

彙 報

第24卷第7號 昭和13年7月

図表による鉄筋コンクリート煙突筒体静力学計算

准員中 村 清\*

1. 概要 鉄筋コンクリート煙突設計計算に於けるが如く多数の断面を取り、同一様式の計算を繰返す事は餘り單調に過ぎ動もすれば誤りを生ずるが故に、筆者は此の計算を図表による事とし、機械的に且つ簡單に行ひ得る様考へてゐたが大部分完成したので、一先づ此處に發表し讀者諸氏の批評を仰ぐ次第である。

高さ 50 m の耐火煉瓦装工を内側に持つ單殻鉄筋コンクリート煙突に於て、5 m 毎に断面を取り応力計算を行ふものとすれば、地震の影響を考慮する場合に於て、コンクリート筒体自身の受けるモーメントを 10 回の同一様式の計算より求め、他に煉瓦装工より筒体に傳ふ可きモーメントを同様にして 10 回の同一計算を必要とし頗る煩雜なものとなる。

本文に於ては最初図表に對し簡單なる説明を與へ、最後に某製鋼工場均熱炉用煙突計算を表示する。尙表中に計算より算出した、各断面に生ずるモーメントと図表により求めたモーメントとを示して置いたから、比較せられ納

図-1.

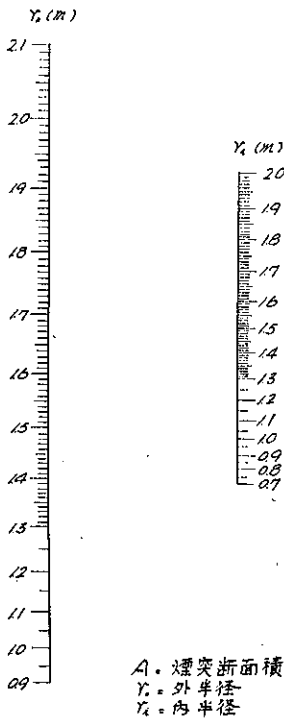
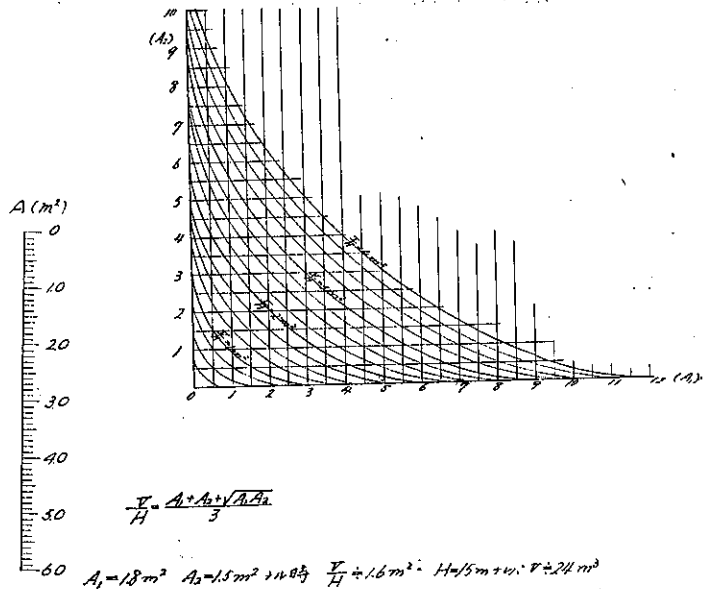


図-2.



V = 筒体コンクリート体積

$A_1$  = 頂面積

$A_2$  = 底面積

H = 筒頂迄の高

\* 八幡製鉄所設計課勤務

得の行く迄検算せられ大いに御利用下されば幸甚である。

2. 図表に対する説明 図-1 は任意の筒体断面に於て外半径を  $r_0$ , 内半径を  $r_i$  とし, 其の断面の面積  $A$  を求むる図表である。即ち  $A = \pi r_0^2 - \pi r_i^2$  を示す。

図-2 は 図-1 より求めたる上断面積  $A_1$  と, 下断面積  $A_2$  とより, 其の容積と高さの比即ち  $V/H$  を求める図表である。

図-3 は 図-2 より求めた  $V/H$  を用ひて, 高さ  $H$  なる筒体容積重心の下断面よりの高さ  $h$  を求める図表で, 此の點に地震による水平力が作用するものとする事象知の所である。

図-4 は當所に於て採用してゐる地震々度を求める図表であつて, 該公式は本會誌第 5 卷第 3 號掲載物部長徳氏論文中より抜粋したものである。式中  $K_x = 0.15$  としてゐるが, 煙突所在位置及該煙突固有週期により, 用ふ可き公式も異なるが故に, 夫々の條件に適合した  $K_x$  値を求むる図表作製上に便する爲

$$(D_0 - D)/D_0 \text{ 軸は } \mu_1 \log \left( 2.5 + 2 \frac{D_0 - D}{D_0} \right) \quad \mu_1 = 20 \text{ cm.}$$

$$x/l \text{ 軸は } \mu_2 3 \log (x/l) \quad \mu_2 = 5 \text{ cm.}$$

$$K_x \text{ 軸は } \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \log \frac{K_x - 0.075}{0.15}$$

を目盛りたる事を附記して置く。

図-5 は煉瓦装工の任意断面に於ける抵抗モーメント  $M$  を求める図表であり, 図-1~4 を煉瓦装工にも応用

図-3.

図-4.

$$\frac{h}{H} = \frac{3.5 + A_1 \sqrt{A_1 A_2}}{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}} \cdot \frac{1}{4}$$

$h$  = 煙突重心高

$A_2 - A_1$

3.0  
2.5  
2.0  
1.5  
1.4  
1.3  
1.2  
1.1  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5

$V/H$

4.00  
3.50  
3.00  
2.50  
2.00  
1.50  
1.00  
0.75  
0.50  
0.25

$h/H$

0.09  
0.08  
0.07  
0.06  
0.05  
0.04  
0.03  
0.02  
0.01  
0.01  
0.02  
0.03  
0.04  
0.05  
0.06  
0.07  
0.08  
0.09

$\frac{D_0 - D}{D_0}$

1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1

$K_x$

0.30  
0.20  
0.18  
0.16  
0.14  
0.12  
0.105  
0.095  
0.090  
0.085  
0.08

$X/l$

1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1

$$K_x = K \left\{ 0.5 + 2 \frac{D_0 - D}{D_0} \right\}^2$$

$K_x$  = X断面到上部の対スル平均震度 (X = 基礎の測距)  
 $K$  = 地震震度 (0.15)

$D_0$  = 煙突根本径

$D$  = 煙突上端径

$l$  = 煙突全高

例  $A_2 = 30 \text{ m}^2$   $A_1 = 14 \text{ m}^2$   $V/H = 2.13$   $h/H = 0.437$

$H = 20 \text{ m}$   $V = 42.6 \text{ m}^3$   $h = 8.74 \text{ m}$

計算を求めらば

$$V = \frac{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}}{3} H = \frac{30 + 14 + 20.5}{3} \cdot 20 = 42.6 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{3.5 + A_1 \sqrt{A_1 A_2}}{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}} \cdot \frac{H}{4} = \frac{3.5 + 14 \cdot 20.5}{30 + 14 + 20.5} \cdot 5 = 8.74 \text{ m}$$

例  $\frac{D_0 - D}{D_0} = 0.4$

$\frac{X}{l} = 0.4$

$K_x = 0.107$

し、地震による煉瓦装工に生ずるモーメントを  $M_2$  とすれば  $\Delta M = M_2 - M'$  のモーメントが筒体に傳はるものとするのである。式中煉瓦装工の重量を  $1.9t/m^3$  に取つてゐる。

図-6 は鉛直面に加はる風圧力度を  $200kg/m^2$  として、筒体各断面に生ずるモーメントを求むる図表で即ち

$$\text{風圧による水平力 } P = 0.2t/m^2 \times \frac{H}{2}(D+D_0) \times \frac{2}{3}$$

$$\text{同力の下断面より作用点迄の高さ } h = \frac{H}{3} \frac{2D+D_0}{D+D_0}$$

$$\therefore \text{風圧によるモーメント } M = Ph = \frac{0.2}{9} H^2 (2D+D_0)$$

を示す平行直列図表である。式中の文字は図表中に説明して置いた。本図表中

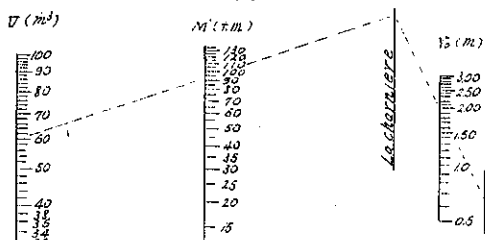
$$D/D_0 \text{ 軸は } -\mu \log \left( \frac{2D}{D_0} + 1 \right), \quad \mu = 5 \text{ cm}, \quad D_0 \text{ 軸は } \mu \log D_0$$

$$H \text{ 軸は } \mu (2 \log H + \log 0.2), \quad M \text{ 軸は } \mu \log 9M$$

を目盛りたるものである。

図-7~12 は円環断面に偏心軸圧力が働く場合の所要鉄筋量  $A_s$  及断面積  $A_c$  を求むる図表であつて、鉄筋の許容応張力  $f_s = 1400 kg/cm^2$  とし、 $f_c$  を 40, 45, 50,  $kg/cm^2$  の 3 種に對し図表を作製した。改正市街地建築物法に依れば  $1400 kg/cm^2$  迄張応力を許す事になつたから、 $1400 kg/cm^2$  の場合のみを掲載して置いた。本図表中鉄筋量を求むる図表は、原線の取方が拙なかつた爲に、完成した図表は少し全体としての形が悪かつたが實用

図-5.



$$M = 1.9V \frac{r}{2} \left( 1 + \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right)$$

$$M' = \text{煉瓦自重} = r \text{ 抵抗し得る曲りモーメント } (t.m)$$

$$V = \text{煉瓦積容積 } (m^3)$$

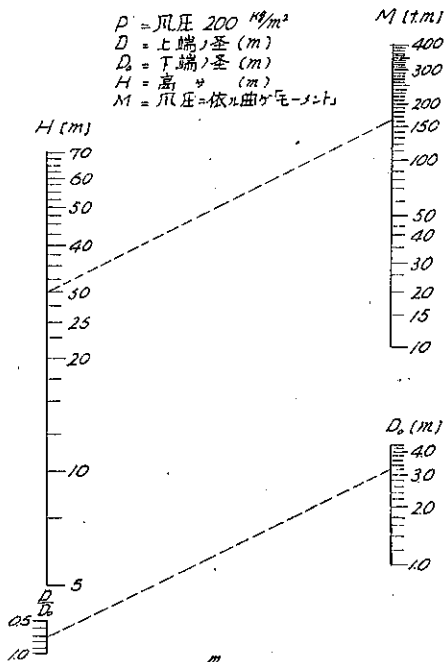
$$r = \text{煉瓦積内半径 } (m)$$

$$r_0 = \text{煉瓦積外半径 } (m)$$

例  $r_0 = 2.00^m$   $\frac{r}{r_0} = 0.8$   $V = 60^m^3$  且時  $M' = 93^t.m$

図-6.

風圧=依り曲げモーメントヲ求ムル圖表



$$P = \text{風圧 } 200^kg/m^2$$

$$D = \text{上端ノ径 } (m)$$

$$D_0 = \text{下端ノ径 } (m)$$

$$H = \text{高 } (m)$$

$$M = \text{風圧=依り曲げモーメント}$$

[例]  $D_0 = 3.34^m$   $D = 2.380^m$   $H = 30^m$

$$\frac{D}{D_0} = 0.713 \quad M = 165^t.m$$

上の問題としては差支へないものと信ずる。原式は下記の通りである。

- $W$  : 考へてゐる断面上の煙突の重量 (kg)
- $M$  : 地震或は風圧に依る該断面に關する曲げモーメント
- $P$  : コンクリートの全圧力 (kg)
- $T$  : 鉄筋の全張力 (kg)
- $n$  :  $\frac{E_s}{E_c}$  = 鉄筋のコンクリートに對する弾性係数の比
- $f_c$  : コンクリートに於ける最大圧応力 (kg/cm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : 鉄筋に於ける最大張応力
- $D$  : 筒体の平均直径 (cm)
- $r$  : 筒体の平均半径 (cm)
- $t$  : 筒体の全厚 (cm)
- $t_c$  : コンクリートのみの厚さ (cm)
- $t_s$  : 平均半径  $r$  の円周上に鉄筋が集中したものと考へた時の鉄筋の厚さ

図-7.

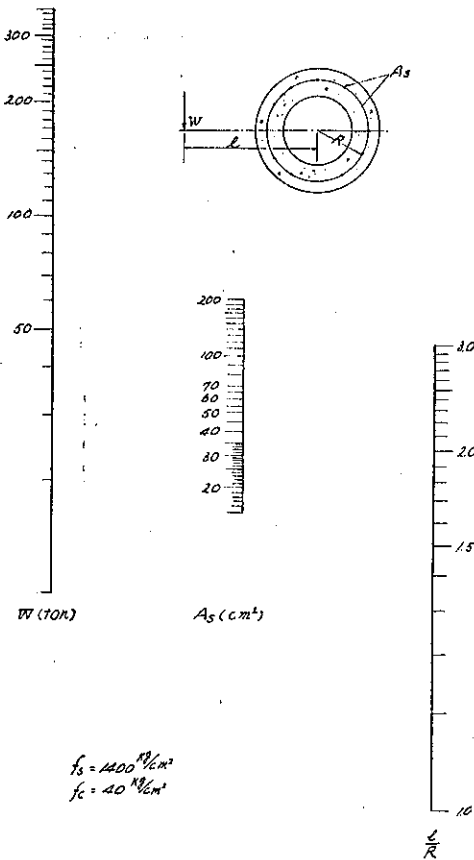


図-8.

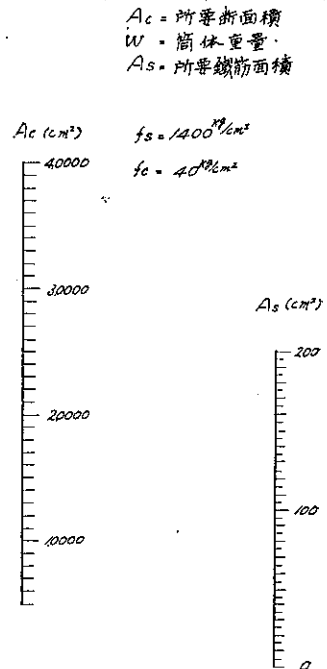


図-9.

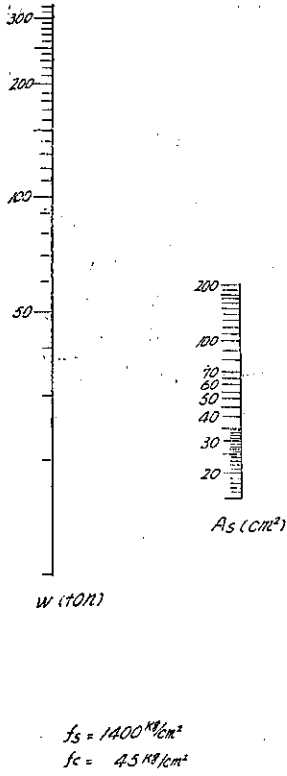


図-11.

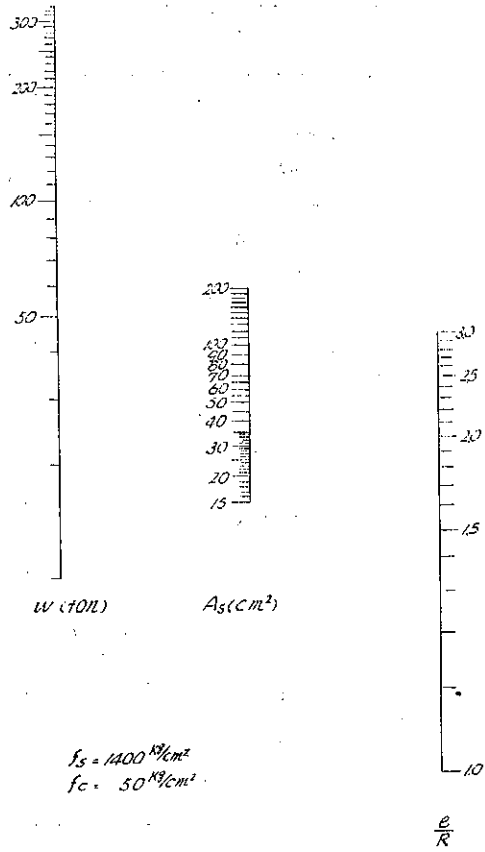


図-10.

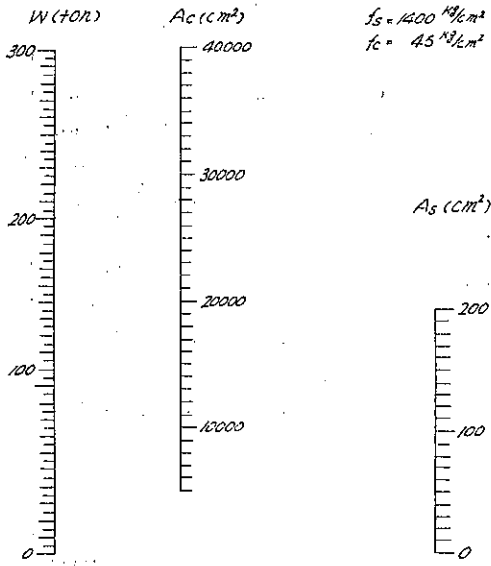
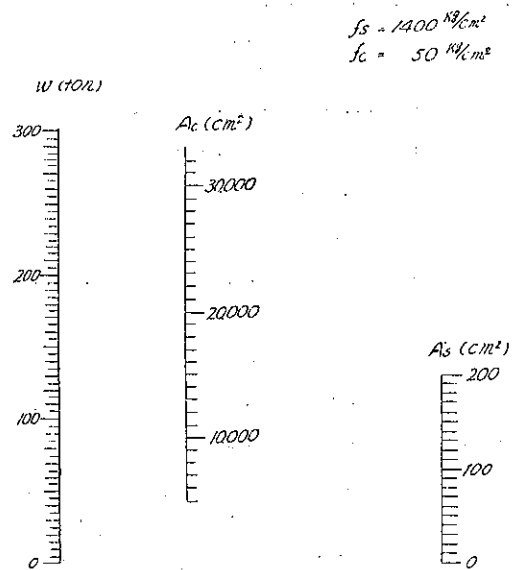
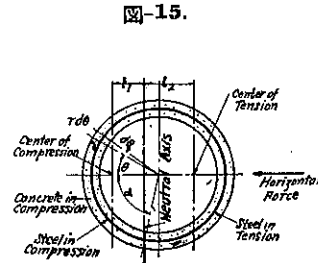
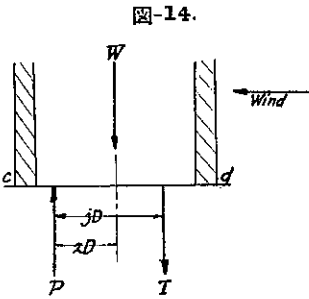
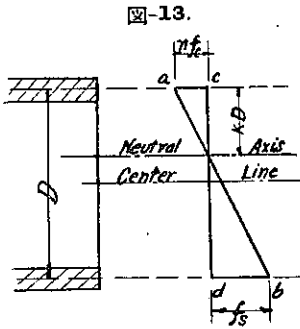


図-12.



$$A_s = \frac{2\pi(M - W_z D)}{C_r f_s j D} \dots\dots\dots (1)$$

$$t = \frac{2W + (C_r f_s - C_n f_{en}) A_s \pi}{C_p f_c D} + \frac{A_s}{\pi D} \dots\dots\dots (2)$$



茲に

$$k = \frac{1}{1 + f_s n f_c}, \quad \cos \alpha = (1 - 2k), \quad C_p = \frac{2}{1 - \cos \alpha} (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)$$

$$C_r = \frac{2}{1 + \cos \alpha} \{ \sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha \}, \quad l_1 = \frac{(\alpha \cos^2 \alpha - 1.5 \sin \alpha \cos \alpha + 0.5 \alpha)}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} r$$

$$l_2 = \frac{\{ (\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + 1.5 \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{2} (\pi - \alpha) \}}{\{ \sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha \}} r$$

$$zD = l_1 + r \cos \alpha \quad jD = l_1 + l_2$$

(1) と (2) を変形して図表を作製した。尤も (2) の第 2 項は僅少なるが故に無視したから、 $A_s$  を求める図表に於て求められた  $A_s$  に  $A_s$  を加へたものより所要筒体肉厚を求める方が正しい。次に種々なる許容応力に對し図表作製上に資する爲、 $k$ ,  $C_p$ ,  $C_r$ ,  $z$  及  $j$  の關係を示せば表-1 の如し。

表-1

図-16 は耐火煉瓦装工を有する單殻鉄筋コンクリート煙突壁内外の温度差を求むる公式

$$d_2 - d_3 = \frac{R_1 t_1}{2 + R_1 t_1 + R_2 t_2} (d_0 - d_1)$$

$R$  : 材料によつて變化する係數

$R_1$  : コンクリートに對する  $R=0.1$

$R_2$  : 耐火煉瓦に對する  $R=0.064$

を表はしたものである。

図-17 はコンクリート壁内側より温度応力の中立面迄の距離  $x_0$  を求むる図表で、

$$\alpha_0^3 + 3r\alpha_0^2 + 6ntsr_1\alpha_0 - 6ntsr_1(r_1 - r) = 0 \quad (t_s \text{ は鉄筋の厚さ})$$

を示してゐる。此の  $x_0$  が求まれば図-13 より筒体の高さの方向に對する温度応力を求める事が出来る。

(図-16~18 に使用したる公式は宮本博士著鉄筋コンクリート工学第 4 卷参照)

尙筒体下部に於ては煙道及人孔を作る關係上完全なる円環断面とならずして、缺円環断面となる。缺円環断面に對する応力算定公式も既に求めてあるが、此の發表は又の機會にしよう。又筒体の計算としては此の外に斜張応力

$k$	$C_p$	$C_r$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

図-17.

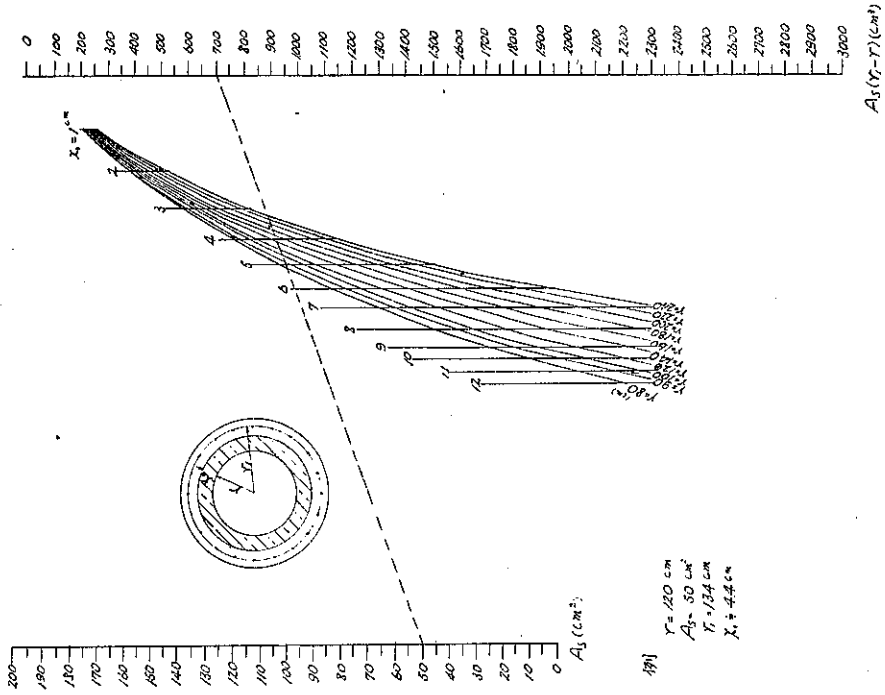
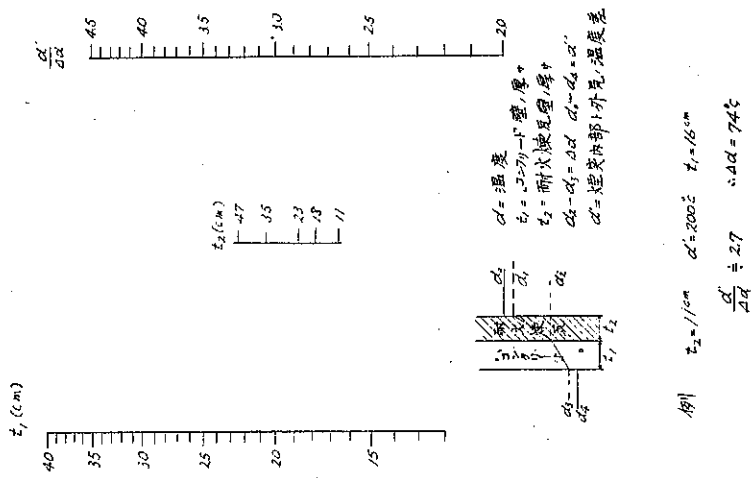


図-16.



及横方向の温度応力に対しても考慮しなければならないのであるが、當所にては大体縦断面積の 0.5~1% の螺旋筋を挿入する事にしてゐる。

図-18.

温度応力ポットル図表

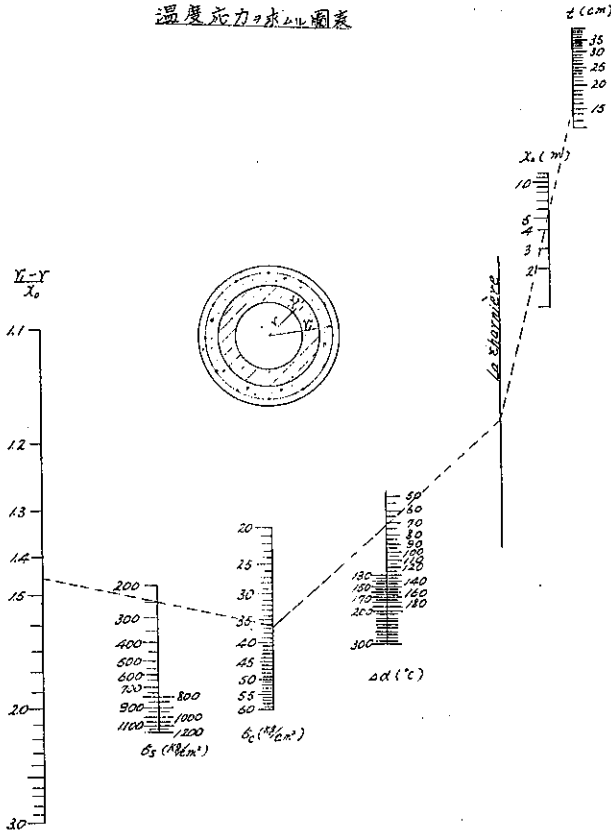
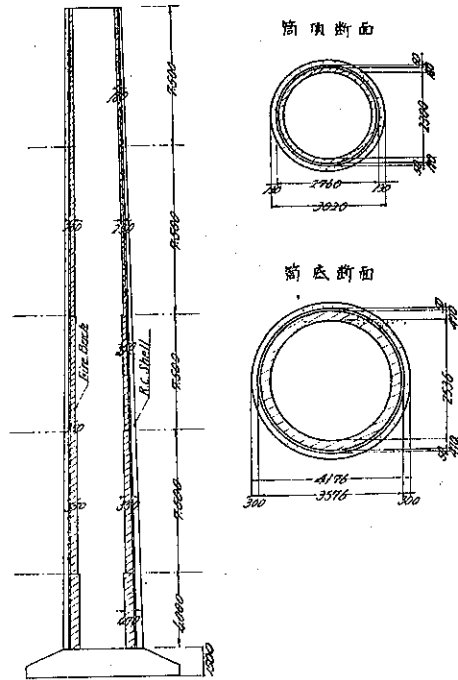


図-19.

某製鋼工場均熱炉用鉄筋コンクリート煙突略図



3. 實例表に対する説明 図は基礎頂面上の高さ 34m、頂上内径 2.300m の耐火煉瓦装工を内側に持つ單殻式鉄筋コンクリート煙突を示す。頂上のコンクリート厚 13cm、耐火煉瓦厚 18cm、筒底コンクリート厚 30cm、耐火煉瓦厚 47cm にして筒頂より 7.500m 毎に断面を取り、各断面に對し風圧 200kg/m<sup>2</sup> 及地震によるモーメントを求めた表が表-2~5 である。

表-2. 地震による筒体各断面に生ずる曲げモーメント

筒頂以下	$r_e$	$r_o$	$A_2$	$A_2 - A_1$	$V/H$	$V$	$W_c = 2.4V$	$r_1/H$	$h$	$(r_o - r_e)/D_0$	$\lambda/P$	$k_x$	$P = k_x W_c$	$M_1$	計算=20% 1/11
筒頂	1.570	1.380	1.180							0.2768					
7.500	1.638	1.470	1.640	0.460	1.40	10.5	25.2	0.493	3.35		0.779	0.292	7.36	26.7	26.22
15.000	1.765	1.560	2.150	0.970	1.65	24.79	59.5	0.451	6.47		0.559	0.154	9.22	62.5	61.89
22.500	1.893	1.650	2.710	1.530	1.90	42.80	103.0	0.433	9.75		0.338	0.093	9.57	93.2	92.35
30.000	2.020	1.740	3.300	2.120	2.15	64.50	154.9	0.417	12.50		0.1180	0.025	11.60	145	142.00
34.000	2.081	1.781	3.650	2.470	2.30	78.20	182.5	0.412	14.00		0	0.025	14.06	177	172.11
基礎													$(14.13) \times 14.06 = 218$	218	216.31

各断面に對し内外半径  $r_i$  及  $r_o$  を求め図表を利用して、頂上面積  $A_1$ 、考へてゐる断面積  $A_2$ 、 $V$ 、 $h_1$  及  $k_x$ 、等を求めて最後に地震による各断面に生ずるモーメント  $M_1$  を求めたのが表-2 である。表中  $W_c$  は考へてゐる断面以上のコンクリートの重量にして、此の場合は 2.4t/m<sup>3</sup>  $V=W_c$  としてゐる。 $P$  は  $k_x$  により求めた水平力を示



したものである。

表-3 は風圧による各断面に生ずるモーメントを図表により求めたのであつて、計算によつて求めた  $M$  値と比較して貰ひたい。

表-4 は地震による耐火煉瓦装工の各断面に生ずるモーメントを求めた表であつて、本質的には表-2 と変りはない。唯だ耐火煉瓦厚が階段的に変化するから、夫々同一厚の部分のみ獨立して  $M$  を求め次に他の部分の影

表-3. 風圧による筒体各断面に生ずる曲げモーメント

筒頂列	$D=2\% D_0=2\%$	$D/D_0$	$M$	計算=30.2M
筒頂	3.020			
7.500	3.276	0.924	1.2 <sup>m</sup>	1.761
15.000	3.530	0.855	47.5	4.77
22.500	3.786	0.797	1.08	1.10
30.000	4.040	0.747	200	202
34.000	4.176	0.722	260	258

表-4. 地震による内部煉瓦巻に生ずる曲げモーメント

註: 耐火煉瓦重量 19%<sub>容積</sub>トス

筒頂列	H	$r_0$	$r_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2-A_1$	$r/H$	$V$	$W_0$	$r/H$	$r$	$r_2$	$F$	$r \cdot ZH$	$M_2$
筒頂	0	1.330	1.150		1.405										
7.500	7.300	1.420	1.240	1.505		0.1	1.45	10.38	20.7	0.5	3.75	0.292	0.04	3.75	22.85
15.000		1.420	1.180			1.89									
	7.500	1.510	1.280	2.000		0.11	1.95	14.675	27.2	0.5	3.75	0.155	4.72	3.75	15.83
22.500		1.510	1.160			2.94									
	7.500	1.600	1.250	3.15		0.21	3.05	22.875	43.5	0.5	3.75	0.093	4.05	3.75	15.20
30.000		1.600	1.230			3.15									
	7.500	1.690	1.340	3.350		0.20	3.20	24.000	45.6	0.5	3.75	0.075	3.43	3.75	12.85
34.000		1.690	1.220			4.30									
	4.000	1.738	1.268	4.44		0.14	4.4	17.600	33.4	0.5	2.0	0.075	2.5	2.0	5.0
計									170.4						

$$\text{基礎} M = 170.4 \times 0.075 \times 15 = 174.4$$

$$= 193.6$$

響によるモーメントを求め合計したのである。表中  $r/H$  を 0.5 に取つたのは  $A_2-A_1$  が僅少なるを以て、0.5 と取つても大した誤りがないからである。又  $W_0$  は耐火煉瓦積の重量を示した。

表-5 は耐火煉瓦積自身の抵抗し得るモーメント  $M'$  即ち任意断面の核心半径に其の断面以上の總耐火煉瓦重量を乗じて得る抵抗モーメント  $M'$  を求め、表-4 の  $M_2$  より  $M'$  を減じた  $\Delta M$  に表-2 に得たる  $M_1$  を加へた  $\Sigma M$  が地震による各断面に生ずるモーメントとなる。表-2 には  $W_0$  が示してあるから風圧或は地震によるモーメントの内何れが大なる方の  $M$  と  $W_0$  とより、所要鉄筋量及断面積が図表より直ちに求まる。以上図表そのものに於ても或は其の他の點に於ても未だ完全なるものとは言へない。讀者諸氏に於ても大いに改良の上利用されん事を望む。

表-5. 地震による筒体各断面に生ずる總曲げモーメント

筒頂列	$r/r_0$	$M'$	$\Delta M = M_2 - M'$	$\Sigma M = M_1 + \Delta M$	計算=30.2M
7.500	0.873	13 <sup>m</sup>	9.65	35.87	35.72
15.000	0.848	32	19.93	81.82	82.39
22.500	0.780	58	21.80	114.15	112.33
30.000	0.792	93	35.25	183.25	179.70
34.000	0.730	115	59.40	256.51	258.01
基底			193.60	411.91	412.51