

## 第六章 鐵筋混凝土支柱

### 第四十三節 配筋上より見たる柱の形式

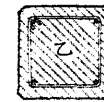
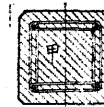
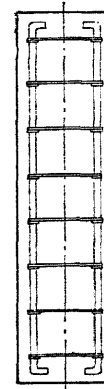
現今鐵筋混凝土建築其他に應用しつつある支柱を、配筋上より大別して五種類と爲す事を得べし、即ち

- 第一、軸筋を有する支柱 (Columns with Longitudinal Reinforcement)
  - 第二、螺狀筋混凝土支柱 (Spiral Hooped Concrete Columns)
  - 第三、螺狀筋と軸筋とを有する支柱 (Spiral Hooped Concrete Columns with Longitudinal Steel)
  - 第四、鐵骨混凝土柱 (Reinforced Steel Columns)
  - 第五、エムペルゲル氏柱 (Columns invented by Dr. Emperger)
- 次に此等各支柱の配筋法に就き概略の説明を試みよう。

#### 第一、軸鐵筋を有する支柱

柱としては尤も舊くから廣く行はれたる形式で、第三十六圖に示せる如く其の断面概ね四角形、稀には八角形、圓形等もある、隅々に四本若くは八本位の軸鐵筋を配置せるもので有る。此の形式では常に軸鐵筋の外に、横に一定の間隔毎に繫節筋 (Tie links) を設け軸筋の擴離を防ぐの用に供して居る。軸筋の太さは支柱上の荷重に依り差異あるが、理想としては餘り太からざるものを數多使用すべきであるが、實地では直徑四分以上八分位のものを採用して居る、繫節筋の間隔は必ずしも密なるを要せない、軸筋が荷

第三十六圖



重を單獨に受け彎曲を起さざる範圍とせば充分である、英京ロンドン市の建築條例によれば柱有効幅員の十分の六以下若くは軸筋直徑の十五倍以下と規定して居る、又如何なる場合と雖ども其間隔を一呎以上とする事は實地上避けねばならぬ、繫節筋の太さは一分五厘乃至二分で、理論上特別の必要あるに非れば二分以上の直徑を有するものは使用せぬ方がよい、仕事が著しく困難になるからである。

繫節筋の様式に現今二種類ある、一は第三十六圖(甲)に示したるが如く八番線位の太さのもので二重に使用する方法である、此は歐洲特に佛國ヘネビック式に多く使用されて居る、他の一法は同圖(乙)に示せるが如く、太さ最大二分位の鐵筋で軸筋の外周に密接して一重に使用するものである、前法は堅固なる方法で有るが復雜で割合にゆるみ易い構造で有る

が後法は手輕で且つ繫節の効力も優れて居る、故に著者は後者を推奨し又數多の工事に應用して居る、柱の長さは其の最小幅員の十八倍を限度とす、鐵筋の割合は歐米各地の建築條例を參考して柱斷面積の千分の五以上、千分の二十五以下とするを適當とす。

#### 第二、螺狀筋混凝土支柱

佛人コンシデア (Considerè) 氏の發明に係るもので、壓力を受くる支柱に對し鐵筋が應張力を受くる様に配置し以て其の強度

を増し且つ柱として信頼の度を高めしめた獨創的考案で有る。元來支柱に軸鐵筋を入れるれば鐵筋は主に壓力を取るのみで頗る不經濟なるを免れない、何となれば今混泥土上の許容應壓力を一平方吋に付き五百封度と假定せば、鐵筋上の應壓力は此の十五倍 ( $n = \frac{E_s}{E_c} = 15$  と假定す) 即ち一平方吋に付き僅かに七千五百封度に過ぎないから普通鋼鐵の許容應力度の半に満たぬ、然るに今鐵筋を横に箍狀に使用すれば、應張力を取り従て鐵を經濟的に使用する事が出来る、此の如く鐵を使用せば軸筋とするよりも 2.4 倍丈け有効であると云ふ事を、發明者が實驗上から主張した。獨逸の バッハ 博士も實驗的研究の結果から此の斷定を證明し又 1914 年米國混泥土學會に於て實驗した處によれば、結果の良好なものに在りては四倍迄有効で有つたと報告されて居る。(但し螺狀鐵筋が應張力を採り得るに至るは、混泥土が直壓力を受け爲めに側膨脹(Lateral expansion)を爲すに基因するものであるから、主にポイソン比 (Poisson's Ratio) の大小に因るもので有る。而して實驗上の現象によれば此の螺狀鐵筋は荷重の少ない間は餘り効力を發揮せぬもので有る。)

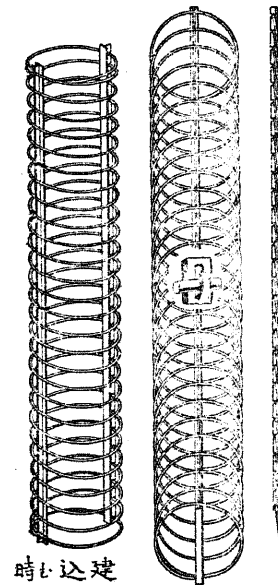
螺狀筋の太さは概ね一分五厘乃至四分の直徑を有する丸鋸である、今一例として米國 コルゲーテッド、バー 會社製作の螺狀筋を掲ぐれば次ぎの如し。

コルゲーテッド、バー會社製螺狀鐵筋表

ゲージ	線の太さ(吋)	線一呎の重量(封度)	實用近似吋分數
0.0000	0.4900	0.6404	$\frac{1}{2}$ 吋丸
0000	0.4305	0.4943	$\frac{7}{16}$ "
000	0.3625	0.3505	$\frac{3}{8}$ "
0	0.3065	0.2506	$\frac{5}{16}$ "
3	0.2437	0.0466	$\frac{1}{4}$ "

此の螺狀筋は製鐵所に於て製作の際特別の機械に掛け形狀圓形にして一定の間隔を有する様に作るもので、第三十七圖 (A) に示せるが如く二ヶ所に間隔を整へる棒が有る、運搬中の便を計る爲

第三十七圖 (A)



時の込建

時の送運

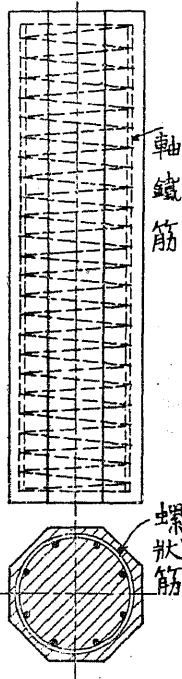
め同圖右端に示す如く疊み得るもので有る。

柱の斷面は圓形若くは八角形で、長さは其の直徑の十八倍乃至廿倍まで安全に使用する事が出来る、又螺狀鐵筋の間隔は三吋 (紐育市及び市戩古市建築條例) 若くは支柱心材 (Core にして螺狀筋圈内の部分) 直徑の四分の一を超過せしめてはならぬ、(米國混泥土學會並に鐵道院內規)

### 第三、螺狀筋と軸筋とを有する支柱

前項に於て述べたる螺狀鐵筋の外に更に軸鐵筋を配置せるものである、近來歐米の實地に於て行はるる方法は主に此の様式に限られて居る、單に鐵の經濟的利用法と曰ふ點より考ふれば、螺狀箍鐵筋は其の理想で有るが、然し實地建築物に應用するに當り軸鐵筋が無ければ、支柱は風壓、地震等より來る横力又は彎曲率に對し抵抗力甚だ微弱である、従て建築物として絶對の安全を期し難い、故に螺狀筋と軸鐵筋とを併用するに至つたのである、第三十七圖 (B)

第三十七圖 (B)

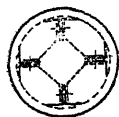


は本様式の支柱を示す。次ぎに起るべき問題は、此等兩種類の鐵筋を支柱に併用するとせば、此の兩者を如何なる割合に使用せば可なるやと曰ふ事である、現今の實地に於ては軸鐵筋を主とし、螺狀鐵筋を従とする傾向であるから、前者を支柱斷面積の「パーセント」内外に止め爾餘の超過荷重を螺狀筋に負擔せしむるを可とす、歐米各地に行はるる螺狀鐵筋量の制限を調査するに、ロンドン市及びニューヨーク市の條例は柱心材斷面積の百分の一以上、シカゴ市の條例は千分の五乃至千分の十五と規定して居る。

#### 第四、鐵骨混凝土柱

鐵筋混凝土の高層建築等で層數十階以上にも達すると曰ふ場合には、下層支柱上に來る荷重は非常に大なるもので、之を支持すべき柱を鐵筋混凝土にて造る時は頗る大きなものになり、室の有効幅員を減じ同時に又外觀を損ずるので、普通の鐵柱を補強するに混凝土を以てする事がある、之れを稱して一般に鐵骨混凝土柱 (Reinforced Steel Columns) と曰ふて居る。

第三十八圖



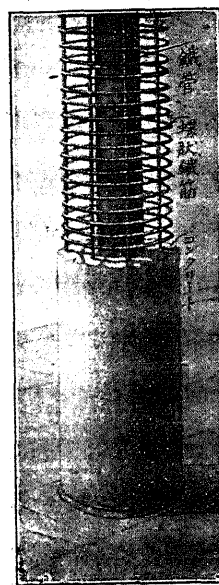
此の如くにして柱の太さを減じ、比較的大なる荷重を支持する事が出来る。其の構造種々で有るが其の一例は第三十八圖の如くアングル又はチャンネルに

て造れる鐵柱を内に入れて之れに金網を巻いて混凝土を施すものである。本柱は價格の高率を免れないが築造後場所を取らない事と施工の容易なる事との便がある。

此の方法を應用して建築したる實例は少くない、米國紐育市に於て十數年前に建築せられたる十一階鐵筋混凝土建築 マクグロー 出版會社 (Mc Graw Publishing Co) の支柱は此の方式に據つたものである、其他市俄古市等に於て建設せられたる鐵筋混凝土建築中、著者の實地視察したるものは概ね其の地下室及び一階等は此の様式の柱が多い(第四十圖參照)。

此の方法を應用して鐵橋等を補強する事が有る。米國ウエバシユ

第三十九圖



鐵道會社の鐵製架臺は機關車荷重の増大と共に改築の必要が有つた。そこで從來の架臺鐵柱の外周に螺狀筋を巻き付けて、柱の内外に混凝土を填充し、僅少の金額で改築の効果を擧げた實例もある。

#### 第五、エムベルゲル氏柱

第三十九圖に示せるが如く、鑄鐵管を心材とし其の外に螺狀筋を入れ混凝土を施したる支柱である、之は埃太利のエムベルゲル博士の發明で同氏が實驗的研究を重ね唱導せらるる處の様式である。本柱の特色とする處は第四の場合に於けるが如く、比較的細き斷面の

柱で大なる荷重を支持するに在る、即ち支柱が荷重を受けし際に鑄鐵管其物のみで高度の抗壓強度を有するのみならず、外周の螺狀鐵筋と内部の鑄鐵管とにより、混凝土の側膨脹 (Lateral-expansion) を制限し強大なる抗壓力を發揮せしむるに在る (本柱の記事及び試験成績に就ては1912年度の Beton und Eisen, Heft 3 及び 5 参照) 本様式は未だ實用上の様式を爲す程には世界に普及せられて居らぬ。

### 第四十五節 鐵筋混凝土支柱の實驗成績

鐵筋混凝土支柱が實驗上如何なる成績を示して居るか、學者技術者共に之れ第一に究めねばならぬ重要問題である、現今多くの技術者中此の實驗的知識に缺けて居るが爲めに、設計に際し最後の斷案を下すに苦しみ、又は殊更に安全に過ぎたるものを作ると曰ふ弊害に陥り易い。

今次ぎに支柱に関する實驗上の成績を掲げ斯業者の參考に供せん。

#### 第一、鐵筋を有せざる柱の實驗成績

(Tests of Plain Concrete Columns)

鐵筋混凝土柱の強度を研むるには先づ比較研究上、純混凝土柱 (Plain Concrete Columns) の強度と其の破壊状態とを知る事が肝要である、今日の實驗學者も亦鐵筋混凝土柱の試験に際しては、必ず純混凝土柱の實驗を併せ行ふと曰ふのが普通である。從來此の實驗は數多行はれた、就中ウォータータウン、アーセナル (Watertown Arsenal) の試験成績は尤も早くもあり又重要な結果を示して居る、次表は其の成績の概要で

ある。

#### 純混凝土柱の實驗成績表

Water town Arsenal, 1903 年—1905 年

(支柱の斷面は十吋角乃至一呎角、長さ八呎とす、混凝土の利齡五ヶ月乃至八ヶ月)

混凝土の種類	破壊強度(一平方時に付き封度)	
	供試柱各個の成績	平均破壊強度
1:1 モルタル	5011, 4320	4665
1:2 同 上	3652, 2488	3070
1:3 同 上	2692, 2062	2377
1:4 同 上	1564, 1471, 1350	1362
1:5 同 上	1038, 1083	1050
1:1:2 小砂利混凝土	1525, 1720	1622
1:1:2 Traprock 同	3900,	3900
1:2:4 小砂利混凝土	1506, 1710	1608
1:2:4 Traprock 同	1750, 1990, 1413	1718
1:2:4 Cinder 同	871,	871
1:3:6 小砂利混凝土	462, 700, 1260	807
1:3:6 Traprock 同	1350, 750, 1446	1182
1:3:6 Cinder 同	1060, 698	879

此等の實驗成績より見るに、1:2:4.混凝土の平均極強は一平方時につき 1600 封度乃至 1700 封度とするを得べく、各供試材に於て著しき強度の差異を認め難い、然れども 1:3:6 混凝土に於ては強度の差甚しく之れにより信頼すべき建造物 (柱として) を豫期すべからざるを知る、以上の成績中、強モルタル柱の著しき抗壓強度を發揮せるを注意せねばならぬ、此の一事より推考せば鐵筋混凝土柱の利便を知る事が出来よう。

次表の成績は 1907 年 タルボット 教授の實驗上より得たる結果である。

純混凝土の實驗成績表(タルボット)

イリノイ州立大學 (1907 年)

(柱は凡て一呎角、長さ拾呎なり)

混凝土の種類	供試柱の材齡	破壊強度(一平方時に付き封度)				平均強度
		供試柱各個の成績				
1:1 $\frac{1}{2}$ :3	約二ヶ月	2120	2480	—	—	2300
1:2:4	約二ヶ月	{ 1165 1945	{ 2000 1460	{ 2210 1810	{ — 1590	{ 1740
1:3:6	同上	955	1110	—	—	1030
1:4:8	同上	575	575	—	—	575
1:2:4	約六ヶ月	{ 1925 2160	{ 1845 1770	{ 1770	{ 2680	{ 2025
1:2:3 $\frac{3}{4}$	十二ヶ月 十六ヶ月	(十二ヶ月) 2650	(十六ヶ月) 2770	—	—	2710

純混凝土柱の試験に於て一般に認めらるる事實は、セメント分量の多さに従ひ應剪力により破壊を招き、調合 1:2:4 以下の柱は概ね壓挫により破壊す。前表を検するに 1:1 $\frac{1}{2}$ :3 調合の柱は 1:2:4 混凝土柱よりも強き事約 32% である、而して普通市場に於て製作するには前者が後者よりも高き事 10% 乃至 15% であるから、柱としてはセメント分量を増加する方一般に經濟的である。

前二表の成績は概ねよく一致して居るが故に一般的標準と見てよい、前表試験と同時に製作せる一呎角 1:2:4 混凝土塊を二ヶ月間外氣中に貯へ置き試験したる抗壓強は、一平方時に付き 1950

封度、二百日目に於て 2350 封度なりしと曰ふ、以て長柱としての抗壓強度減却の率を知る事が出来る。

第二、軸鐵筋のみを有する柱の實驗成績

(其壹) 米國マサチウセツ工科大学試験成績

第十八表(A)は 1903 年米國マサチウセツ工科大学 (Massachusetts Institute of Technology, Trans. Am. Soc. C.E. Vol. L, 1903, p487 参照) に於て實驗せる成績である。支柱は何れも 1:3:6 碎石混凝土にて造り、鐵筋は普通角鋼棒若くはトキステッド、バーを使用し、前者の彈界強は 56,000—63,000#/方、後者の彈界強は約 80,000#/方で有つた、一本の鐵筋を使用せるものは柱の中央に配置し、四本を使用せるものは柱寸法の半に相當する正四角形的位置に配置し、支柱製作後約一ヶ月目に實驗せり。

第十八表 (A)

軸鐵筋を有する柱の實驗成績(マサチウセツ工科大学)

(柱八吋角、並拾吋角、混凝土調合比 1:3:6、柱齡一ヶ月にて試験)

柱長比 柱輻	軸鐵筋數と太さ (凡て角棒)	鐵筋量 百分率	最大荷重 (#/方)	柱長比 柱輻	軸鐵筋數と太さ (凡て角棒)	鐵筋量 百分率	最大荷重 (#/方)
25.5	1=1吋角棒	1.56	1,670	25.5	4= $\frac{3}{4}$ 吋角棒	3.51	2840
25.5	1=1吋捻棒	1.56	1,985	25.5	同上捻棒	3.51	2610
18.0	1=1吋角棒	1.56	1,560	18.0	同上角棒	3.51	2300
18.0	1=1吋捻棒	1.56	1,970	18.0	同上捻棒	3.51	2390
平均.....1,796				平均.....2536			
9.0	1=1吋角棒	1.56	2,163	7.2*	1=1吋捻棒	1.00	2000
9.0	1=1吋角棒	1.56	2,080	7.2*	同上捻棒	1.00	2284
平均.....2,120				平均.....2142			
25.5	1= $\frac{1}{4}$ 吋角棒	2.44	2,123	14.4*	1= $\frac{1}{4}$ 吋角棒	1.56	2570
25.5	1= $\frac{1}{4}$ 吋捻棒	2.44	2,410	14.4*	同上捻棒	1.56	2620
平均.....2267				平均.....2595			

9.0	4=1吋角棒	6.25	2470	14.4*	4= $\frac{3}{4}$ 吋角棒	2.25	2,740
9.0	4=1吋捻棒	6.25	3810	14.4*	同上捻棒	2.25	3,009
平均.....3140				平均.....2870			

\* 印は拾吋角支柱其他は八吋角支柱を示す、

以上の成績を見るに普通角鋼と Twisted bar とを使用せる支柱の強度に甚しき差違を認め得ないが、柱の幅と長さとの比により相違有る事は明かに示されて居る。

以上の成績を更に鐵筋百分率により集め、之れを理論上の式値  $\frac{P'}{P} = 1 + (n-1)p$  と比較せば次表の如し。

支柱の寸法	鐵筋量百分率	平均抗壓強 (#/□")	理論計算値 (#/□") $J_c = 1500(1+19p)$
8' x 8' 平均長=12.4'	柱長=21.75 柱巾	1.56	1,796
	" = 9.0	1.56	2,120
	" = 25.5	2.44	2,267
	" = 21.75	3.51	2,536
	" = 9.0	6.25	3,140
			1904
			1,944
			2,195
			2,500
			3,280
10' x 10' 平均長=11.0'	柱長=7.2 柱巾	1.00	2,142
	" = 14.4	1.6	2,595
	" = 14.4	2.25	2,870
			$J = 20 \cdot 10(1+19p)$ 2,330
			2,592
			2,875

以上の理論式値に於ては  $n = 20$  と假定せしものであるから  $E_c = 1,500,000$  #/□" となる、之れ 1:3:6 混凝土には尤も信頼し得べき値である、而して前表に示したるが如く實驗値と理論値とは、よく接近し居るが故に、以上試験柱は理論上の法則に従ふものと斷定する事が出来る、而して本柱では其の式値は次の如し。

$$f_c = 1500(1+19p)$$

$$f_c = 2000(1+19p)$$

茲に 1500 及び 2000 は其の柱長に對する普通混凝土の抗壓極強である。

(第貳) 米國 Watertown Arsenal の試験成績

第十八表(B)に掲げたる成績は、軸鐵筋のみを有する柱を作り米國 Watertown Arsenal にて實驗を施したる試験成績である、柱の断面は約一呎角、柱の長さは何れも八呎で、柱齡三ヶ月半乃至八ヶ月に達したる時試験に供したものである、此等の支柱に於ては普通丸鋼の外に各種の變形鋼を軸鐵筋として使用せるが爲めに特に例示したるに過ぎぬ。本表より見るにモルタル柱試験に於て或る程度迄はセメント加入量の少なきも程、鐵筋の效力を増して居る、而して或るもの如きは  $n=40$  乃至 50 に達したるものもある。

第十八表 (B)

軸鐵筋のみを有する柱の實驗成績

(Watertown Arsenal, 1904—1905 年)

混凝土の種類	軸鐵筋		抗壓極強 #/□"	無筋混凝土柱の抗壓強 #/□"	鐵筋柱と無筋柱との強さの比	鐵筋1%毎に増加する強度の割合
	數、太さ及び種類	%				
1:2モルタル	8= $\frac{3}{4}$ 丸鋼	2.85	4200	3070	1.37	0.13
1:3 同	上 上	2.87	3841	2877	1.61	0.21
1:4 同	同 上	2.86	3377	1518	2.22	0.43
1:5 同	同 上	2.86	2813	1060	2.65	0.58
1:5 同	13= $\frac{3}{4}$ " 丸鋼	4.63	3905	1060	3.68	0.58
1:1:2(砂利)	4= $\frac{3}{4}$ Twisted	1.46	2890	1720	1.68	0.47
1:2:4(同上)	4= $\frac{3}{4}$ Twisted	1.43	1990	1710	1.16	0.11
1:2:4(同上)	4= $\frac{3}{4}$ Thacher	1.03	1990		1.16	0.16
" (同上)	4= $\frac{5}{8}$ Corrugated	0.97	2180		1.28	0.29

" (同上)	4 = $\frac{3''}{4}$ Twisted	1.45	1820	462	1.06	0.04	
" (同上)	8 = $\frac{3''}{4}$ Twisted	2.86	3160		1.85	0.30	
" (同上)	8 = $\frac{3''}{4}$ Thacher	2.09	3760		1.61	0.29	
" (同上)	8 = $\frac{5''}{8}$ Corrugated	1.94	2830		1.66	0.34	
1:3:6 (同上)	4 = $\frac{3''}{4}$ Twisted	1.44	1370		2.96	1.36	
" (Traprock)	8 = $\frac{5''}{8}$ Corrugated	1.94	2290		1350	1.82	0.42
" (同上)	8 = $\frac{5''}{8}$ 同	1.93	2650				
1:2:4 (Cinder)	4 = $\frac{3''}{4}$ Twisted	1.45	2095		871	2.40	0.96
1:3:6 (同上)	4 = $\frac{3''}{4}$ 丸鋼	1.42	1932		1060	1.82	0.58
1:3:6 (同上)	8 = $\frac{3''}{4}$ 同上	2.83	3100				

(其參) 獨逸國スツットガルト工科大学試験成績

次に獨逸スツットガルト工科大学教授バハ博士が 1905 年其の實驗所に於て試験せる成績 (C.v. Bach "Druckversuche mit Eisenbetonkörpern.") を紹介せん、試験に供せる柱は約十吋角 (25 センチメートル角) 長さ約三十九吋餘 (1メートル) のもので、混凝土はセメントに對しライン川砂及び砂利四の割合 (1:4) とし十五 % の水を混合して製作せるもので有る。試験柱は六種類で其の中一種は無筋混凝土柱、其他は各四本の軸鐵筋と直徑約二分の繫節筋とを使用し柱齡三ヶ月に至り實驗に供した。

試験柱の一部につき彈性試験をも施し、壓力に對し柱の短縮率を測定し、其の應壓力一平方吋に就き約 1,607 封度に及んで居る。繫節筋の数が多きに從て壓力に對する應力變形の少なき結果より見て、繫節筋が密になれば 支柱の側膨脹を少なからしめ從て支柱の強度を増加する事が解る。第十八表 (D) を參照せば一層明瞭である。

第十八表 (C)

軸鐵筋のみを有する柱の實驗成績

柱約十吋角長さ一メートル、柱齡三ヶ月  
(Technischen Hochschule Stuttgart, Germany)

軸鐵筋		繫節筋の 間隔	抗壓極強 (#/吋 <sup>2</sup> )			
數と太さ	%		各個	各個	各個	平均
無し	無し	無筋	2,070	1,960	1,980	2,000
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	約 10"	2,430	2,290	2,440	2,390
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	同 5"	2,390	2,660	2,490	2,510
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	同 2 $\frac{1''}{2}$	3,010	2840	2,890	2,910
4 = $\frac{3''}{4}$ φ	2.04	同 10"	2,400	2,400	2,440	2,410
4 = 1 $\frac{3''}{16}$ φ	4.60	同 10"	2,480	2,330	2,800	2,700

第十八表 (D)

軸鐵筋のみを有する柱の彈性試験成績

(第十八表 (C) の支柱に就て)

(Technischen Hochschule Stuttgart)

軸鐵筋		繫節筋の 間隔	支柱上の 壓力 (#/吋 <sup>2</sup> )	柱の應力變形(百萬分の一單位)		
數と太さ	%			總短縮	短縮差	恒久變形
無し	無し	無し	459	133	7	126
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	10	459	114	5	109
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	5	459	110	2	108
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	2 $\frac{1''}{2}$	459	106	4	102
無し	無し	無し	919	333	37	296
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	10	919	267	20	247
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	5	919	264	18	246
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	2 $\frac{1''}{2}$	919	241	13	228
無し	無し	無し	1380	709	164	545
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	10	1380	488	63	425
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	5	1380	473	58	415
4 = $\frac{5''}{8}$ φ	1.14	2 $\frac{1''}{2}$	1380	421	42	379

前述の外支柱に關する實驗は各地に行はれて居つた、然し以上は尤も信頼し得べき設備を有する試驗所に於て、各大家の施したる實驗成績で有るから此等により軸鐵筋を有する鐵筋混凝土柱の實用上の效力を研むる事が出來よう。

第三、螺狀鐵筋混凝土柱の實驗成績

(其一) 米國イリノイス大學の試驗成績

螺狀鐵筋を施したる柱は、抵抗力甚だ強大なる事は前にも述べた處である、混凝土の彈界強度に達する迄は鐵筋上の應張力甚だ低きも、此の限界を過ぐる頃より、螺狀鐵筋は著しく效力を發揮し初め、混凝土の各分子を結合せしめ、其の測膨脹を制限し、支柱をして破壊を見る事なくして強大なる抵抗力を發揮せしむるものである、本柱の研究には二つの主要問題がある、第一は支柱の長さとの關係、第二は螺狀鐵筋の間隔との關係である。

(第一) 螺狀鐵筋混凝土柱は其の長さの變化に従ひ如何に其の強度を變化すべきもので有るか、技術者としては此の實驗上の成績を承知する事が必要である、先年イリノイ大學に於てタルボット教授の實驗せる成績は第十九表に掲げたるが如し。

第十表

螺狀鐵筋混凝土柱の長さとの關係

混凝土調合比 1:2:4 直徑一呎

材齡二ヶ月にて實驗(イリノイ州立大學にて)

支柱長 (呎)	螺 狀 筋			支柱斷面上の 平均最大荷重 (平方吋に付封度)	螺狀筋1%増 加に對する強度の 増加 (平方吋に付封度)
	%	直徑(吋)	間隔(吋)		
5.2	1.65	1/4	1.0	4640	2070
5.2				4830	2120
5.7				4790	2080
平均.....				4750	2090
10.2	1.65	1/4	1.0	3880	1140
10.2				3840	1120
10.2				3850	830
平均.....				3860	1031
15.2	1.65	1/4	1.0	2790	403
15.2				2980	570
15.2				3700	1020
平均.....				3140	684
19.7	1.65	1/4	1.0	2480	625
19.8				2540	872
19.6				2330	—
平均.....				2417	—

此の結果を見るに、同種同量の螺狀筋を使用するも、支柱の長さに従ひ増加程度に著しき差違ある事を知る、即ち直徑の約五倍迄1%の鐵筋量を増す毎に一平方吋(混凝土斷面積)に就き約二千封度の増加強で有るが、長さが直徑の十倍に至れば増加強も約半減せられ約千封度に過ぎない、更に長さ十五倍に至れば増加強約六百六十封度となる。此の如く長さに殆んど正比例して増加強を遞減するものになると斷定する事が出する。

(第貳) 螺狀鐵筋混凝土柱は同量の螺狀鐵筋を使用しても支柱強度は其の間隔の粗密に依りて相異なるもので有ると曰ふ事を紹介せん。イリノイ大學に於てタルボット教授の實驗せる成績次表の如し。

第二十表

螺狀鐵筋混凝土柱にて螺狀筋の間隔との關係

混凝土調合比 1:2:4 支柱直徑一呎 長十呎

材齡二ヶ月にて實驗(イリノイ州立大學にて)

螺 狀 筋	支柱斷面上の最大荷重 (平方吋に付封度)	螺狀筋1%増加に對 する強度の増加 (平方吋に付封度)					
			%	直徑(吋)	間隔(吋)		
1.65	3880	1140	1.65	1/4	1.0		
						3840	1120
						3850	834
						3860	1031
平均.....							
1.84	4130	1021	1.84	3/8	2.0		
						2930	854
						3440	815
						3500	897
平均.....							
1.58	2500	740	1.60	7/16	3.0		
						2720	656
						1950	656
						2390	684
平均.....							
1.48	2555	375	1.52	1/2	4.0		
						2580	677
						1890	990
						2295	664
平均.....							

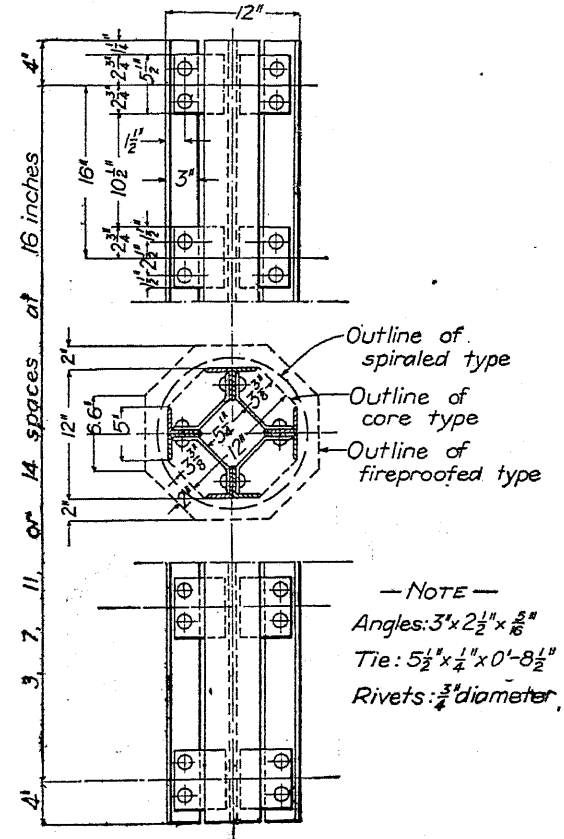


以上の成績を検するに、螺狀筋の量を略ぼ同一にし、只第一種には直徑二分の丸鐵を一時の間隔に入れ、第二種には三分丸鐵を二時の間隔に、第三種には三分五厘丸鐵を三時の間隔に、第四種には四分丸鐵を四時の間隔に使用せるもので有るが、試験の結果第一種は螺狀筋1%に對し支柱の増加強度 1081#/〇", 第二種は同 891#/〇", 第三種は同 684#/〇", 第四種は同 664#/〇", 等で有る。本題は重要且つ興味ある問題であるが、世界學者間の研究は未だ理論的説明を付するまでに進んで居らぬ、尤もサリゲル (Saliger) 氏の公式はやや理論的説明を加味して居るが完全ではない。

第四、鐵骨混凝土柱の實驗成績

鐵骨混凝土柱に關する實驗は從來餘り多く行はれて居らぬ。第二十一表に掲ぐるものは 1911 年中米國イリノイ大學に於てタルボット教授及ロード (A. R. Lord) 氏の實驗せる處である、(Univ. of Illinois Eng. Exp. Station Bulletin 56, 1912, Tests of Columns: An Investigation of the Value of Concrete as reinforcement for Structural Steel Columns 參照)。鐵骨斷面積は柱斷面積の 10.8% を占め普通建築工事に應用せらるゝ處と大差がない、鐵骨上の最大荷重は  $\frac{P}{A} = 36500 - 155 \frac{l}{r}$  にて表す事を得、混凝土は更に之れを補強する働を爲せり。

第四十圖





(2)  $P=190,000$ #,  $f_c=500$ #/sq",  $n=15$ , 支柱を十八吋角とせば幾何の軸鐵筋を要すべきや。

(解) (89b)式により  $p = \frac{190000 - 500 \times 18 \times 18}{500 \times 18 \times 18 \times (15 - 1)} = 0.0123$

故に所要鐵筋斷面積は  $.0123 \times 18 \times 18 = 3.9852$  平方吋、即ち一吋角棒四本を使用すれば可なり。

第二十二表は(89)式により著者の計算したる支柱上の安全荷重であつて實用上の便に供したものである。上例に掲げたる計算例と第二十二表(165頁)とを對照せよ。

(II) 偏倚荷重を支持する短柱公式

支柱が偏倚荷重 (Eccentric Load) を受くる時は直壓力の外に彎曲應力を生ずるを以て以上の公式を使用すると能はず、今荷重を  $P$  とし柱軸線より  $e$  丈け偏倚して働くものとせば、之れにより生ずる彎曲率は  $Pe$  である、然る時は力學上より彎曲應力を定むること次ぎの如し。

$$f_i = \pm \frac{Pey}{Ar^2} = \pm \frac{Pe}{s}$$

茲に  $A$ =支柱の斷面積、 $r$ =環動半徑、 $y$ =斷面の重心より極縁維までの距離、 $s$ =抵抗率 (Section modulus)。又荷重  $P$  より生ずる直壓力は  $f = \frac{P}{A}$  なるにより支柱 (混凝土) に起る最大 (又は最小) 應力は次ぎの如し。

$$f_c = P \left( \frac{1}{A} \pm \frac{e}{s} \right) \dots \dots \dots (89c)$$

茲に  $A = A_c + (n-1)A_s$ ,  $s$  = 抵抗率

今  $d$  = 柱の直徑,  $d_1$  = 柱心材 (軸鐵筋心) の直徑、

とせば、各種の斷面に對する  $s$  の値は次ぎの如し。

(a) 圓形支柱にして軸鐵筋が中軸線より對照的にして等距離にある場合には

$$s = \frac{1}{8} A_c d + \frac{1}{2} (n-1) A_s \frac{d_1^2}{d} \dots \dots \dots (a)$$

(b) 圓形支柱にして軸鐵筋が單に圓形に配置せらるゝ場合には

$$s = \frac{1}{8} A_c d + \frac{1}{4} (n-1) A_s \frac{d_1^2}{d} \dots \dots \dots (b)$$

(c) 矩形斷面を有する支柱にして軸鐵筋が中軸線より對照的に等距離に配置せらるゝ場合には

$$s = \frac{1}{6} A_c d + \frac{1}{2} (n-1) A_s \frac{d_1^2}{d} \dots \dots \dots (c)$$

支柱の形狀及軸鐵筋の配置如何により  $s$  の値を定め (89c) 式により應力度を算定することを得べし、但し荷重の偏倚度は柱に應張力を生ぜざる場合に限り上式を適用することを得、斷面上に應張力を生ずる場合には第三十四節に掲げたる諸公式を使用すべし。

**計算例**、二十吋角支柱の中軸線より四吋偏倚して荷重を加ふる場合に  $f_c \leq 500$ #/sq" とせば其の安全荷重幾何、但し軸鐵筋は  $1\frac{1}{2}$  吋丸棒四本にして外縁より二吋の距離に配置す。

(解)  $A_c = 400$ sq",  $A_s = 4 \times 1.76 = 7.04$ sq", 従て  $A = 400 + 14 \times 7.04 = 498$ sq",

(c) 式より  $s = \frac{1}{6} (400 \times 20) + \frac{1}{2} (14 \times 7.04) \frac{16^2}{20} = 1960$ ,

(89c) 式により  $P = \frac{500}{\frac{1}{498} + \frac{4}{1960}} = 123,492$  磅度、

第二十二表

四角形鐵筋混凝土柱上の安全荷重 (封度)

$$P = f_c A \{1 + (n-1)p\} \quad n = \frac{E_s}{E_c} = 15 \text{ と假定せり}$$

柱の断面 (吋)	軸鐵筋		混凝土上の可許應壓力(平方吋に付き封度)					
	數	大さ(吋)	300	350	400	450	500	600
10×10	4	1/2 □	34200	39900	45600	51300	57000	68400
10×10	4	5/8 □	36600	42700	48700	54800	61000	73200
11×11	4	5/8 φ	41400	48450	55300	62200	69100	82900
11×11	4	3/4 φ	43700	51000	58300	65600	72900	87400
12×12	4	1/2 □	47400	55300	63200	71100	79000	94800
12×12	4	3/4 □	52600	61400	70100	78900	87700	105200
13×13	4	3/4 φ	53200	67800	77600	87300	97000	116400
13×13	4	7/8 φ	60800	71000	81100	91200	101300	121500
14×14	4	3/4 □	68200	79000	90900	102300	113700	136400
14×14	4	7/8 φ	68900	80400	91900	103400	114900	137800
15×15	4	7/8 φ	77700	90600	103400	116300	129300	155200
15×15	4	1 φ	80700	94200	107600	121100	134500	161300
16×16	4	3/4 □	86200	100500	114900	129300	143500	172400
16×16	4	1 φ	90000	105000	120000	135000	150000	180000
17×17	4	1 φ	99900	116500	133200	149800	166400	199600
17×17	4	7/8 φ	104100	121400	138800	156200	173500	208200
18×18	4	3/4 φ	107300	125200	143100	161000	178700	214400
18×18	4	7/8 □	107300	125200	143100	161000	178700	214400
18×18	4	1 □	114000	133000	152000	171000	190000	228000
20×20	4	1 □	136800	159600	182400	205200	228000	273600
20×20	4	7/8 φ	143200	167200	191000	214900	238800	286600
20×20	4	1 φ	143200	167200	191000	214900	238800	286600
22×22	4	1 □	162000	189000	216000	243000	270000	324000
22×22	4	7/8 φ	168300	196400	224700	252800	280900	336800
22×22	4	1 φ	168300	196400	224700	252800	280900	336800
24×24	8	1 φ	199200	232200	265500	298700	332000	398400
24×24	8	1 1/8 φ	202600	236200	270000	303800	338700	405100

(III) 螺狀筋混凝土柱の計算式(柱の長さは

其の直徑の二十倍を限度とす)

此は前にも述べた通り佛コンシデア氏の發明したもので有るが、氏の實驗式やタルボット教授の實驗式やサリゲル (Saliger) 氏理論式等有るが何れも完全と曰ふ譯に行かぬ、何となれば此等の諸式では螺狀筋の間隔に依て柱の強度が變化すると曰ふ條件が入つて居らぬ、現今各國の學者が研究中であるから茲にはコンシデア氏の公式を掲げて置く、氏は多くの實驗的研究から螺狀筋は軸筋よりも2.4倍丈け強いと云ふことを確認して次きの計算式を發表した。

$$\text{柱上の安全荷重} = P = f_c A + 2.4 f_s p_n A \dots (90)$$

何れも標準符合を用ひたのである。

以上の式を少しく變化して( $f_s = n f_c$  なるにより)

$$P = f_c A [1 + 2.4 n p_n] \dots (91)$$

本式の値は良く實驗上の結果と一致するから設計上に應用して

よい。

(IV) 螺狀筋と軸筋とを有する支柱の計算式

實地の設計には螺狀鐵筋の外に更に軸鐵筋を加へて使用する場  
合が多い、其の場合の算式は

$$\text{柱上の安全荷重} = P = f_c A \{1 + (n-1)p\} + 2.4 f_s p_n A$$

即ち  $P = f_c A \{1 + (n-1)p + 2.4 n p_n\} \dots (92)$

又鐵筋斷面積に相當する混凝土面積を控除せざる公式を使用する國も少くない、然る時は

$$P = f_c A (1 + n p + 2.4 n p_n) \dots (92')$$

著者は設計上の便を計る爲めに第(92')式を用ひ第二十三表を算出した。直ちに本表を使用する方便利である。

第 二 十 三 表

螺 狀 鐵 筋 と 軸 鐵 筋 と を 有 す る 柱 の 安 全 荷 重 ( 單 位 千 封 度 )

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 15, \text{ 柱 の 斷 面 圓 形}$$

柱直徑 (吋)	$p_s$ 螺狀筋 %	$f_c = 400 \text{ \#/吋}^2$				$f_c = 500 \text{ \#/吋}^2$			
		軸鐵筋 $p = 1.0\%$	1.25%	1.5%	1.75%	$p = 1.0\%$	1.25%	1.5%	1.75%
15	0.50	94	92	99	102	117	121	124	127
	0.75	100	103	106	108	125	129	132	135
	1.00	107	109	112	115	134	136	140	144
	1.25	113	116	118	121	141	145	147	151
	1.50	119	122	125	127	149	152	156	159
16	0.50	107	110	113	116	134	137	141	145
	0.75	114	117	120	123	142	146	150	154
	1.00	121	124	127	130	151	155	159	162
	1.25	129	132	135	138	161	165	169	172
	1.50	136	139	142	145	170	174	177	181
17	0.50	121	124	128	131	151	155	160	164
	0.75	129	132	136	139	161	165	170	174
	1.00	137	141	144	147	171	176	180	184
	1.25	145	149	152	155	181	186	190	194
	1.50	153	157	160	164	191	196	200	205
18	0.50	135	139	143	147	169	174	179	184
	0.75	145	148	152	156	181	185	190	195
	1.00	154	158	161	165	192	197	201	206
	1.25	163	167	170	174	207	209	212	217
	1.50	172	176	180	183	215	220	225	228
19	0.50	151	155	159	164	189	194	199	205
	0.75	161	165	170	174	201	206	212	217
	1.00	171	176	180	184	214	220	225	229
	1.25	181	186	190	194	226	232	237	242
	1.50	192	196	200	204	240	245	250	255
20	0.50	167	172	177	181	205	215	221	226
	0.75	178	183	188	193	222	228	235	241
	1.00	190	194	199	204	237	242	248	255
	1.25	201	206	210	215	251	257	262	269
	1.50	212	217	222	227	265	271	277	284
21	0.50	184	189	195	200	230	236	244	250
	0.75	197	202	207	212	256	252	259	265
	1.00	209	214	220	225	261	267	275	281
	1.25	222	227	232	237	277	284	290	296
	1.50	234	239	245	250	292	298	306	312
22	0.50	207	208	214	219	259	260	267	274
	0.75	216	222	227	233	270	277	284	291
	1.00	229	235	241	247	286	294	301	308
	1.25	243	249	255	260	304	311	319	325
	1.50	257	263	268	274	321	321	335	342

第 二 十 三 表

螺 狀 鐵 筋 と 軸 鐵 筋 と を 有 す る 柱 の 安 全 荷 重 ( 單 位 千 封 度 )

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 15, \text{ 柱 の 斷 面 圓 形}$$

柱直徑 (吋)	$p_s$ 螺狀筋 %	$f_c = 400 \text{ \#/吋}^2$				$f_c = 500 \text{ \#/吋}^2$			
		軸鐵筋 $p = 1.0\%$	1.25%	1.50%	1.75%	1.0%	1.25%	1.50%	1.75%
23	0.50	221	227	233	240	276	284	291	300
	0.75	236	242	248	255	295	302	310	318
	1.00	251	257	263	270	314	321	328	337
	1.25	266	272	278	285	332	340	347	356
	1.50	281	287	293	300	351	358	366	375
24	0.50	241	247	254	261	301	308	317	326
	0.75	257	264	271	277	321	330	338	346
	1.00	273	280	287	294	341	350	358	367
	1.25	290	296	303	310	362	370	378	387
	1.50	308	313	319	326	382	391	398	407
25	0.50	261	269	276	283	326	336	345	354
	0.75	279	286	294	301	348	357	367	376
	1.00	296	304	311	319	370	380	388	393
	1.25	314	322	329	336	392	402	411	420
	1.50	332	339	347	354	415	424	434	442
26	0.50	282	290	298	306	352	362	372	382
	0.75	302	310	317	325	377	387	396	406
	1.00	321	329	337	345	401	411	421	431
	1.25	340	348	356	364	425	435	445	455
	1.50	359	367	375	383	448	458	468	478
27	0.50	305	313	322	330	381	391	402	412
	0.75	325	334	342	351	406	417	427	438
	1.00	346	354	363	372	432	442	454	465
	1.25	366	375	384	392	457	468	480	490
	1.50	387	396	404	413	484	495	505	516
28	0.50	328	337	346	355	410	421	432	443
	0.75	350	359	368	377	437	449	460	471
	1.00	372	381	390	400	465	476	487	500
	1.25	394	403	413	422	492	504	516	527
	1.50	416	425	435	444	520	531	543	555
29	0.50	351	361	371	381	438	451	463	476
	0.75	375	385	395	405	468	481	494	506
	1.00	399	409	419	429	498	511	524	536
	1.25	423	433	443	452	529	541	554	565
	1.50	447	456	466	476	558	570	582	595
30	0.50	376	387	397	408	470	483	496	510
	0.75	401	412	423	433	501	515	528	541
	1.00	427	438	448	459	533	547	560	574
	1.25	452	463	474	484	565	578	592	605
	1.50	478	488	499	510	598	597	624	637

(V) 軸荷重を支持する長柱公式

鐵筋混凝土柱に在りては其の長柱と短柱との區別に關し、世界各國未だ定則とするものあらざれども、實驗上の成績其他各國の規定を參照し、軸鐵筋と繫節筋とのみを有する柱に於ては短徑の十八倍、軸鐵筋と螺狀鐵筋とを有する柱にては直徑の二十倍を超過する時に、之れ等を長柱と稱するを適當とす。

長柱の計算に際し以上述べたる短柱公式を使用する事が出来ないから、許容應壓力を低減するか或は次ぎに述ぶる長柱公式により計算するを至當とす。今柱の各部一様の彈率を有し、又完全に一直線を爲し且つ荷重が完全に柱の軸線上に働くものとせば、オイラー (Euler) 氏により次式を以て表はすことが出来る、即ち柱の兩端單に支持せらるゝものとせば、

$$P = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \dots\dots\dots (a)$$

茲に、 $P$  = 理想的柱上の荷重、 $E$  = 材料の彈率

$I$  = 断面慣性率、 $l$  = 支柱長

然るに頗る短少なる理想柱は遂に極限に至れば毫も彎曲する事なく其の材料の壓碎により破壊す、故に  $f$  = 材料の極強とせば、

$$P = fA \dots\dots\dots (b)$$

此の如く支柱上の破壊荷重は其の長さに應じ (b) 及び (a) 式に示せる兩極端の値を採るものであるから、此等兩値を加味して長柱上の破壊荷重を次ぎの如く表はす事が出来る。

$$P = \frac{fA}{1 + fA \frac{l^2}{\pi^2 EI}}$$

本公式に於て  $l$  が無限大の値をとるならば  $P = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$  となり、又  $l$  が無限小ならば  $P = fA$  となる事説明を要せずして明瞭である。

次ぎに  $r$  = 柱断面の環働半徑とせば  $r^2 = \frac{I}{A}$  であるから上式より支柱上の單位破壊荷重 ( $w$ ) を定むる事次の如し。

$$w = \frac{P}{A} = \frac{f}{1 + \frac{f}{\pi^2 E} \left(\frac{l}{r}\right)^2} \dots\dots\dots (A)$$

本公式を鐵筋混凝土柱に應用せんとするには (a) 及び (b) 式は次ぎの値を使用せねばならぬ。

$$P = \frac{\pi^2 E_c [I_c + I_s(n-1)]}{l^2} \dots\dots\dots (a')$$

$$P = f[A_c + A_s(n-1)] \dots\dots\dots (b')$$

從て (A) 式は次の如し。

$$w = \frac{P}{A} = \frac{f[1 + (n-1)p]}{1 + f[A_c + (n-1)A_s] \frac{l^2}{\pi^2 E_c [I_c + (n-1)I_s]}} \dots (A')$$

今  $r_c$  = 鐵筋混凝土断面の環働半徑とせば、

$$r_c^2 = \frac{I_c + (n-1)I_s}{A_c + (n-1)A_s}$$

なるにより (A') 式は次ぎの如く表はす事が出来る。

$$w = \frac{\text{長柱上の單位破壞荷重}}{\text{}} = \frac{f[1+(n-1)p]}{1 + \frac{f}{\pi^2 E_c} \left( \frac{l^2}{r_c^2} \right)} \dots\dots\dots (B)$$

今  $f$  に代ふるに  $f_c$  (混凝土上の許容應壓力) を以てせば鐵筋混凝土長柱上の可許單位荷重を定むる公式を得べし。

$$w = \frac{\text{軸鐵筋のみを有する鐵筋混凝土長柱上の可許單位應壓力}}{\text{}} = \frac{f_c[1+(n-1)p]}{1 + \frac{f_c}{\pi^2 E_c} \left( \frac{l^2}{r_c^2} \right)} \dots (C)$$

$$w = \frac{\text{軸鐵筋と螺狀鐵筋とを有する鐵筋混凝土長柱上の可許單位應壓力}}{\text{}} = \frac{f_c[1+(n-1)p + 2.4n\gamma_n]}{1 + \frac{f_c}{\pi^2 E_c} \left( \frac{l^2}{r_c^2} \right)} \dots (D)$$

上式は何れも柱の兩端が單に圓端を爲せる場合であるが、其他の場合には上式の分母を次ぎの如く變更せねばならぬ。

(1) 柱の兩端共固定 (fixed) せる時、  $1 + \frac{f_c}{4\pi^2 E_c} \left( \frac{l^2}{r_c^2} \right)$

(2) 柱の一端は固定せられ他端は圓端の時、  $1 + \frac{f_c}{2\pi^2 E_c} \left( \frac{l^2}{r_c^2} \right)$

**〔計算例〕** 斷面貳十吋角、長さ三十五呎を有する鐵筋混凝土長柱(兩端固定)の安全軸荷重

$P$  を算定せよ、但し軸鐵筋は合計八平方吋にして柱の外圍より二吋の距離に配置し、

$f_c = 550 \#/\square''$ ,  $n = 15$ ,  $E_c = 2,000,000 \#/\square''$  とす。

〔解〕  $r = \frac{8}{20 \times 20} = .02$ ,  $r_c^2 = \frac{I}{A} = \frac{\frac{20^4}{12} + 14 \times 8 \times 8^2}{400 + 14 \times 8} = 40$ .

$$w = \frac{550 \times [1 + 14 \times .02]}{1 + \frac{550}{4\pi^2 E_c} \times \left( \frac{420^2}{40} \right)} = \frac{704}{1 + 0.123} = 625 \#/\square''$$

故に  $P = \text{安全軸荷重} = 625 \times 20^2 = 250,000$  封度