

第十章 鐵筋混凝土煙突 (Reinforced Concrete Chimney)

第六十七節 鐵筋混凝土煙突の利點と施工上の要旨

1. 煉瓦造煙突に比し自重を著しく減少することが出来る、従て基礎の負擔力並に杭數等を減少す、著者の經驗に依れば普通の場合にて鐵筋混凝土煙突の自重は煉瓦造に比し約三分の一以内である。
2. 煉瓦造煙突は風壓より來る張力を許すことが困難で有るから壁厚頗る厚きを免れない、従て質量多く地震等に對し危險の度が多い、然し鐵筋混凝土煙突では基礎より頂上迄一體を成せる構造物で有るのみならず應張力を取り得るから震災の憂が少ない。
3. 鐵製煙突は内面全體に亘り煉瓦張りを施す必要が有る、又數年毎にペイント塗換をせねばならぬ、然し鐵筋混凝土煙突には此の必要が無い。
4. 鐵筋混凝土煙突は普通工場即ち華氏四百度乃至六百度の火熱を扱ふ場所にて何等の損傷をも被ひることが無い、實驗の結果に徴すれば華氏七百度までは左したる損傷を見ないと曰ふ、非常の高熱を扱ふ場所では相當の高さまで耐火煉瓦の内輪壁を作れば可なり。

5. 今日まで建設せられたる鐵筋混凝土煙突は總數殆んど千に達して居る然し壊倒せるもの未だ無しと云ふ。
設計及び施工上の要旨を述べれば次の如し。
 1. 煙突壁厚は上端を五吋以下と爲すべからず。
 2. 米國トンプソン氏の研究報告に依れば華氏の七百五十度を越ゆる瓦斯を生ずる場合には耐火煉瓦にて内面を張りつむる必要がある、然し七百五十度以下の場合にはセメント、モルタル塗りにて充分であると云ふ。
 3. 耐火煉瓦張りを施したる處と施さぬ處との分界附近の外面には龜裂を生じ易いから此部分に充分の鐵筋を入れること肝要である。
 4. 煙突全高の少くとも三分の一は内面耐火設備とする必要がある。
 5. 煙突の下部にては内輪外輪の二個に區分する方良好なる結果を得。
 6. 以上の場合には内輪は耐火煉瓦なる事あり又混凝土なる事あるが耐火煉瓦使用の方施工容易である。
 7. 温度の差に對する水平帶鐵筋は充分なるを要す。此鐵筋量は温度の差の多少にもよるが、混凝土斷面積の 0.3% 以下とせぬ方可なり。
 8. 砂利、砂等は嚴密に検査し混凝土は 1: 2: 3 の調合とするのが普通である、又固練りに失せず成るべく軟かきものを用ゆる

可し。

9. 煙突の外表面はモルタル仕上げとすることは宜しくない、何となれば將來龜裂を生じ易く又剝げ易い。

10. 鐵筋としては平鐵等はいかぬ、丸鐵か或はデフォームド、バーとする方可なり。

11. 温度昇降の差に備ふる水平帶鐵筋は出來得れば細きデフォームド、バーを間隔細かに入るゝを可とす。

12. 水平帶鐵筋には軟鋼よりも硬鋼の方可なり。

13. 水平帶鐵筋の最大間融は先づ六吋乃至八吋である。

14. 煙突下部二重壁の外輪壁上部に外氣吸入口を設くれば熱氣の冷却に効果多し。

15. 耐火煉瓦と混凝土とは膨脹率が異ふから此の兩者の間には幾分かの空隙を存する方可なり。

今参考の爲め歐米各國にて建設せられたる鐵筋混凝土煙突の數例を掲ぐるゝこと次ぎの如し。

第三十四表

鐵筋混凝土煙突の寸法(實例)

場所及び建築年號等	高さ 地盤以上(呎)	内徑 (呎)	輪壁の厚さ (呎)		基礎の大きさ (呎)	
			頂上	底部	幅	厚さ
獨國「ブラウボイレン」1876年.....	118	4.6	0.49	2.3	20.7	13.0
同「レールテ」1890年.....	180	6.6	0.82	2.62	22.0	—
米國「ミルウォーキー」市 1903年....	175	7.5 (内徑) 11.65 (外徑)	0.25 0.33	2.06	13.6	7.0

同「ロスアンゼルス」市.....	180	11.0 15.25	0.25 0.33	—	32.1	6.0
同「シカゴ」市、(1:3モルタル製)	352	18.0	7 ^吋	1.50	42.6	8.0
同「ポートランド」ゼネラル電氣商會	238	12.0	6 ^吋	1.30	30.0	5.0
同「ユナイテッド」製靴機械商會..	142-1	6.0	5 ^吋	14.	18.0	3-6 ^吋
同「マリンクロッド」化學工場(セントルイ)市.....	150	9.0	5 ^吋	9 ^吋	22.0	5.0
獨國「クラウセンブルヒ」煙草工場..	103	2.46 (上部) 4.92 (下部)	0.5	0.5 (外に耐火煉瓦)	13.0	1.65
米國「ミッドルタウン」の煙突.....	100	4.5	0.43	0.5 (同)	14.0	2.95
獨國「ボンナ」市煙突.....	114.7	6.6	0.69 (外に煉瓦 三寸六分)	同	22.3	6.6
其他.....						

第六十八節 鐵筋混凝土煙突及び中空圓形桁の設計に関する理論

次ぎに掲ぐる處は一般鐵筋混凝土煙突又は電柱の如き中空圓形桁の設計に必要な原理を示せるものである。基礎的假定は凡て鐵筋混凝土桁等に用ひらるゝ處と異らず。煙突に在りては混凝土の輪壁厚比較的薄きを以て、此等材料は輪厚平均圓に集中せられたるものと假定し立論す。又煙突にては風壓の爲め混凝土に應張力の起る場合と、起らぬ場合との二つあるが茲には前者に就てのみ述べべし、煙突斷面上に應壓力のみ起る場合は風壓力甚だ少なきか、又は煙突の極上端に限られて居り、又解法も容易であるから茲には省略することとせり。

(第一) 符 號

- A_s = 任意の斷面に於ける縱鐵筋の全斷面積 (平方吋にて)
- D = 煙突輪壁の平均直徑 (吋)
- f_c = 混凝土上の最大應壓力、每平方吋に就き封度、但し平均輪線にて
- f_s = 鐵筋上の最大應張力、每平方吋に就き封度
- k = 抗壓側の平均輪線より中軸までの距離
- $\left. \begin{matrix} j \\ z \\ C_P \\ C_T \end{matrix} \right\} = k \text{ の値により定めらるべき定數}$
- jD = 壓力中心點より張力中心點までの距離
- zD = 壓力中心點より重心線までの距離
- M = 風壓より起る彎曲率
- $n = \frac{E_s}{E_c}$ = 鐵と混凝土との彈性係數比
- P = 混凝土上に働く壓力の全量
- r = 煙突輪壁の平均圓半径 (吋)
- t = 煙突輪壁の總厚 (吋)
- t_c = 煙突混凝土のみの厚さ (吋)
- t_s = 平均圓半径を有する鐵輪壁の厚さ (吋)
- 但し鐵筋全斷面積と等しき斷面積を有する如く換算せるもの
- T = 鐵筋に働く張力の全量
- W = 任意の斷面を考へたるとき其れより上部なる煙突の重量

(封度)

(第二) k の數値を定むること

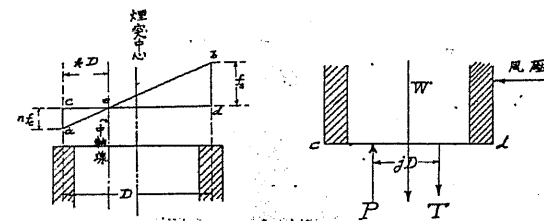
今第八十九圖に於て煙突の彎曲より來る應力變形を直線 acb なりと假定し平均輪線上の最大應壓力を f_c なりとせば其の位置に於ける鐵筋上の應壓力は nf_s である。又抗張側に於ける平均輪線上の鐵筋應張力は f_s なるを以て cd 斷面に於ける應力圖は $cabd$ で表はすことが出来る。而して cd 線と ab 線との交點 e は即ち中軸で有るから直ちに次ぎの如き式を得、

$$\frac{kD}{D} = \frac{nf_c}{f_s + nf_c}$$

故に

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}} \dots \dots \dots (133)$$

第 八 十 九 圖



今 f_s, f_c 及び n を如何に選定するも k の値は本式より直ちに求むることが出来る、従て中軸の位置を定むることが容易である。第三十五表に掲ぐる處は第 (133) 式により算定せしものなり。

第三十五表

f_s 抗張鐵筋上の最大應張力	中軸線より抗壓力側の鐵筋中心に至る距離 k											
	$n=10$				$n=12$				$n=15$			
	混凝土上の最大應壓力 f_c				混凝土上の最大應壓力 f_c				混凝土上の最大應壓力 f_c			
	400	500	600	700	400	500	600	700	400	500	600	700
9,000	.308	.357	.400	.438	.348	.400	.444	.483	.400	.454	.500	.538
10,000	.288	.334	.375	.412	.324	.375	.418	.456	.375	.428	.474	.512
11,000	.266	.312	.353	.389	.304	.353	.395	.433	.353	.405	.450	.488
12,000	.250	.294	.334	.368	.285	.334	.375	.412	.334	.384	.428	.466
13,000	.236	.278	.316	.350	.270	.316	.356	.392	.316	.366	.409	.447
14,000	.222	.263	.300	.334	.255	.300	.340	.375	.300	.349	.391	.428
15,000	.210	.250	.285	.318	.242	.286	.324	.360	.286	.334	.375	.412
16,000	.200	.238	.272	.304	.231	.272	.310	.344	.272	.319	.360	.396
17,000	.190	.228	.261	.291	.220	.261	.298	.330	.261	.306	.346	.382
18,000	.182	.218	.250	.280	.210	.250	.285	.318	.250	.294	.334	.368

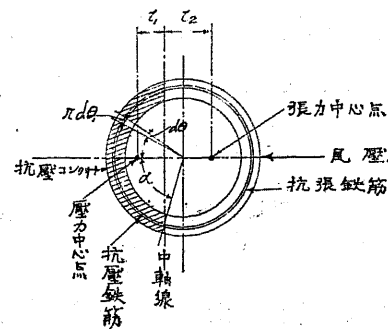
(第三) 斷面上の壓力の全量を定むること

第九十圖に於て、 α を抗壓缺圓が中心に於て張る角度の半角とせば

$$\cos \alpha = \frac{\frac{D}{2} - kD}{\frac{D}{2}} = 1 - 2k$$

となる。故に任意の k の値に對し α , $\cos \alpha$ 及び $\sin \alpha$ の數値を決定することが出来る。即ち之れを詳言すれば f_c , f_s 及び n の値

第九十圖



を假定し k を求め更に α の値を算定し得るを以て (應力度は中軸線よりの距離に比例するものと假定するときは) 次ぎの各量を算定することが出来る。

1. 抗張力 (Total force on tension side.)
2. 抗壓力 (Total force on compression side.)
3. 抗張力中心點 (Center of tension.)
4. 抗壓力中心點 (Center of compression.)

今以上を定むるが爲め先づ抗壓並に抗張面積を定めなければならぬ。第九十圖より、

$$\text{混凝土の微面積} = t_c r d\theta$$

$$\text{鐵筋輪の微面積} = t_s r d\theta$$

である。而して中軸線より此等微面積に至る距離は $r(\cos \theta - \cos \alpha)$ にして最大應壓力 (f_c) の起る點までの距離は $\theta=0$ なるを以て $r(1 - \cos \alpha)$ である。故に此等微面積に於ける應力度は次ぎの如し。

$$\text{混凝土にては } f_c \frac{r(\cos \theta - \cos \alpha)}{r(1 - \cos \alpha)} = f_c \frac{\cos \theta - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

$$\text{鐵筋輪にては } n f_s \frac{r(\cos \theta - \cos \alpha)}{r(1 - \cos \alpha)} = n f_s \frac{\cos \theta - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

輪壁は元來厚さを有するを以て上記の如き半徑の方向に取れる微面積兩極端の應力度は異つて居る。然れども一般に輪厚薄きを常とするを以て、以上の應力度は其點に於ける平均應力度を表はすものと假定し此の微面積上の應力の全量を求むれば（混泥土及び鐵筋上の合計）

$$dP = (t_c + nt_s) r d\theta \frac{f_c (\cos \theta - \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

故に或る斷面に於ける應壓力の全量 P は次式の如し

$$P = 2 \int_0^\alpha dP = 2(t_c + nt_s) f_c r \int_0^\alpha \frac{\cos \theta - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} d\theta$$

本式を積分すれば

$$P = f_c r (t_c + nt_s) \frac{2 (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

の値は k により定めらるべきものなるを以て上式は下の如く表はすことが便利である。

$$P = C_P f_c r (t_c + nt_s) \dots \dots \dots (134)$$

C_P の値は第三十六表 (287 頁) に掲げて有る。

(第四) 壓力量 P の重心を求むること

次ぎに壓力 P の重心點を求め其中軸線よりの距離 l_1 を定むることが必要である。

前掲の如く微面積上に働く壓力は

$$dP = (t_c + nt_s) r d\theta \frac{f_c (\cos \theta - \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

にして其中軸線よりの距離は $r (\cos \theta - \cos \alpha)$ なるを以て、以上の壓力が中軸の廻りに起す力率は次ぎの如し。

$$dM_c = (t_c + nt_s) r d\theta \frac{f_c r (\cos \theta - \cos \alpha)^2}{1 - \cos \alpha}$$

故に壓力全量の起す力率は

$$M_c = 2 (t_c + nt_s) f_c r \int_0^\alpha \frac{r (\cos \theta - \cos \alpha)^2}{1 - \cos \alpha} d\theta$$

$$= (t_c + nt_s) \frac{2 f_c r^2}{1 - \cos \alpha} \left[\int_0^\alpha \cos^2 \theta d\theta - 2 \cos \alpha \int_0^\alpha \cos \theta d\theta + \cos^2 \alpha \int_0^\alpha d\theta \right]$$

之れを積分するときは

$$M_c = (t_c + nt_s) \frac{2 f_c r^2}{1 - \cos \alpha} \left[\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{2} \alpha \right]$$

然るに $l_1 = \frac{M_c}{P}$ なるを以て

$$l_1 = \frac{\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{2} \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} r \dots (135)$$

(第五) 張力の全量 T 及び其の重心を定むること

以上と同様に張力量 T を定むること容易である。只此の場合に於て吾人は混泥土が張力に抵抗し得ざるものと假定し鐵筋のみにより之れに抵抗せしむるを以て抗張微面積は $t_s r d\theta$ である。而して此の微面積上の應張力度は

$$f_s \frac{r (\cos \theta + \cos \alpha)}{r (1 + \cos \alpha)}$$

故に此の微面積上の應張力は

$$dT = t_s r f_s \frac{\cos \theta + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} d\theta$$

従て抗張側の張力全量 T は

$$T = 2 t_s r f_s \int_0^{(\pi-\alpha)} \frac{\cos \theta + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} d\theta$$

積分の結果は

$$T = f_s r t_s \frac{2 [\text{Sin } a + (\pi - a) \text{Cos } a]}{1 + \text{Cos } a}$$

而して k の値により $\text{Sin } a, \text{Cos } a$ 及び a は凡て定め得るを以て、
次ぎの如く表はすことが出来る。

$$T = C_r f_s r t_s \dots\dots\dots (136)$$

此の C_r の値は第三十六表に掲げてある。

抗壓力側に於て爲したる計算と同様の方法により中軸線の廻りに張力の力率をとるときは

$$M_r = 2 t_s r^2 f_s \int_0^{(\pi-a)} \frac{(\text{Cos } \theta + \text{Cos } a)^2}{1 + \text{Cos } a} d\theta$$

$$= t_s r^2 f_s \frac{2}{1 + \text{Cos } a} \left[(\pi - a) \text{Cos}^2 a + \frac{3}{2} \text{Sin } a \text{Cos } a + \frac{1}{2} (\pi - a) \right]$$

而して

$$l_2 = \frac{M_r}{T} = \frac{(\pi - a) \text{Cos}^2 a + \frac{3}{2} \text{Sin } a \text{Cos } a + \frac{1}{2} (\pi - a)}{\text{Sin } a + (\pi - a) \text{Cos } a} r \dots (137)$$

l_1 及び l_2 の一般式を見るに、 a の函數であるから k の値により定まるべき定數である。故に P と T との距離 ($l_1 + l_2$) は次ぎの如く表はすことが出来る (第八十九圖参照) $l_1 + l_2 = jD$ 。

茲に j は k の値により定めらるゝ定數である。其の値は第三十六表に掲げてある。又第八十九圖に於て煙突中心より壓力中心點までの距離も中軸線を見出したる後は、 D に一定の數を乗じたる形即ち zD として表はすことが出来る。而して z の各種の値も亦第三十六表に示して有る。

(第六) 所要鐵筋量を定むること

以上論述した處の張力及び壓力は煙突上に働く風壓と煙突の自重とにより起るものである。之れを換言すれば第八十九圖に於て煙突上に働く外力は任意の水平斷面例へば cd に於て

1. 彎曲率 M を起す水平風壓力 (但し cd 斷面以上の分)
2. 壓力を與ふる煙突自重 W (但し cd 斷面以上の分)

此の兩者に抵抗して力の平衡を保つものは cd 斷面の混凝土と、
縦鐵筋上とに於ける應壓力 P 及び應張力 T の三者である。

今 P 力の廻りに凡ての力の力率を求むれば

$$TjD = M - WzD$$

前述の如く (136) 式より $T = C_r f_s r t_s$ なるを以て此の値を入れ
て

$$r t_s = \frac{M - WzD}{C_r f_s j D}$$

である。縦鐵筋の全量 $A_s = 2\pi r t_s$ なるを以て

$$A_s = \frac{2\pi (M - WzD)}{f_s j D C_r} \dots\dots\dots (138)$$

第三十六表を見るに $k=0.05$ のとき $j=0.760$ 、 $k=0.600$ のとき $j=0.784$ にして k の値が著しく變化するも尙 j の値の變化は微小である。故に $\frac{2\pi}{j} = 8$ と假定するも實用上誤差を生ずることは殆んど無い。従て第 (138) 式は次式の如く簡單になる。

$$A_s = \frac{8(M - WzD)}{C_r f_s D} \dots\dots\dots (139)$$

(第七) 煙突輪壁の厚さを定むること

靜力學上の基礎的原理により構造物何れの斷面に於ても垂直力

の代數的總和は零とならなければならぬ、故に $P - T = W$ 、
 P 及び T に (2) 式及び (4) 式の値を代入して

$$C_P f_c r (t_c + nt_s) - C_T f_s r t_s = W$$

此の式を t_c により解きて

$$t_c = \frac{W + (C_T f_s - C_P f_c n) r t_s}{C_P f_c r}$$

而して壁厚さは $t = t_c + t_s$ なるを以て

$$t = \frac{W + (C_T f_s - C_P f_c n) r t_s}{C_P f_c r} + t_s$$

然るに $t_s = \frac{A_s}{\pi D}$, $r = \frac{D}{2}$ なるを以て此等の値を代入して

$$t = \frac{2W + (C_T f_s - C_P f_c n) \frac{A_s}{\pi}}{C_P f_c D} + \frac{A_s}{\pi D}, \dots \dots (140)$$

(第八) 設計用表

以上論述したる處により f_c, f_s 及び r の値を假定すれば煙突の任意斷面に於ける中軸の位置を算定し得べく、中軸の位置を定むれば C_P 及び C_T の定數を算定する事が出来る。從て C_P 及び C_T を定むれば縦鐵筋の所要量及び煙突壁厚を算定すること容易である。されば煙突設計を簡易輕捷ならしむるには k の各種の値に對する C_P, C_T, z, j 等の値を算出して表示することが必要である。今此等の値をテラー及びトンプソン氏著書 Concrete, Plain & Reinforced, 635 頁より轉載すれば第三十六表の如し。

第三十六表

煙突設計用常數表

k	C_P	C_T	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

(第九) 水平螺狀鐵筋量を定むること

今日まで建設せられたる煙突には此の鐵筋量が一般に少ない。之れが爲め建設後縦龜裂を生じたる例は少くない。故に温度の變化に對し充分なる水平螺狀鐵筋を挿入すること尤も必要である。

煙突は元來高熱瓦斯を通し内部は温度高けれども外面は温度低く從て輪壁膨脹の結果縦に龜裂を生じやすい。故に混凝土に張力又は剪力を許容することは甚だ危険である。然るに此等垂直剪力又は張力に對し充分なる水平鐵筋を配すれば何等の危険をも伴はない。今次ぎに此の鐵筋の所要斷面積及び間隔を定むる實用式を掲げよう。

本節には次ぎの符號を用ゆ

F = 煙突の投射面に當る有效風壓(每平方呎に付き封度)

D = 煙突の直徑(吋)

j_s = 水平螺狀鐵筋上の可許應張力(每平方吋に付き封度)

h_w = 任意水平線より上部に在る煙突の高さ(呎)

p_o = 水平螺狀筋の混凝土斷面積に對する比

直立せる煙突に於て或る水平斷面をとり、其の斷面上に働く水平剪力の全量は風壓より來るもので

$$\frac{D}{12} h_w F$$

茲に $\frac{D}{12}$ は煙突の直徑を呎に換算せるものに過ぎない。最大單位剪力は之れを jD にて除したるもので有るから最大剪力は

$$\frac{D h_w F}{12 j D} \quad \text{即ち} \quad \frac{h_w F}{12 j}$$

既に論述せるが如く j 即ち中軸の位置が如何に變ずるも之れに對する j の値は微少の變化を爲すに過ぎない。從て實用上常數と見做すことが出来る。今其の平均値を 0.783 とするときには最大水平剪力は次ぎの如くである。

$$\frac{h_w F}{12 + 0.783} = 0.106 h_w F$$

然るに靜力學上の法則により垂直剪力は、其點に於ける水平剪力に等しいから $0.106 h_w F$ は即ち煙突の高さの毎吋に於ける最大垂直剪力である。故に高さ毎呎の剪力は $0.106 h_w F$ の 12 倍で有る。

煙突の高さ每一呎に要する鐵筋量は $12 t p_o$ である。而して此の高さ一呎に挿入せる螺狀筋の採り得べき應力は輪壁左右兩斷面に於て

$$2 \times 12 t p_o f_s$$

である。故に内外力の平衡より次ぎの方程式を得

$$12 \times 0.106 h_w F = 2 \times 12 t p_o f_s$$

故に

$$p_o = \frac{h_w F}{18.8 f_s t} \dots\dots\dots (141)$$

此の鐵筋量は單に風壓より來る剪力或はダイアゴナル、テンションに備ふるもののみである。溫度の變化に備ふる目的には別に相當鐵量を増加しなければならない。之れを理論的に算定することも出来るが茲には實用上の値を掲ぐるに止む。

先づ溫度の變化に對しては概ね 1/4% の鐵量を増加すればよい。故に以上述べたる處を總括して水平螺狀鐵筋の所要量は次ぎの如し。

$$p_o = \frac{h_w F}{18.8 f_s t} + 0.0025 \dots\dots\dots (142)$$

此の鐵筋用としては成るべく細きものを近い間隔に配置する方が宜しい、煙突の最上部を除くの外は煙突の直徑に應じ四吋乃至十吋の間隔を適當とする。從來螺狀筋の間隔を一尺五寸乃至三尺とせるものは概ね甚しく龜裂を生じて居る。

(第十) 中空圓形桁及び中空電柱の設計法

側壁の厚さが直徑の割合に小なるものは以上の理論を直ちに應用して宜しい。然し壁厚の大なるものは圖式解法に依る法が便である、其の方法は茲には省略して置く。

第六十九節 鐵筋混凝土煙突計算例示

次ぎの煙突を設計せよ

地盤上煙突の高さ=140呎、煙突の内徑=6呎6吋、混凝土上の可許應壓力= $f_c=500$ 封度(每平方吋)、鐵筋上の可許應張力= $f_s=14,000$ 封度(每平方吋)、彈率比= $n=15$ 、投射面上の風壓力=40 封度(每平方吋)鐵筋混凝土の重量=150 封度/立方呎。

解 先づ煙突重量を見出すが爲め輪壁の厚さを假定せねばならない、其の厚さを第九十一圖(291頁)の如く假定す。而して高さを各二十呎毎に區分し其の點に於ける縱橫鐵筋量を算定す。

(第一) 頂上より百四十呎(地盤面)の斷面に於ける鐵

筋量及び壁厚の算定

$$\begin{aligned} \text{彎曲率} = M &= \left\{ 7.5 \times 80 \times 40 \times \left(\frac{80}{2} + 60 \right) + 10 \times 60 \times 40 \times \frac{60}{2} \right\} \times 12 \\ &= 37,440,000 \text{ 吋封度} \end{aligned}$$

地盤面上の煙突重量

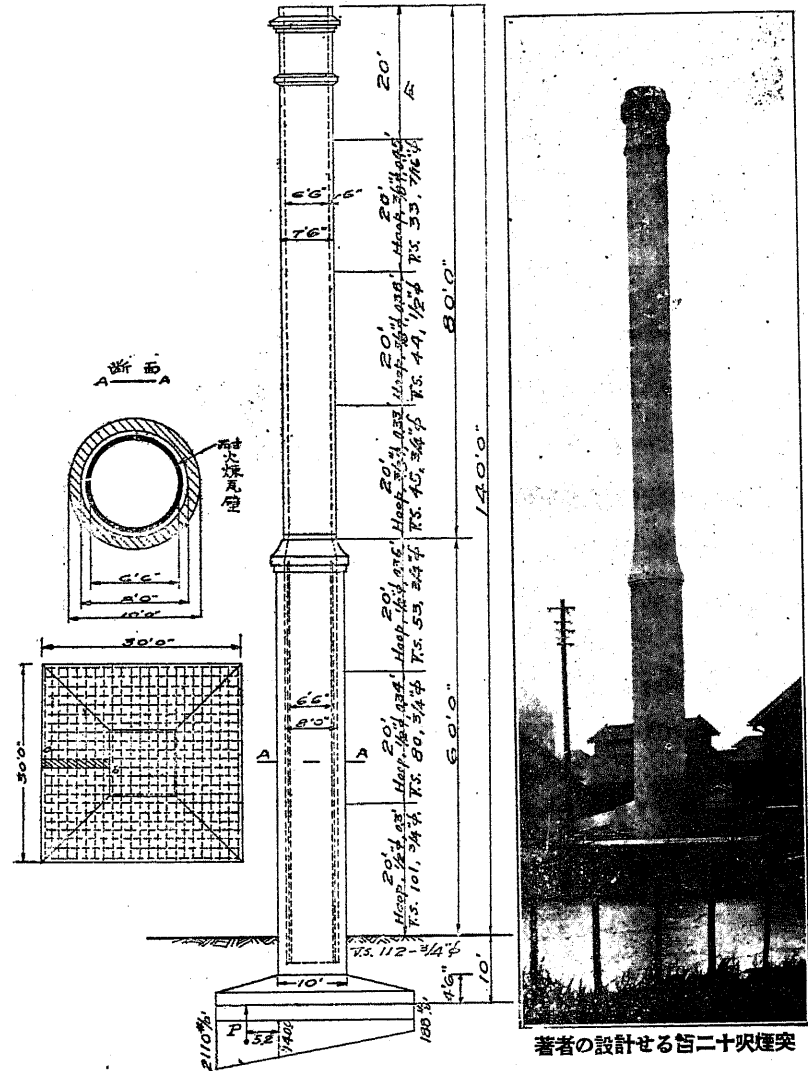
$$\begin{aligned} W &= 3.1416 \times (7.0 \times 0.5 \times 80 + 9.0 \times 1.0 \times 60.) \times 150 \\ &= 386,800 \text{ 封度} \end{aligned}$$

所要縱筋の斷面積は第(139)式より

$$A_s = \frac{8(M - WzD)}{C_r f_s D}$$

然るに第三十五表より、 $f_c=500$, $f_s=14,000$ $n=15$ のとき $k=0.349$ である。更に第三十六表を見るに此の k の値に對して $C_r=1.640$ $C_r=2.333$ $z=0.427$

第九十一圖



故に

$$A_s = \frac{8(37,440,000 - 386,800 \times 0.427 \times 108)}{2,333 \times 14,000 \times 108}$$

=44.5 平方吋、即ち 3/4 吋丸鐵百一本を要す、

壁の厚さを定めんには

$$t = \frac{2W + (C_{ps} - C_{pc}) \frac{A_s}{\pi}}{C_{pc} D} + \frac{A_s}{\pi D}$$

$$= \frac{773,600 + (2,333 \times 14,000 - 1,640 \times 500 \times 15) \times \frac{44.5}{3.1416}}{1.64 \times 500 \times 108}$$

$$+ \frac{24.9}{3.1416 \times 108} = 12.0 + 0.007 = 12.007 \text{ 吋}$$

即ち先きに十二吋と假定せるに約十二吋強の厚さを得たるを以て実際には十二吋を用ひて適當である。而して地盤面より六十呎の高さまで此の厚さを使用す。

次ぎに残れる問題は水平鐵筋量を算定すべきことである第(142)式より

$$p_o = \frac{h_x F}{18.8 f_t} + 0.0025 = \frac{140 \times 40}{18.8 \times 14,000 \times 12} + 0.0025$$

$$= 0.00178 + 0.0025 = 0.00428$$

故に所要鐵筋量は

$$A_s = 12 \times 12 \times 0.00428 = 0.617 \text{ 平方吋}$$

即ち半吋丸鐵を三寸の間隔に使用しなければならない。

(第二) 頂上より百二十呎の断面に於ける鐵筋量の算定

$$M = (7.5 \times 80 \times 40 \times 80 + 10 \times 40 \times 40 \times 20) \times 12$$

$$= 26,880,000 \text{ 吋封度}$$

$$W = 3.1416 \times (7.0 \times 0.5 \times 80 + 9 \times 1 \times 40) \times 150$$

$$= 302,000 \text{ 封度}$$

$$A_s = \frac{8(26,880,000 - 302,000 \times 0.427 \times 108)}{2,333 \times 14,000 \times 108}$$

$$= 35.3 \text{ 平方吋}$$

即ち 3/4 吋丸鐵八十本を使用すれば充分である。又水平螺狀鐵筋は次ぎの如く算定することが出来る

$$p_o = \frac{h_x F}{18.8 f_t} + 0.0025 = \frac{120 \times 40}{18.8 \times 14,000 \times 12} + 0.0025$$

$$= 0.004$$

故に $A_s = 12 \times 12 \times 0.004 = 0.576 \text{ 平方吋}$ 即ち半吋丸鐵を三寸四分間隔に挿入すればよい。同様の方法により煙突各断面の所要鐵筋量を算定することが出来る、詳細は第九十一圖を参照せよ。

(第三) 基礎スラブの計算

今日迄て建設せられたる多くの鐵筋混泥土煙突に就き其の高さと基礎幅員との比を見るに、後者は前者の五分の一乃至六分の一なるものが普通で有る。問題の場合では煙突の總高百五十呎の五分の一を取り、基礎幅を三十呎となすを適當とす。

基礎スラブの有効厚を定むるには煙突自身の重量により貫穿せざるは勿論、又風壓により傾倒せざる様厚さを選定しなければならぬ、今混泥土上の可許應剪力を毎平方時に付き三十封度とせば貫穿剪力に對し安全なる厚さは次ぎの如く算定することが出来る。

$$\text{煙突外壁重量} = 410,200 \text{ 封度}$$

同 内壁重量(煉瓦) = 49,800 封度

重量合計 = 460,000 封度

故に煙突幹身直下に於けるスラブ厚は下記の如くである

$$t = \frac{460,000}{3.1416 \times 120 \times 30} = 40.6 \text{ 吋}$$

又最大風壓に對し基礎の一端に張力を生ぜしめざる爲めには風壓と自重との合力が基礎幅の中央三分の一圏内に在ることが必要である。

基礎底面に於ける風壓力率は下記の如し

$$M = 7.5 \times 80 \times 40 \times \left(\frac{80}{2} + 70 \right) + 10 \times 60 \times 40 \times \left(\frac{60}{2} + 10 \right) \\ = 3,600,000 \text{ 呎封度}$$

以上の條件を充たす爲めには次の關係が生ずる。

合力線の煙突中心よりの偏倚 $e = \frac{30}{6} = \frac{M}{W}$, 茲に W は煙突の總重量(基礎を含み)である、従て

$$W = \frac{6M}{30} = 720,000 \text{ 封度}$$

煙突自身の重量を差引きてスラブの最少重量を見出すに $720,000 - 460,000 = 260,000$ 封度である、然れども合力線が正確に中央三分の一點に交切するときは地壓力は一方に於て平均地壓力の二倍、他端に於て零となりスラブ一半の負擔する壓力著しく多い。従てスラブに起る彎曲率を大ならしめ鐵筋量を増加するの結果となるを以て、合力線をして成るべく中央三分の一圏以内に止まらしむることが肝要である。故に基礎スラブを三十呎の四角形とし縁厚二尺總厚四尺五寸とせばスラブの重量は

$$W_s = \left[\frac{2.5}{6} \times (10^2 + 30^2 + 40^2) + 30^2 \times 2.0 \right] \times 140 \\ = 402,600 \text{ 封度}$$

煙突總重量 = $460,000 + 402,600 = 862,600$ 封度故に風壓力と重量

との合力線が基礎底面中心線より偏倚する距離は

$$e = \frac{M}{W} = \frac{3,600,000}{862,600} = 4.18 \text{ 呎}$$

即ち $6e < 30$ なるを以て合力線はスラブの中央三分の一圏内に在ることが明である。

次に基礎左右兩端に於ける地壓力の最大及び最少値を求めべし。

今基礎の全幅に付き考ふれば

$$\left. \begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\} = -\frac{W}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right)$$

茲に b は基礎の幅員にして W は煙突の總重量である、故に

$$p_1 = \frac{862,600}{30} \times \left(1 + \frac{6 \times 4.18}{30} \right) = 52,750 \text{ 封度}$$

$$p_2 = \frac{862,600}{30} \times \left(1 - \frac{6 \times 4.18}{30} \right) = 4,710 \text{ 封度}$$

此の壓力が基礎スラブ全幅の六分の五幅に分布せらるるものとせば每平方呎に對する單位兩緣地壓力は下記の如くである。

$$p_i = \frac{52,750}{25} = 2,110 \text{ 封度(每平方呎)}$$

$$p_r = \frac{4,710}{25} = 188 \text{ 封度(每平方呎)}$$

今 ab なる單位幅のスラブをとり b 點に於ける最大彎曲率を算定し之れに對し充分なる鐵筋量を定むべし、 ab 上に働く地壓力は(第九十一圖參照)

$$P = \frac{2110 + 1400}{2} \times 10 = 17,550 \text{ 封度}$$

圖式により P 力は b 點の外方 5.2 呎の位置にあるを以て b 點に於ける彎曲率 (M_b) は次の如くである。

$$M_b = 17,550 \times 5.2 \times 12 = 1,093,000 \text{ 吋封度}$$

普通桁公式により計算するときは 7/8 吋丸鐵を四吋の間隔に挿入すれば可なるを知ることが出来る。

第九十一圖に示したる煙突は著者の設計し施工せるものの一例である。