

円筒形屎尿消化槽の構造計算例

正員 北海道大学工学部 助教授 芳 村 仁
 正員 札幌市役所 磯 田 馨
 正員 札幌市役所 一 条 裕

目 次

1. 要 旨	88
2. 設計条件	88
3. 応力計算の基本式	89
(1) 水圧による応力	89
(2) 温度応力	89
4. 応力計算および断面算定	90
(1) 床版(天井)	90
(2) 梁の設計	90
(3) 側壁の計算	90
(a) 本消化槽に対する応力計算式	90
(b) 応力計算	91
(c) 液圧応力	93
(d) 温度応力	93
(e) 土圧応力	93
(f) M, Q, N -図	93
(g) 配筋計算	93
(4) 底盤の計算	94
(a) 応力計算	94
(b) 周方向配筋	95
(c) 半径方向配筋	95
5. 消化槽一基当たり重量	95
6. 設 計 図	95

1. 要 旨

都市における屎尿の処理のため消化槽が用いられ、その形は円筒形が多い。この設計計算の基本になる円筒水槽の応力解法については従来多くの研究がある。また、本道のような寒地においては温度の影響を特に考慮しなければならない。このような構造設計の一例として筆者らは札幌市において施工中の $2,270 \text{ m}^3$ の容量を有する円筒形消化槽の構造計算を行ったので、ここにその計算の概要を述べる。

2. 設計条件(札幌市第二消化槽の場合)

(1) 容量 $2,270 \text{ m}^3$ 。

(2) 形状 図-1 のように円形水槽とし、側壁水深 7.1 m 、中央に柱一本、梁は天井スラブの下面とし、放射状等間隔とする。最高水位は梁下面より 30 cm とする。

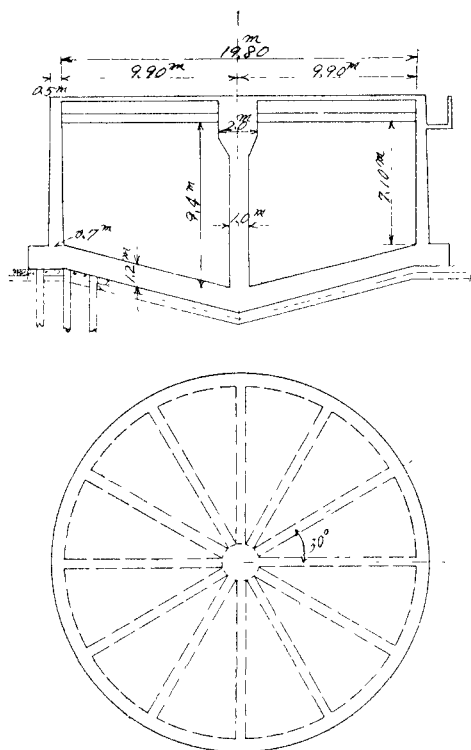


図-1

- (3) 構造 底盤固定円形水槽とする。最小壁厚は 50 cm とする。
- (4) 荷重 覆土 $1,800 \text{ kg/cm}^2$ の外雪荷重として 300 kg/cm^2 を考える。
- (5) 梁 梁は単純梁として計算し、スラブはフラットとする。
- (6) 材料の強度 $\sigma_{sa}=950 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{ca}=45 \text{ kg/cm}^2$
- (7) 鉄筋被り 壁梁 10 cm , スラブ 7 cm
- (8) 基礎 コンクリートパイル打ち1本(径 30 cm) の耐力を 25 ton とする。

3. 応力計算の基本式

(1) 水圧による応力

下部固定の円筒形水槽の壁厚が深さに比例して増す場合 図-2 のように原点 0 を選び、計算に表われる記号を次のように書く。

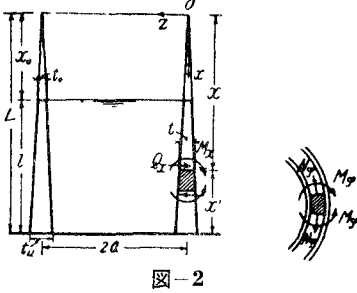


図-2

すなわち

- t_0 = 壁体の上端の厚さ
- t_u = 壁体の下端の厚さ
- L = 原点 0 より壁体の下端までの高さ
- l = 水槽の高さ
- a = 壁体の中心までの半径
- r = 水槽中の液体の単位体積の重量
- E, ν = 材料の弾性係数およびポアソン比
- x = 原点 0 から側壁任意点までの縦距, すなわち,
- $x' = L - x$
- x_0 = 原点 0 から側壁上端までの縦距
- M_x = 側壁の単位幅に作用する曲げモーメント
- Q_x = 側壁の単位幅に作用する剪断力
- N_φ = 単位高の壁体の垂直断面に作用する引張り周辺力

円筒体中心方向の水平変位 w を与える微分方程式は

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(x^3 \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{12(1-\nu^2)}{a^2 a^2} x w = - \frac{12(1-\nu^2) r (x-x_0)}{E a^3} \quad (1)$$

となる¹⁾。この解は非常に面倒な式になるが、ここでは北大酒井忠明教授提案の計算式²⁾を使用すると

$$\left. \begin{aligned} M_{xL} &= r l^3 K_1 \\ Q_{xL} &= r l^2 K_2 \\ N_{\varphi L} &= r \cdot a \cdot l \left(\frac{x-x_0}{l} - K_3 \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし

$$K_1 = \frac{1}{2\beta^2 l^2} \cdot e^{-x/\sqrt{Y}} \frac{1}{D} \left[\left\{ \left(1 - \frac{1}{\beta l} + \frac{1}{16\beta l} \frac{l}{L} \right) Y \right\} \right. \\ \left. \times \cos X - \left\{ Y - \frac{1}{\beta l} \left(2 + \frac{3}{16} \right) \frac{l}{L} \sqrt{Y} \right\} \sin X \right]$$

$$\left. \begin{aligned} K_2 &= \frac{1}{\beta l} e^{-x/\sqrt{Y}} \frac{1}{D} \left[\left\{ \left(1 - \frac{1}{2\beta l} + \frac{1}{32\beta l} \frac{l}{L} \right) \sqrt{Y} \right\} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2\beta l} \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{\beta l} \right) \right\} \cos X \\ &\quad \left. - \left\{ \frac{1}{2\beta l} \left(1 - \frac{1}{16} \frac{l}{L} \right) \sqrt{Y} \right\} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2\beta l} \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{16} \right) \right\} \sin X \right] \\ K_3 &= e^{-x/\sqrt{Y}} \frac{1}{D} \left[\left\{ 1 - \frac{3}{16\beta l} \frac{l}{L} \frac{1}{\sqrt{Y}} \right\} \cos X \right. \\ &\quad \left. + \left\{ 1 - \frac{1}{\beta l} + \frac{1}{16\beta l} \frac{l}{L} \right\} \sin X \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

前式において

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\beta l} &= \sqrt[3]{\frac{1}{3(1-\nu^2)}} \frac{a}{l} \sqrt{\frac{t_u}{a}} \\ Y &= \frac{x}{L} = 1 - \frac{x'}{L} = 1 - \frac{l}{L} \frac{x'}{l} \\ X &= 2\beta l \frac{L}{l} (1 - \sqrt{Y}) \\ D &= 1 - \frac{3}{16\beta l} \frac{l}{L} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(2) 温度応力

前と同様の記号を用いると壁体の温度が一様に T 度だけ上昇した場合、円筒体の中心線方向の壁体の水平変位 w に関する微分方程式は次のようになる。

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(x^3 \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{12(1-\nu^2)}{a^2 a^2} x w = - \frac{12(1-\nu^2)}{a^2 a^2} x a \cdot \varepsilon T \quad (5)$$

これを解いて上端付近を除く温度応力を求める計算式として次式が得られる³⁾。

$$\left. \begin{aligned} M_{xT} &= E \varepsilon T l^2 \frac{t_u}{a} K_4 \\ Q_{xT} &= E \varepsilon T l \frac{t_u}{a} K_5 \\ N_{\varphi T} &= -E \varepsilon T \cdot t_u K_6 \\ M_{\varphi T} &= r \cdot M_x \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} K_4 &= \frac{1}{2\beta^2 l^2} e^{-x/\sqrt{Y}} \frac{1}{D} \left[\left\{ Y - \frac{15}{16\beta l} Y \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{\beta^2 l^2} \left(\frac{15}{16} - \frac{3}{32} Y - \frac{33}{32} \sqrt{Y} \right) \cos X \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \left[Y - \frac{35}{16\beta l} \sqrt{Y} + \frac{1}{\beta^2 l^2} \left(\frac{15}{16} - \frac{3}{32} Y \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \frac{33}{32} \sqrt{Y} \right) - \frac{1}{\beta^3 l^3} \right\} \sin X \right], \\ K_5 &= \frac{1}{\beta l} e^{-x/\sqrt{Y}} \frac{1}{D} \left[\left\{ \sqrt{Y} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{15}{32\beta l} \left(1 + \sqrt{Y} \right) + \frac{7}{16\beta^2 l^2} \right\} \cos X \right. \\ &\quad \left. + \left\{ \frac{15}{32\beta l} \left(1 - \sqrt{Y} \right) - \frac{3}{32\beta^2 l^2} \left(\frac{1}{\sqrt{Y}} - \sqrt{Y} \right) \right\} \sin X \right] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$K_6 = e^{-X} \cdot \sqrt[3]{Y} \cdot \frac{1}{D} \left[\left\{ 1 - \frac{3}{16\beta l} \cdot \frac{1}{\sqrt{Y}} + \frac{3}{32\beta^2 l^2} \left(\frac{1}{\sqrt{Y}} - 1 \right) \right\} \cos X + \left\{ 1 - \frac{15}{16\beta l} + \frac{3}{32\beta^2 l^2} \left(\frac{1}{\sqrt{Y}} + 1 \right) \right\} \sin X \right],$$

4. 応力計算および断面算定

(1) 床版 (天井)

版は梁の間を図のように①～⑤の梁に分け計算する。

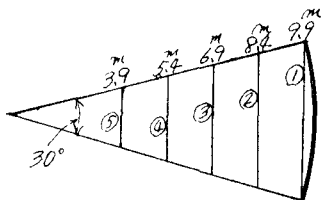


図-3

(a) 各梁の長さ

梁	①	②	③	④	⑤
長さ	5.12 m	4.34 m	3.56 m	2.90 m	2.01 m

(b) 荷重

覆土	1,800 kg/m ³	厚さ 30 cm	540 kg/m ²
雪			300 "
自重 (厚さ 20 cm)			480 "
合計			1,320 kg/m ²

(c) 曲げモーメント

版全体は等分布荷重を担い梁に対しては対称荷重となるので、固定梁として計算する。曲げモーメントを中央部 (M_c) と端部 (M_e) で計算すると下のようになる。

梁	①	②	③	④	⑤	備考
M_c kg-m	1,175	810	515	316	125	$M_c = \frac{\omega l^2}{24}$
M_e kg-m	2,350	1,620	1,030	632	250	$M_e = \frac{\omega l^2}{12}$

(d) 断面の算定

厚さ 20 cm とし所要鉄筋量および使用鉄筋は次のとおりである。

梁	①	②	③	④	⑤
中央部 A_s (cm ²)	12.4	8.6	3.4	1.4	1.4
端部 A_s (cm ²)	17.5	10.3	4.0	1.6	1.6
使用鉄筋径中 (mm)	16	13	13	13	13
間隔 (cm)	10	15	20	30	30

(2) 梁の設計

(a) 曲げモーメント

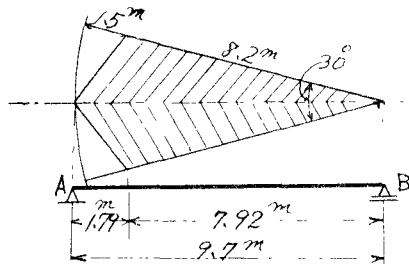


図-4

図-4 の heatched area の三角形状の荷重が梁 AB にかかるとして最大曲げモーメントを計算すると次のようになる。

i) スラフ荷重による曲げモーメント

$$M_{\max} = 39,600 \text{ kg-m.}$$

ii) 自重による曲げモーメント

$$M_{\max} = 9,310 \text{ kg-m.}$$

(b) 断面算定

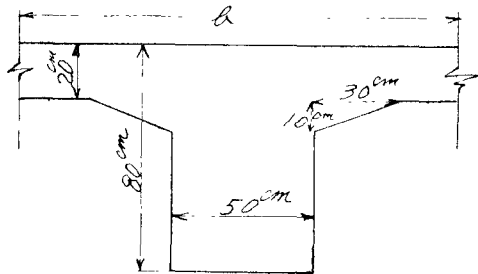


図-5

図-5 のような有効突縁幅 b を考えて T 型断面とし $b = 300 \text{ cm}$ とすると $\sigma_s = 928 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = 32 \text{ kg/cm}^2$ となる。なお、剪断力に対しては $\tau = 5.32 \text{ kg/cm}^2$ となる。

(3) 側壁の計算

(a) 本消化槽に対する応力計算式

先に述べた諸式によつて側壁部の計算を行うのであるが、本消化槽に対しては次のような応力計算式が得られる。すなわち、

$$\begin{aligned} t_u &= 0.7 \text{ m} & l &= 7.1 \text{ m} \\ t_o &= 0.5 \text{ m} & L &= 24.65 \text{ m} \\ \alpha &= 10.2 \text{ m} & \nu &= 0.17 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\beta l} = \frac{1}{\sqrt[3]{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{\alpha}{l} \sqrt{\frac{t_u}{a}} = 0.2880.$$

以上の数値を用いさらに、

$$D = 1 - \frac{3}{16\beta L} = 1.0158$$

となるから (3) 式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 4.213 \times 10^{-2} \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_1 \cos X - B_1 \sin X] \\ K_2 &= 2.9255 \times 10^{-1} \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_2 \cos X + B_2 \sin X] \\ K_3 &= 1.0158 \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_3 \cos X + B_3 \sin X] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0.71942 Y + 0.02570 \sqrt{Y} - 0.00645 \\ B_2 &= 0.99776 Y - 0.15574 \sqrt{Y} + 0.00447 \\ A_2 &= 0.85859 \sqrt{Y} - 0.00009 \frac{1}{\sqrt{Y}} - 0.02799 \\ B_2 &= -0.13917 \sqrt{Y} - 0.00056 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.03879 \\ A_3 &= -0.01331 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.99776 \\ B_3 &= 0.00224 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.71942 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

また、(7) 式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} K_4 &= 4.213 \times 10^{-2} \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_4 \cos X - B_4 \sin X] \\ K_5 &= 2.9255 \times 10^{-1} \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_5 \cos X + B_5 \sin X] \\ K_6 &= 1.0158 \\ &\times e^{-x} \sqrt[4]{Y} [A_6 \cos X + B_6 \sin X] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ただし

$$\begin{aligned} A_4 &= 0.92238 Y + 0.00709 \sqrt{Y} - 0.00645 \\ B_4 &= 0.99936 Y - 0.17434 \sqrt{Y} + 0.00588 \\ A_5 &= 0.96112 \sqrt{Y} - 0.03587 \\ B_5 &= -0.03824 \sqrt{Y} - 0.00064 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.03888 \\ A_6 &= -0.01491 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.99936 \\ B_6 &= 0.00064 \frac{1}{\sqrt{Y}} + 0.92238 \end{aligned}$$

(b) 応力計算

$x'/l = 0, 0.1, 0.2 \dots \dots 1.0$ なる壁体諸点に関する X, Y

表 - 1

x'/l	l/L	Y	$\sqrt{Y}$	$\frac{1}{\sqrt{Y}}$	$\sqrt[4]{Y}$	X
0	0	1	1	1	1	0
0.1	0.0288	0.9712	0.9855	1.0147	0.9927	0.3496
0.2	0.0576	0.9424	0.9708	1.0301	0.9853	0.7040
0.3	0.0864	0.9136	0.9558	1.0462	0.9776	1.0656
0.4	0.1152	0.8848	0.9406	1.0631	0.9698	1.4321
0.5	0.1440	0.8560	0.9252	1.0808	0.9619	1.8034
0.6	0.1728	0.8272	0.9095	1.0995	0.9537	2.1820
0.8	0.2304	0.7696	0.8773	1.1399	0.9366	2.9582
1.0	0.2880	0.7120	0.8438	1.1851	0.9186	3.7660

表 - 2

x'/l	A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3
0	0.7387	0.8465	0.8306	-0.1010	0.9844	0.7217
0.1	0.7176	0.8200	0.8181	-0.0990	0.9842	0.7217
0.2	0.6965	0.7936	0.8055	-0.0969	0.9840	0.7217
0.3	0.6754	0.7672	0.7926	-0.0948	0.9838	0.7218
0.4	0.6543	0.7408	0.7795	-0.0927	0.9836	0.7218
0.5	0.6331	0.7145	0.7664	-0.0906	0.9834	0.7218
0.6	0.6120	0.6882	0.7529	-0.0884	0.9831	0.7219
0.8	0.5698	0.6357	0.7252	-0.0839	0.9826	0.7220
1.0	0.5275	0.5835	0.6965	-0.0793	0.9820	0.7221

表—3

x'/l	A_4	B_4	A_5	B_5	A_6	B_6
0	0.9235	0.8309	0.9252	0.0001	0.9845	0.9235
0.1	0.8968	0.8046	0.9113	0.0001	0.9843	0.9235
0.2	0.8704	0.7784	0.8972	0.0010	0.9840	0.9236
0.3	0.8435	0.7523	0.8827	0.0017	0.9838	0.9236
0.4	0.8168	0.7261	0.8681	0.0022	0.9835	0.9236
0.5	0.7901	0.7000	0.8533	0.0028	0.9833	0.9236
0.6	0.7634	0.6740	0.8382	0.0034	0.9830	0.9236
0.8	0.7100	0.6220	0.8073	0.0047	0.9824	0.9236
1.0	0.6566	0.5703	0.7751	0.0058	0.9817	0.9237

表—4

x'/l	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
0	3.112×10^{-2}	2.429×10^{-1}	1.0000	3.891×10^{-2}	2.706×10^{-1}	1.0000
0.1	1.160	1.505	0.8332	1.672	1.754	0.8824
0.2	0.035	0.786	0.6026	0.328	0.977	0.6672
0.3	-0.490	0.295	0.3787	-0.356	0.421	0.4391
0.4	-0.628	0.011	0.2002	-0.592	0.083	0.2472
0.5	-0.561	-0.123	0.0765	-0.576	-0.090	0.1082
0.6	-0.415	-0.159	0.0030	-0.449	-0.151	0.0211
0.8	-0.152	-0.114	-0.0452	-0.183	-0.124	-0.0432
1.0	0	0	-0.0262	0	0	-0.0287

表—5

x'/l	M_{xL}	Q_{xL}	$N_{\varphi L}$	M_{xT}	Q_{xT}	$N_{\varphi T}$
0	11.14 t-m/m	12.24 t/m	0 t/m	8.48 t-m/m	8.31 t/m	-44.10 t/m
0.1	4.15	7.59	4.84	3.64	5.38	-38.91
0.2	0.13	3.96	14.30	0.71	3.00	-29.43
0.3	-1.75	1.49	23.27	-0.78	1.29	-19.35
0.4	-2.25	0.06	28.95	-1.29	0.25	-10.89
0.5	-2.01	-0.62	30.67	-1.25	-0.28	-4.77
0.6	-1.61	-0.80	28.75	-0.98	-0.46	-0.93
0.8	-0.54	-0.57	17.76	-0.40	-0.39	1.89
1.0	0	0	1.90	0	0	1.26

などを計算すれば次のとおりである (表-1)。

表-1 で得られた Y , $\sqrt{Y}$ および $\frac{1}{\sqrt{Y}}$ の値より A_1 , B_1 , A_2 , B_2 などを計算すれば次のようになる (表-2) (表-3)。
さらに, X , Y に対し $\sin X$, $\cos X$, e^{-x} などを計算しておけば上表の値を用いて (8) および (10) 式から $K_1 \sim K_6$ の値は次のようになる (表-4)。

(e) 液圧応力

$$r l^3 = 1 \times 7.1^3 = 3.579 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$r l^2 = 1 \times 7.1^2 = 5.041 \times 10^1 \text{ t} / \text{m}$$

$$r a l = 1 \times 10.2 \times 7.1 = 72.42 \text{ t} / \text{m}$$

したがって, (1) 式の関係から壁体諸点の液圧応力は表-5 のようになる。

(d) 温度応力

液温を徐々に 32°C まであげる場合, 底盤部における内外の温度差は 8°C とする。底盤の厚さは 1.2 m , 側壁の厚さは平均 0.6 m , したがって, 底盤と側壁の平均温度差は温度伝達を直線と見なせば 2°C となる。実際は温度伝達は曲線であるから, これを考慮して底盤と側壁の平均温度差を 3°C とする。(図-6)

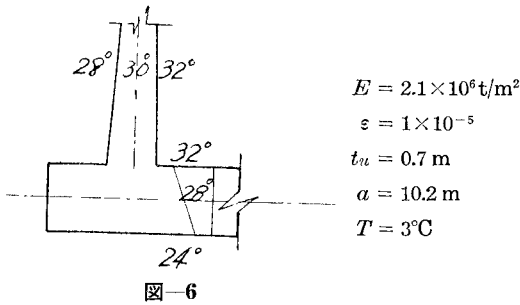


図-6

とすれば

$$E \epsilon l^2 \frac{t_u}{a} T = 2.179 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$E \epsilon l \frac{t_u}{a} T = 3.070 \times 10^1 \text{ t} / \text{m}$$

$$E \epsilon t_u T = 44.1 \text{ t} / \text{m}$$

したがって, (6) 式を用い温度応力は表-5 のようになる。
なお, 側壁に対しては内外両面の温度差による温度応力は比較的小さいので省略する。

(e) 土圧応力

盛土重量を 1.8 t/m^3 , 土圧係数を 0.33 とすれば

$$-1.8 \times 0.33 = -0.594$$

を液圧応力に掛けたものが盛土による応力となる。

(f) M, Q, N -図

図-7~9 参照のこと。

(g) 配筋計算

i) 壁方向配筋

側壁下端的最大曲げモーメントは

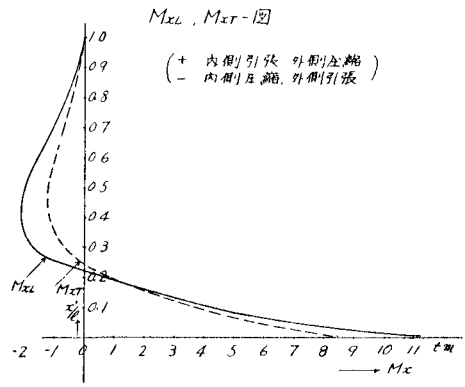


図-7

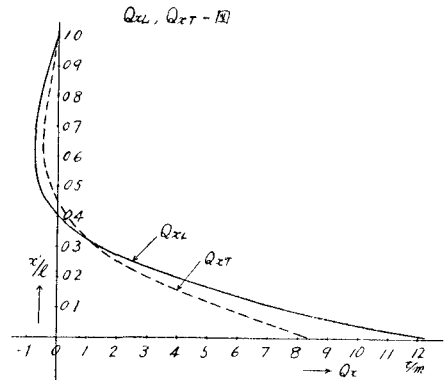


図-8

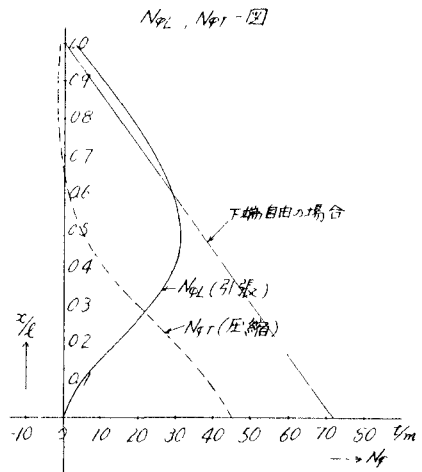


図-9

$$M_{xL} = 11.14 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M_{xT} = 8.48 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M_{xE} (\text{土圧応力}) = -0.594 \times 11.14 = -6.62 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\text{計 } M_x = 11.14 + 8.48 - 6.62 = 13.00 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

したがって, 側壁の最小有効厚 d はコンクリートおよび鉄筋の許容応力を温度変化の影響を考えるから 15% 増

とすると

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M_x}{b}} = 0.334 \sqrt{\frac{1,300,000}{100}} = 38 \text{ cm}$$

被りを 10 cm としても壁厚は 70 cm なるにから十分である。これに対し必要鉄筋量は次のとおりである。

$$A_s = \frac{M_x}{\sigma_s \times \frac{7}{8}d} = \frac{1,300,000}{1000 \times \frac{7}{8} \times 59} = 25.20 \text{ cm}^2$$

ただし、 $d = 70 - 10 - 1 = 59 \text{ cm}$

よつて 22 mmφ を 15 cm 間隔に用いるものとする。

次に中央部の負の最大曲げモーメントは

$$M_{xL} = -2.25 \text{ t-m/m}$$

$$M_{xT} = -1.29 \text{ t-m/m}$$

$$M_{xE} = 0.594 \times 2.25 = 1.34 \text{ t-m/m}$$

計 $M_x = -2.20 \text{ t-m/m}$

これに対し必要鉄筋量は $A_s = 4.69 \text{ cm}^2$ であるから、16 mmφ を使用するものとして 30 cm 間隔に用いる。

ii) 周方向配鉄

盛土前に液を満すから、また、温度変化を考慮せざる場合が最大応力を生ずるので $N_{\varphi L}$ のみを用いる。

最大周張力は

$$N_{\varphi L} = 30.67 \text{ t/m } (x'/l=0.5)$$

となるから、鉄筋最小間隔は

$$b = \frac{100 \times 2.56 \times 2}{30.67} = 16.7 \text{ cm}$$

となる。したがつて、19 mmφ を 15 cm 間隔に用い $x' = 0.0 \sim 5.1 \text{ m}$ の間にこれを採用する。 $x'/l = 0.72$ すなわち、 $x' = 5.1 \text{ m}$ の所では $N_{\varphi L} = 23.0 \text{ t}$ であるから

$$b = \frac{100 \times 1.81 \times 2}{23.0} = 15.7 \text{ cm}$$

したがつて、 $x' = 5.1 \sim 6.1 \text{ m}$ の間は 16 mmφ を 15 cm 間隔に用いる。さらに、 $x' = 6.1 \text{ m}$ から上端までは 16 mmφ を 30 cm 間隔に用いる。以上周方向配筋に当りコンクリートの応張力は考慮せず鉄筋のみで周張力を引き受けさせた。

(4) 底盤の計算

(a) 応力計算

底盤周辺には側壁下端の剪断力 Q_x が引張力として作用する。これによる底盤内部の半径方向応力 σ_r および接線応力 σ_t は次のとおりである。

内径 r_1 外径 r_2 の中空円筒がその外周に p なる引張力を受けた場合半径 r における σ_t および σ_r は ($r_1 \leq r \leq r_2$)

$$\sigma_t = p \frac{(r_2^2 + r_1^2/r^2)}{r_2^2 - r_1^2},$$

$$\sigma_r = p \frac{r_2^2 - r_1^2/r^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

であり、木底盤の場合には $r_1 = 0$ であり、したがつて、

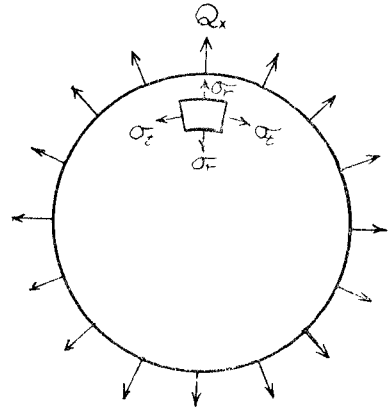


図-10

$$\sigma_t, \sigma_r = p = Q_x$$

となる。また、側壁下端の曲げモーメント M_x により底盤の周辺には、一様に $-M_x$ なる曲げモーメントを受ける。円盤の撓み w に関する式

$$\frac{EI}{1-\nu^2} = w \frac{1}{64} p r^4 + \frac{1}{4} B r^2 + D$$

$$\frac{\partial w}{\partial r} = \frac{1-\nu^2}{EI} \left(\frac{1}{16} p r^3 + \frac{1}{2} B r \right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} = \frac{1-\nu^2}{EI} \left(\frac{3}{16} p r^2 + \frac{1}{2} B \right)$$

ただし、 B, D = 積分定数、 p = 等分布荷重。

の B, D を境界条件を入れて決定、更に $p=0$ とすれば底盤の任意の点において一様に $-M_x$ なる曲げモーメントを生じることを知る。ここに $M_x = 13.00 \text{ t-m}$ (図-11)。

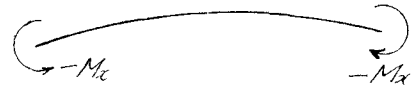


図-11

次に底盤の上下両面の温度差 8°C の場合底盤がなら拘束を受けない場合は

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon T}{t}$$

ただし、 t = 盤厚、 T = 温度差、 ρ = 曲率半径

なる彎曲をなす。実際は液圧により基礎杭上に水平に押えられるから

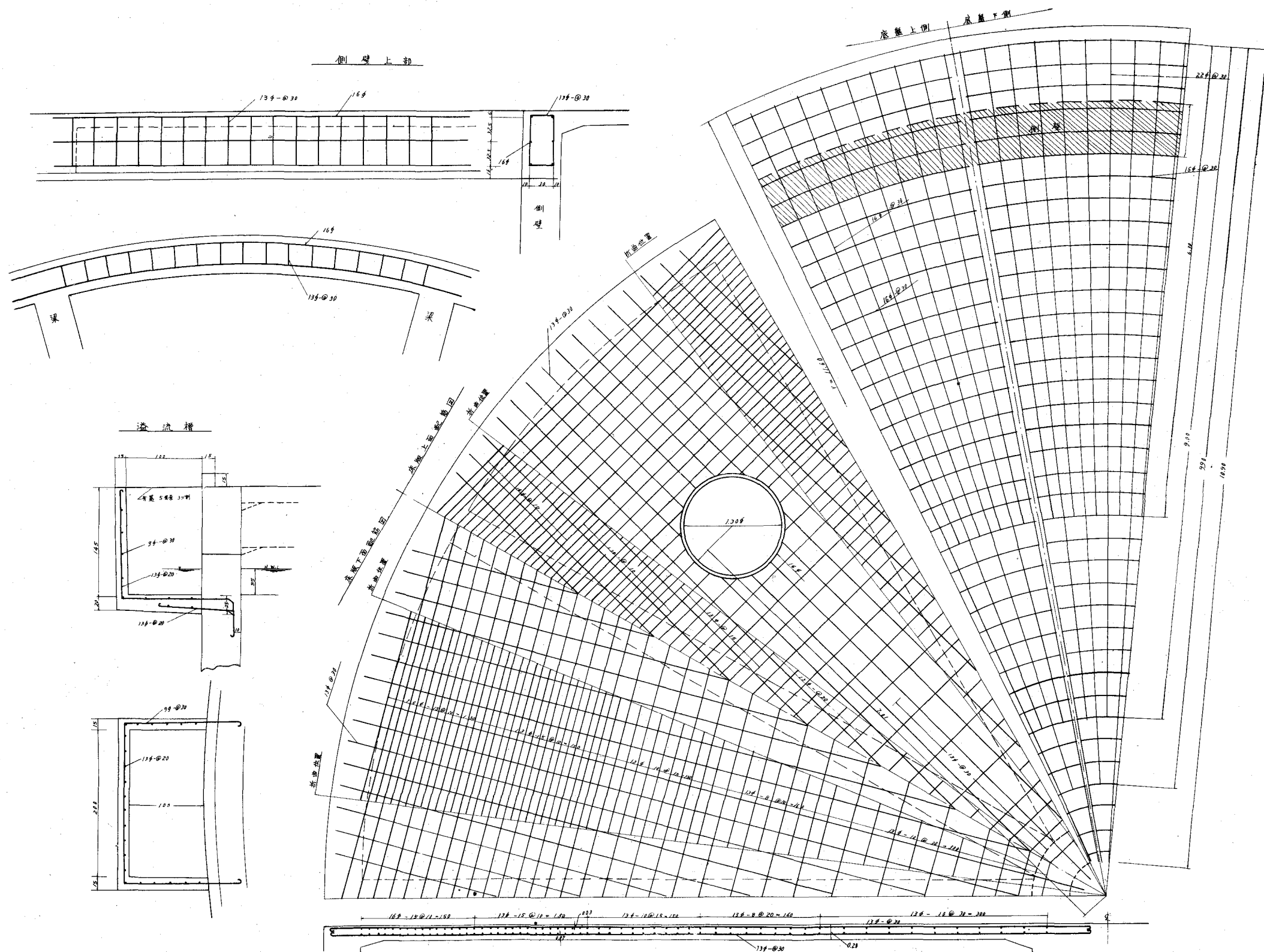
$$M_T = \frac{\varepsilon T}{t} EI$$

$$= \frac{1}{12} \varepsilon T E t^2$$

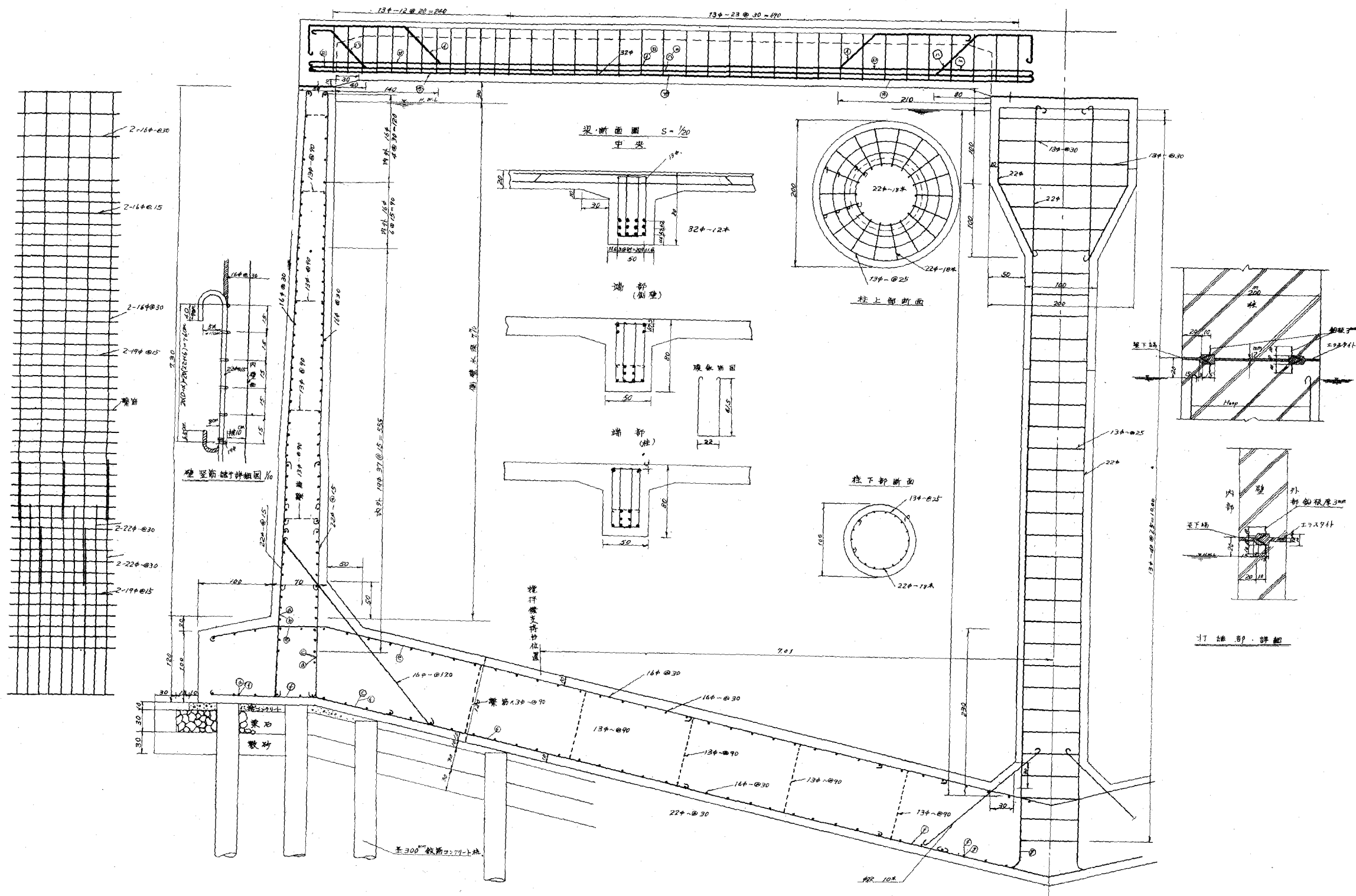


図-12

圖—13 床 版 · 底 盤 配 筋 圖



圖一14 側壁配筋圖



なる曲げモーメントを生ずる。この大きさは

$$M_T = \frac{1}{12} \times 10^{-5} \times 8 \times 2.1 \times 10^6 \times 1.2^2 = 20.16 \text{ t-m/m}$$

(b) 周方回配筋

$$Q_{xL} = 12.24 \text{ t/m}$$

$$Q_{xT} = 8.31 \text{ t/m}$$

$$Q_{xR} = -0.594 \times 12.34 = -7.27 \text{ t/m}$$

計 $Q_x = 12.24 + 8.31 - 7.27 = 13.28 \text{ t/m}$

鉄筋強度, 16 mmφ=2.08 t, 鉄筋は上下両側に用いるものとしてその最小間隔 b は

$$b = \frac{100 \times 2.08 \times 2}{13.28} = 31.3 \text{ cm}$$

よつて 16 mmφ を 30 cm 間隔に用いる。

(c) 半径方向配筋

上側: $Q_x/2$ に対し 16 mmφ を 30 cm 間隔に用いる。

下側: $M_T - M_x = 20.16 - 13.00 = 7.16 \text{ t-m/m}$

これに対し必要な鉄筋量は $A_s=7.15 \text{ cm}^2$, これに引張力 $Q/2=1/2 \times 13.28=6.64 \text{ t/m}$ による必要鉄筋量 $A_s=6.32 \text{ cm}^2$ を追加して, $7.15+6.32=13.47 \text{ cm}^2$ となる。これに対して 22 mmφ を用いて 30 cm 間隔に入れる。

5. 消化槽 1 基当り重量

$$r = 10.4 \text{ m}$$

覆	上	ton	フーチングと土	ton
ス	ラ	163	攪拌機	6
	フ	163		
	梁	87.9	液	2,520
側	壁	348	雪	126.8
底	盤	1,216.9		
	柱	30.3	合 計	5,694.9

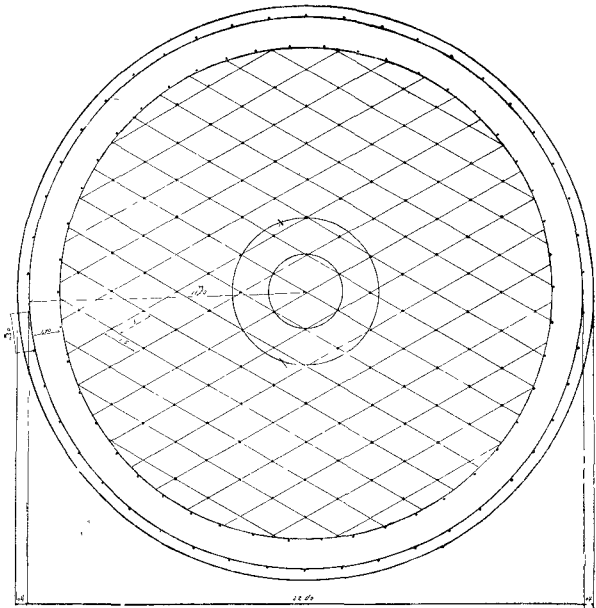


図-15 鉄筋コンクリート杭配置図

6. 設計図

図-13 および 図-14 は以上計算した床版 (天井), 底盤および側壁の配筋図を示したものである。また, 図-15 は基礎に打つ鉄筋コンクリート杭の配置を示したものである。

参考文献

1) Timoshenko: Theory of Plates and Shells; 414頁.
2) 酒井忠明: 壁厚が直線的变化をなす円筒形水槽の応力実用計算式; 土木学会誌, 第 39 卷, 第 6 号.
3) 酒井忠明: 壁厚が直線的变化をなす円筒形水槽の温度応力解式と計算図表; 土木学会誌, 第 40 卷, 10 号.