

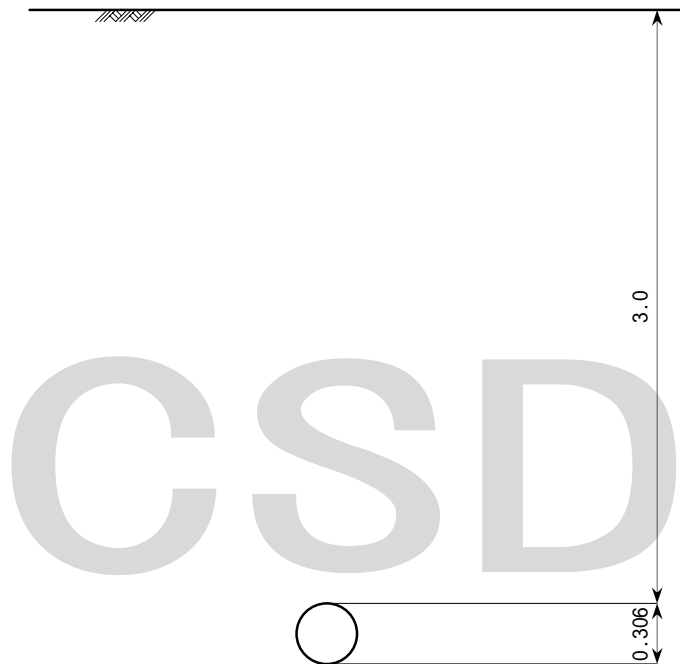
二層構造管（サンプル計算書）

骨組解析モデル（サンプル計算書）

1. 設計条件

(1) 埋設条件

既設管の外径	Bc(mm)	306
既設管の内径	Dmm)	250
既設管の管種		鉄筋コンクリート管
既設管の弾性係数	E(N/mm ²)	33000
既設管の土被り	H(m)	3.0
掘削溝幅	Bd(m)	1.10
既設管のクラックモデル		集中型 Lud
更生管の材質		ガラス繊維
更生管の管厚	t(mm)	3.7
更生管の長期曲げ弾性係数	E _L (N/mm ²)	4800
更生管の長期曲げ弾性係数の安全率	F	4800
更生管の長期曲げ強度	L	50.0
更生管の長期曲げ強度の安全率	F _L	1.5
T荷重		T-25



(2) 土質条件

埋戻し土の単位体積重量	(kN/m ³)	18
埋戻し土の内部摩擦角	(°)	30
埋戻し土の粘着力	C(kN/m ²)	0
静止土圧係数	Ka	0.5

2. 鉛直荷重

(1) 土による等分布荷重 (ヤンセン公式により)

土による等分布荷重は、次の通りになる。

$$\begin{aligned} K &= \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} \\ &= \frac{\sqrt{0.577^2 + 1} - 0.577}{\sqrt{0.577^2 + 1} + 0.577} \\ &= 0.334 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= \left(\frac{\gamma \cdot Bd}{2} - C \right) \cdot \left(\frac{1 - e^{-2K \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K \cdot \mu} \right) \\ &= \left(\frac{18 \times 1.10}{2} - 0 \right) \times \left(\frac{1 - e^{-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 3.0/1.10}}{0.334 \times 0.577} \right) \\ &= 33.415 (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

ここに、

q	: 埋戻し土による鉛直土圧 (kN/m ²)
K	: 埋戻し土の主働土圧係数
μ	: 埋戻し土と側壁との摩擦係数 (=tan φ) 0.577
γ	: 埋戻し土の単位体積重量 18(kN/m ³)
φ	: 埋戻し土の内部摩擦角 30(°)
C	: 埋戻し土の粘着力 0(kN/m ²)
Bd	: 掘削面における溝幅 1.10(m)
H	: 土被り 3.0(m)

(2) 土による等分布荷重 (鉛直土圧式により)

土による等分布荷重は、次の通りになる。

$$\begin{aligned} q &= \gamma \cdot H \\ &= 18 \times 2.0 \\ &= 36.000 (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

ここに、

q	: 埋戻し土による鉛直土圧 (kN/m ²)
γ	: 埋戻し土の単位体積重量 18(kN/m ³)
H	: 土被り 2.0(m)

(3) 土による鉛直等分布荷重

土による鉛直等分布荷重は、ヤンセン公式と鉛直土圧式を比較して大きい方を用いる。

$$q = 36.000 (\text{kN/m}^2)$$

(4)活荷重

活荷重については、ここでは自動車荷重の影響を考える。
 自動車荷重は「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会発行）に定められた T-25 の後輪荷重を用いる。
 一般には前輪荷重の影響は無視するものとし、衝撃係数は土被りによって変化するもので、
 縦断方向には接地幅 0.2m で 45 度に分布するものとする。

活荷重による鉛直等分布荷重 p は、

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

$$= \frac{2 \times 100.000 \times (1 + 0.350)}{2.75 \times (0.2 + 2 \times 3.0 \times \tan 45)}$$

$$= 15.836 (\text{kN/m}^2)$$

ここに、

p : 活荷重 (kN/m^2)	
H : 土被り	3.0 (m)
P : 1 後輪荷重	100.000 (kN)
a : 車輪接地長さ	0.2 (m)
C : 車体占有幅	2.75 (m)
θ : 分布角度	45 (°)
i : 衝撃係数 (土被りにより次の値を用いる)	0.350

H	1.5	$1.5 < H < 6.5$	H	6.5
i	0.5	$0.65 - 0.1 \times H$		0

(5)底面地盤反力

土による水平荷重は、次の通りになる。

$$q_r = (q + p) / \sin \frac{120}{2}$$

$$= (36.000 + 15.836) / \sin \frac{120}{2}$$

$$= 59.855 (\text{kN/m}^2)$$

ここに、

q_r : 底版地盤反力 (kN/m^2)	
q : 鉛直土圧	36.000 (kN/m^2)
p : 活荷重	15.836 (kN/m^2)
支承角度	120 (°)

3. 水平荷重

(1)土による水平荷重

土による水平荷重は、次の通りになる。

$$\begin{aligned} Ph1 &= Ka \cdot \gamma \cdot H1 \\ &= 0.5 \times 18 \times 3.0140 \\ &= 27.126 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ph2 &= Ka \cdot \gamma \cdot H2 \\ &= 0.5 \times 18 \times 3.2920 \\ &= 29.628 \end{aligned}$$

ここに、

Ph1	: 管頂軸線の水平土圧(kN/m ²)	
Ph2	: 管底軸線の水平土圧(kN/m ²)	
Ka	: 静止土圧係数	0.5
	: 土の単位体積重量	18(kN/m ³)
H1	: 管頂軸線の深度	3.0140(m)
H2	: 管底軸線の深度	3.2920(m)

(2)活荷重による水平荷重

活荷重による水平荷重は、次の通りになる。

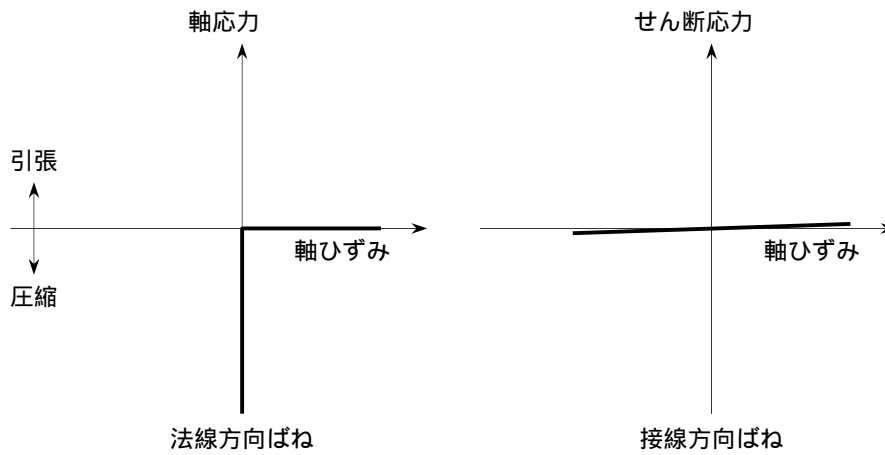
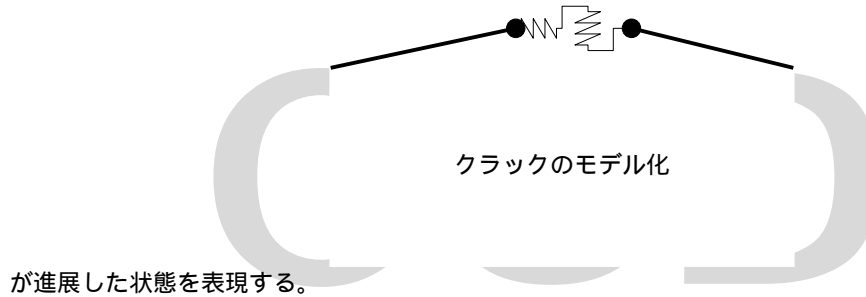
$$\begin{aligned} P &= Ka \cdot p \\ &= 0.5 \times 15.836 \\ &= 7.918(\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

ここに、

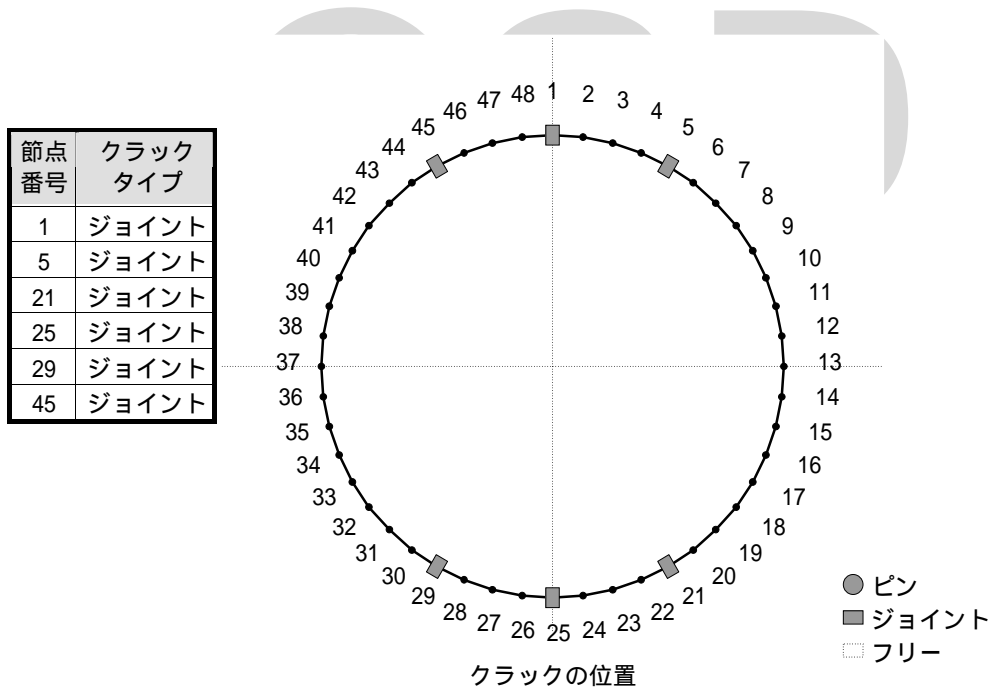
P	: 管頂軸線及び管底軸線の水平活荷重(kN/m ²)	
Ka	: 静止土圧係数	0.5
p	: 鉛直活荷重	15.836(kN/m ²)

4. 既設管損傷部のモデル化

既設管のクラック部は、クラックの進展状態を考慮してモデル化を行う。
 ジョイント結合は下図に示すように、ジョイントの法線方向圧縮側には力を伝達し、
 引張り側には力を伝達しない、また、接線方向には剛性を与えない条件とし、クラック



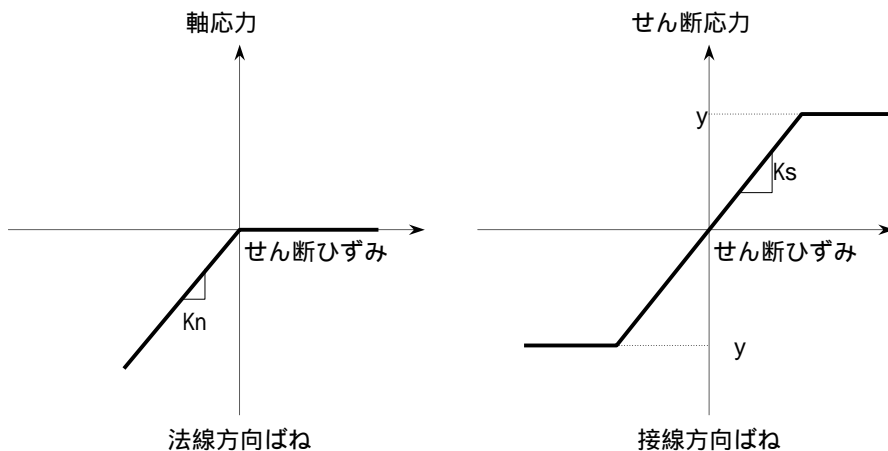
既設管損傷部の損傷パターンは下図に示すように「集中型 Lud」とする。



5. 既設管と更生管の接触面のモデル化

既設管と更生管の接触面は剥離や滑動現象を表すためジョイント要素でモデル化する。ジョイント要素は下図に示すように法線方向に引張力が作用すると剥離し、接線方向に耐力以上の力が作用すると滑動する現象を表す。

ジョイント要素のばね定数は次式により求める。



$$\begin{aligned} K_n &= K \cdot l \\ &= 150000 \times 0.01715 \\ &= 2571.815 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_s &= K \cdot R \cdot l \\ &= 150000 \times 1.0 \times 0.01715 \\ &= 2571.815 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \gamma \cdot H \\ &= 18 \times 3.1530 \\ &= 56.754 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

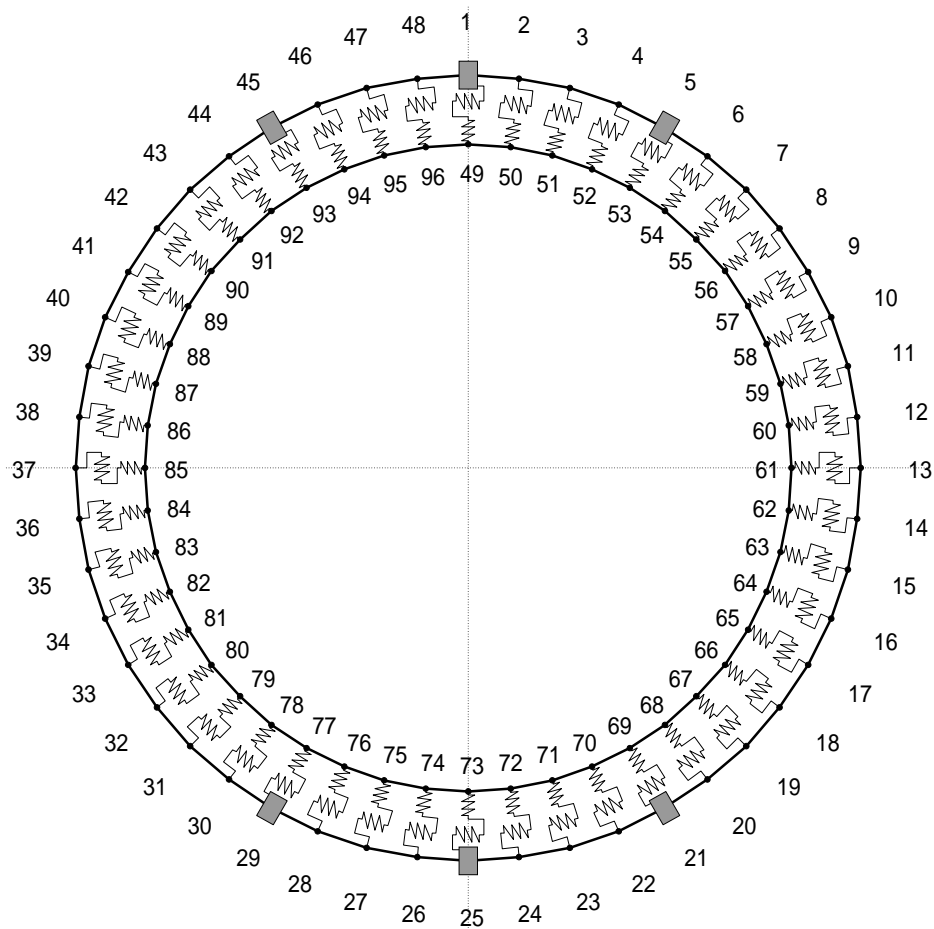
$$\begin{aligned} y &= C + n \cdot \tan \phi \\ &= 0 + 56.754 \times 0.6 \\ &= 34.052 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ここに、

K_n : 直応力ばね定数	
K_s : せん断ばね定数	
K : 接触面のばね係数	150000 (kN/m ²)
R : せん断ばね定数比	1.0
l : フレーム部材長	0.01715 (m)
y : せん断耐力	34.052 (kN/m ²)
n : 法線方向の応力 (管中心での土圧応力)	56.754 (kN/m ²)
: 埋戻し土の単位体積重量	18 (kN/m ³)
H : 管中心までの深度	3.1530 (m)
C : 更生管と既設管の接触面の粘着力	0 (kN/m ²)
$\tan \phi$: 更生管と既設管の接触面の摩擦係数	0.6

6. 断面力

(1) フレームモデル



CSD

ここで、
 損傷パターン:集中型 Lud

1) 節点

節点 番号	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	節点 番号	X 座標 (m)	Y 座標 (m)
1	0.000000	0.139000	49	0.000000	0.123150
2	0.018143	0.137811	50	0.016074	0.122096
3	0.035976	0.134264	51	0.031874	0.118954
4	0.053193	0.128419	52	0.047127	0.113776
5	0.069500	0.120378	53	0.061575	0.106651
6	0.084618	0.110276	54	0.074969	0.097701
7	0.098288	0.098288	55	0.087080	0.087080
8	0.110276	0.084618	56	0.097701	0.074969
9	0.120378	0.069500	57	0.106651	0.061575
10	0.128419	0.053193	58	0.113776	0.047127
11	0.134264	0.035976	59	0.118954	0.031874
12	0.137811	0.018143	60	0.122096	0.016074
13	0.139000	0.000000	61	0.123150	0.000000
14	0.137811	-0.018143	62	0.122096	-0.016074
15	0.134264	-0.035976	63	0.118954	-0.031874
16	0.128419	-0.053193	64	0.113776	-0.047127
17	0.120378	-0.069500	65	0.106651	-0.061575
18	0.110276	-0.084618	66	0.097701	-0.074969
19	0.098288	-0.098288	67	0.087080	-0.087080
20	0.084618	-0.110276	68	0.074969	-0.097701
21	0.069500	-0.120378	69	0.061575	-0.106651
22	0.053193	-0.128419	70	0.047127	-0.113776
23	0.035976	-0.134264	71	0.031874	-0.118954
24	0.018143	-0.137811	72	0.016074	-0.122096
25	-0.000000	-0.139000	73	-0.000000	-0.123150
26	-0.018143	-0.137811	74	-0.016074	-0.122096
27	-0.035976	-0.134264	75	-0.031874	-0.118954
28	-0.053193	-0.128419	76	-0.047127	-0.113776
29	-0.069500	-0.120378	77	-0.061575	-0.106651
30	-0.084618	-0.110276	78	-0.074969	-0.097701
31	-0.098288	-0.098288	79	-0.087080	-0.087080
32	-0.110276	-0.084618	80	-0.097701	-0.074969
33	-0.120378	-0.069500	81	-0.106651	-0.061575
34	-0.128419	-0.053193	82	-0.113776	-0.047127
35	-0.134264	-0.035976	83	-0.118954	-0.031874
36	-0.137811	-0.018143	84	-0.122096	-0.016074
37	-0.139000	0.000000	85	-0.123150	0.000000
38	-0.137811	0.018143	86	-0.122096	0.016074
39	-0.134264	0.035976	87	-0.118954	0.031874
40	-0.128419	0.053193	88	-0.113776	0.047127
41	-0.120378	0.069500	89	-0.106651	0.061575
42	-0.110276	0.084618	90	-0.097701	0.074969
43	-0.098288	0.098288	91	-0.087080	0.087080
44	-0.084618	0.110276	92	-0.074969	0.097701
45	-0.069500	0.120378	93	-0.061575	0.106651
46	-0.053193	0.128419	94	-0.047127	0.113776
47	-0.035976	0.134264	95	-0.031874	0.118954
48	-0.018143	0.137811	96	-0.016074	0.122096

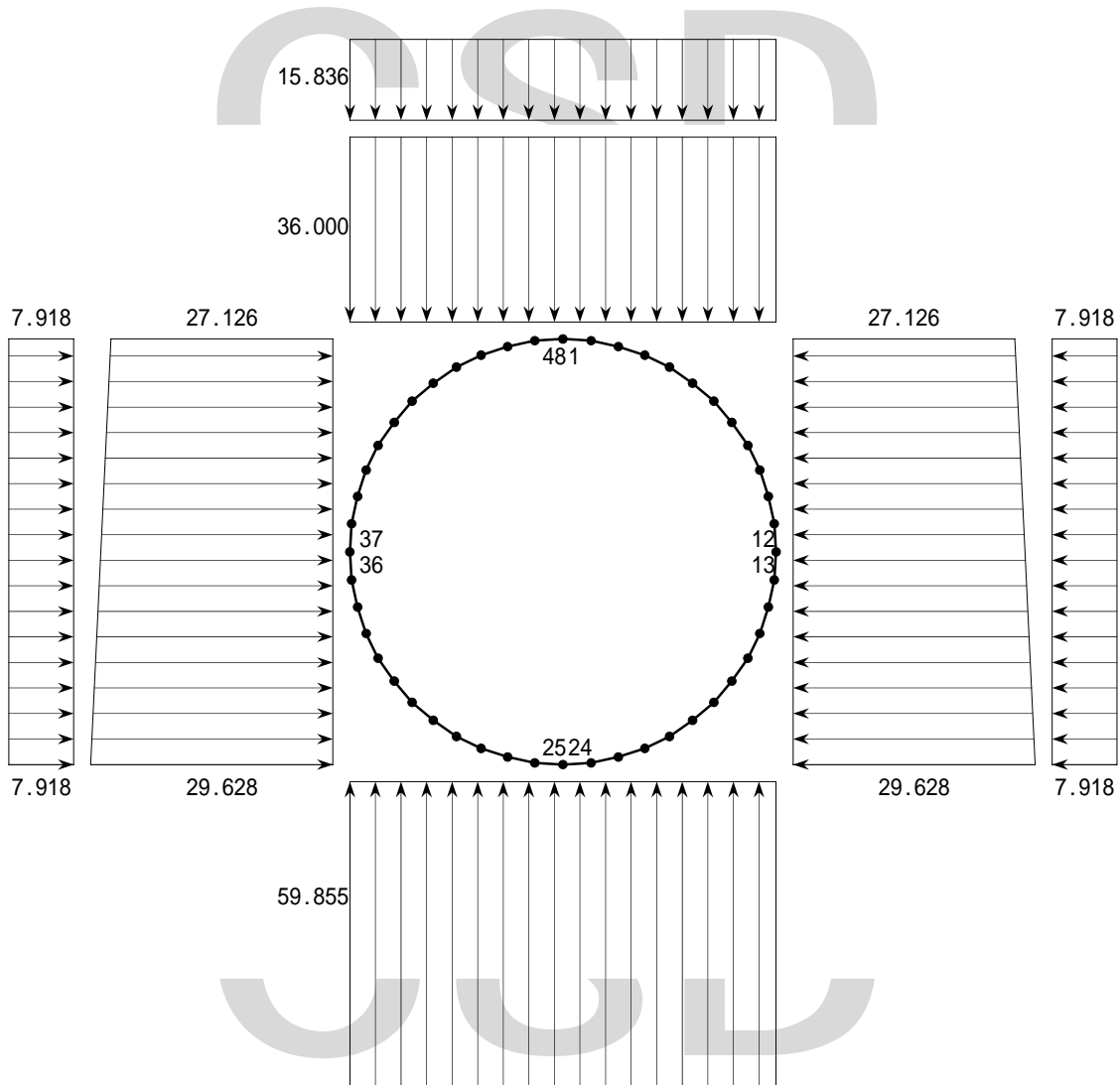
2) 部材

既設管

弾性係数 (kN/m ²)	断面積 (m ²)	断面 2 次モーメント (m ⁴)
33000000	0.028	0.0000018293

更生管

長期弾性係数 (kN/m ²)	安全率	設計弾性係数 (kN/m ²)	断面積 (m ²)	断面 2 次モーメント (m ⁴)
4800000	1.500	3200000	0.004	0.0000000042



(2) 管渠にかかる荷重

	荷重		部材 番号	距離		荷重名
	始点 (kN/m ²)	終点 (kN/m ²)		始点 (m)	終点 (m)	
1	36.000	36.000	1 - 12, 37 - 48	-0.139	0.139	鉛直土圧(ヤンセン公式)
2	15.836	15.836	1 - 12, 37 - 48	-0.139	0.139	鉛直活荷重
3	59.855	59.855	17 - 32	-0.241	0.241	底面地盤反力
4	27.126	29.628	25 - 48	0.139	-0.139	水平土圧(静止土圧式)
5	27.126	29.628	1 - 24	0.139	-0.139	水平土圧(静止土圧式)
6	7.918	7.918	25 - 48	0.139	-0.139	水平活荷重
7	7.918	7.918	1 - 24	0.139	-0.139	水平活荷重

(3)断面力

1)変位

[既設管]

部材 番号	開始点		終了点	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
1	0.000000	-0.003276	0.000053	-0.002461
2	0.000053	-0.002461	0.000213	-0.001660
3	0.000213	-0.001660	0.000475	-0.000886
4	0.000475	-0.000886	0.000837	-0.000153
5	0.000837	-0.000152	0.000855	-0.000126
6	0.000855	-0.000126	0.000875	-0.000103
7	0.000875	-0.000103	0.000898	-0.000082
8	0.000898	-0.000082	0.000924	-0.000065
9	0.000924	-0.000065	0.000951	-0.000052
10	0.000951	-0.000052	0.000978	-0.000042
11	0.000978	-0.000042	0.001006	-0.000036
12	0.001006	-0.000036	0.001034	-0.000035
13	0.001034	-0.000035	0.001061	-0.000036
14	0.001061	-0.000036	0.001087	-0.000041
15	0.001087	-0.000041	0.001111	-0.000049
16	0.001111	-0.000049	0.001133	-0.000060
17	0.001133	-0.000060	0.001153	-0.000073
18	0.001153	-0.000073	0.001171	-0.000089
19	0.001171	-0.000089	0.001187	-0.000106
20	0.001187	-0.000106	0.001199	-0.000125
21	0.001047	0.000027	0.000595	0.000944
22	0.000595	0.000944	0.000266	0.001912
23	0.000266	0.001912	0.000067	0.002914
24	0.000067	0.002914	0.000000	0.003934
25	0.000000	0.003934	-0.000067	0.002914
26	-0.000067	0.002914	-0.000266	0.001912
27	-0.000266	0.001912	-0.000595	0.000944
28	-0.000595	0.000944	-0.001047	0.000027
29	-0.001199	-0.000125	-0.001187	-0.000106
30	-0.001187	-0.000106	-0.001171	-0.000089
31	-0.001171	-0.000089	-0.001153	-0.000073
32	-0.001153	-0.000073	-0.001133	-0.000060
33	-0.001133	-0.000060	-0.001111	-0.000049
34	-0.001111	-0.000049	-0.001087	-0.000041
35	-0.001087	-0.000041	-0.001061	-0.000036
36	-0.001061	-0.000036	-0.001034	-0.000035
37	-0.001034	-0.000035	-0.001006	-0.000036
38	-0.001006	-0.000036	-0.000978	-0.000042
39	-0.000978	-0.000042	-0.000951	-0.000052
40	-0.000951	-0.000052	-0.000924	-0.000065
41	-0.000924	-0.000065	-0.000898	-0.000082
42	-0.000898	-0.000082	-0.000875	-0.000103
43	-0.000875	-0.000103	-0.000855	-0.000126
44	-0.000855	-0.000126	-0.000837	-0.000152
45	-0.000837	-0.000153	-0.000475	-0.000886

部材 番号	開始点		終了点	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
46	-0.000475	-0.000886	-0.000213	-0.001660
47	-0.000213	-0.001660	-0.000053	-0.002461
48	-0.000053	-0.002461	0.000000	-0.003276

[更生管]

節点 番号	節点座標		節点 番号	節点座標	
	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)
49	0.000000	-0.002612	73	0.000000	0.003127
50	0.000014	-0.002364	74	-0.000018	0.002822
51	0.000125	-0.001794	75	-0.000156	0.002114
52	0.000340	-0.001152	76	-0.000426	0.001308
53	0.000601	-0.000618	77	-0.000760	0.000625
54	0.000828	-0.000273	78	-0.001058	0.000173
55	0.000970	-0.000108	79	-0.001244	-0.000042
56	0.001027	-0.000055	80	-0.001300	-0.000095
57	0.001038	-0.000045	81	-0.001274	-0.000080
58	0.001038	-0.000043	82	-0.001218	-0.000054
59	0.001045	-0.000039	83	-0.001165	-0.000038
60	0.001063	-0.000034	84	-0.001122	-0.000031
61	0.001088	-0.000031	85	-0.001088	-0.000031
62	0.001122	-0.000031	86	-0.001063	-0.000034
63	0.001165	-0.000038	87	-0.001045	-0.000039
64	0.001218	-0.000054	88	-0.001038	-0.000043
65	0.001274	-0.000080	89	-0.001038	-0.000045
66	0.001300	-0.000095	90	-0.001027	-0.000055
67	0.001244	-0.000042	91	-0.000970	-0.000108
68	0.001058	0.000173	92	-0.000828	-0.000273
69	0.000760	0.000625	93	-0.000601	-0.000618
70	0.000426	0.001308	94	-0.000340	-0.001152
71	0.000156	0.002114	95	-0.000125	-0.001794
72	0.000018	0.002822	96	-0.000014	-0.002364

CSD

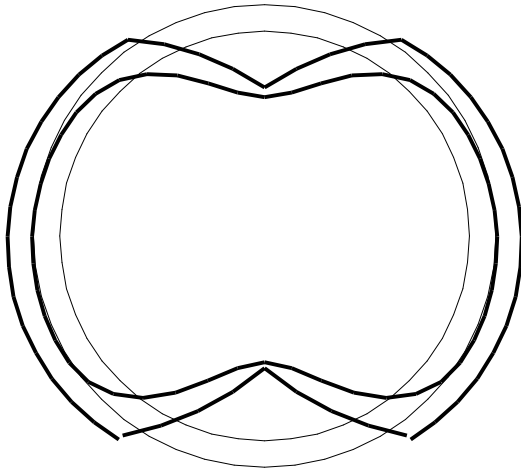
2)断面力

部材 番号	曲げモーメント		部材 番号	曲げモーメント	
	開始点 (kN・m)	終了点 (kN・m)		開始点 (kN・m)	終了点 (kN・m)
49	-0.029894	-0.017656	73	-0.036927	-0.021849
50	-0.017206	-0.004548	74	-0.021287	-0.006282
51	-0.004099	0.004754	75	-0.005719	0.005106
52	0.005203	0.009904	76	0.005668	0.011939
53	0.010370	0.010854	77	0.012488	0.014116
54	0.010871	0.007389	78	0.014103	0.011306
55	0.007406	0.003000	79	0.011293	0.005290
56	0.003017	0.000398	80	0.005277	0.001198
57	0.000415	-0.000514	81	0.001184	-0.000481
58	-0.000497	-0.000556	82	-0.000495	-0.000737
59	-0.000540	-0.000391	83	-0.000751	-0.000517
60	-0.000375	-0.000356	84	-0.000531	-0.000340
61	-0.000340	-0.000531	85	-0.000356	-0.000375
62	-0.000517	-0.000751	86	-0.000391	-0.000540
63	-0.000737	-0.000495	87	-0.000556	-0.000497
64	-0.000481	0.001184	88	-0.000514	0.000415
65	0.001198	0.005277	89	0.000398	0.003017
66	0.005290	0.011293	90	0.003000	0.007406
67	0.011306	0.014103	91	0.007389	0.010871
68	0.014116	0.012488	92	0.010854	0.010370
69	0.011939	0.005668	93	0.009904	0.005203
70	0.005106	-0.005719	94	0.004754	-0.004099
71	-0.006282	-0.021287	95	-0.004548	-0.017206
72	-0.021849	-0.036927	96	-0.017656	-0.029894

CSD

3)断面力図

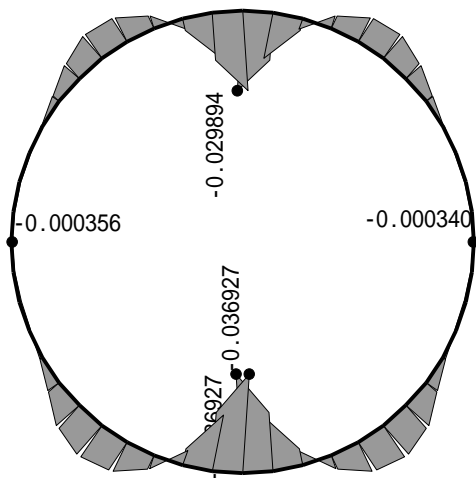
変位図



D

(倍率 : × 15 倍)

モーメント図



D

7. 照査

(1) 曲げ強度による照査

曲げ強度は、次式より求める。

$$\begin{aligned} Z &= \frac{B \cdot H^2}{6} \\ &= \frac{1.0 \times 10^3 \times 3.7^2}{6} \\ &= 2281.667(\text{mm}^3) \\ &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{0.036927 \times 10^6}{2281.667} \\ &= 16.184(\text{N/mm}^2) \quad 33.333 - 0.K - \end{aligned}$$

ここに、

：	発生曲げ応力(N/mm ²)	
M	： 最大曲げモーメント	0.036927(kN・m)
Z	： 断面係数	2281.667(mm ³)
B	： 部材幅	1.0(m)
H	： 部材高	3.7(mm)
a	： 許容曲げ強度	a = 50.0 / 1.5 = 33.333(N/mm ²)

(2) たわみ率による照査

たわみ率は管頂・管底及び左端・右端の変位量より求める。

[鉛直方向]

$$\begin{aligned} V_v &= \frac{|c - t|}{D} \cdot 100 \\ &= \frac{|-2.612 - 3.127|}{0.2463 \times 10^3} \times 100 \\ &= 2.330(\%) \quad 5(\%) - 0.K - \end{aligned}$$

ここに、

V _v	： 鉛直方向のたわみ率(%)	
c	： 管頂の変位量	-2.612(mm)
t	： 管底の変位量	3.127(mm)
D	： 更生管の軸線の直径	0.2463(mm)
V	： 許容たわみ率	5(%)

[水平方向]

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{|l - r|}{D} \cdot 100 \\ &= \frac{|-1.088 - 1.088|}{0.2463 \times 10^3} \times 100 \\ &= 0.883(\%) \quad 5(\%) - 0.K - \end{aligned}$$

ここに、

V _h	： 水平方向のたわみ率(%)	
l	： 左端の変位量	-1.088(mm)
r	： 右端の変位量	1.088(mm)
D	： 更生管の軸線の直径	0.2463(mm)
V	： 許容たわみ率	5(%)

以上によりこの更生管は各条件に対して安全である。