第七章　床及び柱脚用スラブ

第四十六節　桁梁式と平版床式

(Beam-girder system and Flat slab floor system).

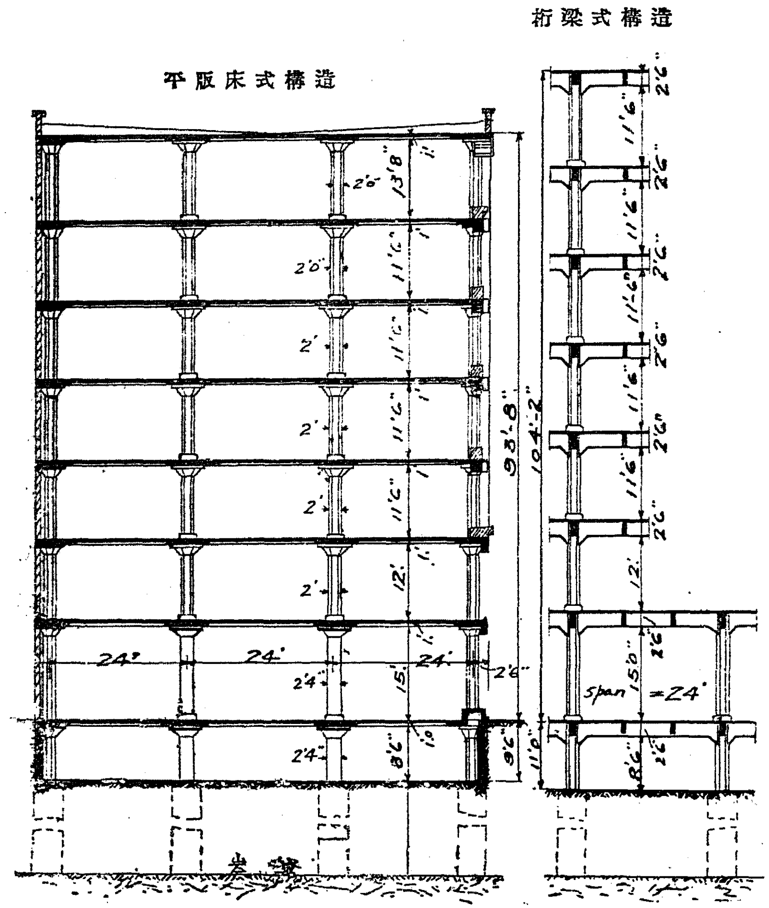
鐵筋混凝土建築物の形式は施工上の難易、材料の經濟、修理、採光法、換氣法の如何によりて一定して居ないが現今行はるるものは多く桁梁式 (Beam-girder system) を取つて居る、即ち桁を置き其間に小梁を更に入れて上に床又は天井を作るものである。現に今日行はれて居る鐵筋混凝土建築物は之が八九割を占めて居ると云ふても過言でない、然し此式が果して經濟的なるや否やは問題である。

桁を增加すればする程型を作る手數が殖え、且つ施工が困難になることは斯業に從事された人々のよく知らるゝ處であらう。又桁の深さの影響は階數の少ない場合には比較的小なるも之れが九階十階の高層建築になると遂には非常な損失になる、若し此式で八階建を作るものとすると、第四十一圖 (A) に示したる如く、平版床式では 93 呎 8 吋、桁梁式では 104 呎 2 吋であるから其の差が 10 呎 6 吋となる。故に平版床式では九階建とすることも出來る。之れは實際比較設計を施したものである。

桁は換氣及採光の上に邪魔になり、且つ室の有効高を減ずるものであるから何か桁の無い建物が出來そうなものだと色々と腐心

して考へ出したものが今日米國に用ひられる平版床式（Flat-slab floor system）である。一名ガーダーレス、スラブ(Girderless slab)とも云ふ。之は日本には未だ紹介されてない。本年著者が東京の六階建築に應用したのが最初であらう。

第四十一圖（A）



第四十七節　桁梁式構造建築に用ゆるスラブ

(I)　方形スラブ

桁と梁との徑間が相等しい場合には床スラブは方形となるが、此の場合には同量の鐵筋を互に直角なる二方向に配置せねばならぬ、而して床上の荷重は各半量づゝ兩方の組織に傳はるものとして計算するのが普通である、スラブとしての正確なる計算は非常に六つかしい、從て現今純理論に基く計算は無いと云ふてもよい、今日では以上に述べた通り各半量の荷重が一組織に傳はるものとし、床一尺幅を採り之を桁として計算し所要鐵筋量を定め此の配筋法を床の凡ての部分に應用するのである、故に鐵筋の間隔は何れの部分も同一である。

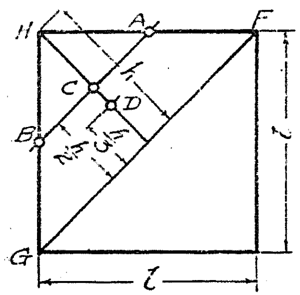
嚴格に論ずれば此の如き計算法が既に間違つて居る、何となれば此の如きスラブで中央部のストリップの撓度が床の端の方のストリップに於ける撓度よりも多いと云ふことは明瞭である、撓度が多ければ彎曲率が大で從て傳はる荷重が多い譯である、單桁であれば彎曲した時に抗壓力側の混凝土が一方に壓縮されるが、之れと直角なる方向には變形自由であるから從て弱いが、然しスラブでは抗壓力側の混凝土が四方から同時に壓縮され所謂ダブル、コンプレッション (Double Compression) を受ける。材料は此の

ダブル、コンプレッションを受けると非常に強い、此れがスラブの非常に強い理由で又同時に撓曲度の少ない原因である。

(a) 四邊共單に支持せられたるスラブの彎曲率

第四十一圖(B)に於て l を方形スラブの一邊の長さとし、w を一平方呎上の等布荷重とすれば其の任意の一邊上の反力は $\frac{wl^2}{4}$ で有る、其の反力の重心は其の支邊の中心點 A, B に在る、故に相隣接する二邊上の合成反力は AB 線の中心點 C に働いて居る、又 FGH 上の荷重の重心點は其の三角形の重心點 D で FG 線より $\frac{h}{3}$ の距離に在る。

第四十一圖(B)



今此等兩力の FG 線に關する力率を求むれば

$$M=\frac{wl^2}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{h}{3}\right)=\frac{wl^3}{24}\sqrt{2}$$

茲に M は對角線に沿ふ彎曲率の全量で有る、此の量を邊 GH, 又は HF に平行なる方向に分解すれば各 $\frac{M}{\sqrt{2}}$ で有るから徑間の中心線に沿ふて起る彎曲率全量は次の如し

$$M_1=\frac{wl^3}{24}$$

そこで次ぎに起る問題は彎曲率(M)は果して對角線に沿ひ平等で有るかどうかと云ふ事である、何人も此れは平等で無いと考ふることが出來る、何となれば撓曲度が徑間の中心にて最大で隅の方に進むに從ひ減少するが故に彎曲率も徑間の中央にて最大で有る

べき理で有る、獨逸のバッハ教授は其の爲めに以上の 24 と云ふ係數を 20 と改めるが適當で有ると云ふて居る、故に四邊の支持せられたるスラブの中心に於ける最大彎曲率は毎呎に對し次の如し

$$M_c=\frac{wl^3}{20l}=\frac{wl^2}{20} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (93)$$

(b) 其四邊共に固定せられたる方形スラブの彎曲率

鐵筋混凝土スラブでは其の緣端が完全に固定せられたりと假定し得る場合が殆んど起らない、何となればスラブが多くの徑間に亘り架せられて居るから隣接徑間に於けるスラブの負彎曲率は之れに接續せる次徑間のスラブの正彎曲率を增加する事となる爲めで有る、其の値に關し純理論が未だ發表されてない、次式はバッハ教授に依れるものである、

$$\left.\begin{array}{l} M_1=\text{スラブの固定部に於ける彎曲率}=\frac{wl^2}{24} \\ M_c=\text{徑間の中央部に於ける彎曲率}=\frac{wl^2}{36} \end{array}\right\} \cdots\cdots \quad (93')$$

以上の如くスラブの彎曲率が算定せらるれば其の厚さ及び鐵筋量は次式より定むることが出來る。

$$\left.\begin{array}{l} \text{スラブの有効厚}=d=0.028\sqrt{M}\ldots\ldots \\ \text{所要鐵筋量}\quad =A=0.092\,d\ \ldots\ldots \end{array}\right\} \cdots\cdots \quad (94)$$

但し上式は $f_s=16{,}000\,\#/\square''$, $f_c=650\,\#/\square''$, $n=15$ の場合である。

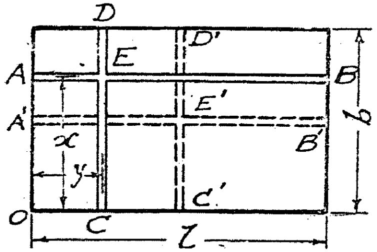
(II) 矩形スラブ

短邊と長邊との比如何に依て幅と長手との方向に傳はる荷重の分量が異つて居る、一般にスラブの長さが幅の一倍半に達するま

ての矩形では荷重が雙方に傳はるものと假定してよいが一倍半以上の比となつた場合には幅の方即ち狹い方にのみ傳はるものとせねばならぬ。

今第四十一圖（C）にて $AOCBD$ を矩形スラブとし其の幅を b 長さを l とせよ、徑間の中央にて各一呎の幅を有するストリップ(Strip) を $A'B'$ 及び $C'D'$ とす、此の二方向の鐵筋量が等しいものと假定すれば此等ストリップの斷面惰性率は互に相等しい、今スラブ上に等布荷重 w を加ふる時 $C'D'$ ストリップ上に來る單位荷重を w_1 とし、$A'B'$ 上に來る荷重を w_2 とせば、等布荷重を受くる桁の撓度は常に wl^4 に比例するから

第四十一圖（C）



$$C'D'\text{ の中心撓度}=cw_1b^4$$

$$A'B'\text{ の中心撓度}=cw_2l^4\ \text{（玆に } c \text{ は或る係數を示す）}$$

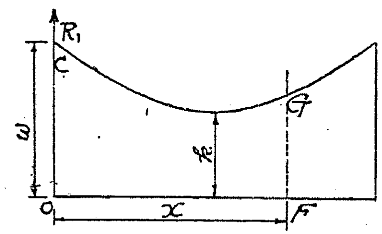
然るに $A'B'$ と $C'D'$ との交叉部にては撓度互に等しいから

$$w_1b^4=w_2l^4$$

即ち $$\frac{w_1}{w_2}=\frac{l^4}{b^4}$$

である、故に二つの互に直角なる組織に依つて負擔さるる荷重の分量は、各徑間長の四乘に反比例することが解る。

第四十一圖（D）



今 $w=w_1+w_2$ であるから上式より $w_1=(w-w_1)\left(\frac{l}{b}\right)^4$

即ち $$w_1=\frac{w}{1+\left(\frac{b}{l}\right)^4}$$

同樣に $$w_2=\frac{w}{1+\left(\frac{l}{b}\right)^4}$$

今スラブの幅の方向（$C'D'$）にて負擔すべき荷重を W_b とし長さの方向（$A'B'$）にて負擔すべき荷重を W_l としスラブ上の荷重全量を W とせば次ぎの如し

$$\left.\begin{aligned}W_b&=\frac{W}{1+\left(\frac{b}{l}\right)^4}=C_bW\\W_l&=\frac{W}{1+\left(\frac{l}{b}\right)^4}=C_lW\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\quad(95)$$

C_b C_l の値は第二十四表の如くである。

第　二　十　四　表

	比$\left(\frac{l}{b}\right)$					
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
C_b	0.50	0.59	0.67	0.75	0.79	0.83
C_l	0.50	0.41	0.33	0.25	0.21	0.17

佛國政府ではスラブはダブル、コンプレッションを受けて普通の桁の樣に撓度が多くないと云ふ事柄から次ぎの樣な係數の値を定めて居る、而して此の係數によれば鐵筋量は著しく減少される。

第二十五表

	比$\left(\frac{l}{b}\right)$					
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
C_3	0.33	0.42	0.50	0.58	0.65	0.72
C_4	0.33	0.26	0.20	0.15	0.12	0.08

四邊共固定せられたる矩形スラブの彎曲率

此の問題も早くから考究せられつゝある處である、獨國バッハ教授やフェップル教授 (Prof. Föppl) 等も實驗を施し近似算式を發表して居るが何れも完全なものでは無い、次ぎに比較的簡明なるスロカム教授 (Prof. S. E. Slocum) の解法を揭げよう。

第四十一圖 (C) に於て四邊共固定せられたるスラブを $ACBD$ とせよ、今互に直角に交叉せるストリップ (Strip) AB 及び CD を考へ其の交點 E 上に w なる單位荷重を加へたりとす、然るときは w は此の二ストリップにより運ばるる譯で有る、故に AB の運ぶ荷重を w_2 とし CD の運ぶ荷重を w_1 とせば E 點の撓度は次ぎの如し。

$$CD\ \text{ストリップにて}\ E\ \text{點の撓度}=d_1=\frac{w_1x^3(b-x)^3}{3EIb^3}$$

$$AB\ \text{ストリップにて}\ E\ \text{點の撓度}=d_2=\frac{w_2y^3(l-y)^3}{3EIl^3}$$

然るに E 點の撓度は互に相等しいから $d_1=d_2$ と置き w_1 に就き解けば

$$w_1=\frac{wb^3y^3(l-y)^3}{l^3x^3(b-x)^3+b^3y^3(l-y)^3}$$

本式を檢するに w_1 は $x=0$ 即ちスラブ端で最大で $x=\frac{b}{2}$ 即ちスラブの中央にて最少である、而して $x=0$ とせば $w_1=w$ となりて荷重の全量が CD ストリップに傳はることゝなる。

今 $x=\frac{b}{2}$ とせるとき w_1 の値は次式の如し、

$$k=\frac{wy^3(l-y)^3}{y^3(l-y)^3+\frac{l^3b^3}{64}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (a)$$

本式は y の六乘を含み分配荷重曲線を定むるに困難である、故に w_1 をストリップの中心にて k, 其の終端にて w なる値を有するものとし其の中間の分配荷重は拋物線狀に變化するものと假定す（第四十一圖、D)。此の如き荷重の配布狀態は實際の場合に近きものなりと云ふ、拋物線の性質より CD ストリップ上の全荷重 (W) は次ぎの如し。

$$W=wb-\frac{2}{3}b(w-k)=\frac{b}{3}(2k+w)$$

CD ストリップの固定端に於ける反力 (R_1) は $\frac{W}{2}$ で有るから

$$R_1=\frac{b}{3}\left(k+\frac{w}{2}\right)$$

今 CD を一ツの桁とし其の兩端固定せられ其の上に以上の如き荷重を加ふる場合の彎曲率を求むるに彎曲に關する一般式

$$\frac{d^2z}{dx^2}=\frac{M}{EI} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (b)$$

を用ふべし、而して第四十一圖 (D) にて桁の任意點 F に於ける

彎曲率 (M) は次の如し、

$$M=M_1-R_1x+M_s$$

茲に　M_1＝ストリップ固定端に於ける彎曲率

R_1＝同部の反力

$M_s=FG$ 線に關する $OFGC$ の靜力率

而して　$M_s=\frac{w-k}{6b^2}(2x^4-4bx^3+3b^2x^2)+\frac{kx^2}{2}$

此等の値を (b) 式に代用し積分して簡約にせば次式を得べし

$$\left.\begin{array}{l} M_1=\frac{b^2}{60}(w+4k) \\ M_c=\frac{b^2}{240}(w+9k) \end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (c)$$

今 $k=w$ と置けば

$$M_1=\frac{wb^2}{12},\qquad M_c=\frac{wb^2}{24}$$

となる、此等二式は固定端を有する桁上に等布荷重を加へたる場合の固定端及び中心に於ける彎曲率て有る、(a) 式にて $y=\frac{l}{2}$ と置けばストリップの中央部に於ける荷重を得べし、即ち $w_1=\frac{wl^3}{l^3+b^3}$.
此の値を (c) 式に代用せば

$$M_c=\frac{wb^2}{240}\left(\frac{10l^3+b^3}{l^3+b^3}\right)$$

今方形スラブの場合に於ける M_c を見出すには $l=b$ として

$$M_c=\frac{11}{480}wl^2\fallingdotseq\frac{wl^2}{44}$$

本式の値は既に揭げたるバッハ氏式よりも少て有る、然し前にも述べた通り實際上に起る鐵筋混凝土スラブでは其の端が完全に固定の狀態に在ることが少ないから其の場合に應じ適當の値を定め

ねばならぬ。

スラブ厚及び鐵筋量を算定するには第 (94) 式を用ひて可なり。

例　連續スラブ床上の荷重＝200 封度（每平方呎）

有效徑間長各 14 呎（即ち方形スラブ）

此の場合に於けるスラブ厚及び所要鐵筋を定めよ。

解　スラブは連續形なるを以て徑間中央の彎曲率を $\frac{wl^2}{12}$ とす、茲に w は每平方呎の荷重である、スラブの厚さを五寸即ち六吋と假定せばスラブの自重は每平方呎に 75 封度て有る。

故に一平方呎上の全荷重は 275 封度となる。

方形スラブでは此の荷重は半分づゝ各組織に傳はるから、

$$w=\frac{275}{2}=137.5\ \#/\square'$$

今スラブ幅一呎のものを考へて徑間中央の最大彎曲率 M_c は次ぎの如くである

$$M_c=\frac{wl^2}{12}=\frac{137.5\times14\times14\times12}{12}=26{,}950\ \text{吋封度}$$

故に所要有效厚は

$$d=0.028\sqrt{M_c}=4.59\ \text{吋}\fallingdotseq4.6\ \text{吋}$$

即ち假定せるスラブ厚は 6 吋であるから、互に直角に重なり合ふ鐵筋の重心よりスラブ下線までの距離は　6.－4.6＝1.4 吋

スラブ每一呎に對し所要鐵筋量は

$$A=0.092\,d=0.423\ \text{平方吋（每呎）}$$

即ち 7/16 吋丸鐵を $4\frac{1}{4}$ 吋の間隔に配置すれば充分である。實際

施工の際には前にも述べた通り徑間の中央に於て密に、端の方で遠く配置する方合理的で有るから徑間の中央三分の一區間内は間隔四吋間に端三分の一區間には四吋半乃至五吋の間隔に置く方が宜しい。

第四十八節　平版床 (Flat-slab Floor) の樣式と構造

平版床は之を鐵筋の配置法より次の三種に別けることが出來る。

1. 二方向鐵筋插入法 ｛アクメ式 (Akme system). コル、プレート式 (Corr-plate floor).
2. 三方向鐵筋插入法、モーロー式 (Morrow-system).
3. 四方向鐵筋插入法、マッシュルーム式 (Mushroom system).

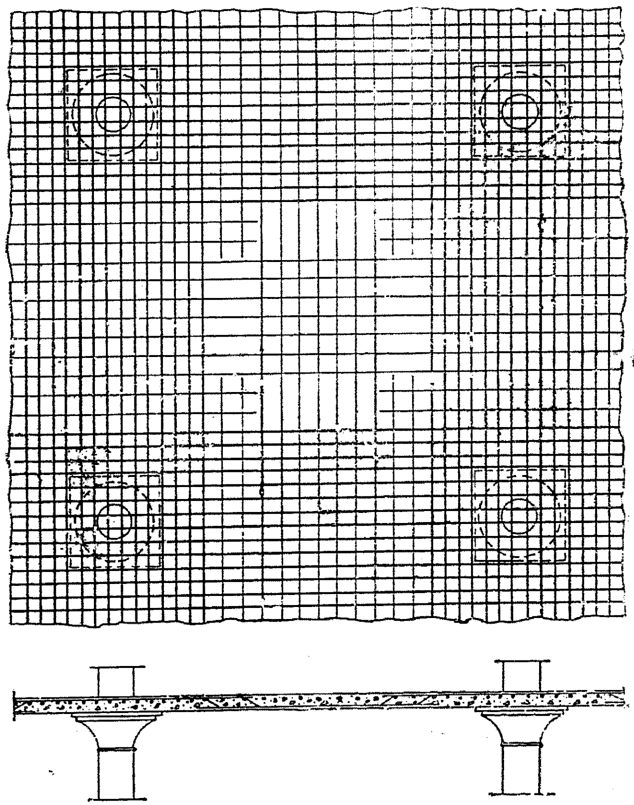
アクメ式はシカゴのコンドロン氏が千九百十一年に米國特許を得たもので内部の鐵筋が等距離に互に直角なる二方向に配列してある(第四十二圖參照)。コル、プレート式床は前者と殆ど同じなるも只鐵筋を柱の上で密に中央の方で粗く配列してある。之は千九百十一年コルゲーテッド、バー會社で護謨板で床を作り之に水壓を加へて撓曲度を計り、鐵筋の插入法を考案したものである(第四十三圖參照)。

モーロー式床　千九百十三年米國人ダビッド、モーロー氏が案出したもので之も專賣になつて居る、此の特長は柱が常に正三角形の位置に配列してある(第四十四圖參照)が、之は特種の建造物又は倉庫の外には餘り用ひられない。

マッシルーム式床。米人ターナー (C. A. P. Turner) 氏が創案したもので四方向鐵筋插入法の床であるが氏は千九百六年頃に既に之を使ふて居つた(第四十五圖參)。

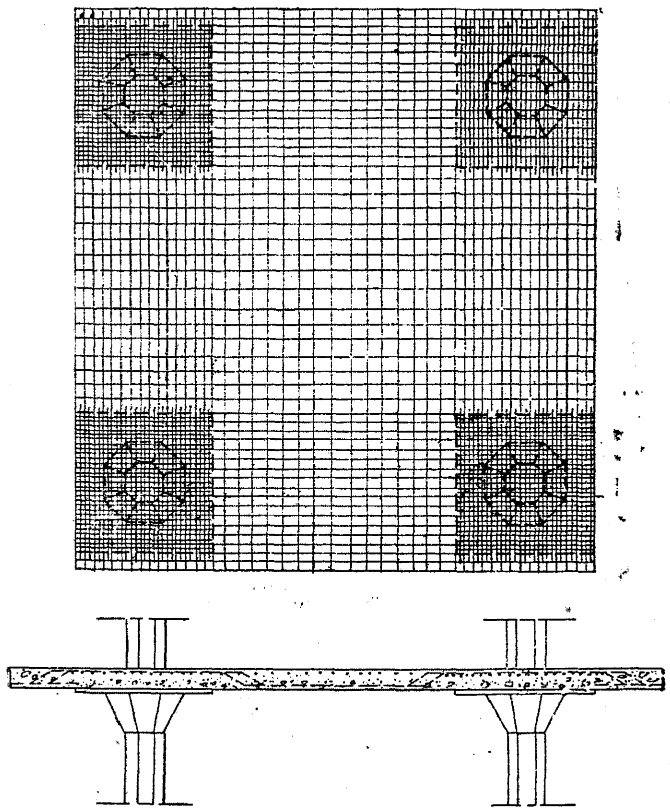
第四十二圖

アクメ式床

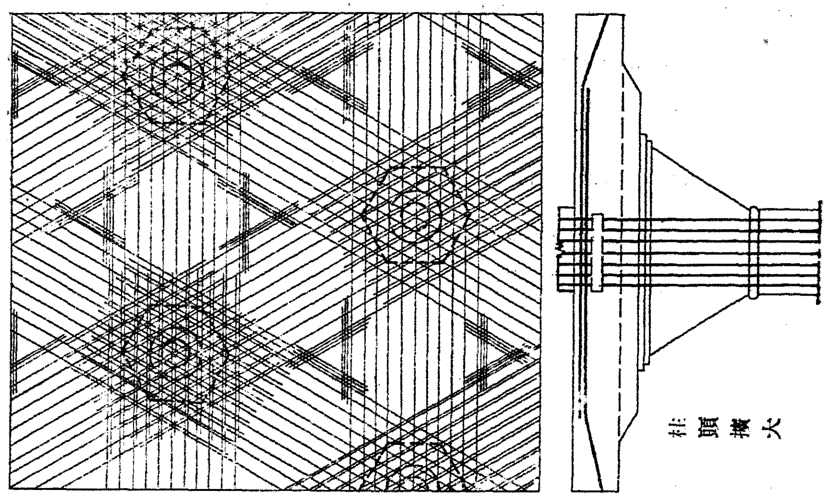


第四十三圖

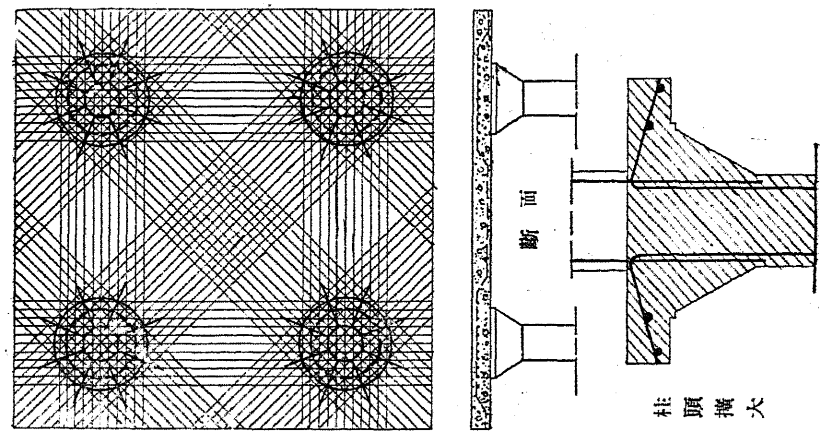
Corr, Plate Floor.



第四十四圖 モーロー式床



第四十五圖 マッシュルーム式床



千九百十一年以後コルブレート式モーロー式等が特許を受けたので此人もマッシュルーム式として特許を受けたのである。之は薄くて器用なスラブである。他の諸式は皆之を模倣したものである。

以上四種の様式の内で應力の關係から云ふとマッシュルーム式床が最も宜しいが薄き床へ四方向に鐵筋を入れるのであるから施工上の困難は免かれない。

二方向式に於ては此缺點はない。三方向は此二つを折衷したに過ぎない。

施工の容易なる爲め現今は二方向式を用ひてゐる處が多いが、強度は四方向の方が優れて居る。一般にフラット、スラブ床を用ひて鐵筋混凝土骨格構造にすれば窓を如何に多く設くるも差支なく、屋内をも尙屋外の如く明くすることが出來る。

平版床の計算法は未だ純理論的のものはないが殆んど理論に近いものはある。(Dr. H. T. Eddy's The Theory of Flat Slab を參照せよ）理論的計算法や實驗的調査が 1911 年以降頻りに施されて居るのみならず、實際の建築物や橋梁等にも頻りに應用されて居るから實際に應用して何等懸念せらるゝことは無い、勿論設計に當りては充分學理的研究と經驗とを要するは申すまでもない。

第四十九節　平版床の計算法

(Calculation of flat slab floor)

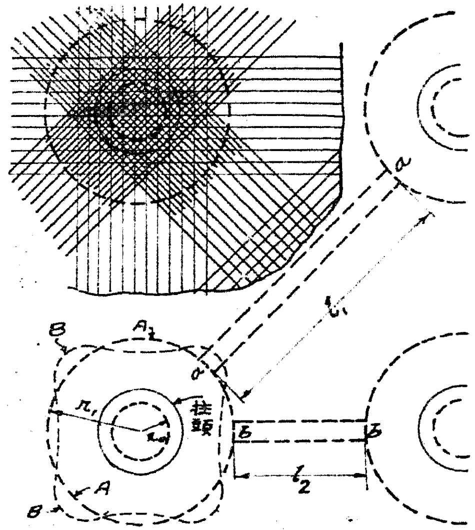
今日まで知られたる計算法は色々ある、何れも純理論に基いた

ものでは無い、要するに近似解法に過ぎない、ターナー氏經驗式、カンチレバー法、タルボット氏法、グラショッツフ氏法、平圓板理論解法及びエッディー氏法等で有る。此の内尤も理論的なのはエッディー氏法であるが頗る煩雜な式であるから、平圓板理論解法が現今最も解かり易い方法であらう、依て今此の方法を一應紹介して置かう。

マッシュユルーム式平版床の計算法。

第四十六圖

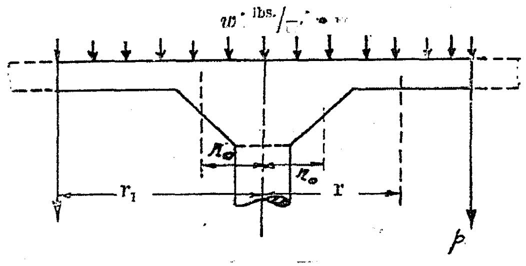
(I)



第四十六圖に於て (I) をマッシュルーム式床の平面圖 (II) を柱頭部の斷面とす、配筋法は (I) 左上部に示したるが如くである。今床上に荷重を加ふれば柱頭の廻りに彎曲率の零なる線即ち反曲

線が出來る。徑間長は柱と柱との對角線に添ひて大であるが柱相互の間隔は小であるから此の反曲線の形狀は大略 B 線の如きものである。最近實驗した結果（米國ロード氏（Lord）は此の點を實驗上から定めたことが 1912 年に發表されて居る）も亦此の如き線に近いものである。此の如き形狀のもので本問題を取扱ふのはやや複雜するを免れないから、此の反曲線を平均の圓形（圖中 A 線にて示す）と假定して解くのである、而して此の圓外の荷重は此の圓の緣に懸垂した荷重 p とし、反曲線内の荷重は直接此の平圓版上に働くものとする、つまり此の反曲線の圍む圓版は懸

第四十六圖 (II)



垂荷重 p と等布荷重 w とを支持するものとして計算するのである、圓と圓との間に在るスラブ即ち第四十六圖（I）に示せるストリップ aa 及び bb は a 點及び b 點に於て彎曲率各零であるから l_1 及び l_2 の徑間長を有する單桁として計算すれば宜しい。

そこで次ぎに起る問題は此の二種の荷重に働かるる平圓板を如何にして理論的に計算するかと曰ふことである、それにはエッディー博士（Dr. Eddy）の Analysis of Stresses in a Homogeneous Circular Plate (Engineer's Society, University of Michigan, 1899 を見よ）に依るのが尤も合理的で有る、同博士の理論解式は頗る複雜なものであるが、結局此の如き物體では其の何れの部分を問はず、半徑の方向に起る處のラディアル、ベンデング、モーメント (Radial Bending moment) と、圓周の方向に起るサーカムフェレンシアル、ベンデング、モーメント (Circumferential Bending moment) とが有ると云ふことに歸着する。

今茲に結果式のみを紹介しよう。

p＝反曲線の圍む平圓板の緣端に懸垂して働く荷重(毎呎長につき封度數)。

w＝同平圓板上の等布荷重（毎平方呎に付き封度數)。

r_0＝最大彎曲率の起る線までの半徑（柱頭線より少しく內方)、呎。

r_1＝平圓板の半徑、呎。

r＝彎曲率を見出さんとする任意點までの距離(但し平圓板中心點より呎にて)。

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_a, C_b, C_c, C_d, C_r 等は常數。

M_c＝Circumferential Bending moment.（但し平圓板上の等布荷重 w に對するもの)。

M_c'＝同　上（但し板緣上の懸垂荷重 p に對するもの)。

M_r＝Radial Bending moment.（但し平圓板上の等布荷重 w に對するもの)。

M_r'＝同　　上（但し板緣上の懸垂荷重 p に對するもの）。

然るときは

$$M_c=wr_0^2\left\{0.1\left(\frac{r}{r_0}\right)^2-C_1\left(\frac{r_0}{r}\right)^2-C_3\log\left(\frac{r}{r_0}\right)+C_4\right\}$$

$$M_c'=pr_0\left\{-C_a\left(\frac{r_0}{r}\right)^2-C_c\log\left(\frac{r}{r_0}\right)+C_d\right\}$$

$$M_r=wr_0^2\left\{0.2\left(\frac{r}{r^0}\right)^2+C_1\left(\frac{r_0}{r}\right)^2-C_3\log\left(\frac{r}{r_0}\right)+C_4\right\}$$

$$M_r'=pr_0\left\{C_a\left(\frac{r_0}{r}\right)^2-C_c\log\left(\frac{r}{r_0}\right)+C_b\right\}$$

以上の式を簡單なる形とせば次の如くになる

$$M_c=C_c\,wr_0^2\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (96)$$

$$M_c'=C_c'\,pr_0\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97)$$

$$M_r=C_r\,wr_0^2\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (98)$$

$$M_r'=C_r'\,pr_0\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (99)$$

C_c, C_c', C_r, C_r'　の値は $\frac{r_1}{r_0}$, $\frac{r}{r_0}$ の比如何によりて變化するもので此等の數値は第四十七圖及び第四十八圖から直ちに求むることが出來る。

第五十節　平版床設計上の要旨と計算實例

(a)　四方向の鐵筋が柱頭部に於て何れも射出する樣に配列せしめ鐵筋帶を以て床の全面を覆ふことが必要である、然らざれば思はぬ龜裂を生ずることが有る。

(b)　鐵筋帶の幅は 0.365 L 乃至 0.4 L とすれば以上の缺點が除かれる、玆に L は柱の間隔である。

(c)　柱頭は必ず擴大するの必要がある然らざれば床が柱を突き抜けることがあるのみならず、此の部分の彎曲率を徒らに大ならしむる事となる、柱頭を擴大する標準は次の如くである。

0.225 L 乃至 0.3 L

(d)　柱頭の周圍に出來る反曲線の平均半徑は柱の中心點より

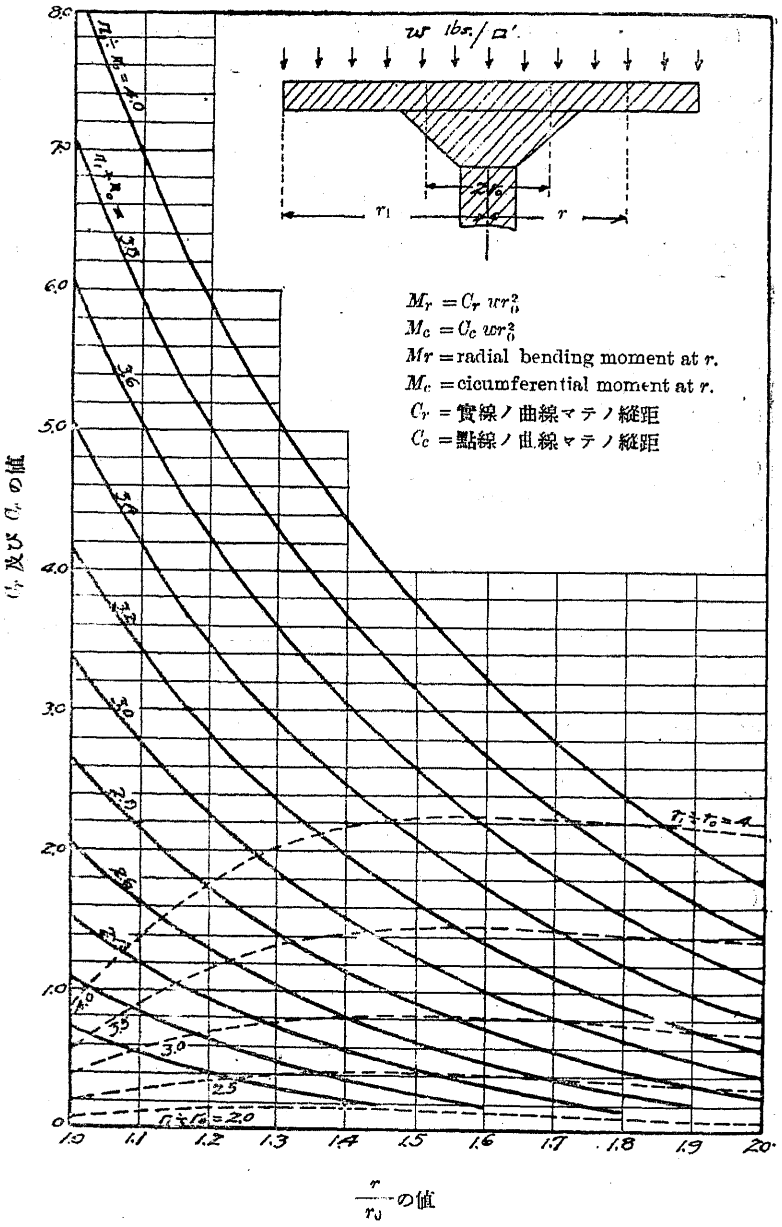
$0.275\,L$

と假定して可なり、或は又スラブの有效徑間を定むれば其の長さの五分の一の點に反曲點あるものと假定することが出來る、實際の設計に當りては何れか大なる方を撰び平圓板の半徑を定むべきである。

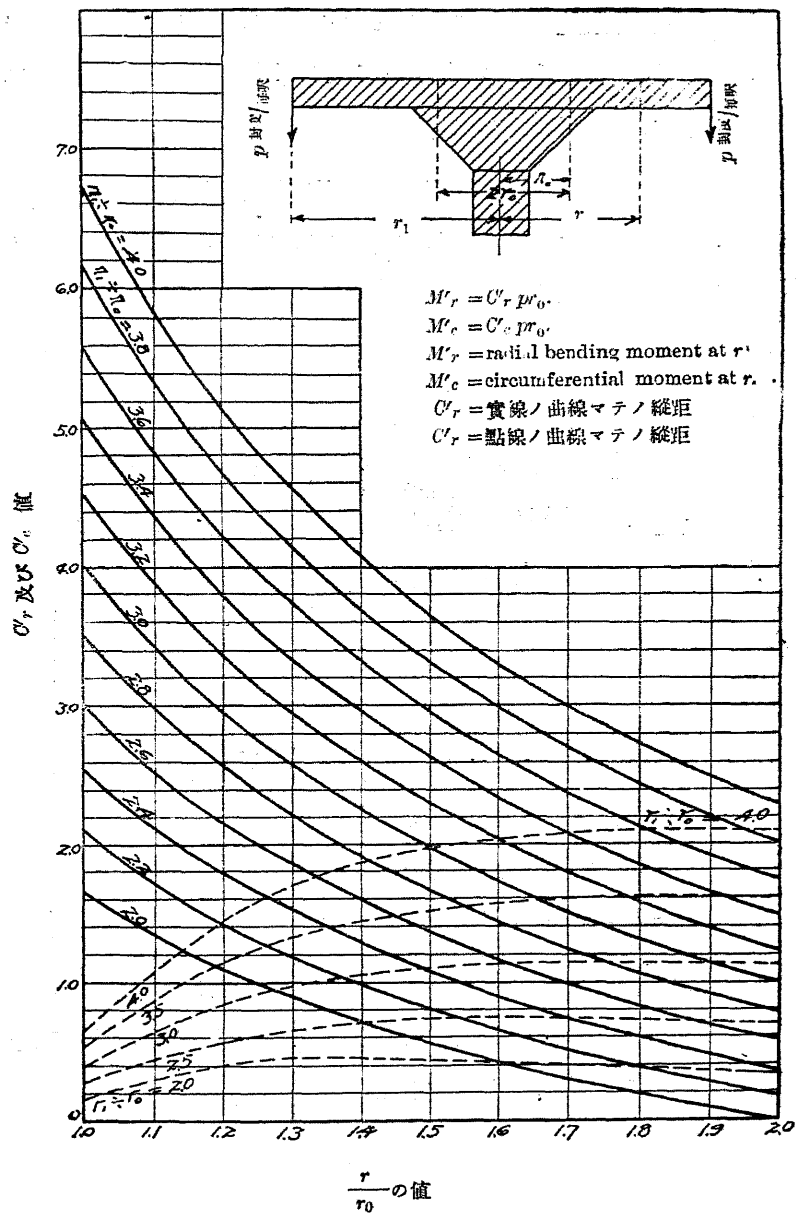
(e)　スラブの中央部では彎曲率が非常に小であることは實驗上から明かになつて居る、之れ元よりスラブ作用に依るものである、然し柱頭上にては彎曲率は意外に大であるから、此の部分の設計には充分の注意を要する、そこで實際上には此の部分のスラブの厚さを增加して抵抗力率腕を長くし鐵筋を減ずると同時に床を丈夫にすることが必要で有る、此の床の厚き部分をドロップ(Drop) と稱して居るが其の形は四角形又は八角形圓形等何れでもよいが其のドロップの幅は 0.3 L を最少限とし活重の如何により適當に定むるがよい。

(f)　第四十七、四十八圖等にも示して有る通り柱頭は柱よりも擴大してあるから、r_0 を定むるに困る、其の定め方は一般に次ぎ

第 四 十 七 圖


w lbs./□'
r_1
r
$2r_0$
$M_r = C_r wr_0^2$
$M_c = C_c wr_0^2$
Mr = radial bending moment at r.
M_c = cicumferential moment at r.
C_r = 實線ノ曲線マテノ縱距
C_c = 點線ノ曲線マテノ縱距
C_r 及び C_c の値
$\frac{r}{r_0}$ の値

第 四 十 八 圖


r_1
r
$2r_0$
$M'_r = C'_r pr_0$
$M'_c = C'_c pr_0$
M'_r = radial bending moment at r
M'_c = circumferential moment at r.
C'_r = 實線ノ曲線マテノ縱距
C'_r = 點線ノ曲線マテノ縱距
C'_r 及び C'_c 値
$\frac{r}{r_0}$ の値

の如くである、即ち床厚の二倍となる點にて r_0 を取る。例へば 8 吋厚のスラブであれば 16 吋厚に達したる點にて r_0 を定むるのである、但しドロップを用ひて床を厚くした場合には薄き部分の床厚の二倍にして宜しい。

(g) 此の如きスラブ應用の範圍は正方形床又は短邊が長邊の長さの 3/4 より小ならざる矩形床に限る、餘り長方形に失したる場合には應用せぬがよい。

(III) 設計例。

次の條件の下に平版床を設計せよ。

活重＝75 #/□′　自重＝125 #/□′ (8 吋厚スラブ外に灰殼コンクリート厚 2 吋) 柱＝二呎八角形、柱の間隔＝21′×21′

f_s＝16,000 #/□″　f_c＝500 #/□″.

(解)

(1) ドロップの大さ、

0.33 L＝0.33×21＝6.93 呎＝7.0 呎とす。

(2) 柱頭擴大の大さ及び r_0 の撰定

0.225 L＝4.72 呎 56 吋とす

$r_0=\frac{56}{2}-6=22$ 吋＝1.83 呎。

(3) 假定反曲線圓の半徑 (又は平圓板の半徑)

直角の方向にて反曲點の位置。反曲點は有效徑間の五分の一の點に在りと假定して

$$a_1=\frac{1}{5}(21-2\times1.83)+1.83=5.49 \text{ 呎}$$

對角線の方向にての反曲點の位置。

$$a_2=\frac{1}{5}(29.7-2\times1.83)+1.83=7.03 \text{ 呎}$$

平均半徑即ち所要平圓板の半徑は

$$r_1=\frac{5.49+7.03}{2}=6.26 \text{ 呎} \fallingdotseq 6.3 \text{ 呎}$$

(4) 平圓板の平面積＝$\pi\overline{6.3}^2$＝125 平方呎

平圓板上の荷重＝125×200＝25,000 封度

21 呎角床上の全荷重＝21×21×200＝88,200 封度。

(5) 平圓板外周に於ける懸垂荷重の全量

＝88,200－25,000＝63,200 封度

p＝每呎長の懸垂荷重＝$\frac{63,200}{\pi\times12.6}$＝1,590 封度/每呎

(a) 反曲線に於ける單位剪力＝$\frac{1,590}{12\times7}$＝18.8#/□″

(b) 圓形ドロップの緣線に於ける單位剪力

$$v_2=\frac{88,200-\frac{\pi\times7\times7\times200}{4}}{\pi\times7\times12\times7}=43.6 \text{ \#/□″}$$

(c) 柱頭緣線に於ける單位剪力ドロップの厚さを六吋と假定す

$$v_3=\frac{88,200-\frac{\pi\times4.7\times4.7\times200}{4}}{\pi\times56\times(8+6-4)}=48.1 \text{ \#/□″}$$

此等の單位應剪力は純混凝土に對して安全なり。

(6) 柱頭緣端に於ける最大彎曲率 (Radial Bending moment)

柱頭緣線にて r＝28 吋

故に $r/r_0=\frac{28}{22}=1.273$

$$r_1/r_0=\frac{6.3}{1.83}=3.44$$

此等の値により第四十七圖及び第四十八圖から

$$C_r=3.20 \quad C_r'=3.5$$

$$M_r=C_r w r_0^2=3.2\times200\times\overline{1.83}^2\times12=25{,}800.\ \text{吋封度}$$

$$M_r'=C_r' p r_0=3.5\times1.590\times1.83\times12=122{,}200.\ \text{吋封度}$$

故に最大彎曲率 M は次きの如し

$$M=M_r+M_r'=148{,}000\ \text{吋封度}$$

(7)　柱頭上に於て要する鐵筋量。

$A=\frac{M}{f_s jd}$, $j=0.86$ と假定せば

$$A=\frac{148{,}000}{16{,}000\times0.86\times(14-2)}=0.899\ \text{平方吋/每呎}$$

玆に床上面より鐵筋重心點まで二吋とせり然るに玆に四方向鐵筋挿入式であるから互に直角をなして居る鐵筋帶と、又之れと四十五度の方向で更に直角を爲して居る鐵筋帶とが有る、四十五度の角度に走つて居る鐵筋は Cos 45° 丈け有效である、今 a を以て一鐵筋帶に於ける所要鐵筋量とすれば

$$a\,(1+2\cos45^\circ)=0.899$$

即ち $a=\frac{0.899}{2.404}=0.374$ 平方吋/每呎

故に 1/2 吋丸鐵を五寸二分の間隔に配置すれば宜しい。

(8)　柱頭部に於ける混凝土上の應壓力

$$\text{Total Tension}=T=\frac{M}{jd}=\frac{148{,}000}{0.86\times12}=14{,}330\ \text{封度}$$

$$f_c=\frac{2T}{kbd}=\frac{2\times14{,}330}{0.42\times12\times12}=475\ \#/\square''$$

(9)　徑間の中央に於ける鐵筋量

單桁徑間長は 21.－2×5.5＝10′呎

$$\text{最大彎曲率}=M=\frac{wl^2}{8}=\frac{200\times10\times10\times12}{8}$$

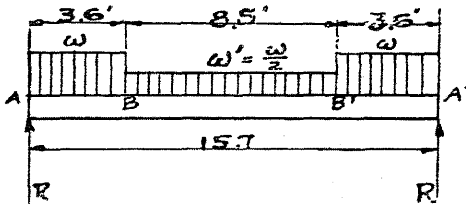
$$=30{,}000\ \text{吋封度/每呎}$$

所要鐵筋量 $A=\frac{M}{f_s jd}=\frac{30{,}000}{16{,}000\times0.86\times7}=0.312$ 平方吋.

柱頭部に定めたる鐵筋配置即ち 1/2 吋丸鐵五寸二分間を延長したるのみにて充分である。

(10) 對角線上の中央部に於ける鐵筋量

第四十九圖



對角徑間の中央部には互に直角に交叉する二組の鐵筋帶が有つて各一半の荷重を負擔することが出來る、故に第四十九圖に示した如く中央八呎六吋間（鐵筋帶の幅）は荷重が半減されて每平方呎につき百封度である。

單桁徑間長＝29.7－2×7.0＝15.7 呎

$$R=3.6\times1.0\times200+\frac{8.5\times1.0\times100}{2}=1{,}145\ \text{封度}$$

$$\text{最大彎曲率}=\left[R\times7.85-3.6\times200\times(4.25+1.8)-\frac{8.5\times100}{2}\times2.13\right]\times12=44{,}750\ \text{吋封度}$$

$$\text{所要鐵筋量}=A=\frac{44{,}750}{16{,}000\times0.86\times7}=0.466\ \text{平方吋。}$$

故に 1/2 吋丸鐵を四寸の間隔に配置するを要す。

第五十一節　平圓版床の實驗成績

鐵筋混凝土平圓版床の實驗はタルボット教授が已に 1910 年頃より始めて居り今尚研究を繼續して居る、研究の方法は支柱の廻りに起る反曲線圏内の部分を平圓版と見做し其の周邊に等布荷重を加へて此の平圓版内の應力分布の狀態を研究するのである。著者と同時にタルボット教授の下で研究して居つたイールス氏が 1913 年イリノイ大學、力學實驗室で研究したのは前記平圓版内のサーカムフェレンシアル、ベンヂング、ストレッス (Circumferential Bending stress) と ラヂアル、ベンヂンク、ストレッス (Radial Bending stress) との分布を研究し併せて鐵筋挿入法の優劣をも調べたもので第五十圖乃至第五十五圖に示せる四種類の供試材を使用した、而して其の實驗の大體の結果は第二十六表の如くである。

イールス氏が實驗を遂げ、應力分布の有樣から得たる結論の大要は次ぎの如くである。

(1) スラブに施すべきフープ (Hoop) 即ちサーカムフェレンシアル、ロッドは支柱頭橡端より離るるに從て其の間隔を密にするを要す、而してフープは荷重より起るスラブの彎曲に抵抗することが出來る。

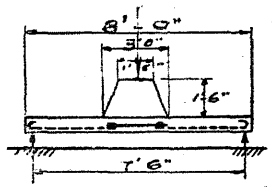
第二十六表

平圓版床の實驗成績

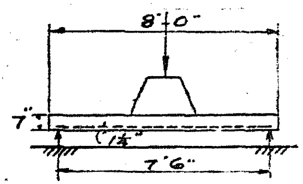
スラブ直徑八呎、厚七吋、混凝土調合、1:2:4.

スラブ番號	材齡(日數)	鐵筋量(%)	最大荷重 (封 度)
1	60	0.621	35,000
2	60	0.621	33,000
3	58	0.621	50,000
4	61	0.621	50,000
5	60	1.242	62,500
6	61	1.242	70,500
7	61	1.242	78,000

第五十一圖

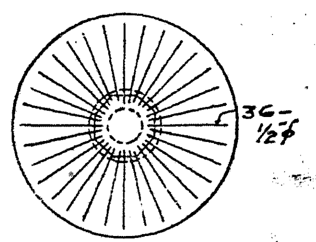


第五十圖



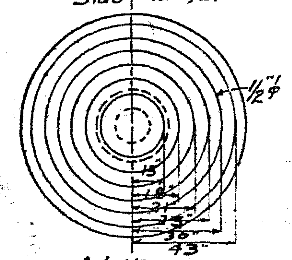
Slab No.3.4.

第五十三圖



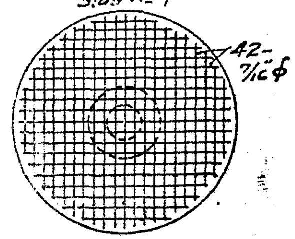
Slab No.1,2.

第五十二圖



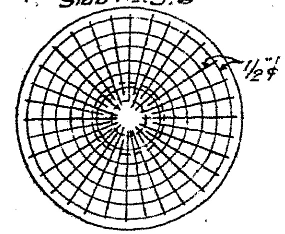
Slab No 7

第五十五圖



Slab No.5.6

第五十四圖



(2) 此等フープを有するスラブの撓度は之れを有せざるものに比し頗る小であるから底面即ち應張力側にフープを挿入すればスラブを補强すること少なくない。

(3) スラブ破壞の狀態を概言すればフープのみを鐵筋とせるスラブはプンチング、シアー (Punching shear) により破れ、射出筋のみのスラブは半徑の方向に走れる龜裂により破れたること豫期の如くて有つた、其他は鐵筋の滑脫が原因を爲して居た。

(4) 此の實驗に於て第七號スラブは同量の鐵筋を挿入せる第五號、第六號スラブよりも平均 18% 丈け多くの荷重を支持することが出來た。

第五十二節　柱下フーチング、スラブ

(Footing slab for Column)

(I) **形式**、今日まで最も多く用ひられて居るのは四角形のものである。此外六角形、八角形、圓形等も使用せられて居る、普通煉瓦や混凝土のフーチングで有れば非常に多くの材料を要するが鐵筋混凝土で有れば頗る薄い一枚板に鐵筋を配すれば宜いから經濟的に出來る。

第五十六圖は佛國リスルの或る製造所の基礎に用ひたもので 130 米突噸を支持せりと云ふ。又第五十七圖は米國アトランタ停車場の柱下に用ひたものである、其他第五十八圖及第五十九圖の

如き形式のものも在る。

(II) **正方形フーチング、スラブの算計法。**

タルボット教授は 1909 年から 1913 年に亘り多數のフーチング、スラブに就き實驗的研究を遂げた結果次ぎの計算式を提出した。

今支柱を a 呎角、フーチング、スラブを l 呎角とし、荷重から來る地壓力を每平方呎に w 封度とせば、支柱面に於ける最大彎曲率 (M) は次式の如くである。

$$M=\left[\frac{1}{8}a\,(l-a)^2+\frac{3}{40}\,(l-a)^3\right]w$$

今 $(l-a)=2e$ とせば上式は次の如し

$$M=\left(\frac{1}{2}ae^2+0{\cdot}6e^3\right)w \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (100)$$

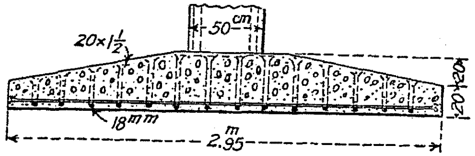
さて次ぎに彎曲率に抵抗するスラブ幅が幾何であるかと曰ふことが問題である、實驗の結果によるとスラブ緣端の鐵筋は殆んど效力が無い處から見ても抵抗斷面はスラブ幅よりも小であるべきことが解る、タルボット教授は多くの實驗的研究から此の Equivalent beam width (b) と云ふものを次式の如く表はした。

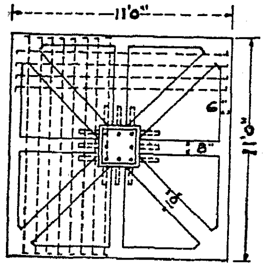
$$b=a+2d+\frac{1}{2}\,(l-a-2d) \quad \cdots\cdots\cdots \quad (101)$$

茲に d=スラブの有效厚なり。然し此の式の第一、第二項の和がスラブ幅よりも廣き場合にはスラブの全幅が桁として働くものとす。

M と b とが定まれば

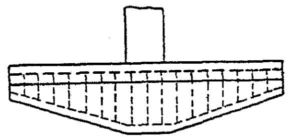
第五十六圖



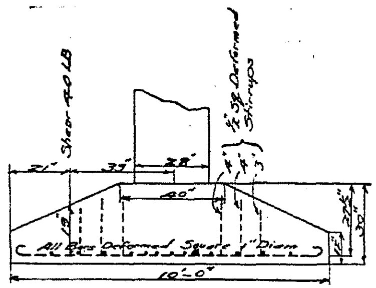


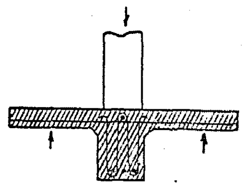
第五十七圖

第五十八圖



第五十九圖





$$A=\frac{M}{f_s j d}$$

$$f_c=\frac{2M}{kjbd^2}$$

の式から所要鐵筋量及び混凝土上の應壓力を算定することが出來る。

又正方形なる柱面に於ける剪力（V）は次ぎの如し（但し柱の一面に添ふて）

$$V=\frac{1}{4}(l^2-a^2)w \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\quad (102)$$

故に粘着應力（u）は

$$u=\frac{V}{m o j d} \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\quad (103)$$

玆に m＝鐵筋の本數、0＝鐵筋一個の斷面周長。

(III)　**圓形又は八角形フーチング、スラブの計算法。**

此れは一の圓板と見做すことが出來るから第四十九節に述べた計算法は其儘用ゆることが出來る。

從て第四十七圖を用ゆれば半徑の方向と圓周の方向との彎曲率が求められ合理的なる配筋が出來る、其の計算法は平圓板の場合と全く同一であるから玆に贅言せず。

第五十三節　フーチング、スラブの實驗成績

配筋法の優劣と實際の强度とを知悉するには正確なる實驗成績に依らねばならぬ、前にも述べた通りタルボット教授は 1909 年以

來約七十五個の五尺角フーチング、スラブを實驗して研究された(Reinforced Concrete Wall Footings and Column Footings by Prof. A. N. Talbot, Bulletin No. 67, University of Illinois, 1913. を見よ)其の成績の一部を茲に紹介して設計者の參考に供しよう、第六十圖乃至第六十二圖は實驗材及び試驗成績の一般を示したものである。

計算上の結論は前に述べたから茲には同敎授の示せる設計及び施工上の注意を述べよう。

1. フーチング、スラブの設計には粘着抵抗を充分檢するの必要がある、多くの場合に於て鐵筋の離脫により破壞を招いた、故に鐵筋端は混凝土內に充分曲げ込み且つ粘着面を多からしむる必要がある。

2. スラブ鐵筋下の混凝土の厚さは二吋以上(三吋位が可なり)とすること肝要である。

3. 普通大のスラブでは餘り太い鐵筋は使用せぬ方が宜しい、即ち間隔が細かくとも細き方可なり、先づ 3/4 吋鐵筋より細きを撰用すべきである、又變形棒 (Deformed bars) は一般に粘着抵抗著しく高い。

4. 鐵筋を水平にループ (loop) 形に曲げて配置する方法も宜しい、而して粘着應力も一般に高い。

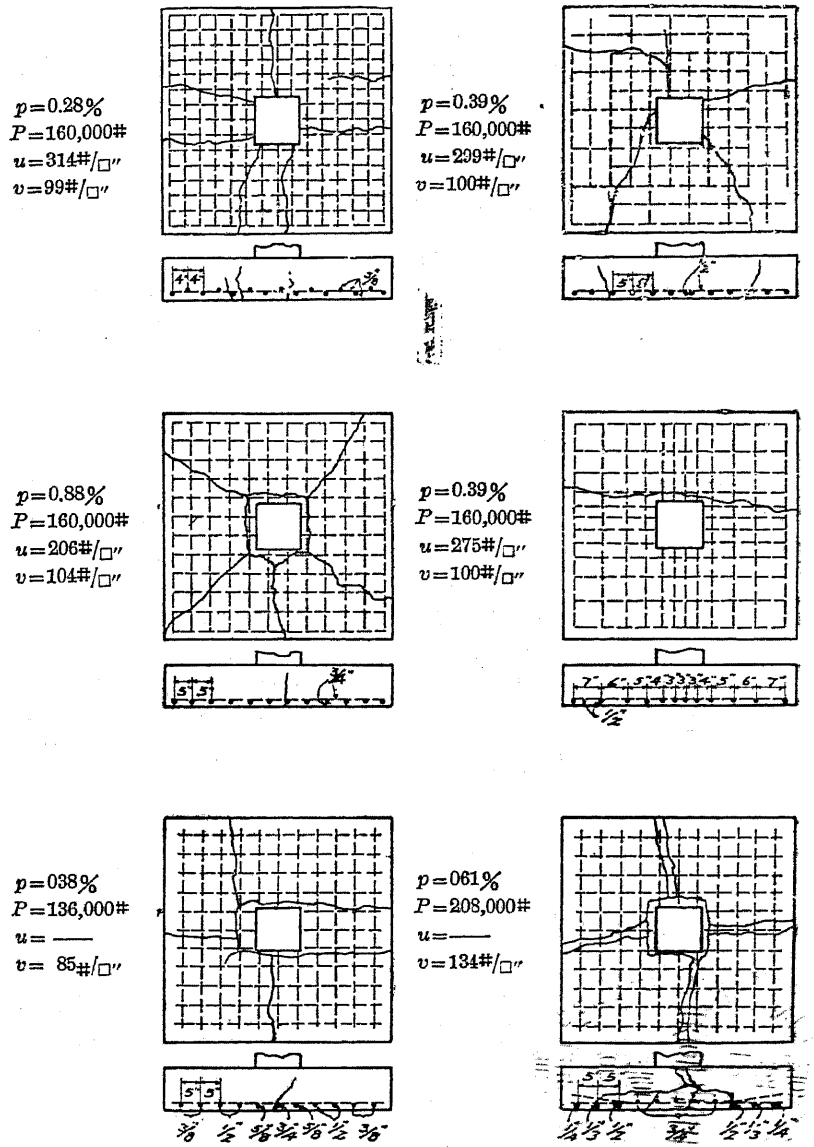
5. 高度の應剪力をスラブに許すのは恐るべき筋違張力 (Diagonal Tension) を生ぜしめ、甚だ危險であるから先づ普通桁の場

第六十圖

五呎角 フーチング、スラブ (柱下)

1-2.5-5 混凝土

スラブ厚十一吋、有效厚十吋



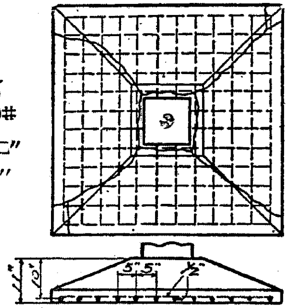
(注意) p=鐵筋量百分率、 P=フーチング上の最大荷重

u=單位粘着力(#/□″)、 v=單位應剪力(#/□″)

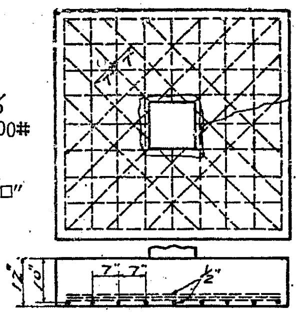
第六十一圖

五呎角 フーチング、スラブ (柱下)

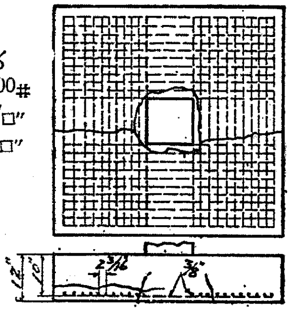
p=0.39%
P=88,000#
u=131#/□″
v=59#/□″



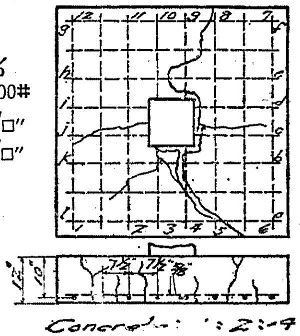
p=0.59%
P=210.000#
u=――
v=135#/□″



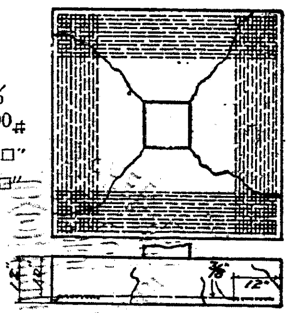
p=0.41%
P=201,000#
u=281#/□″
v=131#/□″



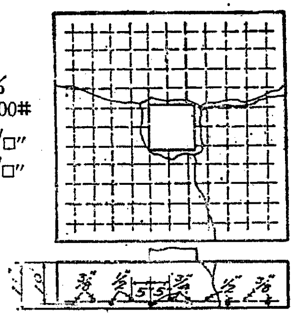
p=0.41%
P=192.000#
u=425#/□″
v=119#/□″



p=0.41%
P=233,000#
u=152#/□″
v= 71#/□″



p=0.42%
P=160.000#
u=266#/□″
v=123#/□″



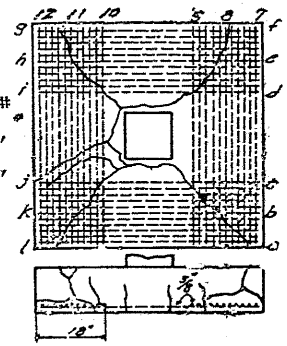
第六十二圖

五呎角 フーチング、スラブ (柱下)

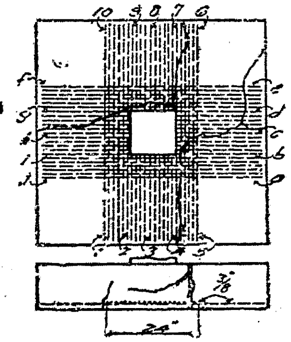
1-2-4 混凝土

スラブ厚十二吋、有効 十吋

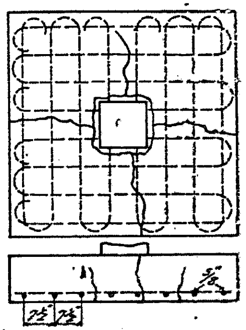
p=0.41%
P=183,000#
u=248#/□″
v=114#/□″



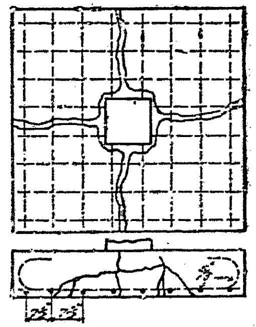
p=0.41%
P=192,000#
u=198#/□″
v=119#/□″



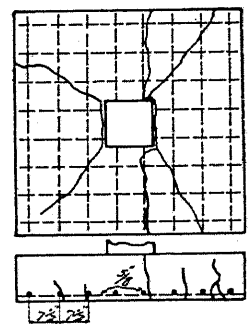
p=0.41%
P=201,000#
u=445#/□″
v=125#/□″



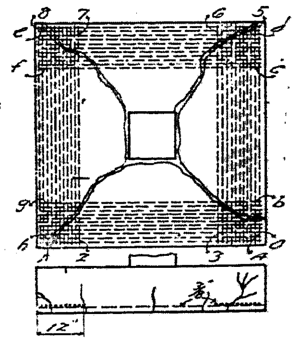
p=0.41%
P=203,000#
u=450#/□″
v=126#/□″



p=0.41%
P=161,000#
u=357#/□″
v=100#/□″



p=0.41%
P=152,000#
u=206#/□″
v=95#/□″



合の如く 1:2:4 混凝土にて 40 封度(每平方吋) を最大限とするがよい。

基礎スラブ計算例

(例) 次ぎの條件に對し調合 1:2:4 なる鐵筋混凝土基礎スラブを設計せよ。

支柱一呎三吋角, 柱上の荷重=62,500 封度, 安全地耐力=2500#/□'.

f_s=15,000#/□'', f_c=400#/□'', v=可許突拔應剪力=120#/□'',

u=可許粘着應力=100#/□'' (但し鐵筋端を鈎形に曲げたる時), n=15.

(解) (1) スラブの大さ次ぎの如し、所要面積$=\frac{62,500}{2500}=$25平方呎、故に五呎角スラブとするを適當とす。 (2) スラブの厚さは突拔剪力より算定せねばならぬ、即ち $v=\frac{P}{Ljd}$ より $j\fallingdotseq 7/8$ と假定せば $d=$スラブ厚(吋)$=\dfrac{62,500}{4\times 15\times 120\times\frac{7}{8}}=9.92$ 吋

故にスラブ有効厚を拾吋とし、更に鐵筋下に貳吋の混凝土を加へ全厚を十二吋と定む。(3) スラブに起る最大彎曲率 (M) は第(100)式より定むる事が出來る。今 $l-a=5.-1.25=3.75=2e$ なるにより $e=1.875$ 呎。故に $M=\left(\frac{1}{2}\times 1.\times 1.875^2+0.6\times 1.875^3\right)\times 2,500=14,280$ 呎封度$=171,300$ 吋封度。(4) 次きに此の彎曲率に抵抗すべきスラブの幅 (桁としての抵抗幅、所謂 Equivalent Beam Width) は第 (101) 式より算定すべし。$b=1+2\times 1.+\frac{1}{2}\times(5-1.25-2\times 1.)=3.875$ 呎。從てスラブ幅一呎に對する彎曲率は $M'=\frac{171,300}{3.875}=44,250$ 吋封度。(5) 所要鐵筋斷面積 (A) は次きの如し、

$$A\fallingdotseq\frac{M'}{f_s d\frac{7}{8}}=\frac{44,250}{15000\times 10\times\frac{7}{8}}=0.337\,\square''/\text{每呎}.$$

今スラブ一呎每に $3/8''\phi$ 鐵筋三本宛を使用するものとせば $A=0.3312\square''$, 從て $p=\frac{0.3312}{12\times 10}=0.276\%$, $k=0.25$ (公式 4), $j=1-\frac{k}{3}=0.917$. (6) 諸應力は次きの如し。

$$f_s=\frac{44,250}{0.3312\times 0.917\times 10}=14,600\#/\square'',\quad f_c=\frac{2\times 44,250}{0.25\times 0.917\times 12\times 10\times 10}=322\#/\square''$$

柱の一面に沿ひ働く剪力 $V=\frac{1}{4}\times(5\times 5-1.25\times 1.25)\times 2,500=14,650\#$

粘着應力は第 103 式より算定するを得、今スラブ鐵筋を第六十圖上端左に示せるが如くに配置し、$3/8''\phi$ 十五本を使用せば $u=\dfrac{14,650}{15\times 1.1781\times 0.917\times 10}=90.5\#/\square''$

鈎端とせる鐵筋に對しては粘着應力 90.5#/□'' は安全なり。本例の計算上の各種應力と 199 頁に示せる第六十圖各種スラブの實驗成績とを比較せば興味多かる可し。