

ヒューム管開口部の検討

計算例 1

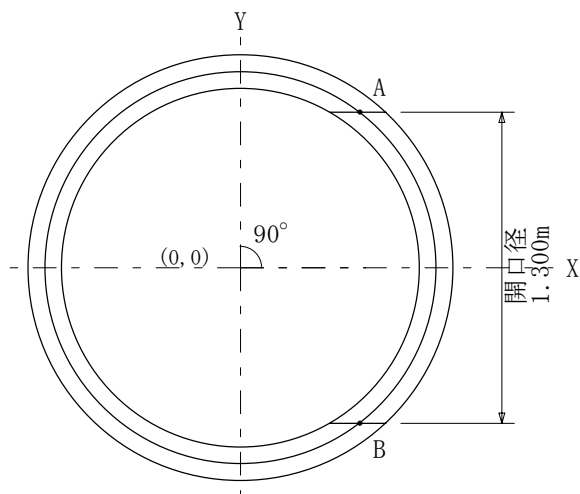
1. 設計条件

図1. 1. 1に示すとおりヒューム管HP ϕ 1500に1. 300mの開口を設けた場合の検討を行う。

1-1 ヒューム管断面諸元

(1) ヒューム管諸元

ヒューム管	HP ϕ 1500
外径	D_o : 1. 780 (m)
内径	D_i : 1. 500 (m)
図心径	D_c : 1. 640 (m)
管厚	t : 0. 140 (m)
自重	W : 17. 330 (kN/m)
ひび割れ荷重(1種)	P_1 : 50. 100 (kN/m)
ひび割れ荷重(2種)	P_2 : 101. 000 (kN/m)
ヤング係数	E_c : 33000000 (kN/m ²)



図心径上の開口部座標(m)

A点 $X_A = 0. 49990$, $Y_A = 0. 65000$

B点 $X_B = 0. 49990$, $Y_B = -0. 65000$

開口角度 = 104. 874°

図1. 1. 1 本管断面形状及び開口位置

(2) 開口部剛性低減率

開口径 d : 1.300 (m)

$$\begin{aligned}\text{開口率 } A &= d / (2 \times D_c) \times 100\% \\ &= 1.300 / (2 \times 0.8200) \times 100\% = 79.3\%\end{aligned}$$

開口部断面の解析は、開口部の部材剛性を低減させるものとし、その低減率 α は以下式により求めるものとする。

$$\begin{aligned}\text{低減率 } \alpha &= 0.15^2 / A^2 \\ &= 0.15^2 / 0.793^2 = 3.6 \%\end{aligned}$$

1-2 土質条件

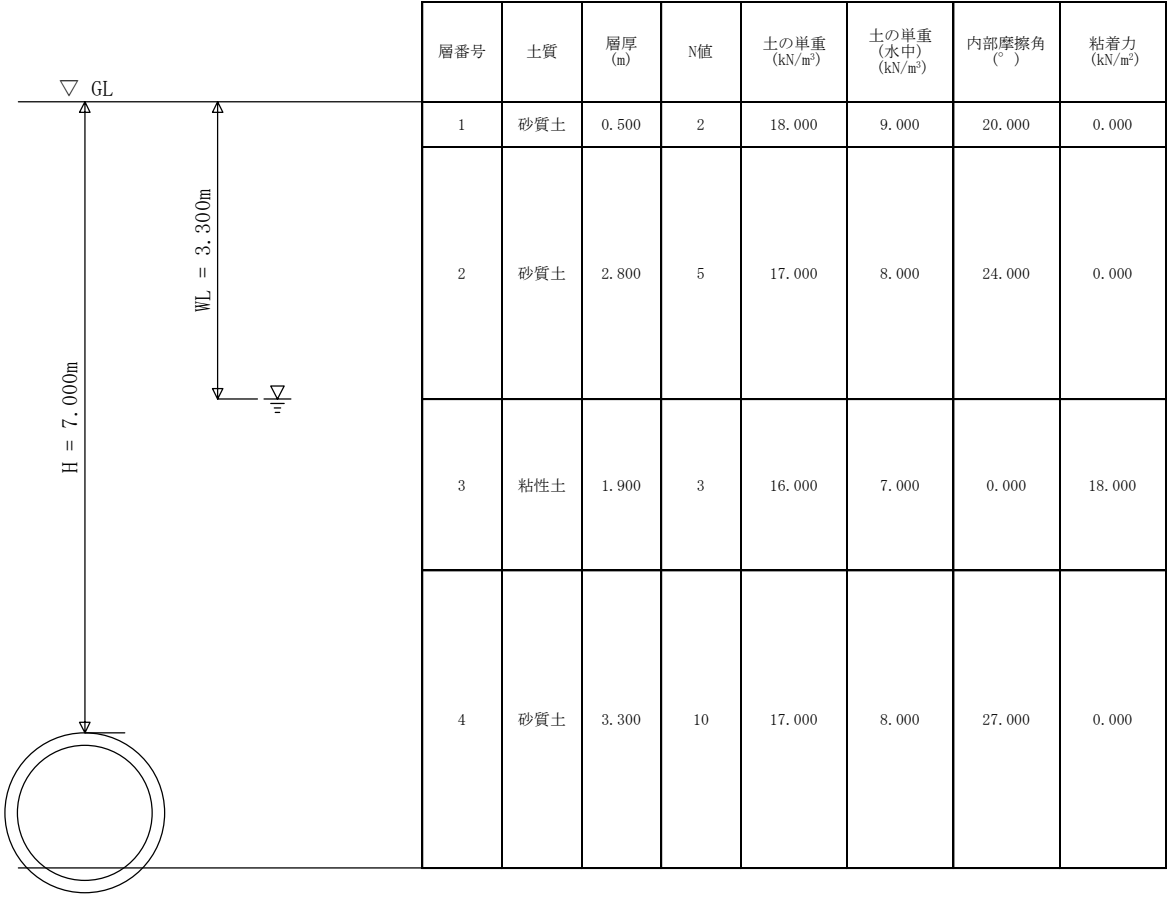


図1.2.1 土質条件

1-3 作用荷重の算定

(1) 鉛直荷重 (Pv1)

・ 活荷重 (p)

$$p = \frac{2 \cdot P \cdot (1 + i) \cdot \beta}{C \cdot (a + 2 \cdot H \cdot \tan \theta)}$$

$$= \frac{2 \times 100.000 \times (1 + 0.000) \times 0.9}{2.75 \times (0.20 + 2 \times 7.000 \times \tan 45^\circ)}$$

$$= 4.609 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、

H	： 土被り	7.000 (m)
P	： 後輪荷重	100.000 (kN)
a	： タイヤの接地長	0.20 (m)
C	： 車両の占有幅	2.75 (m)
θ	： 荷重の分布角	45 (°)
i	： 衝撃係数	0.000
β	： 低減係数	0.9

土被り H (m)	衝撃係数 i
$H \leq 1.5$	0.5
$1.5 < H < 6.5$	$0.65 - 0.1H$
$H \geq 6.5$	0

	低減係数 β
土被り $H \leq 1\text{m}$ かつ 内径 $D_i \geq 4\text{m}$ の場合	1.0
上記以外 の場合	0.9

・鉛直土圧 (Pvs)

鉛直土圧はテルツァギーの緩み土圧を加重するものとし、以下式により算定する。

$$P_{vn} = \left\{ \gamma - \frac{2 \cdot C}{B_e} - \frac{2 \cdot K \cdot \mu \cdot (P_{v1} + P_{v2} + \dots + P_{vn-1})}{B_e} \right\} \cdot C_e$$

$$C_e = \frac{1}{2 \cdot K \cdot \mu / B_e} \cdot \{ 1 - e^{-(2 \cdot K \cdot \mu / B_e) \cdot h} \}$$

$$B_e = B_t \cdot \left\{ \frac{1 + \sin(45^\circ - \phi / 2)}{\cos(45^\circ - \phi / 2)} \right\}$$

$$= 1.880 \times \left\{ \frac{1 + \sin(45^\circ - 27^\circ / 2)}{\cos(45^\circ - 27^\circ / 2)} \right\} = 3.357 \text{ (m)}$$

ここで、

P_{vn}	第n層の鉛直土圧増分	(kN/m ²)
C_e	テルツァギーの土荷重の係数	(m)
K	テルツァギーの側方土圧係数	$K = 1$
ϕ	土の内部摩擦角	27 (°)
μ	土の摩擦係数	$\mu = \tan \phi_n$
h	土の層厚	(m)
γ	土の単位体積重量	(kN/m ³)
C	土の粘着力	(kN/m ²)
B_e	土の緩み幅	3.357 (m)
B_t	トンネル直径	1.780 + 0.100 = 1.880 (m)

第n層底面の鉛直土圧は、各層の鉛直土圧増分を加重して求める。

$$P_{vs} = P_{v1} + P_{v2} + \dots + P_{vn}$$

層	土質	層厚 h (m)	単位重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ_n (°)	粘着力 C (kN/m ²)	摩擦係数 μ	土荷重係数 C_e (m)	土圧増分 P_{vn} (kN/m ²)	鉛直土圧 P_{vs} (kN/m ²)
1	砂質土	0.500	18.000	20	0.000	0.364	0.474	8.532	8.532
2	砂質土	2.800	17.000	24	0.000	0.445	1.976	29.122	37.654
3	粘性土	1.900	7.000	0	18.000	0.000	1.900	-7.075	30.579
4	砂質土	1.800	8.000	27	0.000	0.510	1.386	-1.790	28.789

- ・ 鉛直水圧 (P_{vw})

$$P_{vw} = 10.000 \cdot H_w$$

$$= 10.000 \times 3.700 = 37.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、

$$H_w : \text{水頭高} \quad 3.700 \text{ (m)}$$

- ・ 鉛直荷重 (P_{v1})

$$P_{v1} = p + P_{vs} + P_{vw}$$

$$= 4.609 + 28.789 + 37.000 = 70.398 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(2) 水平荷重 (Ph1, Ph2)

・ 水平土圧

水平土圧はランキンの主動土圧係数によるものとし、以下式より算定する。

$$Phs = Ka \cdot (\gamma \cdot (X - H) + P + Pvs)$$

ここで、

Ka : ランキンの主動土圧係数

$$Ka = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = 0.376$$

ϕ	: 土の内部摩擦角	27 (°)
γ	: 土の単位体積重量	8.000 (kN/m ³)
X	: 深度	(m)
H	: 土被り	7.000 (m)
P	: 活荷重	4.609 (kN/m ²)
Pvs	: 鉛直土圧	28.789 (kN/m ²)

	深度 X (m)	水平土圧 (kN/m ²)
上部水平土圧 (Phs1)	7.070	12.768
下部水平土圧 (Phs2)	8.710	17.701

・ 水平水圧

水平水圧 (Phw1, Phw2) は以下式により算定する。

$$Phw = 10.000 \cdot Hw$$

	水頭高 Hw (m)	水平水圧 (kN/m ²)
上部水平水圧 (Phw1)	3.770	37.700
下部水平水圧 (Phw2)	5.410	54.100

・ 水平荷重 (Ph1, Ph2)

$$\text{上部水平荷重} \quad Ph1 = Phs1 + Phw1 = 50.468 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\text{下部水平荷重} \quad Ph2 = Phs2 + Phw2 = 71.801 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(3) 円周単位m当たり自重 (Wg)

ヒューム管自重は考慮しない。

(4) 下部反力 (Pv2)

$$Pv2 = Pv1 + Pg$$

$$= 70.398 + 0.000 = 70.398 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、

Pv1 : 鉛直荷重

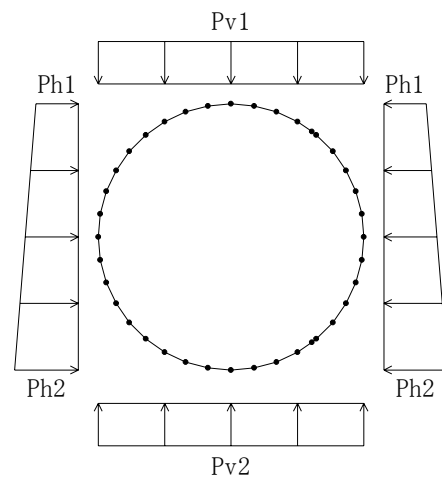
70.398 (kN/m²)

Pg : 自重による下部反力

0.000 (kN/m²)

1-4 作用荷重

(1) 作用荷重分布図



鉛直荷重	Pv1	kN/m ²	70.398
頂部水平荷重	Ph1	kN/m ²	50.468
底部水平荷重	Ph2	kN/m ²	71.801
下部反力荷重	Pv2	kN/m ²	70.398

(2) 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			X方向荷重	荷重合計	
	(kN/m)					
	自重	鉛直荷重	下部反力	水平荷重	Y方向	X方向
1	0.000	-10.024	0.000	0.000	-10.024	0.000
2	0.000	-9.872	0.000	-1.254	-9.872	-1.254
3	0.000	-9.420	0.000	-2.493	-9.420	-2.493
4	0.000	-7.724	0.000	-3.128	-7.724	-3.128
5	0.000	-4.121	0.000	-2.154	-4.121	-2.154
6	0.000	-4.514	0.000	-3.271	-4.514	-3.271
7	0.000	-6.443	0.000	-5.926	-6.443	-5.926
8	0.000	-5.012	0.000	-6.886	-5.012	-6.886
9	0.000	-3.428	0.000	-7.696	-3.428	-7.696
10	0.000	-1.741	0.000	-8.315	-1.741	-8.315
11	0.000	-0.438	0.438	-8.705	0.000	-8.705
12	0.000	0.000	1.741	-8.831	1.741	-8.831
13	0.000	0.000	3.428	-8.664	3.428	-8.664
14	0.000	0.000	5.012	-8.191	5.012	-8.191
15	0.000	0.000	6.443	-7.411	6.443	-7.411
16	0.000	0.000	4.514	-4.243	4.514	-4.243
17	0.000	0.000	4.121	-2.858	4.121	-2.858
18	0.000	0.000	7.724	-4.242	7.724	-4.242
19	0.000	0.000	9.420	-3.462	9.420	-3.462
20	0.000	0.000	9.872	-1.769	9.872	-1.769
21	0.000	0.000	10.024	0.000	10.024	0.000
22	0.000	0.000	9.872	1.769	9.872	1.769
23	0.000	0.000	9.420	3.462	9.420	3.462
24	0.000	0.000	8.681	5.005	8.681	5.005
25	0.000	0.000	7.679	6.338	7.679	6.338
26	0.000	0.000	6.443	7.411	6.443	7.411
27	0.000	0.000	5.012	8.191	5.012	8.191
28	0.000	0.000	3.428	8.664	3.428	8.664
29	0.000	0.000	1.741	8.831	1.741	8.831
30	0.000	-0.438	0.438	8.705	0.000	8.705
31	0.000	-1.741	0.000	8.315	-1.741	8.315
32	0.000	-3.428	0.000	7.696	-3.428	7.696
33	0.000	-5.012	0.000	6.886	-5.012	6.886
34	0.000	-6.443	0.000	5.926	-6.443	5.926
35	0.000	-7.679	0.000	4.853	-7.679	4.853
36	0.000	-8.681	0.000	3.700	-8.681	3.700
37	0.000	-9.420	0.000	2.493	-9.420	2.493
38	0.000	-9.872	0.000	1.254	-9.872	1.254
(-)合計	0.000	-115.453	0.000	-99.499	-114.576	-99.499
(+)合計	0.000	0.000	115.453	99.499	114.576	99.499
合計	0.000	-115.453	115.453	0.000	0.000	0.000

以上の荷重をフレームモデルに載荷し、計算を行う。

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5、17を新たに設けるものとし、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。

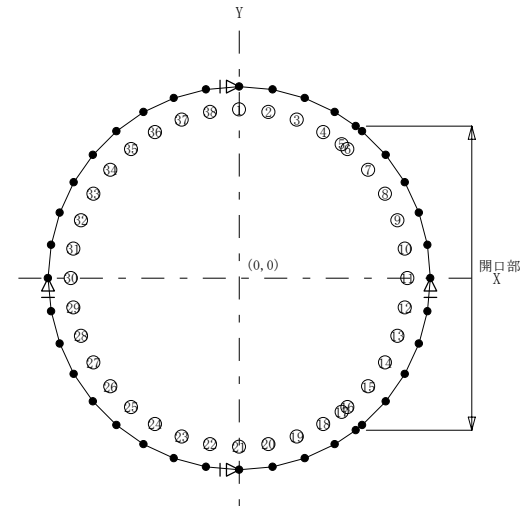


図2.1.1 節点図

節点番号	角度(°)	X座標(m)	Y座標(m)	拘束点	
				X方向	Y方向
1	0	0.00000	0.82000	固定	
2	10	0.14239	0.80754		
3	20	0.28046	0.77055		
4	30	0.41000	0.71014		
5	37.563	0.49990	0.65000		
6	40	0.52709	0.62816		
7	50	0.62816	0.52709		
8	60	0.71014	0.41000		
9	70	0.77055	0.28046		
10	80	0.80754	0.14239		
11	90	0.82000	0.00000		固定
12	100	0.80754	-0.14239		
13	110	0.77055	-0.28046		
14	120	0.71014	-0.41000		
15	130	0.62816	-0.52709		
16	140	0.52709	-0.62816		
17	142.437	0.49990	-0.65000		
18	150	0.41000	-0.71014		
19	160	0.28046	-0.77055		
20	170	0.14239	-0.80754		
21	180	0.00000	-0.82000	固定	
22	190	-0.14239	-0.80754		
23	200	-0.28046	-0.77055		
24	210	-0.41000	-0.71014		
25	220	-0.52709	-0.62816		
26	230	-0.62816	-0.52709		
27	240	-0.71014	-0.41000		
28	250	-0.77055	-0.28046		
29	260	-0.80754	-0.14239		
30	270	-0.82000	0.00000		固定
31	280	-0.80754	0.14239		
32	290	-0.77055	0.28046		
33	300	-0.71014	0.41000		
34	310	-0.62816	0.52709		
35	320	-0.52709	0.62816		
36	330	-0.41000	0.71014		
37	340	-0.28046	0.77055		
38	350	-0.14239	0.80754		

2-2 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	0.1400000
ヤング係数	Ec	kN/m ²	33000000
断面二次モーメント	Is	m ⁴	0.000228666667
曲げ剛性	EI	kN・m ²	7546
軸剛性	EA	kN	4620000
開口部			
断面二次モーメント	Is'	m ⁴	0.000008232000
曲げ剛性	EI'	kN・m ²	272
軸剛性	EA'	kN	166320

※ 曲げ剛性 EI = Ec ・ Is

※ 軸剛性 EA = Ec ・ As

各部材毎の断面性能を以下表に整理する。

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)	軸剛性 (kN)
1	1	2	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
2	2	3	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
3	3	4	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
4	4	5	0.10816	0.10824	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
5	5	6	0.03487	0.03488	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
6	6	7	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
7	7	8	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
8	8	9	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
9	9	10	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
10	10	11	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
11	11	12	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
12	12	13	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
13	13	14	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
14	14	15	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
15	15	16	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
16	16	17	0.03487	0.03488	0.1400000	0.0000082	33000000	272	166320
17	17	18	0.10816	0.10824	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
18	18	19	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
19	19	20	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
20	20	21	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
21	21	22	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
22	22	23	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
23	23	24	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
24	24	25	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
25	25	26	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
26	26	27	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
27	27	28	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
28	28	29	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
29	29	30	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
30	30	31	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
31	31	32	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
32	32	33	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
33	33	34	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
34	34	35	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
35	35	36	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
36	36	37	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
37	37	38	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000
38	38	1	0.14294	0.14312	0.1400000	0.0002287	33000000	7546	4620000

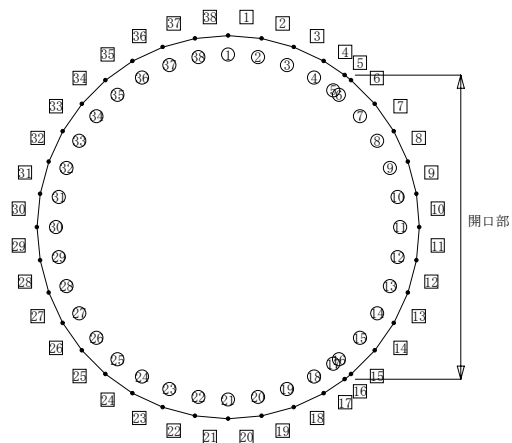


図2. 3. 1 部材番号

○：節点番号
□：部材番号

2-3 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。

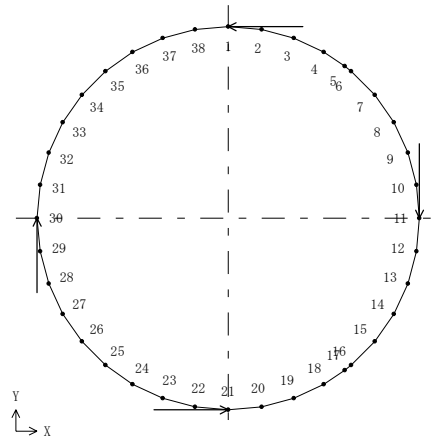


図2.5.1 支点反力図

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
1	0	0.000	0.820	-1.110	—	—	—
2	10	0.142	0.808	—	—	—	—
3	20	0.280	0.771	—	—	—	—
4	30	0.410	0.710	—	—	—	—
5	37.563	0.500	0.650	—	—	—	—
6	40	0.527	0.628	—	—	—	—
7	50	0.628	0.527	—	—	—	—
8	60	0.710	0.410	—	—	—	—
9	70	0.771	0.280	—	—	—	—
10	80	0.808	0.142	—	—	—	—
11	90	0.820	0.000	—	-1.110	—	—
12	100	0.808	-0.142	—	—	—	—
13	110	0.771	-0.280	—	—	—	—
14	120	0.710	-0.410	—	—	—	—
15	130	0.628	-0.527	—	—	—	—
16	140	0.527	-0.628	—	—	—	—
17	142.437	0.500	-0.650	—	—	—	—
18	150	0.410	-0.710	—	—	—	—
19	160	0.280	-0.771	—	—	—	—
20	170	0.142	-0.808	—	—	—	—
21	180	0.000	-0.820	1.110	—	—	—
22	190	-0.142	-0.808	—	—	—	—
23	200	-0.280	-0.771	—	—	—	—
24	210	-0.410	-0.710	—	—	—	—
25	220	-0.527	-0.628	—	—	—	—
26	230	-0.628	-0.527	—	—	—	—
27	240	-0.710	-0.410	—	—	—	—
28	250	-0.771	-0.280	—	—	—	—
29	260	-0.808	-0.142	—	—	—	—
30	270	-0.820	0.000	—	1.110	—	—
31	280	-0.808	0.142	—	—	—	—
32	290	-0.771	0.280	—	—	—	—
33	300	-0.710	0.410	—	—	—	—
34	310	-0.628	0.527	—	—	—	—
35	320	-0.527	0.628	—	—	—	—
36	330	-0.410	0.710	—	—	—	—
37	340	-0.280	0.771	—	—	—	—
38	350	-0.142	0.808	—	—	—	—
合計				0.000	0.000	0.000	0.000

2-4 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、ヒューム管内側方向に変位する節点を「内側」、ヒューム管外側方向に変位する節点を「外側」と表示する。

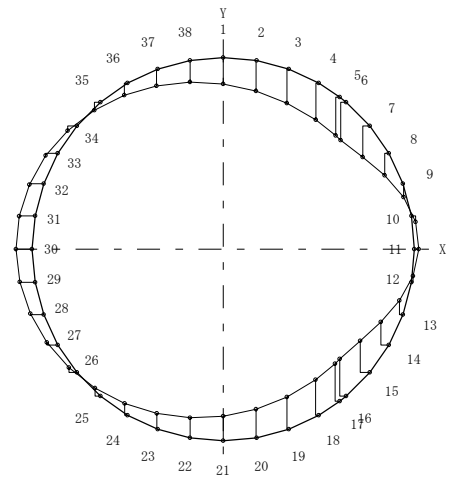


図2.6.1 変位図

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
1	0	0.000000	-0.000206	-0.000242	内側	—
2	10	-0.000004	-0.000238	-0.000212	内側	—
3	20	-0.000013	-0.000265	-0.000180	内側	—
4	30	-0.000024	-0.000286	-0.000152	内側	—
5	37.563	-0.000034	-0.000298	-0.000135	内側	—
6	40	-0.000043	-0.000293	-0.000010	内側	—
7	50	-0.000055	-0.000243	0.000344	内側	—
8	60	-0.000032	-0.000172	0.000460	内側	—
9	70	0.000005	-0.000104	0.000380	内側	—
10	80	0.000032	-0.000048	0.000173	外側	—
11	90	0.000035	0.000000	-0.000079	外側	—
12	100	0.000011	0.000050	-0.000298	外側	—
13	110	-0.000028	0.000110	-0.000419	内側	—
14	120	-0.000062	0.000179	-0.000401	内側	—
15	130	-0.000074	0.000244	-0.000230	内側	—
16	140	-0.000050	0.000286	0.000077	内側	—
17	142.437	-0.000038	0.000290	0.000170	内側	—
18	150	-0.000027	0.000275	0.000181	内側	—
19	160	-0.000014	0.000251	0.000198	内側	—
20	170	-0.000004	0.000223	0.000215	内側	—
21	180	0.000000	0.000191	0.000230	内側	—
22	190	-0.000001	0.000157	0.000242	内側	—
23	200	-0.000009	0.000123	0.000248	内側	—
24	210	-0.000022	0.000090	0.000246	内側	—
25	220	-0.000041	0.000061	0.000235	内側	—
26	230	-0.000062	0.000037	0.000213	外側	—
27	240	-0.000084	0.000019	0.000179	外側	—
28	250	-0.000104	0.000008	0.000134	外側	—
29	260	-0.000118	0.000002	0.000079	外側	—
30	270	-0.000125	0.000000	0.000016	外側	—
31	280	-0.000123	-0.000002	-0.000051	外側	—
32	290	-0.000111	-0.000007	-0.000117	外側	—
33	300	-0.000093	-0.000018	-0.000177	外側	—
34	310	-0.000070	-0.000036	-0.000226	外側	—
35	320	-0.000047	-0.000062	-0.000261	内側	—
36	330	-0.000026	-0.000094	-0.000278	内側	—
37	340	-0.000010	-0.000131	-0.000280	内側	—
38	350	-0.000002	-0.000169	-0.000267	内側	—

2-5 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。

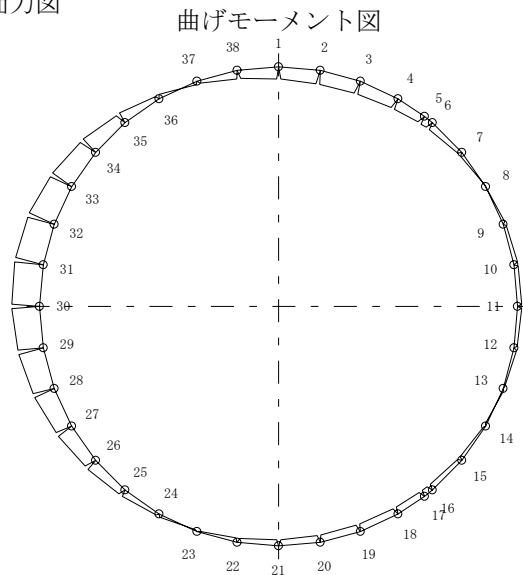
尚、図2.7.1に各断面力の正方向を示す。



図2.7.1 断面力の正方向

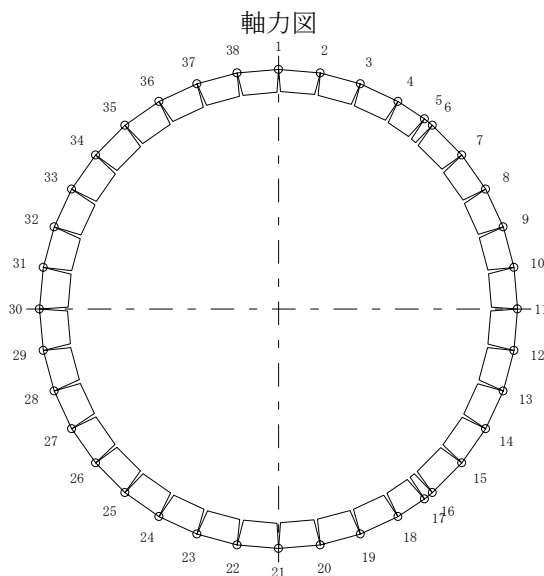
部材 番号	節点番号		角度(°)		曲げモーメント(kN・m/m)		軸力(kN/m)		せん断力(kN/m)	
	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点	i点	j点
1	1	2	0	10	1.517	1.714	45.916	45.916	1.384	1.384
2	2	3	10	20	1.714	1.640	46.322	46.322	-0.523	-0.523
3	3	4	20	30	1.640	1.345	47.431	47.431	-2.062	-2.062
4	4	5	30	37.563	1.345	1.025	48.885	48.885	-2.956	-2.956
5	5	6	37.563	40	1.025	0.912	49.859	49.859	-3.246	-3.246
6	6	7	40	50	0.912	0.436	50.796	50.796	-3.332	-3.332
7	7	8	50	60	0.436	0.005	52.482	52.482	-3.011	-3.011
8	8	9	60	70	0.005	-0.311	53.840	53.840	-2.211	-2.211
9	9	10	70	80	-0.311	-0.475	54.726	54.726	-1.149	-1.149
10	10	11	80	90	-0.475	-0.484	55.103	55.103	-0.063	-0.063
11	11	12	90	100	-0.484	-0.351	56.141	56.141	0.931	0.931
12	12	13	100	110	-0.351	-0.110	55.731	55.731	1.686	1.686
13	13	14	110	120	-0.110	0.181	55.146	55.146	2.036	2.036
14	14	15	120	130	0.181	0.466	54.547	54.547	1.996	1.996
15	15	16	130	140	0.466	0.701	54.056	54.056	1.641	1.641
16	16	17	140	142.437	0.701	0.747	54.040	54.040	1.310	1.310
17	17	18	142.437	150	0.747	0.855	53.804	53.804	1.000	1.000
18	18	19	150	160	0.855	0.914	53.601	53.601	0.410	0.410
19	19	20	160	170	0.914	0.873	53.621	53.621	-0.283	-0.283
20	20	21	170	180	0.873	0.736	53.758	53.758	-0.956	-0.956
21	21	22	180	190	0.736	0.495	52.876	52.876	-1.689	-1.689
22	22	23	190	200	0.495	0.141	53.212	53.212	-2.475	-2.475
23	23	24	200	210	0.141	-0.316	53.676	53.676	-3.198	-3.198
24	24	25	210	220	-0.316	-0.861	54.296	54.296	-3.810	-3.810
25	25	26	220	230	-0.861	-1.466	55.081	55.081	-4.235	-4.235
26	26	27	230	240	-1.466	-2.091	56.007	56.007	-4.373	-4.373
27	27	28	240	250	-2.091	-2.680	56.996	56.996	-4.123	-4.123
28	28	29	250	260	-2.680	-3.169	57.915	57.915	-3.419	-3.419
29	29	30	260	270	-3.169	-3.492	58.593	58.593	-2.259	-2.259
30	30	31	270	280	-3.492	-3.581	59.960	59.960	-0.626	-0.626
31	31	32	280	290	-3.581	-3.394	59.628	59.628	1.314	1.314
32	32	33	290	300	-3.394	-2.933	58.639	58.639	3.224	3.224
33	33	34	300	310	-2.933	-2.241	57.033	57.033	4.842	4.842
34	34	35	310	320	-2.241	-1.394	54.960	54.960	5.926	5.926
35	35	36	320	330	-1.394	-0.492	52.667	52.667	6.306	6.306
36	36	37	330	340	-0.492	0.354	50.456	50.456	5.924	5.924
37	37	38	340	350	0.354	1.048	48.631	48.631	4.852	4.852
38	38	1	350	0	1.048	1.517	47.438	47.438	3.279	3.279

(2) 断面力図



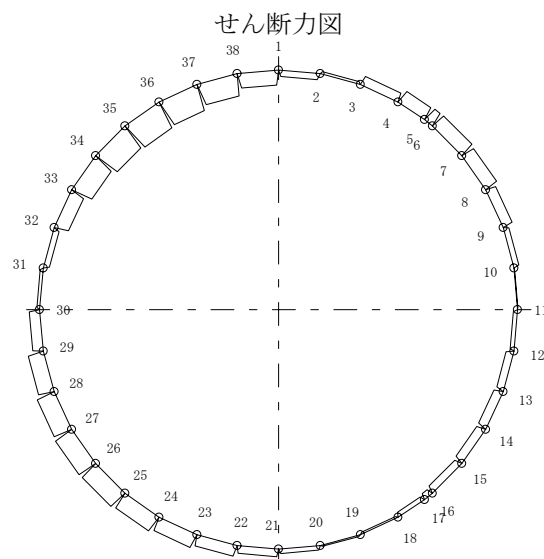
最大曲げモーメント

部材番号	節点番号	角度(°)	曲げモーメント(kN・m/m)
1	2	10	1.714
31	31	280	-3.581



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)
1	2	10	45.916
31	31	280	59.628



最大せん断力

部材番号	節点番号	角度(°)	せん断力(kN/m)
35	35	320	6.306

3. ヒューム管の安全性の確認

3-1 管の耐荷力の算定

ひび割れ保証モーメントは次式より求める。

$$M_c = 0.318 \cdot P_c \cdot r_c + 0.239 \cdot W \cdot r_c$$

ここで、

M_c : ひび割れ保証モーメント

P_c : ひび割れ荷重

r_c : 図心半径 0.820 (m)

W : 管の自重 17.330 (kN/m)

管種類	ひび割れ荷重 P_c (kN/m)	ひび割れ保証モーメント (kN・m)
1種管	50.100	16.460
2種管	101.000	29.733

3-2 安全性の確認

管種類	ひび割れ保証モーメント (kN・m)	最大曲げモーメント (kN・m)	安全率	判定
1種管	16.460	-3.581	4.596	○
2種管	29.733	-3.581	8.303	○