

講演

鐵筋コンクリート螺旋筋柱の理論的考察

(昭和六年十月三十一日應用力學聯合大會に於て)

會員 吉 田 彌・七

Theoretical Investigations of Concrete Column with
Longitudinal and Spiral Reinforcement

By Yashichi Yoshida, Member.

内 容 梗 概

本論文は鐵筋コンクリート螺旋筋柱に関する力學的理論を掲げ、之れを講大家の實驗に照して誤なきことを證し、併せて現今採用されて居る之れに關する各種實用公式の價値に就て論及せるものなり。

目 次

第一章 概 論.....	2
第一節 螺旋筋柱.....	2
第二節 計算記號.....	2
第二章 螺旋筋柱の理論.....	3
第一節 概 説.....	3
第二節 安全荷重を受けたる螺旋筋柱の應力.....	4
第三節 螺旋筋柱の破壊強度及び破壊荷重.....	6
第四節 1.6%以上の螺旋筋を有する鐵筋コンクリート柱が破壊に至る迄の應力の變遷.....	9
第五節 螺旋筋柱の許容應力、許容荷重及び螺旋筋の最大使用量.....	16
第三章 螺旋筋柱實驗論.....	19
第一節 概 説.....	19
第二節 米國に於ける實驗的研究.....	19
第三節 獨佛塊に於ける實驗的研究.....	21
第四節 螺旋筋柱の實驗結論.....	22
第五節 實驗結論の理論的考察.....	22
第四章 螺旋筋柱に關する實用公式論.....	22
第一節 實用公式概説.....	22
第二節 Considère 氏の公式.....	23
第三節 Mörsch 教授の公式 (附日本及び獨逸標準公式).....	23
第四節 1931年獨逸鐵筋コンクリート標準示方書(案)の螺旋筋柱標準公式.....	24
第五節 New York 市條例の公式.....	25

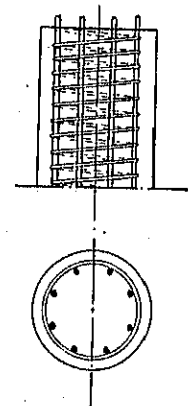
第六節 Chicago 市條例の公式	26
第七節 1924 年米國標準示方書の公式	26
第八節 著者の實用公式	27
第五章 結 論	28

第一章 概 論

第一節 螺旋筋柱

螺旋筋柱とは螺旋筋又は密接せる環状鉄筋を有する柱で、通常圓形の柱心部を有するものを言ふ。此の種の柱に於ける螺旋筋は柱心部コンクリートを補強するもので、軸荷重に對しては軸筋に比して餘程有效である。尤も鉄筋コンクリート柱は中心軸荷重のみならず、地震力、其の他の水平力又は偏心軸荷重の作用によりて、又柱が長くなると直壓力の外に彎曲率をも受ける場合が多いから、螺旋筋のみでは充分補強の目的を達し得ないから、各國の鉄筋コンクリート標準示方書に於ては相當量の軸鉄筋を併用することを強ひて居る。此の螺旋筋柱の柱心部は力學上からも施工上からも圓形が最も優つて居る。而して柱殻は圓形又は八角形とすることが多い。第一圖は圓形螺旋筋柱の標準設計である。

第一圖



第二節 計算記號

本論に於て使用する計算記號は主として土木學會の鉄筋コンクリート標準示方書(昭和6年9月)の記號に依ることとした、即ち次の如し。

記 號

- A_0 : 柱の全斷面積
- A_c : 柱に於けるコンクリートの有效斷面積(軸鉄筋の斷面積を減ぜず)
- A_k : 螺旋鉄筋柱の柱心部コンクリートの斷面積
- A_s : 軸鉄筋の斷面積
- A_a : 螺旋筋の容積を軸鉄筋に換算したる場合の其の斷面積
- A_l : 理想斷面積即ち軸及び螺旋筋の面積をコンクリートの面積に換算し、之れにコンクリートの有效斷面積を加へたるもの
- D : 螺旋筋柱の有效斷面の直徑即ち螺旋筋の中心線の直徑
- D_0 : 圓形斷面柱の外徑
- f : 螺旋筋1本の斷面積
- m : Poisson 係數, $1/m$ Poisson 比
- n : 鉄筋の弾性係數 E_s とコンクリートの弾性係數 E_c との比
- p : 軸鉄筋斷面積のコンクリート有效斷面積に對する比、即ち A_s/A_c 、即ち A_s/A_0 又は A_s/A_k
- p_a : 螺旋筋比、即ち $A_a/A_k = 4f/Di$

- P : 短柱の安全軸荷重
 P_u : 短柱の破壊軸荷重
 θ : コンクリート柱の破壊角
 σ : 螺旋筋柱の柱心部コンクリートに於ける縦壓應力
 σ_u : 螺旋筋柱に於て螺旋筋の爲めに誘起される横壓應力
 σ_0 : 螺旋筋柱の中心部コンクリートに於ける螺旋筋の爲めの縦應力の増加量
 σ_c : 柱に於けるコンクリートの壓應力
 σ_{uc} : 無筋コンクリート短柱の最大抗壓強度
 σ_{ca} : コンクリートの許容壓應力
 σ_{28} : コンクリートの標準供試體 28 日硬化後の最大抗壓強度
 σ_s : 軸鐵筋の壓應力
 σ_{st} : 螺旋筋の張應力
 t : 螺旋筋の歩みの間隔
 ϕ : 凝集力なき齊等質粉體の息角又は内部摩擦角

第二章 螺旋筋柱の理論

第一節 概 説

元來鐵筋コンクリート螺旋筋柱は他の鐵筋コンクリート部材同様其の研究は先づ實驗を基として發達したるものである。随つてその耐壓力並に應力の計算は多くは實驗公式に依つて行はれ來つた。故に各國、各地に於て此の種の柱の設計をなすに當りては各自に勝手に公式を用ひ、從つて相互間に統一を缺き、果して何れの設計が勝つて居るか理論上不明であつた。斯の如きは畢竟理論的研究が不充分なることに歸因するのである。

此の螺旋筋柱に關し比較的正確な理論的考察を試みたのは埃太利の R. Saliger 博士¹⁾を以て嚆矢とする。同博士は柱内に誘起される應力及び柱の最大耐壓力に就て理論的計算法を發表した。

此の Saliger 博士の理論は完全とは稱されないが、今日の比較的完全な理論の基礎をなすものと稱してよからう。

降つて我が北海道帝國大學の小川敬次郎博士²⁾は 1924 年に螺旋筋柱の内應力、破壊荷重及び許容荷重に就ての理論的計算法を發表し、又米國の Zesiger 及び Affeldt 兩氏³⁾は破壊荷

1) "Über den Einfluss der Schubfestigkeit und der Armierung auf die Bruchgefahr in gedrückteten Steinprismen," Zeitschr. f. Arch. u. Ing. 1905, S. 66.

Die "Druckfestigkeit des umschürzten Betons." Deutsche Bauztg. Zementbeilage 1907, S. 63.
 其他 "Der Eisenbetonbau," 1920 等

2) "On the Spiralled and Rodded Column," 土木學會誌第十卷第二號, 1924 (大正 13 年 4 月), p. 313.

3) "Stresses in Helically Reinforced Concrete Columns," Proc. A. S. C. E. 1926, p. 1.

重に就て実験を基とし理論的の計算法を發表した。之れ等二論文は Saliger 博士の論文に比するときは多少優つて居るが、百尺竿頭一步を出でざるの謗は免れないであらう。

其處で著者は上述の各大家の説を經とし、著者のコンクリートに關する實驗研究を緯とし理論公式を誘導し、その誤なきことを、Mörsch 教授、其の他の各大家の實驗によりて證明した。

本節に於て論ずる處は許容荷重を受けたる螺旋筋柱の應力、破壊強度及び破壊荷重、破壊に至る迄の應力の變遷、許容應力及び許容荷重に關してである。

第二節 安全荷重を受けたる螺旋筋柱の應力

螺旋筋柱に於ては螺旋筋を以て柱心部コンクリートの横變形を妨げるから、安全荷重を受けたる場合には力學的に次の關係が成立する。

$$\sigma = \sigma_c + \frac{2\sigma_q}{m} \dots\dots\dots(1)$$

然るに

$$p_a = \frac{4f}{Dt}, \quad \sigma_q = \frac{2\sigma_{st}f}{Dt}$$

なるを以て

$$\sigma_q = \frac{\sigma_{st}}{2} p_a \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式は最初 Saliger 博士が誘導した式である。之れを (1) 式に代入して

$$\sigma = \sigma_c + \frac{\sigma_{st}}{m} p_a \dots\dots\dots(3)$$

元來コンクリートは鋼の如く完全に近い弾性體ではないが、許容應力以内ではその弾性係數 E_c は常數と看做すのが常である。又 Poisson 比も許容應力以内では普通の鐵筋コンクリート用のコンクリートに於ては諸大家の研究⁴⁾に依れば 1/6~1/9, 平均 1/7 と思つて差支へはない。

⁴⁾ C. Bach u. O. Graf, "Versuche über die Widerstandfähigkeit von Beton u. Eisenbeton gegen Verdrehung," Veröffentlichungen des deutschen Ausschusses für Eisenbeton, Heft 16, 1912.

M. Rudelof, "Versuche mit Eisenbeton-Säulen," Veröff. d. deuts. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 5, 1910. "Untersuchungen über den Einfluss der Köpfe auf die Formänderungen u. Festigkeit von Eisenbeton-Säulen." Veröff. d. deuts. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 21, 1912.

M. Withey, "Tests on Reinforced Concrete Columns," Bulletin of University of Wisconsin No. 466, 1910.

A. Kleinogel, "Über neuere Versuche mit umschnürtem Beton," Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons, Heft 19, 1912.

A. N. Talbot, "Tests of Concrete and Reinforced Concrete Columns," Bulletin of University of Illinois No. 10, 1906.

田邊平學, "コンクリートのポアソン比に關する實驗的研究" 神戸高工紀要第一號(大正 15 年 4 月), 1926.

既に螺旋筋の影響を知り得たから、更に進んで螺旋筋柱が安全荷重を受けた時の横變形を考慮に入れ、柱心部コンクリートに生ずる横壓應力及び螺旋筋の張應力を求め、最後に柱心部コンクリートの縦應力を求めて見やう。

第二圖に示す如く P なる安全荷重を受けたる圓柱の一部を考へるときは次の關係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_n &= \frac{\sigma}{mE_c} \\ \epsilon_{st} &= \frac{\sigma_{st}}{E_s} = \frac{2\sigma_q}{pa} \Big/ E_s = \frac{2\sigma_q}{pa} \Big/ nE_c \\ \epsilon_{q'} &= \frac{\sigma_q}{E_0} - \frac{\sigma_q}{mE_c} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

茲に

- ϵ_n : σ なる張應力の爲めの無筋コンクリート柱の横單位變形
- ϵ_{st} : 螺旋筋柱の横單位變形又は螺旋筋の單位變形
- $\epsilon_{q'}$: 圓形無筋コンクリート柱が横壓應力 σ_q を受けた場合の横單位變形

然るときは

$$\sigma = \epsilon_n + \epsilon_{q'} \dots\dots\dots(5)$$

(5) 式に (4) 式の値を代入するときは、

$$\frac{\sigma}{mE_c} = \frac{2\sigma_q}{pa} \Big/ nE_c + \frac{\sigma_q}{E_0} - \frac{\sigma_q}{mE_c}$$

上式を簡單にするときは、

$$\sigma_q = \frac{\frac{n}{m} \sigma pa}{2 + npa \frac{m-1}{m}} \quad \text{或は} \quad \sigma_{st} = \frac{2 \frac{n}{m} \sigma}{2 + npa \frac{m-1}{m}} \dots\dots\dots(6)$$

而して

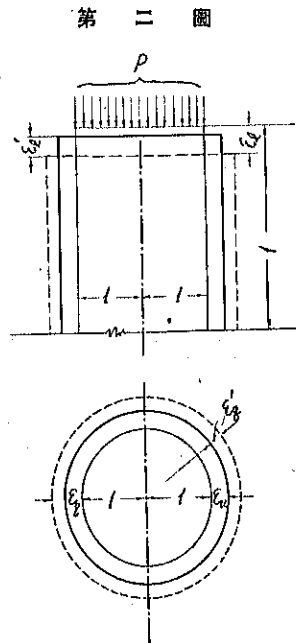
$$\sigma = \frac{m}{n} \sigma_{st} \left(1 + \frac{npa}{2} \frac{m-1}{m} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Saliger 博士は (4) 式に於て $\epsilon_{q'} = \frac{\sigma_q}{E_0}$ と看做して、

$$\sigma = \frac{m}{n} \sigma_{st} \left(1 + \frac{npa}{2} \right) \dots\dots\dots(8)$$

とした。(8) 式は (7) 式の近似式たることは言を俟たない。

(6) 式及び (1) 式から



$$\sigma = \frac{\sigma_c}{1 - \frac{2 \frac{n}{m} p_a}{m(2 + n p_a \frac{m-1}{m})}} \quad \text{又は} \quad \sigma_c \left\{ 1 + \frac{2 n p_a}{2 m^2 + n p_a (m-2)(m+1)} \right\} \dots\dots(9)$$

或は

$$\sigma = \alpha \sigma_c$$

$$\text{茲に} \quad \alpha = \left\{ 1 - \frac{2 \frac{n}{m} p_a}{m(2 + n p_a \frac{m-1}{m})} \right\}^{-1} \quad \text{又は} \quad \left\{ 1 + \frac{2 n p_a}{2 m^2 + n p_a (m-2)(m+1)} \right\} \dots\dots(10)$$

今普通の如く、 $m=7, n=15$ とせば、

$$\sigma = \sigma_c \left(1 + \frac{30 p_a}{98 + 600 p_a} \right)$$

となる。故に $p_a=6\%$ とするも、尚ほ $\alpha=1.0134$ である。即ち普通の標準示方書の規定に合ふ様な螺旋筋柱が安全荷重を受けた場合に於けるコンクリートの歴應力は螺旋筋が無い場合と殆んど變らない。換言すれば許容荷重以下の荷重を受けた柱に於ては螺旋筋の効果は殆んど現れないことになる。故に近似的には帯鉄筋柱の場合と異なることはない。即ち

$$\sigma = \frac{P}{A_c + n A_s} \dots\dots(11)$$

としてよい。

第三節 螺旋筋柱の破壊強度及び破壊荷重

(1) 概要 螺旋筋柱の軸壓力による破壊は略次の如く分類することが出来る。

1° 螺旋筋が少量の場合即ち 1% 以下の場合に於ては、螺旋筋を以て充分柱心部コンクリートの横變形を妨げることが出来ない、従つて柱は螺旋筋がない場合の如くコンクリートの剪應力によりて破壊する。

2° 螺旋筋の量が中位の場合即ち 1~1.6% 程度のときは、螺旋筋が相當に働き、柱心部の歴應力を増加する。然し乍ら螺旋筋の量は左迄多からざるを以て、柱心部は螺旋筋が張應力によりて破壊又は大なる變形をなすと同時に歴應力によりて破壊する。

3° 螺旋筋の量が 1.6% 以上となればその働き著しく顯れ、柱心部のコンクリートは壓挫されても尚ほ螺旋筋によりて平衡を保ち、螺旋筋が切斷又は大變形をなすに至りて漸く破壊する。

破壊の状態が以上の如くであるから、破壊状態の如何によりて破壊強度に関する理論も異なつて来る。即ち 1° 及び 2° の場合と 3° の場合とで柱心部コンクリートの應力の計算法は異なる譯のものである。

(2) 螺旋筋が少量即ち 1% 以下の場合 螺旋筋量が少い場合に於ては、本章第二節に述

べた (10) 式から σ の計算が出来る。而してコンクリートが破壊する場合には $m=3, n=40$ 位であるから、此の値を (10) 式に代入して、

$$\sigma = \sigma_u (1 + 4.44 p_a) \dots\dots\dots (12)$$

となる。即ち上式から判る様に螺旋筋が 1% 以下のときは柱心部コンクリートの抗圧強度の増加率は僅かに 4.44 p_a に過ぎない。従つて柱の破壊が螺旋筋柱なき場合同様剪應力によることは言ふ迄もない。

(8) 螺旋筋が中庸即ち 1~1.6% の場合 此の場合の應力の計算は本章第二節の場合と同様である。

(7) 式に於て $p_a=0$ とせば、 $\sigma = \sigma_u$ となる。故に $\frac{m}{n} \sigma_{st} = \sigma_u$ となる。従つて (7) 式は近似的に次の如くなる。

$$\sigma = \sigma_u \left\{ 1 + \frac{(m-1)}{2} \frac{\sigma_{st}}{\sigma_u} p_a \right\}$$

破壊のときの m を 3 と採れば、

$$\sigma = \sigma_u \left(1 + \frac{\sigma_{st}}{\sigma_u} p_a \right)$$

今 σ_{st} の値として鋼の破壊抗張強度 σ_{su} を採れば、 σ_{su} は普通 4 000~5 000 kg/cm² である。故に茲では $\sigma_{su} = 4 000 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u = 140 \text{ kg/cm}^2$ を採れば、

$$\sigma = \sigma_u (1 + 28.6 p_a) \dots\dots\dots (13)$$

(13) 式を (12) 式に比するときは本場合に於ては多少螺旋筋の効果が顯れたことを知るであらう。

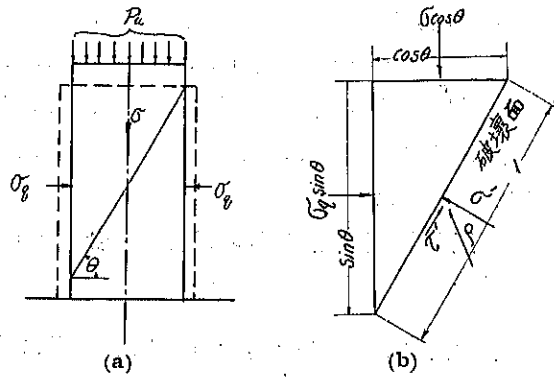
以上から明かな如く、鉄筋量が 1~1.6% 即ち中庸の場合は柱心部コンクリートは剪應力によりて破壊しないで壓應力によりて破壊する。然しながら之れ以上應力を受けることは螺旋筋の不足の爲めに望まれない。

(4) 螺旋筋が 1.6% 以上の場合 (2) に於て述べたる如く螺旋筋量が 1~1.6% となれば、軸壓力の増加に連れて柱心部コンクリートが壓挫される。而して尙ほ鉄筋量が多量であれば螺旋筋は尙ほ相當に横應力を受け得る。随つて柱心部は軸壓力のため破壊され粒狀組織となりたる儘、尙ほ軸壓力の増加に耐へ得るのである。而して遂に螺旋筋が破壊又は屈伏點に達する應力を受けるに至つて初めて柱の破壊が起るものである。故に斯かる柱に於ては破壊荷重は螺旋筋に關すること大なるものがある。

第三圖 (a) に示す様に柱が P_u なる破壊荷重を受けたる場合に、柱心部は凝集力なき齊等質の粉體に變じたと考ふことが出来るならば、圖示の如く水平と θ なる面に沿ふて破壊が起るとせば、 σ なる見掛けの縦應力は σ_0 なる横壓應力と第三圖 (b) の如く釣合ふものである。今

- μ : 粉體となれる柱心部コンクリートの破壊面の摩擦係数
- φ : 息角
- σ' : 破壊面に直角なる応力
- τ' : 破壊面に沿へる応力
- τ : 破壊面に撓動を起さんとする剪応力

第 三 圖



とせば,

$$\tau = \tau' - \mu \sigma'$$

となる。而してτはコンクリートの破壊剪応力に等しかるべきものである。又 $\sigma > \sigma_q$ と假定するときは,

$$\tau' = (\sigma - \sigma_q) \cos \theta \sin \theta, \quad \sigma' = \sigma \cos^2 \theta + \sigma_q \sin^2 \theta$$

故に

$$\sigma = \frac{\sigma_q \sin \theta (\cos \theta + \mu \sin \theta)}{\cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta)} + \frac{\tau}{\cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta)} \dots \dots \dots (14)$$

又は

$$\sigma = \frac{1 + \mu \tan \theta}{1 - \mu \cot \theta} \sigma_q + \frac{2 \operatorname{cosec} 2\theta}{1 - \mu \cot \theta} \tau \dots \dots \dots (14a)$$

(14a) 式は既述の如く Saliger 博士が誘導せる式である。而して上 2 式の第 2 項は σ_u なるを以て

$$\sigma = \sigma_u + \sigma_0$$

$$\text{茲に } \sigma_0 = \frac{\sigma_q \sin \theta (\cos \theta + \mu \sin \theta)}{\cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta)} = \frac{\sigma_{st}}{2} p_a \frac{\sin \theta (\cos \theta + \mu \sin \theta)}{\cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta)} \dots \dots \dots (15)$$

而して $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ なるを以て

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_q} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \dots \dots \dots (16)$$

上式の關係は Rankine 教授の土壓論に於ける上面水平なる場合の垂直及び水平壓力の關係と全く一致する。

(16) 式より

$$\sigma_0 = \sigma_q \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{\sigma_{st}}{2} p_a \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

を得る。従つて (15) 式より

$$\sigma = \sigma_u + \sigma_q \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \sigma_u + \frac{\sigma_{st}}{2} p_a \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \dots \dots \dots (17)$$

又は

$$\sigma = \sigma_u + \sigma_q \tan^2 \theta = \sigma_u + \frac{\sigma_{st}}{2} p_a \tan^2 \theta$$

(17) 式から螺旋筋が 1.6% 以上となればその補強の効果が如何に著しいかを解るであらう。

以上述べた處より P_u は容易に計算することが出来る。即ち

$$P_u = \sigma_s A_s + \left(1 + \frac{\sigma_{st}}{2\sigma_u} p_a \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \phi} \right) \sigma_u A_k \dots \dots \dots (18)$$

今 σ_{st} の値として螺旋筋の抗張屈伏點應力 σ'_s を σ_s として軸鐵筋の抗壓屈伏點應力 σ_c を採るときは、

$$P_u = \sigma_c A_s + \left(1 + \frac{\sigma'_s}{2\sigma_u} p_a \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) \sigma_u A_k \dots \dots \dots (19)$$

即ち (19) 式が破壊荷重を求める式である。(18) 式が示す様に理論上は σ_s 及び σ_{st} は夫々破壊應力を探り得る様にも思はれるが、實際實驗の結果は螺旋筋が切斷しない前に且つ軸鐵筋が破壊しない前に、粉體状コンクリートの平衡が亂れる場合が多いから、(19) 式は P_u を求める適當の式であると信ずる。

今

$$\frac{\sigma'_s}{2\sigma_u} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{\sigma'_s}{2\sigma_u} \tan^2 \theta \equiv M, \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_u} \equiv n$$

とせば、

$$P_u = \sigma_u (A_k + n A_s + M A_s) \dots \dots \dots (20)$$

又は

$$P_u = \sigma_u A_k (1 + np + Mp_a)$$

(5) 結 言 以上螺旋筋の多少によりて柱心部コンクリートの破壊應力が異なる事實を述べた。之れに就ては前述の Zesiger 及び Affeldt 兩式の論文をも参照されたい。上述に従へば螺旋筋柱の耐壓力を増大させるには螺旋鐵筋量は少くとも 1.6% 以上たることを要する譯である。而して螺旋筋の量が 1% 以下の場合には螺旋筋無き場合と何等選ぶ處はないのである。

第四節 1.6% 以上の螺旋筋を有する鐵筋コンクリート柱が破壊に至る迄の應力の變遷

(1) 概 要 前節に於て螺旋筋量の多寡によりて破壊強度が如何に異なるかに就て論じたから、本節に於ては尙ほ進んで螺旋筋量が 1.6% 以上の柱に於ける柱心部のコンクリートの壓應力が軸荷重の増加に連れて如何に變遷して行くかに就て吟味しやう。

(2) 許容荷重以下の場合 螺旋筋柱が許容荷重を受けたる場合に誘起される應力は本章第二節に述べた處から計算することが出来る。即ち許容荷重以下の荷重の下に於ては螺旋筋の作用が殆んど現れない。故に (11) 式、

$$\sigma = \frac{P}{A_c + n A_s}$$

から近似的にコンクリートの壓應力を計算してよい。

(3) 龜裂荷重 螺旋筋柱に於て許容荷重を超過して尙ほ荷重を高めるときは遂に柱殻に龜裂を生ずるに至る。斯く初めて龜裂が現れたときの荷重を龜裂荷重 (crack load, Rissbelastung) と稱して居る。此の龜裂荷重は螺旋筋柱の設計に當つては特に大切な項目である。今龜裂荷重を受けた柱の柱心部に誘起される應力を假に龜裂應力と稱しやう。以下此の龜裂應力に就て論じやう。

柱殻に初めて龜裂が入る程度の應力に對しては柱心部は未だ安全なるべきを以て、(6) 式

$$\sigma_{st} = \frac{2 \frac{n}{m}}{2 + n \rho_a \frac{m-1}{m}}$$

の關係が明かに成立する。即ち (6) 式から螺旋筋の張應力が計算される。次に柱殻のコンクリートの張應力に就て吟味を進めやう。

材齡 28 日に於けるコンクリートの張應力は權威ある實驗⁵⁾ に従へば、 σ_{28} の 1/8~1/12 程度である。此の張應力はセメント及び骨材の性質、配合及び水・セメント比、材齡、養生、試験の方法によりて異なる。今

σ_{ut} : コンクリートの 28 日硬化後の最大抗張強度

とせば、

$$\sigma_{ut} = \frac{\sigma_{28}}{8 \sim 12} \dots \dots \dots (21)$$

次に σ_{28} と σ_u との關係は如何と言ふに、1931 年獨逸鐵筋コンクリート標準示方書(案)によれば σ_{28} は σ_u と大差ないものと見てよい。又 G. Bach 教授の實驗⁶⁾ 及び H.F. Gornerman 氏の研究⁷⁾ から略

$$\sigma_u = (0.7 \sim 0.9) \sigma_{28} \dots \dots \dots (22)$$

を得る。随つて (22) 式から $\sigma_u = 0.8 \sigma_{28}$ と看做してよからう。然らば之れと (21) 式から

$$\sigma_{ut} = \frac{\sigma_u}{6.4 \sim 9.6}$$

を得る。故に平均して

$$\sigma_{ut} = \frac{\sigma_u}{8} \dots \dots \dots (23)$$

5) Report of Director of Research of P. C. A. 1928. (America)
A. N. Johnson, "Tests of Concrete in Tension," Proc. A. S. T. M. 1926.
6) E. Probst, "Vorlesungen über Eisenbeton," I Bd. 1923. S. 277.
7) "Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete," Proc. A.S.T.M. Vol. 25, Part II, 1925. p. 237

としても實際上大した誤はなからう。

柱殻に龜裂が入る迄は螺旋筋と柱殻コンクリートとは共同作用をなすものであるから、丁度破壊の瞬時を考ふるときは、

$$\sigma_{ct} = \frac{\sigma_{st}}{n'} \dots\dots\dots(24)$$

茲に n' : 螺旋筋の抗張弾性係數とコンクリートの抗張弾性係數との比
 n' の値はコンクリートが破壊するときには 20~25 位である。今 24 を採るときは、

$$\sigma_{ct} = \frac{\sigma_{st}}{24} \dots\dots\dots(25)$$

となる。柱殻部は龜裂が入る迄は柱心部同様壓應力を受け、其の結果横に變形せんとするものであるが、此處では此の影響は無視する。故に

$$\sigma_{ut} = \sigma_{ct} \dots\dots\dots(26)$$

なる關係が成立する。随つて

$$\sigma_{st} = \frac{24}{8} \sigma_{ut} = 3\sigma_{ut} \dots\dots\dots(27)$$

然るに (6) 式から σ_{st} は計算が出来る。而して龜裂荷重は無筋コンクリート柱の破壊荷重と大差なければ、 $m=6$, $n=16$ と看做し得やう。故に (6) 式から、

$$\sigma_{st} = \frac{5.33}{2+13.33p_a}$$

となる。今 $p_a=2\%$, 又は 0.02 とせば、

$$\sigma_{st} = 2.35\sigma \dots\dots\dots(28)$$

(27) 式及び (28) 式とから

$$\sigma = 1.28\sigma_{ut} \dots\dots\dots(29)$$

コンクリートの養生が不良の場合、或は施工不良のとき、或は又材齡が大となれば、 σ_{ut} は小となる。故に安全率を 2 とせば (23) 式から、

$$\sigma_{ut} = \frac{\sigma_u}{16}$$

となる。故に

$$\sigma = 0.64\sigma_u \dots\dots\dots(30)$$

以上述べたる處より明かなる如く、材齡 28 日に於ける試験に於ては龜裂應力は無筋柱の破壊強度の 1.28 倍に當る。而して最も悪い條件の時でも 0.64 倍を降ることはあるまい。

初め龜裂は餘程注意しないと解らない。

故に材齡 28 日に於ける螺旋筋柱の龜裂荷重 P_{crack} は

$$P_{crack} = (0.64 \sim 1.28) \sigma_u (A_c + n A_s) \dots \dots \dots (31)$$

上式中 0.64 は施工宜しからざる場合, 1.28 は良施工の場合の値である。

以上が著者の龜裂荷重に対する考察である。此の研究の正しい事は後述の獨逸及び米國に於ける實驗的研究から明かである。

(4) 龜裂荷重以上の場合 柱殼に龜裂が入つても尙ほ荷重を増すときは、柱殼が剝落し效に初めて螺旋筋の能力を發揮するに至る。而して柱心部内に誘起される應力は、龜裂荷重を少しく超過する程度の荷重に對しては未だ不完全ながらも彈性平衡を保つものと考へてよい。而して柱心部コンクリートが不完全ながらも彈性平衡を保つ極限即ち破壊する直前に於ては $m=3, n=40$ としよいから、(10) 式から

$$\sigma = \sigma_c \left(1 + \frac{80 p_u}{18 + 160 p_u} \right)$$

而して $p=0.02$ とせば、(12) 式

$$\sigma = \sigma_c (1 + 4.44 p_u)$$

となる。故に柱心部コンクリートが彈性平衡を保つ極限荷重 P_c は

$$\left. \begin{aligned} P_c &= (1 + 4.44 p_u) (1 + n p) \sigma_u A_k \\ P_c &= \sigma_u (1 + 4.44 p_u) (A_k + n A_s) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

而して柱心部コンクリートの壓應力は

$$\sigma = \frac{P_c}{A_k + n A_s} \dots \dots \dots (33)$$

(32) 式及び (33) 式に於ては $n=40$ と採るべきである。龜裂荷重以上の荷重を受けた場合の柱の有効斷面積は A_k であることは言を俟たないことである。

(5) 破壊の場合 (3) に述べた如く柱心部コンクリートが破壊をなし粉體狀となれば、柱心部内に誘起される應力は (17) 式に述べた如くして求められる。即ち (17) 式より

$$\sigma = \sigma_u + \frac{\sigma_{st}}{2} p_u \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

上式の右邊の第二項は螺旋筋による柱心部コンクリートの強度の増加であることは言を俟たない。此の柱心部應力の増加は ϕ を一定と考へれば $\sigma_{st} p_u$ に比例して増加する、換言すれば螺旋筋が受ける全應力に比例するものである。故に (17) 式は次の如く書くことが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \sigma_u (1 + \beta \sigma_u p_u) \\ \text{茲に } \beta &= \frac{1}{2 \sigma_u} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1}{2 \sigma_u} \tan^2 \theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (34)$$

(34) 式の關係を圖示すれば第四圖の如し。

以上螺旋筋による應力の増加率は判明したから、尙ほ進んで實際問題として果して如何程の應力を受けた場合螺旋筋が破壊するかに就て考へねばならぬ。

元來鋼は其の屈伏點以上の張應力を受ければ、其の伸は急激に増加する。故に螺旋筋も屈伏點以上の應力を受けるときは變形が増し、茲に柱心部コンクリートの平衡が亂れると見るべきであらう。故に(19)式にも掲げた如く σ_{st} の最大値として鋼の抗張屈伏點應力 σ'_s を採れば、

$$\sigma = \sigma_u \left(1 + \frac{1}{2\sigma_u} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma'_s p_a \right)$$

を得る。今

$$\beta \sigma'_s = \frac{\sigma'_s}{2\sigma_u} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{\sigma'_s}{2\sigma_u} \tan^2 \theta \equiv M \dots \dots \dots (35)$$

とせば、

$$\sigma = \sigma_u (1 + M p_a) \dots \dots \dots (36)$$

次に σ_u 及び σ'_s の種々の値に對する M の値を著者の實驗から計算して見やう。

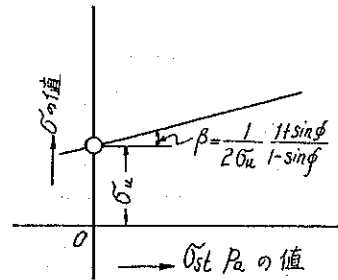
著者の 1929 年度に於ける實驗によれば、熊本縣内産の 26 種の砂及び砂利と淺野セメントを以て作れるウヰカブル・コンクリートの破壊角及び息角の値は第一表の如し。實驗はコンクリートの抗壓強度試験に關する A.S.T.M. の標準⁵⁾ に依つた。實驗に使用せる 15.30 cm 圓磚供試體の總數は約 2500 個であつた。

第一表 コンクリートの破壊角及び息角の實驗値 (著者)

實驗番號	骨材の産地	θ の値 (度)			ϕ の値 (度)		
		1:1.5:3	1:2:4	1:5	1:1.5:3	1:2:4	1:5
I	上益城郡木山川	66.52	68.11		43.04	46.22	
II	上益城郡綠川	67.67	68.48		45.84	46.86	
III	上益城郡津留川	68.75	67.00		47.50	44.00	
IV	阿蘇郡白川	68.25	69.19	66.72	46.50	48.88	43.44
V	葦北郡湯ノ浦川	70.29	67.81	66.29	50.58	45.62	42.58
VI	葦北郡二見川	68.07	66.21	66.75	46.14	42.42	43.50
VII	葦北郡佐敷川	68.95	69.44	68.64	47.90	48.88	47.28
VIII	葦北郡水俣川		68.33	67.92		46.66	45.84
IX	上益城郡矢形川	68.19	69.75		46.38	49.50	

⁵⁾ Tentative Methods of Making Compression Tests of Concrete, Serial Designation: C. 39-21 T.

第四圖



実験番號	骨材の産地	θ の値 (度)			φ の値 (度)		
		1:1.5:3	1:2:4	1:5	1:1.5:3	1:2:4	1:5
X	上益城郡御船川	69°04'	68°75'		49°28'	47°50'	
XI	同上(採集地異なる)	66°13'	68°39'	68°56'	42°20'	46°78'	47°12'
XII	鹿本郡菊池川	69°14'	67°64'		48°28'	45°28'	
XIII	阿蘇郡岳川	69°58'	68°68'		49°16'	47°36'	
XIV	玉名郡菊池川	70°59'	69°78'		51°18'	49°56'	
XV	阿蘇郡大矢川		67°46'	68°25'		44°92'	46°50'
XVI	阿蘇郡五ヶ瀬川	66°71'	66°56'		43°42'	43°12'	
XVII	天草郡鬼池海岸	67°74'	68°25'		45°48'	46°50'	
XVIII	菊池郡迫間川	68°44'	67°48'		46°88'	44°90'	
XIX	菊池郡岩野川	68°00'	66°07'		46°00'	42°14'	
XX	八代郡氷川	69°55'	66°84'		49°10'	43°08'	
XXI	球磨郡球磨川	70°18'	65°00'		50°36'	40°00'	
XXII	球磨郡山田川	68°10'	66°21'		46°20'	42°42'	
XXIII	球磨郡鬼田川	68°89'	67°40'		47°78'	44°02'	
XXIV	上益城郡緑川	66°58'	67°46'		43°16'	44°02'	
XXV	同上(採集地異なる)	69°57'	68°19'		49°14'	46°38'	
XXVI	熊本市白川	65°50'	66°40'		41°00'	42°80'	
平均 {		68.°376	67.°727	67.°59	46.°753	45.°453	45.°18
		68°22'35"	67°37'36"	67°35'24"	46°45'9"	45°27'11"	45°10'48"

N.B. 1:5 は眞實配合比で混合骨材は天然産の砂及び砂利を以て最大密度になる様調合せるものなり。

第一表から解る様に我々が普通遭遇する鉄筋コンクリート柱用コンクリートとしては概念的に $\theta=67^\circ40'$ 又は $\phi=45^\circ20'$ としても大した誤はない。故に $\sin \phi=0.71121$ となるから、

$$\frac{1+\sin \phi}{1-\sin \phi} = \frac{1.71121}{0.28879} = 5.92548$$

となる。而して柱用のヴォカブル・コンクリートとしては、 σ_u は 100~200 kg/cm² 位が普通である。而して螺旋鉄筋用鋼の抗張屈伏點應力としては抗張強度の 1/2⁹⁾ 位を取るから、 σ_e' の値は普通は 2400~2800 kg/cm² 位で、高級鋼では 3200 kg/cm² 程度である。之れ等の値を (35) 式に代入するときは第二表を得る。

第二表 $M = \frac{\sigma_e'}{2\sigma_u} \frac{1+\sin \phi}{1-\sin \phi}$ の値

σ_u (kg/cm ²)	M		
	$\sigma_e' = 2400$ kg/cm ²	$\sigma_e' = 2800$ kg/cm ²	$\sigma_e' = 3200$ kg/cm ²
80	88.88	103.70	118.51
100	71.11	82.06	94.81
120	59.25	69.13	78.08
140	50.79	59.26	67.72

⁹⁾ A. S. T. M. Standard Specification for Rolled steel, 1921.

160	44.44	51.85	59.25
180	39.49	46.07	52.65
200	35.55	41.48	47.40
220	32.32	37.71	43.00
240	29.63	34.57	39.49

帯鉄筋柱のときは明かに $M=0$ である。

著者が計算せる第二表の値が果して正しいか否かを Mörsch 博士、其の他の実験的研究を以て検して見やう。

M. Rudeloff 教授¹⁰⁾の研究に依れば $\sigma_u \cong 170 \text{ kg/cm}^2$ のとき $M=37.5 \sim 92.4$ を得て居る。

Firma Wayss & Freytag A.G.¹¹⁾の研究に依れば圓柱に對して $M=44.5 \sim 49.8$, 角柱に對して $M=14.5 \sim 32.5$ を得て居る。

佛國鐵筋コンクリート協會¹²⁾の研究によれば第三表の如き結果を得て居る。

第三表 佛國鐵筋コンクリート協會の實驗による M の値

σ_u (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	螺旋筋の直徑 (mm)	t (cm)	A_a (cm ²)	M
91	2 900	6	2.0	8.17	90.4
97	2 900	6	2.0	8.17	91.0
150	2 900	6	2.0	8.17	67.1
166	2 900	6	2.0	8.17	53.5
242	2 300	6	1.4	11.70	31.9
242	3 320	6	1.9	8.00	38.7
184	2 300	6	1.4	11.70	43.3
184	3 550	6	2.4	6.83	42.5

本實驗に用ひた直徑 6 mm 螺旋筋の σ_c' は 3 060 kg/cm² であつた。

Stuttgart 材料試驗所¹³⁾の研究によれば、屈伏點應力 3 486 kg/cm² なる鐵筋及び 1:2:3 配合の $\sigma_u=129 \text{ kg/cm}^2$ なるコンクリートより成る螺旋筋柱に關する實驗の結果 $M=64 \sim 79$ を得て居る。

Mörsch 博士¹⁴⁾の研究によれば σ_u と M との關係は第四表の如くである。

第四表

σ_u (kg/cm ²)	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
M	127	102	82	66	53	44	36	32	28	26

10) "Untersuchung von Eisenbeton-Säulen," Veröff. d. deuts. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 28, 1915.

11) Beton und Eisen, Heft V, 1902.

12) Expériences, rapports et propositions relatives à l'emploi du béton armé, Paris, 1907.

13) Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 166~169, Berlin, 1914.
C. Bach. "Knickungsversuche mit Eisenbetonsäulen." Zeits. d. V. D. I. 1913, S. 1969.

14) "Der Eisenbetonbau." Fünfte Auf. I Bd. 1 Hälfte. 1920.

上記の第二表、第三表及び第四表を圖示すれば第五圖の如くなる。

第五圖及び上述の各實驗から解る様に著者の計算せる M の値は各大家の實驗値と略一致することが解る。我が土木學會及び獨逸の標準示方書に於ては普通は $M=45$ を採つて居る。此の 45 と言ふ値は普通の鐵筋及びコンクリートよりなる螺旋筋柱に於ては蓋し適當の値であらう。

(6) 結 言 以上螺旋筋柱が荷重を受けて破壊に達する迄の各道程に於ける應力變遷の様を説明した。夫れに依つて明かなる如く、螺旋筋なるものは柱心部の應力が無筋コンクリート柱の破壊強度位に達する迄は殆んど其の効果を表はさない。而して柱殼に龜裂を生じ、遂に柱殼が剝落するに至つて初めて其の効果が顯れる。此の柱心部の縦壓應力は螺旋筋の全張應力に比例して増加する。随つて螺旋筋の量は多量なる

程柱の破壊荷重は大なる筈であるが、實際には安全荷重を受けた柱の柱殼に龜裂を生ぜしめるため、其の他實際施工上、經濟上のため一定の制限を附するのが常である。

第五節 螺旋筋柱の許容應力、許容荷重及び螺旋筋の最大使用量

既に螺旋筋柱の破壊荷重を理論的に計算したから、最後に其の許容應力及び許容荷重に就て理論的に論じて見やう。

(20) 式に掲げた様に柱の破壊荷重は

$$P_u = \sigma_u (Ak + n A_s + M A_a)$$

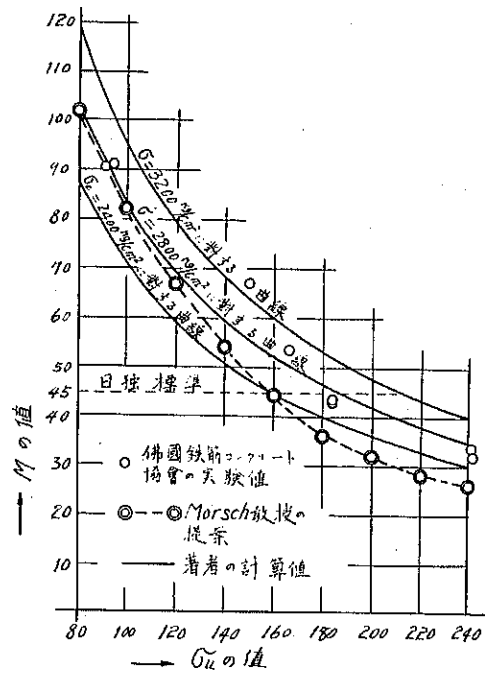
から求められる。然らば許容荷重は P_u を安全率で除して求められる。次に此の安全率に就て吟味して見やう。(22) 式から

$$\sigma_u = 0.8 \sigma_{28}$$

を得る。然るに現場工事は種々の原因のため現場能率は 100% と云ふ譯には行かぬ。著者が試みた現場試験の成績に徴すれば、現場能率は不良の現場に於ては 50% 以下のこともあるが、優良なる現場に於ては優に 80% 位の現場能率は擧げ得るものと信ずる。然らば

$$\sigma_u = 0.64 \sigma_{28} \dots \dots \dots (37)$$

第五圖



となる。又コンクリートは反覆荷重を受けても破壊荷重の半分以下の荷重のときは如何に反覆載荷しても破壊することなきは、J. L. Van Ornum 氏¹⁵⁾の研究から明かである。従つて今許容應力を σ_{ca} とせば、

$$\sigma_{ca} = \frac{0.64}{2} \sigma_{28} = 0.32 \sigma_{28} = \frac{\sigma_{28}}{3.1} \dots \dots \dots (38)$$

我が土木學會の標準示方書(案)では 3.1 の代りに 4 を採つて居る。M. O. Withey 教授¹⁶⁾は彼の實驗から螺旋筋柱の許容荷重は龜裂荷重の 30~40% を取るべき事を提案して居る。既述の如く龜裂荷重の下に於けるコンクリートの應力は σ_u 内外である。従つて (38) 式の理論は略 Withey 教授の研究と一致するものと言つてよい。

故に許容荷重は (20) 式の σ_u の代りに σ_{ca} を代入すればよい。即ち

$$P = \sigma_{ca} (A_c + n A_s + M A_a) \dots \dots \dots (39)$$

此の許容荷重は龜裂荷重以下でなくてはならぬ。然らばコンクリートに生ずる壓應力は次の如くなる。即ち $A_c = 1.3 A_k$ とせば、

$$\sigma = \frac{P}{A_c + n A_s} = \frac{\sigma_{ca} (A_c + n A_s + M A_a)}{A_c + n A_s} \approx \frac{\sigma_{ca} A_k (1 + M p_a) (1 + n p)}{1.3 A_k (1 + n p)}$$

上式に $\sigma_{ca} = \sigma_{28}/3.5$ を代入せば、

$$\sigma = \frac{\sigma_{28}}{4.55} (1 + M p_a) \dots \dots \dots (40)$$

今、日獨の標準示方書に従ひ $M = 45$ とせば p_a を 6% とするも、尙ほ σ は $0.82 \sigma_{28}$ 、即ち約 σ_u であるから、柱頭に龜裂が入る筈はないのは (20) 式から明かである。然るに施工時に不良の場合、其の他を考慮に入れるときは、(30) 式に掲げた如く龜裂應力は $0.64 \sigma_u$ 位に採つた方がよい。然らば p_a は次の制限以上に用ひても無効となる。何となれば柱の安全荷重は龜裂荷重以下たることを要するからである。即ち (30) 式と (40) 式から

$$0.64 \sigma_u = \frac{\sigma_{28}}{4.55} (1 + M p_a)$$

然るに (22) 式から $\sigma_u = 0.8 \sigma_{28}$ であるから、

$$0.64 \times 0.8 \sigma_{28} = \frac{\sigma_{28}}{4.55} (1 + M p_a)$$

$$\therefore M p_a = 1.33 \dots \dots \dots (41)$$

即ち螺旋筋によるコンクリートの強度の増加率は 133% を超えてはならぬ。

日本及び獨逸の標準示方書に於ては

$$(A_c + n A_s + M A_a) = (1 + M p_a) (1 + n p) A_k \leq 2 A_k$$

¹⁵⁾ "The Fatigue of Concrete," Trans. A. S. C. E. Vol. 58, 1907, p. 294.

¹⁶⁾ "Tests on Plain and Reinforced Concrete Columns," Bul. 300, University of Wisconsin, 1909.

$$(1+Mpa)(1+np) \leq 2 \times 1.3 A_s$$

今 p の最小限度 0.8% を取れば,

$$Mpa \leq 1.33 \dots\dots\dots(42)$$

又 p の最大限度 3% を取れば,

$$Mpa \leq 0.79 \dots\dots\dots(43)$$

即ち p の最小限度の場合の Mpa の値は (41) 式の理論的計算値と一致する。而して軸鉄筋量が多くなれば Mpa 即ち螺旋筋による柱心部コンクリートの強度の増加率の最大限度は低下するものである。

(41) 式から p_a の最大限度を計算すれば,

$$p_a \leq \frac{1.33}{M} \dots\dots\dots(44)$$

今 $M=45$ とせば,

$$p_a \leq 3\%$$

即ち螺旋筋の最大限度は理論上 3% 位がよいことになる。以上はコンクリートの張應力 σ_u が $\sigma_u/16$ と見た場合に關することで充分安全側の計算である。

既に述べた様に施工優良なる柱に於ては實驗上 $\sigma = 1.28 \sigma_u$ なる關係が成り立つ。而して一步を譲つて $\sigma_u = \sigma_u/12$ と看做しても、 σ は σ_u と等しい位の値がある。

然らば $\sigma_u = 0.8 \sigma_{28}$ であるから,

$$0.8 \sigma_{28} = \frac{\sigma_{28}}{4.55} (1+Mpa) \dots\dots\dots(45)$$

$$Mpa = 2.64 \dots\dots\dots(45)$$

即ち施工が相當に優良なる柱に於ては螺旋筋による柱心部コンクリートの増加率は實に 264% に達せしめ得る譯である。

1931 年の獨逸標準示方書 (案) によれば

$$A_s + n A_s + M A_a = (1+Mpa)(1+np) A_s \leq 2 A_c (1+np)$$

$$Mpa \leq 1.6 \dots\dots\dots(46)$$

(46) 式を (45) 式に比するときは獨逸新示方書と雖も龜裂荷重に對して充分安全なる様に Mpa の限界を定めて居ることが解る。(45) 式によれば

$$p_a \leq \frac{2.64}{M} \dots\dots\dots(47)$$

今 $M=45$ とせば,

$$p_a \leq 5.87\%$$

となる。即ち施工優良なる柱に於ては理論上は p_a は約 6% まで許しても差支へはなからう。

以上述べたる如く、(39)式から螺旋筋柱の許容荷重を求むることが出来る。而して許容荷重が龜裂荷重を超過しない爲の螺旋筋量の最大使用限度は施工の優劣によりて(44)式又は(47)式から計算することが出来る。即ち普通は施工が並以下のときは p_a は 3%, 施工が優良のときは 6% を以て限度とすべきことが著者の計算によりて明かとなつた。

(39)式は螺旋筋柱の破壊荷重を安全率で除して許容荷重を求むる式である。然るに此の許容荷重は次の如くしても求められる。即ち先づ螺旋筋を使用せる場合の柱心部コンクリートの許容應力の訂正值を計算し、柱心部は之れを帯鉄筋柱の場合の理想断面と同様に考へる。然るときは

$$\left. \begin{aligned} P &= \sigma(A_k + nA_s) = \sigma A_k(1 + np) \\ \text{及び} \quad \sigma &= \sigma_{ca}(1 + M p_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(48)$$

(48)式が(39)式と殆んど相等しいことは言を俟たない。

第三章 螺旋筋柱實驗論

第一節 概 説

他の鉄筋コンクリート部材同様螺旋筋の理論は實驗から誘導されたものである。最初 Koenen 氏は實驗によりて帯鉄筋柱の帯鉄筋の間隔を接近することによりて柱の耐壓力を強め得ることを確め得た。然るに帯鉄筋を接近して用ふることは實際上甚だ手数を要するから、Considère 氏が初めて螺旋筋を發明したのである。Abramoff 氏は螺旋筋と多少趣を異にする鋼狀筋を發明し、角柱に之れを應用した。其の後種々の實驗研究行はれ、現在に於ては螺旋筋柱は柱心部が圓形をなすものが最も有效であることが解り、水平鉄筋としては螺旋筋が一般に用ひられる。

斯くの如く柱心部を螺旋筋を以て取巻くときは、柱心部コンクリートの横變形が著しく妨げられるから、その抗壓強度が著しく高まることが明かとなつた。茲に於て螺旋筋柱の前途に曙光を認むるに至つたのである。

以下に現今まで發表された螺旋筋柱の實驗研究の内、前述の著者が誘導せる理論に關係あることのみを掲げ、著者の理論が果して正しいか否かを検討しやう。

第二節 米國に於ける實驗的研究

(1) A. N. Talbot 教授の實驗¹⁷⁾ Talbot 教授の柱に關する實驗報告中より螺旋筋に關する結論を抜粹すれば次の如し。

1° 破壊強度に達する以前に柱殼のコンクリートが剝落する。

¹⁷⁾ "Tests of Concrete and Reinforced Concrete Columns," Bulletin of University of Illinois, No. 10, 1906.

- 2° 破壊強度に達する以前に柱に彎曲が起る。
- 3° 柱の破壊強度及び剛度は其の高幅比が大なるに随ひ減少する。
- 4° 螺旋筋の間隔を増せば、換言すれば螺旋筋の量を減少すれば、其の破壊強度及び剛度減ずる。

上記の結論は凡て著者の理論的研究と一致する。著者は理論的考察に於て短柱と雖も彎曲することを慮り σ_u を $0.8\sigma_{28}$ とした。

(2) M. O. Withey 教授の實驗¹⁸⁾ 1910年 Withey 教授は米國 Wisconsin 大學に於て螺旋筋及び軸鉄筋が鉄筋コンクリート柱の強度に如何なる影響を及ぼすかの實驗を行つた。實驗用のコンクリートは 1:2:4 配合が主で、粗骨材は碎石であつた。抗壓強度試験は材齡 2 箇月で行はれた。其の結果龜裂應力は 無軸筋螺旋筋柱に於ては $0.6\sigma_u$ 、軸鉄筋を有する、所謂螺旋筋柱に於ては $0.75\sigma_u$ なることが明かとなつた。此の事實は著者の理論的考察と一致する。而して實驗に依る破壊強度も著者の理論的計算と略一致する。或る實驗に於ては實測せる σ_u が σ_c' より大きく現れて居るものもある。又 Withey 教授は螺旋筋柱の許容荷重は龜裂荷重の 30~40% を取るべきことを述べて居るが、之れも著者の理論と一致することは前述の通りである。尙ほ同教授は軸鉄筋量としては 2~3%、螺旋筋量としては 1% 以上を推奨して居る。之れ亦著者の理論と略一致して居る。

(3) F. E. Richart 助教授の實驗¹⁹⁾ Richart 氏外二氏は Illinois 大學に於て實驗をなし次の事實を發見した。實驗に使用したコンクリート配合は 1:2.1:2.5、水・セメント比は 0.87、螺旋筋比 0.5~4.42%、實驗は材齡 28 日で行はれた。實驗の結果

$$\sigma = \sigma_u + 2.05 p_a \sigma_{st}$$

$$\sigma = \sigma_u \left(1 + 2.05 \frac{\sigma_{st}}{\sigma_u} p_a \right) \dots \dots \dots (49)$$

(49) 式を著者の理論的公式 (17) 式と比較するときは、2.05 は $\frac{1}{2} \tan^2 \theta$ 又は $\frac{1}{2} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$ に當る。即ち Richart 助教授の實驗から得た螺旋筋による柱心部コンクリートの増加率は、著者の理論及び實驗を基として得た値より約 31% だけ小である。但し螺旋筋のための應力の増加率が σ_{st}, p_a に比例することは著者の理論と一致する。又柱殻が破壊する場合の應力が無螺旋筋柱の破壊強度の 1~1.5 倍であることも施工優良な場合の著者の公式 (29) 式と殆んど一致する。而して螺旋筋の効果は其の鉄筋比が 2% 以上の場合に現はれ、且つ強度に富む螺旋筋例へばケーブル線を使用すれば柱の強度が増加することが現はれて居る。著者は著者の

¹⁸⁾ "Tests on Plain and Reinforced Concrete Columns," Bul. 300, University of Wisconsin, 1909.
 "Tests on Reinforced Concrete Columns," Bul. 466, University of Wisconsin, 1910.
¹⁹⁾ "The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression," Bul. No. 190, Eng. Exp. Sta. University of Illinois, 1929.

公式 (17) 式に Richart 助教授の實驗に於ける鐵筋比及び其の屈伏點應力を代入して檢せしに、其の計算値は同助教授の實驗値と一致することを確め得た。

第三節 獨佛境に於ける實驗的研究

獨、佛、境中特に獨逸に於ては鐵筋コンクリート委員會、各大學及び各研究所に於て古くから螺旋筋柱に關する實驗が行はれ、殆んど結論を得る程度まで進んで居る。以下夫れ等の研究中特に優秀なるもの、二三を掲げやう。

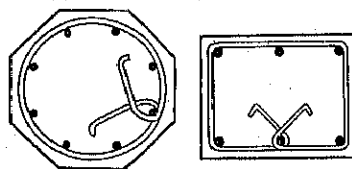
(1) M. Rudeloff 教授の實驗²⁰⁾ Rudeloff 教授は 1905 年以來、螺旋筋柱に關する研究を發表して居る。其の結論を檢するに著者の理論的研究と相距つる事實は何も認められない。

(2) E. Mörsch 教授の實驗²¹⁾ Stuttgart 工科大學教授 Mörsch 博士は同氏の實驗及び諸大家の實驗から有名な Mörsch の公式なるものを誘導して居る。而して同教授の螺旋筋の效果に關する結論が著者の理論と一致することは第二章第四節に述べた通りである。又同教授は螺旋筋柱の鐵筋量は軸鐵筋及び螺旋筋合せて 1.5~8% 位がよいとして居る。而して $p_a \geq p \geq \frac{1}{3} p_a$ なる關係を保つべく、且つ螺旋筋の間隔は柱心部直徑の 1/7~1/10 以下とすべきことを述べて居る。

以上の如くなるを以て、Mörsch 教授の結論は漠然たるものではあるが、やはり著者の理論的考察の結論に包含される。

(3) A. Kleinlogel 教授の實驗²²⁾ Dresden 工科大學教授 Kleinlogel 博士は 1912 年螺旋筋柱に關する研究を發表した。此の結論に依れば螺旋筋柱の龜裂荷重はコンクリート角柱の耐壓力よりも 32% だけ大なることを知つた。従つてコンクリート柱の抗壓強度は螺旋筋柱の龜裂應力と大差ないことになる。實驗に使用した螺旋筋は第一圖の如きものに非ずして、第六圖の如き帶鐵筋を接近して用ひたものである。螺旋筋の量は軸鐵筋量が 1.5% のとき 3.5% を可とし、其の間隔は柱心部直徑の 1/9 を適當とすることを述べて居る。

第六圖



²⁰⁾ "Versuche mit Eisenbeton-Säulen," Veröff. d. deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 5, 1910.
"Untersuchungen über den Einfluss der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisenbeton-Säulen," Veröff. d. deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 21, 1912.

"Untersuchung von Eisenbeton-Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung," Veröff. d. deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 28, 1915.

"Erfahrungen bei der Herstellung von Eisenbeton-Säulen," Veröff. d. deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Heft 34, 1915.

²¹⁾ "Der Eisenbetonbau," Fünfte Auf. I Bd. 1 Hälfte, 1920.

²²⁾ "Über neuere Versuche mit umschnürten Beton," Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons, Heft 19, 1912.

(4) 其の他の著名なる研究 A. Considère 氏の研究,²³⁾ M. von Thullie の研究,²⁴⁾ R. Salinger 氏の研究²⁵⁾等は著者の研究の正しいことを裏書する貴重なる資料を以て充されて居る。

第四節 螺旋筋柱の實驗結論

以上本章に於て述べたる實驗は、供試體が何れも小なるため、實際構造物の柱に於ても上述と同一の結果が現れるか否かは不明であるが、理論上から大した相違はなからうと信ずる。然らば之れ等に關する結論は直ちに實際設計に當り適用し得るものである。次に上述の實驗に關する結論を掲げやう。

1° 破壊強度に達する以前に於て柱殼に龜裂が入る。此の初龜裂が入る時の柱心部コンクリートの應力は無筋コンクリート柱の抗壓強度の 60~150% である。

2° 適量の螺旋筋を使用するときは柱の破壊強度が増大する。而して螺旋筋の使用量は柱心部の 1~3.5% 位がよい。而して螺旋筋は軸鐵筋との連結をよくし、且つ小徑の鐵筋を施工上差支へない範圍内で接近して巻付くるがよい。

3° 柱が長くなれば彎曲が起るから適當量の軸鐵筋を使用することを忘れてはならぬ。

4° 柱の纖弱率が 40~52 以上となれば上述の理論は適用が出来ない。

5° 螺旋筋の効力はコンクリートの抗壓強度が小なる場合に於て特に顯著である。

第五節 實驗結論の理論的考察

第三章第四節に掲げた各大家の實驗研究の結論は第二章に於て論じたる著者の力學的研究所の結論と一致することが解る。即ち龜裂應力が實際上無筋柱の破壊應力の 60~150% なる事實は著者の計算値 0.64~1.28% と殆んど一致し、又螺旋筋の量に比例して柱心部コンクリートの抗壓強度が大になることも理論的研究と符合し、尙ほ螺旋筋の適當なる使用量が 1~3.5% なることも著者の力學的計算値と一致する。

要之、今迄は螺旋筋柱の理論は力學的に不可侵の状態にあつたが、著者の研究に依りて此の神祕の扉は初めて開放されたかの觀がある。

第四章 螺旋筋柱に關する實用公式論

第一節 實用公式概説

現今の螺旋筋柱の理論は主として實驗より誘導されたものであるから、實用公式も亦此の

²³⁾ "Commission du Ciment Armé, expériences, rapports et propositions relatives à l'emploi du béton armé." 1907.

"Le béton fretté et ses applications." 1907.

²⁴⁾ "Versuche mit exzentrischbelasteten eisernen Säulen," Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons, Heft 10, 1909.

"Berechnung der umschmürten Säulen aus Eisenbeton." Oesterr. Wochenschrift f. d. öffentlich Baudienst, Heft. 39, 1918.

Berechnung der umschmürten Eisenbeton Säulen," Beton u. Eisen, Heft XIX-XX, 1918.

²⁵⁾ "Der Eisenbetonbau," 1920.

轍を出でない。随つて實用公式の成立は凡て其の趣を異にし相互の關係不明にして、初學者は往々にして何れの公式に依るべきかさへ迷ふ有様である。故に著者は現今採用されて居る比較的著名なる公式に就て力學的の考察を試み且つ其の實用上の價値を明かにした。以下述べる公式は凡て本論文の標準記號に改めて置いた。此の點幸に諒せられよ。

第二節 Considère 氏の公式

Considère 氏は實に螺旋筋柱の鼻祖と言つても差支へない人で、同氏は初めて次式を發表した。

$$P_u = 1.5\sigma_u A_k + \sigma_s A_s + 2.4\sigma_s A_a \dots\dots\dots(50)$$

茲に σ_s : 鋼の屈伏點應力

故に今 σ_s の代りに σ_e を用ふるときは、

$$P_u = \sigma_u \left(1.5 A_k + \frac{\sigma_e}{\sigma_u} A_s + 2.4 \frac{\sigma_e}{\sigma_u} A_a \right)$$

又は

$$P_u = \sigma_u (1.5 A_k + n A_s + 2.4 n A_a) \dots\dots\dots(51)$$

即ち Considère 氏は螺旋筋の破壊荷重をコンクリート、軸鐵筋及び螺旋鐵筋に分ちて考へた。此の考察は實に螺旋筋柱の原理であつて、能く Considère 氏の如き天才のみが爲し得る仕事である。然し乍らコンクリートの受け持つべき荷重を $1.5\sigma_u A_k$ とせることは誤である。何となれば柱が破壊するときは柱殻は剝落して働き得ないからである。而してコンクリートが受け持つ荷重は實は $\sigma_u A_k$ であるべきであるから、同氏は螺旋筋による柱心部コンクリートの強度の増加率を多少安全に見積つて $2.4n\sigma_e A_a$ とした。 σ_e は此の場合 σ_e' に當る、 n は柱の破壊のときは 20 以上であるが、普通は 15 を採る。

既に述べたる如く $1.5\sigma_u A_k$ は大に失するから、之れを理論と一致する様 $\sigma_u A_k$ とし、螺旋筋による應力の増加は其の儘とすれば、茲に訂正 Considère の公式が成立する。即ち

$$\left. \begin{aligned} P_u &= \sigma_u (A_k + n A_s + 2.4 n A_a) \\ P &= \sigma_{ca} (A_k + n A_s + 2.4 n A_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(52)$$

言ふ迄もなく上述の公式は多少安全にすぎ。

第三節 Mörsch 教授の公式 (附 日本及び獨逸標準公式)

Stuttgart の Mörsch 博士は實驗公式として最も優れた式を發表した。尤も式の成立は Considère 氏の創案を出でない。

$$\left. \begin{aligned} P_u &= \sigma_u (A_k + n A_s + M A_a) \\ P &= \sigma_{ca} (A_k + n A_s + M A_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(53)$$

n は普通 15, M は 45 を取る。故に

$$P = \sigma_{ca} (A_k + 15 A_s + 4.5 A_a) \dots\dots\dots(54)$$

此の式は 1925 年の獨逸標準公式で、我が土木學會も亦之れを標準として居る。又 1931 年の獨逸新示方書(案)も亦標準立方供試體の抗壓強度 W_{b25} が 180 kg/cm^2 以下の場合には本式を以て標準として居る。

而して第二章第五節に述べた様に許容荷重が龜裂荷重を超過しない様に

$$A_t \leq 2A_0$$

茲に

$$A_t = A_k + 15A_s + 45A_a$$

$$\left. \begin{array}{l} A_t \leq 2A_0 \\ A_t = A_k + 15A_s + 45A_a \end{array} \right\} \dots \dots \dots (55)$$

と定めて居る。(55) 式が理論上正しいことは次の計算から明かである。

龜裂應力はコンクリートの養生宜しからざる場合には(30)式から $0.64\sigma_u$ である。而して(22)式から σ は $0.8\sigma_{25}$ と見てよい。故に(31)式から

$$P_{max} = 0.64 \times 0.8 \sigma_{25} (A_c + nA_s) = 0.512 \sigma_{25} (A_c + nA_s)$$

今、日獨の平均を取つて安全率を 3.5 とせば、

$$\frac{\sigma_{25}}{3.5} (A_k + nA_s + MA_a) \leq 0.512 \sigma_{25} (A_c + nA_s)$$

$$\therefore A_k + nA_s + MA_a \leq 1.792 (A_c + nA_s)$$

今 A_s を A_c の $0.8 \sim 3\%$ とせば、

$$A_k + nA_s + MA_a \leq (2.0 \sim 2.6) A_c$$

$$\therefore A_t \leq 2A_0$$

としてよい。即ち(55)式の正しいことが理論的に證明された譯である。

設計細目として、獨逸では高幅比は柱心部に於て 13、軸鉄筋の量は柱の全斷面積の $0.8 \sim 3\%$ 、螺旋筋の量は軸鉄筋の量の 3 倍以下とし、其の間隔は柱心部直径の $1/5$ 以下、且つ 8 cm を超えてはならぬ規定になつて居る。

我が土木學會の示方書に於ては、主要なる螺旋筋柱の直径は 25cm 以上で、軸筋の数は 6 本以上たるべく、其の量は柱心部の $0.8 \sim 3\%$ とし、其の間隔は柱心部直径の $1/5$ 以下且つ 8cm を超えてはならぬ、又軸鉄筋の直径は 12mm 以上、螺旋筋の直径は 6mm 以上と規定してゐる。

第四節 1931 年獨逸鐵筋コンクリート標準示方書(案)の螺旋筋柱標準公式

獨逸新示方書に於ても標準抗壓強度立方供試體²⁶⁾の抗壓強度 W_{b25} が 180 kg/cm^2 以下のときは、第四章第三節に述べた 1925 年の示方書規定と同一である。然し乍ら W_{b25} が 180 kg/cm^2 以上となれば次の公式を用ふることになつて居る。

$$P = \sigma_{ca} \left(A_k + \frac{\sigma_a}{W_{b25}} A_s + \frac{2.5\sigma_a'}{W_{b25}} A_a \right) \dots \dots \dots (56)$$

²⁶⁾ Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, Teil D. Bestimmungen Steifepfahrungen und für Druckversuche an Würfeln bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Eisenbeton, 1931.

$$A_t = A_k + \frac{\sigma_e}{W_{bz}} A_s + \frac{2.5\sigma_e'}{W_{bz}} A_a$$

とせば、

$$A_t \leq 2 \left(A_k + \frac{\sigma_e}{W_{bz}} A_s \right) \dots \dots \dots (57)$$

上式中 σ_{ca} は $W_{bz}/4$ 以下である。故に吉田徳次郎先生²⁷⁾ に従へば $W_{bz} = \sigma_{zs}/0.75$ と見てよ
いから σ_{ca} は $\sigma_{zs}/3$ となる。

次に σ_e 及び σ_e' の値は次の如く定めて居る。

普通鐵筋に對しては	$\sigma_e = 2700 \text{ kg/cm}^2$,	$\sigma_e' = 3300 \text{ kg/cm}^2$
高級鋼鐵筋に對しては	$\sigma_e = 3900 \text{ kg/cm}^2$,	$\sigma_e' = 4500 \text{ kg/cm}^2$

今 (56) 式に於て普通鐵筋に對する σ_e 及び σ_e' の値を代入すれば (54) 式と一致する。然るに

$$\sigma_u = 0.8\sigma_{zs}, \quad \sigma_{zs} = 0.75 W_{bz}$$

であるから (56), 式は

$$P = \sigma_{ca} \left(A_k + 0.6 \frac{\sigma_e}{\sigma_u} A_s + 1.5 \frac{\sigma_e'}{\sigma_u} A_a \right) \dots \dots \dots (58)$$

となる。上式中 1.5 は (20) 式と對稱するときは $\frac{1}{2} \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$ に當る。然るに著者の實驗に依
れば $\frac{1}{2} \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$ は 2.963 であるから、(58) 式即ち (56) 式は充分安全なる式と言はねばなら
ぬ。(57) 式が正しいことは (55) 式同様にして證明することが出来る。

螺旋筋の間隔は柱心部の $1/6$ 以下、且つ 8cm 以下たることを要する。軸鐵筋の量は螺旋筋
の量の $1/3$ 以上で、柱心部の 0.8~8% を以て標準とする。即ち獨逸の新示方書に於ては鐵
筋量の使用限界を舊示方書より高めて居る。

第五節 New York 市條例の公式

New York 市建築條例中に採用されて居る公式は次の如くである。

$$P = \sigma_{ca} \left\{ A_k + (n-1)A_s + 2 \frac{\sigma_s}{\sigma_{ca}} A_a \right\} \dots \dots \dots (59)$$

上式の σ_{ca} の値は第五表の如し。

第五表 New York 市條例 σ_{ca} の値

コンクリートの配合	σ_{ca}		n
	#/□"	kg/cm ²	
1:2:4	500	35	15
1:1.5:3	600	42	12

σ_s は螺旋筋の許容應力で次の如く定む。常溫引延線に對しては、

$$\sigma_s \leq 20000 \text{ #/□"} \quad \text{又は} \quad 1406 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.85 \times (\text{elastic limit of the wire})$$

27) 九州帝國大學工學部彙報第二卷第四號(昭和2年)

軸鉄筋の量は柱心部の 1~4% である。螺旋筋の量は 0.5~2% であつて、其の間隔は柱心部直径 1/6 以下、且つ 3 吋 (7.5 cm) を超えてはならぬ。

今一例を取り 1:2:4 コンクリートよりなる柱に常温引延線を用ふるときは、

$$P = \sigma_{ca}(A_k + 14A_s + 80A_a) \dots\dots\dots(60)$$

又常温引延線の代りに普通の鉄筋を螺旋筋として利用するときは、

$$\sigma_s = 40\,000 \times 0.35 = 14\,000 \text{ #/吋}^2$$

となる。故に

$$P = (A_k + 14A_s + 36A_a) \dots\dots\dots(61)$$

以上から解る様に New York 市条件の公式は理論公式と同形ではあるが、安全に過ぎる傾向がある。然し乍ら高層建築の多い該市に於ては蓋し當を得たものであらう。尤も螺旋筋の量を 0.5~2% とせるは面白からざることである。

第六節 Chicago 市條例の公式

Chicago 市条件の螺旋筋柱に關する公式は次の如し。

$$P = \sigma_{ca} \{ A_k + (n-1)A_s + 2.5nA_a \} \dots\dots\dots(62)$$

而して $\sigma_{ca} = \frac{1}{4} \sigma_{cs}$ を採る。然しながら普通は第六表の如く採つてよい。

第六表 Chicago 市條例の σ_{ca} の値

コンクリートの配合	σ_{cs}		σ_{ca}		n
	#/吋 ²	kg/cm ²	#/吋 ²	kg/cm ²	
1:1:2	2900	204	725	51	10
1:1.5:3	2400	169	600	42	12
1:2:4	2000	140	500	35	15

軸鉄筋は柱心部の 0.8% 以下で、螺旋筋の量より少くはならぬ。軸鉄筋は螺旋筋とよく接觸して取付け、其の間隔は 9 吋 (23 cm) 以下又は柱 1 本に付て 8 本以上を用ふる。

螺旋筋の量は 0.5~1.5% である。其の間隔は柱心部直径の 1/10 以下で、且つ 3 吋 (7.5 cm) を超過すべからず。

柱の高幅比は 12 を超えてはならぬ。今 n=15 とせば、(62) 式は次の如くなる。

$$P = \sigma_{ca}(A_k + 14A_s + 37.5A_a) \dots\dots\dots(63)$$

即ち New York 市條例と大差なきを知る。本條例に於ても螺旋筋の量を 0.5~1.5% とせるは理論に合はない。

第七節 1924 年米國標準示方書の公式

1924 年の米國聯合委員會の標準示方書中の螺旋筋柱の公式を米突式に換算すると次の如くなる。

$$P = \sigma_{sk} + (n-1)p_{sk} \sigma = \sigma_{sk} \{1 + (n-1)p\} \dots\dots\dots (64)$$

茲に $\sigma = 21 + (0.10 + 4p)\sigma_{28} : \text{kg/cm}^2$

(64)式は織弱率が40までは用ふることが出来る。軸鉄筋は径1/2吋(12.7cm)以上のもの6本以上から成り、其の鋼比は1~6%である。螺旋筋の量は軸鉄筋量の1/4より寡からず、間隔は柱心部直径の1/6以下、且つ3吋(7.5cm)を超ゆることを許さず。而して螺旋筋は軸鉄筋の3本以上とよく緊結して其の位置を正しく保つことが大切である。

此の公式は既に述べた理論的公式(48)式と同形である。即ち螺旋筋を有する場合の許容應力を計算し、次で之れを用ひて柱心部からなる滞鉄筋柱と考へて許容荷重を計算するのである。然るに(64)式の σ は(48)式と異なり螺旋筋量を直接考へに入れてない。而して σ は p の函数とした。然るに實際には p_n は p の1/4以上を用ふる事を強いて居るから間接には螺旋筋の作用を考へに入れて居ることになる。然し乍ら斯くの如きは理論上甚だ面白いことで、斯くては初學者を誤ることが多い。今 $p = p_n \sim 4p_n$ とし、 $p_n = 0.02$ として σ_{28} と σ との關係を(63)式から求めると第七圖の如くなる。圖中(48)式、

$$\sigma = \sigma_{ca}(1 + Mp_n)$$

に於て $\sigma_{ca} = \sigma_{28}/4$ 、 $M = 45$ 及び $p_n = 0.02$ の値を代入して理論的に σ の値を計算し之れを記入して置いた。

以上の如くであるから、米國の示方書公式も利用さへ誤らなかつたならば相當良好なる結果を得べきも、螺旋筋の項を公式中に含まざるは一般式としては宜しからず。

第八節 著者の實用公式

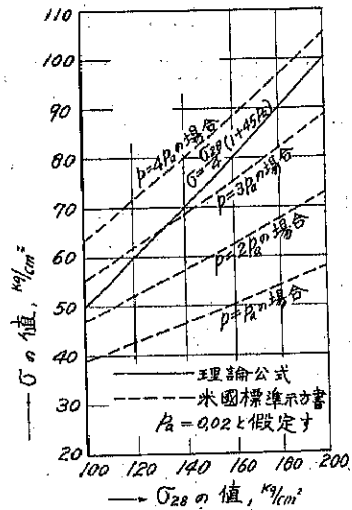
著者は第二章の理論を基とし第三章の實驗論及び第四章の諸實用公式を參考として次の實用公式を推奨するものである。即ち(39)式から

$$\left. \begin{aligned} P &= \sigma_{ca}(A_k + nA_s + MA_0) \\ \text{及び} \quad n &= \frac{\sigma_c}{\sigma_u} \\ M &= \frac{1}{2} \frac{\sigma_c'}{\sigma_u} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_c'}{\sigma_u} \tan^2 \theta \\ \sigma_u &= 0.8 \sigma_{28} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (65)$$

σ_{28} 、 ϕ 又は θ 、 σ_c 及び σ_c' は實驗に依りて容易に求められる。然しながら實驗によりて上記の値を求め得ない場合又は普通の設計の場合には $n = 15$ 、 $M = 45$ としてよい。而して(55)式、

$$(A_k + nA_s + MA_0) \leq 2A_0$$

第七圖



の條件を満足するを要する。

構造上具備すべき條件としては次の如くである。先づ軸鉄筋は力學上螺旋筋に比して效力の少いものであるから成可く少い方がよいが、地震力、柱の彎曲、偏心荷重等の影響を考慮するときは強ち少いのが得策とは言はれない。故に實驗理論に重きを置いて 0.8~6%, 普通は 0.8~3% 位とするがよい。普通圓錐の直徑 12 mm 以上のものを用ふる。柱の太さは徑 25cm とし、軸鉄筋は少くとも 6 本は必要である。

螺旋筋の量は著者が計算せる如く、施工が普通のときは 1.0~3%, 施工優秀のときは 1.6~6% 位迄が最も有效である。螺旋筋としては直徑 6mm 以上の普通の圓錐がよい。時には常溫引延線を用ひてもよい。其の間隔は柱心部直徑の 1/5 以下で 8cm を超えてはならぬ。短柱としての限度は織弱率が 40~45, 即ち高幅比が 10~11 である。

第五章 結 論

力學的に解決不可能と言はれ來つた螺旋筋柱の理論は、第二章に論じた如く著者の研究によりて比較的完全に解決された様に思はれる。而して著者の理論の正しき事は第三章の實驗論に據りて裏書された。第四章に於ては現今採用されて居る諸公式に就て論じ、其の價値を明かにし、最後に著者の公式を提案して世に問ふた。

本論文はさゝやかなる一研究に過ぎないが、其の奈邊に於てか著者は何人をも觸れ得ざりし眞理を掴み得たかも知れない。然らば何物かを作り得たる喜に微笑えもう。著者淺學非才其の判斷に苦む、一重に同學諸彦の御高教に待つ。

本講演後次の質疑應答ありたり

○土木學會々員 福田君 (問) 一寸お尋ねしたい。第一に螺旋筋の量に依つて 3 種に分けたことには異議ないが、パーセントに就いて 1% と 1.6% の range をハッキリ決めることは何うかと思ふ。實驗から出たのでもあるがハッキリ決めることは何うか。實驗からは正確に決められぬではないか。

第二に elastic limit 以内の式で elastic limit を越した plastic の状態又は braking condition の時に apply するのは何うか。

第三に螺旋筋が 1 本々々になつて居るとしたのであらうが、hoop が茶罐の様になつてゐるとしてやつてゐるが實際と違ふ。concrete は crush すると粉となる、粉は hoop から外に出るから假定と違ふ。螺旋筋柱の力學が完全に解決されたと言はれるが私の無學の爲かそうは考へられぬ。

○吉田君 (答) 豫備實驗であつて明かに述べるのを控へるが、1.0~1.6% なるものは充分

螺旋筋がきくものと考へる。實際に apply するには (+), (-) の error を少くして實際に向く様にするのがよい。

1926 年の雑誌による Considère 氏の發表を見れば分るが先人の定評ある實驗や學説は充分正しいものとしなければならぬ。

元來 spiral は輪をかけたもの故に、之れを cylinder と考へることに於て無理があるが、其の無理が何處迄で通るかが實驗上價值あり。鉄筋コンクリートの實驗をすれば如何なるものか分る。

spiral はなるべく小さな方がよい。併し小さいと砂利が外側に行く事が出来ぬ。小さい砂は void が大きく力が弱いから實際に出来る。

鉄筋の柱の實驗に従來するには horizontal reinforcement の間隔が何れ迄でよいか、實驗より見て之れが大切なることと思ふ。

- 建築學會々員 田邊君 (問) 私の聞くことも 福田君と同様な質問である。面白いと思ふが結論は前刷 15 頁に關して著者の正しいことはイリノイ大學のものを見れば分る。希望として發表の場合には他の人の研究を比較して述べて deta として文獻を書いて置いてもらいたい。

獨斷的に之れで螺旋筋の研究は完成せられたと云ふことは第三者の批判を待つべきものであると思ふ。

- 吉田君 (答) 喜んで取消したいと思ひます。私は何れ位迄完全と云ふか分らぬが、今の所ではよからうかと思つて書いたのである。

foot note は全部書いてあるから參照を願ひます。

文獻は相當あさつた積りですが、淺學の私なる故に見逃しや、反對のことは喜んで取消します。夫れが斯學の發達に大切なことと思ひます。

(以 上)