

## 第五 設計及計算概要

### (1) 設計方針の梗概

現東京停車場以南の高架鐵道は大體煉瓦拱橋を以て築造せられ道路を横断する部分に於て鋼版桁を架せり

東京停車場より以北常盤橋までの間も同構造法により既に築造せられたり、同橋より萬世橋停車場に至る間高架線は架道橋を除き大體鐵筋混擬土拱橋を以て築造するの方針に決し之れか設計に著手せるは大正四年一月とす

從來東京停車場以南の高架線拱橋基礎底面は常水面との關係上地盤面より十數尺の位置に定められ松杭を使用せり此の方法によるとときは根據に多額の費用を要し杭打に困難を感じ基礎疊積工に多量の材料を要し殊に拱橋なるか爲め著しく大なる實體拱脚を必要とせり

東京萬世橋間高架線計畫に當りては此等の困難を出來得る限り輕減するの目的を以て基礎には鐵筋混擬土杭を使用し基礎混擬土底面を地盤面より下方約三呎六吋に置きたり

該區間高架橋を拱形とせるは同構造の經濟的なる事及び從來築造せられたる東京驛以南高架橋との對照上より來れり從て徑間長の如きも(一)經濟的價値、(二)舊高架橋との外觀上の對照並に(三)現場に於ける徑間の割當を考慮し決定せり

地形上(例へば第二本銀町橋より西今川橋町間並に第三銀治町橋)或は地質上拱橋を施設すること不利益なる部分に對しては特種の構造を採用せり、第二本銀町橋及西今川町橋間には舊外濠に通する龍閑川を有し此の部分の河底地盤は軌條面以下三十八呎餘の下位に在るを以て其の前後に拱橋を架すること頗る不經濟なるを免れず故に此の部分に對しては連續版桁を架するの設計となせり

神田停車場構内(第一第二銀治町橋)は初め拱橋を架するの設計なりしも實施の結果地質頗る軟弱にして更に攻究調査の必要を認め鐵筋混擬土拱橋單版桁及び鋼版桁の三者に就き比較設計を試み鐵筋混擬土單版桁を架すること最も經濟的なりと認め之れを實行せり、第三銀治町橋は由來三角形の土地にして拱橋を架することも單版桁を設くることも共に不適當なるのみならず東京市内殷賑の地なれば之を利用し將來家屋として使用し得べき特種の構造となすを適當と認め鐵道建造物として我國從來の構造と全く其趣きを異にせる新規の構造法を採用せり

神田停車場設備としては乗降場及び之に通する階段の如き之れ又建設費及び將來の修繕費等を考慮し全部鐵筋混擬土構造となせり

街路上及び龍閑川上に架する鋼版桁は從來の構造に徴ひ其幅員の狭き個所は一徑間とし廣き所即ち常盤橋通り龍閑橋通り新石町通り銀治町大通り鍋町通り及び萬世橋通りは街路上に二列の鐵柱を建設し其上部に版桁を架設す其構造は一線路に對し一組の版桁を架すれども常盤橋本銀橋及小柳橋は二線路分を合して一構造となす何れも床面は横梁及び經材上

に四狀鐵板を布設し其表面に防水の爲め且つ鐵板の腐蝕を防ぐ爲め「アスハルト」及び「モルタル」を塗抹し上部に砂利を填充す其厚さは多少差異あれとも一呎三吋以上なり、版桁の最下部は道路面上十四呎以上なりとす

上部構造各種の總延長を記せば左の如し

橋 種	橋 數	徑 間 數	總 延 長(呎)
鐵筋混擬土拱	8	64	2350.09
同 (外濠橋)	1	1	126.14
鐵筋混擬土版桁	5	38	754.38
鋼 版 桁	13	25	897.56
合 計	27	128	4128.17

(總延長六十二鎖五十五節にして線路總延長六十四鎖七十一節に比し二鎖十六節の差あるは萬世橋釋構内を算入せざるに依る)

外濠橋は其兩側面拱環及拱腹とも花崗石を以て疊積し石造高欄を附し尚四隅には六呎角の石材及混擬土造り高塔を樹立し外觀を裝飾す其塔の頂部の高さは軌條面上三十三呎なり各拱橋及び混擬土版桁の西側表面は煉瓦を疊積し東側は第三線以下の工事を引續き施行し之と連絡すべきに依り混擬土築造の儘とす

橋臺及橋脚も亦鐵筋混擬土にして其各隅石、根石、中段均し石、荷承石、等樞要個處は花崗石を用ひ橋臺前面道路に面する部分は煉瓦を疊積し或は張煉瓦を使用す

### (2) 機關車荷重と許容應力度

機關車荷重は電車線路に對し「ターパー」氏 E<sub>33</sub> 蒸氣列車線路に對し同 E<sub>40</sub> を採用せり各材料に對する許容應力度は鐵道院の定むる所に依り次の如く採れり

混擬土の許容應力度は配合 1:2:4 の割合に對し次の如く定めたり

應 壓 力	一平方吋に付	600. 封度
應 剪 力	"	60. "
粘 着 應 力	"	80. "
支 壓 力	"	400. "

鐵筋は概ね中軟鋼とし許容應力は次の如く定む

應 張 力	一平方吋に付	15000. 封度
應 剪 力	"	12000. "

鐵筋材の彈率は	一平方吋に付	30,000,000. 封度
---------	--------	----------------

混擬土(配合 1:2:4) の彈率は一平方吋に付き 2,000,000. 封度

弾率比( n ) ( 鋼筋と混疑土との弾率比 ) 15.

混疑土の膨脹係数 華氏一度に付 0.000006

### ( 3 ) 拱環形状の撰定と其の算定

拱環の形状を決定するに種々なる方法あること多言を要せず然れども其の歸着する處は拱環をして常に弯曲應力を感すること出來得る限り少なからしむる様拱環の形状を定むるを理想とす、從て荷重に對する壓力線と拱軸線とが全然一致するが如き拱環の形状は最も理想に近きものと云ふことを得べし。

拱背に土砂の填充なき場合には拱環上の荷重一様なるを以て壓力線は拱頂より起拱點に進むに従ひ次第に其の曲率半徑を増加すべきも拱背を土砂又は砂利の類を以て填充せる拱橋に在りては荷重の分布拱頂部に最小にして起拱點に進むに従ひ增加すべきを以て此の場合の壓力線は其の曲率半徑拱頂部に大にして起拱部に進むに従ひ是れを減少するを常とす、從て此の如き拱環に對しては拱軸線の形状橢圓形又は之れに近き多心弧形を適當とすべし。

本高架線拱の設計に當りては先づ試法により大體拱軸線の形状を定め自重并に等布動荷重の半量を全徑間に割當たる荷重に對する壓力線を定め更に此曲線に近き拱軸線を假定し再三此の如くにして拱軸線と壓力線とが略ば相一致するか如き新拱軸線を求め之れに最も近き五心圓弧三心圓弧若くは圓弧を以て拱軸線と定めたり。

拱腹線及拱背線の形状并に半徑等を定むる爲め既に實行又は刊行せられたる各種の方法に就き攻究を重ねたり、而して拱腹線を橢圓形に近き形状たらしむる時は拱下の純空間を増加し拱背填充材料を減するの利益あり。

拱環の厚さを定むる方法に就きても特に攻究調査を重ね拱環の各部を通じ應力の分布を一様ならしむるに勉めたり。

外濠橋の形状は大體橢圓形を成し拱軸線及拱背線は各中心點を異にせる三心圓弧、拱腹線は七心圓弧とせり其の拱環形状及半徑等の算定に用ひたる算式は次の如し

#### 符 號

$L$ =純徑間長

$f$ =拱 矢

$h$ =拱環頂厚

$\Delta_0$ =拱軸線上  $A$   $C$  二點の挿む中心角(拱軸線中心にて)

$\Delta_1$ =拱軸線に於て拱頂點  $C$  と拱軸線上の一點  $B$  との挿む中心角

$\Delta_2$ =拱軸線上に於ける二點  $A$   $B$  の挿む中心角

$\Delta_3$ =拱腹線上  $D$   $E$  二點の挿む中心角

$\Delta_4$ =拱腹線上の二點  $E$   $E'$  の挿む中心角

$\Delta_5$ =拱腹線上の二點  $E'$   $F$  の挿む中心角

$\Delta_6$ =拱腹線上  $F$   $G$  二點の挿む中心角

$d_1$ = $B$  點に於ける拱環厚の半量

$d_2$ =起拱點に於ける拱環厚の半量

$d_3$ = $B_1$  點に於ける拱環厚の半量

$R_m$ =拱軸線第一半徑

$R_{m2}$ =拱軸線第二半徑

$R_i$ =拱腹線第一半徑

$R_s$ =拱腹線第二半徑

$R_3$ =拱腹線第三半徑

$R_4$ =拱腹線第四半徑

$R_o$ =拱背線第一半徑

$R_5$ =拱背線第二半徑

本計算に於ては  $L$ ,  $f$ ,  $h$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $R_m$ ,  $R_s$ ,  $\Delta_1$  は豫め設定するを要す

$$R_{m2} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{L}{2} - R_m \sin \Delta_1\right)^2 + (f - R_m + R_m \cos \Delta_1)^2} \cdot \cos \theta - \frac{\Delta_2}{2}$$

$$\text{茲に}, \Delta_2 = 2 \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{f - R_m + R_m \cos \Delta_1}{\frac{L}{2} - R_m \sin \Delta_1} \right) - \Delta_1 \right\}$$

$$R_i = \frac{\left[ (R_m - d_1) \sin \Delta_1 \right]^2 + \left[ R_m - (R_m - d_1) \cos \Delta_1 - \frac{h}{2} \right]^2}{2 \left[ R_m - (R_m - d_1) \cos \Delta_1 - \frac{h}{2} \right]}$$

$$R_s = \frac{\left[ (R_m + d_1) \sin \Delta_1 \right]^2 + \left[ R_m - (R_m + d_1) \cos \Delta_1 + \frac{h}{2} \right]^2}{2 \left[ R_m - (R_m + d_1) \cos \Delta_1 + \frac{h}{2} \right]}$$

$$\Delta_8 = \sin^{-1} \frac{(R_m - d_1) \sin \Delta_1}{R_i}$$

$$x = \sqrt{R_2^2 - \left\{ R_2 \cos \Delta_3 - [h_1 - R_m + (R_m - d_1) \cos \Delta_1] \right\}^2} + (R_1 - R_2) \sin \Delta_3$$

$$\Delta_4 = \cos^{-1} \left\{ \frac{R_2 \cos \Delta_3 - [h_1 - R_m + (R_m - d_1) \cos \Delta_1]}{R_2} \right\}$$

$$\Delta_5 = 2 \left\{ \tan^{-1} \frac{h_2 + d_2 \cos(\Delta_1 + \Delta_2) - h_1}{\frac{L}{2} - x - d_2 \sin(\Delta_1 + \Delta_2)} + 90^\circ - (\Delta_1 + \Delta_2) \right\} - 180^\circ$$

$$R_3 = \frac{1}{2} \cosec \frac{\Delta_5}{2} \sqrt{\left[ h_2 + d_2 \cos(\Delta_1 + \Delta_2) - h_1 \right]^2 + \left[ \frac{L}{2} - \{x + d_2 \sin(\Delta_1 + \Delta_2)\} \right]^2}$$

$$\Delta_6 = 90^\circ - (\Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5)$$

$$R_4 = \left[ d_2 \sin(\Delta_1 + \Delta_2) \sec(\Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) \right] \cot \frac{\Delta_6}{2}$$

$$h_3 = d_2 \left\{ \cos(\Delta_1 + \Delta_2) + \sin(\Delta_1 + \Delta_2) \right\} \left[ \tan(\Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) + \sec(\Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) \right]$$

$$d_3 = R_{m2} - \sqrt{\left[ R_{m2} - (R_m - R_{m2}) \cos \Delta_1 - H_1 \right]^2 + \left[ x - (R_m - R_{m2}) \sin \Delta_1 \right]^2}$$

$$a_1 = (R_m + d_1) \sin \Delta_1$$

$$b_1 = R_{\text{m}} - (R_{\text{n}1} + d_1) \cos \Delta_1$$

$$a_2 = x + 2d_3 \sin \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{x - (R_{\text{n}1} - R_{\text{n}2}) \sin \Delta_1}{R_{\text{m}} - (R'_{\text{n}1} - R'_{\text{n}2}) \cos \Delta_1 - h_1} \right] \right\}$$

$$b_2 = h_1 - 2d_3 \cos \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{x - (R_{\text{n}1} - R_{\text{n}2}) \sin \Delta_1}{R_{\text{m}} - (R'_{\text{n}1} - R'_{\text{n}2}) \cos \Delta_1 - h_1} \right] \right\}$$

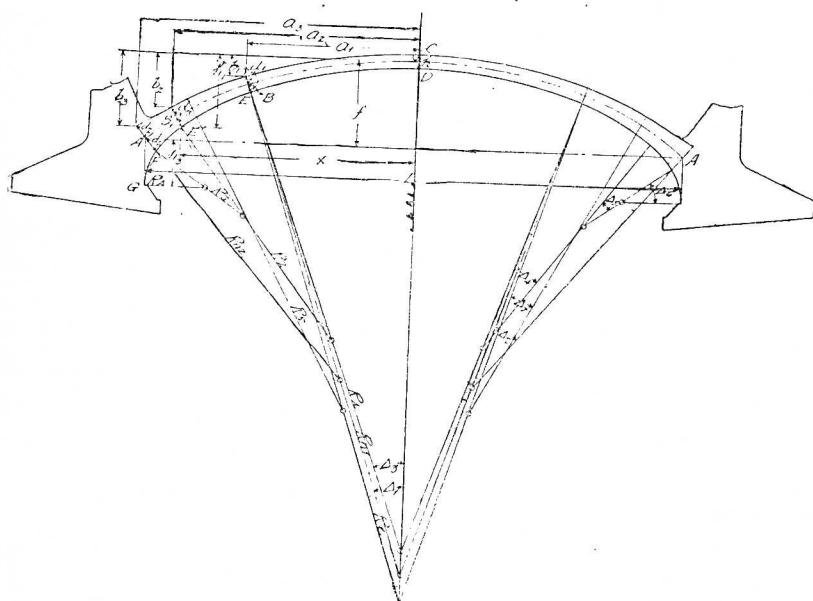
$$a_3 = \frac{L}{2} + d_2 \sin(\Delta_1 + \Delta_2)$$

$$b_3 = h_2 - d_2 \cos(\Delta_1 + \Delta_2)$$

$$R_s = \frac{\left\{ (a_3 - a_1) - (b_2 - b_1) \cot \left[ \tan^{-1} \left( \frac{b_3 - b_2}{a_3 - a_2} \right) \right] \right\} \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{b_3 - b_2}{a_3 - a_2} \right) \right]}{\sin \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{b_3 - b_2}{a_3 - a_2} \right) - \sin^{-1} \frac{(R_{\text{n}1} + d_1) \sin \Delta_1}{R_e} \right\}}$$

$$\Delta_7 = \tan^{-1} \left( \frac{b_3 - b_2}{a_3 - a_2} \right) - \sin^{-1} \frac{(R_{\text{n}1} + d_1) \sin \Delta_1}{R_e}$$

\* 第一圖



徑間長の小なる高架拱橋の形狀も前述の方法により算定せり、但しかる小徑間のものに對しては拱軸線の形狀を複雜ならしむるも其の價値極めて少なきを以て三十二呎以下の徑間長を有する拱橋に對しては拱矢を徑間長の五分の一と定め拱軸線を圓弧となし拱腹線の形狀は之れを橢圓形とし拱背線も之れに近き形狀となせり而して採用動荷重に對し數回試算を遂げたる結果拱環の厚さは起拱點に於て拱頂厚の二倍、徑間長の六分の一點に近き

部分に於て拱頂厚の一、二五倍とし次式により其の形狀を定めたり

$$R_n = \frac{L^2 + 4f^2}{8f}$$

$$R_i = \frac{\left[ (R_n - d_1) \sin \Delta_1 \right]^2 + \left[ R_n - (R_n - d_1) \cos \Delta_1 - \frac{h}{2} \right]^2}{2 \left[ R_n - (R_n - d_1) \cos \Delta_1 - \frac{h}{2} \right]}$$

$$R_e = \frac{\left[ (R_n + d_1) \sin \Delta_1 \right]^2 + \left[ R_n - (R_n + d_1) \cos \Delta_1 + \frac{h}{2} \right]^2}{2 \left[ R_n - (R_n + d_1) \cos \Delta_1 + \frac{h}{2} \right]}$$

$$R_2 = \frac{\sqrt{\left[ (R_n - d_2) \sin \Delta_2 - (R_n - d_1) \sin \Delta_1 \right]^2 + \left[ (R_n - d_1) \cos \Delta_1 - (R_n - d_2) \cos \Delta_2 \right]^2}}{2 \sin \frac{\Delta_1}{2}}$$

$$\frac{\Delta_1}{2} = \tan^{-1} \frac{(R_n - d_1) \cos \Delta_1 - (R_n - d_2) \cos \Delta_2}{(R_n - d_2) \sin \Delta_2 - (R_n - d_1) \sin \Delta_1} - \Delta_3$$

$$\Delta_2 = \sin^{-1} \left[ \frac{(R_n - d_1) \sin \Delta_1}{R_i} \right]$$

$$R_i = \frac{d_2 L}{4 R_n \sin^2 \left[ 45^\circ + \frac{\Delta_1}{2} - 0 \right]} = \frac{d_2 L}{4 R_n \sin^2 \Delta_1}$$

$$\text{茲に } \theta = \tan^{-1} \frac{(R_n - d_1) \cos \Delta_1 - (R_n - d_2) \cos \Delta_2}{(R_n - d_2) \sin \Delta_2 - (R_n - d_1) \sin \Delta_1}$$

外濠拱橋に關し各半徑、角度等を前述諸式により算出せる結果は次の如し  
今試算の結果により假定せるものは左の如し

$$L = 125' 0'' \quad d_1 = 1' 85$$

$$h = 3' 0'' \quad d_2 = 3' 75$$

$$h_1 = 17' 30 \quad R_{\text{n}1} = 119' 80$$

$$h_2 = 20' 00 \quad R_2 = 61' 00$$

$$\Delta_1 = 19^\circ 00'$$

算定せる諸數を掲ぐれば

$$\Delta_2 = 21^\circ 39' 59 \quad d_3 = 10' 665$$

$$R_{\text{n}2} = 72' 077 \quad d_4 = 2' 557$$

$$R_i = 112' 1987 \quad a_1 = 39' 605$$

$$R_e = 128' 0727 \quad b_1 = 4' 778$$

$$\Delta_3 = 20' 00' 87 \quad a_2 = 57' 609$$

$$z = 54' 7907 \quad b_2 = 13' 079$$

$$\Delta_4 = 17^\circ 38' 60 \quad a_3 = 64' 943$$

$$\Delta_5 = 17^\circ 38' 34 \quad b_3 = 17' 155$$

$$R_2=24'937$$

$$\Delta_6=34^{\circ}42'.19$$

$$R_4=13'.736$$

$$R_5=80'.389$$

$$\Delta_7=11'.327$$

徑間長三十二呎を有する拱橋に関する半径其他計算上の結果は左の如し

$$L=32' 0''$$

$$R_e=25.127$$

$$f=\frac{L}{5}=6'.40$$

$$R_2=15'.472$$

$$h=1' 3''$$

$$R_3=3'.992$$

$$\Delta_1=29^{\circ}0' \text{とせば}$$

$$\Delta_3=30^{\circ} 32' 20.7''$$

$$R_n=23'.200$$

$$\Delta_4=21^{\circ} 05' 42.0''$$

$$R_i=21'.390$$

$$\Delta_6=38^{\circ} 21' 57.3''$$

而して

$$\Delta_3+\Delta_4+\Delta_6=90^{\circ}00'00'' \text{なり}$$

#### (4) 鋼筋混泥土拱橋設計法の概要と使用符號

拱橋の設計に使用せる計算法は弾性理論 (Elastic theory) に基くものにして初め「シェンヘーフエル」(Schön höfer) 氏の唱導し後「タニュア」「マウラー」兩氏の與へたる解法なり、此の方法は拱環の厚さ一定ならずして所謂變形性率を有する拱環に對し一般的に應用することを得、其の理論に關しては種々なる方法に於て多くの専門書に明なるを以て今茲には使用符號の説明と共に計算法の大要を略記するに止むべし

符號と記號

$H_0$ =拱頂部に働く水平推力

$V_0$ =拱頂部に働く垂直剪力

$M_0$ =拱頂部に於る變曲率、但し上縁維に應壓力を生ぜしむるものを正變曲率とする

$M, T, S$ =任意點に於ける變曲率、推力及び剪力

$R$ =任意斷面上に働く合壓力

$d_s$ =拱軸線上沿ひ測りたる拱環區分の長さ

$n$ =拱環區分數(但し半徑間に對するもの)

$I$ =拱環任意斷面の惰性率= $I_{concrete}+(n-1)I_{steel}$

$P$ =拱上任意點に働く荷重

$x, y$ =拱軸上の任意點の座標(但し拱頂點を原點とする)

$m$ =拱環を拱頂部にて二個に切斷せるものと假定し其の一端を其の橋臺にて固定せられたるカンチレバーと考へたるとき外力により生ずる變曲率

$\Sigma y, \Sigma y^2, \Sigma x^2$ =拱の半徑間に付き合計せるもの

$m_R$ =拱の右半徑間上に於ける荷重により生ずる變曲率

$m_L$ =拱の左半徑間上に於ける荷重により生ずる變曲率

$$\Sigma m=\Sigma m_R+\Sigma m_L$$

拱橋解拆の目的とする處は通常拱環の任意斷面上に働く推力、剪力、及び變曲率を定むるに在り從て計算の順序として先づ拱頂部斷面上に働く推力、剪力、及び變曲率を算定し然る後順次其他の斷面に於ける此等三力を算定するを普通とする

拱頂部に働く推力剪力及び變曲率は次式により算定せり

$$H_0=\frac{n \Sigma my - \Sigma m \Sigma y}{2[(\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2]},$$

$$V_0=\frac{\Sigma(m_R-m_L)x}{2\Sigma x^2},$$

$$M_0=-\frac{\Sigma m + 2 H_0 \Sigma y}{2n},$$

$$M=m+M_0+H_0y \pm V_0x.$$

第四式に於て正號は拱の左半徑間に對し使用し負號は全右半徑間に對し使用すべきを示せり

#### 熱 應 力

拱環内に起る熱應力の算定には彈性理論に基き次式を使用せり

$$\left. \begin{array}{l} \text{温差の爲め拱} \\ \text{生する水平推力} \end{array} \right\} = H_0 = \frac{EI}{d_s} \frac{C(Ln)}{2[n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{温差の爲め拱頂} \\ \text{部に起る變曲率} \end{array} \right\} = M_0 = \mp \frac{H_0 \Sigma y}{n}$$

茲に

$C$ =材料の膨脹係数

$L$ =拱の徑間長

$t$ =温差

$E$ =材料の彈率

尚ほ正號は溫度上昇の場合、負號は溫度下降の場合に使用す

推力の爲め拱環短縮し依て生ずる應力

外力に依り拱環内に生ずる推力は之れを短縮せしむるや明なり、從て溫度下降の場合と全様の結果を生ず之れが爲め拱環内に起る水平推力は次式により算定せり

$$H_0=-\frac{I}{d_s} \frac{f_0 L n}{2[n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}$$

#### (5) 「フィルドスバンドレル」拱橋に於て拱環に生じ得べき温差の程度

温差に基く所謂熱應力は鐵筋コンクリート拱橋に至大の影響を有すべきや論をまたず、從來築造せられたる拱橋に龜裂を生ぜるものには概ね此の原因より來れるもの少なからず

設計上に採用すべき温差の程度につきでは熱應力そのもの不明なる丈け一層の攻究と調査を必要とすべし

次に本橋の設計に付き調査せる事項を少しく記述せんとす

本高架線並に外濠等に使用せる拱環は其の頂部即ち尤も薄き部分に於て道床用「バラスト」(厚さ約三呎)を以て被覆すべき構造なり又拱の下面は日光の直射を受くることなきを以て拱環に生じ得べき温差の差異は單に外氣の變化に基くるものにして甚だ小なるべきを想定するに難からず

外氣(日陰)の温度は東京附近に於て寒暑を通じ左の如し(中央氣象臺調査)

年 次	最高温度(攝氏)		最低温度(攝氏)		最高最低温度の差		十年間平均 温度(華氏)	
	月	日	月	日	攝氏(度)	華氏(度)		
明 治	41	8. 1.	33.2	1. 24.	(-) 5.1	38.3	68.9	
	42	7. 16.	33.9	1. 12.	(-) 5.9	39.8	71.6	
	43	8. 1.	32.8	2. 2.	(-) 5.8	38.6	69.5	
	44	8. 21.	33.4	1. 2.	(-) 5.4	38.8	69.8	
	大 正	1	9. 2.	34.5	1. 17.	(-) 5.2	39.7	71.5
		2	8. 12.	32.5	1. 6.	(-) 5.9	38.4	69.1
		3	7. 30.	34.5	1. 5.	(-) 4.6	39.1	70.4
		4	8. 11.	34.2	2. 6.	(-) 5.5	39.7	71.5
		5	7. 19.	34.2	2. 6.	(-) 5.5	39.7	71.5
		6	9. 1.	33.1	1. 6.	(-) 6.2	39.3	70.7
氣象臺設立以來	明治十九年七月十四日	36.6	大正七年一月九日	(--) 8.2	44.8	80.6		

以上は外氣温度の変化に屬し此の温度は直ちに「コンクリート」内に傳達せられ得べきものに非らざるや元より言をまたず、殊に「コンクリート」は熱の不良導體なるを以て其の外面は相當の温度を感ずるも實體内數時部分には之れを完全に傳達せられ得べきものに非ず

「ベーカー」博士觀測の結果によるも「コンクリート」表面より四時乃至六時の内部に在りては其の温度の変化は外氣温度の変化に伴はるものなりと云ふ

「ハウ」氏 (Symmetrical masonry Arches, 119頁)によれば上を以て被覆せる鐵筋「コンクリート」拱環の内部に自記寒暖計を埋込み十ヶ月乃至十二ヶ月間に生ぜる温差は華氏二十度を越ゆること無かりしと云ふ

米國「イリノイ」州「ビッグマッディー」川 (The Big Muddy) に架せる純「コンクリート」

拱橋は「イリノイ、セントラル」鐵道會社の建設に係り複線純「コンクリート」拱橋としては長大なるものゝ一なり、徑間百四十呎拱矢三十呎を有す

本橋の温差伸度を検するが爲め千九百三年一月廿日より五月二十三日まで五ヶ月間實驗せる結果によれば全期間に於ける最大伸度0.012呎にして「コンクリート」の膨脹係数を毎度(華氏)0.0000054と假定せば華氏十六度の温差に相當し又全係数を毎度に付き0.0000060と假定せば華氏十四度余の温差に當れり、こは「オブン、スパンドレル」拱橋の場合なり

米國「アイオワ」州に於て全分科大學工學試驗所に於て「ニコルズ」氏及び「マクロー」氏 (Bulletin No 30. of the Iowa State College of Agriculture & Mechanic Arts, by Messrs C. B. Nichols & C. B. McCullough) の遂行せる實驗成績は温差の程度を判するに参考とすべき點多し

其の要點左の如し

實驗に際して水銀寒暖計及び電氣寒暖計の兩者を拱環の各部に埋込み内部の「コンクリート」に直接々觸せしめ其の成績を得たるものなり

拱 橋 名	實 驗 期 間	徑 間 長	拱 矢
Squaw Creek Arch	1909—1912	45'	11' 3"
Walnut Street Arch	1911—1912	68'	11 6

以上二拱橋に就き實驗せる結果によれば厚さ五呎乃至六呎以下の「コンクリート」塊内部に生ずる温差は平均外氣温差の約七十五「パーセント」に相當せり

拱橋所在地の外氣平均温差は華氏百〇二度なりしを以て其の七十五「パーセント」は七十六度五分に相當す、而して此の温差は「フルナット」街拱に就き一月より八月までの間に得たる温差より小なること僅かに華氏二、七度に過ぎず又「スカウクリーク」拱に於て全年全期間に得たる温差より小なること僅かに二、六度に過ぎざりしと曰ふ、尙ほ温度の変化に伴ふ拱環の昇降を檢するが爲め水準測量を施したる結果によれば他の理由により影響を被らざる限り理論上の昇降と實際の昇降とはよく一致せりと云ふ

而して調査の結果兩氏の提言する處によれば全地と全緯度の地方に於ける拱橋の設計に對しては無應力時の温度よりも少くとも四十度の昇降あるものと假定するを適當なりと論ぜり

次に「フィラデルフィア」市「フルナット、レーン」拱徑間長二百三十三呎 (Walnut Lane) 橋に於て電氣寒暖計により千九百八年八月より千九百九年五月まで十ヶ月間に實驗し得たる結果によれば「コンクリート」内に於ける温度の最大變化は攝氏廿四度(華氏四十三度二分)なりしと曰ふ、而して此の期間に於ける外氣の最大温差は攝氏五十二度(華氏九十三度六分)にして拱頂に於ける最大隆起を實測せるに計算上攝氏廿四度の隆起とよく一致せりと云ふ、而して本拱橋の實驗上外氣温差と「コンクリート」内温差との關係を見るに後者

は前者の約四十六「パーセント」に過ぎず

以上二例共に實驗上の結果にして一方は七十五「パーセント」他方は四十六「パーセント」なるを以て「コンクリート」内温差と外氣温差との關係は拱環露出部の狀態と拱環厚の大小により著しき差あり、從て「コンクリート」断面積大なるものは小なるものに比し傳熱の程度甚だしく小なるを明瞭ならしむるものなり

歐米各國に於て一般に認めらるゝ處によれば長大なる徑間を有し拱環の上部を土砂或は砂利等にて被覆せる場合に於ては「コンクリート」内最大温差を攝氏三十度(華氏五十四度)以上とする要なしと云ふに一致せるが如し

獨逸技術者の計算上に使用しつゝある拱橋内温差の程度は左の如し

拱の厚さ 同 同	8"まで 20"まで 40"まで	攝氏 同 同	40° 32° 24°	華氏 同 同	72° 57.6 43.2
----------------	------------------------	--------------	-------------------	--------------	---------------------

瑞西國建築條例によれば攝氏三十五度(華氏六十三度)を採用すべきを規定せり

其他参考となるべき實例乏しからず、例へば Larimer Avenue 拱(徑間長三百呎四)「オハイオ」州「クリーブ蘭ト」市「ロッキー」川に架せる拱橋(徑間長二百八十呎)は共に華氏(一)(十)三十度を採用し瑞西國「ラウサンヌ」市にある Chauderon-Montbenon 拱橋に於ては攝氏(一)(十)二十度華氏((一)(十)三十六度) 東京市鍛冶橋に於ては華氏(一)(十)十五度(土木學會誌第一卷第三號五十四頁)を採用せり

本市街高架拱橋に在りては拱環の上部凡て砂利を以て填充し其の厚さは拱頂部即ち最も少なき部分に於て三尺なるを以て拱環は其の兩側を除き何れの部分も直接日光に暴露せらるゝことなし、殊に外濠橋の如きは拱頂部の「コンクリート」厚さ三尺に達し從て「コンクリート」内部に起り得べき最大温差は五十度を超過せざるべきを想定し得べし

今假りに「ニコルス」「マクロー」兩氏の實驗成績に據り「コンクリート」内最大温差を外氣温差の七十五「パーセント」と假定せば東京地方に對し左の結果を得べし

明治四十一年乃至大正六年迄十ヶ年間の最大温差の平均を採れば華氏五十三度

過去に於ける最大外氣温差(華氏八〇、六度)を探れば華氏六〇、五度

以上論述せる各種の事情を參照し市街線高架拱橋に對し熱應力を算定すべき温差を左の如く假定せり

華氏(一)(十)三十度

## (6) 「メラン」式鐵筋混擬土拱橋の設計 (徑間百貳拾五呎)

### (1) 設計資料

### 一、徑間長百貳拾五呎

二、拱矢(中軸線にて測り)を貳拾呎とす

三、拱環の中軸線は三個の圓弧より成る

四、拱頂上部の填充砂利の厚さを三呎とす

### 五、靜荷重

拱背上に填充すべき砂利一立方呎に付き百拾封度とす

拱環を構成する鐵筋混擬土一立方呎の重量を百五拾封度とす

### 六、動荷重

「クーパー」氏  $E_{40}$  の機關車荷重に等價なる等布動荷重を一平方呎に付き六百六拾封度と假定す、此荷重は拱頂部に於て幅拾貳呎に展布するものとす、又動荷重は(イ)全徑間上(ロ)半徑間上(ハ)中央部三分の一區間上の三様に等布せらるゝものと假定し拱環各部應力の算定を爲す

第一線及第二線用拱環に對しては「クーパー」氏  $E_{33}$  動荷重を採用し此の等價等布荷重を一平方呎に付き五百五十封度と假定す

### 七、許容應力等

$f_c$ .....1:2:4. 混凝土の許容應力、一平方吋に付き六百封度とす

(但し温差應力を含むときは之れを七百封度まで増加することを得)

$f_s$ .....鐵筋上の許容應張力、一平方吋に付き一萬五千封度

$t$ .....拱の無應力時の溫度より上下する可き溫度の變化は本計算にては華氏六十度( $\pm 30^\circ$ )とす

$E_s$ .....每平方吋に付き三千萬封度(鋼鐵の彈率)

$E_c$ .....每平方吋に付き二百萬封度(混擬土の彈率)

$n = \frac{E_s}{E_c}$  なる比にして本計算にては之を十五とす

(備考)荷重より生ずる應壓力と熱應力との合應力に對しては每平方吋に付き八百封度まで許容せらる實例に乏しからず、然れども多くの場合に於ては七百封度と假定せらる

### (口) 機關車の等價等布荷重の算定

本項を定むるには先以て拱頂部に於ける砂利の厚さを豫め決定するを要す

鐵道橋にありては公道橋と異なり機關車荷重を可成一様に分布せしめ且つ振動及擊衝の度を輕減するか爲め各國共此の填充厚を少くとも二呎乃至三呎とするを常習とす

本高架橋に於ては枕木上端より拱頂背面までの深さを三呎とせり

拱背部は土砂又は砂利にて相當の深さに被覆せる場合には機關車の如き集合荷重も廣大なる面積上に分配せらるゝこと明かなる以て之れを等價等布荷重に換算して拱環應力を算定するを普通とす外濠拱橋に於て試みたる等價等布荷重の計算は次の如し

(一) 機關車荷重により徑間の四分點に起る最大彎曲率に等價なる等布荷重

- (二) 拱橋の半径間上の最大動荷重を之れに相當する面積にて除し得たる等價等布荷重  
 (三) 最大動輪を其の支持床面積にて除し得たる等價等布荷重

第一法 徑間の四等分點(橋臺面より起算す)に起る最大彎曲率に等價なる等布荷重

「クーバー」氏  $E_{40}$  の場合

機関車荷重に依る徑間の四等分點に起る最大彎曲率 = 3,826,265 呎封度(一軌條に付)

$$\text{即ち } M_1 = \frac{3,826,265}{6} \div 637,700 \text{ 呎封度(毎呎)}$$

$$\text{等布荷重に依り徑間の四等分點に起る彎曲率} = \frac{3w^2}{32}$$

故に等價等布荷重は次の如し

$$w_1 = \frac{637,700 \times 32}{3 \times 125^2} = 435 \text{ 平方呎封度}$$

$$\text{擊衝係數} = \frac{1}{2} \times \left( \frac{300}{125 + 300} \right) = 35.3\%$$

擊衝量を含める等價等布荷重( $W$ )は次の如し

$$W_{40} = 1.353 w_1 \div 589 \text{ 平方呎封度}$$

「クーバー」氏  $E_{33}$  の場合

$$M_1 = \frac{3,156,669}{6} \div 526,000 \text{ 呎封度(毎呎)}$$

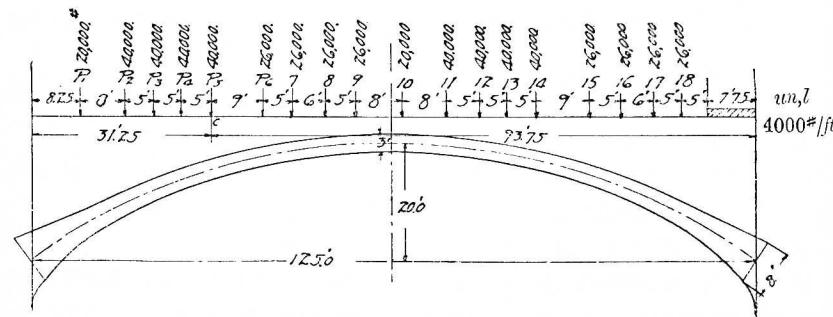
$$W_1 = \frac{526,000 \times 32}{3 \times 125^2} = 359 \text{ 平方呎封度}$$

擊衝量を含める等價等布荷重( $W$ )は次の如し

$$W_{33} = 1.353 \times w_1 \div 511 \text{ 平方呎封度}$$

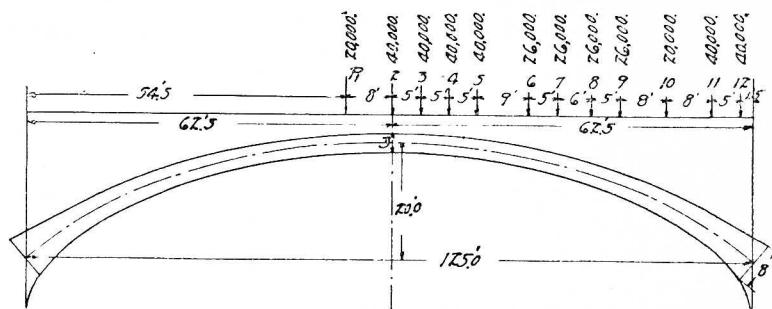
第二圖

拱徑間の四等分點に於て最大彎曲率を生ぜしむる動荷重位置面



第二法 拱半徑間上の最大動荷重を之れに相當する面積にて除し得たる等價等布荷重

第三圖  
拱半徑間上に於ける最大荷重法



「クーバー」氏  $E_{40}$  の場合

半徑間上の最大荷重 = 344,000 封度

$$\therefore w' = \frac{344,000}{12 \times 62.5} = 459 \text{ 平方呎封度}$$

$W_{40}$  = 撃衝量を含める等價等布荷重 =  $1.353 \times 459 = 621$  平方呎封度

「クーバー」氏  $E_{33}$  の場合

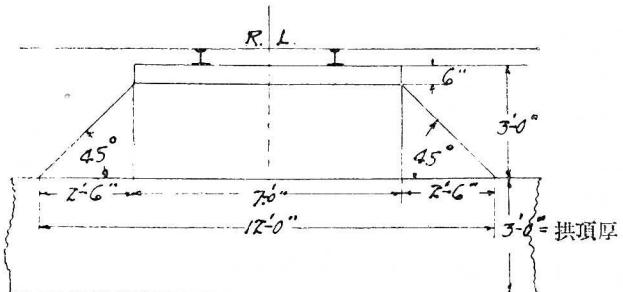
拱半徑間上の最大荷重 = 283,800 封度

$$\therefore w' = \frac{283,800}{12 \times 62.5} = 378 \text{ 平方呎封度}$$

$W_{33}$  = 撃衝量を含める等價等布荷重 =  $1.353 \times 378 \div 511 = 511$  平方呎封度

第三法 最重動輪を其支持床面積にて除したる等價等布荷重

第四圖



$$W_{40} = \text{「クーバー」氏 } E_{40} \text{ に等價なる等布荷重} = \frac{40,000}{12 \times 5.0} = 666 \text{ 平方呎封度}$$

$$W_{33} = \text{「クーバー」氏 } E_{33} \text{ に等價なる等布荷重}$$

$$= \frac{33,000}{12 \times \text{動輪間の距離}} = \frac{33,000}{12 \times 5.0} = 550 \text{ 平方呎封度}$$

以上三種の方法に據り算出したる等価等布荷重を総合せば次の如し

第一法に據るとき	(E <sub>40</sub> )	$W=589$ 平方呎封度
第二法に據るとき	(,,)	$W=621$ 平方呎封度
第三法に據るとき	(,,)	$W=666$ 平方呎封度
第一法に據るとき	(E <sub>33</sub> )	$W=486$ 平方呎封度
第二法に據るとき	(,,)	$W=511$ 平方呎封度
第三法に據るとき	(,,)	$W=550$ 平方呎封度

以上の結果を參照し本拱の計算に對しては第三法に據り得たる次の値を採用せり

$$\begin{cases} \text{「クーパー」氏 } E_{40} \text{ に對しては} \dots \dots \dots W=660 \text{ 平方呎封度} \\ \text{「クーパー」氏 } E_{33} \text{ に對しては} \dots \dots \dots W=550 \text{ 平方呎封度} \end{cases}$$

### (八) 拱環頂部の厚さを算定すること

拱環頂部の厚さは(一)徑間長(二)拱形(三)拱矢(四)拱材(五)荷重及び填充土砂の厚さ等により異なるを免れず、而して拱頂厚は其の點に於ける推力と彎曲率との多少により一定せず

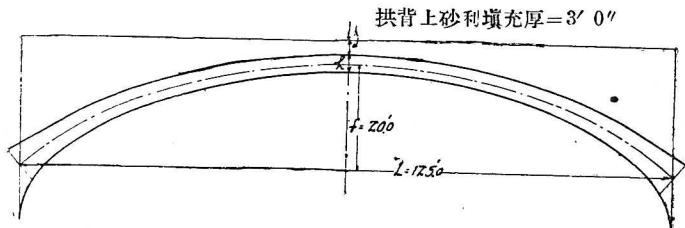
從て拱の計算を始むるに當り此の厚さを理論上より確定し置くこと殆んど不可能と云ふを得べし故に經驗上の判断に委するか、經驗公式により試算を施し計算上壓力線を定め適當と認め得べき拱頂厚を撰ぶの外なし

外濠拱橋の設計に當り使用せる經驗公式次の如し

小徑間を有する拱橋にも概ね是等の公式によれり

$$L=\text{純徑間長}=125'0'' \quad f=\text{拱矢(中軸線にて)}=20'0'' \quad \frac{f}{L}=\frac{1}{6.25}$$

第五圖



(I)「クーパー」氏  $E_{33}$  を使用する場合

(a) 「ルーテン」氏公式(D. B. Luten's formula)

$$h=\text{拱頂厚(吋)}=\frac{3L^2(f+3F)}{4000f-L^2}+\frac{pL^2}{30000f}+4$$

茲に  $L$ =徑間長(呎)

$f$ =拱軸線にて測れる拱矢(呎)

$F$ =拱頂上填充土砂の厚さ(呎)  $p$ =等布動荷重(平方呎封度)

$h=39.44$  吋

(b) 「ウェルド」氏公式(F. F. Weld's formula)

$$h=\sqrt{\frac{L}{10}}+\frac{L}{200}+\frac{w}{400}$$

茲に  $w$ =等布動荷重(平方呎封度)

$w'$ =拱頂上に働く靜荷重(平方呎上封度)=330 封度とす

$h=27.255$  吋

(c) 「ドーグラ」氏公式(W. J. Daugla's formula)

$$h=[0.0001 \times (11000 + L^2)] \times 12 = 31.95 \text{ 吋}$$

(d) 「シュワルツ」氏公式 (Schwartz's formula)

徑間長の三分の一より小なる拱矢を有する拱に對しては

$$h=3.333 n + \frac{1}{1008} \cdot \frac{WL}{Sf} .$$

徑間長の三分の一より大なる拱矢を有する拱に對しては

$$h=\frac{10}{3} n + \frac{W}{336f} .$$

茲に  $h$ =拱頂厚(呎)

$S$ =拱環内應力(平方吋封度)=平均 400 封度とす

$W$ =拱半徑間上の重量(但し拱環の外輪道の重量並に拱頂に於て深さ三呎六吋以下なる填充土砂の重量を含む)=130,000 封度と假定す

$n$ =係數にして普通橋梁に對しては 0.2 とするを常とす

以上兩式に於て徑間 100呎を超ゆるときは其超過徑間 11呎 每に百分の二を減すべし

$$h=2.56\text{呎}=30.72\text{吋}$$

(e) 「メラン」氏公式(J. Mel. n's formula)

$$h=\frac{1}{1+n a_0} h' = \frac{1}{1+n a_0} \left[ \frac{w_2 r_0}{2(f_c - r' r_0)} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2p_1 f_0 (f_c - r' r_0) \cos^2 \phi}{w_2^2 r_0}} \right\} \right]$$

茲に  $n=E_s/E_c=15$  (但し 1:2:4 混凝土)

$a_0$ =拱頂部の鐵筋量比=.0035 と假定す

$$w_2=u_0 r_0 + \frac{1}{2} p_1$$

$u_0$ =拱頂上填充砂利の深さ= 3 呎とす

$r_0$ =拱背填充砂利の密度=110 封度とす

$p_1$ =動荷重(但し半徑間上に加へたるもの)=550 封度とす

$r_0$ =拱頂部を通過する抵抗線の曲率半徑=107.7 呎と假定す

$f_c$ =混疑土綠維應力=600 (平方吋上封度)=86400 (平方呎上封度)

$r'$ =混疑土の密度に  $\left(\frac{k}{1+n a_0}\right)$  を乗じたるもの

$k$ =拱架上の負擔すべき拱環重量= $\frac{2}{3}q_0$ と假定す

$$f_0 = \frac{6q_0}{5q_0 + q_1} \times f$$

$q_0$ =拱頂部に働く単位合荷重=1330 封度と假定す

$q_1$ =起拱部 „ =3900 封度と假定す

$f$ =拱軸線に於ける拱矢

$$\therefore h' = \frac{605 \times 107.7}{2 \times 76850} \times \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 550 \times 15.1 \times 768.50 \times 0.91}{605^2 \times 107.7}} \right) = 2.764 \text{呎}$$

$$r' = 150 \times \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{1+15 \times 0.0085} = 88.7 \text{ 封度 (每立方呎)}$$

$$r'r_0 = 88.7 \times 107.7 = 9550 \text{ 平方呎封度}$$

$$f_0 - r'r_0 = 86400 - 9550 = 76850 \text{ 平方呎封度}$$

$$\cos^2 \phi = \frac{L^2}{L^2 + 4f} = \frac{125^2}{125^2 + 4 \times 20} = 0.91$$

$$f_0 = \frac{6q_0}{5q_0 + q_1} f = 15.1$$

$$\text{故に } h = \frac{1}{1+n_{a_0}} h' = \frac{1}{1.1275} \times 2.764 = 2.45 \text{呎} = 29.4 \text{吋}$$

以上五公式に依りて計算したる結果は各異なれり之等を平均して所要拱頂環の厚さを求むれば次の如し

$$h = \frac{39.44 + 27.255 + 31.95 + 30.72 + 29.4}{5} = 31.75 \text{吋}$$

又以上公式の内(a)(d)(e)の三式のみを採り其平均を求むれば次の如し

$$h = 33.19 \text{ 吋}$$

(II) 「クーパー」氏  $E_{40}$  を使用する場合

(a) 「ルーテン」氏公式  $h = 42.30 \text{ 吋}$

(b) 「ウェルド」氏公式  $h = 27.805 \text{ 吋}$

(c) 「ドーグラ」氏公式  $h = 31.95 \text{ 吋}$

(d) 「シユワルツ」氏公式  $h = 2.708 \text{ 呎} = 32.5 \text{ 吋} (W = 140000. \text{ と假定す})$

(e) 「メラン」氏公式  $h = 2.684 \text{ 呎} = 32.2 \text{ 吋}$

拱頂部平均厚は  $h = \frac{42.30 + 27.805 + 31.95 + 32.5 + 32.2}{5} = 33.35 \text{ 吋}$

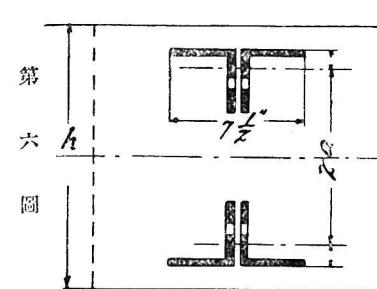
公式(a)(d)(e)三式を平均したる結果は  $h = 35.67 \text{ 吋}$

以上計算の結果を參照し本拱に對しては拱頂部環厚を 3. 呎とせり

## (二) 動荷重「クーパー」氏 $E_{40}$ に對し拱環内應力の算定

第(四)項に於て記述せし解法に從ひ外濠拱橋拱環を解き其各部に於ける應力を計算すること下の如し、算出方法の順序等に關しては自明のものなるを以て之を説明を避け直に表示することをせり

(a)  $\frac{ds}{I}$  の比が定数なる様拱環區割計算表



拱頂點より區割 6 に於ける鐵筋斷面積

$A = 8.264 \text{ 平方呎}$  (肋拱一個に付き)

又は  $0.0255 \text{ 平方呎}/\text{呎}$

區割 7 乃至起拱點に於ける鐵筋斷面積

$A = 10.500 \text{ 平方呎}$  (肋拱一個に付き)

又は  $0.0324 \text{ 平方呎}/\text{呎}$

肋拱間距離  $2' 3''$

$2a$  は變數

區割 數	豫備計算の爲め拱軸に沿ひ等距離に區割せる時						$I = I_c + 14I_s$ (呎)	
	$I_c$ (每呎)		$I_s$ (肋拱一個に付き)					
	拱環厚 $h$ (呎)	$h^3$ (呎 <sup>3</sup> )	$I_c = \frac{bh^3}{12}$ (呎 <sup>4</sup> )	$a$ (呎)	$a^2$ (呎 <sup>2</sup> )	$14I_s$ (呎 <sup>4</sup> )		
1	3.00	27.0000	2.2500	1.22	1.4884	0.5314	2.7814	
2	3.04	28.0945	2.3412	1.24	1.5376	0.5489	2.8901	
3	3.13	30.6643	2.5554	1.29	1.6641	0.5941	3.1491	
4	3.23	33.6933	2.8082	1.34	1.7956	0.6410	3.4492	
5	3.35	37.5954	3.1330	1.40	1.9600	0.6997	3.8327	
6	3.50	42.8750	3.5729	1.47	2.1609	0.7714	4.3443	
7	3.70	50.6530	4.2211	1.57	2.4649	1.1180	5.3391	
8	4.00	64.0000	5.3333	1.72	2.9584	1.3419	6.6752	
9	4.48	89.9154	7.4930	1.96	3.8416	1.7425	9.2355	
10	5.30	148.8770	12.4064	2.37	5.6169	2.5478	14.9542	
11	7.50	421.8750	35.1563	3.47	12.0409	5.4618	40.6181	

區割 番號	$\frac{ds}{I}$ なる比が定数なる様、拱環を貳拾個に區割せる時						$I = I_c + 14I_s$ (呎)	$\frac{ds}{I}$		
	$ds$ (呎)	$h$ (呎)	$h^3$ (呎 <sup>3</sup> )	$bl^3 = I_c$ $\frac{12}{I}$ (呎 <sup>4</sup> )	$a$ (呎)	$a^2$ (呎 <sup>2</sup> )				
1	4.05	3.01	27.271	2.2726	1.23	1.5129	0.5401	2.8127 1.440		
2	4.13	3.03	27.818	2.3182	1.24	1.5376	0.5489	2.8671 1.440		
3	4.37	3.09	29.504	2.4587	1.27	1.6129	0.5758	3.0345 1.440		
4	4.57	3.14	30.959	2.5799	1.29	1.6641	0.5941	3.1740 1.440		
5	4.92	3.22	33.386	2.7822	1.33	1.7689	0.6315	3.4137 1.441		
6	5.33	3.31	36.265	3.0221	1.38	1.9044	0.6799	3.7020 1.440		
7	5.86	3.42	40.002	3.3335	1.43	2.0449	0.7300	4.0635 1.442		
8	6.85	3.61	47.046	3.9265	1.53	2.3409	0.8357	4.7562 1.440		
9	9.08	3.92	60.236	5.0197	1.68	2.8224	1.2802	6.2999 1.441		
10	17.82	4.96	122.024	10.1687	2.20	4.8400	2.1954	12.3641 1.441		
	66.98							平均 1.441		

(b) 拱軸點の座標

區番 割 點號	x (呎)	$x^2$ (呎)	y (呎)	$y^2$ (呎)	$2y$ (呎)
1	2.02	4.0804	0.017	0.000289	0.034
2	6.09	37.0881	0.15	0.0225	0.300
3	10.30	106.0900	0.44	0.1936	0.880
4	14.71	216.3841	0.91	0.8281	1.820
5	19.42	377.1364	1.59	2.5281	3.180
6	24.48	599.2704	2.53	6.4009	5.060
7	30.05	903.0025	3.83	14.6689	7.660
8	36.38	1,323.5044	5.66	32.0356	11.320
9	43.91	1,928.0881	8.42	.70,8964	16.840
10	55.54	3,084.6916	14.72	216.6784	29.440
$\Sigma$	242.90	8,579.3360	38.267	344.252789	76.534

(c) 荷重の算出表

區番 割 點號	靜荷重		動荷重		總荷重		累計荷重	
	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度
1	21.21	3,182	14.83	2,225	36.04	5,407	36.04	5,407
2	22.14	3,321	15.05	2,258	37.19	5,579	73.23	10,986
3	24.19	3,629	15.85	2,378	40.04	6,007	113.27	16,993
4	27.00	4,050	16.52	2,478	43.52	6,528	156.79	23,521
5	32.16	4,824	18.02	2,703	50.18	7,527	206.97	31,048
6	38.07	5,711	19.01	2,852	57.08	8,563	264.05	39,611
7	49.91	7,487	21.73	3,260	71.64	10,747	335.69	50,358
8	66.43	9,965	24.63	3,695	91.06	13,660	426.75	64,018
9	101.31	15,197	30.35	4,553	131.66	19,750	558.41	83,768
10	261.90	39,285	53.40	8,010	315.30	47,295	873.71	131,063
$\Sigma$	644.32	96,651	229.39	34,412	873.71	131,063		

(d) 力率腕長算定表

區番 割 點號	x (呎)	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	2.02	60.48	53.52	41.89	34.36	28.03	22.46	17.40	12.69	8.28	4.07
2	6.09	56.41	49.45	37.82	30.29	23.96	18.39	13.23	8.62	4.21	
3	10.30	52.20	45.24	33.61	26.08	19.75	14.18	9.12	4.41		
4	14.71	47.79	40.83	29.20	21.67	15.34	9.77	4.71			
4'	18.90	43.60	36.64	25.01	17.48	11.15	5.58	0.52			
5	19.42	43.08	36.12	24.49	16.96	10.63	5.57				
6	24.48	38.02	31.06	19.43	11.90						
7	30.05	32.45	25.49	13.86	6.33						
8	36.38	26.12	19.16	7.53							
9	43.91	18.59	11.63								
10	55.54	6.96									
起拱點	62.5										

(e<sub>1</sub>) 静荷重のみより起る彎曲率表

〔重量及び力率の単位は凡て鋼筋混擬土一立方呎(150#)とす〕

區番 割 點號	靜荷重 單位 (150#)	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	21.21	1,282.8	1,135.2	888.5	728.8	594.5	476.4	369.1	269.2	175.6	86.3
2	22.14	1,248.9	1,094.8	837.3	670.6	530.5	407.2	295.1	190.8	93.2	
3	24.19	1,262.7	1,094.4	813.0	630.9	477.8	343.0	220.6	106.7		
4	27.00	1,290.3	1,102.4	788.4	585.1	414.2	263.8	127.2			
5	32.16	1,385.5	1,161.6	787.6	545.4	311.9	162.7				
6	38.07	1,447.4	1,182.5	739.7	453.0	212.0					
7	49.91	1,619.6	1,272.2	691.8	315.9						
8	66.43	1,735.2	1,272.8	500.2							
9	101.31	1,883.4	1,178.2								
10	261.90	1,822.8									
$\Sigma$		14,978.6	10,494.1	6,046.5	3,929.7	2,570.9	1,658.1	566.7	268.8		86.3

(e<sub>2</sub>)動荷重のみより起る弯曲力率表

〔重量及び力率の単位は凡て鉄筋コンクリート一立呎(150#)とす〕

區番 割 點 番 號	動荷重 単位 (150#)	起拱點 にて	(10)號 にて	(9)號 にて	(8)號 にて	(7)號 にて	(6)號 にて	(5)號 にて	(4)號 にて	(3)號 にて	(2)號 にて
			點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて
1	14.83	896.9	793.7	621.2	509.6	415.7	333.1	258.0	188.2	122.8	60.4
2	15.05	849.0	744.2	569.2	455.9	360.6	276.8	200.6	129.7	63.4	
3	15.85	827.4	717.1	532.7	413.4	313.0	224.8	144.6	69.9		
4	16.52	789.5	674.5	482.4	358.0	253.4	161.4	77.8			
5	18.02	776.3	650.9	441.3	305.6	191.6	91.2				
6	19.01	722.8	590.5	369.4	226.2	105.9					
7	21.73	705.1	553.9	301.2	137.6						
8	24.63	643.3	471.9	185.5							
9	30.35	564.2	353.0								
10	53.40	371.7									
$\Sigma$			5,549.7	2,406.3	1,087.3						
			7,146.2	3,502.9	1,640.2						
					681.0						
						387.8					
							186.2				
								60.4			

(e<sub>3</sub>) 拱徑間の中央三分の一区間に加へた等布動荷重に因り起る弯曲力率表

〔重量及び力率の単位は鉄筋コンクリート一立方呎(150#)とす〕

區番 割 點 番 號	動荷重 単位 (150#)	起拱點 にて	(10)號 にて	(9)號 にて	(8)號 にて	(7)號 にて	(6)號 にて	(5)號 にて	(4)號 にて	(3)號 にて	(2)號 にて
			點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて	點にて
1	14.83	896.9	793.7	621.2	509.6	415.7	333.1	258.0	188.2	122.8	60.4
2	15.05	849.0	744.2	569.2	455.9	360.6	276.8	200.6	129.7	63.4	
3	15.85	827.4	717.1	532.7	413.4	313.0	224.8	144.6	69.9		
4	16.52	789.5	674.5	482.4	358.0	253.4	161.4	77.8			
4'	14.24	620.9	521.8	356.1	243.9	158.8	79.5	7.4			
5											
6											
7											
8											
9											
10											
$\Sigma$		3,983.7	2,561.6	1,985.8	1,501.5	1,075.6	688.4				
		3,451.3									
							387.8				
								186.2			
									60.4		

(f) 拱頂點に働く  $H_0$ ,  $V_0$  及び  $M_0$  計算準備表

〔力率の単位は鉄筋コンクリート一立方呎(150#)とす〕

區 割 點 番 號	x 呎	y 呎	静荷重のみの場合		動荷重のみの場合	
			$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L + m_R)y$	$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L + m_R)y$
1	2.02	0.017	0	0	0	0
2	6.09	0.15	—	86.3	—	25.9
3	10.30	0.44	—	268.8	—	236.5
4	14.71	0.91	—	566.7	—	1,031.4
5	19.42	1.59	—	1,012.0	—	3,218.2
6	24.48	2.53	—	1,653.1	—	8,364.7
7	30.05	3.83	—	2,570.9	—	19,693.1
8	36.38	5.66	—	3,929.7	—	44,484.2
9	43.91	8.42	—	6,046.5	—	101,823.1
10	55.54	14.72	—	10,494.1	—	308,946.3
$\Sigma$			—	26,628.1	—	487,823.4
$\Sigma m$			—	53,256.2	—	31,003.6
起拱點			—	14,978.6	—	7,146.2

區 割 點 番 號	拱徑間の中央三分の一區 間に動荷重を全徑間上 に静荷重を有する場合		拱の左半徑間上に總荷重(静動)を, 右半徑間上に静荷重を加へたる場合	
	$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L + m_R)y$	$m_L$	$m_R$
1	0	0	0	0
2	— 146.7	— 44.0	— 146.7	— 86.3
3	— 455.0	— 400.4	— 455.0	— 268.8
4	— 954.5	— 1,735.2	— 954.5	— 566.7
5	— 1,700.4	— 5,407.3	— 1,693.0	— 1,012.0
6	— 2,728.7	— 13,807.2	— 2,740.4	— 1,653.1
7	— 4,072.4	— 31,194.6	— 4,211.1	— 2,570.9
8	— 5,915.5	— 66,963.5	— 6,336.0	— 3,929.7
9	— 8,608.1	— 144,960.4	— 9,549.4	— 6,046.5
10	— 13,945.4	— 410,552.6	— 16,043.8	— 10,494.1
$\Sigma$	— 38,526.7	— 675,065.2	— 42,129.9	— 26,628.1
$\Sigma m$	— 77,053.4		— 68,758.0	
起拱點	— 18,962.3		— 22,124.8	— 14,978.6

### 拱頂點に働く $H_o$ , $V_o$ 及び $M_o$ の算定

$$\begin{aligned} & \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2 \right] = 2 \times \left[ (38.267)^2 - 10 \times 344.2528 \right] \\ & = -3,956.3294 \end{aligned}$$

(I) 径間上に静荷重のみを加へたる場合に於ける  $H_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{n \Sigma my - \Sigma m \Sigma y}{2 \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2 \right]} = \frac{10 \times -487,823.4 - (-53,256.2 \times 38.267)}{-3,956.3294} = 717.9 \text{ 混凝土}$$

→ 立方呎に付き = 107,685 封度

$$M_o = -\frac{\Sigma m + 2H_o \Sigma y}{2n} = -\frac{-53,256.2 + 2 \times 717.9 \times 38.267}{20} = -84,38 = -12,657 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = -\frac{M_o}{H_o} = -\frac{-84,38}{717.9} = -0.1175 \text{ 呎}$$

(II) 径間上に静荷重と動荷重とを加へたる場合に於ける  $H_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{10 \times (-758,553.7) - (-84,250.8 \times 38.267)}{-3,956.3294} = 1,102.3 \text{ 混凝土} \rightarrow \text{立呎に付き} \\ = 165,345. \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-84,259.8 + 2 \times 1,102.3 \times 38.267}{20} = -5.18 = -777. \text{ 呎封度}$$

$$e_o = -\frac{-5.18}{1,102.3} = -0.0047 \text{ 呎}$$

(III) 拱の全徑間上に静荷重と中央三分の一區間上に動荷重とを加へたる場合に於ける  $H_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{10 \times (-675,065.2) - (-77,053.4 \times 38.267)}{-3,956.3294} = 961.0 \text{ 混凝土} \rightarrow \text{立呎に付き} \\ = 144,150. \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-77,053.4 + 2 \times 961.0 \times 38.267}{20} = +175.2 = +26,280 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = -\frac{175.2}{961} = +0.1823 \text{ 呎}$$

(IV) 拱の左半徑間上に總荷重(静動)を、右半徑間上に静荷重のみを加へたる場合に於ける  $H_o$ ,  $V_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{10 \times (-623,188.8) - (-68,758.0 \times 38.267)}{-3,956.3294} = 910.1 \text{ 混凝土} \rightarrow \text{立呎に付き} \\ = 136,515. \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-68,758.0 + 2 \times 910.1 \times 38.267}{20} = -44.78 = -6,717. \text{ 呎封度}$$

$$e_o = -\frac{-44.78}{910.1} = -0.0492 \text{ 呎}$$

$$V_o = \frac{\Sigma (m_R - m_L)x}{2\Sigma x^2} = \frac{646,704}{2 \times 8,579,336} = 37.7 = 5,655 \text{ 封度}$$

(V) 溫度の變化より起る  $H_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{EI}{d_s} = \frac{CtL_n}{2(n\Sigma y^2 - \Sigma y^2)}$$

$$\text{茲に } E = 288,000,000 \text{ 每平方呎封度} \quad \frac{I}{d_s} = \frac{1}{1.441} = 0.694 \quad C = 0.0000055 \text{ (華氏一度) に付き}$$

$t = \pm 30^\circ$  華氏  $L = 125'0''$   $n = 10$  (半徑間の區割數)

$$2(\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2) = 3,956,3294$$

$$H_o = \frac{288,000,000 \times 0.694 \times 0.0000055 \times 30 \times 125 \times 10}{3,956,3294} = 10,420. \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{H_o \Sigma y}{n} = \frac{-10,420 \times 38.267}{10} = -39,874. \text{ 呎封度}$$

$$e_o = -\frac{39,874.}{10,420} = 3.827 \text{ 呎}$$

計算結果表 (E<sub>33</sub>)

加重法	静荷重のみの場合	總荷重を加へたる場合	全徑間上に静荷重・中央三分一區間上に動荷重を加へたる場合	静荷重が全徑間上を分ひ且つ半徑間上に動荷重を加へたる場合	溫度の變化ある場合 ( $\pm 30^\circ$ 華氏)
$H_o$ {拱頂點に働く水平推力(封度)}	107,685	165,345	144,150	136,515	10,420
$V_o$ {拱頂點に働く垂直剪力(封度)}	0	0	0	5,655	0
$M_o$ {拱頂點に起る弯曲率(呎封度)}	- 12,657	- 777	+ 26,280	- 6,717	- 39,874
$e_o$ { $H_o$ 中軸線より偏り働く距離(呎)}	- 0.1175	- 0.0047	+ 0.1823	- 0.0492	- 3.827

(g) 計 算 法 に よ り 壓

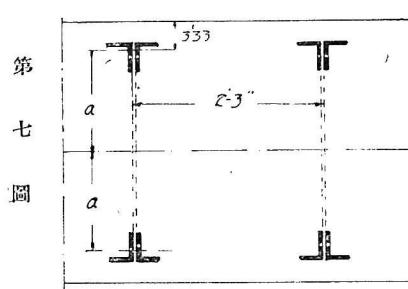
$$M = M_o \pm V_o x + H_o y + m$$

加重法	區割點	x	y	$M_o$ $H_o$	$m_L$ 或 $m_R$	$V_o x$
				$V_o$		
(I)	拱頂點	0	0 0	$H_o = 717.9$ $M_o = 84.4$ $V_o = 0$	0	
	5		1.59		- 1,012.0	
	9		8.42		- 6,046.5	
	10		14.72		- 10,494.1	
	起拱點		20.00		- 14,978.6	
(II)	拱頂點		0 0	$H_o = 1,102.3$ $M_o = -5.20$ $V_o = 0$	0	
	5		1.59		- 1,693.0	
	9		8.42		- 9,549.4	
	10		14.72		- 16,043.8	
	起拱點		20.00		- 22,124.8	
(III)	拱頂點		0 0	$H_o = 961.0$ $M_o = +175.2$ $V_o = 0$	0	
	5		1.59		- 1,700.4	
	9		8.42		- 8,608.1	
	10		14.72		- 13,945.4	
	起拱點		20.00		- 18,962.3	
(IV)	拱頂點		0 0	$H_o = 910.1$ $M_o = -44.8$ $V_o = 37.7$	0	
	5		19.42		- 1,693.0	732.1
	9		43.91		- 9,549.4	1,655.4
	10		55.54		- 16,043.8	2,093.9
	起拱點		62.50		- 22,124.8	2,356.3
	5'		19.42		- 1,012.0	732.1
	9'		43.91		- 6,046.5	1,655.4
	10'		55.54		- 10,494.1	2,093.9
	起拱點		62.50		- 14,978.6	2,356.3
	區割點	0	y		$\cos \theta$	$\sin \theta$
(V)	拱頂點	0° 0'	0 0	$H_o = 69.47$	1.000	0
	溫度の變化	5 9° 19' 51"	1.59	$M_o = -265.8$	0.98677	0.16214
	9 23° 10' 53"	8.42		$V_o = 0$	0.91926	0.39364
	10 33° 42' 22"	14.72			0.83189	0.55493
	起拱點	40° 39' 36"	20.00		0.75859	0.65157

力線を定むる方法

$H_o y$	$M$ 単位=(150噸#)	推力 $T$ 単位=(150#)	剪力 $S'$ 単位=(150#)	偏倚 $e$ (mm)
0	-	84.4	717.9	0 0.118
	+	45.1	724.0	26 0.062
	-	86.2	770.0	26 0.112
	-	11.0	810.0	82 0.014
	-	705.0	965.0	20 0.730
0	-	5.2	1,102.3	0 0.005
	+	54.5	1,113.0	24 0.049
	-	273.2	1,182.0	41 0.231
	+	176.9	1,228.0	145 0.144
	-	84.0	1,407.0	53.5 0.060
0	+	175.2	961.0	0 0.182
	+	2.8	974.0	28 0.003
	-	341.3	1,024.0	50 0.333
	+	375.7	1,053.0	152 0.356
	+	432.9	1,198.0	79 0.361
0	-	44.8	910.1	37.7 0.049
	+	441.4	917.0	28.0 0.482
	-	275.8	990.0	1.0 0.278
	-	598.0	1,047.0	6.8 0.571
	-	1,611.3	1,235.0	45.0 1.305
	-	341.8	919.0	26.0 0.372
	-	83.7	961.0	69.0 0.087
	+	763.9	990.0	158.0 0.771
	+	822.3	1,133.0	77.0 0.725
	區割點	$M$ 単位=(150噸#)	推力 $T$ 単位=(150#)	剪力 $S'$ 単位=(150#)
0	-	265.8	69.5	0 3.824
	-	155.3	68.6	11.3 2.264
	+	319.1	63.9	27.3 4.994
	+	756.8	57.8	38.5 13.093
	+	1,123.6	52.7	45.2 21.321

(h<sub>1</sub>) 混凝土縁維應力の計算豫備表



拱頂點に於ける鐵筋斷面積  
 $= 4 \times \left( 2.30 - \frac{5}{8} \times \frac{3}{8} \right) = 8.264 \text{ 平方吋}$   
 時(肋拱一個に付き)

起拱點及其前後に於ける鐵筋斷面積  
 $= 4 \times \left( 3.00 - \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \right) = 10.50 \text{ 平方吋}$   
 時(肋拱一個に付き)

$$\left\{ f_e \right\} = \frac{T}{bh} \left\{ \frac{1}{1+np} \pm \frac{6 he}{h^2 + 12 np a^2} \right\} = \frac{T}{bh} \left\{ C_i \pm C_2 e \right\}$$

$$= \frac{T}{bh} C \quad or \quad \frac{T}{bh} C'$$

區割點	鐵筋材の 斷面積 (平方吋)	拱環厚 (吋)	bh (平方吋)	$\frac{p}{h}$ (鐵筋比) 但し拱筋間 隔 2'-3"	np	$h^2$ (吋 <sup>2</sup> )	$a^2$ (吋 <sup>2</sup> )
拱頂點	8.264	3.00	972.0	0.0085	0.1275	9.0000	1.4884
5	8.264	3.15	1,020.6	0.0081	0.1215	9.9225	1.6770
9	10.500	3.92	1,270.1	0.0083	0.1245	15.3664	2.8392
10	10.500	4.96	1,607.0	0.0065	0.0975	24.6016	4.8400
起拱點	10.500	7.50	2,430.0	0.00432	0.0648	56.2500	12.0409

區割點	12np	12npa <sup>2</sup>	$h^2 + 12 npa^2$	6h	$c_t$	$c_s$
拱頂點	1.530	2.2773	11.2773	18.000	0.887	1.597
5	1.458	2.4451	12.3676	18.900	0.892	1.529
9	1.494	4.2418	19.6082	23.520	0.890	1.199
10	1.170	5.6628	30.2644	29.760	0.911	0.982
起拱點	0.778	9.3678	65.6178	45.000	0.939	0.685

(h<sub>2</sub>) 各種の荷重法に對

十符號は應壓力を示す

加重法	區割點	$\frac{T}{bh}$ (#/ $\square''$ )	$c$ (mm)	$c_2$	$c_2c$
静荷重	拱頂點	249	—	0.118	1.597
	5	239	+	0.062	1.529
	9	205	—	0.112	1.199
	10	170	—	0.014	0.982
	起拱點	134	—	0.730	0.685
總荷重	拱頂點	383	—	0.005	1.597
	5	363	+	0.049	1.529
	9	314	—	0.231	1.199
	10	258	+	0.144	0.982
	起拱點	195	—	0.060	0.685
靜分荷の重一及動中荷 及三尖荷重	拱頂點	334	+	0.182	1.597
	5	322	+	0.003	1.529
	9	272	—	0.333	1.199
	10	221	+	0.356	0.982
	起拱點	166	+	0.361	0.685
半荷重	拱頂點	316	—	0.049	1.597
	5	304	+	0.482	1.529
	9	263	—	0.278	1.199
	10	220	—	0.571	0.982
	起拱點	172	—	1.305	0.685
	5'	304	—	0.372	1.529
	9'	255	—	0.087	1.199
	10'	208	+	0.771	0.982
	起拱點	157	+	0.725	0.685
					0.497
溫氏度增加 變化十程度	拱頂點	24.1	—	3.824	1.597
	5	22.7	—	2.264	1.529
	9	17.0	+	4.994	1.199
	10	12.1	+	13.093	0.982
	起拱點	7.3	+	21.321	0.685
					14.605

する緣維應力計算表

—符號は應張力を示す

$c_i$	$c$ 上緣維に對する應力係數	$c'$ 下緣維に對する應力係數	$\frac{f_c}{(\#/\square'')}$	$\frac{f_{c'}}{(\#/\square'')}$
0.887	+	0.699	+	1.075
	+	0.987	+	0.797
	+	0.756	+	1.024
	+	0.897	+	0.925
	+	0.439	+	1.439
0.887	+	0.879	+	0.895
	+	0.967	+	0.817
	+	0.613	+	1.167
	+	1.052	+	0.770
	+	0.898	+	0.980
0.887	+	1.178	+	0.596
	+	0.897	+	0.887
	+	0.491	+	1.289
	+	1.261	+	0.561
	+	1.186	+	0.692
0.887	+	0.809	+	0.965
	+	1.629	+	0.155
	+	0.557	+	1.223
	+	0.350	+	1.472
	+	0.045	+	1.833
0.892	+	0.323	+	1.461
	+	0.786	+	0.994
	+	1.668	+	0.154
	+	1.436	+	0.442
0.887	—	5.220	+	6.994
	—	2.570	+	4.354
	+	6.878	—	5.098
	+	13.768	—	11.946
	+	15.544	—	13.666
0.892	—	126	+	169
	—	58	+	99
	+	117	—	87
	+	167	—	145
	+	113	—	100

(h<sub>3</sub>) 溫差應力を加除せる綠維應力計算表

+ 符號は應張力を示す

- 符號は應張力を示す

(単位は毎平方吋に付き封度とす)

區 劃 點	靜荷重と溫度昇騰		靜荷重と溫度降下		總荷重と溫度昇騰		總荷重と溫度降下	
	拱外綠維	拱内綠維	外綠維	内綠維	外綠維	内綠維	外綠維	内綠維
拱頂點	+	48	+	437	+	300	+	99
5	+	178	+	239	+	294	+	91
9	+	272	+	123	+	38	+	297
10	+	319	+	12	-	15	+	302
起拱點	+	172	+	93	-	54	+	293

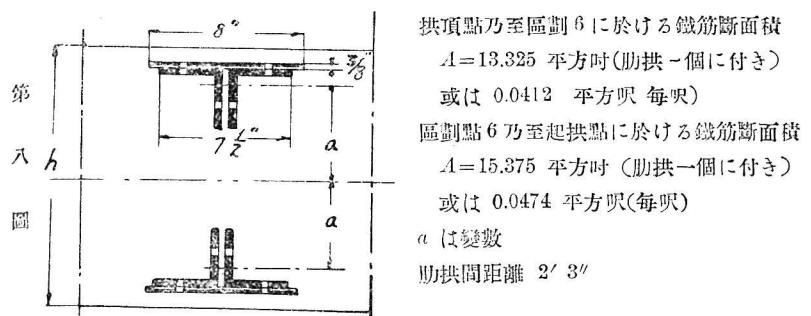
區 劃 點	全徑間上靜荷重と中央三分の一區間上動荷重並に			全徑間上靜荷重と左半徑間上動荷重並に				
	溫度昇騰			溫度下降				
	外綠維	內綠維	外綠維	內綠維	外綠維	內綠維	外綠維	內綠維
拱頂點	+	267	+	363	+	519	+	30
5	+	231	+	385	+	347	+	187
9	+	251	+	264	+	17	+	438
10	+	446	-	21	+	112	+	269
起拱點	+	310	+	15	+	84	+	215
5'					+	40	+	543
9'					+	317	+	166
10'					(+540)	(-2,290)	+	514
起拱點							+	338

(h<sub>4</sub>) 拱環各部に於ける最大並に最小應力(#+/-")

區 劃 點	靜荷重若くは靜動荷重より生ず可き最大應力		荷重と溫差との兩者より生ず可き最大應力		荷重と溫差との兩者より生ず可き最小應力		注 意 の 無 せ る 數 視 り 字 し 表 は た 中 混 る 括 凝 場 孤 土 合 内 の に 抗 應 記 張 力 入 度 を 示 さ れ る	
	外綠維	內綠維	外綠維	內綠維	外綠維	內綠維		
拱頂點	+	391	+	343	+	519	+	512
5	+	495	+	444	+	553	+	543
9	+	201	+	366	+	317	+	453
10	+	347	+	324	+	514	+	(+450)
起拱點	+	225	+	315	+	338	+	415

(木) 動荷重「クーパー」氏 E<sub>30</sub> に對し拱環内應力の算定をなすこと次の如し

(a)  $\frac{ds}{I}$  の比が定數なる様拱環區割計算表



區 劃 點	豫備計算の爲め拱軸に沿ひ等距離に區割せる時					
	$I_c$ (每呎)		$I_s$ (肋拱一個に付き)			$I = I_c + 14 I_s$ (呎)
	拱環厚 $h$ (呎)	$h^2$ (呎 <sup>2</sup> )	$I_c = \frac{bh^3}{12}$ (呎 <sup>4</sup> )	$a$ (呎)	$a^2$ (呎 <sup>2</sup> )	
1	3.00	27.0000	2.250	1.22	1.4884	0.8585 3.1085
2	3.04	28.0945	2.3412	1.24	1.5376	0.8869 3.2281
3	3.13	30.6643	2.5554	1.29	1.6641	0.9599 3.5153
4	3.23	33.6983	2.8082	1.34	1.7956	1.0357 3.8439
5	3.35	37.5954	3.1330	1.40	1.9600	1.1305 4.2635
6	3.50	42.8750	3.5729	1.47	2.1609	1.2164 4.8193
7	3.70	50.6530	4.2211	1.57	2.4649	1.6357 5.8568
8	4.00	64.0000	5.3333	1.72	2.9584	1.9632 7.2965
9	4.48	89.9154	7.4930	1.96	3.8416	2.5493 10.0423
10	5.30	148.8770	12.4064	2.37	5.6169	3.7274 16.1338
11	7.50	421.8750	35.1563	3.47	12.0409	7.9903 43.1466

區割番號	$\frac{ds}{I}$ なる比が定数なる様拱環を貳拾個に區割せる時								
	$ds$ (呎)	$h$ (呎)	$h^3$ (呎 <sup>3</sup> )	$\frac{bh^3}{12} = I_c$ (呎 <sup>4</sup> )	$a$ (呎)	$a^2$ (呎 <sup>2</sup> )	$14I_s$ (呎 <sup>4</sup> )	$I = I_c + \frac{14I_s}{14I_s + ds}$ (呎 <sup>4</sup> )	$\frac{ds}{I}$
1	4.09	3.01	27.2709	2.2726	1.23	1.5129	0.8726	3.1452	1.300
2	4.20	3.04	28.0945	2.3412	1.24	1.5376	0.8869	3.2281	1.301
3	4.41	3.09	29.5036	2.4586	1.27	1.6129	0.9303	3.3889	1.301
4	4.65	3.15	31.2559	2.6047	1.30	1.6900	0.9748	3.5795	1.299
5	4.95	3.22	33.3862	2.7822	1.33	1.7689	1.0203	3.8025	1.300
6	5.40	3.32	36.5944	3.0495	1.38	1.9044	1.0985	4.1480	1.302
7	5.98	3.44	40.7076	3.3923	1.44	2.0736	1.1961	4.5884	1.303
8	6.90	3.62	47.4379	3.9532	1.53	2.3409	1.3502	5.3034	1.301
9	8.97	3.92	60.2363	5.0197	1.68	2.8224	1.8729	6.8926	1.301
10	17.42	4.96	122.0239	10.1687	2.20	4.8400	3.2118	13.3805	1.302
	66.97							平均 1.301	

(b) 拱軸點の座標

區番 割 點 號	$x$ (呎)	$x^2$ (呎)	$y$ (呎)	$y^2$ (呎)	$2y$ (呎)
1	2.01	4.0401	0.01	0.0001	0.02
2	6.15	37.8225	0.15	0.0225	0.30
3	10.43	108.7849	0.46	0.2116	0.92
4	14.95	223.5025	0.94	0.8836	1.88
5	19.72	388.8784	1.64	2.6896	3.28
6	24.80	615.0400	2.60	6.7600	5.20
7	30.36	921.7296	3.93	15.4449	7.86
8	36.52	1,333.7104	5.74	32.9476	11.48
9	44.00	1,936.0000	8.48	71.9104	16.96
10	55.60	3,091.3600	14.78	218.4484	29.56
$\Sigma$	244.54	8,660.8684	38.73	349.3187	77.46

(c) 荷重の算出表

區番 割 點 號	靜荷重		動荷重		總荷重		累計荷重	
	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度	(150#) 單位	封度
1	21.16	3,174	17.86	2,679	39.02	5,853	39.02	5,853
2	22.52	3,378	18.52	2,778	41.04	6,156	80.06	12,009
3	24.52	3,678	19.23	2,885	43.75	6,563	123.81	18,572
4	27.77	4,166	20.33	3,050	48.10	7,216	171.91	25,788
5	32.18	4,827	21.52	3,228	53.70	8,055	225.61	33,843
6	39.28	5,892	23.45	3,518	62.73	9,410	288.34	43,253
7	49.22	7,383	25.48	3,822	74.70	11,205	363.04	54,458
8	65.44	9,816	28.91	4,337	94.35	14,153	457.39	68,611
9	101.27	15,191	36.26	5,439	137.53	20,630	594.92	89,241
10	261.15	39,173	63.45	9,518	324.60	48,691	919.52	137,932
$\Sigma$	644.51	96,678	275.01	41,254	919.52	137,932		

(d) 力率腕長算定表

區番 割 點 號	$x$ (呎)	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	2.01	60.49	53.59	41.99	34.51	28.35	22.79	17.71	12.94	8.42	4.14
2	6.15	56.35	49.45	37.85	30.37	24.21	18.65	13.57	8.80	4.28	
3	10.43	52.07	45.17	33.57	26.09	19.93	14.37	9.29	4.52		
4	14.95	47.55	40.65	29.05	21.57	15.41	9.85	4.77			
5'	19.07	43.43	36.53	24.93	17.45	11.29	5.73	0.65			
5	19.72	42.78	35.88	24.28	16.80	10.64	5.08				
6	24.80	37.70	30.80	19.20	11.72	5.56					
7	30.36	32.14	25.24	13.64	6.16						
8	36.52	25.98	19.08	7.48							
9	44.00	18.50	11.60								
10	55.60	6.90									
起拱點	62.50										

(e<sub>1</sub>) 静荷重のみより起る彎曲率表

〔重量及び力率の単位は凡て鉄筋コンクリート一立方呎(150#)とす〕

区番 割 點號 (150#)	静荷重 單位	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	21.16	1,280.0	1,134.0	888.5	730.2	599.9	482.2	374.7	273.8	178.2	87.6
2	22.52	1,269.0	1,113.6	852.4	683.9	545.2	420.0	305.6	198.2	96.4	
3	24.52	1,276.8	1,107.6	823.1	639.7	488.7	352.4	227.8	110.8		
4	27.77	1,320.5	1,128.9	806.7	599.0	427.9	273.5	132.5			
5	32.18	1,376.7	1,154.6	781.3	540.6	342.4	163.2				
6	39.28	1,480.9	1,209.8	754.2	460.4	218.4					
7	49.22	1,581.9	1,242.3	671.4	303.2						
8	65.44	1,700.1	1,248.6	489.5							
9	101.27	1,873.5	1,174.7								
10	261.15	1,801.9									
$\Sigma$			10,514.1	3,957.0	1,691.3		582.8	274.6	87.6		
			14,961.3	6,067.1	2,622.5	1,040.6					

(e<sub>2</sub>) 動荷重のみより起る彎曲力率表

〔重量及び力率の単位は凡て鉄筋コンクリート一立呎(150#)とす〕

区番 割 點號 (150#)	動荷重 單位	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	17.86	1,080.4	957.1	749.9	616.3	506.3	407.0	316.3	231.1	150.4	73.9
2	18.52	1,043.6	915.8	701.0	562.5	448.4	345.4	251.3	163.0	79.3	
3	19.23	1,001.3	868.6	645.6	501.7	383.3	276.3	178.6	86.9		
4	20.33	966.7	826.4	590.6	438.5	313.3	200.3	97.0			
5	21.52	920.6	772.1	522.5	361.5	229.0	109.1				
6	23.45	884.1	722.3	450.2	274.8	130.4					
7	25.48	818.9	643.1	347.5	157.0						
8	28.91	751.1	551.6	216.2							
9	36.26	670.8	420.6								
10	63.45	437.8									
$\Sigma$		8,575.3	4,223.5	2,010.7	1,338.1	843.2	481.0	229.7	73.9		
		6,677.6	2,912.3								

(e<sub>3</sub>) 拱徑間の中央三分の一區間に加へた等布動荷重に因り起る彎曲力率表

〔重量及び力率の単位は凡て鉄筋コンクリート一立方呎(150#)とす〕

区番 割 點號 (150#)	動荷重 單位	起拱點 にて	(10)號 點にて	(9)號 點にて	(8)號 點にて	(7)號 點にて	(6)號 點にて	(5)號 點にて	(4)號 點にて	(3)號 點にて	(2)號 點にて
1	17.86	1,080.4	957.1	749.9	616.3	506.3	407.0	316.3	231.1	150.4	73.9
2	18.52	1,043.6	915.8	701.0	562.5	448.4	345.4	251.3	163.0	79.3	
3	19.23	1,001.3	868.6	645.6	501.7	383.3	276.3	178.6	86.9		
4	20.33	966.7	826.4	590.6	438.5	313.3	200.3	97.0			
5'	15.80	686.2	577.2	393.9	275.7	178.4	90.5	10.3			
6	0	0	0	0	0	0					
7	0	0	0	0	0	0					
8	0	0	0	0	0						
9	0	0	0	0							
10	0	0									
$\Sigma$		4,778.2	3,081.0	1,829.7	1,319.5	853.5	481.0	229.7	73.9		
		4,145.1	2,394.7								

(f) 拱頂點に働く  $H_o$

[力率の単位は鐵筋混擬]

區割 點 番 號	x 呎	y 呎	靜荷重のみの場合		動荷重のみの場合	
			$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L+m_R)y$	$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L+m_R)y$
1	2.01	0.01	0	0	0	0
2	6.15	0.15	-	87.6	-	26.3
3	10.43	0.46	-	274.6	-	252.6
4	14.95	0.94	-	582.8	-	1,095.7
5	19.72	1.64	-	1,040.6	-	3,413.2
6	24.80	2.60	-	1,691.3	-	8,794.8
7	30.36	3.93	-	2,622.5	-	20,612.9
8	36.52	5.74	-	3,957.0	-	45,426.4
9	44.00	8.48	-	6,067.1	-	102,898.0
10	55.60	14.78	-	10,514.1	-	310,796.8
$\Sigma$			-	26,837.6	-	493,316.7
$\Sigma m$			-	53,675.2	-	37,580.0
起拱點			-	14,961.3	-	8,575.3

拱頂點に働く  $H_o, V_o$  及  $M_o$  の算定

$$2 \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2 \right] = 2 \times \left[ (38.73)^2 - 10 \times 349.3187 \right] \\ = -3,986.348$$

(I) 径間上に静荷重のみを加へたる場合に於るけ  $H_o, M_o$  及  $e_o$

$$H_o = \frac{n \Sigma my - \Sigma m \Sigma y}{2 \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2 \right]} = \frac{10 \times (-493,316.7) - (-53,675.2 \times 38.73)}{-3,986.348} \\ = 716. \text{混擬土一立方呎に付き} = 107,400. \text{封度}$$

$$M_o = -\frac{\Sigma m + 2 H_o \Sigma y}{2n} = -\frac{-53,675.2 + 2 \times 716 \times 38.73}{20} = -89.31 \\ = -13,397. \text{呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = \frac{-13,397.}{107,400.} = -0.1247 \text{呎}$$

$V_o$  及  $M_o$  計算準備表

土一立方呎(150#)とす

拱徑間の中央三分の一區間上に動荷重を、全徑間上に静荷重を有する場合		拱の左半徑間上に總荷重(静動)を、右半徑間上に静荷重を加へたる場合			
$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L+m_R)y$	$m_L$	$m_R$	$(m_L+m_R)y$	$(m_R-m_L)x$
0	0	0	0	0	0
- 161.5	- 48.5	- 161.5	- 87.6	- 37.4	454.5
- 504.3	- 464.0	- 504.3	- 274.6	- 358.3	2,395.8
- 1,063.8	- 1,999.9	- 1,063.8	- 582.8	- 1,547.8	7,191.0
- 1,894.1	- 6,212.6	- 1,883.8	- 1,040.6	- 4,796.0	16,627.9
- 3,010.8	- 15,656.2	- 3,029.4	- 1,691.3	- 12,273.8	33,184.9
- 4,452.2	- 34,994.3	- 4,633.2	- 2,622.5	- 28,514.9	61,044.9
- 6,351.7	- 72,917.5	- 6,869.3	- 3,957.0	- 62,143.0	106,357.2
- 9,148.1	- 155,151.8	- 10,290.6	- 6,067.1	- 133,713.3	185,834.0
- 14,659.2	- 433,326.0	- 17,191.7	- 10,514.1	- 409,491.7	371,274.6
- 41,245.7	- 720,770.8	- 45,627.6	- 26,837.6	- 657,876.2	- 784,364.8
- 82,491.4		- 72,465.2			
- 19,739.5		- 23,536.6	- 14,961.3		

(II) 径間上に静荷重と動荷重とを加へたる場合に於ける  $H_o, M_o$  及  $e_o$

$$H_o = \frac{(10 \times -822,436.1) - (-91,255.2 \times 38.73)}{3,986.348} = 1,177 \text{ 混擬土一立方呎に付き} \\ = 176,550 \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-91,255.2 + 2 \times 1,177 \times 38.73}{20} = 4.24 = 636 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{636}{176,550} = +0.0036 \text{ 呎}$$

(III) 拱の全徑間上に静荷重と中央三分の一區間上に動荷重とを加へたる場合に於ける  $H_o, M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{10 \times (-720,770.8) - (-82,491.2 \times 38.73)}{-3,986.348} = 1,006.6 \text{ 混擬土一立方呎に付き} \\ = 150,990. \text{ 封度}$$

$$M_o = \frac{82,491.4 - 2 \times 1,006.6 \times 38.73}{20} = 226 \text{ 混凝土一立方呎に付} = 33,900 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{226}{1,006.6} = 0.2245 \text{ 呎}$$

(IV) 拱の左半径間に上に総荷重(静動)を、右半径間に静荷重のみを加へたる場合に於ける  $H_o$ ,  $M_o$ ,  $V_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{10 \times (-637,876.2) - (-72,465.2 \times 38.73)}{-3,986.348} = 946 \text{ 混凝土一立方呎に付} \\ = 141,900 \text{ 呎封度}$$

$$M_o = -\frac{-72,465.2 + 2 \times 946 \times 38.73}{2 \times 10} = -40.60 = -6,090 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{-6,090.}{141,900.} = -0.043 \text{ 呎}$$

$$V_o = \frac{\Sigma m_R - m_L)x}{2\Sigma x^2} = \frac{784,364.8}{2 \times 8,660.9} = 45.3 = 6,795 \text{ 封度}$$

(V) 溫度の變化より起る  $H_o$ ,  $M_o$  及び  $e_o$

$$H_o = \frac{EI}{ds} \frac{CtLn}{2 \left[ n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 \right]}$$

$$\text{茲に } E=288,000,000 \text{ 每平方呎封度} \quad \frac{I}{ds} = \frac{1}{1.301} = 0.769$$

$$C=0.0000055 \text{ 華氏一度に付} \quad t=\pm 30^\circ \text{華氏} \quad L=125' 0''$$

$$n=10 \text{ (半径間の區割數)}$$

$$2 \left[ n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 \right] = 3,986.348$$

$$H_o = \frac{288,000,000 \times 0.769 \times 0.0000055 \times 30 \times 125 \times 10}{3,986.348} = 11,459 \text{ 封度}$$

(76.4 混凝土一立方呎に付)

$$M_o = -\frac{H_o \Sigma y}{n} = -\frac{11,459 \times 38.73}{10} = -44,381 \text{ 呎封度}$$

(-296 混凝土一立方呎に付)

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = \frac{-44,381}{11,459} = -3.873 \text{ 呎}$$

計算結果表 (E<sub>40</sub>)

加重法	静荷重のみの場合	總荷重を加へたる場合	全徑上に静荷重中央分の一區間に勧荷重を加へた場合	静荷重を全徑上を渡り且つ左半徑間に勧荷重を加へた場合	温 度 の 変 化 あ る 場 合 (±30°華氏)
$H_o$ {拱頂點に働く水平推力(封度)}	107,400	176,550	150,990	141,900	11,459
$V_o$ {拱頂點に働く垂直剪力(封度)}	0	0	0	6,795	0
$M_o$ {拱頂點に起る彎曲率(呎封度)}	- 13,397	+ 636	+ 33,900	- 6,090	- 44,381
$e_o$ { $H_o$ 中軸線より偏りて働く距離(呎)}	- 0.1247	+ 0.0036	+ 0.2245	- 0.043	- 3.873

(g) 計算上より

$$M = M_o \pm V_o x + H_o y + m$$

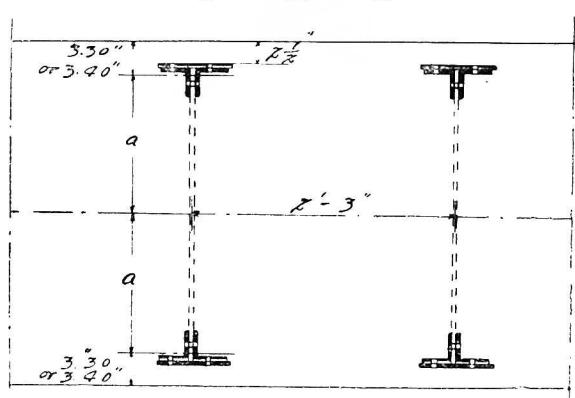
加重法	區割點	x	y	$\frac{M_o}{H_o}$	$m_L$ 又は $m_R$	$V_o x$
(I)	拱頂點	0	0	単位=立方呎 (混疑土)	0	
静	5	19.72	1.64	$H_o = 716$	- 1,040.6	
荷	9	44.00	8.48	$M_o = -89.3$	- 6,067.1	0
重	10	55.60	14.78	$V_o = 0$	- 10,514.1	
起拱點	62.50	20.00			- 14,961.3	
(II)	拱頂點	0	0		0	
總	5	19.72	1.64	$H_o = 1,177$	- 1,883.8	
荷	9	44.00	8.48	$M_o = +4.2$	- 10,290.6	0
重	10	55.60	14.78	$V_o = 0$	- 17,191.7	
起拱點	62.50	20.00			- 23,536.6	
(III)	拱頂點	0	0		0	
静分	5	19.72	1.64	$H_o = 1,007$	- 1,894.1	
荷の重	9	44.00	8.48	$M_o = +226.$	- 9,148.1	0
及動	10	55.60	14.78	$V_o = 0$	- 14,659.2	
中荷	中央	62.50	20.00		- 19,739.5	
(IV)	拱頂點	0	0		0	
半	5	19.72	1.64		- 1,883.8	893.3
	9	44.00	8.48	$H_o = 946$	- 10,290.6	1,993.2
	10	55.60	14.78	$M_o = -40.6$	- 17,191.7	2,518.7
荷	起拱點	62.50	20.00	$V_o = 45.3$	- 23,536.6	2,831.3
	5'	19.72	1.64		- 1,040.6	893.3
	9'	44.00	8.48		- 6,067.1	1,993.2
重	10'	55.60	14.78		- 10,514.1	2,518.7
	起拱點	62.50	20.00		- 14,961.3	2,831.3
	區割點	y	0		$\cos \theta$	$\sin \theta$
(V)	拱頂點	0	0		1.0000	0
溫度の變化	5	1.64	9° 29' 2"	$H_o = 76.4$	0.98633	0.16477
	9	8.48	23° 14' 42"	$M_o = -296.$	0.91883	0.39466
	10	14.78	33° 43' 48"	$V = 0$	0.33166	0.55528
	起拱點	20.00	40° 39' 36"		0.75859	0.65157

力線を定むる方法

$H_o y$	$M$ 単位=(150呎 <sup>#</sup> 封度)	推力 $T$ 単位=(150#)	剪力 $S$ 単位=(150#)	偏倚 $e$ (呎)
0	-	89.3	716	0 0.125
1,174.2	+	44.3	724	25 + 0.061
6,071.7	-	84.7	771	4 - 0.110
10,582.5	-	20.9	809	2 - 0.026
14,320.0	-	730.6	965	22 - 0.757
0	+	4.2	1,177	0 + 0.0036
1,930.3	+	50.7	1,194	24 + 0.042
9,981.0	-	305.4	1,267	42 - 0.241
17,396.1	+	208.6	1,315	158 + 0.159
23,540.0	+	7.6	1,495	71 + 0.005
0	+	226.	1,007	0 + 0.224
1,651.5	-	16.6	1,016	4 - 0.016
8,539.4	-	382.7	1,105	72 - 0.346
14,883.5	+	450.3	1,164	64 + 0.387
20,140.0	+	626.5	1,240	94 + 0.505
0	-	40.6	946	45.3 - 0.043
1,551.4	+	520.3	957	29 + 0.544
8,022.1	-	315.9	1,035	7 - 0.305
13,981.9	-	731.7	1,098	68 - 0.666
18,920.0	-	1,825.9	1,290	47 - 1.415
1,551.4	-	423.1	959	19 - 0.441
8,022.1	-	78.8	1,002	48 - 0.079
13,981.9	+	908.5	1,026	68 + 0.885
18,920.0	+	1,086.8	1,169	96 + 0.930
$H_o y$	$M$ 単位=(150呎 <sup>#</sup> )	推力 $T$ 単位=(150#)	剪力 $S$ 単位=(150#)	偏倚 $e$ (呎)
0	-	296.0	76.4	0 - 3.874
125.3	-	170.7	75.4	12.6 - 2.264
647.9	+	351.9	70.2	30.2 + 5.013
1,129.2	+	833.2	63.5	42.4 + 13.121
1,528.0	+	1,232.0	58.0	49.8 + 21.241

(h<sub>1</sub>) 混凝土緑維應力の計算豫備表

第九圖



拱頂點に於ける鐵筋斷面  
積

$$= 4 \times \left( 2.30 - \frac{5}{8} \times \frac{3}{8} \right) + 2$$

$$\times \left( 8 \times \frac{3}{8} - 2 \times \frac{5}{8} \times \frac{3}{8} \right)$$

= 13.325 平方吋 (肋拱一個に付き)  
起拱點及其前後に於ける

鐵筋斷面積

$$= 4 \times \left( 3.0 - \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \right) + 2$$

$$\times \left( 8 \times \frac{3}{8} - 2 \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{8} \right)$$

= 15.375 平方吋 (肋拱一個に付き)

區割點	鋼筋材の 斷面積 (平方吋)	拱環厚 (h) (呎)	bh (平方吋)	$\frac{p}{bh}$ (鐵筋比) 但し拱肋 間隔2'-3"	np	$h^2$ (呎 <sup>2</sup> )	$a^2$ (呎 <sup>2</sup> )
拱頂點	13.325	3.00	972	0.0137	0.2055	9.00	1.501
5	13.325	3.23	1,047	0.0127	0.1905	10.4329	1.796
9	15.375	3.93	1,273	0.0121	0.1815	15.4449	2.829
10	15.375	4.95	1,604	0.0096	0.1440	24.5025	4.805
起拱點	15.375	7.50	2,430	0.0063	0.0915	56.2500	12.020

區割點	12np	12npa <sup>2</sup>	$h^2 + 12npa^2$	6h	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
拱頂點	2.466	3.701	12.701	18.000	0.830	1.417
5	2.286	4.106	14.539	19.38	0.840	1.333
9	2.178	6.162	21.607	23.58	0.846	1.091
10	1.728	8.303	32.806	29.70	0.874	0.905
起拱點	1.134	13.631	69.881	45.00	0.914	0.644

$$c_1 = \frac{1}{1+np}$$

$$c_2 = \frac{6h}{h^2 + 12npa^2}$$

(h<sub>2</sub>) 各種の荷重法に對

+ 符號は應壓力を示す

加重法	區割點	$\frac{T}{bh}$ (#/□'')	(吋)	$c_2$	$c_2e$
静荷重	拱頂點	249	- 0.125	1.417	- 0.177
	5	233	+ 0.061	1.333	+ 0.081
	9	204	- 0.110	1.091	- 0.120
	10	170	- 0.026	0.905	- 0.024
	起拱點	134	- 0.757	0.644	- 0.488
總荷重	拱頂點	409	+ 0.0036	1.417	+ 0.005
	5	385	+ 0.042	1.333	+ 0.056
	9	336	- 0.241	1.091	- 0.263
	10	277	+ 0.159	0.905	+ 0.144
	起拱點	208	+ 0.005	0.644	+ 0.003
靜分荷の重一及動中央重三	拱頂點	350	+ 0.224	1.417	+ 0.317
	5	328	- 0.016	1.333	- 0.021
	9	293	- 0.346	1.091	- 0.377
	10	245	+ 0.387	0.905	+ 0.350
	起拱點	172	+ 0.505	0.644	+ 0.325
半荷重	拱頂點	328	- 0.043	1.417	- 0.061
	5	309	+ 0.544	1.333	+ 0.725
	9	274	- 0.305	1.091	- 0.333
	10	231	- 0.666	0.905	- 0.603
	起拱點	179	- 1.415	0.644	- 0.911
	5'	309	- 0.441	1.333	- 0.588
	9'	266	- 0.079	1.091	- 0.086
	10'	216	+ 0.885	0.905	+ 0.801
	起拱點	162	+ 0.930	0.644	+ 0.599
溫氏度增加變化十華度	拱頂點	26.5	- 3.874	1.417	- 5.489
	5	24.3	- 2.264	1.333	- 3.018
	9	18.6	+ 5.013	1.091	+ 5.469
	10	13.4	+ 13.121	0.905	+ 11.875
	起拱點	8.1	+ 21.241	0.644	+ 13.679

する縁維應力計算表

- 符號は應張力を示す

$c_1$	$c$ 上縁維に對する應力係數	$c'$ 下縁維に對する應力係數	$fc$ (#/□'')	$fc'$ (#/□'')
0.830	+ 0.653	+ 1.007	+ 163	+ 251
	+ 0.921	+ 0.759	+ 215	+ 177
	+ 0.726	+ 0.966	+ 148	+ 197
	+ 0.850	+ 0.898	+ 145	+ 153
	+ 0.426	+ 1.402	+ 57	+ 188
0.830	+ 0.835	+ 0.825	+ 342	+ 337
	+ 0.896	+ 0.784	+ 345	+ 302
	+ 0.583	+ 1.109	+ 196	+ 373
	+ 1.018	+ 0.730	+ 282	+ 202
	+ 0.917	+ 0.911	+ 191	+ 189
0.830	+ 1.147	+ 0.513	+ 401	+ 180
	+ 0.819	+ 0.861	+ 269	+ 282
	+ 0.469	+ 1.223	+ 137	+ 358
	+ 1.224	+ 0.524	+ 300	+ 128
	+ 1.239	+ 0.589	+ 213	+ 101
0.830	+ 0.769	+ 0.891	+ 252	+ 292
	+ 1.565	+ 0.115	+ 484	+ 36
	+ 0.513	+ 1.179	+ 141	+ 323
	+ 0.271	+ 1.477	+ 63	+ 341
	+ 0.003	+ 1.825	+ 1	+ 327
	+ 0.252	+ 1.428	+ 78	+ 441
	+ 0.760	+ 0.932	+ 202	+ 248
	+ 1.675	+ 0.073	+ 362	+ 16
	+ 1.513	+ 0.315	+ 245	+ 51
0.830	- 4.659	- 6.319	- 123	+ 167
	- 2.178	- 3.858	- 53	+ 94
	+ 6.315	- 4.623	+ 117	- 86
	+ 12.749	- 11.001	+ 171	- 147
	+ 14.593	- 12.765	+ 117	- 103

(h<sub>3</sub>) 温差應力を加除せる緑維應力の計算表  
+符號は應壓力を示す - 符號は應張力を示す

(単位は毎平方時に付き封度とす)

區 割 點	静荷重と溫度昇騰		静荷重と溫度降下		總荷重と溫度昇騰		總荷重と溫度降下	
	拱外緑維	拱内緑維	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維
拱頂點	+ 40	+ 418	+ 286	+ 84	+ 219	+ 504	+ 465	+ 170
5	+ 162	+ 271	+ 268	+ 83	+ 292	+ 396	+ 393	+ 208
9	+ 265	+ 111	+ 31	+ 283	+ 313	+ 287	+ 79	+ 459
10	+ 316	+ 6	- 26	+ 300	+ 453	+ 55	+ 111	+ 349
起拱點	+ 174	+ 85	- 60	+ 291	+ 308	+ 86	+ 74	+ 292

區 割 點	全徑間上静荷重と中央三分の一區間上動荷重並に			全徑間上静荷重と左半徑間上動荷重並に				
	溫度昇騰		溫度降下		溫度昇騰		溫度降下	
	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維
拱頂點	+ 278	+ 347	+ 524	+ 13	+ 129	+ 459	+ 375	+ 125
5	+ 216	+ 376	+ 322	+ 188	+ 431	+ 130	+ 537	- 58
9	+ 254	+ 272	+ 20	+ 444	+ 258	+ 237	+ 24	+ 409
10	+ 471	- 19	+ 129	+ 275	+ 234	+ 194	(+ 2,000) - 108	(+ 506) + 488
起拱點	+ 330	- 2	+ 96	+ 205	+ 118	+ 224	(-2,780) - 116	(+ 463) + 430
5'					+ 25	+ 535	+ 131	+ 347
9'					+ 319	+ 162	+ 85	+ 334
10'					(+ 558) + 533	(-2,440) - 131	+ 191	+ 163
起拱點					+ 362	- 52	+ 128	+ 158

拱環各部に於ける最大並に最小應力(#/□")

區 割 點	静荷重若くは静動荷重より生ず可き最大應力		荷重と溫差との兩者より生ず可き最大應力		荷重と溫差と兩者より生ず可き最小應力		〔注 意〕字た はる 表混 合場 中凝 土の 弧の 内抗 力に 張度 記力を 入を示 す無せ る視り
	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維	外緑維	内緑維	
拱頂點	+ 401	+ 337	+ 524	+ 504	+ 40	+ 13	
5	+ 484	+ 441	+ 537	+ 535	+ 25	- 58	
9	+ 202	+ 373	+ 319	+ 459	+ 20	+ 111	
10	+ 362	+ 341	(+ 558) + 533	(+ 506) + 488	(-2,000) - 108	(-2,440) - 131	
起拱點	+ 245	+ 327	+ 362	+ 430	(+ 463) - 116	(-2,780) - 52	

(7) 「モニエー」式鐵筋混泥土拱橋の設計

徑間長參十二呎以下の鐵筋混泥土拱橋は凡て「モニエー」式を採用せり其計算法次の如し

拱軸點座標と荷重表

區番 劃 點號	x	y	$x^2$	$y^2$	靜荷重 (拱環+填 充砂利)	換算 動荷重	荷重 (合計)	荷重 (累計)
							呎	呎
1	0.70	0.01	0.490	0.0001	730	900	1630	1630
2	2.12	0.10	4.494	0.0100	760	930	1690	3320
3	3.63	0.28	13.177	0.0784	860	1010	1870	5190
4	5.22	0.60	27.248	0.3600	960	1050	2010	7200
5	6.94	1.06	48.164	1.1236	1170	1160	2330	9530
6	8.85	1.75	78.323	3.0625	1480	1290	2770	12300
7	11.00	2.77	121.000	7.6729	2030	1510	3540	15840
8	14.25	4.87	203.063	23.7169	4450	2470	6920	22760
$\Sigma$	52.71	11.44	495.960	36.024	12440	10320	22760	

彎曲率計算用豫備表

(彎曲腕長の算定)

區番 劃 點號	x	起拱點 にて	點 8	點 7	點 6	點 5	點 4	點 3	點 2
1	0.70	15.30	13.55	10.30	8.15	6.24	4.52	2.93	1.42
2	2.12	13.88	12.13	8.88	6.73	4.82	3.10	1.51	
3	3.63	12.37	10.62	7.37	5.22	3.31	1.59		
4	5.22	10.78	9.03	5.78	3.63	1.72			
5	6.94	9.06	7.31	4.06	1.91				
6	8.85	7.15	5.40	2.15					
7	11.00	5.00	3.25						
8	14.25	1.75	*						

彎曲率算定表

番 號 點 號	静重荷より生ずる彎曲率(呪封度単位)								
	荷重 (封度)	起拱點 [cm]	點8	點7	點6	點5	點4	點3	點2
1	730	11,180	9,900	7,520	5,950	4,550	3,300	2,140	1,040
2	760	10,540	9,220	6,750	5,110	3,660	2,360	1,150	
3	860	10,630	9,120	6,340	4,490	2,850	1,370		
4	960	10,350	8,670	5,520	3,490	1,650			
5	1,170	10,600	8,550	4,750	2,230				
6	1,480	10,590	7,990	3,180					
7	2,030	10,150	6,600						
8	4,450	7,780							
計		81,820	60,050	34,060	21,270	12,710	7,030	3,290	1,040

動荷重より生ずる彎曲率 (呪封度単位)									
番 號 點 號	動荷重より生ずる彎曲率 (呪封度単位)								
	荷重 (封度)	起拱點 [cm]	點8	點7	點6	點5	點4	點3	點2
1	900	13,770	12,200	9,260	7,340	5,620	4,070	2,640	1,280
2	930	12,910	11,300	8,260	6,260	4,480	2,880	1,410	
3	1,010	12,490	10,720	7,440	5,270	3,340	1,610		
4	1,050	11,300	9,470	6,040	3,810	1,810			
5	1,160	10,500	8,470	4,710	2,220				
6	1,290	9,220	6,960	2,770					
7	1,510	7,550	4,900						
8	2,470	4,320							
計		82,060	64,020	38,480	24,900	15,250	8,560	4,050	1,280

拱頂點に於ける  $H_0$ ,  $V_0$  及び  $M_0$  計算準備表

番 號 點 號	$y$	静荷重のみの場合		動荷重の	
		$m_L$ 或 $m_R$	$(m_L + m_R)y$	$m_L$ 或 $m_R$	$m_R$
1	0.01	—	0	—	0
2	0.10	—	1,040	—	208
3	0.28	—	3,290	—	1,842
4	0.60	—	7,030	—	8,436
5	1.06	—	12,710	—	26,946
6	1.75	—	21,270	—	74,446
7	2.77	—	34,060	—	188,692
8	4.87	—	60,050	—	584,888
$\Sigma$	11.44	(-139,450)	—	885,458	—
$\Sigma m$	—	278,900	—	—	313,080
起拱點	—	81,820	—	—	82,060

番 號 點 號	みの場合 $(m_L + m_R)y$	拱の左半径間上に全荷重を右半径間上に静荷重を加へたる場合			
		$m_L$	$m_R$	$(m_L + m_R)y$	$(m_R - m_L)x$
1	0	0	0	0	0
2	— 256	— 2,320	— 1,040	— 336	— 2,712
3	— 2,266	— 7,340	— 3,290	— 2,975	— 14,710
4	— 10,272	— 15,590	— 7,030	— 13,572	— 44,683
5	— 32,330	— 27,960	— 12,710	— 43,111	— 105,835
6	— 86,950	— 46,170	— 21,270	— 117,921	— 220,365
7	— 213,180	— 72,540	— 34,060	— 295,282	— 423,280
8	— 623,554	— 124,070	— 60,050	— 896,665	— 912,285
$\Sigma$	— 968,808	— 295,990	— 139,450	— 1,369,862	+ 1,723,870
$\Sigma m$	—	— 435,440	—	—	—
起拱點	—	—	—	—	—

(I) 静荷重のみの場合

$$2 \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y \right] = 2 \times \left[ (11.44)^2 - 8 \times 36.024 \right] = -314.636$$

$$H_o = \frac{n \Sigma my - \Sigma m \Sigma y}{2 \left[ (\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2 \right]} = \frac{8 \times (-885,458) - (-278,900 \times 11.44)}{-314.636}$$

= 12,370 封度

$$M_o = -\frac{\Sigma m + 2H_o \Sigma y}{2n} = -\frac{-278,900 + 2 \times 12,370 \times 11.44}{16}$$

$$= -258 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = -0.0208 \text{ 呎}$$

(II) 静荷重と動荷重とな加へたる場合

$$H_o = \frac{8 \times (-1,854,266) - (-591,980) \times 11.44}{-314.636} = 25,610 \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-591,980 + 51,220 \times 11.44}{16} = +375 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = +0.0146 \text{ 呎}$$

(III) 拱の左半徑間上に全荷重(静動)を右半徑間上に静荷重のみを加へたる場合

$$H_o = \frac{8 \times (-1,369,862) - (-435,440) \times 11.44}{-314.636} = 18,990 \text{ 封度}$$

$$V_o = \frac{\Sigma (m_R - m_L)x}{2 \Sigma x^2} = \frac{1,723,870}{2 \times 495.96} = +1,738 \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{-435,440 + 37,980 \times 11.44}{16} = +59. \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = +0.0031 \text{ 呎}$$

(IV) 溫度の変化ある場合

$$H_o = \frac{EI}{ds} \frac{ClLn}{2 \left[ n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 \right]} = \frac{288,000,000 \times 1.25^3 \times 0.000055 \times 30 \times 32 \times 8}{12 \times 1.4 \times 314.636}$$

$$= 4,480 \text{ 封度}$$

$$M_o = -\frac{H_o \Sigma y}{n} = -\frac{4,480 \times 11.44}{8} = -6,310 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = -1.41 \text{ 呎}$$

以上計算の結果を總括して掲くれば次の如し

加重法	静荷重のみの場合	總荷重(静動)を加へたる場合	静荷重が全徑間を覆ひ左半徑間上にのみ動荷重ある場合	溫度の變化ある場合(但し+30°F)
$H_o$ (封度)	12,370	25,610	18,990	4,480
$V_o$ (封度)	0	0	1,738	0
$M_o$ (呎封度)	- 258	+ 375	+ 59	- 6,310
$e_o$ (呎)	- 0.0208	+ 0.0146	+ 0.0031	- 1.41

拱環主要點に於ける彎曲率、推力、剪力及び偏倚

$$\left. \begin{array}{l} \text{左半徑間の任意断面に於ける彎曲率} \\ \text{右半徑間 同上} \end{array} \right\} = M = M_o \pm V_o x + H_o y - M_L \text{ (或は } M_R \text{ )}$$

場合	區割點番號	$M_{L_i}$ 又は $M_R$	$V_{ox}$	$H_{oy}$	彎曲率 $M$ 呎封度	推力 $T$ 封度	剪力 $S$ 封度	偏倚 $e$ 呎
I	拱頂點	0	0	0	+ 59	18,990	1,738	+ 0.0031
	4	- 15,590	9,070	11,390	+ 4,929	19,740	1,000	+ 0.2600
	7	- 72,540	19,120	52,570	- 791	23,400	3,350	- 0.4020
	8	- 124,070	24,770	92,420	- 6,821	27,870	4,860	- 0.3590
	起拱點	- 163,880	27,800	121,480	- 14,541	28,240	2,000	- 0.7660
	4'	- 7,030	9,070	11,390	- 4,651	19,670	730	- 0.2450
	7'	- 34,060	19,120	52,570	- 551	21,350	340	- 0.0290
	8'	- 60,050	24,770	92,420	+ 7,659	23,700	380	+ 0.4040
II	起拱點	- 81,820	27,800	121,480	+ 11,919	23,520	2,760	+ 0.6280
	拱頂點	0	0	0	- 258	12,370	0	- 0.0208
	4	- 7,030		7,420	+ 132	12,840	430	+ 0.0107
	7	- 34,060	0	34,270	- 48	14,730	1,220	- 0.0032
	8	- 60,050		60,250	- 58	17,360	2,250	- 0.0047
III	起拱點	- 81,820		79,200	- 2,878	17,500	500	- 0.2327
	拱頂點	0	0	0	+ 375	25,610	0	+ 0.0146
	4	- 15,590		15,360	+ 145	26,620	1,200	+ .0056
	7	- 72,540	0	70,900	- 1,265	30,100	1,720	- 0.0486
	8	- 124,070		124,800	+ 1,105	34,230	2,150	+ 0.4244
IV	起拱點	- 163,880		164,000	+ 495	34,280	1,300	+ 0.0193
	拱頂點	0	0	0	- 6,310	4,480	0	- 1.4100
	4			2,690	- 3,620	4,375	1,010	- 0.8080
	7		0	12,420	+ 6,110	3,950	2,120	+ 1.3620
	8			21,850	+ 15,540	3,540	2,750	+ 3.4700
備考	起拱點			28,700	+ 22,390	3,250	3,100	+ 4.9300

I は拱の左半徑間上に全荷重(静動)を右半徑間上に静荷重のみを加へたる場合  
 II は全徑間上に静荷重のみの場合  
 III は全徑間上に静荷重と動荷重とな加へたる場合  
 IV は溫度の變化(30度F)ある場合

## 縁維應力の算定

$f_c$ =混疑土の上縁維應力  $f_c'$ =混疑土の下縁維應力

$$\left\{ \begin{array}{l} f_c' \\ f_c \end{array} \right\} = \frac{N}{bh} \left\{ \frac{1}{1+np} \pm \frac{6h}{h^2 + 12pa^2} e \right\}$$

$$= \frac{N}{bh} \left\{ c_1 \pm c_2 e \right\} = \frac{N}{bh} c \text{ 或は } \frac{N}{bh} e$$

區割點番號	$p$	$np$	$h^2$	$a^2$	$12np$	$\frac{h}{12na^2}$	$6h$	$c_1$	$c_2$
拱頂點	.00682	.1022	1.562	0.250	1.226	1.863	7.50	0.908	4.02
4	.00650	.0975	1.714	0.281	1.170	2.042	7.85	0.910	3.84
7	.00557	.0835	2.340	0.410	1.002	2.751	9.17	0.922	3.33
8	.00897	.1345	3.610	0.681	1.613	5.223	11.40	0.881	2.18
起拱點	.00682	.1022	6.250	1.266	1.226	7.752	15.00	0.908	1.935

+ 應壓力 - 應張力

場合	區割點番號	$\frac{T}{bh}$ (平方吋付封度)	$c$	$c'$	$f_c$ (平方吋付封度)	$f_c'$ (平方吋付封度)	$f_c$ (平方吋付封度)	$f_c'$ (平方吋付封度)
I	拱頂點	105.5	+	0.920	+	.896	+	97
	4	104.8	+	1.007	-	.087	+	200
	7	106.3	+	0.782	+	1.062	+	83
	8	102.0	+	0.999	+	1.063	+	10
	起拱點	78.5	-	0.574	+	2.390	-	45
	4'	104.3	-	0.030	+	1.850	-	3
	7'	97.0	+	0.825	+	1.019	+	80
	8'	86.7	+	1.761	+	0.001	+	153
II	起拱點	65.4	+	2.126	-	0.310	+	139
	拱頂點	68.7	+	0.824	+	0.992	+	57
	4	68.2	+	1.031	+	0.789	+	70
	7	67.0	+	0.979	+	0.865	+	66
	8	63.5	+	0.916	+	0.846	+	58
III	起拱點	48.6	+	0.498	+	1.318	+	24
	拱頂點	142.3	+	0.967	+	.849	+	138
	4	141.4	+	0.932	+	.888	+	133
	7	136.9	+	0.760	+	1.084	+	104
	8	125.2	+	0.974	+	0.788	+	122
IV	起拱點	95.2	+	0.945	+	0.871	+	90
	拱頂點	24.9	-	4.752	+	6.568	-	118
	4	23.2	-	2.190	+	4.010	-	51
	7	18.0	+	5.462	-	3.618	+	98
	8	12.9	+	8.441	-	6.679	+	119
溫度上昇の時								
溫度下降の時								

## 各種の荷重法に對する混疑土の縁維應力表

番號	區割點 上縁維 下縁維	(+) 應壓力			(-) 應張力		
		拱上に静荷重のみの時 の變化あれば 上縁維 下縁維	拱上に全荷重を加へたる時 温変上昇せば 上縁維 下縁維	拱上に全荷重を加へたる時 温変下降せば 上縁維 下縁維	左右不等荷重法の時 温度上昇せば 上縁維 下縁維	左右不等荷重法の時 温度下降せば 上縁維 下縁維	
拱頂點	- 61	× 232	+ 20	+ 285	+ 256	- 43	- 21
4	+ 19	× 147	+ 82	+ 219	+ 184	+ 33	+ 84
7	+ 164	- 7	+ 202	+ 83	+ 6	+ 213	+ 181
8	+ 177	- 33	+ 241	+ 12	+ 3	+ 186	+ 129
起拱點	+ 119	- 15	+ 185	+ 4	- 5	+ 162	+ 50
拱頂點	+ 175	* 96					
4	+ 121	* 39				- 54	+ 286
7	- 32	+ 123				+ 178	+ 34
8	- 61	+ 141				+ 272	- 86
起拱點	- 71	+ 143				+ 234	- 99

× 温度上昇せる場合 \* 温度下降の場合

推力により拱環短縮の爲め起る應力を計算すれば次の如し

前表にて荷重法(I)の場合に於て縁維應力最大なるを以て其の上下縁維應力を平均して每平方吋に對し平均應壓力八十六封度となり、又溫度の變化より來る平均應壓力は每平方吋に就き十六封度故に合計し百〇二封度となるべし。

今之れを拱環全部を通じ平均百封度の應壓力なりと假定せば

$$H_o = \frac{-I}{ds} \frac{f_c L n}{2[(\Sigma y)^2 - n \Sigma y^2]} = \frac{0.116 \times 3,680,000}{314.636} = 1,310 \text{ 封度}$$

$$M_o = - \frac{H_o \Sigma y}{n} = - \frac{1,310 \times 11.44}{8} = - 1,875 \text{ 呎封度}$$

$$e_o = \frac{M_o}{H_o} = - 1.43 \text{ 呎}$$

此  $H_o$  を生ずる丈けの溫度の變化を見るに華氏 8.8 度に相當す。以上の値により前數表と同様の計算を施せば次ぎの結果を得べし

拱軸點	$f_c$	$f_c'$
拱頂	+ 50	- 37

4	+	29	-	16
7	-	20	+	30
8	-	30	+	37
起拱點	-	24	+	29

以上計算の結果を総合して最も悪しき場合を組み合はするも拱環内最大應壓力は拱頂部に於て 306封度にして、最大應張力は起拱線に於て每平方吋に 140封度となるべし

然るに混凝土上の抗張強度は每平方吋に對し 1 : 2 : 4 混凝土の場合に 200封度を有す、故に拱環は以上如何なる荷重の組み合せに對しても龜裂を生ずることなし、今假りに一步を譲り混凝土上が抗張力皆無と假定せば次式より中軸線の位置を求める應力度を算出することを得べし

$$x^3 - 3x^2 \left( \frac{h}{2} - \frac{M}{T} \right) + 12 \frac{M}{T} - \frac{nA}{b} x - \frac{6nA}{b} \left( \frac{M}{T} h + 2e^2 \right) = 0$$

茲に  $x$  は断面の抗壓縁維より中軸線に至る距離

鐵筋上の最大應張力は前諸表より得たる結果により  $140 \times 15 = 2100$  封度以内にあり、又鐵筋上の應壓力は  $306 \times 15 = 4590$  封度以内にあり、

### (8) 拱環に於ける伸縮接合線（エクスパンション、ジョイント）の位置

拱側壁に設くべき伸縮接合（エクスパンション、ジョイント）の位置に就き從來幾多の方法あり

溫度下降に際し主拱環の短縮と共に之を低下せしむるに至るべきや言を俟たず故に拱頂部と拱脚との間に伸縮接合を設けざるときは「スパンドレル」壁は拱脚相互間何れの部分にか縦龜裂を生ずるの結果を誘致す

徑間長三四十呎以下なる拱橋に於ては概ね拱脚部の兩側に設くるを普通とす又徑間の稍々大なるものにありては「スパンドレル」壁の數ヶ所に設けたるもの少からず

「ワシントン」市「コネクチカト、アヴェニュー」拱橋に於ては拱頂部に之を設け又「スポーツ」市「モントロー」拱橋に於ては徑間の各三分點に之を設けたり

米國「ミードー」街拱橋 (The Meadow Street bridge) は橋脚の兩側起拱點の直ぐ上部に伸縮接合線を設けしが溫差の爲め橋脚に隣れる拱側支柱は強大なる應力を受けたる實例あり此の事實に鑑み「ラリマーラヴェニュー」拱橋（徑間長 296.748 呎）に於ては此の位置を變更し拱軸線と溫差推力 (Temperature thrust) との交點の上部に「エクスパンション、ジョイント」を設けたり

外濠拱橋の設計に當り此の點に付き種々研究を重ねたり元來「エクスパンション、ジョイント」は溫差による拱環の上下動從て回轉の最少なる部分に設くるを理想とす、大徑間を有する拱橋に於て殊に然り拱軸線と溫差推力との交點は此の理想に最も近き位置なるを以て外濠橋に於ても茲に之れを擬定せり其の結果は甚だ良好なり

伸縮接合線は之れを隱式となせるものと現式となせるものとの二者あれども隱式とせるものは水仕舞一般に困難にして水洩を見ること多く現式の方反て良好なりと認め外濠橋に於ては外装石を此部分に限り空目地とせり

### (9) 拱環の撓度と「キャンバーリング」

#### (I) 垂直荷重より起る撓度

荷重により拱頂部に起る撓度は次の方程式によりて算定することを得べし  

$$\Delta y = -\frac{ds}{EI} \Sigma Mx \quad \text{茲に } \begin{cases} \Delta y = \text{拱頂部の所要撓度} \\ ds = \text{拱環區割部分長} \end{cases}$$

上式に  $M$  の値を插入する時は

$$\Delta y = -\frac{ds}{EI} \left[ \Sigma mx + M_o \Sigma x + H_o \Sigma xy + V_o \Sigma x^2 \right]$$

上式中括弧内の和は半徑間に對するものなり

垂直荷重より起る撓度（但し外濠橋徑間長 125呎、機關車荷重  $E_o$ ）

$\Delta y$  の算出を容易ならしめんが爲め所要値を表示すれば下の如し

拱位點	$x$ (呎)	$y$ (呎)	$xy$	$m$ (単位 150 封度)	$mx$ 単位、呎及 150 封度
1	2.01	0.01	0.0201	0	0
2	6.15	0.15	0.9225	—	87.6
3	10.43	0.46	4.7978	—	274.6
4	14.95	0.94	14.0530	—	582.8
5	19.72	1.64	32.3408	—	1,040.6
6	24.80	2.60	64.4800	—	1,691.3
7	30.36	3.93	119.3148	—	2,622.5
8	36.52	5.74	209.6248	—	3,957.0
9	44.00	8.48	373.1200	—	6,067.1
10	55.60	14.78	821.7680	—	10,514.1
$\Sigma$	244.54	38.73	1,640.4418	—	26,837.6
					— 1,150,245.6 —

即ち

$$\Sigma mx = -172,536,840, \quad M_o \Sigma x = -3,276,102 \\ H_o \Sigma xy = +176,183,449, \quad V_o \Sigma x^2 = 0$$

$$\text{故に } \Sigma Mx + M_o \Sigma x + H_o \Sigma xy + V_o \Sigma x^2 = +370,507.$$

依て拱頂部に於ける最大撓度は次の如し

$$\Delta y = -\frac{+370,507 \times 1.301}{258,000,000} = 0.00167 \text{ 呎}$$

$$= 0.02 \text{ 吋}$$

### (II) 溫度の變化により拱頂部に起る撓度

溫度の變化によりて起る撓度は次式によりて算定することを得べし

$\Delta y$ を溫度によりて拱頂部に起る撓度とすれば

$$\Delta y = \pm \frac{CtL}{z} \frac{n\Sigma xy - \Sigma x\Sigma y}{n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2}$$

上式中  $C$  は材料の膨脹係数

$t$  は溫度の變化

今  $t = 30^\circ$  (華氏)

$C = 0.0000055$

と假定すれば撓度の値は次の如し

$$\Delta y = \pm \frac{0.0000055 \times 30^\circ \times 125 \times [16,404.42 - 9,471.03]}{2[3,493.19 - 1,500.01]}$$

$$= \pm 0.03587 \text{ 呎} = \pm 0.4305 \text{ 吋}$$

### (III) 鐵筋混擬土拱の反り

以上計算より得たる撓度は甚だ小にして自重撓度の如き實際上皆無と見るも差支なき程度のものなり然れども實地上の慣例として徑間長 150 呎以下の拱橋には其の徑間長に對し八百分の一の反りを付するを普通とす

(Balet's Analysis of Elastic Arches を参照せよ)

今茲に既設拱橋の實地に於て付したる反りの數例を参照せんに

米國「ラリマー、アヴェニュー」拱橋 (Larimer Ave. arch bridge) (純徑間 296.748 呎) に於ては工事中の支保工に對する反りを除き拱頂に於て 0.194 呎の反りを付したり從つて徑間長と反りとの比は次の如し

$$\frac{0.194}{296.748} \div \frac{1}{1,530}$$

亦「セントルイ」市に在る「キングスハイウェー」拱橋 (Kings highway arch bridge) の場合には次の如き記事を見ることを得べし

(Engineering News P. 1231, June 27, 1912 を参照せよ)

即ち混擬土施工中其の重量によりて起る支保工の沈下並に其の取外しに際し拱に生ずる彈性變形を補正せんが爲め拱環工事完成後に於ける計算上の位置よりも夫々揚げ起したり

此の反りは拱頂部に於て二吋なりしが支保工を取り外したる後其の位置を検せしに總ての拱は所定の位置より八分の一吋以内の點に落付けるを見たりと云ふ此の拱橋の純徑間長は

百七十呎なり

次に「ニューヨーク」市「ブロウードウェイ」拱橋 (Broadway arch bridge) (純徑間長百三十八呎、拱矢二十六呎七吋拱頂厚二十六吋起拱點に於ける環厚五呎五吋) に於て拱環内に使用せる主鐵筋は  $3'' \times 3'' \times \frac{5''}{16}$  「アングル」及び  $2 \frac{1''}{4} \times \frac{1''}{4}$  の單式綴針を以て組立てたる「メラン」式結構にして總數十五組其の配置距離心心三呎とし「リップ」は拱環中四ヶ所並びに橋脚上に於て相互横に結合し各鐵筋の兩端は充分橋脚に錨着せるものなり

拱環の反りを二吋半とし内一吋は支保工の落付きに對して付したるものなり施行後觀測せる撓度は八分の七吋にして混擬土の施工順序は拱頂部を先にし拱腰部を後にせりと云ふ

瑞西國「ラウサンヌ」(Lausanne) に架せる「シャウデロン、モンベノン」(Chauderon-Montbenon) 鐵筋混擬土拱橋施工の實例によれば支保工を取り去りたるとき拱頂部に起れる最大撓度は十六分の九吋なりと云ふ

此の拱橋は換國「ヨセフ、メラン」教授の設計に係り拱環鐵筋として「メラン」式鋼筋を使用せり其の徑間長は二八、七五米突拱矢は六、二斗突、拱頂厚は〇、ヒ五米突にして起拱點に於ける厚さは一、八六米突なり拱環の巾は一、六米突にして使用せる「メラン」式鋼筋は十二組なり

(“Zeitschrift des österr Ingenieur-und Architekten Vereins” 1,906, Nr 22 )  
〔を参照せよ〕

以上數多の實例並に計算上算出せる荷重、溫度の變化に基く撓度の値等を比較研究し外濠橋拱頂部の撓度は溫度及び荷重に對し二分の一吋、支保工の落付きに對し二分の一吋合計一吋とせり、拱環各點に於ける撓度を定むるに別に法則あるをきかず本拱環に於ては理論上の拱軸線と反りを付したる時の拱軸線との間を拋物線縱距率に従ひ拱環各位の高度を定めたること次に示せる圖表の如し

拱環混擬土施工後支保工を取り去り拱頂に於て觀測せる撓度は後項上部施工の部に表示するが如し

## (10) 拱架工の設計

拱架工は混擬土重量の爲め沈低すること絶無なるを理想とす故に大小拱橋の「セントル」に對しては堅牢なる基礎上に支持せしめ木部各組合せ部に於て可成「ルーズジョイント」を避けたる構造を採用せり

徑間長三十二呎以下の拱橋に對しては既設混擬土「フーティング、スラブ」上に盤木を「ボールト」締めとし此の上に支柱を配置し一種の「フレーム」を構成せしめ更に圖に示せしが如き「セントル」を据付け施工せり

外濠橋(徑間長百二十五呎斜拱橋)に對しては拱環混擬土施工順序に據る各一分割の重量を一列の地杭にて支持せしむる構造とし上部荷重の全量は直ちに杭上に傳達せられ途中桁材によるこことからしめたり

之れ材料の節約を計ると共に木材の變曲により拱環に變形を生ずる缺點を避けんが爲めなり

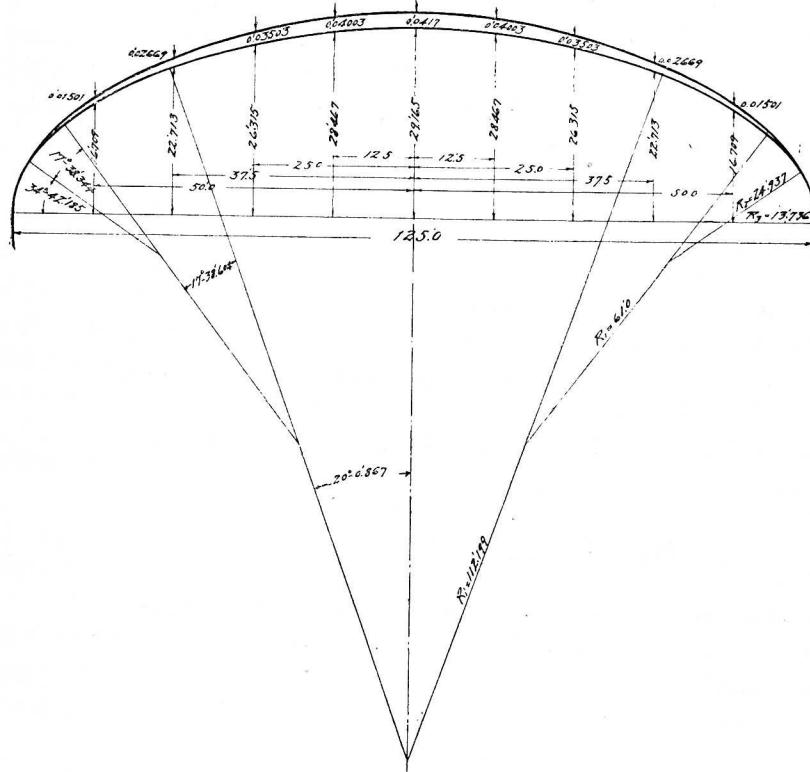
拱橋の二點には二十噸「スクルージャック」を使用し將來「セントル」の杠下に便ならしめたり。

各部組合せの部分にして支圧力の甚しき箇所には堅木製ブロックを使用し且つ一ヶ所に數箇の支柱集中する場合には各材の接觸面を充分密接し得る様平坦ならしめ「アングル」を使用し「ボルト」締めとせること圖の如し

松材に対する許容維應力は、一平方吋に付き一千封度乃至一千四百封度とせり。

施行の結果何れの徑間に於ても良好なる結果を収めたり

第十圖



## (II) 拱環混凝土施行法

## 施工の方法

現今拱環の施工法として二種の方法行はる、一は横割施工法他は縦割施工法とす、長大なる徑間長を有する拱は概れ一定の横區割に分ち混凝土を施すを常とす其の理由は主に左の如し

- (イ) 単獨塊區に分ち豫め混泥土を充分凝縮せしめ拱環工完成の後凝縮應力(Shrinkage Stress)の影響を成るべく小ならしむること、  
 (ロ) 拱架上に成るべく一様なる對照荷重を加へ拱架の不同沈下を防ぐこと、  
 (ハ) 全徑間を連續一日に施工する事不可能なる場合多きを以て拱環を分割施工の必要あること

長大なる徑間を有する拱橋は其の拱環施工に當り以上の如く横區割法を探ること施工上便利にして凝縮應力を減少するの利あれとも本工法の缺點とする處は拱環完成の後區割線が永久に一種の接合線として殘存すべきを以て氣溫の變化或は彎曲力の爲め拱環に應張力を生ずる場合には此線に沿ひ分離し易く從て混凝土の抗張力を利用し得ざるに至るを免れす

故に拱殻塊片は鐵筋により接續するの外、個々獨立して働くものと見做さざるべからず  
従て横割施工法の場合に在りては拱環區割長は工程の許す限り長からしむるを常とす歐米  
諸國の既設拱橋に於ても單劃長十七八呎に及べるもの少なからず

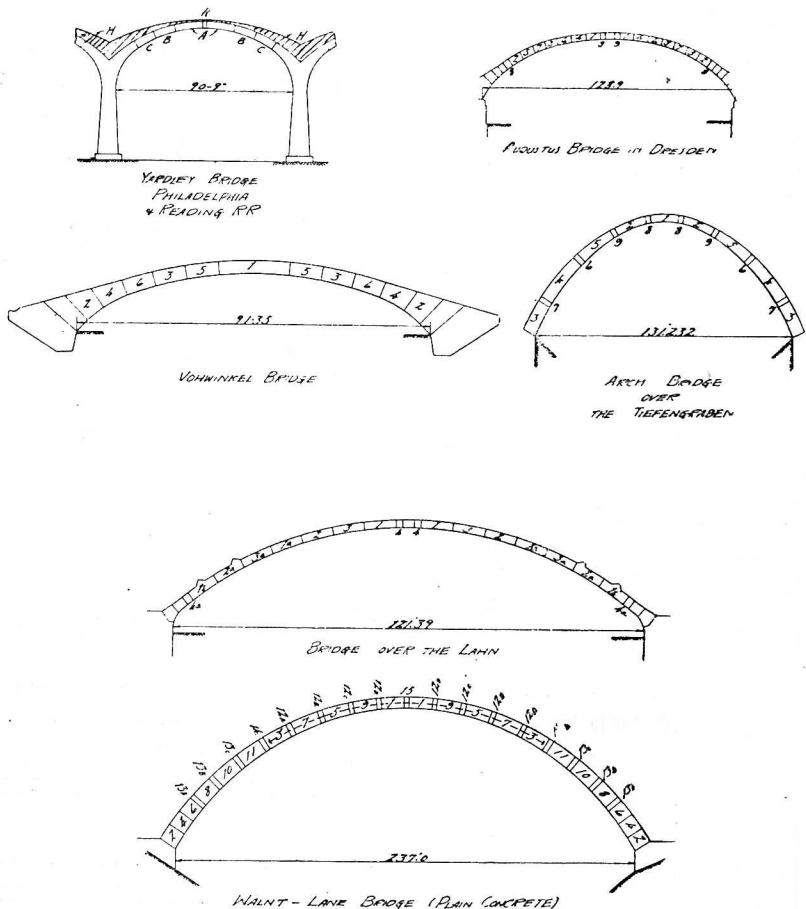
從來施行せられたる拱橋中徑間長八、九十呎以下のものに在りては横區劃を設けずして拱裏全部を一日に完成せるもの其の數に乏しからず、橋の幅員の大なるものは拱の方向に沿ひ三呎乃至四呎の幅に全拱徑間の混凝土を打込むこと普通なり、然れども此の如き方法を採用し得る場合は概れ比較的「フラット、アーチ」に限られたり、之れ四呎乃至五呎以上の高さに混凝土を施せば混凝土を甚だしく不等質ならしむべきを以てなり

此の如き縦割連続の施工法を採用する場合には頗る堅牢なる拱架を要すると共に混凝土の施行法も亦對照的なるを要すべきこと言を俟たず

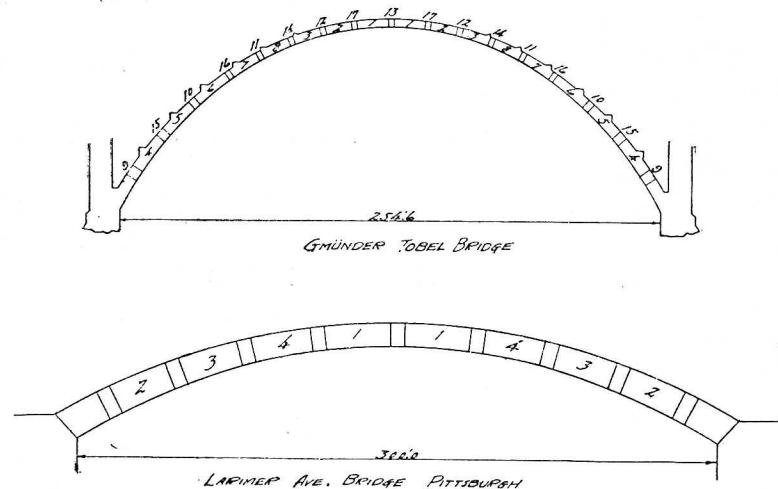
市街線島架拱橋は外濠橋の徑間長百二十五呎を除きては其の長さ概ね三十二呎以下にして此等の拱橋は其の拱環の混擬土容積八立坪余に過ぎざるを以て一日内に一拱環を施行すること容易なり

然れども本拱は凡て約五分の一の拱矢を有し之を一期に打上ぐる事頗る困難にして等質混疑土を期待し得べからず、依て高架拱橋全體に對し横割施工法により實行するの適當なるを認めたり

第十一圖



第十二圖



横區割の數及長さを幾何にすべきや、拱架の強弱、拱矢の大小及混擬土の調製能力等により一定せずと雖ども實例を徵すれば左の如し

拱橋名	徑間長(呎)	横區割數	最長の區割長(呎)
Yardley (Philadelphia & Reading R. R.)	90.75	7	15.0
Vohwinkel	91.35	12	8.2
Lahn	121.40	19	8.2
Augustus (Dresden)	129.00	19	7.5
Tiefengraben	131.20	17	26.0
Walnut-Lane	233.00	39	15.0
Gmunder Tobel	254.60	33	20.0
Larimer Ave. (Pittsburgh)	300.00	19	

徑間長三十二呎以下の拱環區割法

以上を參照し市街線拱橋施工に横割法を採用し次の二方法に付き攻究せり

(イ) 九區割施工法

(ロ) 七區割施工法

前者即ち九區割施工法は第一起拱部、第二拱頂部、第三之れに接續する拱環、第四起拱

部と第三區割との中間、第1拱頂部填充の順序なれども接合線の數八箇所を有するは前述の如く拱環をして將來個々獨立せしむるの結果となり彎曲並に溫差應力に對し弱點を有する部分の數を多からしむるの嫌あり

塊(4)は(2)と(3)との間に設くことを得べしと雖ども茲には彎曲應力の比較的小なる部分を撰定せるに過ぎず

後者即ち1區割施工法は第一起拱部、第二拱頂部、第三其の中間、第四(1)と(3)との間隙填充又は(2)と(3)との間隙填充の順序なり

此の内區割(4)を(2)と(3)との間に配置したるは(2)と(3)との區割部を各單獨に凝固せしむるの目的に由でたり、區割(4)を(1)と(3)との間に設けたるは彎曲率の大なる部分に於て接合線の數を減じ彎曲應力の小なる部分に楔塊を配置せるに過ぎず

故に(2)と(3)との部分に對し混凝土に相當の時日を許せば拱の性質及拱将来の爲め1區割施工法を採用するを適當なりと思考せり

#### 外濠橋拱環支保工及混凝土區割法

徑間長百二十五呎を有する外濠拱橋の拱環混凝土施工法は各種の方法を參照し又一方「セントル」上の荷重を考慮し十七區割に分てり、其の區割法は第十三圖に示せるが如し

「メラン」式拱橋の特徴とする處は發明者「メラン」教授の主張するが如く「セントル」重量を「メラン、リップ」に負擔せしむるに在り、鐵筋混凝土上拱橋に於て埋め込みたる鐵筋は混凝土應壓力のn倍(約十五倍)即ち一平方吋に對し約七千封度乃至九千封度を超過すること能はず、換言すれば拱環内に埋込みたる鐵筋材は其の固有許容強度每平方吋に對し一万五千封度を充分發揮すること能はず、從て強度上の不經濟を避くるには「メラン、リップ」を使用し型枠工を之に懸垂し其の重量及び拱環混凝土自重を之に負擔せしむるにあり

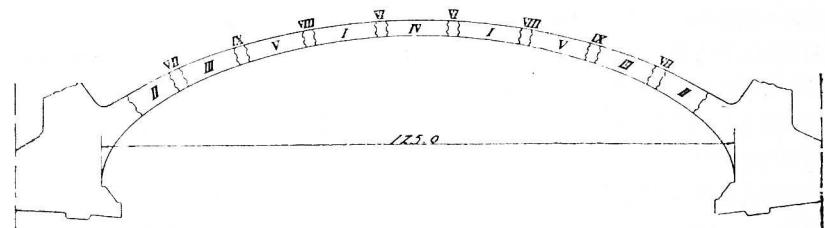
然るときは鐵筋は混凝土の無應力なる際に於て或る程度の始應力を受くべし、初め此の方針を以て設計を進めたれども「メラン」式鐵筋を架設するに先立ち相當の「セントル」及足場を要し殊に此の上にて「メラン」式「リップ」の鉛綫并に鐵筋形状の正確を期せんには「セントル」其れ自身も亦堅牢にして正確なるを要す、而かも一方懸垂型枠となすが爲め莫大なる長さの釣「ボールト」を要し梁及び上木等も普通「セントル」を用ふる場合と異なる處なし故に附屬圖に示すが如く支保工を施す計畫とせり

假支保工を設計するに當り考慮せる問題は外濠に於て通船の必要上中央純徑間約四間を明け其の他は約二間毎に三尺五寸乃至四尺五寸間に杭打を施し根固めを充分にし一區割の混凝土重量が主に杭上に集中し且つ上木下梁材の橿曲より拱の異形を呈することを防ぐ爲め一區割の中央に擔ひ梁を用ひ更に之れを支柱にて支持せり

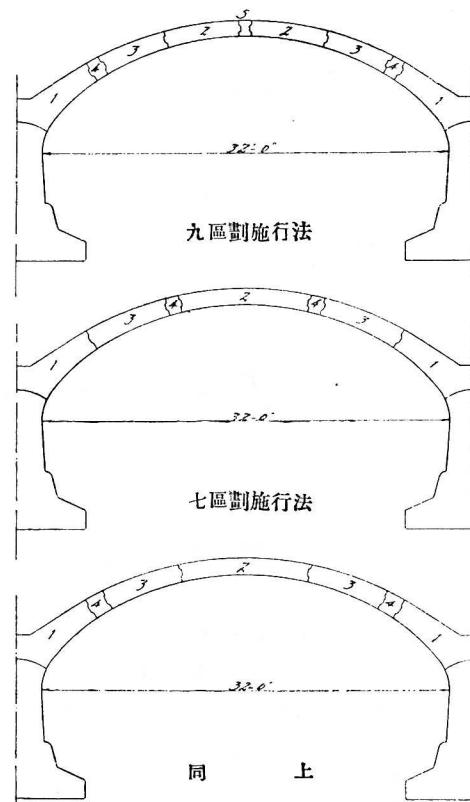
支保工用木材(松材)に対する計算上の許容荷重は一平方吋に付一千二百封度乃至一千四百封度と假定せり

橋梁幅員は八十三呎にして此の幅に對し一時に混凝土工を施すこと困難なるを以て之れを三分し更に之れを十七區割に分ち圖中に示せる羅馬數字の順序により施工せり

第十三圖  
外濠橋拱環混凝土施工順序



第十四圖  
拱環混凝土施工順序



## (12) 連續版桁形橋梁の設計

構造の撰定

本橋梁は白旗橋(斜径間五十一呎二吋餘)を挟み其の前後に位するものにして其の構造に關し少くとも左記四種類を撰定し得べし

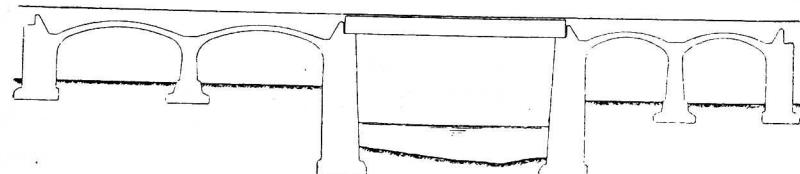
第十五圖

(イ)

第二本銀町橋

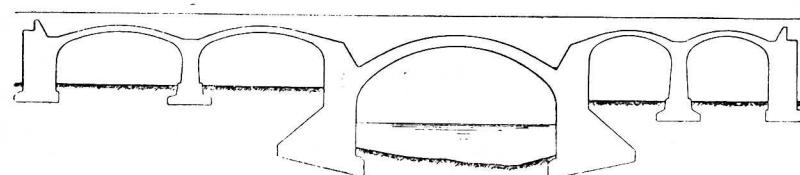
白旗橋

西今川町橋



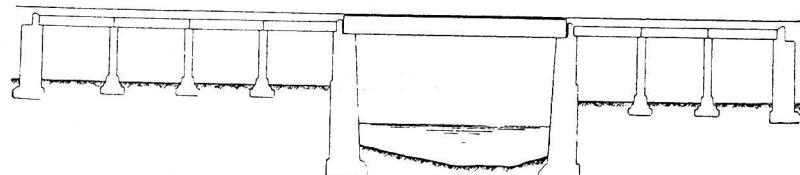
(ロ)

白旗橋



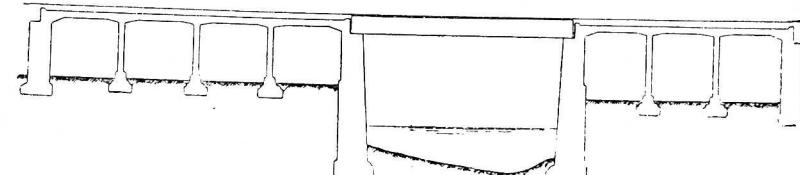
(ニ)

白旗橋



(コ)

白旗橋



本橋の軌道面より底盤迄の高さ三十八呎餘なるを以て

(イ)圖の如く拱橋と桁橋とを併用するときは白旗橋兩橋臺は勢ひ巨大なるを免れず(ロ)圖は主橋の支保工に多額の費用を要するのみならず何れも斜拱橋とするを要するを以て施工に困難なり(ハ)圖は上橋を桁橋とし其は鐵筋混泥土上單版桁とするを以て施工比較的容易なれども白旗橋臺は相當巨大なるものとせざる可からざるのみならず「スラブ」に對しても多量の混泥土を要し尙ほ全體としての構造比較的堅牢なりと稱するを得ず(ニ)圖に掲ぐる處は白旗橋の兩側を連續版桁とし橋臺、橋脚と共に一體的構造とするに在り此の如き構造となすときは計算上複雑なるを免れざれども混泥土容積を減じ且つ「スラブ」は其の橋脚と共に一種の「フレーム」を形成し頗る堅固なる建物となるの利點あり此等比較調査の結果(コ)圖の構造を適當と認め之れを採用せり

設計及計算の方法

本橋は一種の鐵筋混泥土上「フレーム」として設計するを適當とす第十六表及第十七表は彈性理論に基き解きたる結果式を表示せるものなり而して其の計算には構成各部材の斷面慣性率を想定せざるべからず、鐵筋混泥土材の断面慣性率は應力を受くる程度により異なり少くとも三種の場合を有す、即ち第一は部材の何れの部分にも亀裂を生ぜざる場合、第二は部材の一局部に亀裂を生じたる場合、第三は構成部材の全部に亀裂を生じたる場合とす、現今の計算に使用する鐵筋上の許容應張力(一平方吋に付一萬五千封度)の程度に於ては實驗上、抗張力側の混泥土に亀裂を生ずる事なきを常とす從て第二、第三の場合を實現する事なきものと見做し得べし、故に本計算には凡ての断面に對し混泥土の抗張力を無視する事なくして其の断面慣性率を求め使用することせり(但し應力の算定には混泥土上の抗張力を無視すべきこと言を俟たず)

西今川町橋に對する各部材断面並に其の慣性率は次ぎの如し

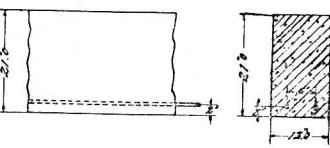
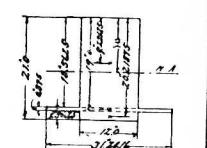
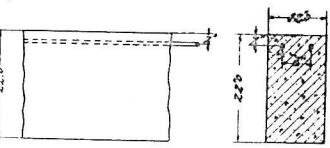
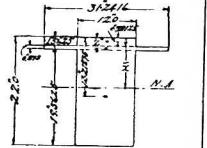
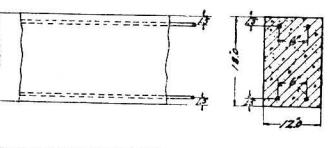
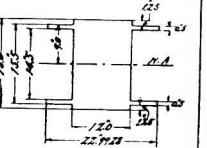
第十六表

		第一荷重法	第二荷重法	第三荷重法	第四荷重法
$V_0$	支点A端 偏心垂直反力	$\frac{9(4+7\phi)-12\phi}{8\Delta} PL$	$\frac{9+16\phi}{8\Delta} PL$	$-\frac{\phi}{4\Delta} PL$	$\frac{9(1+7\phi)}{8\Delta} PL$
$V_1$	支柱B端 偏心垂直反力	$\frac{PL(15+2Z\phi)+ZPL(6+1\phi)}{8\Delta} PL$	$\frac{Z+1+5\phi}{8\Delta} PL$	$\frac{6+11\phi}{4\Delta} PL$	$\frac{15+2Z\phi}{8\Delta} PL$
$H$	支柱B端 偏心水平抗力	$\frac{ZPL-3PL}{8\Delta}$	$-\frac{1}{8\Delta} PL$	$\frac{1}{4\Delta} PL$	$-\frac{3}{8\Delta} PL$
$M_0$	侧梁中间 於y轴弯曲率	$\frac{PL^2(3+8\phi)-ZPL^2\phi}{16\Delta}$	$\frac{3(1+2\phi)}{16\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{8\Delta} PL^2$	$\frac{3+8\phi}{16\Delta} PL^2$
$M_2$	侧梁固定端 於y轴弯曲率	$-\frac{PL^2(3+2\phi)+ZPL^2\phi}{8\Delta}$	$-\frac{3+4\phi}{8\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{4\Delta} PL^2$	$-\frac{3+2\phi}{8\Delta} PL^2$
$M_4$	支柱上端 偏心弯曲率	$-\frac{ZPL^2-3PL^2}{8\Delta}$	$\frac{1}{8\Delta} PL^2$	$-\frac{1}{4\Delta} PL^2$	$-\frac{3}{8\Delta} PL^2$
$M_5$	中央滑轮 偏心两端 於y轴弯曲率	$-\frac{PL^2(1+2\phi)+ZPL^2(1+\phi)}{4\Delta}$	$-\frac{1+2\phi}{4\Delta} PL^2$	$-\frac{1+\phi}{4\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{4\Delta} PL^2$
$M_6$	中央滑轮 偏心中心处 於y轴弯曲率	$\frac{PL^2(1+3\phi)-ZPL^2\phi}{8\Delta}$	$\frac{1+\phi}{8\Delta} PL^2$	$\frac{1+3\phi}{8\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{4\Delta} PL^2$
$X_0$	侧梁滑轮 偏心两端 於y轴弯曲率	$\frac{9(1+2\phi)-ZPL^2\phi}{8\Delta} l$	$\frac{9+16\phi}{8\Delta} l$	—	$\frac{9(1+2\phi)}{8\Delta} l$
$M$	向上最大弯曲率	$\frac{PL^2(1+2\phi)+ZPL^2(1+\phi)-\phi^2}{128\Delta^2} PL^2$	$\frac{(9+16\phi)^2}{128\Delta^2} PL^2$	—	$\frac{8(1+2\phi)^2}{128\Delta^2} PL^2$
$\phi = \frac{h}{\ell} \frac{I_B}{I_c}$ $\Delta = Z + 5\phi$					

第十七表

		第一荷重法	第二荷重法	第三荷重法	第四荷重法
$V_0$	7.57面端 偏心垂直反力	$\frac{PL(4+7\phi)-PL\phi}{4\Delta}$	$\frac{1}{2} PL$	$-\frac{\phi}{4\Delta} PL$	$\frac{4+7\phi}{4\Delta} PL$
$V_1$	支柱端 偏心垂直反力	$\frac{PL(4+5\phi)+PL(4+7\phi)}{4\Delta}$	$PL$	$\frac{4+7\phi}{4\Delta} PL$	$\frac{4+5\phi}{4\Delta} PL$
$H$	支柱B端 偏心水平抗力	$\frac{PL-PL}{4\Delta}$	—	$\frac{1}{4\Delta} PL$	$-\frac{1}{4\Delta} PL$
$M_0$	7.57面固定端 於y轴弯曲率	$-\frac{ZPL^2(1+2\phi)-PL^2\phi}{12\Delta}$	$-\frac{1}{12} PL^2$	$\frac{\phi}{12\Delta} PL^2$	$-\frac{1+2\phi}{6\Delta} PL^2$
$M_1$	支柱固定端 於y轴弯曲率	$\frac{PL^2-PL^2}{12\Delta}$	—	$\frac{1}{12\Delta} PL^2$	$-\frac{1}{12\Delta} PL^2$
$M_2$	侧梁中间 於y轴弯曲率	$\frac{ZPL^2(1+2\phi)-PL^2\phi}{24\Delta}$	$\frac{1}{24} PL^2$	$-\frac{\phi}{24\Delta} PL^2$	$\frac{1+2\phi}{60} PL^2$
$M_3$	侧梁中间 於y轴弯曲率	$-\frac{PL^2(1+2\phi)+PL^2\phi}{12\Delta}$	$-\frac{1}{12} PL^2$	$-\frac{\phi}{60} PL^2$	$-\frac{Z+4\phi}{120} PL^2$
$M_4$	支柱上端 於y轴弯曲率	$-\frac{PL^2-PL^2}{6\Delta}$	—	$-\frac{1}{6\Delta} PL^2$	$\frac{1}{6\Delta} PL^2$
$M_5$	中央滑轮 偏心两端 於y轴弯曲率	$-\frac{PL^2+ZPL^2(1+\phi)}{12\Delta}$	$-\frac{1}{12} PL^2$	$-\frac{1+\phi}{6\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{120} PL^2$
$M_6$	面上中心点 於y轴弯曲率	$\frac{PL^2+5\phi-PL^2\phi}{24\Delta}$	$\frac{1}{24} PL^2$	$\frac{Z+5\phi}{24\Delta} PL^2$	$-\frac{\phi}{120} PL^2$
$h_0$	支柱固定端 於y轴弯曲率	$\frac{h}{3}$	—	$\frac{h}{3}$	$\frac{h}{3}$
$X_0$	侧梁滑轮 偏心两端 於y轴弯曲率	$(4+7\phi)-\frac{PL}{4\Delta} \ell$	$\frac{1}{2} \ell$	—	$\frac{4+7\phi}{4\Delta} \ell$
$M$	面上最大弯曲率	$\frac{(PL^2(16+56\phi+51\phi^2)-PL^2(2\phi(4+9\phi)+3\frac{4}{3}\phi^3))}{96\Delta^2}$	$\frac{1}{24} PL^2$	—	$\frac{PL^2(16+56\phi+51\phi^2)}{96\Delta^2}$
$\phi = \frac{h}{\ell} \frac{I_B}{I_c}$ $\Delta = Z + 3\phi$					

第十八表

半径横断面 (mm)	支 (mm)	太・筋端 (mm)	スラブ	支脚固定端
一〇〇 三	一一〇 三七	7/8 丸		
一〇〇 六	一〇〇 六六	7/8 丸		
六四五 六	九〇〇 〇〇	1/2 丸		

西今川町側鋼筋コンクリート上「フレーム」形橋梁の高さ及び跨間長を各十七呎とし其の桁端及び支壁端を全然固定せる場合と鉄端とする場合とに付き前記彈性理論式により解きたる結果は次表の如し

但し此場合に於て各部材の断面慣性率は前表に據れり

$$\text{尚 } \phi = \frac{h I_B}{l I_c} = 1.61 \quad \Delta = 2 + 3\phi = 6.83 \text{ なり}$$

	「スラブ」及支脚固定端なる場合			「スラブ」及支脚鉄端なる場合		
	第二荷重法	第三荷重法	第四荷重法	第二荷重法	第三荷重法	第四荷重法
$V_0$	$\frac{1}{2} pl$	$-\frac{1}{16.97} pl$	$-\frac{1}{1.79} pl$	$\frac{1}{2.5} pl$	$-\frac{1}{27.5} pl$	$-\frac{1}{2.33} pl$
$V_1$	$pl$	$-\frac{1}{1.79} pl$	$-\frac{1}{2.27} pl$	$\frac{1}{0.9} pl$	$-\frac{1}{1.9} pl$	$-\frac{1}{1.75} pl$
$H$	—	$-\frac{1}{27.32} pl$	$-\frac{1}{27.32} pl$	$-\frac{1}{88.4} pl$	$-\frac{1}{44.2} pl$	$-\frac{1}{29.5} pl$
$M_0$	$-\frac{1}{12} pl^2$	$-\frac{1}{50.91} pl^2$	$-\frac{1}{9.71} pl^2$	—	—	—
$M_1$	—	$-\frac{1}{81.96} pl^2$	$-\frac{1}{81.96} pl^2$	—	—	—
$M_2$	$-\frac{1}{24} pl^2$	$-\frac{1}{101.81} pl^2$	$-\frac{1}{9.71} pl^2$	$-\frac{1}{14.0} pl^2$	$-\frac{1}{54.9} pl^2$	$-\frac{1}{11.1} pl^2$
$M_3$	$-\frac{1}{12} pl^2$	$-\frac{1}{25.45} pl^2$	$-\frac{1}{22.70} pl^2$	$-\frac{1}{9.4} pl^2$	$-\frac{1}{27.5} pl^2$	$-\frac{1}{14.2} pl^2$
$M_4$	—	$-\frac{1}{40.98} pl^2$	$-\frac{1}{40.98} pl^2$	$-\frac{1}{88.4} pl^2$	$-\frac{1}{44.2} pl^2$	$-\frac{1}{29.5} pl^2$
$M_5$	$-\frac{1}{12} pl^2$	$-\frac{1}{15.70} pl^2$	$-\frac{1}{50.91} pl^2$	$-\frac{1}{10.5} pl^2$	$-\frac{1}{16.9} pl^2$	$-\frac{1}{27.5} pl^2$
$M_6$	$-\frac{1}{24} pl^2$	$-\frac{1}{16.31} pl^2$	$-\frac{1}{50.91} pl^2$	$-\frac{1}{33.9} pl^2$	$-\frac{1}{15.2} pl^2$	$-\frac{1}{27.5} pl^2$

前表より橋梁各部の弯曲係数を定め其の弯曲率を算定する事次の如し

$$\text{静荷重 } p_d = 410 \text{ #/□'}$$

$$\text{動荷重 } p_L = 550 \text{ #/□'}$$

$$\text{衝撃係数 } \alpha = 0.474$$

$$M_0 = - \left\{ \frac{1}{12} p_d l^2 + \frac{1+\alpha}{10} p_L l^2 \right\} = - \left\{ \frac{410 \times 17^2 \times 12}{12} + \frac{1.474 \times 550 \times 17^2 \times 12}{10} \right\} \\ = -399,640/\#$$

$$M_1 = \pm \frac{1}{80} \left( p_d + (1+\alpha) p_L \right) l^2 = \pm \frac{(410 + 1.474 \times 550) \times 17^2 \times 12}{80} \\ = \pm 52,920/\#$$

$$M_3 = - \left\{ \frac{1}{9} p_d l^2 + \frac{1+\alpha}{14} p_L l^2 \right\} = - \left\{ \frac{410 \times 17^2 \times 12}{9} + \frac{1.474 \times 550 \times 17^2 \times 12}{14} \right\} \\ = -358,810/\#$$

$$M_s = \pm \frac{1}{40} (1+\alpha) p_d l^2 = \pm \frac{(1.474 \times 550) \times \frac{l^2}{17 \times 12}}{40} = \pm 70,290/\#$$

$$M_s = \pm \left\{ \frac{1}{12} p_d l^2 + \frac{1+\alpha}{15} p_L l^2 \right\} = - \left\{ \frac{410 \times \frac{l^2}{17 \times 12}}{12} + \frac{1.474 \times 550 \times \frac{l^2}{17 \times 12}}{15} \right\} = -305,920/\#$$

$$M_s = \left\{ \frac{1}{24} p_d l^2 + \frac{1+\alpha}{16} p_L l^2 \right\} = \left\{ \frac{410 \times \frac{l^2}{17 \times 12}}{24} + \frac{1.474 \times 550 \times \frac{l^2}{17 \times 12}}{16} \right\} = 234,970/\#$$

$M_s$  = 兩側徑間の中央に於ける最大正彎曲率

$$x_0 = \frac{(4+7\phi) - \frac{p_2}{p_1} \phi}{4(2+3\phi)} l$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_d}{p_d + (1+\alpha)p_L} = \frac{410}{410 + 1.474 \times 550} = 0.336$$

$$\therefore x_0 = \frac{15.27 - 0.336 \times 1.61}{27.32} l = 0.539 \times 17 = 9.16\text{呢}$$

$$M_s = \frac{p_1 l^2 (16 + 56\phi + 51\phi^2) - p_2 l^2 [2\phi(4+9\phi) - 3\frac{p_2}{p_1}\phi^2]}{96(2+3\phi)^2}$$

$$= \frac{1}{18.8} \left\{ p_d + (1+\alpha) p_L \right\} l^2 - \frac{1}{78.67} p_d l^2$$

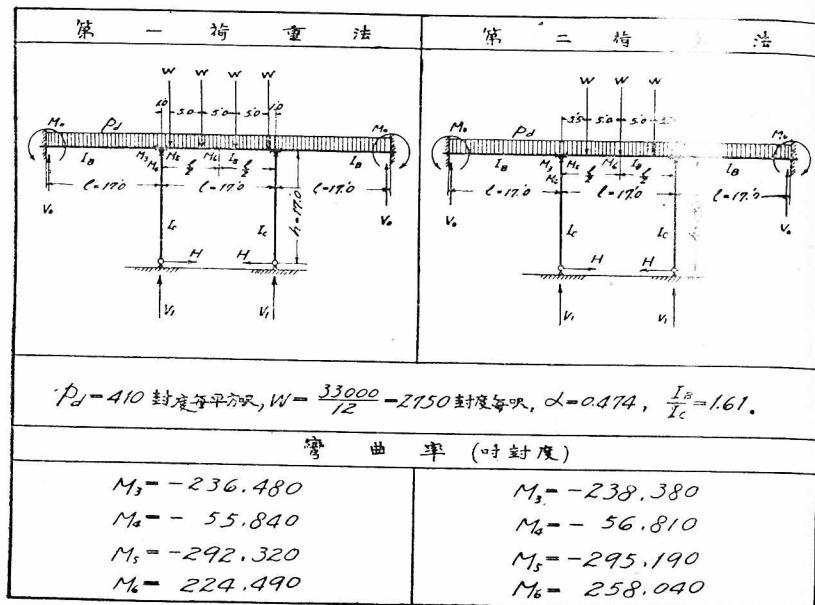
$$= 225,180 - 18,070 = 207,110/\#$$

以上は汽關車荷重を等賦荷重に換算し計算を施したる結果なり「スラブ」上には砂利床を有するを以て此の如く假定すること差支なきも一方汽關車荷重を純然たる集中荷重として計算せば如何なる結果を得べきかを確める必要あり依て次の場合に關する一般式を解きたる結果式次の如し

第十九表

一 般 式	中央徑間上、對照集荷重加へ場合	徑間、中央、集荷重加へ場合
$H$	$\frac{\alpha(1-\frac{\alpha}{\Delta})}{2h\Delta} P$	$\frac{1}{8\Delta} P$
$V_0$	$- \frac{\frac{\alpha}{2}(1-\frac{\alpha}{\Delta})\phi}{\Delta} P$	$- \frac{\phi}{4\Delta} P$
$V_1$	$\frac{1+Z[1+\frac{\alpha}{2}(1-\frac{\alpha}{\Delta})]\phi}{Z\Delta} P$	$\frac{Z+5\phi}{4\Delta} P$
$M_0$	$\frac{(1-\frac{\alpha}{\Delta})\phi}{3\Delta} PA$	$\frac{\phi}{12\Delta} PL$
$M_1$	$- \frac{Z(1-\frac{\alpha}{\Delta})\phi}{5\Delta} PA$	$- \frac{\phi}{6\Delta} PL$
$M_2$	$- \frac{(1-\frac{\alpha}{\Delta})\phi}{2\Delta} PA$	$- \frac{1}{8\Delta} PL$
$M_3$	$- \frac{(1-\frac{\alpha}{\Delta})(3+4\phi)}{6\Delta} PA$	$- \frac{3+4\phi}{24\Delta} PL$
$M_4$	$\frac{3\frac{\alpha}{2}+Z(1+2\frac{\alpha}{\Delta})\phi}{6\Delta} PA$	$\frac{3+8\phi}{24\Delta} PL$
	$\phi = \frac{hL}{l^2}, \quad \Delta = 1+2\phi$	

第二十表



前述計算の結果を表示すれば下の如し

弯曲率	単位	等価等賦荷重とせる時	機器車集中荷重とせる時
$M_1$	吋封度	399,640	
$M_2$	"	52,920	
$M_3$ (兩側徑間に於ける最大正弯曲率)	"	207,110	
$M_4$	"	358,810	238,380
$M_5$	"	70,290	56,810
$M_6$	"	305,920	295,190
$M_7$	"	234,970	258,040

以上計算せる所により動荷重を等価等賦荷重とするも亦集中荷重とするも依て起る弯曲率數値に甚だしき差違を見ざること前表に依り明かなり故に本設計に於ては等價等賦荷重による弯曲率を採用(但し  $M_3$  は集中荷重法に依る數値を探れり)したり斯くて爾後の計算は普通鐵筋混疑土計算公式に據り各部の鐵筋量を算定したり即ち「スラブ」徑間の中央部に於て八分の七吋丸棒を六時間に其他は圖に示せるが如し

本銀町「スラブ」橋の設計法も前同様の解法に従ひ橋梁各點の最大弯曲率を算定し圖に示す如く鐵筋を配置せり

### (13) 鋼版柵の設計要項

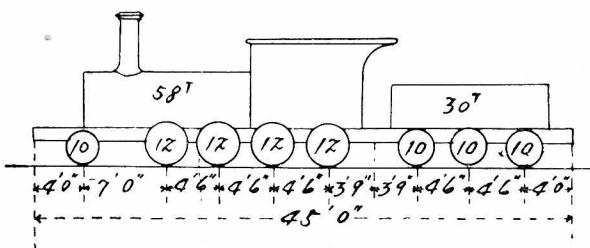
鋼版柵の設計計算方法は詳記するの要なきを以て之を省略し只其標準とする要項のみを記すべし

市街線中纏きに竣工せる東京驛以南の線路に於ける版柵の計算は總て「メートル」式を用ひ次に記す標準要項を使用したれども今回建設に係る東京驛以北萬世橋間の版柵設計の際は明治四十四年十二月鐵道院業務調査會議に於て鋼鐵道橋設計示方書なるものを制定されたるを以て此兩者の内何れを使用すべきかに就き研究協議の結果並と同様に據ることに決定し計算せり而して後各版柵に就き検算の結果上記兩方法の間に大差なきことを認め又荷重として用ひし八十八噸「コンソリデーション」二臺連結は「クーパー」氏示方  $E_{co}$  乃至  $E_{ca}$  に相當せり

#### 版柵計算に用ひし標準要項

- (1) 各部材の寸法は總て「メートル」式を用ひ但し綴釘及び「ボルト」の徑は吋数に適當せるものを用ひ
- (2) 軌道の重量は一「メートル」に付 112.「キログラム」(一呎に付 75.「ポンド」)とす
- (3) 道床の重量は一立方「メートル」に付 1800「キログラム」(一立方呎に付 112「ポンド」)
- (4) 一軌道に對する最大動荷重は圖に示す八十八噸「コンソリデーション」二臺連結とし尙横梁其他部材に對しては單荷重 15 噸とす

第二十一圖



(5) 許容最大應力は次の如し

#### I. 橫梁其他に就ては

枕木が經材に直接取付らるゝとき  $700 \text{ kg/cm}^2 = 9960. \text{ #/□}$

經材上に鐵板を張り道床を有するとき  $750 \text{ " } = 10670. \text{ "}$

#### II. 本柵に於ては

徑間 10「メートル」以下  $750 \text{ kg/cm}^2 = 10670. \text{ #/□}$

10「メートル」以上 20「メートル」以下  $800 \text{ " } = 11380. \text{ "}$

20[メートル]以上	40[メートル]以下	$850 \text{ kg/cm}^2 = 12090. \text{ #/□}$
40 "	80 "	$900 \text{ " } = 12800. \text{ "}$
80 "	120 "	$950 \text{ " } = 13510. \text{ "}$

(6) 緩釘の許容應力

I 綱材或は横梁と本桁との接合に用ゆるとき

應 力	道床を有せざるとき	道床を有するとき
剪 斷 力	$600 \text{ kg/cm}^2 = 8530 \text{ #/□}$	$650 \text{ kg/cm}^2 = 9240 \text{ #/□}$
支 壓 力	$1000 \text{ " } = 14230 \text{ "}$	$1100 \text{ " } = 15650 \text{ "}$

II 本桁に用ゆるとき

徑 間	應 力	道床を有せざるとき	道床を有するとき
10[メートル]以下	剪断力	$650 \text{ kg/cm}^2 = 9240 \text{ #/□}$	$750 \text{ kg/cm}^2 = 10670 \text{ #/□}$
	支压力	$1100 \text{ " } = 15650 \text{ "}$	$1500 \text{ " } = 21340 \text{ "}$
10[メートル]以上 20[メートル]以下	剪断力	$700 \text{ " } = 9960 \text{ "}$	$750 \text{ " } = 10670 \text{ "}$
	支压力	$1200 \text{ " } = 17070 \text{ "}$	$1500 \text{ " } = 21340 \text{ "}$
20[メートル]以上	剪断力	$750 \text{ " } = 10670 \text{ "}$	$750 \text{ " } = 10670 \text{ "}$
	支压力	$1500 \text{ " } = 21340 \text{ "}$	$1500 \text{ " } = 21340 \text{ "}$

(7) 床板下の許容應力

花崗石床石上	$35 \text{ kg/cm}^2 = 500 \text{ #/□}$
其他の床石上	$20 \text{ " } = 285 \text{ "}$
床石下の許容應力	
焼過一等煉瓦工上	$12 \text{ kg/cm}^2 = 170 \text{ #/□}$
普通煉瓦工上	$8 \text{ " } = 114 \text{ "}$

(8) 版桁兩側歩道上の總荷重は毎平方[メートル]上  $150[\text{キログラム}]$  即ち毎平方呎上30[ポンド]とす

#### (14) 鐵筋混疑土杭の採用と其の設計

從來建設せられたる東京驛以南の高架鐵道基礎には凡て木杭を採用せり、東京市の如く地質比較的軟弱にして常水位線の低き土地に於て木杭を使用する時は左の如き不利あるを免れず

一、杭頭は地盤面以下八尺乃至十二尺の深さに止むる必要あること

二、比較的多數の長大なる木杭を要すること

三、深き根切及山留工を要すること

之れか爲め頗る深き基礎の築造を必要とするのみならず根掘、杭打共に高價となり又基礎に巨大なる疊積工を要す、殊に木杭一本に對し十五噸以上の荷重を負はしむること安全ならざるを以て頗る多數の杭數を要するに至る、然るに鐵筋混疑土杭を採用するときは左の利點を認め得べし

一、杭頭を地盤面に近く止め得ること

二、拱脚基礎を深く築造するの必要なく從て容積を減少す

三、根掘の深さ及び容積を減じ又水害等の必要ななし

四、混疑土工の容易なること

鐵筋混疑土杭の不利なる點は其の自重にして取扱上不便なるにあるべしと雖とも之れが運搬及び取扱に機械力を應用するときは此の不利點を除き得べし、混疑土杭は價格不廉なるを免れざれども以上の如き利益は之れを補ひ得て餘あり

木杭を使用する場合と鐵筋混疑土杭を使用する場合との兩者に付き比較研究を試みたる結果後者の利益なるを認め本高架鐵道橋基礎には鐵筋混疑土杭を使用することに決定し其の總數九千二百八十一本に達せり

本高架橋に使用すべき鐵筋混疑土杭の設計に當り左の如き制限を加へたり  
杭の設計に関する制限

一、杭の直徑と杭長との比を三十以下とす

二、杭表面と土砂との間の摩擦は地盤より深さ三尺に達するまでの間を無視す

三、杭の強度は長柱公式により試算を經べきこと

四、杭の緯維應張力は次の値を最大限とす

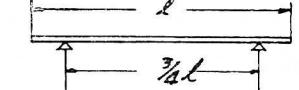
$$c = \frac{\text{應張力}}{\text{封度}} = 600 - 4 \frac{l}{d}$$

茲に  $l$ =杭の長さ

$d$ =杭の直徑

五、杭は之れを横轉せるとき下記の場合に於ける自重彎曲率に抵抗すること

(イ) 杭を長さの四分の三點にて支持せる場合 第



式 拾 式 圖

(ロ) 杭長の各四分點を求める内最外方の二

點にて支持せる場合

六、杭内埋込み鐵筋上の最大単位應張力を一平方吋に付き一萬六千封度とす

七、杭は之れを圍繞する土砂との間の摩擦は一平方呎に付き五百封度を最大限とする  
以上の標準により設計を遂げたる結果各杭に對し次表並に第四號圖に示せるが如く鐵筋を  
施したり

鐵筋混擬土杭構成表

杭の長 l (呎)	杭の 直徑 d (吋)	軸鐵筋 員數	直徑 (吋)	螺旋鐵筋 (吋)														
				a <sub>1</sub>			a <sub>2</sub>			a <sub>3</sub>			a <sub>4</sub>			a <sub>5</sub>		
				長	間隔	長	間隔	長	間隔	長	間隔	長	間隔	長	間隔	長	間隔	
18	12	8	$\frac{7}{16}$	12	1	10	2	12	4	139.0	6	12	4	12	2			
20	12	8	„	12	1	10	2	12	4	163.0	6	12	4	12	2			
20	13	8	„	12	1	10	2	12	4	163.0	6	12	4	12	2			
22	12	8	„	12	1	10	2	12	4	187.0	6	12	4	12	2			
25	13	8	$\frac{1}{2}$	18	1	9	$1\frac{1}{2}$	10	2	218.5	4	12	3	12	2			
27	14	8	„	18	1	9	$1\frac{1}{2}$	10	2	241.0	4	12	3	12	2			
30	15	8	$\frac{9}{16}$	19	1	9	$1\frac{1}{2}$	10	2	274.5	4	12	3	12	2			
35	16	4	$\frac{9}{16}$	24	1	12	$1\frac{1}{2}$	12	2	311.0	3	18	2	18	2			
40	17	8	$\frac{11}{16}$	24	1	12	$1\frac{1}{2}$	12	2	369.5	3	18	2	18	2			
45	18	8	$\frac{7}{8}$	30	1	12	$1\frac{1}{2}$	12	2	422.0	2	18	2	18	2			

(備考) 混凝土の調合は「セメント」-、砂二、砂利四、とす

螺旋鐵筋の直徑は凡て五番線 (BWG) とす

以上混凝土杭を設計するに當り考慮せる要點は概ね次の如し

從來設計又は施工せられたる鐵筋混擬土杭に於て特別の注意と考慮とを費やすに非らざれば其の杭頭は鐵槌の打撃により破壊せるもの多し

然れども又一方杭頭を保護するが爲め緩衝器を杭頭に使用せるものは打込みに著しく困難を感するを常とす、故に鐵筋混擬土杭の設計に當りては杭頭部の鐵筋配置に特別の考慮を費やし甚しき打撃を受くるも破壊すること少なく又緩衝材料の爲め打擊力を著しく減殺せらるゝことなきを期せざる可らず

杭頭の破壊を防止するには打擊力に抵抗する充分なる抗張筋即ち螺旋筋を密に使用し尚ほ頭部混擬土の壓挫を輕減するが爲め渦狀筋を使用するを適當と認めたり、又打擊力傳達の有様は其の杭頭に於て最も甚しく中間は比較的輕減せられ更に杭尖端部は地中の石塊其他の障礙物に突當りたる時に少ながらさる衝動を感するものと想定することを得べし

本工事に使用する鐵筋混擬土杭に對し螺旋筋は杭の全長に亘りたれとも此等の事實を考

慮し其の頭部と尖端部とに於て其の間隔を密にし中間に於て粗にせり、頭部には更に渦狀筋四枚を使用し其他は長柱式として充分なる様軸鐵筋量を定めたり、實地施行の結果杭頭部の破壊せるもの頗る稀なりし事實に鑑み其の後に至り渦狀筋四枚を二枚乃至一枚に減じたり、混擬土杭打込みに當り其の「キヤップ」を如何なる構造のものとなすべきやは杭其物の配筋法如何に關す

杭の頭部に螺旋筋を施さるものは錘の打撃により其の頭部を破壊せらるゝを常とす、然れども螺旋筋を使用せる杭は適當なる設計の「キヤップ」を使用することにより杭頭部の破壊を防止するを得べし

本工事に於ては先年米國「ミシシッピー」川橋梁鐵筋混擬土杭打込みの例に倣ひ第四號圖に示す如き「キヤップ」を使用せり

實地施行の結果鐵筋混擬土杭の抵抗力以外に強く「キヤップ」の構造及び方法を少しく簡単ならしもるも差支なきを認め、杭頭部の鐵輪を廢し緩衝板を一枚乃至二枚とせるも杭頭の破壊を見ざりき