

橋脚の保有水平耐力

2014. 6. 26

T. Y.

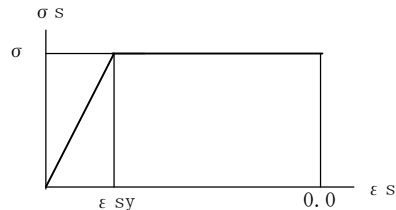
1. まえがき

近年構造物の設計に巨大地震波を用いた動的解析による検証が義務付けられたことに伴い構造物を構成する部材の弾性域を超えた性状が問われることになった。

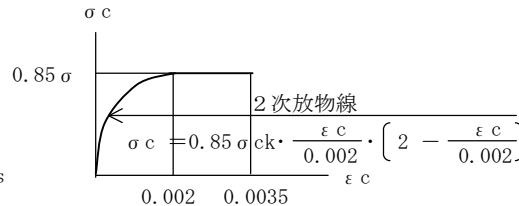
この時に用いられる保有水平耐力を求めるための許容曲げモーメント:Maは、これまで行ってきた弾性限界となる降伏曲げモーメント:My に比べてかなり大きなものとなる。この結果を導く計算の構成を見て保有水平耐力の本質を知ること繋がればの思いから、RC断面・充填鋼断面を用いた計算例を示す。

2. 応力度-ひずみ曲線

応力度とひずみの関係を示す曲線を「応力度-ひずみ曲線」といい、若干複雑な要素もあるが、これを設計目的に適えて模式化したものを以下に示す。



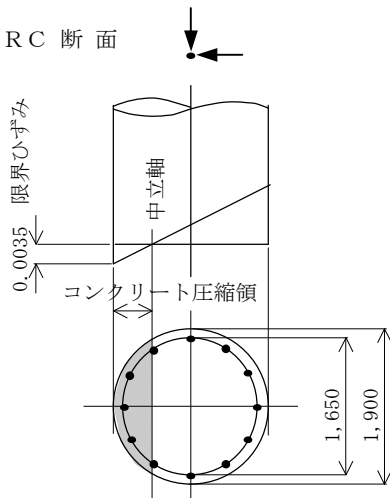
鋼の応力度-ひずみ曲線



コンクリートの応力度-ひずみ曲線

上記のごとく、鋼の限界ひずみはコンクリートに比べてはなはだ大きなものであるため作用力の限界は、コンクリートの許容歪に左右されることになる。

3. RC断面

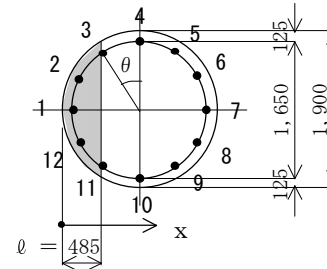


左図において、コンクリートの圧縮領域を仮定して、平面保持の法則に則って各部位の歪からそれぞれの応力度を求める。この時全部材の鉛直力の合計は作用軸力に一致していなければならないから、両者が一致する中立軸を探す必要がある。軸力を考慮しない時は圧縮・引張力が一致する点を求めれば良い。

(1) アンカーボルトの計算 I (軸力: N=2,755 kN を受けるRC断面)

中立軸位置を仮定して作用軸力と部材軸力が一致する (Ps+Pc=N) まで収束計算を行う。

① ボルトの配置形状



使用ボルト: 12-M80 (S35CN)  $A_s = 4,344 \text{ mm}^2$

ひずみ勾配:  $i = \frac{\epsilon_c}{\ell} = \frac{0.0035}{485} = 7.216E-06$

② アンカーボルトによる断面力

No.	sin θ	x mm	As mm <sup>2</sup>	es —	σs N/mm <sup>2</sup>	Ps kN	Ms kN・m
1	1.000	125.0	4,344	0.002598	-305.0	-1,324.9	477.0
2	0.866	235.6	4,344	0.001800	-305.0	-1,324.9	330.5
3	0.500	537.5	4,344	-0.000379	75.8	329.2	17.3
4	0.000	950.0	4,344	-0.003356	305.0	1,324.9	616.1
5	-0.500	1362.5	4,344	-0.006332	305.0	1,324.9	1,162.6
6	-0.866	1664.5	4,344	-0.008511	305.0	1,324.9	1,562.7
7	-1.000	1775.0	4,344	-0.009309	305.0	1,324.9	1,709.1
8	-0.866	1664.5	4,344	-0.008511	305.0	1,324.9	1,562.7
9	-0.500	1362.5	4,344	-0.006332	305.0	1,324.9	1,162.6
10	0.000	950.0	4,344	-0.003356	305.0	1,324.9	616.1
11	0.500	537.5	4,344	-0.000379	75.8	329.2	17.3
12	0.866	235.6	4,344	0.001800	-305.0	-1,324.9	330.5
Σ						5,958.0	9,564.4

※ x : 各ボルトの、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$

es : ボルトのひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$

σs : ボルトの発生応力度 =  $e_s \cdot E$       ただし、降伏応力度以下

Ps : =  $\sigma_s \cdot A$

Ms : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸よりアンカーボルトに至る距離

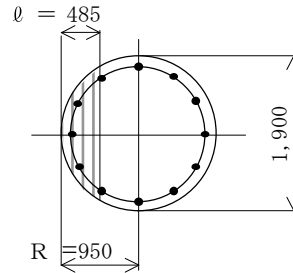
③ コンクリートによる断面力  
 コンクリート圧縮領域を 20 等分した  
 各細片ごとに計算する。

$$dx = 485 / 20 = 24.25 \text{ mm}$$

コンクリート圧縮強度

$$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ひずみ勾配} : i = 7.216\text{E-}06$$



No.	x mm	A <sub>c</sub> mm <sup>2</sup>	e <sub>c</sub> —	σ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	P <sub>c</sub> kN	M <sub>c</sub> kN·m
1	12.13	7,338	0.003413	-20.40	-149.7	70.8
2	36.38	12,628	0.003238	-20.40	-257.6	115.6
3	60.63	16,196	0.003063	-20.40	-330.4	140.2
4	84.88	19,036	0.002888	-20.40	-388.3	155.4
5	109.13	21,441	0.002713	-20.40	-437.4	164.4
6	133.38	23,542	0.002538	-20.40	-480.3	168.9
7	157.63	25,417	0.002363	-20.40	-518.5	169.7
8	181.88	27,112	0.002188	-20.40	-553.1	167.7
9	206.13	28,658	0.002013	-20.40	-584.6	163.0
10	230.38	30,079	0.001838	-20.27	-609.6	155.2
11	254.63	31,392	0.001663	-19.82	-622.2	143.3
12	278.88	32,610	0.001488	-19.06	-621.6	128.1
13	303.13	33,743	0.001313	-17.99	-607.0	110.4
14	327.38	34,800	0.001138	-16.61	-577.9	91.1
15	351.63	35,787	0.000963	-14.91	-533.6	71.2
16	375.88	36,709	0.000788	-12.90	-473.6	51.7
17	400.13	37,572	0.000613	-10.58	-397.6	33.7
18	424.38	38,380	0.000438	-7.95	-305.1	18.5
19	448.63	39,136	0.000263	-5.00	-195.8	7.1
20	472.88	39,842	0.000088	-1.75	-69.6	0.8
Σ		571,419			-8,713.3	2,126.9

④ 合成断面力

・ 軸力

$$N_c = P_s + P_c = 5,958 - 8,713 = -2,755 \text{ kN} \quad (\text{圧縮力}) \text{ —— OK}$$

・ 許容曲げモーメント

$$M_a = M_s + M_c = 9,564 + 2,127 = 11,691 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

⑤ 鋼断面の降伏モーメントとの比較

項目		記号	単位	値
断面力	モーメント	M	kN·mm	9,100,000
	軸力	N	kN	2,755
寸法	半径	r	mm	950
	鉄筋の位置 (有効半径)	r <sub>s</sub>	mm	825
ボルト	ボルト1本の断面積	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	4,344
	本数	H	本	12
計 算 結 果				
計算値	鉄筋断面積	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	52,134
	鉄筋比	P	%	1.84
	中立軸比	x	—	734
	偶力のひじの長さ比	j	—	2.615
応力度	コンクリートの圧縮応力度	σ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	14.34
	鉄筋の引張応力度	σ <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	305

$$\frac{M_a}{M_y} = \frac{11,691}{9,100} = 1.28$$

※ 保有水平耐力で用いる「許容曲げモーメント : M<sub>a</sub>」は、先端のボルトが「降伏した : M<sub>y</sub>」後もねばり、およそ M<sub>y</sub> の1.28倍を以って耐力の限界を迎える。

※ x : 各細片の、コンクリート圧縮縁からの離れ = D/2 - d/2·sinθ

$$A_c : 2 dx \cdot \sqrt{R^2 - (R - x)^2}$$

$$e_c : \text{各細片のひずみ値} = i \cdot (485 - x)$$

σ<sub>c</sub> : コンクリートの発生応力度で前頁ひずみ曲線による【道示 III 4.2.2式】

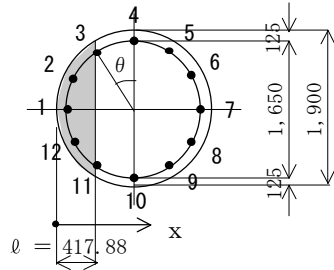
$$P_s : = \sigma_c \cdot A$$

$$M_s : = P_s \cdot e \quad \text{ここで } e \text{ は、中立軸より細片中心に至る距離}$$

(2) アンカーボルトの計算Ⅱ (軸力を受けないRC断面)

中立軸位置を仮定して部材軸力がゼロになる ( $P_s + P_c = 0$ ) まで収束計算を行う。

① ボルトの配置形状



使用ボルト : 12-M80 (S35CN)  $A_s = 4,344 \text{ mm}^2$

ひずみ勾配 :  $i = \frac{\epsilon_c}{\phi} = \frac{0.0035}{417.88} = 8.376E-06$

② アンカーボルトによる断面力

No.	$\sin \theta$	x mm	$A_s$ $\text{mm}^2$	e s —	$\sigma_s$ $\text{N/mm}^2$	$P_s$ kN	$M_s$ kN·m
1	1.000	125.0	4,344	0.002453	-305.0	-1,324.9	388.0
2	0.866	235.6	4,344	0.001527	-305.0	-1,324.9	241.6
3	0.500	537.5	4,344	-0.001002	200.4	870.4	104.1
4	0.000	950.0	4,344	-0.004457	305.0	1,324.9	705.0
5	-0.500	1362.5	4,344	-0.007912	305.0	1,324.9	1,251.5
6	-0.866	1664.5	4,344	-0.010441	305.0	1,324.9	1,651.6
7	-1.000	1775.0	4,344	-0.011367	305.0	1,324.9	1,798.1
8	-0.866	1664.5	4,344	-0.010441	305.0	1,324.9	1,651.6
9	-0.500	1362.5	4,344	-0.007912	305.0	1,324.9	1,251.5
10	0.000	950.0	4,344	-0.004457	305.0	1,324.9	705.0
11	0.500	537.5	4,344	-0.001002	200.4	870.4	104.1
12	0.866	235.6	4,344	0.001527	-305.0	-1,324.9	241.6
$\Sigma$						7,040.6	10,093.8

※ x : 各ボルトの、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$

e s : ボルトのひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$

$\sigma_s$  : ボルトの発生応力度 =  $e s \cdot E$       ただし、降伏応力度以下

$P_s$  : =  $\sigma_s \cdot A$

$M_s$  : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸よりアンカーボルトに至る距離

③ コンクリートによる断面力

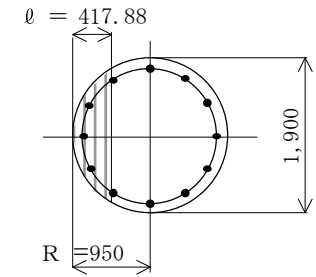
コンクリート圧縮領域を 20 等分した各細片ごとに計算する。

$d x = 418 / 20 = 20.894 \text{ mm}$

コンクリート圧縮強度

$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$

ひずみ勾配 :  $i = 8.376E-06$



No.	x mm	$A_c$ $\text{mm}^2$	e c —	$\sigma_c$ $\text{N/mm}^2$	$P_c$ kN	$M_c$ kN·m
1	10.45	5,871	0.003413	-20.40	-119.8	48.8
2	31.34	10,113	0.003238	-20.40	-206.3	79.7
3	52.24	12,982	0.003063	-20.40	-264.8	96.8
4	73.13	15,274	0.002888	-20.40	-311.6	107.4
5	94.02	17,220	0.002713	-20.40	-351.3	113.8
6	114.92	18,927	0.002538	-20.40	-386.1	117.0
7	135.81	20,455	0.002363	-20.40	-417.3	117.7
8	156.71	21,841	0.002188	-20.40	-445.6	116.4
9	177.60	23,112	0.002013	-20.40	-471.5	113.3
10	198.49	24,285	0.001838	-20.27	-492.1	108.0
11	219.39	25,374	0.001663	-19.82	-502.9	99.8
12	240.28	26,389	0.001488	-19.06	-503.0	89.3
13	261.18	27,339	0.001313	-17.99	-491.8	77.1
14	282.07	28,230	0.001138	-16.61	-468.8	63.7
15	302.96	29,067	0.000963	-14.91	-433.4	49.8
16	323.86	29,856	0.000788	-12.90	-385.2	36.2
17	344.75	30,599	0.000613	-10.58	-323.8	23.7
18	365.65	31,300	0.000438	-7.95	-248.8	13.0
19	386.54	31,962	0.000263	-5.00	-159.9	5.0
20	407.43	32,587	0.000088	-1.75	-56.9	0.6
$\Sigma$		462,783			-7,040.8	1,477.1

※ x : 各細片の、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$

$A_c : 2 d x \cdot \sqrt{R^2 - (R - x)^2}$

e c : 各細片のひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$

$\sigma_c$  : コンクリートの発生応力度で前頁ひずみ曲線による【道示Ⅲ 4.2.2式】

$P_s : = \sigma_c \cdot A$

$M_s : = P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸より細片中心に至る距離

## ④ 合成断面力

## ・ 軸 力

$$N_c = P_s + P_c = 7,041 - 7,041 = 0 \quad \text{kN} \text{ —— OK}$$

## ・ 許容曲げモーメント

$$M_a = M_s + M_c = 10,094 + 1,477 = 11,571 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

## ⑤ 鋼断面の降伏モーメントとの比較

項 目		記号	単位	値
断面力	モーメント	M	kN・mm	7,677,000
	軸 力	N	kN	0
寸 法	半 径	r	mm	950
	鉄筋の位置 (有効半径)	r s	mm	825
ボルト	ボルト 1 本の断面積	A s	mm <sup>2</sup>	4,344
	本数	H	本	12
計 算 結 果				
計算値	鉄筋断面積	A s	mm <sup>2</sup>	52,134
	鉄筋比	P	%	1.84
	中立軸比	x	—	652
	偶力のひじの長さ比	j	—	2.527
応力度	コンクリートの圧縮応力度	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	11.81
	鉄筋の引張応力度	$\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	305

$$\frac{M_a}{M_y} = \frac{11,571}{7,677} = 1.51$$

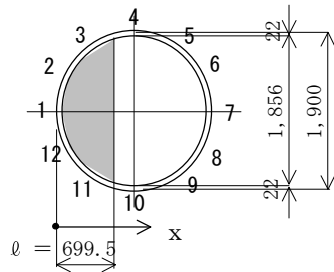
※ 保有水平耐力で用いる「許容曲げモーメント :  $M_a$ 」は、先端のボルトが「降伏した :  $M_y$ 」後もねばり、およそ  $M_y$  の1.51倍を以って耐力の限界を迎える。と言うよりも、 $M_a$  は 軸力にあまり作用されないが、 $M_y$  は圧縮軸力がないと大幅に減少する。

4. 充填鋼管

(1) 充填鋼管の計算 I (軸力:  $N = 2,500 \text{ kN}$  を受ける場合)

中立軸位置を仮定して作用軸力と部材軸力が一致する ( $P_s + P_c = N$ ) まで収束計算を行う。

① ボルトの配置形状



使用鋼管 :  $\phi 1900 \times 22$  (SM490Y)

$$\text{ひずみ勾配} : i = \frac{\epsilon_c}{\ell} = \frac{0.0035}{677.5} = 5.166\text{E-}06$$

② 鋼管による断面力

No.	$\sin \theta$	x mm	$A_s$ $\text{mm}^2$	e s —	$\sigma_s$ $\text{N/mm}^2$	$P_s$ kN	$M_s$ kN·m
1	1.000	11.0	10,818	0.003557	-355.0	-3,840.4	2,644.1
2	0.866	136.8	10,818	0.002907	-355.0	-3,840.4	2,160.9
3	0.500	480.5	10,818	0.001131	-226.3	-2,447.8	536.1
4	0.000	950.0	10,818	-0.001294	258.8	2,799.9	701.4
5	-0.500	1419.5	10,818	-0.003720	355.0	3,840.4	2,765.1
6	-0.866	1763.2	10,818	-0.005495	355.0	3,840.4	4,084.9
7	-1.000	1889.0	10,818	-0.006145	355.0	3,840.4	4,568.1
8	-0.866	1763.2	10,818	-0.005495	355.0	3,840.4	4,084.9
9	-0.500	1419.5	10,818	-0.003720	355.0	3,840.4	2,765.1
10	0.000	950.0	10,818	-0.001294	258.8	2,799.9	701.4
11	0.500	480.5	10,818	0.001131	-226.3	-2,447.8	536.1
12	0.866	136.8	10,818	0.002907	-355.0	-3,840.4	2,160.9
$\Sigma$						8,384.9	27,708.7

※ x : 各ボルトの、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$

e s : ボルトのひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$

$\sigma_s$  : ボルトの発生応力度 =  $e s \cdot E$       ただし、降伏応力度以下

$P_s$  : =  $\sigma_s \cdot A$

$M_s$  : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸よりアンカーボルトに至る距離

③ コンクリートによる断面力

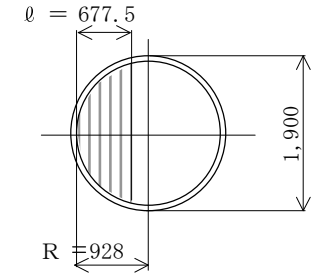
コンクリート圧縮領域を 20 等分した各細片ごとに計算する。

$$dx = 678 / 20 = 33.875 \text{ mm}$$

コンクリート圧縮強度

$$\sigma_{ck} = 19 \text{ N/mm}^2$$

ひずみ勾配 :  $i = 5.166\text{E-}06$



No.	x mm	$A_c$ $\text{mm}^2$	e c —	$\sigma_c$ $\text{N/mm}^2$	$P_c$ kN	$M_c$ kN·m
1	38.94	11,957	0.003413	-16.15	-193.1	127.6
2	72.81	20,519	0.003238	-16.15	-331.4	207.7
3	106.69	26,240	0.003063	-16.15	-423.8	251.2
4	140.56	30,749	0.002888	-16.15	-496.6	277.6
5	174.44	34,525	0.002713	-16.15	-557.6	292.8
6	208.31	37,787	0.002538	-16.15	-610.3	299.8
7	242.19	40,660	0.002363	-16.15	-656.7	300.3
8	276.06	43,222	0.002188	-16.15	-698.0	295.6
9	309.94	45,524	0.002013	-16.15	-735.2	286.4
10	343.81	47,605	0.001838	-16.04	-763.7	271.7
11	377.69	49,492	0.001663	-15.69	-776.5	249.9
12	411.56	51,207	0.001488	-15.09	-772.7	222.5
13	445.44	52,767	0.001313	-14.24	-751.5	190.9
14	479.31	54,185	0.001138	-13.15	-712.3	156.8
15	513.19	55,471	0.000963	-11.80	-654.8	122.0
16	547.06	56,636	0.000788	-10.21	-578.5	88.2
17	580.94	57,686	0.000613	-8.38	-483.2	57.3
18	614.81	58,628	0.000438	-6.29	-368.9	31.2
19	648.69	59,466	0.000263	-3.96	-235.6	12.0
20	682.56	60,205	0.000088	-1.38	-83.2	1.4
$\Sigma$		894,531			-10,883.6	3,742.7

※ x : 各細片の、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$

$$A_c : 2 dx \cdot \sqrt{R^2 - (R - x)^2}$$

e c : 各細片のひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$

$\sigma_c$  : コンクリートの発生応力度で前頁ひずみ曲線による【道示 III 4.2.2式】

$P_s$  : =  $\sigma_c \cdot A$

$M_s$  : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸より細片中心に至る距離

## ④ 合成断面力

- ・ 軸力

$$N_c = P_s + P_c = 8,385 - 10,884 \approx -2,500 \text{ kN} \text{ —— OK}$$

- ・ 許容曲げモーメント

$$M_a = M_s + M_c = 27,709 + 3,743 = 31,451 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ⑤ 鋼断面の降伏モーメントとの比較

$$A = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \times [1,900^2 - 1,856^2]}{4} = 129.8 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D} = \frac{\pi \times [1,900^4 - 1,856^4]}{32 \times 1,900} = 60.25 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

- ・ 軸力による応力度

$$\sigma_n = \frac{N}{A} = \frac{2,500 \times 10^3}{129.8 \times 10^3} = 19.3 \text{ N/mm}^2$$

- ・ 降伏曲げモーメント

$$M_y = [\sigma_y - \sigma_n] \cdot Z = [355 - 19.3] \times 60.25 = 20,229 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

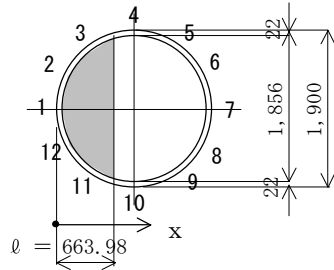
$$\frac{M_a}{M_y} = \frac{31,451}{20,229} = 1.55$$

※ 保有水平耐力で用いる「許容曲げモーメント： $M_a$ 」は、先端のボルトが「降伏した： $M_y$ 」後もねばり、およそ $M_y$ の1.55倍を以って耐力の限界を迎える。

(2) 充填鋼管の計算Ⅱ (軸力がない場合)

中立軸位置を仮定して部材軸力がゼロになる ( $P_s + P_c = 0$ ) まで収束計算を行う。

① ボルトの配置形状



使用鋼管 :  $\phi 1900 \times 22$  (SM490Y)

ひずみ勾配 :  $i = \frac{\epsilon_c}{\ell} = \frac{0.0035}{641.98} = 5.452E-06$

② 鋼管による断面力

No.	sin $\theta$	x mm	A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>	e <sub>s</sub> —	$\sigma_s$ N/mm <sup>2</sup>	P <sub>s</sub> kN	M <sub>s</sub> kN·m
1	1.000	11.0	10,818	0.003560	-355.0	-3,840.4	2,507.7
2	0.866	136.8	10,818	0.002874	-355.0	-3,840.4	2,024.5
3	0.500	480.5	10,818	0.001000	-200.1	-2,164.3	397.1
4	0.000	950.0	10,818	-0.001559	311.9	3,373.8	965.0
5	-0.500	1419.5	10,818	-0.004119	355.0	3,840.4	2,901.5
6	-0.866	1763.2	10,818	-0.005993	355.0	3,840.4	4,221.3
7	-1.000	1889.0	10,818	-0.006679	355.0	3,840.4	4,704.5
8	-0.866	1763.2	10,818	-0.005993	355.0	3,840.4	4,221.3
9	-0.500	1419.5	10,818	-0.004119	355.0	3,840.4	2,901.5
10	0.000	950.0	10,818	-0.001559	311.9	3,373.8	965.0
11	0.500	480.5	10,818	0.001000	-200.1	-2,164.3	397.1
12	0.866	136.8	10,818	0.002874	-355.0	-3,840.4	2,024.5
Σ						10,099.8	28,230.8

- ※ x : 各ボルトの、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$
- e<sub>s</sub> : ボルトのひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$
- $\sigma_s$  : ボルトの発生応力度 =  $e_s \cdot E$       ただし、降伏応力度以下
- P<sub>s</sub> : =  $\sigma_s \cdot A$
- M<sub>s</sub> : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸よりアンカーボルトに至る距離

③ コンクリートによる断面力

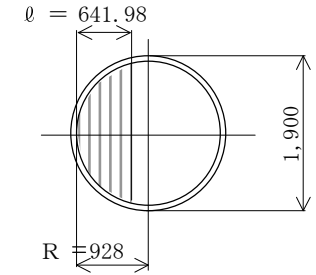
コンクリート圧縮領域を 20 等分した各細片ごとに計算する。

$dx = 642 / 20 = 32.099 \text{ mm}$

コンクリート圧縮強度

$\sigma_{ck} = 19 \text{ N/mm}^2$

ひずみ勾配 :  $i = 5.452E-06$



No.	x mm	A <sub>c</sub> mm <sup>2</sup>	e <sub>c</sub> —	$\sigma_c$ N/mm <sup>2</sup>	P <sub>c</sub> kN	M <sub>c</sub> kN·m
1	38.05	11,032	0.003413	-16.15	-178.2	111.5
2	70.15	18,941	0.003238	-16.15	-305.9	181.6
3	102.25	24,234	0.003063	-16.15	-391.4	219.9
4	134.35	28,414	0.002888	-16.15	-458.9	243.0
5	166.45	31,920	0.002713	-16.15	-515.5	256.5
6	198.54	34,957	0.002538	-16.15	-564.6	262.8
7	230.64	37,637	0.002363	-16.15	-607.8	263.4
8	262.74	40,033	0.002188	-16.15	-646.5	259.4
9	294.84	42,193	0.002013	-16.15	-681.4	251.5
10	326.94	44,151	0.001838	-16.04	-708.3	238.7
11	359.04	45,934	0.001663	-15.69	-720.7	219.8
12	391.14	47,561	0.001488	-15.09	-717.7	195.8
13	423.24	49,048	0.001313	-14.24	-698.5	168.2
14	455.34	50,406	0.001138	-13.15	-662.7	138.3
15	487.44	51,647	0.000963	-11.80	-609.6	107.6
16	519.53	52,779	0.000788	-10.21	-539.1	77.9
17	551.63	53,807	0.000613	-8.38	-450.8	50.6
18	583.73	54,739	0.000438	-6.29	-344.5	27.6
19	615.83	55,579	0.000262	-3.96	-220.2	10.6
20	647.93	56,331	0.000087	-1.38	-77.9	1.2
Σ		831,344			-10,100.1	3,286.0

- ※ x : 各細片の、コンクリート圧縮縁からの離れ =  $D/2 - d/2 \cdot \sin \theta$
- A<sub>c</sub> :  $2 dx \cdot \sqrt{R^2 - (R - x)^2}$
- e<sub>c</sub> : 各細片のひずみ値 =  $i \cdot (485 - x)$
- $\sigma_c$  : コンクリートの発生応力度で前頁ひずみ曲線による【道示Ⅲ 4.2.2式】
- P<sub>c</sub> : =  $\sigma_c \cdot A$
- M<sub>c</sub> : =  $P_s \cdot e$       ここで e は、中立軸より細片中心に至る距離

## ④ 合成断面力

・ 軸力

$$N_c = P_s + P_c = 10,100 - 10,100 = 0 \quad \text{kN} \text{ —— OK}$$

・ 許容曲げモーメント

$$M_a = M_s + M_c = 28,231 + 3,286 = 31,517 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

## ⑤ 鋼断面の降伏モーメントとの比較

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D} = \frac{\pi \times [1,900^4 - 1,856^4]}{32 \times 1,900} = 60.25 \times 10^6 \quad \text{mm}^3$$

$$M_y = \sigma_y \cdot Z = 355 \times 60.25 = 21,389 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_a}{M_y} = \frac{31,517}{21,389} = 1.47$$

※ 保有水平耐力で用いる「許容曲げモーメント： $M_a$ 」は、先端のボルトが「降伏した： $M_y$ 」後もねばり、およそ $M_y$ の1.47倍を以って耐力の限界を迎える。

## 5. 結果のまとめ

下表は、RC断面・鋼管断面のそれぞれについて、軸力のある場合ない場合の許容曲げモーメント： $M_a$ ならびに降伏モーメントを比較したものである。

		Case No	許容・降伏曲げモーメント	両者の比較
RC橋脚	軸力(圧縮力)がある場合	①	$M_a = 11,691 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$\frac{M_a}{M_y} = 1.28$
		②	$M_y = 9,100 \text{ //}$	
	軸力がない場合	③	$M_a = 11,571 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$\frac{M_a}{M_y} = 1.51$
		④	$M_y = 7,677 \text{ //}$	
充填鋼管	軸力(圧縮力)がある場合	⑤	$M_a = 31,451 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$\frac{M_a}{M_y} = 1.55$
		⑥	$M_y = 20,229 \text{ //}$	
	軸力がない場合	⑦	$M_a = 31,517 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$\frac{M_a}{M_y} = 1.47$
		⑧	$M_y = 21,389 \text{ //}$	

①  $M_a$  の傾向 (①と③、⑤と⑦ それぞれの比較)

$M_a$  は軸力の影響をほとんど受けず、RC断面、充填鋼管の双方においてほぼ一定値を示す

②  $M_y$  の傾向 (②と④、⑥と⑧ それぞれの比較)

RC断面では部材に圧縮力がかかると降伏モーメントは増大し、鋼管断面では減少する。

③  $M_a$  と  $M_y$  の比較

軸力のないケースにおいて、 $M_a$  は  $M_y$  のおよそ 1.5 倍となる。

## 6. あとがき

実設計断面を事例に保有水平耐力に起因する許容曲げモーメントと、降伏曲げモーメントの傾向を探ってみた。

$M_a$  は軸力の影響を受け難いことが分かった (だから軸力にかかわらず  $M_a$  を水平荷重の作用高さ： $h$  で除して保有水平耐力とすることが出来るのであろう)。

また  $M_y$  において軸力の影響がRC断面と鋼管断面では増と減、逆符号であるが、これはコンクリート断面を有効とするか否かにかかっている (アンカーボルトの計算においても杭方式を選択すれば鋼管単独断面と同じ傾向となる)。

上記結果を道示で規定される細長比パラメータと絡めて、橋脚の設計方針 (脚下端の発生応力度を弾性域内に収めるか否か) の選択に活用していきたい。

たとえば、歩道橋・モノレールなど上部が軽い構造物において、鋼材の弾性域を超えた活用を図るために道示規定の細長比パラメータ： $\lambda$ の制約に則って脚径を大きくすれば当然鋼板厚は小さくなるが、基礎工の設計作用力が倍化して不経済となることが多い。また、橋脚占有幅が設置通路の利便性に影響することも考慮する必要がある。

いずれにしても保有水平耐力の何たるやを知り、動的解析と併せて上部工から基礎工までを通して、スマートな設計を成し遂げたいと願うものである。