

セグメント開口部の検討

出力例-2

1. 設計条件

図1.1.1に示すとおりセグメント外径3.550mなる本管に2.000mの開口を設けた場合の検討を行う。

1-1 セグメント断面諸元

セグメント番号	STセグメント S50
セグメント外径	D_o : 3.550 (m)
セグメント内径	D_i : 3.294 (m)
セグメント幅	B : 1.000 (m)
ヤング係数	E_s : 210000000 (kN/m ²)

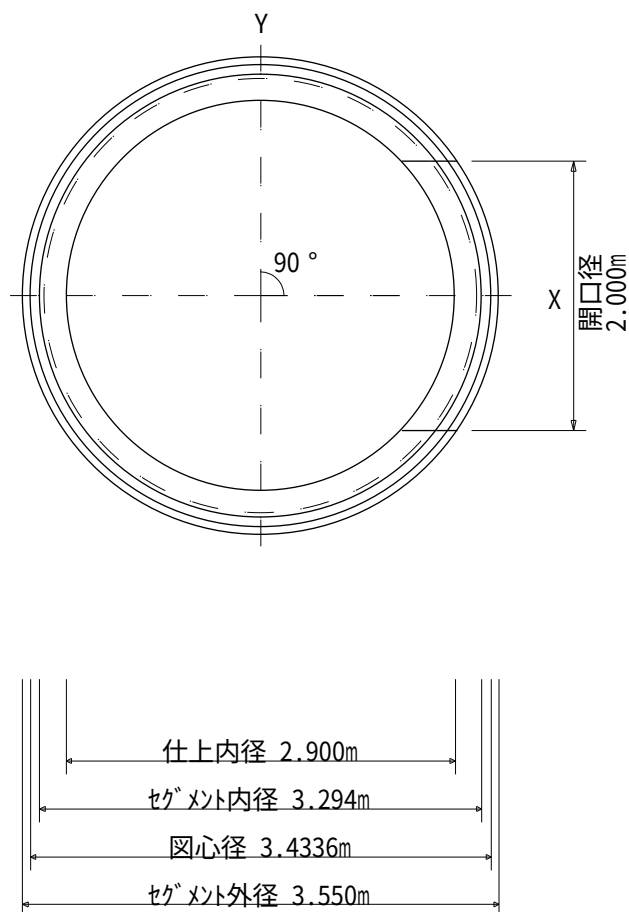


図1.1.1 本管断面形状及び開口位置

(1)セグメント1リング当り断面性能

主桁高	h	: 0.125 (m)
主桁本数	N_r	: 2 (本)
主桁厚	t_r	: 0.014 (m)
スキンプレート厚	t	: 0.0030 (m)

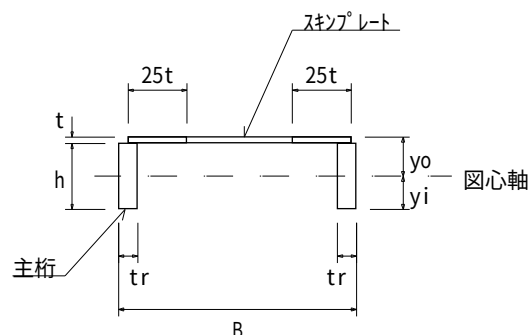


図1.1.2 セグメント形状

1)図心軸の位置

①有効断面積

セグメントの有効断面積は主桁及びスキンプレートの有効幅分 (25t) の断面積とする。

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \cdot (t_r \cdot h + 25 \cdot t^2) \\
 &= 2 \times (0.014 \times 0.125 + 25 \times 0.0030^2) = 0.003950 \text{ (m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

②外縁から図心軸までの距離

$$\begin{aligned}
 y_o &= \frac{2 \cdot (t_r \cdot h \cdot (t + h/2) + 25 \cdot t^2 \cdot t/2)}{2 \cdot (t_r \cdot h + 25 \cdot t^2)} \\
 &= \frac{2 \times (0.014 \times 0.125 \times (0.0030 + 0.125/2) + 25 \times 0.0030^2 \times 0.0030/2)}{2 \times (0.014 \times 0.125 + 25 \times 0.0030^2)} \\
 &= 0.0582 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

③内縁から図心軸までの距離

$$y_i = h + t - y_o = 0.125 + 0.0030 - 0.0582 = 0.0698 \text{ (m)}$$

④図心半径

$$r_c = D_0 / 2 - y_o = 3.550 / 2 - 0.0582 = 1.7168 \text{ (m)}$$

2)断面二次モーメント

図心軸に対する断面二次モーメントは以下の様になる。

$$\begin{aligned}
 I_s &= 2 \cdot \left(\frac{t_r \cdot y_i^3}{3} + \frac{25 \cdot t \cdot y_o^3}{3} - \frac{(25 \cdot t - t_r) \cdot (y_o - t)^3}{3} \right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{0.014 \times 0.0698^3}{3} + \frac{25 \times 0.0030 \times 0.0582^3}{3} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{(25 \times 0.0030 - 0.014) \times (0.0582 - 0.0030)^3}{3} \right) = 0.000006190845 \text{ (m}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

3)断面係数

①外縁側断面係数

$$Z_0 = I_s / y_0 = 0.000006190845 / 0.0582 = 0.000106372 \text{ (m}^3\text{)}$$

②内縁側断面係数

$$Z_i = I_s / y_i = 0.000006190845 / 0.0698 = 0.000088694 \text{ (m}^3\text{)}$$

4)セグメント剛性

曲げ剛性の有効率 η : 100 (%)

曲げモーメントの割増率 ξ : 0 (%)

(2)二次覆工

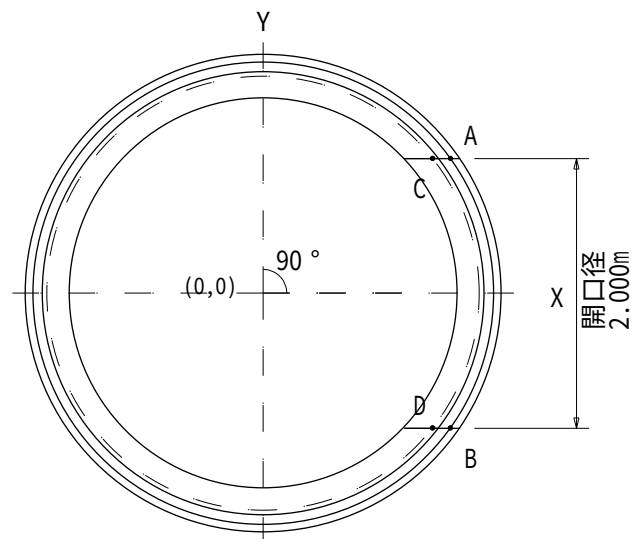
セグメント自重には、二次覆工重量を考慮する。

二次覆工図心半径 r_2 : 1.6125 (m)

二次覆工厚 h_2 : 0.325 (m)

二次覆工単位重量 γ_2 : 23.500 (kN/m³)

1-2 開口諸元



図心径上の開口部座標(m)
A点 $X_A = 1.39549$, $Y_A = 1.00000$
B点 $X_B = 1.39549$, $Y_B = -1.00000$
開口角度 = 71.250°
二次覆工図心径上の開口部座標(m)
C点 $X_C = 1.26497$, $Y_C = 1.00000$
D点 $X_D = 1.26497$, $Y_D = -1.00000$
開口角度 = 76.655°

図1.2.1 開口形状

1-3 解析モデル

セグメントに発生する断面力は、フレーム解析により求める。

解析モデルは図1.3.1に示すとおり、開口部に拘束点を設け、全周地盤バネモデルとして解析する。

この時、地盤バネは、セグメントが外側方向に変位する節点のみが圧縮バネとして機能するものとし、セグメントが内側方向に変位する節点の引張バネについては機能しないものとする。この地盤バネ設定については、「2-6 節点変位」の章で節点の変位方向と節点バネの有無を確認する。

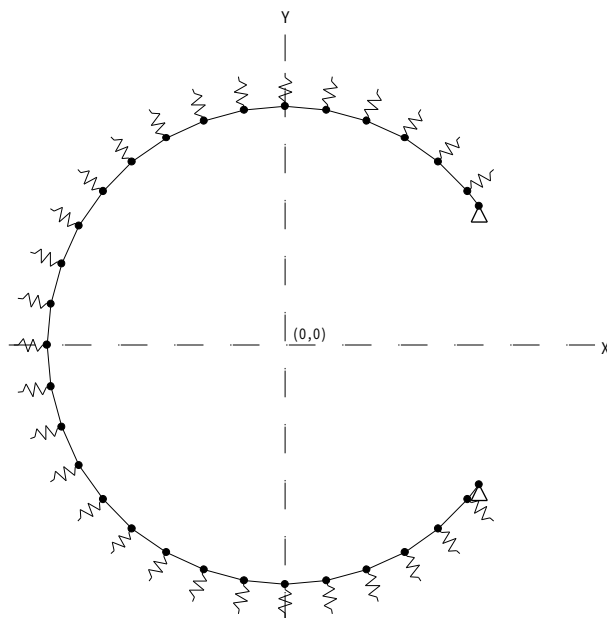


図1.3.1 フレーム解析モデル

1-4 許容応力度

(1) 鋼材

鋼材の種類	SM490
許容曲げ圧縮引張応力度	σ_{ca} : 215 (N/mm ²)

(2) H鋼材(補強部材)

許容応力度	σ_{sca} : 140 (N/mm ²)
許容せん断応力度	τ_{sca} : 80 (N/mm ²)

(3) 許容応力度割増

開口時荷重は一時的荷重であるものとし、許容応力度を 1.5倍に割増す。

2. 断面力の算定

2-1 節点条件

フレーム解析は、36分割モデルとし、10°位置に節点を設ける。
尚、開口部には節点31、1を新たに設けるものとし、開口部より
時計周りに節点番号を設定する。

角度0°位置より順に節点座標、及び各節点の拘束条件を以下
表にまとめる。

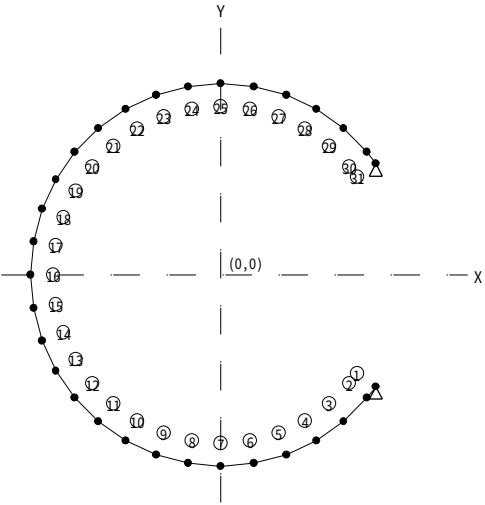


図2.1.1 節点図

節点番号	角度(°)	X座標(m)	Y座標(m)	拘束点	
				X方向	Y方向
25	0	0.00000	1.71680		
26	10	0.29812	1.69072		
27	20	0.58718	1.61326		
28	30	0.85840	1.48679		
29	40	1.10354	1.31515		
30	50	1.31515	1.10354		
31	54.375	1.39549	1.00000	固定	固定
1	125.625	1.39549	-1.00000	固定	固定
2	130	1.31515	-1.10354		
3	140	1.10354	-1.31515		
4	150	0.85840	-1.48679		
5	160	0.58718	-1.61326		
6	170	0.29812	-1.69072		
7	180	0.00000	-1.71680		
8	190	-0.29812	-1.69072		
9	200	-0.58718	-1.61326		
10	210	-0.85840	-1.48679		
11	220	-1.10354	-1.31515		
12	230	-1.31515	-1.10354		
13	240	-1.48679	-0.85840		
14	250	-1.61326	-0.58718		
15	260	-1.69072	-0.29812		
16	270	-1.71680	0.00000		
17	280	-1.69072	0.29812		
18	290	-1.61326	0.58718		
19	300	-1.48679	0.85840		
20	310	-1.31515	1.10354		
21	320	-1.10354	1.31515		
22	330	-0.85840	1.48679		
23	340	-0.58718	1.61326		
24	350	-0.29812	1.69072		

2-2 地盤バネ条件

法線方向節点バネ kh 及び、接線方向節点バネ ks は、地盤剛性に
分担周長 ds' を乗じて求める。

$$kh = Kh \cdot ds'$$

$$ks = Ks \cdot ds'$$

尚、セグメント内側へ変位する節点については、バネが機能
しないものとする。

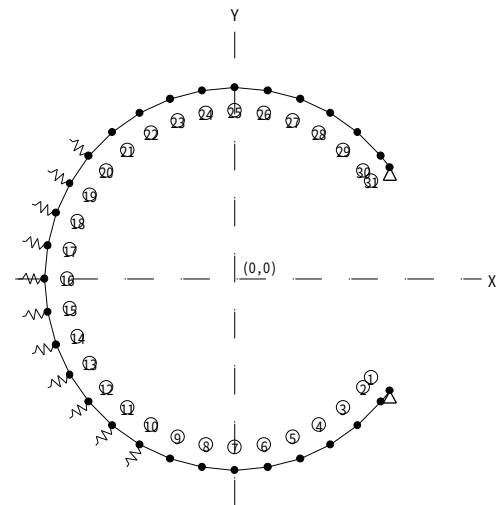


図2.2.1 地盤バネ

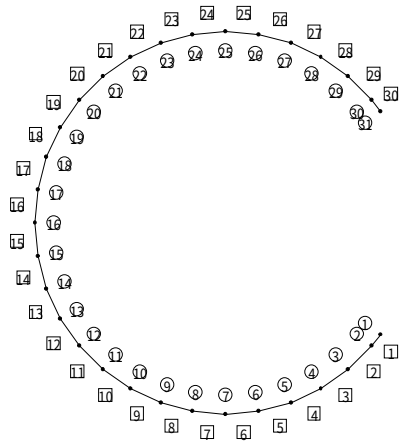
節点 番号	角度 $\theta (^{\circ})$	法線方向 $Kh \text{ (kN/m}^2\text{)}$	接線方向 $Ks \text{ (kN/m}^2\text{)}$	分担周長 $ds' \text{ (m)}$	節点バネ $\text{(kN/m}^2\text{)}$	
					法線方向 kh	接線方向 ks
25	0	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
26	10	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
27	20	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
28	30	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
29	40	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
30	50	0.000	0.000	0.21536	0.000	0.000
31	54.375	0.000	0.000	0.06555	0.000	0.000
1	125.625	0.000	0.000	0.06555	0.000	0.000
2	130	0.000	0.000	0.21536	0.000	0.000
3	140	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
4	150	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
5	160	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
6	170	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
7	180	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
8	190	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
9	200	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
10	210	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
11	220	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
12	230	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
13	240	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
14	250	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
15	260	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
16	270	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
17	280	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
18	290	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
19	300	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
20	310	3000.000	0.000	0.29964	898.914	0.000
21	320	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
22	330	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
23	340	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000
24	350	0.000	0.000	0.29964	0.000	0.000

2-3 部材条件

単位m当り断面性能を以下表に示す。

断面積	As	m ²	0.0039500
ヤング係数	E	kN・m ²	210000000
断面二次モーメント	Is	m ⁴	0.000006190845
曲げ剛性	EI	kN・m ²	1300

※ 曲げ剛性 EI = E ・ Is ・ η
η : 曲げ剛性の有効率 100 %



各部材毎の断面性能を以下表に整理する。

図2.3.1 部材番号

○ : 節点番号
□ : 部材番号

部材番号	i端	j端	部材長(m)	周長(m)	断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)	ヤング係数 (kN/m ²)	曲げ剛性 (kN・m ²)
1	1	2	0.13106	0.13109	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
2	2	3	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
3	3	4	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
4	4	5	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
5	5	6	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
6	6	7	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
7	7	8	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
8	8	9	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
9	9	10	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
10	10	11	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
11	11	12	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
12	12	13	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
13	13	14	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
14	14	15	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
15	15	16	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
16	16	17	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
17	17	18	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
18	18	19	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
19	19	20	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
20	20	21	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
21	21	22	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
22	22	23	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
23	23	24	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
24	24	25	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
25	25	26	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
26	26	27	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
27	27	28	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
28	28	29	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
29	29	30	0.29926	0.29964	0.0039500	0.0000062	210000000	1300
30	30	31	0.13106	0.13109	0.0039500	0.0000062	210000000	1300

2-4 荷重条件

2-4-1 作用荷重

(1) 円周単位m当り重量 W_g'

$$W_g' = W_g + W_{g2} = 1.001 + 7.039 = 8.040 \text{ (kN/m)}$$

ここで、 W_g : セグメントの円周単位m当り重量 1.001 (kN/m)

W_{g2} : 二次覆工の円周単位m当り重量

$$\begin{aligned} W_{g2} &= \frac{h_2 \cdot \gamma_2 \cdot L_2}{L_1} \\ &= \frac{0.325 \times 23.500 \times 7.9743}{8.6521} = 7.039 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

L_1 : セグメント図心周長

$$\begin{aligned} L_1 &= \pi \cdot D_c \cdot \theta_1 / 360 \\ &= \pi \times 3.4336 \times 288.750 / 360 = 8.6521 \text{ (m)} \end{aligned}$$

L_2 : 二次覆工図心周長

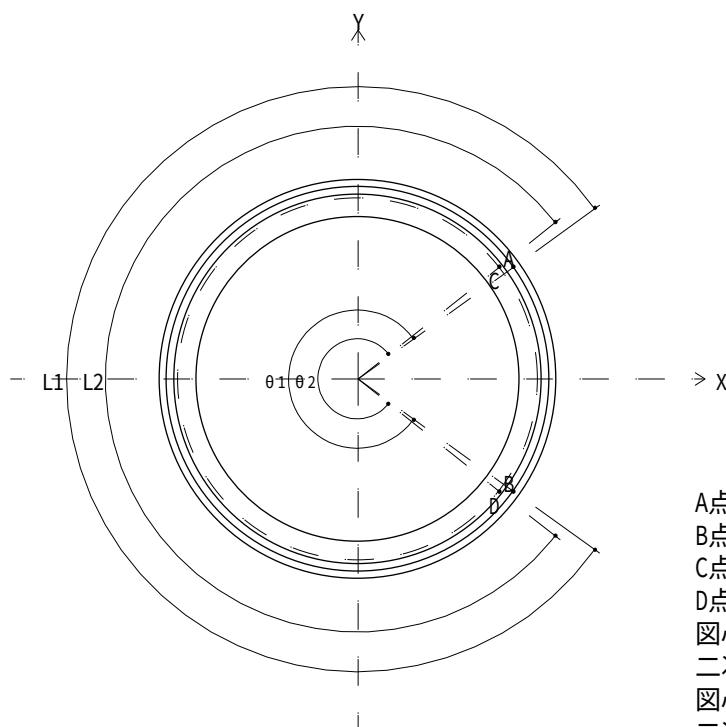
$$\begin{aligned} L_2 &= \pi \cdot D_{c2} \cdot \theta_2 / 360 \\ &= \pi \times 3.2250 \times 283.345 / 360 = 7.9743 \text{ (m)} \end{aligned}$$

D_c : 図心径 3.4336 (m)

D_{c2} : 二次覆工図心径 3.2250 (m)

h_2 : 二次覆工厚 0.325 (m)

γ_2 : 二次覆工単位体積重量 23.500 (kN/m³)

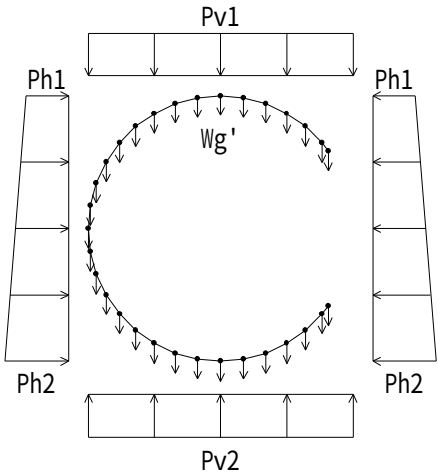


A点	$X_A = 1.39549$	, $Y_A = 1.00000$
B点	$X_B = 1.39549$	, $Y_B = -1.00000$
C点	$X_C = 1.26497$	, $Y_C = 1.00000$
D点	$X_D = 1.26497$	, $Y_D = -1.00000$
図心周長	L_1	$= 8.6521\text{m}$
二次覆工周長	L_2	$= 7.9743\text{m}$
図心周長角度	θ_1	$= 288.750^\circ$
二次覆工周長角度	θ_2	$= 283.345^\circ$

(2) 荷重強度の算定

セグメント開口部の検討を行う時の設計荷重は、開口により作用長さが減った分荷重強度を増加させるものとし、増加後の荷重強度を算定する。

1) 荷重強度増加前の作用荷重



鉛直荷重	Pv1	kN/m^2	207.104
頂部水平荷重	Ph1	kN/m^2	166.428
底部水平荷重	Ph2	kN/m^2	210.378
セグメントの円周単位当り重量	Wg'	kN/m	8.040

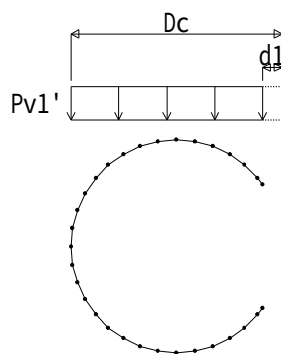
以上の荷重を基に、増加荷重の算定を行う。

2) 鉛直荷重 P_{v1}'

鉛直荷重の総重量は同じと考え、作用長さが減った分荷重強度を増加させる。

$$\begin{aligned}
 P_{v1}' &= P_{v1} + \frac{P_{v1} \cdot d1}{D_c - d1} \\
 &= 207.104 + \frac{207.104 \times 0.3213}{3.4336 - 0.3213} \\
 &= 228.484 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

ここで、
 P_{v1} : 増加前の鉛直荷重 207.104 (kN/m²)
 D_c : 図心径 3.4336 (m)
 $d1$: 開口部長さ 0.3213 (m)



3) 下部反力 $Pv2'$

下部反力 $Pv2$ は、鉛直荷重による反力及び自重による反力の総和とする。

$$Pv2 = \frac{Pv1' \cdot (Dc - d1)}{Dc} + Pg$$

$$= \frac{228.484 \times (3.4336 - 0.3213)}{3.4336} + 20.259 = 227.363 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、 $Pv1'$: 鉛直荷重 228.484 (kN/m²)

Pg : 自重による下部反力

$$Pg = \frac{Wg' \cdot L1}{Dc} = \frac{8.040 \times 8.6521}{3.4336} = 20.259 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Wg' : 円周単位m当り重量 8.040 (kN/m)

$L1$: セグメント図心周長 8.6521 (m)

Dc : 図心径 3.4336 (m)

$d1$: 鉛直荷重部における開口部長さ 0.3213 (m)

さらに、下部反力の総反力は同じと考え、作用長さが減った分荷重強度を増加させる。

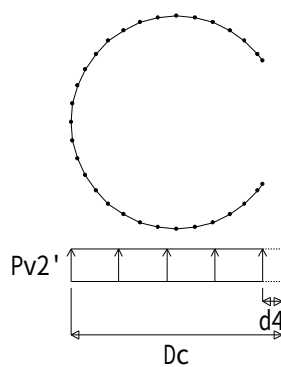
$$Pv2' = Pv2 + \frac{Pv2 \cdot d4}{Dc - d4}$$

$$= 227.363 + \frac{227.363 \times 0.3213}{3.4336 - 0.3213} = 250.835 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

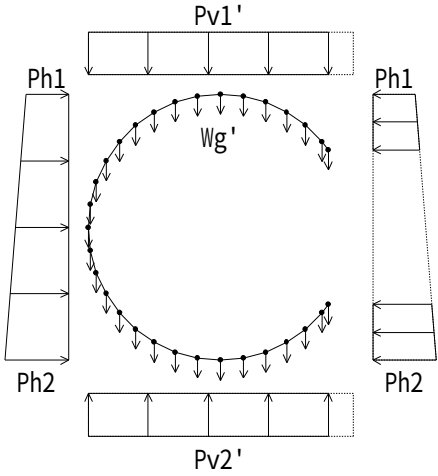
ここで、 $Pv2$: 増加前の下部反力 227.363 (kN/m²)

Dc : 図心径 3.4336 (m)

$d4$: 下部反力開口部長さ 0.3213 (m)



(3) 作用荷重分布図



鉛直荷重	Pv1'	kN/m^2	228.484
頂部水平荷重	Ph1	kN/m^2	166.428
底部水平荷重	Ph2	kN/m^2	210.378
セグメントの円周単位当り重量	Wg'	kN/m	8.040
下部反力荷重	Pv2'	kN/m^2	250.835

(4) 節点荷重一覧表

前述の作用荷重を、節点荷重としてXY方向に整理する。

節点番号	Y方向荷重 (kN/m)			X方向荷重 (kN/m)		荷重合計 (kN/m)	
	自重	鉛直荷重	下部反力	水平荷重	地盤反力	Y方向	X方向
1	-0.527	0.000	10.077	-10.433	0.000	9.550	-10.433
2	-1.732	0.000	36.616	-31.967	0.000	34.885	-31.967
3	-2.409	0.000	57.284	-39.304	0.000	54.875	-39.304
4	-2.409	0.000	64.760	-30.898	0.000	62.351	-30.898
5	-2.409	0.000	70.269	-21.300	0.000	67.860	-21.300
6	-2.409	0.000	73.643	-10.865	0.000	71.234	-10.865
7	-2.409	0.000	74.779	0.000	0.000	72.370	0.000
8	-2.409	0.000	73.643	10.865	0.000	71.234	10.865
9	-2.409	0.000	70.269	21.300	0.000	67.860	21.300
10	-2.409	0.000	64.760	30.898	0.000	62.351	30.898
11	-2.409	0.000	57.284	39.304	0.000	54.875	39.304
12	-2.409	0.000	48.067	46.227	0.000	45.658	46.227
13	-2.409	0.000	37.389	51.457	0.000	34.980	51.457
14	-2.409	0.000	25.576	54.869	0.000	23.167	54.869
15	-2.409	0.000	12.985	56.425	0.000	10.576	56.425
16	-2.409	-2.980	3.271	56.167	0.000	-2.118	56.167
17	-2.409	-11.828	0.000	54.201	0.000	-14.237	54.201
18	-2.409	-23.297	0.000	50.690	0.000	-25.706	50.690
19	-2.409	-34.058	0.000	45.826	0.000	-36.467	45.826
20	-2.409	-43.784	0.000	39.825	0.000	-46.193	39.825
21	-2.409	-52.179	0.000	32.902	0.000	-54.589	32.902
22	-2.409	-58.990	0.000	25.268	0.000	-61.399	25.268
23	-2.409	-64.008	0.000	17.121	0.000	-66.417	17.121
24	-2.409	-67.081	0.000	8.641	0.000	-69.490	8.641
25	-2.409	-68.115	0.000	0.000	0.000	-70.525	0.000
26	-2.409	-67.081	0.000	-8.641	0.000	-69.490	-8.641
27	-2.409	-64.008	0.000	-17.121	0.000	-66.417	-17.121
28	-2.409	-58.990	0.000	-25.268	0.000	-61.399	-25.268
29	-2.409	-52.179	0.000	-32.902	0.000	-54.589	-32.902
30	-1.732	-33.354	0.000	-27.407	0.000	-35.085	-27.407
31	-0.527	-9.179	0.000	-9.074	0.000	-9.706	-9.074
(-)合計	-69.562	-711.109	0.000	-265.181	0.000	-743.824	-265.181
(+)合計	0.000	0.000	780.672	641.987	0.000	743.824	641.987
合計	-69.562	-711.109	780.672	376.806	0.000	0.000	376.806

以上の荷重をフレームモデルに載荷し、計算を行う。

2-5 支点反力

フレーム解析による拘束点及びバネ支持点のX方向、Y方向反力を以下の表に示す。

尚、符号は反力の作用方向を示し、X方向反力は右方向を正、Y方向反力は上方向を正とし、法線方向反力は外向を正、接線方向反力は時計回りを正とする。

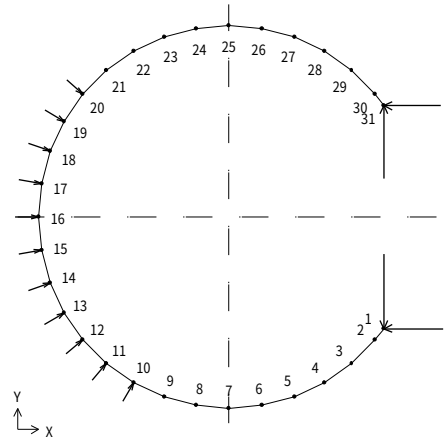


図2.5.1 支点反力図

節点 番号	角度 (°)	X座標(m)	Y座標(m)	支点反力(kN)			
				X方向 Rx	Y方向 Ry	法線方向 Rh	接線方向 Rs
25	0	0.000	1.717	—	—	—	—
26	10	0.298	1.691	—	—	—	—
27	20	0.587	1.613	—	—	—	—
28	30	0.858	1.487	—	—	—	—
29	40	1.104	1.315	—	—	—	—
30	50	1.315	1.104	—	—	—	—
31	54.375	1.395	1.000	-226.581	329.017	—	—
1	125.625	1.395	-1.000	-239.850	-337.407	—	—
2	130	1.315	-1.104	—	—	—	—
3	140	1.104	-1.315	—	—	—	—
4	150	0.858	-1.487	—	—	—	—
5	160	0.587	-1.613	—	—	—	—
6	170	0.298	-1.691	—	—	—	—
7	180	0.000	-1.717	—	—	—	—
8	190	-0.298	-1.691	—	—	—	—
9	200	-0.587	-1.613	—	—	—	—
10	210	-0.858	-1.487	—	—	-1.132	—
11	220	-1.104	-1.315	—	—	-4.181	—
12	230	-1.315	-1.104	—	—	-7.286	—
13	240	-1.487	-0.858	—	—	-10.129	—
14	250	-1.613	-0.587	—	—	-12.393	—
15	260	-1.691	-0.298	—	—	-13.790	—
16	270	-1.717	0.000	—	—	-14.095	—
17	280	-1.691	0.298	—	—	-13.174	—
18	290	-1.613	0.587	—	—	-11.009	—
19	300	-1.487	0.858	—	—	-7.711	—
20	310	-1.315	1.104	—	—	-3.525	—
21	320	-1.104	1.315	—	—	—	—
22	330	-0.858	1.487	—	—	—	—
23	340	-0.587	1.613	—	—	—	—
24	350	-0.298	1.691	—	—	—	—
合計				-466.431	-8.390	-98.425	0.000

2-6 節点変位

フレーム解析による各節点の変位を以下の表に示す。

変位方向は、セグメント内側方向に変位する節点を「内側」、セグメント外側方向に変位する節点を「外側」と表示する。

ここで、セグメント外側に変位している節点にのみ節点バネが設定されているかを確認する。

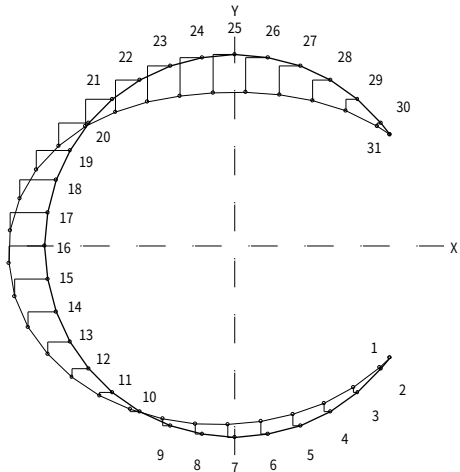


図2.6.1 変位図

節点番号	角度(°)	X方向変位(m)	Y方向変位(m)	回転変位(m)	変位方向	節点バネ有無
25	0	-0.009781	-0.016533	0.002471	内側	—
26	10	-0.009782	-0.015104	0.007017	内側	—
27	20	-0.009198	-0.012431	0.011124	内側	—
28	30	-0.007698	-0.008904	0.014284	内側	—
29	40	-0.005171	-0.005060	0.016237	内側	—
30	50	-0.001730	-0.001422	0.017041	内側	—
31	54.375	0.000000	0.000000	0.017105	—	—
1	125.625	0.000000	0.000000	-0.006608	—	—
2	130	-0.000644	0.000582	-0.006587	内側	—
3	140	-0.001905	0.002051	-0.006227	内側	—
4	150	-0.002781	0.003554	-0.005241	内側	—
5	160	-0.003215	0.004820	-0.003534	内側	—
6	170	-0.003266	0.005555	-0.001214	内側	—
7	180	-0.003125	0.005534	0.001467	内側	—
8	190	-0.003060	0.004677	0.004180	内側	—
9	200	-0.003344	0.003072	0.006595	内側	—
10	210	-0.004175	0.000956	0.008458	外側	有
11	220	-0.005618	-0.001357	0.009616	外側	有
12	230	-0.007603	-0.003549	0.009978	外側	有
13	240	-0.009920	-0.005354	0.009483	外側	有
14	250	-0.012264	-0.006614	0.008136	外側	有
15	260	-0.014288	-0.007316	0.006025	外側	有
16	270	-0.015680	-0.007592	0.003328	外側	有
17	280	-0.016239	-0.007698	0.000302	外側	有
18	290	-0.015923	-0.007940	-0.002734	外側	有
19	300	-0.014868	-0.008597	-0.005421	外側	有
20	310	-0.013365	-0.009828	-0.007371	外側	有
21	320	-0.011794	-0.011598	-0.008198	内側	—
22	330	-0.010530	-0.013641	-0.007569	内側	—
23	340	-0.009814	-0.015488	-0.005384	内側	—
24	350	-0.009649	-0.016597	-0.001874	内側	—

2-7 単位m当り断面力

(1) 各部材の断面力一覧表(単位m当り)

フレーム解析による各部材に発生する単位m当り断面力
(曲げモーメント、軸力、せん断力)を以下表に示す。

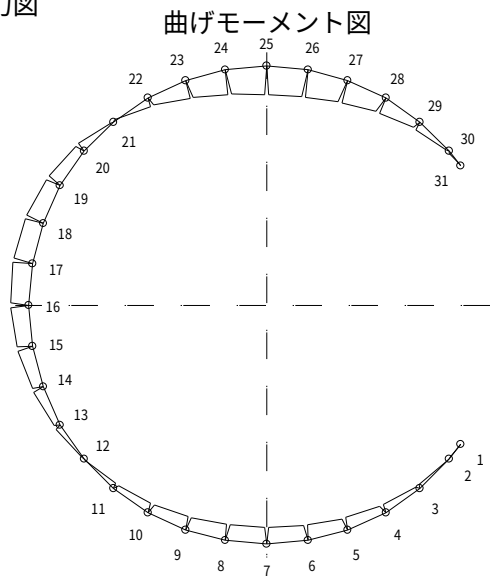
尚、図2.7.1に各断面力の正方向を示す。



図2.7.1 断面力の正方向

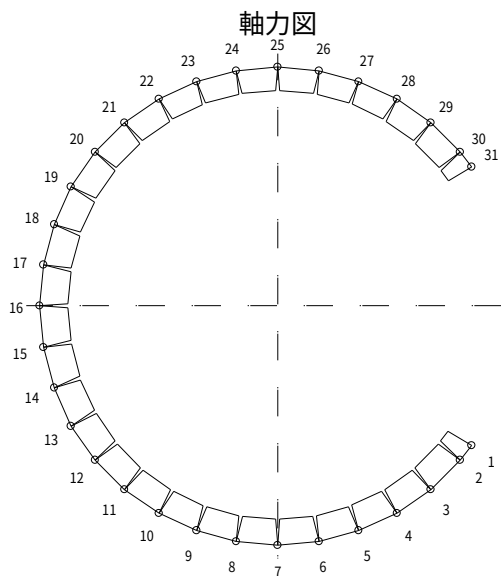
部材 番号	節点番号		角度(°)		曲げモーメント(kN・m/m)		軸力(kN/m)		せん断力(kN/m)	
	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点
1	1	2	125.625	130	0.000	0.429	412.458	412.458	3.273	3.273
2	2	3	130	140	0.429	2.698	406.744	406.744	7.581	7.581
3	3	4	140	150	2.698	5.870	399.970	399.970	10.601	10.601
4	4	5	150	160	5.870	8.961	393.705	393.705	10.327	10.327
5	5	6	160	170	8.961	11.198	388.941	388.941	7.476	7.476
6	6	7	170	180	11.198	12.093	386.349	386.349	2.991	2.991
7	7	8	180	190	12.093	11.477	386.268	386.268	-2.059	-2.059
8	8	9	190	200	11.477	9.510	388.699	388.699	-6.572	-6.572
9	9	10	200	210	9.510	6.673	393.310	393.310	-9.479	-9.479
10	10	11	210	220	6.673	3.393	399.532	399.532	-10.962	-10.962
11	11	12	220	230	3.393	-0.251	406.740	406.740	-12.177	-12.177
12	12	13	230	240	-0.251	-4.045	414.196	414.196	-12.676	-12.676
13	13	14	240	250	-4.045	-7.656	420.943	420.943	-12.069	-12.069
14	14	15	250	260	-7.656	-10.688	425.900	425.900	-10.130	-10.130
15	15	16	260	270	-10.688	-12.750	428.009	428.009	-6.889	-6.889
16	16	17	270	280	-12.750	-13.540	426.717	426.717	-2.641	-2.641
17	17	18	280	290	-13.540	-12.841	422.118	422.118	2.334	2.334
18	18	19	290	300	-12.841	-10.499	414.384	414.384	7.827	7.827
19	19	20	300	310	-10.499	-6.451	403.814	403.814	13.528	13.528
20	20	21	310	320	-6.451	-0.732	391.135	391.135	19.110	19.110
21	21	22	320	330	-0.732	6.196	377.515	377.515	23.151	23.151
22	22	23	330	340	6.196	12.789	364.712	364.712	22.029	22.029
23	23	24	340	350	12.789	17.709	354.693	354.693	16.441	16.441
24	24	25	350	0	17.709	20.044	349.002	349.002	7.805	7.805
25	25	26	0	10	20.044	19.456	348.491	348.491	-1.966	-1.966
26	26	27	10	20	19.456	16.230	353.176	353.176	-10.780	-10.780
27	27	28	20	30	16.230	11.227	362.235	362.235	-16.718	-16.718
28	28	29	30	40	11.227	5.736	374.153	374.153	-18.350	-18.350
29	29	30	40	50	5.736	1.257	386.990	386.990	-14.966	-14.966
30	30	31	50	54.375	1.257	0.000	396.737	396.737	-9.591	-9.591

(2)断面力図



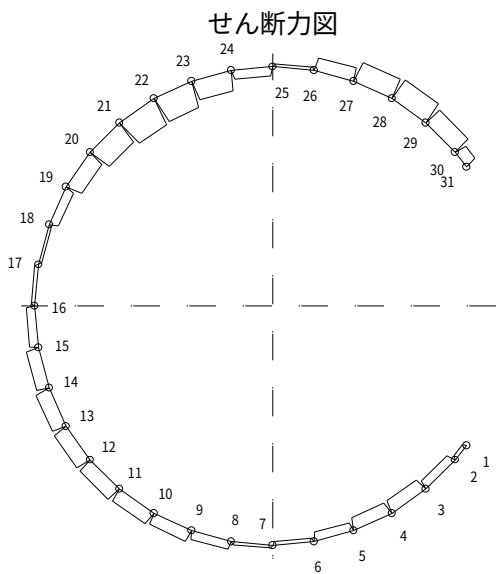
最大曲げモーメント

部材番号	節点番号	角度(°)	曲げモーメント(kN・m/m)
25	25	0	20.044
17	17	280	-13.540



最大曲げモーメント位置軸力

部材番号	節点番号	角度(°)	軸力(kN/m)
25	25	0	348.491
17	17	280	422.118



最大せん断力

部材番号	節点番号	角度(°)	せん断力(kN/m)
21	21	320	23.151

2-8 1 リング当り断面力

$$M = M_0 \cdot B \cdot (1 + \zeta)$$

$$Q = Q_0 \cdot B$$

$$N = N_0 \cdot B$$

M_0 : m当り曲げモーメント (kN・m/m)

Q_0 : m当りせん断力 (kN/m)

N_0 : m当り軸力 (kN/m)

ζ : 曲げモーメント割増率 0 (%)

B : セグメント幅 1.000 (m)

部材 番号	節点番号		角度(°)		曲げモーメント(kN・m)		軸力(kN)		せん断力(kN)	
	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点
1	1	2	125.625	130	0.000	0.429	412.458	412.458	3.273	3.273
2	2	3	130	140	0.429	2.698	406.744	406.744	7.581	7.581
3	3	4	140	150	2.698	5.870	399.970	399.970	10.601	10.601
4	4	5	150	160	5.870	8.961	393.705	393.705	10.327	10.327
5	5	6	160	170	8.961	11.198	388.941	388.941	7.476	7.476
6	6	7	170	180	11.198	12.093	386.349	386.349	2.991	2.991
7	7	8	180	190	12.093	11.477	386.268	386.268	-2.059	-2.059
8	8	9	190	200	11.477	9.510	388.699	388.699	-6.572	-6.572
9	9	10	200	210	9.510	6.673	393.310	393.310	-9.479	-9.479
10	10	11	210	220	6.673	3.393	399.532	399.532	-10.962	-10.962
11	11	12	220	230	3.393	-0.251	406.740	406.740	-12.177	-12.177
12	12	13	230	240	-0.251	-4.045	414.196	414.196	-12.676	-12.676
13	13	14	240	250	-4.045	-7.656	420.943	420.943	-12.069	-12.069
14	14	15	250	260	-7.656	-10.688	425.900	425.900	-10.130	-10.130
15	15	16	260	270	-10.688	-12.750	428.009	428.009	-6.889	-6.889
16	16	17	270	280	-12.750	-13.540	426.717	426.717	-2.641	-2.641
17	17	18	280	290	-13.540	-12.841	422.118	422.118	2.334	2.334
18	18	19	290	300	-12.841	-10.499	414.384	414.384	7.827	7.827
19	19	20	300	310	-10.499	-6.451	403.814	403.814	13.528	13.528
20	20	21	310	320	-6.451	-0.732	391.135	391.135	19.110	19.110
21	21	22	320	330	-0.732	6.196	377.515	377.515	23.151	23.151
22	22	23	330	340	6.196	12.789	364.712	364.712	22.029	22.029
23	23	24	340	350	12.789	17.709	354.693	354.693	16.441	16.441
24	24	25	350	0	17.709	20.044	349.002	349.002	7.805	7.805
25	25	26	0	10	20.044	19.456	348.491	348.491	-1.966	-1.966
26	26	27	10	20	19.456	16.230	353.176	353.176	-10.780	-10.780
27	27	28	20	30	16.230	11.227	362.235	362.235	-16.718	-16.718
28	28	29	30	40	11.227	5.736	374.153	374.153	-18.350	-18.350
29	29	30	40	50	5.736	1.257	386.990	386.990	-14.966	-14.966
30	30	31	50	54.375	1.257	0.000	396.737	396.737	-9.591	-9.591

2-9 補強部材ピッチ当り断面力

$$M = M_0 \cdot L_3 \cdot (1 + \zeta)$$

$$Q = Q_0 \cdot L_3$$

$$N = N_0 \cdot L_3$$

M_0 : m当り曲げモーメント (kN・m/m)

Q_0 : m当りせん断力 (kN/m)

N_0 : m当り軸力 (kN/m)

ζ : 曲げモーメント割増率 0 (%)

L_3 : 補強部材ピッチ 1.250 (m)

部材 番号	節点番号		角度(°)		曲げモーメント(kN・m)		軸力(kN)		せん断力(kN)	
	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点
1	1	2	125.625	130	0.000	0.536	515.572	515.572	4.091	4.091
2	2	3	130	140	0.536	3.372	508.430	508.430	9.476	9.476
3	3	4	140	150	3.372	7.338	499.963	499.963	13.251	13.251
4	4	5	150	160	7.338	11.201	492.131	492.131	12.909	12.909
5	5	6	160	170	11.201	13.998	486.176	486.176	9.345	9.345
6	6	7	170	180	13.998	15.116	482.936	482.936	3.739	3.739
7	7	8	180	190	15.116	14.346	482.835	482.835	-2.574	-2.574
8	8	9	190	200	14.346	11.888	485.874	485.874	-8.215	-8.215
9	9	10	200	210	11.888	8.341	491.638	491.638	-11.849	-11.849
10	10	11	210	220	8.341	4.241	499.415	499.415	-13.702	-13.702
11	11	12	220	230	4.241	-0.314	508.425	508.425	-15.221	-15.221
12	12	13	230	240	-0.314	-5.056	517.745	517.745	-15.845	-15.845
13	13	14	240	250	-5.056	-9.570	526.179	526.179	-15.086	-15.086
14	14	15	250	260	-9.570	-13.360	532.375	532.375	-12.663	-12.663
15	15	16	260	270	-13.360	-15.938	535.011	535.011	-8.611	-8.611
16	16	17	270	280	-15.938	-16.925	533.396	533.396	-3.301	-3.301
17	17	18	280	290	-16.925	-16.051	527.648	527.648	2.918	2.918
18	18	19	290	300	-16.051	-13.124	517.980	517.980	9.784	9.784
19	19	20	300	310	-13.124	-8.064	504.768	504.768	16.910	16.910
20	20	21	310	320	-8.064	-0.915	488.919	488.919	23.888	23.888
21	21	22	320	330	-0.915	7.745	471.894	471.894	28.939	28.939
22	22	23	330	340	7.745	15.986	455.890	455.890	27.536	27.536
23	23	24	340	350	15.986	22.136	443.366	443.366	20.551	20.551
24	24	25	350	0	22.136	25.055	436.252	436.252	9.756	9.756
25	25	26	0	10	25.055	24.320	435.614	435.614	-2.457	-2.457
26	26	27	10	20	24.320	20.288	441.470	441.470	-13.475	-13.475
27	27	28	20	30	20.288	14.034	452.794	452.794	-20.898	-20.898
28	28	29	30	40	14.034	7.170	467.691	467.691	-22.938	-22.938
29	29	30	40	50	7.170	1.571	483.738	483.738	-18.708	-18.708
30	30	31	50	54.375	1.571	0.000	495.921	495.921	-11.989	-11.989

3. セグメントの応力度照査

3-1 応力度の算定方式

セグメントの応力度は、主桁を軸力と曲げモーメントを受ける真直梁として、下式により算定する。

$$\text{外縁応力度} \quad \sigma_o = N / A_s + M / Z_o \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\text{内縁応力度} \quad \sigma_i = N / A_s - M / Z_i \quad (\text{N/mm}^2)$$

A_s	: 主桁の有効断面積	3950 (mm ²)
Z_o	: 断面係数 (外縁側)	106372 (mm ³)
Z_i	: 断面係数 (内縁側)	88694 (mm ³)
N	: 1リング当り軸力	(N)
M	: 1リング当り曲げモーメント (正曲げ: +、負曲げ: -)	(N・mm)

3-2 応力度一覧表

(1) 全節点応力度

[N/mm²]

部材 番号	節点 番号	角度 (°)	M (kN・m)	N (kN)	N / A	M / Z _o	M / Z _i	σ_o	σ_i
1	1	125.625	0.000	412.458	104.420	0.000	0.000	104.4	104.4
1	2	130	0.429	412.458	104.420	4.033	4.837	108.5	99.6
2	2	130	0.429	406.744	102.973	4.033	4.837	107.0	98.1
2	3	140	2.698	406.744	102.973	25.364	30.419	128.3	72.6
3	3	140	2.698	399.970	101.258	25.364	30.419	126.6	70.8
3	4	150	5.870	399.970	101.258	55.184	66.183	156.4	35.1
4	4	150	5.870	393.705	99.672	55.184	66.183	154.9	33.5
4	5	160	8.961	393.705	99.672	84.242	101.033	183.9	-1.4
5	5	160	8.961	388.941	98.466	84.242	101.033	182.7	-2.6
5	6	170	11.198	388.941	98.466	105.272	126.254	203.7	-27.8
6	6	170	11.198	386.349	97.810	105.272	126.254	203.1	-28.4
6	7	180	12.093	386.349	97.810	113.686	136.345	211.5	-38.5
7	7	180	12.093	386.268	97.789	113.686	136.345	211.5	-38.6
7	8	190	11.477	386.268	97.789	107.895	129.400	205.7	-31.6
8	8	190	11.477	388.699	98.405	107.895	129.400	206.3	-31.0
8	9	200	9.510	388.699	98.405	89.403	107.223	187.8	-8.8
9	9	200	9.510	393.310	99.572	89.403	107.223	189.0	-7.7
9	10	210	6.673	393.310	99.572	62.733	75.236	162.3	24.3
10	10	210	6.673	399.532	101.147	62.733	75.236	163.9	25.9
10	11	220	3.393	399.532	101.147	31.898	38.255	133.0	62.9
11	11	220	3.393	406.740	102.972	31.898	38.255	134.9	64.7
11	12	230	-0.251	406.740	102.972	-2.360	-2.830	100.6	105.8
12	12	230	-0.251	414.196	104.860	-2.360	-2.830	102.5	107.7
12	13	240	-4.045	414.196	104.860	-38.027	-45.606	66.8	150.5
13	13	240	-4.045	420.943	106.568	-38.027	-45.606	68.5	152.2
13	14	250	-7.656	420.943	106.568	-71.974	-86.319	34.6	192.9
14	14	250	-7.656	425.900	107.823	-71.974	-86.319	35.8	194.1
14	15	260	-10.688	425.900	107.823	-100.478	-120.504	7.3	228.3
15	15	260	-10.688	428.009	108.357	-100.478	-120.504	7.9	228.9
15	16	270	-12.750	428.009	108.357	-119.862	-143.753	-11.5	252.1
16	16	270	-12.750	426.717	108.030	-119.862	-143.753	-11.8	251.8
16	17	280	-13.540	426.717	108.030	-127.289	-152.660	-19.3	260.7
17	17	280	-13.540	422.118	106.865	-127.289	-152.660	-20.4	259.5
17	18	290	-12.841	422.118	106.865	-120.718	-144.779	-13.9	251.6
18	18	290	-12.841	414.384	104.907	-120.718	-144.779	-15.8	249.7
18	19	300	-10.499	414.384	104.907	-98.701	-118.373	6.2	223.3

19	19	300	-10.499	403.814	102.231	-98.701	-118.373	3.5	220.6
19	20	310	-6.451	403.814	102.231	-60.646	-72.733	41.6	175.0
20	20	310	-6.451	391.135	99.022	-60.646	-72.733	38.4	171.8
20	21	320	-0.732	391.135	99.022	-6.882	-8.253	92.1	107.3
21	21	320	-0.732	377.515	95.573	-6.882	-8.253	88.7	103.8
21	22	330	6.196	377.515	95.573	58.248	69.858	153.8	25.7
22	22	330	6.196	364.712	92.332	58.248	69.858	150.6	22.5
22	23	340	12.789	364.712	92.332	120.229	144.192	212.6	-51.9
23	23	340	12.789	354.693	89.796	120.229	144.192	210.0	-54.4
23	24	350	17.709	354.693	89.796	166.482	199.664	256.3	-109.9
24	24	350	17.709	349.002	88.355	166.482	199.664	254.8	-111.3
24	25	0	20.044	349.002	88.355	188.433	225.990	276.8	-137.6
25	25	0	20.044	348.491	88.226	188.433	225.990	276.7	-137.8
25	26	10	19.456	348.491	88.226	182.905	219.361	271.1	-131.1
26	26	10	19.456	353.176	89.412	182.905	219.361	272.3	-129.9
26	27	20	16.230	353.176	89.412	152.578	182.989	242.0	-93.6
27	27	20	16.230	362.235	91.705	152.578	182.989	244.3	-91.3
27	28	30	11.227	362.235	91.705	105.545	126.581	197.2	-34.9
28	28	30	11.227	374.153	94.722	105.545	126.581	200.3	-31.9
28	29	40	5.736	374.153	94.722	53.924	64.672	148.6	30.1
29	29	40	5.736	386.990	97.972	53.924	64.672	151.9	33.3
29	30	50	1.257	386.990	97.972	11.817	14.172	109.8	83.8
30	30	50	1.257	396.737	100.440	11.817	14.172	112.3	86.3
30	31	54.375	0.000	396.737	100.440	0.000	0.000	100.4	100.4

(2)セグメント最大応力度

項 目		単 位	許 容 値	最大応力度	判 定
最大外縁応力度	σ_o	N/mm ²	322.5	276.8	○
最大内縁応力度	σ_i	N/mm ²	322.5	260.7	○

4. 補強部材の応力度照査

セグメント開口部の補強は、H鋼材によるものとし、以下の3部材毎に応力度照査を行う。

- ① 梁部材・・・・・・軸方向に配置する部材でリング方向に発生する軸力を受ける。
- ② 柱部材・・・・・・梁部材を開口部両端で受ける部材。
- ③ 欠損リング部材・・・・リング方向に発生する軸力を梁部材に伝達させる部材。

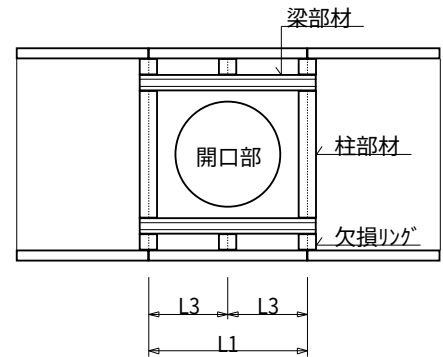


図4.1 補強部材

4-1 梁部材の応力度算定

(1) 梁部材の諸元

H鋼材(強軸断面)	H-400×200×8×13
フランジ幅	B : 200 (mm)
フランジ厚	T2 : 13 (mm)
ウェブ幅	A : 400 (mm)
ウェブ厚	T1 : 8 (mm)
単位重量	W1 : 0.654 (kN/m)
断面積	A1 : 83.370 (cm ²)
断面二次モーメント	I1 : 23500 (cm ⁴)
断面係数	Z1 : 1170.0 (cm ³)

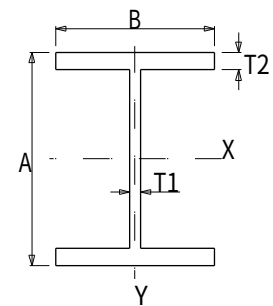


図4.1.1 梁部材断面

(2) 梁部材の設計

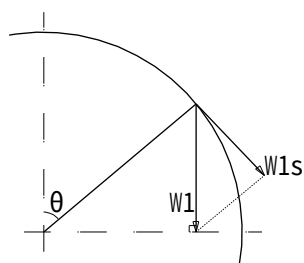
梁部材は、リング方向に発生する軸力を受ける部材と考え、フレーム解析で得られた開口部節点の支点反力の合力Rmax及び、自重W1sを一様に受ける直梁として算定する。

開口部支点反力が最大となる節点番号[1] の反力を合成すると、

$$R_{\max} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(-239.850)^2 + (-337.407)^2} = 413.971 \text{ (kN/m)}$$

ここに、 Rx : 節点番号[1] のX方向反力 -239.850 (kN/m)
Ry : 節点番号[1] のY方向反力 -337.407 (kN/m)

梁部材自重の接線方向成分 W_{1s} は、



$$\begin{aligned} W_{1s} &= W_1 \cdot |\sin \theta| \\ &= 0.654 \times |\sin(125.625^\circ)| \\ &= 0.532 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

図4.1.2 自重の接線方向成分

よって梁部材に作用される等分布荷重 W は以下の様になる。

$$W = R_{\max} + W_{1s} = 413.971 + 0.532 = 414.502 \text{ (kN/m)}$$

梁部材に発生する最大曲げモーメント $M_{\max}$ 及び最大せん断力 $Q_{\max}$ は、等分布荷重 W が作用する両端固定梁として算定する。

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_1^2}{12} = \frac{414.502 \times 2.500^2}{12} = 215.887 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$Q_{\max} = \frac{W \cdot L_1}{2} = \frac{414.502 \times 2.500}{2} = 518.128 \text{ (kN)}$$

$$R_A = R_B = 518.128 \text{ (kN)}$$

ここに、 L_1 : スパン長 2.500 (m)

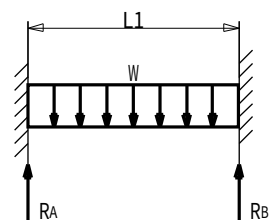


図4.1.3 両端固定梁モデル

よって、梁部材の応力度は以下の様になる。

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{\max}}{Z_1} = \frac{215.887 \times 10^6}{1170.0 \times 10^3} = 184.518 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau_{s1} = \frac{Q_{\max}}{A_1} = \frac{518.128 \times 10^3}{83.370 \times 10^2} = 62.148 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

4-2 柱部材の応力度算定

(1) 柱部材の諸元

H鋼材	H-125×125×6.5×9
フランジ幅	B : 125 (mm)
フランジ厚	T2 : 9 (mm)
ウェブ幅	A : 125 (mm)
ウェブ厚	T1 : 6.5 (mm)
断面積	A2 : 30.000 (cm ²)

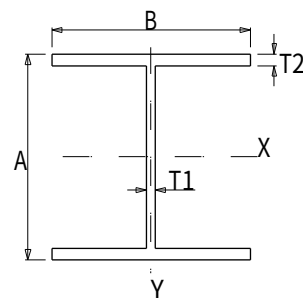


図4.2.1 柱部材断面

(2) 柱部材の設計

柱部材は、梁部材の反力 R_A 、 R_B を受け持つ部材と考え、軸圧縮力のみを考慮する。

$$N = R_A = R_B = 518.128 \text{ (kN)}$$

$$\sigma_{S2} = \frac{N}{A2} = \frac{518.128 \times 10^3}{30.000 \times 10^2} = 172.709 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

4-3 欠損リングの応力度算定

(1) 欠損リングの諸元

H鋼材	H-125×125×6.5×9
フランジ幅	B : 125 (mm)
フランジ厚	T2 : 9 (mm)
ウェブ幅	A : 125 (mm)
ウェブ厚	T1 : 6.5 (mm)
断面積	A3 : 30.000 (cm ²)
欠損リングピッチ	L3 : 1.250 (m)

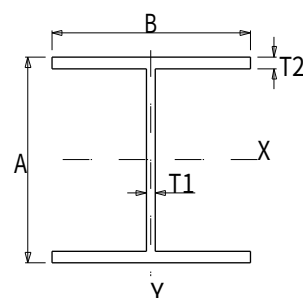


図4.3.1 欠損リング断面

(2) 欠損リングの設計

欠損リングは、リング方向軸力を受け持つ部材と考え、フレーム解析で得られた欠損リングピッチ当り最大軸力を考慮する。

$$\text{欠損リングピッチ当り最大軸力 } N_{\max} = 535.011 \text{ (kN)}$$

$$\sigma_{S3} = \frac{N_{\max}}{A3} = \frac{535.011 \times 10^3}{30.000 \times 10^2} = 178.337 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

4-4 補強部材応力度一覧表

項 目		単 位	許 容 値	応 力 度	判 定
梁部材曲げ応力度	σ_{S1}	N/mm ²	210	184.518	○
梁部材せん断応力度	τ_{S1}	N/mm ²	120	62.148	○
柱部材圧縮応力度	σ_{S2}	N/mm ²	210	172.709	○
欠損リング圧縮応力度	σ_{S3}	N/mm ²	210	178.337	○