} b x \sigma'_c \left( d_1 - \frac{x}{3} \right) + A_{s2} \sigma'_{s2} (d_1 - d_2) \quad (4)$$

式(1)および(2)を、式(3)および(4)に代入すれば、次式を得る。



$$N' = \frac{bx}{2} \sigma'_c + nA_{S2} \frac{x-d_2}{x} \sigma'_c - nA_{S1} \frac{d_1-x}{x} \sigma'_c \quad (5)$$

$$M + N' y_t = \frac{bx}{2} \sigma'_c \left(d_1 - \frac{x}{3}\right) + nA_{S2} \frac{(x-d_2)}{x} (d_1 - d_2) \sigma'_c \quad (6)$$

したがって、 $(M+N'y_t)/N'$ を計算すれば、 $\sigma'_c$ を消去できる。

$$\frac{M + N' y_t}{N'} = \frac{bx^2(3d_1 - x) + 6nA_{S2}(x-d_2)(d_1 - d_2)}{3bx^2 + 6nA_{S2}(x-d_2) - 6nA_{S1}(d_1 - x)} \quad (7)$$

式(7)を中立軸位置  $x$  に関して整理すれば、次式を得る。

$$bN'x^3 + 3b\{(M + N' y_t) - d_1 N'\}x^2 + 6n\{A_{S1}(M + N' y_t) + A_{S2}(M + N' y_t - (d_1 - d_2)N')\}x - 6n\{A_{S1}(M + N' y_t)d_1 + A_{S2}(M + N' y_t - (d_1 - d_2)N')d_2\} = 0 \quad (8)$$

式(8)の両辺に、 $1/(bd_1^2)$ を乗じれば、次式を得る。

$$d_1 N' \left(\frac{x}{d_1}\right)^3 + 3\{M + N' y_t - d_1 N'\} \left(\frac{x}{d_1}\right)^2 + 6n \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_{S1}}{bd_1} (M + N' y_t) \\ + \frac{A_{S2}}{bd_1} (M + N' y_t - (1 - \frac{d_2}{d_1})d_1 N') \end{array} \right\} \left(\frac{x}{d_1}\right) - 6n \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_{S1}}{bd_1} (M + N' y_t) + \frac{A_{S2}}{bd_1} (M + N' y_t - (1 - \frac{d_2}{d_1})d_1 N') \frac{d_2}{d_1} \end{array} \right\} = 0 \quad (9)$$

ここで、以下のパラメータを定義する。

$$k = \frac{x}{d_1} \quad (\text{中立軸比}), \quad p_1 = \frac{A_{S1}}{bd_1} \quad (\text{引張鉄筋比}), \quad p_2 = \frac{A_{S2}}{bd_1} \quad (\text{圧縮鉄筋比}), \quad \text{および } \gamma = \frac{d_2}{d_1}$$

式(9)が、上記パラメータにより以下のように表すことができる。

$$N' d_1 k^3 + 3\{M + N' y_t - N' d_1\} k^2 + 6n[p_1(M + N' y_t) + p_2\{(M + N' y_t) - (1 - \gamma)N' d_1\}] k - 6n[p_1(M + N' y_t) + p_2\gamma\{(M + N' y_t) - (1 - \gamma)N' d_1\}] = 0 \quad (10)$$

さらに、以下のパラメータを定義する。

$$C = \frac{N' d_1}{M} \quad \text{および} \quad \delta = \frac{y_t}{d_1}$$

式(10)が、次式となる。

$$Ck^3 + 3\{1 - (1 - \delta)C\}k^2 + 6n[(p_1 + p_2) + \{(p_1 + p_2)\delta - p_2(1 - \gamma)\}C]k - 6n[(p_1 + p_2\gamma) + \{(p_1 + p_2\gamma)\delta - p_2\gamma(1 - \gamma)\}C] = 0 \quad (11)$$

式(11)を  $k$  について解けば、中立軸比  $k (=x/d_1)$  を求めることができる。

次に、圧縮縁におけるコンクリート応力  $\sigma'_c$  を求める。

式(6)より、

$$\sigma'_c = \frac{M + N' y_t}{\frac{bx}{2} \left(d_1 - \frac{x}{3}\right) + nA_{S2} \frac{(x-d_2)}{x} (d_1 - d_2)} \quad (12)$$

先に定義したパラメータを用いると、圧縮縁でのコンクリート応力として、次式を得る。

$$\sigma'_c = \frac{6k(\sigma_M + \delta\sigma_N)}{k^2(3-k) + 6np_2(k-\gamma)(1-\gamma)} \quad (13)$$

ここに、 $\sigma_M = \frac{M}{bd_1^2}$ 、 $\sigma_N = \frac{N'}{bd_1}$

また、圧縮鉄筋および引張鉄筋の応力は、式(1)および(2)より、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_c \frac{x-d_2}{x} = n\sigma'_c \frac{k-\gamma}{k} \quad (14)$$

$$\sigma_{s1} = n\sigma'_c \frac{d_1-x}{x} = n\sigma'_c \frac{1-k}{k} \quad (15)$$

なお、中立軸比  $k$  に関する方程式(10)は、吉川弘道著「鉄筋コンクリートの設計 (丸善)」p136 に示される式と一致することが確認できる。以下に示す。

吉川に従い、パラメータ  $\delta$  を定義する。(この  $\delta$  は本資料の式(11)で用いる  $\delta$  と定義が異なる)

$$\delta = \frac{e-y_c}{d_1} \quad (e = M/N' \text{ , } y_c = d_1 - y_t)$$

ここで、式(10)より、

$$k^3 + \frac{3(M + N'y_t - N'd_1)}{N'd_1} k^2 + 6n \left[ \frac{p_1(M + N'y_t)}{N'd_1} + \frac{p_2\{(M + N'y_t) - (1-\gamma)N'd_1\}}{N'd_1} \right] k - 6n \left[ \frac{p_1(M + N'y_t)}{N'd_1} + \frac{p_2\gamma\{(M + N'y_t) - (1-\gamma)N'd_1\}}{N'd_1} \right] = 0$$

$$\frac{M + N'y_t - N'd_1}{N'd_1} = \frac{M/N' + y_t - d_1}{d_1} = \frac{e - y_c}{d_1} = \delta$$

$$\frac{M + N'y_t}{N'd_1} = \frac{M/N' + y_t}{d_1} = \frac{e + d_1 - y_c}{d_1} = 1 + \delta$$

$$\frac{M + N'y_t - (1-\gamma)N'd_1}{N'd_1} = \frac{M + N'y_t}{N'd_1} - (1-\gamma) = 1 + \delta - 1 + \gamma = \delta + \gamma$$

以上より、

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

L2 地震動に対するせん断照査では、以下に示すように、構造解析によって算出される発生せん断力（応答せん断力）が、せん断耐力を上回らないことを確認する。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

ここに、 $V_d$ ：設計せん断力（発生せん断力）

$V_{yd}$ ：設計せん断耐力

$\gamma_i$ ：構造物係数（=1.0）

なお、上記のせん断耐力  $V_{yd}$  については、以下により算出する。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 $V_{cd}$  はせん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力で、コンクリートで負担するせん断力を表すものである。また、 $V_{sd}$  はせん断補強鋼材が受け持つせん断力である。すなわち、コンクリート部材のせん断耐力が、コンクリート負担分とせん断補強鋼材負担分の和として表されることを示している。

(1) せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力  $V_{cd}$

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

上式のせん断耐力式は、コンクリート強度に依存するせん断強度  $f_{vcd}$  にせん断断面積  $b_w d$  を乗じて耐力に換算し、さらに有効高、引張鉄筋比および軸力に関する補正をして求められたものである。それぞれの補正係数は、以下に示される。

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{ただし } f_{vcd} \leq 0.72 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$f'_{cd}$ ：コンクリートの設計圧縮強度（ $\text{N/mm}^2$ ）

（ $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$ ,  $f'_{ck}$ ：設計基準強度,  $\gamma_c$ ：コンクリート材料係数（=1.3））

$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$ （ $d$ : mm）ただし  $\beta_d \geq 1.5$  となる場合は 1.5 とする

$d$ ：有効高さ（mm）

$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$  　　ただし  $\beta_p \geq 1.5$  となる場合は 1.5 とする

$$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

$A_s$ ：引張側鋼材の断面積（ $\text{mm}^2$ ）

$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud}$ （ $N'_d \geq 0$ ）ただし  $\beta_n \geq 2$  となる場合は 2 とする

$= 1 + 4M_0 / M_{ud}$ （ $N'_d \leq 0$ ）ただし  $\beta_n \leq 0$  となる場合は 0 とする

$N'_d$ ：設計軸方向圧縮力

$M_{ud}$ ：軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

$M_0$ ：設計曲げモーメント  $M_d$  に対する引張縁において、軸方向力によって発生す

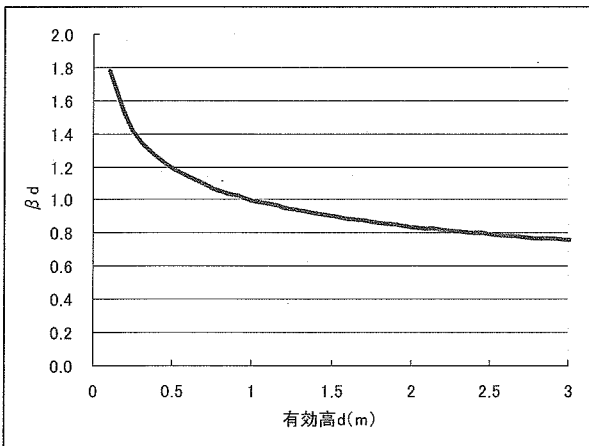
る応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント

（矩形断面では  $M_0 = N'_d \cdot h / 6$ ,  $h$ ：部材の全高）

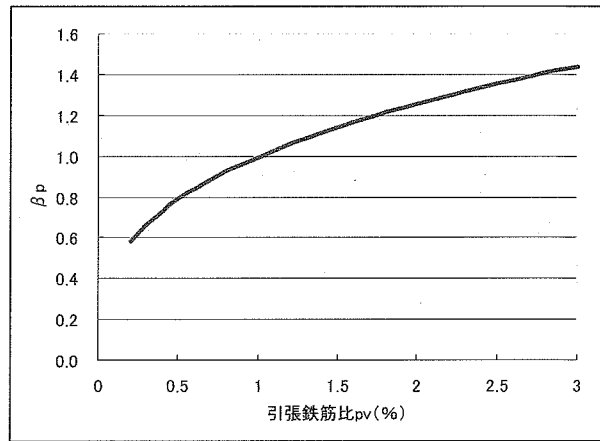
$b_w$ ：腹部の幅（mm）

$d$ ：有効高さ（mm）

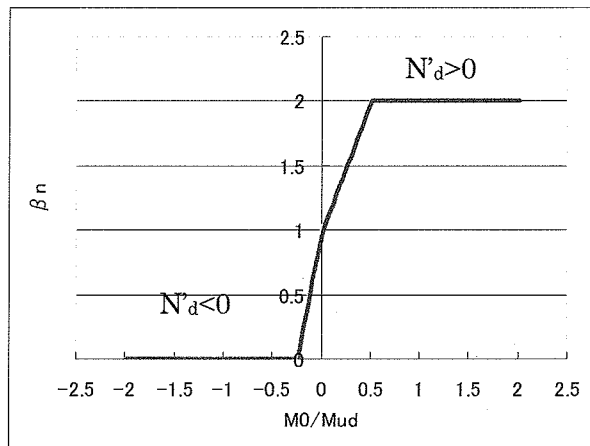
$\gamma_b$  : コンクリート部材係数 (=1.3)



有効高 d に関する補正係数  $\beta_d$



引張鉄筋比  $p_v$  に関する補正係数  $\beta_p$



軸力に対する補正係数  $\beta_n$

(2) せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力  $V_{sd}$

$$V_{sd} = (A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s) z / \gamma_b$$

$A_w$  : 区間  $s_s$  におけるせん断補強筋の総断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$s_s$  : せん断補強鉄筋の部材軸方向の配置間隔 ( $\text{mm}$ )

$f_{wyd}$  : せん断補強鉄筋の設計降伏強度で  $400\text{N}/\text{mm}^2$  以下とする。ただしコンクリート圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が  $60\text{N}/\text{mm}^2$  以上のときは  $800\text{N}/\text{mm}^2$  以下としてよい。

( $f_{wyd} = f_{wy} / \gamma_s$ ,  $f_{wy}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度,  $\gamma_s$  : 鉄筋材料係数 (=1.0) )

$\alpha_s$  : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

$z$  : 圧縮応力の合力作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に  $d/1.15$  としてよい

$\gamma_b$  : 鉄筋部材係数 (=1.1)

【参考文献】

- (1) 土木学会 (2002) : 2002 年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (2) 土木学会 (2007) : 2007 年制定コンクリート標準示方書【設計編】
- (3) 社団法人 日本水道協会 (2009) : 水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 I 総論
- (4) 社団法人 日本水道協会 (2009) : 水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 設計事例集
- (5) 社団法人 日本下水道協会 (2002) : 下水道施設耐震計算例
- (6) 吉川弘道 (1997) : 鉄筋コンクリートの設計、丸善